



Э.М. Нейматов  
С.Л. Сабинин

ПРИКЛАДНАЯ  
БИОМЕХАНИКА  
в спортивной  
медицине и остеопатии



МЕДИЦИНСКОЕ  
ИНФОРМАЦИОННОЕ  
АГЕНТСТВО



Э.М. Нейматов

С.Л. Сабинин

**ПРИКЛАДНАЯ  
БИОМЕХАНИКА  
в спортивной медицине  
и остеопатии**



Медицинское информационное агентство  
Москва  
2016

УДК 616.7:615.828

ББК 750+53.54

Н46

#### **Авторы:**

*Нейматов Эдуард Металович* — доктор медицинских наук, профессор кафедры нелекарственных методов лечения и клинической физиологии Первого Московского государственного медицинского университета имени И.М. Сеченова, врач высшей квалификационной категории, доктор остеопатии Европы, академик Российской академии медико-технических наук, автор физкультурно-оздоровительной системы METAVITONICA;

*Сабинин Сергей Львович* — доктор остеопатии, заведующий циклом структуральной остеопатии Русской высшей школы остеопатической медицины, врач-невролог.

*Авторы выражают большую благодарность тем, кто принял участие в создании этого труда, друзьям и коллегам за привнесенный вклад и ценные замечания.*

*Особая благодарность Некрасовой Наталье Юрьевне, врачу-педиатру, остеопату, специалисту по телесно-ориентированной практике физкультурно-оздоровительного направления METAVITONICA.*

#### **Нейматов, Э.М.**

**Н46** Прикладная биомеханика в спортивной медицине и остеопатии / Э.М. Нейматов, С.Л. Сабинин. — Москва : ООО «Издательство «Медицинское информационное агентство», 2016. — 448 с. : ил.

ISBN 978-5-9986-0290-0

Биомеханика — наука о законах механического движения в живых системах. Задачей книги является раскрытие природы человеческого тела и его механизмов как в подвижности, так и стабильности с подробным разбором суставной структуры и мышечной функции. Основным в данном издании является раздел биомеханики, в котором тело рассматривается как система костных рычагов. Через изучение биомеханики возможно осмыслить физические принципы, управляющие телом, и силы, действующие на него, что поможет приблизиться к пониманию структуры и функции отдельных его компонентов.

Для остеопатов и врачей любых специальностей, интересующихся биомеханикой и взаимосвязями структуры и функции: ортопедов, травматологов, мануальных терапевтов, остеопатов, неврологов, врачей спортивной медицины и специалистов по физической реабилитации, а также для всех тех, кто интересуется телесно-ориентированными практиками.

**УДК 616.7:615.828**

**ББК 750+53.54**

ISBN 978-5-9986-0290-0

© Нейматов Э.М., Сабинин С.Л., 2016  
© Оформление. ООО «Издательство «Медицинское информационное агентство», 2016

Все права защищены. Никакая часть данной книги не может быть воспроизведена в какой-либо форме без письменного разрешения владельцев авторских прав.

# ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>Список сокращений .....</b>	<b>8</b>
<b>Введение .....</b>	<b>10</b>
История развития биомеханики .....	10
Биомеханика опорно-двигательного аппарата .....	11
Кинематические соединения скелета человека .....	14
Грудная клетка .....	14
Скелет конечностей человека .....	15
Кинематика опорно-двигательного аппарата .....	18
<b>ГЛАВА 1. ПОЗВОНОЧНИК .....</b>	<b>21</b>
1.1.    Общее строение и функции .....	21
1.1.1.  Строение .....	21
Фиброзное кольцо .....	29
1.1.2.  Функции .....	38
1.2.    Региональное строение и функции .....	46
1.2.1.  Строение шейного отдела .....	46
Типичные шейные позвонки .....	46
Атлanto-осевой комплекс .....	48
1.2.2.  Функции шейного отдела .....	51
1.2.3.  Строение грудного отдела .....	56
Типичный грудной позвонок .....	57
1.2.4.  Функции грудного отдела .....	58
1.2.5.  Строение поясничного отдела .....	59
Типичный поясничный позвонок .....	59
Связки и фасции .....	61
1.2.6.  Функции поясничного отдела .....	64
1.2.7.  Строение крестцового отдела .....	68
Связки .....	71
1.2.8.  Функции крестцового отдела .....	73

1.3.	Мышцы позвоночника .....	75
1.3.1.	Сгибатели .....	75
1.3.2.	Ротаторы и боковые сгибатели .....	76
1.3.3.	Разгибатели .....	78
1.3.4.	Роль сгибателей и разгибателей при подъеме тяжестей .....	82
1.3.5.	Мышцы тазового дна .....	86
1.4.	Общие эффекты старения и травм .....	87
1.4.1.	Старение .....	88
1.4.2.	Травма .....	89
1.4.3.	Модель для определения последствий повреждений .....	90
	Заключение .....	92
	Приложение .....	93
<b>ГЛАВА 2. ГРУДНАЯ КЛЕТКА И ГРУДНАЯ СТЕНКА .....</b>		<b>99</b>
2.1.	Общая структура и функции .....	99
2.2.	Грудная клетка .....	100
2.2.1.	Сочленения грудной клетки .....	100
2.2.2.	Кинематика ребер и грудины .....	104
2.3.	Мышцы, связанные с грудной клеткой .....	106
2.3.1.	Основные дыхательные мышцы .....	107
2.3.2.	Вспомогательные дыхательные мышцы .....	111
2.4.	Координация и интеграция дыхательных движений .....	114
2.4.1.	Нормальная последовательность движений стенки грудной клетки во время дыхания .....	114
2.5.	Возрастные особенности структуры и функции .....	115
2.5.1.	Особенности неонатального периода .....	115
2.5.2.	Особенности пожилого возраста .....	115
2.5.3.	Беременность .....	116
2.5.4.	Сколиоз .....	117
2.5.5.	Хронические обструктивные заболевания легких .....	117
	Заключение .....	119
<b>ГЛАВА 3. ПЛЕЧЕВОЙ КОМПЛЕКС .....</b>		<b>120</b>
3.1.	Компоненты плечевого комплекса .....	120
3.1.1.	Лопаточно-грудной комплекс .....	121
3.1.2.	Грудино-ключичный сустав .....	124
3.1.3.	Акромиально-ключичный сустав .....	128
3.1.4.	Плечевой сустав .....	133
	Движения в плечевом суставе .....	139
3.2.	Интегральная функция плечевого комплекса .....	149
3.2.1.	Участие лопаточно-грудного и плечевого суставов .....	149
3.2.2.	Участие грудино-ключичного и акромиально-ключичного сочленений .....	150
3.2.3.	Структурная дисфункция .....	154
3.2.4.	Мышцы-леваторы .....	154
3.2.5.	Мышцы-депрессоры .....	160
	Заключение .....	162

<b>ГЛАВА 4. ЛОКТЕВОЙ КОМПЛЕКС .....</b>	<b>163</b>
4.1. Структура: локтевой сустав (плечелоктевое и плечелучевое соединения) .....	164
4.1.1. Суставные поверхности на плечевой кости .....	164
4.1.2. Суставные поверхности лучевой и локтевой костей .....	165
4.2. Функции: локтевой сустав (плечелоктевое и плечелучевое сочленения) ...	173
4.2.1. Оси движения .....	173
4.2.2. Амплитуда движения .....	175
4.2.3. Действие мышц .....	176
4.3. Структура: верхний и нижний лучелоктевые суставы .....	180
4.3.1. Верхний лучелоктевой сустав .....	180
4.3.2. Нижний лучелоктевой сустав .....	180
4.3.3. Лучелоктевое сочленение .....	183
4.3.4. Связки .....	184
4.3.5. Мышцы .....	186
4.4. Функции: лучелоктевые суставы .....	186
4.4.1. Оси движения .....	186
4.4.2. Амплитуда движения .....	187
4.4.3. Действие мышц .....	187
4.4.4. Стабильность .....	189
4.5. Подвижность и стабильность: локтевой комплекс .....	191
4.5.1. Функциональная активность .....	191
4.5.2. Связь с кистью и запястьем .....	192
4.5.3. Взаимосвязь с головой, шеей и плечом .....	193
4.6. Эффекты иммобилизации и травмы .....	193
4.6.1. Компрессионная травма .....	194
4.6.2. Травма растяжения .....	195
4.6.3. Травма варуса/вальгуса .....	196
4.6.4. Перегрузка и другие повреждения .....	196
Заключение .....	199
<b>ГЛАВА 5. КОМПЛЕКСЫ ЗАПЯСТЬЯ И КИСТИ .....</b>	<b>200</b>
5.1. Комплекс запястья .....	200
5.1.1. Структурные компоненты комплекса запястья .....	201
5.1.2. Функции комплекса запястья .....	208
5.2. Комплекс кисти .....	218
5.2.1. Строение пальцев .....	218
5.2.2. Мускулатура пальцев .....	226
5.2.3. Структура большого пальца .....	246
5.2.4. Мускулатура большого пальца .....	249
5.3. Хватание .....	253
5.3.1. Силовой хват .....	254
5.3.2. Тонкое управление .....	258
5.4. Функциональное положение запястья и кисти .....	261
Заключение .....	261

<b>ГЛАВА 6. КОМПЛЕКС БЕДРА .....</b>	<b>263</b>
6.1. Структура тазобедренного сустава .....	264
6.1.1. Проксимальная суставная поверхность .....	264
6.1.2. Дистальная суставная поверхность .....	266
6.1.3. Суставная конгруэнтность тазобедренного сустава .....	270
6.1.4. Капсула и связки тазобедренного сустава .....	271
6.2. Функции тазобедренного сустава .....	278
6.2.1. Артрокинематика .....	278
6.2.2. Osteoкинематика .....	279
6.2.3. Координированные движения бедренной кости, таза и поясничного отдела позвоночника .....	284
6.2.4. Мускулатура тазобедренного сустава .....	289
6.2.5. Функции мышц в положении стоя .....	298
6.3. Патология тазобедренного сустава .....	308
6.3.1. Артроз .....	309
6.3.2. Перелом .....	310
6.3.3. Костные аномалии бедренной кости .....	311
Заключение .....	314
<b>ГЛАВА 7. КОМПЛЕКС КОЛЕННОГО СУСТАВА .....</b>	<b>315</b>
7.1. Строение тибioфemорального сустава .....	316
7.1.1. Суставная поверхность бедренной кости .....	316
7.1.2. Суставная поверхность большой берцовой кости .....	317
7.1.3. Капсула коленного сустава .....	324
7.1.4. Связки коленного сустава .....	328
7.1.5. Сумки коленного сустава .....	337
7.2. Функции коленного сустава .....	339
7.2.1. Движения в коленном суставе .....	339
Сгибание/разгибание в osteoкинематике .....	340
Сгибание/разгибание в артрокинематике .....	342
7.2.2. Мышцы .....	347
7.2.3. Стабилизация .....	357
7.3. Надколенно-бедренный сустав .....	360
7.3.1. Конгруэнтность надколенно-бедренного сустава .....	363
7.3.2. Силы реакции взаимодействия надколенно-бедренного сустава .....	364
7.3.3. Медиальная и латеральная стабильность надколенно-бедренного сустава .....	366
7.4. Эффекты травм и заболеваний .....	371
7.4.1. Травмы коленного сустава .....	371
7.4.2. Травмы надколенно-бедренного сустава .....	373
Заключение .....	374
<b>ГЛАВА 8. КОМПЛЕКС ГОЛЕНОСТОПНОГО СУСТАВА И СТОПЫ .....</b>	<b>376</b>
8.1. Голеностопный сустав .....	377
8.1.1. Структура голеностопного сустава .....	378
8.1.2. Функции голеностопного сустава .....	383

8.2.	Подтаранный сустав .....	387
8.2.1.	Структура подтаранного сустава .....	388
8.2.2.	Функции подтаранного сустава .....	389
8.3.	Таранно-пяточно-ладьевидный сустав .....	398
8.3.1.	Строение ТПЛ сустава .....	398
8.3.2.	Функция ТПЛ сустава .....	400
8.4.	Поперечный предплюсневый сустав .....	402
8.4.1.	Строение поперечного предплюсневого сустава .....	403
8.4.2.	Функция поперечного предплюсневого сустава .....	403
8.5.	Предплюсне-плюсневые суставы .....	407
8.5.1.	Строение предплюсне-плюсневых суставов .....	407
8.5.2.	Функции предплюсне-плюсневых суставов .....	408
8.6.	Плюснефаланговые суставы .....	411
8.6.1.	Строение плюснефалангового сустава .....	411
8.6.2.	Функция плюснефалангового сустава .....	413
8.7.	Межфаланговые суставы .....	416
8.7.1.	Структура .....	417
8.7.2.	Функция .....	420
8.8.	Мышцы голеностопного сустава и стопы .....	422
8.8.1.	Наружная мускулатура .....	423
8.8.2.	Внутренняя мускулатура .....	427
8.9.	Отклонения от нормальной структуры и функции .....	428
8.9.1.	Плоскостопие .....	428
8.9.2.	Супинация стопы .....	429
	Заключение .....	430
<b>ГЛАВА 9. ВИСОЧНО-НИЖНЕЧЕЛЮСТНОЙ СУСТАВ .....</b>		<b>431</b>
9.1.	Структура .....	432
9.1.1.	Суставные поверхности .....	432
9.1.2.	Суставной диск .....	434
9.1.3.	Капсула и связки .....	435
9.1.4.	Суставное соединение .....	436
9.1.5.	Движения нижней челюсти .....	437
9.2.	Функции .....	440
9.2.1.	Контроль диска .....	440
9.2.2.	Мышечный контроль ВНЧС .....	441
9.2.3.	Связи с шейным отделом позвоночника .....	443
9.2.4.	Расположение зубов .....	443
9.3.	Дисфункции .....	444
9.3.1.	Реципрокный щелчок .....	444
9.3.2.	Остеоартрит .....	445
	Заключение .....	445

# СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

АД	— амплитуда движения	ДРБП	— длинный разгибатель большого пальца
АКл	— акромиально-ключичный [сустав]	ДСБП	— длинный сгибатель большого пальца
ВВПЛ	— верхняя внутренняя пяточно-ладьевидная [связка]	ЗКС	— задняя крестообразная связка
ВНЧС	— височно-нижнечелюстной сустав	ЗЛТ	— заднелатеральный тяж
ГКл	— грудино-ключичный [сустав]	КЛРЗ	— короткий лучевой разгибатель запястья
ГРТ	— голова, руки и туловище	КОМБП	— короткая отводящая мышца большого пальца
ГРТБН	— голова, руки и туловище, безопорная нога	КРБП	— короткий разгибатель большого пальца
ГСП	— глубокий сгибатель пальцев	КСПБ	— короткий сгибатель большого пальца
ДВСН	— дорсальная вставочная сегментарная нестабильность	КСУ	— косая связка удерживателя
ДЛМ	— длинная ладонная мышца	ЛА	— ладонный апоневроз
ДЛРЗ	— длинный лучевой разгибатель запястья	ЛГ	— лопаточно-грудной [сустав]
ДМ	— длиннейшая [мышца]	ЛКРЗ	— локтевой разгибатель запястья
ДМк	— дорсальная межкостная [мышца]	ЛКС	— латеральная коллатеральная связка
ДМФ	— дистальный межфаланговый [сустав]	ЛКСЗ	— локтевой сгибатель запястья
ДОМБП	— длинная отводящая мышца большого пальца	ЛЛКС	— латеральная локтевая коллатеральная связка
		ЛМк	— ладонная межкостная [мышца]

ЛСТ	— линия силы тяжести	ПМФ	— проксимальный межфаланговый [сустав]
ЛЧСЗ	— лучевой сгибатель запястья	ППС	— предплюсне-плюсневой сустав
МРТ	— магнитно-резонансная томография	ПС	— плечевой сустав
МКС	— медиальная коллатеральная связка	ПСЗ	— поперечная связка запястья
МПБП	— мышца, противопоставляющая большой палец	ПСП	— поверхностный сгибатель пальцев
МРМ	— многораздельные мышцы	ПФ	— пястно-фаланговый [сустав]
МФ	— межфаланговый [сустав]	ПФС	— плюснефаланговый сустав
ОДА	— опорно-двигательный аппарат	РМ	— разгибатель мизинца
ОМБП	— отводящая мышца большого пальца	РП	— реберно-позвоночный [сустав]
ОММ	— отводящая мышца мизинца	РПП	— реберно-поперечный [сустав]
ОРП	— общий разгибатель пальцев	РХ	— реберно-хрящевый [сустав]
ПББТ	— подвздошно-большеберцовый тракт	СРУП	— собственный разгибатель указательного пальца
ПВГПК	— передние верхние гребни подвздошной кости	ТВХК	— треугольный волокнистый хрящевой комплекс
ПГ	— протеогликан	ТПЛ	— таранно-пяточный ладьевидный [сустав]
ПЗ	— пястно-запястный [сустав]	УЦК	— угол центра кромки
ПКС	— передняя крестообразная связка	ЦНС	— центральная нервная система
ПЛИМ	— передняя лестничная мышца	ЭМГ	— электромиография
ПМ	— плечо момента	ЯМР	— ядерно-магнитный резонанс
ПМТ	— переднемедиальный тяж		

# ВВЕДЕНИЕ

## ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ БИОМЕХАНИКИ

Истоками биомеханики были работы Аристотеля и Галена, посвященные анализу движений животных и человека. С работами эпохи Возрождения — Леонардо да Винчи (1452–1519) — биомеханика сделала новый шаг. Леонардо особенно интересовался строением человеческого тела (анатомией) в связи с движением. Он описал механику тела при переходе из положения сидя к положению стоя, при ходьбе, при подъеме и спуске по ступеням, при прыжках и впервые дал описание походок.

Рене Декарт (1596–1650) создал основу рефлекторной теории, показав, что причиной движений могут быть конкретные факторы внешней среды, воздействующие на органы чувств, что объясняло происхождение произвольных движений.

Большое влияние на развитие биомеханики оказал Джованни Альфонсо Борелли (1608–1679) — итальянский ученый-универсал времен научной революции XVII в. — врач, математик, физик, астроном. Своей книгой «О движении животных» он, по сути, положил начало биомеханике как отрасли науки. Дж. Борелли рассматривал организм человека как машину и стремился объяснить процессы дыхания, движение крови, работу мышц с позиций механики.

*Биологическая механика* как наука о механическом движении в биологических системах использует в качестве методического аппарата принципы общей механики.

*Механика человека* — особый раздел механики, изучающий целенаправленные движения человека.

*Биомеханика* — раздел биологии, изучающий механические свойства живых тканей, органов и организма в целом, а также происходящие в них механические явления (при движении, дыхании и т.п.).

Первые шаги в более подробном изучении биомеханики движений были сделаны лишь в конце XIX столетия немецкими учеными В. Брауном и О. Фишером (Braune V., Fischer O.), которые разработали совершенную методику регистрации

движений, детально изучили динамику перемещений конечностей и общего центра тяжести (ОЦТ) человека при нормальной ходьбе.

К.Х. Кекчев (1923) изучал биомеханику патологических походок, используя методику Брауна и Фишера.

П.Ф. Лесгафтом (1837–1909) была создана биомеханика физических упражнений, разработанная на основе динамической анатомии. В 1877 г. П.Ф. Лесгафт начал читать лекции по этому предмету на курсах по физическому воспитанию. В Институте физического образования им. П.Ф. Лесгафта этот курс входил в предмет «Физическое образование», в 1927 г. он был выделен в самостоятельный предмет под названием «Теория движения», а в 1931 г. переименован в курс «Биомеханика физических упражнений».

Большой вклад в познание взаимодействия уровней регуляции движений внес Н.А. Бернштейн (1880–1968). Им было дано теоретическое обоснование процессов управления движениями с позиции общей теории больших систем. Эти исследования позволили установить чрезвычайно важный принцип управления движениями, общепризнанный в настоящее время, а нейрофизиологические концепции Н.А. Бернштейна послужили основой формирования современной теории биомеханики движений человека.

Идеи И.М. Сеченова о рефлекторной природе управления движениями путем использования чувствительных сигналов получили развитие в теории Н.А. Бернштейна о кольцевом характере процессов управления.

В.С. Гурфинкель и др. (1965) клинически подтвердили идеи этого направления, выявили принцип синергии в организации работы скелетной мускулатуры при регуляции вертикальной позы, а Ф.А. Северин и др. (1967) получили данные о спинальных генераторах (мотонейронах) локомоторных движений. R. Granit (1955) с позиции нейрофизиологии дал анализ механизмов регуляции движений.

## БИОМЕХАНИКА ОПОРНО-ДВИГАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Опорно-двигательный аппарат (ОДА) подразделяют на *пассивный* (скелет и его соединения) и *активный* (мышцы) компоненты.

Под скелетом понимают комплекс более или менее плотных образований, имеющих в жизни организма преимущественно механическое значение. Вокруг частей скелета человека группируются мягкие ткани и органы; этим объясняется соответствие между формой скелета и формой всего тела.

Скелет человека выполняет локомоторную функцию. Пассивная часть аппарата движения включает в себя кости и их соединения. Механические функции скелета способны обеспечивать опору, защиту и движение.

*Опорная функция* заключается в прикреплении к скелету мышц, связок и сухожилий. Под *защитой* понимают ограждения внутренних органов от механических повреждений. *Движение* осуществляется благодаря наличию костных рычагов, приводимых в действие мышцами.

Скелет взрослого человека состоит более чем из 200 отдельных костей, преобладающая часть их — парные.

Скелет человека подразделяют на основные части: череп, позвоночник, грудную клетку, верхние (включая плечевой пояс) и нижние (включая тазовый пояс) конечности.

*Череп* состоит из подвижно сочлененных костей, он служит опорой и защитой важнейшим органам. Череп образует полость, которая представляет конечное расширение позвоночного канала и заключает в себе головной мозг с его оболочками и сосудами.

*Позвоночный столб* составлен из всех истинных позвонков, крестца, копчика и межпозвоночных хрящей, со связочным и суставным аппаратом.

Движения отдельных позвонков невелики, но, суммируясь, они дают позвоночному столбу значительную свободу перемещения. При этом позвоночный столб может совершать движения вокруг всех осей: фронтальной, сагиттальной, горизонтальной. Большой подвижностью отличаются верхний поясничный и шейный отделы.

Межпозвоночные хрящи уменьшают толчки и сотрясения, образуют прочные, но вместе с тем достаточно эластичные соединения, допускающие движения во все стороны. Величина движений значительно больше в том отделе позвоночника, где хрящи толще.

Каждому грудному позвонку соответствует пара ребер, из них семь верхних соединяются своими передними концами с грудиной.

Позвоночник подразделяют на пять отделов: шейный (С1–С7), грудной (Th1–Th12), поясничный (L1–L5), крестцовый (S1–S5), копчиковый (Co1–Co5).

Длина позвоночника мужчины в среднем 73 см, причем на шейный отдел приходится 13 см, на грудной — 30 см, на поясничный — 18 см и на крестцово-копчиковый — 12 см. Позвоночник женщины имеет длину в среднем 69 см. В старческом возрасте наблюдается укорочение позвоночника на 5–7 см. В целом длина позвоночного столба составляет около 2/3 всей длины тела.

Функциональное значение позвоночника чрезвычайно велико: он поддерживает голову, служит гибкой осью туловища, принимает участие в образовании стенок грудной, брюшной полостей и таза. В позвоночном канале помещается спинной мозг, его оболочки и сосуды.

Опорно-двигательная функция позвоночника во многом определяется структурными и механическими свойствами межпозвоночных дисков, соединяющих

тела соседних позвонков, а также связок, соединяющих тела, дуги и отростки позвонков.

Между отдельными позвонками имеются соединения, которые связывают:

- 1) их тела;
- 2) дуги;
- 3) отростки.

Поверхности тел двух смежных позвонков, обращенные друг к другу, соединяются межпозвоночным диском, который отсутствует лишь между I и II шейными позвонками. Число этих хрящей в позвоночнике взрослого — 23, толщина — от 2 (в средней грудной области) до 10 мм у нижних поясничных позвонков. Кроме того, толщина неодинакова и в различных частях одного хрящевого диска. Общая высота всех хрящей составляет около четверти длины всего позвоночного столба (не считая крестцовой кости и копчика).

Межпозвоночные хрящи прочно соединяют тела позвонков между собой, вместе с тем они допускают известную подвижность и играют роль эластических подушек.

Межпозвоночные хрящи выдерживают вес вышерасположенных отделов тела, демпфируют, в силу своего строения, ударные нагрузки, возникающие при ходьбе, беге, постановке ноги на землю, при приземлении и др.

На среднем распиле позвоночника видно, что размеры тел позвонков увеличиваются в направлении сверху вниз. Можно выделить изгибы позвоночника: в переднезаднем направлении — физиологический лордоз — изгиб, обращенный выпуклостью вперед; физиологический кифоз — изгиб выпуклости назад; и незначительное искривление позвоночника вбок — физиологический сколиоз. Различают: лордозы — шейный и поясничный, кифоз — грудной и крестцовый. Эти изгибы позвоночника возникают у человека в связи с вертикальным положением его тела.

Кости соединяются между собой с помощью:

- 1) непрерывных соединений (соединительной тканью (синдесмозы) и посредством хряща (синхондрозы);
- 2) полусуставов (соединение осуществляется посредством хряща);
- 3) прерывных соединений (суставов, обеспечивающих высокую подвижность всего тела).

Суставы различаются по форме суставных поверхностей и степени подвижности сочленяющихся костей.

Сустав называется *простым*, если в его образовании участвуют две кости, и *сложным*, если его образуют три кости и более.

Сустав включает основные структурные элементы (хрящи, капсулу, суставную полость) и вспомогательные образования (синовиальные складки, внутрисуставные связки, внутрисуставные хрящи, суставные губы, сесамовидные кости).

К простым суставам относят блоковидный сустав. К суставам со сложной кинематикой движения относят, например, коленный сустав.

Наличие синовиальной жидкости в суставе, ее физико-механические свойства и свойства хряща обеспечивают функциональную конгруэнтность суставных поверхностей при локомоциях (движениях). Питание внутрисуставного хряща происходит за счет интерстициальной и синовиальной жидкостей. Синовиальная жидкость обладает важными свойствами для функционирования сустава (суставов), например, для обеспечения высокой упругости. От наличия синовиальной жидкости в суставе и ее свойств зависят функции сустава.

Подвижность кинематических цепей обеспечивается работой мышц. Равнодействующая мышечных сил действует на кости, вращающиеся вокруг осей суставов.

## **КИНЕМАТИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ СКЕЛЕТА ЧЕЛОВЕКА**

Движение в суставах обеспечивается парой функциональных рабочих групп мышц: одноостные суставы обслуживает одна пара (две функциональные группы мышц); двухостные — две пары (четыре группы мышц); трехостные — три пары (шесть групп мышц).

Локомоторные движения осуществляет нервно-мышечный аппарат (НМА).

Для анализа движений и исследования их динамики необходимо знать размеры тела человека и отдельных его частей. Они измеряются в зависимости от пола, возраста, вида деятельности и др.

В анатомо-физиологической практике принята классификация движений в суставах, связанных с осями плоскостей. Различают движения:

- 1) вокруг фронтальной оси (сгибание, разгибание);
- 2) вокруг сагиттальной оси (отведение, приведение);
- 3) вокруг продольной оси (вращение внутрь и вперед, вращение наружу).

Круговое движение совершается при переходе движения с одной оси на другую. При анализе движений в суставе необходимо учитывать ограничения на эти движения.

## **ГРУДНАЯ КЛЕТКА**

Грудную клетку образуют 12 грудных позвонков, 12 пар ребер с их хрящами, грудина и сложный связочный аппарат. Форму грудной клетки сравнивают с усеченным конусом, основание которого обращено книзу.

Через верхнее отверстие грудной полости проходят: дыхательное горло, пищевод, кровеносные сосуды и нервы. Нижнее отверстие закрыто грудобрюшной

преградой — диафрагмой — тонкой мускульно-сухожильной пластиной, отделяющей грудную полость от брюшной. Полость грудной клетки содержит сердце и легкие с их серозными оболочками.

Форма и размеры грудной клетки подвержены значительным индивидуальным колебаниям, крайние степени которых граничат с патологическими состояниями.

С пятнадцатилетнего возраста начинают обрисовываться половые различия. У мужчины размеры грудной клетки больше, она имеет большее сходство с конусом, у женщин разница в диаметре верхней и нижней частей не так велика, грудная клетка короче и закругленнее.

Упругость грудной клетки в пожилом возрасте уменьшается (реберные хрящи омеляются, подвижность ослабевает, грудная клетка становится более длинной и плоской).

## СКЕЛЕТ КОНЕЧНОСТЕЙ ЧЕЛОВЕКА

Скелет каждой конечности разделяется на пояс и свободный отдел. Пояс расположен в пределах туловища, является для конечностей опорой и соединяет их свободный отдел со скелетом туловища.

*Пояс верхней конечности* состоит из двух отдельных парных костей — ключицы и лопатки.

*Свободный отдел* состоит из трех частей: проксимальной (плечо), средней (предплечье) и дистальной (кость).

*Пояс нижней конечности* образован с каждой стороны одной тазовой костью. Тазовая кость сочленяется с крестцом и с ближайшей костью свободного отдела конечности (бедренной костью).

*Свободный отдел* состоит из трех частей: проксимальной (бедро), средней (голень) и дистальной (стопа).

Кости человеческого тела соединяются между собой посредством плотной волокнистой соединительной ткани, эластической ткани и хряща.

Все соединения костей можно разделить на две группы:

- ♦ в первой связующая ткань представляет сплошную прослойку между костями; это непрерывные соединения — *синартрозы*, большей частью малоподвижные или неподвижные; подвижность их определяется растяжимостью той ткани, которая соединяет кости;
- ♦ вторую группу составляют прерывные соединения, более или менее подвижные, — сочленения, или *суставы*; здесь в ткани, соединяющей кости, имеется полость, непрерывность связи между костями нарушается.

Некоторые кости, например позвонки, связаны между собой различными видами соединений, среди которых — суставы, синхондрозы, синдесмозы.

Следует отметить, что суставы верхней конечности отличаются большей свободой и разнообразием движений, суставы нижней конечности весьма подвижны при меньших степенях свободы в некоторых из них (например, в тазобедренном по сравнению с плечевым или в голеностопном по сравнению с лучезапястным и т.п.).

Нижние конечности человека служат для опоры и передвижения тела, а верхние, свободные от этой работы, развились в орган трудовой деятельности.

Кроме скелета, система органов движения включает следующее.

1. Мышца соединяется с костью сухожилием, посредством вставания коллагеновых волокон в надкостницу или надхрящницу либо непосредственно в кость или хрящ. Сухожилия обеспечивают не только крепление мышц к костям, но также передачу мышечных усилий.
2. Прочность сухожилия при растяжении достигает 44–67 МПа, хотя для дельтовидного сухожилия было получено значение разрушающего напряжения порядка 0,6 МПа.
3. Поперечнополосатые мышцы теснейшим образом (анатомически и физиологически) связаны со скелетом, образуя вместе с ним систему органов опоры и движения.
4. Общее число скелетных мышц в теле человека — более 600. Масса их составляет у женщин до 28–35% массы тела, у мужчин — до 40–45%, у спортсменов — 55–65%. Приблизительно 50% общей массы скелетных мышц приходится на нижние конечности, 30% — на верхние и 20% — на мышцы головы и туловища.
5. Скелетные мускулы, которые начинаются от костей (иногда от фасций и их производных), к костям и прикрепляются.

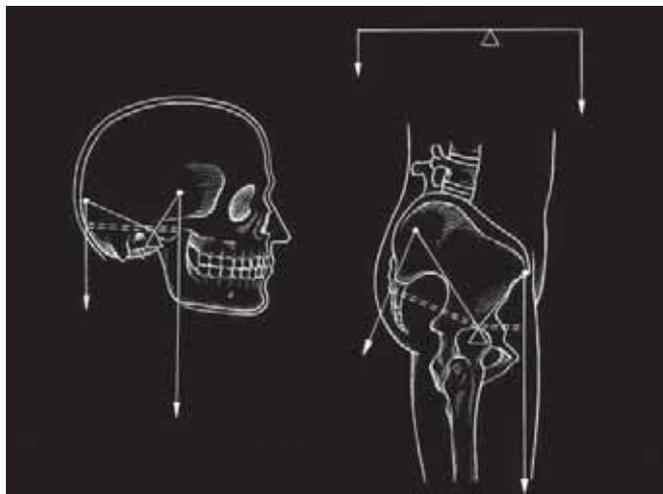
Важным является вспомогательный аппарат мышц, включающий фасции, синовиальные сумки, влагалища сухожилий, блоки мышц, сесамовидные кости.

*Фасции* — фиброзные оболочки, покрывающие мышцы и отдельные группы мышц. Они выполняют опорную функцию, крепятся к кости, образуя фасциальные футляры.

*Синовиальные сумки* — тонкостенные изолированные мешочки, не связанные с полостью сустава и содержащие синовиальную жидкость.

*Влагалища сухожилий* — защитные приспособления сухожилий мышц в местах их наиболее тесного прилегания к кости (в области кисти или стопы). Они уменьшают трение, облегчая работу мышц.

Обычно мышцы действуют на кости, соединенные между суставами, так что получается тот или иной род рычага. Особенно ясно выражено это на конечностях: здесь длинные кости образуют систему легких и прочных рычагов и представляют обширную поверхность, где прикрепляется высококодифференцированная мускулатура.

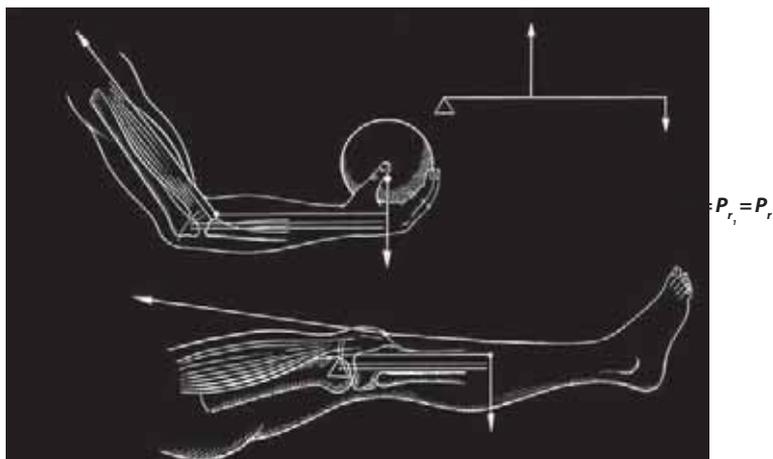


**Рис. 1.** Рычаги первого рода:  $P$  — вектор частичного центра тяжести;  $M$  — вектор приложения мышечной силы;  $r$  и  $r_1$  — плечи рычагов

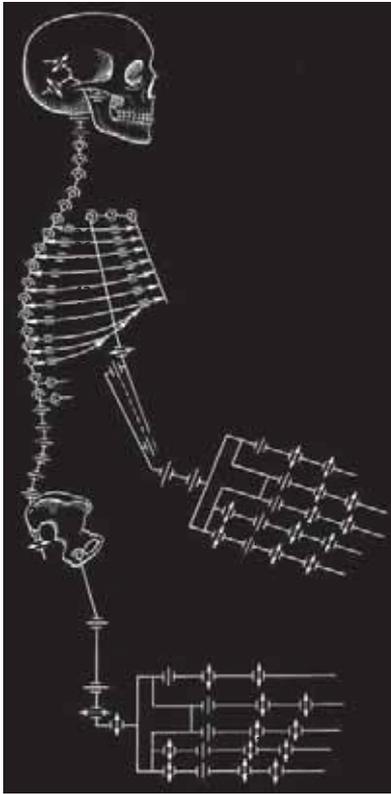
Примером рычага первого рода может служить работа мышц при удержании головы или тела в тазобедренном суставе (рис. 1).

При удержании груза в руке, согнутой в локтевом суставе, образуется рычаг второго рода (рис. 2).

В механике подвижное соединение двух звеньев, находящихся в непосредственном соприкосновении, называют кинематической парой. Кинематические пары могут быть вращательными и поступательными. В зависимости от числа ограничений, накладываемых на движение, звенья могут совершать от одного до пяти движений. В человеческом организме число независимых движений



**Рис. 2.** Рычаги второго рода:  $P$  — вектор частичного центра тяжести;  $M$  — вектор приложения мышечной силы;  $r$  и  $r_1$  — плечи рычагов



*Рис. 3. Структурная схема опорно-двигательного аппарата человека (по А. Morecki и др., 1981)*

костей в суставах может составлять от одного до трех.

На рис. 3 показана кинематическая схема ОДА человека, на которой кости представлены в виде звеньев кинематической цепи, а суставы — в виде кинематических пар.

При исследовании движений человека широко применяют кинематические модели на основе уравнений движения системы твердых тел, которые соответствуют отдельным сегментам тела по геометрическим и масс-инерционным характеристикам; элементы модели соединяются вращательными шарнирами, диапазоны поворотов которых соответствуют амплитудам угловых движений суставов; механические связи модели с окружающей средой часто заменяют действием сил реакции, что позволяет сохранять структуру модели при различных движениях.

Важной особенностью таких биомеханических моделей является их ветвящаяся структура. Отсчет координат может начинаться от различных элементов, в зависимости от того, какие из них находятся в контакте с опорой.

В зависимости от целей исследования можно условно разделить модели такого типа на две группы: кинематические и динамические (Образцов И.Ф. и др., 1983).

*Кинематическими* называют модели, предназначенные для описания движений тела человека и дающие зависимости угловых и линейных перемещений (скоростей, ускорений) отдельных его точек в функции времени.

*Динамические* модели позволяют оценивать распределение сил, напряжений и деформаций в различных сегментах, структурах и тканях тела человека, в частности, для модельной оценки переносимости различных динамических воздействий.

## КИНЕМАТИКА ОПОРНО-ДВИГАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Рассмотрим кинематику руки человека. С точки зрения биомеханики верхняя конечность может быть смоделирована многозвенным пространственным меха-

низмом. Эта система имеет семь степеней свободы. Плечевой сустав является шаровидным, т.е. имеет три степени свободы, он представлен эквивалентной схемой одноосных шарниров, оси вращения которых пересекаются в одной точке.

Анализируя угловые перемещения, скорости и ускорения звеньев руки при исполнении различных целенаправленных движений типа «возьми–поставь», можно оценивать качественно и количественно процесс реабилитации пациента или использование протеза. Естественно, при построении кинематической схемы и анализе движений нужно учитывать антропометрические данные и ограничения, налагаемые на движения в суставах.

Движение нижней конечности в фазе опоры моделирует двухзвенный механизм. Такая схема позволяет определить перемещение мгновенного центра вращения бедра. Считается, что плоское движение нижней конечности происходит в сагиттальной плоскости вокруг оси голеностопного сустава, остающейся неподвижной.

Обобщенные координаты задают как функцию времени по результатам экспериментальных наблюдений.

Тело человека представляет собой сложную биомеханическую систему, которая в повседневной жизни может испытывать значительные ускорения. При этом возникают усилия, которые могут приводить к нарушению координации движений, травмам и прочим изменениям в тканях опорно-двигательного аппарата (ОДА).

Исследования движений человека аналитическими методами механики проводятся с помощью моделей различной сложности, заменяющих ОДА и воспроизводящих реальную картину движений со степенью точности, достаточной для поставленных в процессе исследований задач.

Сочленения звеньев тела можно моделировать геометрически идеальными вращательными шарнирами.

Чтобы воспроизвести движения тела человека в моделях из максимально возможных шести измеряемых движений для каждого твердого звена, когда оно не присоединено к соседним звеньям (трех поступательных и трех вращательных относительно трех координатных осей, фиксированных на соседнем звене), при наложении кинематических связей исключаются все поступательные и остаются лишь вращательные движения, причем нередко допускаются только некоторые вращательные движения из трех возможных. Все остальные вращательные движения составляют степени свободы звеньев. Так, подвижность руки относительно плечевого пояса оценивается семью степенями свободы.

Различают две задачи динамики.

При решении *первой задачи* полагают, что известны законы движения всех звеньев (обобщенные координаты), и определяются суставные моменты и динамические нагрузки в суставах. Этот расчет позволяет оценить прочность, жесткость и надежность исследуемой системы.

*Вторая задача* динамики заключается в определении динамических ошибок — отклонений параметров движения от заданных. Известными считаются внешние силы и находятся закономерности движения.

При решении задач динамики необходимо выбрать и обосновать динамическую расчетную схему. Важную роль в таком построении играет моделирование воздействий внешних факторов, в том числе — трения, материала и др. Затем строят математическую модель, соответствующую динамической расчетной схеме.

При построении динамических расчетных схем тела человека актуальным является определение масс-инерционных характеристик (МИХ) сегментов тела: масс, моментов инерции, координат центров масс отдельных сегментов (частей) тела.

Границы сегментов выбирают таким образом, чтобы внутри сегмента отсутствовала деформация или произвольное изменение геометрии масс.

Обычно выделяют следующие сегменты: стопу, голень, бедро, кисть, предплечье, плечо, голову, верхний, средний и нижний отделы туловища.

Оценку масс-инерционных параметров выполняют как прямыми методами (погружение в воду, сечение трупов, компьютерная томография и др.), так и с использованием методов математического и физического моделирования.

В последние годы наиболее удобным методом является *метод геометрического моделирования*. Метод достаточно прост — для его выполнения необходимы антропометрические измерения (10 обхватов и 10 длин). Минимум ошибок прогнозируется для МИХ отдельных сегментов за счет введения индивидуальных коэффициентов квазиплотности.

Кроме того, используют метод определения МИХ по уравнению регрессии, с использованием массы ( $X_1$ ) и длины тела ( $X_2$ ):  $Y = V_0 + V_1 \times X_1 + V_2 \times X_2$ .

*Антропометрические характеристики* определяют геометрические размеры тела человека и отдельных его сегментов — эти величины зависят от возраста, пола, национальности, рода занятий и т.п.

Динамические антропометрические характеристики используют для оценки объема рабочих движений, зон досягаемости и в других биомеханических и эргономических задачах, в частности при создании антропометрических манекенов.

*Антропометрическая норма* определяет связь между линейными размерами сегмента тела человека и его ростом. Для целей количественной оценки введена величина, называемая *парсом* (П), равная 1/56 роста человека. В парсах выражены длины поперечников всех сегментов тела.

При ампутации происходит потеря массы тела, а при параличе — изменение положения центра масс тела. Чем выше уровень ампутации, тем более выражены изменения. Это особенно важно для расчета схем построения протезов и аппаратов для инвалидов.

# ГЛАВА 1

## ПОЗВОНОЧНИК

Несмотря на то что позвоночник имеет сложное строение, его рассмотрение расположено в книге до описания конечностей по причине его важности, как поддерживающей и связующей структуры. Изучение структуры и функций позвоночного столба формирует основу для понимания того, как связаны друг с другом различные элементы скелетно-мышечной системы, и для понимания функционирования всего организма.

### 1.1. ОБЩЕЕ СТРОЕНИЕ И ФУНКЦИИ

Взаимосвязь между структурой и функцией в теле человека четко просматривается при изучении позвоночника. Его структурные элементы и системы связи, объединяющие их, позволяют позвоночнику выполнять множество функций.

Позвоночник поддерживает голову и внутренние органы, является основой для прикрепления связок, костей и мышц конечностей, грудной клетки и таза; связывает верхние и нижние конечности и обеспечивает подвижность туловища. Кроме того, позвоночник служит средством защиты спинного мозга.

Некоторые из этих функций требуют структурной устойчивости, некоторые — подвижности. Структурные требования к устойчивости часто противостоят требованиям к подвижности, соответственно, структура, способная отвечать этим требованиям, является комплексной. Каждый из отдельных, но взаимозависимых компонентов позвоночного столба предназначен для того, чтобы участвовать в целостной функции всего позвоночника, но при этом выполнять и специфические задачи.

#### 1.1.1. СТРОЕНИЕ

Позвоночник делится на следующие пять отделов: шейный, грудной, поясничный, крестцовый и копчиковый (рис. 1.1).



Рис. 1.1. Пять отделов позвоночника

Позвоночник новорожденного — это одна длинная кривая, с выпуклостью кзади. Если же смотреть сбоку на позвоночник взрослого человека, хорошо видны четыре отдельных изгиба в переднезаднем направлении (рис. 1.4).

Два изгиба (грудной и крестцовый), которые сохраняют исходную выпуклость кзади в течение всей жизни, называются *первичными изгибами*, а два изгиба (шейный и поясничный), которые оказываются инверсивными по отношению к исходной задней выпуклости, называются *вторичными изгибами*.

Изгибы с выпуклостью кзади (передняя вогнутость) называются *кифозами*, изгибы с передней выпуклостью (задней вогнутостью) — *лордозами*. Вторичные изгибы, или лордозы, развиваются частично в результате приспособления скелета к вертикальному положению.

Верхний вторичный изгиб в шейном отделе может возникать у плода уже на седьмой неделе беременности, поскольку начинают развиваться

Позвоночник состоит из 33 коротких костей, называемых позвонками, и из 23 межпозвоночных дисков. Позвонки в целом имеют похожую структурную композицию, но имеют региональные различия в размерах и конфигурации. Размер позвонков увеличивается от шейного отдела к поясничному и уменьшается от крестцового к копчиковому (рис. 1.2).

Двадцать четыре позвонка у взрослых являются отдельными образованиями. Семь позвонков находятся в шейном отделе, 12 — в грудном и пять — в поясничном отделе.

Пять позвонков срастаются и образуют крестец, оставшиеся четыре образуют копчиковые позвонки.

**Первичные и вторичные изгибы.** Если смотреть на позвоночный столб сзади, его отделы представляют собой вертикальную линию, которая делит туловище пополам (рис. 1.3).

Если смотреть на позвоночник сбоку, хорошо заметны несколько изгибов, которые варьируются с воз-

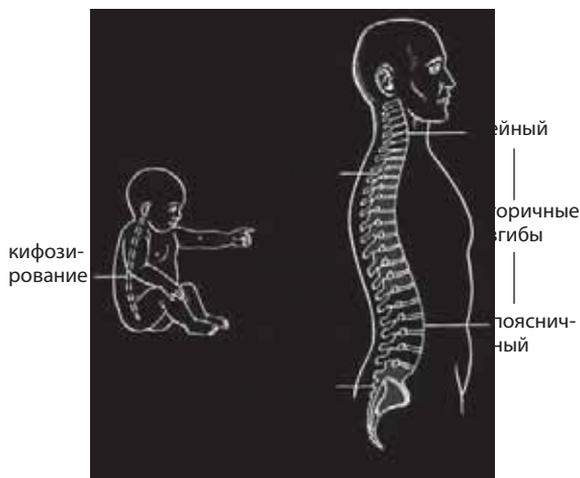


Рис. 1.2. Увеличение размера позвонков от головы вниз (от шейного отдела к поясничному). Уменьшение размера позвонков начинается с первого крестцового позвонка и идет до последнего копчикового

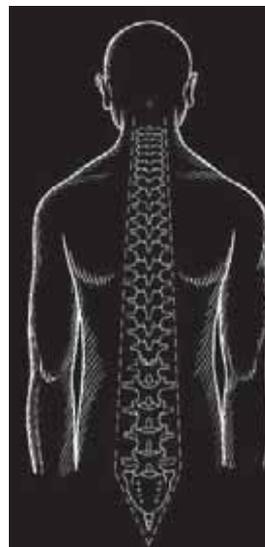
мышцы, отвечающие за разгибание головы. Этот изгиб продолжает развиваться и тогда, когда ребенок начинает держать голову. Нижний вторичный изгиб развивается, когда ребенок начинает ходить и держать туловище вертикально. Эти изгибы продолжают формироваться вплоть до прекращения роста, который заканчивается примерно к 12–17 годам.

Изгибы взаимосвязаны, и если голова должна оставаться в уравновешенном положении и над крестцом, то регион между головой и тазом ведет себя как часть замкнутой кинематической цепи. Изменения положения любого сегмента вызывают изменения положения прилегающих верхних или нижних сегментов.

**Сочленения.** В позвоночнике имеются два основных типа суставов: хрящевые суставы типа *симфиза* между телами позвонков и находящиеся между ними диски и истинные, или синовиальные, суставы между зигапофизарными суставными площадками (фасетками), расположенными на верхних суставных отростках одного позвонка и зигапофизарными фасетками на нижних суставных отростках соседнего верхнего позвонка.



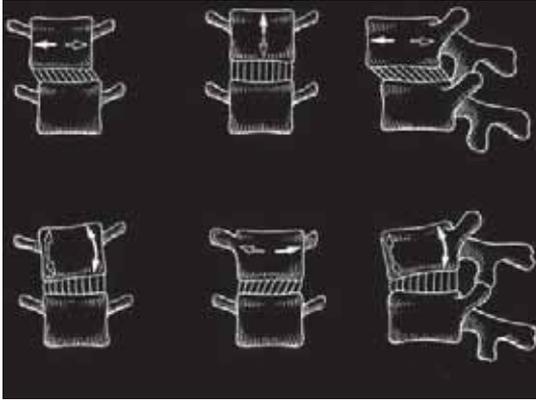
**Рис. 1.4.** Первичные и вторичные изгибы (затемненные области показывают первичные изгибы)



**Рис. 1.3.** Сзади позвоночник выглядит как вертикальная линия, разделяющая туловище на две симметричные части

Суставы между телами позвонков и дисками называются *межпозвоночными суставами*. Суставы между зигапофизарными фасетками называются *зигапофизарными* (апофизарными или фасетными) *суставами*. Все зигапофизарные суставы, за исключением сустава между двумя первыми шейными позвонками, являются плоскими синовиальными суставами.

Синовиальные суставы также имеются там, где позвоночник сочленяется с ребрами (см. главу 2), черепом и тазом в крестцово-подвздошных суставах.



**Рис. 1.5.** Смещения и ротации одного позвонка относительно соседнего: *a* — боковое смещение (скольжение) происходит во фронтальной плоскости; *b* — верхнее и нижнее смещение (осевое растяжение и сжатие) идут по вертикали; *c* — переднезаднее смещение выполняется в сагиттальной плоскости; *d* — ротация из стороны в сторону (качание) во фронтальной плоскости идет вокруг переднезадней оси; *e* — ротация происходит в поперечной плоскости вокруг вертикальной оси; *f* — переднезадняя ротация (качание) выполняется в сагиттальной плоскости вокруг фронтальной оси

В целом движение между двумя позвонками в межпозвоночных суставах предельно ограничено и представляет собой небольшое скольжение (смещение) и ротацию. По White и Punjabi, позвонок может двигаться по отношению к соседнему в шести разных направлениях (три смещения и три ротации), по трем осям и вокруг них (рис. 1.5, *a-f*).

Суммарные эффекты этих мелких смещений и ротаций в серии позвонков создают достаточно большую амплитуду движения (АД) позвоночного столба в целом. Движения, которые может выполнять весь позвоночник, можно уподобить движениям сустава с тремя степенями свободы

в сгибании, разгибании, боковом сгибании и ротации.

Вместе с тем движения позвончика часто являются *сопряженными*. *Сопряжение* определяется как устойчивая ассоциация одного движения по одной оси с другим движением — вокруг другой оси.

Например, когда поясничный отдел выполняет осевую ротацию, он сгибается во фронтальной и сагиттальной плоскостях (осевая ротация сопряжена с боковым сгибанием и сгибанием вперед). Другой пример сопряженного движения — боковое сгибание, которое сопровождается осевой ротацией и сгибанием вперед. Паттерны сопряжения, равно как типы и число доступных движений, различны в разных отделах и зависят от позы позвоночника и изгибов, ориентации суставных фасеток, текучести, эластичности и толщины межпозвоночных дисков и растяжимости мышц, связок, суставов и суставных капсул.

Поясничный лордоз и собственные механические свойства позвоночника имеют примерно равный эффект при прогнозе сопряжения между осевой ротацией и боковым сгибанием. Сам по себе поясничный лордоз объясняет сопряженное сгибание, ассоциированное с латеральным сгибанием. Паттерны сопряженных движений приводятся в табл. 1.1.

Таблица 1.1

**Паттерны сопряжения**

Позвоночный сегмент	Движение позвоночника	Сопряженное движение
Средний шейный (C2–C5)	Боковой наклон влево	Ротация влево и наклон вперед
Нижний шейный (C5–T1)		
Верхний грудной (T1–T4)		
Средний грудной (T4–T8)	Боковой наклон влево	Значительные индивидуальные вариации, ротация может происходить как вправо, так и влево. Наклон вперед
Нижний грудной (T8–L1)		
Верхний поясничный (L1–L4)	Боковой наклон влево	Ротация вправо и наклон вперед
Нижний поясничный (L4–L5)		
Пояснично-крестцовый (L5–S1)		Ротация влево

**Типичные позвонки.**

Структура типичного позвонка состоит из двух основных частей: передней — тела позвонка цилиндрической формы (рис. 1.6, а) и задней — позвоночной дуги неправильной формы (рис. 1.6, б).

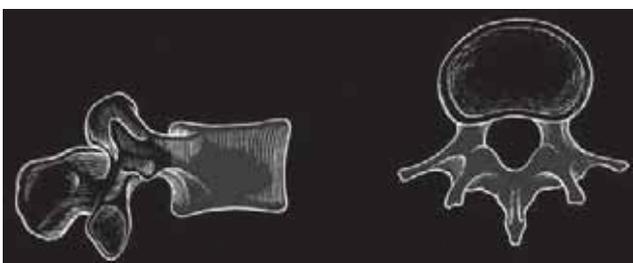


Рис. 1.6. а — передняя часть позвонка называется телом позвонка; б — задняя часть — дугой позвонка

Тело позвонка состоит из блока *трабекулярной*, или пористой, кости, который покрыт слоем *корковой* кости. По результатам исследования, проведенного Wu и Chen, нагрузки, приходящиеся на раковину из корковой кости, всегда много выше, чем

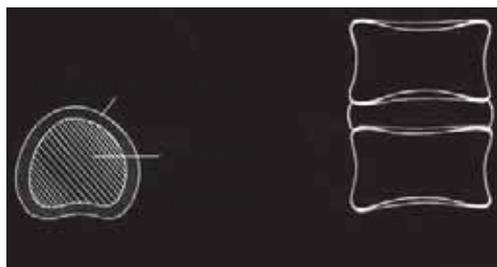
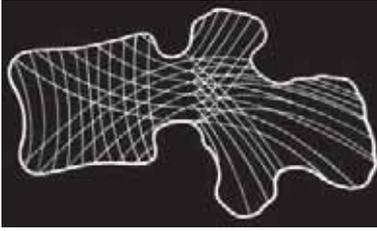


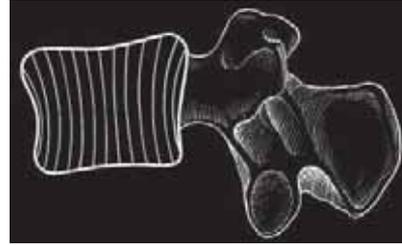
Рис. 1.7. Хрящевые концевые и эпифизарные пластинки расположены на верхних и нижних плато позвонка

нагрузки на трабекулярную кость. Также нагрузки, испытываемые телом позвонка, всегда больше спереди, чем сзади. Корковая оболочка верхних и нижних поверхностей, или *плато*, утолщается вокруг кольца, где располагаются эпифизарные площадки, и в центре слоя *гиалинового хряща*, называемого хрящевой концевой пластинкой (рис. 1.7).

В пористой кости находятся вертикальные, косые и горизонтальные трабекулярные системы, которые соответствуют нагрузкам, приходящимся на тело позвонка (рис. 1.8).



**Рис. 1.8.** Схематическое изображение внутренней архитектуры позвонка. Разные трабекулы организованы по линиям передачи усилия



**Рис. 1.9.** Вертикальные трабекулы тел позвонков организованы так, чтобы оказывать сопротивление компрессионным силам

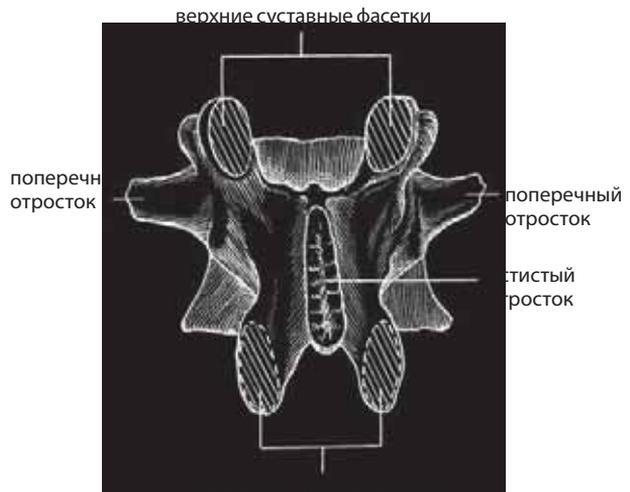
Вертикальные системы помогают удерживать вес тела и сопротивляться компрессионным силам (рис. 1.9).

Другие трабекулярные системы помогают сопротивляться срезающим силам. Когда трабекулярные системы рассматриваются вместе (см. рис. 1.8), хорошо просматривается область слабости в передней части тела, а сильные области видны там, где трабекулы пересекаются. Область слабости является потенциальной зоной коллапса позвонков (компрессионный перелом).

Дуга позвонка является более сложной структурой, чем тело, потому что имеет больше проекций, включая три несуставных отростка и четыре суставных отростка (рис. 1.10, 1.11).

Три несуставных отростка, два поперечных и один остистый, создают места прикрепления связок и мышц. Два поперечных отростка делят дугу на переднюю и заднюю части. Части дуги, расположенные впереди от поперечных отростков, называются *ножками*. Ножки прикрепляют дуги к правым и левым задним верхним стенкам тела позвонка. Части дуги сзади от поперечных отростков составляют пластинки. Задние части пластинок, расположенные между верхними и нижними суставными отростками с каждой стороны, называются *межсуставными частями*.

Это зона, в которой встречаются вертикально ориентированная пластинка и горизонтально ориентированная



**Рис. 1.10.** Грудной позвонок (вид сзади)

ножка. Корковая кость в этой области обычно утолщена, чтобы выдерживать нагрузки, созданные изменениями направлений сил, которые возникают в этой области.

Пластинки соединяются и образуют пик дуги и продолжают кзади, образуя остистый отросток. Трабекулярные системы позвоночной дуги распространяются в тело позвонка, и область, в которой возникают поперечные и суставные отростки, усиливаются многими перекрещивающимися трабекулами (см. рис. 1.8).

Парные верхние и нижние зигапофизарные (дугоотростчатые) суставные отростки выходят из пластинки и поддерживают суставные поверхности, называемые *зигапофизарными фасетками*, или просто *фасетками*.

Для некоторых позвонков были идентифицированы половые различия строения. McLaughlin и Oldale обнаружили это, измеряя диаметры позвонков T11, T12 и L1, по которым они могли предсказать пол человека с точностью до 89%.

**Межпозвоночный диск.** Межпозвоночные диски, на которые приходится от 20 до 33% всей длины позвоночного столба, увеличиваются в размерах от шейного отдела к пояснице.

Толщина дисков варьирует от примерно 3 мм в шейном отделе до 9 мм в поясничном отделе. Хотя диски крупнее всего в поясничном отделе, а самые маленькие — в шейном, отношение толщины диска к высоте тела позвонка наибольшее в шейном и поясничном отделах и наименьшее — в грудном. Чем больше такое отношение, тем выше подвижность, и, таким образом, диски в шейном и поясничном отделах способствуют большей подвижности в них по сравнению с грудным отделом. Естественные вариации высоты дисков связаны с относительно небольшими различиями в механической функции. Вместе с тем вторичное сужение диска, вызванное дегенеративными изменениями, связано с серьезными изменениями механической функции.

Диск состоит из двух частей: центральной, называющейся *пульпозным ядром*, и периферической части — *фиброзного кольца* (рис. 1.12).

Состав ядра и кольца одинаков — оба они состоят из воды, коллагена и протеогликанов. Но относительные пропорции этих субстанций и типов коллагена

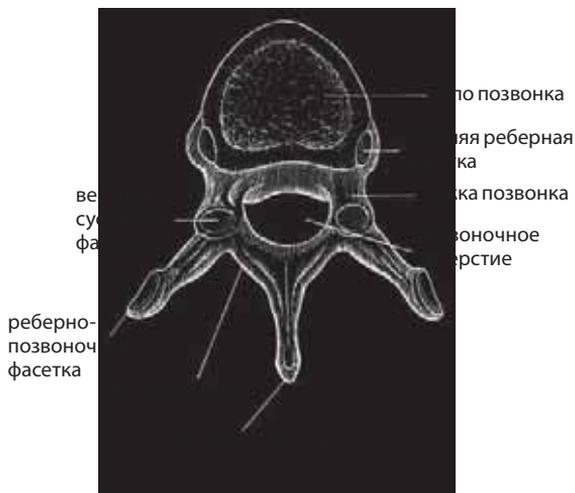
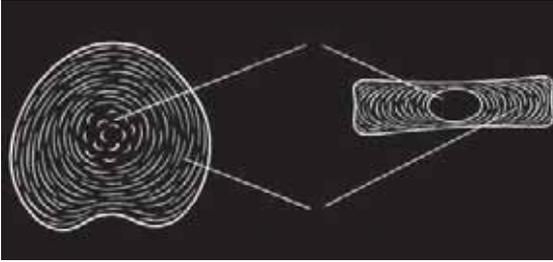


Рис. 1.11. Грудной позвонок (вид сверху)



*Рис. 1.12. Студенистое (пульпозное) ядро полностью заключено в оболочку, которую образуют волокна фиброзного кольца*

в разных частях диска неодинаковы. Концентрация воды и ПГ больше в ядре и меньше в наружном кольце, и, напротив, в наружном кольце выше концентрация коллагена и ниже — в ядре.

Сводка по составу диска приведена в табл. 1.2.

**Студенистое ядро** у молодых здоровых взрослых состоит из матрицы, которая содержит следующие

глюкосарниногликаны: хондроитин-6-сульфат, хондроитин-4-сульфат, кератинсульфат и гиалуронат.

Когда глюкосарниногликаны связываются с белками, они образуют крупные молекулы (ПГ). Молекулы ПГ обладают способностью притягивать и удерживать воду. Эта способность связана с концентрацией хондроитина-4-сульфата в молекуле: если концентрация хондроитина-4-сульфата высока, диск обладает высокой способностью притяжения и удерживания жидкости.

Содержание жидкости и состав диска меняются с возрастом. У новорожденного содержание жидкости в студенистом ядре составляет примерно 88% веса. У человека в возрасте 77 лет содержание жидкости всего 65% от веса студенистого ядра.

На содержание жидкости оказывают влияние состав диска (отношение ПГ/коллаген) и оказываемая нагрузка. Диски с высоким отношением ПГ/коллаген (молодые) содержат больше жидкости, чем старые дегенеративные диски с низким отношением ПГ/коллаген. В случае равной нагрузки процентное содержание жидкости будет выше в дисках с более высоким отношением ПГ/коллаген. Содержание жидкости в любом диске может существенно меняться в течение дня, потому что диск, в случае постоянной нагрузки в течение нескольких часов, теряет много жидкости.

В межпозвоночных дисках обнаружено семь различных типов коллагена, однако доминирующими являются типы I и II.

Коллаген типа I обычно находится в тканях, которые предназначены для сопротивления силам растяжения, т.е. коже, сухожилиях и связках.

Коллаген типа II находится в высоких концентрациях в тканях, от которых требуется сопротивление сжатию.

Общее количество коллагена в диске постепенно увеличивается от 6–26% сухого веса в центре студенистого ядра до 70% во внешнем кольце. Типы коллагена тоже варьируют от ядра к кольцу, а также могут быть различными в разных частях кольца. В студенистом ядре содержится преимущественно коллаген типа

Таблица 1.2

**Состав межпозвоночного диска**

Вещество	Студенистое ядро	Фиброзное кольцо
Вода	70–90% — варьирует с возрастом, 65% — у 77-летнего человека, 88% — у новорожденных	60–70%
Протеогликаны	65% сухого веса	20% сухого веса
Коллаген (всего)	15–20% сухого веса 6–25% сухого веса	50–60% сухого веса 70% сухого веса
Тип I	В центральной части ядра отсутствует или содержится в очень малых количествах	Основной тип в наружном кольце
Тип II	15–20% сухого веса	Небольшие количества во внутреннем и внешнем кольцах
Тип III	Следы	Небольшие количества во внутреннем кольце
Тип V	Отсутствует	В небольших количествах, связан с типом I
Тип VI	Небольшое количество	Небольшое количество
Тип IX	Небольшое количество	Небольшое количество
Тип XI		В небольших количествах, связан с типом I
Эластин	Небольшое число волокон	10%
Клетки	Хондроциты	Хондроциты во внутреннем кольце и фиброциты во внешнем кольце

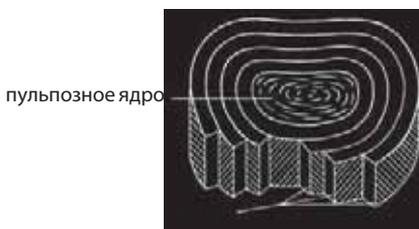
II, который у молодого здорового взрослого человека составляет от 15 до 20% сухого веса студенистого ядра. Фиброзное кольцо, которое подвергается как нагрузкам растяжения, так и сжатия, содержит коллаген типов I и II, но преимущественно — коллаген типа I.

**Фиброзное кольцо**

Коллагеновые волокна фиброзного кольца организованы в виде листков, называемых *пластинками*, или *ламеллами* (рис. 1.13).

Пластинки располагаются в виде концентрических кругов и полностью закрывают ядро. Коллагеновые волокна в прилегающих друг к другу кольцах ориентированы в противоположных направлениях, под углом 120° друг к другу.

Нагрузочное тестирование волокон кольца, взятых из поясничных позвонков,



**Рис. 1.13.** Схематическое изображение межпозвоночного диска, показывающее организацию пластинок фиброзного кольца. Коллагеновые волокна двух соседних концентрических полос, или листков (ламелл), ориентированы в противоположных направлениях. Передние части пластинок удалены, чтобы показать ориентацию коллагеновых волокон

показало, что средние волокна поясничного фиброзного кольца жестче и выходят из строя при более низких нагрузках, чем волокна из наружного и внутреннего отделов. Тестирование также показало, что поведение волокон кольца при радиальном растяжении является нелинейным.

Волокна кольца крепятся к хрящевым концевым пластинкам на верхних и нижних позвоночных плато соседних позвонков и к области эпифизарного кольца при помощи *волокон Шарпи*.

Созревание, старение и болезнь, нормальные и аномальные нагрузки на диск могут оказывать влияние на распределение и относительные пропорции коллагена типа I и II в кольце. У подростков и молодых взрослых людей концентрация коллагена типа I выше во внешней части кольца и меньше у студенистого ядра. Концентрация коллагена типа II является наименьшей во внешней части кольца и прогрессивно возрастает к студенистому ядру.

При созревании и старении большая пропорция коллагена типа II относительно типа I обнаруживается во внешних частях кольца передней части диска, в задней же его части наблюдается обратная картина. Причины этих изменений относительных пропорций типов коллагена в поясничных позвонках еще не выяснены. Были также обнаружены изменения распределения двух типов коллагена в фиброзных кольцах, расположенных в верхушках аномальных изгибов позвоночного столба.

В дисках пациентов с аномальными изгибами позвоночника наблюдаются различия распределения коллагена типов I и II на противоположных сторонах диска. Стороны дисков на вогнутой стороне изгиба (которая подвержена компрессии) имеют больше волокон типа I, чем диски на выпуклой стороне изгиба. На сторонах дисков на выпуклой стороне изгиба (которая более подвержена растяжению) наблюдается уменьшение пропорции коллагена типа I на внешней части кольца.

Эти изменения оказываются противоположными тому, что можно было бы ожидать (стороны дисков, подверженные компрессии, должны были бы содержать больше коллагена типа II, тогда как стороны дисков, подверженные натяжению, — больше коллагена типа I).

Причины таких изменений до сих пор остаются неизученными. Некоторые исследователи выдвинули гипотезу о том, что эти изменения могут представлять собой перестройку коллагена в диске в ответ на изменение механической нагрузки. Альтернативное объяснение заключается в том, что подобное распределение коллагена предшествовало развитию изгиба и само по себе могло оказаться причиной образования аномального искривления.

**Иннервация и питание.** В шейном и поясничном отделах наружная треть кольца иннервируется ветвями вертебральных и синовертебральных нервов. Синувертебральный нерв также иннервирует околодискую соединительную

ткань и специфические связки, связанные с позвоночным столбом. До ядра, как было обнаружено, не доходят ни нервы, ни сосуды. Полагают, что питание диска осуществляется путем диффузии через центральную часть хрящевой концевой пластинки.

**Позвоночные концевые пластинки** — это тонкие слои хрящевой ткани, которые покрывают верхние и нижние поверхности тел позвонков. Иногда позвоночные концевые пластинки считают частью диска.

Химический состав концевой пластинки аналогичен составу межпозвоночного диска (ПГ, коллаген и вода). Вместе с тем воды в диске содержится больше. Центр пластинки, как и центр диска, содержит больше воды, ПГ и меньше коллагена, чем периферические области.

Коллагеновые волокна концевой пластинки имеют горизонтальную ориентацию и предназначены для того, чтобы выдерживать давление набухания студенистого ядра, которое возникает, когда ядро насыщается водой или подвергается осевой компрессии.

У маленьких детей (от 0 до 6 месяцев) концевые пластинки покрыты множеством мелких отверстий и углублений, которые, как полагают, представляют собой метки от кровеносных сосудов. Отверстия и углубления исчезают ко второму году жизни, и по периферии концевых пластинок начинают развиваться борозды и гребни. Особенно это выражено в поясничном отделе и нижней части грудного отдела. Борозды и гребни развиваются до 18 лет и придают позвонку сходство с зубом.

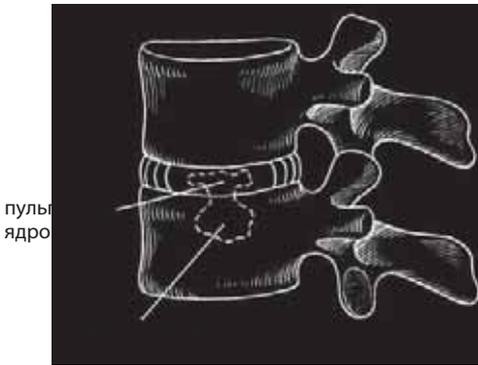
Гребни и борозды исчезают с началом окостенения концевых пластинок. Edeison предположил, что гребни и борозды могут обеспечивать устойчивость к смещению концевых пластинок в тех областях позвоночника, где отсутствуют ребра и крючковатые отростки.

Крючковатые отростки, которые находятся только в шейном отделе, предотвращают заднее смещение одного позвонка по другому и ограничивают боковое сгибание. В возрасте 20–25 лет по периферии концевых пластинок начинают появляться остеофиты, преимущественно в областях наибольших нагрузок, возникающих в позвоночнике (С4/С5, Т9/Т10 и L3/L4).

К 50 годам и далее, по мере старения, в концевых пластинках начинают возникать остеолитические бляшки. Они обнаруживаются чаще всего в шейном отделе и реже — в грудном.

Кроме того, в областях врожденной слабости могут возникать интрузии дисковой ткани в концевую пластинку (узелки Шморля, рис. 1.14).

Эти узелки ослабляют концевые пластинки и могут быть предвестниками коллапса концевой пластинки и дегенерации диска. Узелки неблагоприятно влияют на способность концевой пластинки к сопротивлению давлению набухания ядра.



*Рис. 1.14. Схема узелка Шморля — проникновение вещества ядра в тело позвонка*

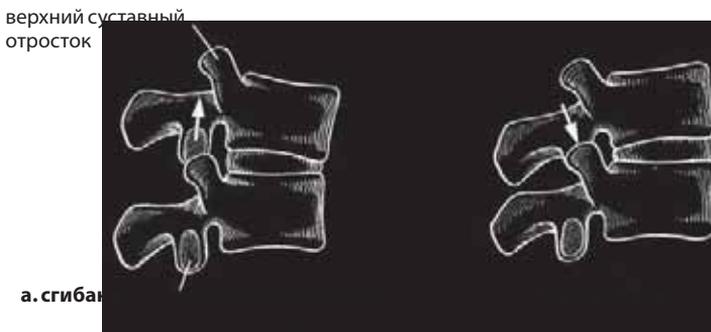
При разрыве и грыже диска дисковое вещество может проходить через концевую пластинку и контактировать с трабекулярной костью тела позвонка. Тогда в зоне контакта может возникать склероз трабекулярной кости.

**Зигапофизарные суставы** состоят из сочленений между правой и левой верхними суставными фасетками позвонка и правой и левой нижними фасетками соседнего верхнего позвонка (рис. 1.15).

Четыре зигапофизарных сустава являются плоскими истинными суставами. В поясничном отделе рудиментарные фиброзные инвагинации дорсальной и вентральной капсул считаются ассоциированными с суставами.

Эти инвагинации могут участвовать в защите суставных поверхностей при сгибании и разгибании. Капсульные связки зигапофизарных суставов в поясничном отделе играют главную роль в сопротивлении сгибанию межпозвоночных суставов.

Зигапофизарные суставы защищают диски поясничного отдела, сопротивляясь слишком сильному усилию срезания. Максимальная минерализация обнаруживается в верхней и нижней грани суставной поверхности, где части сустава остаются в контакте при максимальном сгибании/разгибании.



*Рис. 1.15. Зигапофизарные суставы: а — нижние суставные отростки верхнего позвонка сочленяются с верхними отростками нижнего позвонка. Затрихованная область верхнего позвонка представляет суставную поверхность фасеточного сустава, когда верхний позвонок качается вперед при переднем сгибании позвоночника; б — затрихованы суставные поверхности при качании верхнего позвонка кзади, при разгибании позвоночника. Отметим также сближение остистых отростков и сужение отверстия при разгибании*

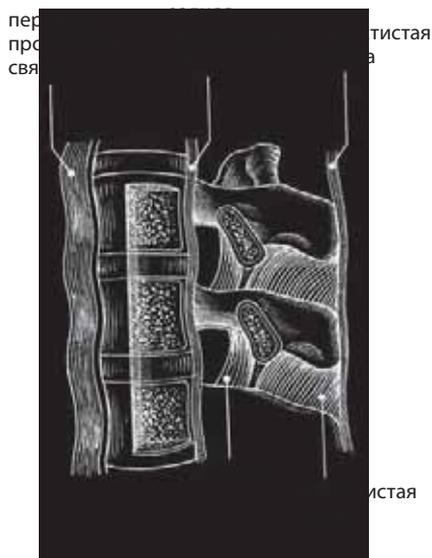
Губчатая кость наиболее латерально удаленных частей верхних суставных отростков имеет характерную архитектуру, которая рассматривается как адаптация к силам сгибания и срезания, действующим на верхний двигательный поясничный сегмент.

**Связки и суставные капсулы.** Позвоночник имеет обширную связочную систему со значительными региональными различиями. С межпозвоночными и зигапофизарными суставами ассоциированы шесть основных связок. Это передняя и задняя продольные связки, желтая связка, а также межостистые, межпоперечные и надостистые связки (рис. 1.16, 1.17).

Все отдельные связки, за исключением передней продольной связки, ориентированы по диагонали относительно длинной оси позвоночника и имеют некоторые региональные различия.

**Передняя и задняя продольные связки** ассоциированы с межпозвоночными суставами. Передняя продольная связка идет по передним и боковым поверхностям тел позвонков от крестца до второго шейного позвонка.

Продолжение связки от С2 до затылка называется *передней атланто-осевой связкой*.

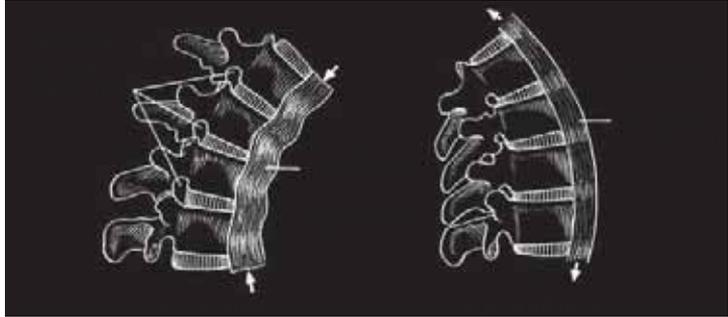


**Рис. 1.16.** Передняя и задняя продольные связки располагаются, соответственно, на передней и задней стороне тела позвонка. Желтая связка идет от пластинки к пластинке по задней стороне позвоночного канала



**Рис. 1.17.** а — межпоперечные связки соединяют поперечные отростки; б — относительные положения других связок показаны на виде позвонка сверху

Передняя продольная связка имеет, по меньшей мере, два слоя, состоящих из толстых пучков коллагеновых волокон. Волокна в поверхностном слое длинные и соединяют несколько позвонков, глубокие волокна короче и соединяют отдельные пары позвонков. Глубокие волокна смешиваются с волокнами фиброзного кольца и усиливают переднелатеральную часть межпозвоночных дисков, а также переднюю сторону межпозвоночных суставов.



**Рис. 1.18.** Передняя продольная связка: а — снижается натяжение передней продольной связки при флексии позвоночного столба; б — при экстензии позвоночника связка натягивается

Связка хорошо развита в отделах с лордозом (шейный и поясничный) и менее — в области грудного кифоза. Толщина и ширина передней продольной связки увеличиваются от нижней части грудного отдела до L5/S1.

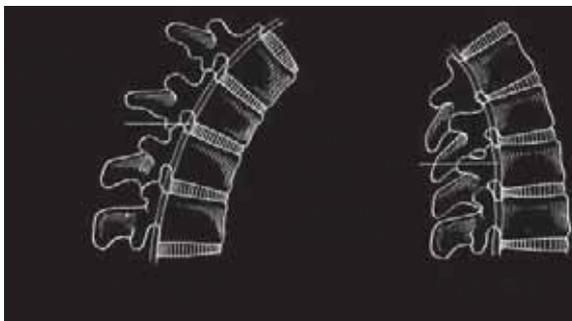
Сила растяжения связки максимальна в верхней части шейного отдела, нижней части грудного и в поясничном отделе. Однако при тестировании на осевое растяжение связка показывает максимальную силу (676 N) в поясничной области.

Связка сжимается при сгибании (рис. 1.18, а) и растягивается при разгибании (рис. 1.18, б).

В нейтральном положении позвоночника, когда нормальная высота дисков уменьшается, связка может провисать. Это же может наблюдаться при разрушении или дегенерации студенистого ядра. Имеются данные, что передняя продольная связка в два раза сильнее, чем задняя.

Задняя продольная связка идет внутри позвоночного канала, по задней поверхности тел позвонков, от второго шейного позвонка к крестцу. Она состоит, по меньшей мере, из двух слоев — поверхностного и глубокого; волокна тянутся только до соседнего позвонка, переплетаясь с внешним слоем фиброзного кольца и прикрепляясь к краям позвоночных концевых пластинок, причем способ прикрепления от сегмента к сегменту меняется. Вверху связка продолжается к затылочной кости, становясь в С2 покровной мембраной. В поясничном отделе связка сужается до узкой ленты, которая идет далее вниз, в крестцовый канал. В поясничном отделе поддержка межпозвоночных суставов этой связкой незначительна.

Сопротивление задней продольной связки осевому растяжению в поясничном отделе составляет всего одну шестую сопротивления передней продольной



*Рис. 1.19. а — задняя продольная связка растягивается при переднем сгибании позвоночника; б — связка провисает и может даже сжиматься при разгибании позвоночника*

связки (160 N по сравнению с 676 N).

Задняя продольная связка растягивается при сгибании (флексии) (рис. 1.19, а), когда возникает максимальная нагрузка на нее, и провисает при разгибании (экстензии) (рис. 1.19, б).

Если же ось движения смещается кзади, что происходит при экспериментальном разрушении студенистого ядра или при дегенеративных процессах, связка может растягиваться и при разгибании.

**Желтая связка** — это толстая эластичная связка, расположенная на задней поверхности позвоночного канала. Волокна связки идут внутри канала, от второго шейного позвонка до крестца, соединяя пластинки соседних позвонков. Некоторые волокна продолжают латерально и охватывают суставные капсулы зигапофизарных суставов в поясничном отделе.

Связка состоит из поверхностной и глубокой частей. Поверхностная часть представляет собой светло-желтую фиброзную структуру толщиной 2,5–3,5 мм, заполняющую межламинарное пространство.

Глубокая часть — это структура темно-желтого цвета, толщиной примерно 1 мм. Она перекрывает межламинарное пространство, крепится к соседнему позвонку и способствует образованию ровной дорсальной стенки позвоночного канала, граничащей с твердой мозговой оболочкой.

Большая часть передней поверхности поясничных пластинок покрыта желтой связкой. Процент охваченной передней поверхности увеличивается от L1 к L5. Связка покрывает практически 100% передней поверхности L5. Прикрепления желтой связки к пластинкам соседнего поясничного позвонка варьируются в соответствии с уровнем сегмента. В поясничном отделе были обнаружены перекрестные зоны от 80 до 100 мм.

Сила желтой связки максимальна в грудном отделе и минимальна в средней части шейного отдела. Хотя максимальная нагрузка на нее приходится во время сгибания, когда связка растягивается, она находится в постоянном напряжении, даже если позвоночник занимает нейтральное положение. Связочное напряжение создает постоянное компрессионное усилие, воздействующее на диски, что приводит к поддержанию постоянного высокого внутридискового давления.

Повышенное давление в дисках делает их жестче и дает большую возможность обеспечивать поддержку позвоночника в нейтральном положении.

**Межостистые связки.** Они различаются от отдела к отделу. В шейном отделе и верхних двух третях грудного отдела связки соединяют и покрывают края соседних остистых отростков. Параллельные волокна связок идут диагонально и заполняют пространство между остистыми отростками. Продольные пучки волокон от 2 до 3 мм толщиной связывают позвоночные остистые отростки. В нижней части грудного отдела установить доминирующее направление невозможно. В поясничном отделе связки развиты особенно хорошо; они прикрепляются к груднопоясничной фасции и к аудальным волокнам суставных капсул.

Связки ослабевают при разгибании и натягиваются при переднем сгибании, когда им приходится сопротивляться разделению остистых отростков, которое происходит во время сгибания. Связки обладают силой растяжения только от 24 до 185 N и, таким образом, потенциально являются слабее, чем передняя продольная, задняя продольная и желтая связки.

**Надостистая связка** — это мощная, напоминающая шнур структура, которая соединяет концы остистых отростков от седьмого шейного позвонка до L3 или L4. Волокна связки становятся неразличимыми в поясничном отделе, где они сливаются с груднопоясничной фасцией и прикреплениями поясничных мышц. В шейном отделе связка переходит в затылочную связку.

Надостистая связка, как и межостистая связка, растягивается при сгибании, и ее волокна сопротивляются расхождению остистых отростков во время переднего сгибания. Во время максимального сгибания надостистая и межостистая связки максимально растягиваются и являются первыми из задних связок, которые могут выйти из строя.

**Межпоперечные связки.** Структура парных межпоперечных связок максимально переменна. Они проходят между поперечными отростками и прикрепляются к глубоким мышцам спины. В шейном отделе находятся только несколько волокон этих связок. В грудном отделе связка состоит из нескольких с трудом различимых волокон, которые смешиваются с прилегающими мышцами. В поясничном отделе связка состоит из широких листков соединительной ткани и напоминает мембрану. Мембранозные волокна связки образуют часть груднопоясничной фасции.

Связки попеременно растягиваются и сжимаются при боковом сгибании. При наклоне влево связки с правой стороны растягиваются и создают сопротивление, одновременно при этом движении связки с левой стороны провисают и сгибаются. При наклоне вправо, наоборот, растягиваются связки с левой стороны, создавая сопротивление движению.

**Зигапофизарные суставные капсулы.** Они помогают связкам в ограничениях движения и способствуют стабильности позвоночника. Вместе с тем роль,

Таблица 1.3

**Основные связки позвоночника**

Связки	Функция	Отдел
Фиброзное кольцо (наружные волокна)	Сопrotивление растягиванию, смещению и ротации тел позвонков	Шейный, грудной и поясничный
Передняя продольная связка	Ограничение разгибания и усиление передней латеральной части фиброзного кольца и передней стороны межпозвоночных суставов	От C2 до крестца, но хорошо развита в шейном, нижней части грудного и поясничном отделе
Передняя атланта-осевая связка (продолжение передней продольной)	Ограничение разгибания	От C2 до затылочной кости
Задняя продольная связка	Ограничивает переднее сгибание и усиливает заднюю часть фиброзного кольца	От осевого (C2) до крестца. Широкая в шейном и грудном отделах и узкая в поясничном
Покровная мембрана (продолжение задней продольной связки)	Ограничение переднего сгибания	От осевого (C2) до затылочной кости
Желтая связка	Ограничивает переднее сгибание, особенно в поясничном отделе, где сопротивляется разделению пластинок	От осевого (C2) до крестца. Тонкая, широкая и длинная в шейном и грудном отделах и максимально толстая в поясничном отделе
Задняя атланта-осевая связка (продолжение желтой связки)	Ограничивает сгибание	Атлант (C1) и осевой позвонок (C2)
Надостистые связки	Ограничивают переднее сгибание	Грудной и поясничные отделы (от C7 до L3-L4)
Выйная связка	Ограничивает переднее сгибание	Шейный отдел (от затылочного бугорка до C7)
Межостистые связки	Ограничивают переднее сгибание	Преимущественно в поясничном отделе, где они лучше развиты
Межпоперечные связки	Ограничивают боковое и контралатеральное сгибание	Преимущественно в поясничном отделе
Крыловидные связки	Ограничение ротации головы в ту же сторону и бокового сгибания головы в противоположную сторону	Атлант (C1 и C2)
Подвздошно-поясничная связка	Сопrotивление переднему скольжению L5 по S1	Низ поясничного отдела
Зигапофизарные суставные капсулы	Сопrotивление переднему сгибанию и осевой ротации	Наиболее сильны в шейно-грудном сочленении и грудопоясничном отделе

которую играют капсулы, и их сила, в сравнении с поддерживающими связочными структурами, пока еще находятся в стадии исследования.

Капсулы мощнее всего в грудопоясничном отделе и в зонах шейно-грудного сочленения, где конфигурация позвоночника меняется от кифоза к лордозу и, соответственно, от лордоза к кифозу. Таким образом, в этих зонах имеется потенциал для избыточной нагрузки.

Суставные капсулы, так же как надостистые и межостистые связки, уязвимы для избыточного сгибания, особенно в поясничном отделе. Имеется предположение, что суставные капсулы в поясничном отделе ограничивают переднее

сгибание больше, чем любая из задних связок, потому что при гиперсгибании они выходят из строя позже, чем надостистая и межостистая связки.

При осевой нагрузке верхняя часть капсулы растягивается, так как высота диска уменьшается, и верхние суставные отростки скользят вниз по нижним отросткам. Верхняя часть капсулы растягивается также и при разгибании, когда один позвонок скользит по другому.

В поясничном отделе зигапофизарные суставные капсулы ограничивают осевую ротацию.

Перечень связок и их функций приводится в табл. 1.3.

**Мышцы.** Многочисленные мышцы способствуют устойчивости и подвижности позвоночника. Прикрепления мышц и их функции подробно представлены в приложении в конце этой главы.

Простейшая классификация позвоночных мышц основана на их функциях. На этом основании их делят на: передние сгибатели, боковые сгибатели, ротаторы и разгибатели. В целом, передние сгибатели расположены спереди, разгибатели — сзади, а боковые сгибатели и ротаторы — по сторонам позвоночного столба.

Мышцы, которые прикрепляются к тазу и охватывают максимальное количество позвонков, являются наиболее эффективными в создании латеральной устойчивости поясничного отдела. Эффективность увеличивается, когда мышцы располагаются более латерально, благодаря увеличенному моменту плеча рычага линий действия мышц.

Было установлено, что в дополнение к мышцам и связкам определенную роль в поддержании устойчивости позвоночника играет грудопоясничная фасция.

### 1.1.2. ФУНКЦИИ

**Устойчивость.** Жесткость позвоночного столба — это его способность сопротивляться нагрузке. Жесткость можно представить графически кривой «давление–натяжение». Чем круче наклон кривой, тем жестче структура.

Сложность строения позвоночника делает весьма сложным точное определение жесткости позвоночника в целом и участия в этом разных структур.

Исследователи позвоночника использовали для оценки жесткости мелкие сегменты позвоночника — сегменты движения.

*Позвоночно-двигательный сегмент* состоит из двух соседних позвонков и сопутствующих мягких тканей. Подавая на сегмент движения специфическую нагрузку, исследователь может определить жесткость конкретного сегмента.

Последовательное удаление связок, суставных капсул и частей диска, за которыми следуют повторные замеры жесткости, дают информацию о том, как на жесткость сегмента влияет удаление отдельной структуры.

В попытках оценить жесткость позвоночника использовались также математическое моделирование, оценка гистерезиса и деформации.

Ranjabi использовал в качестве клинической меры оценки позвоночной устойчивости размер нейтральной зоны движения.

*Нейтральная зона* — это амплитуда движения, в пределах которой позвоночник, при подаче небольшой нагрузки, может смещаться из нейтрального положения до точки начала эластической деформации.

На кривой «давление–растяжение» нейтральная зона может выглядеть как подошва кривой. Ranjabi предположил, что наличие большой нейтральной зоны указывает на неустойчивость.

Неустойчивость, нестабильность позвоночника может рассматриваться как недостаток жесткости, а нестабильная структура — такая, которая не находится в оптимальном состоянии равновесия. Когда позвоночник неустойчив, она показывает большую аномальную амплитуду движения.

Позвоночник подвергается осевой компрессии, растяжению, сгибанию, скручиванию и нагрузке смещения не только при нормальной функциональной активности, но и в состоянии покоя. Способность позвоночного столба сопротивляться таким нагрузкам различна в разных отделах и зависит от типа, продолжительности и интенсивности нагрузки, возраста, позы, состояния и свойств различных структурных элементов (тел позвонков, суставов, дисков, мышц, суставных капсул и связок), а также от целостности нервной системы.

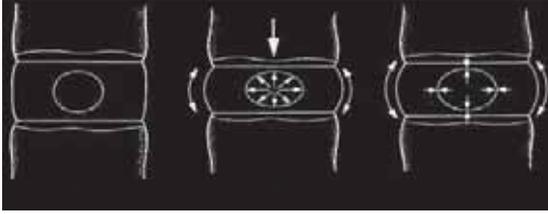
**Осевая компрессия** (сила, действующая через длинную ось позвоночника и направленная под прямым углом к диску) возникает из-за действия силы тяжести, силы реакции опоры и сил, создаваемых связками и мышечными сокращениями.

Основное сопротивление компрессионным усилиям оказывают диски и тела позвонков, однако, в определенных положениях тела и при определенных движениях, некоторую нагрузку принимают на себя дуги и зигапофизарные суставы.

Компрессионная нагрузка передается от верхней концевой пластинки к нижней через трабекулярную кость тела позвонка и корковую оболочку.

До 40 лет губчатое тело позвонка дает от 25 до 55% силы позвоночного позвонка, остальное приходится на корковый слой. После 40 лет корковый слой несет большую часть нагрузки, поскольку компрессионная сила и жесткость трабекулярной кости уменьшаются пропорционально снижению ее плотности. В зависимости от положения тела и отдела позвоночника зигапофизарные суставы принимают на себя от 0 до 33% компрессионной нагрузки. Остистые отростки также могут брать на себя часть нагрузки, когда позвоночник находится в максимальном разгибании.

Студенистое ядро действует наподобие мяча с жидкостью, который может деформироваться под действием силы сжатия. Давление, создающееся в ядре,



*Рис. 1.20. Компрессия межпозвоночного диска: а — на этом схематическом рисунке диска ядро показано в виде шара в середине фиброзного кольца; б — при компрессионной нагрузке давление, когда ядро стремится расшириться, идет по всем направлениям. Напряжение в фиброзном кольце в результате давления ядра возрастает; с — кольцо оказывает на ядро воздействие, равное по силе, но противоположное по направлению, что ограничивает радиальное расширение ядра и создает равновесие. Давление ядра передается кольцом на концевые пластинки*

больше, чем приходящаяся на него нагрузка. Когда вес подается на студенистое ядро сверху, высота ядра уменьшается, в нем возникает давление набухания, и ядро старается расшириться наружу, по направлению к кольцу и концевым пластинками (рис. 1.20).

Когда ядро старается распределить давление во всех направлениях, создается давление в кольце, а центральная компрессионная нагрузка воздействует на позвоночные концевые пластинки. Силы воздействия ядра на кольцо и кольца на ядро образуют интерактивную пару.

В норме кольцо и концевые пластинки способны к достаточному сопротивлению давлению набухания в ядре и, соответственно, к поддержанию состояния равновесия. Давление, оказываемое на концевые пластинки, передается к верхнему и нижнему телам позвонков. Фиброзное кольцо находится под нагрузкой растяжения и, таким образом, может лучше сопротивляться компрессионной нагрузке.

Диски и трабекулярная кость при осевой компрессии могут подвергаться большей деформации без ущерба, чем хрящевые концевые пластинки или корковая кость. Менее всего сопротивляются деформации концевые пластинки и, таким образом, при сильной компрессионной нагрузке из строя они выходят первыми (разрыв). Последними сдаются диски (грыжа).

Когда диски подвергаются постоянной нагрузке, недостаточно большой для того, чтобы вызывать повреждения, они деформируются.

При постоянной компрессионной нагрузке, такой, какая наблюдается в положении стоя, увеличение давления набухания вызывает выдавливание жидкости из студенистого ядра и фиброзного кольца. Количество жидкости, выдавленной из диска, зависит как от величины нагрузки, так и длительности ее воздействия. Выдавленная жидкость поглощается через микроскопические поры в хрящевой концевой пластинке.

Когда компрессионные воздействия на диск ослабевают в лежачем положении или исчезают при невесомости, диск вновь поглощает жидкость из тела позвонка.

Восстановление жидкости, которое возвращает диску его исходное состояние, объясняет, почему человек, вставший утром с кровати, выше, чем вечером. Это также объясняет тот факт, почему космонавты по возвращении из космоса, после пребывания в невесомости, выше, чем перед отлетом.

Бег является формой динамической нагрузки, которая уменьшает высоту диска быстрее, чем статическая нагрузка. Высота позвоночного столба является широко используемым индикатором кумулятивной компрессии дисков.

Ahrens в исследовании на 31 испытуемом обнаружил, что среднее уменьшение высоты диска после бега на 6 миль (9,6 км) равно 0,89–0,72 см.

У пожилых людей деформации диска более выражены, чем у молодых, а восстановление и гистерезис проходят медленнее. Уменьшение высоты диска, наблюдаемое у людей с возрастом, вызвано тем, что происходит постепенное снижение способности диска впитывать жидкость.

Флексия вызывает в позвоночных структурах как сжатие, так и натяжение. При переднем сгибании передние структуры (передняя часть диска, передние связки и мышцы) подвергаются сжатию, задние структуры — натяжению.

Сопrotивление силе тяги, возникающее в коллагеновых волокнах задней части фиброзного кольца, капсулах зигапофизарных суставов и задних связках, помогает ограничивать пределы движений и, соответственно, обеспечивает устойчивость при сгибании.

Деформация возникает, когда позвоночник подвергается постоянной нагрузке, которая может наблюдаться либо при полном сгибании (часто наблюдаемом при работе на садовых участках), либо при полном разгибании (таком, как при покраске потолка). Возникающая в результате деформация (растяжение или сжатие) поддерживающих структур, таких как связки, суставные капсулы и межпозвоночные диски, приводит к увеличению амплитуды движения и выходу ее за границы нормального диапазона, и тогда в структурах позвоночника возникает риск травмы.

При разгибании задние структуры либо не находятся под нагрузкой, либо сжимаются; одновременно растягиваются передние структуры. В целом, сопротивление растяжению оказывается передними наружными волокнами фиброзного кольца, зигапофизарных суставных капсул — за счет пассивного натяжения передней продольной связки и, возможно, за счет контакта остистых отростков.

При сгибании вбок сжимается и псилатеральная сторона диска, т.е. при наклоне вправо правая сторона диска сжимается, а внешние волокна его левой стороны растягиваются. Таким образом, контралатеральные волокна внешнего фиброзного кольца и контралатеральные межпоперечные связки помогают создать стабильность, сопротивляясь экстремальному движению.

Во время осевой ротации возникают торсионные силы, являющиеся частью сопряженных движений, наблюдающихся в позвоночнике. Жесткость в отно-

Таблица 1.4

## Суммарный обзор функций позвоночника

Структура	Функция
Тело позвонка	Сопротивление компрессионным усилиям Передача силы сжатия на позвоночные концевые пластинки
Ножки	Передача силы сгибания (развиваемой мышцами, прикрепляющимися к остистым и поперечным отросткам) на тела позвонков
Пластинки	Сопротивление и передача усилий (идущих от остистых и зигапофизарных суставных отростков) к ножкам. Место прикрепления мышц и связок
Поперечные отростки	Место прикрепления мышц и связок
Остистые отростки	Сопротивление компрессии и передача усилия на пластинки Место прикрепления мышц и связок
Зигапофизарные фасетки	Сопротивление усилиям сдвига, сжатия, натяжения и скручивания Передача усилий на пластинки
Студенистое ядро	Сопротивление компрессионным усилиям, прилагаемым к концевым пластинкам, и перевод вертикального компрессионного усилия в действующие на периферии кольца силы натяжения
Фиброзное кольцо	Сопротивление усилиям сдвига, натяжения и скручивания

шении скручивания (торсионная жесткость) при сгибании и боковом наклоне верхней части грудного отдела от Т1 до Т6 примерно одинакова. Далее она увеличивается от Т7–Т8 до L3–L4.

Торсионная жесткость создается внешними слоями тел позвонков и межпозвоночных дисков, а также за счет ориентации фасеток. Внешняя корковая оболочка усиливает трабекулярную кость и также помогает сопротивляться скручиванию.

Когда диск подвергается скручиванию, половина волокон кольца оказывают сопротивление ротации по часовой стрелке, а волокна, ориентированные в противоположном направлении, сопротивляются ротации против часовой стрелки.

Предполагается, что при сопротивлении ротации фиброзное кольцо может быть наиболее эффективной структурой поясничного отдела. Однако когда скручивание, сильная осевая компрессия и сгибание сочетаются, риск разрыва дисковых волокон возрастает.

**Сила смещения.** Срезающие усилия сдвига действуют по средней плоскости диска и пытаются вызвать смещение позвонка (движение вперед, назад или из стороны в сторону относительно нижележащего позвонка).

В поясничном отделе некоторое сопротивление усилию сдвига оказывают зигапофизарные суставы, остальное приходится на диски. При устойчивой нагрузке диски деформируются, и все сопротивление оказывается зигапофизарными суставами.

Позвоночные функции суммированы в табл. 1.4.

**Подвижность.** Движения в межпозвоночных и зигапофизарных суставах взаимозависимы. Размеры доступного движения определяются, прежде всего, размером дисков; направление движения определяется, прежде всего, ориентацией фасеток.

Движение между телами позвонков в межпозвоночных суставах подобно тому, когда резиновый мяч помещают между двумя деревянными блоками. Блоки могут наклоняться или вращаться в любом направлении и могут скользить, если шар катится. Если размер шара увеличить или уменьшить, возможный наклон соответственно увеличивается или уменьшается.

Движения сгибания и разгибания происходят

в результате наклона и скольжения верхнего позвонка по нижнему. Поскольку верхний позвонок движется в пределах амплитуды движения, он проходит через серию различных дуг, каждая из которых имеет различную мгновенную ось вращения. Студенистое ядро действует как центр, но, в отличие от шара, способно подвергаться большему искажению, поскольку ведет себя как жидкость.

Независимо от амплитуды движения, определяемой отношением высоты диска к ширине, в зигапофизарных суставах происходит скользящее движение (смещение), поскольку тело позвонка качается (вращается) по диску в межпозвоночном суставе.

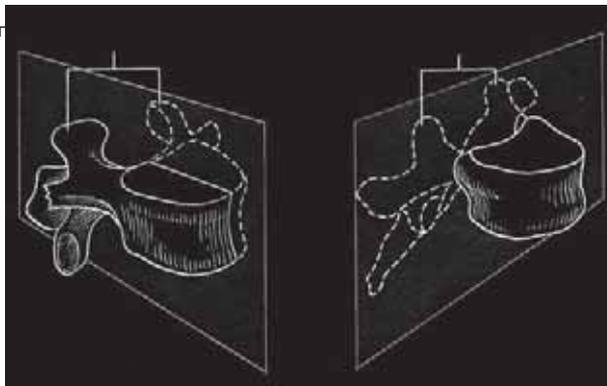
Ориентация поверхностей зигапофизарных фасеток, которая изменяется от отдела к отделу, определяет направление наклона и скольжения в пределах конкретного отдела.

Если верхние и нижние поверхности зигапофизарных фасеток трех смежных позвонков лежат в сагиттальной плоскости, движения сгибания и разгибания облегчаются (рис. 1.21, *a*). Если же поверхности зигапофизарных фасеток находятся во фронтальной плоскости, преобладающим дозволенным движением будет боковое сгибание (рис. 1.21, *b*).

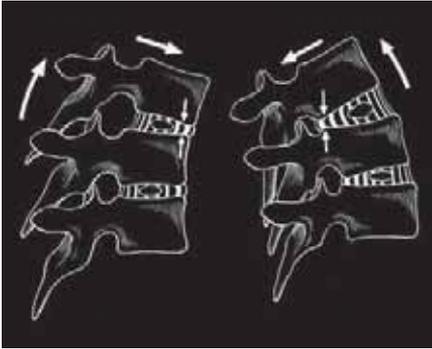
**Флексия.** При сгибании позвоночника передний наклон и скольжение верхнего позвонка вызывают расширение межпозвонокового отверстия и расхождение остистых отростков (рис. 1.22, *a*).

Хотя степень наклона частично зависит от размера дисков, натяжение надостистой и межостистой связок оказывает сопротивление разделению остистых отростков и, таким образом, ограничивает пределы сгибания.

Пассивное натяжение капсул зигапофизарных суставов, желтой связки, задней продольной связки, задней части кольца и разгибателей спины также помогает

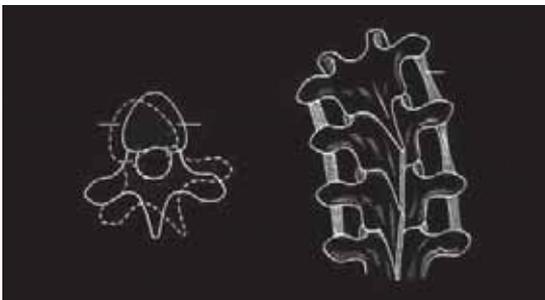


*Рис. 1.21. а — сагиттальная ориентация плоскости поясничных зигапофизарных фасеток способствует движениям сгибания и разгибания; б — фронтальная ориентация плоскости грудных зигапофизарных фасеток способствует боковому сгибанию*



**Рис. 1.22.** *а* — верхний позвонок при сгибании наклоняется и скользит вперед по смежному позвонку снизу. Наклон кпереди и скольжение вызывают сдавливание и выпирание передней части фиброзного кольца и растяжение его задней части; *б* — при разгибании верхний позвонок наклоняется и скользит назад по нижележащему позвонку. Передняя часть кольца растягивается, а задняя — выпирает назад

Движение, доступное при разгибании, кроме того, что ограничивается размером дисков, лимитируется также костным контактом остистых отростков, пассивным натяжением капсул зигапофизарных суставов, передних волокон кольца, передних мышц туловища и передней продольной связки. В целом, сгибание ограничивается большим числом связок, чем разгибание (единственной лимитирующей разгибание связкой является передняя продольная).



**Рис. 1.23.** *а* — при боковом сгибании верхний позвонок наклоняется латерально и вращается на нижнем смежном позвонке; *б* — боковое сгибание и ротация позвонка ограничены натяжением межпоперечной связки в выпуклой части кривой

контролировать сгибание, чтобы оно не оказалось чрезмерным.

Натяжение задних связок может вызываться сокращениями разгибателей бедра, тянущими у стоящего человека таз книзу.

Натяжение груднопоясничной фасции, вызываемое сокращениями поперечных мышц живота, также может ограничивать сгибание, поскольку передняя часть фиброзного кольца при сгибании сжимается и выпирает вперед, а задняя его часть растягивается и препятствует расхождению тел позвонков.

**Экстензия.** При разгибании межпозвоночное отверстие сужается, а остистые отростки сближаются (рис. 1.22, *б*). Дви-

Многочисленные ограничения сгибания, связочные помехи движению определяются тем, что костные ограничения минимальны. Небольшое количество связочных помех разгибанию связано с наличием многочисленных костных ограничений.

**Латерофлексия.** При боковом сгибании верхний позвонок наклоняется, вращается и смещается по нижележащему смежному позвонку (рис. 1.23).

Таблица 1.5

**Различия строения позвонков по отделам**

Часть позвонка	Шейные позвонки	Грудные позвонки	Поясничные позвонки
Тело	Тело в поперечном диаметре маленькое, поперечный диаметр больше переднезаднего. Передняя поверхность тела выпуклая, задняя поверхность плоская. Верхняя поверхность тела имеет форму седла, благодаря крючковатым отросткам боковых частей верхних поверхностей	Поперечный и переднезадний диаметр тела одинаковы. Высота спереди больше, чем сзади. На заднелатеральных углах плато находятся две полуфасетки для сочленения с ребрами	Тело массивное, поперечный диаметр больше переднезаднего диаметра и высоты
Дуги			
Ножки	Выдаются постеролатерально	Различаются по форме и ориентации	Короткие и толстые
Пластинки	Выдаются постеромедиально, тонкие и слегка изогнутые	Короткие, толстые и широкие	Короткие и широкие
Верхние зигапофизарные фасетки	Обращены вверх и медиально	Тонкие и плоские, обращены кзади, кверху и латерально	Вертикальные и вогнутые, обращены постеромедиально. Поддерживают мамиллярные отростки на задних границах
Нижние зигапофизарные фасетки	Обращены кпереди и латерально	Обращены кпереди, кверху и медиально	Вертикальные, выпуклые, обращены кпереди и латерально
Поперечные отростки	Создают проход для позвоночной артерии и венозного сплетения. Также имеют канавку для позвоночного нерва	Отростки крупные, с утолщенными концами. Имеют парные овальные фасетки для сочленения с ребрами. Показывают каудальное увеличение длины	Отростки длинные, тонкие, направлены горизонтально. Они поддерживают вспомогательные отростки задних нижних поверхностей корня
Остистые отростки	Короткие, тонкие и вытянутые горизонтально. Кончики раздвоены	T1-T10 наклонены книзу. T11 и T12 имеют треугольную форму	Короткие, толстые и вытянуты горизонтально
Позвоночный канал	Крупный, форма близка к треугольной	Небольшой, круглый	Треугольной формы, больше, чем в грудном отделе, но меньше, чем в шейном

Фиброзное кольцо сдавливается со стороны выпуклости кривой и растягивается с вогнутой ее стороны.

Ограничивают боковое сгибание пассивное натяжение волокон кольца, межпоперечные связки, передние и задние мышцы туловища с выпуклой стороны изгиба.

Ротация, сопутствующая латеральному сгибанию, слегка различается в зависимости от отдела, из-за разной ориентации фасеток.

Движения межпозвоночных и зигапофизарных суставов в области от L5 до S1 в целом соответствуют общим описаниям, которые были представлены выше.

Региональные вариации структуры, функции и мускулатуры позвоночного столба рассматриваются в последующих разделах.

Региональные вариации строения позвонков — в табл. 1.5.

## 1.2. РЕГИОНАЛЬНОЕ СТРОЕНИЕ И ФУНКЦИИ

Сложность структуры, которая должна выполнять множество функций, отражена в конструкции ее отдельных частей. Региональные структуры отличаются друг от друга, чтобы отвечать различным, но комплексным функциональным требованиям.

Структурные различия, хорошо видные по первому шейному позвонку, грудным, пятому поясничному и крестцовым позвонкам, представляют собой адаптации, необходимые для объединения позвоночника со смежными структурами.

Различия в строении позвонков также очевидны в шейно-грудном, груднопоясничном и пояснично-крестцовом сочленениях, где происходит переход от одного типа позвоночной структуры к другому.

Позвонки, располагающиеся в региональных сочленениях, называются *переходными* и обычно обладают характеристиками, общими для обоих отделов.

Увеличение размера тел позвонков в направлении сверху вниз отражает пропорциональное увеличение веса тела, который приходится поддерживать телам нижних грудных и поясничных позвонков.

Сращение крестцовых позвонков в жесткий сегмент отражает потребность в прочном основании, поддерживающем сам позвоночный столб.

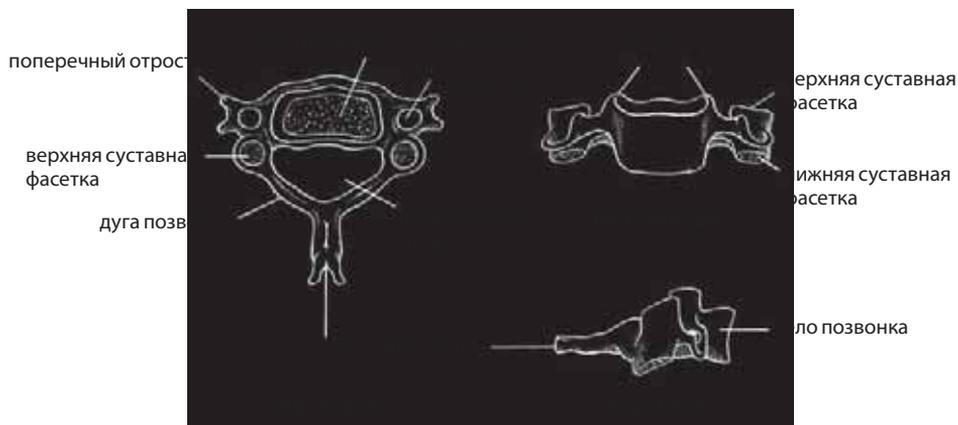
Кроме описанных вариаций, в позвоночнике имеется большое количество мелких видоизменений. В настоящей главе обсуждаются только значительные различия.

### 1.2.1. СТРОЕНИЕ ШЕЙНОГО ОТДЕЛА

Первые два шейных позвонка, C1 и C2, соответственно, атлант и осевой позвонок, являются нетипичными позвонками. Седьмой шейный позвонок является переходным и, таким образом, обладает признаками, характерными как для шейного, так и для грудного отделов. Остальные шейные позвонки, от C3 до C6, соответствуют общему базовому структурному строению всех позвонков, но со следующими региональными вариациями.

#### Типичные шейные позвонки

**Тело** шейного позвонка (рис. 1.24) небольшое, причем поперечный его диаметр больше, чем переднезадний и высота.



**Рис. 1.24.** Тело типичного шейного позвонка невелико и имеет крючковидные отростки на заднелатеральных верхних и нижних поверхностях

Верхние и нижние концевые пластинки от С2 до С7 также обладают большими поперечными диаметрами, чем переднезадними. Их поперечные и переднезадние диаметры увеличиваются от С2 к С7, причем увеличение обоих диаметров наиболее существенное в верхней концевой пластинке С7.

Латеральные края верхних поверхностей тел позвонков от С3 до С7 поддерживают крючковидные отростки, что придает верхним поверхностям этих позвонков седловидную форму. Крючковидные отростки присутствуют в пренатальном периоде и после рождения постепенно увеличиваются до возраста 9–14 лет.

**Дуги.** Ножки выдаются постеролатерально и располагаются на половине расстояния между верхней и нижней поверхностями тела позвонка.

**Пластинки** тонкие и слегка изогнутые. Проекция постеромедиальная.

**Зигапофизарные суставные отростки (верхние и нижние).** Отростки содержат парные верхние фасетки, которые имеют плоскую, овальную форму и направлены кверху и кзади. Ширина и высота верхних зигапофизарных фасеток постепенно увеличивается от С3 до С7. Парные нижние фасетки смотрят вперед и лежат ближе к фронтальной плоскости, чем верхние фасетки.

**Поперечные отростки.** Отверстие, расположенное в поперечных отростках с обеих сторон, служит для позвоночной артерии, вены и венозного сплетения. Кроме того, там есть борозда для позвоночных нервов.

**Остистые отростки.** Шейные остистые отростки короткие, тонкие и вытянуты по горизонтали. Кончик остистого отростка раздвоен. Длина остистых отростков слегка уменьшается от С2 к С3, остается постоянной от С3 до С5 и резко увеличивается в С7.

**Позвоночное отверстие.** Отверстие позвоночного канала довольно большое, треугольной формы.

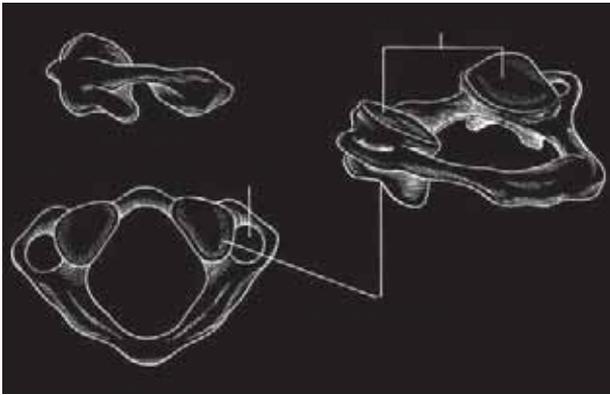
### Атланто-осевой комплекс

Первые два шейных позвонка являются нетипичными.

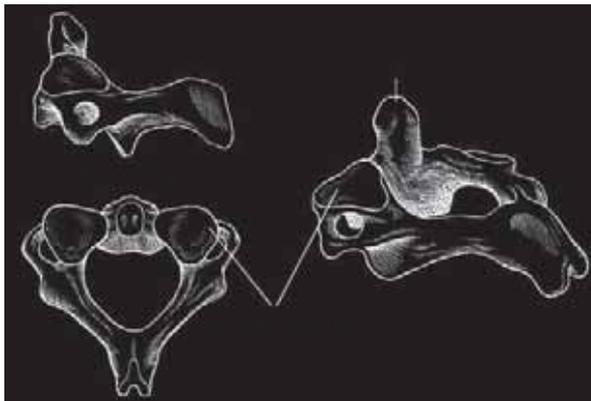
*Атлант* (C1) отличается от других позвонков тем, что у него нет тела и остистых отростков, и имеет форму кольца (рис. 1.25).

Он имеет четыре суставные фасетки, две верхние и две нижние, на утолщенных латеральных частях кольца. Верхние зигапофизарные фасетки слегка вогнуты и предназначены для сочленения со слегка выпуклой поверхностью затылочной кости. Нижние зигапофизарные фасетки слегка выпуклы, уплощены и направлены книзу для сочленения с верхними зигапофизарными фасетками осевого позвонка (C2).

У *атланта* также есть фасетка на внутренней поверхности передней дуги для сочленения с зубовидным отростком осевого позвонка. Осевой позвонок является нетипичным в том



**Рис. 1.25.** Атлант — выраженный нетипичный позвонок. У него нет тела и остистого отростка



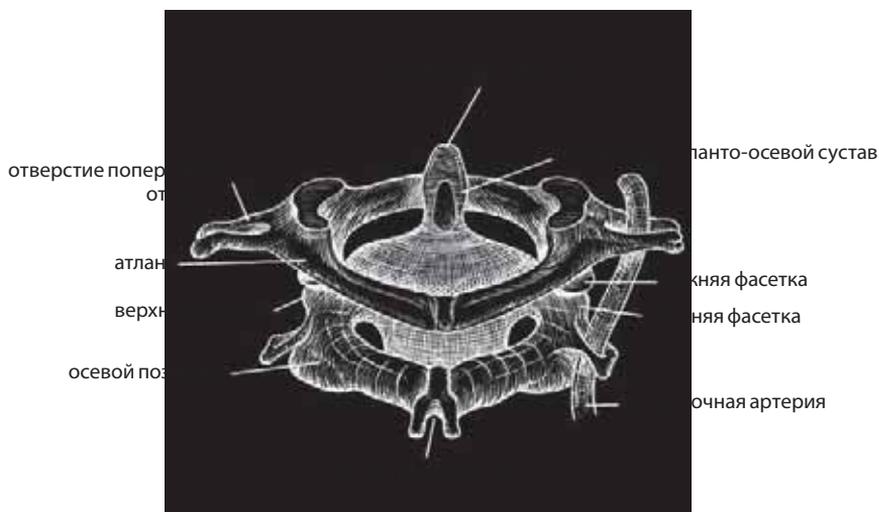
**Рис. 1.26.** Зуб (зубовидный отросток) выходит из передней части тела осевого позвонка. На обеих его сторонах имеются суставные фасетки

плане, что передняя часть его тела расширяется книзу, и вертикальный выступ, называемый зубом, выходит из верхней поверхности тела (рис. 1.26).

Зуб (зубовидный отросток) имеет переднюю фасетку для сочленения с передней дугой атланта и заднюю борозду для сочленения с поперечной (крестообразной) связкой.

На дуге позвонка имеются нижняя и верхняя зигапофизарные фасетки для сочленения с нижним смежным позвонком и атлантом соответственно. Остистый отросток осевого позвонка большой, вытянутый, с раздвоенной вершущкой.

Верхние зигапофизарные фасетки осевого по-



*Рис. 1.27. Атланто-осевое сочленение. Срединный атланто-осевой сустав показан при удаленной задней части (поперечной связке), чтобы можно было видеть зуб и переднюю дугу атланта. По сторонам от срединного атланто-осевого сустава, между верхними фасетками осевого позвонка и нижними фасетками атланта, видны два боковых атланто-осевых сустава*

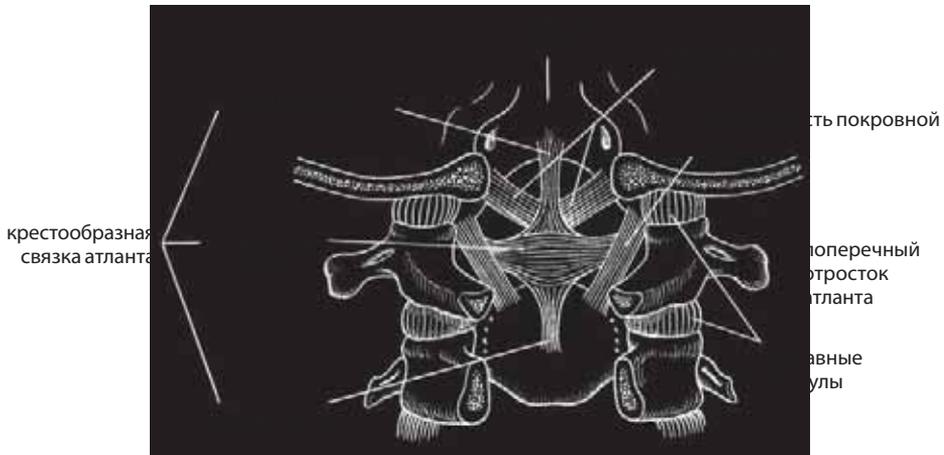
звонка имеют наибольшую площадь поверхности (ширину и высоту) из всех шейных позвонков, они направлены вверх и латерально. Нижние зигапофизарные фасетки, имеющие такие же размеры поверхности, как и нижние фасетки С3, направлены кпереди.

Атланто-затылочный сустав относится к плоским синовиальным суставам и состоит из двух вогнутых верхних зигапофизарных фасеток атланта, которые соединяются с двумя выпуклыми затылочными мыщелками.

Атланто-осевой сустав состоит из трех отдельных суставов: срединного атланто-осевого (атланто-зубовидного) сустава между зубовидным отростком и атлантом и двух латеральных суставов между верхними зигапофизарными фасетками осевого позвонка и нижними фасетками атланта (рис. 1.27).

Срединный сустав является синовиальным цилиндрическим суставом (осевым), в котором зубовидный отросток осевого позвонка вращается в костно-связочном кольце, образованном передней дугой атланта и поперечной (крестообразной) связкой атланта. Два боковых сустава являются плоскими синовиальными суставами.

**Связки.** Кроме уже упоминавшихся в данной главе, в шейном отделе существуют еще несколько специфических для данного региона связок. Многие из них крепятся к осевому позвонку, атланту, черепу и усиливают сочленение двух верхних позвонков.



*Рис. 1.28. Поперечная связка атланта. Представлен вид позвоночника сзади, при котором задняя часть позвонков (остистые отростки и часть дуг) удалены, чтобы были видны крестовидная связка атланта и крыловидные связки*

Четыре связки являются продолжениями системы продольного тракта, четыре остальные являются специфическими связками шейного отдела.

Задняя атлanto-осевая связка, передняя атлanto-осевая связка, покровная мембрана и вийная связка являются продолжением соответственно желтой связки, передней продольной связки, задней продольной связки и надостистой связки.

**Поперечная связка атланта** пересекает кольцо и делит его на большую заднюю часть, в которой проходит спинной мозг, и на маленькую переднюю часть, в которой находится зубовидный отросток. Поперечная длина связки равна примерно 21,9 мм. Поперечная связка атланта имеет на передней поверхности тонкий слой суставного хряща для сочленения с зубовидным отростком. Продольные волокна поперечной связки распространяются кверху, для прикрепления к затылочной кости, а нижние волокна спускаются к задней части осевого позвонка. Поперечная связка атланта и ее продольные ленты иногда относят к крестовидной связке атланта (рис. 1.28).

Поперечная часть связки удерживает зубовидный отросток в тесном контакте с передним кольцом атланта и, таким образом, играет важную роль в сохранении стабильности срединного атлanto-осевого сустава. Хотя поперечная часть связки служит суставной поверхностью для зубовидного отростка, основной ее функцией является предотвращение переднего смещения C1 по C2. Верхняя и нижняя продольные ленты поперечной связки обеспечивают поддержку устойчивости.

Поперечная связка атланта является настолько мощной, что зубовидный отросток может сломаться скорее, чем порвется связка.

**Крыловидные связки.** Две крыловидные связки также являются специфичными для шейного отдела (см. рис. 1.28). Эти парные связки отходят от осевого позвонка по сторонам от зубовидного отростка и идут латерально и кверху, прикрепляясь к шероховатым областям срединных сторон затылочных мышечков и к латеральным массам атланта. Длина связок примерно 1 см, ширина — примерно 0,7 см. Они состоят из параллельно организованных коллагеновых волокон.

Эти связки расслаблены, когда голова находится в среднем положении, и натягиваются при сгибании. Осевая ротация головы и шеи натягивает обе связки. Правая верхняя и левая нижняя части крыловидных связок ограничивают левое боковое сгибание головы и шеи. Эти связки также помогают предотвратить расхождение C1 и C2.

Крыловидные связки слабее, чем поперечная связка атланта. Связка верхушки зуба соединяет осевой позвонок и затылочную кость черепа. Она идет в форме веера от верхушки зуба к переднему краю большого отверстия черепа.

## 1.2.2. ФУНКЦИИ ШЕЙНОГО ОТДЕЛА

**Устойчивость, стабильность.** Шейный отдел отличается от грудного и поясничного отделов тем, что на него приходится меньший вес и, в целом, он более подвижен. Хотя шейный отдел и является наиболее гибким из всех отделов позвоночника, стабильность его, в особенности атланта-затылочного и атланта-осевого суставов, необходима для поддержания головы и защиты спинного мозга и позвоночных артерий.

Конструкция атланта такова, что он предоставляет больше свободного места для спинного мозга, чем любой другой позвонок. Дополнительное пространство является гарантией того, что во время движений по достаточно большой амплитуде, характерных для этого региона, не произойдет защемления спинного мозга.

Костная конфигурация атланта-затылочного сустава создает определенную стабильность, однако даже небольшие нагрузки вызывают значительные ротации затылочно-атланта-осевого комплекса, так же как и нижней части шейного отдела. Существование большой нейтральной зоны подразумевает, что связки и суставные капсулы не натянуты, и мышцы играют важную роль в обеспечении устойчивости всего комплекса.

К мышцам, отвечающим за устойчивость, относятся: многораздельная мышца, межостистые мышцы, полуостистая мышца головы и полуостистая мышца шеи. Если эти мышцы перерезаются во время операции или рвутся при травме, устойчивость комплекса резко нарушается.

Как в атланта-затылочном, так и в атланта-осевом суставах отсутствуют диски. Таким образом, вес головы (компрессионная нагрузка) должен передавать-

ся напрямую через атланта-затылочный сустав к суставным фасеткам осевого позвонка. Затем эти силы передаются через ножки и пластинки осевого позвонка к нижней поверхности тела и к двум нижним зигапофизарным суставным отросткам. Далее сила передается к нижнему смежному диску. Пластинки осевого позвонка достаточно велики, что является отражением структурной адаптации, необходимой для передачи компрессионных нагрузок. По трабекулам заметно, что под сильной нагрузкой находятся пластинки как осевого позвонка, так и С7, тогда как промежуточные — нет. По мере передачи от верхних пластинок к нижним нагрузка рассеивается.

Нагрузки, сообщаемые шейному отделу, меняются в зависимости от положения головы и тела и минимальны при лежании на спине, на хорошей опоре.

В шейном отделе от С3 до С7 компрессионные нагрузки передаются по трем параллельным столбам: переднецентральный столб образован телами позвонков и дисками, два стержневых заднелатеральных столба образованы правыми и левыми зигапофизарными суставами. Компрессионные нагрузки передаются преимущественно по телам позвонков и дискам, и только треть их — по заднелатеральным столбам.

Компрессионные нагрузки в стоячем и сидячем положении относительно невелики и являются максимальными при максимальном сгибании и разгибании.

При тестировании сгибанием и осевым скручиванием шейные двигательные сегменты показывают меньшую жесткость, чем поясничные двигательные сегменты, но вполне сопоставимы с ними по жесткости при компрессионном воздействии.

Комбинации сагиттальных нагрузок *in vitro* показали, что средняя часть шейного отдела от С2 до С5 значительно жестче при компрессии и разгибании, чем нижняя часть, от С5 до Т1. Кроме этого, образцы подвергали осевой ротации до тестирования сгибанием и компрессией. Такие образцы выходили из строя при меньшем угле сгибания ( $17^\circ$ ), чем образцы, не подвергавшиеся осевой ротации ( $25^\circ$ ). Смысл этого в том, что при сгибании/разгибании голову лучше держать в неповернутом положении, чтобы снизить риск травмы.

Стабильность остальной части шейного отдела обеспечивается теми же структурами, которые были представлены ранее, — они суммированы в табл. 1.6.

Суставные капсулы шейного отдела находятся в растянутом состоянии и, тем самым, создают меньшее ограничение подвижности, чем в грудном и поясничном отделах. Крючковидные отростки часто увеличиваются с возрастом и создают костную помеху движению в латеральном и заднелатеральном направлениях. Крючковидные отростки обеспечивают дополнительную стабильность за счет усиления заднелатеральных частей диска.

**Подвижность.** Конструкция шейного отдела предназначена для довольно большой амплитуды движений. В норме шея совершает до 600 движений в час, независимо от того, бодрствуем мы или спим.

Таблица 1.6

**Шейный отдел: обзор подвижности/устойчивости**

Отдел	Факторы, влияющие на подвижность/устойчивость
Шейный атланто-затылочный	Переднее сгибание ограничивается костным контактом переднего кольца большого затылочного отверстия на зуб и пассивным натяжением покровной мембраны
Атланто-осевой	Переднее сгибание ограничивается пассивным натяжением задней атланто-осевой связки и покровной мембраны Разгибание ограничивается пассивным натяжением передней атланто-затылочной связки Боковое сгибание и ротация головы ограничиваются крыловидными связками Поперечная связка атланта предотвращает переднее смещение C1 по C2
C2–C7	Переднее сгибание ограничивается задней продольной связкой, желтой связкой и вийной связкой Избыточное разгибание ограничивается контактом остистых отростков и натяжением передней продольной связки и передних мышц шеи Боковое сгибание и заднее смещение тел позвонков ограничиваются крючковидными отростками Ротация и переднезадние и медиальные наклоны позвонков ограничены волокнами фиброзного кольца Большая амплитуда движения допускается растянутыми капсулами зигапофизарных суставов Ориентация зигапофизарных фасеток благоприятствует переднему сгибанию и разгибанию и является причиной ротации при боковом сгибании

Шейный отдел позволяет производить сгибание, разгибание, боковое сгибание и ротацию. Эти движения сопровождаются смещениями, которые увеличиваются по амплитуде от C2 к C7. Вместе с тем превалирует смещение в сагиттальной плоскости при сгибании и разгибании.

Избыточное переднезаднее смещение может вызвать повреждение спинного мозга.

Принято считать, что атланто-затылочный сустав позволяет выполнять, прежде всего, кивающее движение головы (сгибание и разгибание в сагиттальной плоскости вокруг венечной оси), однако в нем возможны небольшая осевая ротация и боковое сгибание. Меньшее согласие наблюдается относительно амплитуды движения. По имеющимся сообщениям, комбинированная амплитуда движения для сгибания/разгибания варьирует от 10 до 30°.

Максимальная ротация в атланто-затылочном суставе колеблется от 2,5 до 5% общей ротации шейного отдела. Сгибание атланто-затылочного сустава ограничено костным контактом переднего кольца большого затылочного отверстия черепа с зубовидным отростком.

Движения атланто-осевого сустава включают в себя ротацию, боковое сгибание, сгибание и разгибание. Примерно от 55 до 58% всей ротации шейного отдела происходит в атланто-осевом суставе. Атлант поворачивается на оси примерно на 45° в каждую сторону, что в сумме дает около 90°. Ротация в атланто-осевом суставе ограничена крыловидными связками.

Остальные 40% всей ротации шейного отдела распределены равными долями по нижележащим суставам.

Вместе с тем в АД ротации обнаруживаются значительные популяционные и половые различия, относящиеся преимущественно к нижней части отдела (C5–T1). Так, у женщин в возрасте 20–50 лет средняя амплитуда движения ротации гораздо больше, чем у мужчин этой же возрастной группы.

Амплитуда движения при боковом сгибании и ротации в шейном отделе больше, чем в любой другой части позвоночника. Боковое сгибание и ротация являются сопряженными ниже уровня C2, благодаря конфигурации зигапофизарных суставных фасеток.

Зона максимальной подвижности при сгибании и разгибании находится между C4 и C6, минимальная же подвижность наблюдается в C2/C3.

Dvorak и его сотрудники обнаружили статистически достоверное различие средней пассивной амплитуды движения при сгибании/разгибании в C5/C6 между мужчинами и женщинами.

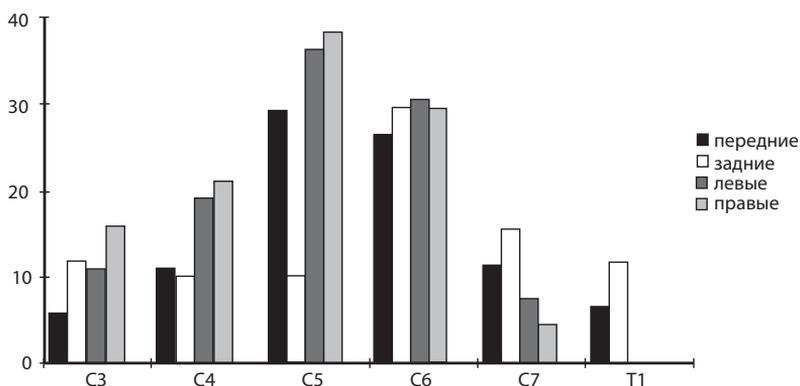
В целом, движение ограничивается натяжением связок, фиброзным кольцом и ориентацией зигапофизарных фасеток. Боковое сгибание ограничено крючковидными отростками, а максимальное разгибание — костным контактом остистых отростков.

Важную роль в определении доступного для шейного отдела движения также играет отношение высоты диска к его диаметру. Высота является большей по сравнению с переднезадним и поперечным диаметром шейных дисков.

Таким образом, значительное сгибание, разгибание и боковое сгибание может происходить в каждом сегменте, особенно у молодых людей, у которых имеется большее содержание жидкости в дисках. Расслабленность капсул зигапофизарных суставов также способствует подвижности.

У людей в возрасте старше 45 лет Bland не обнаружил желеобразного студенистого ядра в дисках шейного отдела. Диски выглядели как связки, были сухими, и в них находилось очень мало ПГ.

В исследовании с использованием ЯМР (МРТ) 2480 шейных дисков (C3/C4, C4/C5 и C5/C6), проведенном на 497 исследуемых без симптомов заболеваний (262 мужчин и 235 женщин), Matsumoto с коллегами обнаружили дисковую дегенерацию 17% дисков у мужчин и 12% дисков у женщин двадцатилетнего возраста. К 60 годам случаи дисковой дегенерации наблюдались у 86% мужчин и 89% женщин. Частота каждого из дегенеративных изменений (дегенерация диска, дисковая грыжа и сужение дискового пространства) линейно увеличивалась с возрастом, причем доминирующей в каждой возрастной группе оказалась дегенерация диска. Признаки дегенерации диска на ЯМР (МРТ) были довольно редкими в C2/C3 и C3/C4. Частота дегенеративных изменений была самой высокой в C5/C6, далее следовали C6/C7



**Рис. 1.29.** На гистограмме показана частота умеренной патологии краев тел позвонков на каждом уровне позвоночника. Количество случаев умеренной патологии, затрагивающей передние, средние и латеральные края тел позвонков C5 и C6, оказалось значительно большим, чем на других уровнях. Высокая частота патологии наблюдается также на задних краях C5 и C6, но статистических отличий с другими уровнями найдено не было

и C4/C5. В C6/C7 наиболее часто встречались задняя грыжа диска и сдавливание спинного мозга.

Milne обнаружил, что наиболее часто патология в шейном отделе встречается в передних и боковых краях тел позвонков C5/C6 (рис. 1.29).

Диск в C5/C6 может подвергаться большему стрессу, чем другие диски, так как амплитуда сгибания/разгибания и механическое напряжение в этой зоне максимальны.

Joosab с сотрудниками провели исследование, в котором определялись последствия ношения тяжелых грузов на голове и воздействие этого на структурную целостность шейного отдела. Они обнаружили, что нагрузка на голове усиливает нормальный шейный лордоз и сдвигает дегенеративные изменения к пространству межпозвоночного диска между C2 и C3 (у людей, не носящих тяжести на голове, дегенеративные изменения обычно наблюдаются в C5/C6). Дегенеративные изменения, обнаруженные у носильщиков тяжестей на голове, были аналогичны тем изменениям, которые с возрастом наблюдаются у обычных людей в C5/C6.

**Мышцы.** Сгибание головы в атлanto-затылочном суставе производится передней длинной мышцей головы и прямой передней мышцей головы. При двустороннем действии голову и шею сгибают также грудино-ключично-сосцевидные мышцы.

Разгибание в атлanto-затылочном суставе вызывается большой и малой задними прямыми мышцами головы, верхней косой мышцей головы, полуо-

стистой мышцей головы, ременной мышцей головы и шейной частью трапецевидной мышцы.

Мышцы, которые воздействуют на атланта-затылочный сустав с целью вызвать боковое сгибание головы и шеи, — это прямая боковая мышца головы, полуостистая мышца головы, ременная мышца головы, грудино-ключично-сосцевидная мышца и шейная часть трапецевидной мышцы.

Ротация в атланта-затылочном суставе производится верхней косой мышцей головы, малой задней прямой мышцей головы, ременной мышцей головы и грудино-ключично-сосцевидной мышцей.

Сгибание в нижней части шейного отдела производится действием длинной шейной мышцы. При двустороннем действии лестничные мышцы могут либо сгибать шею, либо поднимать верхние ребра при стабилизированном шейном отделе позвоночника.

Основные разгибатели головы и шеи многочисленны, и большинство из них также могут производить ротацию. Разгибатели, которые производят ротацию в противоположную сторону, — многораздельные мышцы, ротаторы и полуостистые мышцы. Мышцы, которые вызывают ротацию в ту же сторону, — косая мышца головы и мышцы, выпрямляющие позвоночник.

### 1.2.3. СТРОЕНИЕ ГРУДНОГО ОТДЕЛА

Большинство грудных позвонков имеют базовую структурную конструкцию, характерную для всех позвонков, за исключением незначительных вариаций. 1-й и 12-й грудные позвонки являются переходными и, таким образом, обладают признаками, характерными соответственно для шейного и поясничного отделов.

Первый грудной позвонк имеет тело такой же формы, как шейные позвонки, и его поперечный диаметр практически вдвое превосходит переднезадний диаметр.

Верхние суставные зигапофизарные фасетки 12-го грудного позвонка такие же, как у грудных позвонков, и направлены кзади и вбок. Нижние фасетки имеют выпуклые поверхности, направленные кпереди и вбок, которые сочленяются с вертикальными, вогнутыми, направленными кзади и вбок фасетками первого поясничного позвонка.

Ножки в грудном отделе имеют настолько значительные вариации формы и ориентации, что Punjabi с сотрудниками не смогли дать количественную оценку их многочисленных сложных форм. Пластинки — короткие, толстые и широкие. Концевые пластинки от T1 к T12 постепенно увеличиваются как в поперечном, так и переднезаднем диаметре. Ширина нижней концевой пластинки увеличивается на 55%, а переднезадний диаметр верхней концевой пла-

стинки — на 75%. Увеличение по ширине как верхних, так и нижних концевых пластинок является наибольшим в T11/T12.

### Типичный грудной позвонок

**Тело** типичного грудного позвонка имеет равные поперечный и переднезадний диаметры (рис. 1.30).

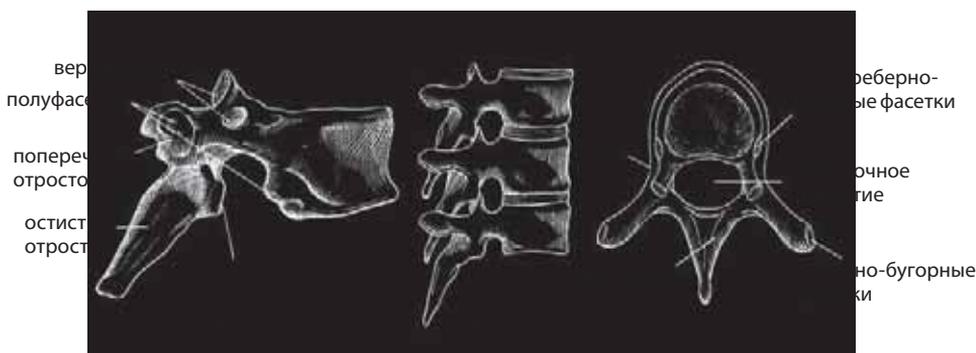
В исследовании 144 позвонков Panjabi с сотрудниками обнаружили, что высота задней части каждого позвонка увеличивалась примерно от 14,3 мм в T1 до 22,7 мм в T12, что составляет прирост в 60%, или по 0,8 мм на каждый позвонок. На заднебоковых углах позвоночных плато находятся полуфасетки для сочленения с головками ребер.

**Дуги. Ножки.** Ориентация и форма меняются на протяжении всего грудного отдела, но большинство ножек имеет форму слезинки или почки, с латерально направленной вогнутостью и медиальной выпуклостью.

**Пластинки.** Пластинки короткие, толстые и широкие.

**Зигапофизарные суставные отростки.** Верхние зигапофизарные фасетки тонкие и почти плоские, направлены кзади и несколько вверх и вбок. Нижние зигапофизарные фасетки направлены вперед, слегка кверху и к центру. Ориентация фасеток изменяется либо в T10, либо в T11: верхние фасетки становятся направленными кзади и вбок, а нижние — кпереди и вбок.

**Поперечные отростки** имеют утолщенные концы, на которых имеются парные крупные овальные фасетки (реберно-бугорные фасетки) для сочленения с бугорками ребер. Связь поперечных отростков с ножками меняется из положения примерно в 5,45 мм цефалически к ножке до положения при-



**Рис. 1.30.** а — вид сбоку на грудной позвонок: видны верхняя и нижняя фасетки зигапофизарных суставов и полуфасетки для сочленения с ребрами; б — перекрытие остистых отростков в грудном отделе; в — вид сверху на грудной позвонок: видно небольшое позвоночное отверстие круглой формы, реберно-бугорные фасетки для сочленения с бугорками ребер и верхние реберно-головчатые фасетки для сочленения с головками ребер

мерно 6,6 мм каудально к ножке. В регионе Т6/Т7 устойчиво наблюдается перекрест.

*Остистые отростки* отклоняются вниз и от Т5 до Т8 накладываются на остистые отростки нижнего смежного позвонка. Остистые отростки от Т1 до Т12 имеют треугольную форму и проецируются горизонтально.

*Позвоночное отверстие* небольшое и круглое.

#### 1.2.4. ФУНКЦИИ ГРУДНОГО ОТДЕЛА

**Стабильность и подвижность.** Грудной отдел менее гибок и более стабилен, чем шейный, по причине ограничений, создаваемых такими структурными элементами, как грудная клетка, остистые отростки, капсулы зигапофизарных суставов, желтая связка и размеры тел позвонков.

Каждый грудной позвонок сочленяется с парой ребер при помощи двух суставов — реберно-позвоночного и реберно-поперечного.

Позвоночные компоненты реберно-позвоночных суставов — это полуфасетки, расположенные на телах позвонков. Эти суставы подробно рассматриваются в главе 2.

Связки, ассоциированные с грудным отделом, те же, что были описаны ранее для позвонка, за исключением того, что желтая связка и передняя продольная связка в грудном отделе толще, чем в шейном. Капсулы зигапофизарных суставов жестче, чем в шейном отделе.

В грудном отделе возможны все движения, но в верхней его части (Т1–Т6) амплитуда сгибания и разгибания предельно ограничена жесткостью грудной клетки и ориентацией зигапофизарных фасеток.

Во фронтальной плоскости в нижней части грудного отдела (Т9–Т12) фасетки лежат более в сагиттальной плоскости, что позволяет производить сгибание и разгибание по большей амплитуде.

Амплитуда движения бокового сгибания всегда сопряжена с некоторой осевой ротацией. Степень осевой ротации увеличивается в нижней части отдела, что также связано с ориентацией зигапофизарных фасеток в Т10 или Т11. В верхней части грудного отдела ротация сопровождается движением остистых отростков в направлении к выпуклости изгиба бокового сгибания, а ротация в нижней части грудного отдела сопровождается ротацией остистых отростков в сторону вогнутости изгиба. Вместе с тем возможны индивидуальные вариации направления сопряженной ротации.

Сгибание в грудном отделе ограничивается натяжением задней продольной связки, желтой связки, межостистых связок и капсул зигапофизарных суставов.

Разгибание в грудном отделе ограничено контактом остистых отростков пластинками и зигапофизарными фасетками, а также натяжением передней продоль-

ной связки, капсул зигапофизарных суставов и мышцами живота.

Боковое сгибание ограничено столкновением зигапофизарных фасеток на вогнутой части кривой бокового сгибания и ограничениями со стороны грудной клетки.

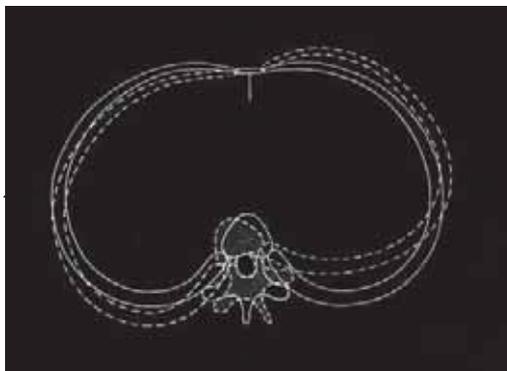
Ротация в грудном отделе также ограничивается грудной клеткой. Когда грудной позвонок поворачивается, движение сопровождается перекосом ассоциированной реберной пары (рис. 1.31).

Задняя часть ребра на стороне, в которую поворачивается тело позвонка, становится более выпуклой, а передняя сторона — уплощается. Обратное происходит с ребром со стороны, противоположной позвоночной ротации.

Степень возможной ротации зависит от способности ребер к перекосу и движения, доступного в реберно-позвоночном и реберно-поперечном суставах. По мере старения человека костные хрящи окостеневают, и перекося уменьшается. Результатом этого является снижение с возрастом возможности к ротации.

**Мышцы**, которые вызывают движение в грудном отделе, также вызывают движение в поясничном отделе, таким образом, передние, боковые и задние мышцы туловища рассматриваются нами после разделов, посвященных поясничному и крестцовому отделам.

Другие мышцы, специфичные для грудного отдела, — дыхательные — рассматриваются в главе 2.



*Рис. 1.31. Ротация тела грудного позвонка влево вызывает перекося ассоциированной реберной пары, которая становится более выпуклой сзади слева и спереди справа*

### 1.2.5. СТРОЕНИЕ ПОЯСНИЧНОГО ОТДЕЛА

Строение первых четырех поясничных позвонков одинаково. Пятый поясничный позвонок имеет структурные адаптации для сочленения с крестцом.

#### Типичный поясничный позвонок

**Тело** (рис. 1.32, а) типичного поясничного позвонка массивное, поперечный его диаметр больше, чем переднезадний диаметр и высота.

**Дуги.** *Ножки* короткие и толстые. *Пластинки* короткие и широкие.

**Зигапофизарные (дугоотростчатые) суставные отростки.** В соответствии с «Анатомией» Грея, верхние зигапофизарные фасетки вертикальны и вогнуты, направлены медиально и кзади. Однако, по Bogduk, как верхние, так и нижние



**Рис. 1.32.** *а* — на изображении сбоку типичного поясничного позвонка видно большое тело и фасетки; *б* — на изображении позвонка сверху видны поперечные и остистый отростки; *с* — вид позвонка сзади — изображены мамиллярные и вспомогательные отростки. Мамиллярные отростки выглядят как маленькие ровные бугорки на задних краях каждой зигапофизарной фасетки. Добавочные отростки легко распознать как костные выступы на задних поверхностях поперечных отростков, вблизи от прикрепления поперечных отростков к ножкам

фасетки могут значительно варьировать по форме и ориентации (рис. 1.32, *б*). Мамиллярные отростки, которые выглядят как маленькие бугорки, находятся на заднем крае каждой верхней фасетки (рис. 1.32, *с*). Мамиллярные отростки служат местами прикрепления многораздельной и медиальной межпоперечной мышц. Нижние зигапофизарные фасетки вертикальные, выпуклые, направлены впереди и латерально.

**Поперечные отростки.** Поперечный отросток длинный, тонкий и вытянут по горизонтали.

**Добавочные отростки.** Маленькие костные выступы неправильной формы, находятся на задней поверхности поперечного отростка около его крепления к ножке (см. рис. 1.32, *с*). Добавочные отростки служат для прикрепления многораздельной и медиальной межпоперечной мышц.

**Остистые отростки** широкие и толстые, направлены горизонтально.

**Позвоночное отверстие** треугольной формы, по размеру больше, чем отверстие в грудном отделе, но меньше, чем в шейном отделе.

Пятый поясничный позвонок является переходным и отличается от остальных поясничных позвонков тем, что имеет клиновидную форму, при которой высота передней части тела больше, чем задней.

Пояснично-крестцовый диск в L5/S1 также клиновидной формы. Верхняя поверхность диска L5 примерно на 5% больше, чем дисков в L3 и L4. Нижняя поверхность диска L5 меньше, чем площадь дисковой поверхности других поясничных позвонков. Меньшими, чем и у остальных поясничных позвонков, являются и остистые отростки; поперечные отростки — крупные, направлены вверх и кзади.

Пояснично-крестцовый сустав образован пятым поясничным позвонком и первым крестцовым сегментом. Первый крестцовый сегмент, который наклонен

слегка кпереди и книзу, образует угол с горизонталью, называемый пояснично-крестцовым углом (рис. 1.33).

Величина угла меняется в зависимости от положения таза и действует на наложенную кривизну позвонка. Увеличение этого угла будет результатом увеличения передней выпуклости поясничного изгиба, оно увеличивает количество нагрузки сдвига на пояснично-крестцовый сустав.

### Связки и фасции

Большинство связок, ассоциированных с поясничным отделом, описаны ранее (желтая связка, задняя продольная связка, передняя продольная связка, межкостистая и надкостистая связки, а также суставные капсулы). Однако некоторые из этих связок имеют отличия, специфичные для поясничного отдела, поэтому их следует упомянуть здесь до того, как рассказывать о подвздошно-поясничных связках и грудопоясничной фасции.

Надкостистая связка хорошо развита только в верхней части поясничного отдела и может заканчиваться на L3, хотя чаще ее окончание наблюдается в L4. В L5/S1 она почти всегда отсутствует. Глубокий слой надкостистой связки усилен сухожильными волокнами многораздельной мышцы. Средние волокна надкостистой связки смешиваются с дорсальным слоем грудопоясничной фасции.

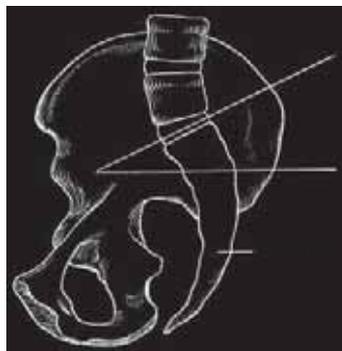
Межпоперечные связки не обладают некоторыми свойствами истинных связок поясничного отдела и замещены пояснично-подвздошной связкой в L4.

В исследовании 132 связок поясничного отдела Pintar обнаружил, что желтая связка имеет максимальную площадь поперечного сечения ( $84,2 \pm 17,9 \text{ мм}^2$ ), а задняя продольная связка — наименьшую ( $5,2 \pm 2,4 \text{ мм}^2$ ).

Межкостистая связка имеет наименьшую общую жесткость, наибольшей жесткостью обладают суставные капсулы.

Pintar и сотрудники обнаружили также, что передняя продольная связка и надкостистые связки могут, вплоть до повреждения, поглощать наибольшую часть энергии, наименьшую же ее часть поглощает до разрушения задняя продольная связка (табл. 1.7).

**Подвздошно-поясничные связки** состоят из пяти полос, которые тянутся от кончиков и границ поперечных отростков L4 и L5 и прикрепляются билатерально к гребням подвздошной кости. В целом подвздошно-поясничные связки очень мощные и играют важную роль в стабилизации пятого поясничного по-



*Рис. 1.33. Пояснично-крестцовый угол определяется измерением угла, образованного линией, проведенной параллельно верхней стороне крестца, и горизонтальной линией*

Таблица 1.7

## Биомеханические параметры поясничных связок человека

Параметр	Связка	T12–L1	L1–L2	L2–L3	L3–L4	L4–L5	L5–S1
Жесткость (N mm <sup>-1</sup> )	ППСв	32,9±20	32,4±13,0	20,8±14,0	39,5±20,3	40,5±14,3	13,2±10,2
	ЗПСв	10,0±5,5	17,1±9,6	36,6±15,2	10,6±8,5	25,8±15,8	21,8±16,0
	СК	31,7±7,9	42,5±0,8	33,9±19,2	32,3±3,3	30,6±1,5	29,9±22,0
	ЖС	24,2±3,6	23,0±7,8	25,1±10,9	34,5±6,2	27,2±12,2	20,2±8,4
	МОС	12,1±2,6	10,0±5,0	9,6±4,8	18,1±15,9	8,7±6,5	16,3±15,0
	НОС	15,1±6,9	23,0±17,1	24,8±14,5	34,8±11,7	18,0±6,9	17,8±3,8
Энергия разрыва (J)	ППСв	3,30±2,01	3,88±2,34	5,31±1,98	5,35±4,54	8,68±7,99	0,82±0,54
	ЗПСв	0,22±0,15	0,22±0,21	0,33±0,11	0,11±0,04	0,07±0,05	0,29±0,27
	СК	1,55±0,55	4,18±2,15	3,50±1,61	2,35±1,88	2,05±0,99	2,54±1,31
	ЖС	2,18±1,89	1,58±0,93	0,56±0,46	2,63±2,09	3,31±1,20	2,47±0,60
	МОС	0,72±0,47	2,65±0,25	1,06±0,73	0,59±0,29	1,13±0,91	0,78±0,56
	НОС	3,75 ±2,78	4,09±2,00	4,72±5,77	11,65±5,39	3,40±2,59	3,18±1,94
Давление при разрыве (МПа)	ППСв	9,1±0,6	13,4±3,9	16,1±6,2	12,8±7,0	15,8±1,9	8,2±2,5
	ЗПСв	7,2±4,1	11,5±10,0	28,4±11,3	12,2±1,9	20,6±7,3	19,7±7,1
	СК	13,2±1,1	10,3±2,9	14,4±1,4	7,7±1,6	3,5±1,2	5,6±2,5
	ЖС	4,0±1,2	2,5±0,8	1,3±0,4	2,9±1,7	2,9±1,4	4,1±0,5
	МОС	4,2±0,2	5,9±1,8	1,8±0,1	1,8±0,3	2,9±1,9	5,5±0,1
	НОС	8,9±3,2	15,5±5,1	9,9±5,8	12,6±2,7	12,7±7,1	14,0±1,7
Растяжение при разрыве (%)	ППСв	31,9±24,5	44,0±23,7	49,0±31,7	32,8±23,5	44,7±27,4	28,1±18,3
	ЗПСв	16,2±9,3	15,7±7,4	11,3±0,2	15,8±3,7	12,7±6,3	15,0±8,4
	СК	78,2±24,3	90,4±17,7	70,0±27,5	52,7±7,2	47,9±5,4	53,8±28,8
	ЖС	61,5±11,9	78,6±6,7	28,8±8,2	70,6±13,6	102,0±12,9	83,1±19,3
	МОС	59,4±36,1	119,7±14,7	51,5±2,9	96,5±35,8	87,4±6,7	52,9±22,3
	НОС	75,0±7,1	83,4±21,4	70,6±45,0	109,4±2,5	106,3±9,7	115,1±49,1

*Примечание:* ППСв — передняя продольная связка; ЗПСв — задняя продольная связка; СК — суставная капсула; ЖС — желтая связка; МОС — межостистая связка; НОС — надостистая связка; перепечатано из: Pintar F.A. et al. Biomechanical Properties of Human Lumbar Spin Ligaments // Journal of Biomechanics. 25(11). P. 1351–1356. Copyright 1992.

звонка (не дают ему произвести смещение вперед), а также при сопротивлении сгибанию, разгибанию, осевой ротации и боковому сгибанию сегмента L5–S1.

**Груднопоясничная фасция** состоит из трех слоев (переднего, среднего и заднего), которые отходят от поперечных и остистых отростков поясничных позвонков. Груднопозвоночная фасция полностью окружает мышцы поясничного отдела (рис. 1.34).

Передний слой фасции выходит из фасции квадратной мышцы поясницы и смешивается с межпоперечными связками.

Средний слой определен не столь явно, как два других, но полагают, что он лежит позади квадратной мышцы поясницы. Он крепится медиально к кончикам поперечных отростков и, как и передний слой, совпадает с межпоперечными связками.

Задний слой состоит из двух пластинок — поверхностной, волокна которой ориентированы каудомедиально, и глубокой, с каудолатеральной ориентацией

волокон. Задний слой покрывает мышцы спины от крестца до выйной связки, проходя при этом через грудной отдел.

Поверхностная пластинка заднего слоя совпадает со следующими мышцами: широчайшей мышцей спины, большой ягодичной мышцей и, косвенно, с наружной косой мышцей живота и трапециевидной мышцей.

Большинство волокон поверхностной пластинки выходят из апоневроза широчайшей мышцы спины и прикрепляются к межостистым связкам и остистым отросткам от черепа и до L4. Ниже L4/L5 поверхностная пластинка обычно крепится весьма свободно к структурам средней линии (или не крепится вообще). Волокна перекрещиваются в контралатеральных направлениях, где крепятся к крестцу, задним верхним гребням подвздошных костей и подвздошному гребню.

На крестцовых уровнях поверхностная пластинка совпадает с фасцией большой ягодичной мышцы. Волокна глубокой пластинки идут с крестцово-бугорной связкой и соединяются с задними верхними гребнями подвздошной кости, подвздошными гребнями и задней продольной связкой.

Две пластинки заднего слоя сливаются со средним слоем, образуя плотный шов, к которому прикрепляется поперечная мышца живота. Это соединение обеспечивает непрямую связь поперечной мышцы живота с остистыми отростками поясничных позвонков. Посредством этого же плотного шва к фасции косвенно прикрепляются внутренние косые мышцы.

Gracovetsky обозначал передний слой груднопоясничной фасции как «пассивную часть», а задний слой — как «активную часть». По его мнению, пассивная часть служит для передачи натяжения, создаваемого сокращением разгибателей бедра, на остистые отростки. Активная часть активизируется при сокращении поперечной мышцы живота, которое натягивает фасцию. Фасция передает натяжение продольно, к кончикам остистых отростков L3/L4 и может помогать мышцам, разгибающим позвоночник, сопротивляться нагрузке.

Vleeming обнаружил, что и большая ягодичная мышца, и контралатеральная часть широчайшей мышцы спины натягивают поверхностный слой и создают возможность механической передачи сил между тазом и туловищем.



**Рис. 1.34.** Груднопоясничная фасция. Передний и средний слои фасции частично удалены, чтобы был виден задний слой, сливающийся с поперечной мышцей живота

### 1.2.6. ФУНКЦИИ ПОЯСНИЧНОГО ОТДЕЛА

**Стабильность.** Во время сгибания сопротивление переднему смещению позвонка оказывается за счет непосредственного соприкосновения нижних зигапофизарных фасеток нижнего смежного позвонка.

Ориентация поясничных зигапофизарных суставов и форма (изогнутая или плоская) суставных поверхностей исключительно вариабельны. Ориентация поясничных зигапофизарных суставов определяется традиционно углом между средней плоскостью сустава и сагиттальной плоскостью.

Эффективность зигапофизарного сустава в создании сопротивления переднему смещению при сгибании зависит от степени направленности кзади верхних фасеток нижнего позвонка. Чем больше верхние фасетки нижнего позвонка направлены кзади, тем большее сопротивление они способны оказывать смещению вперед, поскольку направленные кзади фасетки запирают нижние фасетки смежного позвонка сверху.

Эффективность зигапофизарных суставов при сопротивлении осевой ротации зависит от степени медиальной направленности верхних фасеток. Чем больше медиальная ориентация поверхностей суставов, тем больше сопротивление осевой ротации.

Одной из основных функций поясничного отдела является поддержка веса верхней части тела, как в статических, так и в динамических положениях. Увеличенный размер тел поясничных позвонков и дисков, по сравнению с позвонками и дисками других отделов, помогает поясничным структурам выдерживать дополнительный вес.

Экспериментальное тестирование 10 позвонков трупов при помощи компрессионной нагрузки в 1000 N показало, что доля нагрузки, приходящаяся на фасетные суставы, была равна 20% от всего веса.

Компрессионная нагрузка, которую выдерживают поясничные структуры, изменяется в зависимости от степени поясничного изгиба и организации сегментов тела. Изменения положения сегментов тела меняют положение центра тяжести и, таким образом, изменяют силы, действующие на поясничный отдел.

При нормальном положении стоя линия тяжести проходит через сочетанную ось поясничных позвонков, и чистого гравитационного крутящего момента не существует. Любое отклонение линии тяжести ведет к его возникновению. Мышечные сокращения, требуемые для противостояния гравитационному крутящему моменту, создают дополнительное давление на позвонки; это же относится к торсионным силам и силам сдвига.

В ситуации, в которой человек стоит и держит предмет в вытянутой правой руке, создаются два крутящих момента: момент переднего сгибания и момент правого бокового сгибания. Мышцы поясничного отдела и туловища

должны сокращаться, чтобы создать противонаправленные моменты, чтобы поддерживать равновесие позвоночника и статическое вертикальное положение, а также предотвращать движение туловища в направлении наружных моментов.

Wilke с коллегами изучали действие мышц после стимуляции на мышцах, выпрямляющих позвоночник: большой поясничной мышце, многораздельной мышце и мышцах-ротаторах сегментов L4/L5. Было обнаружено, что мышечная деятельность увеличивает жесткость двигательного сегмента, и что уменьшаются амплитуда движения и нейтральная зона. Уменьшение было наиболее выраженным при сгибании/разгибании. Более 2/3 увеличения жесткости вызывалось многораздельной мышцей.

Khoо с сотрудниками сравнивали пояснично-крестцовые нагрузки (силы реакции опоры и ускорения плюс силы, создаваемые такими мышечными группами, как мышцы, выпрямляющие позвоночник, и прямые мышцы живота) на центр сустава L5/S1 при статических и динамических ситуациях у 10 человек. Пояснично-крестцовые нагрузки в положении стоя находились в диапазоне от 0,82 до 1,18 веса тела, а нагрузки при обычной ходьбе по ровной поверхности превышали собственный вес тела в 1,41–2,07 раза (прирост на 56,3%). Силы сдвига действовали в переднем направлении при статическом положении и в заднем — при ходьбе.

Goel с коллегами использовали комбинированную трехмерную модель с ограниченным числом элементов и оптимизационный подход для изучения эффектов действия мышц на смещение выпуклости диска L3, междисковое давление и нагрузку на фасетки. Также проводилось сравнение прогнозируемых величин мышечной реакции активных мышц и связочной модели.

Оптимизационная модель была разработана для прогнозирования действия мышечных и дисковых усилий в сегменте L3/L4, в положении, когда испытуемый стоит с позвоночником, согнутым на 30°, с выпрямленными коленями и держит в руках вес в 90 N.

Сложение мышечных сил и связочной модели дало в результате уменьшение переднезаднего смещения позвонка L3 и сгибание поясничного сегмента L3/L4 в сагитальной плоскости с ротацией. Мышцы придавали устойчивость связочному сегменту L3/L4, уменьшали давление на тело позвонка и не вызывали увеличения внутрдискового давления. Вместе с тем нагрузка на фасетки в мышечной модели оказалась больше, чем в связочной. Сила, приходившаяся на фасетки в мышечной модели, равнялась 385 N, тогда как в связочной модели отсутствовала вообще.

Gardner-Morse с коллегами обнаружили, что мышцы играют значительную роль в сохранении устойчивости поясничного отдела во время нагрузки и при движениях, и также действуют по типу «пружин-амортизаторов».

**Подвижность.** Ориентация зигапофизарных фасеток от L1 до L4 ограничивает боковое сгибание и ротацию. Однако степень осевой ротации поясничных позвонков имеет существенную вариабельность. Кроме того, что ротация контролируется ориентацией фасеток, на нее еще воздействует положение поясничного отдела в целом. Когда поясничный отдел согнут, амплитуда движения ротации меньше, чем в нейтральном положении.

Задняя часть фиброзного кольца и задняя продольная связка играют важную роль в ограничении осевой ротации при согнутом позвоночнике. Капсулы зигапофизарных суставов ограничивают ротацию как в нейтральном, так и в согнутом положении.

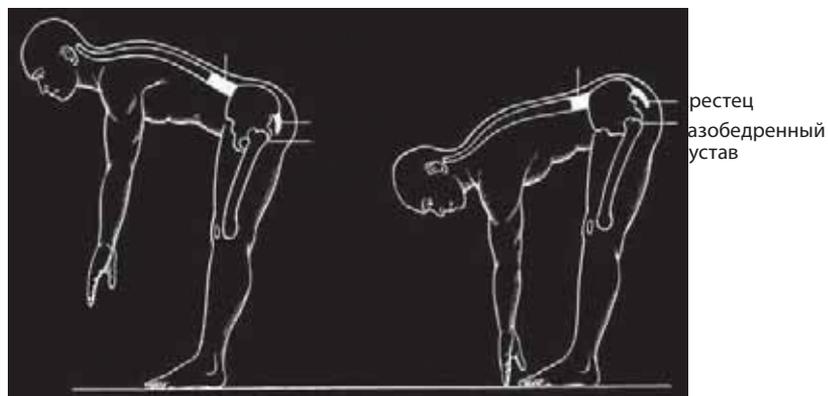
Ориентация зигапофизарных фасеток благоприятствует сгибанию и разгибанию. Сгибание поясничного отдела ограничено в большей степени, чем разгибание, и, в норме, согнуть поясничный отдел так, чтобы достигнуть кифоза, невозможно. Степень сгибания различается в каждом из межпозвоночных пространств, однако наибольшее сгибание происходит в пояснично-крестцовом суставе.

В исследовании 42 поясничных двигательных сегментов Adams и Dolan обнаружили, что средняя амплитуда сгибания была  $8^\circ$  в L1/L2,  $9^\circ$  в L2/L3, и  $12^\circ$  в L3/L4 и L5/S1.

Ranjabi в исследовании девяти поясничных отделов трупов показал, что амплитуда движения при сгибании и разгибании отчетливо возрастает от L1/L2 к L5/S1. При сгибании и разгибании наибольшая подвижность наблюдается от L4 до S1, что представляет собой зону, на которую приходится наибольший вес.

При рентгенологическом исследовании 46 мужчин и 40 женщин Lin с соавторами обнаружили, что амплитуда движения при сгибании/разгибании увеличивается от L1 к L5, но уменьшается в L5/S1. Они нашли, что средние величины переднезаднего смещения при сгибании и разгибании имели тенденцию к увеличению от L1 к L5, но уменьшались в L5/S1 ( $L1/L2 = 1,4$ ;  $L2/L3 = 1,5$ ;  $L3/L4 = 2,2$ ;  $L4/L5 = L5/S1 = 0,4$ ). Было установлено, что при повседневном сгибании и подъеме тяжестей, момент сгибания, действующий на поясничный отдел в L5/S1, равнялся примерно 18 Nm. Однако он может оказываться и значительно больше в случае подъема больших весов. В положении стоя давление на нижние диски много больше, чем вес тела, и оно возрастает при движении и мышечном сокращении.

Cailliet описал специфический момент координированной одновременной активности: поясничного сгибания и наклона таза вперед в сагиттальной плоскости при сгибании и разгибании туловища. Амплитуда наклона вперед с касанием пальцев ног при выпрямленных коленях зависит от пояснично-тазового ритма. По мнению Cailliet, первая часть наклона вперед состоит из поясничного сгибания (рис. 1.35, *a*). Далее следует передний наклон таза, с его ротацией между тазобедренными суставами (рис. 1.35, *b*).



**Рис. 1.35.** Пояснично-тазовый ритм: *a* — поясничный отдел сгибается, *b* — таз поворачивается кпереди в сагиттальной плоскости

Возврат в исходное положение инициируется задним отклонением таза, за которым следует разгибание поясничного отдела. Начальное движение таза задерживает разгибание поясницы, пока туловище не поднимется в достаточной степени, чтобы укоротить плечо рычага, снижая, таким образом, нагрузку на мышцы, выпрямляющие позвоночник.

Nelson с сотрудниками исследовали пояснично-тазовое движение у 30 здоровых женщин в возрасте от 19 до 35 лет, которым нужно было поднять с пола и переставить груз весом в 9,5 кг. Они нашли, что движения поясницы и таза имеют значительные индивидуальные отличия, но имеют тенденцию происходить почти одновременно при сгибании туловища и более последовательно при его разгибании.

Использование веса может изменять пояснично-тазовый ритм, но это исследование поднимает ряд вопросов, а именно — когда и как происходят движения туловища и таза.

Интеграция движения таза с движением позвоночника не только увеличивает амплитуду движения всего позвоночного столба, но также уменьшает требования к гибкости поясничного отдела. Участие в движении нескольких областей с целью увеличения амплитуды движения похоже на то, которое обнаруживается в плече при лопаточно-плечевом ритме.

Ограничение движения в поясничном отделе либо в тазобедренных суставах может нарушить ритм и не дать человеку достать пальцы ног. Ограничение движения в одном сегменте может также приводить к гиперподвижности сегмента без ограничения.

Боковое сгибание и осевая ротация поясничных позвонков наиболее свободно выполняются в верхней части отдела; свобода движения прогрессивно уменьшается по мере продвижения вниз. Наибольшая амплитуда движения бокового сгибания и ротации наблюдается между L2 и L3.

Таблица 1.8

**Подвижность/стабильность в грудном и поясничном отделах**

Отдел	Факторы, влияющие на подвижность и устойчивость
Грудной	<p>Сгибание вперед ограничено грудной клеткой, реберно-поперечными суставами, ориентацией зигапофизарных фасеток и пассивным натяжением задней продольной связки, желтой связки, надостистой и межостистыми связками и капсулами зигапофизарных суставов</p> <p>Разгибание ограничено пассивным натяжением передней продольной связки и мышцами передней стороны туловища</p> <p>Ограничение также связано с костным контактом остистых отростков и ориентацией зигапофизарных фасеток</p> <p>Ориентация зигапофизарных фасеток благоприятствует боковому сгибанию, которое ограничивается натяжением контралатеральных волокон фиброзного кольца и частью грудной клетки со стороны сгибания</p>
T12–L1	<p>Сгибание вперед ограничено пассивным натяжением задней продольной связки, желтой связки, надостистой и межостистыми связками, задними волокнами фиброзного кольца и капсулами зигапофизарных суставов</p> <p>Разгибание ограничено контактом между зигапофизарными фасетками и пластинками и между смежными остистыми отростками</p> <p>Боковое сгибание ограничено контралатеральными волокнами фиброзного кольца, капсулами зигапофизарных суставов, межпоперечными связками и пассивным натяжением боковых мышц туловища</p> <p>Ориентация зигапофизарных фасеток благоприятствует ротации и способствует сочетанию ротации с легким боковым сгибанием</p>
L1–L4	<p>Сгибание вперед ограничено, прежде всего, желтой связкой, задними волокнами фиброзного кольца и капсулами зигапофизарных суставов. Меньше задействованы надостистые и межостистые связки</p> <p>Разгибание ограничено передней продольной связкой, передними волокнами фиброзного кольца, мышцами передней части туловища и контактом остистых отростков. Вместе с тем амплитуда разгибания больше, чем сгибания вперед</p> <p>Ротация ограничена капсулами зигапофизарных суставов, волокнами фиброзного кольца, контактом нижних фасеток верхнего позвонка с фасетками нижнего смежного позвонка</p> <p>Легкое сопротивление оказывают надостистая и межостистая связки</p> <p>Боковое сгибание ограничено межпоперечными и подвздошно-поясничными связками, капсулами зигапофизарных суставов и контралатеральными волокнами фиброзного кольца</p> <p>Ориентация фасеток благоприятствует сгибанию/разгибанию, но ограничивает ротацию и боковое сгибание</p>
L5–S1	Ориентация зигапофизарных фасеток ограничивает боковое сгибание и ротацию

Ротация позвонков в верхней зоне сопровождается движением остистого отростка по направлению к вогнутой части кривой бокового сгибания, что аналогично ротации нижней части грудного отдела.

Очень небольшое боковое сгибание или ротация (и их отсутствие) возможны в пояснично-крестцовом суставе, причиной чего является ориентация зигапофизарных суставов ( $45^\circ$  к сагиттальной плоскости).

Обзор подвижности и устойчивости грудного и поясничного отделов приводится в табл. 1.8.

**1.2.7. СТРОЕНИЕ КРЕСТЦОВОГО ОТДЕЛА**

Пять сросшихся крестцовых позвонков образуют треугольную, или клиновидную, структуру, которая называется *крестцом*. В основании треугольника,

образованном первым крестцовым позвонком, имеются две суставные фасетки, направленные кзади и предназначенные для сочленения с нижними фасетками пятого поясничного позвонка. Вершина треугольника, образованная пятым крестцовым позвонком, имеет маленькую фасетку для сочленения с копчиком.

**Крестцово-подвздошные суставы.** Два крестцово-подвздошных сустава состоят из сочленений между правой и левой суставными поверхностями крестца (которые образованы сросшимися частями первого, второго и третьего крестцовых сегментов) и правой и левой подвздошными костями (рис. 1.36).

Крестцово-подвздошные суставы уникальны, так как их строение и функции сильно изменяются от рождения вплоть до взрослого возраста.

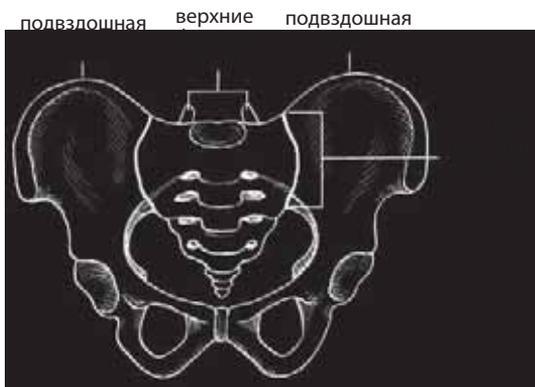
**Суставные поверхности крестца.** Суставные поверхности на крестце имеют аурикулярную (С-образную) форму и располагаются по бокам сросшихся крестцовых позвонков латерально по отношению к крестцовому отверстию.

У плода и в препубертатном периоде эти поверхности являются гладкими и плоскими; на постпубертатных поверхностях появляется центральная борозда, или углубление в поверхности, которое увеличивает длину суставных поверхностей.

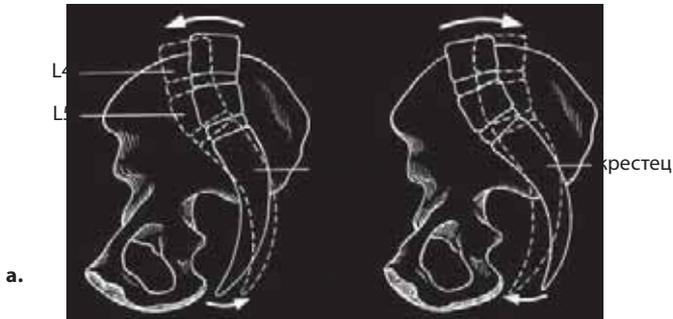
Суставные поверхности покрыты гиалиновым хрящом. Толщина крестцового хряща больше, чем хряща на подвздошной кости; крестцовый хрящ может быть толще в 1,5–3 раза. Эта разница в толщине прослеживается уже у плода; кроме того, у женщин крестцовые хрящи толще, чем у мужчин.

**Суставные поверхности подвздошной кости.** Суставные поверхности на подвздошных костях имеют такую же С-образную форму. В первые десять лет жизни поверхности плоские и гладкие, покрыты фиброзным хрящом.

Тип хряща, покрывающего суставные поверхности у взрослых, до сих пор является предметом споров. Хрящ отличается по макроскопической картине и тоньше, чем крестцовый суставной хрящ. Обычно его описывают как фиброзный хрящ. Однако в последние годы в подвздошном хряще был обнаружен коллаген типа II, характерный для гиалинового хряща, поэтому в 38-м издании «Анатомии» Грея этот хрящ уже рассматривается как гиалиновый.



*Рис. 1.36. Крестцово-подвздошный сустав состоит из сочленений между первыми тремя крестцовыми сегментами и двумя подвздошными костями*



**Рис. 1.37.** *a* — нутация. Непрерывные линии показывают нейтральное положение крестца. Пунктирные линии показывают движение крестца при нутации. Стрелка сверху крестца показывает движение переднего кончика крестцового выступа вперед и вниз при нутации. Стрелка сразу под копчиком показывает движение копчика назад и вверх; *b* — контрнутация. Выступ крестца при контрнутации движется назад и вверх, а копчик идет вперед и вниз

После полового созревания на суставных поверхностях образуется центральный гребень, увеличивающий размеры суставных поверхностей и соответствующий борозде на суставных поверхностях крестца.

Гладкие поверхности крестцово-подвздошных суставов в раннем детстве позволяют выполнять скользящие движения во всех направлениях, что типично для плоских синовиальных суставов. Однако после полового созревания суставные поверхности меняют конфигурацию и, по данным Walker, движение у взрослых ограничивается несколькими миллиметрами смещения или ротации. Вместе с тем в отношении типа и степени движений, возможных в крестцово-подвздошных суставах, имеется значительное количество противоречий.

Для обозначения движения крестцового выступа вперед и вниз, когда копчик идет кзади по отношению к подвздошной кости, используется термин «нутация» (рис. 1.37, *a*). Для обозначения обратного движения, при котором передний кончик крестцового выступа идет кзади и кверху, а копчик движется вперед, по отношению к подвздошной кости, называют *контрнутацией* (рис. 1.37, *b*).

Изменение положения крестца во время нутации и контрнутации влияет на диаметр тазового входа и тазового выхода. Во время нутации переднезадний диаметр тазового выхода увеличивается, а тазового входа — уменьшается. Во время контрнутации происходит обратное. Увеличивается переднезадний диаметр тазового входа и уменьшается диаметр тазового выхода.

Эти изменения диаметра имеют особую важность во время беременности и родов, когда суставные структуры находятся под гормональным влиянием, а связочные структуры смягчаются. Точные описания крестцово-подвздошных суставов и движений, которые совершаются в них, было получить трудно, так

как плоскости суставных поверхностей стоят косо к углу рентгеновского луча, используемому в стандартной переднезадней рентгенографии таза.

### Связки

Непосредственно связаны с крестцово-подвздошными суставами передние, межкостные и задние крестцово-подвздошные связки. Отдельная часть задней крестцово-подвздошной связки называется *длинной задней подвздошно-крестцовой связкой* либо *длинной дорсальной подвздошно-крестцовой связкой*.

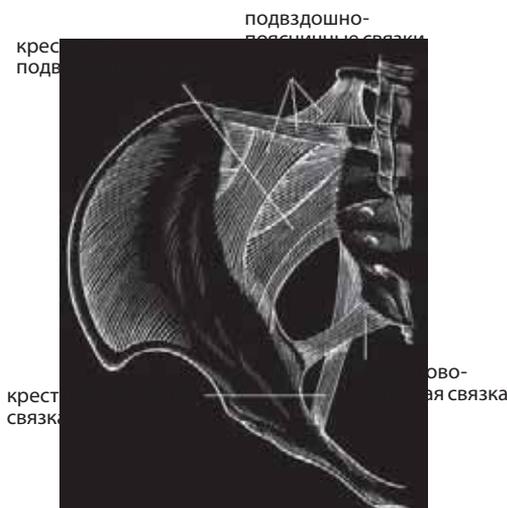
Подвздошно-поясничные связки, соединяющие пятый поясничный позвонок с крестцом, а также крестцово-остистые связки и крестцово-бугровые связки, соединяющие крестец с седалищной костью, имеют с суставами непрямую связь (рис. 1.38).

**Крестцово-подвздошные связки** идут от гребней подвздошной кости и крепятся к буграм первых четырех крестцовых позвонков. Крестцово-подвздошные связки, усиленные фиброзными продолжениями от квадратной мышцы поясницы, мышц, выпрямляющих позвоночник, большой ягодичной мышцы, грушевидной мышцы и подвздошных мышц, способствуют устойчивости сустава. Поддержка со стороны фасции осуществляется в большей степени сзади, чем спереди, потому что больше мышц находится именно сзади.

Передние крестцово-подвздошные связки рассматриваются «Анатомией» Грея как капсульные связки по причине их тесных связей с передними нижними краями суставных капсул.

По данным Bogduk, передние крестцово-подвздошные связки покрывают передние части крестцово-подвздошных суставов и соединяют подвздошные кости с крестцом.

Межкостные крестцово-подвздошные связки, которые являются основным связующим элементом между крестцом и подвздошными костями, считаются самыми важными связка-



**Рис. 1.38.** Крестцово-подвздошные и подвздошно-поясничные связки усиливают крестцово-подвздошное и пояснично-крестцовое сочленения. Крестцово-остистая связка образует нижнюю границу большой седалищной впадины, а крестцово-бугорная связка образует внутреннюю границу малой седалищной впадины

ми, непосредственно связанными с крестцово-подвздошными суставами.

Связки состоят из поверхностных и глубоких частей, которые делятся на верхние и нижние слои. Поверхностные слои соединяют верхние суставные отростки и боковые гребни первых двух крестцовых сегментов с подвздошными костями. Эти части межкостных связок называют *короткими задними крестцово-подвздошными связками*.

Глубокие части межкостной крестцово-подвздошной связки идут от углублений позади крестцовой суставной поверхности к углублениям на подвздошных буграх.

Задние крестцово-подвздошные связки соединяют боковые крестцовые гребни с задними верхними гребнями подвздошной кости и подвздошными гребнями.

Парные длинные дорсальные крестцово-подвздошные связки имеют верхние прикрепления к заднему крестцово-подвздошному гребню и смежным частям подвздошной кости. Снизу связки крепятся к латеральному гребню третьего и четвертого крестцовых сегментов.

Средние волокна соединяются с глубокими пластинками заднего слоя грудопоясничной фасции и апоневрозом мышцы, выпрямляющей позвоночник.

Крестцово-остистые связки соединяют гребни седалищной кости с латеральными границами крестца и копчика. Крестцово-бугорные связки соединяют седалищные бугры с задними гребнями подвздошных костей и латеральными частями крестца и копчика.

Крестцово-остистая связка образует нижнюю границу большой седалищной выемки, крестцово-бугорная связка образует нижнюю границу малой седалищной выемки.

**Связка Илли.** Доказательство существования верхней внутрикапсульной связки (связки Илли), впервые описанной Илли в 1950 г., было представлено Freeman, Fox и Richards, которые обнаружили наличие этой связки у 75% обследованных трупов.

Авторы описали связку как плотную фиброзную ленту соединительной ткани, которая идет от задневерхнего прикрепления на подвздошной кости к передненижнему креплению непосредственно на гиалиновом суставном хряще крестца. Ширина связки варьирует от 2 до 8 мм; она находится примерно в 2 мм снизу от межкостной связки. По причине своих малых размеров связка имеет, по всей видимости, ограниченное биомеханическое значение.

**Лонное сращение** — это хрящевой сустав, расположенный между двумя концами лобковых костей. Конец каждой лобковой кости покрыт слоем суставного хряща, и сустав образован фиброзно-хрящевым диском, соединяющим покрытые гиалиновым хрящом концы костей. Диск имеет тонкую центральную щель, которая у женщин может расширяться по всей длине диска.

С суставом ассоциированы три связки: верхняя лобковая связка, нижняя лобковая связка и задняя связка.

*Верхняя связка* представляет собой толстую и плотную фиброзную ленту, которая крепится к лобковым гребням и буграм и помогает поддерживать верхнюю часть сустава.

*Нижняя связка* идет по дуге от нижних ветвей, с одной стороны сустава, к нижней части ветвей на другой стороне, усиливая, таким образом, нижнюю часть сустава.

*Задняя связка* состоит из фиброзной мембраны, которая продолжается надкостницей лобковых костей.

Передняя часть сустава усилена апоневрозными продолжениями мышц, которые пересекают сустав (рис. 1.39).

Karandji описывает продолжения мышц как средство образования передней связки, состоящий из продолжений поперечной мышцы живота, прямой мышцы живота, внутренних косых мышц живота и длинной приводящей мышцы.



**Рис. 1.39.** Апоневрозные продолжения мышц, пересекающих переднюю часть лонного сращения

### 1.2.8. ФУНКЦИИ КРЕСТЦОВОГО ОТДЕЛА

**Устойчивость и подвижность.** Устойчивость крестцово-подвздошных суставов исключительно важна, поскольку эти суставы должны удерживать значительную долю веса тела.

В обычном положении стоя вес головы, рук и туловища (ГРТ) передается через пятый поясничный позвонок и пояснично-крестцовый диск к первому крестцовому сегменту. Вес тела создает крутящий момент нутации на крестце. Соответственно, сила реакции опоры вызывает заднее скручивание подвздошных костей.

Крутящие моменты противоположного направления нутации и контрнутации крестца и заднее скручивание подвздошных костей блокируются натяжением связок и фиброзными продолжениями смежных мышц, которые усиливают суставные капсулы и смешиваются со связками.

Натяжение, развивающееся в крестцово-бугорных, крестцово-остистых и передних крестцово-подвздошных связках, противодействует нутации крестца, хотя обнаружить, что крестцово-бугорные и крестцово-остистые связки играют важную роль в устойчивости таза, пока не удалось.

Крестцово-бугорные и межкостные (крестцово-подвздошные) связки сдавливают крестцово-подвздошный сустав при нутации. Длинная дорсальная крест-

цово-подвздошная связка натягивается во время контрнутаии и расслабляется при нутаии. Межкостная крестцово-подвздошная связка стягивает подвздошные кости и крестец. Неровности поверхности и фактура крестцово-подвздошных суставов также способствуют устойчивости сустава у взрослых.

В исследовании крестцово-подвздошных суставов наибольшие коэффициенты трения были обнаружены в суставах с рубчиками и в шероховатых хрящах. В суставах с рубчиками и гладкими хрящами наблюдали более высокие коэффициенты трения, чем в образцах без гребней и углублений. Эти результаты говорят о том, что вспомогательные рубчики, равно как и шероховатые поверхности, обнаруженные у взрослых людей, отражают нормальное, динамичное развитие крестцово-подвздошного сустава. Эти изменения усиливают способность переносить вертикальную нагрузку, но они же уменьшают подвижность.

Крестцово-подвздошные суставы допускают незначительную свободу движения, которая имеет к тому же значительные индивидуальные различия. Как степень, так и тип допускаемого в этих суставах движения до сих пор является источником противоречий. Представляется, однако, что допустимое движение весьма незначительно и с трудом поддается определению.

Крестцово-подвздошные суставы связаны с лонным сращением при помощи замкнутой кинематической цепи, и, таким образом, любое движение, происходящее в лонном сращении, сопровождается движением в крестцово-подвздошных суставах, и наоборот.

Во время беременности полипептидный гормон *релаксин* вырабатывается желтым телом и отпадающей оболочкой матки. Предположительно, этот гормон активизирует коллагенолитическую систему, которая регулирует образование нового коллагена и изменяет основное вещество, уменьшая его вязкость и повышая содержание жидкости. Действие релаксина направлено на снижение собственной силы и жесткости коллагена и, предположительно, на смягчение связок, скрепляющих крестцово-подвздошные суставы и лонное сращение. Соответственно, возрастает подвижность суставов, снижается их устойчивость и возрастает вероятность их травмы.

Сочетание ослабленных задних связок и отклонения веса вперед, вызванного тяжестью матки, может вызвать избыточные движения подвздошных костей по крестцу и растяжение крестцово-подвздошных суставных капсул.

Крестцово-подвздошные суставы и лонное сращение тесно функционально связаны с тазобедренными суставами и, таким образом, оказывают влияние и сами находятся под воздействием движений туловища и нижних конечностей.

К примеру, перенос веса с одной ноги на другую сопровождается движением в крестцово-подвздошных суставах.

Сращения нижних поясничных позвонков вызывают компенсаторное увеличение подвижности крестцово-подвздошных суставов. В лонном сращении

во время одноопорной фазы ходьбы, в результате латеральных покачиваний тазом, возникают силы сдвига.

В норме сустав способен сопротивляться срезающим усилиям, и никакого воспринимаемого движения в нем не возникает. Однако при вывихе или смещении сустава таз при ходьбе становится неустойчивым, и давление на крестцово-подвздошные и тазобедренные суставы, равно как и на позвоночник, возрастает.

Суставы таза связаны с тазобедренными суставами и позвоночником как в опорном (нагрузочном), так и безопорном (ненагрузочном) положениях.

Сгибание бедра в положении лежа на спине смещает подвздошные кости кзади по отношению к крестцу. Это движение таза вызывает нутацию в крестцово-подвздошных суставах и увеличивает диаметр тазового выхода. Такое увеличение диаметра тазового выхода при родах облегчает прохождение головы плода. Разгибание бедра в таком же положении увеличивает тазовый вход. Таким образом, это движение в начале родов способствует спуску головы плода в таз, а уже при собственно родах используют сгибание бедер.

## 1.3. МЫШЦЫ ПОЗВОНОЧНИКА

### 1.3.1. СГИБАТЕЛИ

Мышцы, которые сгибают туловище, находятся спереди и сбоку, крепятся они к ребрам, груди и тазу. Эти мышцы действуют на позвоночник опосредованно, через смежные структуры.

Сокращения мышц-сгибателей оказывают на позвоночник компрессионное воздействие. Когда таз и ребра могут двигаться свободно, сокращение сгибателей сближает эти структуры и, как следствие, происходит сгибание всего позвоночника, как при движении, так и когда человек садится. При флексии грудной клетки сокращение прямой мышцы живота тянет переднюю часть таза вверх. Возникающая в результате задняя ротация таза в сагиттальной плоскости (заднее отклонение таза) сгибает прилегающий поясничный отдел.

Внутренние и внешние косые мышцы живота поворачивают и скручивают поясничный отдел, вызывая осевую ротацию. Однако, поскольку эти мышцы, скорее, косые, чем поперечные, они, вместе с осевой ротацией, создают дополнительное сгибание. Переднее сгибание из положения стоя не требует каких-либо действий со стороны сгибателей туловища, потому что туловище идет вперед под действием силы тяжести. Однако любое действие, которое подразумевает толчок, тягу или подъем груза, инициирует изометрическое сокращение сгибателей, направленное на стабилизацию ребер, таза и, косвенно, позвоночника.

Во время обычного положения стоя мышцы-сгибатели неактивны. Однако в динамических ситуациях они являются необходимыми для уравнивания тяги разгибателей спины и мышц-сгибателей бедра, чтобы сохранять нормальное положение таза. Если разгибателям спины или сгибателям бедра не оказывается противодействие, они вызывают наклон таза вперед в сагиттальной плоскости и усиливают разгибание смежного поясничного отдела. В любом движении, когда требуется сгибание туловища с целью преодоления силы тяжести, мышцы живота должны выполнять движение сгибания. Кроме этого, мышцы живота выполняют функцию защиты и поддержки внутренних органов.

Во время беременности, особенно ее второго и третьего триместров, и сразу после родов прямая мышца живота может быть расслабленной по белой линии (прямого диастаза живота). Такое состояние может оказывать побочные эффекты на способность сгибателей к функционированию в качестве статических или динамических стабилизаторов и движителей позвоночного столба.

Большую поясничную мышцу описывали как сгибатель, стабилизатор и как разгибатель поясничного отдела. Когда позвонок находится в согнутом положении, волокна поясничной мышцы пересекаются спереди от оси вращения поясничных межпозвоночных суставов и, таким образом, мышца создает момент сгибания; соответственно, ее концентрическое сокращение вызовет сгибание.

Если поясничный отдел разогнут, большинство волокон оказываются позади оси вращения и вызывают разгибание. При подъеме груза поясничная мышца действует как стабилизатор поясничного отдела.

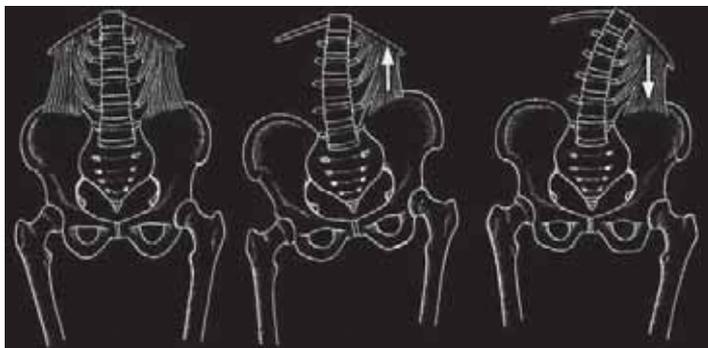
Когда человек садится из лежачего положения, он часто сгибает колени, чтобы снизить нагрузку на поясницу и уменьшить активность поясничной мышцы.

Вместе с тем McGill обнаружил, что уменьшение нагрузки на поясницу при сгибании коленей незначительно. Это движение с согнутыми коленями вызвало компрессионное усилие в 3410 N, тогда как усилие при этом же действии с прямыми коленями было равно 3230 N. Сила сдвига при согнутых коленях равнялась 300 N, при усаживании с прямыми коленями — 260 N.

McGill высказал мнение, что по причине высоких компрессионных нагрузок при таких движениях их, возможно, не следует использовать в качестве упражнений.

### **1.3.2. РОТАТОРЫ И БОКОВЫЕ СГИБАТЕЛИ**

Ротация туловища обычно сопряжена с некоторым боковым сгибанием. Передние мышцы, которые производят ротацию и боковое сгибание, — это наружные и внутренние косые мышцы живота. Ротация туловища влево требует одновременного сокращения правой наружной косой мышцы и левой внутрен-



*Рис. 1.40. а — на иллюстрации показаны прикрепления правой и левой квадратных мышц поясницы; б — одностороннее сокращение левой квадратной мышцы поясницы поднимает и наклоняет левую сторону таза и поднимает бедро, если туловище фиксировано, а таз и нога свободны; с — одностороннее сокращение левой квадратной мышцы поясницы при фиксированных тазе и левой ноге вызывает сгибание туловища в ту же сторону*

ней косой мышцы. Ротация туловища вправо требует одновременного сокращения левой наружной косой мышцы и правой внутренней косой мышцы.

Задние мышцы, которые поворачивают туловище, можно разделить на две группы: мышцы, которые производят односторонние ротацию и боковое сгибание, и мышцы, которые действуют в противоположных направлениях.

Ротация и боковое сгибание в одном направлении — это функция подвздошно-реберных мышц, длиннейших мышц спины, квадратной мышцы поясницы и задней верхней зубчатой мышцы.

Мышцы, которые производят ротацию в противоположном направлении, — это полуулитчатые мышцы грудного отдела, многораздельные мышцы, ротаторы и межпоперечные мышцы грудного отдела.

Боковыми сгибателями туловища являются квадратная мышца поясницы и подвздошно-поясничная мышца. Когда любая из этих мышц сокращается в одностороннем порядке, она вызывает боковое сгибание туловища с этой же стороны, если таз и бедренные кости зафиксированы. Если боковое сгибание происходит из положения стоя, сила тяжести продолжает движение бокового сгибания, и требуется эксцентрическое сокращение контралатеральных мышц для уравнивания гравитационного момента и контроля движения.

Одностороннее сокращение квадратной мышцы поясницы вызывает «подскок бедра», или латеральный наклон таза во фронтальной плоскости, если таз может свободно двигаться (рис. 1.40, а, б), но при фиксированном тазе это же сокращение вызывает боковое сгибание туловища (рис. 1.40, с).

Поясничные мышцы при условии двустороннего действия в замкнутой кинематической цепи с фиксированными бедренными костями тянут поясничный

отдел вперед и, таким образом, вызывают разгибание поясничного отдела и увеличение лордоза. Поясничная мышца также может сгибать бедро, при условии, если бедренная кость либо таз и поясничный отдел фиксированы.

Полный перечень мышц позвоночника см. в приложении к главе.

### 1.3.3. РАЗГИБАТЕЛИ

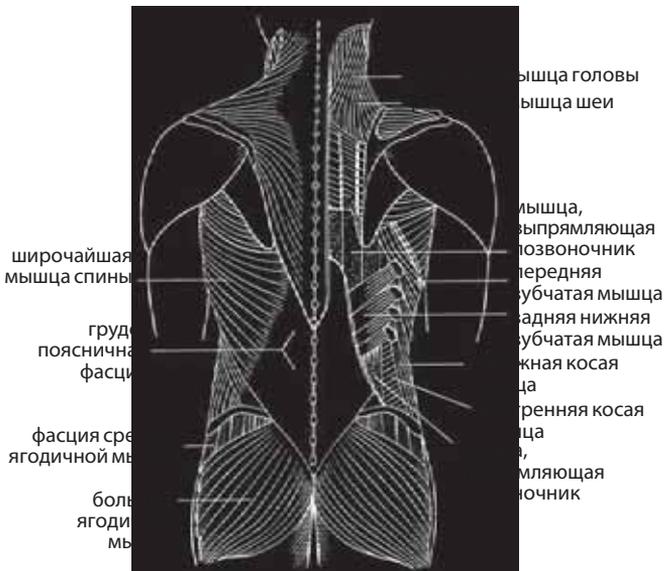
Мышцы, разгибающие позвоночник, находятся сзади (рис. 1.41).

Наибольшая часть задней мускулатуры представлена крестцово-остистыми мышцами, разгибающими позвоночник, которые состоят из трех отделов — латерального, медиального и промежуточного (рис. 1.42).

Эта группа мышц тянется от крестца до затылка, прикрепляясь своими разными отделами к поперечным и остистым отросткам всех позвонков и углам ребер.

Самый латеральный отдел, который крепится к ребрам, называется *подвздошно-реберным* и состоит из шейных, грудных и поясничных подвздошно-реберных мышц.

Срединный отдел мышцы, разгибающей позвоночник, крепится к остистым отросткам и называется *остистой группой*, включающей в себя остистые мышцы головы, шейные и грудные остистые мышцы.



**Рис. 1.41.** Мышцы спины. Поверхностные мышцы справа удалены, чтобы можно было видеть мышцу, выпрямляющую позвоночник. С левой стороны спины передний слой груднопоясничной фасции оставлен нетронутым

Промежуточный отдел, который крепится к поперечным отросткам, называется *длиннейшей мышцей*. Длиннейшая мышца состоит из длиннейшей мышцы головы, шейной и грудной длиннейшей мышцы.

Другие мышечные группы, которые лежат глубже мышц, выпрямляющей позвоночник, включают в себя полуостистую мышцу головы, шейную и грудную полуостистую мышцы, многораздельные мышцы, шейные, грудные и поясничные ротаторы, а также

межостистые и межпоперечные мышцы. Эти мышцы крепятся к поперечным, остистым или суставным отросткам позвонков.

По сравнению с мышцами поясничного отдела, в длиннейшей мышце и многораздельных мышцах было обнаружено более высокое содержание волокон типа I (медленные, с высокой окислительной способностью, устойчивы к утомлению).

Эти результаты связаны с потребностью в более или менее постоянном уровне невысокой активности мышц грудного отдела, для противостояния моменту сгибания, существующему в грудном отделе при положении стоя (линия действия силы тяжести проходит спереди от грудного отдела и идет через поясничный отдел либо позади него). Исследователи обнаружили также половые различия в составе волокон мышц спины.

Роу с коллегами использовали поверхностную электромиографию для измерения утомления в поясничной части подвздошно-поясничной мышцы, грудном отделе длиннейшей мышцы и многораздельной мышце в L1, L2 и L5. Было установлено, что у пациентов с болями в нижней части спины мышцы более утомляемы, чем в группе людей, такими болями не страдающих.

Все задние мышцы туловища могут оказывать влияние на позвоночник и увеличивать поясничный изгиб. И наоборот, сокращение мышц-сгибателей уменьшает кривизну.

Мышцы-разгибатели отвечают за контроль сгибания позвоночника вперед в положении стоя. Гравитационный момент создает сгибание вперед, но степени и скорость сгибания контролируются частично эксцентрическими сокращениями разгибателей, частично — грудопоясничной фасцией и системой задних связок.

Грудные и поясничные разгибатели действуют эксцентрически до тех пор, пока не выполняется примерно две трети максимального сгибания. В этой точке мышцы «замолкают». Это называется феноменом сгибания-расслабления, который, предположительно, наблюдается в точке, когда растянутые



**Рис. 1.42.** Мышца, выпрямляющая позвоночник и глубокие мышцы спины. Мышца, выпрямляющая позвоночник, удалена справа, чтобы открыть глубокие мышцы спины

Таблица 1.9

**Пассивная эластическая сила при расслаблении**

Мышца	Длина ( $l/l_0$ )	Коэффициент длины	Пассивная эластическая сила (N)
Поясничная часть			
Уровень L1	1,30	0,73	5,9
Уровень L2	1,31	0,72	7,5
Уровень L3	1,34	0,68	8,9
Уровень L4	1,28	0,75	8,6
Уровень L5	1,12	0,93	4,6
Поясничная часть подвздошно-реберной мышцы	1,26	0,77	15,1
Грудная часть длиннейшей мышцы	1,25	0,79	23,4
Квадратная мышца поясницы	1,18	0,87	5,4
Широчайшая мышца спины (L5)	1,17	0,88	4,2

*Примечание:* если говорят, что мышцы-разгибатели «расслаблены», они на самом деле пассивно растянуты в полном сгибании. Пассивная эластическая сила рассчитывается (для выбранных мышц с правой стороны тела) из приведенной к нормальному значению длины ( $l/l_0$ ), используемой для расчета коэффициента. (перепечатано из: McGill S.M., Kippers V. Transfer of Loads Between Lumbar Tissues During Flexion-Relaxation Phenomenon. Spine 19 (19), 1994. P. 2190–2196, с разрешения Lippicott, William & Wilkins).

и деформированные пассивные ткани способны генерировать требуемый момент. Однако мышцы-разгибатели могут быть расслабленными только в смысле электрических импульсов, так как могут генерировать силу эластически, посредством пассивного растягивания (табл. 1.9).

По данным Gracovetsky, контроль сгибания переходит в сферу ответственности пассивной эластической реакции груднопоясничной фасции и задней связочной системы. Задние связки (надостистые и межостистые) имеют более длинное плечо рычага, чем мышцы-разгибатели и, таким образом, имеют определенное механическое преимущество над разгибателями.

Грудные отделы длиннейшей и подвздошно-реберных мышц контролируют движения грудной клетки по поясничному отделу, а многораздельная мышца, грудная часть длиннейшей и поясничная часть подвздошно-реберной мышцы контролируют сгибание поясничного отдела. Две последние мышцы также помогают предотвратить переднее смещение поясничных позвонков, которое может сопровождать сгибание.

Разгибатели лежат параллельно позвоночному столбу и, таким образом, как и мышцы живота, при сокращениях оказывают на позвоночник компрессионное усилие.

MacIntosh, Pearcy и Bogduk моделировали действия 49 пучков следующих мышц — поясничной части длиннейшей мышцы, грудного отдела подвздошно-реберной мышцы и поясничного отдела многораздельной мышцы с использованием рентгеновских снимков девяти молодых исследуемых мужского пола, выполнявших полное сгибание поясницы из прямой стойки.

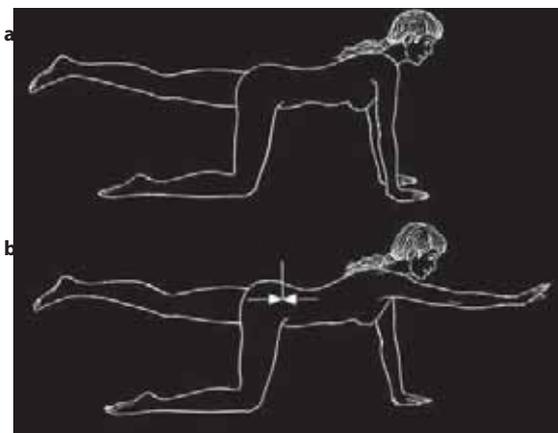
Авторы обнаружили, что в обычном положении стоя эти мышечные пучки создают максимальный осевой крутящий момент позвонка L4 всего в 4 N. Пучки этих мышц не развивали бокового или заднего усилия (или развивали очень незначительную силу), поскольку их волокна направлены параллельно продольной оси позвоночника. Миографическая активность разгибателей поясницы ослабевала при наклоне туловища вперед и возрастала при увеличении кривизны лордоза.

Упражнения для развития силы разгибателей спины часто выполняются лежа на животе, с целью извлечь выгоду из сопротивления, оказываемого силой тяжести разгибанию спины, ног и рук.

Callaghan с коллегами оценивали нагрузку на сегмент L4/L5 у 13 добровольцев мужского пола во время выполнения общеизвестных упражнений. Было обнаружено, что наименьшие компрессионные силы в сегменте L4/L5 возникали при разгибании одной ноги в положении на четвереньках (рис. 1.43, *a*). Одновременное поднятие руки и ноги (правая рука и левая нога) увеличивало нагрузку на 1000 N, а мышечная активность верхней части мышц, выпрямляющих позвоночник, увеличивалась на 30% (рис. 1.43, *b*).

Во время разгибания только правой ноги активировались правая мышца, выпрямляющая позвоночник, и контралатеральные мышцы живота. Их задачей было поддержание нейтрального положения таза и позвоночника и уравновешивание внутренних моментов и боковых сил смещения.

Авторы рекомендовали выполнять упражнения с разгибанием только ноги, потому что при этом положение поясницы остается более нейтральным, а компрессионные усилия достаточно низки (примерно 2500 N). Авторы рекомендовали также не предписывать одновременный подъем тела и ног из положения на животе людям из группы риска повреждения нижней части или повторной травмы поясницы, поскольку при выполнении этого упражнения компрессионное воздействие на поясницу равно примерно 4000–6000 N. Такие высокие



*Рис. 1.43. а — разгибание одной ноги в положении на четвереньках создает небольшие компрессионные нагрузки на сегмент L4/L5; б — одновременный подъем противоположных руки и ноги увеличивает компрессионные силы в этом сегменте на 1000 N, а мышечную активность верхней части разгибателей позвоночника — на 30%, чем при простом подъеме одной ноги*

компрессионные нагрузки являются результатом двусторонней активности мышц при предельном разгибании позвоночника. В этом положении фасетки подвергаются высоким нагрузкам, а межкостистые связки — угрозе разрыва.

### **1.3.4. РОЛЬ СГИБАТЕЛЕЙ И РАЗГИБАТЕЛЕЙ ПРИ ПОДЪЕМЕ ТЯЖЕСТЕЙ**

Мышцы-разгибатели находятся при полностью согнутом положении позвоночника в невыгодной позиции из-за укороченных мышц-антагонистов в таком состоянии и вероятности пассивной недостаточности, связанной с вытянутым состоянием этих мышц.

Сниженная способность разгибателей при наклоне вперед — одна из причин того, почему подъем тяжестей из такого положения затруднителен.

Вместе с тем основная причина того, чтобы не поднимать тяжести в положении наклона вперед, — это увеличение внутридискового давления в поясничном отделе. Даже если человек стоит с полностью согнутым туловищем с маленьким грузом в одной руке, это создает значительную нагрузку на поясничные суставы.

У восьми исследуемых, которые держали 8-килограммовый груз, симметрично расположенный в обеих руках, в разгибателях поясницы генерировался средний момент в 154 N, результатом чего оказалась компрессионная нагрузка на сегменты L4 и L5, равная 2859 N и нагрузка сдвига в 755 N. Генерируемый снаружи передний сдвиг (стремление верхнего позвонка сдвинуться вперед по нижнему позвонку) создавался за счет действия силы тяжести на массу туловища, а сдвиг, генерируемый изнутри, был вызван растягиванием межкостистых связок и задней продольной связки.

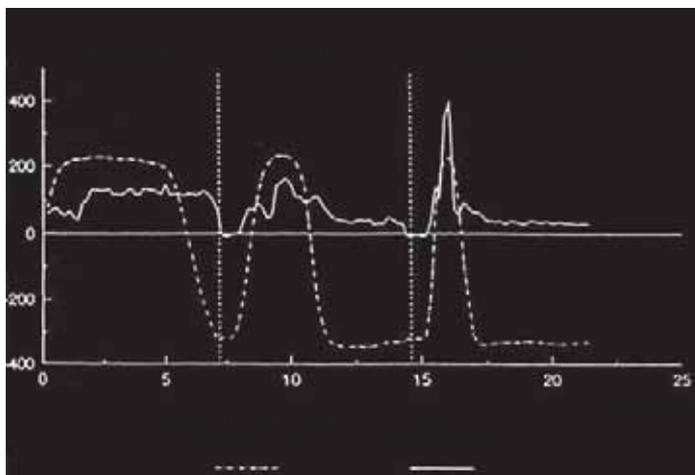
Компрессионная нагрузка в исследуемом положении приближалась к границе безопасности в 3433 N, установленной Институтом профессиональной безопасности и здоровья.

Критическими факторами при подъеме тяжести в согнутом положении являются: расстояние от тела до предмета, который надо поднять, скорость подъема и степень поясничного сгибания.

Чем дальше вес от тела, тем выше гравитационный момент, воздействующий на позвоночный столб. Для подъема тяжести требуется большее мышечное усилие и, соответственно, в диске создается большее давление.

Чем больше скорость подъема, тем больший вес можно поднять, но тем выше нагрузка на поясничные диски.

Относительная нагрузка на позвоночник и прикладываемое мышцей, выпрямляющей позвоночник, усилие существенно возрастают вместе с увеличением скорости разгибания туловища (рис. 1.44).



*Рис. 1.44. Изменения момента разгибателей во время серии из трех подъемов. Исследуемый поднимал 10-килограммовый груз с тремя разными скоростями. Показана также кривизна поясницы, указывающая ход подъема*

Возможная причина столь высокой нагрузки состоит, вероятно, в том, что коллагеновая ткань является вязко-эластичной и сопротивляется быстрой деформации сильнее, чем медленной.

Лабораторные эксперименты показали, что сопротивление двигательных сегментов сгибанию увеличивается на 8%, если длительность нагрузочного цикла уменьшается с 10 с до 3, и еще на 2% дополнительно, если цикл длится всего 1 с.

Dolan и коллеги в исследовании 149 мужчин и женщин, которые тянули вверх закрепленный на полу груз, обнаружили, что пассивный момент разгибателей (который определялся, когда все части мышц, выпрямляющих позвоночник, вплоть до T1, не подавали электрических сигналов) увеличивался при поясничном сгибании. При переходе из прогнутого положения стоя до 80% сгибания увеличение было небольшим, но после 80% пассивный момент разгибателей возрос до 120 N у мужчин и 77 N у женщин. Авторы делают вывод, что возрастание пассивного момента разгибателей вызвано растяжением несократимой ткани в мышцах, натяжением связок и фасций и ростом внутрибрюшного давления.

Широкая распространенность у населения проблем со спиной и трудности решения этих проблем стимулировали большое количество исследований, как с целью объяснения механизмов подъема тяжестей, так и определения лучшего способа подъема, предотвращающего травму спины. Для объяснения того, какие силы нужны для подъема тяжелого груза и как снизить компрессионные нагрузки на диски, была выдвинута теория внутрибрюшного давления.

В 1957 г. Bartelink выдвинул гипотезу о том, что сокращение мышц живота (поперечных и внутренних косых) при закрытой голосовой щели увеличивает внутрибрюшное давление, поддерживающее грудную клетку и, таким образом, облегчает подъем груза мышцам спины.

Эта теория подверглась критике на основании расчетов, которые показали, что для того, чтобы создать требуемое для поддержки грудной клетки усилие, внутрибрюшное давление должно превышать систолическое давление крови в аорте. Дальнейшие расчеты показали, что сила сокращения, необходимая для создания такого давления, превышает максимально возможное напряжение мышц живота, возникающее, например, при кашле.

Вопросы, возникшие в части достоверности теории внутрибрюшного давления, вынудили исследователей создать новые теории, чтобы объяснить, каким образом выполняется подъем тяжести.

Gracovetsky предложил теорию, в которую внутрибрюшное давление включено в качестве одного из компонентов, но роль его несколько отличается от описанной выше. Он предположил, что мышцам-разгибателям спины при подъеме тяжести помогает момент растяжения, создаваемый пассивным натяжением задней связочной системы, а также пассивным и активным натяжением груднопоясничной фасции.

По Gracovetsky, натяжение создается передним наклоном туловища, при этом натягивается задняя связочная система, в которую входят капсулы зигапофизарных суставов, задняя продольная связка, надостистые связки, желтая связка и межостистые связки. Сокращение разгибателей бедра в замкнутой кинематической цепи развивает усилие, отклоняющее таз назад и создающее натяжение вдоль всей задней связочной системы.

MacIntosh с сотрудниками предположили, что пассивный момент разгибателей создан большей частью пассивными эластичными элементами многораздельной мышцы, поясничного раздела подвздошно-реберной мышцы и поясничным отделом длиннейшей мышцы, с увеличением при полном наклоне на 15–59%.

Используя для подъема модель с ограниченным количеством элементов, Kong обнаружил, что при более тяжелых нагрузках, а также в положениях более высокого наклона мышцы играют более важную роль в стабилизации позвоночника, чем пассивные структуры. Мышечная дисфункция дестабилизировала позвоночник, усиливала значение фасеточных суставов в передаче нагрузки и смещала нагрузку на связки и диски. Существенно возрастало давление и растяжение в задней связке. При 10% снижении мышечной силы увеличение растяжения задней связки происходило на 65%.

При переднем сгибании позвоночника происходит пассивное натяжение груднопоясничной фасции и задний наклон таза. Активное натяжение груднопо-

ясничной фасции возникает при сокращении широчайшей мышцы спины, внутренних косых мышц и поперечной мышцы живота.

Полагают также, что внутренние косые и поперечная мышца живота отвечают за повышение внутрибрюшного давления при закрытой голосовой щели. Внутрибрюшное давление увеличивает натяжение грудопоясничной фасции и таким образом усиливает момент разгибания, который может создавать грудопоясничная фасция. Для правильного функционирования грудопоясничной фасции требуется определенное внутрибрюшное давление, а для эффективной деятельности — определенная степень сгибания позвоночника. Если внутрибрюшное давление низкое, натяжение грудопоясничной фасции уменьшается и, соответственно, уменьшается и создаваемый ею момент разгибания.

Granat и Marras, используя биомеханическую модель, показали, что во время поднятия тяжестей прямая мышца живота и внешние косые мышцы создают значительный момент сгибания, который может достигать 47% от момента разгибания. Таким образом, момент, создаваемый при поднятии веса разгибателями спины, должен превышать как момент, создаваемый мышцами-сгибателями, так и момент веса туловища. Общий момент, создаваемый мышцами-разгибателями, должен быть больше гравитационного момента на 47%. Активность сгибателей также увеличивает компрессию и усилие переднего сдвига в поясничном отделе позвоночника.

Теория Gracovetsky, которая включает в себя и роль центральной нервной системы (ЦНС), не была доказана, однако она дает направление будущим исследованиям.

В соответствии с его теорией ЦНС действует как управляющий компьютер, который следит за количеством нагрузки, приходящейся на каждый из межпозвоночных суставов, и регулирует ее количество так, чтобы минимизировать стресс и защитить суставные структуры. Минимизация стресса может идти через уменьшение мышечного сокращения и переключение на связочную поддержку, изменение относительной доли участия мышц и связок, изменение положения позвоночника или прекращение подъема. Использование связочной поддержки вместо мышечной также сохраняет энергию.

Ladin с сотрудниками показали, что мышцы обладают функцией сохранения энергии — в том плане, что они реагируют на нагрузку периодами активности и бездействия. Более того, они обнаружили, что порог нагрузки, требуемой для мышцы или мышечной группы, можно прогнозировать.

В качестве способа поднимания тяжестей, который защищал бы нижнюю часть спины, было предложено поднимание веса с приседанием. При этом способе человек сгибает преимущественно колени, а туловище, по сравнению с подъемом из положения стоя, когда колени прямые или слегка согнуты и наклон выполняется преимущественно туловищем, сгибается незначительно.

Ровин исследовал участие мышц и связок при обоих вариантах подъема веса на 15 мужчинах, поднимавших груз от 5,8 до 32,4 кг. Как и следовало ожидать, компрессионная сила значительно возросла как при подъеме с приседанием, так и из положения стоя. Однако при последнем способе усилия сдвига в L4/L5 были в 2–4 раза выше при подъеме с наклоном.

Передний сдвиг при подъеме с наклоном происходил за счет действий косых мышц живота и межостистых и надостистых связок, задний сдвиг — за счет мышц, выпрямляющих позвоночник. При обоих вариантах подъема мышцы живота и широчайшая мышца спины развивали относительно низкую активность (менее 20% от максимума). Был сделан вывод, что компрессионное усилие нарастает с увеличением веса.

На основании доминирования мышечного момента над связочным авторы пришли к заключению, что в развитии момента разгибателей связки играют незначительную роль. Вместе с тем было отмечено взаимодействие между мышцами и пассивными тканями. При подъемах, в которых связочный момент оказывался наибольшим, мышечная активность была снижена.

В качестве средства, помогающего человеку поднимать больший вес, было также предложено изменение скорости подъема. Когда вес поднимают медленно, или держат непрерывно, а связочная система и грудопоясничная фасция обеспечивают наибольшее усилие, связки подвергаются деформации. Деформационное удлинение связок создает предел максимального веса, который можно поднять медленно, потому что связки должны при этом еще обеспечивать баланс внешних моментов.

Медленно человек может поднять только четверть того веса, который он способен поднять с высокой скоростью. Однако при быстром подъеме могут возникать и большие моменты на уровне L5/S1.

### 1.3.5. МЫШЦЫ ТАЗОВОГО ДНА

**Строение.** Хотя мышцы, поднимающие задний проход и копчиковые мышцы, не выполняют поддерживающей функции и не вызывают движение позвоночника, они упоминаются здесь по причине своей близости к позвоночному столбу и возможного влияние на связки, которые создает таз.

Мышцы, поднимающие задний проход, состоят из двух отдельных частей: подвздошно-копчиковой мышцы и лобково-копчиковой мышцы, которые помогают формировать дно таза и отделяют тазовую полость от промежности.

Широкие левый и правый листки мышц, поднимающих задний проход, образуют большую часть тазового дна.

Медиальные границы правой и левой мышцы разделены висцеральным выходом, через который проходят мочеточник, влагалище и аноректум.

Лобково-копчиковая часть мышцы идет от задней стороны лобка и имеет прикрепления к сфинктеру, мочеточникам, стенкам влагалища (у женщин) и шишковидному телу прямой кишки (как у мужчин, так и у женщин).

Подвздошно-копчиковая часть, которая идет от запирающей фасции, — тонкая. Ее волокна смешиваются с волокнами заднепроходно-копчиковой связки, образуют шов и прикрепляются к двум последним копчиковым сегментам.

Копчиковая мышца поднимается от гребня подвздошной кости и прикрепляется к копчику и нижней части крестца. Ягодичная поверхность мышцы переходит в крестцово-остистую связку (рис. 1.45).

**Функции.** Произвольные сокращения мышц, поднимающих задний проход, помогают сжиманию отверстий тазового дна (мочеиспускательное отверстие и задний проход) и препятствуют нежелательному мочеиспусканию и дефекации (стрессовое недержание).

Непроизвольные сокращения этих мышц происходят при кашле или задержке дыхания, когда возрастает внутрибрюшное давление.

У женщин эти мышцы окружают влагалище и помогают поддерживать матку. Во время беременности мышцы могут растягиваться и травмироваться, в результате чего при повышении внутрибрюшного давления может возникнуть стрессовое недержание.

У мужчин повреждение этих мышц может случиться при операции предстательной железы.

Копчиковая мышца помогает мышце, поднимающей задний проход, поддерживать органы таза и сохранять внутрибрюшное давление.

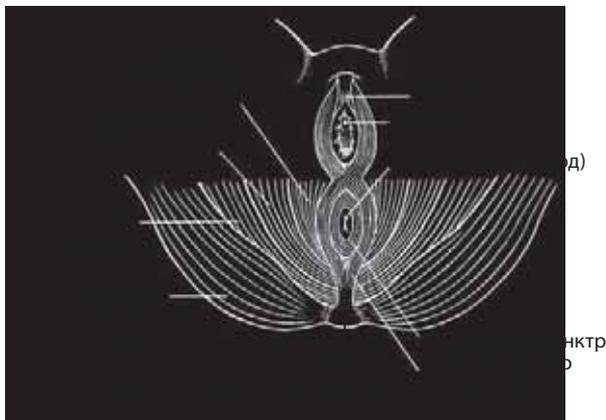


Рис. 1.45. Мышцы тазового дна

## 1.4. ОБЩИЕ ЭФФЕКТЫ СТАРЕНИЯ И ТРАВМ

Позвоночник, как и другие структуры тела, подвержен старению, заболеваниям, травмам и дефицитам развития. Любой из структурных компонентов может оказаться затронут такими состояниями, однако травмы и дегенеративные заболевания чаще наблюдаются в областях, подверженных наибольшему стрессу.

В норме позвоночник способен выдерживать значительные нагрузки, но если стресс оказывается неожиданным, длительным или чрезмерным, вероятность травмы увеличивается. Даже относительно небольшие нагрузки могут вызвать повреждения, если ранее целостность структуры была нарушена.

### 1.4.1. СТАРЕНИЕ

Старение вызывает изменения в структуре дисков и, соответственно, в функции как самих дисков, так и связанных с ними структур.

По мнению Beattie, дегенерация межпозвоночного диска начинается с износа кольца, что ведет к потере опоры студенистого ядра. Ядро теряет жидкость, приобретает более фиброзный вид, что уменьшает его высоту и сужает дисковое пространство. Соответственно, снижаются способность двигательного сегмента нести вес и стабилизирующая способность фиброзного кольца. Краевое разрастание тел позвонков формирует остеофиты.

Уменьшение высоты диска сближает позвонки и изменяет связи между зигапофизарными суставами. Сужение межпозвоночного пространства приводит к возрастанию компрессионной нагрузки на суставные поверхности. Потеря высоты приводит также к провисанию задней связочной системы.

Недостаточное натяжение задних связок способствует более свободному сгибанию и увеличивает протяженность нейтральной зоны, уменьшая, таким образом, устойчивость позвоночника.

Эти возрастные изменения структуры диска проявляются у мужчин и женщин по-разному. Например, Miller с сотрудниками исследовали 600 дисков поясничного отдела у людей в возрасте от 0 до 90 лет. Мужские диски выказывали признаки дегенерации (наличие остеофитов и потерю высоты диска) раньше, чем женские. У мужчин первые признаки дегенерации наблюдались в группе 11–19 лет, тогда как у женщин они начинали проявляться на десять лет позднее. Возможно, причинами таких половых различий могут быть разная степень активности, большие веса, поднимаемые мужчинами, а также различия между мужчинами и женщинами в строении позвоночника.

Исследования с помощью ЯМР (МРТ) дают достаточно надежную классификацию аномалий дисков и позволяют распознавать анатомические вариации, связанные с дегенеративными заболеваниями дисков.

Beattie в исследовании поясничных межпозвоночных дисков при помощи ЯМР (МРТ) обнаружил, что определенный тип многоуровневой дегенерации или выпячивание диска наблюдалось у 25–85% мужчин и женщин с болями в пояснице, которая, впрочем, не была настолько сильной, чтобы ограничивать активность.

Распространенность подобных явлений значительно возростала в группе пожилых людей, причем два нижних поясничных сегмента оказывались пора-

женными значительно чаще, чем три верхних. Аномальные результаты на картинке ЯМР (МРТ) наблюдались чаще у пациентов с симптоматикой, чем без нее. По сути, у пациентов с симптомами аномалии отсутствовали крайне редко.

Степень грыжеобразования в дисках была не столь значимой, как расположение грыж относительно размера позвоночного канала и их воздействие на стабильность двигательного сегмента.

При исследовании 2480 шейных дисков Matsumoto с коллегами обнаружили, что количество положительных результатов на картинках ЯМР (МРТ) существенно увеличивается с возрастом. Наибольшая частота дегенерации дисков наблюдалась в C5/C6, далее следовал C6/C7 и затем — C4 и C5.

### 1.4.2. ТРАВМА

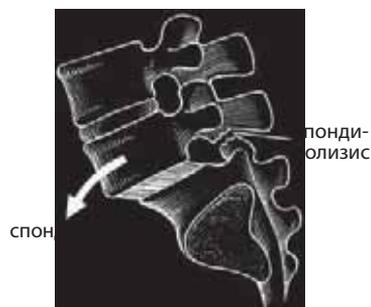
Наиболее подвержен травмам поясничный отдел, хотя часты повреждения и других отделов. Травма или повреждение происходит тогда, когда нагрузка превышает прочность конкретной ткани. Травмы при повторных нагрузках могут быть результатом либо многократного воздействия относительно низких нагрузок, либо действия постоянной нагрузки в течение достаточно длительного времени (длительное сидение или наклон).

Вертикальная травма тела позвонка (разрыв концевой пластинки и повреждение находящихся под ней трабекул) обычно бывает вызвана компрессией в нейтральном положении. Компрессионные переломы обычно вызывают коллапс передней части тела позвонка, где имеется слабая зона (см. рис. 1.8).

Соответственно, потеря высоты и нарушенные связи могут приводить к недостатку натяжения задних элементов. Стресс или переутомление межсуставных частей приводит к ослаблению пластинок. Силы сдвига, воздействующие на такой позвонок, могут приводить к его проскальзыванию вперед (рис. 1.46).

Это состояние, называемое *спондилолистез*, рассматривается как полное или частичное проскальзывание одного позвонка по другому (от лат. *spondylos* — позвонок, *olisthesis* — скольжение с наклоном). Спондилолистез может быть вызван множеством причин и, хотя наиболее часто он встречается в поясничной области, может наблюдаться и в других отделах позвоночника.

Изменение положения проскользнувшего позвонка изменяет его отношения со смежными структурами и создает перегрузку поддер-



**Рис. 1.46.** Силы сдвига пятого поясничного позвонка могут вызывать спондилолистез при наличии неподвижности позвонка

живающих связок и суставов. Излишнее растяжение связок может приводить к неустойчивости и гиперподвижности сегмента.

Сужение заднего суставного пространства, возникающее при проскальзывании позвонка вперед, может приводить к сдавливанию нервных корешков. Более того, такой позвонок может оказывать давление срезания на спинной мозг, а это может привести к параличу.

Боль при спондилолистезе может возникать от избыточного давления на следующие чувствительные к боли структуры: переднюю и заднюю продольные связки, межкостистую связку, нервные корешки, тела позвонков, капсулы зигапофизарных суставов, синовиальные выстилки или мышцы.

Стеноз позвоночника (сужение позвоночного канала) в поясничном отделе может быть вызван гипертрофией пластинки, выпячиванием диска, остеофитами на задних краях тела позвонка и увеличением нижних зигапофизарных фасеток.

Дегенеративные изменения желтой связки, при которых она значительно теряет эластичность и становится фиброзной, могут приводить к ее выпячиванию в канал.

Позвоночный стеноз в шейном отделе связан, по-видимому, со старением. Matsumoto с коллегами обнаружили, что у 23% пациентов в возрасте свыше 64 лет имелись признаки спинномозговых нарушений в шейном отделе. Однако уменьшение площади поперечного сечения спинного мозга никогда не превышало 16%.

Грыжа диска обычно возникает в результате циклических нагрузок со сгибанием и скручиванием либо длительного постоянного воздействия нагрузки в положении сгибания и ротации.

Повреждение связок в поясничном отделе часто бывает результатом падения на ягодицы с согнутой спиной.

Повреждение связок в шейном отделе часто происходит при автомобильных авариях, когда автомобиль травмированного человека получает удар сзади. В результате неожиданного ускорения голова и шея выполняют экстремальное сгибание и разгибание.

### **1.4.3. МОДЕЛЬ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОСЛЕДСТВИЙ ПОВРЕЖДЕНИЙ**

Гипотетические последствия травмы, старения, заболевания или аномалий развития можно проанализировать, принимая во внимание следующие моменты.

1. Нормальная функция, которую должна выполнять поврежденная структура.
2. Стрессы, которые присутствуют в нормальных ситуациях.

Таблица 1.10

**Травма — задняя дисковая грыжа в L4–L5, вызванная разрывом фиброзного кольца сзади**

Нормальный межпозвоночный диск	Гипотетические эффекты травмы
<p><i>Нормальная функция</i></p> <p>1. Амортизация</p> <p>2. Распределение сил</p> <p>3. Ось движения</p> <p>4. Устойчивость — целостность суставов</p>	<p><i>Потеря нормальной функции</i></p> <p>1. Потеря амортизирующей способности</p> <p>2. Аномальная концентрация сил на телах позвонков</p> <p>3. Уменьшение подвижности — нарушение нормального наклона</p> <p>4. Начальное нарушение подвижности, последующее замещение поврежденной ткани фиброзно-хрящевой тканью</p>
<p>Нормальная нагрузка</p> <p>Компрессия</p> <p>Натяжение</p>	<p>Аномальные нагрузки</p> <p>Увеличение компрессии, вызванное потерей амортизирующей способности и способности к распределению сил. Увеличение компрессии может быть связано также с начальным спазмом окружающих мышц</p> <p>Увеличение натяжения любых оставшихся волокон задней части фиброзного кольца и задней продольной связки во время сгибания</p>
<p>Анатомические связи</p> <p>Задняя продольная связка</p> <p>Спинальный мозг</p>	<p>Нарушенные анатомические связи</p> <p>Давление, оказываемое на заднюю продольную связку вышедшим наружу кзади веществом ядра</p> <p>Возможное давление на спинной мозг или нервные корешки, вызванное либо выступом ядра, либо сужением отверстия</p>
<p>Функциональные связи</p> <p>Межпозвоночные суставы</p> <p>Остистые отростки</p>	<p>Нарушенные функциональные связи</p> <p>Уменьшение суставного пространства в межпозвоночном суставе, вызванное потерей гидростатического давления в ядре, может вызывать сдавливание фасеточных суставов при разгибании позвоночника</p> <p>При разгибании может происходить столкновение остистых отростков, связанное с уменьшением суставного пространства в межпозвоночном суставе</p>

3. Анатомические связи структуры со смежными структурами.

4. Функциональные связи структуры со смежными структурами.

**Нормальная структура и функции.** В качестве примера рассмотрим заднюю продольную связку.

1. Нормальная функция этой связки — усиление задней части межпозвоночных суставов и ограничение сгибания позвоночника.

2. Во время сгибания позвоночника связка обычно натягивается. В нормальном состоянии связка при сгибании удлиняется, создавая сопротивление сгибанию, и обеспечивает устойчивость межпозвоночных суставов. Когда позвоночник возвращается в нейтральное положение, связка также возвращается к нормальному состоянию.

3. Анатомически связка с одной стороны примыкает к спинному мозгу и к дискам и телам позвонков — с другой.

4. Функционально связка работает согласованно с надостистой, межостистой и желтой связками в целях ограничения сгибания и обеспечения устойчивости.

**Гипотетические эффекты травмы.** Если в качестве основы использовать полученные знания о нормальном функционировании и строении связки, становится возможным предложить несколько гипотез в отношении последствий повреждения связок вследствие травмы или болезни (табл. 1.10).

Если задняя продольная связка вытягивается, возникает недостаточность поддержки межпозвоночных суставов, что может приводить к избыточному наклону позвонка при сгибании.

Избыточный наклон в сочетании с недостатком опоры задней части кольца может приводить к возможности изнашивания волокон кольца.

Под компрессионным воздействием в результате отсутствия нормальной поддержки со стороны задней продольной связки и возникшего в результате повреждения собственных волокон задняя часть кольца может выпирать в позвоночный канал. Это выпячивание может оказывать давление на спинной мозг или нервные корешки.

Другие функционально связанные структуры, такие как надостистые связки и суставные капсулы фасетных суставов, оказываются под избыточным давлением вследствие уменьшившейся устойчивости межпозвоночных суставов. Эти структуры могут чрезмерно растягиваться во время сгибания позвоночника, что приведет еще к большей неустойчивости.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Модель анализа эффектов изменения структуры, представленная в предыдущих параграфах, может использоваться во всей этой книге. Сама гипотеза и табл. 1.10 представляют собой только образец типа теоретического рассуждения, которое можно применять для анализа эффектов травмы и заболевания любой структуры.

Нормальная функция, функциональные связи и специфика определенных травм и болезней может быть определена изучением специальной литературы по данному вопросу. Читателя призывают следовать такому методу анализа, используя разные структуры, рассматриваемые в этой и в последующих главах.

# ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица П.1

## Мышцы поясничного отдела позвоночника

Мышцы	Описание	Прикрепления	Действие
Большая поясничная мышца	Волокна, начинающиеся на уровне верхних поясничных позвонков, образуют наружную поверхность мышцы Волокна от нижней уровня образуют глубокую часть мышцы. Волокна идут вниз и латерально, вслед подвздошной мышце и тазовому входу	Проксимальные прикрепления находятся на телах двух смежных позвонков дисках от T12 до L5 на поперечных отростках Дистальное прикрепление — малый вертел бедренной кости	Основное одностороннее действие — сгибание бедра. Двустороннее — помогает в сгибании нижней части поясничного отдела при фиксированном бедре и разгибанию верхней части поясницы
Боковая межпоясничная мышца	Две части: вентральная и дорсальная Мелкие мышцы, расположенные между поперечными отростками. Согласно «Анатомии» Грея, эти мышцы в шейном отделе развиты плохо	Вентральная часть соединяет края отростков поясничных позвонков Дорсальная часть соединяет вспомогательные отростки позвонка с поперечными отростками соседнего позвонка снизу	Предположительно действуют вместе с туловищем, однако, согласно Vogduk, реальное действие неизвестно. Согласно «Анатомии» Грея, участвуют в контроле позы, но реальное действие неизвестно
Квадратная мышца (КМП)	Мышца комплексная, с множеством косых и продольных волокон, соединяющих поперечные отростки поясничных позвонков, подвздошную кость и 12-е ребро, к которому крепится большинство волокон	Проксимальные прикрепления — нижняя граница 12-го ребра и поперечные отростки L1–L4, при помощи четырех маленьких сухожилий. Дистальные прикрепления включают верхнюю и переднюю подвздошно-поясничные связки и подвздошные гребни	При дыхании фиксирует 12-е ребро и помогает стабилизировать нижние прикрепления диафрагмы при вдохе. Вызывает одностороннее боковое сгибание позвоночника при фиксированном тазе
Межостистая мышца (ММ)	4 пары коротких мышц по обеим сторонам межостистой связки между L1 и L5	От остистых отростков к остистым отросткам смежного поясничного позвонка	Считается, что участвуют в разгибании поясницы и контроле позы. По Vogduk, истинная роль неизвестна
Медиальные межпоясничные мышцы (МПМ)	Мелкие, короткие парные мышцы, по Vogduk, имеют проприорецептивную функцию. Мышцы могут обеспечивать обратную связь, влияющую на деятельность окружающих мышц	Тянутся между вспомогательными отростками позвонка и мамиллярными отростками нижнего позвонка	Обратная связь при контроле позы. «Анатомия» Грея говорит, что МПМ сочетается с действием МРМ при боковом сгибании туловища, но реальное действие неизвестно



Таблица ПП.1 (окончание)

Мышцы	Описание	Прикрепления	Действие
Многогроздельные мышцы (МРМ)	Самые крупные и медиальные мышцы поясничного отдела Поясничная МРМ состоит из крупных пучков с сегментарной организацией, исходящих от остистых отростков. Каждая из 5 групп пучков выходит из общего сухожилия на каудальном конце остистого отростка каждого поясничного позвонка. Пучки каудально разделены, чтобы иметь возможность отдельного прикрепления к мамиллярным отросткам, подвздошному гребню и крестцу. Более глубокие волокна прикрепляются к зигапофизарным суставам (L1–L5)	Пучки отходят от задней части крестца в четвертом крестцовом отверстии, апоневрозе мышцы, выпрямляющей позвоночник, задних верхних гребней подвздошной кости, дорсальных крестцово-подвздошных связок, мамиллярных отростков L1–L5 и зигапофизарных фасеток От С3–С7 пучки, различаясь по длине, прикрепляются ко всем остистым отросткам на 1, 2 и даже 3 уровня выше	Теоретически МРМ вызывает разгибание поясничного отдела и препятствует сгибанию, поперечному сгибанию и вращению туловища. Кроме того, глубокие волокна, прикрепленные к зигапофизарным суставам, защищают их капсулы от зажима при движениях позвоночника
Длиннейшая мышца (ДМ)	Vogdick описывает поясничную часть этой мышцы как поясничный отдел длиннейшей мышцы. «Анатомия» Грея не использует такое разделение на <i>грудную</i> и <i>поясничную</i> части. По Vogdick, пучки в L5 лежат глубже остальных пучков, прогрессивно выходящих к поверхности. Наиболее поверхностно расположены пучки в L1	В поясничном отделе мышца состоит из пяти пучков. Каждый из них отходит от вспомогательных отростков и смежных медиальных концов дорсальных поверхностных поперечных отростков поясничных позвонков. В L1–L4 пучки образуют сухожилия, которые сходятся и образуют межмышечный апоневроз поясничного отдела, прикрепляющийся к подвздошной кости. Пучок L5 крепится к верхнему подвздошному гребню	Действие зависит от того, сокращается ли мышца односторонне или двусторонне. При одностороннем сокращении вызывает боковое сгибание позвоночника. Двустороннее сокращение вызывает заднюю сакральную ротацию и заднее смещение
Подвздошно-реберная поясничная мышца (ПРПМ)	По «Анатомии» Грея, ПРПМ прикрепляется к углам нижних 6-го или 7-го ребер. Vogdick считает, что мышца состоит из 4 пучков, прикрепляющихся к нижним поясничным позвонкам и подвздошным гребням	По Vogdick, ПРПМ состоит из четырех перекрывающихся друг друга пучков, отходящих от кончиков поперечных отростков L1–L4 и от среднего слоя грудопоясничной фасции. Все пучки прикрепляются к подвздошному гребню	Двустороннее сокращение вызывает разгибание позвоночника Одностороннее сокращение вызывает боковое сгибание в ту же сторону и совместное с МРМ действие по противодействию эффекту сгибания мышц живота, когда они поворачивают туловище

Таблица П1.2

## Мышцы грудного отдела позвоночника

Мышцы	Описание	Прикрепления	Действие
Длиннейшая мышца (грудной отдел) (ДМГр)	Волокна грудного отдела состоят из 11–12 пар мелких пучков	По Voglук и «Анатомии» Грея, в грудном отделе пучки прикрепляются к поперечным отросткам от Т1 до Т12 и между бутрами и углами 4–12-го ребер. По Voglук, каждый пучокобразует каудальное сухожилие, которое идет к одному из остистых отростков L1–L5	Двустороннее — через тягу апоневроза мышц, выпрямляющих позвоночник Одностороннее сокращение вызывает боковое сгибание грудного и поясничного отделов
Подвздошно-реберная мышца (грудной отдел) (ПРМГ)	По Voglук, эта мышца является грудным компонентом поясничной подвздошно-реберной мышцы	По Voglук, мышца отходит от углов 6–8-го нижних ребер и прикрепляется к задним верхним гребням подвздошной кости	Вызывает увеличение лордозного изгиба, способствует деротации грудной клетки и поясничного отдела
Грудной раздел остистой мышцы (ОМГр)	Считается медиальной частью мышцы, выпрямляющей позвоночник. Смещивается с ДМГ и полуостистой мышцей	Проксимальные прикрепления — на остистых отростках верхних грудных позвонков. Дистальные прикрепления — на остистых отростках Т11–L2	Разгибание грудного отдела позвоночника
Грудной раздел полуостистой мышцы (ПОМГ)		Проксимальные прикрепления — остистые отростки С6–Т4 Дистальные прикрепления — поперечные отростки Т6–Т10	Разгибание и контралатеральная ротация шейного и грудного отделов
Ротаторы (РОТ)	Одиннадцать пар мышц, лежащих глубже МРМ	Мышцы соединяют верхнюю заднюю часть поперечного отростка с нижней боковой поверхностью пластинки в Т1–Т12	Ротация позвоночника

## Мышцы головы и шейного отдела позвоночника

Мышцы	Описание	Прикрепления	Действие
Трапецевидная мышца (ТРАП)	Плоские, треугольные, парные мышцы, находящаяся над спиной шей и верхней грудной областью между лопатками	Прикрепления включают в себя медиальную треть верхней выйной линии, внешний затылочный выступ, выйную связку и кончики остистых отростков от С7 до Т12 Верхние волокна спускаются и крепятся к задней границе боковой части ключицы. Средние волокна идут горизонтально и прикрепляются к медиальному отростку акромиона и верхней губе лопаточного гребня. Нижние волокна идут вверх и прикрепляются к медиальному концу лопаточного гребня	Стабилизирует лопатку при движениях руками и фиксированном плече. ТРАП может сгибать шею и голову кзади и вбок В сочетании с мышцей, поднимающей лопатку, ромбовидными и зубчатыми мышцами, производит различные ротации лопатки
Грудно-ключично-сосцевидная мышца (ГКСМ)	Парные мышцы, образуют две крупных ленты (грудинную и ключичную), которые идут косо вперед и вниз к передне-латеральной части шеи	Волокна грудинной головки идут от затылочной кости к верхней передней поверхности рукоятки грудины. Волокна ключичной головки идут от сосцевидного отростка до прикрепления на медиальной трети ключицы	Одностороннее сокращение вызывает контралатеральную ротацию, ипсилатеральное боковое сгибание и разгибание. Двустороннее сокращение усиливает шейный лордоз и вызывает сгибание и разгибание шеи. При фиксированной голове помогает поднимать грудную клетку во время форсированного вдоха
Лестничные мышцы (ПЛМ, СЛМ, ЗЛМ)	Лестничная мышца состоит из трех пар мышц (передней, средней и задней), расположенных на переднелатеральной части шейного отдела	Проксимальное прикрепление ПЛМ и СЛМ — первое ребро Дистальные прикрепления ПЛМ и СЛМ — поперечные отростки С2–С7 ЗЛМ прикреплена ко второму ребру и поперечным отросткам С4–С6. Проксимальные прикрепления — первое ребро и поперечные отростки С4–С6	Двустороннее сокращение — переднелатеральное сгибание, одностороннее сокращение — боковое сгибание в ту же сторону Все мышцы поднимают ребра при обратном действии, и все они активны во время вдоха
Остистая мышца шеи (ОМШ)	По «Анатомии» Грея, эта мышца имеется не всегда	Проксимальное прикрепление — ость осевого позвонка Дистальные прикрепления — нижняя часть выйной связки и остистые отростки С7	Остистые мышцы являются разгибателями позвоночника
Остистая мышца головы (ОМГ)	По «Анатомии» Грея, эту мышцу часто бывает трудно отличить от полуостистой мышцы головы	См. полуостистую мышцу головы	Разгибание шейного отдела позвоночника
Полуостистая мышца шеи (ПМШ)	Шейный отдел ПМГ	Проксимальные прикрепления — ости С2–С5. Дистальные прикрепления — поперечные отростки Т1–Т6	ПМШ вызывает разгибание и контралатеральную ротацию шейного отдела

Мышцы	Описание	Прикрепления	Действие
Полуостистая мышца головы (ПМОГ)	Мышца находится глубже ПЛМ и медиально от шейного и головного отдела длинной шейной мышцы. Средняя часть мышцы называется остистой мышцей головы	Проксимальное прикрепление — зона между передней и задней выйными линиями на затылочной кости. Дистальное прикрепление — поперечные отростки С7–Т7 и зигапофизарные фасетки С4–С6	ПМОГ разгибает грудной и шейный отделы и голову и поворачивает голову в противоположную сторону
Ременная мышца шеи (РМШ)	Мышца находится глубже трапециевидных и ромбовидных мышц	Проксимальные прикрепления — поперечные отростки С2–С3 Дистальные прикрепления — остистые отростки Т3–Т6	Работает вместе с ременной мышцей головы, обеспечивая отведение головы назад
Ременная мышца головы (РМОГ)	Эти парные мышцы находятся глубже трапециевидных и ромбовидных мышц	Проксимальные прикрепления — сосцевидные отростки и затылочная кость чуть ниже латеральной выйной линии Дистальные прикрепления — низ выйной связки и остистые отростки С7–Т4	Отведение головы назад и уплощение шейного отдела. Действует в синергии с ГКСМ, наклоняя и поворачивая голову
Длинная мышца шеи (ДМШ)	Состоит из сухожильных отростков, которые прикреплены к шейным и грудным позвонкам. Мышца состоит из трех частей (нижней и верхней косой и вертикальной)	Нижняя косая тянется от передней поверхности тел Т1–Т3 и прикрепляется к передним буграм поперечных отростков С5 и С6. Верхняя косая идет от бугров поперечных отростков С3–С5 к передней дуге атланта. Отходит от передних частей Т1–Т3 и входит в переднелатеральную поверхность атланта. Вертикальная часть мышцы идет от передней поверхности тел С5–С7 и Т1–Т3 и прикрепляется к передним поверхностям тел С2–С4	Двустороннее действие — сгибание шейного отдела. Одностороннее действие — боковое сгибание и контралатеральная ротация
Длинная мышца головы (ДМОГ)	Образует широкое и толстое прикрепление к затылочной кости, но состоит из сухожильных отростков в прикреплениях к позвонкам	Проксимальное прикрепление — нижняя поверхность затылочной кости. Дистальное прикрепление — поперечные отростки С3–С6	Сгибание головы
Передняя прямая мышца головы (ППМОГ)	Короткие, плоские мышцы, находятся глубже ДМОГ	Проксимально мышцы прикрепляются к нижней поверхности затылочной кости Дистальное прикрепление — передняя поверхность и основание поперечных отростков атланта	Предположительно — сгибание головы в атланто-затылочном суставе
Боковая прямая мышца головы (БПМОГ)	Короткие, плоские мышцы, покрывающие передние поверхности атланто-затылочного сустава	Проксимальное прикрепление — затылочная кость Дистальное прикрепление — верхняя поверхность поперечных отростков С1	Предположительно — боковое сгибание головы с той же стороны в атланто-затылочном суставе. Однако, по «Анатомии» Грея, истинное действие неизвестно



Таблица ПП.3 (окончание)

Мышцы	Описание	Прикрепления	Действие
Шейная часть подзодонно-реберных мышц (ПРМШ)	Медиально относительно сухожилья грудного отдела той же мышцы	Отходит от реберных углов 3–6-го ребер. Прикрепляется к задним буграм поперечных отростков С4–С6	Помогает при разгибании и боковом сгибании позвоночника
Шейная часть длинной шейной мышцы (ДМШч)	Медиально относительно грудного отдела той же мышцы	Прокximальные прикрепления на задних буграх С2–С6 Дистальные прикрепления — поперечные отростки Т1–Т5	Помогает при разгибании и боковом сгибании позвоночника
Головная часть длинной шейной мышцы (ДМГч)	Располагается между ДМШ и ПМГ	Прокximальное прикрепление — задний край сощевидного отростка. Дистальные прикрепления — поперечные отростки Т1–Т5 и зигапофизарные фасетки С4–С7	Помогает при разгибании головы и ротации в ту же сторону
Большая задняя прямая мышца головы (БЗПМГ)	Глубже полуостистой мышцы головы	Прокximальное прикрепление — на затылочной кости Дистальное прикрепление — остистый отросток осевого позвонка (С1)	Разгибание головы и ротация в ту же сторону
Малая задняя прямая мышца головы (МЗПМГ)	Глубже БЗПМГ	Прокximальное прикрепление — на затылочной кости. Дистальное прикрепление — задняя дуга атланта	Разгибание головы
Нижняя косая мышца головы (НКМГ)	Глубже полуостистой мышцы головы	Идет латерально от ости и пластинки осевого позвонка к поперечному отростку атланта	Ротация головы в ту же сторону
Верхняя косая мышца головы (ВКМГ)	Глубже полуостистой мышцы головы	От поперечного отростка атланта идет вверх и прикрепляется к затылочной кости	Заднелатеральное сгибание головы

Примечание: описания мышц позвоночника сделаны на основе данных Bogduk, а также Williams.

## ГЛАВА 2

# ГРУДНАЯ КЛЕТКА И ГРУДНАЯ СТЕНКА

Грудная клетка и грудная стенка выполняют множество важных функций. Важнейшими являются вентиляция легких, защита сердца, внутренних органов. Другая важная функция — создание стабильной основы для прикреплений мышц верхних конечностей, головы и шеи, позвоночника и таза.

Оптимальная вентиляция легких играет жизненно важную роль, поэтому следующая глава будет посвящена именно механизмам вентиляции.

### 2.1. ОБЩАЯ СТРУКТУРА И ФУНКЦИИ

Оптимальная вентиляция легких необходима для функционирования всего человеческого организма. Процесс вдоха и выдоха зависит от исключительно сложного комплекса скелетно-мышечных и кинезиологических взаимосвязей грудной клетки. Вентиляционные меха, как механизм в целом, иногда требуют участия 88 суставов и более 46 мышц.

Вентиляционный механизм человека состоит из трех частей: грудной клетки, дыхательных мышц и мышц живота (рис. 2.1).

Сопряжение и взаимодействие этих трех компонентов в процессе

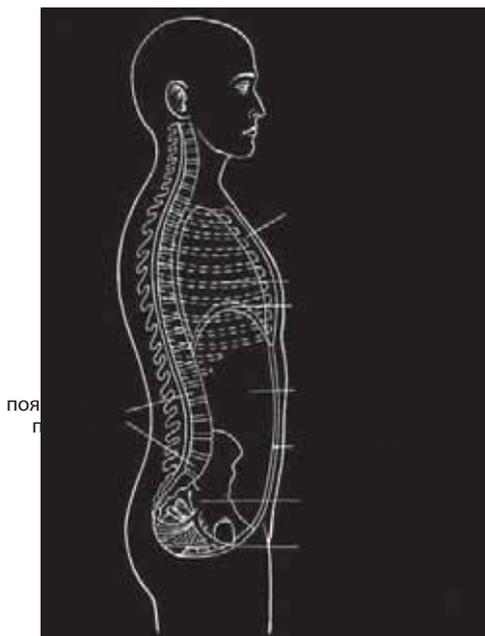


Рис. 2.1. Вентиляционный механизм человека

вентиляции и будет рассматриваться в данной главе. Будут также представлены примеры аномальной структуры и функций вентиляции, для иллюстрации того, как изменение условий и состояния может влиять на биомеханику вентиляционной системы.

## 2.2. ГРУДНАЯ КЛЕТКА

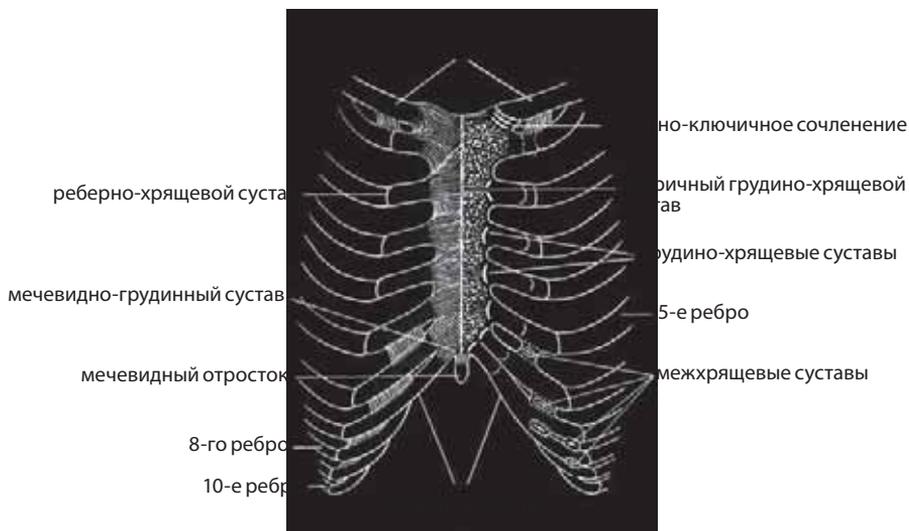
Грудная клетка состоит из 12 пар ребер, реберных хрящей, подвижных сегментов грудного отдела позвоночника и грудины. Ребра с 1-го по 7-го известны как истинные ребра, так как их хрящи прикрепляются непосредственно к груди. Ребра с 8-го по 10-е крепятся к грудине через реберные хрящи, находящиеся над ними. Ребра 11-го и 12-е называются плавающими, поскольку креплений к грудине не имеют вообще. Сзади ребра сочленяются с телами и поперечными отростками грудных позвонков. Спереди ребра соединяются с грудиной посредством реберных хрящей. Грудина является костной пластиной, защищающей сердце, и состоит из рукоятки, тела и мечевидного отростка. Основная функция грудного отдела позвоночника, ребер и грудины — обеспечение защиты жизненно важных органов. Эта защитная роль подчеркивается ограниченной подвижностью грудного отдела позвоночника.

### 2.2.1. СОЧЛЕНЕНИЯ ГРУДНОЙ КЛЕТКИ

Сочленения, которые составляют грудную клетку, включают в себя: рукояточно-грудинный (РГ), мечевидно-грудинный (МГ), реберно-позвоночные (РП), реберно-поперечные (РПП), реберно-хрящевые (РХ), хряще-грудинные (ХГ) и межхрящевые (МХ) суставы (рис. 2.2).

**Рукояточно-грудинный и мечевидно-грудинный суставы.** Рукояточно-грудинный сустав является синхондрозом, т.е. суставом с волокноно-хрящевым диском между гиалиновыми хрящами, покрывающими суставные концы рукоятки и грудины. Рукояточно-грудинный сустав настолько схож с лобковым симфизом, что многие авторы называют его грудинным симфизом. Окостенение сустава наблюдается примерно у 10% взрослых старшего возраста. Примерно у трети взрослых женщин и пожилых мужчин после резорбции центральной части диска возникает выстланная синовием суставная полость. Этот феномен связывали с участием рукояточно-грудинного сустава в ревматоидном артрите. Мечевидно-грудинный сустав также является синхондрозом, связывающим тело грудины с мечевидным отростком. Этот сустав обычно окостенеет к 40–50 годам.

**Реберно-позвоночные суставы.** Типичный РП сустав является синовиальным суставом, образованным головкой ребра, телами двух смежных позвонков и соответствующим межпозвоночным диском. Типичные РП суставы — это су-



**Рис. 2.2.** Вид спереди на сочленения грудной клетки. Заштрихованная область указывает на реберные хрящи. Реберные хрящи соединяются с ребрами в РХ суставах. Реберные хрящи ребер с 1-го по 7-е образуют суставы с грудиной непосредственно, через хрящегрудинные суставы. Реберные хрящи ребер с 8-го по 10-е соединены с грудиной не напрямую, а через реберные хрящи смежного верхнего ребра в межхрящевых суставах. Межхрящевые суставы могут существовать также с 5-го по 9-е ребра. Рукояточно-грудинный сустав имеет волокнохрящевой диск между гиалиновым хрящом, покрывающим суставные поверхности рукоятки и грудины

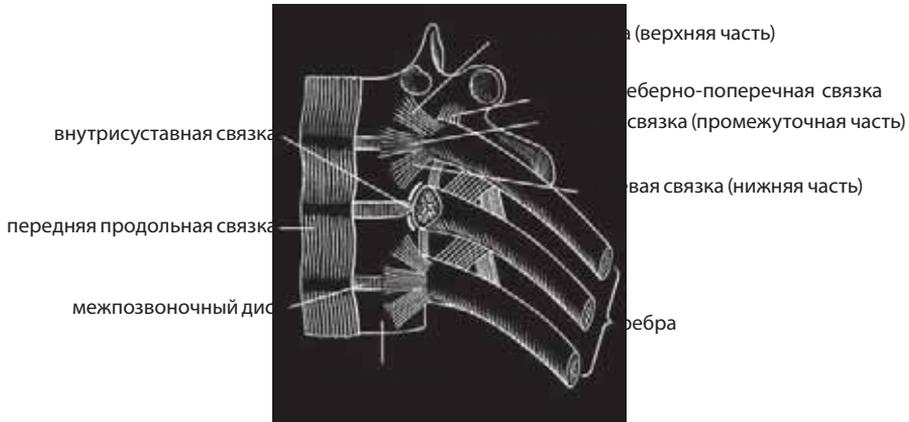
суставы ребер со 2-го по 9-е. Головка каждого типичного ребра имеет две суставные фасетки, или т.н. полуфасетки, которые разделены гребнем, называемым гребнем головки. Реберные фасетки небольшие, овальной формы, слегка выпуклые. Эти полуфасетки называют верхней и нижней реберно-позвоночными фасетками.

Соответствующие фасетки есть у позвонков: верхняя фасетка на нижней части верхнего позвонка и нижняя фасетка на грудном позвонке, с тем же номером, как и ребро. Суставные фасетки головок ребер со 2-го по 10-е аккуратно входят в угол, образуемый позвоночными фасетками и диском.

1-е, 10-е, 11-е и 12-е ребра являются нетипичными и образуют сочленения только с соответствующими по номеру позвонками.

Все внешнее пространство РП сустава окружено фиброзной капсулой. Суставы со 2-го по 9-е ребра разделены на две полости межкостистой и внутрисуставной связками. Эта связка идет от гребня головки ребра и прикрепляется к волокнистому кольцу межпозвоночного диска. В капсуле находится также лучевая связка с прочными прикреплениями к переднелатеральной части.

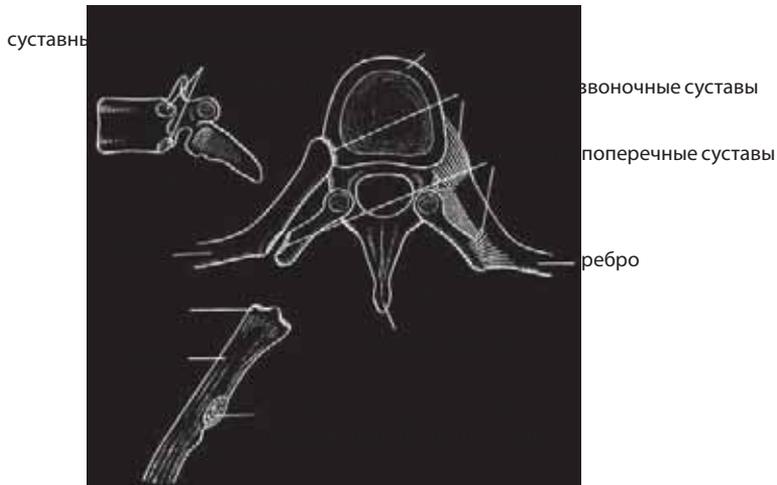
Лучевая связка (рис. 2.3) имеет три части: верхнюю, которая крепится к верхнему позвонку, промежуточную, которая крепится к межпозвоночному диску,



**Рис. 2.3.** РП суставы и связки, вид сбоку. Три части лучевой связки усиливают РП суставы. Верхняя и нижняя части связки прикрепляются к капсульной связке (удалена) и телу позвонка. Промежуточная часть прикрепляется к межпозвоночному диску. В середине рисунка РП сустав показан с удаленными лучевыми связками для демонстрации внутрисуставной связки, которая скрепляет головку ребра с суставным кольцом

и нижнюю, крепящуюся к нижнему позвонку. Сзади капсульная связка сливается с задней продольной связкой позвоночника.

Нетипичные РП суставы ребер 1-го и с 10-го по 12-е более подвижны, чем типичные РП суставы, так как они образуют прикрепления только к одному позвонку. Межкостная связка в этих суставах отсутствует, соответственно, они имеют только



**Рис. 2.4.** РП и РПП суставы: а — вид сбоку грудного позвонка, показывающий суставные поверхности РП суставов; б — вид позвонка сверху, показывающий парные РП и РПП суставы. Капсулы и суставы слева удалены для демонстрации арочных поверхностей; с — суставные поверхности ребра

одну суставную поверхность. Лучевая связка в этих суставах присутствует и имеет верхнюю часть, которая прикрепляется к верхнему позвонку. В РП суставах совершаются движения — как ротации, так и скольжения.

**Реберно-поперечные суставы.** РПП сустав образован сочленением реберного бугра с реберной фасеткой на поперечном отростке соответствующего позвонка (рис. 2.4).

РПП суставы имеются на позвонках с Т1 по Т10 и с 1-го по 10-е ребрах. РПП — синовиальный сустав, окруженный тонкой фиброзной капсулой. Верхние РПП суставы имеют слегка вогнутые реберные фасетки и слегка выпуклые реберные бугры. Это обеспечивает легкую ротацию между данными сегментами. Начиная примерно с Т7 и по Т10 обе суставные поверхности становятся плоскими и в суставах преобладают движения скольжения.

Суставную капсулу РПП сустава поддерживают три основные связки: латеральная реберно-поперечная связка, реберно-поперечная связка и верхняя реберно-поперечная связка (рис. 2.5).

Латеральная реберно-поперечная связка — это короткая плотная лента, находящаяся между реберным бугром и кончиком соответствующего поперечного отростка. Реберно-поперечная связка состоит из коротких волокон, которые идут внутри реберно-поперечного отверстия между шейкой ребра сзади и поперечным отростком на этом же уровне. Верхняя реберно-поперечная связка идет от гребня шейки ребра к нижней границе краниального поперечного отростка.

**Реберно-хрящевые (РХ) и хряще-грудинные суставы.** Ребра с 1-го по 7-е спереди и снаружи сочленяются с реберными хрящами, образуя РХ суставы. РХ суставы являются синхондрозами, окруженными надкостницей. РХ суставы не имеют связочной поддержки.

Реберные хрящи спереди прикрепляются к грудиने, образуя хряще-грудинные суставы. Реберные хрящи 1-го, 6-го и 7-го ребер прикрепляются к грудине посредством синхондроза. Хрящи ребер со 2-го по 5-е прикрепляются к грудине синовиальным суставом. Капсулы продолжают в надкостницу и поддерживают соединение хрящей ребер с 1-го по 7-е в целом. Связочная поддержка капсулы вклю-



*Рис. 2.5. Связки, поддерживающие реберно-поперечный сустав: реберно-поперечная; латеральная реберно-поперечная; межкостистая*

чает в себя переднюю и заднюю лучевые связки. Grieve также описывает реберно-мечевидную связку хряще-грудинного сустава. Внутрисуставная связка, аналогичная внутрисуставной связке РП сустава, всегда разделяет второй хряще-грудинный сустав. Эта связка может не присутствовать в других хряще-грудинных соединениях. Хряще-грудинный сустав может исчезать при старении.

В целом, ребра с 1-го по 10-е сзади соединяются с позвоночником при помощи двух синовиальных суставов (РП и РПП), а спереди — при помощи реберно-хрящевых суставов с рукояткой грудины. Таким образом, суставы образуют закрытую кинематическую цепь, в которой сегменты являются взаимозависимыми, а движение ограничено.

11-е и 12-е ребра образуют открытую кинематическую цепь, движение в которой ограничено в меньшей степени.

**Межхрящевые суставы.** Реберные хрящи с 6-го по 10-е (иногда — по 11-е) сочленяются с хрящом, находящимся непосредственно над ними. Для ребер с 8-го по 10-е это соединение образует единственную связь с грудиной, хоть и не прямую (см. рис. 2.2).

Межхрящевые суставы являются синовиальными и поддерживаются капсульной и межхрящевой связками. Межхрящевые сочленения, такие как хряще-грудинные суставы, имеют тенденцию к фиброзу и застарению в пожилом возрасте.

### 2.2.2. КИНЕМАТИКА РЕБЕР И ГРУДИНЫ

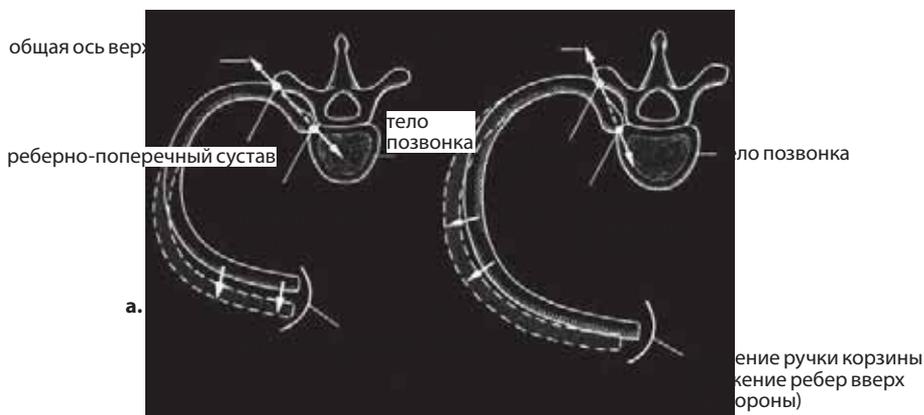
Движение ребер представляет собой удивительное сочетание сложной геометрии, которым управляют типы и углы сочленений, движение рукоятки грудины и упругое взаимодействие реберных хрящей. В отношении механизмов и типов движений, которые наблюдаются в каждом из ребер, существует определенное противоречие, связанное с осями движений РП и РПП суставов.

В целом, исследователи согласны друг с другом относительно структуры и движения первого ребра. Первый реберный хрящ тверже остальных. Кроме того, первый хряще-грудинный сустав является хрящевым, а не синовиальным, и таким образом жестко крепится к рукоятке грудины и позволяет выполнять лишь очень малое движение.

Первое ребро в РП суставе соединяется при помощи только одной фасетки, что увеличивает подвижность этого сустава. Во время вдоха первое ребро поднимается, двигаясь кверху и кзади в РП суставе.

Основное противоречие, связанное с движением ребер, касается типов движений РП суставов и того, могут ли ребра смещаться во время вдоха/выдоха.

Karandji с соавторами полагают, что РП и РПП суставы механически сцеплены с одной осью, проходящей через центр обоих суставов.



**Рис. 2.6.** Оси и движения: *a* — стрелка представляет собой общую ось движения для верхних ребер. Она находится близко к фронтальной плоскости и проходит через центры РП и РПП суставов. Верхние ребра движутся вверх и вперед в движении рукоятки насоса; *b* — ось для нижних ребер лежит ближе к сагиттальной плоскости. Движение этих ребер вверх и в стороны называют движением ручки корзины

Saumarez возражает: ребро является твердым и не может вращаться по одной фиксированной оси, его движение — это, скорее, серия последовательных вращений по смещающейся оси. Функциональная релевантность этого противоречия ясна еще менее.

Если следовать более популярной теории, то ось движения ребер с 1-го по 10-е является общей и проходит через центр РП и РПП суставов. Эта ось находится рядом с фронтальной плоскостью для верхних ребер и почти в сагиттальной плоскости для нижних ребер (рис. 2.6).

Ось движения 11-го и 12-го ребер проходит только через РП сустав, так как РПП суставы отсутствуют.

Во время вдоха ребра поднимаются. Когда подъем происходит в верхних ребрах, он вызывает движение, стимулирующее рукоятку насоса, что связано с нахождением оси почти во фронтальной плоскости. Большая часть реберного движения происходит в переднем конце ребра. Движение рукоятки насоса при подъеме увеличивает переднезадний диаметр грудной клетки.

При подъеме нижних ребер их движение стимулирует движение ручки ведра, поскольку ось движения находится почти в сагиттальной плоскости. Большинство движений нижних ребер выполняется в латеральном аспекте. Движение по типу ручки ведра увеличивает поперечный диаметр грудной клетки в нижних ребрах.

Имеется постепенное смещение ориентации осей движения при движении сверху вниз, таким образом, промежуточные ребра демонстрируют свойства движений обоих типов (см. рис. 2.6).

11-е и 12-е ребра имеют только по одному суставу с позвонками и не имеют передних сочленений с грудиной. Это дает значительные различия движений, выполняемых этими двумя ребрами. Во время вентиляции квадратная мышца поясницы опускает и фиксирует эти ребра для того, чтобы создать адекватное напряжение в диафрагме.

При вдохе грудина также поднимается, и реберный хрящ принимает более горизонтальное положение. Движение ребер толкает грудину, увеличивая при этом переднезадний диаметр стенки грудной клетки. Поскольку 1-е ребро много короче, чем остальные, экскурсия рукоятки грудины меньше, чем самой грудины, что является причиной движения в рукояточно-грудинном суставе.

### 2.3. МЫШЦЫ, СВЯЗАННЫЕ С ГРУДНОЙ КЛЕТКОЙ

Мышцы, которые действуют на грудную клетку, обычно называют дыхательными мышцами (рис. 2.7).

Дыхательные мышцы — это поперечнополосатые скелетные мышцы, которые несколько отличаются от других скелетных мышц. Они имеют большую сопротивляемость к утомлению и высокую окислительную способность; ритмически сокращаются в течение всей жизни, причем это сокращение не является эпизодическим.

Работа дыхательных мышц направлена преимущественно на преодоление эластических свойств (сопротивления) легких и сопротивления дыхательных путей, но не силы тяжести. Управление этими мышцами является как произвольным, так и непроизвольным. В конечном счете, эти мышцы отвечают за поддержание жизни.

Все мышцы, имеющие прикрепления к стенке грудной клетки потенциально могут способствовать вентиляции. Вовлечение мышц в процесс вентиляции связано с типом дыхания. При дыхании, наблюдаемом в состоянии покоя для вентиляции требуются только основные дыхательные мышцы. При активном или форсированном дыхании, которое наблюдается во время выполнения физической нагрузки или при легочных патологиях, в процесс вовлекаются вспо-

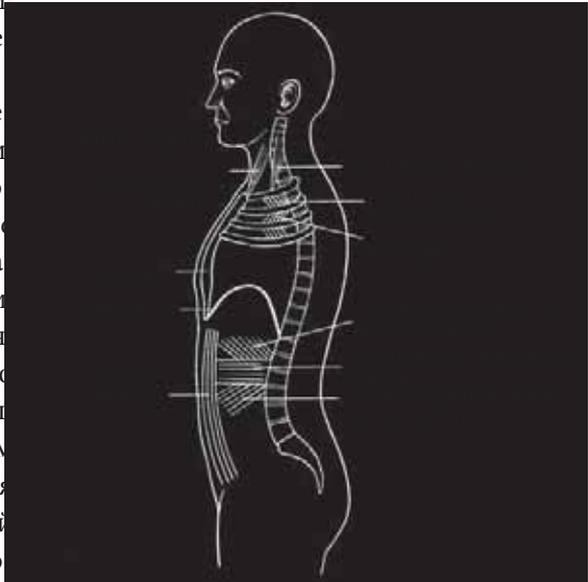


Рис. 2.7. Дыхательные мышцы

могательные мышцы — как вдоха, так и выдоха, что позволяет отвечать повышенным потребностям в вентиляции.

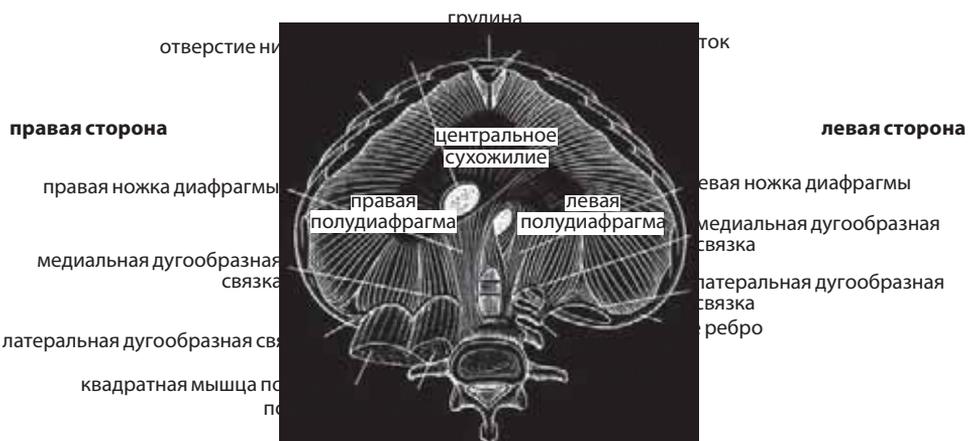
Наиболее точное разделение дыхательных мышц — на основные и вспомогательные. Деятельность мышц во время цикла вентиляции, особенно действия вспомогательных мышц, не является простой и абсолютно достоверной. Это делает попытки категоризации дыхательных мышц, в частности, только на мышцы вдоха и выдоха (еще один вариант — инспираторные и экспираторные мышцы), неточными и ведущими к заблуждениям.

### 2.3.1. ОСНОВНЫЕ ДЫХАТЕЛЬНЫЕ МЫШЦЫ

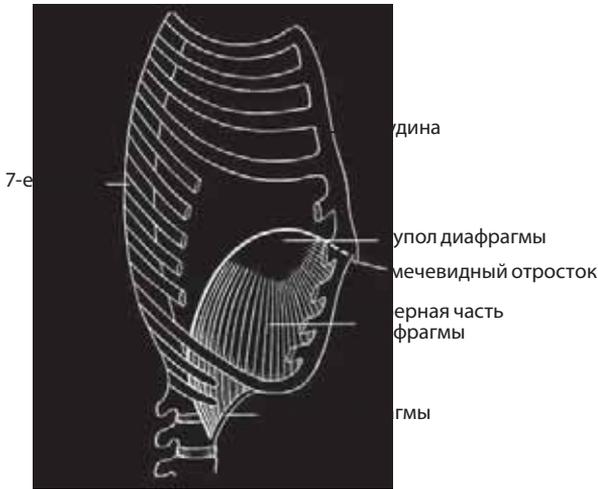
Основные дыхательные мышцы — те мышцы, которые обязательно участвуют в процессе спокойного дыхания. Они включают в себя диафрагму, межреберные мышцы и лестничные мышцы. Все эти мышцы действуют на грудную клетку с целью обеспечить вдох. Основных экспираторных мышц нет, так как выдох в состоянии покоя является пассивным.

**Диафрагма** является основной дыхательной мышцей, на которую приходится примерно от 70 до 80% вдоха при спокойном дыхании. Диафрагма представляет собой круглый комплекс мышечных волокон, которые начинаются от реберных хрящей грудины и тел позвонков и идут кверху, входя в центральное сухожилие. Латеральные листки центрального сухожилия, имеющего форму бумеранга, образуют верхушки куполов правой и левой полудиафрагм (рис. 2.8), которые получают иннервацию и кровоснабжение из правого и левого источников соответственно.

Иннервация идет от правого и левого диафрагмальных нервов. Кровоснабжение поступает от правой и левой внутренних мамиллярных артерий и от



**Рис. 2.8.** Диафрагма. Вид на купол снизу. Мышцы (квадратная мышца поясницы и большая поясничная мышца) слева удалены, чтобы были видны прикрепления средней и латеральной дугообразных связок к поперечному отростку



**Рис. 2.9.** Диафрагма показана сбоку, промежуточные ребра удалены, чтобы был виден купол диафрагмы и реберные прикрепления к внутренним поверхностям и реберным хрящам нижних шести ребер и мечевидному отростку (адаптация по: Kapandji I.A. *The Physiology of the Joints*. 1st ed. Churchill & Livingstone, New York, 1974)

верхней и нижней диафрагмальных артерий.

Функционально мышечная часть диафрагмы делится на реберную, которая начинается от грудного реберного хряща и ребер, и на ножки диафрагмы, которые идут от тел позвонков.

Реберная часть диафрагмы прикрепляется мышечными отростками к задней части мечевидного отростка и внутренним поверхностям шести нижних ребер и их хрящей (рис. 2.9).

Ножки диафрагмы идут от переднелатеральных поверхностей тел и дисков L1/L3 и от апоневрозных дугообразных связок. Медиальная дугообразная связка идет по дуге над верхней передней частью поясничных мышц и продолжается от тела позвонка L1 или L2 к поперечным отросткам L1, L2 или L3. Латеральная дугообразная связка покрывает квадратные мышцы поясницы и тянется от поперечного отростка L1, L2 или L3 к 12-му ребру.

Грудно-брюшное движение при спокойном дыхании является результатом давлений, которые генерируются сокращением диафрагмы, формы диафрагмы и угла тяги ее волокон. Во время однократного вдоха мышечные волокна диафрагмы укорачиваются, вызывая опускание центрального сухожилия. Возникшее в результате увеличение размера грудной полости вызывает снижение плеврального давления. Отрицательное плевральное давление вызывает уменьшение внутрилегочного давления, которое и является ответственным за вдох. При отсутствии сопротивления со стороны лестничных и межреберных мышц это отрицательное плевральное давление и сниженное внутрилегочное давление достаточно сильны, чтобы во время вдоха направить верхнюю апертуру грудной клетки вниз.

Реберные волокна диафрагмы идут от своего начала по вертикали в тесной близости со стенкой грудной клетки, затем изгибаются и входят в центральное сухожилие. Часть диафрагмы, которая находится в непосредственной близости

от внутренней стенки нижней части грудной клетки, называется *зоной аппозиции*.

Во время вдоха опускание купола диафрагмы вызывает лишь небольшое изменение ее формы, сохраняя большую часть зоны аппозиции в незатронутом состоянии.

По мере опускания диафрагма сжимает содержимое брюшной полости, увеличивая тем самым внутрибрюшное давление. Повышенное внутрибрюшное давление передается по сторонам, через зону аппозиции, заставляя расширяться нижнюю часть грудной клетки (рис. 2.10).

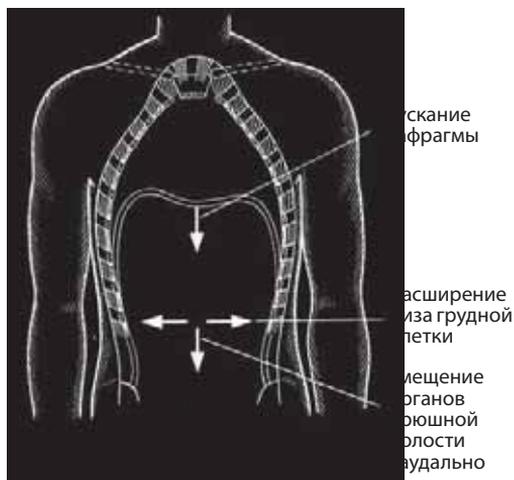
Продолжающееся укорочение реберных волокон диафрагмы при более глубоком вдохе уменьшает зону аппозиции, поскольку верхняя граница зоны оттягивается от ребер в сторону центрального сухожилия. По мере опускания диафрагмы волокна приобретают более горизонтальное положение и дальнейшее их сокращение уже не вызывает подъема низа грудной клетки.

При гиперинфляции легких, наблюдаемом при обструктивных заболеваниях органов дыхания, диафрагма может принимать настолько горизонтальную позицию, что сокращение волокон будет тянуть ребра внутрь, в положение выдоха.

Во время сокращения диафрагмы точкой опоры становится передняя брюшная стенка, который поднимает низ грудной клетки и вращает ее наружу. Таким образом, эластичность брюшной полости является важным фактором инспираторного движения грудной клетки.

Увеличение эластичности брюшной полости при повреждении спинного мозга снижает расширение грудной клетки при дыхании, поскольку пропадает точка опоры, поднимающая нижнюю часть грудной клетки. Уменьшение эластичности при беременности ограничивает экскурсию диафрагмы и увеличивает движение грудной клетки кверху и в стороны.

Ножки диафрагмы оказывают менее прямое инспираторное влияние на низ грудной клетки, чем реберная ее часть. Непрямое действие ножек отражается в опускании центрального сухожилия, что также увеличивает внутрибрюшное давление. Это повышенное давление передается в зону аппозиции диафрагмы и помогает расширить низ грудной клетки.



**Рис. 2.10.** Вид диафрагмы спереди. Ребра удалены, чтобы показать латеральные движения ребер при опускании диафрагмы во время вдоха

**Межреберные мышцы.** Наружные и внутренние межреберные мышцы являются дыхательными. Однако к основным дыхательным мышцам относят только окологрудинную часть внутренних межреберных мышц.

Они соединяют смежные ребра друг с другом и называются внутренними или наружными, в зависимости от их анатомической ориентации.

Внутренние межреберные мышцы отходят от граней внутренних поверхностей ребер с 1-го по 11-е и прикрепляются к верхней границе нижележащего ребра. Волокна внутренних межреберных мышц лежат глубже, чем волокна наружных мышц и идут вверх и назад.

Наружные межреберные мышцы начинаются на нижних границах ребер с 1-го по 11-е и прикрепляются к верхним границам нижележащих ребер. Волокна наружных межреберных мышц идут кверху и под косым углом к внутренним межреберным мышцам.

Внутренние межреберные мышцы начинаются спереди, в хрящегрудинных сочленениях и продолжаются в дорсальном направлении, к реберным углам, где они становятся задней межреберной мембраной.

Внешние межреберные мышцы начинаются сзади, на реберных буграх и тянутся кпереди, к реберно-хрящевым сочленениям, где образуют переднюю межреберную мембрану.

Таким образом, спереди присутствуют только внутренние межреберные мышцы, от хрящегрудинных сочленений до реберно-хрящевых суставов. Эти части внутренних межреберных мышц называют окологрудинными мышцами. Сзади, от реберных бугров до реберных углов, имеются только наружные межреберные мышцы.

По бокам располагаются два слоя мышц — как наружные, так и внутренние межреберные, которые называют еще межкостными или латеральными межреберными мышцами.

Функции межреберных мышц во время вентиляции сложны и противоречивы. Hamberger выдвинул упрощенную теорию, согласно которой наружные межреберные мышцы тянут нижнее ребро к верхнему, что является инспираторным движением, а внутренние мышцы тянут верхнее ребро к нижележащему, что является экспираторным движением.

Недавние электромиографические (ЭМГ) исследования показали, что, хотя наружные межреберные мышцы показывают фазовые сокращения во время вдоха, а внутренние межреберные — во время выдоха, оба типа межреберных мышц могут активироваться в любой дыхательной фазе в случае увеличения минутного объема вентиляции. Любой из типов межреберных мышц может поднимать грудную клетку при низком объеме легких и опускать ее при высоком объеме.

Активация межреберных мышц в цикле вентиляции происходит сверху вниз, а это означает, что вовлечение волокон начинается в верхних межреберных про-

межутках в начальной фазе вдоха и идет книзу по мере его развития. Активация нижних межреберных мышц наблюдается только во время глубокого дыхания.

Межреберные мышцы, самая передняя часть внутренних межреберных мышц, считаются основными дыхательными мышцами при спокойном дыхании. Действие окологрудинных мышц заключается в ротации реберно-грудинных суставов, результатом чего является поднятие ребер и опускание грудины.

Основная функция окологрудинных мышц — стабилизация грудной клетки. Эта стабилизация противостоит отрицательному плевральному давлению, создаваемому при сокращении диафрагмы, и предотвращает парадоксальное или направленное внутрь движение верха грудной клетки при вдохе.

Кинезиология межкостных межреберных мышц включает в себя как вентиляцию, так и ротацию туловища. Межкостные межреберные мышцы, хоть и являются активными во время респираторного цикла, обладают довольно малой активностью, по сравнению с окологрудинными мышцами и диафрагмой.

Межкостные межреберные мышцы играют ведущую роль при осевой ротации туловища. При вращении туловища влево включаются правые наружные межреберные и левые внутренние межреберные мышцы, которые в это время неактивны в правой части грудной клетки. При вращении туловища вправо картина меняется.

**Лестничные мышцы** являются основными при спокойном дыхании. Они прикрепляются к поперечным отросткам позвонков с С3 по С7 и идут к верхним границам первого ребра (передняя и средняя лестничные мышцы) и второго ребра (задняя лестничная мышца).

Активность лестничных мышц возникает в начальной фазе вдоха и увеличивается по мере приближения вдоха к общей емкости легких. Отношение «длина–напряжение» этих мышц позволяет им развивать большую силу в конце респираторного цикла, когда начинает снижаться усилие диафрагмы. Их действие поднимает грудину и первые два ребра в движении ручки насоса (экспансия верха грудной клетки вверх и наружу).

Лестничные мышцы также являются стабилизаторами грудной клетки. Они противодействуют тяге грудины вниз со стороны окологрудинных мышц и не дают совершаться парадоксальным движениям верхней части грудной клетки, провоцируемым отрицательным плевральным давлением при сокращении диафрагмы.

### 2.3.2. ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ ДЫХАТЕЛЬНЫЕ МЫШЦЫ

Мышцы, которые крепят грудную клетку к плечевому поясу, голове или позвоночнику, могут классифицироваться как вспомогательные дыхательные мышцы. Эти мышцы помогают при вдохе или выдохе в стрессовых ситуациях, таких как физическая нагрузка или заболевание.

Когда грудная клетка фиксирована, вспомогательные инспираторные мышцы движут позвоночник, плечи или голову относительно туловища. Во время повышенной вентиляции туловище может быть фиксировано, и мобильным сегментом становится грудная клетка. Вспомогательные инспираторные мышцы, таким образом, увеличивают диаметр грудной клетки, двигая ее вверх и наружу при помощи реверсивного мышечного действия. Некоторые из наиболее часто описываемых вспомогательных мышц рассматриваются ниже, но на самом деле вспомогательных дыхательных мышц может быть много больше. Многие из таких вспомогательных мышц обсуждаются в разных местах книги, в контексте основной мышечной функции.

Грудино-ключично-сосцевидная мышца идет от рукоятки грудины и верхней медиальной части ключицы к сосцевидному отростку височной кости. Обычным двусторонним действием грудино-ключично-сосцевидной мышцы является сгибание шейных позвонков. При фиксированном шейном отделе двустороннее действие этих мышц смещает грудную клетку кверху, что расширяет ее верхнюю часть за счет движения ручки насоса.

Большая грудная мышца может поднимать верх грудной клетки при фиксированных плечевых суставах и плечевых костях. Ключичная головка большой грудной мышцы может по своему действию являться как инспираторной, так и экспираторной, в зависимости от положения верхних конечностей. Если прикрепление большой грудной мышцы к плечевой кости находится ниже уровня ключицы, мышца действует как экспираторная и тянет рукоятку грудины и верхние ребра книзу. Если прикрепление большой грудной мышцы к плечевой кости находится выше уровня ключицы (к примеру, при поднятой руке), мышца становится инспираторной и тянет рукоятку грудины и верхние ребра вверх и наружу.

Малая грудная мышца может помогать поднимать 3-е, 4-е и 5-е ребра при форсированном вдохе.

Трапецевидная мышца может быть полезной при активном вдохе за счет такой фиксации головы, что грудино-ключично-сосцевидная мышца начинает действовать как мышца вдоха.

Подключичная мышца, мышца между ключицей и первым ребром, обычно тянет ключицу вперед и кверху. При реверсивном действии она может поднимать верх грудной клетки на вдохе.

Следующие четыре мышцы живота также считаются вспомогательными дыхательными мышцами.

Поперечная мышца живота прикрепляется к внутренней поверхности задней части нижних шести ребер и идет по окружности с присоединением к переднему апоневрозу и образованием прямой фасции.

Внутренние косые мышцы живота начинаются на подвздошном гребне и паховой связке, идут вверх и медиально и прикрепляются к краям ребер и прямой фасции.

Наружные косые мышцы живота крепятся к наружным поверхностям нижних восьми ребер, их волокна идут вниз и к середине, к паховой связке, подвздошному гребню и белой линии.

Прямая мышца живота тянется от передних поверхностей реберных хрящей ребер с 5-го по 7-е и мечевидного отростка, снизу она прикрепляется к лобку.

Мышцы живота долго считали экспираторными мышцами, равно как мышцами-сгибателями и ротаторами туловища. Основной функцией мышц живота во время вентиляции является помощь при форсированном выдохе. Мышечные волокна тянут ребра и реберные хрящи каудально, в движение выдоха. За счет увеличения внутрибрюшного давления мышцы живота могут толкать диафрагму вверх, в грудную полость, что увеличивает как объем, так и скорость выдоха.

Вместе с тем мышцы живота играют значительную роль и для вдоха. Увеличенное внутрибрюшное давление, созданное мышцами живота во время выдоха, давит диафрагму вверх и создает пассивное растяжение реберных волокон диафрагмы. Эти изменения готовят систему к оптимальному вдоху, оптимизируя отношение «длина–напряжение» диафрагмы. Во время вдоха мышцы живота помогают тем, что расширяют боковые стенки грудной клетки, создавая переднюю стабильность живота. В этом случае он может действовать как точка опоры, сохраняя зону аппозиции. В положении на спине мышцы живота не нужны и, по сути, на ЭМГ они «молчат». Активность мышц живота увеличивается при выполнении физической нагрузки, когда возникает повышенная потребность в вентиляции.

Квадратная мышца поясницы, которая обычно действует как латеральный сгибатель позвоночника и подтягивает гребень подвздошной кости вверх, является еще и вспомогательной мышцей выдоха. Она крепится к 12-му ребру и стабилизирует диафрагму при эксцентрическом сокращении во время пронации.

Мышцы, поднимающие ребра, — околопозвоночные мышцы, функционально связанные с межреберными мышцами. Мышцы, поднимающие ребра, находятся между С7 и Т1. Их волокна идут от поперечных отростков позвонков к задним наружным поверхностям следующего нижнего ребра между бугром и углом. Мышцы, поднимающие ребра, помогают при вдохе в вертикальном положении, а также — при латеральном сгибании туловища.

Поперечная мышца груди — это плоский мышечный слой, идущий под окологрудными мышцами. Она начинается от задней поверхности каудальной половины грудины и идет в направлении головы и латерально, входя во внутреннюю поверхность реберных хрящей ребер с 3-го по 7-е. Недавние исследования показали, что эта мышца является, прежде всего, мышцей выдоха, особенно активного, такого, как наблюдается при кашле, смехе или выдохе до функциональной остаточной емкости. В покое, в положении на спине, эта мышца неактивна. Она становится активной во время спокойного выдоха у пожилых людей, особенно — в положении стоя.

## **2.4. КООРДИНАЦИЯ И ИНТЕГРАЦИЯ ДЫХАТЕЛЬНЫХ ДВИЖЕНИЙ**

Понять, оценить и измерить координацию и интеграцию скелетных и мышечных компонентов стенки грудной клетки во время дыхания достаточно сложно.

В последних исследованиях использовались техники ЭМГ с электрической стимуляцией и сложные методы компьютерного анализа движений. Только сейчас поставлены под сомнение некоторые виды анализа и описаний движений грудной клетки и мышечные действия, которые были описаны еще в XVIII в.

Сложность координированных действий многих мышечных групп, участвующих даже в спокойном дыхании, очевидна, — мы лишь слегка коснулись некоторых этих аспектов.

Многие из дыхательных мышц участвуют в деятельности, не имеющей прямого отношения к вентиляции, — таких как речь, дефекация и поддержание позы. Для того, чтобы эти мышцы могли выполнять столь разные действия, участвуя при этом еще и в вентиляционной функции, требуется высокий и сложный уровень координации.

### **2.4.1. НОРМАЛЬНАЯ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ДВИЖЕНИЙ СТЕНКИ ГРУДНОЙ КЛЕТКИ ВО ВРЕМЯ ДЫХАНИЯ**

При наблюдении за животом и стенкой грудной клетки при спокойном дыхании нормального здорового человека обычно видна следующая последовательность движений.

Сначала сокращается диафрагма, и происходит каудальное движение центрального сухожилия. Внутрибрюшное давление увеличивается, и содержимое брюшной полости смещается так, что передняя надчревная стенка живота выпячивается. Когда центральное сухожилие фиксируется или стабилизируется на органах брюшной полости, вертикальные волокна зоны аппозиции тянут нижние ребра вверх и наружу, в результате чего возникает латеральное движение низа грудной клетки. После латеральной экспансии, при продолжении вдоха, межреберные и лестничные мышцы, поднимающие ребра, активно вращают верхние ребра и поднимают рукоятку грудины, в результате чего возникает переднее движение верха грудной клетки.

Латеральное и переднее движение грудной клетки могут происходить одновременно. Выдох во время спокойного дыхания является пассивным и происходит за счет эластической отдачи компонентов легких и стенки грудной клетки.

## **2.5. ВОЗРАСТНЫЕ ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ И ФУНКЦИИ**

### **2.5.1. ОСОБЕННОСТИ НЕОНАТАЛЬНОГО ПЕРИОДА**

Конфигурация эластичности и действий мышц стенки грудной клетки существенно изменяются от раннего детства к пожилому возрасту.

Здоровый новорожденный имеет удивительно эластичную грудную клетку, поскольку она является преимущественно хрящевой. Хрящевые ребра, с соответствующей деформацией, дают возможность новорожденному пройти по родовому каналу. Повышенная эластичность грудной клетки (за счет стабильности) делает мышцы стенки грудной клетки новорожденного преимущественно стабилизаторами, противодействующими отрицательному плевральному давлению диафрагмы во время вдоха. Окостенение ребер происходит только через несколько месяцев после рождения.

Организация грудной клетки новорожденного имеет более горизонтальное расположение, чем эллиптическое, наблюдаемое у детей старшего возраста или у взрослых.

Такая конфигурация грудной клетки в младенческом возрасте изменяет угол прикрепления реберных волокон диафрагмы и делает их ориентацию скорее горизонтальной, чем вертикальной. Эти волокна тянут нижние ребра внутрь, тем самым снижая эффективность вентиляции и увеличивая деформацию грудной клетки. Только 20% мышечных волокон диафрагмы новорожденного устойчивы к утомлению, по сравнению с 50% у взрослых. Такое несоответствие делает диафрагму детей младшего возраста более предрасположенной к утомлению.

Вспомогательные дыхательные мышцы детей раннего возраста также находятся в невыгодном положении. До тех пор, пока ребенок не начинает стабилизировать верхние конечности, голову и позвоночник, вспомогательным дыхательным мышцам сложно выполнять реверсивное действие, необходимое для полного содействия вентиляции.

### **2.5.2. ОСОБЕННОСТИ ПОЖИЛОГО ВОЗРАСТА**

Скелетные изменения, которые происходят при старении, влияют и на легочную функцию.

Окостенение реберных хрящей является помехой их осевой ротации. С возрастом многие суставы грудной клетки подвергаются фиброзу. Возрастной фиброз межхрящевых и реберно-хрящевых суставов, облитерация хряще-грудинных суставов и окостенение мечевидно-грудинного сочленения наступают обычно к 40 годам.

Другие суставы грудной клетки, являющиеся истинными синовиальными суставами, могут претерпевать возрастные морфологические изменения, результатом которых является снижение подвижности. С возрастом значительно уменьшается эластичность стенки грудной клетки. Имеются также данные об уменьшении эластичности диафрагмы, которое, по меньшей мере частично, связано с уменьшением эластичности грудной клетки, особенно нижних ребер, являющихся частью зоны аппозиции.

Положение покоя грудной клетки зависит от равновесия между свойствами эластической отдачи легких и соответствующей тяги грудной клетки внутрь и наружу. Эластичность грудной клетки с возрастом уменьшается. Снижение отдачи легочной ткани позволяет грудной клетке оставаться в более инспираторном положении, которое характерно увеличенным переднезадним диаметром грудной клетки. У пожилых людей часто наблюдается увеличение кифоза, в силу чего также снижается подвижность грудного отдела и грудной клетки.

Результатом этих скелетных и тканевых изменений является увеличение функциональной остаточной емкости и уменьшение инспираторной способности грудной клетки. Функциональное значение этих изменений в том, что в конце выдоха в грудной клетке остается больше воздуха, снижается потенциал газообмена и уменьшается вентиляторный резерв, который при болезни или выполнении нагрузки оказывается необходимым.

Скелетные дыхательные мышцы пожилых людей теряют силу, окислительную способность, отмечено также уменьшение числа быстрых волокон типа II и удлинение времени достижения пикового напряжения.

С возрастом дыхательные мышцы становятся более энергозатратными. Купол диафрагмы в покое становится менее выпуклым, кроме того, отмечается снижение тонуса брюшной стенки.

Если суммировать: происходит снижение эластичности костного компонента грудной клетки, увеличение податливости легочной ткани и снижение эластичности респираторной системы в целом.

**Изменения нормальной структуры и функций.** В настоящем разделе кратко представлены примеры того, как изменяются структура и функция грудной клетки здорового человека под влиянием различных условий и состояний.

Эти примеры представляют собой проблемы, возникающие в скелетно-мышечной и респираторной системе.

### 2.5.3. БЕРЕМЕННОСТЬ

Беременность не считается патологическим состоянием, однако в результате возникают изменения во всех системах органов женского организма.

Воздействие беременности на биомеханику грудной стенки становится наиболее явным во время второй половины беременности, особенно в последнем триместре.

Прогрессивное растяжение матки смещает диафрагму кверху, в результате чего увеличивается окружность грудной клетки.

Современные исследования поддерживают теорию, согласно которой увеличение размеров грудной клетки происходит по следующим причинам:

- ◆ увеличение сокращения диафрагмы вследствие улучшения отношения «длина–напряжение»;
- ◆ увеличение площади аппозиции диафрагмы к низу грудной клетки вследствие ее подъема.

Повышенное внутрибрюшное давление, создаваемое при усиленном сокращении диафрагмы, передается через зону аппозиции, увеличивает латеральную экспансию и подъем низа грудной клетки.

Во время беременности наблюдается отчетливое уменьшение функциональной остаточной емкости, хотя жизненная емкость легких не изменяется.

#### **2.5.4. СКОЛИОЗ**

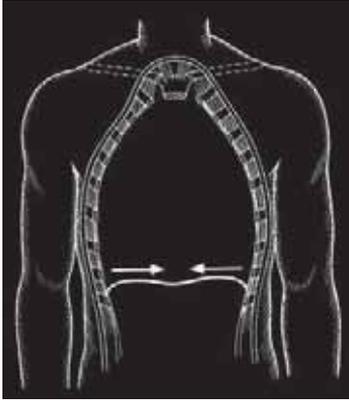
Структурный сколиоз — это пример скелетно-мышечной аномалии, который может влиять на биомеханику грудной стенки и, соответственно, на вентиляцию. При том, что некоторые изменения вентиляции могут вызываться проблемами в шейном и поясничном изгибах, основные ограничения могут происходить за счет грудного изгиба. Степень респираторных нарушений непосредственно связана с тяжестью сколиоза.

При сколиозе происходит ротация тел грудных позвонков. Со стороны выпуклости поперечные отростки идут кзади и тянут за собой ребра. При сколиозе это вызывает классический задний горб. При скручивании ребер назад расширяется межреберное пространство.

С вогнутой стороны сколиотического изгиба эффекты совершенно противоположны. Поперечные отростки позвонков идут вперед и тянут в том же направлении сочленяющиеся с ними ребра. Ребра сближаются, и межреберные промежутки уменьшаются. При достаточной серьезности этих изменений сдвигаются и оси вращения этих ребер, тем самым оказывая влияние на эффективность межреберных и других респираторных мышц и уменьшая эластичность грудной клетки. Эти аномалии ограничивают функцию легких и, в конечном итоге, могут вести к снижению объемов и емкости легких.

#### **2.5.5. ХРОНИЧЕСКИЕ ОБСТРУКТИВНЫЕ ЗАБОЛЕВАНИЯ ЛЕГКИХ**

Основное проявление хронических обструктивных заболеваний легких — гипервентиляция легких, вызванная деструкцией альвеолярных стенок.



*Рис. 2.11. Сокращение уплощенной при гиперинфляции диафрагмы тянет низ грудной клетки внутрь*

Исходное положение грудной клетки зависит от равновесия между свойствами эластической отдачи легких, осуществляющей тягу внутрь, и грудной клетки, осуществляющей тягу наружу.

При тканевой деструкции при болезни эластическая отдача легких ослабевает. К концу выдоха в легких остается больший объем воздуха (гиперинфляция).

Исходное положение грудной клетки меняется от обычной экспираторной позиции к позиции, более характерной для инспираторной части цикла.

В покое наблюдается бочкообразная форма грудной клетки.

Гиперинфляция влияет не только на костные компоненты, но и на мышцы грудной клетки.

Диафрагма в состоянии покоя имеет более уплощенную форму, т.е. ее позиция более напоминает инспираторную, чем нормальную экспираторную. Угол тяги волокон диафрагмы становится более горизонтальным, уменьшается зона аппозиции, уменьшаются сила и амплитуда сокращения.

В тяжелых случаях гиперинфляции волокна диафрагмы могут принимать полностью горизонтальное положение. Сокращение такой уплощенной диафрагмы будет тянуть низ грудной клетки внутрь, на самом деле противодействуя наполнению легких (рис. 2.11).

При гиперинфляции бочкообразная поднятая грудная клетка ставит грудно-ключично-сосцевидные мышцы в положение укорочения, что снижает их эффективность.

В тяжелых случаях диапазон сокращения диафрагмы также становится очень малым. Основная часть вдоха выполняется за счет вспомогательных мышц, в частности, окологрудных и лестничных.

Когда легкие подходят к максимальной емкости, эти мышцы способны развивать большую силу, так что столь сильного действия гиперинфляция на них не оказывает. Верх грудной клетки тянется (за счет их усилий) вверх и наружу.

Диафрагма имеет очень ограниченные возможности для опускания органов брюшной полости, поэтому сильная тяга верха грудной клетки кверху тянет и диафрагму, и органы брюшной полости вверх, под грудную клетку.

Такое парадоксальное грудно-брюшное дыхание (при вдохе живот втягивается и идет кверху, а при выдохе — выпячивается и опускается) является отра-

жением сохраненной эффективности верхней инспираторной мускулатуры грудной клетки при пониженной эффективности диафрагмы.

Вредное действие этих биомеханических изменений при гиперинфляции усугубляется повышенными респираторными запросами при хронических obstructивных заболеваниях легких. От менее эффективной системы требуется выполнение большей работы. Соответственно, затраты энергии на респираторную работу при таких заболеваниях резко увеличиваются.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В настоящей главе были приведены подробные сведения о структуре и функции костной части грудной клетки и респираторных мышцах. Дополнительная информация о структуре и функции вспомогательных дыхательных мышц будет представлена в главе 3 «Плечевой комплекс».

## ГЛАВА 3

# ПЛЕЧЕВОЙ КОМПЛЕКС

Плечевой комплекс состоит из лопатки, ключицы, плечевой кости и суставов, которые связывают эти кости в функциональное единство. Эти компоненты составляют половину веса всей верхней конечности.

Плечевой комплекс связан с осевым скелетом одним анатомическим суставом (грудино-ключичный сустав) и поддерживается мышцами, которые служат основным механизмом, связывающим плечевой пояс с телом.

Такая связь между верхней конечностью и туловищем обеспечивает широкую амплитуду движений (АД) руки, но при этом вступает в конфликт с необходимостью наличия стабильной основы деятельности и с необходимостью выполнять движения плечом и рукой с преодолением больших сопротивлений.

Это противоречие требований стабильности/мобильности устраняется посредством *динамической стабилизации* — концепции, классическим примером которой является плечевой комплекс и в рамках которой функцию плечевого комплекса можно понять наилучшим образом.

По сути, динамическая стабильность существует тогда, когда сегмент или набор сегментов мало ограничен суставной структурой и вместо этого опирается преимущественно на динамическое мышечное управление.

Результатом динамической стабилизации является широкий диапазон подвижности для комплекса, который прекрасно работает в обычных условиях, но который также подвержен проблемам, которые могут возникать при повреждении структур, служащих промежуточными звеньями обеспечения мобильности/стабильности.

### 3.1. КОМПОНЕНТЫ ПЛЕЧЕВОГО КОМПЛЕКСА

Лопатка, ключица и плечевая кость, образующие плечевой комплекс, отвечают за движение руки в пространстве.

Три сегмента контролируются четырьмя независимыми «сцеплениями»: функциональным сочленением, известным под названием лопаточно-грудного (ЛГ) сустава, и трех анатомических суставов, включающих в себя грудино-ключичный (ГКл) сустав, акромиально-ключичный (АКл) сустав и плечевой сустав (ПС). Пятое функциональное сочленение обычно описывают как часть комплекса; оно образуется клювовидно-акромиальной дугой и головкой плечевой кости.

Клювовидно-акромиальная дуга, или так называемый надплечевой сустав, играет важную роль в функции и дисфункции плеча, но мы не будем рассматривать ее как отдельное сцепление.

Все составляющие плечевой комплекс сустава участвуют в подъеме верхней конечности на 180°. Подъем верхней конечности — это комбинация лопаточно-грудного, ключичного и плечевого (лопаточно-плечевого) движений, которые выполняются, когда рука поднимается либо вперед, либо в сторону (включая сгибание, отведение и все промежуточные движения).

ЛГ сустав содействует подъему руки примерно на 60°, тогда как ПС — на 120°. Оба сустава принимают небольшое участие в других движениях руки.

Хотя предметом наибольшего интереса является интегральная лопаточно-плечевая функция, каждый из суставов и компонентов плечевого комплекса следует исследовать отдельно, чтобы потом должным образом оценить их интегрированную динамическую функцию.

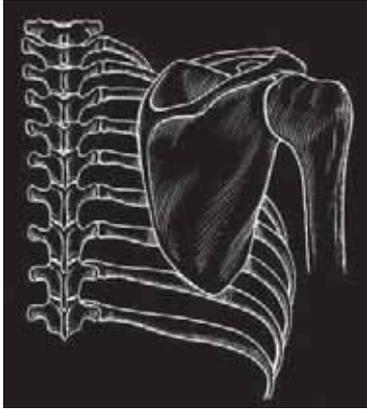
### 3.1.1. ЛОПАТОЧНО-ГРУДНОЙ КОМПЛЕКС

ЛГ сустав образуется сочленением лопатки и грудной клетки, на которой, собственно, лопатка и «сидит». Это не истинный анатомический сустав, поскольку он не обладает ни одной из стандартных характеристик (соединение при помощи фиброзной, хрящевой или синовиальной ткани). Фактически соединение лопатки с грудной клеткой зависит от анатомических акромиально-ключичного и грудино-ключичного суставов.

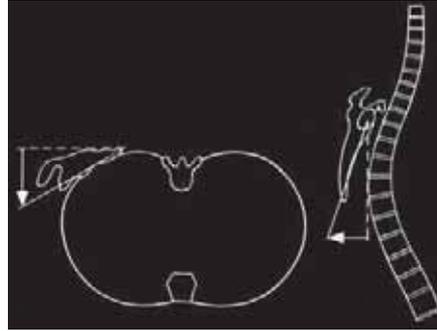
АКл и ГКл суставы взаимозависимы относительно лопаточно-грудного, так как лопатка прикрепляется своим акромиальным отростком к латеральному концу ключицы через АКл сустав; ключица, в свою очередь, прикрепляется к осевому скелету в рукоятке грудины посредством грудино-ключичного сустава.

Любое движение лопатки по грудной клетке должно вызывать движение либо АКл сустава, либо ГКл сустава, либо обоих. Таким образом, функциональный ЛГ сустав является частью истинной замкнутой цепи, образуемой с АКл или ГКл суставами.

Для того чтобы понимать структуру и функцию АКл и ГКл суставов, будет полезно сначала рассмотреть лопаточный сегмент, который они обслуживают, включая то, как лопатка «сидит» на грудной клетке и какие движения могут там выполняться.



**Рис. 3.1.** Лопатка на грудной клетке в положении покоя



**Рис. 3.2.** В состоянии покоя лопатка обычно расположена: *a* — с отклонением в 30–40° вперед от фронтальной плоскости (ось координат); *b* — с отклонением вперед на 10–20° от вертикали (ось координат)

**Лопаточно-грудные положения и движения.** Обычно лопатка находится в положении на задней части грудной клетки, примерно в 5 см от средней линии, между 2–7-м ребрами (рис. 3.1).

Она отклонена на 30–40° вперед от фронтальной плоскости и отклонена вперед от вертикали на 10–20°, со значительными индивидуальными отклонениями (рис. 3.2).

Движениями лопатки из такого исходного положения являются поднятие/опускание, абдукция/аддукция (известны также как *отведение* и *приведение* соответственно) и ротация вверх/вниз (их также называют *латеральной* и *медиальной ротацией*).



**Рис. 3.3.** Подъем/опускание лопатки в лопаточно-грудном суставе

Движения лопатки обычно описывают так, словно бы они совершаются независимо одно от другого. Однако на самом деле сцепление лопатки с АКл и ГКл суставами лишает эти движения изолированности. В частности, подъем лопатки может быть связан с сопутствующей протракцией и верхней ротацией. Для того, чтобы облегчить понимание, мы тоже будем описывать эти движения лопатки по отдельности, а более сложное (и реалистичное) толкование движения лопатки может быть лучше воспринято при представлении интегральной функции плечевого комплекса.

Подъем и опускание лопатки описывают как поступательные движения, при которых лопатка движется вверх (краниальное движение) или вниз

(каудальное движение) из исходного положения по грудной клетке (рис. 3.3).

Абдукция и аддукция лопатки описываются как поступательные движения к позвоночнику или, соответственно, от позвоночника (рис. 3.4).

Верхняя и нижняя ротация — вращательные движения, которые отклоняют суставную ямку вверх и вниз, соответственно. Верхняя и нижняя ротации могут быть также описаны движением нижнего угла от позвоночника (верхняя ротация) или движением нижнего угла к позвоночнику (нижняя ротация) (рис. 3.5).

Лопатка может выполнять также другие движения, которые описывают не столь часто, но которые важны для ее перемещений по грудной клетке. Эти движения, известные под массой разных наименований, здесь будут обозначены как *медиальная/латеральная ротация лопатки* и *передний/задний наклон лопатки*.

Медиальная/латеральная ротация и передний/задний наклон не являются типичными и очевидными движениями лопаточного сегмента, но эти малозаметные движения необходимы для того, чтобы лопатка находилась относительно заподлицо с криволинейной грудной клеткой. Эти движения лопатки могут совершаться и происходят тогда, когда амплитуда лопаточного движения исчерпана, или же в определенных патологических состояниях.

Медиальная/латеральная ротация и передний/задний наклон лопатки лучше всего понимаются в контексте АКл сустава, в котором они, собственно, и происходят, и будут обсуждаться в соответствующем разделе.

**Лопаточно-грудная стабильность.** Стабильность лопатки на грудной клетке обеспечивается структурами, которые сохраняют целостность связанных между собой АКл и ГКл

суставов. Мышцы, которые прикрепляются как к грудной клетке, так и к лопатке, сохраняют контакт между их поверхностями и вызывают движения лопатки.

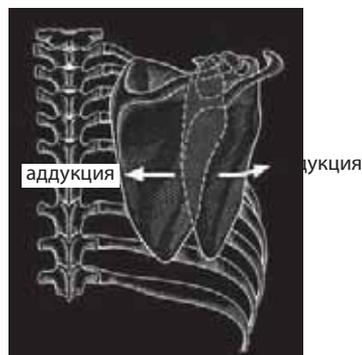


Рис. 3.4. Абдукция и аддукция в лопаточно-грудном суставе

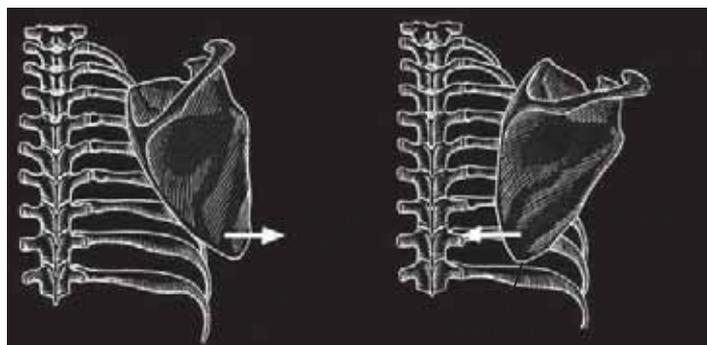


Рис. 3.5. Ротация лопатки вверх/вниз в лопаточно-грудном суставе

Конечной функцией движения лопатки является ориентация суставной ямки для оптимального контакта с выполняющей маневр рукой, увеличение амплитуды при подъеме руки и обеспечение устойчивой основы для управляемого качения и скольжения суставной поверхности головки плечевой кости.

Лопатка, со своими мышцами и связями, выполняет эти функции обеспечения подвижности и устойчивости настолько хорошо, что может служить наилучшим примером динамической стабилизации в человеческом теле.

### 3.1.2. ГРУДИНО-КЛЮЧИЧНЫЙ СУСТАВ

ГКл сустав можно рассматривать как «оперативную базу» лопатки, потому что это единственное структурное прикрепление лопатки к остальному телу, через промежуточную ключицу. Движение ключицы в ГКл суставе неизбежно вызывает движение лопатки. Аналогично, движения лопатки вызывают движения в ГКл суставе.

ГКл сустав — плоский синовиальный сустав с тремя степенями свободы движения. Он имеет суставную капсулу, три главные связки и суставной диск.

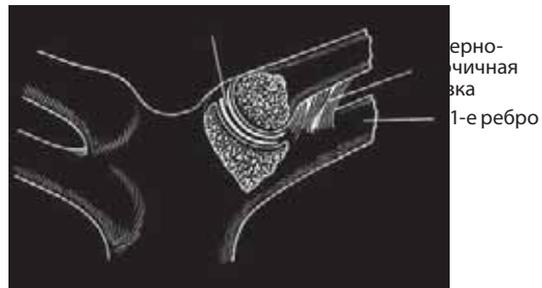
**Суставные поверхности грудино-ключичного сустава.** ГКл сустав состоит из двух седлообразных поверхностей: одной — на грудинном конце ключицы, а другой — на выемке, образованной рукояткой грудины и первым реберным хрящом (рис. 3.6).

Хотя в каждом из компонентов плечевого комплекса имеются серьезные индивидуальные различия, грудинный конец ключицы и рукоятка всегда являются неконгруэнтными, т.е. площадь контакта между суставными поверхностями довольно мала. Верхняя часть медиального конца ключицы вообще не соприкасается с рукояткой; она служит для прикрепления суставного диска и межключичной связки.

В состоянии покоя ГКл сустав имеет клинообразную форму (открыт кверху). Движения в ГКл суставе вызывают изменения в областях контакта между ключицей, суставным диском и рукояточно-реберным хрящом.



*Рис. 3.6. Ключичный и грудинный сегменты ГКл сустава*



*Рис. 3.7. ГКл диск и реберно-ключичная связка*

**Грудино-ключичный диск.** Когда две суставные костные поверхности неконгруэнтны, что характерно для ГКл сустава, полному контакту поверхностей содействуют вспомогательные суставные структуры. В ГКл суставе между суставными поверхностями находится волокнисто-хрящевой суставной диск, или мениск.

Верхняя часть диска крепится к верху ключицы, нижней части рукоятки и первому реберному хрящу, пересекая суставное пространство ГКл сустава по диагонали (рис. 3.7).

Таким способом диск разделяет сустав на две отдельные полости. В силу своих прикреплений, диск при движении в ГКл суставе действует как дверная петля, или как осевая точка опоры.

При поднимании и опускании срединная часть ключицы движется по относительно стационарному диску, и точкой опоры служит его верхнее прикрепление. При протракции/ретракции диск и ключица вместе движутся по фасетке рукоятки, и точкой опоры служит нижнее прикрепление диска.

Таким образом, диск является частью рукоятки грудины при поднимании/опускании и частью ключицы при протракции/ретракции. При переключении, во время движения ключицы, рабочих сегментов диска от одного к другому подвижность между сегментами сохраняется, при этом увеличивается стабильность.

В результате движение ключицы как при поднимании/опускании, так и при протракции/ретракции оказывается весьма сложным комплексом действий. Механическая ось для этих двух движений, при внутрисуставном повороте ключицы по ГКл диску, находится в реберно-ключичной связке.

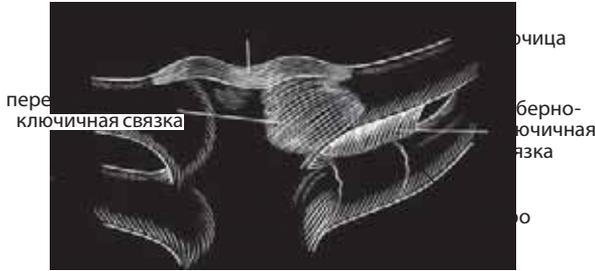
ГКл диск также выполняет важную функцию стабильности за счет увеличения конгруэнтности сустава и поглощения сил, которые могут передаваться по ключице от ее латерального конца.

Если еще раз обратиться к рис. 3.7, можно заметить, что уникальное диагональное прикрепление ГКл диска ставит его в такую позицию, в которой он останавливает медиальное движение ключицы, которое, в противном случае, могло бы вызвать выход большой ключицы за пределы неглубокой фасетки рукоятки.

Диск имеет также значительно больший контакт с медиальной частью ключицы, позволяя ей более эффективно рассеивать медиально направленные силы, чем это могла бы сделать маленькая фасетка рукоятки.

Может показаться, что силы, действующие в медиальном направлении, для ключицы — редкость, мы увидим тем не менее при исследовании АКл сустава и клювовидно-ключичной связки, что это совсем не так.

**Грудино-ключичная суставная капсула и связки.** ГКл сустав окружен довольно мощной капсулой, однако его поддержка зависит преимущественно от трех связок: грудино-ключичных, реберно-ключичных и межключичной связок (рис. 3.8).



**Рис. 3.8.** Грудино-ключичные связки

Передняя и задняя ГКл связки усиливают капсулу. ГКл связки служат, прежде всего, для блокирования переднего и заднего движения головки ключицы.

Реберно-ключичная связка — очень мощная связка, расположенная

между ключицей и первым ребром ниже ее. Реберно-ключичные связки имеют два сегмента или пластинки. В передней пластинке волокна направлены медиально, а в задней — латерально (см. рис. 3.7). Оба сегмента блокируют поднятие ключицы, а при достижении предела могут способствовать скольжению срединной части ключицы вниз, которое происходит при ГКл подъеме.

Считают также, что реберно-ключичная связка противодействует направленным вверх силам, действующим на ключицу со стороны ряда мышц головы и шеи. Медиально направленные волокна передней пластинки блокируют медиальное движение ключицы, поглощая часть силы, которая в противном случае могла бы воздействовать на ГКл диск.

Межключичная связка блокирует излишнее опускание или скольжение ключицы вниз. Ограничение опускания ключицы очень важно для защиты таких структур, как плечевое сплетение и подключичная артерия, проходящая под ключицей и над первым ребром. Фактически, когда ключица опускается, а межключичная связка и верхняя часть капсулы натягиваются, напряжения этих структур достаточно, чтобы выдержать вес верхней конечности.

Костные сегменты ГКл сустава, его капсуло-связочная структура и ГКл диск вместе составляют сустав, который выполняет функции и подвижности, и стабильности.

ГКл сустав соединяет верхнюю конечность с осевым скелетом, способствуя при этом подвижности и выдерживая предлагаемые нагрузки.

Хотя ГКл сустав считается неконгруэнтным, он не подвержен дегенеративным изменениям в такой степени, как другие суставы плечевого комплекса. Мощные рассеивающие усилия структуры, такие как ГКл диск и реберно-ключичная связка, минимизируют нагрузки на сустав, а также предотвращают избыточные внутрисуставные движения, которые могут привести к подвывиху или вывиху.

Вывихи ГКл сустава составляют всего лишь 1% от всех вывихов суставов, и, если они происходят, они доставляют сравнительно небольшой дискомфорт или приводят к незначительной дисфункции.

**Грудино-ключичные движения.** Движениями, которые выполняются в ГКл суставе, являются: поднимание/опускание, абдукция/аддукция и передняя/задняя ротация ключицы.

Движения рычага описываются osteокинематически, т.е. по движению его дистального сегмента. Расположение ключицы по горизонтали (в большей степени, чем вертикальное расположение большинства относящихся к отросткам рычагов скелета) может иногда вводить в заблуждение и нарушать визуализацию ее движений.

Движения поднимания/опускания и протракции/ретракции следует визуализировать по эталонному движению латерального конца ключицы.

Ротация ключицы — это движение качения всей ключицы, поэтому таких проблем с визуализацией, какие могут возникать при других движениях, оно обычно не создает.

**Поднимание и опускание ключицы.** Движения поднимания и опускания выполняются вокруг переднезадней оси и происходят между выпуклой ключичной и вогнутой поверхностями, образованной рукояткой и первым реберным хрящом.

Цефалокаудальная форма суставных поверхностей и расположения оси указывают на то, что выпуклая поверхность должна скользить по вогнутой рукоятке и такой же формы первому реберному хрящу в направлении, противоположном латеральному концу ключицы.

Таким образом, с точки зрения артрокинematики поднимание ключицы происходит в результате скольжения медиальной ключичной поверхности вниз по рукоятке грудины и первому реберному хрящу.

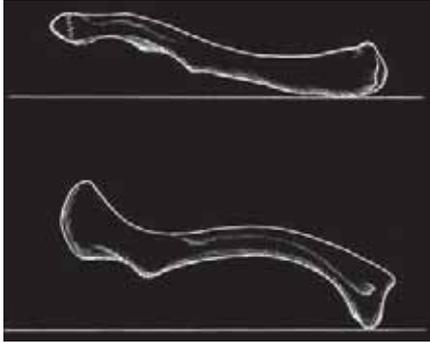
Если нарисовать траекторию движения ключицы, то ось ГКл сустава окажется лежащей латерально по отношению к суставу и идущей по реберно-ключичной связке. Расположение этой в большей степени функциональной, чем анатомической оси столь далеко от сустава отражает довольно значительное внутрисуставное движение; соответственно, более длинное плечо рычага идет по более широкой дуге.

Средняя амплитуда поднимания ключицы примерно  $45^\circ$ , тогда как опускания — порядка  $15^\circ$ .

Поднимание и опускание ключицы однозначно связаны с подниманием и опусканием лопатки, поскольку акромиальный отросток лопатки крепится к латеральному концу ключицы.

Подъем лопатки, который происходит при поднимании ключицы, не является чистым движением; он связан с сопутствующей ротацией лопатки вверх. Эта ротация лопатки вверх, сопровождающая поднимание ключицы, играет важную роль для увеличения амплитуды подъема руки.

**Абдукция и аддукция ключицы** происходят при движении в ГКл суставе вокруг вертикальной оси, которая также находится в реберно-ключичной связке.



*Рис. 3.9. a — нейтральное положение ключицы; b — положение ключицы после ее вращения назад, показывающее нижнюю поверхность (как при сгибании и отведении нижней конечности)*

Конфигурация суставных поверхностей в этой плоскости противоположна наблюдаемой при поднимании/опускании: медиальный конец ключицы является вогнутым, а рукояточная сторона сустава — выпуклой.

С точки зрения артрокинматики ключичная поверхность будет теперь скользить по рукоятке и первому реберному хрящу в том же направлении, что и латеральный конец ключицы. А значит, абдукция ключицы сопровождается передним скольжением медиального конца ключицы по рукоятке и первому реберному хрящу.

И абдукция, и аддукция ключицы совершаются примерно на 15°. Абдукция и аддукция ключицы неизменно связаны с абдукцией и аддукцией лопатки, в силу прикрепления лопатки к дистальному концу ключицы.

**Переднезадняя ротация ключицы.** Ротация ключицы происходит между седловидными поверхностями ключицы и рукояточно-реберной фасетки грудины. В отличие от многих суставов, которые могут вращаться из исходного положения в любом направлении, ключица может вращаться только в одном направлении. Из нейтрального положения ключица вращается назад (*наружная ротация*), при этом ее нижняя поверхность идет кпереди (рис. 3.9).

Из положения полной ротации она может вращаться вперед до возврата в нейтральную позицию. Ось ротации идет продольно через ключицу, проходя через ГКл сустав.

Амплитуда ключичной ротации колеблется примерно от 30 до 55°. Задняя ротация ключицы дает конечные 30° верхней ротации лопатки, которая происходит при подъеме руки.

Механизм, посредством которого ротация ключицы вызывает ротацию лопатки, будет представлен при рассмотрении интегральной функции плечевого комплекса.

### 3.1.3. АКРОМИАЛЬНО-КЛЮЧИЧНЫЙ СУСТАВ

АКл сустав прикрепляет лопатку к ключице. Это плоский синовиальный сустав с тремя степенями свободы. Он имеет суставную капсулу и две основные связки; суставной диск может иметься, но может и отсутствовать.

Основной функцией АКл сустава является поддержание связи между ключицей и лопаткой на ранних стадиях подъема верхней конечности и добавление амплитуды ротации лопатки на грудной клетке в поздних стадиях этого же движения.

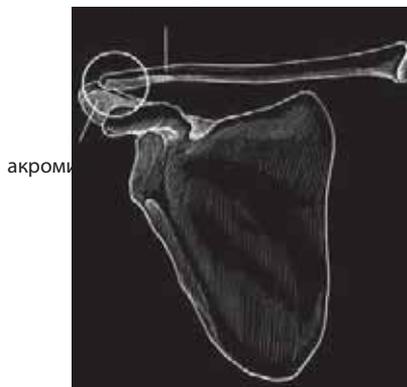
**Суставные поверхности акромиально-ключичного сустава.** АКл сустав состоит из сочленения между латеральным концом ключицы и маленькой фасеткой на акромиальном отростке лопатки (рис. 3.10).

Суставные фасетки, считающиеся неконгруэнтными, различаются по конфигурации. Они могут быть плоскими, реципрочно вогнуто-выпуклыми или реверсивными (реципрочно выпукло-вогнутыми).

Наклон суставных поверхностей у разных людей может значительно отличаться. Derpalma описал три вида суставов, в которых угол отклонения контактных поверхностей от вертикали варьировал от 16 до 36°. Чем ближе к вертикали были суставные поверхности, тем более субъект оказывался подвержен изнашивающим эффектам сил смещения. Учитывая столь вариабельную конфигурацию суставов, артрокинематика этого сустава подчас бывает непредсказуемой.

**Суставной акромиально-ключичный диск.** Диск АКл сустава вариабелен по размеру и имеет значительные индивидуальные различия, причем это относится как к разным периодам жизни, так и разным сторонам тела одного и того же человека.

В течение первых двух лет жизни этот сустав является волокнисто-хрящевым соединением. Со временем суставное пространство увеличивается в обе стороны, и внутри может сохраниться «менискоидное» волокнисто-хрящевое остаточное образование.



**Рис. 3.10.** Акромиально-ключичный сустав. Показано сочленение между акромионом лопатки и ключицей



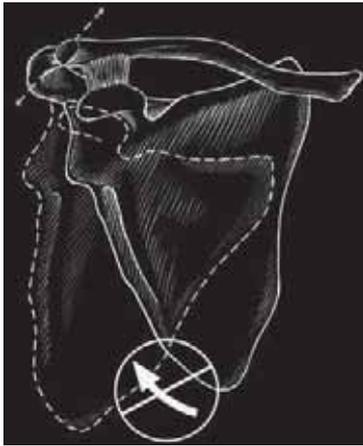
**Рис. 3.11.** Клювовидно-ключичная связка

**Капсула и связки акромиально-ключичного сустава.** Капсула АКл сустава слабая и не может сохранять сустав в целостности без поддержки верхней акромиально-ключичной и нижней клювовидно-ключичной связок (рис. 3.11).

Акромиально-ключичная связка способствует сопоставлению суставных поверхностей и контролю горизонтальной стабильности сустава. Волокна АКл связки усилены апоневрозными волокнами трапецевидной мышцы и дельтовидной мышцы, поэтому поддержка сустава сверху сильнее, чем снизу.

Клювовидно-ключичная связка, хоть и не принадлежит непосредственно к анатомической структуре АКл сустава, обеспечивает значительную часть стабильности сустава и плотно сцепляет ключицу с лопаткой. Эта связка делится на латеральную часть (трапецевидная связка) и медиальную часть (коническая связка).

Трапецевидная связка по форме является четырехсторонней, а по ориентации — почти горизонтальной. Коническая связка имеет треугольную форму и ориентирована вертикально (медиально и слегка сзади относительно трапецевидной связки).



**Рис. 3.12.** На схеме ключицы и лопатки клювовидно-ключичная связка (ККл) привязывает ключицу к лопатке, сохраняя относительно постоянный лопаточно-ключичный угол. Верхняя ротация лопатки в АКл суставе вокруг переднезадней оси обычно не происходит, потому что она требовала бы существенного вытягивания неэластичной клювовидно-ключичной связки

Эти две связки разделяются жировой тканью и крупной сумкой. Хотя АКл капсула и связка могут ограничивать небольшие движения в АКл суставе, ограничение значительных смещений доверено клювовидно-ключичной связке.

Обе части клювовидно-ключичной связки препятствуют верхней ротации лопатки в АКл суставе. Если бы лопатка вращалась кверху вокруг переднезадней оси через АКл сустав, то клювовидный отросток попросту оторвался бы от ключицы (рис. 3.12). Такого не может произойти, пока цела клювовидно-ключичная связка.

Исключительно мощные клювовидно-ключичные связки также помогают передать на ключицу силы, действующие в медиальном направлении и приложенные к лопатке.

Потенциально большие внешние усилия, которые толкают плечевую кость в суставную ямку, и медиально направленные мышцы лопатки смещали бы ее по груд-

ной клетке в медиальном направлении. Маленький АКл сустав и его довольно слабая капсула и связка неспособны противостоять таким усилиям; соответственно, ключица вышла бы за акромиальный отросток, и сустав оказался бы вывихнутым.

Медиальное смещение лопатки (и клювовидного отростка) предотвращается натяжением клювовидно-ключичной связки (особенно ее горизонтального трапециевидного отдела), которая затем передает медиально направленные силы на ключицу и на очень сильный ГКл сустав.

Наиболее важная роль, которую играет клювовидно-ключичная связка и которая будет рассматриваться позже, состоит в продольной ротации ключицы, необходимой для полной АД при подъеме верхней конечности.

**Акромиально-ключичные движения.** Суставные фасетки АКл сустава малы, предоставляют возможность очень незначительного движения и обладают значительными индивидуальными различиями. По этим причинам результаты исследований по идентификации осей и движений в суставе зачастую не совпадают.

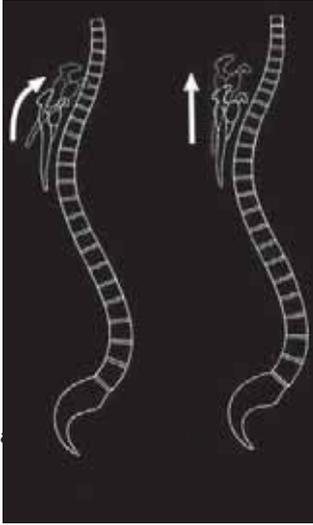
Основные движения, выполняющиеся в АКл суставе, это переднее/заднее отклонение лопатки и ее медиальное/латеральное вращение (заметим, что терминология в отношении этих движений также отличается вариабельностью).

АКл сустав также позволяет выполнять ротацию ключицы вокруг ее продольной оси. Несмотря на документальные данные, говорящие о том, что движения в АКл суставе незначительны, ранее предполагалось, что половина амплитуды верхней/нижней ротации лопатки обеспечивалась движением вокруг переднезадней оси в АКл суставе. Однако клювовидно-ключичная связка обычно препятствует верхней/нижней ротации лопатки в АКл суставе.

**Медиальная и латеральная ротация лопатки.** Медиальная/латеральная ротация лопатки происходит вокруг вертикальной оси, через АКл сустав. Медиальная и латеральная ротация смещает суставную ямку медиально (или вперед) и латерально (или назад) соответственно. Эти движения должны происходить, чтобы сохранять контакт лопатки с горизонтальным изгибом грудной клетки, когда лопатка скользит по грудной клетке при протракции или ретракции (рис. 3.13).



*Рис. 3.13. а — абдукция лопатки обычно сопровождается ее медиальной ротацией вокруг вертикальной оси в АКл суставе, что ведет к передней ориентации суставной ямки по завершении движения; б — если бы медиальная ротация лопатки не сопровождала протракцию, то на грудной клетке оставалась бы только позвоночная граница лопатки, а суставная ямка сохраняла бы латеральное положение*



**Рис. 3.14.** *a* — поднимание лопатки сопровождается ее передним отклонением вокруг фронтальной оси в АКл суставе. Верхняя граница лопатки движется вперед, не отклоняясь от изменяющегося контура грудной клетки; *b* — если бы переднего отклонения лопатки при ее подъеме не происходило, лопатка теряла бы контакт с грудной клеткой

Как и медиальная/латеральная ротация, переднее/заднее отклонение лопатки производится для сохранения ее контакта с контурами грудной клетки. Когда лопатка при поднимании или опускании движется по грудной клетке вверх или вниз, она должна регулировать свое положение, чтобы сохранять контакт с вертикальными изгибами ребер. Поднимание лопатки требует отклонения вперед (рис. 3.14).

Более значительное переднее отклонение лопатки происходит во время задней ротации ключицы. Если бы ключица и лопатка были одним целым (не было бы АКл сустава), попытка задней ротации ключицы в ГКл суставе сразу вдавила бы нижний угол лопатки в грудную клетку, и движение на этом прекратилось. Вместо этого ротация ключицы поглощается АКл суставом, что позволяет лопатке оставаться на месте, за счет некоторого противовращения (отклонение вперед). Отклонение вперед также можно заметить при патологических состояниях, таких как сгорбленные плечи, когда нижний угол лопатки отходит назад от грудной клетки.

Если бы абдукция лопаточно-грудного сустава происходила в виде чистого поступательного движения, лопатка шла бы строго от позвоночника, а суставная ямка смотрела бы латерально. В контакте с грудной клеткой оставалась бы только позвоночная граница лопатки.

В реальности полная абдукция лопатки приводит к тому, что суставная ямка смотрит вперед, а лопатка сохраняет полный контакт с грудной клеткой. Лопатка следует очертаниям ребер за счет ротации по вертикальной оси в АКл суставе, при этом позвоночная граница лопатки движется назад, а суставная ямка — вперед.

Передняя ориентация суставной ямки также важна при сгибании руки, чтобы удерживать ямку за головкой плечевой кости и предотвращать задний вывих.

**Переднее и заднее отклонение лопатки.** Вторым АКл движением является переднее/заднее отклонение лопатки вокруг венечной оси через сустав. Переднее отклонение смещает верхнюю границу лопатки вперед, а нижний угол — назад. Заднее отклонение является, естественно, обратным движением.

В отличие от более сильного ГКл сустава АКл сустав исключительно чувствителен и подвержен как травмам, так и дегенеративным изменениям. Это может быть связано с небольшими и неконгруэнтными поверхностями, где большие силы воздействуют на сравнительно малую единицу площади.

Дегенеративные изменения наблюдаются начиная со второго десятилетия жизни, само же суставное пространство обычно сужается к шестому десятку.

Лечение растяжений, подвывихов и вывихов этого сустава занимает в литературе, посвященной плечевому комплексу, довольно много места.

Основные противоречия наблюдаются в описаниях и классификации подвывихов и вывихов и в том, что касается нехирургического и хирургического лечения. Этот довольно нестабильный сустав, однако после травмы действует достаточно прилично, несмотря на то, что околосуставные структуры могут оказаться растянутыми и неупругими или излишне закрепощенными за счет определенных типов внутренней фиксации.

Такие наблюдения использовались для поддержки гипотезы о том, что АКл сустав не является критически важным для движения лопатки.

### 3.1.4. ПЛЕЧЕВОЙ СУСТАВ

Плечевой сустав (ПС) — шаровой синовиальный сустав с тремя степенями свободы. Он имеет капсулу и несколько связанных с ней связок и сумок. Сочленение производится за счет большой головки плечевой кости и небольшой суставной ямки (рис. 3.15).

Так как суставная ямка лопатки является проксимальным сегментом ПС, на его функцию могут влиять любые движения лопатки и, естественно, связанные движения в ГКл и АКл суставах. Конгруэнтность в плечевом суставе, можно сказать, принесена в жертву потребностям в подвижности руки.

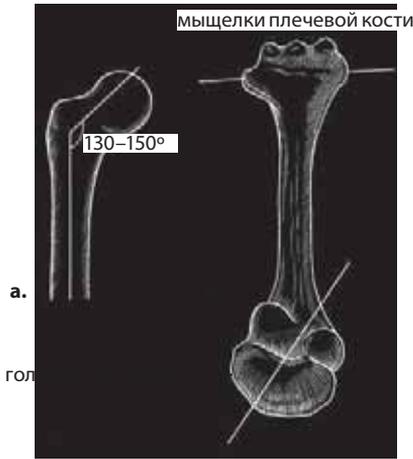
Это, по определению Fenlin, «нестабильное соединение», подверженное как дегенеративным изменениям, так и неисправностям.

Практически во всех аспектах структуры и функции ПС существуют значительные индивидуальные различия, которые вызвали комментарии Bigliani и коллег на тему «поражительного отсутствия согласия даже в самых фундаментальных аспектах функции плеча».

Соответственно, последующие описания биомеханики плеча следует рассматривать не как систему должных величин для определенного пациента, а как концептуальный каркас.



Рис. 3.15. Плечевой сустав



**Рис. 3.16.** Головка плечевой кости расположена под углом в двух плоскостях: *a* — головка плечевой кости находится под углом  $130\text{--}150^\circ$  к диафизу плечевой кости; *b* — в поперечной плоскости головка обычно отклонена назад под углом по отношению к оси, идущей через мышцелки (ретроверсия)

всегда больше, чем поверхность проксимального сегмента и занимает от  $1/3$  до  $1/2$  сферы.

Как правило, головка направлена медиально, вверх и назад по отношению к диафизу плечевой кости и ее мышцелкам.

Ось, проходящая через головку плечевой кости, и продольная ось плечевой кости могут образовывать угол в фронтальной плоскости от  $130$  до  $150^\circ$  (рис. 3.16, *a*) — это известно как *угол отклонения плечевой кости*.

В поперечной плоскости ось, проходящая через головку, и ось, проходящая через мышцелки, образуют угол, вариабельность которого значительно превышает разброс других параметров, но, для иллюстрации, можно принять отклонение в  $30^\circ$  назад (рис. 3.16, *b*).

Этот угол известен как *угол скручивания*. Нормальное заднее положение головки плечевой кости по отношению к мышцелкам можно обозначить как заднее скручивание, или ретроторсию, плечевой кости.

**Суставная губа.** Когда руки произвольно свисают по сторонам, контакт между суставными поверхностями ПС незначителен. Большую часть времени нижняя поверхность головки плечевой кости находится лишь на небольшой нижней части ямки (см. рис. 3.15).

**Суставные поверхности плечевого сустава.** Суставная ямка лопатки служит проксимальной суставной поверхностью сустава. Ориентация неглубокой вогнутости ямки варьирует вместе с исходным положением лопатки на грудной клетке (см. выше «Лопаточно-грудные положения и движения») и зависит также от формы самой лопатки.

Когда рука сбоку, суставная ямка может быть отклонена слегка вверх или вниз, хотя большинство данных говорит, что чаще наблюдается небольшое отклонение кверху. Изгиб поверхности ямки больше во фронтальной плоскости (длина), чем в сагиттальной плоскости (ширина), причем со значительной вариабельностью кривизны.

Дистальным сегментом ПС является плечевая кость. Головка плечевой кости имеет суставную поверхность, которая

Общее количество суставной поверхности суставной ямки несколько увеличивается за счет вспомогательной структуры, известной как *суставная губа*. Структура окружает по периферии суставную ямку и к ней же прикрепляется (рис. 3.17), увеличивая тем самым глубину или кривизну ямки.

Хотя традиционно считалось, что губа состоит из выстланного синовиальной тканью волокнистого хряща, последние данные позволяют предположить, что на самом деле это резервная складка плотной соединительной ткани с небольшим содержанием волокнистого хряща, отличающаяся по строению от своего прикрепления по периферии ямки.

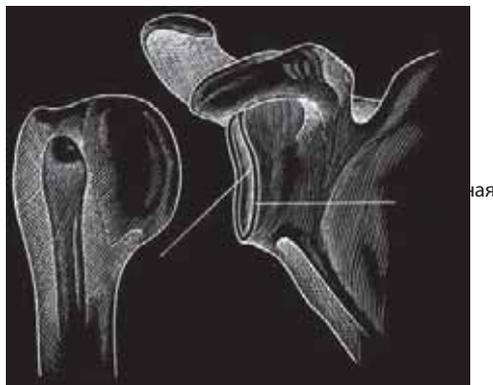
Верхнее прикрепление губы довольно свободно, но нижний ее отдел крепится плотно и является относительно неподвижным.

**Капсула и связки плечевого сустава.** Весь плечевой сустав в положении покоя (руки свисают по сторонам) окружен большой, свободной капсулой, натянутой сверху и провисающей спереди и снизу (рис. 3.18).

Капсула по размерам превосходит головку плечевой кости в два раза и, в расслабленном состоянии, позволяет плечевой кости, для принятия позиции «свободной упаковки», выходить из суставной ямки более, чем на 2,5 см.

Относительная расслабленность капсулы ПС необходима для значительной экскурсии суставных поверхностей, но она, без поддержки мышцами и связками, практически не обеспечивает стабильность.

Когда плечевая кость отводится и выполняет латеральную ротацию, капсула скручивается и натягивается, делая отведение и латеральную ротацию плотно упакованной позицией для сустава. Усиление капсулы происходит за счет верхней, средней и нижней суставно-плечевых (СП) связок.



**Рис. 3.17.** Суставная губа. В качестве волокнисто-хрящевой структуры либо резервной складки капсулы губа увеличивает глубину суставной ямки



**Рис. 3.18.** Капсула плечевого сустава. Когда рука свободно висит сбоку, большая капсула натянута сверху и расслаблена внизу



**Рис. 3.19.** *a* — верхняя, средняя и нижняя суставно-плечевые связки, как они выглядят на поверхности суставной капсулы; *b* — верхняя часть капсулы, верхняя суставно-плечевая связка (глубже сухожилия надостной мышцы) и клювовидно-плечевая связка образуют интервальный ротатор капсулы, который закрывает промежуток между сухожилиями надостной и подлопаточной мышцы

Особенно слабой областью капсулы является ее тонкая область между верхней и средней связками (она также известна как *отверстие Вайтбрехта*). Несмотря на усиление спереди при помощи подлопаточного сухожилия, это место частых сходов головки с места при переднем вывихе сустава.

К связкам, усиливающим капсулу ПС, относится, кроме трех вышеперечисленных, также клювовидно-плечевая связка.

Три суставно-плечевые связки (верхняя, средняя и нижняя) могут значительно варьировать по размерам и длине, а также могут изменяться с возрастом.

На рис. 3.19, *a* показаны все три связки, как они выглядят на поверхности суставной капсулы.

Недавние исследования показали, что суставно-плечевые связки сложнее, чем думали ранее.

Верхняя СП связка проходит от верха суставной губы и основания клювовидного отростка (глубже клювовидно-плечевой связки) к верхней шейке плечевой кости.

Наргунтан с коллегами описали соединения между верхней СП связкой, верхней частью капсулы и клювовидно-плечевой связкой. Эти взаимосвязанные структуры закрывают разрыв над головкой плечевой кости между сухожилиями надостной и подлопаточной мышц и могут также прикрепляться к оболочкам этих мышц. Наргунтан с коллегами обозначили эти взаимосвязанные структуры как интервальный ротатор капсулы (рис. 3.19, *b*).

Нижняя СП связка была описана как имеющая, по меньшей мере, три отдела и обозначена, таким образом, как нижний суставно-плечевой связочный комплекс. Три компонента этого комплекса (передняя и задняя часть и вспомогательный пучок посередине) показывают вариабельность функции, зависимость от положения, равно как и изменения упругого поведения.

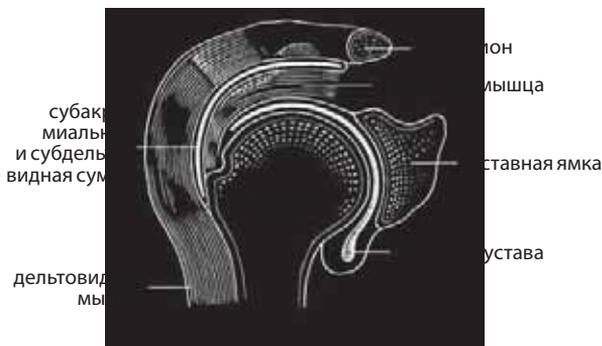
Многочисленные исследования ограничений, обеспечиваемых СП связками, указывают на различный их вклад в обеспечение стабильности плечевого сустава. Однако представляется разумным согласие в том, что верхняя СП связка (и связанные с ней структуры интервального ротатора капсулы) больше содействуют стабильности при висящей сбоку руке ( $0^\circ$ ), чем когда плечевой сустав находится в положении  $90^\circ$  и больше по отношению к туловищу. Большинство, если не все суставно-плечевые связки натягиваются при латеральной ротации плечевой кости, усиливая тем самым свою роль в стабилизации плечевого сустава.

Клювовидно-плечевая связка начинается от клювовидного отростка и имеет два тяжа. Первый из них входит в край надостной мышцы и идет на большой бугор, где соединяется с верхней суставно-плечевой связкой; второй тяж входит в подлопаточную мышцу и идет на малый бугор. Оба тяжа образуют туннель, через который проходит сухожилие длинной головки двуглавой мышцы плеча.

Интересные анатомические отношения связки позволяют предполагать, что она выполняет более сложную функцию, чем можно было бы ожидать от простой пассивной структуры. В части интервального ротатора капсулы ее стабилизирующая функция представляется наиболее важной с точки зрения предотвращения смещения вниз головки плечевой кости свисающей руки. Однако существуют указания на то, что она может также помогать в предотвращении верхнего смещения, особенно когда динамическая стабилизирующая сила мышц-ротаторов манжеты снижается.

**Суставные сумки.** С плечевым комплексом в целом и с плечевым суставом в частности связано несколько суставных сумок. Хотя все они способствуют его функции, наиболее важными являются субакромиальная и субдельтовидная сумки (рис. 3.20).

Эти сумки отделяют сухожилие надостной мышцы и головку плечевой кости от акромиального и клювовидного отростков, клювовидно-акромиальной связки и дельтовидной мышцы. Сумки могут быть раздельными, но обычно они неотделимы одна от другой. Вместе они известны как *субакромиальная сумка*.



*Рис. 3.20. Субакромиальная и субдельтовидная сумки дают возможность ровного скольжения надостной мышцы и головки плечевой кости под дельтовидной мышцей и акромиальным отростком*



**Рис. 3.21.** Клювовидно-акромиальная дуга. Дуга образуется спереди клювовидным отростком; сзади — акромиальным отростком; сверху — клювовидно-акромиальной связкой

Клювовидно-акромиальная (или надплечная) дуга образована клювовидным отростком, акромиальным отростком лопатки и клювовидно-акромиальной связкой, которая охватывает две костные проекции (рис. 3.21).

Клювовидно-акромиальная дуга образует костно-связочный свод, покрывающий головку плечевой кости и образующий пространство, внутри которого находятся субакромиальная сумка, сухожилие надостной мышцы и часть сухожилия длинной головки двуглавой мышцы плеча.

Клювовидно-акромиальная дуга защищает находящиеся под ней структуры от прямого травматического воздействия сверху.

Такая травма является распространенной и может явиться результатом такого простого действия, как ношение тяжелой сумки на ремне через плечо.

Дуга также предотвращает вывих головки плечевой кости вверх, так как лишнее противодействия усилие смещения вверх вызывает столкновение плечевой кости с клювовидно-акромиальной дугой.

Что парадоксально, такое столкновение (предотвращающее вывих) может одновременно оказывать весьма болезненное ударное воздействие на структуры, лежащие в надплечном пространстве.

Если надплечное пространство сужается, возрастает вероятность соударения сухожилия надостной мышцы и субакромиальной сумки. Сужение пространства может вызываться такими факторами, как изменение формы акромиального отростка снизу, изменение наклона акромиального отростка, появление «шпор» на акромиальной кости, остеофиты в АКл суставе или слишком крупная клювовидно-акромиальная связка.

Субакромиальная сумка дает возможность гладкого скольжения между плечевой костью, сухожилием надостной мышцы и окружающими структурами.

Разрыв или повреждение этого механизма скольжения является общей причиной боли и ограничения подвижности плечевого сустава, хотя эта проблема редко бывает основной.

Нижняя стенка субакромиальной сумки одновременно является верхним отделом оболочки сухожилия надостной мышцы.

Субакромиальные бурситы, как правило, являются следствиями воспаления или дегенерации этого сухожилия.

### **Клювовидно-акромиальная дуга.**

### Движения в плечевом суставе

**Остеокинематика плечевого сустава.** Плечевой сустав имеет, по большинству мнений, три степени свободы: сгибание/разгибание, отведение/приведение и медиальная/латеральная ротация. Амплитуда каждого из этих движений, производимых только в ПС, значительно варьирует. В целом, хоть это и не универсально, считается, что сустав имеет  $120^\circ$  сгибания и примерно  $50^\circ$  разгибания.

Амплитуда медиального/латерального вращения плечевой кости зависит от положения. Если рука висит сбоку, то медиальная и латеральная ротация ограничены всего  $50^\circ$  комбинированного движения. Отведение плечевой кости на  $90^\circ$  увеличивает амплитуду ротации до  $120^\circ$ .

Ограничение дуги ротации при свисающей сбоку руке связано со столкновением с малым бугорком на передней части суставной ямки в случае медиальной ротации и со столкновением с большим бугорком акромиального отростка при латеральной ротации.

При отведении руки эти костные ограничения почти не играют роли, и блокирование движений идет только со стороны капсулы и мышц.

Максимальная амплитуда отведения в плечевом суставе — тема для довольно оживленных споров. При этом существует консенсус, что амплитуда отведения плечевой кости во фронтальной плоскости (как активного, так и пассивного) уменьшается, если плечевую кость удерживать в нейтральном положении или медиальной ротации.

При медиальной ротации отведение плечевой кости по суставной ямке не превышает  $60^\circ$ ; при нейтральной ротации в плечевом суставе можно достигнуть отведения в  $90^\circ$ .

Ограничение ротации связано с контактом с большим бугорком на клювовидно-акромиальной дуге. При латеральной ротации плечевой кости на  $35\text{--}40^\circ$  большой бугорок проходит под или за дугой, и отведение может продолжаться без помех. Для того чтобы провести сгибание по полной амплитуде, плечевая кость в таких вариантах ротации совершенно не нуждается. При переднем движении плечевой кости в сгибании большой бугорок проскальзывает под или за акромиальным отростком, независимо от ротации.

Амплитуда отведения ПС (если предположить, что столкновения большого бугорка удалось избежать) варьирует, по разным данным, от  $90$  до  $120^\circ$  — между этими крайними значениями многие авторы приводят немалое количество собственных трактовок.

Inmanetal обнаружил, что если лопатка не участвует в движении, то активное отведение ограничивается  $90^\circ$ , однако при пассивном выполнении того же движения достигает  $120^\circ$ .

Дополнительную путаницу внесло еще и то, что некоторые авторы проводили исследования амплитуды отведения в традиционной фронтальной плоскости, другие же — в так называемой *плоскости лопатки*.

Плоскость лопатки проходит через лопатку, находящуюся в состоянии покоя и, таким образом, лежит на 30–40° кпереди от фронтальной плоскости. Когда плечевая кость поднимается в плоскости лопатки (это называют отведением в плоскости лопатки, или *скапцией*), то ограничение движения меньше, так как скручивание капсулы бывает меньше, чем при движении плечевой кости во фронтальной плоскости.

Brownetal тем не менее обнаружил, что максимум подъема достигается не в плоскости лопатки, а при положении на 23° кпереди от нее. Хотя и предполагалось, что скапция не требует сопутствующей латеральной ротации для достижения максимальной амплитуды, это допущение до сих пор является вопросом весьма спорным.

Soslowski с коллегами обнаружили, что у пяти из девяти трупов скапция в ПС имеет максимальное значение 120°, у трех — 90° и у одного — даже меньше.

**Артрокинематика плечевого сустава.** Плечевая ямка и головка плечевой кости имеют неконгруэнтные суставные поверхности: выпуклая головка имеет гораздо большую поверхность и иной радиус кривизны, чем неглубокая вогнутая ямка. По причине этой неконгруэнтности, ротации сустава вокруг трех его осей не происходят в виде чистых вращений, а имеют переменные центры ротации и паттерны отклонения контакта в пределах сустава.

До сих пор нет единства мнений о степени и направлении движения головки по суставной ямке. Согласие проявляется лишь в том, что для подъема плечевой кости требуется скольжение головки плечевой кости вниз (каудально), в направлении, противоположном движению стержня плечевой кости.



**Рис. 3.22.** *а* — отведение плечевой кости как чистое качение большой головки кости в маленькой суставной ямке вызывало бы запирание головки акромиальным отростком; *б* — отведение плечевой кости, представляющее собой комбинацию качения и скольжения, не допускает соприкосновения и дает возможность выполнить движение по полной амплитуде

Предположим, например, что отведение плечевой кости вызывало бы качение вверх (краниальное) головки плечевой кости в ямке. Вскоре крупная головка кости вышла бы за пределы суставной ямки и столкнулась бы с нависающей клювовидно-акромиальной дугой (рис. 3.22, *а*). Однако, если головка плечевой кости при вращении по ямке скользит книзу, тогда достигается полная АД (рис. 3.22, *б*).

При этом, хотя скольжение головки плечевой кости вниз и необ-

ходимо для минимизации верхнего ее качения, представляется, что центр ротации головки все же идет вверх даже при различной величине сдвига. Кроме того, головка может скользить по ямке вперед/назад или медиально/латерально.

Howell с коллегами обнаружили, что при броске мяча в фазе замаха головка скользит по ямке назад, а в фазе ускорения при броске наблюдается ее движение вперед.

Несмотря на то, что некоторые исследователи сообщали об аналогичном заднем сдвиге головки плечевой кости при максимальном подъеме руки, Wuelker с коллегами обнаружили совершенно противоположное.

Большинство исследователей соглашается с тем, что паттерн движения в пределах суставной ямки зависит от массы переменных — таких, в частности, как геометрия сустава, влияние капсулы и связок, позиционные влияния и мышечная динамика.

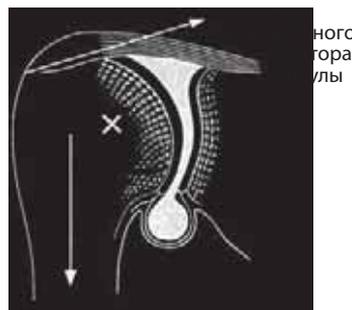
**Стабилизация свисающей руки.** Из-за отсутствия конгруэнтности суставных поверхностей ПС костные поверхности не могут удерживать контакт в суставе, когда рука висит вдоль бока. Когда головка плечевой кости находится в ямке, сила тяжести действует на кость параллельно ее стержню в направлении к земле (негативная сила поступательного движения).

Представляется, что для сохранения равновесия требуется направленная вверх тяга. Такая вертикальная сила может создаваться только мышцами — такими как передняя часть дельтовидной мышцы, а также длинные головки двуглавой и трехглавой мышц плеча.

Basmajian и Bazant, а также MacConaill и Basmajian показали, что все мышцы плечевого комплекса, даже если руку тянуть вниз с усилием, электрической активности не показывают (т.е. они находятся в расслабленном состоянии). Соответственно, должен существовать механизм пассивной стабилизации сустава.

Как видно на рис. 3.23, сила тяжести ( $G$ ), действующая на плечевую кость, является чистой силой поступательного движения, однако ее линия проходит на некотором расстоянии от эксцентрически расположенного центра ротации головки плечевой кости. Такое расположение оси и линии силы тяги создает приводящий момент (на рис. 3.23 против часовой стрелки).

Силу тяжести можно преодолеть силой, которая создает момент вращения равной величины, но в направлении отведения. Такая сила может развиваться структурами интер-



**Рис. 3.23.** Механизм стабилизации свисающей руки. Когда рука у бока расслаблена, смещающий эффект силы тяжести ( $G$ ) компенсируется пассивным натяжением в структурах интервального ротатора капсулы

вального ротатора капсулы (верхняя часть капсулы, верхняя суставно-плечевая связка и клювовидно-плечевая связка), которые, если рука висит вдоль бока, находятся в натянутом состоянии.

Учитывая прикрепление структур интервального ротатора капсулы к большому бугорку, плечо момента (ПМ) этой пассивной силы оказывается почти вдвое больше, чем плечо проходящей ближе к центру силы тяжести. Линия действия интервального ротатора капсулы направлена вверх (на преодоление направленного вниз поступательного компонента силы тяжести) и в суставную ямку (для прижима суставных поверхностей).

Если пассивная сила интервального ротатора капсулы неадекватна для статической стабилизации, что может наблюдаться при тяжело нагруженной руке, подключается надостная мышца. Это не удивительно, если вспомнить, что ее сухожилие имеет прикрепление к интервальному ротатору капсулы.

Фактически роль надостной мышцы может быть более важной, чем на то указывает ее электромиографическая (ЭМГ) активность. Хотя надостная мышца и неактивна при свисании пустой руки вдоль бока, ее паралич или дисфункция могут привести к постепенно развивающемуся нижнему подвывиху плечевого сустава.

При отсутствии усиления пассивное натяжение целой надостной мышцы и постоянная нагрузка на структуры интервального ротатора капсулы вызовут постепенное растяжение этих структур и, как результат, потерю стабильности сустава.

Хотя надлопаточная мышца не выказывает активности даже при нагруженной висящей руке, натяжение покоя этой мышцы может также, через ее соединения с интервальным ротатором манжеты, оказывать этим структурам определенную поддержку.

Нижний подвывих ПС обычно встречается у пациентов с пониженной функцией ротаторной манжеты, связанной, к примеру, с инсультом.

**Динамическая стабилизация плечевого сустава. Дельтовидная и плечевая стабилизация.** Принято считать, что дельтовидная мышца (вместе с надостной мышцей) является первичным звеном движения при отведении в плечевом суставе. Передняя часть дельтовидной мышцы также считается первичным звеном движения при сгибании в ПС.

Как отведение, так и сгибание являются действиями по подъему руки, имеющими значительное биомеханическое сходство.

Хотя участвующие сегменты дельтовидной мышцы могут различаться по своей роли и функции, исследование равнодействующих линий действия дельтовидной мышцы во время отведения может быть использовано для освещения потребностей плечевого сустава в стабилизации при подъеме руки.

На рис. 3.24 показана линия действия дельтовидной мышцы, когда рука свисает вдоль бока (линия действия трех сегментов дельтовидной мышцы, действу-

ющих вместе, совпадает с волокнами средней части мышцы).

Если разложить линию действия мышцы (FD) на поступательный (ftd) и ротационный (frd) компоненты, поступательный компонент оказывается существенно бóльшим. То есть львиная доля силы сокращения дельтовидной мышцы вызывает поступательное движение головки плечевой кости кверху, и только малая часть этой силы вызывает ротацию (отведение) кости.

Компонентные силы дельтовидной мышцы — пример, в котором сила поступательного движения, приложенная в направлении сустава, не является стабилизирующим влиянием.

Суставная поверхность плечевой кости не находится в линии с ее стержнем; таким образом, сила, параллельная кости, создает скорее эффект вывиха, чем стабилизации (т.е. компрессионный эффект).

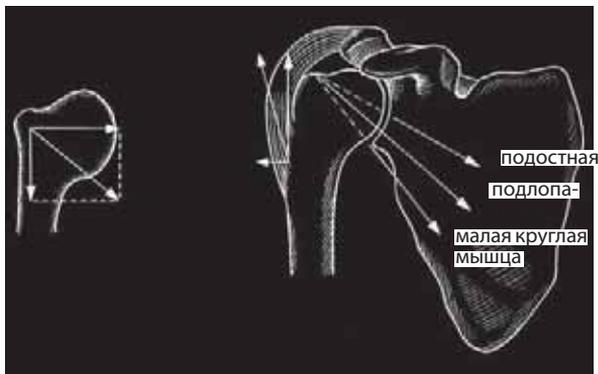
Направленная вверх поступательная сила дельтовидной мышцы, если она не встречает противодействия, может вызывать столкновение головки плечевой кости с клювовидно-акромиальной дугой до того, как достигнуто относительно значимое отведение.

Как только возникает контакт головки плечевой кости с клювовидно-акромиальной дугой, ротация головки плечевой кости может, теоретически, продолжаться с преодолением рычага, создаваемого дугой.

Направленная вниз тяга силы тяжести не может преодолеть ftd, поскольку для того, чтобы ротация началась, равнодействующая сил дельтовидной мышцы должна превышать силу тяжести. Это и есть основная функция мышц ротаторов, или мышечно-сухожильной манжеты.

**Ротационная манжета и стабилизация плечевого сустава.** Надостная, подостная, малая круглая и подлопаточная мышцы составляют *ротатор*, или *мышечно-сухожильную манжету*.

Эти мышцы считаются частью манжеты, потому что входные сухожилия каждой мышцы манжеты смешиваются и усиливают капсулу плечевого сустава.



*Рис. 3.24. Пара сил дельтовидной мышцы (FD) и мышц мышечно-сухожильной манжеты. Подостная, надлопаточная и малая круглая мышцы вместе (Fms) имеют отрицательный поступательный компонент (ftd), который почти перевешивает положительный поступательный компонент (ftd) силы дельтовидной мышцы*

Что еще более важно, все они имеют линии действия, которые значимым образом содействуют динамической стабилизации сустава.

Линии действия подостной, малой круглой и подлопаточной мышц показаны на рис. 3.24. Если силу любой из них (или всех трех вместе) разложить на составляющие, видно, что сила ротации ( $fr$ ) не только вызывает ротацию плечевой кости, но также вдавливает ее головку в суставную ямку. Вот пример ротационного компонента, создающего стабилизацию сустава, — это также связано с тем, что суставная поверхность плечевой кости расположена почти перпендикулярно ее стержню.

Хотя мышцы-ротаторы манжеты являются важными компрессорами плечевого сустава, такой же (а возможно, и более) важной для стабилизирующей функции мышц манжеты является нижняя (каудальная) поступательная тяга ( $ft$ ) мышц.

Сумма трех отрицательных поступательных компонентов ротационной манжеты практически перекрывает направленную вверх поступательную силу дельтовидной мышцы.

Sharkey и Marder показали, что отведение без подостной, малой круглой и подлопаточной мышц дает (в исследовании на трупах) значительное отклонение позиции плечевой кости кверху.

Кроме стабилизирующей роли, малая круглая и подостная мышцы участвуют в отведении, создавая латеральную ротацию, необходимую для предотвращения столкновения большого бугорка с акромиальным отростком.

Несмотря на то что слабая сила отведения и средняя сила ротации подлопаточной мышцы могут создать кажущееся противоречие в плане роли, которую они играют при подъеме руки, Otis с коллегами обнаружили, что при выполнении противоречивых функций при отведении руки эффективность этих мышц уменьшается. То есть подостная и подлопаточная мышцы добавляют свое действие к моменту отведения, а малая круглая мышца в это время участвует в создании момента латеральной ротации.

Медиальные и латеральные силы ротаторов также помогают в центровке головки плечевой кости, при этом увеличение переднего и заднего смещения становится наиболее заметным при снижении усилий ротационной манжеты.

Saha назвал эти мышцы «рулевыми». «Рулевая» мышца вызывает изменение позиции суставных поверхностей в суставе, обычно за счет скольжения, и направляет суставные поверхности к наиболее подходящим точкам контакта. Он отметил, что мышцы могут работать «рулями высоты», а далее, по мере продвижения по амплитуде подъема, становиться горизонтальными рулями, т.е. рулями поворота. Saha особенно выделяет в этом плане подлопаточную мышцу, которая направляет головку плечевой кости назад, преодолевая силы переднего смещения.

Действия дельтовидной мышцы вместе с комбинированными действиями подостной, малой круглой и подлопаточной мышц образуют пару сил. В паре сил расходящиеся силы тяги создают чистую ротацию. В этом случае расходящиеся силы вызывают почти идеальное вращение головки плечевой кости вокруг фиксированной оси вращения.

**Надостная мышца и стабилизация плечевого сустава.** Хотя надостная мышца также является частью ротационной манжеты, ее линия действия имеет поступательный компонент, направленный вверх (краниальный), а не вниз (каудальный компонент), как у других мышц манжеты.

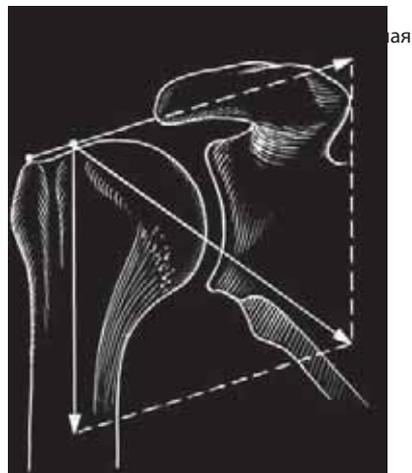
При этой линии тяги надостная мышца бесполезна для преодоления направленного вверх смещающего действия дельтовидной мышцы. Однако надостная мышца эффективна как стабилизатор ПС, потому что ее ротационный компонент, как и других мышц манжеты, создает значительную силу компрессии.

В отличие от других мышц манжеты, ротационный компонент надостной мышцы имеет достаточно большое плечо момента (ПМ), в силу чего она сама по себе способна обеспечивать полную или почти полную амплитуду отведения в ПС, а при помощи силы тяжести — стабилизировать сустав.

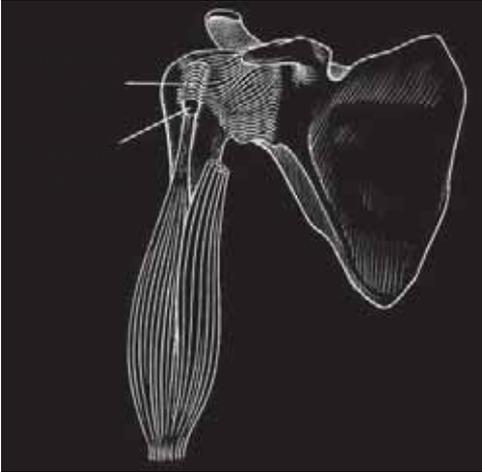
Сила тяжести действует как стабилизирующий синергист надостной мышцы, компенсируя ее небольшую поступательную тягу вверх (рис. 3.25).

Если пользоваться терминами Saaha, сила тяжести и надостная мышца действуют как «рули высоты»; равнодействующая двух сил при отведении стержня плечевой кости вызывает скольжение ее головки вниз, что позволяет обеспечивать более полный контакт суставных поверхностей и предотвращать аномальное смещение вверх.

**Длинная головка двуглавой мышцы плеча и стабилизация плечевого сустава.** Длинная головка двуглавой мышцы плеча (бицепса) идет вверх от передней поверхности стержня плечевой кости через межбугорковую борозду плечевой кости между большим и малым бугорками и прикрепляется к надсуставному бугорку и верху губы. Она входит в капсулу плечевого сустава через



*Рис. 3.25. Сила тяжести действует как стабилизирующий синергист надостной мышцы. Активность надостной мышцы и силы тяжести (G) создают равнодействующую (R) сил, которая отводит плечевую кость и вызывает направленное вниз скольжение суставных поверхностей, необходимое для достижения полной амплитуды*



*Рис. 3.26. Длинная головка двуглавой мышцы плеча проходит через фиброзно-костный канал, образованный межбугорковой бороздой плечевой кости и поперечной плечевой связкой. В канале она защищена сухожильной оболочкой*

проход между надостной и подлопаточной мышцами. Там она проникает в капсулу, но не в синовиальную сумку (рис. 3.26).

В пределах межбугорковой борозды сухожилие бицепса обернуто оболочкой и удерживается в борозде поперечной плечевой связкой, идущей между большим и малым бугорками.

Длинную головку бицепса, по причине ее положения в верхней части капсулы и связей со структурами интервального ротатора капсулы, иногда рассматривают как часть усиливающей манжеты плечевого сустава.

Бицепс способен содействовать сгибанию и при латеральной ротации плечевой кости способствует отведению и передней стабилизации.

Несмотря на то что на его функции может влиять положение локтя и плеча, представляется, что длинная головка бицепса участвует в стабилизации плечевого сустава за счет центровки головки в ямке и уменьшения вертикального (вверх и вниз) и переднего поступательных смещений.

Ragnani с коллегами выдвинули гипотезу о том, что длинная головка бицепса может оказывать свое влияние, натягивая довольно свободную верхнюю часть гленоидальной губы и передавая это повышенное натяжение к верхней и средней суставно-плечевым связкам. Эта концепция основана на полученных ими данных, свидетельствующих, что повреждения передней и верхней частей губы начинают влиять на стабильность плечевого сустава только в том случае, если происходит разрыв прикрепления длинной головки бицепса.

Общее участие длинной головки бицепса в стабилизации плечевого сустава может подтверждаться еще тем фактом, что в случае дисфункции манжеты начинается гипертрофия ее сухожилия.

**Цена динамической стабилизации.** Учитывая то, что мы узнали о плечевом суставе, можно суммировать следующее — динамическая стабилизация в любой точке амплитуды движения является функцией:

- 1) силы инициаторов движения;
- 2) силы тяжести;
- 3) силы компрессоров и «рулевых»;

- 4) геометрии суставных поверхностей;
  - 5) пассивных сил капсулы и связок.
- Inman с коллегами весьма кстати добавили к этому:
- 6) силу трения;
  - 7) силу реакции сустава.

Это добавление существенно, ибо любое усилие среза в плечевом суставе создает некоторое трение между суставными поверхностями, и все силы компрессии, которые прижимают головку к плечевой ямке, создают равную силу, действующую в противоположном направлении, от суставной ямки (в силу реакции сустава).

Когда все факторы стабилизации в норме, головка плечевой кости вращается в сгибании или в отведении вокруг относительно фиксированной оси с минимальным скольжением вверх. Со временем, однако, даже нормальные нагрузки, возникающие при сложном процессе динамической стабилизации, могут приводить к дегенеративным изменениям или дисфункции плечевого сустава.

Любое нарушение факторов синергии динамической стабилизации может ускорить наступление дегенеративных изменений в суставе или вокруг него.

Когда плечевая кость во время подъема вращается вокруг относительно фиксированной оси, может наблюдаться некоторое скольжение вперед. Даже небольшое скольжение может быть ответственным за изменения давления, возникающие при подъеме плечевой кости в субакромиальной сумке. Эти давления связаны как с позицией руки, так и с нагрузкой. Естественно большие давления в сумке были зарегистрированы, когда руки нагружены и удерживаются в поднятом положении.

Давление напряжения в субакромиальной сумке, особенно при сопутствующем сокращении надостной мышцы во время подъема руки, могут сужать пространство над плечевой костью и уменьшать приток крови к «критической зоне» сухожилия надостной мышцы, в которое за питание отвечают маленькие образующие анастомозы сосуды. Это ограничение кровоснабжения может быть причиной увеличения в пожилом возрасте частоты надрывов сухожилия при мелких травмах.

Надрывы сухожилия надостной мышцы, однако, не кажутся атрибутом только возраста, ибо здесь действует много факторов.

Надостная мышца либо пассивно натягивается, либо активно сокращается, когда рука находится у бока (в зависимости от нагрузки); она также участвует в подъеме руки по всей его амплитуде. Соответственно, большую часть времени, когда человек бодрствует, сухожилие находится в напряжении и является уязвимым для перегрузок растяжения или хронических перегрузок.

Соударение находящихся под напряжением сухожилий может происходить, когда надплечное пространство уменьшается за счет действия костно-связочных

факторов и увеличенного смещения вверх головки плечевой кости в условиях менее благоприятной механики сустава. Также это может происходить, когда рабочие обстоятельства требуют подъема тяжестей или длительных устойчивых положений с поднятыми над головой руками.

Хотя из всех мышц манжеты наиболее уязвимым является сухожилие надостной мышцы, проблемы перегрузки и потенциальной травмы относятся и к другим компонентам манжеты.

Надрывы ротационной манжеты, как с симптоматикой, так и без нее, наблюдаются практически у всех людей в возрасте старше 70 лет, причем повреждения сухожилия надостной мышцы происходят прежде остальных сухожилий манжеты. Повреждения ротационной манжеты обычно вызывают боль в позиции от 60 до 120° комбинированного подъема плечевого сустава и ротации лопатки кверху. Этот диапазон известен под названием *болезненной дуги*.

Дегенеративные изменения в АКл суставе могут давать болезненные ощущения в той же области плеча, что и при повреждениях надостной мышцы или ротационной манжеты. Боль, связанная с дегенерацией АКл сустава, чаще проявляется, когда руку поднимают выше болезненной дуги.

Аналогичным образом, длинная головка бицепса может давать болезненные ощущения в передневерхней части плеча. Поскольку сосудистая сеть длинной головки бицепса (ДГБ), как и сухожилия надостной мышцы, довольно бедна, то ДГБ подвержена тем же дегенеративным изменениям и травмам, которые характерны для сухожилий ротационной манжеты.

Участвует ли бицепс в подъеме руки и стабилизации сустава активно, является ли он пассивным, — в любом случае, когда плечевая кость движется вокруг любой из трех осей, его сухожилие должно скользить в межбугорковой борозде плечевой кости под поперечной плечевой связкой. Если оболочка сухожилия повреждена, воспалилась или если сухожилие гипертрофировано (что наблюдается при надрывах и разрывах ротационной манжеты), механизм скольжения будет нарушен, и отсюда возникает боль.

Разрыв поперечной плечевой связки приводит к тому, что при ротации плечевой кости сухожилие длинной головки может выскакивать из борозды, что потенциально может приводить к износу и болезненным микротравмам.

Механические отклонения в стабилизации плечевого сустава могут повлечь за собой дегенеративные изменения в других структурах сустава за пределами ротационной манжеты (например, в суставной губе) и подвывихи сустава. Может также произойти вывих плечевого сустава.

Капсуло-связочное и мышечное усиление плечевого сустава слабее всего снизу, но наиболее распространенным вывихом ПС является вывих вперед. Несмотря на то что подлопаточная и суставно-плечевые связки усиливают капсулу

спереди, сила, приложенная к отведенной и латерально развернутой руке, может заставить головку плечевой кости выйти через *отверстие Вайтбрехта*.

Предрасположенность к реальному вывиху наблюдается чаще всего при следующих индивидуальных особенностях:

- 1) отклонение суставной ямки вперед;
- 2) избыточная ретроторсия головки плечевой кости;
- 3) ослабление горизонтальных рулевых тяг (ротационной манжеты).

## 3.2. ИНТЕГРАЛЬНАЯ ФУНКЦИЯ ПЛЕЧЕВОГО КОМПЛЕКСА

Плечевой комплекс координированно действует для того, чтобы обеспечить максимально плавную и большую амплитуду движения верхней конечности. Движения, доступные только для одного плечевого сустава, не объясняют весь доступный диапазон подъема (отведения или сгибания) плечевой кости. Остальная часть амплитуды обеспечивается со стороны лопаточно-грудного сочленения, через ЛГ и АКл связи.

Сочетанное лопаточно-плечевое движение:

1) распределяет движение между двумя суставами (плечевым и лопаточно-грудным), позволяя производить движение по большей амплитуде с меньшим ущербом для стабильности, который представлял бы серьезную угрозу при условии выполнения движений за счет только одного сустава;

2) удерживает суставную ямку в оптимальной, для приема головки плечевой кости, позиции;

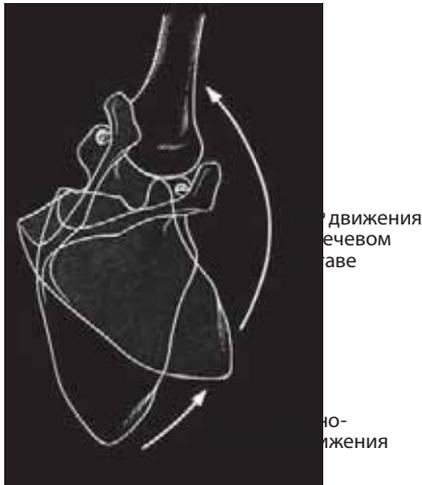
3) позволяет мышцам, воздействующим на плечевую кость, сохранять хорошее соотношение «длина–натяжение», минимизируя тем самым слабость мышц плечевого сустава в движении.

### 3.2.1. УЧАСТИЕ ЛОПАТОЧНО-ГРУДНОГО И ПЛЕЧЕВОГО СУСТАВОВ

Лопаточно-грудной сустав содействует как сгибанию, так и отведению (подъему) плечевой кости за счет ротации суставной ямки на  $60^\circ$  вверх от исходного положения. Если бы плечевая кость была жестко закреплена в суставной ямке, то только это дало бы  $60^\circ$  ее подъема. Естественно, такого жесткого крепления не существует, плечевая кость может двигаться в суставной ямке вполне независимо.

Плечевой сустав участвует в  $120^\circ$  сгибания и примерно в  $90$ – $120^\circ$  отведения (в зависимости от индивидуальных структурных отклонений и поведения человека в плане возможного отведения в плечевом суставе).

Сочетание лопаточного и плечевого движений выражается в том, что общепринято считать максимальной амплитудой подъема  $180^\circ$  (рис. 3.27).



**Рис. 3.27.** Подъем руки по полной амплитуде обычно требует  $60^\circ$  лопаточно-грудного движения и  $120^\circ$  движения в плечевом суставе. Эти движения сопутствуют друг другу, но не являются последовательными

подъемом руки в плоскости лопатки соотношение между плечевым и лопаточно-грудным движением составляет 5:4, они отмечают, что абсолютные углы, достигаемые в каждом суставе, все равно подчиняются общему правилу: движение ПС/движение ЛГ сустава = 2:1.

Сочетание сопутствующих плечевого и лопаточно-грудного движений известно под названием *лопаточно-плечевого ритма*. Этот ритм имеет существенные индивидуальные различия и может варьировать при наличии внешних ограничений.

Hogfors с коллегами использовали костную имплантацию трех шариков из тантала в эксперименте *in vivo*. Несмотря на то что они в целом подтвердили данные Poppen и Walker, тем не менее пришли к выводу, что в основе индивидуальных различий лежат тождественность и различия качественного характера.

Поскольку представляется, что лопаточно-плечевой ритм не специфичен, а потому не может служить в качестве стандарта, и поскольку этот ритм не имеет отношения к патологиям, с которыми приходится сталкиваться врачу, полезность этого термина кажется ограниченной.

### 3.2.2. УЧАСТИЕ ГРУДИНО-КЛЮЧИЧНОГО И АКРОМИАЛЬНО-КЛЮЧИЧНОГО СОЧЛЕНЕНИЙ

В лопаточно-плечевом движении кроме ЛГ и ПС участвуют также грудино-ключичный (ГКл) и акромиально-ключичный (АКл) суставы. Поскольку

Во время начальных  $60^\circ$  сгибания или начальных  $30^\circ$  отведения плечевой кости количество и тип движения лопатки относительно движения в плечевом суставе отличаются непостоянством. Во время этого периода лопатка старается занять позицию стабильности относительно плечевой кости (фаза установки). На этой ранней стадии движение наблюдается преимущественно в плечевом суставе, хотя нагрузка на руку может увеличивать участие лопатки.

С увеличением амплитуды движения степень участия лопатки тоже увеличивается, и соотношение ее движения с движением в плечевом суставе близится к 1:1.

В последней части амплитуды движения участие плечевого сустава возрастает. Несмотря на то что Poppen и Walker обнаружили, что между  $24^\circ$  и максимальным

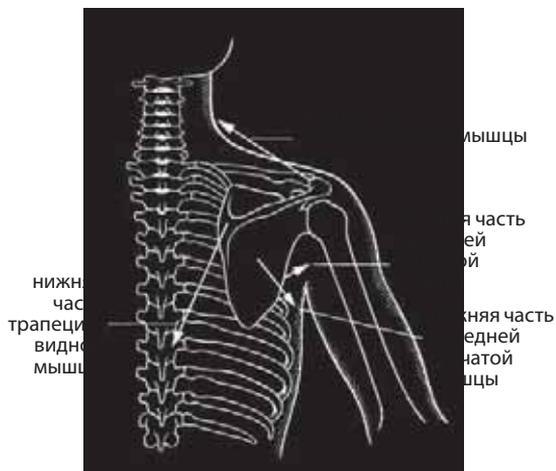
лопаточно-грудной сустав является частью закрытой цепи, движение лопатки всегда происходит совместно с движением в АКл и ГКл суставах.

60° дуга верхней ротации, по которой лопатка движется во время подъема руки, связана, прежде всего, с движением в ГКл, и уже потом — в АКл суставе. Это движение вызвано парой сил, исходящих от трапециевидной мышцы и передней зубчатой мышцы. Эти две мышцы являются единственными, способными произвести ротацию лопатки кверху.

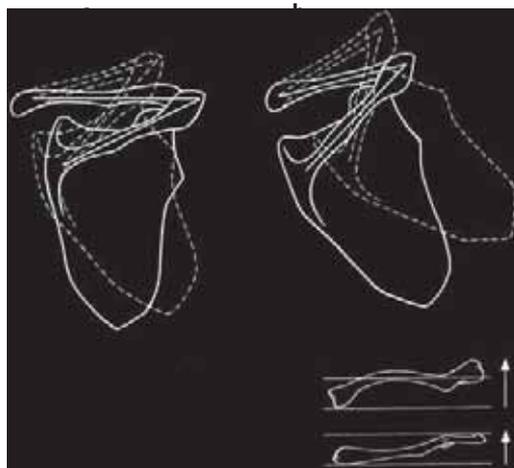
**Первая фаза.** Верхний отдел трапециевидной мышцы поднимает ключицу, нижняя часть мышцы в сочетании с верхней и нижней частями передней зубчатой мышцы (рис. 3.28) вызывает ротацию лопатки вверх.

Подъем ключицы сообщает лопатке около 30° ротации вверх; при этом лопатка проходит по латеральному концу поднимающейся ключицы, сохраняя относительно фиксированный лопаточно-ключичный угол (рис. 3.29, а).

Подъем ключицы останавливается, когда натягивается реберно-ключичная связка. Так как ротация ЛГ сустава вверх и подъем ключицы происходят одновременно с движением в плечевом суставе, можно ожидать, что в нормальных условиях в ПС будет происходить сгибание или отведение примерно на 60° (используем общее соотношение 2:1, не забывая об индивидуальных различиях).



*Рис. 3.28. Линии действия верхней части трапециевидной мышцы, нижней части трапециевидной мышцы, верхней и нижней частей передней зубчатой мышцы сочетаются и вместе вызывают практически чистую ротацию лопатки вверх*



*Рис. 3.29. а — первые 30° ротации лопатки вверх создаются подъемом ключицы; б — вторые 30° ротации лопатки вверх происходят, когда задняя ротация ключицы вытаскивает ее латеральный конец наверх (вкладка) и поднимает вместе с ним лопатку*

При ротации вверх ЛГ в  $30^\circ$  и сгибании (отведении) ПС в  $60^\circ$  рука поднимается вверх от бока на  $90-100^\circ$ .

При начальных  $30^\circ$  ЛГ движения АКл сустав сохраняет относительно фиксированные отношения между лопаткой и ключицей, позволяя лопатке выполнить медиальную ротацию в  $10^\circ$  и произвести небольшое отклонение вперед с целью удержать лопатку на изменяющихся очертаниях грудной клетки.

Может показаться, что ротация лопатки вверх происходит в акромиально-ключичном суставе, однако этому движению мешает клювовидно-ключичная связка, соединяющая клювовидный отросток лопатки с ключицей (см. обсуждение роли этой связки при изучении акромиально-ключичного сустава).

Действующая на лопатку ротационная сила сокращающихся мышц, таким образом, должна создавать движение в следующем доступном суставе, т.е. в грудино-ключичном. Тяга лопатки трапециевидной и передней зубчатой мышцами (и прямое воздействие верхнего отдела трапециевидной мышцы на латеральную часть ключицы) вызывают поднятие ключицы.

**Вторая фаза.** Нижняя часть трапециевидной мышцы и передняя зубчатая мышца продолжают наращивать усилие по ротации лопатки вверх, при этом АКл сустав продолжает блокироваться клювовидно-ключичной связкой, а ГКл сустав удерживается натяжением реберно-ключичной связки (которая останавливает дальнейший подъем ключицы).

Другого движения, которое могло бы рассеять силу ротации, нет; при оттягивании клювовидного отростка лопатки вниз возникает натяжение клювовидно-ключичной связки (особенно в конусообразной ее части). Натянутая конусообразная связка, при опускании клювовидного отростка, тянет свое заднее нижнее ключичное прикрепление вперед и вниз, заставляя ключицу вращаться назад.

Задняя ротация ключицы вокруг продольной оси вытягивает латеральный конец изогнутой ключицы вверх (см. рис. 3.29), но без дальнейшего подъема в ГКл суставе и с сохранением относительно фиксированного лопаточно-ключичного угла.

Величина задней ротации ключицы может достигать примерно от  $30$  до  $55^\circ$ . Лопатка, прикрепленная к латеральному концу вращающейся ключицы, проходит здесь дополнительные  $30^\circ$  ротации вверх (рис. 3.29, *b*).

Когда лопатка приходит в конечное положение на грудной клетке, АКл сустав поглощает различные передние/задние отклонения и медиальную/латеральную ротацию.

Если принять за максимум сгибания и отведения плечевой кости  $180^\circ$ , то подъем руки в горизонталь состоит из  $60^\circ$  движения в плечевом суставе и  $30^\circ$  движения в лопаточно-грудном суставе, с участием лопатки (за счет подъема ключицы в грудино-ключичном суставе).

Подъем руки из горизонтального в вертикальное положение состоит из дополнительных  $60^\circ$  движения в плечевом суставе и  $30^\circ$  движения в лопаточно-грудном суставе, вызванных ротацией ключицы и акромиально-ключичным движением (рис. 3.30).

Представляется, что для ротации ключицы по продольной оси требуется подвижность как ГКл, так и АКл суставов. Однако внутренняя фиксация АКл сустава не оказывает значимого влияния на амплитуду подъема, тогда как попытки внутренней фиксации ГКл сустава чаще всего заканчиваются выталкиванием фиксирующих приспособлений. Эти наблюдения приводят к выводу, что ГКл сустав имеет основное значение как для первых, так и для вторых  $30^\circ$  ротации лопаточно-грудного сустава вверх, а АКл сустав играет преимущественно роль поддержки.

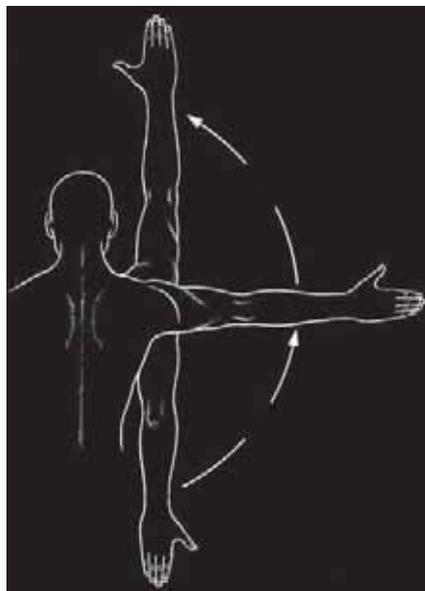
Последовательность первой и второй фаз лопаточно-плечевых движений соблюдается вне зависимости от плоскости подъема руки. То есть несмотря на вариабельность амплитуды, последовательность действий одинакова при выполнении сгибания, отведения или скапции (движении лопатки вниз и кнутри).

Уже отмеченным отличием является то, что отведение руки во фронтальной плоскости для достижения полной амплитуды в ПС требует сопутствующей латеральной ротации плечевой кости.

Есть и еще одно различие, касающееся результативности подъема в сагитальной и фронтальной плоскости. Хотя лопатка должна выполнять ротацию вверх в обоих случаях, сгибание требует ее одновременной протракции.

Абдукция лопатки выдвигает суставную ямку вперед и удерживает ее в одной линии со стержнем плечевой кости. Если этого не происходит, головка плечевой кости оказывается незащищенной сзади, и при сравнительно небольшом усилии может произойти задний вывих.

При отведении руки во фронтальной плоскости лопатка обычно тяготеет к нейтральному положению или занимает позицию легкой ретракции.



**Рис. 3.30.** *а* — движение руки от бока в горизонтальное положение требует совместного движения плечевого сустава и лопаточно-ключичного подъема; *б* — для поднятия руки из горизонтального положения в положение над головой требуется совместное движение плечевого сустава и ротация ЛГ–АКл

### 3.2.3. СТРУКТУРНАЯ ДИСФУНКЦИЯ

Завершение амплитуды подъема руки зависит от способности ПС, ЛГ, ГКл и АКл суставов принять в этом необходимое участие. Разрыв движения в любом из участвующих суставов повлечет за собой потерю АД.

При возникновении ограничения функции понятие лопаточно-плечевого ритма работать перестает, т.е. уменьшение АД плечевого сустава не будет означать пропорционального уменьшения лопаточно-грудной АД. Соотношение движений также перестает работать, так как организм начинает автоматически компенсировать потери за счет использования всех возможных резервов движения в остальных суставах.

Фактически, хоть это и не обязательный прогноз, ограничение подвижности в любом из суставов плечевого комплекса обычно вызывает возникновение гиперподвижности (и снижение стабильности) в остальных суставах.

Если подвижность плечевого сустава ограничена за счет болезненности или вследствие какого-либо заболевания, общая амплитуда движений плечевой кости будет ограничена. Какая бы часть движения ни оставалась доступной для плечевого сустава, она все равно будет сопровождаться всеми  $60^\circ$  ЛГ движения. Например, ограничение плечевой кости в позиции медиальной ротации ограничивает отведение плечевого сустава примерно на  $60^\circ$ .  $60^\circ$  остаточной амплитуды ПС при медиальной ротации плечевой кости сочетаются с  $60^\circ$  не затронутой повреждением амплитуды ЛГ движения, соответственно, амплитуда подъема руки с этой стороны будет иметь доступную амплитуду в  $120^\circ$ .

Гипотетическое сращение ЛГ сустава полностью прекратило бы лопаточно-грудное движение. Поскольку как подъем, так и ротация ключицы проходят через ЛГ сустав, его сращение убирает оба компонента ротации лопатки вверх. Рука может подниматься только в плечевом суставе, причем количество движения здесь будет зависеть от того, выполняется это движение активно или пассивно (см. обсуждение функции дельтовидной мышцы в следующем разделе). Следует отметить, что фиксация очень стабильного ЛГ сустава возникает крайне редко. Однако даже в такой необычной ситуации следует со временем ожидать развития гиперподвижности и повышения нестабильности АКл сустава.

### 3.2.4. МЫШЦЫ-ЛЕВАТОРЫ

Perry рассматривает подъем и опускание руки как два основных паттерна функции плечевого комплекса. Действия по подъему он описывает как требующие мышечного участия для преодоления и контроля веса конечности и на-

грузки на нее. Эти действия обычно включают в себя сгибание или отведение плечевого сустава и ротацию лопатки вверх.

Завершение нормального подъема зависит не только от свободы движения и целостности участвующих в нем суставов, но также от соответствующей силы и функции мышц, создающих и управляющих движением.

Более пристальное рассмотрение активности этих мышц расширит наше понимание нормальной функции, равно как и понимание того, какие недостатки просматриваются в патологических ситуациях.

**Дельтовидная мышца.** Исходной длиной дельтовидной мышцы (оптимальное соотношение «длина–напряжение») считается та, которая наблюдается при руке, свободно свисающей вдоль бока. При исходной длине, но активном сокращении угол тяги дельтовидной мышцы дает в результате преобладание поступательной тяги плечевой кости вверх (см. рис. 3.24).

В случае соответствующей тяги синергистов вниз (надостная, малая круглая и подлопаточная мышцы) ротационные компоненты передней и средней частей дельтовидной мышцы являются эффективными первичными звеньями движения сгибания и отведения соответственно.

Передняя часть дельтовидной мышцы способствует отведению после 15° движения в плечевом суставе. Когда плечевая кость находится в плоскости лопатки, передняя и средняя части дельтовидной мышцы оптимально выстраиваются для подъема плечевой кости.

Линия действия задней части дельтовидной мышцы имеет слишком малое плечо момента (и слишком незначительный ротационный компонент), чтобы эффективно способствовать отведению; она работает преимущественно как компрессор сустава и по функции является горизонтальной отводящей мышцей.

По мере подъема плечевой кости поступательный компонент дельтовидной мышцы уменьшает свое действие смещения вверх, и его линия действия отклоняется в направлении суставной ямки. Одновременно ротационный компонент дельтовидной мышцы, по мере продвижения руки к горизонтальному положению, должен противодействовать увеличивающемуся крутящему моменту силы тяжести.

Анализ ЭМГ показывает постепенно увеличивающуюся активность дельтовидной мышцы, которая достигает пиковых значений при 90° отведения плечевой кости, и далее, до конца движения, остается на плато (Saha обнаружил пиковые значения при 120° и снижение активности до умеренной на 180°).

Пиковая активность при сгибании не развивается вплоть до конца амплитуды, и, в целом, общая активность мышцы здесь значительно ниже.

Хотя плечо момента дельтовидной мышцы по мере подъема плечевой кости увеличивается, а крутящий момент силы тяжести после прохода руки через горизонталь уменьшается, высокий уровень активности дельтовидной мышцы сохраняется.

Укороченные волокна мышцы приближаются к состоянию двигательной слабости. В результате потери напряжения из-за предельного укорочения, для поддержания эквивалентного усилия требуется активация все большего количества моторных единиц.

Многоперистое строение и значительная площадь поперечного сечения дельтовидной мышцы помогают компенсировать относительно небольшое ПМ, малое механическое преимущество и меньшее, чем оптимальное, значение длина–напряжение.

Сохранение адекватной пропорции «длина–напряжение» дельтовидной мышцы во многом зависит от одновременного движения лопатки. При ограничении лопатки дельтовидная мышца становится активно недостаточной и с трудом может сохранять  $90^\circ$  отведения в плечевом суставе (независимо от того, может ли ей помочь надостная мышца или нет).

Синергия, которая наблюдается между верхними ротаторами лопатки и дельтовидной мышцей, обсуждается далее в разделах, посвященных функциям трапециевидной и передней зубчатой мышц.

Как уже было отмечено, активность дельтовидной мышцы зависит от целостности ротационной манжеты. При полном выходе из строя манжеты результатом сокращения дельтовидной мышцы будет не отведение плечевой кости, а пожимание плечами.

Стимуляция подмышечного нерва (иннервирует дельтовидную и малую круглую мышцы) дает около  $40^\circ$  отведения. Частичные разрывы или паралич манжеты ослабляют ротацию, создаваемую дельтовидной мышцей.

**Надостная мышца** считается отводящей мышцей плечевой кости. Однако, как и дельтовидная мышца, она осуществляет и сгибание, и отведение плечевой кости.

Ее роль, по мнению MacConaill и Basmajian, скорее является количественной, чем специализированной. Паттерн активности надостной мышцы, по сути, точно такой же, как и дельтовидной. ПМ надостной мышцы является практически постоянным по всей АД, но оно больше, чем ПМ дельтовидной мышцы на первых  $60^\circ$  отведения плеча.

При параличе дельтовидной мышцы надостная мышца в одиночку может провести руку если не по всей амплитуде, то по большей ее части, однако движение будет более слабым.

При блокировке надлопаточного нерва, которая вызывает паралич надостной и подостной мышц, сила подъема в плоскости лопатки уменьшается на 35% при  $0^\circ$  и на 60–80% при  $150^\circ$ .

Вторичная функция надостной мышцы — компрессия плечевого сустава, действие по типу «руля высоты» плечевой кости и участие в поддержании стабильности свисающей руки.

При изолированном полном параличе надостной мышцы очевидна некоторая потеря силы отведения, однако большинство из ее функций может быть принято на себя остальными мышцами. Изолированный паралич надостной мышцы — явление нечастое, поскольку ее иннервация — та же самая, что для подостной мышцы, к тому же она затрагивает еще и малую круглую мышцу. Чаще происходят совместные повреждения ротационной манжеты, вызывающие гораздо более выраженную недостаточность, чем изолированный паралич надостной мышцы.

**Подостная, малая круглая и подлопаточная мышцы.** Когда Inman и его сотрудники оценивали сочетанные действия подостной, малой круглой и подлопаточной мышц, они обнаружили, что их ЭМГ активность демонстрировала почти линейный рост потенциалов действия при подъеме от 0 до 115°. В промежутке от 115 до 180° активность незначительно снижалась. Общая активность при сгибании была чуть больше, чем при отведении. При отведении наиболее ранние пиковые значения активности этих мышц проявлялись при подъеме на 70°.

Steindler предположил, что столь ранние пиковые значения являются реакцией на потребность опускания (скольжения вниз) головки плечевой кости, а последняя вспышка пиковых показателей на 115° является результатом повышения активности этих мышц при выполнении латеральной ротации плечевой кости.

Медиальная ротационная функция подлопаточной мышцы — направлять плечевую кость горизонтально, продолжая при этом работать вместе с остальными мышцами манжеты с целью компрессии и стабилизации сустава.

**Верхняя и нижняя трапецевидная мышцы, передняя зубчатая мышца.** Верхняя трапецевидная мышца и верхняя передняя зубчатая мышца образуют один сегмент пары сил, который ведет лопатку при подъеме руки. Эти два мышечных сегмента, вместе с мышцей, поднимающей лопатку, также поддерживают плечевой пояс, преодолевая направленную вниз силу тяжести.

Хотя у многих людей поддержка лопатки при свободно висящей руке пассивна, нагрузка на конечность сразу вызывает рост активности этих мышц.

Второй сегмент пары сил образуется нижней частью трапецевидной мышцы и нижней частью передней зубчатой мышцы.

Когда проводили ЭМГ-мониторинг всех перечисленных мышц во время поднимания плечевой кости, графики были схожими и дополняли друг друга. Активность трапецевидной мышцы нарастает линейно до отведения в 180°, при сгибании она имеет более волнообразный характер. Передняя зубчатая мышца демонстрирует линейное возрастание потенциалов дей-

ствия до  $180^\circ$  при сгибании, при отведении — характер динамики волнообразный.

Saha обнаружил, что активность верха и низа трапецевидной мышцы достигает пиковых значений и выходит на плато в конце подъема, при максимальном подъеме активность несколько снижается. Средняя часть трапецевидной мышцы при подъеме также активна (особенно при отведении) и может способствовать ротации лопатки вверх.

При отведении руки сила трапецевидной мышцы представляется более важной для создания ротации лопатки вверх, чем сила передней зубчатой мышцы. Если трапецевидная мышца цела, но передняя зубчатая мышца парализована, отведение руки идет по полной амплитуде, хотя оно и слабее. Если парализована трапецевидная мышца (даже при незатронутой передней зубчатой мышце), отведение руки слабеет и ограничивается амплитудой в  $75^\circ$ . Это не намного лучше амплитуды, которая достигается при полном отсутствии верхних ротаторов лопатки. Остаток амплитуды проходится исключительно в плечевом суставе.

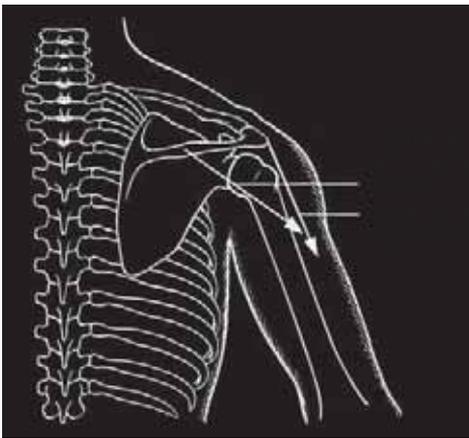
При отсутствии трапецевидной мышцы (как при наличии передней зубчатой мышцы, так и без нее) лопатка остается в положении ротации вниз, поскольку действию силы тяжести на лопатку противопоставить нечего. При попытке отведения руки средние и задние волокна дельтовидной мышцы (начинающиеся

на акромиальном отростке и гребне лопатки) усиливают ротационную тягу лопатки вниз (рис. 3.31).

Хотя дельтовидная мышца все еще может достигать  $90^\circ$  движения в плечевом суставе, даже если лопатка обездвижена, эти  $90^\circ$  приходятся на лопатку в нижней ротации и, соответственно, чистый эффект будет выражаться в подъеме руки из нижнего положения только на  $60-75^\circ$  (рис. 3.32).

Хотя трапецевидная мышца представляется при подъеме руки более важной из двух верхних ротаторов, обратная ситуация наблюдается при сгибании руки.

При сгибании передняя ориентация лопатки важна потому, что может принять такое положение



*Рис. 3.31. Без трапецевидной мышцы лопатка остается в позиции ротации вниз, что связано с не встречающим противодействия воздействием силы тяжести на лопатку. Когда выполняется попытка отведения руки, средние и задние волокна активированной дельтовидной мышцы увеличивают ротационную тягу лопатки вниз*

только при помощи передней зубчатой мышцы. Если передняя зубчатая мышца цела, паралич трапециевидной мышцы при сгибании плеча вызывает потерю силы, но дефицит амплитуды не возникает, однако, если парализована передняя зубчатая мышца (даже при условии нормально функционирующей трапециевидной мышцы), сгибание будет и слабым, и меньшим по амплитуде (АД будет составлять 130–140° сгибания).

Если лопаточный компонент ретракции трапециевидной мышцы не встречает противодействия со стороны передней зубчатой мышцы, трапециевидная мышца не может выполнить ротацию лопатки вверх более, чем на 20° из потенциально возможных 60°.

Несмотря на то что передняя зубчатая и трапециевидная мышцы являются первичными движителями лопаточно-грудной ротации кверху, эти мышцы также выполняют важную функцию стабилизирующих синергистов дельтовидной мышцы.

Все мышцы оказывают равное тяговое усилие как на проксимальные, так и дистальные прикрепления. Когда оба конца свободно двигаются, обычно первым начинает движение более легкий конец. В большинстве случаев более легким оказывается дистальный сегмент.

К редким случаям в плечевом суставе относится более легкий проксимальный сегмент лопатки. Если дельтовидная мышца начинает воздействовать на этот легкий проксимальный сегмент раньше, чем на более тяжелую плечевую кость (добавьте сюда вес предплечья и кисти), то ротация лопатки вниз начинается раньше, чем подъем плечевой кости. Соответственно, дельтовидная мышца становится активно недостаточной раньше, чем создается более или менее значимый подъем плечевой кости.

Трапециевидная и передняя зубчатая мышцы, верхние ротаторы лопатки, предотвращают нежелательное движение ротации вниз, вызванное сокращением дельтовидной мышцы.



*Рис. 3.32. При параличе трапециевидных мышц попытка отведения руки заставляет дельтовидные мышцы выполнять ротацию лопатки вниз. Хотя может быть выполнено движение в плечевом суставе на 90°, результатом положения лопатки является подъем руки из исходного положения на 60° и меньше*

Трапециевидная и передняя зубчатая мышцы сохраняют в дельтовидной мышце оптимальное соотношение «длина–напряжение» и дают ей возможность перемещать более тяжелый дистальный рычаг по полной амплитуде.

Таким образом, роль лопаточной пары сил трапециевидной и передней зубчатой мышцы в том, что они являются агонистами в движении лопатки и синергистами в движении плечевого сустава. Трапециевидная и передняя зубчатая мышцы вызывают желаемую ротацию лопатки вверх, не позволяя дельтовидной мышце выполнить нежелательное движение во время подъема руки.

**Ромбовидные мышцы.** Большая и малая ромбовидные мышцы при подъеме плечевой кости активны, особенно при отведении. Эти мышцы выполняют важную функцию стабилизирующих синергистов мышц, вращающих лопатку. Они сокращаются эксцентрически и контролируют изменение позиции лопатки, вызываемое трапециевидной и передней зубчатой мышцами.

Паралич этих мышц вызывает разрыв нормального лопаточно-плечевого ритма и может сказаться на уменьшении АД.

### 3.2.5. МЫШЦЫ-ДЕПРЕССОРЫ

Опускание руки является вторым важнейшим паттерном функции плечевого комплекса. Оно подразумевает произвольное, вызванное силой мышц движение руки вниз относительно туловища.

Если же рука фиксирована каким-либо весом или держится за какой-то предмет (гимнастическая перекладина, например), иначе говоря, когда вес тела приходится на руки, опускание руки будет, в реальности, силовым движением туловища вверх относительно руки.

При опускании руки лопатка обычно вращается вниз, и движение в плечевом суставе будет приведением, однако устойчивого соотношения одного сегмента с другим не наблюдается.

**Широчайшая мышца спины и грудные мышцы.** Когда верхняя конечность может свободно перемещаться в пространстве, широчайшая мышца спины выполняет важную функцию приведения и медиальной ротации плечевой кости, а также разгибания плеча.

Когда мышца выполняет тягу за свое прикрепление к лопатке и к плечевой кости, она также может выполнить приведение и опускание плечевого пояса.

Если рука фиксирована (т.е. человек висит на руках), широчайшая мышца спины подключает свое каудальное прикрепление к тазу и тянет его навстречу краниальному прикреплению, а именно, к лопатке и плечевой кости. Результатом является подъем тела вверх, как при «выходе силой» в момент выжимания на перекладине.

Если руки несут вес, опираясь на ручки костылей, сокращение широчайшей мышцы спины отрывает стопы от земли в момент подъема туловища при фиксированных лопатках, и это позволяет перебросить ноги вперед.

Некоторыми исследованиями показано, что широчайшая мышца спины активна при отведении и сгибании руки. Ее активность может способствовать стабильности сустава, так как, если рука выше горизонтали, она создает компрессию в плечевом суставе.

Ключичная часть большой грудной мышцы может помогать дельтовидной мышце при сгибании в плечевом суставе, но при этом ее грудинная и брюшная части являются основными опускающими мышцами плечевого комплекса.

Комбинированное действие грудинной и брюшной частей большой грудной мышцы параллельно действию широчайшей мышцы спины, хотя большая грудная мышца расположена спереди от плечевого сустава, а не сзади, как широчайшая мышца спины.

В случаях, когда вес тела держится на руках, плечевой комплекс могут опускать как широчайшая мышца спины, так и большая грудная мышца, при этом движение плечевой кости вперед/назад и абдукция/аддукция лопатки нейтрализуются.

В описанной функции этих мышц оказывает помощь малая грудная мышца, действующая непосредственно на лопатку, опускающая ее и вращающая книзу.

**Большая круглая и ромбовидные мышцы.** Большая круглая мышца, как и широчайшая мышца спины, осуществляет приведение, медиальную ротацию и разгибание плечевой кости. Она обычно активна при действиях с сопротивлением, но может проявлять активность и при свободном разгибании и приведении, выполняемых за спиной.

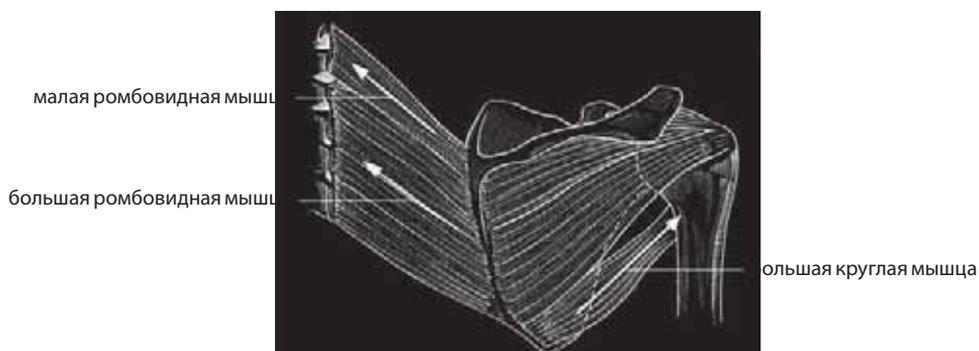
Функция большой круглой мышцы зависима от активности ромбовидных мышц.

Большая круглая мышца начинается от лопатки и прикрепляется к плечевой кости. Соответственно, проксимальный сегмент, к которому она прикрепляется, легче дистального.

Для того чтобы большая круглая мышца эффективно действовала как разгибатель и приводящая мышца плеча, лопатка должна быть стабилизирована. Без стабилизации большая круглая мышца будет вращать более легкую лопатку вверх, не перемещая более тяжелую плечевую кость.

Нежелательное ротационное усилие большой круглой мышцы (рис. 3.33) преодолевается ромбовидными мышцами, вращающими лопатку вниз.

Фиксируя лопатку при сокращении большой круглой мышцы, ромбовидные мышцы позволяют ей перемещать более тяжелую плечевую кость.



*Рис. 3.33. Лопаточная синергия большой круглой и ромбовидных мышц. Большая и малая ромбовидная мышцы преодолевают нежелательную ротацию лопатки вверх, вызванную активностью большой круглой мышцы*

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В этой главе мы заложили основы понимания функций суставов верхней конечности и изучения сложной динамической стабилизации плечевого комплекса.

Дистальные суставы верхней конечности зависят от двойной функции обеспечения подвижности/стабильности плечевого комплекса. Если функция кисти, например, может, хоть и ограниченно, сохраняться при потере подвижности плечевого комплекса, потеря его стабильности делает бесполезной всю руку. Далее мы будем рассматривать локоть, который является промежуточным звеном между плечом и кистью.

## ГЛАВА 4

# ЛОКТЕВОЙ КОМПЛЕКС

Суставы и мышцы локтевого комплекса предназначены для обслуживания кисти. Они обеспечивают мобильность кисти в пространстве за счет видимого укорочения и удлинения верхней конечности. Эта функция позволяет приблизить кисть к лицу (например при еде) или удалить ее от тела на расстояние, равное длине верхней конечности. Ротация в плечевом комплексе обеспечивает дополнительную подвижность кисти.

В сочетании с обеспечением мобильности кисти локтевой комплекс обеспечивает стабильность умелых и сильных движений кисти для выполнения действий с использованием инструментов или устройств. Многие из 15 мышц, пересекающих локтевой комплекс, могут также действовать в кисти или плече. Запястье и плечо связаны друг с другом через локоть, что расширяет функциональные возможности кисти.

Локтевой комплекс состоит из локтевого сустава (плечелоктевое и плечелучевое сочленение), проксимального и дистального лучелоктевых суставов. Видимое удлинение и укорочение верхней конечности происходит в локтевом суставе, который образован дистальным концом плечевой кости и проксимальными концами лучевой и локтевой костей.

Локтевой сустав считается сложным суставом, который функционирует по типу шарнира и, соответственно, является одноосным истинным суставом с одной степенью свободы движения. Сгибание и разгибание производятся в сагитальной плоскости вокруг венечной оси.

С локтевым суставом непосредственно связаны две большие связки и пять мышц. Три из этих мышц являются сгибателями и пересекают переднюю поверхность сустава. Две другие мышцы являются разгибателями и пересекают его заднюю поверхность.

Проксимальный и дистальный лучелоктевые суставы связаны и функционируют как один сустав. Таким образом, два сустава, вместе вызывающие рота-

цию, имеют одну степень свободы движения. Эти суставы являются истинными одноосными суставами осевого (цилиндрического) типа. Ротация (супинация и пронация) выполняется в поперечной плоскости вокруг продольной оси. С этими суставами связано шесть связок и четыре мышцы. Две мышцы отвечают за супинацию и две — за пронацию.

Локтевой и проксимальный лучелоктевой суставы находятся в одной суставной капсуле, но представляют собой разные сочленения.

## 4.1. СТРУКТУРА: ЛОКТЕВОЙ СУСТАВ (ПЛЕЧЕЛОКТЕВОЕ И ПЛЕЧЕЛУЧЕВОЕ СОЕДИНЕНИЯ)

### 4.1.1. СУСТАВНЫЕ ПОВЕРХНОСТИ НА ПЛЕЧЕВОЙ КОСТИ

Суставные поверхности плечевой кости — это блок в форме песочных часов и головка, имеющая сферическую форму (рис. 4.1).

Эти структуры, покрытые суставным хрящом, расположены между двумя надмыщелками на дистальном конце плечевой кости. Блок, образующий часть плечелучевого сочленения, находится спереди в дистальной части плечевой кости медиально. Направляющая бороздка идет по кривой спирали вокруг блока и делит его на медиальную и латеральную части. Медиальная часть блока выходит чуть далее в дистальном направлении, чем латеральная часть, и весь блок находится под углом и чуть впереди от стержня плечевой кости. Индивидуальные отличия конусности направляющей бороздки блока влияют на направление



*Рис. 4.1. Суставные части передней поверхности дистальной части правой плечевой кости*

движения предплечья при сгибании и разгибании.

Блок имеет асимметричную седлообразную поверхность, которая является вогнутой в поперечном направлении и выпуклой в переднезаднем направлении. Выемка, находящаяся прямо над блоком, называется *венечной ямкой*.

*Капитулум* (*головка мыщелка плечевой кости*), являющийся частью плечелучевого сочленения, расположен на передней латеральной поверхности дистального отдела плечевой кости. Капитулум, как и блок, расположен чуть кпереди относительно стержня плечевой кости. Борозда, называемая *капитулумо-трохлеарной бороздой*, отделяет головку от блока.

Выемка, расположенная непосредственно над головкой, называется *лучевой ямкой*. Сзади на плечевой кости имеется выемка, называемая *локтевой ямкой* (рис. 4.2).



**Рис. 4.2.** Левый локтевой сустав в положении разгибания, вид слева. Локтевая ямка частично закрыта локтевым отростком локтевой кости. В полностью разогнутом положении между головкой лучевой кости и капитулумом контакт отсутствует

#### 4.1.2. СУСТАВНЫЕ ПОВЕРХНОСТИ ЛУЧЕВОЙ И ЛОКТЕВОЙ КОСТЕЙ

Суставные поверхности локтевой и лучевой кости соответствуют суставным поверхностям на плечевой кости (рис. 4.3).

Локтевая суставная поверхность плечелоктевого сустава вогнутая и имеет полукруглую форму; ее называют *блоковой выемкой*. Проксимальная часть выемки разделена на две неравные части блоковым гребнем. Гребень соответствует направляющей бороздке на плечевой кости.

Лучевая суставная поверхность плечелучевого сустава состоит из проксимального конца лучевой



**Рис. 4.3.** Суставные поверхности лучевой и локтевой кости. Изображено левое предплечье

кости (головка лучевой кости). Головка имеет слегка вогнутую чашеобразную форму, окруженную ободком. Вогнутость головки лучевой кости соответствует выпуклой поверхности капитулума, а выпуклый ободок лучевой головки совпадает с капитулумо-трохлеарной бороздой (см. рис. 4.1).

**Сочленение** между локтевой и плечевой костью в плечелоктевом суставе происходит, прежде всего, как скольжение блоковой выемки локтевой кости по блоку. При разгибании скольжение продолжается до тех пор, пока локтевой отросток не входит в локтевую ямку (рис. 4.4, *a*). При сгибании блоковый гребень локтевой кости скользит по блоковой борозде, пока венечный отросток при полном сгибании не достигает дна венечной ямки (рис. 4.4, *b*).

Eckstein с сотрудниками изучали распределение субхондральной минерализации, а также размер и положение областей контакта блоковой выемки, с целью определить распределение нагрузки в плечелоктевом суставе. На основании полученных данных они пришли к выводу, что при 90° сгибания в локте между суставными поверхностями блока и блоковой борозды возникает физиологическое несоответствие. Борозда несколько глубже, чем требуется для полной аккомодации блока. Обнаружилось, что при увеличении нагрузки несоответствие уменьшается. На всех исследованных 16 образцах нагрузка приходилась больше на локтевой отросток и венечные поверхности, чем на центральные части блоковой выемки.

Те же авторы провели два дополнительных исследования.

В первом из них они определили, что при нагрузке в 25 N (симуляция разгибания локтя с сопротивлением) из положения локтя в 30, 60, 90 и 120° сгибания ни в одном из 6 образцов не наблюдалось контакта суставных поверхностей между блоком и дном блоковой выемки. При нагрузке в 500 N контактные области суставных поверхностей увеличивались в глубину.



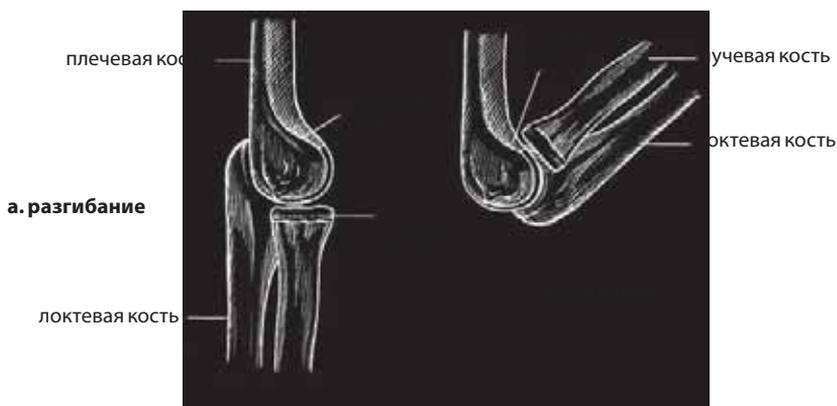
**Рис. 4.4.** Схематическое изображение движений локтевой кости и плечевой кости в плечелоктевом суставе: *a* — при разгибании локтевой отросток входит в локтевую ямку; *b* — при сгибании венечный отросток достигает венечной ямки

Во втором исследовании авторы обнаружили, что плотность субхондральной кости под суставными поверхностями краев блоковой выемки была значительно большей, чем в ее глубине. Меньшая плотность в глубокой части выемки подтвердила их предыдущие данные о «несовпадении вогнутости» плечелоктевого сустава. Авторы предположили, что регулярное изменение контактных областей суставных поверхностей, свойственное для неконгруэнтного сустава, создает движение синовиальной жидкости и тем самым способствует перемещению питательных веществ. Однако в более поздних исследованиях обнаружили, что толщина хряща в 14 исследованных образцах существенно отличалась от зоны субхондральной минерализации.

Jacobs и Eckstein в исследовании методом симуляции конечных элементов пришли к заключению, что плотность субхондральной кости не следует рассматривать как непосредственную меру суставного давления в неконгруэнтных суставах с глубокими углублениями. В таких суставах, по всей видимости, нагрузки растяжения могут играть основную роль в перестройке субхондральной кости.

Сочленение между головкой лучевой кости и плечелучевым суставом представляет собой скольжение неглубокой вогнутой радиальной головки по довольно большой выпуклой поверхности капитулума. При полном разгибании между суставными поверхностями контакт отсутствует (рис. 4.5, *a*). При сгибании ободок головки лучевой кости скользит в капитулумо-трохлеарной борозде и, при достижении конца амплитуды сгибания, входит в лучевую ямку (рис. 4.5, *b*).

Schenck с сотрудниками обнаружили существенные различия механических свойств суставного хряща и его толщины, как в самих капитулуме и головке



**Рис. 4.5.** Схематическое представление движений лучевой кости в плечелучевом суставе: *a* — при полном разгибании контакт между капитулумом и головкой радиальной кости отсутствует; *b* — во время сгибания ободок лучевой кости скользит в капитулумо-трохлеарной борозде и, при полном сгибании, достигает лучевой ямки на плечевой кости

лучевой кости, так и между ними. Например, эти авторы обнаружили, что центральная часть головки лучевой кости значительно тверже, чем латеральная область капитулума. Они выдвинули гипотезу, что различия в твердости связаны с патологическими изменениями капитулума, наблюдавшимися у спортсменов, занимающихся метаниями.

**Суставная капсула.** Плечелоктевой, плечелучевой, а также верхний лучелоктевой суставы заключены в одну суставную капсулу.

Спереди проксимальное прикрепление капсулы находится чуть выше венечной и лучевой ямок, дистальное прикрепление — край венечного отростка и вход в кольцевую связку. Латеральное прикрепление капсулы к лучевой кости смешивается с волокнами латеральной коллатеральной связки. Медиальное прикрепление капсулы смешивается с волокнами медиальной коллатеральной связки. Сзади капсула прикрепляется к плечевой кости по верхнему краю локтевой ямки.

Капсула довольно велика, свободна и слаба как спереди, так и сзади; по бокам укреплена связками. Жировые прослойки располагаются между капсулой и синовиальной мембраной, примыкая к локтевой, венечной и лучевой ямкам.

**Связки.** Большинство шарнирных суставов в теле имеют коллатеральные связки, и локоть здесь не является исключением. Коллатеральные связки располагаются на медиальной и латеральной стороне шарнирных суставов и обеспечивают медиальную/латеральную стабильность сустава, а также удерживают суставные поверхности в аппозиции.

Две основные связки, ассоциированные с локтевым суставом, это медиальная (локтевая) и латеральная (лучевая) коллатеральные связки.

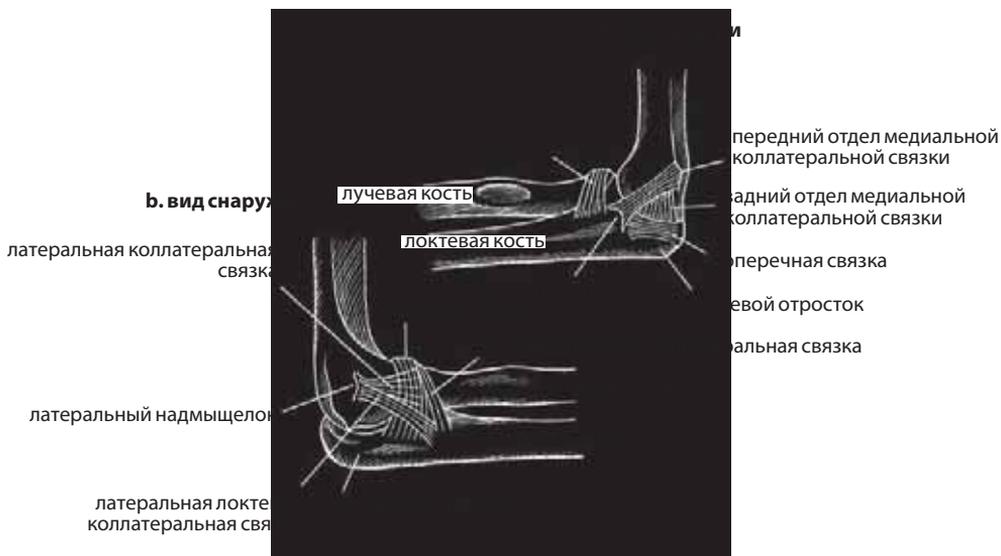
**Медиальная (локтевая) коллатеральная связка.** Медиальная, или локтевая, коллатеральная связка (МКС) состоит из двух (передней и задней) или трех частей (передней, косой/поперечной и задней).

Callaway с сотрудниками в исследованиях на трупах 28 локтевых суставов обнаружили, что МКС состоит из передних, задних и иногда поперечных пучков (рис. 4.6, а).

Fuss оспаривает это, говоря, что так называемая косая, или поперечная, часть — это, на самом деле, *связка Купера*, которую нельзя рассматривать как часть МКС, поскольку действие ее на сустав не распространяется.

Regan с коллегами также описывают МКС как состоящую (по поверхности) из двух частей, однако эти авторы не обнаружили различий между двумя частями, когда изучали нижнюю или глубокую капсульную поверхность связки. При этом они нашли волокна с последовательным местом входа по лучевой ямке локтевой кости, от передней к задней части, сосуществующие с капсульным прикреплением.

Хотя мнения относительно строения МКС остаются противоречивыми, большинство авторов согласны с тем, что функционально более важной является передняя часть капсулы.



**Рис. 4.6.** *а* — три части медиальной (локтевой) коллатеральной связки правого локтевого сустава, вид изнутри. Мышцы и суставная капсула удалены для того, чтобы были видны прикрепления связки. Передний отдел связки отходит от медиального надмыщелка плечевой кости и прикрепляется к венечному отростку локтевой кости. Волокна поперечного отдела отходят от локтевого отростка и прикрепляются к венечному отростку локтевой кости. Задний отдел отходит от медиального надмыщелка и прикрепляется к венечному отростку локтевой кости и локтевому отростку; *б* — латеральная (локтевая) коллатеральная связка показана с внешней стороны правого локтя. Мышцы и суставная капсула удалены для того, чтобы были видны прикрепления связки. Латеральная коллатеральная связка начинается от латерального надмыщелка плечевой кости и прикрепляется к кольцевой связке и локтевому отростку. Латеральный локтевой отдел латеральной коллатеральной связки начинается как узкий тяж от латерального надмыщелка и входит в локтевую кость. Проксимально, между кольцевой связкой и латеральным надмыщелком, латеральную локтевую коллатеральную связку нельзя отделить от латеральной коллатеральной связки. Вспомогательная коллатеральная связка отходит от кольцевой связки и вплетается в локтевую кость

Передняя часть МКС идет от передней части, кончика и медиального края медиального надмыщелка плечевой кости и прикрепляется к венечному отростку локтевой кости.

Плотность распределения механорецепторов (органы Гольджи, окончания Руффини, тельца Пачини и свободные нервные окончания) наиболее высока около плечевых и локтевых прикреплений связки. Пучки волокон коллагена в передней части связки более плотно упакованы, чем в задней ее части.

Fuss выделил в переднем отделе связки три анатомически и функционально отличных волоконных компонента.

1. Волокна, которые исходят от передней поверхности медиального надмыщелка и натягиваются при полном разгибании.

2. Волокна, которые идут от кончика медиального надмыщелка и натягиваются в диапазоне от 90° сгибания до полного сгибания.

3. Волокна, которые идут от нижнего края медиального надмыщелка, натянуты по всей амплитуде движения (АД) и ограничивают предел разгибания.

Третью группу волокон Fuss определял как «*направляющий пучок*». Этот пучок волокон является единственной частью переднего отдела связки, который натянут в диапазоне от 0 до 90° и, согласно Fuss, помогает направлять движение сустава. Передний отдел МКС считается основным стабилизатором локтя при вальгусной нагрузке в диапазоне сгибания локтя от 20 до 120°.

Saillaway с коллегами описывают состав переднего отдела МКС как имеющий передний и задний тяжи, которые натягиваются в реципрокном режиме при сгибании и разгибании локтя. Передний тяж переднего отдела рассматривается авторами как основной ограничитель вальгуса на 30, 60 и 90° сгибания и копримарный ограничитель на 120° сгибания. Задний тяж переднего отдела МКС является копримарным ограничителем вальгуса при 120° сгибания и вторичным ограничителем при 30 и 90° сгибания.

Задняя часть МКС не имеет таких особенностей, как передняя, и ее волокна иногда смешиваются с волокнами медиального отдела суставной капсулы. Волокна задней части МКС идут от задней части медиального надмыщелка плечевой кости и прикрепляются к вечноному отростку локтевой кости и локтевому отростку. Наибольшая плотность механорецепторов наблюдается около плечевых и локтевых прикреплений. Задний отдел МКС ограничивает разгибание локтя, однако играет менее значимую роль, чем передняя медиальная коллатераль в обеспечении вальгусной стабильности локтя. Косые (поперечные волокна) медиальной коллатерали идут между локтевым отростком и локтевым вечноным отростком.

Часть связки способствует вальгусной стабильности и участвует в сближении суставных поверхностей. Функции МКС сведены в табл. 4.1.

**Латеральная (локтевая) коллатеральная связка (ЛКС)** имеет форму веера с нечетко выраженными границами. Она идет от нижнего латерального надмыщелка плечевой кости и прикрепляется к кольцевой связке (связка, опоясывающая головку лучевой кости) и к локтевому отростку (рис. 4.6, *b*).

Наибольшая плотность механорецепторов наблюдается около плечевых и локтевых прикреплений.

По мнению Regan с коллегами, связочный комплекс также состоит из различных утолщений капсулы, которые идут от латерального надмыщелка плечевой

Таблица 4.1

## Функции медиальной коллатеральной связки

Волокна	Позиция сустава/АД	Функция	Авторы
Передний отдел МКС (волокна идут от передней поверхности медиального надмыщелка)	Полное разгибание	Ограничивает разгибание	Fuss
Передний отдел МКС (волокна начинаются ниже кончика медиального надмыщелка)	От 90° до полного сгибания	Волокна натянуты	Fuss
Передний отдел МКС (волокна начинаются от нижнего края медиального надмыщелка)	От 0° до полного сгибания	Волокна натянуты — управление движением сустава	Fuss
Передний отдел МКС	От 0° до полного сгибания	Сопротивление вальгусной перегрузке и ограничение разгибания	Regan и др.
Передний отдел МКС	20–120° сгибания	Первичный стабилизатор вальгусной нагрузки	Soberg, Ovelson, Nielsen, Hotchkiss и Weiland
Передний тяж переднего отдела МКС	30, 60 и 90° сгибания	Первичный стабилизатор вальгусной нагрузки	Callaway и др.
Задний тяж переднего отдела МКС	120° сгибания	Копримарный ограничитель вальгуса	Callaway и др.
Задний отдел МКС	От 55, 85 и 95° сгибания и до полного сгибания	Роль менее значима, чем переднего отдела. Ограничение сгибания	Regan и др.

кости к локтевому отростку, а также из короткого узкого тяжа связочной ткани, выходящего из кольцевой связки и входящего в локтевую кость.

Связочную ткань, идущую от латерального надмыщелка к латеральной части локтевой кости, иногда называют *латеральной локтевой коллатеральной связкой* (ЛЛКС), и некоторые авторы считают ее частью латерального коллатерального связочного комплекса.

В исследовании 10 образцов Olsen с сотрудниками не смогли отделить ЛКС от ЛЛКС. ЛКС усиливает плечелучевое сочленение, дает некоторую защиту против варусных перегрузок при определенных положениях локтевого сустава и обеспечивает сопротивление при расхождении суставных поверхностей. Некоторые волокна ЛКС остаются в состоянии натяжения по всей амплитуде сгибания, при действии момента варуса или вальгуса. ЛКС слабее, но эластичнее, чем МКС и в усилении локтевого сустава играет явно менее значимую роль.

Вместе с тем Olsen с коллегами пришел к заключению, что ЛКС является важным стабилизатором плечелучевого сустава при форсированном варусе и предотвращает смещение головки лучевой кости назад.

ЛЛКС, при наличии варусной перегрузки, сохраняет натяжение по всей АД. Волокна связки натянуты более чем при 110° сгибания как при варусе, так и при вальгусе, и даже если нагрузка отсутствует. Представляется, что ЛЛКС потенциально содействует ЛКС в сопротивлении варусной нагрузке на локоть и по-

Таблица 4.2

### Функции латеральной коллатеральной связки и латеральной локтевой коллатеральной связки

Волокна	Позиция сустава/АД	Функция	Авторы
ЛКС (задние волокна)	0–90°	Волокна натянуты при рекурвации колена	Regan и др.
ЛКС (средние волокна)	От 0° до полного сгибания	Волокна натянуты при приложении момента либо варуса, либо вальгуса	Regan и др.
ЛКС	От 0° до полного сгибания	Волокна натянуты — при форсированном варусе	Olsen и др.
ЛЛКС	От 0° до полного сгибания	Волокна натянуты — при нагрузке варуса	Regan и др.

могает в создании латеральной опоры. Сводные функции ЛКС представлены в табл. 4.2.

**Мышцы.** Переднюю сторону локтевого сустава пересекают девять мышц, но только три из них (плечевая мышца, двуглавая мышца плеча и плечелучевая мышца) имеют в локтевом суставе ведущие функции.

Остальные шесть мышц (круглый пронатор, лучевой сгибатель запястья, локтевой сгибатель запястья, поверхностный сгибатель пальцев, длинная ладонная мышца и медиальная головка трехглавой мышцы плеча), которые начинаются общим сухожилием от медиального надмыщелка плечевой кости, считаются слабыми сгибателями локтевого сустава, их функции первичны для других суставов, в том числе: лучелоктевого, лучезапястного, кисти и пальцев.

Основными сгибателями локтя являются плечевая мышца, двуглавая мышца плеча и плечелучевая мышца.

Плечевая мышца отходит от передней поверхности нижней части диафиза плечевой кости и прикрепляется широким толстым сухожилием к локтевой бугристости и венечному отростку.

Двуглавая мышца плеча идет двумя головками, длинной и короткой. Короткая головка начинается от клювовидного отростка лопатки как толстое, плотное сухожилие, длинная головка идет от надсуставного бугра лопатки в виде длинного и узкого сухожилия. Мышечные волокна из двух сухожилий объединяются в середине плеча и образуют выпуклый мышечный рельеф. Мышечные волокна от обеих головок прикрепляются при помощи мощного уплощенного сухожилия к грубой задней области бугристости лучевой кости. Другие волокна двуглавой мышцы входят в апоневроз двуглавой мышцы плеча, который расширяется медиально и срастается с фасцией, покрывающей сгибатели предплечья.

Плечелучевая мышца отходит от латерального надмыщелкового гребня плечевой кости и прикрепляется к дистальному концу лучевой кости чуть ближе лучевого шиловидного отростка.

Двумя разгибателями локтевого сустава являются трехглавая мышца плеча (трицепс) и локтевая мышца.

Трицепс состоит из трех головок: длинной, медиальной и латеральной. Длинная головка пересекает как плечевой сустав, так и локтевой. Она начинается от подсуставной бугристости лопатки в виде уплощенного сухожилия, которое сливается с капсулой плечевого сустава. Медиальная и латеральная головки пересекают только локтевой сустав. Медиальная головка охватывает довольно широкую область, поскольку отходит она практически от всей задней поверхности плечевой кости. Латеральная головка, наоборот, идет только от узкого гребня задней поверхности плечевой кости. Три головки входят в общее сухожилие, которое прикрепляется к локтевому отростку.

Локтевая мышца — это небольшая мышца треугольной формы, начинающаяся от латерального надмыщелка плечевой кости и присоединяющаяся как к локтевому отростку, так и к прилегающей задней поверхности локтевой кости.

## 4.2. ФУНКЦИИ: ЛОКТЕВОЙ СУСТАВ (ПЛЕЧЕЛОКТЕВОЕ И ПЛЕЧЕЛУЧЕВОЕ СОЧЛЕНЕНИЯ)

### 4.2.1. ОСИ ДВИЖЕНИЯ

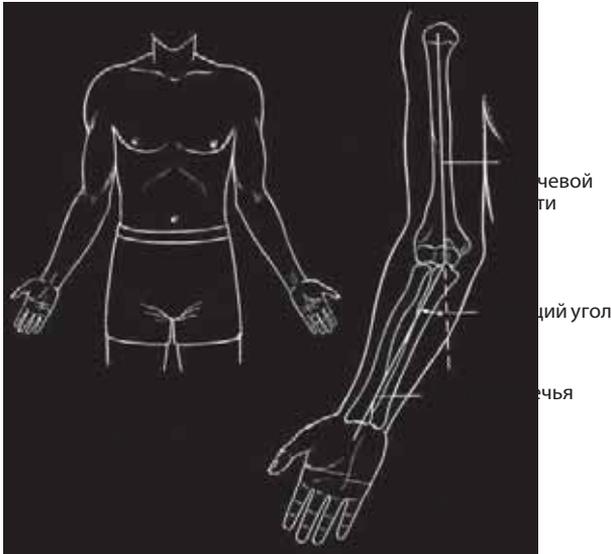
Ось сгибания и разгибания является относительно фиксированной и проходит через центр блока и капитулума, пересекая продольную ось стержня плечевой кости (рис. 4.7).

Когда верхняя конечность находится в анатомической позиции, длинная ось плечевой кости и длинная ось предплечья образуют острый угол медиально, когда они пересекаются в локте. Осевое отклонение вызвано конфигурацией, называемой «несущим углом», и у женщин оно чуть больше, чем у мужчин. Средний угол у мужчин составляет около  $5^\circ$ , у женщин — от  $10$  до  $15^\circ$  (рис. 4.8).

Увеличение несущего угла считается аномалией, особенно, если оно оказыва-



**Рис. 4.7.** Ось движения сгибания и разгибания. Ось центрирована по середине блока, и ее линия пересекает продольную (анатомическую) ось плечевой кости

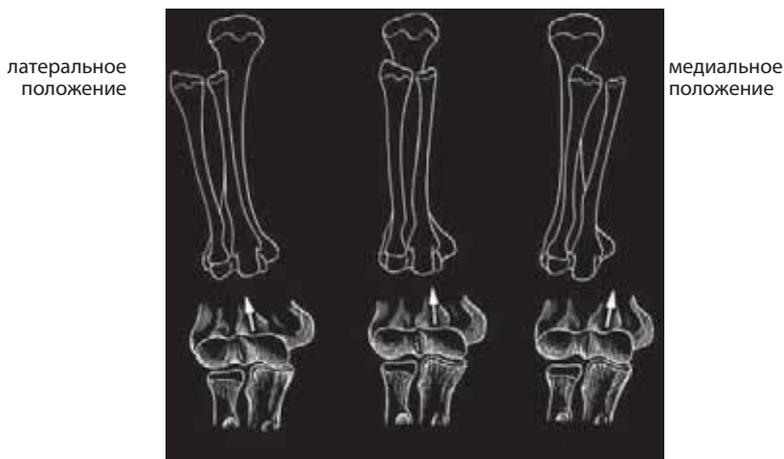


**Рис. 4.8.** Несущий угол локтевого сустава: а — когда локоть полностью разогнут в анатомической позиции, предплечье находится слегка латерально относительно плечевой кости; б — продольная ось плечевой кости и продольная ось предплечья образуют несущий угол

ется односторонним. Увеличение угла свыше средних значений называется *cubitus valgus* (вальгусная деформация локтевого сустава).

В норме несущий угол исчезает, когда локоть полностью разогнут и находится в пронации, а предплечье зафиксировано относительно плечевой кости в полном разгибании.

Конфигурация блоковой борозды определяет траекторию движения предплечья при сгибании и разгибании. При наиболее распростра-



**Рис. 4.9.** Положение предплечья при пассивном сгибании: а — при наиболее распространенной конфигурации блоковой борозды локтевая кость движется от разгибания к сгибанию с постоянным медиальным отклонением и при полном сгибании приходит в ту же плоскость, что и плечевая кость; б — предплечье при пассивном сгибании приходит в конечное положение чуть медиально относительно плечевой кости; с — при самой редкой конфигурации блоковой борозды конечное положение предплечья будет слегка латеральным

ненной конфигурации борозды локтевая кость идет из разгибания в сгибание в прогрессивно медиальном направлении так, что при полном сгибании предплечье приходит в ту же плоскость, что и плечевая кость (рис. 4.9, *a*).

При разгибании предплечье движется латерально, пока не достигает позиции, в которой, при полном разгибании, находится чуть латерально по отношению к плечевой кости.

Вариабельность направления борозды влияет на траекторию предплечья, и, если локоть сгибать пассивно, предплечье в полном сгибании может остановиться либо медиально (рис. 4.9, *b*), либо латерально (рис. 4.9, *c*) по отношению к плечевой кости. Различные методы измерения несущего угла привели к возникновению противоречивых заключений.

Например, London, который использовал ось предплечья и перпендикуляр к оси вращения локтя, а не оси предплечья и плечевой кости, пришел к заключению, что по всей амплитуде сгибания/разгибания несущий угол не изменяется вообще.

#### 4.2.2. АМПЛИТУДА ДВИЖЕНИЯ

Степень движения, возможного в локтевом суставе, определяется многими факторами. Они включают в себя тип движения (активное или пассивное), положение предплечья (относительная пронация/супинация) и положение плеча.

Амплитуда активного сгибания локтевого сустава обычно меньше, чем при пассивном движении, поскольку выпирающая масса сокращающихся сгибателей на передней поверхности плечевой кости мешает предплечью максимально приблизиться к плечевой кости. Активная амплитуда сгибания локтевого сустава при супинации предплечья обычно колеблется от 135 до 145°, тогда как амплитуда пассивного сгибания — 150–160°. На амплитуду сгибания также влияет положение предплечья. Если предплечье находится в пронации или в промежуточном положении между пронацией и супинацией, АД меньше, чем при чистой супинации предплечья.

На АД может влиять также положение плеча. Две мышцы, пересекающие как локтевой, так и плечевой суставы (двуглавая и трехглавая мышцы плеча) могут оказываться пассивно или активно недостаточными при попытке достичь полной АД в обоих суставах. Пассивное натяжение трицепса может ограничивать сгибание локтя, если плечо одновременно идет в полное сгибание. Одновременно активный бицепс может терять напряжение, пытаясь укоротиться сразу через два сустава. Пассивное натяжение, возникающее в длинной головке бицепса за счет переразгибания плечевого сустава, может ограничивать разгибание в локте. Если разгибание локтевого сустава выполняется трицепсом, длинная головка может оказаться пассивной.

Другими факторами, ограничивающими амплитуду движения и обеспечивающими стабильность локтевого сустава, являются: конфигурация суставных поверхностей, связки и суставная капсула.

Локтевой сустав имеет собственную суставную стабильность в конечных точках разгибания и сгибания. При полном разгибании плечелоктевой сустав находится в стабильной позиции. В этом положении костный контакт локтевого отростка в локтевой ямке устанавливает предел амплитуды разгибания, а конфигурация суставных структур помогает обеспечивать вальгусную и варусную стабильность.

Костные компоненты, МКС и передняя часть суставной капсулы при полном разгибании в равной степени участвуют в создании сопротивления варусной нагрузке, а вторую половину сопротивления дают латеральная коллатераль и суставная капсула. Сопротивление расхождению сустава в положении разгибания полностью обеспечивается мягкими тканями. Передняя часть суставной капсулы дает большую часть сопротивления переднему смещению дистального конца плечевой кости и попытке его выхода из суставной ямки, участие МКС и ЛКС незначительно.

Сближение венечного отростка с венечной ямкой и ободка головки лучевой кости с лучевой ямкой ограничивает предельное сгибание. При 90° сгибания передний отдел МКС создает основное сопротивление как расхождению сустава, так и вальгусной нагрузке. Если вследствие перерастяжения МКС становится вялой, результатом будет медиальная нестабильность при сгибании локтя. Кроме того, увеличится несущий угол.

Основное сопротивление вальгусной нагрузке при сгибании локтя на 90° оказывают костные структуры сустава, ЛКС и суставная капсула — лишь незначительное. Участие передней части суставной капсулы в обеспечении варусной/вальгусной стабильности весьма невелико, как невелико и сопротивление, оказываемое ей при расхождении сустава.

Совместные сокращения сгибателей и разгибателей локтевого сустава, лучезапястного сустава и кисти помогают создать стабильность локтя при форсированных движениях запястья и пальцев, а также при действиях, когда руки используются для поддержания веса тела. При тяговых движениях, когда человек захватывает закрепленный стержень и пытается подтянуть его к телу, локтевые суставы сжимаются за счет сокращений мышц, пересекающих локтевой сустав и действующих на запястье и кисть.

### 4.2.3. ДЕЙСТВИЕ МЫШЦ

**Сгибатели.** Роль, которую играют при движении локтя три сгибателя, определяется многими факторами: расположением мышц, положением локтя и при-

мыкающих суставов, положением предплечья, величиной действующей нагрузки, типом мышечного сокращения и скоростью движения.

Плечевая мышца прикрепляется близко к оси сустава и, таким образом, считается мышцей стабильности. Плечевая мышца имеет значительный силовой потенциал (большую площадь физиологического поперечного сечения) и хорошую работоспособность (объем). Плечо момента (ПМ) плечевой мышцы является наибольшим при сгибании локтя чуть больше, чем на  $100^\circ$  и, таким образом, в этом положении наибольшей является ее способность к созданию крутящего момента. Плечевая мышца прикрепляется к локтевой кости и, соответственно, не подвержена изменениям положения предплечья вследствие ротации лучевой кости. Как односуставная мышца, плечевая мышца не зависит от положения плеча.

Исследования мышечной активности в локтевом суставе проводились с использованием ЭМГ. Эта методика применяется для мониторинга электрической активности, возникающей при разрядах в моторных единицах. При использовании ЭМГ можно определить относительную пропорцию моторных единиц, выдающих разряды в конкретной мышце при определенном мышечном сокращении. Согласно данным ЭМГ исследования при сгибании локтевого сустава плечевая мышца работает во всех положениях предплечья и, при отсутствии сопротивления, активна при всех типах сокращения (изометрическом, концентрическом и эксцентрическом), как при медленных, так и при быстрых движениях.

Двуглавая мышца плеча также считается мышцей подвижности, так как ее прикрепление находится близко к оси сустава.

Длинная головка бицепса имеет наибольший, из всех сгибателей, объем, однако мышца имеет относительно небольшую площадь поперечного сечения. ПМ бицепса является наибольшим между  $80$  и  $100^\circ$  локтевого сгибания, соответственно, бицепс может создавать наибольший крутящий момент именно в этом диапазоне. ПМ двуглавой мышцы плеча довольно невелико, когда локоть находится в полном разгибании, и основное усилие мышцы является поступательным (компрессия сустава). То есть при полном разгибании локтя бицепс менее эффективен как сгибатель локтевого сустава, чем в положении сгибания на  $90^\circ$ . Когда сгибание локтя превышает  $100^\circ$ , поступательный компонент мышечной силы пропадает, и сила бицепса действует уже на расхождение или смещение сустава.

Бицепс активен при сгибании локтя без сопротивления, с предплечьем в супинации или в положении между супинацией и пронацией; он выполняет концентрическое и эксцентрическое сокращение. При предплечье в состоянии пронации бицепс не активен. Если величина нагрузки значительно превышает вес конечности, бицепс активен при любых положениях предплечья. Поскольку обе головки бицепса пересекают два сустава, он может стать активно недостаточным при попытке выполнить полное сгибание локтя с полностью согнутым плечом, особенно если предплечье в супинации.

Плечелучевая мышца прикрепляется на расстоянии от оси сустава, и при мышечном сокращении основной компонент мышечной силы идет на компрессию суставных поверхностей, т.е. на стабильность. Как и бицепс, плечелучевая мышца имеет относительно небольшую площадь поперечного сечения. Пиковое значение ПМ наблюдается между 100 и 120° сгибания локтевого сустава. При эксцентрической деятельности сгибателей, когда движение выполняется медленно и предплечье в пронации, плечелучевая мышца не выказывает признаков электрической активности. Активация плечелучевой мышцы при концентрических сокращениях сильнее, особенно в диапазоне сгибания от 0 до 60°. Однако во время медленного концентрического сгибания локтевого сустава без сопротивления активности плечелучевой мышцы тоже не наблюдается. При увеличении скорости движения, если действует нагрузка и предплечье находится в положении между пронацией и супинацией или в полной пронации, плечелучевая мышца демонстрирует умеренную активность. Плечелучевая мышца не пересекает плечевой сустав и, соответственно, не зависит от позиции плеча.

Круглый пронатор, так же как длинная ладонная мышца, поверхностный сгибатель пальцев, лучевой сгибатель запястья и локтевой сгибатель запястья являются слабыми сгибателями локтевого сустава.

**Разгибатели.** Эффективность трехглавой мышцы плеча зависит от изменений положения локтя, но не от перемены позиций предплечья, поскольку трицепс прикрепляется к локтевой кости, но не к лучевой. Длинная головка трицепса пересекает два сустава, соответственно, активность длинной головки зависит от перемены позиции плеча. Длинная головка становится активно недостаточной, когда производится попытка полного разгибания в локтевом суставе при переразгибании плеча. В этом случае мышца укорачивается одновременно в плече и локте.

Медиальная и латеральная головки трицепса не находятся под влиянием положения плеча. Медиальная головка активна при активном разгибании локтевого сустава без сопротивления. При сильном сопротивлении разгибанию или при быстром разгибании с отталкиванием от опоры активны все три головки.

Максимальный изометрический крутящий момент, который может сгенерировать трицепс, соответствует локтевому сгибанию в 90°. Однако, общее количество крутящего момента разгибателя, созданного при угле в 90°, изменяется в зависимости от положения плеч и тела.

Трицепс эксцентрически активен и контролирует сгибание в локтевом суставе, когда тело опускается во время «отжиманий» в упоре лежа (рис. 4.10, *a*). Он же активен концентрически при разгибании локтя, когда действует в закрытой кинематической цепи, в частности, во время того же отжимания, но выталкивания тела вверх, от опоры (рис. 4.10, *b*).

Например, он действует как синергист — ограничитель для предотвращения сгибания локтя, когда бицепс действует как супинатор.

Другой разгибатель локтя, локтевая мышца, содействует разгибанию локтя и работает как стабилизатор при супинации и пронации.

Синергическое действие сгибателей и разгибателей локтевого сустава исследовали при изометрических сокращениях, вызванных различными нагрузками: отведением, приведением руки, согнутой в локте, сгибанием и разгибанием. Некоторые пары мышц, такие как плечевая/плечелучевая, локтевая/медиальная головка трицепса, активировались совместно, аналогичным образом, при всех вариантах нагрузки.

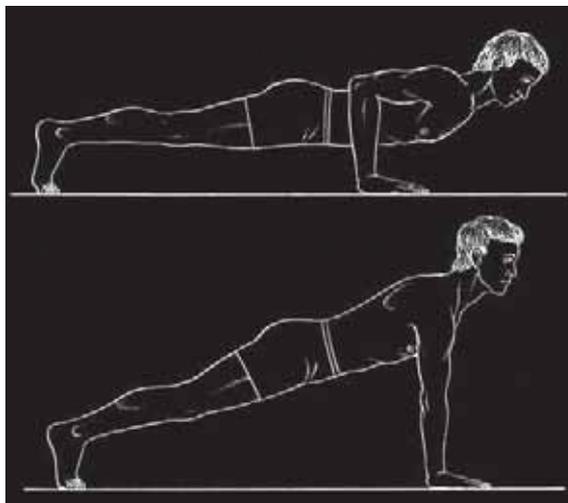
Однако синергические паттерны других мышц локтевого комплекса являются более сложными и изменяются в зависимости от направления стресса. Например, плечевая мышца и длинная головка бицепса при изометрическом сокращении синергично действуют только в диапазоне от 0 до 45° сгибания.

В дополнение к тому факту, что синергии зависят от направления и разнообразия стрессов, синергическая активность также находится под влиянием типа мышечного сокращения (изометрического, концентрического или эксцентрического).

Nakazawa с сотрудниками показали в ЭМГ исследованиях, что паттерны активации двуглавой мышцы плеча и плечелучевой мышцы при сгибании локтевого сустава с нагрузкой изменялись в зависимости от типа сокращения.

Синергическое действие мышц локтевого сустава и их связь с функциями локтя и запястья пока еще находятся в стадии изучения.

Dounskaja с сотрудниками в ЭМГ исследовании вращения педалей руками показали, что при такой деятельности возникает и эффективно работает иерархическая организация контроля координации движений локтя/запя-



**Рис. 4.10.** Действие трицепса при отжиманиях в упоре лежа: а — трехглавая мышца плеча работает эксцентрически и выполняет реверсивное действие по контролю локтевого сгибания во время фазы опускания тела; б — трицепс действует концентрически и выполняет реверсивное действие, вызывая разгибание локтевого сустава в фазе выталкивания вверх при отжиманиях

стья. Мышцы локтевого сустава отвечали за движение всей цепи, а мышцы запястья — за корректировку движений, необходимую для выполнения двигательной задачи.

## 4.3. СТРУКТУРА: ВЕРХНИЙ И НИЖНИЙ ЛУЧЕЛОКТЕВЫЕ СУСТАВЫ

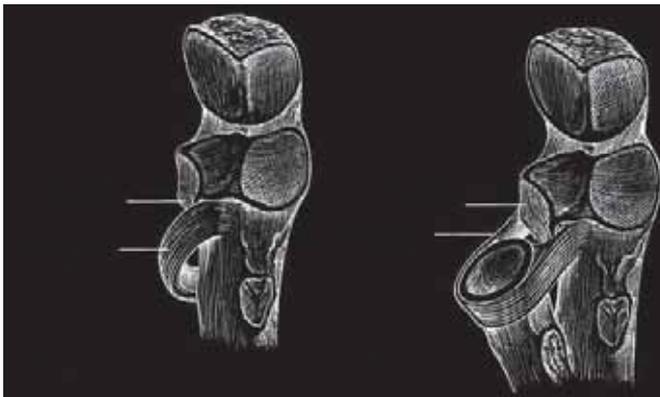
### 4.3.1. ВЕРХНИЙ ЛУЧЕЛОКТЕВОЙ СУСТАВ

Суставные поверхности проксимального лучелоктевого сустава включают в себя лучевую выемку, кольцевую связку, капитулум плечевой кости и головку лучевой кости. Лучевая выемка расположена на латеральной поверхности проксимального конца локтевой кости, непосредственно под блоковой выемкой (рис. 4.11, *a*). Поверхность лучевой выемки вогнутая и покрыта суставным хрящом. Круговая связка, называемая кольцевой связкой, прикрепляется к переднему и заднему краю выемки. Связка выстлана суставным хрящом, неразрывно связанным с хрящевой выстилкой лучевой выемки. Кольцевая связка окружает ободок головки лучевой кости, также покрытый суставным хрящом (рис. 4.11, *b*).

Механорецепторы распределены по связке равномерно. Капитулум и проксимальная поверхность головки лучевой кости являются частью локтевого сустава и уже обсуждались при его рассмотрении.

### 4.3.2. НИЖНИЙ ЛУЧЕЛОКТЕВОЙ СУСТАВ

Суставные поверхности дистального лучелоктевого сустава включают в себя локтевую выемку лучевой кости, суставной диск и головку локтевой кости (рис. 4.12).

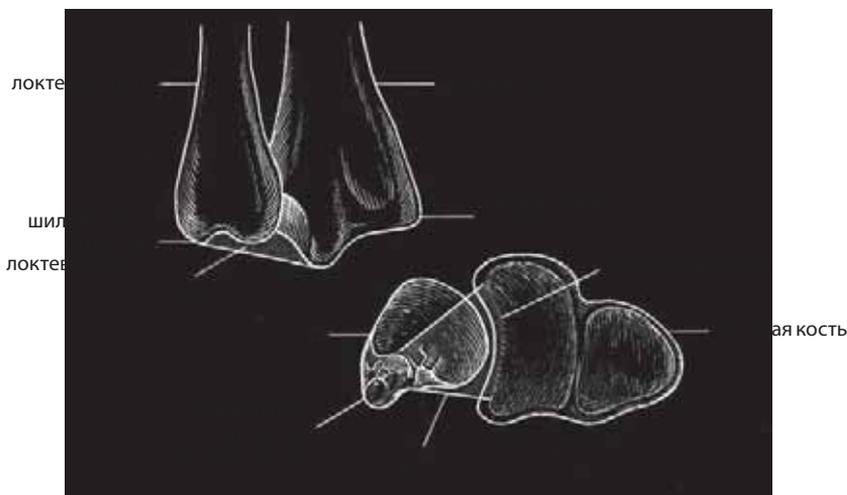


**Рис. 4.11.** Кольцевая связка: *a* — прикрепления кольцевой связки; *b* — головка лучевой кости оттянута, чтобы показать, как связка частично окружает ее

кости (рис. 4.12).

Локтевая выемка расположена на дистальном конце лучевой кости вдоль межкостной границы. Радиус кривизны вогнутой локтевой выемки на 4–7 мм больше, чем радиус кривизны головки локтевой кости.

Суставной диск иногда называют *тре-*



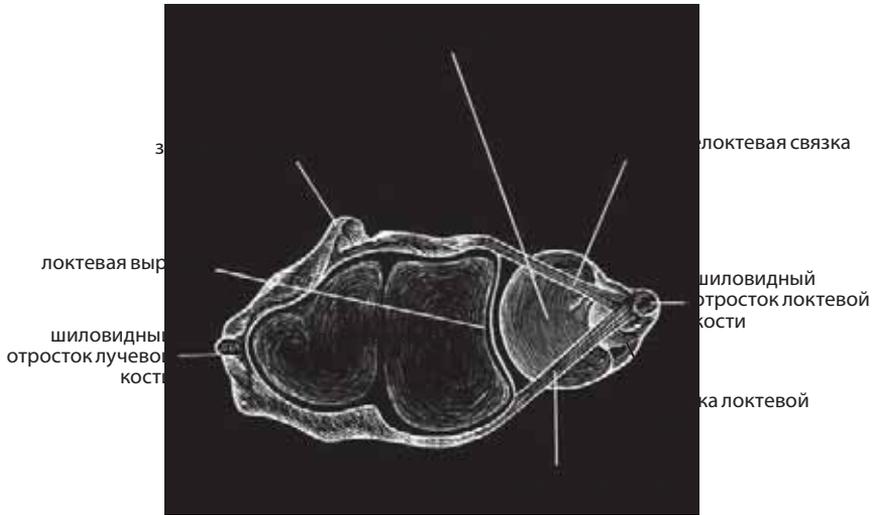
**Рис. 4.12.** Нижний лучелоктевой сустав левого предплечья: *a* — вид нижнего лучелоктевого сустава спереди показывает диск в нормальном положении при левом предплечье в положении супинации; *b* — вид диска снизу показывает, как диск покрывает нижнюю поверхность дистального конца локтевой кости и отделяет локтевую кость от сочленений в лучезапястном суставе

угольным волокнистым хрящом (ТВХ) по причине его треугольной формы, или частью треугольного волокнистого хрящевого комплекса (ТВХК), что связано с его экстенсивными фиброзными соединениями.

Диск напоминает полку, медиальная граница которой встроена в клин сосудистой соединительной ткани, содержащей тонкие связочные тяжи, соединяющие диск с локтевой костью и суставной капсулой. Основание суставного диска прикрепляется к дистальному краю локтевой выемки лучевой кости. Верхушка суставного диска имеет два прикрепления: одно прикрепление — это ямка головки локтевой кости, а другое — основание шиловидного отростка локтевой кости. Медиально диск неразрывно связан с волокнами локтевой коллатеральной связки, которая начинается от боков шиловидного отростка. Края суставного диска утолщены и либо образуются, либо являются составными частями дорсальной и ладонной капсульных лучелоктевых связок (рис. 4.13).

Связки плотно прикрепляются к лучевой кости, локтевые прикрепления несколько менее плотные.

Толщина дорсальных и ладонных краев верхушки диска примерно 3–6 мм. Они толще центральной его области, которая может быть всего 0,5–3 мм и часто тонка до прозрачности. Центральная область может быть перфорированной, причем число перфораций увеличивается с возрастом от 7% к третьему десятилетию до 53,1% у лиц 60 лет и старше.



*Рис. 4.13. Иллюстрация включает в себя дистальные аспекты левой лучевой и локтевой костей, суставной диск и суставные поверхности дистального лучелоктевого сустава. Суставной диск показан с лучелоктевыми связками, граничащими с краями диска*

Chidgey и его коллеги провели исследование на лучезапястных суставах 12 свежих трупов и обнаружили, что суставные диски имели высокое содержание коллагена с редкими, но равномерно распределенными вкраплениями волокон эластина. Эти же авторы нашли, что 80% центральной части суставного диска лишено сосудов, тогда как в периферической части зоны без сосудов составляют от 15 до 20%. Хорошая сосудистая сеть наблюдается в лучелоктевых связках.

Ohmori и Azuma обнаружили в локтевой стороне сосудистого диска свободные нервные окончания, которых было особенно много в периферической части. Авторы предполагают, что в свете их исследований суставной диск может быть источником болей в запястье.

Суставной диск имеет две суставные поверхности: проксимальную (верхнюю) и дистальную (нижнюю). Проксимальная поверхность диска сочленяется с головкой локтевой кости в дистальном лучелоктевом суставе, а дистальная поверхность — с костями запястья как частью лучезапястного сустава. Как проксимальная, так и дистальная поверхности диска вогнуты. Верхняя поверхность суставного диска углублена для аккомодации выпуклости головки локтевой кости; дистальная поверхность приспособлена для аккомодации костей запястья. Периферические части как локтевой, так и запястной поверхностей диска покрыты синовиальным хрящом, исходящим из соответствующих суставных капсул.

Головка локтевой кости выпукла и дистально покрыта суставным хрящом. Головка имеет две суставные поверхности, верхнюю (полюс) и нижнюю (сиденье), которые сочленяются с суставным диском и локтевой выемкой лучевой кости соответственно. Выпуклый полюс имеет форму латинской буквы U и обращен к диску. Вогнутое сиденье обращено к локтевой выемке лучевой кости.

### 4.3.3. ЛУЧЕЛОКТЕВОЕ СОЧЛЕНЕНИЕ

Проксимальный и дистальный лучелоктевые суставы механически связаны. Соответственно, движение в одном суставе всегда будет сопровождаться движением в другом суставе.

Дистальный лучелоктевой сустав также связан с запястьем в том плане, что компрессионные нагрузки передаются через него от кисти к лучевой и локтевой костям. Из компрессионной нагрузки на кисть 80% приходится на лучевую кость и 20% — на локтевую.

Пронация предплечья происходит в результате прохода лучевой кости над локтевой в верхнем лучелоктевом составе. При пронации и супинации ободок головки лучевой кости вращается внутри костно-связочного «конверта», образованного лучевой выемкой и кольцевой связкой. Одновременно поверхность головки вращается по капитулуму плечевой кости. В дистальном лучелоктевом суставе вогнутая поверхность локтевой выемки лучевой кости скользит вокруг



**Рис. 4.14.** Суставные поверхности и ладонные лучелоктевые связки дистального лучелоктевого сустава: *a* — головка локтевой кости показана в контакте с ладонной стороной локтевой выемки при полной супинации. Ладонная лучелоктевая связка натянута, дорсальная связка свободна; *b* — в нейтральном положении суставная поверхность головки локтевой кости имеет максимальный контакт с суставной поверхностью лучевой кости; *c* — при полной пронации головка локтевой кости находится в контакте только с дорсальной губой локтевой выемки. Дорсальная лучелоктевая связка натянута, ладонная связка расслаблена

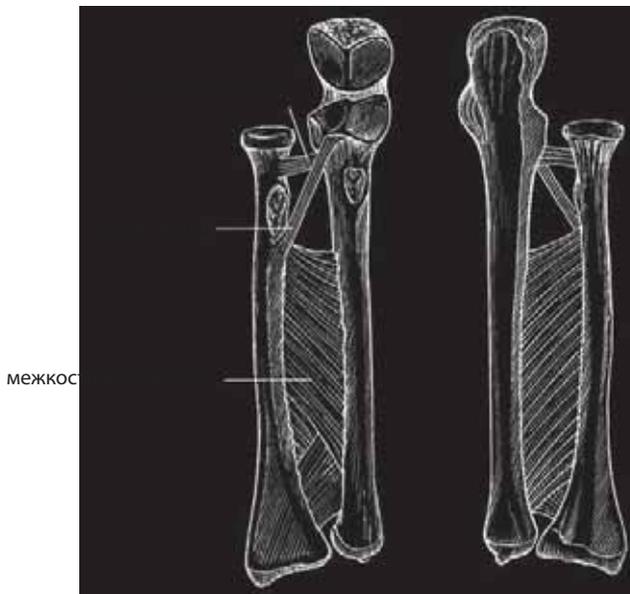
головки локтевой кости, а диск следует за лучевой костью, скручиваясь в вертушке и протягиваясь под головкой лучевой кости.

Контакт суставных поверхностей оптимален, если предплечье находится в нейтральном положении между супинацией и пронацией. При максимальной пронации и супинации контакт между суставными поверхностями минимален. При полной супинации сиденье головки локтевой кости остается на ладонной стороне локтевой выемки, тогда как при полной пронации оно остается на дорсальной губе локтевой выемки (рис. 4.14).

#### 4.3.4. СВЯЗКИ

С проксимальным лучелоктевым суставом ассоциированы три связки: кольцевая, квадратная и косая (тяж Вайтбрехта) (рис. 4.15).

Кольцевая связка представляет собой мощный тяж, образующий 4/5 кольца, которое опоясывает головку лучевой кости (см. рис. 4.11). Внутренняя повер-



**Рис. 4.15.** *Связочные структуры, создающие стабильность проксимального и дистального лучелоктевых суставов. Для того чтобы показать квадратную связку, головка лучевой кости слегка отделена от локтевой кости и удалена кольцевая связка: а — передняя поверхность лучевой и локтевой костей показана при супинации правого предплечья. Квадратная связка отходит от нижнего края лучевой выемки на локтевой кости и прикрепляется к шейке лучевой кости. Косая связка идет от лучевой выемки и прикрепляется непосредственно под двуглавым бугром; б — правые лучевая и локтевая кости в положении супинации, вид сзади. Между лучевой и локтевой костями, на значительной части их длины, находится межкостная связка*

ность связки покрыта хрящом и работает как суставная поверхность. Проксимальная граница кольцевой связки срастается с суставной капсулой, латеральная сторона усилена волокнами латеральной коллатеральной связки.

Квадратная связка идет от нижнего края лучевой выемки локтевой кости и вплетается в головку лучевой кости. Квадратная связка усиливает низ суставной капсулы и помогает удерживать головку лучевой кости в аппозиции к лучевой выемке. Квадратная связка также ограничивает вращение головки лучевой кости при пронации и супинации.

Косая связка представляет собой плоский фасциальный тяж на вентральной стороне предплечья, который идет от прикрепления, находящегося непосредственно под лучевой ямкой локтевой кости, и входит ниже плечевого бугра на лучевой кости. Волокна косой связки находятся под прямым углом к волокнам межкостной мембраны. Функциональное значение косой связки неясно, но она может способствовать предотвращению расхождения локтевой и лучевой костей.

Дорсальная и ладонная лучелоктевые связки, как и межкостная мембрана, стабилизирующая и проксимальный, и дистальный суставы, усиливают дистальный лучелоктевой сустав. Дорсальная и ладонная связки образованы продольно ориентированными пучками волокон коллагена, начинающимися от дорсальной и ладонной поверхностей локтевой выемки лучевой кости. Связки идут по краям суставного диска и входят в локтевую ямку и основание шиловидного отростка локтевой кости (см. рис. 4.14). Ладонная лучелоктевая связка, по меньшей мере, на 2 мм длиннее дорсальной связки.

По мнению Linscheid, средняя длина дорсальной лучелоктевой связки составляет 18 мм, а средняя длина ладонной связки — 22 мм.

Межкостная мембрана представляет собой широкий коллагеновый листок между локтевой и лучевой костями.

Однако Skahen с сотрудниками полагают, что межкостная мембрана — комплексная структура, состоящая из центрального тяжа и различного количества вспомогательных тяжей (от 1 до 5), проксимального межкостного тяжа и мембранозных отделов.

Волокна центрального тяжа идут дистально и медиально от лучевой к локтевой кости. Максимальное натяжение волокон центрального тяжа наблюдается при нейтральном положении предплечья (середина между пронацией и супинацией). Волокна центрального тяжа как при пронации, так и при супинации расслаблены. Межкостная мембрана обеспечивает стабильность как верхнего, так и нижнего лучелоктевого суставов. Находясь под напряжением, мембрана не только связывает суставы, но и обеспечивает передачу сил от кисти и дистального конца лучевой кости к локтевой кости.

От межкостной мембраны отходит тракт, который входит в дистальный лучелоктевой сустав между сухожильными оболочками разгибателя мизинца

и локтевого разгибателя запястья. Глубокие волокна тракта вплетаются непосредственно в суставной диск (треугольный волокнистый хрящ). Тракт межкостной мембраны натянут при пронации и расслаблен при супинации.

Суставной диск также обеспечивает стабильность нижнего лучелоктевого сустава, связывая вместе концы лучевой и локтевой костей.

Капсула дистального лучелоктевого сустава, являющаяся отдельным от суставного диска образованием, может быть источником ограничения движения, если после травмы запястья в нее проникла рубцовая ткань.

### **4.3.5. МЫШЦЫ**

Мышцы, ассоциированные с лучелоктевыми суставами: круглый пронатор, квадратный пронатор, двуглавая мышца плеча и мышца-супинатор.

Круглый пронатор имеет две головки, плечевую и локтевую. Плечевая головка идет от общего сухожилия сгибателя на медиальном надмыщелке плечевой кости. Меньшая локтевая головка отходит от медиальной части венечного отростка локтевой кости. Дистально мышца прикрепляется к латеральной поверхности лучевой кости в месте ее наибольшей выпуклости.

Квадратный пронатор расположен на дистальном конце предплечья. Он идет двумя головками (поверхностной и глубокой) от локтевой кости и пересекает спереди межкостную мембрану, прикрепляясь к лучевой кости. Волокна поверхностного пучка идут поперечно, прикрепляясь к лучевой кости, волокна глубокого пучка имеют косое направление.

Двуглавая мышца плеча уже рассматривалась.

Супинатор — короткая и широкая мышца, отходящая от латерального надмыщелка плечевой кости, лучевой коллатеральной связки, кольцевой связки и латеральной стороны локтевой кости. Мышца пересекает заднюю часть межкостной мембраны и прикрепляется к лучевой кости медиально и ниже плечевого бугра.

## **4.4. ФУНКЦИИ: ЛУЧЕЛОКТЕВЫЕ СУСТАВЫ**

### **4.4.1. ОСИ ДВИЖЕНИЯ**

Ось движения пронации и супинации является продольной и идет от центра головки лучевой кости к центру головки локтевой кости. При супинации лучевая и локтевая кости находятся параллельно друг другу, а при пронации лучевая кость перекрещивается над локтевой (рис. 4.16).

Как при пронации, так и при супинации движение локтевой кости весьма незначительно. Движением проксимального конца локтевой кости вообще пренебрегают. Движение дистального конца локтевой кости меньше, чем движение

лучевой кости и противоположно ее движению по направлению. Головка локтевой кости идет дистально и дорсально при пронации и проксимально и медиально при супинации. Таким образом, в дистальном лучелоктевом суставе головка локтевой кости скользит в локтевой выемке лучевой кости от дорсальной губы локтевой выемки в пронации к позиции ладонного положения локтевой выемки при полной супинации.

#### 4.4.2. АМПЛИТУДА ДВИЖЕНИЯ

Считается, что общая амплитуда движения лучелоктевых суставов равна  $150^\circ$ . АД пронации и супинации оценивается при согнутом на  $90^\circ$  локтевом суставе. Эта позиция стабилизирует плечевую кость таким образом, что ротацию в лучелоктевом суставе можно отличить от ротации в плечевом суставе.

При полностью разогнутом локтевом суставе активная пронация и супинация выполняются в сочетании с ротацией плечевого сустава. Ограничение пронации при разогнутом локтевом суставе может быть вызвано пассивным натяжением двуглавой мышцы плеча.

Пронация во всех положениях ограничена сближением лучевой и локтевой костей и натяжением дорсальной лучелоктевой связки вместе с натяжением задних волокон медиальной коллатеральной связки локтевого сустава.

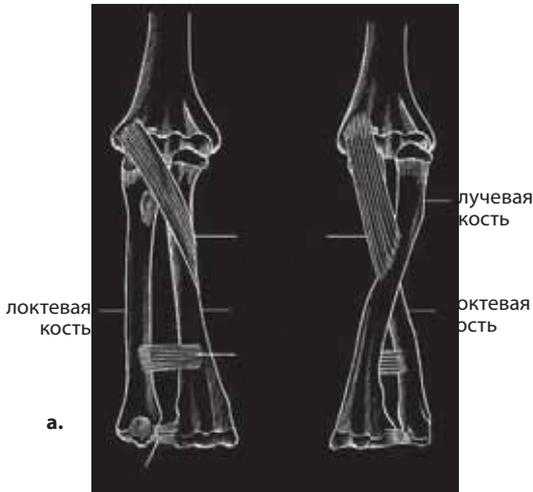
Супинация ограничена пассивным натяжением ладонной лучелоктевой связки и косой связки. Квадратная связка ограничивает вращение головки лучевой кости как при пронации, так и при супинации, а кольцевая связка помогает сохранять стабильность проксимального лучелоктевого сустава, удерживая лучевую кость в тесной близости к локтевой выемке.

#### 4.4.3. ДЕЙСТВИЕ МЫШЦ

Пронаторы создают пронацию, осуществляя тягу лучевой кости, которая заставляет ее стержень и дистальный конец поворачиваться над локтевой костью (рис. 4.17).



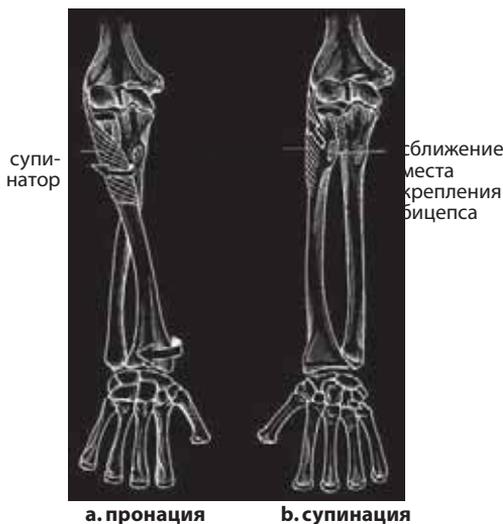
*Рис. 4.16. Супинация и пронация: а — лучевая и локтевая кости параллельны друг другу при супинации предплечья; б — в положении пронации лучевая кость перекрещивается над локтевой (показана левая верхняя конечность)*



**Рис. 4.17.** Пронация предплечья. Круглый пронатор и квадратный пронатор создают пронацию за счет тяги лучевой кости и ее движения над локтевой костью. На рисунке показано левое предплечье: *a* — в позиции супинации; *b* — в позиции пронации

проксимального лучелоктевого сустава. Поступательный компонент силы, создаваемой круглым пронатором, помогает сохранять контакт головки лучевой кости с капитулумом.

Квадратный пронатор, односуставная мышца, не зависит от изменений положения локтевого сустава. Квадратный пронатор активен при пронации без сопротивления и с сопротивлением, а также при медленной и быстрой пронации.



**Рис. 4.18.** Супинация правого предплечья: *a* — в положении пронации супинатор заворачивается вокруг проксимальной части лучевой кости. Сокращение супинатора, бицепса или обеих мышц тянет лучевую кость вверх локтевой; *b* — супинатор и место крепления бицепса показаны в позиции супинации

Круглый пронатор является двухсуставной мышцей, которая играет незначительную роль в сгибании локтевого сустава, несмотря на то что его действие на лучелоктевые суставы является основным. Как двухсуставная мышца, круглый пронатор может стать активно недостаточным, если пронацию по полной амплитуде пытаются выполнить одновременно с полным сгибанием локтевого сустава. Круглый пронатор направляет часть своей силы на стабилизацию

Глубокая головка квадратного пронатора также участвует в сохранении компрессии дистального лучелоктевого сустава.

Супинаторы, как и пронаторы, тянут стержень и дистальный конец лучевой кости поверх локтевой кости (рис. 4.18).

Супинатор действует один во время медленной супинации во всех положениях локтя или предплечья. Супинатор также может действовать одиночно во время быстрой супинации без сопротивления, если локоть разогнут.

Однако при выполнении супинации с сопротивлением или при быстрой супинации с локтевым суставом, согнутым на  $90^\circ$ , всегда заметна деятельность двуглавой мышцы плеча. Активность бицепса наиболее заметна при использовании отвертки, когда надо ввернуть шуруп в дерево.

Локтевая мышца активна при супинации и пронации. Для объяснения ее деятельности было выдвинуто мнение о ее роли в стабилизации локтевого сустава.

Сила сгибателей по сравнению с разгибателями при изометрическом тестировании этих групп мышц и сгибании локтевого сустава в  $90^\circ$  показывает, что сгибатели локтевого сустава сильнее разгибателей, а супинаторы сильнее пронаторов.

#### 4.4.4. СТАБИЛЬНОСТЬ

Мышечная поддержка дистального лучелоктевого сустава осуществляется круглым пронатором, квадратным пронатором и сухожилием локтевого разгибателя запястья.

По мнению Linscheid, локтевая головка круглого пронатора скрепляет локтевую кость с лучевой, тогда как при пронации головка плечевой кости отжимает локтевую кость.

Поверхностная головка квадратного пронатора является инициатором движения при пронации предплечья, глубокая его головка обеспечивает динамическую стабилизацию дистального лучелоктевого сустава.

Активность локтевого разгибателя запястья оказывает незначительное депрессивное усилие на дорсальную часть головки локтевой кости, когда при супинации сухожилие натянуто над головкой. Натяжение сухожилия помогает сохранять положение локтевой кости как при супинации, так и при пронации.

Дорсальная и ладонная лучелоктевая связки, межкостная мембрана и тракт, а также суставной диск обеспечивают связочную поддержку дистального лучелоктевого сустава. Дорсальная лучелоктевая связка натягивается при пронации, а ладонная связка — при супинации (см. рис. 4.14).

По мнению Schiend, лучелоктевые связки имеют ограниченные площади поперечного сечения и низкую структурную жесткость, но они способны предотвращать расхождение лучевой и локтевой костей при нагрузке и по-

зволяют передавать усилие от лучевой кости к локтевой через дистальный лучелоктевой сустав. Однако эти связки не дают прироста продольной стабильности. Они дают примерно 5 мм «игры» между локтевой и лучевой костями и только после этого начинают оказывать сопротивление дальнейшему их расхождению.

Лучелоктевые связки, суставной диск и квадратный пронатор удерживают локтевую кость в локтевой выемке и охраняют ее от подвывиха или вывиха. Эти же связки обеспечивают высокий уровень мобильности. Межкостная мембрана обеспечивает стабильность дистального сустава, скрепляя лучевую и локтевую кости.

Также, по мнению Skahen и сотрудников, межкостная мембрана в сочетании с треугольным волокнистым хрящевым комплексом обеспечивает важную продольную стабилизацию. Межкостная мембрана, кроме того, передает нагрузку от запястья на предплечье.

Markolf и сотрудники изучали распределение лучелоктевой нагрузки в запястье и локтевом суставе при положении локтя в варусе, вальгусе и нейтральной позиции. Когда локоть был в варусе (отсутствие контакта между головкой лучевой кости и капитулумом), усилие передавалось от дистального конца лучевой кости через межкостную мембрану к проксимальной части локтевой кости. При локтевом суставе в вальгусе (контакт между головкой лучевой кости и капитулумом) сила передавалась через лучевую кость. При нейтральном положении предплечья среднее усилие на дистальном конце локтевой кости составляло 7% от прикладываемой нагрузки, а на проксимальном конце — 93% от нагрузки, действующей на запястье.

Тракт, связанный с межкостной мембраной, натягивается при пронации и ослабевает при супинации. Во время пронации тракт защищает головку локтевой кости, действуя по типу стропы. Он также обеспечивает стабильность сустава, усиливая дорсальную часть суставной капсулы.

При передаче силы от костей запястья к локтевой кости суставной диск действует по типу подушки и выступает как стабилизатор локтевой стороны костей запястья. Также диск способствует передаче компрессионных сил от лучевой кости к локтевой.

Adams и сотрудники использовали силу растяжения для исследования связи между напряжениями в диске и позицией предплечья. Сила растяжения была предназначена для симуляции эффекта расхождения суставных поверхностей, которое сопровождает подъем тяжести. Авторы обнаружили, что распределение напряжения в диске зависело от положения предплечья. Во время движений предплечья постоянно наблюдались изменения конфигурации диска, в результате чего в диске возникало неоднородное напряжение. Напряжение во всем диске снижалось при супинации, но возрастало в лучевой части диска во время

Таблица 4.3

**Связочная и мышечная организация стабильности в проксимальном и дистальном лучелоктевых суставах**

Сустав	Связочная поддержка	Мышечная поддержка
Проксимальный лучелоктевой сустав	Кольцевая и квадратная связки Косая связка (ограничение супинации). Межкостная мембрана	Пассивное натяжение двуглавой мышцы плеча при полностью разогнутом локтевом суставе Круглый пронатор (помогает сохранять контакт головки лучевой кости и капитулума)
Дистальный лучелоктевой сустав	Межкостная мембрана. Дорсальная лучелоктевая связка (ограничивает пронацию). Ладонная лучелоктевая связка (ограничивает супинацию) Треугольный волокнистый хрящ Суставная капсула	Квадратный пронатор. Локтевая мышца. Локтевой разгибатель запястья. Круглый пронатор

пронации. В средней части движения пронации/супинации диск создает минимальное сопротивление движению предплечья, так как прикрепление суставного диска к головке локтевой кости находится рядом с осью вращения дистального лучелоктевого сустава. Авторы пришли к заключению, что суставной диск регулярно выдерживает как компрессионные напряжения, так и напряжения растяжения.

Согласно мнению Mikic, компрессионные силы передаются через центральную часть диска, а некоторая часть нагрузки конвертируется в нагрузку растяжения по периферии. Сводные данные по связочной и мышечной поддержке дистального лучелоктевого сустава представлены в табл. 4.3.

## 4.5. ПОДВИЖНОСТЬ И СТАБИЛЬНОСТЬ: ЛОКТЕВОЙ КОМПЛЕКС

### 4.5.1. ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ АКТИВНОСТЬ

Суставы и мышцы локтевого комплекса используются практически в любой повседневной деятельности: одевание, прием пищи, подъем и переноска грузов. Они также используются при колке дров, забивании гвоздей, игре в теннис. Большая часть такой деятельности требует комбинации движений в локтевом и лучелоктевых суставах.

Для выполнения простых задач, таких как еда, причесывание, чистка зубов, одевание, требуется не более 100° сгибания локтевого сустава и 100° супинации/пронации. Диапазон требуемого локтевого сгибания — от 30 до 130°. Для того чтобы рука нормально функционировала при повседневной активности, человеку обычно хватает 50° пронации и 55° супинации. Например, чтобы позвонить по телефону, достаточно около 40° пронации и 20°

супинации. То есть подвижность комплекса необходима для большинства видов деятельности.

Конструкция лучелоктевых суставов повышает подвижность кисти. У первобытного человека локтевая кость была основной структурой, на которую приходился вес тела, и была напрямую связана с костями запястья через плотный неподвижный синдесмоз.

Полное отделение локтевой кости от костей запястья суставным диском и образование истинного диартроидного сустава, высланного суставным хрящом, являются свойствами, которые позволяют выполнять пронацию и супинацию при любом положении кисти относительно предплечья. Пронация и супинация предплечья при согнутом на  $90^\circ$  локте позволяют повернуть кисть так, что ладонь смотрит либо вверх, либо вниз.

Подвижность кисти достигается за счет стабильности, поскольку подвижное предплечье не может обеспечить стабильной основы для прикрепления мышц запястья и кисти. Таким образом, многие мышцы, действующие на запястье и кисть, прикрепляются к дистальному концу плечевой кости, а не к предплечью.

Сгибатели запястья и пальцев включают в себя лучевой сгибатель, локтевой сгибатель запястья, длинную ладонную мышцу, поверхностный и глубокий сгибатели пальцев.

Начало всех этих мышц, за исключением глубокого сгибателя пальцев, находится на медиальном надмыщелке плечевой кости. Глубокий сгибатель пальцев берет начало от проксимальной части локтевой кости.

Разгибатели запястья и пальцев, начинающиеся в области латерального надмыщелка плечевой кости: длинный лучевой разгибатель запястья, короткий лучевой разгибатель запястья, локтевой разгибатель запястья и разгибатель пальцев.

#### **4.5.2. СВЯЗЬ С КИСТЬЮ И ЗАПЯСТЬЕМ**

Расположение мышц кисти и запястья в локтевом суставе и тот факт, что эти мышцы пересекают локтевой сустав, создает тесные и функциональные взаимоотношения между локтевым комплексом и комплексом запястье/кисть. Локтевой комплекс влияет на мышцы кисти и запястья и сам находится под их влиянием. Соответственно, эти мышцы следует рассматривать при любом обсуждении локтевого комплекса. Анатомически мышцы кисти и запястья помогают усиливать капсулу локтевого сустава и способствуют стабильности локтевого комплекса.

В исследовании на 11 образцах, взятых у трупов, Davidson с сотрудниками обнаружили, что плечевая головка локтевого сгибателя запястья является единственной мышцей, которая проходит непосредственно поверх передней части медиальной коллатеральной связки при сгибании локтя между  $90$  и  $120^\circ$ . По-

скольку медиальная часть локтевого сустава подвергается наибольшей вальгусной нагрузке во время фаз замаха и ускорения при бросках (между 80 и 120° локтевого сгибания), локтевой сгибатель запястья потенциально может значительно усиливать МКС во время бросков.

Во время мышечных сокращений мышцы запястья могут участвовать в создании крутящего момента мышц локтевого сустава, хоть основное их действие направлено на кисть и запястье. Однако мышцы могут играть более важную функциональную роль, создавая компрессию суставных поверхностей локтевого сустава.

Важность компрессии или стабилизации локтя описана в работе Amis с соавторами, исследовавших действие нагрузок растяжения на предплечье во время тяги. Авторы обнаружили, что как плечелучевое, так и плечелоктевое сочленение подвергаются при тяге компрессионным нагрузкам и что сильным нагрузкам подвергается МКС.

Andersson показал, что во время тяговых усилий сгибатели, при положении локтя в сгибании на 90°, развивают силу сгибания до 6000 N.

### **4.5.3. ВЗАИМОСВЯЗЬ С ГОЛОВОЙ, ШЕЕЙ И ПЛЕЧОМ**

Положение головы и шеи может влиять на создание крутящего момента сгибателем локтевого сустава у молодых здоровых взрослых людей. В клинических условиях были получены данные о том, что ограничения подвижности шеи и плеча также могут влиять на функции локтевого сустава.

Ограничения внутренней ротации плечевого сустава могут вынуждать пациента совершать избыточную пронацию предплечья при броске или замахе ракеткой. Недостаток наружной ротации плечевого сустава может заставить человека компенсировать потерю подвижности за счет супинации предплечья.

## **4.6. ЭФФЕКТЫ ИММОБИЛИЗАЦИИ И ТРАВМЫ**

Как и другие суставы тела, суставы и мышцы локтевого комплекса могут быть подвержены воздействию иммобилизации и травм.

Иммобилизация может вызывать уменьшение мышечной силы. Если сгибатели ослабевают больше, чем разгибатели, они могут оказаться неспособны противодействовать тяге разгибателей и локтевой сустав может прийти в состояние переразгибания. Также уменьшается участие сгибателей в компрессии сустава, соответственно, снижается его стабильность. Продолжительная иммобилизация локтя в сгибании на 90° приводит к адаптивному укорочению сгибателей локтя и удлинению разгибателей. Как следствие, ограничивается АД разгибания локтевого сустава.



**Рис. 4.19.** Падение на руку при локте в позиции плотной упаковки может повлечь за собой передачу усилий через кости предплечья к локтевому суставу: *a* — передача усилий от кисти к локтю может происходить либо через одну из костей предплечья, либо через обе кости одновременно; *b* — столкновение головки лучевой кости с капитулумом может привести к перелому шейки или головки лучевой кости, равно как и к двойному перелому. Перелом венечного или локтевого отростка (или обоих) может быть результатом усилий, переданных через локтевую кость

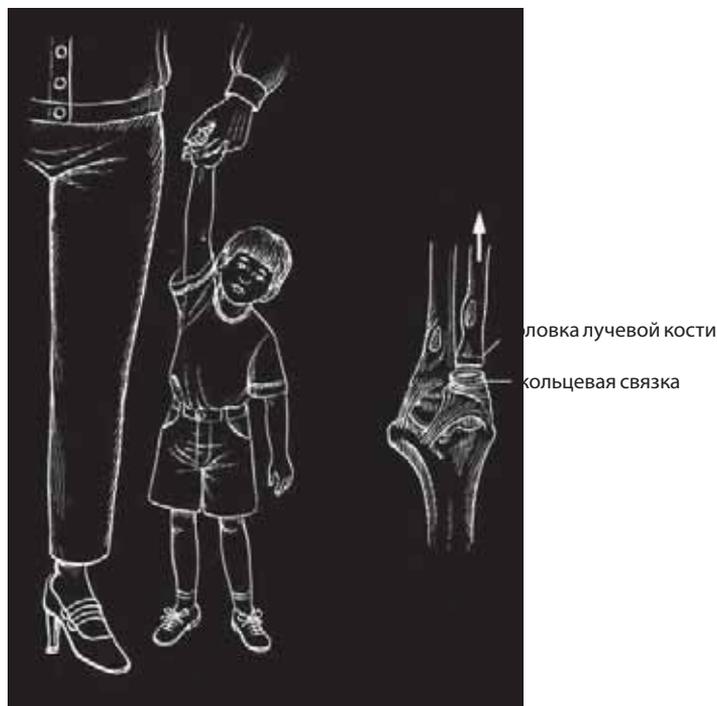
Травмы локтевого сустава весьма часты, и эти повреждения обычно нарушают его нормальное функционирование. Таким образом, знание механизмов этих травм и их отношений со структурами локтевого сустава необходимо для оценки влияния травмы на функции локтевого сустава.

#### 4.6.1. КОМПРЕССИОННАЯ ТРАВМА

Спротивление продольно действующим компрессионным силам в локте обеспечивается преимущественно за счет контакта костных компонентов; соответственно, избыточное компрессионное усилие, действующее на локоть, часто приводит к перелому костей.

Падение на руку, когда локоть находится в позиции плотной упаковки, может привести к передаче усилия через кости предплечья на локоть (рис. 4.19, *a*).

Если сила передается через лучевую кость, что часто происходит при сопутствующей вальгусной нагрузке, результатом может быть столкновение головки лучевой кости с капитулумом и перелом лучевой кости (рис. 4.19, *b*).



**Рис. 4.20.** «Нянечкин локоть»: *а* — тяга за руку вверх создает в локте усилия растяжения; *б* — головка лучевой кости выходит из кольцевой связки

Если усилие при падении передается на локтевую кость, может произойти перелом венечного или шиловидного отростка при ударе локтевой кости о плечевую (см. рис. 4.19, *б*).

Если усилие не поглощено переломом костей предплечья, оно может передаться плечевой кости и привести к перелому в надмышцелковой области.

#### 4.6.2. ТРАВМА РАСТЯЖЕНИЯ

Связки и мышцы создают сопротивление суставов локтевого комплекса продольному растяжению. Достаточно большая сила растяжения, действующая на лучевую кость, может вызывать выскакивание кости из кольцевой связки.

Этому типу травмы особенно подвержены маленькие дети, поскольку головка лучевой кости у них еще полостью не развита. Поднимание маленького ребенка в воздух за одну или обе руки или резкий рывок за руку ребенка являются основным причинным механизмом такой травмы, которая, именно в силу этих причин, называется «нянечкин локоть» (рис. 4.20).

Однако тянущее усилие редко вызывает проблемы, если ребенок ждет этого движения и предварительно сокращает компрессионные сгибатели локтевого



*Рис. 4.21. Растяжение медиальной коллатеральной связки при броске*

сустава. Если рывок неожиданный, то мышцы оказываются не готовы к соответствующей стабилизации.

### 4.6.3. ТРАВМА ВАРУСА/ВАЛЬГУСА

МКС, ЛКС, конфигурация сустава и суставная капсула создают сопротивление медиальным и латеральным нагрузкам на локтевой сустав. Если любая связка оказывается слишком растянутой, одна из сторон сустава будет подвержена аномальным нагрузкам растяжения, а другая сторона — аномальным компрессионным усилиям.

МКС подвергается нагрузкам растяжения при отведении руки назад и ее сгибании во время броска мяча (рис. 4.21).

Если стресс, действующий на МКС, имеет повторяющийся характер, например, как при бросках в бейсболе, связка может ослабеть и будет неспособна усиливать медиальную часть сустава.

В исследовании 40 нетравмированных профессиональных бейсболистов (питчеров) Ellenbacher с сотрудниками обнаружили повышенную вялость локтя бросковой руки игроков.

Возникшая медиальная нестабильность может создавать увеличение несущего угла и избыточную компрессию головки лучевой кости к капитулуму. Если аномальные компрессионные усилия, действующие на суставной хрящ, достаточно продолжительны, они могут вызвать нарушение кровоснабжения хряща и привести к асептическому некрозу. Повторные микротравмы, вызванные нагрузкой вальгуса, могут вызвать трещины эпифизарной площадки проксимальной части лучевой кости.

В ЯМР исследовании травм вследствие бросков в локтевых суставах 34 из 63 исследуемых был обнаружен полный износ МКС по всей толщине, и у 5 человек нашли подповерхностный износ. Кроме того, в локтевых суставах 14 пациентов были обнаружены свободные тела, а в 21 случае — обнаружены повреждения хрящей.

### 4.6.4. ПЕРЕГРУЗКА И ДРУГИЕ ПОВРЕЖДЕНИЯ

Современный интерес к бадминтону, софтболу, сквошу, настольному и большому теннису связан и с вероятностью травм локтевого сустава у спортсменов.

Использование ракетки значительно увеличивает длину рычага предплечья (плеча сопротивления) и подвергает структуры локтевого комплекса значительному стрессу.

Классический «теннисный локоть» (эпикондилит латерального надмыщелка) вызывается повторными сильными сокращениями разгибателей запястья, прежде всего, короткого лучевого разгибателя запястья.

Нагрузка растяжения, возникающая в начале короткого лучевого разгибателя запястья, может вызывать микроскопические разрывы, которые и приводят к воспалению латерального надмыщелка. Повторные нагрузки растяжения, действующие на неупругие сухожилия, могут приводить к микроскопическим разрывам в мышечно-сухожильном соединении, в результате чего возникает тендинит. Повторные микротравмы могут приводить к муцинозной дегенерации начала разгибателя и последующему разрыву сухожилия. Медиальные тендиниты или медиальные эпикондилиты могут вызываться повторными сильными сокращениями круглого пронатора, лучевого сгибателя запястья и, в ряде случаев, локтевого сгибателя запястья. Эти мышцы участвуют в теннисной подаче, когда происходят сочетанное разгибание локтевого сустава, пронация и сгибание кисти.

Анализ высокоскоростной видеосъемки показывает, что при подаче локоть идет от 116 до 20° сгибания. Удар по мячу происходит при сгибании, в среднем, на 35°. Пронация предплечья при этом составляет около 70°. Один из методов лечения «теннисного локтя» — использование эластичного бинта или манжеты, накладываемой на проксимальную часть предплечья. Теоретически такая повязка должна уменьшать потенциальное усилие, создаваемое мышцами предплечья, за счет помехи расширению мышцы при ее сокращении.

В некоторых фазах броска мяча в бейсболе мышечные сокращения также могут создавать мощные компрессионные усилия, действующие на локтевой сустав. Например, в фазах ускорения и замедления при броске компрессионные силы в локте могут достигать 90% от веса тела. ЭМГ показывает, что трицепс, локтевая мышца, сгибатели запястья и пронаторы, так же как и бицепс, полностью активны и пытаются помешать расхождению локтевого сустава при броске. Активность тех же мышц во время максимальной вальгусной нагрузки может содействовать медиальной коллатеральной связке в стабилизации локтя. Однако растягивание МКС, приводящее к растяжению связок, медиальному эпикондилиту и растяжению сгибателей/пронаторов, является общей причиной травм у спортсменов регби. Аналогичные явления наблюдаются у пловцов, игроков в гольф, теннисистов.

В исследовании питчеров в софтболе Varrentine с сотрудниками обнаружили, что компрессионные усилия, требуемые для сопротивления расхождению локтевого сустава, равнялись 67–79% от расчетных усилий, требуемых для выполнения сильного броска.



**Рис. 4.22.** Расположение локтевого нерва при прохождении его через локтевой канал. Сокращение локтевого сгибателя запястья может вызывать сжатие локтевого нерва между двумя головками мышцы, которые в локтевом суставе располагаются по сторонам от него

Если ухудшена функция локтевого сустава, ухудшается и функционирование кисти. Например, если локоть не сгибается, кисть не может поднести ко рту пищу. Тот факт, что многие важные сосудистые и нервные структуры, питающие кисть, тесно связаны с локтевым суставом, делает весьма важной проблему защиты локтя от травм и профилактики сустава от избыточного стресса.

Надмыщелковые переломы плечевой кости, весьма распространенные у людей с незрелым скелетом, могут повредить лучевой либо медианный нерв или плечевую артерию. Если лучевой нерв поврежден на уровне надмыщелка, это повлияет на разгибатели кисти, супинатор, разгибатели большого пальца и пальцев кисти. При повреждении медианного нерва на уровне локтя затронутыми окажутся пронаторы, лучевой сгибатель запястья, сгибатели пальцев, мышцы возвышения большого пальца и червеобразные мышцы.

В следующей главе читатель познакомится со специфическими функциями мышц кисти и сможет лучше оценить значение повреждений некоторых из них.

Другими травмами локтевого комплекса, которые могут происходить вследствие мышечного сокращения, являются: сжатие нерва, перелом кости или вывих сустава.

Повторные мощные сокращения локтевого сгибателя запястья могут сдавливать локтевой нерв, поскольку он проходит через локтевой туннель между медиальным надмыщелком плечевой кости и локтевым отростком локтевой кости (рис. 4.22).

Соответствующая травма, называемая *синдромом локтевого туннеля*, вызывает ухудшение подвижности большого, безымянного пальцев и мизинца. Внезапные сильные сокращения двуглавой мышцы плеча при супинации предплечья и сгибании локтя под прямым углом могут вызвать разрыв сухожилия бицепса, перелом либо подвывих лучевой кости.

Взаимосвязь между локтевым комплексом и комплексом запястья/кисти делает нормальное функционирование локтевого сустава жизненно важным.

---

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В главе были представлены некоторые из существующих взаимосвязей между структурой и функцией локтя, плеча, запястья и кисти. Мышцы, которые действуют, прежде всего, на кисть и запястье, пересекают также локтевой сустав и способствуют его стабильности и функции, а стабильность и АД плечевого сустава помогают расширить функции запястья и кисти.

Компенсации в локтевом комплексе часто оказываются необходимыми, когда АД плеча или кисти ограничена.

Новые взаимосвязи суставов и мышц верхней конечности будут представлены при подробном рассмотрении запястья и кисти в следующей главе.

## ГЛАВА 5

# КОМПЛЕКСЫ ЗАПЯСТЬЯ И КИСТИ

Кисть человека, как предмет интереса, превосходит остальные части тела, за исключением разве что мозга. Человеческая кисть характеризовалась как символ могущества, как продолжение интеллекта и как вместилище воли.

Символическую связь ума и кисти социологи характеризуют следующим примером: мозг отвечает за проект цивилизации, а кисть — за ее формирование. Кисть не может работать без мозгового контроля, так же как скрытый от взоров мозг нуждается в ней, как в основном средстве выражения.

Вся верхняя конечность, по сути, занимается обслуживанием кисти. Любая потеря функции верхней конечности, независимо от сегмента, в конечном итоге сказывается на снижении функции наиболее дистальных ее суставов. Именно важность такого потенциального ущерба стимулировала подробное изучение тонко сбалансированных, сложных структур нормальной верхней конечности и кисти.

### 5.1. КОМПЛЕКС ЗАПЯСТЬЯ

Запястье состоит из двух составных частей: лучезапястного и среднезапястного суставов, которые вместе называются *комплексом запястья*.

Каждый проксимальный (относительно комплекса запястья) сустав предназначен для расширения положений кисти в пространстве и увеличения степеней ее свободы. Плечо служит как динамическая база опоры, локоть позволяет кисти приближаться или удаляться от тела, предплечье занято подстройкой приближения кисти к объекту.

Запястье, в отличие от более проксимальных суставов, помогает организации расположения кисти в пространстве в очень малой степени. Основным участием комплекса запястья является контроль отношений «сокращения-растяжения» в многосуставных мышцах кисти и тонкая настройка хвата.

Мышцы запястья предназначаются скорее для баланса и контроля, чем для создания максимальных крутящих моментов. Настройки длины–напряжения внешних мышц кисти, которые происходят в запястье, нельзя заменить компенсаторными движениями плеча, локтя или предплечья.

Запястье считается самым сложным суставом тела как с анатомической, так и с физиологической точки зрения. Сложность и вариабельность межсуставных и внутрисуставных отношений в комплексе запястья таково, что при повышенном внимании к нему согласие многих авторов достигнуто лишь по нескольким пунктам. Один из таких пунктов состоит в том, что структура и биомеханика запястья, как и кисти, имеет сильнейшие индивидуальные отличия, и даже очень тонкие структурные колебания могут приводить к существенным различиям функции.

Таким образом, целью данной главы в меньшей степени является подробное рассмотрение того, что, собственно, представляет собой «норма», но, в большей степени, — описание комплекса запястья (и кисти), дающее четкое представление об общем строении, и создание концептуальной базы, в пределах которой будет понятна функция в норме и при патологии.

Комплекс запястья в целом считается двухосным, движения — сгибание/разгибание (ладонное сгибание/тыльное сгибание) вокруг венечной оси и лучевое отклонение/локтевое отклонение (отведение/приведение) вокруг передне-задней оси. Имеется еще небольшая пронация/супинация, особенно в лучезапястном суставе.

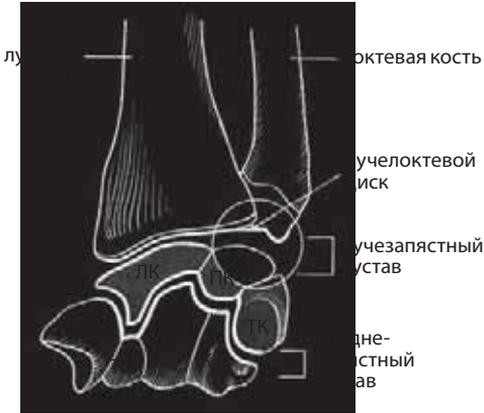
Амплитуды движений (АД) всего комплекса вариабельны и отражают различия запястной кинематики, вызванные такими факторами, как связочная слабость, форма суставных поверхностей и ограничительное действие мышц. Нормальными амплитудами считаются: от 78 до 85° сгибания, от 60 до 85° разгибания, от 15 до 21° лучевого отклонения и от 38 до 45° локтевого отклонения. Амплитуды зависят от степени участия составных частей — лучезапястного и среднезапястного суставов.

Gilford с сотрудниками предположили, что двухсуставная система комплекса запястья сравнительно с односуставной:

- 1) позволяет выполнять движения с большей амплитудой, с меньшей нагрузкой на суставные поверхности и меньшим натяжением капсул;
- 2) меньше подвержена структурным защемлениям в конечных точках амплитуды;
- 3) позволяет иметь более плоские суставные поверхности, которые лучше приспособлены к переносу давлений.

### **5.1.1. СТРУКТУРНЫЕ КОМПОНЕНТЫ КОМПЛЕКСА ЗАПЯСТЬЯ**

**Строение лучезапястного сустава.** Лучезапястный сустав образован лучевой костью и лучелоктевым диском (как частью треугольного волокнисто-хрящевого



**Рис. 5.1.** Комплекс запястья. Лучезапястный сустав состоит из лучевой кости и лучелоктевого диска, сочленяющихся с ладьевидной костью (ЛК), полулунной костью (ПК) и трехгранной костью (ТК). Среднезапястный сустав состоит из ладьевидной кости, полулунной кости и трехгранной кости, которые сочленяются с костью-трапецией (КТ), трапецевидной костью (ТнК), головчатой костью (ГК) и крючковидной костью (КК)

Ладьевидная кость и латеральная фасетка лучевой кости дают более половины всего контакта поверхностей лучезапястного сустава, тогда как ТВХК дает всего около 10%.

ТВХК состоит из лучелоктевого диска, клина из соединительной ткани и различных волокнистых прикреплений (см. рис. 5.2).

Структурные компоненты ТВХК трудно отличить друг от друга.

Mohiuddin и Janjua, и Benjamin с коллегами вместе с тем приводят описания, которые представляют собой разумный консенсус. Суставной диск является фиброзным продолжением суставного хряща дистального конца лучевой кости. Диск медиально соединяется через две плотные пластинки из волокнистой соединительной ткани. Верхняя пластинка прикрепляется к головке локтевой кости и локтевому шиловидному отростку, нижняя пластинка имеет соединения с оболочкой локтевого разгибателя запястья и с трехгранной, крючковидной костями и основанием пятой пястной кости, при помощи волокон, идущих от локтевой коллатеральной связки.

Так называемый *менисковый гомолог* — это область нерегулярной соединительной ткани, которая находится внутри нижней пластинки и является ее составной

комплекса, ТВХК) в проксимальной части, и ладьевидной костью, полулунной костью и трехгранной костью в дистальной части (рис. 5.1).

Проксимальная поверхность лучезапястного сустава имеет единый непрерывный двояковогнутый изгиб, который является длинным и неглубоким от одного бока к другому (фронтальная плоскость), но короче и более четко выражен в переднезадней (сагиттальной) плоскости.

Проксимальная суставная поверхность состоит из латеральной лучевой фасетки, сочленяющейся с ладьевидной костью, медиальной лучевой фасетки, которая сочленяется с полулунной костью, и ТВХК, который сочленяется преимущественно с трехгранной костью, хотя, при нейтральном положении запястья, осуществляет некоторый контакт с полулунной костью (рис. 5.2).

частью. Медиальные соединительнотканые структуры могут облегчать АД, поскольку сжимаемость соединительной ткани выше, чем хряща.

В целом ТВХК следует функционально рассматривать как продолжение дистального конца лучевой кости, как и в случае с дистальным лучелоктевым суставом: фактически участие локтевой кости в лучезапястном суставе ограничивается несколькими местами прикреплений ТВХК.

В целом суставная проксимальная поверхность лучезапястного сустава является косою, направленной под небольшим углом в сторону ладони и локтевой кости. Угловое отклонение связано, прежде всего, с суставными краями лучевой кости, которые продолжают дальше, по дорсальной и лучевой сторонам кости.

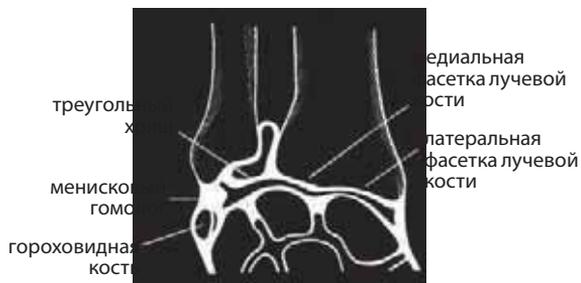
Ладьевидная, полулунная и трехгранная кости составляют *проксимальный запястный ряд*.

Проксимальный запястный ряд является дистальной поверхностью лучезапястного сустава. Эти кости соединены многочисленными межкостными связками, которые, как и сами кости запястья, проксимально покрыты хрящом. Проксимальный запястный ряд и связки вместе образуют единую двояковыпуклую суставную поверхность, которая, в отличие от ригидного сегмента, может немного изменять форму и приспособливаться к требованиям пространства между предплечьем и кистью.

Гороховидная кость, анатомически являющаяся частью проксимального ряда, в лучезапястном сочленении не участвует. Функции гороховидной кости, как и сезамовидной кости, состоят предположительно в увеличении плеча момента (ПМ) локтевого сгибателя запястья, который к ней прикрепляется.

Изгиб дистальной поверхности лучезапястного сустава более выражен в обоих направлениях, чем изгиб проксимальной поверхности, что делает сустав несколько неконгруэнтным.

Концепция суставной неконгруэнтности поддерживается данными, свидетельствующими, что весь контакт между проксимальной и дистальной поверхностями лучезапястного сустава обычно захватывает всего около 20% всей суставной поверхности и ни при каких обстоятельствах не превышает 40%. Неконгруэнтность сустава и угловое отклонение проксимальной суставной поверхности дают



**Рис. 5.2.** Проксимальная поверхность лучезапястного сустава образована медиальной и латеральной фасетками дистального конца лучевой кости и треугольным волокнистым хрящом или лучелоктевым диском. Лучелоктевой диск и менисковый гомолог вместе являются частью треугольного волокнисто-хрящевого комплекса

в результате большую амплитуду сгибания, чем разгибания, и большее локтевое, чем лучевое отклонение в лучезапястном суставе. Общая амплитуда сгибания/разгибания больше, чем общая амплитуда лучевого/локтевого отклонения.

За счет неконгруэнтности и слабости связок может происходить до 45° комбинированной пассивной пронации/супинации в лучезапястном и среднезапястном суставах вместе, хотя это движение редко рассматривается как дополнительная степень свободы комплекса запястья.

Лучезапястный сустав заключен в прочную, но довольно свободную капсулу и усилен капсульными и внутрикапсульными связками. Большинство связок, пересекающих лучезапястный сустав, также способствуют стабильности среднезапястного сустава, поэтому будут представлены вместе, после описания среднезапястного сустава.

Аналогичным образом мышцы лучезапястного сустава действуют и в среднезапястном суставе. По сути, лучезапястный сустав не пересекает ни одна мышца, которая действовала бы на него в одиночку.

Единственная мышца, которая пересекает лучезапястный сустав и прикрепляется к костям проксимального запястного ряда, это локтевой сгибатель запястья (ЛКСЗ). Хотя сухожилие ЛКСЗ заканчивается на гороховидной кости, эта кость свободно соединена с трехгранной костью снизу. Соответственно, силы, действующие на гороховидную кость со стороны ЛКСЗ, передаются не на трехгранную кость, а на крючковидную кость и пятую пястную кость — через связки гороховидной кости.

Движения, происходящие в лучезапястном суставе, являются результатом сил, действующих со стороны многочисленных пассивных связочных структур и мышц, прикрепляющихся к дистальному запястному ряду и пястным костям. Соответственно, движения лучезапястного и среднезапястного суставов следует изучать совместно.

**Строение среднезапястного сустава.** Среднезапястный сустав — это сочленение между ладьевидной, полулунной и трехгранной костями (проксимально) и дистальным запястным рядом, состоящим из кости-трапеции, трапециевидной кости, головчатой и крючковидной костей (см. рис. 5.1).

Среднезапястный сустав является в большей степени функциональным, чем анатомическим образованием. Он не образует единой непрерывной суставной поверхности и не имеет собственной капсулы, как лучезапястный сустав. Однако анатомически он отделен от лучезапястного сустава, имеет капсулу и синовиальное покрытие, которые неразрывно связаны с каждым из межзапястных сочленений и могут быть также неразрывно связаны с некоторыми пястно-запястными суставами (рис. 5.3).

Поверхности среднезапястного сустава сложные, с общей реципрокной выпукло-вогнутой конфигурацией. Сложность поверхностей и связочных соеди-

нений упрощает его движения.

Функционально запястные кости дистального ряда (и прикрепляющиеся к ним пястные кости) движутся почти как один целостный блок. Наиболее сильно скреплены головчатая и крючковидная кости, их движение относительно друг друга почти не наблюдается.

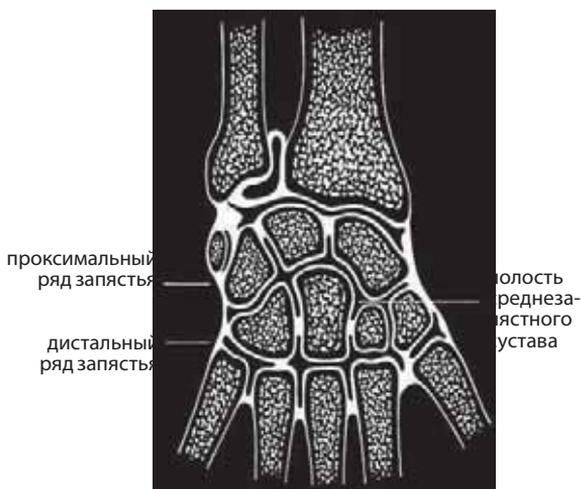
Результатом объединения дистальных костей запястья является почти равномерное распределение нагрузки по следующим сочленениям: ладьевидная кость/кость-трапеция/трапециевидная кость, ладьевидная кость/головчатая кость, полулунная кость/головчатая кость, и трехгранная кость/крючковидная кость. Вместе кости дистального запястного ряда дают комплексу запястья две степени свободы с различными лучевыми/локтевыми отклонениями и сгибанием/разгибанием.

Экскурсии, разрешенные суставными поверхностями среднезапястного сустава, обычно благоприятствуют разгибанию (в сравнении со сгибанием) и лучевому отклонению (в сравнении с отклонением локтевым), т.е. наблюдаемая картина противоположна лучезапястному суставу.

Функциональное объединение дистальных запястных костей друг с другом и с прилегающими к ним пястными костями не только служит подвижности комплекса запястья, но является основой поперечной и продольной дуг кисти.

**Связки комплекса запястья.** Индивидуальные различия структуры запястья более всего открываются во время изучения связок. У разных исследователей мы встречаем заметные различия в названиях, анатомических описаниях и приписываемых функциях.

Мы будем идентифицировать те связки, по которым существует консенсус в отношении их наличия и функций. Согласие существует и в том, что связочная структура запястья отвечает не только за стабильность суставов, но также за скольжение и остановку движения между костями запястья.



*Рис. 5.3. Среднезапястный сустав образован сочленением костей проксимального и дистального запястных рядов и анатомически отделен от лучезапястного сустава межкостными связками*

Изучая структуру комплекса запястья, мы видим, что вариабельность связок может, наравне с другими факторами, быть причиной значительных индивидуальных различий подвижности суставов.

Связки комплекса запястья могут быть внешними и собственными, внутренними.

К внешним связкам относятся такие, которые проксимально соединяют кости запястья с лучевой или локтевой костью, а дистально — с пястными костями.

Собственные связки — это те, которые соединяют собственно кости запястья. Они известны также как межзапястные или межкостные связки.

Nowalk и Logan обнаружили, что собственные связки сильнее и менее жесткие, чем внешние связки. Они пришли к выводу, что собственные связки находятся внутри синовиальной выстилки и могут получать лучшее питание от синовиальной жидкости, чем внешние связки, которые питаются от смежных с ними, богатых сосудами тканей.

Таким образом, нарушения во внешних связках более вероятны, но они имеют лучший потенциал выздоровления и помогают в защите более медленно выздоравливающих внутренних связок, принимая усилия первыми.

**Ладонные запястные связки.** На ладонной поверхности запястного комплекса имеются многочисленные собственные и внешние связки, которые, в зависимости от того, кто их исследовал, могут быть по-разному описаны и носить составные или отдельные наименования.

Составная связка, известная как ладонная лучезапястная связка, наиболее часто описывается как состоящая из трех отдельных тяжей: луче-ладьевидного, луче-трехгранного и луче-головчатого (рис. 5.4, *b*).

Nowalk и Logan считают луче-головчатый тяж внешней связкой, а Blevens с коллегами рассматривают его как часть «ладонных внутрикапсульных лучезапястных связок».

Составная локтезапястная связка идет от ТВХК и имеет тяжи, прикрепляющиеся к полулунной (локте-полулунный тяж) и к головчатой костям, либо напрямую (локте-головчатый тяж), либо опосредованно (через локте-трехгранную и головчато-трехгранную связки) (см. рис. 5.4, *b*).

Слабые лучевая и локтевая коллатеральные связки также описывались как часть связочного комплекса. Однако в недавнее время возникло предположение, что локтевая коллатеральная связка является на самом деле частью слабо определяемых тканей ТВХК, тогда как лучевую коллатеральную связку можно рассматривать как продолжение ладонной лучезапястной связки и капсулы.

Две собственные ладонные связки заслуживают отдельного внимания и признания их важности для функции запястья.

Первой из них является ладьевидно-полулунная межкостная связка, которую, хоть и не всегда, но наиболее часто считают ключевой в сохранении



**Рис. 5.4.** *a* — дорсальные связки комплекса запястья; *b* — ладонные связки комплекса запястья, включающие ладонную лучезапястную связку (луче-головчатый, луче-треугольный и луче-ладьевидный тяжи) и локтезапястную связку (локте-полулунный, локте-треугольный и головчато-треугольный тяжи)

стабильности ладьевидной кости и, соответственно, стабильности большей части запястья. Повреждение этой связки, как мы увидим при рассмотрении патологий запястья, способствует возникновению нестабильности ладьевидной кости и является одной из наиболее часто встречающихся проблем с запястьем. Как внутренняя связка, она лишена сосудов и, таким образом, более подвержена дегенеративным изменениям и хуже поддается хирургическому лечению.

Второй основной собственной связкой является полулунно-треугольная межкостная связка. Она сохраняет стабильность между полулунной и треугольной костями. Травма этой связки вызывает нестабильность полулунной кости, что считается второй по значимости патологической проблемой.

**Дорсальные запястные связки.** Основной связкой на тыльной стороне является дорсальная лучезапястная связка (рис. 5.4, *a*). Эта связка, как и ладонная лучезапястная, может иметь разные описания, но никто не сомневается в ее диагональной ориентации. По сути, связка сходится на треугольной кости, исходя от дистального конца лучевой кости. По пути она может давать прикрепления к полулунной кости и полулунно-треугольной межкостной связке.

García-Elias с коллегами считают, что диагональное направление ладонной и дорсальной лучезапястных связок помогает компенсировать скольжение проксимального «запястного мышцелка» отклоненной лучевой кости.

Вторая дорсальная связка — это дорсальная межзапястная связка, которая идет по горизонтали от трехгранной кости к полулунной, ладьевидной и трапецевидной костям. Вместе две дорсальные связки образуют горизонталь, которая способствует стабильности лучезапястного сустава.

### 5.1.2. ФУНКЦИИ КОМПЛЕКСА ЗАПЯСТЬЯ

Движения в лучезапястном и среднезапястном суставах вызываются уникальной комбинацией активных мышечных и пассивных связочных сил, а также сил реакции суставов.

Хотя в проксимальном запястном ряду действуют многочисленные пассивные силы, никакие мышечные усилия непосредственно на его суставные кости не влияют. При этом надо учитывать, что локтевой сгибатель запястья воздействует на более удаленные кости через гороховидную кость.

Проксимальные кости запястья, таким образом, представляют собой эффективное механическое звено между лучевой костью, дистальным запястным рядом и пястными костями, на которые на самом деле и оказывается мышечное воздействие.

Gilford и др. высказали мнение, что проксимальный запястный ряд является вставочным, относительно свободным от прикреплений средним сегментом трехзвенной цепи. Когда компрессионные силы действуют через вставочный сегмент, средний сегмент деформируется и движется в противоположном направлении от сегментов снизу и сверху.

Например, действие компрессионных мышечных сил разгибателя через двухсуставной комплекс запястья может вызывать деформацию и сгибание нестабильного проксимального запястного ряда, а дистальный запястный ряд при этом идет в разгибание.

Вставочный сегмент требует наличия некоторого стабилизирующего механизма для нормализации комбинированных среднезапястных/лучезапястных движений и предотвращения деформации среднего сегмента (проксимального запястного ряда). Представляется, что участниками такого стабилизирующего механизма являются ладьевидная кость и ее функциональные и анатомические соединения, как с соседней полулунной костью, так и с дистальным запястным рядом.

Garcia-Elias с коллегами поддерживают гипотезу, заключающуюся в том, что стабильность проксимального запястного ряда зависит от взаимодействия двух противоположных тенденций при осевой нагрузке на кости запястья (компрессия через нейтральное запястье): ладьевидная кость стремится к сгибанию, тогда как полулунная и трехгранная кости — к разгибанию.

Эти контрротации в пределах проксимального ряда предотвращаются связочными структурами (в том числе основными ладьевидно-полулунной межкостной связкой и полулунно-трехгранной межкостной связкой).

Связь ладьевидной кости с полулунной и трехгранной костями, по мнению Garcia-Elias, вызывает «синхронный коллапс» проксимального ряда в сгибание и пронацию, при этом дистальные кости запястья идут в разгибание и супинацию.

Авторы предполагают, что контрротация между рядами и возникающее в результате натяжение связок увеличивает взаимную совместимость поверхностей среднезапястного сустава и повышает стабильность.

Хотя механизм стабильности, предложенный Garcia-Elias, представляется концептуальной основой, данные других исследователей существенно отличаются в деталях, если не в самой сути.

Технологические достижения последних лет, включающие компьютерное моделирование, свидетельствуют, что межзапястные движения намного сложнее и имеют большие индивидуальные различия, чем считали раньше.

Существует общее согласие в том, что три кости проксимального запястного ряда не двигаются одним блоком и что движения трех запястных костей варьируют как по величине, так и по направлению при осевой нагрузке, сгибании/разгибании лучезапястного сустава и лучевом/локтевом отклонении.

Short с сотрудниками обнаружили, что движения в запястье различаются не только в связи с индивидуальными особенностями костно-связочной конфигурации и положения, но также в зависимости от направления движения. То есть отношения костно-связочного комплекса в запястье различались при достижении нейтрального положения, в зависимости от того, приходили ли кости в эту позицию из полного разгибания, полного сгибания, или сгибания/разгибания запястья с отклонением.

**Сгибание/разгибание запястья.** Представляется, что при выполнении сгибания/разгибания из трех проксимальных костей запястья наибольшее движение совершает ладьевидная кость, а наименьшее — полулунная.

Некоторые исследователи считают, что сгибание и разгибание лучезапястного сустава есть почти полностью сгибание и, соответственно, разгибание проксимального запястного ряда. Другие исследователи обнаружили при сгибании/разгибании лучезапястного сустава одновременные, но существенно меньшие движения лучевого/локтевого отклонения и пронации/супинации двух или трех проксимальных костей.

Движение более плотно связанных дистальных костей запястья и крепящихся к ним пястных костей представляется более простым соответствием сгибанию/разгибанию, причем движение дистальных сегментов пропорционально движению кисти.

Даже учитывая явное разнообразие данных, концептуальная основа сгибания/разгибания запястья достаточно упорядочена.

Последовательность, которую приводит Conwell, объясняет относительные движения разных сегментов и их взаимозависимость. Однако легко увидеть, что концептуальная база упрощена и не учитывает некоторые соединения, возникающие между главными костями запястья.

Движение начинается, когда запястье находится в полном сгибании. Активное разгибание инициируется в дистальном запястном ряду и пястных костях за счет мышц-разгибателей запястья, имеющих прикрепления к этим костям.

Дистальные кости запястья (головчатая, крючковидная, трапециевидная и кость-трапеция) скользят по относительно фиксированным проксимальным костям (ладьевидной, полулунной и трехгранной). Хотя конфигурации поверхностей среднезапястного сустава достаточно сложны, дистальный запястный ряд эффективно скользит по ним в том же направлении, в котором происходит движение кисти.

Когда комплекс запястья достигает нейтрального положения (продольная ось третьей пястной кости находится в одной линии с продольной осью предплечья), связки, охватывающие головчатую и ладьевидную кости, стягивают их в плотно упакованное положение.

Продолжающаяся тяга разгибателя теперь двигает комбинированный блок дистального запястного ряда и ладьевидной кости по относительно фиксированным полулунной и трехгранной костям.

Примерно на 45° гиперразгибания комплекса запястья ладьевидно-полулунная межкостная связка приводит в плотно упакованное положение ладьевидную и полулунную кости. Это объединяет все кости запястья и заставляет их действовать единым блоком.

Разгибание комплекса запястья идет, когда проксимальная суставная поверхность костей запястья движется как плотный блок, по лучевой кости и лучелоктевому диску. При полном разгибании все связки натягиваются и весь комплекс запястья приходит в положение плотной упаковки.

Движение запястья от полного разгибания к полному сгибанию идет в обратной последовательности.

В данной концептуальной структуре ладьевидная кость (опосредованно, через связки запястья) участвует в ладьевидно-головчатом, ладьевидно-полулунном или луче-ладьевидном движении (рис. 5.5).

Предотвращается скручивание проксимального запястного ряда (вставочного сегмента), и достигается полная АД.

Интересно, что компьютерное моделирование и исследование на трупах паттернов лучезапястного внутрисуставного контакта показали, что разгибание в лучезапястном суставе сопровождается дорсальным увеличением контакта.

Можно ожидать, что разгибание кисти будет сопровождаться скольжением выпуклой проксимальной поверхности запястья в ладонную сторону, т.е. в направлении, противоположном движению кисти.

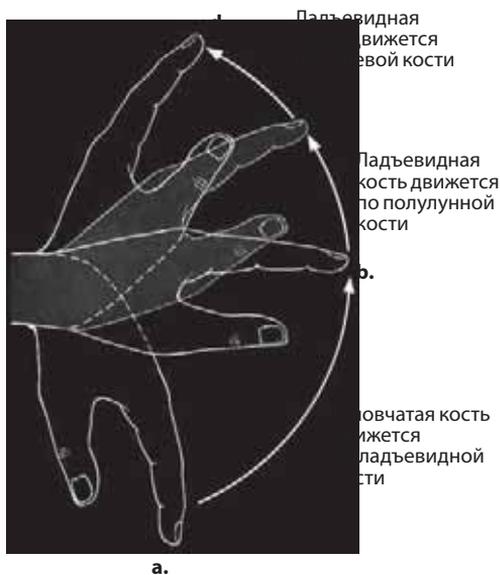
Если такой паттерн контакта существует *in vivo*, он, вероятно всего, отражает сложность лучезапястного движения и может противоречить принятым правилам движения при взаимодействии выпуклых и вогнутых поверхностей.

**Лучевое/локтевое отклонение запястья** представляется движением даже более сложным, но менее переменным, чем сгибание/разгибание. Лучевое отклонение создает не только отклонение проксимальных и дистальных костей запястья в сторону лучевой кости, но и одновременное сгибание проксимальных и разгибание дистальных костей.

Противоположно направленные движения проксимальных и дистальных костей наблюдаются при локтевом отклонении. При лучевом/локтевом отклонении дистальные кости запястья, опять же, движутся как относительно фиксированный блок, при этом величина движения между костями проксимального ряда может различаться.

Garcia-Elias с коллегами обнаружили, что величина сгибания ладьевидной кости при лучевом отклонении (и разгибания при локтевом отклонении) связана с вялостью связок. У пациентов с вялостью связок наблюдалось большее сгибание/разгибание ладьевидной кости и меньшее лучевое/локтевое отклонение, чем у других людей. Вялость связок была более характерна для женщин, чем для мужчин. Исследователи предположили, что вялость связок приводит к ослаблению связи ладьевидной кости с дистальным запястным рядом и, соответственно, к большему выходу движений ладьевидной кости за плоскость.

При полном лучевом отклонении как лучезапястный, так и среднелучезапястный суставы находятся в позиции плотной упаковки. Амплитуда лучевого и локте-



**Рис. 5.5.** Разгибание комплекса запястья. От *a* до *b* движение совершается только в среднелучезапястном суставе. От *b* до *c* — ладьевидная кость запирается дистальным запястным рядом и движется по неподвижным полулунной и трехгранной костям. От *c* до *d* блокируются все кости запястья, и движение полостью совершается в лучезапястном суставе

вого отклонений комплекса запястья является наибольшей, когда запястье находится в нейтральном положении сгибания/разгибания.

Если запястье разогнуто и находится в позиции плотной упаковки, его кости «заперты», и возможно лишь незначительное лучевое/локтевое отклонение. При сгибании запястья суставы находятся в позиции свободной упаковки, и кости рассредоточены. Дальнейшее движение проксимального ряда невозможно, и, как и при полном разгибании, возможно выполнение лишь незначительного лучевого или локтевого отклонения.

То, что кажется избыточным в функции среднезапястного и лучезапястного суставов, гарантирует сохранение минимальной АД, требуемой для повседневной активности.

Brumfield и Champoux обнаружили, что действия кисти, необходимые для сохранения самостоятельности, требуют следующего функционального движения запястья: 10° сгибания и 35° разгибания.

Ryu с коллегами включили широкий диапазон функций кисти в свой комплекс тестов и определили, что все их можно выполнить с минимальными движениями запястья: 60° разгибания, 54° сгибания, 40° локтевого отклонения и 17° лучевого отклонения.

Существует согласие в том, что наиболее важными для действий запястья являются его разгибание и локтевое отклонение. Разгибание и локтевое отклонение запястья являются, кроме того, позициями максимального контакта ладьевидной и полулунной костей. Учитывая ключевую роль ладьевидной кости в стабильности запястья, это дает также максимум стабильности при положении кисти во время максимального захвата.

**Мышцы комплекса запястья.** Основная роль мышц комплекса запястья состоит в том, чтобы обеспечить стабильную основу для кисти, разрешая при этом производить позиционные настройки, дающие оптимальное соотношение длины–напряжения для мышц пальцев.

Hazelton с сотрудниками исследовали пиковые значения силы в межфаланговых (МФ) суставах пальцев при различных положениях запястья. Исследование показало, что наибольшая сила МФ сгибателя наблюдается при локтевом отклонении запястья (в нейтральном сгибании/разгибании), а наименьшая сила отмечена при сгибании запястья (нейтральное отклонение).

Мышцы запястья, однако, структурированы не только для оптимизации силы сгибания пальцев. Если бы оптимизация сгибателя перевешивала все остальные факторы, то разгибатели запястья оказались бы сильнее сгибателей. Однако работоспособность (способность мышцы к генерации усилия на единицу площади поперечного сечения) сгибателей запястья почти вдвое превышает этот же показатель для разгибателей. Опять же, не соответствует ожиданиям по оптимизации силы сгибателей пальцев и следующее: работо-

способность лучевых девиаторов несколько превосходит работоспособность локтевых мышц.

Функцию мышц запястья нельзя понять, рассматривая только один фактор или функцию, однако ее можно оценить при помощи ЭМГ и различных паттернов деятельности — с сопротивлением силе тяжести или внешним нагрузкам.

Обсуждение синергии между мышцами запястья и кисти будет рассматриваться в контексте функций кисти.

**Ладонная мускулатура запястья.** Шесть мышц имеют сухожилия, пересекающие ладонную часть запястья, и обеспечивают сгибание запястья. Это длинная ладонная мышца (ДЛМ), лучевой сгибатель запястья (ЛЧСЗ), локтевой сгибатель запястья (ЛКСЗ), поверхностный сгибатель пальцев (ПСП), глубокий сгибатель пальцев (ГСП) и длинный сгибатель большого пальца (ДСБП).

Первые три из перечисленных мышц являются преимущественно мышцами запястья. Последние три — сгибатели пальцев, со вторичным воздействием на запястье. Все они проходят под проксимальной связкой сгибателя запястья, за исключением ДЛМк и ЛКСЗ.

Положения сухожилий ЛЧСЗ и ЛКСЗ в запястье указывают, что сухожилия могут вызывать соответственно лучевое и локтевое отклонение запястья, равно как и его сгибание.

Однако ЛЧСЗ не представляется столь же эффективным при изолированном сокращении, как лучевой девиатор. Его дистальные прикрепления на основаниях второй и третьей пястных костей находятся в одной линии с продольной осью кисти. Вместе с ДЛМк ЛЧСЗ действует как сгибатель запястья с небольшим сопутствующим отклонением. Однако ЛЧСЗ является активным при лучевом отклонении. ЛЧСЗ либо увеличивает мощное отклоняющее усилие длинного лучевого разгибателя запястья, либо блокирует разгибание, вызываемое тем же длинным лучевым разгибателем запястья.

ДЛМк является сгибателем запястья, не вызывающим ни лучевого, ни локтевого отклонения. Мышца и ее сухожилие отсутствуют с одной или обеих сторон примерно у 14% человек, причем без малейших следов силового или функционального дефицита. По причине ее явной избыточности сухожилие ДЛМк (если оно имеется) часто используют при хирургических реконструкциях других структур.

ЛКСЗ прикрепляется к гороховидной кости, к сезамовидной кости, что увеличивает ПМ ЛКСЗ. Через связки гороховидной кости ЛКСЗ воздействует на крючковидную кость и пятую пястную кость, производя сгибание и локтевое отклонение комплекса запястья. Сухожилие ЛКСЗ пересекает запястье дальше от оси лучевого/локтевого отклонения, чем ЛЧСЗ, поэтому эта мышца более эффективно выполняет локтевое отклонение, чем ЛЧСЗ выполняет функции лучевого отклонения.

ПСП, ГСП и ДСБП являются преимущественно сгибателями пальцев. Поскольку эти мышцы являются многосуставными, их способность развивать силу для эффективного сгибания пальцев зависит от синергического стабилизатора, предотвращающего полную экскурсию более дистальных суставов, которые они пересекают.

Если бы эти мышцы пытались действовать как через запястье, так и через более дистальные суставы, они оказались бы активно недостаточными. ПСП и ГСП показывают разную активность при лучевом/локтевом отклонении запястья, что можно было предполагать по причине центрального расположения их сухожилий. ПСП более устойчиво работает как сгибатель запястья, чем глубокая мышца. Это вполне логично, поскольку ГСП длиннее, расположен глубже, пересекает больше суставов и, соответственно, быстрее становится активно недостаточным.

Влиянию ДСБП на запястье уделялось сравнительно небольшое внимание. Положение сухожилия говорит о способности мышцы участвовать как в сгибании, так и в лучевом отклонении запястья, при условии стабилизации дистальных суставов.

**Дорсальная мускулатура запястья.** Спинку комплекса запястья пересекают сухожилия девяти мышц. Три из них являются основными мышцами запястья: длинный и короткий лучевой разгибатель запястья (ДЛРЗ, КЛРЗ) и локтевой разгибатель запястья (ЛКРЗ). Остальные шесть мышц являются мышцами пальцев и большого пальца, которые для запястья являются вторичными: общий разгибатель пальцев (ОРП), собственный разгибатель указательного пальца (СРУП), разгибатель мизинца (РМ), длинный разгибатель большого пальца (ДРБП), короткий разгибатель большого пальца (КРБП) и длинная отводящая мышца большого пальца (ДОМБП). ОРП и СРУП также известны под более простыми наименованиями как разгибатель пальцев и разгибатель указательного пальца соответственно.

Сухожилия всех девяти мышц проходят под связкой удерживателя разгибателя, которая разделяется перегородками на шесть отдельных каналов. Перегородка помогает стабилизировать сухожилия на спинке (тыльной части) кисти и позволяет мышцам работать в качестве эффективных стабилизаторов запястья.

ДЛРЗ и КЛРЗ вместе составляют основную часть массы разгибателя запястья. КЛРЗ несколько меньше, чем ДЛРЗ, но при этом он расположен ближе к центру и обычно показывает большую активность при разгибании запястья.

Одно из исследований показало, что КЛРЗ активен при хвате и выпуске предмета, за исключением случаев, когда эти действия выполняются в положении супинации. ДЛРЗ имеет меньшее плечо момента разгибания запястья, чем КЛРЗ.

Повышенная активность ДЛРЗ наблюдается, когда нужна лучевая девиация или опора при локтевой девиации либо при выполнении форсированного сги-

бания пальцев. Постоянная активность КЛРЗ делает его более чувствительным к перегрузке. Соответственно, вероятность возникновения латерального эпикондилита у него выше, чем у более спокойного ДЛРЗ.

ЛКРЗ производит разгибание и локтевое отклонение запястья. Он активен не только во время разгибания, но зачастую и при сгибании запястья.

Backdahl и Carisoo выдвинули гипотезу о том, что активность ЛКРЗ при сгибании запястья вносит дополнительный компонент стабильности в структурно менее устойчивую позицию сгибания запястья. Этого не требуется на лучевой стороне запястья, которая имеет более развитое связочное и скелетное управление.

Соединение оболочки сухожилия ЛКРЗ с удерживателем разгибателя, похоже, помогает ограничивать действие ЛКРЗ и предотвращать потерю эффективности экскурсии по типу тетивы.

Tang и сотрудники обнаружили увеличение экскурсии ЛКРЗ на 30% после отделения удерживателя разгибателя от дистальной части локтевой кости. Эффективность ЛКРЗ, как разгибателя запястья, также зависит от положения предплечья.

При пронации предплечья перекрест лучевой кости поверх локтевой вызывает уменьшение ПМ ЛКРЗ и снижает его эффективность как разгибателя.

РМ и СРУП входят в сухожилия ОРП и, соответственно, имеют общую функцию с ним. СРУП и РМ могут разгибать запястье, однако большее значение здесь отводится все же ОРП.

ОРП является мышцей-разгибателем пальцев, но действует и как разгибатель запястья (без локтевого или лучевого отклонения). При разгибании запястья существует некоторая реципрокная синергия ОРП и КЛРЗ, поскольку при активной ОРП снижается сопутствующая активность КЛРЗ.

Запястье пересекают три внешних мышцы большого пальца. И ДОМБП, и КРБП обе способны выполнять лучевое отведение запястья и могут играть в этой функции незначительную роль. Однако лучевое отклонение запястья может отвлекать их от выполнения главной функции, связанной с воздействием на большой палец.

При воздействии ДОМБП и КРБП на большой палец может потребоваться синергическое сокращение ЛКРЗ с целью предотвращения нежелательного движения. При отсутствии мышц, производящих локтевое отклонение, внешние мышцы большого пальца могут создавать значительную деформацию лучевого отклонения запястья.

В отношении хоть сколько-нибудь заметного воздействия на запястье расположенного ближе к центру ДРБП имеется очень мало информации.

**Патология запястных суставов.** На запястье приходится 6% всех переломов и вывихов тела, при этом наиболее частым местом травм является проксимальный ряд.

Наиболее частым переломом подвергается ладьевидная кость. Наибольшее напряжение ладьевидной кости отмечается при нейтральном лучевом/локтевом отклонении и разгибании запястья, т.е. в позиции падения на выпрямленные руки.

Ладьевидная кость также является постоянным участником наиболее распространенной проблемы нестабильности запястья, известной как ладьевидно-полулунная нестабильность, или *лучевая перилунарная нестабильность*.

Если травма одной или нескольких связок, прикрепляющихся к ладьевидной кости, разъединяет полулунную кость и стабилизирующее действие ладьевидной кости, то полулунная кость (и прикрепляющаяся к ней трехгранная кость) начинают работать как ничем не ограничиваемый вставочный сегмент.

Когда связочные ограничения ладьевидной кости ослаблены или удалены совсем, кость следует естественной тенденции к коллапсу в сгибание на отклоненной в сторону ладони лучевой кости (потенциально там могут наблюдаться и движения вне плоскости).

Ладьевидная кость в сгибании скользит в дорсальном направлении по лучевой кости и приходит в состояние подвывиха.

Свободные от ладьевидной стабилизации, полулунная и трехгранная кости следуют естественной тенденции к разгибанию, а мышечные силы, действующие на дистальные кости запястья, заставляют их выполнять сгибание по разогнутым полулунной и трехгранной костям (рис. 5.6, а).

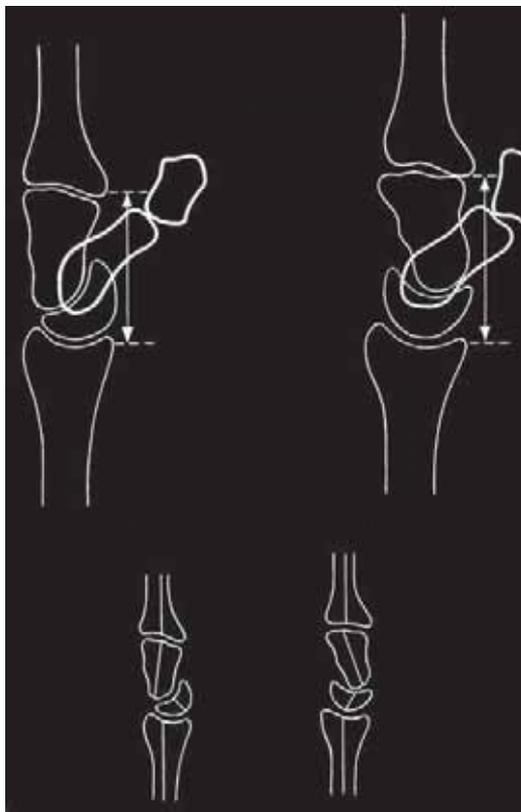
Зигзагообразный паттерн трех сегментов (ладьевидная, полулунная и трехгранная кости плюс дистальный запястный ряд) известен как *дорсальная вставочная сегментарная нестабильность*, чаще это явление встречается под названием ДВСН.

Подвывих ладьевидной кости может быть динамическим, возникающим только при компрессионных мышечных нагрузках на запястье, или может стать фиксированным или статическим.

При подвывихе ладьевидной кости контактные давления в луче-ладьевидном сочленении возрастают по причине уменьшения площади контакта. ДВСН, таким образом, со временем может приводить к дегенеративным изменениям луче-ладьевидного сустава и, в конечном счете, в других межзапястных суставах.

При достаточной вялости связок головчатая кость может давать дорсальный подвывих от разогнутой полулунной кости и мигрировать в промежуток между согнутой ладьевидной костью и разогнутой полулунной костью. Такая деформация называется передним ладьевидно-полулунным коллапсом (ПЛЛК).

Несмотря на споры в отношении увеличения или уменьшения нагрузок на луче-полулунный сустав при ДВСН, признано, что луче-ладьевидное сочленение больше подвержено дегенеративным изменениям, чем луче-полулунное. Это связывают с большей шарообразностью конфигурации луче-полулунных фасеток, которая лучше центрирует нагрузки по суставным поверхностям.



*Рис. 5.6. а — дорсальная вставочная сегментарная нестабильность (ДВСН). Полулунная кость, освобожденная от согнутой ладьевидной кости, выполняет разгибание по лучевой кости. Головчатая кость (ГК) идет в противоположном направлении (сгибание), по верхней части полулунной кости; б — ладонная вставочная сегментарная нестабильность (ЛВСН). Полулунная и ладьевидная кости (ПКиЛК) сгибаются по лучевой кости (ЛК), тогда как трехгранная кость (ТК, не показана) разгибается. Дистальный запястный ряд следует за трехгранной костью в разгибание*

Другой часто встречающейся разновидностью запястной нестабильности является разрыв связочного единства полулунной и трехгранной костей при травме. Обычно полулунная и трехгранная кости вместе стремятся к разгибанию и препятствуют тенденции ладьевидной кости к сгибанию. Когда разрывается связь между полулунной и трехгранной костями, полулунная кость идет в сгибание вместе с ладьевидной костью, а трехгранная кость и дистальный запястный ряд идут в разгибание (рис. 5.6, б).

Такая локтевая перилунарная нестабильность называется *ладонной вставочной сегментарной нестабильностью*, или ЛВСН.

ЛВСН и ДВСН иллюстрируют важность стабилизации проксимального запястного ряда для функции запястья и сохранения ладьевидной кости в качестве мостика между дистальным запястным рядом и двумя остальными костями проксимального ряда.

Теперь, рассмотрев комплекс запястья, перейдем к комплексу кисти, которое обслуживается запястьем.

## 5.2. КОМПЛЕКС КИСТИ

Кисть состоит из пяти пальцев, точнее говоря из четырех пальцев и большого пальца. Каждый палец имеет пястно-запястный (ПЗ) и пястно-фаланговый (ПФ) сустав. Все пальцы имеют по два межфаланговых (МФ) сустава, за исключением большого пальца, в котором такой сустав один.

Дистально от запястных костей располагаются 19 костей и 19 суставов, которые и образуют *комплекс кисти*.

Хотя суставы большого пальца и остальных пальцев имеют структурное сходство, их функции различаются настолько, что суставы пальцев следует рассматривать отдельно от суставов большого пальца.

При изучении суставов пальцев вместе с тем надо быть очень осторожным с обобщениями. Ранней подчеркивал, что каждый палец руки уникален и что модель, предлагаемая для одного пальца (и соответствующие выводы), может не годиться для всех остальных.

### 5.2.1. СТРОЕНИЕ ПАЛЬЦЕВ

**ПЗ суставы пальцев.** ПЗ суставы представляют собой сочленения между дистальным запястным рядом и основаниями второй–пятой пястных костей (рис. 5.7).

Одним из атрибутов дистальных запястных костей, который влияет на функцию ПЗ суставов и кисти, но не на функцию запястья, является *ладонная вогнутость*, или *запястная дуга*, образованная костью-трапецией, трапециевидной костью, головчатой костью и крючковидной костью.

Вогнутость ладони сохраняется, даже если она полностью раскрыта. Запястная дуга создается не только за счет изогнутой формы запястных костей, но еще и поддерживается связками (рис. 5.8).



**Рис. 5.7.** Пястно-запястные суставы пальцев. Сочленения от второй вплоть до пятой пястных костей и дистальный запястный ряд: КТ — кость-трапеция; ТпК — трапециевидная кость; ГК — головчатая кость; КК — крючковидная кость

Связки, которые сохраняют дугу, это поперечная связка запястья (ПСЗ) и поперечно ориентированные межзапястные связки.

ПСЗ является частью связки сгибателя, которая прикрепляется к гороховидной кости и крючку крючковидной кости медиально и к ладьевидной кости и кости-трапеции латерально; более проксимальная часть связки сгибателя непрерывно соединена с фасцией, покрывающей мышцы предплечья.

ПСЗ и межзапястные связки, связывающие четыре дистальные запястные кости, сохраняют относительно фиксированную вогнутость, которая способствует формированию ладонных дуг.

Эти структуры также образуют *запястный туннель*. Через него проходят: срединный нерв, наружные сгибатели пальцев кисти и большого пальца и сухожилие лучевого сгибателя пальцев (идет медиально, в отдельном компартменте). Если срединный нерв сдавливается в пределах туннеля, может развиваться невралгия, известная как кистевой туннельный синдром.

Cobb с сотрудниками предполагают, что проксимальный край ПСЗ является наиболее частым местом индуцированной сгибанием кисти компрессии срединного нерва. Туннель, однако, является наиболее узким на уровне крючка крючковидной кости, где влияние изменений положения запястья на сдавливание срединного нерва маловероятно.

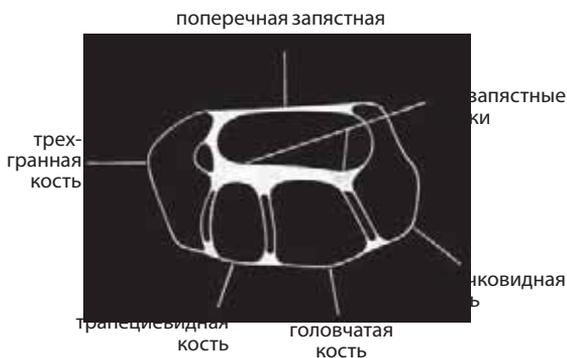
Когда ПСЗ перерезают, чтобы высвободить сдавленный нерв, запястная дуга может несколько выпрямиться. Обнаружено, что она сохраняет дорсально-ладонную жесткость, пока целы более сильные поперечные межзапястные связки.

К ПСЗ и костям дистального запястного ряда прикрепляется много внутренних мышц кисти. Они также могут способствовать сохранению запястной дуги.

Проксимальная часть четырех пястных костей пальцев сочленяется с дистальными отделами запястных костей, образуя ПЗ суставы со второго по пятый. Вторая пястная кость сочленяется преимущественно с трапецевидной костью и вторично — с костью-трапецией и головчатой костью. Третья пястная кость сочленяется преимущественно с головчатой костью, четвертая — с головчатой и крючковидной костями. Последняя, пятая пястная кость, сочленяется с крючковидной костью.

Каждая из пястных костей имеет в основании также сочленение с соседней пястной костью, одной или двумя, за исключением второй пястной кости, которая в основании имеет сочленение с третьей пястной костью, но не сочленяется с первой.

Все ПЗ суставы пальцев поддерживаются сильной поперечной связкой и более слабыми продольными связками, как с тыльной, так и с ладонной стороны.



*Рис. 5.8. Поперечная (фиксированная) запястная дуга с поперечной связкой запястья и межзапястными связками, которые помогают сохранять вогнутость*

Глубокая поперечная пястная связка распространяет свои головки с ладной стороны, на кости со второй по четвертую. Глубокая поперечная пястная связка стягивает головки пястных костей вместе и эффективно предотвращает отведение пястных костей в ПЗ суставах, сводя его к минимуму. Хотя поперечная пястная связка напрямую способствует ПЗ стабильности, структурно она является частью ПФ суставов пальцев и будет далее рассматриваться именно в этом контексте.

Связочная структура несет основную ответственность за контроль АД в каждом ПЗ суставе, хотя существуют и некоторые различия в сочленениях.

Амплитуда движений пальцев в ПЗ суставах хорошо наблюдается в районе головок пястных костей и увеличивается от лучевой стороны кисти к локтевой.

ПЗ суставы со второго по четвертый являются плоскими синовиальными суставами с одной степенью свободы (сгибание/разгибание).

Хотя по структуре второй и третий ПЗ суставы позволяют выполнять сгибание/разгибание, по сути они неподвижны и могут рассматриваться как суставы с «нулевой степенью свободы». Четвертый ПЗ сустав дает заметное сгибание/разгибание, а пятый ПЗ сустав является седлообразным суставом с двумя степенями свободы, т.е. сгибанием/разгибанием, некоторым отведением/приведением и ограниченным количеством противопоставления.

Неподвижные второй и третий ПЗ суставы обеспечивают фиксированную и стабильную ось, вокруг которой могут двигаться очень подвижный первый пястный сустав (большой палец), а также четвертый и пятый ПЗ суставы. Движение в четвертом и пятом пястных суставах облегчает противопоставление безымянного пальца и мизинца большому пальцу.

Настраиваемые позиции головок первой, четвертой и пятой пястных костей вокруг фиксированных второй и третьей головок образуют подвижную поперечную дугу на уровне головок пястных костей, которая усиливает фиксированную дугу дистального запястного ряда. Глубокая поперечная пястная связка способствует стабильности мобильной дуги при хвате.

Функция ПЗ суставов пальцев и их сегментов в целом — содействие (вместе с большим пальцем) сохранению ладонных дуг.

*Ладонные дуги* позволяют ладоням и пальцам оптимально соответствовать форме предмета, который держит человек. Это максимизирует поверхностный контакт, увеличивает стабильность, а также усиливает сенсорную обратную связь. Ладонные дуги, включая все пальцы, вместе с большим, легко просматриваются поперек ладони и в продольном направлении — вниз по ладони (рис. 5.9).

Мышцы, пересекающие ПЗ суставы, участвуют в придании ладони формы чаши за счет воздействия на подвижные сегменты ладонных дуг. Углубление ладони сопровождается сгибанием пальцев, а относительное ее уплощение — их разгибание.

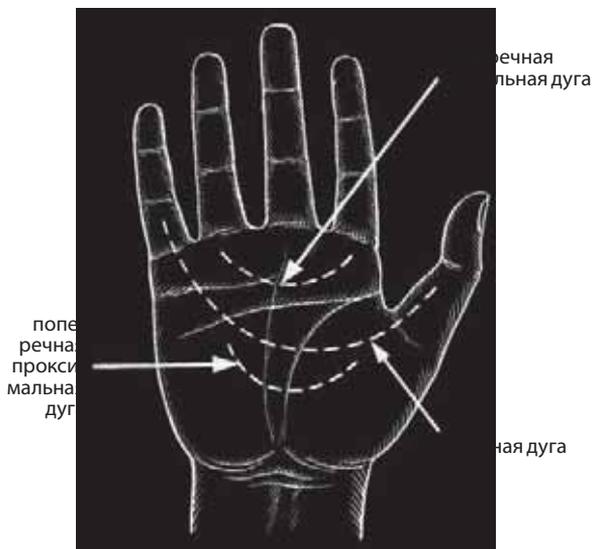
На пятый ПЗ сустав действует мышца, противопоставляющая мизинец. Эта косая мышца проксимально прикрепляется к крючковой кости и ПСЗ, а дистально — к локтевой стороне пятой пястной кости. Она, таким образом, оптимально расположена для сгибания и ротации пятой пястной кости по продольной оси.

Другие мышцы поодиночке на ПЗ суставы пальцев не действуют. Однако увеличение дуг наблюдается при активности ЛКСЗ и внутренних мышц кисти, которые прикрепляются к ПСЗ.

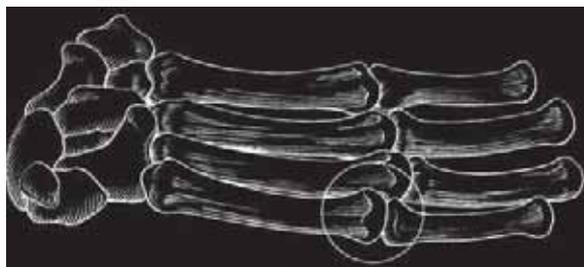
Лучевые мышцы запястья (ЛЧСЗ, ДЛРЗ и КЛРЗ) пересекают второй и третий ПЗ суставы и прикрепляются к основаниям этих пястных костей, но они вызывают лишь незначительное движение этих фиксированных сочленений.

Стабильность второго и третьего ПЗ суставов можно рассматривать как функциональную адаптацию, которая увеличивает эффективность ЛЧСЗ, ДЛРЗ и КЛРЗ. Если бы второй и третий ПЗ суставы были подвижными, лучевые сгибатели и разгибатели вначале действовали бы на ПЗ суставы и, соответственно, были бы менее эффективными в среднезапястном и лучезапястном суставах вследствие потери в соотношении «длина–напряжение».

**ПФ суставы пальцев.** Каждый из четырех пястно-фаланговых суставов



**Рис. 5.9.** Ладонные дуги, способствующие хватанию. Проксимальная поперечная дуга фиксирована, дистальная поперечная дуга и продольная дуга подвижны



**Рис. 5.10.** Пястно-фаланговые суставы пальцев. На ладонной поверхности видно сочленение крупной головки пястной кости (ПСТ) и небольшого основания проксимальной фаланги (ПФ)

пальцев состоит из проксимальной выпуклой головки пястной кости и дистального вогнутого основания первой фаланги (рис. 5.10).

ПФ сустав является мышечковым и имеет две степени свободы: сгибание/разгибание и отведение/приведение.

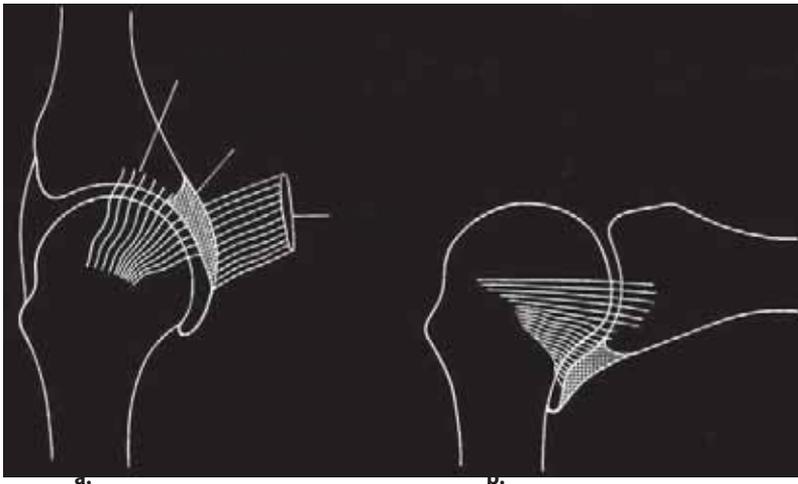
Крупная головка пястной кости имеет  $180^\circ$  суставной поверхности в сагитальной плоскости, причем основная ее часть направлена к ладони. Она находится в аппозиции к примерно  $20^\circ$  суставной поверхности фаланги.

Во фронтальной плоскости суставные поверхности имеют большую конгруэнтность.

Сустав окружен капсулой, которая обычно расслаблена при разгибании и, в сочетании со слабо притертыми поверхностями, позволяет выполнять некоторую осевую ротацию проксимальной фаланги в этом положении.

Наличие ладонной и двух коллатеральных связок способствует стабильности сустава, однако его следует считать неконгруэнтным, учитывая различие суставных поверхностей. При отсутствии конгруэнтности суставов часто обнаруживается вспомогательная суставная структура, придающая стабильность. В ПФ суставе эту функцию выполняет ладонная пластинка.

**Ладонная пластинка** (ладонная связка) в ПФ суставе является уникальной структурой, увеличивающей конгруэнтность суставов. Ладонная связка со-



*Рис. 5.11. а — ладонная пластинка ПФ сустава прикрепляется к основанию проксимальной фаланги и к суставной капсуле у головки пястной кости. Она сливается с капсулой и, с ладонной стороны, с глубокой поперечной пястной связкой (не показано: круглый блок А1, находящийся поверхностно от поперечной пястной связки); б — при сгибании ПФ сустава гибкие прикрепления пластинки позволяют ей проксимально скользить по головке пястной кости, не мешая движению*

стоит из волокнистого хряща и плотно (но не жестко) прикрепляется к основанию проксимальной фаланги. Проксимально связка становится мембраной, и ее волокна сливаются с капсулой. Через это капсульное соединение пластинка прикрепляется к пястной кости чуть проксимальнее суставной поверхности (рис. 5.11, а).

Ладонную пластинку можно также зрительно представить себе как волокнистое хрящевое уплотнение ладонной части капсулы, которая покрывает головку пястной кости. Четыре ладонные пластинки ПФ суставов пальцев также сливаются с глубокой поперечной пястной связкой, с которой они взаимно связаны поверхностно и которая, как мы видели ранее, удерживает вместе головки пястных костей четырех пальцев.

Ладонная пластинка ПФ сустава каждого пальца является частью многослойной структуры.

Поднимаясь из глубины к поверхности, мы видим:

1) ладонную пластинку, которая находится в контакте с головкой пястной кости:

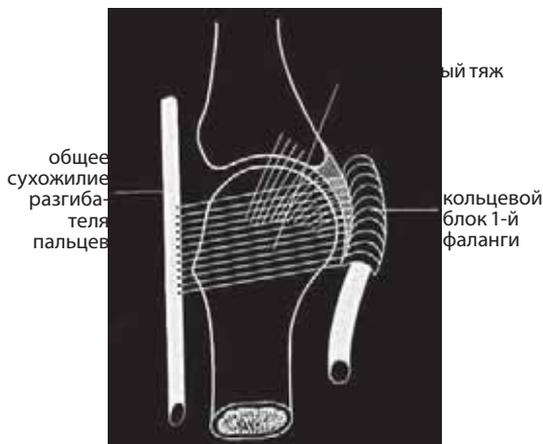
2) капсулу ПФ сустава, которая сливается с ладонной частью пластинки:

3) поверхностные продольные волокна капсулы, на поверхности усиленные перпендикулярными волокнами глубокой поперечной связки:

4) глубокую поперечную пястную связку, имеющую на ладонной поверхности борозды для прохода сухожилий длинного сгибателя пальцев.

Глубокая поперечная пястная связка также имеет волокна на дорсальной поверхности каждого ПФ сустава, которые проходят к дорсальному продолжению сухожилий разгибателя (рис. 5.12).

Соединения каждой ладонной пластинки с коллатеральными связками ПФ сустава (через капсулу) и продолжением разгибателя (через глубокую поперечную пястную связку) помогают стабилизировать ладонные пластинки на четырех головках пястных костей.



**Рис. 5.12.** Соединения сагиттальных тяжей с каждой из сторон ладонной пластинки, коллатеральные связки ПФ сустава (через капсулу) и продолжение разгибателя помогают дорсальной стабилизации сухожилий ОРП над ПФ суставом, и с ладонной стороны — ладонных пластинок на четырех головках пястных костей

Внутренняя поверхность ладонной пластинки является, по сути, продолжением суставной поверхности основания проксимальной фаланги.

При разгибании пластинка увеличивает поверхность контакта с крупной головкой пястной кости. Ее состав (волоknистый хрящ) хорошо поддерживает ее способность как сопротивляться усилиям растяжения, при ограничении гиперразгибания ПФ сустава, так и компрессионным усилиям, что необходимо для защиты ладонной суставной поверхности головки пястной кости от предметов, которые человек держит в руке.

Гибкое прикрепление пластинки к фаланге позволяет пластинке во время сгибания выполнять проксимальное скольжение вниз по ладонной поверхности головки пястной кости, не ограничивая движение и предохраняя при этом сухожилия длинного сгибателя ПФ сустава от защемления (рис. 5.11, *b*).

**Коллатеральные связки** ПФ сустава обычно провисают при разгибании, позволяя выполнять отведение/приведение по полной амплитуде.

Натяжение коллатеральных связок при сгибании в ПФ суставе (сустав находится в положении плотной упаковки) объясняет минимальное отведение/приведение при полном сгибании сустава.

Shultz с сотрудниками пришли к заключению, что обеспечение стабильности коллатеральными связками по АД ПФ сустава выполняется частями волокон, каждая из которых натягивается по достижении определенной точки АД. Они предположили, что двухмышцелковая форма ладонной поверхности головки пястной кости в большей степени создает костную блокировку отведения/приведения при 70° сгибания ПФ сустава, чем натяжение коллатеральных связок.

Fisher с сотрудниками проводили вскрытие пальцев в поисках объяснения относительно небольшой частоты остеоартрита в ПФ суставах по сравнению с гораздо более частыми изменениями, наблюдающимися в дистальных межфаланговых (ДМФ) суставах и, в несколько меньшей степени, в проксимальных межфаланговых (ПМФ) суставах. Они обнаружили волоknистый хрящ, идущий в ПФ, ПМФ и ДМФ суставы от внутренней поверхности оболочки разгибателя, ладонных пластинок и коллатеральных связок. Проекция волоknистого хряща были наиболее впечатляющими в ПФ суставах и могли, подобно ладонным пластинкам, увеличивать площадь поверхности небольшого основания фаланги для контакта с крупными головками пястной кости и фаланги.

**Амплитуда.** Амплитуды ПФ суставов для разных пальцев неодинаковы. АД сгибания/разгибания увеличивается от лучевой стороны к локтевой; указательный палец сгибается в ПФ суставе примерно на 90°, а мизинец — примерно на 110°. Гиперразгибание для всех пальцев почти одинаково, но здесь наблюдаются сильные индивидуальные отличия. Амплитуду пассивного гиперразгибания даже использовали для оценки общей гибкости тела.

Амплитуда отведения/приведения максимальна при разгибании ПФ сустава, указательный палец и мизинец обладают большей подвижностью во фронтальной плоскости, чем средний и безымянный пальцы. Как уже говорилось ранее, максимальное ограничение отведения/приведения наблюдается при сгибании ПФ сустава.

**Межфаланговые (МФ) суставы пальцев.** Каждый из проксимальных межфаланговых (ПМФ) суставов и дистальных межфаланговых (ДМФ) суставов пальцев состоит из головки фаланги и основания дистальной фаланги. Каждый МФ сустав представляет собой истинный синовиальный шарнирный сустав с одной степенью свободы (сгибание/разгибание) и включает в себя суставную капсулу, ладонную пластинку и две коллатеральные связки (рис. 5.13).

Основание каждой средней и дистальной фаланги имеет две мелкие вогнутые фасетки с центральным ребром. Дистальная фаланга сидит на проксимальной к ней головке фаланги, имеющей форму блока. Суставная структура схожа с суставной поверхностью ПФ в том, что проксимальная суставная поверхность превосходит по размерам дистальную поверхность. В отличие от ПФ суставов, как в ПМФ, так и в ДМФ суставах очень мала задняя суставная поверхность, соответственно, очень мало и гиперразгибание.

В ДМФ суставе может происходить некоторое пассивное гиперразгибание, но в проксимальном суставе оно практически отсутствует.

Ладонные пластинки усиливают суставные капсулы каждого сустава и увеличивают стабильность. Пластинки МФ суставов структурно и функционально идентичны пластинкам ПФ суставов, за тем исключением, что в МФ суставах пластинки не связаны с глубокой поперечной связкой.

Fisher с сотрудниками обнаружили волокнисто-хрящевые проекции от механизма разгибателя, ладонной пластинки и коллатеральных связок, прикрепляющиеся к основаниям фаланг как в ПМФ, так и в ДМФ суставах, причем более заметны эти структуры были в ПМФ суставах.

Коллатеральные связки МФ суставов не полностью изучены, однако некоторые их отделы остаются в натяжении и обеспечивают поддержку на всем протяжении движения как ПМФ, так и ДМФ суставов.

Травмы коллатеральных связок ПМФ суставов достаточно часты, особенно в спорте и как профессиональные травмы. При этом повреждения лучевых, или латеральных, коллатеральных связок происходит почти в два раза чаще, чем локтевых, или медиальных, связок.



**Рис. 5.13.** Капсула и коллатеральные связки проксимальных и дистальных межфаланговых суставов



*Рис. 5.14. а — паттерн увеличения сгибания от лучевой к локтевой стороне кисти; б — безымянный палец и мизинец имеют большую АД сгибания, поэтому могут приспосабливаться к более узкой поверхности контакта*

суставе ( $80^\circ$ ). Амплитуды сгибания в ПМФ и ДМФ суставах увеличиваются в локтевом направлении, так, амплитуды сгибания ПМФ и ДМФ суставов мизинца достигают  $135$  и  $90^\circ$  соответственно. Увеличение амплитуды сгибания/разгибания от лучевой к локтевой стороне кисти в ПЗ, ПФ и ПМФ суставах примерно одинаково, и гораздо менее выражено в ДМФ суставах.

Паттерн, результатом которого является одновременное сгибание во всех суставах, показан на рис. 5.14, а.

Дополнительная амплитуда пальцев, ближних к локтевой стороне, обеспечивает им угловое отклонение по направлению к ладьевидной кости и облегчает противопоставление большому пальцу. Большая амплитуда с локтевой стороны также обеспечивает более жесткий хват, или лучшее его закрытие.

Многие предметы сконструированы таким образом, что форма их уже в области безымянного пальца и мизинца и толще у среднего и указательного пальцев, что соответствует паттерну АД (рис. 5.14, б).

## 5.2.2. МУСКУЛАТУРА ПАЛЬЦЕВ

**Внешние сгибатели пальцев.** Есть две мышцы, участвующие в сгибании пальцев и начинающиеся за пределами кисти. Это поверхностный сгибатель пальцев (ПСП) и глубокий сгибатель пальцев (ГСП).

ПСП может сгибать ПФ сустав и ПМФ сустав. Глубокий сгибатель может сгибать ПФ сустав, ПМФ и ДМФ суставы, и из двух мышц он считается более активным.

Dzwierzynski с коллегами обнаружил что самой сильной из коллатеральных связок ПМФ суставов является латеральная коллатеральная связка указательного пальца (создающая варусную нагрузку в ПМФ суставе), а самой слабой является эта же связка мизинца. При этом относительные силовые показатели всех латеральных коллатеральных связок соответствовали ожидаемым значениям.

Общая амплитуда сгибания/разгибания указательного пальца больше в ПМФ суставе ( $100-110^\circ$ ), чем в ДМФ

При мягком движении щипка ГСП будет активным в одиночку. Однако, если закрытие кисти пытается совершить человек с параличом внутренней мускулатуры кисти, обе мышцы осуществляют сгибание до ПФ сустава. Результатом является то, что кончики пальцев прижимаются к ладони в области или несколько ниже головок пястных костей. Хват оказывается неэффективным, поскольку, когда предмет приближается к ладони, пальцы уже согнуты.

Хотя внутренние мышцы пальцев (червеобразные и межкостные) неактивны при мягком закрытии руки, их пассивная упругость, ограничивающая движение в ПФ и МФ суставах, может быть необходимой для нормального функционирования.

ПСП функционирует при сгибании пальцев в одиночку, только если сгибание ДМФ сустава не требуется. Когда нужно выполнить одновременное сгибание ПМФ и ДМФ суставов, ПСП действует как мышца резерва, он усиливает активность ГСП, если требуется повышенное усилие сгибания или если требуется сгибание пальцев в комбинации со сгибанием запястья.

Хотя ПСП обычно считается более сильным при сгибании ПМФ сустава, так как он пересекает несколько суставов, в ПМФ суставе он меняется позицией с ГСП. ПСП лежит поверхностно по отношению к ГСП в ПФ суставе. Поскольку ПСП находится дальше от оси ПФ сустава, он имеет большее плечо момента для ПФ сгибания.

Чуть проксимально от оси ПФ сустава более глубокое сухожилие ГСП выходит через щель сухожилия ПСП (*хиазма Кемпера*), так что сухожилие ПСП может прикрепляться к основанию средней фаланги. Соответственно, в ПМФ суставе ГСП находится дальше от оси ПМФ сустава, чем ПСП. Хотя такое ПМ может быть не вполне оптимальным для ПМФ сустава, ПСП важен для равновесия в этом суставе.

Если ПСП отсутствует, щипок с усилием (сжатие большого и указательного пальцев) и соответственное усилие ГСП может вызвать разгибание ПМФ сустава одновременно со сгибанием ПМФ сустава, вместо сгибания обоих суставов. Этот феномен можно наблюдать при вполне нормальной кисти, поскольку, в частности, ПСП мизинца обычно отсутствует или может иметь аномальные дистальные прикрепления.

Оптимальное соотношение длины–напряжения как ПСП, так и ГСП зависит от положения запястья. Если в запястье отсутствует сила противобаланса разгибателя, действующие с ладонной стороны силы ПСП и ГСП вызовут сгибание запястья. Если разрешить этим мышцам укорачиваться через запястье, произойдет сопутствующая потеря натяжения в более дистальных суставах. Фактически, если ПСП и ГСП позволить сгибать запястье, то одновременно полностью согнуть пальцы окажется невозможно. Создающая противобаланс сила разги-



*Рис. 5.15. Предмет с так называемой пистолетной рукояткой имеет большую окружность с локтевой стороны для предотвращения полного сгибания безымянного пальца и мизинца. Ограничение АД сохраняет для этих пальцев лучшее соотношение «длина–напряжение» при силовом хвате тяжелых предметов или использования предметов с большим усилием*

чевое расширение, или так называемую *пистолетную рукоятку* (рис. 5.15).

Это ограничивает ПФ/МФ сгибание безымянного пальца и мизинца и минимизирует потерю напряжения ПСП/ГСП. Так называемая *пистолетная рукоятка* у большей части инструментов является примером модификации предметов для оптимизации функции кисти.

**Механизм сгибания пальцев.** Оптимальная функция ПСП и ГСП зависит не только от мускулатуры запястья, но также от целостности механизмов скольжения сгибателей. Механизмы скольжения состоят из удерживателя сгибателей, связок, сумок и оболочек сухожилий пальцев.

Фиброзные структуры привязывают сухожилия длинного сгибателя к кисти; сумки и оболочки облегчают свободную от трения экскурсию сухожилий.

Удерживатель и связки препятствуют натягиванию сухожилий по типу тивы, результатом чего будет потеря экскурсии и рабочей эффективности сокращающихся мышц. Сухожилия должны быть надежно закреплены, но без помех их тяге или созданию функциональных сил, которые могут со временем вызывать дегенерацию сухожилий.

бателя обычно исходит от активного разгибателя запястья, такого как КЛРЗ или, в некоторых случаях, ОРП.

Большая амплитуда ПФ и МФ сгибания безымянного пальца и мизинца, чем указательного и среднего пальцев, может вызывать, при активном сгибании пальцев, некоторую относительную потерю напряжения локтевых ПСП и ГСП.

Поскольку длинные сгибатели безымянного пальца и мизинца могут укорачиваться по большей амплитуде, вероятность пассивной недостаточности этих мышц выше. Это не проблема, если не требуется силовой хват (например, когда человек держит стакан). В этом случае предмет может иметь коническое сужение в локтевом направлении, для адаптации к большей АД.

И наоборот, если предмет тяжелый или требует сильного захвата, он может иметь большее локтевое, чем лучевое

Когда сухожилия ПСП и ГСП пересекают запястье и подходят к кисти, они сначала проходят за проксимальным удерживателем сгибателей и через запястный туннель.

Трение между самими сухожилиями и трение проходящей сверху ПСЗ уменьшается лучевой и локтевой сумками, которые на этом уровне окутывают сухожилия сгибателя.

Восемь сухожилий глубоких и поверхностных сгибателей идут в общей сумке, называемой локтевой сумкой. Сумка разделена на отделения, предотвращающие трение сухожилий друг о друга.

ДСБП, который проходит вместе с ПСП и ГСП через запястный туннель, обернут собственной лучевой сумкой.

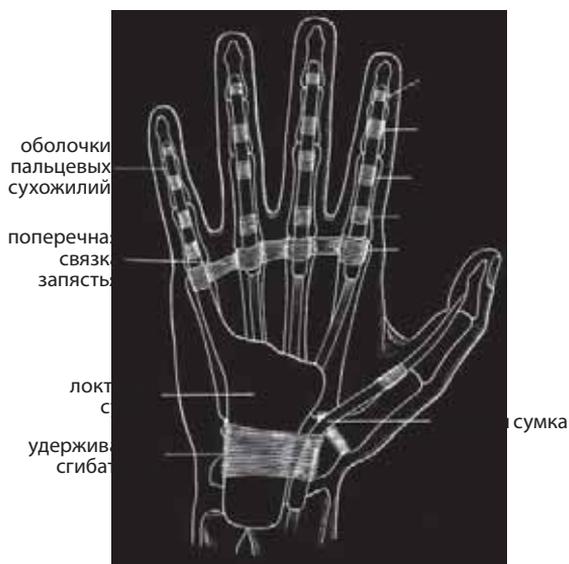
В лучевой и локтевой сумках находится жидкость, подобная синовиальной, сводящая силу трения к минимуму.

Паттерны сумок и сухожильных оболочек могут иметь индивидуальные различия. Наиболее общий признак — то, что локтевая сумка составляет одно целое с оболочкой пальцевого сухожилия мизинца.

Однако Phillips с коллегами показали наличие такой неразрывности локтевой сумки и мизинца в 60 исследованиях только у 30%. Обычно локтевая сумка не соединяется неразрывно с оболочками сухожилий указательного, среднего и безымянного пальцев. Окончание локтевой сумки этих пальцев наблюдается чуть дистальнее проксимальной ладонной складки, пальцевые же сухожилия начинаются в середине ладонных складок или дальше.

Лучевая сумка охватывает длинный сгибатель большого пальца и срастается с оболочкой его сухожилия (рис. 5.16).

Размер оболочек пальцевых сухожилий и их сообщение между собой являются функционально релевантными, поскольку инфекция в оболочке всегда распространяется по всей ее длине,



**Рис. 5.16.** Механизмы сгибателя пальцев и большого пальца включают в себя удерживатель сгибателей и поперечную связку запястья (ПСЗ), кольцевые блоки (A1–A5), лучевую и локтевую сумки и оболочки пальцевых сухожилий

вызывая весьма болезненный *тендосиновит*. Если оболочка составляет одно целое с локтевой или лучевой сумкой, инфекция распространяется и на ладонь (и наоборот).

Оболочки сухожилий каждого пальца заканчиваются несколько ближе прикрепления ГСП к основанию дистальной фаланги. Соответственно, если поранить или травмировать подушечки нескольких пальцев, переход инфекции на оболочки пальцевых сухожилий крайне маловероятен.

Сухожилия ГСП для каждого пальца проходят через пять фиброзно-костных туннелей, образованных так называемыми кольцевыми блоками (или влагалищными связками), а также под крестообразными связками (см. рис. 5.16).

Первые два кольцевых блока находятся близко друг к другу, один из них (блок А1) расположен на головке пястной кости, а второй (А2) — посередине ладонной поверхности стержня проксимальной фаланги. Дно первого блока образовано бороздой сгибателя в глубокой поперечной пястной связке; другие блоки прикреплены непосредственно к костям. Третий кольцевой блок (А3) находится в дистальной части проксимальной фаланги и четвертый (А4) — по центру средней фаланги. Пятый блок (А5) может располагаться в основании дистальной фаланги.

Основание блоков на кости длиннее, чем их верхняя, поверхностная часть, имеющая незначительную ладонную вогнутость (ее еще называют *крышей*).

Эта структура позволяет блокам сближаться на пределах сгибания, образуя как бы непрерывный туннель. Изгиб также позволяет фиброзно-костному туннелю оконтуривать легкую арочную затяжку сухожилия при сгибании, распределяя давление по всему туннелю, а не по краям.

Три крестообразные (перекрестные) связки также скрепляют сухожилия длинного сгибателя. Одна из них расположена между А2 и А3 и обозначается как С1; следующая связка (С2) лежит между А3 и А4 и последняя из них (С3) — между А4 и А5.

Структуры А4, А5 и С3 включают в себя только одно сухожилие ГСП, так как ПСП прикрепляется к средней фаланге, расположенной проксимально по отношению к данным структурам.

Кольцевые блоки и крестообразные связки имеют индивидуальные отличия, как в плане количества, так и размеров.

Был обнаружен дополнительный кольцевой блок, расположенный проксимально к А1 и называемый некоторыми авторами *ладонным апоневрозом* (ЛА).

Трение сухожилий ПСП и ГСП по кольцевым блокам и крестообразным связкам минимизировано за счет оболочек пальцевых сухожилий, которые охватывают их от точки, в которой сухожилие входит в самый проксимальный блок (ЛА или А1), до точки, в которой сухожилие ГСП проходит через самый дистальный блок или связку (С3 или А5).

Жидкость, типа синовиальной, содержащаяся в оболочках, позволяет сухожилиям скользить, не встречая связочных ограничений и не создавая усилий трения относительно друг друга. Это особенно важно для проксимальных фаланг, где сухожилие ПСП расходится по сторонам от сухожилия ГСП и снова соединяется перед прикреплением к средней фаланге.

Как только сухожилие ГСП заходит за последний кольцевой блок, оболочка его заканчивается, поскольку прекращается и потребность в смазке.

Для поддержания свойств синовиальной жидкости и питания сухожилий весьма важна сосудистая сеть. Непосредственная васкуляризация каждого сухожилия обеспечивается через сосуды, подходящие к сухожилию через сухожильную перевязку. Это складки синовиальной мембраны (обычно их четыре), по которым сосуды подходят к телу сухожилия и к местам сухожильных прикреплений обоих сгибателей к каждому из пальцев. Сухожилия также получают некоторую часть питания от синовиальной жидкости в оболочке и, посредством такого механизма, могут переносить даже частичную потерю васкуляризации.

Функция кольцевых блоков заключается в том, что они удерживают сухожилия сгибателя у кости, позволяя лишь минимуму натяжки и ладонного отклонения от оси сустава. Это, естественным образом, уменьшает ПМ, которое может увеличиваться при образовании арочной натяжки, но увеличивает как эффективность сухожильной экскурсии, так и эффективность работы длинных сгибателей.

Нарушение целостности любого кольцевого блока или пальцевого сухожилия может привести к существенному ухудшению функции ПСП и ГСП, или к структурной деформации. Из потенциально шести кольцевых блоков (ЛА и А1–А5) наибольшее значение для сохранения эффективности ПСП/ГСП имеет целостность А2, А3 и А4.

Механизм скольжения важен не только для правильного приложения сил активного сгибания пальцев, но также и для способности сухожилий к пассивной экскурсии при их разгибании.

Так называемый *палец стрелка* является хорошим примером нетрудоспособности, которая может возникать вследствие повторных травм сухожилия, последующего образования на нем узелков и утолщения кольцевого блока. Палец может лишиться либо способности к сгибанию, либо к последующему разгибанию.

**Наружные разгибатели пальцев.** Наружными разгибателями пальцев являются ОРП, СРУП и РМ. Поскольку каждая из этих мышц идет от предплечья к кисти, они все проходят под удерживателем разгибателей, который сохраняет их близость к суставам и повышает эффективность экскурсии.

Так как сухожилия проходят под удерживателем, каждое из них заключено в собственную оболочку, которая снимает проблему трения между самими сухо-

жилиями и между сухожилиями и удерживателем. Мембраны — перегородки удерживателя, через которые проходят сухожилия, прикрепляются к дорсальным связкам запястья и помогают сохранять стабильность сухожилий на тыльной стороне, а также помогают мышцам участвовать в разгибании запястья.

На дорсальной стороне нет общих сумок. Оболочки сухожилий не столь вариабельны и обширны, как оболочки сухожилий сгибателей; также отсутствуют кольцевые блоки.

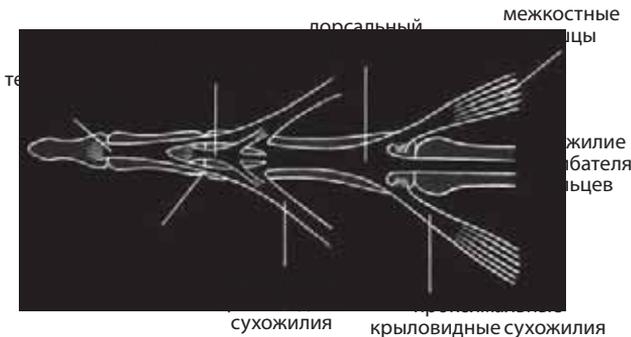
Примерно в районе ПФ сустава сухожилие ОРП сливается с широким апоневрозом, известным под названием *разгибательного капюшона*.

Дистальнее капюшона сухожилие ОРП продолжается в виде трех тяжей: центрального сухожилия, которое прикрепляется к основаниям средних фаланг, и двух латеральных тяжей, которые соединяются как терминальные сухожилия при прикреплении к основаниям дистальных *фаланг* (рис. 5.17).

СРУП и РМ входят в сухожилия ОРП указательного пальца и мизинца, соответственно, в капюшоне разгибателя или чуть проксимальнее него.

Учитывая прикрепления СРУП и РМ к структуре ОРП, представляется, что эти мышцы в большей степени добавляют взаимозависимости к действиям указательного и безымянного пальцев, чем силы или разнообразия. В сухожилиях ОРП, СРУП и РМ также наблюдается значительная вариабельность.

В большинстве случаев указательный палец имеет одно сухожилие ОРП, ведущее к капюшону разгибателя, и одно сухожилие СРУП, прикрепляющееся на его локтевой стороне. В мизинце сухожилие РМ может срачиваться с капюшоном разгибателя, при этом сухожилие ОРП отсутствует в 30% случаев. Средний и безымянный пальцы не имеют собственных вспомогательных разгибателей, но часто имеют два и даже три сухожилия ОРП, ведущих к капюшону.



**Рис. 5.17.** Вид механизма разгибателя сверху. На рисунке изображены: сухожилие разгибателя пальцев, дорсальный апоневроз, проксимальные и дистальные крыловидные сухожилия межкостных мышц, центральное сухожилие, латеральные тяжи и терминальное сухожилие

Сухожилия ОРП одного пальца также могут быть связаны с сухожилием (или сухожилиями) соседнего пальца при помощи связочного шва. Эти фиброзные соединения (хорошо просматриваемые вместе в сухожилиями разгибателя на тыльной части кисти) вызывают активное разгиба-

ние одного пальца вместе с пассивным разгибанием соседнего пальца — причем паттерны взаимозависимости могут варьировать в зависимости от соединений.

В целом, результатом соединений ОРП, СРУП, РМ и связочных швов является то, что разгибание указательного пальца отличается максимальной взаимозависимостью, а далее ее степень снижается в следующем порядке: мизинец, средний палец, безымянный палец.

ОРП, СРУП и РМ — единственные мышцы, способные производить разгибание ПФ суставов пальцев. Они также являются разгибателями запястья за счет постоянного действия.

Активное натяжение капюшона разгибателя одной или большим числом мышц вызовет разгибание ПФ сустава, несмотря на то что они не имеют конкретных прикреплений к проксимальной фаланге.

Хотя натяжение капюшона может вызывать разгибание ПФ сустава, центральное сухожилие и терминальное сухожилие, расположенные дистально от продолжения разгибателя, не натягиваются в достаточной степени, чтобы только наружные мышцы могли вызывать разгибание ПМФ и ДМФ суставов. Скорее, изолированное сокращение одного из наружных разгибателей вызывает гиперразгибание ПФ сустава вместе со сгибанием ПФ сустава.

Сгибание вызывается пассивным натяжением ПСП и ГСП при разгибании ПФ сустава. Активное разгибание МФ суставов требует участия двух внутренних групп мышц (межкостных и червеобразных), которые прикрепляются к капюшону разгибателя, центральному сухожилию или к латеральным тяжам. Эти внутренние мышцы вместе с наружными разгибателями, капюшоном разгибателя, центральным сухожилием, латеральными тяжами, терминальным сухожилием и косой связкой удерживателя вместе составляют механизм разгибателя.

Поскольку СРУП и РМ имеют общую иннервацию, прикрепления и функции с ОРП при выполнении его роли как части механизма разгибателя, с этого момента к рассмотрению ОРП следует добавлять участие СРУП и РМ. В целях краткости и ясности мы не будем каждый раз перечислять все три мышцы.

Теперь рассмотрим более подробно механизм разгибателя, а также участие в нем наружных разгибателей и внутренних мышц.

**Механизм разгибателя.** Структура механизма разгибателя каждого пальца (см. рис. 5.17) представлена сухожилием ОРП, его соединительнотканными продолжениями и соединениями (включая центральное сухожилие, латеральные тяжи центрального сухожилия и косые связки удерживателя) и волокнами дорсальных межкостных (ДМк), ладонных межкостных (ЛМк) и червеобразных мышц каждого пальца. Более подробная информация о составных частях будет представлена после описания структуры разгибателя.

Основание продолжения разгибателя образовано сухожилиями ОРП (вместе со СРУП и РМ). Кроме того, капюшон разгибателя имеет сагиттальные тяжи, которые соединяют ладонную поверхность капюшона с ладонными пластинками и поперечной пястной связкой. Сагиттальные тяжи помогают стабилизировать капюшон в ПФ суставе и предотвратить возникновение «тетивы», или «затяжки» механизма разгибателя, при разгибании ПФ сустава.

Дорсальные и ладонные межкостные мышцы прикрепляются проксимально к бокам пястных костей. Дистально некоторые мышечные волокна идут глубоко и прикрепляются непосредственно к проксимальной фаланге, тогда как другие волокна соединяются и образуют часть капюшона, который охватывает проксимальную фалангу.

Межкостные мышцы также входят частью волокон в центральное сухожилие и оба латеральных тяжа (рис. 5.18).

Червеобразные мышцы прикрепляются проксимально к сухожилиям ОРП и дистально — к лучевому латеральному тяжу. Латеральные тяжи дорсально связаны между собой треугольным тяжом поверхностных волокон, который называется *треугольной, или поперечной, удерживающей связкой*.

При добавлении косых связок удерживателя структура механизма разгибателя становится завершённой. Косые связки удерживателя (КСУ) отходят от обоих боков проксимальной фаланги и от боков кольцевого блока А2 с ладонной стороны. Дистально КСУ продолжается в виде узких тяжей, которые прикрепляются к латеральным тяжам дистально от ПМФ сустава (см. рис. 5.18).

Функцию механизма разгибателя можно теперь представить, рассмотрев более подробно активные и пассивные элементы и отношения соответствующих сегментов в каждом конкретном суставе.



**Рис. 5.18.** Каждая из косых связок удерживателя (КСУ) выходит из кольцевого блока на проксимальной фаланге и проходит дистально к латеральному тяжу механизма разгибателя. КСУ находится со стороны ладони относительно ПМФ сустава и дорсально относительно оси ДМФ сустава, имеет прикрепления к латеральному тяжу

### Влияние механизма разгибателя на функцию ПФ сустава.

В каждом ПФ суставе сухожилие ОРП проходит дорсально к оси сустава. Активное сокращение мышцы создает натяжение капюшона, тянет его проксимально над ПФ суставом и разгибает проксимальную фалангу.

Другие активные силы, являющиеся частью механизма разгибателя, создаются дорсальными

(тыльными) межкостными, ладонными межкостными и червеобразными мышцами. Каждая из этих мышц проходит с ладонной стороны по отношению к оси ПФ сустава и, таким образом, создает усилие сгибания.

Когда ОРП, межкостные и червеобразные мышцы сокращаются одновременно, ПФ сустав разгибается (как и МФ суставы), поскольку крутящий момент, создаваемый ОРП в МФ суставе, превышает момент сгибания, создаваемый внутренними мышцами.

Если внутренние мышцы неактивны, ОРП (как уже говорилось) вызовет гиперразгибание ПФ сустава и пассивное сгибание МФ суставов. Эта позиция пальца, известная как «скрюченная», является классическим зигзагообразным паттерном, наблюдаемым, когда нестабильный вставочный сегмент, такой как нестабильная проксимальная фаланга, разгибается ниже пястной кости, а средняя и дистальная фаланги сгибаются над ней. В норме коллапс предотвращается активным напряжением червеобразных или межкостных мышц, которые пересекают ПФ сустав спереди.

Когда эти мышцы отсутствуют, что наблюдается при повреждении локтевого нерва, противодействия ОРП не создается, и палец, сгибаясь, принимает форму когтя, что иногда упоминается как «внутренняя минус-позиция», поскольку связана она с отсутствием внутренних мышц пальца (рис. 5.19).

**Влияние механизма разгибателя на функцию МФ суставов.** ПМФ и ДМФ суставы объединены как пассивными, так и активными силами таким образом, что разгибание ДМФ сустава и разгибание ПМФ сустава взаимосвязаны: при активном разгибании ПМФ сустава ДМФ сустав также разгибается. Аналогичным образом активное разгибание ДМФ сустава вызывает разгибание и ПМФ сустава.

Эту взаимную зависимость можно понять, исследовав структурные отношения механизма разгибателя. Каждый ПМФ сустав дорсально пересекается центральным сухожилием и латеральными тяжами механизма разгибателя.



**Рис. 5.19.** В кисти с недостаточностью локтевого нерва (когтеобразная кисть), безымянный палец и мизинец дают гиперразгибание в ПФ суставе за счет ничем не ограничиваемого напряжения ОРП и сгибаются в МФ суставах за счет пассивного натяжения длинного сгибателя. Мизинец может давать еще и отведение (симптом Вартенбурга) за счет неограниченной тяги РМ

ОРП, межкостные и червеобразные мышцы имеют прикрепления на капюшоне, центральном сухожилии или латеральных тяжах либо проксимально к ПМФ суставу.

Соответственно, ОРП, межкостные и червеобразные мышцы даже по отдельности способны вызвать некоторое натяжение центрального сухожилия, латеральных тяжей и (через латеральные тяжи) терминального сухожилия, которое одновременно создает некоторую силу разгибания как в ПМФ, так и в ДМФ суставах.

Сокращение только ОРП разгибания МФ суставов не вызывает. Активное сокращение ДМк, ПМ или червеобразных мышц способно вызвать разгибание МФ суставов.

Однако, если одна и более внутренних мышц сокращается без сопутствующего сокращения ОРП, МФ суставы одновременно сгибаются, поскольку каждая из этих мышц проходит со стороны ладони по отношению к оси МФ сустава.

Хотя может показаться, что внутренние мышцы могут независимо разгибать МФ суставы, второй источник, пассивное натяжение разгибателя, может помогать активным внутренним мышцам.

Stack предположил, что межкостные и червеобразные мышцы не могут генерировать достаточное напряжение для МФ разгибания, в случае, если сухожилие ОРП совершенно провисло или порвано. Для полного разгибания МФ суставов необходимы два источника натяжения разгибателя. Первым источником обычно является активное сокращение одной и более внутренних мышц. Вторым источником может быть: либо активное сокращение ОРП (с активным разгибанием ПФ сустава), либо пассивное растягивание (созданное сгибанием ПФ сустава при сокращении внутренних мышц).

При параличе внутренней мускулатуры ОРП может быть способным к разгибанию МФ суставов, но только в случае, если ПФ сустав удерживается в сгибании некоторой внешней силой. Способность использовать ОРП для разгибания МФ суставов при пассивно сохраняемом сгибании ПФ сустава называется *симптомом Баннела*.

При растяжении, действующем на механизм разгибателя со стороны пассивного сгибания ПФ сустава (первый источник), дополнительное натяжение создается активным сокращением ОРП (второй источник). Эти два источника могут оказаться достаточными для полного или почти полного разгибания ПМФ и ДМФ суставов.

Пассивное сгибание ПФ сустава может обеспечиваться либо шиной, либо хирургической фиксацией ПФ суставов в полусогнутом положении.

Натяжению в латеральных тяжах дистально к ПМФ суставу и некоторой связи между ДМФ и ПМФ суставами может способствовать пассивное действие косых связок удерживателя.

КСУ проходит со стороны ладони вблизи от оси ПМФ сустава и дистально прикрепляется к латеральным тяжам. При разгибании ПМФ суставов (активном или пассивном) в КСУ может увеличиваться натяжение, если латеральные тяжи и их терминальное сухожилие уже натянuty за счет сгибания ДМФ сустава.

Соответственно, разгибание ПМФ сустава, при помощи пассивного натяжения КСУ, может способствовать разгибанию ДМФ сустава. Длины КСУ при этом таковы, что ее участие в разгибании ДМФ сустава может быть значительным только в первой половине амплитуды разгибания ДМФ сустава (от 90 до 45° сгибания), т.е. когда КСУ растянuty максимально.

В целом, структура продолжения разгибателя и ее активные и пассивные элементы содействуют связке при разгибании ПМФ и ДМФ суставов.

Сгибание ДМФ сустава создает сгибание ПМФ сустава за счет аналогичной комбинации активных и пассивных сил, которые связывают разгибание этих двух суставов.

Когда ДМФ сустав согнут, одновременное усилие сгибания передается через оба сустава, которые он пересекает. Однако активная сила может быть недостаточна для создания сгибания ПМФ сустава, если одновременно не начинают действовать силы, ограничивающие разгибатель.

Когда ДМФ сустав начинает сгибаться, терминальное сухожилие и его латеральные тяжи растягиваются над дорсальной поверхностью ДМФ сустава. Вытягивание латеральных тяжей тянет капюшон разгибателя (откуда отходят латеральные тяжи) дистально. Дистальная миграция капюшона разгибателя создает расслабление центрального сухожилия капюшона, облегчая тем самым сгибание ПМФ сустава.

Комбинация активной (ГСП) и пассивной силы (расслабление центрального сухожилия) все еще может быть недостаточной для сгибания ПМФ сустава, если латеральные тяжи на дорсальном аспекте ПМФ сустава остаются натянутыми. Тяжи при этом могут смещаться в сторону ладони за счет упругости связующей треугольной связки.

Посредством комбинации активных и пассивных механизмов как активное, так и пассивное сгибание ДМФ сустава обычно вызывает одновременное сгибание ПМФ сустава.

Некоторые люди умеют преодолевать обычное сочетание сгибания ДМФ и ПМФ суставов, т.е. они умеют активно сгибать ДМФ сустав, сохраняя ПМФ сустав в разогнутом состоянии. Этот «трюк» связан с влиянием КСУ и требует некоторого гиперразгибания ПМФ сустава пальца.

Когда ПМФ сустав можно в достаточной степени переразогнуть, КСУ (обычно находящаяся слегка со стороны ладони относительно оси ПМФ сустава) переходит в дорсальное положение относительно той же оси. Теперь натяжение КСУ, происходящее за счет активного сгибания ДМФ сустава, усиливает разги-

бание ПМФ сустава, поскольку перемещение КСУ заставляет ее действовать в качестве пассивного разгибателя. Функциональной цели подобный трюк не имеет и может выполняться только теми людьми, пальцы которых приспособлены для гиперразгибания ПМФ сустава.

Функциональное сочетание действий ПМФ/ДМФ суставов можно продемонстрировать на примере другой связи ПМФ/ДМФ. При полном активном сгибании ПМФ сустава при помощи ПСП или его пассивном сгибании, вызванном какой-либо внешней силой, активное разгибание ДМФ сустава невозможно.

Когда ПМФ сустав согнут, дорсально расположенное центральное сухожилие прогрессивно растягивается. Натянутое центральное сухожилие тянет капюшон разгибателя (откуда, собственно, и выходит центральное сухожилие) в дистальном направлении. Это дистальное движение капюшона несколько ослабляет натяжение латеральных тяжей. Они еще больше расслабляются, когда слегка расходятся и смещаются в ладонном направлении вокруг сгибающегося ПМФ сустава. Расслабление латеральных тяжей вызывает расслабление и терминального сухожилия дистальной фаланги.

При достижении 90° сгибания ПМФ сустава потеря натяжения терминального сухожилия полостью устраняет силу разгибания в ДМФ суставе, включая любое потенциальное участие КСУ, которая также приходит в расслабление при сгибании ПМФ сустава.

Хотя ДМФ сустав может активно сгибаться под воздействием ГСП даже при уже согнутом ПМФ суставе, он не может прийти в состояние обратного активного разгибания, пока в состоянии сгибания будет оставаться ПМФ сустав.

Сочетанные действия ПМФ и ДМФ суставов можно суммировать следующим образом:

- ◆ активное разгибание ПМФ сустава обычно должно сопровождаться сгибанием ДМФ сустава;
- ◆ пассивное или активное сгибание ДМФ сустава обычно должно сопровождаться сгибанием ПМФ сустава;
- ◆ полное сгибание ПМФ сустава (активное или пассивное) не позволяет выполнить активное разгибание ДМФ сустава.

**Внутренние мышцы пальцев. Дорсальные и ладонные межкостные мышцы.** Дорсальные (ДМк) и ладонные межкостные (ЛМк) мышцы представляют собой группы мышц, начинающихся между пястными костями и прикрепляющихся к основаниям проксимальных фаланг или к продолжению разгибателя.

Есть четыре ДМк мышцы (по одной на каждый палец) и от трех до четырех ЛМк мышц. Многие (но не все) книги по анатомии рассматривают большой палец как первый палец, имеющий ЛМк мышцу.

Mardel и Underwood считают, что расхождения во мнениях связаны с тем, что некоторые авторы считают эту мышцу отдельной ладонной межкостной мышцей, а другие — частью короткого сгибателя большого пальца.

Хотя мы будем рассматривать большой палец как первый, имеющий ЛМк мышцу, в настоящий момент мы будем иметь дело только с действием ДМк и ЛМк мышц остальных четырех пальцев. Поскольку ДМк и ЛМк мышцы схожи по расположению, а некоторые из них — и по действию, их характеризуют по способности выполнять приведение и, соответственно, отведение в ПФ суставе.

Недавно опубликованные дополнительные данные по прикреплениям этих мышц улучшили наше понимание их участия в функции кисти. Рассмотрим, как прикрепления межкостных мышц влияют на их роль сгибателей или стабилизаторов ПФ сустава и разгибателей МФ суставов.

Волокна межкостной мышцы соединяются с продолжением разгибателя в двух местах. Некоторые волокна прикрепляются проксимально к проксимальной фаланге и к капюшону разгибателя через так называемые проксимальные крыловидные сухожилия; некоторые волокна прикрепляются более дистально к латеральным тяжам и центральному сухожилию через дистальные крыловидные сухожилия (см. рис. 5.17, 5.18).

Хотя индивидуальные различия в прикреплениях мышц и существуют, исследования показали достаточное постоянство точек прикрепления разных межкостных мышц.

Первая ДМк мышца имеет наиболее постоянное место прикрепления из всей группы, соединяясь непосредственно с костной основой проксимальной фаланги и капюшоном разгибателя через проксимальные крыловидные сухожилия, дистальные крыловидные сухожилия здесь не присутствуют.

Три ДМк мышцы среднего и безымянного пальцев имеют как проксимальные, так и дистальные крыловидные сухожилия, прикрепляющие их к латеральным тяжам и центральному сухожилию. Проксимальные и дистальные крыловидные сухожилия ДМк мышц обычно идут от различных брюшек: брюшко, от которого отходит дистальное крыловидное сухожилие, напоминает ладонную межкостную мышцу.

Мизинец ДМк мышцы не имеет. Этой мышцей, по сути, является отводящая мышца мизинца (ОММ), обычно имеющая только проксимальное крыловидное сухожилие. Три ЛМк мышцы имеют, как правило, только дистальные крыловидные сухожилия, без проксимальных прикреплений.

С учетом проксимальных и дистальных крыловидных сухожилий ДМк, ЛМк мышц и ОММ эти мышцы можно характеризовать не только как отводящие и приводящие мышцы мизинца, но также как проксимальные или дистальные межкостные мышцы, в соответствии с паттерном их прикрепления.

Проксимальные межкостные мышцы могут преимущественно действовать на ПФ сустав сами, тогда как дистальные межкостные мышцы оказывают действие преимущественно на МФ суставы, но при непрерывном действии затрагивают и ПФ сустав.

Все ДМк и ЛМк мышцы (независимо от того, относятся они к проксимальным, или к дистальным) проходят дорсально по отношению к поперечной пястной связке (см. рис. 5.18), но с ладонной стороны относительно оси сгибания/разгибания ПФ сустава. Таким образом, все межкостные мышцы потенциально являются сгибателями ПФ сустава. Способность межкостных мышц сгибать ПФ сустав вместе с тем будет варьировать в зависимости от его позиции и наличия проксимальных (по сравнению с дистальными) крыловидных сухожилий.

**Роль межкостных мышц в ПФ суставе при ПФ разгибании.** Когда ПФ сустав находится в разгибании, ПМ (ротационный компонент) всех межкостных мышц для ПФ сгибания настолько мал, что крутящим моментом сгибания можно, по сути, пренебречь (см. рис. 5.18).

Поскольку линия действия проходит почти точно через фронтальную ось, межкостные мышцы оказываются весьма эффективными стабилизаторами (компрессорами) ПФ сустава, когда он находится в разгибании. Эта стабилизирующая функция не дает нестабильному проксимальному сегменту коллапсировать и занять «скрюченную» позицию.

Стабилизирующая функция межкостных мышц осуществляется, по всей видимости, за счет их пассивного вязкоупругого натяжения. Обычно ЭМГ активности межкостных мышц, когда кисть находится в положении покоя, не отмечается. Ее также не отмечается при изолированной активности ОРП или комбинированной активности ОРП/ГСП. Кроме того, когда эта деятельность происходит при длительно парализованном локтевом нерве (т.е. межкостные мышцы не работают), результатом будет явное гиперразгибание ПФ сустава (скрючивание).

Если кисть в покое, но присутствует недостаточность локтевого нерва, скрюченная позиция наблюдаться не будет до тех пор, пока вязкоупругие свойства межкостных мышц не потеряны вследствие атрофии. Когда возникает атрофия, свидетельством доминирования натяжения ОРП, даже в состоянии расслабления, является положение ПФ суставов всех пальцев в покое.

При незначительном повреждении локтевого нерва указательный и средний пальцы сохраняют червеобразные мышцы, равно как и внешние сгибатели. Потеря межкостных мышц отражается в нейтральном положении ПФ сустава, а не в небольшом сгибании, как можно было бы ожидать.

Безымянному пальцу и мизинцу будет не хватать как межкостных, так и червеобразных мышц. Несмотря на наличие ПСП и ГСП, в положении покоя ука-

зательный палец и мизинец будут, по прошествии некоторого времени, в положении гиперразгибания ПФ сустава или в скрюченной позиции.

Мизинец, вследствие потери внутренних мышц, может принимать также положение отведения в ПФ суставе.

Отведение мизинца (*симптом Вартенберга*) при недостаточности локтевого нерва может быть следствием несбалансированной тяги РМ у людей, которые имеют непосредственное соединение РМ с бугорком отводящей мышцы — это единственное сухожилие, имеющее прикрепление к проксимальной фаланге у значительного числа людей.

При разгибании ПФ сустава межкостные мышцы (и ОММ) находятся на довольно большом расстоянии от ПЗ оси приведения/отведения ПФ сустава. Соответственно, при разгибании ПФ сустава межкостные мышцы (и ОММ) являются эффективными отводящими или приводящими мышцами ПФ сустава без потери натяжения, которая может происходить, если мышцы одновременно выполняют сгибание в ПФ суставе.

Межкостные мышцы с проксимальными крыловидными сухожилиями эффективнее, чем отводящие/приводящие мышцы ПФ сустава, потому что проксимальные крыловидные сухожилия действуют непосредственно на проксимальную фалангу.

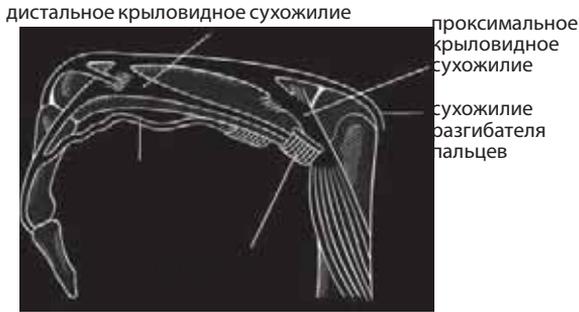
Межкостные мышцы с дистальными крыловидными сухожилиями менее эффективны в отношении ПФ сустава, так как они должны влиять на него непрерывно.

В нашей концептуальной структуре все ДМк мышцы (мышцы отведения ПФ сустава) имеют проксимальные крыловидные сухожилия, а ЛМк мышцы (мышцы приведения ПФ сустава) — только дистальные крыловидные сухожилия. Таким образом, отведение в ПФ суставе сильнее, чем его приведение.

ДМк мышцы также вдвое превышают ЛМк мышцы по массе. При прогрессирующем параличе локтевого нерва относительно неэффективный компонент приведения ПФ сустава ладонными межкостными мышцами будет первым, который продемонстрирует слабость.

**Роль межкостных мышц при сгибании в ПФ суставе.** Когда ПФ сустав находится в сгибании, линии действия межкостных мышц лежат более со стороны ладони относительно оси ПФ сустава, чем при разгибании. Фактически при полном ПФ сгибании линии действия межкостных мышц почти перпендикулярны движущемуся сегменту (проксимальной фаланге) (рис. 5.20).

Соответственно, способность межкостных мышц к созданию крутящего момента сгибания увеличивается по мере того, как сустав переходит от полного разгибания к полному сгибанию. Одновременно коллатеральные связки ПФ сустава все больше натягиваются. Увеличивающееся натяжение коллатеральных связок помогает предотвратить потерю напряжения в межкостных мышцах, которое может наблюдаться



**Рис. 5.20.** Полное сгибание ПМФ сустава ослабляет натяжение латеральных тяжей и косую связку удерживателя (КСУ). Соответственно, терминальное сухожилие расслабляется, и ДМФ сустав не может активно разгибаться

ограничивается расположением их сухожилий позади поперечной пястной связки. Связка ограничивает амплитуду ладонной экскурсии. Однако даже при относительно небольшом ПМ сгибания ПФ сустава (в согнутом положении) межкостные мышцы считаются сильными пястно-фаланговыми сгибателями, которые способствуют действиям, когда нужен сильный щипок либо хват.

**Роль межкостных мышц в МФ суставах при их разгибании.** Способность межкостных мышц вызывать разгибание МФ сустава контролируется дистальными крыловидными сухожилиями ДМк и ЛМк мышц.

Для того чтобы создать достаточное для разгибания МФ суставов натяжение механизма разгибателя, мышцы должны прикрепляться к центральному сухожилию или латеральным тяжам. Все межкостные мышцы (ладонные и дорсальные) обычно имеют дистальные крыловидные сухожилия, за исключением первой ДМк мышцы (указательный палец) и ОММ (мизинец), иначе говоря, все межкостные мышцы имеют дистальные прикрепления, за исключением двух наружных отводящих мышц.

Когда МФ сустав разогнут, линии действия дистальных крыловидных сухожилий неэффективны для выполнения сгибания ПФ сустава, но способны к разгибанию МФ суставов. Поскольку дистальные крыловидные сухожилия прикрепляются непосредственно к центральному сухожилию и латеральным тяжам, разгибание МФ суставов, вызываемое дистальными крыловидными сухожилиями, сильнее, чем их отводящее/приводящее действие в ПФ суставе (которое выполняется за счет непрерывного действия).

Когда ПФ сустав находится в сгибании, линии действия дистальных крыловидных сухожилий смещаются в ПФ суставе в ладонную сторону, но ладонная экскурсия их при этом ограничивается поперечной пястной связкой.

ся при одновременном сгибании и отведении/приведении ПФ сустава.

При полном сгибании ПФ сустава приведение и отведение полностью блокируются жесткими коллатеральными связками, формой мышцелков готовки пястной кости и активной недостаточностью полностью укоротившихся межкостных мышц.

Даже при полном сгибании в ПФ суставе ПМ сгибания межкостных мышц

Поперечная пястная связка удерживает дистальные крыловидные сухожилия от связанного с ладонным смещением провисания и оказывает блоковое действие на дистальные сухожилия. Блоковый эффект поперечной пястной связки расширяет функцию дистальных крыловидных сухожилий, потому что разгибание МФ сустава дистальными крыловидными сухожилиями представляется более эффективным при ПФ сгибании, чем при разгибании.

Указательный палец и мизинец имеют только по одной межкостной мышце с дистальным крыловидным сухожилием (вторая и четвертая ЛМк мышцы соответственно). Средний и безымянный пальцы имеют по две дистальные крыловидные связки (вторая и третья ДМк мышцы на среднем пальце и четвертая ДМк и ЛМк мышцы на безымянном пальце). Таким образом, указательный палец и мизинец при МФ разгибании слабее, чем средний и безымянный пальцы.

В целом, при приближении или удерживании положения ПФ сгибания и МФ разгибания, как проксимальные, так и дистальные крыловидные сухожилия межкостных мышц способствуют созданию крутящего момента ПФ сгибания. Проксимальными компонентами являются эффективные сгибатели ПФ сустава, а дистальными компонентами — максимально эффективные ПФ сгибатели и МФ разгибатели.

Наиболее устойчивая активность всех межкостных мышц наблюдается, когда ПФ сустава сгибаются, а МФ суставы одновременно разгибаются. Если межкостные мышцы укорачиваются, это положение не может быть пассивно обратимым.

Суммарно все действия межкостных мышц сведены в табл. 5.1.

**Червеобразные мышцы** — это единственные мышцы тела, которые с обоих концов присоединяются к сухожилиям других мышц.

Каждая мышца отходит от сухожилия ГСП в ладони, проходит со стороны ладони относительно поперечной пястной связки и прикрепляется к латеральному тяжу механизма разгибателя со стороны лучевой кости (рис. 5.21, *a*).

Так же как и межкостные, червеобразные мышцы пересекают ПФ сустав с ладонной стороны и МФ суставы — с дорсальной. Различия в функции этих двух мышечных групп объясняются более дистальным прикреплением червеобразных мышц на латеральном тяже, их началом на глубоком сухожилии и бóльшим диапазоном сокращения.

Прикрепление червеобразных мышц на дистальных латеральных тяжах делает их устойчиво эффективными разгибателями МФ суставов, независимо от положения ПФ сустава; поперечная пястная связка предотвращает червеобразные мышцы от дорсального смещения и потери напряжения при разгибании МФ сустава.

Исследования показали, что червеобразные мышцы чаще бывают активны как разгибатели МФ суставов при разогнутом положении МФ сустава, чем межкостные мышцы.

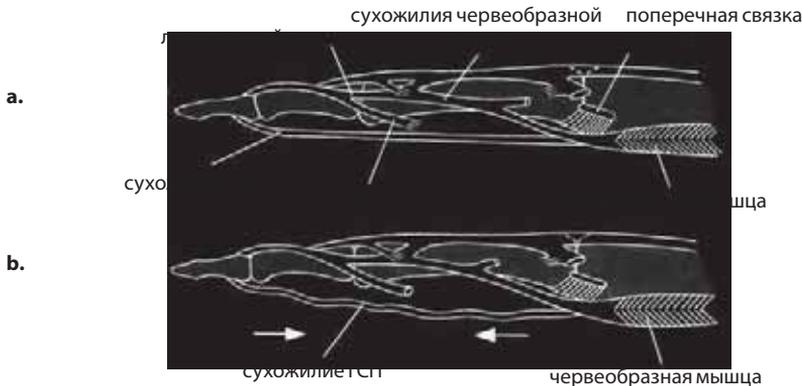
Таблица 5.1

## Деятельность межкостных мышц

Мышца	Прикрепления	Действие	
		ПФ сустав разогнут	ПФ сустав согнут
<i>Указательный палец</i>			
ДМк	Только проксимальные	ПФ отведение	ПФ сгибание
ЛМк	Только дистальные	МФ разгибание и ПФ приведение	МФ разгибание и ПФ сгибание*
<i>Средний палец</i>			
ДМк	Проксимальные и дистальные	ПФ отведение и МФ разгибание	ПФ сгибание и МФ разгибание
ЛМк	Проксимальные и дистальные	ПФ отведение и МФ разгибание	ПФ сгибание и МФ разгибание
<i>Безымянный палец</i>			
ДМк	Проксимальные и дистальные	ПФ отведение и МФ разгибание	ПФ сгибание и МФ разгибание
ЛМк	Только дистальные	МФ разгибание и ПФ приведение*	ПФ сгибание и МФ разгибание*
<i>Мизинец</i>			
ДМк	Только проксимальные	ПФ отведение	ПФ сгибание
ЛМк	Только дистальные	МФ разгибание и ПФ приведение*	ПФ сгибание и МФ разгибание*

*Примечание:* происходит косвенно, за счет непрерывного действия: ДМк — дорсальные межкостные; ЛМк — ладонные межкостные; ПФ — пястно-фаланговый; МФ — межфаланговый.

Когда сокращается червеобразная мышца, она тянет не только за дистальное прикрепление (латеральный тяж), но и за проксимальное прикрепление (сухожилие ГСП). Так как проксимальное прикрепление червеобразной мышцы находится на достаточно подвижном сухожилии, укорочение червеобразной мышцы не только тянет латеральные тяжи проксимально, на разгибание МФ



**Рис. 5.21.** *a* — червеобразная мышца отходит от сухожилия глубокого сгибателя пальца (ГСП). Червеобразная мышца проходит со стороны ладони относительно поперечной пястной связки и идет дорсально, прикрепляясь к латеральному тяжу механизма разгибателя; *b* — активное сокращение червеобразной мышцы тянет как сухожилие ГСП, так и за латеральный тяж. Тяга сухожилия ГСП сдвигает сухожилие дистально, высвобождая пассивное натяжение сухожилий в ПМФ и ДМФ суставах

суставов, но также тянет дистально сухожилие ГСП в ладони. Дистальное смещение сухожилия ГСП высвобождает достаточную пассивную силу неактивного ГСП в ПФ и МФ суставах (рис. 5.21, *b*).

Ranney и Wells подтвердили эти данные: они показали, что МФ суставы не разгибаются, пока напряжение в червеобразных мышцах не уравнивается с напряжением в ГСП, что позволяет червеобразным мышцам тянуть сухожилие ГСП дистально. Таким образом, червеобразные мышцы можно рассматривать, и как агонисты, и как синергисты МФ разгибания. Натяжение в червеобразных мышцах, передаваемое на латеральные тяжи, создает МФ разгибание; при этом червеобразные мышцы одновременно расслабляют антагонистическое натяжение сухожилия ГСП.

Дистальные крыловидные сухожилия межкостных мышц также могут разгибать МФ суставы. Однако в этом качестве в отсутствие червеобразных мышц они менее эффективны, поскольку межкостные мышцы не имеют такой же способности высвобождать пассивное сопротивление сухожилия ГСП разгибанию МФ сустава.

Следует также подчеркнуть, что натяжение ГСП и механизма разгибателя очень важно для функции червеобразных мышц. Если бы пассивное натяжение в неактивном ГСП отсутствовало, активное сокращение червеобразных мышц утянуло бы сухожилие ГСП так далеко, что мышца стала бы активно недостаточной и эффективной тяги червеобразных мышц на продолжение разгибателя не оказывалось бы.

Аналогичным образом натяжение (активное или пассивное) сухожилия ОРП и продолжения разгибателя необходимы, прежде чем вторичный источник натяжения сможет стать эффективным при полном разгибании обоих МФ суставов.

Червеобразные мышцы имеют большее ПМ для сгибания ПФ сустава, чем межкостные, поскольку они находятся ладонно по отношению к межкостным мышцам. Функционально, однако, этот компонент действия червеобразных мышц слабее, чем межкостных мышц. Эта относительная слабость может быть связана с небольшой площадью поперечного сечения червеобразных мышц по сравнению с межкостными. Однако остается еще подвижное прикрепление червеобразных мышц на сухожилии ГСП. Сокращение червеобразных мышц заставляет связанные с ними ГСП сдвигаться дистально и перемещает вместе с ними червеобразные мышцы. Дистальное смещение сухожилия ГСП и червеобразных мышц влияет как на ослабление пассивного натяжения неактивного ГСП, которое может способствовать сгибанию ПФ сустава, так и на минимизацию червеобразных мышц в ПФ суставе.

Хотя червеобразные мышцы не слишком способствуют сгибанию ПФ сустава, это действие не ослабляет их эффективность как разгибателей МФ суставов.

Необычно большой сократительный диапазон червеобразных мышц сохраняет их от активной недостаточности при укорочении как в ПФ, так и МФ суставах.

Червеобразные мышцы могут также косвенно помогать ГСП при закрытии кисти. Когда сокращается ГСП, его сухожилие движется проксимально, как и связанная с ним червеобразная мышца. Это создает пассивную тягу червеобразной мышцы на латеральном тяже при закрытии кисти, что может помогать ГСП при сгибании ПФ сустава до сгибания МФ.

Итак, функция червеобразных мышц проще, чем межкостных. Червеобразные мышцы являются сильными разгибателями МФ суставов независимо от положения ПФ сустава; они также являются относительно слабыми сгибателями ПФ сустава независимо от его положения. Способность червеобразных мышц разгибать МФ суставы зависит только от целостного натяжения механизма разгибателя и сухожилия ГСП.

Когда червеобразные и межкостные мышцы действуют вместе, но без каких-либо наружных мышц пальцев, эти мышцы создают сгибание ПФ сустава и разгибание МФ суставов, т.н. *внутреннее положение кисти*.

### 5.2.3. СТРУКТУРА БОЛЬШОГО ПАЛЬЦА

**ПЗ (пястно-запястный) сустав большого пальца.** ПЗ сустав большого пальца — это сочленение между костью-трапецией и основанием первой пястной кости. В отличие от аналогичных суставов других пальцев это седлообразный сустав с двумя степенями свободы: сгибание/разгибание и отведение/приведение (рис. 5.22).

Сустав также позволяет выполнять некоторую осевую ротацию, которая совершается одновременно с другими движениями. Чистый эффект в этом суставе — вращательное движение, которое чаще называют противопоставлением. Противопоставление позволяет кончику большого пальца противостоять кончикам других пальцев.

**Строение первого ПЗ сустава.** Zancolli и сотрудники предположили, что поверхности первого ПЗ сустава состоят не только из традиционно описываемых седлообразных поверхностей, но также из сферической части, расположенной около переднего лучевого бугорка кости-трапеции.

Седлообразная часть трапеции вогнута в сагиттальной плоскости (отведение/приведение) и выпукла во фронтальной плоскости (сгибание/разгибание). Сферическая часть выпукла во всех направлениях.

Основание первой пястной кости имеет реципрокную форму (см. рис. 5.22).

Сгибание/разгибание и отведение/приведение происходят на седлообразных поверхностях, а осевая ротация пястной кости, которая сопровождает противопоставление, — на поверхностях сферической формы. Сгибание/разгибание

сустава происходит вокруг чуть ко-  
сой переднезадней оси, а приведе-  
ние/отведение — по косо́й  
от фронтальной оси. Скос движе-  
ний происходит из-за наклона ко-  
сти-трапеции. Вследствие этого  
сгибание/разгибание идет почти  
параллельно ладони, а отведение/  
приведение — почти перпендику-  
лярно ей.

Соопеу с сотрудниками показали, что АД первого ПЗ сустава  
в среднем равна  $53^\circ$  сгибания/раз-  
гибания,  $42^\circ$  отведения/приведения  
и  $17^\circ$  ротации.

Капсула ПЗ сустава относитель-  
но свободна, но усилена лучевой,  
локтевой, ладонной и дорсальной  
связками. Имеется также межпяст-  
ная связка, которая помогает стяги-  
вать вместе основания первой  
и второй пястных костей, препят-  
ствуя предельному лучевому и дор-  
сальному смещению основания  
первой пястной кости.

Хотя некоторые исследователи утверждают, что осевая ротация, наблюдаемая  
в пястной кости при противопоставлении, есть функция неконгруэнтности  
и вялости сустава, Zancolli и коллеги выдвинули теорию, что она является ре-  
зультатом конгруэнтности сферических поверхностей и равнодействующей  
натяжений, встречающихся в поддерживающих связках; однако представляется,  
что некоторая неконгруэнтность в суставе присутствует.

Остеоартритные возрастные изменения первого ПЗ сустава широко распро-  
странены и могут быть связаны с сильными нагрузками на неконгруэнтные  
поверхности, которым этот сустав подвергается при щипках и хвате.

Ateshian и сотрудники обнаружили половые различия совместимости тра-  
пеции и пястной кости, причем в группе пожилых людей несовместимость была  
у женщин больше, чем у мужчин. Это соответствует бо́льшей распространенно-  
сти остеоартрита первого ПЗ сустава у пожилых женщин, однако не объясняет,  
является ли неконгруэнтность трапеции причиной дегенеративных изменений  
или их следствием.



*Рис. 5.22. Седлообразная часть трапеции  
вогнута в сагиттальной плоскости  
(отведение/приведение) и выпукла  
во фронтальной плоскости (сгибание/  
разгибание). Сферическая часть, находящаяся  
около переднего лучевого бугорка, выпукла  
во всех направлениях. Основание первой  
пястной кости имеет форму, обратную  
форме трапеции*

Первый ПЗ сустав плотно упакован как при предельных значениях приведения, так и отведения, максимальная его подвижность наблюдается в нейтральном положении.

**Функция первого ПЗ сустава.** Именно уникальная амплитуда и направление движений первого ПЗ сустава создают противопоставление большого пальца. Противопоставление есть последовательное отведение, сгибание и приведение первой пястной кости с одновременной ротацией. Эти движения изменяют ориентацию пястной кости, отводят большой палец от ладони и приводят его в положение контакта с остальными пальцами.

Функциональное значение ПЗ сустава большого пальца и движения противопоставления воспринимается, когда человек осознает, что использование большого пальца в контакте с остальными характерно для всех форм захватов (т.е. как хвата, так и тонкой ручной работы).

Если первый ПЗ сустав срастается в положении разгибания и приведения, противопоставление невозможно. Важность противопоставления такова, что через некоторое время после сращения первого ПЗ сустава может наступить адаптация в трапезие-ладьевидном суставе, конфигурация которого приобретает более седлообразную форму, вследствие чего часть утерянного противопоставления может восстанавливаться. Это удивительное отклонение в функции сустава — отличный пример способности тела при любой возможности возмещать необходимые функции.

**ПФ и МФ суставы большого пальца.** ПФ сустав большого пальца есть сочленение между головкой первой пястной кости и основанием проксимальной фаланги. Он считается мышечковым суставом с двумя степенями свободы: сгибание/разгибание и отведение/приведение. Допускается небольшая пассивная ротация.

Головка пястной кости дорсально и латерально хрящом не покрыта и больше напоминает головку проксимальной фаланги, если не учитывать отсутствие центральной борозды.

Суставная капсула, усиливающая ладонная пластинка и коллатеральные связки такие же, как и в ПФ суставах других пальцев.

Основное функциональное участие первого ПФ сустава состоит в том, что он обеспечивает дополнительную амплитуду сгибания большого пальца при противопоставлении и позволяет ему захватывать и облегать предметы.

Несмотря на структурные сходства ПФ суставов, подвижность первого ПФ сустава гораздо более ограничена, чем суставов остальных пальцев. Хотя амплитуда имеет значительные индивидуальные различия, первый ПФ сустав редко может сгибаться хотя бы до половины того, что наблюдается в остальных пальцах. Крайне невелико, если вообще возможно, его гиперразгибание, ограничены отведение/приведение и ротация. Ограничение подвижности связано, по всей

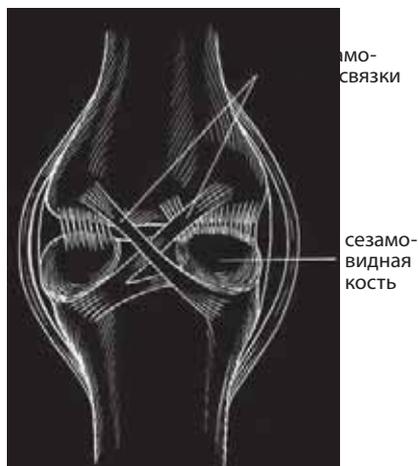
видимости, с основным структурным различием между ПФ суставами большого и всех остальных пальцев.

Первый ПФ сустав усилен снаружи ладонной поверхности капсулы двумя сезамовидными костями (рис. 5.23).

Они удерживаются в своем положении волокнами коллатеральных связок и межсезамовидной связкой.

Goldberg и Nathan предполагают, что сезамовидные кости являются результатом трения и давления на сухожилия, в которые они завернуты. Они подкрепляют это утверждение, замечая, что сезамовидные кости первого ПФ сустава не появляются примерно до 12-летнего возраста и что в некоторых исследованиях сезамовидные кости обнаруживались в 70% пятых ПФ суставов и 50% вторых ПФ суставов.

МФ сустав большого пальца — это сочленение между головкой проксимальной фаланги и основанием дистальной фаланги. Структурно и функционально они идентичны МФ суставам других пальцев.



*Рис. 5.23. Пястно-фаланговый сустав большого пальца. В отличие от ПФ суставов других пальцев он усилен с ладонной стороны двумя сезамовидными костями и межсезамовидными связками, которые прикрепляют их к суставу*

#### 5.2.4. МУСКУЛАТУРА БОЛЬШОГО ПАЛЬЦА

Мышцы большого пальца часто сравнивают с растяжками, удерживающими флагшток, где каждый трос должен осуществлять эффективную постоянную тягу в каждом из направлений, чтобы флагшток был устойчивым.

Пястная кость, проксимальная и дистальная фаланги образуют тип сочлененного стержня, который «сидит» на кости-трапеции. Как и в случае с флагштоком, натяжение мышечных растяжек должно осуществляться во всех направлениях для поддержания стабильности.

Поскольку устойчивость обеспечивается в большей степени мышцами, чем суставными ограничителями (по крайней мере, в ПЗ суставе), большинство мышц, прикрепляющихся к большому пальцу, активно во время большинства его движений.

У здоровых людей существует также существенная индивидуальная вариативность двигательных стратегий. Вследствие этого исследование мышечной функции большого пальца (и, в несколько меньшей степени, функции кисти)

направлено не на функционирование мышц, а на то, когда, в зависимости от задачи, начинается преобладание определенной мышечной активности.

Роль наружных и внутренних мышц большого пальца будет представлена в общем виде, как и в последнем разделе данной главы, посвященном хватанию.

**Наружные мышцы большого пальца.** Наружных мышц четыре: одна располагается с ладонной стороны, три — с дорсально-лучевой.

ДСБП присоединяется к дистальной фаланге и является коррелятом ГСП. Сухожилие ДСБП помещено в лучевую сумку, которая непрерывно связана с оболочкой пальцевого сухожилия.

Это единственная мышца, способная сгибать дистальную фалангу большого пальца. Ее сухожилие идет между сезамовидными костями, которые обеспечивают ему некоторую защиту. КРБП и ДОМБП идут по общему пути от дорсальной стороны предплечья, пересекая запястье по лучевой стороне своего прикрепления.

Короткий разгибатель (КРБП) прикрепляется к проксимальной фаланге, длинная отводящая мышца (ДОМБП) — к основанию пястной кости.

Обе мышцы производят незначительное лучевое отклонение запястья и отведение ПЗ сустава. КРБП также разгибает ПФ сустав.

Сухожилия как ДОМБП, так и КРБП проходят в общем компартменте, в удерживателе разгибателя запястья, близко к лучевому шиловидному отростку. Защемление и воспаление этих сухожилий довольно распространено и вызывает тендосиновит, известный как *болезнь Де Кервейна*.

ДРБП начинается вместе с КРБП и ДОМБП, но идет вокруг дорсального лучевого бугорка (*бугорок Листера*), затем поворачивает к большому пальцу и прикрепляется к дистальной фаланге.

На уровне проксимальной фаланги сухожилие ДРБП соединяется с продолжениями короткой отводящей мышцы большого пальца, первой ДМк мышцы и приводящей мышцы большого пальца.

Дальнейших разработок по расширению разгибателя большого пальца нет, но мы наблюдаем здесь то же равновесие отводящих и приводящих мышц ПФ сустава, участвующих в натяжении разгибателя и стабилизации сухожилия длинного разгибателя.

Тенарные мышцы, которые прикрепляются к сухожилию ДРБП, могут разгибать МФ сустав до нейтрального положения, но неспособны завершить амплитуду, переводя его в гиперразгибание.

ДРБП может завершить полную амплитуду разгибания в МФ суставе, а также приложить силу разгибания к ПФ суставу. ДРБП также разгибает и приводит ПЗ сустав большого пальца.

В отличие от остальных пальцев для каждого сустава большого пальца имеется отдельное сухожилие разгибателя. ДОМБП прикрепляется к основанию

пястной кости, КРБП — к основанию проксимальной фаланги и ДРБП — к основанию дистальной фаланги.

Как и в случае с остальными наружными мышцами кисти, позиционирование запястья является необходимым фактором оптимального соотношения «длина–напряжение» наружных мышц большого пальца.

ДСБП неэффективен как сгибатель МФ сустава при сгибании запястья. ДРБП не может завершить разгибание МФ сустава, если ПЗ и ПФ суставы одновременно разогнуты.

ДОМБП и КРБП требуют синергии локтевого девиатора запястья для предотвращения лучевого отклонения, что влияет на способность мышц создавать натяжение над суставами большого пальца.

**Внутренние мышцы большого пальца.** Существуют пять *тенарных*, или внутренних, мышц большого пальца, которые начинаются от костей запястья и удерживателя сгибателя.

Мышца, противопоставляющая большой палец (МПБП), является единственной внутренней мышцей с дистальным прикреплением на первой пястной кости. Ее линия действия почти перпендикулярна продольной оси пястной кости и действует по латеральной стороне кости. МПБП, таким образом, оказывается очень эффективной при позиционировании пястной кости в позиции отведения, сгибания и ротации.

Короткая отводящая мышца большого пальца (КОМБП), короткий сгибатель большого пальца (КСБП), приводящая мышца большого пальца и первая ЛМк мышца прикрепляются к проксимальной фаланге.

КСБП имеет две головки прикрепления: большая латеральная головка дистально прикрепляется к КОМБП и также производит некоторое усилие отведения. КСБП пересекает сезамовидные кости в ПФ суставе, что увеличивает его ПМ для сгибания. Медиальная головка КСБП дистально прикрепляется вместе с приводящей мышцей большого пальца и содействует приведению большого пальца.

Первая ЛМк мышца идет от первой пястной кости и прикрепляется к локтевой сезамовидной кости, а затем к проксимальной фаланге.

Хотя первая ДМк мышца не считается тенарной мышцей, она также может участвовать в функции большого пальца. Это двуперистая мышца, отходящая как от первой, так и от второй пястных костей и от межзапястной связки, соединяющей основания запястных костей.

Brand и Hollister предполагают, что она скорее вызывает расхождение ПЗ сустава, чем его компрессию, так как тянет первую пястную кость дистально, по направлению к прикреплению первой ДМк мышцы на основании проксимальной фаланги указательного пальца. Они также говорят, что прикрепление первой ДМк мышцы к большому пальцу обладает очень малой способностью (если

таковая вообще имеется) двигать большой палец, но оно важно для противодействия компрессионным и дорсально-радиально направленным силам. Когда такие усилия создавались на лабораторных образцах без напряжения первой ДМк мышцы, происходил подвывих ПФ сустава.

Belanger и Noell считают, что первая ДМк мышца может способствовать приведению большого пальца.

Тенарные мышцы активны при большей части хватательных действий независимо от точного положения большого пальца.

МПБП чаще всего работает вместе с КОМБП и КСБП, хотя интенсивность этих связей меняется. Когда большой палец мягко идет в контакт с любым другим пальцем, активность МПБП в большом пальце доминирует, и активность КОМБП превышает активность КСБП. При сильном противопоставлении большого пальца указательному или среднему активность КСБП превышает активность МПБП. При сильном противопоставлении безымянному пальцу и мизинцу отношение меняется. Активность МПБП увеличивается при твердом противопоставлении безымянному пальцу, а при твердом противопоставлении мизинцу активность МПБП и КСБП уравнивается.

Изменение баланса мышечной активности при твердом противопоставлении и при увеличивающемся локтевом противопоставлении может объясняться увеличивающейся потребностью в отведении и пястной ротации.

Увеличивающееся давление при противопоставлении повышает активность отводящей мышцы большого пальца. ОМБП стабилизирует большой палец относительно противостоящего пальца. При твердом противопоставлении указательному и среднему пальцам активность ОМБП превышает очень малую активность КОМБП.

При положении в локтевом направлении увеличенная потребность в отведении вызывает одновременную активность отводящей и приводящей мышц.

Активность наружной мускулатуры большого пальца при хватании представляется частичной функцией позиционирования ПФ и МФ суставов.

Основной функцией наружных мышц вместе с тем является возврат большого пальца в разгибание из любого положения относительно ладони. Хотя выпускание предмета является частичной функцией наружных мышц, была обнаружена некоторая активность ОМБП и короткой отводящей мышцы. Мышечная активность помогает сохранить отведение большого пальца и ротацию пястных костей, которые облегчают движение большого пальца обратно, в противопоставление.

Нами были рассмотрены суставная структура и мускулатура комплекса запястья, пальцев и большого пальца. Были представлены некоторые примеры специфической мышечной активности для объяснения потенциальной функции мышц. Суммарную же функцию запястья и кисти будет лучше представить

через оценку целенаправленной деятельности кисти. Поскольку вся верхняя конечность работает на выполнение движения кистью, представляется правильным завершить описание верхней конечности обзором деятельности запястья и кисти при хватании.

### 5.3. ХВАТАНИЕ

Хватательная активность кисти включает в себя захват или удержание предмета между любыми двумя поверхностями кисти; в большинстве, но не во всех хватательных действиях участвует большой палец.

Число способов, которыми можно захватывать предметы различных размеров и формы, чрезвычайно велико, причем стратегии хвата имеют значительные индивидуальные различия.

В связи с этим была разработана широкая система *классификации хвата*, которая позволяет проводить наблюдения скоординированной мышечной функции, обычно требуемой для создания или сохранения позиции.

Хватание можно разделить на такие категории, как *силовой хват* и *точные манипуляции (тонкое управление)*. Каждая из категорий имеет подгруппы, которые еще более точно определяют хват.

Сильный, или силовой, хват — это обычно мощное действие, дающее в результате сгибание всех суставов пальцев. Когда используется большой палец, он действует как стабилизатор предмета, удерживаемого пальцами и, что наблюдается еще чаще, ладонью.

Тонкое управление, наоборот, является искусным размещением предмета между пальцами или между указательным и большим пальцем. Ладонь здесь не участвует.

По мнению Landsmeer, силовой хват и тонкое управление можно разделить на основании вовлечения динамических и статических фаз. Силовой хват является результатом последовательного раскрывания кисти, позиционирования пальцев, приближения пальцев к объекту и сохранения статической фазы, которая, собственно, и представляет собой хват. Это противоположно тонкому управлению, которое включает в себя те же три первые фазы, но статическая фаза в нем не присутствует вообще.

При тонком управлении большой и остальные пальцы захватывают предмет с целью манипулирования им в пределах кисти; при силовом хвате предмет берется так, чтобы его можно было перемещать в пространстве при помощи проксимальных суставов.

При оценке мышечной функции во время каждой разновидности хвата становится очевидно, что синергия мышц кисти приводит к почти постоянной

активности всех внутренних и наружных мышц. Задача становится в бóльшей степени направленной на выяснение того, когда мышцы *не работают* или когда меняется баланс активности мышц.

Следует также подчеркнуть, что мышечная активность, зарегистрированная ЭМГ исследованиями, специфична для каждого конкретного исследования. Даже в исследованиях, использующих одинаковые формы хватания, такие переменные, как размер предмета, твердость хвата, синхронизация и инструкции испытуемому, могут вызывать существенные изменения активности. Однако эти исследования полезны как индикаторы общих паттернов мышечной активности, в рамках которой можно понять функцию кисти.

### 5.3.1. СИЛОВОЙ ХВАТ

Пальцы при силовом хвате обычно функционируют согласованно для того, чтобы зажать и держать предмет в ладони. Пальцы принимают позицию устойчивого сгибания, которое изменяется в соответствии с размером, формой и весом предмета.

Ладонь как бы очерчивает предмет, когда вокруг него образуются ладонные дуги. Большой палец может служить дополнительной поверхностью зажима

«ладонь/пальцы», охватывая предмет, или может быть отведен от него. Если большой палец участвует, он обычно находится в приведении, прижимая предмет к ладони.

Это противоположно точному управлению, при котором большой палец с большей вероятностью принимает положение отведения.

Три варианта силового хвата, исследованные Long с сотрудниками, дают примеры сходства и различия, наблюдаемого при этих видах захвата.

Были исследованы: хват крючком (рис. 5.24, *с*), сферический хват (рис. 5.24, *б*) и цилиндрический хват (рис. 5.24, *а*).

Четвертый вариант, *латеральное хватание*, также считается силовым хватом.



Рис. 5.24. Три варианта силового хвата: *а* — цилиндрический; *б* — сферический; *с* — крючком

**Цилиндрический хват** (см. рис. 5.24, а) почти полностью использует сгибатели для того, чтобы охватить пальцами и удерживать предмет.

Функция пальцев реализуется в большой степени за счет ГСП, особенно при действии динамического закрытия; в статической фазе, если интенсивность хвата требует большей силы, на помощь подключается ПСП.

Хотя силовой хват традиционно связывали с активностью наружных мышц, недавние исследования показали значительную активность межкостных мышц. Межкостные мышцы функционируют как сгибатели ПФ сустава и отводящие/приводящие мышцы. При силовом хвате величина усилия межкостных мышц при пястном сгибании почти равна силе наружных сгибателей.

Поскольку МФ суставы сгибаются, задача сгибания ПФ суставов переходит на проксимальные (дорсальные) межкостные мышцы. Межкостные мышцы могут также позиционировать ПФ сустав в приведение или отведение для локтевого отклонения ПФ сустава и выравнивания дистальных фаланг большого и остальных пальцев.

Комбинация ПФ сгибания и локтевого отклонения (приведение указательного пальца и отведение среднего, безымянного пальца и мизинца) направляет пальцы к большому пальцу, но также создает усилия локтевого подвывиха в ПФ суставах и сухожилиях длинных сгибателей ПФ сустава.

Усилиям подвывиха обычно оказывается противодействие со стороны лучевых коллатеральных связок и кольцевых блоков, которые удерживают длинные сухожилия на месте. Этим структурам содействует, особенно, если функции являются изометрическими, активное или пассивное натяжение ОРП. Сокращение ОРП увеличивает компрессию сустава при силовом хвате и повышает его стабильность.

Хотя расположение червеобразных мышц указывает на возможное их содействие ПФ разгибанию при силовом хвате, отсутствие их ЭМГ активности независимо от силы хвата совпадает с их ролью разгибателей МФ суставов.

Положение большого пальца при цилиндрическом хвате наиболее ценно. Обычно большой палец охватывает предмет, затем сгибается и приводится, закрывая зажим. ДСБП и тенарные мышцы активны.

Активность тенарных мышц будет варьировать в зависимости от ширины перепонки, требуемой ротации ПФ сустава и увеличенного давления или сопротивления. Различие характеристик силового хвата и точного управления — в величине активности приводящей мышцы большого пальца.

ДРБП может быть активным как стабилизатор ПФ сустава и как приводящая мышца.

Мышцы возвышения мизинца при цилиндрическом хвате обычно активны. ОММ действует как проксимальная межкостная мышца, сгибающая и отводящая (локтевое отклонение) пятый ПФ сустав. Мышца, противопоставляющая

мизинец, и сгибатель мизинца более вариабельны, но часто отражают количество отведения и ротации первой пястной кости. Фактически повышенная активность ОМБП автоматически приводит к увеличению активности мышцы, противопоставляющей мизинец, и сгибателя мизинца.

Цилиндрический хват обычно выполняется при нейтральном сгибании/разгибании и легком локтевом отклонении.

Локтевое отклонение также выводит большой палец на одну линию с продольной осью предплечья; это выравнивание лучше размещает предмет в кисти, которую нужно повернуть при помощи пронации/супинации предплечья, например, при повороте дверной ручки.

Локтевое отклонение запястья — это позиция, которая оптимизирует силы длинных сгибателей пальцев. Наименьшая сила генерируется в этих суставах при сгибании запястья. Чем тяжелее предмет, тем более вероятно локтевое отклонение запястья. Кроме того, сильное сокращение локтевого сгибателя запястья увеличивает натяжение удерживателя сгибателей. Это создает более стабильную основу для активных гипотенарных мышц, которые начинаются от этой связки.

Интересно отметить, что независимо от положения запястья процент общей силы сгибателей ПФ суставов, выделенный на каждый из пальцев, относительно постоянен. Безымянный палец и мизинец могут генерировать только 70% от силы сгибания указательного и среднего пальца.

Представляется, что слабые, но более подвижные безымянный палец и мизинец помогают более стабильным и сильным указательному и среднему пальцам. Участие безымянного пальца и мизинца в хвате можно усовершенствовать, если полное сгибание (и сопутствующую потерю натяжения) в суставах этих пальцев предотвратить при помощи предмета, который с локтевой стороны шире, чем с лучевой (пистолетная форма рукоятки).

**Сферический хват** (см. рис. 5.24, *b*) во многих отношениях подобен цилиндрическому. Наружные сгибатели пальцев и большого пальца, а также тенарные мышцы следуют тем же паттернам активности и вариабельности.

Основное отличие состоит в том, что для охвата предмета пальцы приходится разводить шире. Это вызывает большую активность межкостных мышц, чем при других формах хвата. ПФ суставы не отклоняются в том же направлении (т.е. в локтевом), но имеют тенденцию к отведению. Фаланги не располагаются параллельно, как при цилиндрическом хвате.

Отводящие мышцы ПФ суставов могут быть объединены с приводящими для стабилизации суставов, находящихся в свободно упакованной позиции полусгибания.

Хотя в пальцах преобладает активность сгибателей, что, в принципе, характерно для всех форм силового хвата, разгибатели тоже играют свою роль.

Разгибатели не только обеспечивают уравнивающую силу для сгибателей, они необходимы для ровного управляемого открытия кисти и выпуска предмета. Эти задачи выполняются преимущественно за счет разгибателей, с привлечением червеобразных мышц, ОРП и наружных мышц большого пальца.

**Хват крюком** (см. рис. 5.24, *a*), по сути, является особой формой хватания. Он входит в категорию силового хвата, поскольку более характерен для него, чем для тонкого управления. Здесь преимущественно функционируют пальцы. В хвате может участвовать ладонь, но никогда не задействован большой палец.

Этот хват можно поддерживать в течение длительного времени, и он знаком всем: кто не носил чемодан или книги в руке или не держался за поручень в метро или трамвае?

Основная мышечная активность здесь обеспечивается со стороны ГСП и ПСП. Нагрузку можно удерживать за счет одной или другой мышцы, но они могут действовать и согласованно. Это зависит от положения груза относительно фаланг: если груз расположен более дистально, обязательно сгибание ДМФ суставов, соответственно, должен срабатывать ГСП. Если нагрузка приходится на середину пальцев, достаточно только ПСП.

На ЭМГ была зарегистрирована активность некоторых межкостных мышц, но ее предназначение пока не совсем ясно. Она может противодействовать скрючиванию в ПФ суставах, хотя доказательств активности по каждому из пальцев пока что недостаточно.

При хвате крюком большой палец находится в разгибании, от умеренного до полного, выполняемого при помощи наружных мышц большого пальца.

**Латеральное хватание** является довольно необычной формой хвата. Контакт осуществляется между двумя соседними пальцами. ПФ и МФ суставы обычно удерживаются в разгибании, при этом смежные ПФ суставы одновременно выполняют отведение и приведение.

Это единственная форма хватания, при которой разгибатели работают на поддержание положения: ОРП и червеобразные мышцы активно разгибают фаланги. Отведение и приведение ПФ сустава выполняются межкостными мышцами.

Латеральное хватание включено в эту категорию как разновидность силового хвата, так как оно подразумевает статическое удержание предмета, который затем перемещается более проксимальными суставами верхней конечности.

Хотя этот хват не является слишком «силовым», латеральное хватание не используется для манипуляции предметом. Характерный его пример — удержание сигареты между пальцами.

### 5.3.2. ТОНКОЕ УПРАВЛЕНИЕ

Положения и мышечные требования *точного управления* несколько более вариабельны, чем при силовом хвате, они требуют более тонкого мышечного контроля и более зависимы от интактных ощущений.

В том, что называют *двухкулачковым патроном* (держателем), одним из кулачков является большой палец; он обычно находится в отведении и ротации, направленной от ладони. Если большому пальцу противостоят два других, это называется *трехкулачковым держателем*.

Тремя вариантами тонкого управления, которые можно привести в качестве примеров, являются: хватание кончиками пальцев (рис. 5.25, *a*), хватание подушечками пальцев (рис. 5.25, *b*) и хватание «подушечка–боковина» (рис. 5.25, *c*).

Это динамические функции с относительно малым статическим компонентом.

**Хватание подушечками пальцев** подразумевает противопоставление подушечки большого пальца подушечке другого пальца. Именно в подушечке дис-

тальной фаланги имеется наибольшая концентрация тактильных телец; на этот тип хвата приходится 80% точного управления.

Палец, используемый в двухкулачковом держателе, как правило, указательный; в трехкулачковом держателе добавляется участие среднего пальца. ПФ и МФ суставы частично согнуты, при этом степень сгибания зависит от размера предмета.

Дистальный МФ сустав может быть или полностью разогнут, или слегка согнут. Когда ДМФ сустав разогнут, то ПСП выполняет свою функцию в одиночку, без помощи ГСП.

Разгибание ДМФ сустава вызывается тягой ПСП книзу, к средней фаланге, при одновременном надавливании большого пальца на дистальную фалангу. Если задача требует частичного сгибания ДМФ сустава, может активироваться ГСП.

Активность межкостных мышц дополняет силу сгибателя ПФ сустава и обе-



**Рис. 5.25.** Три варианта тонкого управления: *a* — хватание кончиками; *b* — хватание подушечками; *c* — хватание «подушечка–боковина»

спечивает отведение или приведение ПФ сустава, в зависимости от манипуляций с предметом.

При динамической манипуляции ЛМк и ДМк мышцы работают реципрокно, а не синергично, как при силовом хвате. При статичном, но твердом щипке подушечками межкостные мышцы могут снова начать сокращаться совместно.

Большой палец при хватании подушечками находится в положении сгибания ПЗ сустава, отведения и ротации. Первый ПФ и МФ суставы могут быть слегка согнуты, могут быть полностью разогнуты.

Контроль со стороны тенарных мышц обеспечивается МПБП, КСБП и КОМБП, каждая из которых иннервируется срединным нервом. Активность МПБП (локтевой нерв) увеличивается при нарастании давления щипка.

При параличе локтевого нерва потеря функции МПБП (а также функции первых ДМк и ЛМк мышц) делает большой палец менее стабильным.

Тонкие настройки угловых отклонений ДМФ сустава пальца и МФ сустава большого пальца обеспечивают контроль точек контакта пальцевых подушечек.

При полном разгибании ДМФ пальца и МФ сустава большого пальца контакт наблюдается в более проксимальной части дистальной фаланги. При увеличении сгибания этих суставов контакт сдвигается дистально, к ногтям. Сгибание, в случае необходимости, создается ГСП (для пальца) и ДСБП (для большого пальца). Сгибание ДМФ сустава сопровождается пропорциональным сгибанием ПМФ сустава.

Как и при силовом хвате, мышцы разгибателя используются для раскрытия кисти перед хватом, для отпускания предмета и, при необходимости, для стабилизации.

В большом пальце для поддержания МФ сустава в разгибании, если контакт легкий и происходит на проксимальной части подушечек, может использоваться ДРБП. Также может наблюдаться синергичная активность запястья, уравнивающая силы, создаваемые ПСП и ГСП.

Обычно запястье находится в нейтральном положении лучевого/локтевого отклонения и легком разгибании.

**Хватание кончиками пальцев.** Хотя мышечная активность при хватании кончиками пальцев почти идентична наблюдаемой при хватании подушечками, имеются и существенные отличия.

При хватании кончиками МФ суставы пальца и большого пальца должны иметь амплитуду и достаточную силу для почти полного сгибания. ПФ сустав пальца должен также быть отклонен в локтевую сторону (при лучевом направлении кончика), чтобы точно противопоставить свой кончик кончику большого пальца. В указательном пальце локтевое отклонение выглядит как приведение ПФ сустава. В остальных пальцах отведение ПФ сустава вызывает локтевое отклонение.

Если амплитуда сгибания дистальной фаланги большого пальца либо пальца недостаточна или не может развиваться активная сила сгибания МФ сустава и локтевого отклонения ПФ сустава (отведение или приведение), то такое хватание не удастся выполнить.

Это самая точная форма хвата, но и самая уязвимая. Хватание кончиками предъявляет те же мышечные требования к пальцу и большому пальцу, как и при хватании подушечками. Однако, кроме того, хватание кончиками требует активности ГСП, ДСБП и межкостных мышц; эти мышцы хоть и могут способствовать хватанию подушечками, но обычно при нем не используются.

**Хватание «подушечка–боковина».** Этот вид тонкого управления известен также как *хват ключа*, поскольку ключ обычно держат между подушечкой большого пальца и боковиной указательного пальца.

Хватание «подушечка–боковина» отличается от других типов тонкого управления лишь тем, что большой палец находится в большем приведении и меньшей ротации.

Уровень активности КСБП, по сравнению с хватанием кончиками, увеличивается, а МПБП — уменьшается. Также, по сравнению с рассмотренными выше типами хватания, увеличивается активность мышцы, приводящей большой палец. Требуется легкое сгибание дистальной фаланги большого пальца.

Если хватание «подушечка–боковина» используется для чего-либо типа поворота ключа, запястье принимает нейтральное положение сгибания/разгибания и небольшого локтевого отклонения, что приводит ключ в одну линию с предплечьем, и для поворота ключа можно тогда использовать пронацию/супинацию.

Данный тип хватания является наименее точным; его, по сути, может выполнять даже человек с параличом всех мышц кисти.

Если мышцы кисти парализованы, что может происходить при повреждении спинного мозга на уровне выше С7, активные разгибатели запястья (допустим, что они присутствуют) могут вполне обеспечивать этот вид хвата.

Сила, необходимая для сгибания ПФ и МФ суставов пальцев и большого пальца, обеспечивается пассивным натяжением, создаваемым сухожилиями наружных мышц при их вытягивании над разгибающимся запястьем. Хват может быть ослаблен только за счет сгибания запястья силой тяжести. Когда запястье сгибается, наружные сгибатели провисают, а ОРП (СРУП, СРП) и ДРБП вытягиваются. Пассивного натяжения разгибателей при повисшей кисти вполне достаточно для частичного разгибания как ПФ, так и МФ суставов.

Существует феномен использования разгибания запястья для закрытия пальцев и его сгибания для их раскрытия.

Этого феномена можно достичь при цилиндрическом хвате, если в наружных сгибателях существует правильный баланс натяжения. Сгибатели должны быть

достаточно свободны для того, чтобы позволить частично согнутым пальцам «открытой» кисти охватить предмет при сгибании запястья, но при этом они должны быть достаточно натянуты, чтобы удержать предмет при разгибании запястья.

Активный контроль разгибателей запястья является минимальным требованием для функционального использования этого феномена человеком с более дистальным типом мускулатуры кисти.

## 5.4. ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ ПОЛОЖЕНИЕ ЗАПЯСТЬЯ И КИСТИ

Хотя трудно выделить какой-либо сустав или функцию как самые важные из всех рассмотренных ранее, приоритет все-таки следует отдать хвату.

Трудно подвергнуть сомнению тот факт, что кисть не может работать как манипулятор или чувствительный орган, пока предмет не касается ладонной поверхности и пока умеренное сгибание пальца (пальцев) и противопоставление большого пальца не создают устойчивого контакта.

Приложение активной мышечной или связочной силы сгибания к пальцам требует стабилизации запястья в умеренном разгибании и локтевом отклонении. Очерчивание т.н. *функционального положения запястья и кисти* учитывает все эти потребности и является такой позицией, в которой наиболее вероятно оптимальное функционирование.

Это необязательно бывает позиция, в которой кисть иммобилизована. Положение иммобилизации зависит от нетрудоспособности.

Функциональное положение таково: комплекс запястья в легком разгибании ( $20^\circ$ ) и небольшом локтевом отклонении ( $10^\circ$ ); пальцы в умеренном сгибании в ПФ суставе ( $45^\circ$ ), немного согнуты в ПМФ суставе ( $30^\circ$ ) и в ДМФ суставе.

Положение запястья оптимизирует силу сгибателей пальцев так, что закрытие кисти можно выполнить с минимальным усилием. Это также позиция, в которой все мышцы запястья одинаково натянуты.

С аналогичным учетом положения суставов пальцев, функциональная позиция обеспечивает наилучшую возможность даже нетрудоспособной руки взаимодействовать с мозгом, который ею управляет.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Несмотря на то что комплексы руки и запястья состоят из множества сочленений, костные и связочные компоненты этих суставов менее подвержены про-

блемам, чем мышечно-связочные структуры, которые воздействуют на другие суставы.

Двигательный контроль и сенсорная обратная связь от запястья и кисти топографически занимают в первичных отделах коры головного мозга больше места, чем вся нижняя конечность.

Поскольку мы переходим далее к изучению суставов нижних конечностей, аналогию с соответствующими суставами верхней конечности можно проводить, однако первичная функция нижних конечностей — перенос веса — не требует той сложности и тонкого баланса мышечного управления, которые могут оказывать столь глубокое влияние на функциональную производительность кисти.

## ГЛАВА 6

# КОМПЛЕКС БЕДРА

Тазобедренный сустав является сочленением вертлужной впадины таза и головки бедренной кости. Эти два сегмента образуют диартроидальный шаровой сустав с тремя степенями свободы: сгибание/разгибание в сагиттальной плоскости, отведение/приведение во фронтальной плоскости и медиальная/латеральная ротация в поперечной плоскости.

Хотя и соблазнительно провести аналогию между тазобедренным суставом и комплексом плеча, функциональные и структурные адаптации каждого из них к своей роли настолько обширны, что подобные сравнения имеют, скорее, общий интерес, чем какое-либо функциональное значение.

Ролью плечевого комплекса является создание стабильной основы, на которую накладывается широчайший диапазон подвижности кисти. Структура плечевого комплекса является отличным примером функционирования открытой цепи.

Основной функцией тазобедренного сустава является поддержка веса головы, рук и туловища (ГРТ) как в статической вертикальной позиции, так и при динамических положениях, таких как ходьба, бег, подъем по лестнице.

Тазобедренный сустав, как и другие суставы нижней конечности, которые мы будем изучать, построен для выполнения функции поддержания веса. Хотя мы и исследуем структуру тазобедренного сустава и его функции так, как если бы он был задуман для перемещения стопы в пространстве (по типу открытой цепи), на его строение оказывают большее влияние предъявляемые требования по поддержке веса тела. Как мы увидим в этой главе позднее, функция поддержки веса и связанные с ней реакции закрытой цепи являются основами понимания тазобедренного сустава и его взаимодействия с другими суставами позвоночника и нижних конечностей.

## 6.1. СТРУКТУРА ТАЗОБЕДРЕННОГО СУСТАВА

### 6.1.1. ПРОКСИМАЛЬНАЯ СУСТАВНАЯ ПОВЕРХНОСТЬ

Имеющая форму чаши вогнутая поверхность сустава называется *вертлужной впадиной*, она находится на латеральной части тазовой кости (безымянная или тазобедренная).

Таз образован тремя костями: подвздошной, седалищной и лобковой. Каждая из этих трех костей участвует в образовании вертлужной впадины (рис. 6.1).

Лобковая кость образует 1/5 впадины, седалищная — 2/5 и подвздошная кость — остальное. До наступления полного окостенения таза (в возрасте 20–25 лет) отдельные сегменты вертлужной впадины могут быть видимыми.

Вертлужная впадина выглядит как полусфера, однако круглые обводы имеет только ее верхний край, и округлость впадины с возрастом уменьшается. Имеющая форму подковы часть по периферии вертлужной впадины (полулунная поверхность) покрыта гиалиновым хрящом и сочленяется с головкой бедренной кости (см. рис. 6.1).

Нижняя часть полулунной поверхности (основание подковы) разделена глубокой вырезкой, которая называется *вырезкой вертлужной впадины*. Вырезка вертлужной впадины охвачена фиброзной полосой, поперечной вертлужной связкой, которая соединяет два конца подковы. Поперечная вертлужная связка также участвует в создании фиброзно-костного туннеля под связкой, через который к центральной и самой глубокой части впадины (так называемой вертлужной ямке) подходят кровеносные сосуды.



**Рис. 6.1.** Вертлужная впадина образована объединением трех костей, причем суставной поверхностью является только ее верхняя часть в форме подковы

Вертлужная ямка в сочленении не участвует, головка бедренной кости ее не касается (рис. 6.2).

В ямке содержится фиброно-эластичный жир, покрытый синовиальной мембраной.

**Угол центра кромки вертлужной впадины.** Хотя вертлужная впадина ориентирована на безымянной кости латерально, она направлена также книзу и кпереди. Величину направленности вниз можно оценить при помощи линии, соединяющей латеральное кольцо впадины и центр головки бедренной кости.

Эта линия образует угол с вертикалью, известный как *угол центра кромки (ЦК)*, или *угол Уиберга* (см. рис. 6.2), который определяет степень нижнего наклона вертлужной впадины.

При помощи компьютерной томографии Adna с сотрудниками показали, что в среднем величина УЦК равна  $38^\circ$  у взрослых мужчин и  $35^\circ$  у женщин (предельные значения у обоих полов колебались от  $22^\circ$  до  $42^\circ$ ).

Brinckmann с сотрудниками показали такие же величины как для мужчин, так и для женщин, притом что выборка у них была больше. Схожесть УЦК у мужчин и женщин несколько удивляет, если учитывать больший диаметр и более вертикальную ориентацию таза у женщин.

Меньший УЦК (или более вертикальная ориентация) вертлужной впадины может вызывать меньшее перекрытие головки бедренной кости и повышение риска переднего вывиха головки бедра.

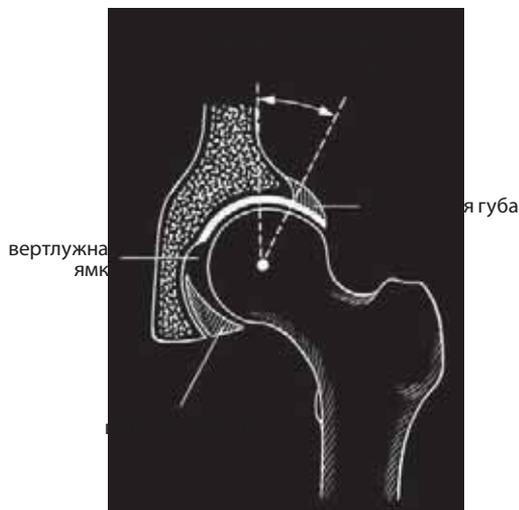
Поскольку существуют данные об увеличении УЦК с возрастом, напрашивается вывод, что дети имеют меньшее перекрытие головки бедренной кости и, таким образом, меньшую, по сравнению со взрослыми, стабильность сустава. Фактически врожденный вывих встречается в тазобедренном суставе чаще, чем в любом другом суставе тела. Он может быть связан с недостаточностью верхней части вертлужной впадины (т.е. с уменьшением УЦК).

**Наклон вертлужной впадины кпереди (антеверсия).** Вертлужная ямка смотрит не только несколько вниз, но и вперед. Величина передней ориентации впадины называется *углом ацетабулярной антеверсии*.

Adna с сотрудниками показали что средняя величина этого угла равна  $18,5^\circ$  у мужчин и  $21,5^\circ$  у женщин; Karandji указывает на большие величины — от  $30^\circ$  до  $40^\circ$ .

Патологические увеличения угла ацетабулярной антеверсии связаны с уменьшенной стабильностью сустава и повышенной тенденций к передним вывихам головки бедренной кости.

**Вертлужная губа тазобедренного сустава.** Учитывая потребность тазобедренного сустава в стабильности, неудивительно, что мы обнаруживаем там



**Рис. 6.2.** Угол центра кромки (УЦК) вертлужной впадины образован вертикальной линией, проходящей через центр головки бедренной кости, и линией, соединяющей центр головки бедренной кости и костную кромку вертлужной впадины

вспомогательную суставную структуру. Вся периферия вертлужной впадины окружена кольцом клинообразного волокнистого хряща, которое называется *вертлужной губой* тазобедренного сустава (поперечное сечение губы показано на рис. 6.2).

Вертлужная губа не только углубляет впадину, но также увеличивает ее вогнутость за счет своей треугольной формы. Она захватывает головку бедренной кости, за счет чего усиливается и поддерживается контакт с вертлужной впадиной.

Поперечная вертлужная связка считается частью вертлужной губы, хотя, в отличие от нее, не содержит хрящевых клеток.

### 6.1.2. ДИСТАЛЬНАЯ СУСТАВНАЯ ПОВЕРХНОСТЬ

Головка бедренной кости представляет собой покрытую гиалиновым хрящом поверхность почти правильной круглой формы, которая, может быть, чуть больше истинной полусферы; скорее, она представляет собой  $2/3$  сферы, в зависимости от типа телосложения.

Считается, что головка бедренной кости круглая, в отличие от вертлужной впадины, имеющей более неправильную форму.

Радиус кривизны головки бедренной кости, в сравнении с размерами таза, у женщин меньше, чем у мужчин.

Чуть ниже самой медиальной точки головки находится небольшое углубление, называемое *ямкой головки* (рис. 6.3). Ямка не покрыта суставным хрящом и служит точкой прикрепления связки головки бедра.

Головка бедренной кости прикрепляется к шейке бедренной кости; шейка прикрепляется к диафизу между большим вертелом и малым вертелом.



**Рис. 6.3.** Вид спереди проксимальной части левой бедренной кости, показывающий связь между шейкой и диафизом

Шейка бедренной кости наклонена так, что головка бедренной кости обычно смотрит медиально, кверху и кпереди. Хотя наклон головки бедренной кости и шейки является, по сравнению с плечевой костью, достаточно постоянным, все же существуют достаточные индивидуальные отличия, а также различия правой и левой кости у одних и тех же людей.

**Угловые отклонения бедренной кости.** Есть два угла отклонения головки и шейки бедренной кости от диафиза.

Первый (угол наклона) наблюдается во фронтальной плоскости, между осью, проходящей через головку бедренной кости, и продольной осью диафиза.

Второй (угол скручивания) наблюдается в поперечной плоскости и образован осью, проходящей через головку и шейку, и осью, проходящей через дистальные мыщелки.

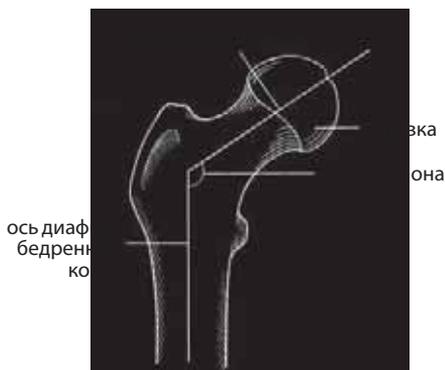
Природу и вариабельность этих углов можно понять в контексте эмбрионального развития нижней конечности. На ранних стадиях развития плода зародыши как верхних, так и нижних конечностей проецируются от тела латерально, так, как будто находятся в полном отведении. На седьмой и восьмой неделе развития плода, до полного определения суставов, начинается приведение. В конце восьмой недели достигается «положение плода», но верхние и нижние конечности расположены по-разному. Хотя зародыши верхних конечностей развернуты слегка латерально (т.е. вентральная поверхность их направлена кпереди), разворот нижних конечностей происходит медиально, и вентральная поверхность направлена кзади. Именно этот момент критически важен для понимания функции нижней конечности.

Колено сгибается в направлении, противоположном сгибанию локтя, и разгибающая (дорсальная) поверхность конечности располагается спереди, а не сзади. Головка и шейка бедра сохраняют исходное зародышевое положение; диафиз отклоняется медиально и также медиально скручивается по отношению к ним. Величина медиального отклонения и скручивания дистальной части бедренной кости (по отношению к шейке и головке) зависит от роста эмбриона и, предположительно, от положения плода во время оставшихся месяцев внутриматочного развития.

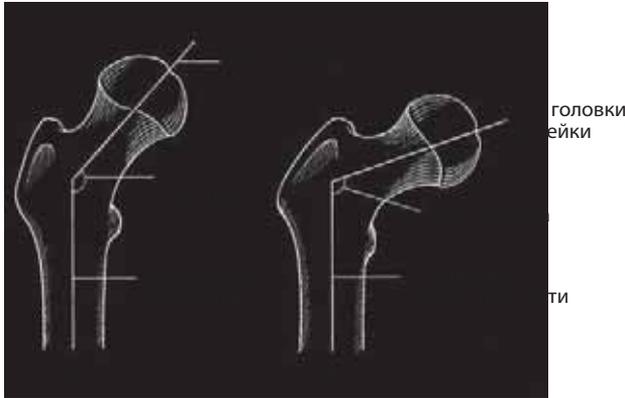
Развитие угловых отклонений бедренной кости продолжается также после рождения и в течение первых лет жизни.

**Угол наклона бедренной кости** в раннем детстве составляет приблизительно  $150^\circ$  (медиальный угол между осями головки/шейки и диафиза). У здоровых взрослых наклон уменьшается примерно до  $125^\circ$  (рис. 6.4), а у здоровых пожилых людей он составляет примерно  $120^\circ$ .

Угол наклона имеет индивидуальные и половые отличия. У женщин он несколько меньше, чем у мужчин, что связано с большей шириной женского таза.



**Рис. 6.4.** Ось головки и шейки бедренной кости образует угол с осью диафиза кости, называемый углом наклона. Этот угол, при медиальном измерении, у взрослых равен примерно  $125^\circ$



**Рис. 6.5.** Аномальные углы наклона: *a* — патологическое увеличение угла наклона называется вальгусом тазобедренного сустава; *b* — патологическое уменьшение угла называется варусом тазобедренного сустава

При нормальном угле наклона большой вертел находится на уровне центра головки бедренной кости.

Патологическое увеличение медиального углового отклонения между шейкой и диафизом называется *вальгус* тазобедренного сустава (*coxa valga*), патологическое уменьшение — *варус*, или *coxa vara* (рис. 6.5, *a, b*).

#### Угол скручивания

**бедренной кости** лучше всего виден, если смотреть вниз по длине кости сверху. Ось, проходящая через головку и шейку бедренной кости, будет идти под углом к оси, проходящей через мыщелки. Это угловое отклонение отражает скручивание кости, которое происходит во время развития плода. При этом, если у нормального зародыша происходит медиальное скручивание мыщелков, обычное скручивание бедренной кости проявляется в виде переднего скручивания головки и шейки бедра (рис. 6.6).

Явный реверс ракурса с дистальной части на проксимальную происходит вследствие того, что ось мыщелков (она же ось коленного сустава) обычно выравнивается во фронтальной плоскости (что позволяет колену сгибаться и разгибаться в сагиттальной плоскости).



**Рис. 6.6.** Линия, параллельная задним мыщелкам бедренной кости, и линия, проходящая через головку и шейку бедра, обычно образуют угол, равный в среднем у здоровых взрослых людей  $15^\circ$ . Головка и шейка бедра скручены кпереди относительно мыщелков бедренной кости

Если ось, проходящая через мыщелки, лежит во фронтальной плоскости, то головка и шейка бедренной кости выглядят как скрученные вперед относительно мыщелков, а не наоборот (медиальное скручивание мыщелков по отношению к головке и шейке).

Угол скручивания (его еще называют *углом антеверсии*) с возрастом уменьшается. У новорожденных угол скручивания равен примерно  $40^\circ$ , затем, в первые два года жизни, он постепенно уменьшается.

Svenningsen и соавторы показали, что уменьшение угла происходит примерно на  $1,5^\circ$  в год, вплоть до прекращения роста, причем это относится как к нормальным, так и увеличенным углам антеверсии. У взрослых угол скручивания обычно равен  $10\text{--}15^\circ$ , однако эта величина может варьировать от  $7$  до  $30^\circ$ .

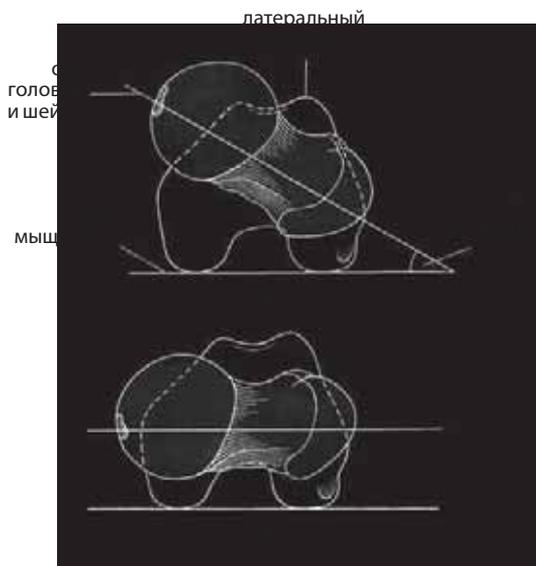
Патологическое увеличение угла скручивания называется *антеверсией* (рис. 6.7, а), а патологическое его уменьшение называется *ретроверсией* (рис. 6.7, б).

Нормальные и аномальные углы наклона и скручивания являются свойствами бедренной кости и существуют независимо от тазобедренного сустава. Однако аномалии угловых отклонений бедренной кости могут вызывать компенсаторные изменения и существенно влиять на стабильность тазобедренного сустава, биомеханику весовых нагрузок на сустав и биомеханику мышц.

Хотя некоторые структурные отклонения, такие как антеверсия бедренной кости и вальгус тазобедренного сустава, обычно наблюдаются совместно, каждая из них может существовать независимо.

Каждое структурное отклонение требует серьезного внимания в плане его воздействия на функцию тазобедренного сустава и функцию суставов, находящихся как проксимально, так и дистально относительно него.

Как будет ясно при изучении коленного и голеностопного суставов, антеверсия бедренной кости может приводить к значительным нарушениям функций как в колене, так и в стопе. Влияние аномальных угловых отклонений на функцию тазобедренного сустава будет обсуждаться в этой главе позже, в разделе, посвященном патологиям тазобедренного сустава.



**Рис. 6.7.** Аномальные углы скручивания правой бедренной кости: а — патологическое увеличение угла скручивания называется антеверсией; б — патологическое уменьшение угла скручивания называется ретроверсией

### 6.1.3. СУСТАВНАЯ КОНГРУЭНТНОСТЬ ТАЗОБЕДРЕННОГО СУСТАВА

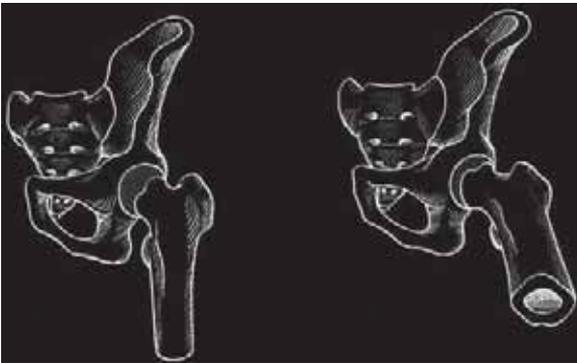
Тазобедренный сустав считается конгруэнтным. Хотя это и относительно справедливо, суставная поверхность головки бедренной кости значительно больше, чем вертлужной впадины. В нейтральном положении, или положении стоя, часть суставной поверхности головки бедренной кости остается открытой спереди и, в некоторой степени, сверху (рис. 6.8, *a*).

Хотя наклоненная вперед головка бедренной кости (угол наклона) вроде бы и соответствует ориентированной вниз вертлужной впадине, это не совсем так. Сверху вертлужная ямка накрывает головку бедра не полностью. Переднее скручивание головки бедра (угол скручивания) мало соответствует передней ориентации вертлужной впадины, поэтому значительная часть суставной поверхности головки спереди остается открытой.

Структурные отклонения, такие как антеверсия бедренной кости, вальгус тазобедренного сустава или плоская вертлужная впадина (уменьшение угла центра кромки) могут приводить к еще большему открытию головки бедра, уменьшению конгруэнтности и снижению стабильности тазобедренного сустава в нейтральном положении (стоя).

Суставной контакт между бедренной костью и вертлужной впадиной может увеличиваться в здоровом суставе при помощи сочетания сгибания, отведения и легкой латеральной ротации (рис. 6.8, *b*).

Это положение (также известное как положение «лягушачьей лапки») соответствует тому, которое тазобедренный сустав принимает в положении на четвереньках и, по мнению Каранджі, является истинным физиологическим положением тазобедренного сустава.



**Рис. 6.8.** *a* — в нейтральном положении тазобедренного сустава суставной хрящ головки бедренной кости открыт спереди и немного сверху; *b* — максимальный суставной контакт головки бедренной кости с вертлужной впадиной достигается при сгибании, отведении и легкой латеральной ротации бедра

Положение комбинированного сгибания, отведения и ротации обычно используют для иммобилизации тазобедренного сустава, если целью ее является улучшение суставного контакта и конгруэнтности сустава при таких заболеваниях, как врожденный вывих тазобедренного сустава и болезнь Легга-Калве-Пертеса.

Суставной контакт в тазобедренном суставе не основан только лишь на положении сустава, на него также влияет вес.

Мы будем изучать действие веса на сустав, после того как изучим его капсулу и связки.

Дополнительным фактором конгруэнтности сустава и сближения суставных поверхностей, однако, является не суставная и не несущая веса часть вертлужной впадины.

Вертлужная ямка является важной, так как создает в суставной полости частичный вакуум, и, таким образом, стабильности сустава (т.е. улучшению контакта головки бедра с вертлужной впадиной) способствует атмосферное давление.

Wingstrand с сотрудниками пришли к заключению, что атмосферное давление при сгибании бедра играет в стабилизации большую роль, чем капсульные и связочные структуры; справедливо также, что головка и впадина остаются в контакте даже после вскрытия капсулы у пациента под анестезией. Прежде чем произойдет смещение сустава, следует нарушить систему внутреннего давления в суставе.

#### **6.1.4. КАПСУЛА И СВЯЗКИ ТАЗОБЕДРЕННОГО СУСТАВА**

**Капсула тазобедренного сустава** — мощная и плотная. В отличие от относительно слабой суставной капсулы плеча, капсула тазобедренного сустава принимает значительное участие в создании стабильности сустава.

Проксимально капсула прикрепляется по всей периферии вертлужной впадины за вертлужной губой. Капсула покрывает головку и шейку бедра, наподобие рукава, и прикрепляется к основанию шейки.

Шейка бедренной кости является интракапсулярной, тогда как большой и малый вертелы являются экстракапсулярными.

Внутри капсулы находится синовиальная мембрана. В капсуле есть два комплекта волокон. Продольные волокна находятся больше на поверхности, круговые волокна расположены глубже. Круговые волокна образуют воротник вокруг шейки бедра, называемый круговой зоной.

Сама капсула утолщается в направлении вперед и вверх, т.е. там, где наблюдаются основные нагрузки; снизу и сзади она относительно тонкая и свободная.

Спереди, глубоко в капсуле, имеются продольные сетчатые волокна, идущие вдоль шейки в направлении головки. Сетчатые волокна содержат кровеносные сосуды, являющиеся основным источником питания головки и шейки бедренной кости. Сосуды сетчатых волокон идут от сосудистого кольца, расположенного в основании шейки и образованного медиальной и латеральной огибающими артериями (ветви глубокой бедренной артерии).



*Рис. 6.9. Правый тазобедренный сустав, вид спереди. Показана расположенная по центру круглая связка, идущая от ямки головки бедренной кости. Капсула сустава удалена*

**Связки тазобедренного сустава.** Связка головки бедренной кости, или круглая связка, является внутрисуставной, но экстрасиновиальной вспомогательной суставной структурой.

Связка имеет форму треугольного тяжа с основанием на обеих сторонах периферической кромки вырезки вертлужной впадины. Отсюда связка идет под поперечной вертлужной связкой и сливается с ней, прикрепляясь верхушкой к ямке бедренной кости (рис. 6.9).

Связка головки заключена в уплощенный рукав синовиальной мембраны и потому она не связана с синовиальной полостью сустава.

Физические свойства связки головки похожи на свойства других связок; она натягивается при полусгибании и приведении. Однако представляется, что она не играет большой

роли в стабилизации сустава, ни при каких его положениях. В большей степени ее основной функцией является то, что она служит проводником для вторичного кровоснабжения от запирающей артерии и для нервов, которые идут вдоль связки и входят в головку бедренной кости через ямку.

Значимость вторичного кровоснабжения с возрастом меняется, но наибольшее значение оно имеет в детстве. Пока ребенок растет, первичная сосудистая сеть не может проходить через бессосудистый хрящевой эпифиз.

Crock предположил, что питание головки бедренной кости до костного созревания и эпифизарного закрытия происходит преимущественно при помощи кровеносных сосудов связки головки.

Однако Tan и Wong показали, что в 10% случаев связка может отсутствовать вообще. Сосуды связки головки в пожилом возрасте подвергаются склеротическим изменениям.

Таким образом, у пожилых людей вторичное кровоснабжение не дополняет первичное в случае, если оно нарушается, например, при переломе шейки бедра. Отсутствие вторичного кровоснабжения головки увеличивает риск ее бессосудистого некроза при травме шейки.

Считается, что капсула тазобедренного сустава обычно имеет три усиливающие капсульные связки (две спереди и одну сзади), хотя некоторые исследователи проводили их последующее разделение и переименование.

Для понимания функции тазобедренного сустава нам будет достаточно традиционного описания трех связок. Две передние связки — это подвздошно-бе-

дренная и лобково-бедренная связки. Подвздошно-бедренная связка имеет форму веера и напоминает перевернутую букву Y (рис. 6.10).

Эту связку часто называют Y-образной связкой Бигелоу. Верхушка связки прикрепляется к переднему нижнему гребню подвздошной кости, а две ветви Y разворачиваются и прикрепляются по межвертельной линии бедренной кости. Верхний тяж подвздошно-бедренной связки является самой толстой и сильной связкой из всех связок тазобедренного сустава.

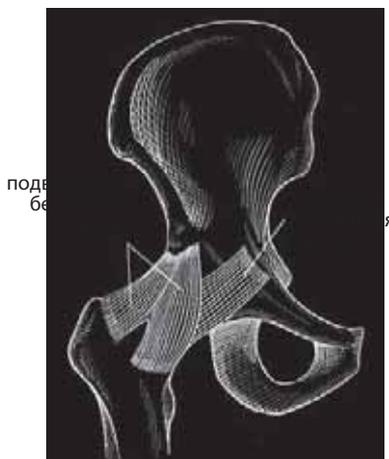
Лобково-бедренная связка (см. рис. 6.10) также расположена спереди, она отходит от передней части лонной кости и идет к передней поверхности межвертельной ямки. Тяжи подвздошно-бедренной и лобково-бедренной связок образуют фигуру в виде буквы Z на передней части капсулы, подобно тому как это наблюдается на связках плечевого сустава.

Задней связкой тазобедренного сустава является седалищно-бедренная связка. Седалищно-бедренная связка (рис. 6.11) прикрепляется к задней поверхности вертлужной впадины и вертлужной губе.

Некоторые ее волокна идут по спирали вокруг шейки бедренной кости и смешиваются с волокнами круговой зоны. Другие волокна организованы по горизонтали и прикрепляются к внутренней поверхности большого гребня.

В отношении связок тазобедренного сустава, что, впрочем, характерно и для других суставов, существуют расхождения мнений.

Fuss и Bacher подготовили отличную выборку по сходствам и различиям, которые можно обнаружить у разных авторов. Однако вполне достаточным будет сделать вывод, что каждое из движений тазобедренного сустава будет ограничиваться, по меньшей мере, одной частью одной из суставных связок.



**Рис. 6.10.** Вид правого тазобедренного сустава спереди. На рисунке видны два тяжа подвздошно-бедренной связки (Y) и расположенная за ней лобково-бедренная связка



**Рис. 6.11.** Правый тазобедренный сустав, вид сзади. На рисунке видно, как спиральные волокна седалищно-бедренной связки натягиваются при гиперразгибании и, таким образом, его ограничивают

Более функциональным является согласие в том, что капсула и большинство связок тазобедренного сустава довольно сильны. Капсула и связки практически не дают произойти расхождению сустава даже при значительных усилиях растяжения.

Тазобедренный сустав (в отличие от плечевого) довольно сложно вывихнуть при травме. Даже когда происходит вывих тазобедренного сустава (как в случае врожденного вывиха), капсула и связки остаются достаточно сильными, чтобы сустав мог держать вес.

В таких случаях нагрузки на капсулу со стороны головки бедра могут приводить к ее насыщению хрящевыми клетками, которые способствуют скольжению поверхности головки. В норме капсула и связки могут выдерживать до  $2/3$  веса тела.

При двусторонней опоре тазобедренный сустав обычно находится в нейтральном положении или в состоянии легкого разгибания, при этом связки и капсула находятся в состоянии некоторого натяжения.

При нормальной двусторонней стойке линия силы тяжести (ЛСТ) проходит позади оси тазобедренного сустава, создавая гравитационный момент разгибания. Дальнейшее разгибание тазобедренного сустава создает большее натяжение связочно-капсульного комплекса, которое оказывается более чем достаточным для противодействия гравитационному моменту разгибания.

Пока ЛСТ проецируется позади оси тазобедренного сустава, связочно-капсульные структуры адекватно поддерживают вес тела без активного или пассивного участия мышц, пересекающих сустав.

Разгибание тазобедренного сустава с небольшим отведением и медиальной ротацией является плотно упакованной позицией. Следует отметить, что в плотно упакованном и стабильном положении сустав не находится в позиции оптимального суставного контакта.

Тазобедренный сустав — один из немногих суставов, в котором положение оптимального суставного контакта (сочетание сгибания, отведения и латеральной ротации) не является положением плотной упаковки.

В случаях, когда суставные поверхности не являются максимально конгруэнтными и не находятся в плотно упакованной позиции, сустав оказывается в зоне максимального риска травматического вывиха.

Положением особенной уязвимости является такое, когда сустав находится в сгибании и отведении (например, если человек сидит нога на ногу). В таком положении большое усилие, направленное по диафизу бедренной кости вверх, к тазобедренному суставу (пример: удар коленями о торпеду при автомобильной аварии), может выбить головку бедра из вертлужной впадины.

Связочно-капсульное натяжение в тазобедренном суставе является наименьшим, когда сустав находится в умеренном сгибании, легком отведении и полуротации. В такой позиции нормальное внутрисуставное давление минимально,

а способность синовиальной капсулы к аккомодации аномальных количеств жидкости максимальна.

Это положение сустав принимает в случае болезненности, возникающей вследствие связочно-капсульных проблем или вследствие избыточного внутрисуставного давления, вызванного избытком жидкости (крови или синовиальной жидкости) в суставе.

Избыток жидкости в суставе может возникнуть в результате таких состояний, как синовит тазобедренного сустава или кровоизлияния в сустав при переломе шейки бедра и сопутствующем разрыве кровеносных сосудов.

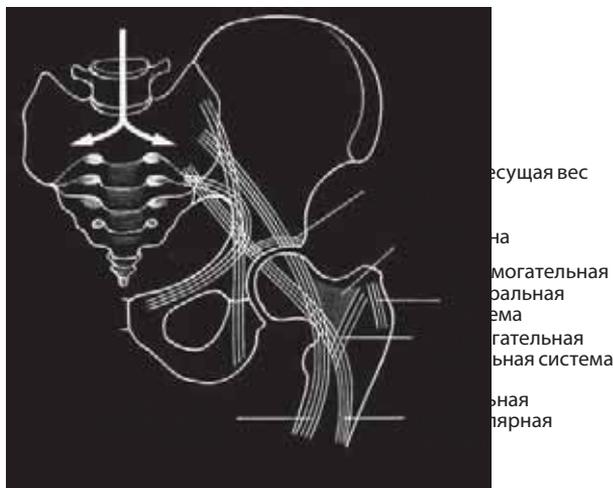
Wingstrand с коллегами предположили, что минимизация внутрисуставного давления не только уменьшает боль, но также препятствует сдавливанию внутрисуставных сосудов и нарушению кровоснабжения головки бедренной кости.

**Строение тазобедренного сустава в плане весовой нагрузки.** Внутренняя архитектура таза и бедренной кости характеризуются замечательными способностями к адаптации к механическим стрессам и растяжениям, создаваемым при передаче усилий между тазом и бедренной костью. Трабекулы кости выровнены по линиям нагрузок и образуют системы, отвечающие требованиям стресса.

Линии переноса веса как таза, так и бедренной кости четко просматриваются по организации трабекул (рис. 6.12).

Большинство весовых нагрузок на таз поступают от крестцово-подвздошных суставов, идут на вертлужную впадину; при этом трабекулы указывают, что некоторые усилия идут по лонной кости и еще некоторые дополнительные усилия направлены к седалищным буграм.

Нагрузки, проходящие через лобковые кости, возникают, вероятно, вследствие функции соб-



**Рис. 6.12.** Трабекулы таза могут идти к лобковой кости, седалищной кости, куполу вертлужной впадины (основная несущая вес область) и к центральной части вертлужной впадины. Трабекулы первичной несущей вес области непрерывно соединены с медиальной трабекулярной системой бедренной кости. Кроме вспомогательных медиальной и латеральной систем, существует область тонких трабекул (слабая зона)

ственно лобковых костей, когда компрессия противодействует медиальному смещению бедра. Линии нагрузки между крестцово-подвздошными суставами и седалищными буграми следуют гравитационным линиям при положении сидя.

Тазовые трабекулы, которые проходят через вертлужную впадину, образуют две основные системы в бедренной кости: медиальную трабекулярную систему и латеральную трабекулярную систему (см. рис. 6.12).

Есть также две малые вспомогательные системы трабекул. При двусторонней опоре в положении стоя вес ГРТ распределяется между правым и левым тазобедренным суставами, причем как минимум половина веса тела идет через головку бедра, тогда как силы реакции опоры (СРО) направлены вверх по стержням. Расстояние между весом тела, приходящимся на головку и СРО, создает усилие среза на шейке бедренной кости. Этому усилию должны противодействовать трабекулярные системы.

Медиальная трабекулярная система начинается от медиального коркового слоя верхней части диафиза бедренной кости и распространяется на корковую кость верхней части головки бедра. Медиальная система трабекул ориентирована по вертикальным компрессионным силам, проходящим через тазобедренный сустав.

Латеральная трабекулярная система бедренной кости начинается от латерального коркового слоя верхней части диафиза бедренной кости и, после пересечения с медиальной системой, заканчивается в корковой кости нижней части головки бедра. Латеральная трабекулярная система является диагональной и может развиваться как реакция на нагрузку среза, создаваемые весом ГРТ и давящие на головку бедренной кости (одновременно СРО действуют вверх и идут по диафизу).

Две вспомогательные трабекулярные системы связаны преимущественно с областью вертелов и шейки бедренной кости (см. рис. 6.12).

Медиальная вспомогательная система идет от медиальной части верха диафиза бедренной кости, пересекает латеральную трабекулярную систему и разворачивается веером в области большого вертела.

Латеральная вспомогательная трабекулярная система идет параллельно большому вертелу.

Медиальная и латеральная трабекулярные системы не только участвуют в строении головки и шейки бедра, но также помогают оказывать сопротивление сгибающим нагрузкам, которые действуют через шейку бедра и наблюдаются в стержне бедренной кости, когда вес ГРТ давит на головку бедренной кости.

Медиальная трабекулярная система, совпадающая с корковой костью в медиальной части диафиза, помогает оказывать сопротивление сгибающим нагрузкам с внутренней стороны диафиза, а латеральная система, совпадающая с латеральной

корковой костью, соответственно оказывает сопротивление нагрузкам растяжения с внешней стороны (рис. 6.13).

Полагают также, что латеральная система помогает в нижней части шейки оказывать сопротивление компрессионным усилиям, вызванным действием нагрузки сгибания через шейку и усиливаемым тягой отводящих мышц, действующей на большой вертел (см. рис. 6.13, вкладка).

Области, в которых разные трабекулярные системы в тазе и бедренной кости пересекаются друг с другом под прямым углом, являются зонами наибольшего сопротивления при нагрузке и растяжении.

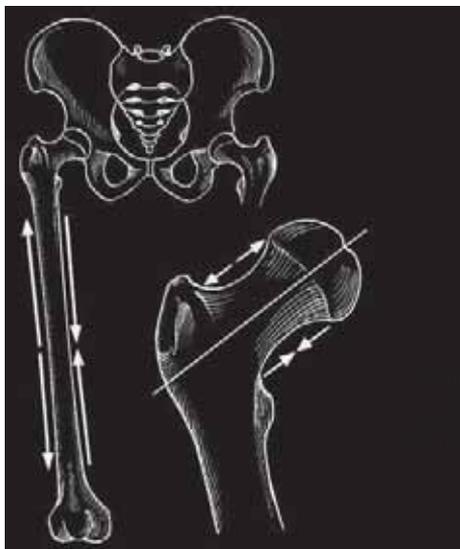
В шейке бедра есть область, в которой трабекулы относительно тонкие и не пересекаются. Эта зона слабости усилена минимально и, таким образом, потенциально больше подвержена травме.

Зона слабости шейки бедра особенно подвержена действию сил сгибания при пересечении ими области и может сломаться, если сила слишком велика либо если ткани не способны сопротивляться обычным силам.

Более подробное описание проблем переломов бедра будет представлено в этой главе далее.

Хотя недавно и возникли вопросы относительно справедливости классической теории биомеханики бедра, впервые предложенной Pauwels, Kummer подтвердил верность теории при помощи современных технологий исследования архитектуры кости и распределения ее плотности.

Основная несущая вес поверхность, или купол, вертлужной впадины расположена в верхней части полулунной поверхности. На рентгенограмме купол можно найти, если провести линию между медиальной и латеральной кромкой площади с повышенной плотностью. В нормальном тазобедренном суставе эта



*Рис. 6.13. Линия весовой нагрузки от центра ротации головки бедренной кости создает силу ротации на стержне, которая приводит к возникновению компрессионных сил медиально и сил растяжения латерально (вкладка: передача веса через головку бедренной кости и сокращение отводящих мышц бедра может действовать на шейку бедра сверху как нагрузка растяжения и снизу — как компрессионная нагрузка)*

линия будет горизонтальной и пройдет точно над центром вращения головки бедренной кости.

Эта область наиболее подвержена дегенеративным изменениям вертлужной впадины. Дегенеративные изменения головки чаще всего наблюдаются вокруг ямки или непосредственно под ней либо вокруг периферических краев суставной поверхности головки.

Основной поверхностью, на которую приходится вес, является верхняя часть головки бедренной кости, т.е. в отличие от вертлужной впадины основная несущая область головки является одновременно и зоной наибольших дегенеративных изменений.

Athanasίου с коллегами выдвинули предположение, что различия реакции суставного хряща двух основных несущих вес областей могут объясняться различиями свойств и характеристик тканей. Он же предположил, что при умеренно нагруженном бедре (особенно у молодых взрослых людей) может существовать некоторая постоянная неконгруэнтность в куполе вертлужной впадины, результатом чего является неполная компрессия хряща купола и, соответственно, неадекватность обмена жидкости и питания хряща.

Верхняя часть головки бедренной кости испытывает давление не только со стороны купола при стоячем положении, но также со стороны задней части вертлужной впадины, если человек сидит, и со стороны ее передней части при разгибании.

Чем чаще и полнее компрессия хряща верха головки бедренной кости, тем, соответственно, лучше его питание. При этом следует помнить, что движение жидкости и питательных веществ через лишенный сосудов хрящ зависит не только от компрессии, но и от декомпрессии; недостаточная или избыточная компрессия может привести к повреждению структуры хряща.

## **6.2. ФУНКЦИИ ТАЗОБЕДРЕННОГО СУСТАВА**

### **6.2.1. АРТРОКИНЕМАТИКА**

Движения тазобедренного сустава легче всего зрительно представить себе как движение выпуклой головки бедренной кости в вогнутой вертлужной впадине. Головка будет скользить в вертлужной впадине в направлении, противоположном движению дистального конца бедренной кости.

Сгибание и разгибание выполняются из нейтральной позиции как почти чистое вращение головки бедра вокруг венечной оси, проходящей через головку и шейку бедра. При сгибании головка вращается кзади, а при разгибании — кпереди.

Однако сгибание и разгибание из других положений должны включать в себя как вращение, так и скольжение суставных поверхностей, в зависимости от комбинации движений.

Отведение, приведение и медиальная/латеральная ротация должны включать в себя как вращение, так и скольжение одной поверхности по другой, но это точно так же будет по направлению противоположно движению дистального конца бедренной кости, если она является движущимся сегментом.

Всегда, когда на тазобедренный сустав приходится вес, бедренная кость остается относительно фиксированной и, по сути, движение в тазобедренном суставе производится за счет движения таза на бедренной кости. В этом, более часто наблюдаемом случае вогнутая вертлужная впадина движется в том же направлении, что и таз.

### 6.2.2. ОСТЕОКИНЕМАТИКА

**Движение бедренной кости в тазобедренном суставе.** Амплитуду движений (АД) тазобедренного сустава чаще всего описывают при помощи движения бедренной кости; таким же образом ее проще всего визуализировать.

Как справедливо для большинства суставов, на АД влияет способ выполнения движения (активное или пассивное), а также пассивное натяжение двухсуставных мышц (т.е. преодолевается это натяжение или попросту обходится).

Для тазобедренного сустава характерны следующие амплитуды пассивных движений:

- ♦ сгибание сустава при разогнутом колене обычно происходит на  $90^\circ$ , при согнутом колене (пассивное натяжение двухсуставных мышц задней поверхности бедра отсутствует) — на  $120^\circ$ ;
- ♦ разгибание сустава обычно имеет амплитуду от  $10$  до  $30^\circ$ . Если разгибание тазобедренного сустава сочетается со сгибанием колена, пассивное натяжение прямой мышцы бедра может ограничивать движение;
- ♦ отведение бедренной кости обычно равно  $45\text{--}50^\circ$ , приведение —  $20\text{--}30^\circ$ . Отведение может ограничиваться нежной мышцей (*m. gracilis*), приведение ограничивается широкой мышцей, натягивающей фасцию и ассоциированным с ней подвздошно-большеберцовым трактом;
- ♦ медиальная и латеральная ротация обычно измеряются при сгибании сустава на  $90^\circ$ ; типичный диапазон при этом составляет  $42\text{--}50^\circ$ .

Антеверсия бедренной кости имеет корреляцию с уменьшением амплитуды латеральной ротации; несколько менее она связана с увеличением амплитуды медиальной ротации.

Ограничение АД латеральной ротации при антеверсии бедренной кости происходит по причине скручивания вывернутой вперед головки бедра вперед, за пределы нормального диапазона. Когда при латеральной ротации головка поворачивается наружу еще больше, ей начинают противодействовать связочно-капсульные и мышечные ограничения в передней части сустава.

Нормальная ходьба по ровной опоре требует следующих минимальных амплитуд: 30° сгибания, 10° гиперразгибания, 5° отведения и приведения и 5° медиальной и латеральной ротации.

Ходьба по неровной почве или по лестнице требует амплитуд несколько больших; это же касается сидячего положения или сидячего положения со скрещенными ногами.

**Движения таза в тазобедренном суставе.** Когда проксимальный сегмент сустава движется на фиксированном дистальном сегменте, движение в суставе является таким же, как если бы подвижной частью был дистальный сегмент. Однако направление движения рычага становится обратным, например, сгибание локтевого сустава может быть ротацией дистального предплечья вверх или, наоборот, ротацией проксимальной плечевой кости вниз.

В тазобедренном суставе этот реверс движения рычага еще более усложняется за счет горизонтальной ориентации и формы таза. В отличие от остальных суставов здесь существует новый набор терминов для идентификации движений сустава, когда движущимся сегментом является таз (а не бедренная кость).

Термины для движений таза используются при описании движения нагруженного бедра, так как эти движения видны наблюдателю и фактически они являются ключом к тому, что происходит в суставах выше и ниже таза.

Артрокинематика и АД тазобедренного сустава остаются неизменными, независимо от того, какой сегмент движется.

**Передний и задний наклон таза** — это движения всего таза в сагиттальной плоскости вокруг венечной оси.

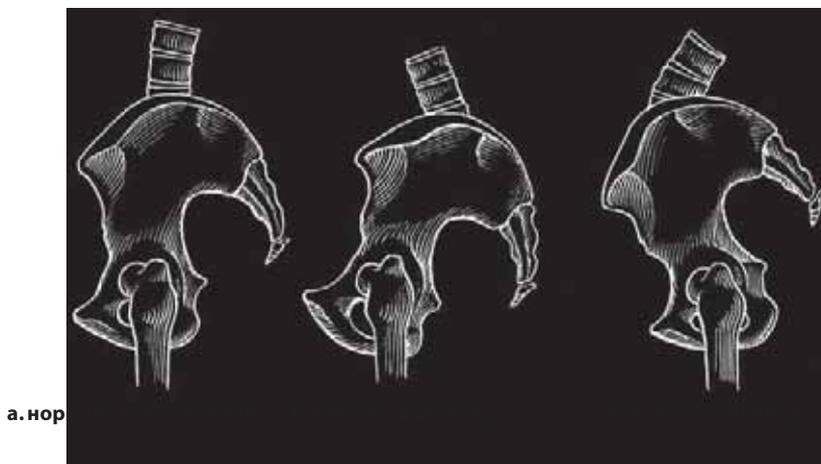
При нормальном выравнивании таза передние верхние подвздошные гребни таза (ПВГПК) лежат на одной горизонтальной линии с задними гребнями и вертикально к лобковому симфизу (рис. 6.14, *a*).

Передний и задний наклоны таза на фиксированной бедренной кости вызывают сгибание и, соответственно, разгибание в тазобедренном суставе. Разгибание при заднем наклоне выводит лобковый симфиз вверх и приближает заднюю часть таза к бедренной кости, при этом не двигая бедренную кость кзади по тазу (рис. 6.14, *b*).

Сгибание через передний наклон таза ведет передние верхние гребни подвздошной кости вперед и вниз, лобковый симфиз идет книзу и ближе к бедренной кости; при этом бедренная кость в направлении лобкового симфиза не смещается (рис. 6.14, *c*).

Передний и задний наклоны могут вызывать сгибание и разгибание обоих тазобедренных суставов одновременно или могут происходить только в нагруженном суставе, если на другую ногу вес не приходится.

**Латеральный наклон таза** — это движение во фронтальной плоскости всего таза вокруг переднезадней оси.



**Рис. 6.14.** Представление наклона таза в сагиттальной плоскости: *a* — таз находится в нормальном положении, человек стоит прямо. Поясничный отдел позвоночника в легком разгибании; *b* — при наклоне таза назад лобковый симфиз идет вверх, поясничный отдел слегка сгибается. Тазобедренный сустав разгибается; *c* — при переднем наклоне лобковый симфиз идет вниз, поясничный отдел — в гиперразгибание (лордоз). Тазобедренный сустав сгибается

При нормальном выравнивании таза линия, проходящая через ПВГПК, горизонтальна. Если проходящая через ПВГПК линия не горизонтальна, то произошел наклон таза.

Латеральный наклон таза может выполняться в стойке на одной ноге или при опоре на обе ноги. Хотя оба варианта являются функционально релевантными, латеральный наклон в стойке на одной ноге лучше способствует пониманию структуры и функции тазобедренного сустава, поэтому его мы и будем описывать первым.

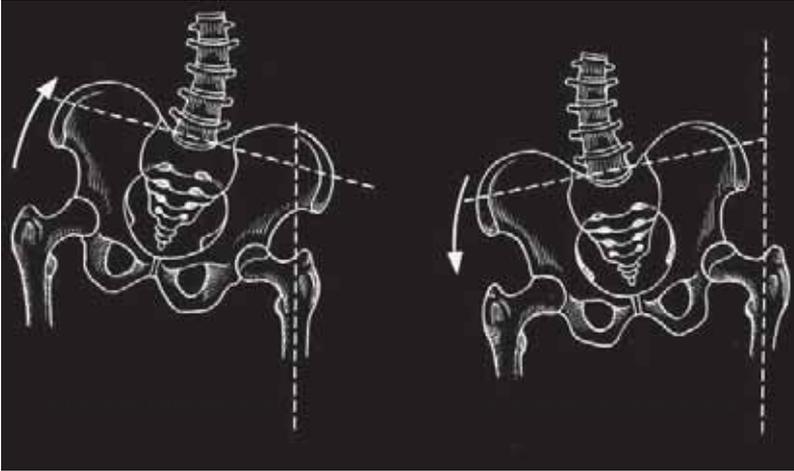
При латеральном наклоне таза в стойке на одной ноге один тазобедренный сустав является для движения осевым. При этом противоположная сторона таза поднимается или опускается.

Ненагруженная конечность представляет собой открытую цепь и не имеет принудительного положения, поэтому здесь мы можем ей пренебречь.

Однако, когда таз движется, ненагруженная нога обычно свисает точно вниз. Если человек стоит на левой ноге и поднимает таз, левый тазобедренный сустав отводится (рис. 6.15, *a*).

Медиальный угол между бедренной костью и линией, проходящей через ПВГПК, увеличивается так же, как если бы таз был фиксирован, а левый тазобедренный сустав *отводился* (рис. 6.15, *b*).

Таким образом, медиальный угол, образованный бедренной костью и проходящей через ПВГПК линией, будет уменьшаться так же, как при неподвижном тазе и отведенной бедренной кости.



*Рис. 6.15. Латеральный наклон таза вокруг левого сустава может происходить как подъем бедра (подъем противоположной стороны таза) либо как его опускание (тоже противоположной стороны таза): а — подъем таза вокруг левого тазобедренного сустава приводит к отведению левого тазобедренного сустава; б — опускание таза вокруг левого тазобедренного сустава приводит к приведению левого тазобедренного сустава*

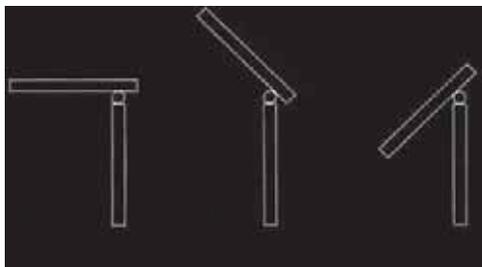
Относительные движения таза при латеральном наклоне могут быть более трудными для визуализации, чем при переднем и заднем наклонах, поскольку глаз стремится следовать за подвздошным гребнем на стороне опорной ноги, а не на противоположной. Однако следует иметь в виду, что osteокинематические описания всегда относятся к движению дальнего от оси сустава конца рычага.

Osteокинематическое описание движения бедренной кости относится к тому, что происходит с дистальным ее концом, а не с проксимальным большим вертелом, находящимся рядом с поворачивающейся головкой. Аналогично сгибание локтя рассматривается как приближение предплечья к плечевой кости, а не движение локтевого отростка от нее.

Визуализация движений тазобедренного сустава, которые происходят при перемещениях таза по бедренной кости, становится проще, если представить себе таз как горизонтальный рычаг, проходящий через подвздошные гребни (рис. 6.16, а).

Подъем таза будет увеличивать угол между двумя рычагами (рис. 6.16, б) и вызывать отведение в суставе. Опускание таза будет уменьшать угол между рычагами (рис. 6.16, в) и вызывать приведение в суставе.

Нагруженный сустав в стойке на одной ноге всегда будет осью вращения, а идентификатором движения всегда будет противоположная сторона таза. Если человек стоит на правой ноге и поднимает таз, то будет необходимым уточнить,



*Рис. 6.16. а — нейтральный таз и бедренная кость в стойке на левой ноге; б — подъем таза вокруг левого тазобедренного сустава вызывает отведение сустава; с — опускание таза вокруг левого тазобедренного сустава вызывает приведение в суставе*

что подниматься будет именно левая сторона таза. Поскольку правый сустав является осевым, движение определяется по смещению левой стороны таза.

Латеральный наклон таза может также наблюдаться при опоре на обе ноги, если таз отклоняется в одну сторону. Если вес приходится на обе стопы, между стопами и тазом возникает закрытая цепь. Соответственно, двигаться будут оба тазобедренных сустава, и, если при смещении таз остается горизонтальным, движение нельзя называть, отталкиваясь от таза.

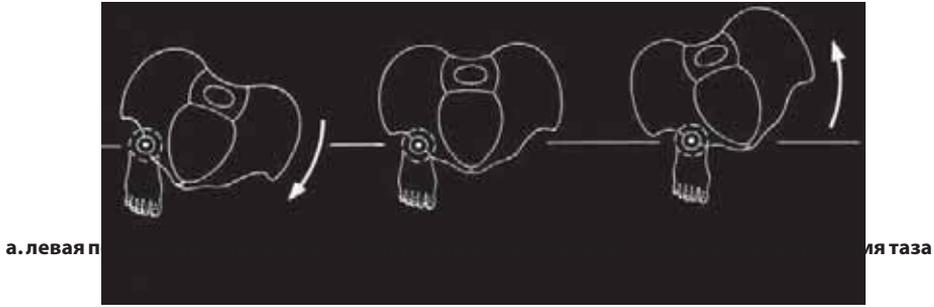
Однако можно идентифицировать движения тазобедренных суставов. Если таз отклоняется от горизонтали, можно идентифицировать сторону тела и направление наклона, вместе с соответствующими движениями тазобедренных суставов. Если в двухопорной стойке таз смещается вправо (опускается слева), то правый сустав будет в приведении, а левый — в отведении (рис. 6.17).

**Ротация таза** — это движение всего таза в поперечной плоскости вокруг вертикальной оси.

Хотя в двухопорной стойке ротация может выполняться вокруг вертикальной оси через середину таза, она чаще совершается



*Рис. 6.17. Таз и вес тела смещены вправо, приводя правый тазобедренный сустав в положение приведения, а левый — в состояние отведения. Чтобы вернуться в нейтральное положение, сохраняя вес на обеих ногах, правые отводящие и левые приводящие мышцы работают синергично, смещая вес обратно к центру*



**Рис. 6.18.** Ротация таза в поперечной плоскости, вид сверху: *a* — ротация таза вперед вокруг правого тазобедренного сустава вызывает медиальную ротацию правого сустава; *b* — нейтральное положение таза и правого тазобедренного сустава; *c* — ротация таза назад вокруг правого тазобедренного сустава вызывает латеральную ротацию этого сустава

в одноопорном положении вокруг оси опорного сустава, и вначале мы будем ее определять именно таким образом. Ротация таза вперед возникает, когда вперед движется сторона таза, противоположная опорному суставу (рис. 6.18, *a*).

Снова заметим, что для идентификации движения служит сторона таза, противоположная оси вращения. Если известна сторона опоры, легко определить, какая сторона таза будет выполнять ротацию вперед. Ротация таза вперед создает медиальную ротацию опорного тазобедренного сустава.

Медиальная ротация тазобедренного сустава, которая происходит во время передней ротации таза, лучше всего воспринимается, если вы выполните это движение сами. Стоя на одной ноге и поворачивая таз и туловище вперед до максимума, вы четко почувствуете относительную медиальную ротацию опорной конечности; ротация таза назад происходит, когда сторона таза, противоположная опорной конечности, идет назад (рис. 6.18, *c*).

Ротация таза назад вызывает латеральную ротацию опорного тазобедренного сустава. Это тоже лучше всего воспринимается при самостоятельном выполнении движения.

Что касается латерального наклона таза, ротация может происходить в стойке с опорой на обе ноги. Если вес приходится на обе ноги и ось движения совпадает с осью, проходящей через центр таза, термины ротации следует использовать в отношении стороны (например, *ротация вперед справа* и *ротация назад слева*).

### 6.2.3. КООРДИНИРОВАННЫЕ ДВИЖЕНИЯ БЕДРЕННОЙ КОСТИ, ТАЗА И ПОЯСНИЧНОГО ОТДЕЛА ПОЗВОНОЧНИКА

Когда таз движется на относительно фиксированной бедренной кости, есть два возможных варианта: или голова и туловище будут следовать за движением

таза (движение головы в пространстве), или голова будет оставаться в относительно прямой и вертикальной позиции, несмотря на движения таза. Соответственно, есть реакции открытой и закрытой цепи.

Каждая из этих двух ситуаций вызывает весьма разные реакции суставов и сегментов, расположенных проксимально и дистально по отношению к тазобедренному суставу и тазу, потому их следует изучать по отдельности.

**Функция открытой цепи тазобедренного сустава.** Когда бедренная кость, таз и поясничный отдел движутся скоординированно с целью достижения большей АД, чем амплитуда, характерная для изолированного сегмента, тазобедренный сустав является участником открытой цепи, и можно использовать термин «пояснично-тазовое движение».

Пояснично-тазовое движение можно считать аналогом лопаточно-плечевого движения, поскольку комбинация движений нескольких суставов предназначена для увеличения амплитуды, характерной для дистального сегмента. В случае лопаточно-плечевого движения суставы работают на кисть. В случае с пояснично-тазовым движением суставы могут работать на любой конец цепи: либо на голову, либо на стопы.

Если задачей является наклон вперед с касанием руками пола, изолированное сгибание тазобедренных суставов (передний наклон таза на бедренных костях) обычно является недостаточным. Если колени остаются в разогнутом состоянии, сгибание тазобедренных суставов не превышает 90°. Добавление сгибания поясничного отдела (и, возможно, грудного отдела тоже) дает достаточный наклон головы и туловища для того, чтобы коснуться руками пола (рис. 6.19). Это пример реакции открытой цепи тазобедренных суставов и туловища.

Если человек лежит на боку, попытка максимального отведения ноги даст порядка 90° (рис. 6.20). Это движение происходит не только за счет тазобедренного сустава, отведение которого возможно только на 45°, но включает в себя латеральный наклон таза (в сторону отведения) и латеральное сгибание поясничного отдела позвоночника в сторону отводимого тазобедренного сустава.



*Рис. 6.19. Пояснично-тазовый ритм может увеличивать амплитуду наклона тела вперед за счет сочетания сгибания тазобедренного сустава, наклона таза вперед и сгибания в поясничном отделе. Такое сочетание позволяет достать пол руками*

Движения в этих двух примерах являются частью открытой цепи, поскольку один из суставов (таз и бедренная кость) могут двигаться, по большей части, не требуя движений остальных суставов.

Однако движения открытой цепи в положении стоя не являются полностью независимыми и требуют тонкой настройки или компенсаций со стороны других суставов, чтобы ЛСТ оставалась в пределах площади опоры, несмотря на изменение расположения сегментов.

На рис. 6.19 голеностопные суставы при наклоне вперед выполняют легкое подошвенное сгибание, чтобы сдвинуть таз назад. Это тонкое отклонение таза позволяет ЛСТ оставаться в пределах площади опоры.

**Функция закрытой цепи тазобедренного сустава.** Перед тем как мы рассмотрим функцию закрытой цепи тазобедренного сустава, нам сначала следует изучить, как сустав становится частью закрытой цепи.

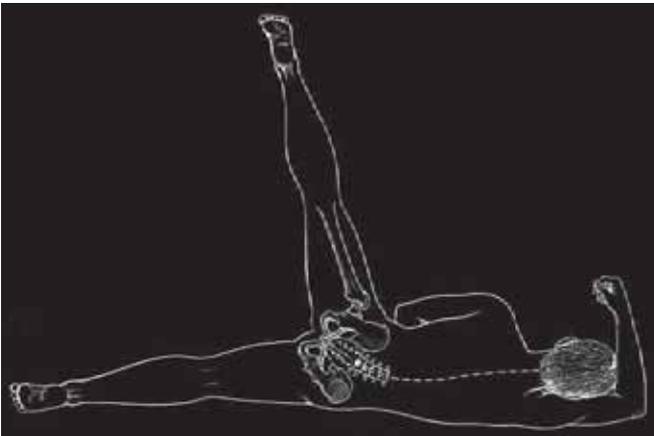
Чтобы тазобедренный сустав стал частью закрытой цепи, следует иметь два конца и знать, каким образом «фиксирован» каждый из них. Ясно, что стопа (один конец цепи) часто фиксируется при опоре. Однако противоположный конец цепи также должен быть фиксирован: закрытая цепь создается только при этом условии.

Другим концом функциональной закрытой цепи в данном случае является голова. Хотя голова свободно перемещается в пространстве, при любой деятельности в вертикальном положении она чаще всего остается вертикально ориентированной.

Стимул держать голову вертикально поступает частично от лабиринта и оптических рефлексов, которые в норме явно просматриваются уже при рождении и ра-

ботаю в течение всей жизни. Стимул держать голову прямо над крестцом эффективно фиксирует голову в относительном пространстве, хотя с точки зрения структуры это не совсем так, т.е. голова является фиксированной скорее функционально, чем структурно.

Когда голову (один конец цепи) держат прямо и над площадью опоры (другой конец цепи), все сегменты между головой и нагруженной поверх-



*Рис. 6.20. Пояснично-тазовое движение увеличивает амплитуду движения: стопа перемещается за счет комбинации отведения бедра, латерального наклона таза и латерального сгибания поясничного отдела позвоночника*

ностью будут частью одной закрытой цепи.

Исходным условием закрытой цепи является то, что движение в одном суставе создает движение как минимум в еще одном звене цепи. Так, сгибание тазобедренного сустава (условие закрытой функциональной цепи) не может происходить независимо, но должно сопровождаться движением одного или более суставов выше или ниже.

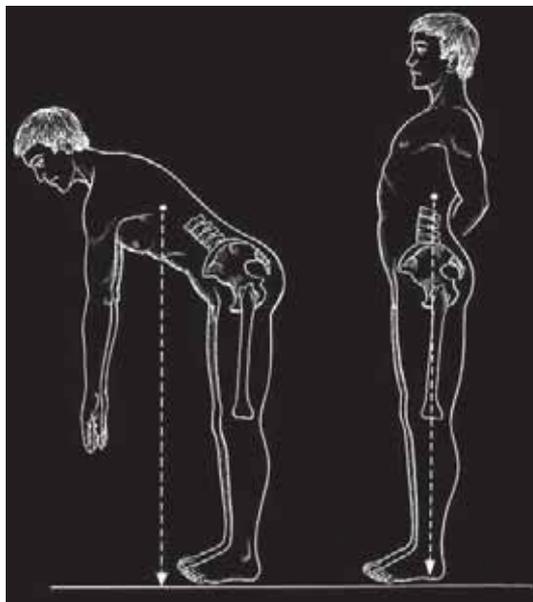
Компенсаторные реакции промежуточных сегментов гарантируют, что голова останется над площадью опоры и что тело не будет неустойчивым. Реакцию закрытой цепи можно, однако, преодолеть сознательно, не фиксируя голову.

Распространенный пример сравнения функций открытой и закрытой цепи — когда мышцы-сгибатели бедра напряжены и тазобедренный сустав удерживается в сгибании (рис. 6.21).

Реакция истинной открытой цепи — смещение головы и туловища вперед над согнутыми тазобедренными суставами; при этом ЛСТ смещается вперед и проецируется перед опорными стопами. Человек в таком положении неустойчив и стоять не может (рис. 6.21, *a*).

Чаще устойчивое сгибание тазобедренных суставов сопровождается компенсаторными движениями позвоночника, которые удерживают голову прямо и удерживают ЛСТ в пределах площади опоры (рис. 6.21, *b*).

Движения одного звена цепи сопровождаются движением одного или нескольких других звеньев. Там, где сгибание тазобедренных суставов сопровождается сгибанием поясничного отдела для достижения большей амплитуды (открытая цепь), мы имеем сгибание тазобедренного сустава, сопровождаемое разгибанием поясничного отдела, позволяющее удерживать голову над крестцом.



*Рис. 6.21. a — при реакции открытой цепи на напряженные сгибатели бедра туловище наклоняется вперед. Линия силы тяжести (ЛСТ) будет проецироваться за пределы площади опоры, если не сделать определенных подстроек; b — при реакции закрытой цепи на напряженные сгибатели бедра поясничный отдел позвоночника будет разгибаться, возвращая голову в положение над крестцом; ЛСТ остается в пределах площади опоры*

Таблица 6.1

**Взаимосвязь таза, тазобедренного сустава и поясничного отдела позвоночника при опоре на правую ногу**

Движение таза	Сопутствующее движение тазобедренного сустава	Компенсаторное движение поясничного отдела
Наклон таза вперед	Сгибание бедра	Разгибание поясницы
Наклон таза назад	Разгибание бедра	Сгибание поясницы
Латеральный наклон таза вниз	Приведение правого бедра	Латеральное сгибание вправо
Латеральный наклон таза вверх	Отведение правого бедра	Латеральное сгибание влево
Ротация вперед	Медиальная ротация правого бедра	Ротация влево
Ротация назад	Латеральная ротация правого бедра	Ротация вправо

Если таз наклонен латерально в связи с укороченной правой ногой (таз внизу справа, отведение правого бедра), туловище будет наклоняться вправо и ЛСТ будет стремиться справа выйти за пределы площади опоры. Для того, чтобы удержать ЛСТ в пределах центра площади опоры, поясничный отдел позвоночника выполняет латеральное сгибание влево, от сустава в отведении. Это противоположно тому, что мы видели, функции открытой цепи, когда поясничный отдел сгибался в ту же сторону, что и отведенное бедро, с целью увеличить амплитуду движения стопы.

Важный пример компенсаторных движений закрытой цепи между тазом, тазобедренным суставом и поясничным отделом можно видеть во время ходьбы.

Когда мы идем, таз будет слегка опускаться (латеральный наклон) вокруг опорного тазобедренного сустава (приведение). Если голова и туловище будут следовать за тазом, тело отклонится от опорной поверхности, и ЛСТ будет проецироваться за пределы площади опоры. Вместо этого поясничный отдел слегка сгибается в сторону опорной конечности, предотвращая смещение головы и туловища.

В любом случае нормального или аномального движения таза при опоре, если голова должна держаться прямо, будут выполняться компенсаторные движения поясничного отдела. Это не отбрасывает необходимость компенсаторных действий со стороны дополнительных суставов, но поясничный отдел все равно остается «первой линией обороны».

Когда мы будем рассматривать другие суставы нижней конечности и перейдем к осанке и ходьбе, мы встретимся с другими компенсаторными движениями и будем обсуждать их.

В табл. 6.1 представлены компенсаторные движения поясничного отдела позвоночника, которые сопровождают движения таза и тазобедренного сустава в функциональной закрытой цепи.

#### 6.2.4. МУСКУЛАТУРА ТАЗОБЕДРЕННОГО СУСТАВА

Проводились многочисленные исследования мышц тазобедренного сустава. Большинство из них подтверждает основные принципы мышечной физиологии, которые мы уже рассматривали на других суставах.

Мышцы тазобедренного сустава лучше всего работают в середине своего сократительного диапазона или при легком растягивании (оптимальное соотношение «длина–натяжение»); две суставные мышцы развивают наибольшую силу, когда не требуется одновременное сокращение через два сустава; генерация напряжения оптимальна при эксцентрическом сокращении, за которым идут изометрическое и концентрическое сокращение.

Вместе с тем участие мышц тазобедренного сустава наиболее важно при поддержке веса. При весовой нагрузке эти мышцы активируются в большей степени для перемещения или опоры ГРТ (2/3 веса тела), чем для работы с весом нижней конечности (1/6 веса тела). Учитывая именно такую задачу, можно говорить об уникальности мышц тазобедренного сустава в плане больших площадей их прикреплений, длины и большой площади поперечного сечения.

Эти характеристики, в сочетании с большой АД тазобедренного сустава, выражаются в мышечной функции, которая находится под сильным влиянием положения тазобедренного сустава и доступности движений для проксимальных и дистальных сегментов.

Например, приводящие мышцы могут при нейтральном положении тазобедренного сустава быть сгибателями бедра, но при уже согнутом бедре они будут выступать в роли его разгибателей. Аналогичным образом, гребенчатая мышца и наружная запирающая мышца могут в положении предельной медиальной ротации превращаться из латеральных ротаторов в медиальные.

Такие функциональные инверсии обнаруживаются только в некоторых мышцах плеча (ключичный отдел большой грудной мышцы, к примеру), но в тазобедренном суставе их можно назвать обыденными. Вследствие этого результаты некоторых исследований могут показаться противоречивыми; однако различие результатов объясняется различием условий тестирования. Были также обнаружены некоторые половые различия, которыми объясняется отличие результатов.

Лучше всего изучать действие мышц тазобедренного сустава в контексте специфических функций, таких как опора на одну ногу, осанка и ходьба. В следующем разделе мы кратко коснемся мышечной деятельности, но более подробный ее анализ оставим для дальнейшего рассмотрения.

Хотя традиционное воздействие каждой мышцы на дистальный сегмент бедренной кости описано почти полностью, следует подчеркнуть, что любая

из мышц точно так же вызывает движение сустава, перемещая не дистальный, а проксимальный, тазовый сегмент.

**Сгибатели** тазобедренного сустава действуют, прежде всего, как мышцы подвижности в открытой цепи, т.е. они действуют, в первую очередь, когда на ногу не приходится вес, и выносят конечность вперед при ходьбе или при некоторых спортивных движениях.

Вторичное действие сгибателей — сопротивление сильному разгибанию сустава, которое наблюдается при прохождении тела над опорной ногой.

Переднюю часть тазобедренного сустава пересекают линии действия девяти мышц.

Основными сгибателями тазобедренного сустава являются: подвздошно-поясничная мышца, прямая мышца бедра, мышца-напрягатель широкой фасции и портняжная мышца.

Подвздошно-поясничная мышца считается самой важной из основных сгибателей тазобедренного сустава. Она состоит из двух отдельных мышц, подвздошной мышцы и большой поясничной мышцы; обе они прикрепляются к бедренной кости общим сухожилием. Два компонента подвздошно-поясничной мышцы имеют много точек начала, включая подвздошную ямку, диски, тела и поперечные отростки поясничных позвонков. Мышцы проходят над лобковым симфизом, но под паховой связкой (рис. 6.22).



*Рис. 6.22. Правый тазобедренный сустав, вид спереди. Показаны прикрепления подвздошно-поясничной мышцы*

Прикрепление большой поясничной мышцы к передним частям позвонков и подвздошной мышцы к подвздошной ямке делает вероятным участие этих мышц в переднем наклоне таза (подвздошная мышца) и тяге поясничных позвонков вперед (большая поясничная мышца).

В закрытой цепи (голова держится вертикально) эти мышцы отвечают за создание поясничного лордоза (туловище — над мышечными прикреплениями, голова в разгибании для компенсации переднего наклона таза и сгибания нижней части поясничного отдела). Роль пояснично-подвздошной мышцы особенно важна, когда требуется сгибание тазобедренного сустава из положения сидя.

Smith с коллегами предположили, что при параличе подвздошно-поясничной мышцы тазобедренный сустав нельзя со-

гнуть больше чем на  $90^\circ$ , так как остальные сгибатели тазобедренного сустава являются в этом положении активно недостаточными.

Basmajian и DeLuca проанализировали противоречивые результаты многих авторов и пришли к выводу, что оба сегмента подвздошно-поясничной мышцы активны на различных стадиях сгибания сустава.

Поскольку ротационная функция подвздошно-поясничной мышцы часто ставится под сомнение, авторы также считают, что любая сопутствующая функция медиального или латерального ротатора этих мышц как минимум незначительна и ей можно пренебречь.

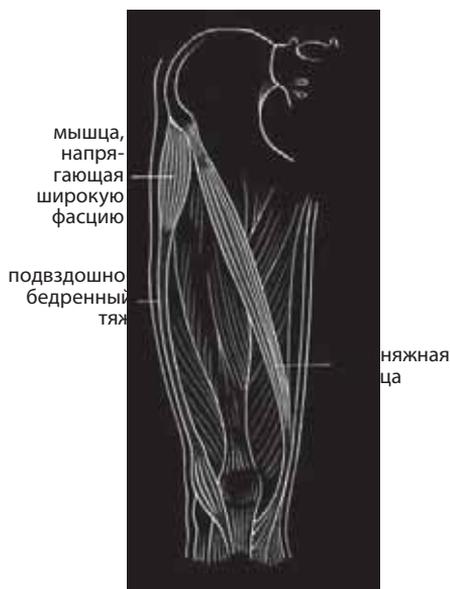
Прямая мышца бедра является единственным отделом четырехглавой мышцы, пересекающим тазобедренный и коленный суставы; она начинается на переднем верхнем гребне подвздошной кости и прикрепляется общим сухожилием к бугру большой берцовой кости.

Прямая мышца бедра сгибает тазобедренный сустав и разгибает коленный сустав. Поскольку она является двухсуставным сгибателем тазобедренного сустава, ее способность к генерации силы в тазобедренном суставе зависит от положения колена при согнутом бедре. Одновременное сгибание тазобедренного сустава и разгибание колена значительно укорачивают мышцу и повышают вероятность активной недостаточности. Соответственно, прямая мышца бедра лучше всего способствует сгибанию тазобедренного сустава при сохранении согнутого колена.

Портняжная мышца — это лентообразная мышца, начинающаяся на ПВГПК. Она пересекает переднюю часть бедренной кости и прикрепляется к верхнему отделу медиальной части большой берцовой кости (рис. 6.23).

Портняжная мышца считается сгибателем отводящей мышцей и латеральным ротатором тазобедренного сустава, а также сгибателем и медиальным ротатором колена.

Wheatley и Jahnke предположили, что портняжная мышца, несмотря на то, что является двухсуставной, относительно независима от положения коленного сустава, так как при увеличении его сгибания ее пропорциональное изменение



**Рис. 6.23.** Передняя сторона правого тазобедренного и коленного суставов.

Показано расположение мышцы, напрягающей широкую фасцию, и портняжной мышцы. Обе мышцы являются двухсуставными и действуют как на тазобедренный сустав, так и на коленный

длины относительно невелико. Вероятно, ее функция наиболее важна тогда, когда надо согнуть тазобедренный и коленный сустав одновременно (как при подъеме по лестнице), однако малая площадь поперечного сечения не позволяет рассматривать ее роль для тазобедренного сустава как уникальную или критически важную.

Мышца, натягивающая широкую фасцию, начинается латерально по отношению к портняжной мышце. Она берет свое начало на переднелатеральной губе гребня подвздошной кости. Волокна мышцы тянутся только примерно на четверть пути вниз по латеральной части бедра, а далее входят в подвздошно-большеберцовый тракт (см. рис. 6.23).

Подвздошно-большеберцовый тракт (ПББТ) — это утолщенный латеральный отдел широкой фасции бедра. ПББТ проксимально прикрепляется к гребню подвздошной кости, латерально к мышце, натягивающей широкую фасцию. После прикрепления мышцы к ПББТ тракт продолжается дистально по внешней стороне бедра и прикрепляется к латеральному мыщелку большеберцовой кости.

Считается, что мышца, натягивающая широкую фасцию, сгибает, отводит и выполняет медиальную ротацию бедренной кости в тазобедренном суставе. При этом участие ее в отведении бедра может зависеть от одновременного сгибания колена.

Наиболее важным вкладом мышцы можно считать сохранение натяжения ПББТ. ПББТ помогает избавиться бедренную кость от некоторых нагрузок растяжения, оказываемых весом на диафиз кости.

Так как кость более эффективно сопротивляется компрессионным нагрузкам, чем нагрузкам растяжения, их ослабление важно для сохранения целостности кости.

С функциональной точки зрения мышца, натягивающая широкую фасцию и ПББТ, не несет значимой биомеханической нагрузки для коленного и тазобедренного сустава, что позволяет ее использовать в трансплантологии.

Вторичными сгибателями тазобедренного сустава являются: гребенчатая мышца, длинная приводящая мышца, большая приводящая мышца и нежная мышца (*m. gracilis*). Эти мышцы описаны в следующем разделе, поскольку являются, в первую очередь, приводящими мышцами бедра. Каждая из них, вместе с тем может участвовать в сгибании тазобедренного сустава, но участие их зависит от его позиции.

Каранджі отмечает, что эти мышцы способствуют сгибанию только в диапазоне между 40 и 50° сгибания сустава. Как только бедренная кость занимает позицию выше точки начала мышцы, мышца превращается в разгибатель.

Двухсуставная нежная мышца (*m. gracilis*) активна как сгибатель только при разогнутом колене.

**Приводящие мышцы.** Группой приводящих мышц бедра обычно считаются: гребенчатая мышца, короткая приводящая мышца, длинная приводящая мышца, большая приводящая мышца и нежная мышца (*m. gracilis*).

Гребенчатая мышца — это небольшая мышца, расположенная медиально к подвздошно-поясничной мышце (рис. 6.24).

Другие приводящие мышцы также располагаются антеромедиально (рис. 6.25).

Длинная, короткая и большая приводящая мышцы идут группой от тела и низа лобковой кости и прикрепляются к *linea aspera* (шероховатой линии).

Нежная мышца (*m. gracilis*) является единственной двухсуставной приводящей мышцей. Она начинается от лобкового симфиза и лобковой дуги и прикрепляется к медиальной поверхности диафиза большой берцовой кости.

Участие приводящих мышц в функции тазобедренного сустава обсуждалось многие годы.

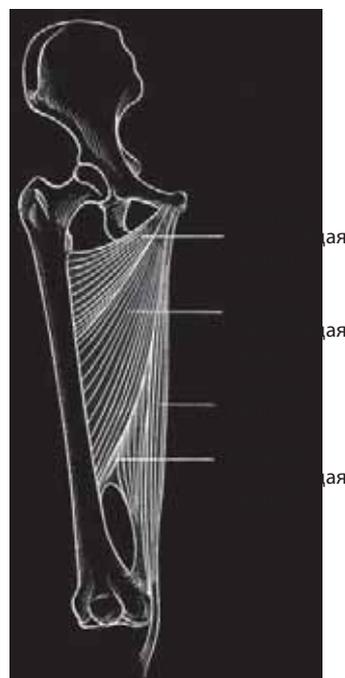
Basmajian и DeLuca полагают, что разброс результатов исследований подтверждает теорию Janda и Stara о том, что приводящие мышцы не являются первичными инициаторами движения и что их функция — рефлекторный ответ при ходьбе.

Как будет видно при обсуждении мышечной функции в двухопорной стойке, приводящие мышцы могут быть синергистами отводящих мышц, когда обе стопы находятся на опоре, тем самым улучшая боковую стабилизацию таза.

Хотя роль приводящих мышц может быть менее ясной, чем других мышечных групп бедра, не следует недооценивать их важность. Группа приводящих мышц — это



**Рис. 6.24.** Вид правого тазобедренного сустава спереди. Показаны прикрепления гребенчатой мышцы. Гребенчатая мышца является приводящей мышцей и сгибателем бедра



**Рис. 6.25.** Приводящие мышцы правого бедра

22,5% общей массы нижней конечности, тогда как на сгибатели приходится только 18,4%, и на отводящие мышцы — 14,9%. Приводящие мышцы также способны развивать максимальный изометрический момент вращения, больший, чем у отводящих мышц.

**Разгибатели.** Основными разгибателями тазобедренного сустава являются односуставная большая ягодичная мышца и двухсуставная мышечная группа мышц задней поверхности бедра. Эти мышцы получают помощь от задних волокон средней ягодичной мышцы, от верхних волокон большой приводящей мышцы и от грушевидной мышцы.

Большая ягодичная мышца — это крупная четырехугольная мышца, которая начинается от задней части крестца, дорсальных крестцово-подвздошных связок, крестцово-бугорной связки и небольшой части подвздошной кости.

Большая ягодичная мышца пересекает крестцово-подвздошный сустав до того, как самые верхние ее волокна входят в подвздошно-большеберцовый тракт (как и волокна мышцы, натягивающей широкую фасцию), а нижние волокна прикрепляются к ягодичному бугру (рис. 6.26).

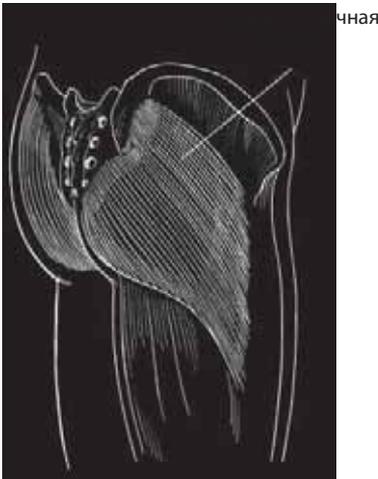
Большая ягодичная мышца — самая крупная из мышц нижней конечности, она одна составляет 12,8% общей мышечной массы ноги. Большая ягодичная мышца является сильным разгибателем бедра, которая активна при сопротивлении большем, чем вес конечности.

Ее плечо момента (ПМ) разгибания тазобедренного сустава значительно длиннее, чем плечо мышц задней поверхности бедра или большой приводя-

щей мышцы; оно является максимальным при нейтральном положении тазобедренного сустава. Благоприятное отношение «длина–натяжение», вместе с тем позволяет создавать пиковый момент разгибания при 70° сгибания бедра.

Большая ягодичная мышца обладает значительной способностью к латеральной ротации бедренной кости, хотя в предельных точках амплитуды она может менять функцию на обратную.

Три двухсуставных разгибателя — длинная головка двуглавой мышцы бедра, полусухожильная мышца и полуперепончатая мышца — известны под общим названием мышц задней поверхности бедра. Каждая из этих трех мышц начинается на седалищном бугре.



**Рис. 6.26.** Большая ягодичная мышца

Двуглавая мышца бедра пересекает бедренную кость сзади и прикрепляется к головке малоберцовой кости и латеральной стороне латерального мышцелка большой берцовой кости. Две другие мышцы прикрепляются к медиальной части большой берцовой кости. Все три мышцы разгибают бедро с сопротивлением или без него, а также являются важными сгибателями колена.

Мышцы задней поверхности бедра увеличивают ПМ разгибания бедра при сгибании колена до  $35^\circ$  и уменьшают его после этой величины.

ПМ большой ягодичной мышцы максимально в нейтральном положении и уменьшается при любом сгибании бедра. Независимо от этих изменений ПМ вместе с положением сустава, ПМ комбинации мышц задней поверхности бедра в тазобедренном суставе меньше, чем большой ягодичной мышцы во всех точках АД сгибания/разгибания сустава.

Поскольку мышцы задней поверхности бедра являются двухсуставными, они сильно зависимы от положения коленного сустава. Если колено согнуто на  $90^\circ$  или более, мышцы задней поверхности бедра могут оказаться неспособны к значимому участию в разгибании бедра по причине активной недостаточности. Сила разгибания в бедре увеличивается на 30%, если при этом разогнуто колено.

В отличие от полуперепончатой или полусухожильной мышцы двуглавая мышца бедра может способствовать латеральной ротации бедра.

**Отводящие мышцы.** Активное отведение бедра выполняется преимущественно средней ягодичной и малой ягодичной мышцами. Верхние волокна большой ягодичной и портняжной мышц могут оказывать помощь при отведении с сильным сопротивлением. Мнения относительно участия мышцы, натягивающей широкую фасцию, расходятся, однако эта мышца может быть эффективной как отводящая только при одновременном сгибании бедра.

Средняя ягодичная мышца находится под большой ягодичной мышцей. Она начинается на латеральной поверхности крыла подвздошной кости и прикрепляется к большому вертелу. Средняя ягодичная мышца имеет переднюю, среднюю и заднюю части, которые действуют при движении тазобедренного сустава асинхронно. Аналогично дельтовидной мышце плечевого сустава передние волокна средней ягодичной мышцы активны при сгибании бедра и медиальной ротации, тогда как задние волокна работают при разгибании и латеральной ротации. Все части мышцы работают на отведение. Вертельная сумка средней ягодичной мышцы отделяет дистальное сухожилие мышцы от вертела, над которым оно должно проскальзывать. При некоторых состояниях сумка может воспаляться и быть источником болей.

Малая ягодичная мышца находится под средней ягодичной, отходя от наружной поверхности подвздошной кости; ее волокна сливаются в апоневроз, который заканчивается в сухожилии на большом вертеле. Вертельная сумка малой ягодичной мышцы позволяет сухожилию скользить над вертелом.

Малая и средняя ягодичные мышцы действуют вместе либо в отведении бедренной кости (дистальный рычаг свободен), либо, что более важно, в стабилизации таза (и находящихся сверх ГРТ) в одноопорной стойке.

Как будет показано позже, средняя и малая ягодичные мышцы преодолевают гравитационный момент приведения в тазе, действующий вокруг опорного сустава (опускание таза).

Отводящие мышцы физиологически созданы для более эффективной деятельности при нейтральном или слегка приведенном бедре (отводящие мышцы немного вытянуты). Изометрический крутящий момент отведения при нейтральной позиции бедра на 82% больше, чем при отведении бедра на 25° (укороченные отводящие мышцы).

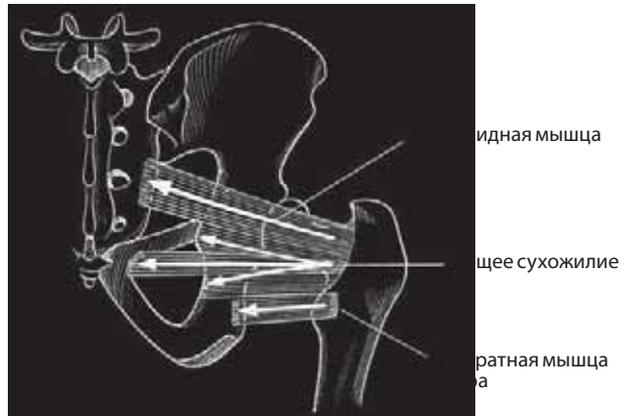
**Латеральные ротаторы.** Латеральная ротация является основной функцией шести коротких мышц. Эти мышцы: внешняя и внутренняя запирающие мышцы, верхняя и нижняя близнецовые мышцы, квадратная мышца бедра и грушевидная мышца.

Другие мышцы, волокна которых идут позади оси движения тазобедренного сустава (задние волокна средней ягодичной мышцы, малой ягодичной мышцы и верхние волокна большой ягодичной мышцы), могут создавать латеральную ротацию дополнительно к основному действию.

Все первичные латеральные ротаторы прикрепляются к большому вертелу или рядом с ним (рис. 6.27).

Внутренняя запирающая мышца начинается от внутренней (задней) стороны запирающего отверстия и проходит через малое седалищное отверстие, прикрепляясь к медиальной стороне (внутренней) большого вертела.

Верхняя и нижняя близнецовые мышцы отходят от седалищной кости соответственно чуть выше и ниже места, где внутренняя запирающая мышца



**Рис. 6.27.** Линии действия латеральных ротаторов тазобедренного сустава идут почти перпендикулярно диафизу бедренной кости (что делает их оптимальными ротаторами) и параллельно головке и шейке бедра (что делает их оптимальными компрессорами). Общее сухожилие объединяет прикрепление верхней и нижней близнецовых мышц и внутренней запирающей мышцы. Наружная запирающая мышца не показана. Проксимальное прикрепление грушевидной мышцы находится на передней стороне крестца

проходит через малую седалищную вырезку. Обе близнецовые мышцы идут вместе и смешиваются с сухожилием внутренней запирательной мышцы и присоединяются к большому вертелу.

Наружная запирательная мышца иногда считается антеромедиальной мышцей бедра, так как она начинается на наружной (передней) поверхности запирательного отверстия. Она пересекает заднюю сторону тазобедренного сустава и прикрепляется к медиальной стороне большого вертела в вертельной ямке.

Квадратная мышца бедра — это небольшая четырехугольная мышца, которая начинается на седалищном бугре и прикрепляется к задней поверхности бедренной кости между большим и малым вертелом.

Грушевидная мышца начинается на передней стороне крестца, проходит через большую седалищную вырезку и идет вдоль нижней границы задней части средней ягодичной мышцы, прикрепляясь над другими латеральными ротаторами к медиальной стороне большого вертела.

Грушевидная и большая ягодичная мышцы являются единственными мышцами, пересекающими крестцово-подвздошный сустав. Седалищный нерв, крупнейший нерв тела, входит в ягодичный регион сразу под грушевидной мышцей.

Латеральные ротаторы расположены так, чтобы выполнять свои функции максимально эффективно, с учетом почти перпендикулярной ориентации относительно диафиза бедренной кости (см. рис. 6.27). Однако исследование функций этих мышц затруднено по причине весьма ограниченного доступа для электродов ЭМГ.

Как и ротационный манжет в плечевом суставе, эти мышцы представляются эффективными суставными компрессорами, поскольку их линии действия параллельны шейке и головке бедра. Гипотетически линии тяги этих односуставных мышц должны бы делать их идеальными тоническими стабилизаторами как при опорном, так и безопорном положении тазобедренного сустава.

Их способность к латеральной ротации может уменьшаться при сгибании бедра, хотя направленная к вертлужной впадине линия тяги не должна особенно зависеть от положения тазобедренного сустава.

**Медиальные ротаторы.** Мышц с первичной функцией медиальных ротаторов в тазобедренном суставе нет, хотя мышцы с линией тяги, проходящей спереди оси тазобедренного сустава в некоторой точке АД, могут способствовать этому действию.

Наиболее устойчивыми медиальными ротаторами являются: передняя часть средней ягодичной мышцы и мышца, натягивающая широкую фасцию.

При всех противоречиях, существуют достаточные доказательства того, что роль медиальных ротаторов могут играть приводящие мышцы. Способность

мышц тазобедренного сустава к смене функции при изменении позиции сустава становится очевидной при исследовании медиальной ротации бедра.

У многих мышц тазобедренного сустава имеется тенденция к увеличению крутящих моментов медиальной ротации (или уменьшению моментов латеральной ротации) при увеличении сгибания бедра; при этом момент медиальной ротации при согнутом бедре в три раза превышает этот показатель, наблюдающийся при разгибании бедра.

### 6.2.5. ФУНКЦИИ МЫШЦ В ПОЛОЖЕНИИ СТОЯ

**Стойка с опорой на обе ноги.** В обычной двусторонней стойке оба тазобедренных сустава находятся в нейтральном положении или в позиции легкого гиперразгибания, вес равномерно распределен на обе ноги.

ЛСТ проецируется чуть сзади от оси сгибания/разгибания тазобедренного сустава. Такое расположение ЛСТ создает момент разгибания, который вызывает задний наклон таза на головках бедренных костей.

Гравитационный момент разгибания сильно ограничен пассивным натяжением в связочно-капсульных структурах тазобедренного сустава, хотя пассивным структурам может способствовать легкая или переменная активность подвздошно-поясничной мышцы.

Во фронтальной плоскости во время двусторонней (двухопорной) стойки вес тела передается через крестцово-подвздошные суставы, по тазовой трабекулярной системе — к правой и левой головкам бедренных костей.

Обычно считают, что вес ГРТ ( $2/3$  веса тела) распределяется так, что каждая головка получает по 50%.

Как показано на рис. 6.28, ось каждого тазобедренного сустава находится на равном расстоянии от ЛСТ ГРТ ( $DR = DL$ ). Так как вес тела ( $W$ ) на каждой головке одинаков ( $WR = WL$ ), величина гравитационных моментов вращения также должна быть одинакова для каждого тазобедренного сустава ( $WR \times DR = WL \times DL$ ).

Два момента, однако, действуют в противоположных направлениях. Вес тела, действующий вокруг правого тазобедренного сустава, опускает таз слева (правый момент приведения), а вес, действующий через левый сустав, опускает таз вправо (левый момент приведения).

Эти два противоположных гравитационных момента, равных по величине, уравновешивают друг друга и сохраняют таз в равновесии во фронтальной плоскости без помощи активных мышц.

Допуская, что для сохранения стабильности тазобедренных суставов в сагиттальной или фронтальной плоскости мышечные силы не требуются, при двусторонней опоре компрессия в каждом суставе будет равна половине дей-

ствующего веса тела (т.е. по 1/3 веса ГРТ на каждый сустав).

Предположим, что человек весит 72 кг. Тогда вес ГРТ будет равен 48 кг (2/3 от 72 кг). Из этих 48 кг по половине будет предположительно приходиться на каждый тазобедренный сустав. Поскольку мы допустили, что дополнительных компрессионных сил со стороны мышц нет, то общая компрессия каждого сустава при двусторонней стойке будет равна 24 кг, т.е. 1/3 веса тела.

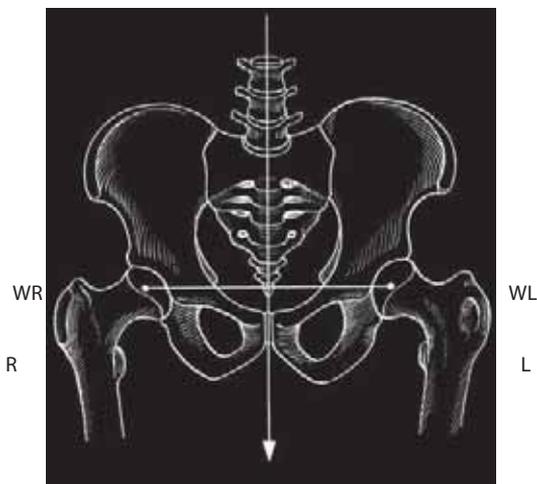
Bergmann с коллегами показали, что у некоторых людей с чувствительными к давлению протезами тазобедренного сустава на каждый такой сустав в двусторонней стойке приходилось от 80 до 100% веса тела, что много больше одной трети.

При добавлении симметрично распределенной нагрузки на туловище исследуемых нагрузки на тазобедренные суставы возрастали пропорционально полному весу нагрузки, а не ее половине, чего можно было бы ожидать.

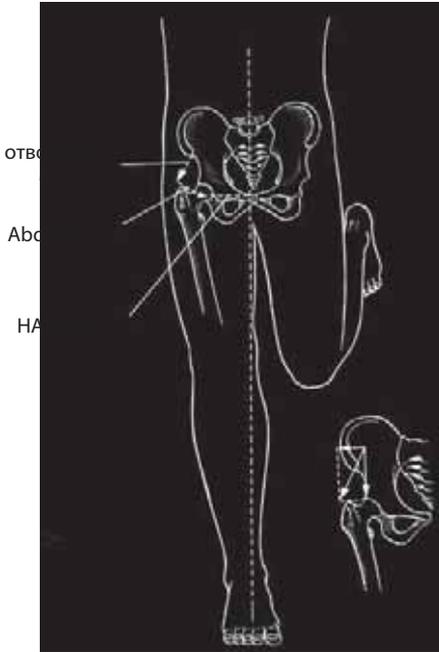
Хотя протез может не полностью представлять нормальный тазобедренный сустав, результаты Bergmann ставят под некоторое сомнение упрощенное мнение относительно распределения сил при двусторонней стойке. Незначительная активность подвздошно-поясничной мышцы может создавать большую компрессию сустава, чем думали раньше.

Если двусторонняя стойка несимметрична, потребуется активность мышц фронтальной плоскости либо для контроля движения из стороны в сторону, либо для возвращения тазобедренных суставов в симметричное положение.

На рис. 6.17 таз отклонен вправо, что приводит к относительному приведению правого бедра и отведению левого бедра. Для возвращения в нейтральное положение, казалось бы, требуется активное сокращение отводящих мышц правого бедра. Однако ту же самую задачу решает сокращение приводящих мышц с левой стороны.



**Рис. 6.28.** Таз при нормальной двусторонней стойке (вид спереди). Вес действует на правый тазобедренный сустав (WR) на расстоянии от правого сустава до центра тяжести тела (DR); такая же ситуация наблюдается в левом тазобедренном суставе (WL, DL соответственно), в итоге:  $WR \times DR = WL \times DL$



**Рис. 6.29.** В правой односторонней стойке вес ГРТ действует в 10 см от правого тазобедренного сустава. При 0-сантиметровом ПМ слегка недооценивается расположение ЛСТ, так как не принят в расчет вес поднятой левой ноги. ПМ отводящих мышц бедра равен примерно 5 см (на вкладке: тяга отводящих мышц ( $F_{ms}$ ) при горизонтальной ориентации таза раскладывается на: поступательный компонент ( $f_t$ ), который тянет вертлужную впадину в центр головки бедра, и ротационный компонент ( $f_r$ ), который тянет таз вниз по верхней части головки бедренной кости)

При двусторонней стойке контралатеральные отводящие и приводящие мышцы могут действовать как синергисты, контролируя движение таза во фронтальной плоскости. При условии, что хоть какая-то часть веса тела приходится на каждую из конечностей, приводящие мышцы могут помогать отводящим мышцам контролировать взаимодействие таза с силой тяжести или с силой реакции опоры.

При стойке на одной ноге активность отводящих мышц загруженной или свободной ноги не способствует стабильности опорной конечности. В таком положении стабильность тазобедренного сустава достигается исключительно за счет отводящих мышц.

В случае отсутствия адекватной функции отводящих мышц приводящие мышцы могут способствовать устойчивости при двусторонней опоре.

**Стойка на одной ноге.** На рис. 6.29 левая нога оторвана от опоры, и весь вес тела поддерживается правым тазобедренным суставом. Теперь правый сустав не делит компрессионное усилие веса с левой конечностью, а должен нести всю нагрузку полностью. Кроме того, вместе с весом ГРТ ему приходится брать на себя еще вес свободно висящей левой ноги.

Так как на нижние конечности приходится треть веса тела, на безопорную ногу отводится половина, то есть  $1/6$  общего веса тела. Таким образом, величина веса тела ( $W$ ), оказывающая компрессионное действие на правый тазобедренный сустав в правой односторонней стойке, равна:

$$\begin{aligned} \text{компрессия правого тазобедренного сустава}_{(\text{веса тела})} &= [2/3 \times W] + [1/6 \times W] = \\ &= 5/6 \times W. \end{aligned}$$

Вновь возьмем пример с человеком весом в 72 кг. Вес его ГРТ будет равен 48 кг (2/3 от 72 кг). Вес одной нижней конечности составляет 1/6 веса тела, т.е. 12 кг. Таким образом, когда этот человек отрывает одну ногу от опоры, на опорную конечность приходится 60 кг (или 5/6 веса) компрессии от веса тела.

Хотя мы считаем, что при переходе из симметричной стойки в одностороннюю компрессия тазобедренного сустава увеличивается, проблема здесь сложнее. Тазобедренный сустав не только сжимается весом тела (гравитация), но вес тела также создает еще и крутящий момент вокруг сустава.

Сила тяжести, действующая на ГРТ и безопорную ногу (ГРТБН), создает приводящий момент вокруг опорного сустава, т.е. сила тяжести тянет таз книзу вокруг правого опорного сустава.

ЛСТ проходит примерно в 10 см от оси правого тазобедренного сустава (ПМ = 10 см), хотя это расстояние может иметь индивидуальные различия.

10 сантиметров наблюдаются обычно при симметричной стойке. Реальное ПМ будет несколько больше, так как вес поднятой левой ноги смещает центр тяжести действующего сверху веса несколько влево.

Для сохранения одноопорного положения должен присутствовать противоположный крутящий момент (момент отведения) равной силы, иначе таз опустится. Если туловище последует за тазом, человек просто упадет в сторону поднятой ноги.

Противоположный момент должен создаваться силой отводящих мышц (средняя и малая ягодичные мышцы), действующих на таз.

Для того чтобы предотвратить спад таза на безопорную сторону, отводящие мышцы должны развивать силу как минимум в 120 кг (вспомним, что мы недооценивали гравитационный крутящий момент).

Допустим, что вся мышечная сила передается через вертлужную впадину к головке бедренной кости и равна 120 кг. Мышечная компрессионная сила теперь прибавляется к 60 кг компрессии, так как вес тела проходит через опорный сустав. Таким образом, общая компрессия тазобедренного сустава, или силы реакции сустава, при стойке на одной ноге будет для нашего гипотетического испытуемого равняться 120 кг мышечной компрессии сустава плюс 60 кг веса тела, т.е. 180 кг.

Расположение силы реакции сустава можно далее определить, узнав угол тяги отводящих мышц бедра. Линия действия отводящих мышц находится под углом 22–30° к вертикали, являясь результатом компонентов, показанных на вкладке рис. 6.29.

Предположим, что угол тяги будет равен  $30^\circ$  к вертикали. Тогда почти  $2/3$  общей силы отводящих мышц бедра (80 кг), действующей на таз, будут тянуть его по вертикали вниз, по головке бедра, а  $1/3$  (40 кг) — латерально, к головке.

Вертикально вниз направленная сила в 80 кг пойдет по той же линии, что и вертикальная сила веса тела (60 кг), соответственно, чистая сила, действующая через основные несущие вес области вертлужной впадины и головки бедренной кости, будет равна 140 кг.

Оставшиеся 40 кг из общей компрессии тазобедренного сустава (180 кг) будут однородно распределены по периферии вокруг головки бедра, так как бедренная кость и вертлужная впадина плотно прилегают друг к другу; при этом следует помнить, что вертлужная ямка и ямка бедренной кости не являются суставными поверхностями и, соответственно, веса не несут.

Использовавшиеся гипотетические цифры, как уже говорилось, представляют собой предельно упрощенную модель сил, участвующих в нагрузках на тазобедренный сустав. Обычно считается, что общая компрессия тазобедренного сустава, или силы реакции сустава, в статической одноопорной стойке превышают вес тела в 2,5–3 раза.

Подсчет и измерения, сделанные разными исследователями, показывают, что в начале и конце опорной фазы при ходьбе эти силы превышают вес тела соответственно в 4 и 7 раз. Они также в 7 раз больше веса тела при подъеме по лестнице.

Хотя потеря веса может уменьшать силу реакции тазобедренного сустава, все равно ее наибольший компонент создается за счет действий отводящих мышц бедра.

На величину требуемой силы отводящих мышц влияют индивидуальные различия угла тяги мышц, угол наклона головки бедра и угол скручивания бедренной кости.

Физиологические и биомеханические факторы, требующие увеличения силы, генерируемой отводящими мышцами, со временем могут ускорять износ сустава (результат аномально больших компрессионных усилий), что приводит к ухудшению нормальной компрессии и износу хряща.

**Ослабление мышечных усилий в одноопорной стойке.** Если в тазобедренном суставе происходят остеоартритные изменения, ведущие к возникновению болей при весовой нагрузке, силы реакции сустава могут в целях избегания боли уменьшаться.

Если общая компрессия сустава в одноопорной стойке составляет примерно три веса тела, то потеря веса тела на 400 г уменьшает силу реакции сустава на 1,2 кг. Однако для максимально болезненных тазобедренных суставов обычно требуется более выраженное уменьшение компрессии, чем то, которого можно реально достичь за счет потери веса.

Решением может быть уменьшение потребности в силе отводящих мышц. Если для преодоления силы тяжести требуется меньший мышечный контрмомент, может произойти уменьшение мышечной компрессии сустава, хотя вес тела остается неизменным.

Необходимость уменьшения силовых требований отводящих мышц наблюдается также при их ослаблении вследствие паралича или структурных изменений бедренной кости, которые снижают эффективность мышц.

Фактически паралич отводящих мышц бедра (средняя и малая ягодичные мышцы) считается самым серьезным мышечным нарушением в области тазобедренного сустава. Слабость отводящих мышц бедра неминуемо будет влиять на походку и способность к ходьбе в принципе.

Паралич других мышц тазобедренного сустава при наличии целых отводящих мышц позволяет человеку ходить и даже бегать со сравнительно небольшими затруднениями.

При необходимости существует несколько вариантов уменьшения силовых требований отводящих мышц. Некоторые виды ослабления компрессии происходят автоматически, но за счет дополнительных затрат энергии и структурного стресса. Другие варианты требуют применения вспомогательных устройств, но минимизируют расход энергии.

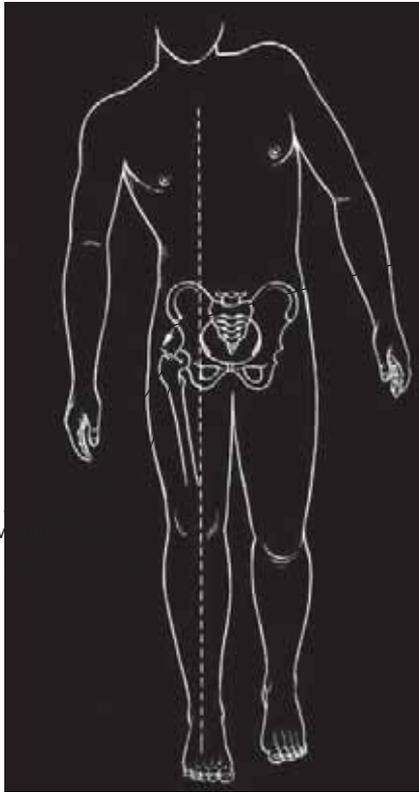
**Компенсаторный латеральный наклон туловища.** Действующий на таз гравитационный крутящий момент является произведением веса тела и расстояния между ЛСТ и осью сустава (ПМ).

Если существует потребность уменьшения крутящего момента силы тяжести при одноопорной стойке, то можно уменьшить ПМ силы тяжести (вес тела по понятным причинам уменьшить сложнее) за счет латерального наклона туловища над тазом в сторону боли или слабости (рис. 6.30).

Это делается в случае, если одноопорная стойка выполняется на болезненной ноге. Хотя наклон в болезненную сторону может показаться нелогичным, компенсаторный латеральный наклон туловища в сторону болезненной опорной ноги смещает ЛСТ ближе к тазобедренному суставу, тем самым уменьшая гравитационное ПМ.

Поскольку вес ГРТБН должен проходить через опорный тазобедренный сустав, независимо от положения туловища, отклонение в сторону болезненного или слабого тазобедренного сустава не увеличивает его компрессию за счет веса. Однако оно уменьшает гравитационный крутящий момент. При меньшем гравитационном моменте приведения будет и меньшая потребность в создании контрмомента отведения.

Хотя теоретически и возможно наклонить туловище так, чтобы ось ноги проходила через опорный сустав (т.е. уменьшить крутящий момент до нуля) или в сторону, противоположную опорному суставу (реверс направления гравитационного крутящего момента), это довольно экстремальные движения, требу-



Отводящие  
мышцы

**Рис. 6.30.** Когда туловище наклоняется вбок, в сторону опорной конечности, плечо момента ГРТ существенно уменьшается (2,5 см по сравнению с 10 см при нейтральном положении туловища), тогда как ПМ отводящих мышц остается тем же (т.е. 5 см). В результате значительно уменьшается крутящий момент ГРТ и, соответственно, снижается потребность в генерации силы отведения для создания контрмомента

ющие значительного расхода энергии и ведущие к избыточному износу поясничного отдела позвоночника.

Более экономные и менее стрессовые для структуры компенсации могут вызывать значительное уменьшение силы отведения бедра.

Сила реакции сустава в 90 кг равна половине 180 кг компрессии тазобедренного сустава, ранее рассчитанной для человека, находящегося в одноопорной стойке. Это уменьшение достаточно для ослабления некоторых болевых симптомов, испытываемых людьми с артритными изменениями в суставе, или для того, чтобы вдвое снизить нагрузку на ослабленные отводящие мышцы.

Компенсаторный наклон является инстинктивным и обычно наблюдается у людей с нарушениями функции тазобедренного сустава. Когда латеральный наклон туловища наблюдается при ходьбе и связан со слабостью отводящих мышц, это называют *походкой средней ягодичной мышцы*.

Если эта же компенсация связана с болью в тазобедренном суставе, этот симптом называют *обезболивающей походкой*.

В некоторых случаях рассчитанная нами сила отводящих мышц, равная 90 кг, необходима для стабилизации таза, но мала для восполнения работоспособно-

сти слишком слабых или полностью парализованных отводящих мышц. В таких случаях предельной слабости отводящих мышц таз будет опускаться в безопорную сторону даже при наклоне туловища к опорной стороне.

Если при ходьбе наблюдаются наклон в сторону и опускание таза, такое отклонение называют *походкой Тренделенбурга*.

Наклон в сторону, сопровождающий опускание таза, может быть достаточным для удержания ЛСТ в пределах площади опорной стопы.

Независимо от того, связан ли боковой наклон туловища с мышечной слабостью или болью, при ходьбе таким способом тратится значительно больше энергии, чем обычно требуется для одноопорной стойки; в случае длительного использования это может приводить к стрессовым изменениям в поясничном отделе.

Реальной альтернативой для человека с болью или слабостью является использование трости или другого вспомогательного устройства.

**Использование трости с той же стороны.** Надавливание вниз, на трость, которую держат в руке с болезненной или слабой стороны, ослабляет действие веса тела на величину давления на трость книзу; т.е. часть веса ГРТБН идет через руку на трость, не приходя на крестец и опорный тазобедренный сустав.

Inman предположил, что вполне реальным является давление на трость с усилием, примерно равным 15% от веса тела. Часть веса тела, проходящего через трость, не проходит через тазобедренный сустав и не создает крутящего момента приведения вокруг него.

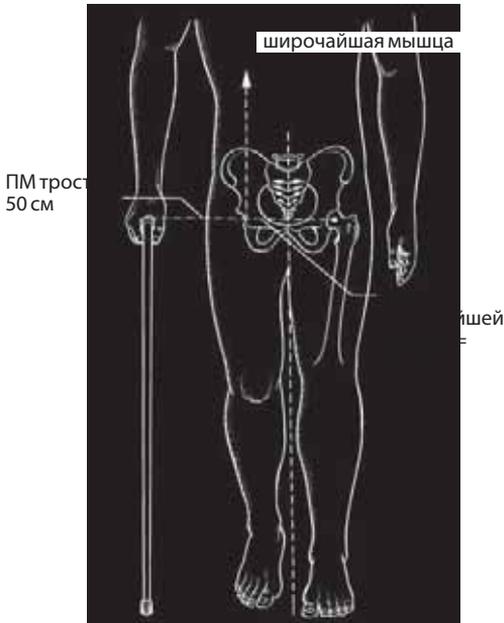
Хотя ипсилатеральное использование трости дает некоторые преимущества с точки зрения затрат энергии, оно менее эффективно для снижения компрессии тазобедренного сустава, чем нежелательный наклон туловища в сторону. Если трость держать другой рукой, то это даст значительно лучшие результаты.

**Контралатеральное использование трости.** Когда тростью пользуются со стороны, противоположной болезненному или слабому тазобедренному суставу, уменьшение ГРТБН — такое же, как когда трость используют с болезненной стороны, т.е. вес тела, проходящий через опорный сустав, снижается примерно на 15%.

Однако сейчас трость отстоит гораздо дальше от болезненного опорного сустава, чем при использовании с той же стороны (рис. 6.31), т.е. кроме некоторого ослабления действия веса тела, трость теперь находится в положении, помогающие отводящим мышцам создавать момент, противостоящий крутящему гравитационному моменту.

К сожалению, классические представления о биомеханике трости существенно переоценивают ее значение.

Krebs с коллегами показали максимальное снижение контактных сил в одной точке протеза головки бедра при использовании трости во время ходьбы всего на 40%, а не на 75%, как следовало бы из классических расчетов. Разночтения



*Рис. 6.31. Если трость держать в руке, противоположной болезненному опорному тазобедренному суставу, вес, проходящий через левое бедро, уменьшается, а активация правой части широчайшей мышцы спины создает момент противодействия ГРТ и уменьшает потребность в сокращении отводящих мышц левого бедра. Расчетное плечо момента трости равно 50 см, тогда как ПМ широчайшей мышцы спины равно 20 см*

связаны, прежде всего, с тем, каким образом к трости, создающей момент противодействия гравитации, прилагается сила.

Мы провели обзор классического описания использования трости со стороны, противоположной болезненному или слабому бедру, и того, как это влияет на силы, действующие через сустав. Похожие толкования можно найти во многих книгах и научных статьях.

Однако весьма незначительное внимание уделяется тому, как нажатие рукой книзу, на трость, на самом деле влияет на таз. На равновесие объекта (такого как таз) могут влиять только силы, конкретно воздействующие на данный объект. Объяснению эффекта трости не будет хватать связности, если мы не разъясним, как сила от трости передается к силе, действующей на таз.

Гипотетически мы можем предположить, что направленная книзу сила толчка тростью приходит на таз посредством сокращения широчайшей мышцы спины.

Хорошо известно, что широчайшая мышца спины является депрессором плечевой кости как через прикрепление собственно к ней, так и через более варибельное прикрепление к лопатке; и ее классическое определение — «костыльная мышца».

Так как нажатие на трость осуществляется посредством опускания плеча, логичным будет предположить, что при использовании трости широчайшая мышца спины активна. Она прикрепляется к подвздошному гребню таза. Со-

кращение широчайшей мышцы спины вызывает тягу подвздошного гребня кверху со стороны трости (противоположной слабому или болезненному опорному тазобедренному суставу), что показано на рис. 6.31.

Тяга вверх стороны таза, противоположной оси опорного сустава (сила подъема таза), создает крутящий момент отведения вокруг опорного сустава. Этот момент отведения может уравновешивать гравитационный момент приведения, действующий вокруг того же сустава.

Разумным будет полагать, что сила сокращения широчайшей мышцы спины будет приблизительно такой же, как давление вниз на трость (10,8 кг), если считать, что давление инициируется именно этой мышцей.

Результаты измерений ПМ тяги широчайшей мышцы спины, оказываемой на таз, почти недоступны.

Широчайшая мышца спины имеет прикрепление к тазу на заднем подвздошном гребне, латерально от мышцы, выпрямляющей позвоночник. С учетом этого допустим, что линия тяги мышцы приложена к тазу несколько выше вертлужной впадины. Если мы допускаем, что сила тяжести действует в 10 см от вертлужной впадины, то линия тяги широчайшей мышцы спины будет проходить в 20 см от впадины опорного тазобедренного сустава (см. рис. 6.31).

**Корректировка переносимого груза.** Если человек с болями или слабостью в тазобедренном суставе несет груз в руке или на туловище (рюкзак или сумка), существует потенциальная возможность повышения требований к отводящим мышцам бедра и увеличению компрессии тазобедренного сустава.

Дополнительная внешняя нагрузка увеличивает вес, действующий на поврежденный опорный сустав в одноопорном положении. Соответственно, может увеличиваться гравитационный крутящий момент, что предъявляет повышенные требования к созданию контрмомента отводящими мышцами опорного сустава.

Хотя увеличения веса при переноске груза избежать нельзя, возможно избежать увеличения гравитационного момента со стороны болезненного или слабого сустава.

Если внешний груз нести в руке со стороны болезненного или слабого тазобедренного сустава, асимметричная нагрузка вызовет смещение комбинированного центра тяжести (тело + внешняя нагрузка) в сторону болезненного сустава. Любое смещение центра тяжести (или равнодействующей ЛСТ) к болезненному суставу уменьшает гравитационное ПМ. Если внешняя нагрузка невелика, уменьшение гравитационного ПМ может приводить к уменьшению гравитационного момента приведения вокруг опорного сустава. При снижении гравитационного момента приведения уменьшается и запрос к отводящим мышцам бедра на создание контрмомента отведения, а соответственно, и компрессия сустава в одноопорном положении на поврежденной конечности.

Естественно, что обратный эффект будет наблюдаться, если груз будут нести со стороны, противоположной болезненному суставу. В этом случае нагрузка будет как увеличивать собственный вес тела, так и гравитационное плечо момента при опоре на поврежденную конечность.

Neumann и Cook измеряли ЭМГ активность в средней ягодичной мышце при различных условиях переноски груза. Они показали, что груз в 10% от веса тела, переносимый справа, уменьшал потребность в активности отводящих мышц при опоре на правую ногу, т.е. добавка к весу тела уравновешивалась уменьшением гравитационного ПМ. При увеличении нагрузки до 20% от веса тела активность отводящих мышц была статистически такая же, как и до нагрузки. Увеличение веса тела и уменьшение ПМ создавало такой же гравитационный момент, как при отсутствии дополнительного веса.

При переноске веса в левой руке, при опоре на правую ногу наблюдалось значительное увеличение активности правых отводящих мышц. Здесь груз увеличивал вес тела и смещал ЛСТ от тазобедренного сустава, тем самым наращивая гравитационный момент и потребность в активности отводящих мышц.

Если Neumann и Cook изучали активность средней ягодичной мышцы для оценки реакции на груз, то Bergmann с коллегами оценивали силу реакции тазобедренного сустава у нескольких испытуемых и измеряли конкретные силы в снабженном датчиками протезе головки бедренной кости. Bergmann показал, что большинство испытуемых могло нести груз до 25% от веса тела в правой руке, при этом, во время опоры на правую ногу, показывая небольшое уменьшение компрессии тазобедренного сустава, по сравнению с состоянием без нагрузки. Автор показал также, что, если задачей является уменьшение компрессии тазобедренного сустава, типичного отклонения туловища в сторону от груза можно избежать.

Переноска умеренного груза (менее 25% от веса тела) на стороне болевых ощущений или слабости тазобедренного сустава может быть разумной альтернативой для ослабления боли в тазобедренном суставе или «походки средней ягодичной мышцы» в случае, если человек не хочет использовать трость.

Следует избегать переноски грузов на стороне, противоположной болезненному или слабому суставу.

### **6.3. ПАТОЛОГИЯ ТАЗОБЕДРЕННОГО СУСТАВА**

В этом разделе содержатся основы, которые надо четко усвоить для понимания дисфункции тазобедренного сустава. Большие активные и пассивные силы, действующие через сустав, делают его подверженным износу и последующему выходу из строя поврежденных компонентов.

Незначительное изменение биомеханики бедренной кости или вертлужной впадины может приводить к увеличению пассивных сил выше нормального уровня или к слабости динамических стабилизаторов сустава.

В настоящем разделе рассматриваются некоторые наиболее часто встречающиеся проблемы и лежащие в их основе механизмы.

### 6.3.1. АРТРОЗ

Самое распространенное болезненное состояние тазобедренного сустава вызывается ухудшением суставного хряща и последующими изменениями суставных тканей. Это заболевание известно как *остеоартрит*, дегенеративный артрит, или, что более правильно, *артроз тазобедренного сустава*. Оно встречается у 10–15% людей в возрасте старше 55 лет и почти одинаково распространено у мужчин и женщин.

Хотя на частоту этого заболевания могут влиять травмы или неправильное положение сустава, такое как антеверсия бедренной кости, 50% случаев считаются идиопатическими, т.е. в их основе не лежит дополнительная патология.

Изменения могут быть связаны с незаметными отклонениями, присутствующими с рождения, возрастными изменениями тканей, повторными механическими нагрузками или слишком длительным действием веса на тазобедренный сустав либо с сочетанием нескольких перечисленных факторов.

Факторами, наиболее тесно связанными с идиопатическим артрозом тазобедренного сустава, являются: возраст и увеличение соотношения вес/рост.

Lane с коллегами не показали связи между остеоартритными изменениями и двигательной активностью у пожилых людей.

Механизм дегенерации хряща тазобедренного сустава не вполне изучен. Если отсутствуют очевидные биомеханические проблемы, дегенеративные изменения могут быть связаны не столько с величиной сил, действующих в тазобедренном суставе, сколько с их неадекватностью. Это объясняет отсутствие взаимосвязи между артрозом тазобедренного сустава и повышенной двигательной активностью, такой как спорт и физическая культура.

Может случаться так, что силы, превосходящие половину веса тела, требуются для полного контакта с куполом вертлужной впадины.

Используя в качестве основы ряд исследований, Bullough с соавторами выдвинули гипотезу, что обычно мы проводим в нагруженном одноопорном положении (когда нагрузка достаточна, чтобы вдавить суставной хрящ в купол вертлужной впадины) не более 5–25% времени. Меньшие нагрузки и редкие усилия сустава могут быть недостаточно адекватными для поддержания потока питательных веществ и вывода продуктов обмена из лишнего сосудов хряща.

Теория неадекватной компрессии как фактора, способствующего дегенерации, подтверждается теми фактами, что наиболее часто дегенеративные изменения бедренной кости наблюдаются на периферии головки и в области около ямки, но не в тех областях, на которые приходится основная весовая нагрузка. На периферию головки приходится не более трети компрессионных усилий, передающихся на верхний отдел головки в целом, тогда как компрессия верхней части головки наблюдается не только в стоячем положении; она также контактирует с задней частью вертлужной впадины, когда человек сидит. Область головки бедренной кости вокруг ямки, как правило, находится в ненагружаемой вертлужной вырезке, и компрессия там наблюдается довольно редко.

Wingstrand с соавторами предположили, что избыток внутрисуставной жидкости при относительно мягком синовите или травме может понижать конгруэнтность сустава и уменьшать стабилизирующий эффект атмосферного давления, результатом чего являются микроскопическая нестабильность и неблагоприятные для хряща нагрузки.

### 6.3.2. ПЕРЕЛОМ

Хотя нагрузки, связанные с поддержанием веса, приходящиеся на тазобедренный сустав, могут вызывать износ суставного хряща, костные компоненты также должны обладать достаточной силой, чтобы выдерживать усилия, действующие в области тазобедренного сустава и через него.

Как уже отмечалось в разделе, посвященном структуре тазобедренного сустава, вертикальные силы, проходящие через верхний край вертлужной впадины, как в односторонней, так и двусторонней стойке, действуют на некотором расстоянии от направления силы реакции опоры, идущей вверх по диафизу бедренной кости. Результатом является сила сгибания, действующая на шейку бедренной кости (см. рис. 6.14).

В норме трабекулярная система способна сопротивляться усилиям сгибания, однако аномальное увеличение силы или ослабление кости могут привести к повреждению кости. Зоной повреждения обычно является область более тонкого трабекулярного распределения, в частности, зона слабости (см. рис. 6.13).

Повреждение кости в области шейки бедренной кости редко наблюдается у детей или молодых взрослых людей даже при высоких нагрузках. Однако перелом шейки бедра у людей в возрасте около семидесяти лет в США наблюдается с частотой 98/100000.

Перелом шейки бедра гораздо чаще происходит у людей белой расы, чем у чернокожих. Этот вид травмы чаще наблюдается у женщин, хотя здесь явно

прослеживается влияние большей продолжительности жизни. В группе среднего возраста женщины страдают от перелома шейки бедра реже, чем мужчины, причем в этой группе переломы обычно расцениваются как очень серьезная травма.

В 87% случаев перелома шейки бедра у пожилых людей одним из факторов является падение из положения стоя, со стула или с кровати.

Существует общее мнение, что этот перелом связан с уменьшением плотности кости, хотя это не является единственной причиной. После 50-летнего возраста плотность костей уменьшается на 2% в год; в процессе старения трабекулы утончаются и исчезают.

Cummings и Nevitt считают, что экспоненциальный рост переломов бедра с возрастом не объясняется только лишь уменьшением плотности костей; они предполагают, что важным фактором может быть снижение скорости ходьбы у пожилых людей. По мнению авторов, замедление ходьбы уменьшает вероятность падения вперед, на вытянутые руки, зато увеличивает возможность падения назад, на ягодицы, т.е. на область, ослабленную потерей плотности кости и уже не имеющую такого мощного жирового и мышечного амортизатора, который наблюдается у молодых людей.

Переломам бедра будет постоянно уделяться повышенное внимание из-за высоких расходов как на консервативное, так и на оперативное лечение.

Это очень болезненное состояние, кроме того, неправильное срастание костных отломков может привести к нестабильности сустава или износу хрящей (или к тому и другому).

Хотя головка бедренной кости может получать некоторое кровоснабжение через связку головки бедренной кости, отсутствие или уменьшение такого снабжения (что происходит с возрастом) означает переключение на анастомозы от огибающих артерий. Это питание от огибающих артерий при переломе шейки бедра может быть прервано, а это ставит головку бедра под риск развития бессосудистого некроза и последующей замены ее искусственным протезом.

Также довольно велика связанная с переломами головки бедра смертность — около 20%.

### **6.3.3. КОСТНЫЕ АНОМАЛИИ БЕДРЕННОЙ КОСТИ**

Когда структура бедренной кости изменяется вследствие аномального угла скручивания или отклонения, изменения направления и величины сил, действующих в области тазобедренного сустава, могут приводить к другим патологическим состояниям, таким как повышенная вероятность артроза сустава, перелома шейки бедренной кости или мышечной слабости.

Нормальные углы наклона и скручивания представляют оптимальный баланс напряжения и регулировки мышц. На самом деле изменения могут быть для некоторых функций и благоприятными, однако они всегда будут ущербными для других функций.

***Coxa valga/Coxa vara* (варус и вальгус тазобедренного сустава).** При вальгусе тазобедренного сустава (*coxa valga*, см. рис. 6.5, *a*) угол наклона бедренной кости больше, чем нормальный угол у взрослого человека ( $125^\circ$ ). Увеличение угла сближает вертикальную линию веса с диафизом бедренной кости, уменьшая усилие среза или сгибания, действующее через шейку. Уменьшение силы приводит к снижению плотности латеральной трабекулярной системы.

Вместе с тем уменьшение расстояния между головкой бедренной кости и большим вертелом также уменьшает и длину ПМ отводящих мышц. Уменьшение мышечного ПМ приводит к увеличению потребности в генерации большей мышечной силы для сохранения момента отведения, достаточного для уравновешивания гравитационного момента приведения при одноопорном положении.

Дополнительная потребность в мышечном усилии увеличивает общую силу реакции сустава либо отводящие мышцы оказываются неспособны отвечать повышенным требованиям и будут функционально ослаблены.

Хотя отводящие мышцы могут быть функционально в состоянии нормы, снижение биомеханической эффективности может создавать компенсации, типичные для слабости главных отводящих мышц.

Вальгус тазобедренного сустава также уменьшает площадь суставной поверхности бедренной кости, находящуюся в контакте с куполом вертлужной впадины. Если головка бедра смотрит больше вверх, то как раз сверху она меньше закрыта вертлужной впадиной. Соответственно, при вальгусе уменьшается стабильность тазобедренного сустава и повышается предрасположенность к его вывиху.

Считается, что варус тазобедренного сустава (*coxa vara*) имеет преимущество в стабильности сустава (если только угол не является экстремальным). Происходит отчетливое улучшение конгруэнтности, поскольку уменьшение угла между шейкой и диафизом бедренной кости вводит головку глубже в вертлужную впадину, уменьшая открытую сверху суставную поверхность.

Варус бедренной кости, если только он не имеет травматического характера, может также увеличивать ПМ отводящих мышц бедра за счет роста расстояния между головкой и большим вертелом. Увеличение ПМ уменьшает количество силы, которую нужно генерировать отводящими мышцами в одноопорном положении, и ослабляет силу реакции сустава.

Однако слабой стороной варуса является увеличение момента сгибания головки и шейки бедренной кости. Это увеличение силы сгибания можно наблю-

дать по повышению плотности трабекул на латеральной части бедренной кости. Повышение плотности связано с ростом нагрузок натяжения. Увеличение силы среза повышает предрасположенность к перелому шейки бедра.

*Coxa vara* у подростков может повышать вероятность проскальзывания головки бедренной кости по хрящевому эпифизу.

В детстве эпифиз расположен горизонтально. Соответственно, вес просто вжимает головку в пластинку эпифиза. В подростковом возрасте кость приобретает более диагональную ориентацию эпифизарной пластинки. Такое расположение эпифиза делает его более уязвимым к силе среза, когда пластинка ослаблена быстрым ростом, характерным для этого периода жизни. Сила веса может заставить головку съехать вниз, со смещением эпифиза.

Как и при переломе бедра, изменения биомеханики и риск нарушения кровоснабжения требуют восстановления нормального расположения и выравнивания кости, пока не начались вторичные дегенеративные изменения.

**Антеверсия/ретроверсия.** Изменения угла скручивания также влияют на биомеханику и функцию тазобедренного сустава.

Антеверсия головки бедренной кости уменьшает стабильность сустава, поскольку при этом открывается суставная поверхность спереди. Линия отводящих мышц бедра может проходить позади сустава, уменьшая ПМ отведения. Как и при вальгусе, возникающая потребность в дополнительной силе отводящих мышц может вызывать предрасположенность сустава к артрозу или функционально ослаблять его, создавая отклонения в походке, требующие больших затрат энергии и ведущие к преждевременному износу.

Последствия антеверсии бедра также хорошо видны на коленном суставе. При антеверсии головки бедренной кости давление от передних связочно-капсульных структур и мышц может смещать головку назад, в вертлужную впадину, вызывая медиальную ротацию всей бедренной кости.

Хотя медиальная ротация бедра улучшает конгруэнтность вертлужной впадины, ось коленного сустава, проходящая через мышечки бедренной кости, также поворачивается медиально. Изменяется плоскость сгибания/разгибания колена, походка становится «пальцами внутрь».

Аномальное положение осей коленных суставов и *ходьба пальцами внутрь* обычно свидетельствуют о медиальном скручивании бедренной кости.

Медиальное скручивание и антеверсия бедренной кости — это одно и то же патологическое ее состояние. Здесь важно различать: излишнее скручивание кости изменяет механику тазобедренного сустава (антеверсия) или коленного сустава (медиальное скручивание).

Как будет ясно из следующих двух глав, антеверсия бедренной кости также влияет на биомеханику как надколенно-бедренного сустава, так и подтаранного сустава стопы.

Ретроверсия бедренной кости противоположна антеверсии и, соответственно, создает проблемы обратного характера.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Нормальный тазобедренный сустав предназначен выдерживать значительные силы, которые действуют как через него, так и вокруг него, с помощью трабекулярных систем, хрящевых слоев, мышц и связок.

Изменения величины и направления сил создают аномальные концентрации нагрузки, предрасполагающие к травмам и дегенеративным изменениям. Дегенеративные изменения, в свою очередь, могут далее модифицировать функции, что влияет не только на способность сустава нести вес тела в положении стоя, при двигательной деятельности и других повседневных занятиях, но также вызывает изменения в проксимальных и дистальных суставах.

Соответственно, читатель должен различать и понимать дисфункции, которые могут наблюдаться собственно в тазобедренном суставе, и связанные дисфункции, которые могут вызывать или, наоборот, быть вызваны нарушением функций в любом месте нижней конечности или позвоночника.

Остальные главы этой книги будут посвящены не только основным дисфункциям суставного комплекса, но и ассоциированным дисфункциям, связанным с проблемами в проксимальных и дистальных суставах.

## ГЛАВА 7

# КОМПЛЕКС КОЛЕННОГО СУСТАВА

Комплекс коленного сустава похож на комплекс локтевого сустава в том, что сгибание и разгибание коленного сустава вызывают функциональное укорочение и удлинение конечности.

Кроме обеспечения стабильности комплекс коленного сустава играет основную роль в поддержании тела при статических и динамических действиях.

В закрытой кинематической цепи коленный сустав работает согласованно с тазобедренным и голеностопным суставами, удерживая вес тела в статическом положении стоя.

Динамически коленный комплекс отвечает за перемещение и поддержание тела, когда человек садится или приседает на корточки, а также за поддержку и перемещение тела при локомоторных действиях.

В открытой кинематической цепи колено обеспечивает подвижность стопы в пространстве.

Тот факт, что коленный сустав должен исполнять функции как стабильности, так и подвижности, отражается на его строении.

Коленный сустав является не только одним из самых крупных в теле, но еще и самым сложным по строению.

Разработки протезов, которые оказались способными симулировать только некоторые из функций коленного сустава, достаточно успешно реализуются только в течение последних 20–30 лет.

Комплекс коленного сустава состоит из двух отдельных сочленений, находящихся в единой суставной капсуле: большеберцово-бедренного (тибиофemorального) и надколенно-бедренного (пателлофemorального) суставов.

*Тибιοфemorальный сустав* — это сочленение дистальной части бедренной кости и проксимальной части большой берцовой кости.

*Пателлофemorальный сустав* — это сочленение коленной чашечки и бедренной кости.

Хотя коленная чашечка работает как бедренно-большеберцовый механизм, характеристики, реакции и проблемы большеберцово-бедренного сустава отличаются от надколенно-бедренного сустава в достаточной степени, чтобы рассматривать их по отдельности.

Верхний межберцовый сустав не считается частью коленного комплекса, так как находится вне капсулы коленного сустава и функционально связан с голеностопным суставом; мы будем изучать его в соответствующей главе.

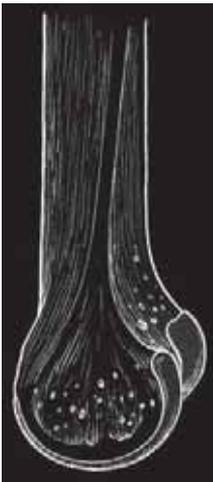
## 7.1. СТРОЕНИЕ ТИБИОФЕМОРАЛЬНОГО СУСТАВА

Тибioфеморальный, или коленный, сустав является двойным мышцелковым суставом (определяется по медиальной и латеральной суставным поверхностям) с двумя степенями свободы.

Сгибание и разгибание выполняются в сагиттальной плоскости вокруг фронтальной оси; медиальная и латеральная ротация выполняются в поперечной плоскости по вертикальной оси.

Тщательное изучение суставных поверхностей и связей поверхностей друг с другом облегчит понимание движений в коленном суставе, а также характерных для него функций и дисфункций.

### 7.1.1. СУСТАВНАЯ ПОВЕРХНОСТЬ БЕДРЕННОЙ КОСТИ

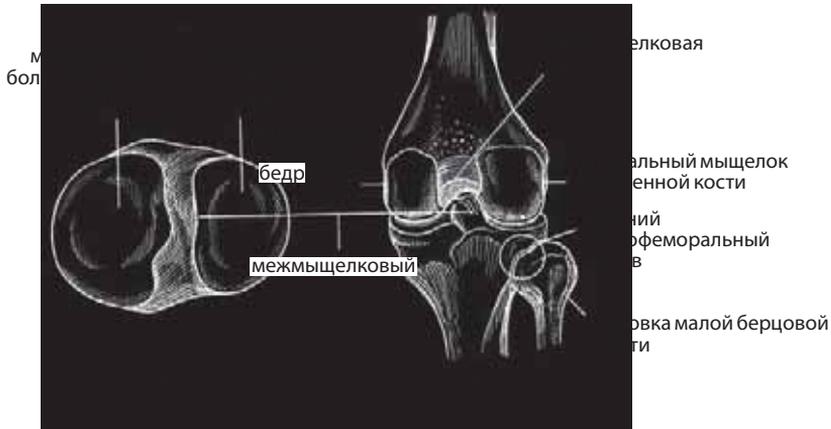


*Рис. 7.1. Переднезадняя выпуклость мышцелков не совсем соответствует сферической форме; она более выражена кзади*

Крупные медиальные и латеральные мышцелки дистальной части бедренной кости образуют проксимальные суставные поверхности коленного сустава. Мыщелки имеют большой, хорошо заметный переднезадний изгиб, а также некоторую выпуклость во фронтальной плоскости. Переднезадняя выпуклость мышцелков имеет не чисто сферическую форму, поскольку кзади радиус их кривизны меньше (рис. 7.1).

Два мышцелка разделены межмышцелковой вырезкой или ямкой по большей части их длины, однако спереди они соединяются асимметричной, плоской, седлообразной выемкой, которая называется надколенной выемкой или поверхностью; поверхность коленной чашечки отделена от суставной поверхности большой берцовой кости двумя мелкими бороздами, которые идут через мышцелки по диагонали (рис. 7.2, а).





**Рис. 7.3.** *a* — вид сверху суставных поверхностей большой берцовой кости. Хорошо видны различия в размере и конфигурации между медиальным и латеральным большеберцовыми плато; *b* — вид тибioфemorального сустава сзади. На рисунке показано, как межмыщелковые бугры при полном разгибании коленного сустава входят в межмыщелковую ямку бедренной кости

Проксимальная часть большой берцовой кости увеличена по сравнению с дистальным концом и сзади выступает над ним (латеральный мыщелок выступает больше, чем медиальный). Суставная поверхность медиального мыщелка большой берцовой кости на 50% больше, чем поверхность латерального мыщелка (что соответствует большому мыщелку бедренной кости), и суставной хрящ медиального большеберцового мыщелка в три раза толще.

Большеберцовые мыщелки разделены шероховатой областью и двумя костными буграми, которые называются *межмыщелковыми буграми*. Эти бугры при разгибании колена входят в межмыщелковую вырезку бедренной кости (рис. 7.3, *b*).

**Тибioфemorальное сочленение.** Когда крупные мыщелки бедренной кости находятся на неглубоких плато большеберцовых мыщелков, отчетливо просматривается неконгруэнтность коленного сустава.

Как и во всем теле, отсутствие суставной конгруэнтности в колене компенсируется вспомогательной суставной структурой, которая повышает конгруэнтность и способствует балансу между подвижностью и стабильностью, который необходим для сустава.

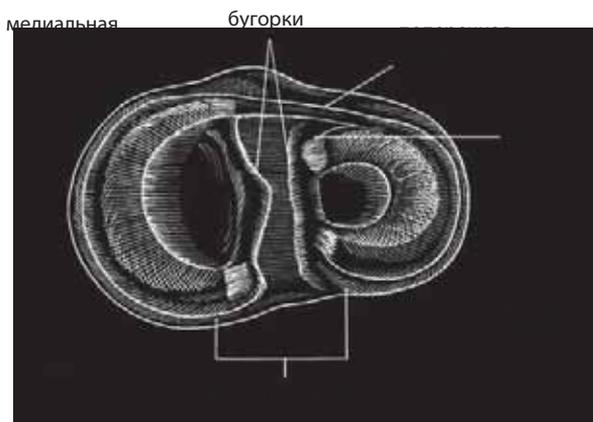
Каждый из мыщелков коленного сустава имеет собственную вспомогательную структуру; вместе эти структуры известны под названием менисков коленного сустава.

**Мениски.** Два асимметричных волокнисто-хрящевых диска, называемые менисками, расположены на большеберцовых мыщелках (рис. 7.4).

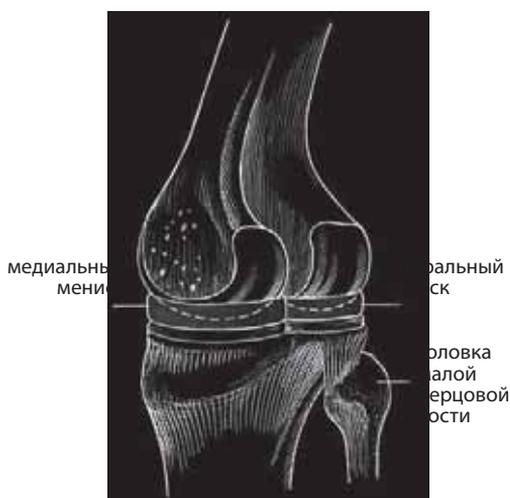
Медиальный мениск имеет форму полукруга, латеральный мениск по форме напоминает 4/5 кольца.

Оба мениска открыты в сторону межмыщелковой области, утолщены по периферии и утончаются в центре. Тем самым образуются вогнутости, в которые входят соответствующие мыщелки бедренной кости (рис. 7.5).

Клинообразные мениски увеличивают радиус кривизны большеберцовых мыщелков и, следовательно, конгруэнтность сустава. Увеличивая конгруэнтность (суставной контакт), мениски также играют важную роль в рас-



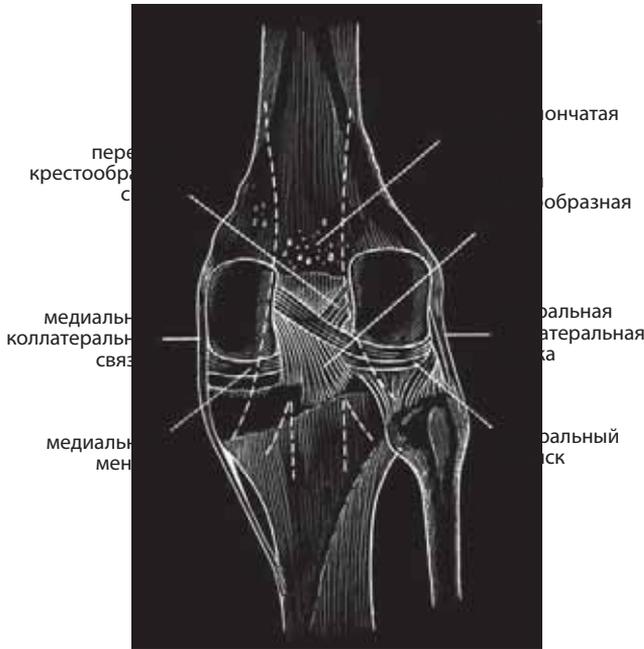
**Рис. 7.4.** Строение менисков. На рисунке (вид сверху) показаны различия в размере и конфигурации между медиальным и латеральными менисками. Медиальный мениск имеет форму буквы «С», а латеральный напоминает круг или кольцо



**Рис. 7.5.** На рисунке показан разогнутый тибioфеморальный сустав. Мениски плотно зажаты между бедренной и большой берцовой костями. Пунктирная линия указывает на клиновидную форму менисков, на то, как они облегают суставные поверхности большой берцовой кости и приспособляются к форме мыщелков бедренной кости

пределении весовой нагрузки, снижении трения между сегментами сустава, кроме того, они работают как амортизаторы.

Мениски имеют множественные прикрепления к окружающим структурам — некоторые из них являются общими для обоих, некоторые относятся исключительно к конкретному мыщелку. Каждый мыщелок по периферии связан с большеберцовым мыщелком при помощи венечных связок, состоящих из волокон, отходящих от капсулы коленного сустава. Оба мениска также крепятся, прямо или косвенно, к коленной чашечке, при помощи т.н. надколенно-менисковых или надколенно-большеберцовых связок, представляющих собой передние утолщения капсулы.



**Рис. 7.6.** Прикрепления менисков. Медиальный мениск показан с прикреплениями к медиальной коллатеральной связке, передней крестообразной связке (ПКС) и к наружному контуру полуперепончатой мышцы. Латеральный мениск показан с прикреплениями к задней крестообразной связке (ЗКС). Его прикрепления к подколенной мышце на этом рисунке не показаны

го мениска. Авторы полагают, что их результаты совпадают с предположением, что большие количества неокостеневшего волокнистого хряща обнаруживаются в подвижных местах прикреплений.

Зоны прикрепления передних рогов обоих менисков также различаются: зона прикрепления переднего рога латерального мениска имеет более толстую область окостеневшего хряща, чем передний рог медиального мениска. Авторы связывают эти результаты с тем, что силы, передаваемые через переднюю крестообразную связку, частично передаются и на большую берцовую кость через передний рог латерального мениска (рис. 7.6).

Латеральный мениск, кроме общих с медиальным мениском прикреплений, также прикрепляется к задней крестообразной связке (ЗКС) и подколенной мышце через венечные связки и заднюю часть капсулы, и к довольно вариабельным задним мениско-бедренным связкам. Некоторые волокна передней крестообразной связки (ПКС) могут также соединяться с передним и задним рогами.

Открытые концы менисков, которые прикрепляются к соответствующим большеберцовым межмышцелковым буграм, называются *рогами*. Каждый мениск имеет передний и задний рог. Передние рога двух менисков соединяются друг с другом поперечной связкой, которая может также соединяться с коленной чашечкой через суставную капсулу.

Benjamin с сотрудниками обнаружили, что зона прикрепления заднего рога более подвижного латерального мениска имеет большую зону неокостеневшего волокнистого хряща, чем зона прикрепления заднего рога медиально-

Таблица 7.1

### Прикрепления менисков

Прикрепления	Медиальный и латеральный мениски	
Общие	Межмышечковые бугры большой берцовой кости Мышечки большой берцовой кости через венечные связки Коленная чашечка через надколенно-менисковые или надколенно-бедренные связки Поперечные связки Передняя крестообразная связка	
	<i>Медиальный мениск</i>	<i>Латеральный мениск</i>
Уникальные	Медиальная коллатеральная связка Полуперепончатая мышца	Передняя и задняя мениско-бедренные связки Задняя крестообразная связка Подколенная мышца

Соединения латерального мениска считаются довольно свободными, что придает ему достаточную подвижность на латеральном большеберцовом мыщелке.

Медиальный мениск прикрепляется к медиальной коллатеральной связке (см. рис. 7.6) и к полуперепончатой мышце через капсульные соединения. Медиальный мениск прикреплен плотнее и менее подвижен на большеберцовом мыщелке, чем латеральный.

Недостаток подвижности может быть одной из нескольких причин того, что повреждения медиальных менисков больше распространены, чем повреждения латеральных.

Прикрепления менисков перечислены в табл. 7.1.

Мениски и связочно-менисковый комплекс хорошо развиты уже у 8-недельного эмбриона, и во время первого года жизни они имеют мощную сосудистую сеть. Сосудистая сеть менисков постепенно идет на убыль от 18 месяцев до 18 лет. В конце концов остается только 25–33% поверхностных капилляров от суставной капсулы и синовиальной мембраны.

У людей старше 50 лет сосуды наблюдаются только по периферии мениска. Полностью, в течение всей жизни, сохраняют сосуды рога менисков.

У детей, с мощным кровоснабжением, повреждения менисков наблюдаются очень редко. У взрослых после травмы способность к воспалению, восстановлению и реконструкции сохраняет только периферический насыщенный сосудами регион мениска. Однако сформировавшиеся новые ткани не будут идентичны тканям до травмы и будут менее прочными.

Рога менисков и периферическая васкуляризованная часть менисков хорошо иннервированы свободными нервными окончаниями (*ноцицепторы*) и тремя разными видами *механорецепторов* (*тельца Руффини, тельца Пачини и сухожильные органы Гольджи*).

Иннервация задних рогов несколько плотнее, чем передних рогов; это может быть связано с тем, что на задние рога приходится большая часть нагрузки.



*Рис. 7.7. Продольные оси бедренной кости и большой берцовой кости пересекаются и создают физиологический вальгус коленного сустава, равный 185–190°*

Паттерн иннервации менисков указывает на то, что они являются источником информации о положении сустава, направлении движения и скорости движения, равно как и информации о тканевой деформации.

**Тибioфеморальное выравнивание и вес.** Анатомическая (продольная) ось бедренной кости, как уже отмечалась, является наклонной, направлена от проксимального конца к дистальному концу вниз и медиально. Анатомическая ось большой берцовой кости направлена почти по вертикали. Вследствие этого продольные оси бедренной и большой берцовой кости образуют угол, медиальный к коленному суставу, в 185–190° (рис. 7.7).

Отклонение бедренной кости от вертикали составляет от 5 до 10°. Это создает в коленном суставе нормальный (физиологический) вальгус.

Хотя может показаться, что вес приходится более на латеральные мышечки, чем на медиальные, но это не так. Механической осью нижней конечности является линия действия веса, идущая от центра головки бедренной кости к центру верхней поверхности таранной кости (рис. 7.8).

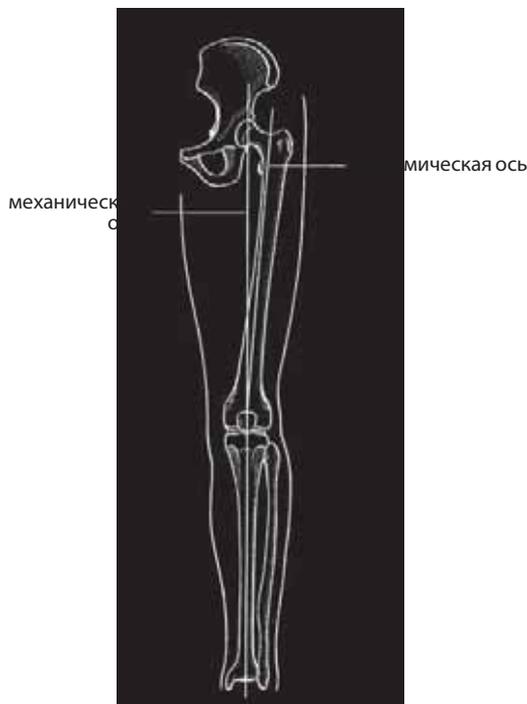
Эта линия в норме проходит через центр коленного сустава между межмышечковыми буграми и в среднем отклонена от вертикали на 3°, в зависимости от ширины таза и расстояния между стопами.

Поскольку линия действия веса (сила реакции опоры) соответствует не столько анатомической, сколько механической оси, весовая нагрузка на колено, при двусторонней статической стойке, равномерно распределяется между латеральным и медиальным мышечками, без каких-либо сопутствующих горизонтальных сил смещения.

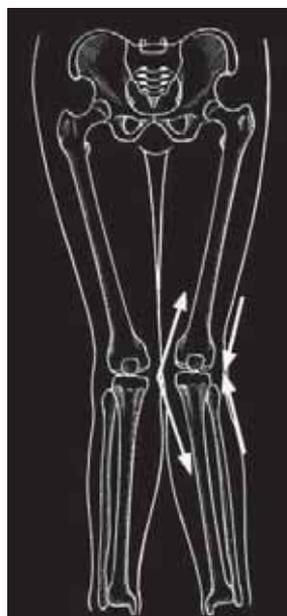
Это не относится к стойке на одной ноге или к ситуациям, когда на сустав воздействуют динамические силы.

Отклонения в нормальном распределении силы могут возникать, помимо других причин, за счет увеличения или уменьшения нормального тибioфеморального угла.

Если медиальный тибioфеморальный угол больше, чем 195° (165° и меньше, при латеральном измерении), то такое патологическое состояние называется *вальгусным искривлением коленных суставов («X-образные ноги»)* (рис. 7.9).



**Рис. 7.8.** Механическая ось (линия действия веса) нижней конечности проходит через тазобедренный сустав, коленный и голеностопный суставы. Так как механическая ось лежит ближе к вертикали, чем продольная (анатомическая) ось, весовые нагрузки почти равномерно распределяются между медиальными и латеральными мышечками коленного сустава



**Рис. 7.9.** Увеличение угла нормального медиального вальгуса приводит к вальгусной деформации коленного сустава, или «X-образным ногам». Стрелки с латеральной стороны левого тиббиофemorального сустава указывают на наличие компрессионных сил, тогда как стрелки с медиальной стороны указывают на силы расхождения (натяжения)

В этом состоянии увеличиваются компрессионные нагрузки на латеральные мышечки, и одновременно — нагрузки растяжения на медиальные мышечки.

Если медиальный тиббиофemorальный угол равен  $180^\circ$  или меньше (превышает  $180^\circ$  при латеральном измерении), такая аномалия называется *варусной деформацией коленного сустава*, или «O-образными ногами» (рис. 7.10).

В этом состоянии усилия растяжения увеличиваются латерально, а компрессионные нагрузки действуют больше на медиальный большеберцовый мышцелок.

Как при варусной, так и при вальгусной деформации постоянная перегрузка латерального или медиального хряща может приводить к его повреждению.

Важность коленных менисков в том, что они поглощают и распределяют значительные силы, проходящие через коленный сустав.



*Рис. 7.10. Уменьшение угла нормального медиального вальгуса вызывает варусную деформацию коленного сустава, или «О-образные ноги». Стрелки на латеральной стороне левого тибioфеморального сустава указывают на силы растяжения, стрелки на медиальной стороне сустава указывают на силы компрессии*

Хотя компрессионные силы в динамичном коленном суставе при нормальной ходьбе могут в два-три раза превышать вес тела, при подъеме по лестнице или беге они могут достигать значений, равных 5–6 величинам собственного веса. Мениски при этом принимают на себя от 40 до 60% нагрузки.

После удаления менисков величина нагрузки на единицу площади суставного хряща почти удваивается со стороны бедренной кости, а на мыщелках большой берцовой кости она становится в шесть-семь раз больше.

Устранение любого углового отклонения между бедренной и большой берцовой костями (легкий варус) увеличивает компрессию медиального мениска на 25%. Пять градусов варуса коленного сустава (медиальный тибioфеморальный угол в  $175^\circ$ ) увеличивают усилие на 50%.

### 7.1.3. КАПСУЛА КОЛЕННОГО СУСТАВА

С учетом неконгруэнтности коленного сустава, даже при компенсации за счет менисков, стабильность его очень сильно зависит от окружающих суставных структур.

При согнутом колене, когда окружающие пассивные структуры расслаблены, неконгруэнтность сустава позволяет производить небольшое переднее смещение, заднее смещение

и ротацию большой берцовой кости под бедренной костью. Капсула коленного сустава и ассоциированные с ней связки критически важны для ограничения таких движений и сохранения целостности и нормальной функции сустава.

Хотя мышцы играют заметную роль в стабилизации (мы подробно рассмотрим это позднее), только за счет мышечной силы, если серьезно повреждены пассивные ограничительные механизмы, эффективно стабилизировать колено почти невозможно.

Суставная капсула, заключающая в себе тибioфеморальный и пателлофеморальный суставы, крупная, со сложными прикреплениями и растянута; имеет несколько ямок (рис. 7.11).

Сзади капсула проксимально прикрепляется к задним краям бедренных мыщелков и межмыщелковой вырезке, а дистально — к заднему большеберцовому мыщелку. Сзади капсула усилена мышцами, кривой подколенной и дугообразной связками.

Медиально и латерально капсула проксимально начинается выше бедренных мыщелков и продолжается дистально до краев большеберцовых мыщелков. Бока капсулы усилены коллатеральными связками.

Спереди капсулу завершают коленная чашечка, сухожилие четырехглавой мышцы бедра и надколенная связка (снизу).

Антеромедиально и антеролатерально продолжения широкой медиальной и широкой латеральной мышц идут от коленной чашечки и надколенной связки к соответствующим коллатеральным связкам и большеберцовым мыщелкам.

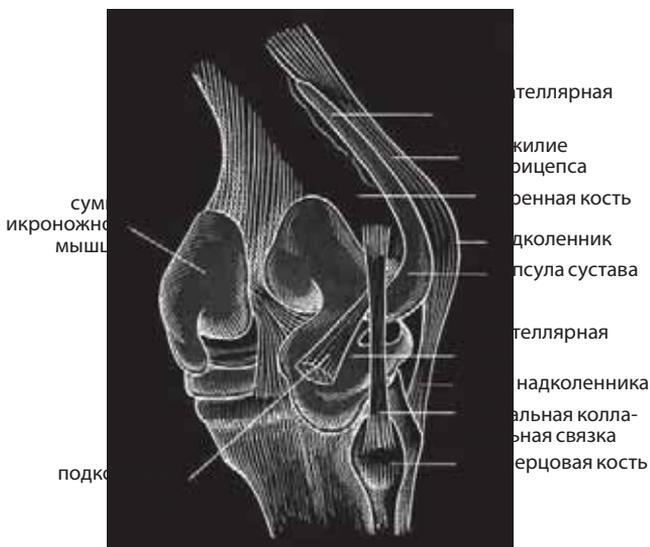
Антеромедиальная и антеролатеральная части капсулы известны под названием *удерживателя разгибателя*, или *медиального и латерального удерживателя коленной чашечки*.

**Удерживатель разгибателя.** Соединения капсулы и удерживателя описывались по-разному и являются предметом определенных разногласий.

Представляется, что существуют два слоя: волокна глубокого слоя ориентированы продольно и соединяют капсулу спереди с менисками и большой берцовой костью через коронарные связки. Эти соединения можно назвать *надколенно-менисковыми*, или *надколенно-большеберцовыми* тяжами.

Поверхностный слой состоит из поперечно ориентированных волокон: проксимальные волокна смешиваются с волокнами широких медиальной и латеральной мышц, а дистальные волокна продолжают до задних бедренных мыщелков.

Поперечные волокна, соединяющие коленную чашечку и мыщелки бедренной кости, известны как *надколенно-бедренные* связки.



**Рис. 7.11.** Вид постеролатеральной стороны комплекса коленного сустава показывает синовиальную часть капсулы и связанные с ней сумки

Латеральная надколено-бедренная связка соединяется не только с широкой латеральной мышцей, но также с подвздошно-большеберцовым трактом либо прямо, либо через подвздошно-надколенный тяж.

Подвздошно-большеберцовый тракт и связанная с ним широкая фасция сопровождаются сзади сухожилием двуглавой мышцы бедра, что обеспечивает поверхностное усиление слоев капсулы и удерживателя.

По мнению Тергу с сотрудниками, двуглавая мышца бедра действует как статический и динамический стабилизатор колена. Эти авторы показали, что антеролатеральная/антеромедиальная ротационная нестабильность сустава часто связана с травмой двуглавой мышцы бедра.

**Синовиальная выстилка.** Сложность фиброзного слоя капсулы коленного сустава можно считать не слишком значительной по сравнению с тем, что мы наблюдаем в синовиальной выстилке, которая является самой большой и сложной в теле.

Синовиальный хрящ прикрепляется к внутренней стенке фиброзного слоя, за исключением задней его части, где хрящ инвагинирует кпереди, следуя очертаниям бедренной межмышцелковой вырезки.

Инвагинированный синовиальный срастается с передней стороной и боками ПКС и ЗКС. Заворот вовнутрь синовиальной выстилки приводит к тому, что ПКС и ЗКС оказываются заключены в фиброзную капсулу, но не находятся в синовиальном рукаве.

В эмбриональном периоде развития синовиальная выстилка капсулы коленного сустава разделяется перегородкой на три отдельных компартмента. Изначально есть верхний надколенно-бедренный компартмент и два отдельных медиальный и латеральный тибιοфemorальный компартменты.

К 12-й неделе созревания плода синовиальная перегородка до определенной степени рассасывается. Остается единая суставная капсула, но при этом сохраняется задняя инвагинация, которая создает некоторое разделение мышцелков.

Верхний компартмент остается легко распознаваемым как верхнее углубление капсулы, известное как *супрапателлярная сумка*.

Медиальный и латеральный компартменты, хотя и не разделены в полностью сформированном коленном суставе, называются именно так, чтобы можно было классифицировать суставные структуры, которые принадлежат одному компартменту или другому.

Сзади синовиальная выстилка может инвагинировать латерально между подколенной мышцей и латеральным бедренным мышцелком. Она может также инвагинировать медиально между сухожилием полусухожильной мышцы, медиальной головкой икроножной мышцы и медиальным бедренным мышцелком.

Если синовиальные перегородки, существующие у эмбриона, не полностью рассасываются и сохраняются во взрослом возрасте, они существуют в виде



Медиальная складка отходит от медиальной стенки сумки удерживателя и идет параллельно медиальному краю коленной чашечки, прикрепляясь к инфрапателлярной жировой прослойке и синовиальному хрящу нижней складки.

Размеры, формы и частота наблюдаемости складок отличаются значительной вариабельностью. Соответственно, описания складок разными авторами часто отличаются друг от друга.

Например, Dupont в обзоре литературы показывает, что верхнюю складку называли как минимум четырьмя различными способами, медиальная же складка насчитывает 19 разных наименований, таких, в частности, как: медиальный внутрисуставной тяж (тракт), полулунная складка, медиальная полка и пателлярный мениск.

Если синовиальные складки имеются, то они обычно состоят из свободной, складчатой и эластичной фиброзной соединительной ткани, которая легко ходит вперед и назад над бедренными мышечками при сгибании и разгибании колена.

Однако складки периодически могут воспаляться, результатом чего являются боль, выпот и изменения структуры и функции сустава. Синдром складки обычно не наблюдается в наиболее распространенной нижней складке, но он характерен для медиальной или верхней складки.

Капсула коленного сустава усилена несколькими связками, которые играют важную роль не только в поддержании стабильности сустава, но, как мы увидим позже, и в его мобильности.

### **7.1.4. СВЯЗКИ КОЛЕННОГО СУСТАВА**

Роли разных связок коленного сустава уделялось большое внимание, что является отражением их важности для стабильности коленного сустава и частоты нарушения их функции при травме.

Учитывая недостаточное костное ограничение практически любого движения колена, ясно, что функции сопротивления и контроля возлагаются на связки. Связки контролируют:

- ◆ излишнее разгибание коленного сустава;
- ◆ варусные и вальгусные нагрузки в колене (соответственно, склонность к приведению или отведению большой берцовой кости);
- ◆ переднее или заднее смещение большой берцовой кости под бедренной костью;
- ◆ медиальную или латеральную ротацию большой берцовой кости под бедренной костью;
- ◆ комбинации переднезадних смещений и ротаций большой берцовой кости — что известно как ротационная стабилизация.

Хотя движения большой берцовой кости в своем большинстве перечислены в этом списке, вероятны нагрузки и на бедренную кость при фиксированной

большой берцовой. В таких случаях происходит реверс переднезадних смещений и ротаций, т.е. переднее смещение большой берцовой кости эквивалентно заднему смещению бедренной кости и т.п.

Большое количество литературы по связочным функциям колена может ввести в заблуждение и показаться противоречивым. Это может быть связано с некоторой путаницей в терминологии, когда за точку отсчета берут либо бедренную, либо, наоборот, большую берцовую кость. Однако более вероятно, что причина кроется в сложном и очень вариабельном функционировании, а также в различных условиях экспериментов.

Ясно, что функция связок может меняться в зависимости от положения коленного сустава, от того, как подается нагрузка, и от того, целы ли сопутствующие активные и пассивные структуры.

Мы будем рассматривать связки и их способность обеспечивать стабильность в тех положениях и направлениях, по которым есть определенное согласие.

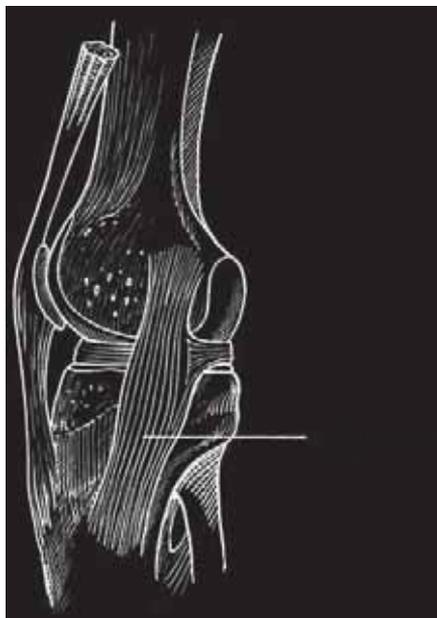
**Коллатеральные связки.** Медиальная (большеберцовая) коллатеральная связка (МКС) прикрепляется к медиальной стороне медиального бедренного надмыщелка, спускаясь кпереди и прикрепляясь к медиальной стороне большой берцовой кости (рис. 7.13).

Задние медиальные волокна связки вплетаются в волокна суставной капсулы, некоторые волокна тянутся медиально и прикрепляются к медиальному мениску.

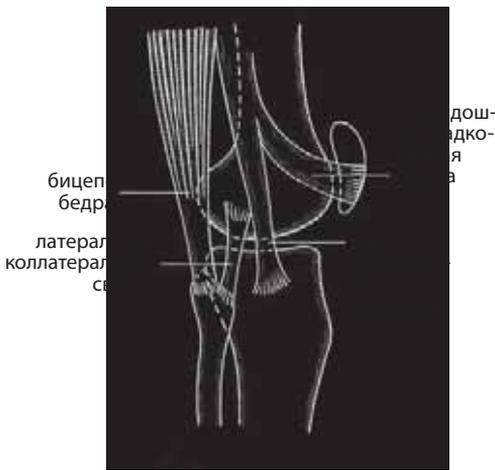
Латеральная (малоберцовая) коллатеральная связка (ЛКС) представляет собой мощную структуру в виде шнура и идет от латерального надмыщелка бедренной кости, прикрепляясь сзади к головке малой берцовой кости (рис. 7.14).

В отличие от МКС, ЛКС не имеет прикреплений к мениску и капсуле сустава. Обе коллатеральные связки натягиваются при полном разгибании и, таким образом, помогают оказывать сопротивление гиперразгибанию коленного сустава.

**Медиальная коллатеральная связка (МКС)** сопротивляется вальгусным нагрузкам на коленный сустав, причем особенно эффективна при разогнутом



*Рис. 7.13. Медиальная коллатеральная связка (МКС) идет от медиального мыщелка бедренной кости до антеромедиального мыщелка большой берцовой кости*



*Рис. 7.14. Латеральные структуры коленного сустава*

останавливая латеральную ротацию большой берцовой кости в комбинации либо с передним, либо с задним ее смещением.

МКС также является запасным ограничителем чистого переднего смещения большой берцовой кости при отсутствии основного стопора — ПКС.

**Латеральная коллатеральная связка (ЛКС)** оказывает сопротивление вращательным нагрузкам (попытки приведения большой берцовой кости) в коленном суставе. С учетом ее положения она также ограничивает латеральную ротацию большой берцовой кости совместно с заднелатеральной капсулой, причем наиболее значимое ее участие наблюдается при 35° сгибания.

ЛКС также оказывает сопротивление латеральной ротации, комбинированной с задним смещением большой берцовой кости. Здесь она работает вместе с сухожилием подколенной мышцы.

**Подвздошно-большеберцовый тракт (ПББТ)** образован проксимально от фасции, покрывающей мышцу, натягивающую широкую фасцию, большой ягодичной мышцы и средней ягодичной мышцы.

ПББТ дистально продолжается до прикрепления к шероховатой линии бедренной кости через латеральную межмышечную перегородку и прикрепляется к латеральному бугру большой берцовой кости, усиливая антеролатеральную сторону коленного сустава (рис. 7.14).

Rupniello описывает эту часть ПББТ как глубокий капсульно-костный слой с фасциальными прикреплениями к икроножной мышце и подошвенной мышце.

Хотя имеются мышечные соединения с подвздошно-большеберцовым трактом, Kaplan рассматривает ПББТ как исключительно пассивную структуру ко-

лене, когда находится в натянутом состоянии. Однако она может играть и более важную роль сопротивления вальгусной нагрузке при слегка согнутом колене, когда участие других структур менее выражено.

Grood с соавторами показали, что на МКС приходится 57% вальгусной нагрузки при 5° сгибания колена, но если колено согнуто на 25°, показатель вырастает до 78%.

МКС организована так, что она останавливает латеральную ротацию большой берцовой кости.

Nielsen с сотрудниками показали, что МКС осуществляет основное участие по всей АД коленного сустава,

ленного сустава, в связи с тем, что ни сокращения мышцы, натягивающей широкую фасцию, ни сокращения большой ягодичной мышцы какой-либо продольной экскурсии дистального отдела ПББТ не вызывают. ПББТ представляется устойчиво натянутой независимо от положения тазобедренного или коленного суставов, несмотря на ее прохождение спереди от оси коленного сустава при разгибании и сзади от оси при сгибании.

По мнению Puniello, ПББТ проходит позади оси сустава при сгибании колена более чем на 30°. Направление ПББТ сравнимо с направлением МКС, а его сила сопоставима с ПКС.

Фиброзные соединения ПББТ с двуглавой мышцей бедра и широкой латеральной мышцей через латеральную межмышечную перегородку образуют петлю за латеральным бедренным мышцелком, помогая ПКС препятствовать заднему смещению бедренной кости при фиксированной голени и почти полном разгибании коленного сустава.

От переднего ПББТ отходят волокна, прикрепляющиеся к коленной чашечке и образующие подвздошно-надколенный тяж, который включается при действии на коленную чашечку аномальных латеральных сил. Когда ПББТ при сгибании колена идет назад, он осуществляет латеральную тягу коленной чашечки, что, при продолжении сгибания, приводит к ее прогрессивному латеральному отклонению.

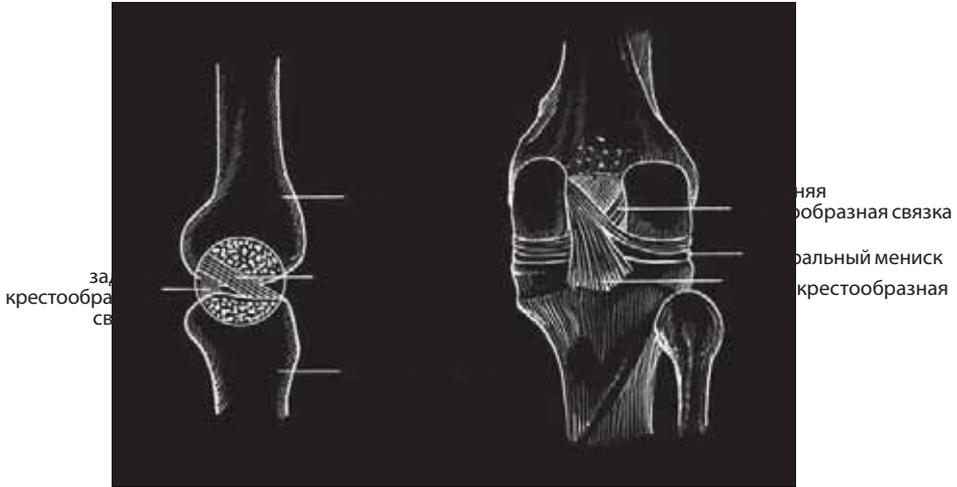
**Крестообразные связки.** ПКС и ЗКС расположены по центру внутри суставной капсулы, но снаружи синовиальной полости. Эти связки называются по их прикреплениям к большой берцовой кости. ПКС идет от передней стороны большой берцовой кости, ЗКС — от задней ее стороны.

Обычно обе связки описываются с основным заднелатеральным и двумя меньшими переднемедиальными тяжами, которые ведут себя по-разному, в зависимости от движения. Однако деление крестообразных связок на два отдельных тяжа может быть чрезмерным упрощением, так как строение и функция их исключительно сложны.

Состав крестообразных связок такой же, как и остальных связок, так как основной тип клеток, обнаруживаемых в них, — это фибробласты, и основная часть обеих связок представлена пучками коллагена типа I, разделенных фибриллами коллагена типа III. При этом в обеих связках имеются зоны, напоминающие волокнистый хрящ.

В ПКС волокнисто-хрящевая зона находится в 5–10 мм проксимально от места прикрепления к большой берцовой кости, в передней части связки. Околоклеточный коллаген в этих областях — это хрящ типа II, а клетки в этой области — хондриты.

В волокнисто-хрящевой зоне ПКС, там, где связка встречается с передним ободком межмышцелковой ямки, находится бессосудистая область. Волокнисто-хрящевая зона в ПКС также лишена сосудов.



**Рис. 7.15.** *a* — схематическое изображение коленного сустава: не показаны мышечки, к которым прикрепляется каждая связка, но изображена длинная и более диагональная ПКС и ее пересечение с более короткой, толстой и вертикально ориентированной ЗКС; *b* — вид коленного сустава сзади, показаны мышечки бедренной кости, к которым прикрепляются и ПКС, и ЗКС

Стимулами для развития волокнисто-хрящевых областей с плотной соединительной тканью считают компрессионные нагрузки и силы среза, причем в ПКС такие нагрузки могут развиваться, когда связка сталкивается с передним ободком межмышцелковой ямки при полном разгибании колена.

В ЗКС компрессионные нагрузки и силы среза могут вызывать скручивание пучков волокон в средней трети связки.

**Передняя крестообразная связка (ПКС)** прикрепляется к передней части большой берцовой кости, проходит под поперечной связкой и идет вверх и назад, прикрепляясь к задней части внутренней стороны латерального бедренного мышечка (рис. 7.15).

Многочисленные пучки ПКС группируются в переднемедиальный тяж (ПМТ) и заднелатеральный тяж (ЗЛТ), причем эти же названия взяты по точкам начала на большой берцовой кости. Однако описания разных тяжей сильно различаются.

Например, Fuss описывает третий промежуточный тяж, а Livesay с соавторами говорят о переднем и заднем отделах ПМТ.

Изменения длины разных тяжей или волокон при движении сустава используются как индикаторы функции связок. Например, когда тяжи имеют минимальную длину, считают, что они расслаблены и не создают ограничений, и, наоборот, при максимальной длине они натянуты и ограничения являются наибольшими.

При 0° сгибания колена длина ПМТ наименьшая (расслабление), а длина ЗЛТ максимальна (натянут). Таким образом, при 0° свободный ПМТ производит наименьшее ограничение, а ЗЛТ — максимальное. При 30° сгибания колена ПМТ удлиняется и становится длиннее ЗЛТ. При 90° сгибания ПМТ примерно на 3,6 мм длиннее, чем при 0°, а ЗЛТ — короче, чем при 0°.

При вальгусной нагрузке длина обеих тяжей ПКС увеличивается по мере сгибания колена. Передняя нагрузка сама по себе или в комбинации с вальгусной нагрузкой вызывает прирост длины всех отделов ПКС по мере сгибания колена.

При передней нагрузке некоторая часть ПКС натянута по всей АД коленного сустава (ПМТ при разгибании расслаблен, ЗЛТ натянут). При сгибании ПМТ натянут (максимум наблюдается при сгибании в 70°), а ЗЛТ расслаблен.

По мнению Fuss, промежуточный третий тяж волокон ПКС натянут во всех положениях.

Обычно ПКС считают основным ограничителем переднего смещения большой берцовой кости по бедренным мышцам.

Может показаться, что при полном разгибании, когда многие пассивные поддерживающие структуры натянуты (в том числе ЗЛТ ПКС), какое-либо переднее поступательное движение большой берцовой кости невозможно. Однако исследование на трупах с последовательным иссечением связок и применением дозированных нагрузок показало, что при передней поступательной силе, действующей на разогнутое колено, на ПКС приходится 87% нагрузки. Силы, вызывающие переднее смещение большой берцовой кости, приводят к ее максимальной экскурсии при 30° сгибания, когда ни один из тяжей ПКС не слишком натянут.

Пассивное разгибание колена создавало силы, действующие на ПКС, только на последних 10° разгибания. При 5° гиперразгибания силы в ПКС колебались от 50 до 24 N. Максимальные силы, развиваемые в ПКС (133–370 N) наблюдались, когда к гиперразогнутому коленному суставу прилагались силы, создающие медиальный крутящий момент большой берцовой кости (при помощи силомеров на 10 N).

ЗЛТ ограничивает гиперразгибание коленного сустава и, следовательно, подвержен травмам при избыточном движении. Соответственно, ПМТ может быть травмирован при согнутом колене.

ПКС также оказывает определенное, хоть и небольшое, содействие в ограничении варусных и вальгусных нагрузок в коленном суставе. При повреждении МКС и согнутом колене участие ПКС в ограничении варусных и вальгусных нагрузок гораздо более значимо.

Экспериментальное удаление ПКС приводит к увеличению переднего смещения большой берцовой кости в диапазоне сгибания от 0 до 90° и к увеличению вальгусной ротации большой берцовой кости в диапазоне сгибания от 30 до 90°.

Также латеральное отклонение коленной чашечки увеличивается от 6,3 до 9,0° в диапазоне сгибания от 0 до 90°, а латеральное смещение — от 2,9 мм при сгибании в 15° до 5,9 мм при сгибании в 90°.

Обе крестообразные связки играют роль в создании и контроле ротации большой берцовой кости. ПКС скручивается вокруг ЗКС при медиальной ротации большой берцовой кости, ограничивая тем самым излишнюю медиальную ротацию.

Однако некоторые исследователи обнаружили также, что стресс в ПКС, вызванный силами переднего поступательного смещения большой берцовой кости, создает сопутствующую медиальную ротацию. Когда в эксперименте на трупах ПКС удаляли, с приложением передней смещающей силы переднее смещение увеличивалось, а объем медиальной ротации уменьшался.

Когда Lipke с соавторами создавали нагрузку на конечность трупа с удаленной ПКС в условиях, стимулирующих поддержку веса, они обнаружили как чрезмерное переднее смещение, так и медиальную ротацию большой берцовой кости.

В отличие от большинства других ситуаций, в условиях, когда движения свободной большой берцовой кости (при фиксированной бедренной кости) будут зеркальными по сравнению с обратными движениями свободной бедренной кости (фиксированная голень), ПКС не вызывает ротации большой берцовой кости.

Независимо от ротационного влияния ПКС на большую берцовую кость травмы ПКС чаще наблюдаются при согнутом колене и ротации большой берцовой кости в любом направлении. При сгибании и медиальной ротации ПКС натягивается при закручивании вокруг ЗКС. При сгибании и латеральной ротации ПКС натягивается при прохождении над латеральным бедренным мыщелком.

При попытке определить, имеется ли разрыв ПКС, наилучшим диагностическим признаком будет антеромедиальная и антеролатеральная нестабильность.

Terry и Hughston при исследовании коленных суставов с нестабильностью в обоих направлениях показали, что разрыв или полное нарушение функции ПКС подтверждается в 100% случаев. Другим последствием разрыва ПКС является потеря нормальной проприорецепции в колене.

Исследование влияний мышечной деятельности на ПКС показало, что активность четырехглавой мышцы бедра сильно растягивает ПКС при сгибании колена на 20–60°. Естественно, что сила ПКС является антагонистом четырехглавой мышцы. Однако при одновременном сокращении четырехглавой мышцы бедра и мышц задней поверхности сила ПКС при 15, 30 и 60° уменьшалась на 30, 43 и 44% соответственно. Одновременное сокращение мышц задней поверхности бедра также ослабляло переднее смещение большой берцовой кости при тех же углах от 15 до 60° сгибания.

Таким образом, мышцы задней поверхности бедра можно рассматривать как синергисты ПКС.

**Задняя крестообразная связка (ЗКС)**, которая идет сверху и несколько спереди от начала на задней поверхности на большой берцовой кости до прикрепления на внутренней стороне медиального бедренного мыщелка, короче и направлена не столь диагонально, как ПКС (см. рис. 7.15, *b*).

Площадь поперечного сечения ЗКС составляет всего 20–50% от площади поперечного сечения ПКС. Увеличение площади поперечного сечения ЗКС наблюдается у проксимального конца, тогда как у ПКС — в дистальном направлении.

ЗКС сростается с задней капсулой и надкостницей, которые она пересекает ближе к прикреплению на большой берцовой кости.

Saddler не обнаружил наличия двух отдельных функциональных тяжей; скорее, это были множественные волокна различной длины с высокой чувствительностью к изменению длины, в основании которой находится бедренное прикрепление. Однако ЗКС, по большеберцовому прикреплению, обычно разделяют на ПМТ и ЗЛТ. ПМТ расслаблен при разгибании, но натянут ЗЛТ. При 80–90° сгибания ПМТ натянут максимально, а ЗЛТ расслаблен.

Harner с сотрудниками определили, что ПМТ крупнее и мощнее, чем ЗЛТ.

Имеется согласие в том, что ЗКС является основным ограничителем заднего смещения большой берцовой кости относительно бедренной кости, причем при полном разгибании возможно очень незначительное смещение, а чаще оно невозможно в принципе.

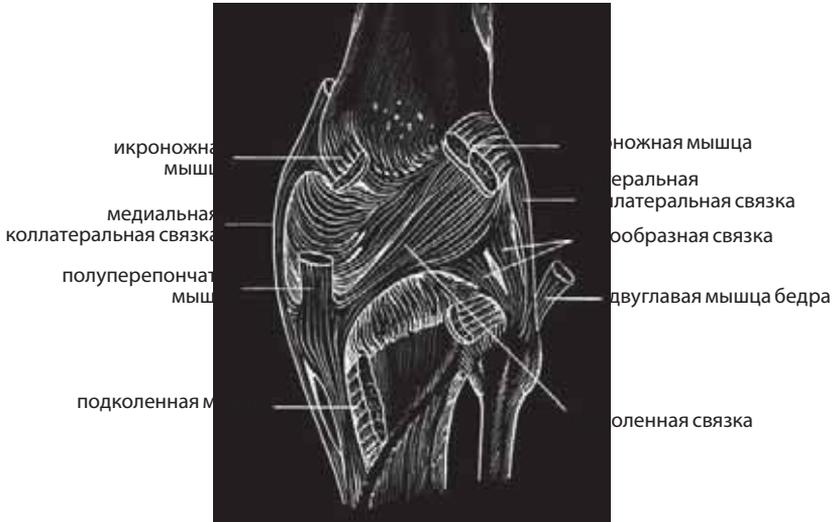
Было обнаружено, что ЗКС несет 93% нагрузки при разогнутом колене, если на большую берцовую кость действует сила смещения. При согнутом колене максимальное смещение большой берцовой кости при действующей силе заднего смещения наблюдается в диапазоне сгибания от 75 до 90°, причем удаление ЗКС увеличивает задний сдвиг при всех углах сгибания.

ЗКС также играет определенную роль в ограничении варусных и вальгусных нагрузок в колене.

Как и ПКС, ЗКС играет роль как в ограничении, так и в создании ротации большой берцовой кости. Задние силы смещения большой берцовой кости обычно сопровождаются ее латеральной ротацией при малой или отсутствующей ротации бедренной кости. Натяжение ЗКС при разгибании колена может являться инструментом создания латеральной ротации большой берцовой кости, которая крайне важна для запираения коленного сустава в целях стабилизации.

Подколенная мышца выполняет такую же функцию, как и ЗКС, оказывая сопротивление силам, смещающим большую берцовую кость назад, и способствует стабильности коленного сустава при отсутствии ЗКС.

Сокращение мышц задней поверхности бедра натягивает ЗКС при сгибании колена от 70 до 110°. Сокращение икроножной мышцы сильно натягивает



**Рис. 7.16.** На рисунке задней капсулы коленного сустава показана усиливающая косая подколенная связка. Также видны коллатеральные связки (МКС и ЛКС), дугообразная связка и некоторые усиливающие задние мышцы (полуперепончатая мышца, двуглавая мышца бедра, медиальная и латеральная головки икроножной мышцы и верхний и нижний отделы подколенной мышцы)

ет ЗКС при углах сгибания, больших, чем  $40^\circ$ , тогда как сокращение четырехглавой мышцы бедра уменьшает натяжение ЗКС при углах сгибания от  $20$  до  $60^\circ$ .

ЗКС, задняя капсула сустава, латеральные коллатеральные связки, задняя косая связка, МКС с мениском, задний медиальный и задний латеральный мениско-большеберцовые тяжи и задняя мениско-малоберцовая связка вместе составляют сложную систему ограничения разгибания колена.

**Задние капсульные связки.** Постеромедиальная сторона капсулы усилена сухожильным продолжением полуперепончатой мышцы, известным как *косая подколенная связка* (рис. 7.16).

Эта связка проходит от точки позади медиального большеберцового мыщелка и прикрепляется к центральной части заднего аспекта суставной капсулы. Постеролатеральная сторона капсулы усилена дугообразной подколенной (или просто дугообразной) связкой.

Дугообразная связка начинается от задней стороны головки малой берцовой кости, проходит над сухожилием подколенной мышцы и прикрепляется к межмышцелковой области большой берцовой кости и латеральному надмыщелку бедренной кости.

Косая подколенная связка и дугообразная связка натягиваются при полном разгибании и содействуют ограничению гиперразгибания колена.

Дугообразная и косяя подколенная связки играют важную роль в ограничении варусной и вальгусной нагрузки при разогнутом колене и в обеспечении вторичного ограничения других движений большой берцовой кости.

Подколенно-малоберцовая связка натягивается при 0, 30, 45 и 90° и действует как ограничитель латеральной ротации большой берцовой кости при действии силы, направленной назад и приложенной к колену. Связка также помогает ограничивать заднее поступательное смещение большой берцовой кости.

**Мениско-бедренные связки.** Две мениско-бедренные связки идут от заднего рога латерального мениска и прикрепляются к латеральной стороне медиального бедренного мыщелка около места прикрепления ЗКС.

Связка, которая идет кпереди от ЗКС, называется либо *связкой Хамфри*, либо *передней мениско-бедренной связкой*.

Связка, идущая позади ЗКС, называется либо *связкой Рисберга*, либо *задней мениско-бедренной связкой*.

По данным Cailliet, связку Рисберга называют еще *третьей крестообразной связкой Роберта*.

Cho с коллегами определили, что локации как проксимального, так и дистального прикрепления этих связок часто варьируют, а Kusayama показал значительные различия в собственно факте наличия или отсутствия этих связок.

Cailliet обнаруживал эти связки в 76% случаев. 35% обследованных имели только связки Хамфри, и такой же процент — только связки Рисберга. Обе связки присутствовали только у 6% исследуемых.

Мениско-бедренные связки работают в согласовании с подколенной мышцей и натягиваются во время латеральной ротации бедренной кости. Они также могут сдерживать заднее смещение большой берцовой кости.

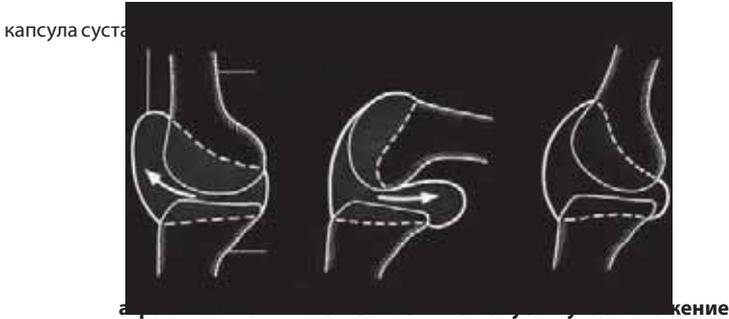
### 7.1.5. СУМКИ КОЛЕННОГО СУСТАВА

Обширный связочный аппарат коленного сустава и большая экскурсия костных сегментов создают значительные силы трения между мышечными, связочными и костными структурами. Вместе с тем этим разрушительным силам препятствуют и ограничивают их действие многочисленные сумки. Эти сумки мы уже упоминали при рассмотрении капсулы коленного сустава.

К ним относятся: *наднадколенниковая сумка*, *поднадколенниковая сумка* и *икроножная сумка*.

Обычно эти сумки не являются отдельными органами, они бывают либо инвагинациями синовального хряща в суставной капсуле (см. рис. 7.11), либо сообщаются с капсулой через маленькие проходы.

Наднадколенниковая сумка находится между сухожилием четырехглавой мышцы бедра и передней частью бедренной кости; поднадколенниковая сум-



*Рис. 7.17. а — синовиальная жидкость при разгибании подается вперед; б — при сгибании синовиальная жидкость направляется назад; с — в полусогнутом положении капсула растянута минимально*

ка — между сухожилием подколенной мышцы и латеральным бедренным мышцелком; икроножная сумка расположена между сухожилием медиальной головки икроножной мышцы и медиальным бедренным мышцелком.

Икроножная сумка может также продолжаться за сухожилие полуперепончатой мышцы и защищать ее от медиального бедренного мышцелка.

Смазывающая синовиальная жидкость, содержащаяся в капсуле коленного сустава, при разгибании и сгибании колена движется между полостями, смазывая суставные поверхности.

При разгибании задняя капсула и связки натягиваются, икроножная и поднадколенниковая сумки сдавливаются. Это перемещает синовиальную жидкость кпереди (рис. 7.17, а). При сгибании наднадколенниковая сумка сжимается кпереди под действием передних структур, и жидкость подается кзади (рис. 7.17, б).

В случае избытка жидкости в суставной полости вследствие травмы или заболевания сустав принимает полусогнутое положение, которое позволяет ослабить натяжение капсулы и, таким образом, уменьшить боль.

С коленным суставом связаны еще несколько сумок, но они не сообщаются с синовиальной капсулой (рис. 7.18).

Препателлярная сумка, находящаяся между кожей и передней поверхностью коленной чашечки, позволяет коже свободно двигаться над чашечкой во время сгибания и разгибания.

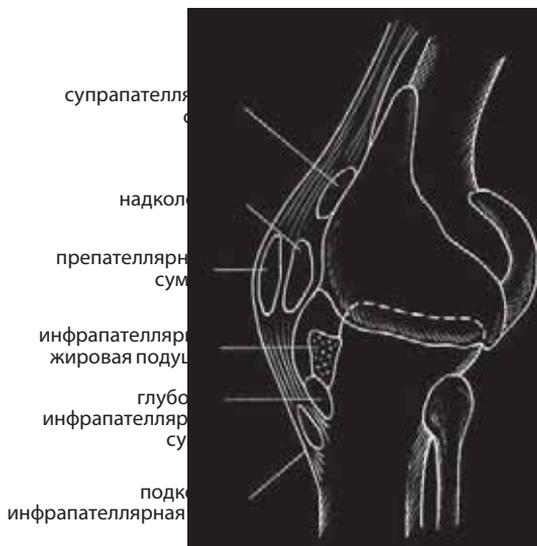
Подкожная инфрапателлярная сумка располагается между надколенниковой связкой и находящейся сверху кожей.

Эти сумки могут воспалиться в результате непосредственной травмы передней части колена или вследствие деятельности, требующей частого и длительного стояния на коленях.

Глубокая инфрапателлярная сумка, которая находится между надколенниковой связкой и бугристостью большой берцовой кости, отделена от синовиальной полости сустава инфрапателлярной жировой подушкой. Глубокая инфрапателлярная сумка помогает уменьшить трение между надколенниковой связкой и бугристостью большой берцовой кости.

Есть также несколько небольших сумок, которые связаны со связками коленного сустава. Обычно существует сумка между ЛКС и сухожилием двуглавой мышцы бедра и между ЛКС и подколенной мышцей. Также

есть сумка, расположенная глубже МКС и защищающая ее от большеберцового мыщелка, и есть сумка, расположенная поверхностно к МКС, защищающая ее от сухожилий полуперепончатой и нежной мышц, которые пересекают МКС.



*Рис. 7.18. Препателлярная сумка, глубокая инфрапателлярная сумка и подкожная инфрапателлярная сумка находятся отдельно от полости сустава*

## 7.2. ФУНКЦИИ КОЛЕННОГО СУСТАВА

### 7.2.1. ДВИЖЕНИЯ В КОЛЕННОМ СУСТАВЕ

Основные движения коленного сустава — сгибание и разгибание и, в меньшей степени, медиальная и латеральная ротация. Эти движения выполняются по меняющимся, но легко определяемым осям и работают на поддержание веса нижней конечностью.

В коленном суставе может также происходить переднее или заднее смещение большой берцовой или бедренной кости и некоторое отведение и приведение в результате воздействия варусных или вальгусных сил.

Однако эти движения обычно не считаются частью функции сустава; они, скорее, часть компромисса между подвижностью и стабильностью.

Небольшие количества переднезаднего смещения и варуса/вальгуса, которые можно наблюдать в нормальном согнутом коленном суставе, являются результатом неконгруэнтности сустава и различий в упругости связок. Величина таких



*Рис. 7.19. Большая берцовая кость при разгибании идет чуть латеральнее бедренной кости, а при сгибании занимает слегка медиальное положение*

движений имеет достаточную индивидуальную вариативность и может отличаться по направлениям у одного и того же человека. Избыточность таких движений является аномалией и обычно указывает на связочную недостаточность.

Мы сосредоточим внимание на нормальных движениях коленного сустава, включая osteokinematiku (степени свободы) и arthrokinematiku (внутрисуставные движения).

### **Сгибание/разгибание в osteokinematике**

Ось сгибания и разгибания в тибioфemоральном суставе проходит горизонтально через бедренные мышцы, под углом к механической и анатомической осям.

Угол наклона оси (меньше с медиальной стороны сустава) похож на тот, что мы встречали в локтевом суставе. Он ставит большую берцовую кость в чуть латеральную позицию относительно бедренной кости при полном разгибании и в чуть медиальную при полном сгибании (рис. 7.19).

Однако в отличие от локтя ось движения при сгибании и разгибании колена не является относительно фиксированной; при прохождении всей АД она значительно сдвигается.

Мгновенная ось ротации для каждой точки АД коленного сустава обнаруживается на последовательных рентгеновских снимках, после чего можно сделать график траектории таких последовательных центров. Траектория мгновенной оси ротации тибioфemорального сустава при сгибании и разгибании образует полукруг,двигающийся назад и вверх на бедренных мышцах по мере увеличения сгибания (рис. 7.20).

Так как многие связанные с коленным суставом мышцы являются двухсуставными, пересекающими как тазобедренный сустав, так и коленный, положение тазобедренного сустава может влиять на АД колена.

Диапазон пассивного сгибания колена обычно составляет 130–140°.

Сгибание колена может быть ограничено до 120° и меньше, если тазобедренный сустав одновременно находится в гиперразгибании, и растянутая прямая мышца бедра становится пассивно недостаточной.

Во время приседания сгибание колена может достигать 160°, так как тазобедренный и коленный суставы сгибаются одновременно, и вес тела действует на сустав сверху.

Обычная ходьба по ровной поверхности требует сгибания коленного сустава примерно на 60°.

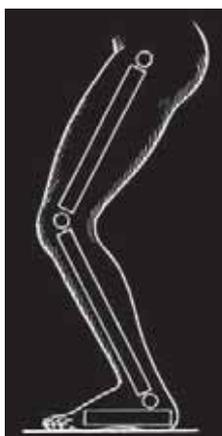
При подъеме по лестнице требования возрастают до 80°, а при усаживании на стул или вставании с него уже требуются 90° и более.

Действия, выходящие за пределы простейших двигательных задач, требуют сгибания колена на 115° и больше.

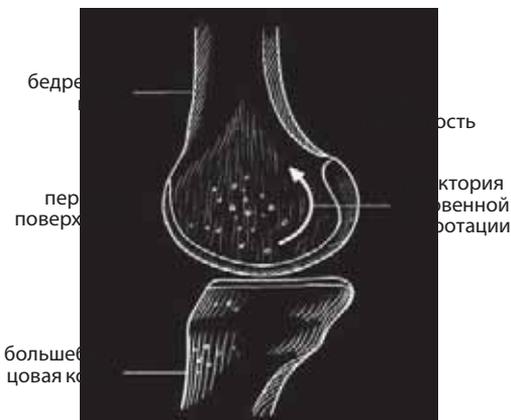
Разгибание сустава до 5–10° (гиперразгибание) считается нормальным. Превышение этих значений называется *рекурвацией* колена.

Когда вес приходится на нижнюю конечность, и колено является частью закрытой кинематической цепи, ограничения амплитуды голеностопного сустава могут создавать ограничения сгибания или разгибания коленного сустава.

Например, ограничение тыльного сгибания голеностопного сустава (из-за зажатых подошвенных сгибателей) может помешать сгибанию колена, а ограничение подошвенного сгибания (из-за зажатых тыльных сгибателей) может ограничить способность колена к полному разгибанию.



**Рис. 7.21.** Если голеностопный сустав находится в состоянии тыльного сгибания, то сгибание и разгибание колена не происходит без полного или частичного отрыва стопы от опоры



**Рис. 7.20.** Схематический рисунок коленного сустава. Стрелками указана траектория мгновенной оси ротации сустава, движущегося от разгибания в сгибание

Если голеностопный сустав фиксирован в положении, показанном на рис. 7.21, колено будет способно ни к сгибанию, ни к разгибанию без отрыва части или всей стопы от опоры.

**Ротация** коленного сустава происходит двумя разными способами, которые весьма различаются как по структуре, так и по функции.

Осевая ротация обеспечивает вторую степень свободы большеберцово-бедренного сустава. В качестве альтернативы существует еще ротация сустава, участвующая в механизме запириания коленного сустава и называемая *терминальной* или *автоматической ротацией*.

Ротация, связанная с механизмом запириания, возникает при плотной упаковке коленного сустава

и никаких степеней свободы не дает. Автоматическую ротацию мы будем рассматривать в следующем разделе, посвященном артрокинематике сустава.

Осевая ротация коленного сустава происходит вокруг продольной оси, которая проходит через медиальный межмышцелковый бугор большеберцовой кости или поблизости от него.

Медиальная и латеральная ротация коленного сустава именуются по движению (или относительному движению) большеберцовой кости (если только не указывается движение бедренной кости).

Медиальная и латеральная ротация при осевой ротации могут происходить по причине неконгруэнтности сустава и расслабления связочного аппарата. Соответственно, амплитуда ротации коленного сустава зависит от положения колена.

Если колено полностью разогнуто, оно находится в положении «плотной упаковки» (блокировки или запираения), и связки натянуты; при этом осевая ротация невозможна. Бугорки большеберцовой кости находятся в межмышцелковой вырезке, а мениски плотно зажаты между суставными поверхностями.

При увеличивающемся до  $90^\circ$  сгибании колена капсула и связки расслабляются. Бугорки большеберцовой кости выходят из межмышцелковой вырезки, и мышелки большеберцовой и бедренной кости начинают свободно перемещаться относительно друг друга.

При сгибании колена под прямым углом возможна как активная, так и пассивная ротация примерно на  $60-70^\circ$ . Амплитуда латеральной ротации ( $0-40^\circ$ ) чуть больше, чем амплитуда медиальной ротации ( $0-30^\circ$ ).

Максимальная амплитуда осевой ротации наблюдается при сгибании колена на  $90^\circ$ , причем величина ее уменьшается по мере приближения как к полному разгибанию, так и к полному сгибанию.

### **Сгибание/разгибание в артрокинематике**

Большая суставная поверхность бедренной кости и довольно маленький мыщелок большеберцовой кости создают потенциальную проблему, когда бедренная кость начинает идти в сгибание по большеберцовой кости. Если бы мышелки бедренной кости могли скатываться назад по большеберцовому мыщелку, то бедренная кость соскочила бы с большеберцовой раньше, чем произошло бы хоть сколько-нибудь значимое сгибание. Результатом было бы ограничение сгибания или соскакивание бедренной кости с большеберцовой (рис. 7.22).

Для того чтобы мышелки бедренной кости продолжали качение при увеличивающемся сгибании бедренной кости, мышелки должны одновременно сколь-

зить вперед по мыщелку большеберцовой кости, предотвращая свое соскакивание назад с мыщелка большеберцовой кости (рис. 7.23, а).

Первая часть сгибания бедренной кости из положения полного разгибания (0–25°) — это, прежде всего, качение мыщелков бедренной кости по большеберцовой кости, при котором контакт мыщелков бедренной кости смещается кзади по мыщелку большеберцовой кости.

По мере продолжения сгибания качение сопровождается одновременным скольжением вперед, вполне достаточным для создания почти чистого вращения бедренной кости вокруг продольной оси на задней части большеберцовой кости; то есть величина смещения назад, происходящего при качении мыщелков, нивелируется величиной скольжения вперед, результатом чего является линейное смещение мыщелков бедренной кости после 25° сгибания.

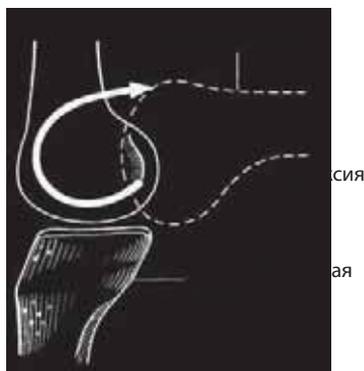
Скольжение мыщелков бедренной кости вперед частично является результатом напряжения, возникающего в ПКС при качении бедренной кости назад по мыщелку большеберцовой кости.

Скольжение может облегчаться и за счет менисков, клинообразная форма которых заставляет мыщелок бедренной кости при сгибании колена катиться «в гору».

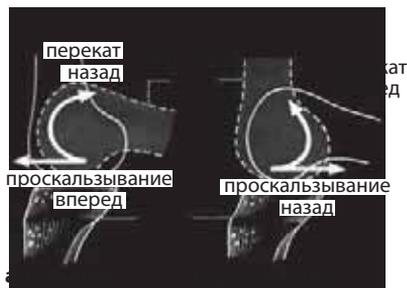
Как показано на рис. 7.24, косо направленная сила клиновидного мениска (мениск — бедренная кость) создает на ней переднее смещение среза (см. срез 1).

Аналогично, косо направленная сила реакции «бедренная кость — мениск» (БМ) также создает компонент среза (см. срез 2), который заставляет мениски сместиться назад по мыщелку большеберцовой кости.

В результате мениски сопровождают мыщелки бедренной кости при их движе-

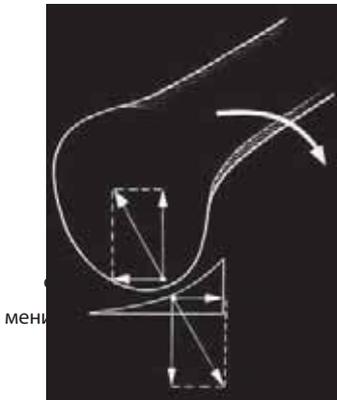


**Рис. 7.22.** Схематическое изображение чистого качения мыщелков бедренной кости по фиксированной большеберцовой кости показывает, как бедренная кость «скатывается» с большеберцовой



**Рис. 7.23. а** — схематическое представление качения и скольжения мыщелков бедренной кости по фиксированной большеберцовой кости.

Мыщелки бедренной кости перекачиваются назад и одновременно проскальзывают вперед; б — движение мыщелков бедренной кости во время разгибания. Мыщелки перекачиваются вперед с одновременным проскальзыванием назад



**Рис. 7.24.** Схематически представленный косой контакт бедренной кости с клиновидным мениском дает две силы: мениск — бедренная кость (МБ) и бедренная кость — мениск (БМ). Их можно разложить на вертикальный компонент и компонент среза. Срез 1 помогает скольжению бедренной кости вперед при сгибании, а срез 2 помогает смещению мениска назад, происходящему во время сгибания колена

обратно в нейтральное положение. После начального качения вперед мышелки бедренной кости скользят назад ровно на такое расстояние, которое достаточно для продолжения разгибания бедренной кости, в виде почти чистого вращения вокруг продольной оси (качение плюс скольжение назад) бедренных мышелков на мышелках большеберцовой кости (рис. 7.23, б).

Напряжение ЗКС и форма менисков облегчают внутрисуставные движения мышелков бедренной кости при разгибании колена. Движение мышелков сопровождается деформацией клиновидных менисков. Когда разгибание начинается из полного сгибания, задние края менисков возвращаются в нейтральное положение. При продолжении разгибания передние края менисков смещаются вперед вместе с мышелками бедренной кости.

Смещение (или деформация) менисков при сгибании и разгибании — важный компонент движений. Если учитывать необходимость менисков для уменьшения трения и амортизации сил взаимодействия крупных мышелков бедренной кости и меньшего большеберцового мышелка, то для того, чтобы продолжать функционировать, мениски должны оставаться за пределами бедренных мышелков.

Невозможность деформации менисков в правильном направлении может привести к ограничению подвижности сустава. Если при сгибании бедренная кость только перекачивается по клиновидным менискам (без проскальзывания бедрен-

нии назад по мышелку большеберцовой кости, сохраняя ту повышенную конгруэнтность, которую они обеспечивают при полном разгибании колена. Полностью мениски двигаться не могут, так как прикрепляются рогами к межмышелковым бугоркам мышелка большеберцовой кости.

Смещение назад является, скорее, задней деформацией при относительно фиксированной передней части менисков. С учетом близкого прикрепления двух рогов латерального мениска друг к другу, деформация латерального мениска будет несколько большей, чем медиального.

Разгибание колена из согнутого состояния вначале происходит как качение мышелков бедренной кости по мышелку большеберцовой кости со смещением бедренных мышелков

ной кости вперед или задней деформации мениска), то увеличенная толщина менисков и угроза выкатывания за задний край вызовут ограничение сгибания.

Аналогичным образом, невозможность передней деформации менисков при нахождении мышечков бедренной кости в разгибании вызывает заклинивание толстых передних краев между бедренной и большеберцовой костями, поскольку на конечной стадии разгибания эти сегменты сближаются. При таком положении мениска разгибание будет неполным.

**Запирание и отпирание.** Хотя недостаточная конгруэнтность мышечков бедренной кости и большеберцового мышечка выливается в качение и скольжение поверхностей мышечков друг по другу, асимметрия размеров медиального и латерального мышечков также вызывает сложные внутрисуставные движения.

Если в качестве примера использовать движение по закрытому контуру с весовой нагрузкой, то разгибание бедренной кости на относительно фиксированной большеберцовой кости вызывает в результате дополнительные движения, кроме описанных в предыдущем разделе.

При разгибании бедренной кости примерно до 30° сгибания более короткий латеральный мышечок бедренной кости прекращает движения качения/скольжения. При продолжении разгибания более длинный медиальный мышечок продолжает выполнять качение и скольжение назад, несмотря на то что латеральный мышечок уже остановился.

Результатом продолжения движения медиального мышечка является медиальная ротация бедренной кости на большеберцовой кости по оси вокруг фиксированного латерального мышечка. Медиальное ротационное движение бедренной кости наиболее очевидно на последних 5° разгибания.

Увеличение напряжения связок коленного сустава по мере приближения колена к полному разгибанию также может способствовать ротации сустава.

Поскольку медиальная ротация бедренной кости, которая сопровождает финальные стадии разгибания колена, не является произвольной или созданной мышечным усилием, ее называют *автоматической*, или *терминальной, ротацией* коленного сустава. Такая ротация в суставе, сопровождающая конец разгибания, также переводит сустав в плотно упакованное или запертое положение.

Большеберцовые бугорки усаживаются в межмышечковую вырезку, мениски плотно зажаты между мышечками большеберцовой и бедренной кости, связки натянуты.

Соответственно, автоматическая ротация также известна под названием *запорного механизма*, или механизма разгибания колена «до отказа».

Для того чтобы начать сгибание, колено сначала надо разблокировать; то есть повернутая медиально бедренная кость не может сразу начать сгибание в сагиттальной плоскости, сначала она должна выполнить латеральную ротацию, и только после этого может последовать сгибание.

Сила сгибания автоматически вызывает латеральную ротацию бедренной кости, поскольку более длинная внутренняя сторона начнет движение раньше, чем короткая наружная (латеральная) сторона сустава.

Если имеется внешнее препятствие для отпирания или деротации бедренной кости, сустав, связки и мениски могут быть повреждены в тот момент, когда бедренную кость насильно переводят в сгибание в направлении, диагональном к сагиттальной плоскости, в которой ориентированы структуры.

Автоматическая ротация, или запираение, колена происходит при функционировании коленного сустава как по типу открытой, так и закрытой цепи.

При открытой кинематической цепи свободно движущаяся большеберцовая кость поворачивается латерально по относительно фиксированной бедренной кости во время последних 30° разгибания.

Отпирание, соответственно, вызывается медиальной ротацией большеберцовой кости по бедренной до начала собственно сгибания.

**Осевая ротация.** Во время осевой ротации коленного сустава продольная ось движения находится в медиальном межмышцелковом бугорке. Соответственно, медиальные мышцелки действуют как точка вращения, тогда как латеральные бугорки проходят по большей дуге, чем медиальные, независимо от направления ротации.

Когда латеральная ротация большеберцовой кости происходит в коленном суставе (т.е. большеберцовая кость может свободно двигаться), медиальный мышцелок большеберцовой кости движется только слегка вперед по относительно фиксированному мышцелку бедренной кости, тогда как латеральный мышцелок проходит большое расстояние назад по относительно фиксированному мышцелку бедренной кости.

При медиальной ротации направление движения мышцелков большеберцовой кости будет обратным, причем медиальный мышцелок смещается слегка назад, а латеральный — движется вперед по большой дуге.

Если фиксирована большеберцовая кость и свободно движется бедренная, ее латеральная ротация (она же медиальная ротация коленного сустава) происходит, когда латеральный мышцелок бедренной кости смещается назад по латеральному большеберцовому мышцелку, а медиальный бедренный мышцелок движется слегка вперед.

При медиальной ротации бедренной кости по большеберцовой кости порядок движений будет обратным.

Когда происходит ротация между мышцелками бедренной и большеберцовой кости (как осевая, так и автоматическая), мениски коленного сустава сохраняют свою связь с бедренными мышцелками так, как они это делали при сгибании и разгибании; т.е. при ротации колена мениски деформируются в направлении движения соответствующего мышцелка бедренной кости.

При медиальной ротации медиальный мениск деформируется в переднем направлении по большеберцовому мыщелку, чтобы оставаться за пределами движущегося вперед медиального бедренного мыщелка, а латеральный мениск деформируется в заднем направлении, оставаясь за пределами движущегося назад латерального бедренного мыщелка.

Таким способом мениски продолжают уменьшать трение и распределять силы, которые создают бедренные мыщелки на мыщелке большеберцовой кости, не ограничивая движение бедренной кости, что могли бы сделать более твердые или жестко закрепленные структуры.

Движения коленного сустава, за исключением автоматической ротации, в значительной степени вызваны мышцами, пересекающими сустав.

Мы завершим обследование большеберцово-бедренного сустава, сначала изучив участие отдельных мышц, с акцентом на роли их мобильности в создании движения коленного сустава. Затем мы повторно рассмотрим пассивные структуры сустава и мышцы в их комбинированной роли, т.е. в роли стабилизаторов этого весьма сложного сочленения.

### 7.2.2. МЫШЦЫ

**Сгибатели.** Колено сгибают семь мышц. К сгибателям колена относятся: полуперепончатая мышца, полусухожильная мышца, двуглавая мышца бедра, портняжная мышца, нежная мышца (*m. gracilis*), подколенная мышца и икроножная мышца.

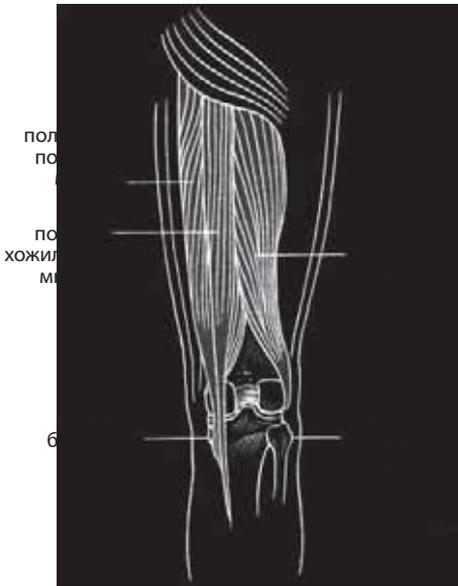
Все сгибатели, за исключением короткой головки двуглавой мышцы бедра и подколенной мышцы, являются двухсуставными. В таком качестве на их способность создавать эффективное усилие может влиять относительное положение двух суставов, над которыми они проходят.

Четыре сгибателя (подколенная, нежная, полуперепончатая и полусухожильная мышцы) также вращают большеберцовую кость по фиксированной бедренной кости; двуглавую мышцу бедра относят к латеральным ротаторам большеберцовой кости.

Полусухожильная, полуперепончатая и двуглавая мышца бедра вместе относятся к т.н. мышцам задней поверхности бедра. Все эти мышцы начинаются на седалищном бугре таза.

Полусухожильная и полуперепончатая мышцы прикрепляются, соответственно, к постеромедиальной и антеромедиальной поверхности большеберцовой кости.

В полуперепончатой мышце есть волокна, которые прикрепляются к внутреннему мениску. Это прикрепление способствует сгибанию колена, облегчая движение медиального мениска назад во время активного сгибания колена. Зна-



*Рис. 7.25. Мышцы задней поверхности бедра показаны сзади. Антеромедиальное прикрепление полусухожильной мышцы не просматривается*

чимось этого участия мы будем рассматривать при изучении подколенной мышцы.

Полусухожильная мышца имеет фиброзную перегородку, разделяющую ее на два отдельных отсека — проксимальный и дистальный. Это создает для нее некоторую специфику воздействия на тазобедренный и коленный сустав.

У двуглавой мышцы бедра есть две головки, каждая из которых прикрепляется к латеральному мыщелку большеберцовой кости и головке малоберцовой кости (рис. 7.25).

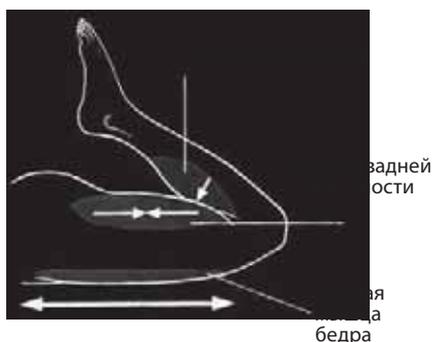
Сухожилие двуглавой мышцы бедра может прикрепляться к подвздошно-большеберцовому тракту и волокнам удерживателя латеральной капсулы сустава. Такой комплекс прикреплений означает, что двуглавая мышца бедра играет роль стабилизатора задней наружной части сустава. Короткая головка двуглавой мышцы бедра не пересекает тазобедренный сустав и, таким образом, оказывает свое действие только на колено.

Большая часть мышц задней поверхности пересекает как тазобедренный (в качестве разгибателей), так и коленный сустав (в качестве сгибателей) и наиболее эффективно действует, если мышцы удлинены над согнутым тазобедренным суставом.

Электромиография (ЭМГ) двуглавой мышцы бедра показывает, что у мышцы в удлинённом состоянии активность снижена, а в укороченном увеличена. Поскольку мышца развивает большее напряжение из удлинённого состояния, для создания одинакового момента требуется меньшее количество моторных единиц. Укорочение мышцы приближает ее активную недостаточность, и для создания такого же момента требуется уже большее количество моторных единиц.

При активном сгибании колена в положении лежа на животе мышцы задней поверхности бедра вынуждены сокращаться как над тазобедренным суставом (он разогнут), так и над коленом.

Мышцы задней поверхности ослабевают по ходу сгибания, поскольку мышечная группа подходит к активной недостаточности и должна преодолевать увеличивающееся напряжение прямой мышцы бедра, которая приближается к пассивной недостаточности (рис. 7.26).



*Рис. 7.26. Во время активного сгибания колена в положении на животе прямая мышца бедра растягивается над тазобедренным суставом и коленом и становится пассивно недостаточной. Мышцы задней поверхности бедра активно сокращаются над тазобедренным суставом и коленом, и в них может развиваться активная недостаточность. Кроме этого, масса сокращающихся мускулов (мышцы задней поверхности бедра и икроножной мышцы) также ограничивает диапазон активного сгибания колена в положении на животе*

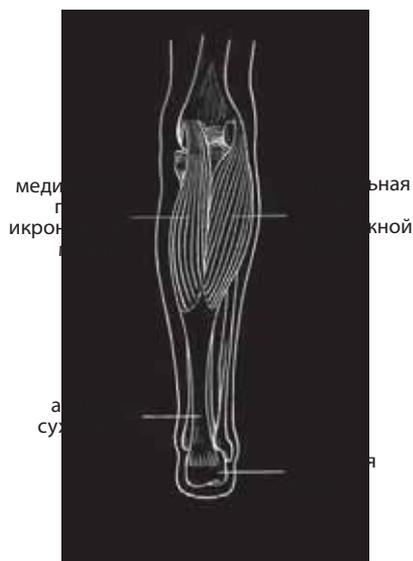
Икроножная мышца начинается двумя головками от задней стороны медиальных и латеральных мыщелков бедренной кости. Она прикрепляется к пяточной кости при помощи пяточного сухожилия.

За исключением подошвенной мышцы (которая, как правило, отсутствует), икроножная мышца является единственной, которая пересекает голеностопный и коленный суставы (рис. 7.27).

Хотя икроножная мышца создает сильный момент подошвенного сгибания в голеностопном суставе, ее вклад в сгибание коленного сустава довольно мал.

По сути, если человек встанет на цыпочки (подошвенное сгибание), а затем лишь немного согнет колено, икроножная мышца расслабляется (оставляя сохранение позиции на камбаловидную мышцу). Понятно, что икроножная мышца становится активно недостаточной довольно быстро. Представляется, что она не столько создает сгибание колена, сколько эффективно предотвращает его гиперразгибание.

Паралич подошвенных сгибателей классически сопровождается «выщелкиванием» колена в гиперразгибание в финальных фазах одноопорного положения во время ходьбы. Наблюдая эту аномальную реакцию, мы можем сделать вывод, что икроножная мышца должна принимать значительное участие в сопротивле-



*Рис. 7.27. На задней стороне комплекса колена видна икроножная мышца, которая помогает создавать опору для задней части колена*

нии значительному моменту разгибания в коленном суставе в этой точке цикла ходьбы.

Представляется, что икроножная мышца является в большей степени динамическим стабилизатором коленного сустава, чем мышцей подвижности.

Портняжная мышца отходит в переднем направлении от передней верхней ости подвздошной кости и пересекает бедренную кость, прикрепляясь к антеро-медиальной поверхности диафиза большеберцовой кости, позади бугристости большеберцовой кости.

Хотя она потенциально и является сгибателем и медиальным ротатором большеберцовой кости, активность портняжной мышцы значительно больше при движениях тазобедренного, нежели коленного сустава.

Представляется, что она довольно невосприимчива к активной неподвижности, поскольку в тазобедренном суставе одинаково активна как при согнутом, так и при разогнутом колене. В известной степени это может быть связано с тем, что она состоит из крупных групп по три-четыре последовательных волокна, соединенных фиброзной перегородкой, а не из групп одиночных волокон, не прерывающихся от проксимального прикрепления до дистального.

Нередки вариации дистального прикрепления портняжной мышцы. При прикреплении чуть впереди от обычного места она может уходить вперед от оси коленного сустава и работать не столько как сгибатель, а как разгибатель середины коленного сустава.

Нежная мышца (*m. gracilis*) отходит от нижней половины дуги лобкового симфиза и прикрепляется к внутренней части большеберцовой кости при помощи



**Рис. 7.28.** Портняжная, нежная и полусухожильная мышцы прикрепляются общим сухожилием, известным под названием гусиная лапка, к антеро-медиальной части большеберцовой кости

сухожилия, общего с портняжной и полусухожильной мышцами. Она является не только сгибателем и отводящей мышцей тазобедренного сустава, но также может сгибать колено и создавать незначительную ротацию большеберцовой кости.

Нежная мышца (*m. gracilis*) быстро становится активно недостаточной, если же тазобедренный сустав и колено сгибаются одновременно, ее активность прекращается вообще.

Нежная, полусухожильная и портняжная мышцы прикрепляются к антеро-медиальной части большеберцовой кости общим сухожилием (рис. 7.28).

Общее сухожилие из-за своей формы называется *гусиной лапкой*. Три мышцы

гусиной лапки эффективно функционируют как группа, для стабилизации медиальной стороны коленного сустава.

Другим односуставным сгибателем колена, кроме короткой головки двуглавой мышцы бедра, является довольно мелкая подколенная мышца. Эта мышца начинается на задней стороне наружного мыщелка бедренной кости и прикрепляется к внутренней стороне большеберцовой кости.

Волокна мышцы идут медиально через заднюю сторону коленного сустава (рис. 7.29).

Подколенная мышца является медиальным ротатором большеберцовой кости по бедренной кости в открытой кинематической цепи (или латеральным ротатором бедренной кости по большеберцовой кости в закрытой кинематической цепи).

Считают, что активная подколенная мышца играет важную роль в иницировании отпирания колена, поскольку она меняет на противоположное направление автоматической ротации, которая происходит в конечных стадиях разгибания колена. Важно при этом отметить, что отпирание коленного сустава осуществляется эффективно, если сгибание колена происходит пассивно.

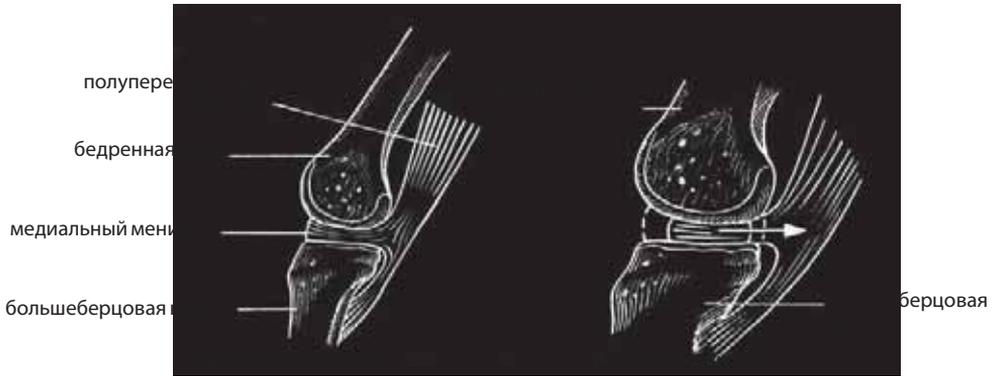
Подколенная мышца обычно прикрепляется к наружному мениску, тогда как полуперепончатая мышца — к внутреннему мениску.

Поскольку и полуперепончатая, и подколенная мышцы являются сгибателями колена, их активность не только создает момент сгибания, но активно способствует движению назад менисков по мыщелкам большеберцовой кости, которое должно происходить во время сгибания колена, когда бедренная кость начинает движение качения.

Способность менисков к деформации при движении гарантирует, что поверхность скольжения будет обеспечена на всем протяжении амплитуды движения бедренной кости. Внутренний мениск оттягивается назад напряжением полуперепончатой мышцы (рис. 7.30).



**Рис. 7.29.** На виде колена сзади показана подколенная мышца (более поверхностные структуры удалены). Направление ее тяги размыкает суставную щель тиббиально-фemorального сустава полностью разогнутого колена за счет медиальной ротации большеберцовой кости (открытая цепь) или латеральной ротации бедренной кости (закрытая цепь)

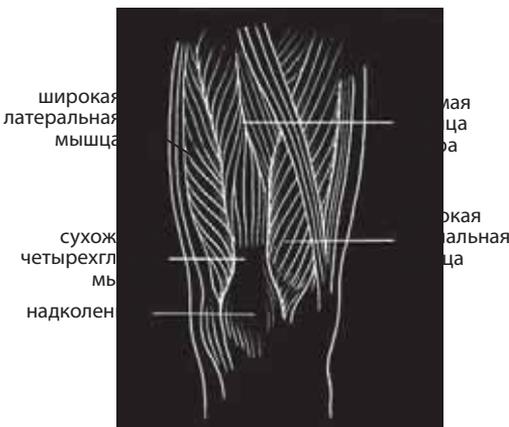


**Рис. 7.30.** Схематическое представление полуперепончатой мышцы и ее прикрепления к внутреннему мениску. Стрелкой на прикреплении показано направление тяги мышцы за внутренний мениск во время сгибания

Наружный мениск оттягивается назад напряжением, возникающим при экспансии подколенной мышцы. Хотя мениски двигаются назад по мыщелку большеберцовой кости даже во время пассивного сгибания, помощь со стороны полуперепончатой и подколенной мышц усиливает движение и минимизирует шанс ущемления менисков и ограничения сгибания колена.

**Разгибатели.** Разгибателем колена является четырехглавая мышца бедра. Единственным отделом четырехглавой мышцы, пересекающим два сустава, является прямая мышца бедра, начинающаяся на нижнем гребне подвздошной кости.

Промежуточная широкая, латеральная широкая и медиальная широкая мышцы бедра начинаются на бедренной кости и сливаются в общее сухожилие — сухожилие четырехглавой мышцы бедра (рис. 7.31).



**Рис. 7.31.** На этом виде колennого сустава спереди можно рассмотреть три из четырех сегментов четырехглавой мышцы бедра при их входе в общее сухожилие

Волокна сухожилия продолжают в дистальном направлении, как связка надколенника. Связка надколенника идет от верхушки коленной чашечки, пересекает ее переднюю поверхность и идет к проксимальной части бугристой большеберцовой кости.

Медиальная и латеральная широкие мышцы бедра также прикрепляются непосредственно к медиальной и латеральной частям надколенника при помощи волокон удерживателя суставной капсулы.

Вместе мускулы, составляющие четырехглавую мышцу бедра, разгибают колено.

Lieb обнаружил, что результирующая тяга мышечных волокон относительно продольной оси бедренной кости от 7 до 10° медиально и 3–5° кпереди. Тяга широкой латеральной мышцы бедра была в 12–15° латерально от продольной оси бедренной кости, причем дистальные волокна шли под еще большим углом. Тяга промежуточной широкой мышцы бедра была параллельна диафизу бедренной кости, что делало ее самым чистым разгибателем из всей группы. Угловое отклонение медиальной широкой мышцы бедра зависело от того, какой из сегментов мышцы оценивали. Угловое отклонение верхних волокон от диафиза составляло 15–18°, а медиальное отклонение дистальных волокон — уже 50–55°.

Такое заметное отличие ориентации нижних волокон медиальной широкой мышцы бедра привело к тому, что верхние волокна стали называть длинной широкой медиальной мышцей бедра, а нижние волокна — косой широкой медиальной мышцей бедра.

С точки зрения механики на эффективность четырехглавой мышцы бедра влияет надколенник, удлиняющий плечо момента (ПМ) мышцы за счет увеличения расстояния ее сухожилия и связки надколенника от оси коленного сустава.

Надколенник, как анатомический блок, отклоняет линию действия четырехглавой мышцы бедра от сустава, увеличивая угол тяги и способность мышцы генерировать момент разгибания. Однако надколенник функционирует не как простой блок, поскольку при простом блоке напряжение одинаково по обе стороны от блока. Напряжение в сухожилии четырехглавой мышцы бедра в верхней части надколенника не равно напряжению в связке надколенника в нижней части коленной чашечки.

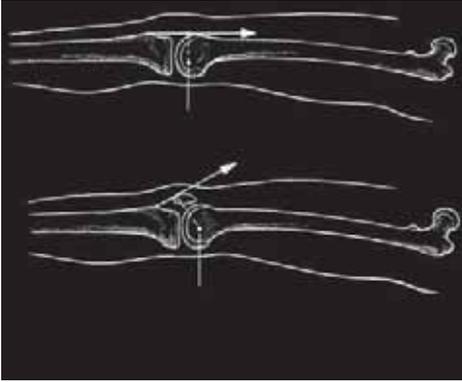
Evans и сотрудники обнаружили, что максимальная сила в сухожилии четырехглавой мышцы бедра превышает силу в связке надколенника в соотношении 8:5.

Как подчеркивают Grelsamer и Klein, надколенник в реальности действует как эксцентрический блок, поскольку он может как перенаправлять, так и увеличивать силу.

Положение надколенника между сухожилием четырехглавой мышцы бедра и мышцами бедренной кости также снижает трение между сухожилием и мышцами.

Бедренные мышцы встречаются не с сухожилием мышцы, а с гиалиновым хрящом, выстилающим заднюю сторону надколенника.

Надколенник соединен с бугристостью большеберцовой кости связкой надколенника, которая делает коленную чашечку почти что передней стенкой большеберцовой кости.



**Рис. 7.32.** В нижней части иллюстрации показано нормальное разгибание колена, когда надколенник расположен спереди от большеберцово-бедренного сустава. Стрелка указывает на линию действия четырехглавой мышцы бедра, а пунктирная линия — на плечо ее момента (ПМ). На рисунке сверху показано колено с удаленным надколенником. Стрелка указывает на линию действия четырехглавой мышцы бедра, а пунктирная линия — на уменьшение ПМ в результате удаления коленной чашечки

дра, а следовательно, величины ротационного компонента этой тяги также повышает и величину силы смещения этого компонента.

Ротационный компонент не только вызывает ротацию большеберцовой кости вокруг оси, но также создает поступательное усилие, которое пытается сдвинуть большеберцовую кость вперед, под бедренной костью.

Как уже было показано, вызываемый четырехглавой мышцей бедра сдвиг вперед должен гаситься тягой, аналогичной той, которую создает ПКС. Увеличение и уменьшение угла тяги четырехглавой мышцы бедра сопровождаются увеличением и уменьшением нагрузки на ПКС.

Wilk с сотрудниками исследовали переднезаднюю силу смещения, силу компрессии и момент разгибателя при нагрузках в открытой и закрытой кинематической цепи.

Авторы обнаружили, что сила переднего сдвига (смещения), воздействующая на ПКС, действует при разгибании в открытой цепи в диапазоне от 30 до 10°. Максимальное срезание вперед наблюдается между 20 и 11°. При нагрузках по типу закрытой цепи (приседание и жим ногами), напротив, сила срезания вперед не возникает. Однако авторы показали, что в закрытой кинематической цепи

Когда бедренная кость идет в сгибание по большеберцовой кости, надколенник, по сути, остается неподвижен, лишь чуть соскальзывая вниз по движущимся бедренным мышцам.

Положение коленной чашечки относительно оси сустава варьирует в соответствии со смещением моментальной оси и изменением контуров бедренных мышцеков.

Влияние надколенника на ПМ четырехглавой мышцы бедра, соответственно, меняется по всей АД коленного сустава.

Вместе с тем было обнаружено, что независимо от положения сустава после удаления надколенника момент силы четырехглавой мышцы уменьшается до 49% из-за значительного уменьшения ПМ мышцы в большинстве точек АД (рис. 7.32).

Увеличение угла тяги большеберцовой кости четырехглавой мышцей бе-

действует сила срезания назад, нагружающая ЗКС. Эта сила действует по всей АД и достигает максимума между 83 и 105° сгибания колена. Сила смещения назад также действовала и при нагрузках по типу открытой цепи, но она работала только в диапазоне от 60 до 101° сгибания.

Упражнения с нагрузками в закрытой кинематической цепи часто прописывают после травмы ПКС или ЗКС, исходя из предположения, что такие нагрузки имеют менее стрессовый характер, являются более функциональными и безопасными, чем нагрузки в открытой цепи. Однако исследование показывает, что стрессовые нагрузки на ЗКС, возникающие при некоторых типах «упражнений закрытой цепи», могут, в процессе выздоровления, давать обратный эффект.

При исследовании изокинетических упражнений Kellis и Balzopoulos обнаружили, что антагонистический эффект зависит от типа мышечного действия (эксцентрического или концентрического) мышцы-антагониста. Активность антагониста не влияла на силу смещения вперед, однако заметно влияла на данную силу назад, сухожилие надколенника и силы компрессии.

Представляется, таким образом, что при применении изокинетических упражнений силы, генерируемые мышцами-антагонистами, следует учитывать при их использовании как части процесса реабилитации после травм колена.

Участие надколенника в создании лучшего момента четырехглавой мышцей бедра будет варьировать в соответствии с АД сустава.

При полном сгибании колена надколенник соскальзывает в межмышцелковую вырезку бедренной кости, переставая работать как блок. Округлые контуры бедренных мышцелков в этой точке, однако, уже сами отклоняют линию действия мышцы. Кроме этого, при полном сгибании моментальная ось ротации значительно сдвигается назад, в мышцелки бедренной кости, т.е. еще дальше от линии действия четырехглавой мышцы бедра. Движение мгновенной оси ротации, таким образом, само по себе увеличивает ПМ для разгибания, даже без участия надколенника.

Во время разгибания ПМ четырехглавой мышцы удлиняется, когда надколенник покидает межмышцелковую вырезку и должен двигаться над округлыми бедренными мышцелками.

Примерно при 60° сгибания колена надколенник выталкивается мышцелками бедренной кости настолько далеко от мгновенной оси ротации, насколько это возможно. При продолжении разгибания ПМ снова начинает уменьшаться.

Свидетельством изменения ПМ является то, что среднее значение максимального изометрического момента разгибателей колена больше при 60° сгибания колена, чем при 30 или 45°. Конечно, на это оказывает влияние не только ПМ, но и изменение «длины-напряжения» мышцы и тип ее сокращения. Если пиковые величины момента оценивать во время активного изокинетического сокращения, наибольшая величина момента, сгенерированного разгибателями, наблюдается при 45° сгибания колена.

Уменьшение длины ПМ четырехглавой мышцы бедра и «длины–напряжения» мышцы на последних  $15^\circ$  разгибания колена ставит ее в механически и физиологически невыгодное положение. Для того чтобы завершить последние  $15^\circ$  разгибания коленного сустава, требуется на 60% больше усилий четырехглавой мышцы бедра, чем на протяжении всего предшествующего диапазона. Соответственно, хотя влияние надколенника на улучшение ПМ четырехглавой мышцы бедра и уменьшается на конечных стадиях разгибания колена, даже небольшое улучшение ПМ за счет надколенника здесь может оказаться самым важным. Учитывая снижение способности мышцы к созданию активного напряжения, относительная величина ПМ критична для создания момента.

Удаление коленной чашечки практически не оказывает влияния на силу четырехглавой мышцы бедра, когда она начинает разгибание из полного сгибания, поскольку влияние надколенника в этой точке амплитуды незначительно.

Отсутствие надколенника создает заметную слабость разгибания в диапазоне сгибания от  $60$  до  $30^\circ$ , однако округлость бедренных мышечков все равно отклоняет линию тяги мышцы, и соотношение «длины–напряжения» все равно оказывается выгодным.

Наиболее сильный эффект отсутствия коленной чашечки наблюдается на конечных стадиях разгибания сустава, когда уменьшение ПМ может уменьшить момент настолько, что четырехглавая мышца бедра окажется неспособна в одиночку закончить разгибание.

Потеря коленной чашечки заметнее всего, когда подвижным сегментом является большеберцовая кость, и четырехглавой мышце бедра приходится преодолевать силу тяжести. При весовой нагрузке вместе с тем ослабление функции разгибателя может дополняться другими силами, влияющими на закрытую цепь.

Фактически паттерны активности четырехглавой мышцы бедра могут оказываться в положении весовой нагрузки совершенно различными. В этом положении четырехглавая мышца бедра за счет эксцентрического действия при активности контролирует сгибание колена больше, чем вызывает разгибание. Затем, при разгибании, ее действие является концентрическим и направлено на возвращение тела в вертикальное положение. По достижении вертикального положения активность разгибателей прекращается.

Для сохранения разгибания колена в нормальном вертикальном положении активность разгибателей просто не нужна, поскольку линия силы тяжести (ЛСТ) располагается спереди от оси сгибания и разгибания коленного сустава. Результирующего гравитационного момента, возникающего около коленного сустава, достаточно, чтобы поддерживать его в состоянии разгибания.

Задняя капсула сустава, связки и мышечно-сухожильные структуры могут сохранять равновесие в колене за счет уравнивания гравитационного момента и предотвращения гиперразгибания.

Если ЛСТ проходит сзади от оси коленного сустава, гравитационный момент будет вызывать сгибание коленей, и активность разгибателей здесь будет необходима для выравнивания гравитационного момента и сохранения коленного сустава в равновесии. Разгибатели, отвечающие за поддержку веса тела и сопротивление силе тяжести, примерно в два раза сильнее сгибателей.

В закрытой кинематической цепи движение колена сопровождается движением в тазобедренном и голеностопном суставах. То есть при поддержке веса сгибание коленей обычно происходит вместе со сгибанием тазобедренного сустава и тыльным сгибанием в голеностопном суставе.

Активность камбаловидной мышцы, которая в положении стоя является постоянной, создает тягу большеберцовой кости назад, она совершает обратное действие и участвует в разгибании коленного сустава.

Вторичная поддержка, направленная против гиперразгибания (рекурвации) колена, может оказываться сгибателями колена, в которых развивается пассивное напряжение в результате растяжки постеромедиального и постеролатерального аспектов колена.

Дальнейшее рассмотрение влияний четырехглавой мышцы бедра мы проведем при обсуждении надколенно-бедренного сустава. Хотя надколенник обслуживает, в первую очередь, механизм четырехглавой мышцы бедра, сам этот механизм может оказывать существенное влияние на способность коленной чашечки выполнять свою функцию эффективно и безболезненно.

### 7.2.3. СТАБИЛИЗАЦИЯ

Опорные структуры колена можно классифицировать по функции, структуре или расположению.

Системы классификации, основанные на функции, используют дифференциацию «статика/динамика», тогда как системы, основанные на структуре, пользуются капсулярным/экстракапсулярным методом.

Системы, основанные на расположении, применяют секционный подход, обращаясь к эмбриональным медиальному и латеральному отсекам (компартаментам) сустава.

В соответствии с функциональной системой классификации статические стабилизаторы включают в себя такие пассивные структуры, как суставная капсула и связки.

К пассивным стабилизаторам относятся компоненты капсулы сустава и ассоциированные структуры, такие как коронарные связки и мениско-надколенниковые и надколенно-бедренные связки.

Связки, относящиеся к статическим стабилизаторам сустава, — это МКС и ЛКС, ПКС и ЗКС, косая подколенная и дугообразная связки и поперечная связка.

Поскольку ПББТ считается в колене пассивной силой, несмотря на мышечные связи, то мы будем ее рассматривать в части статических стабилизаторов.

К динамическим стабилизаторам колена относятся следующие мышцы и апоневрозы: четырехглавая мышца бедра, удерживатель разгибателя, гусиная лапка (полусухожильная, портняжная и нежная мышцы), подколенная мышца, двуглавая мышца бедра и полуперепончатая мышца.

В соответствии с системой классификации, основанной на расположении, опорные структуры коленного сустава, находящиеся на антеромедиальной, медиальной и постеромедиальной частях колена, относятся к структурам медиального компартмента.

Структуры, расположенные в этих же областях, но с наружной стороны, являются структурами латерального компартмента.

К структурам медиального компартмента относятся следующие: медиальный удерживатель надколенника, МКС, косая подколенная связка и ЗКС. К структурам медиального компартмента также относят медиальную головку икроножной мышцы, гусиную лапку и полуперепончатую мышцу.

Структуры латерального компартмента включают в себя следующие статические и динамические стабилизаторы: ПББТ, двуглавую мышцу бедра и подколенную мышцу; ЛКС, мениско-бедренную и дугообразную связки, ПКС и латеральный удерживатель надколенника.

Независимо от используемой системы классификации, все попытки наделить структуры каким-либо основным типом стабилизации весьма сложны и обычно требуют чрезмерного упрощения эффекта.

Многие исследования, цитируемые в настоящей книге, недвусмысленно свидетельствуют, что степень вклада как мышц, так и связок зависит от положения сустава (не только коленного, но и окружающих суставов), величины и направления силы, наличия усиливающих структур и характера условий тестирования.

Практически все структуры коленного сустава могут содействовать стабильности во всех направлениях при специфических нормальных или аномальных условиях.

Разнице в результатах также способствуют индивидуальные различия, а также различия коленных суставов у одного и того же человека.

Последующее изложение следует рассматривать, таким образом, как повторяемость некоторых (но не всех) участников стабилизации коленного сустава.

**Переднезадняя стабилизация.** Переднезадняя стабильность колена обеспечивается статическими и динамическими стабилизаторами и структурами латерального и медиального компартмента.

Участие связок в обеспечении переднезадней стабильности рассматривалось ранее. Некоторые стабилизаторы особо важны и обладают повторяемостью функций.

Удерживатель разгибателя, состоящий из волокон четырехглавой мышцы бедра, срастается с волокнами капсулы сустава для обеспечения динамической поддержки антеромедиальной и антеролатеральной части колена.

Четырехглавая мышца бедра является синергистом ЗКС при оказании сопротивления силам, пытающимся сместить большеберцовую кость назад.

Медиальная и латеральная головки икроножной мышцы усиливают медиальную и латеральную части заднего отдела капсулы.

Особо важным постеролатеральным стабилизатором считается подколенная мышца, дополняющая функции ЗКС.

Мениско-бедренные связки могут действовать как вторичные ограничители смещения большеберцовой кости назад.

ПКС и мышцы задней поверхности бедра действуют дополняя друг друга при оказании сопротивления силам, смещающим большеберцовую кость вперед, или создающим смещение среза бедренной кости назад.

Примерами таких сил являются: тяга четырехглавой мышцы бедра и действие силы реакции опоры на большеберцовую кость при постановке пятки на землю.

Karlan особо выделял роль полуперепончатой мышцы, утверждая, что колено может быть стабильным в сгибании только при условии целостности этой структуры и ее множественных соединений.

При исследовании переднезадней стабильности колена нельзя игнорировать и роль самого надколенника.

Коленная чашечка предохраняет бедренную кость от проскальзывания вперед по большеберцовой кости, на самом деле действуя как часть большеберцовой кости, соединенной с ней эластичным сухожилием. Такое сочетание надколенника и большеберцовой кости является надежной опорой для бедренной кости.

**Медиальная/латеральная стабилизация.** Медиальная/латеральная стабильность колена обеспечивается статическими и динамическими структурами мягких тканей и, если колено находится в полном разгибании, бугристостью большеберцовой кости и менисками.

Колено, как и локоть, усилено с наружной и внутренней стороны коллатеральными связками. Очевидно, что они играют важнейшую роль при сопротивлении вальгусным и варусным нагрузкам, особенно при разогнутом суставе.

Участниками являются и обе крестообразные связки, хотя степень их участия и баланс меняются в зависимости от влияния массы факторов.

При увеличении сгибания колена возрастает важность мускулатуры в обеспечении динамической стабильности, в частности, мышц гусиной лапки с внутренней стороны колена.

С наружной стороны в создании стабильности участвуют подвздошно-большеберцовый тракт, ЛКС, сухожилие подколенной мышцы и сухожилие двуглавой мышцы бедра, которые образуют единый комплекс.

Постеролатеральная часть капсулы особо важна для варусной стабильности при разгибании, тогда как подколенная мышца является основным стабилизатором в диапазоне сгибания от 0 до 90°.

Значимыми для медиальной/латеральной стабильности являются мениски, поскольку колено в полном разгибании остается стабильным, независимо от разделения связочных структур. Удаление обоих менисков оказывает самый заметный эффект в отношении стабилизации при вальгусных и варусных нагрузках.

**Ротационная стабилизация.** Сложный характер ротационной стабилизации колена значительно затрудняет выделение определенных структур в качестве главных участников. Однако представляется, что роль пассивных механизмов здесь более значима, чем механизмов активных.

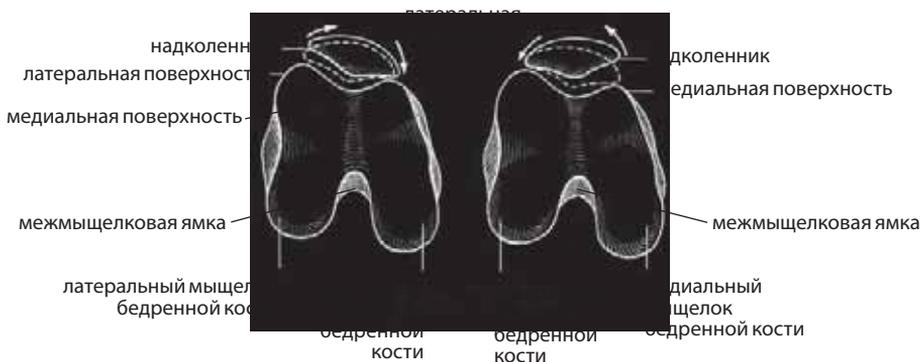
Более всего среди обеспечивающих ротационную стабильность структур выделяются крестообразные связки, особенно при разогнутом колене. Вместе с тем ротационная нестабильность может возникать и при целостных связках.

Исследователи ротационной стабильности в различных условиях также отмечают важность таких структур, как МКС, ЛКС, постеромедиальная капсула, постеролатеральная капсула и сухожилие подколенной мышцы.

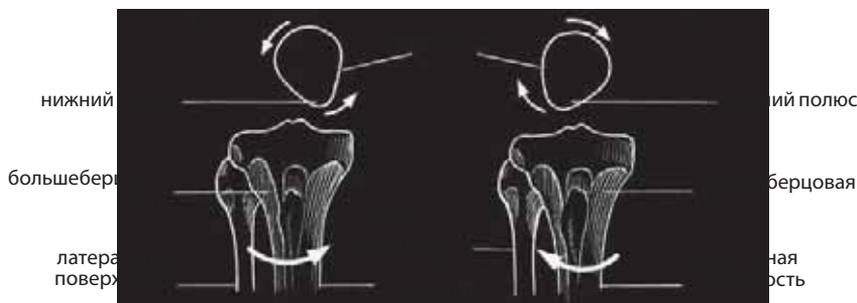
Также в ограничении излишней латеральной ротации принимают участие мениско-бедренные связки.

### 7.3. НАДКОЛЕННО-БЕДРЕННЫЙ СУСТАВ

Роль надколенника была достаточно полно раскрыта при обсуждении четырехглавой мышцы бедра. Это, в первую очередь, анатомический эксцентриче-



**Рис. 7.33.** *a* — медиальный наклон надколенника. На рисунке показан дистальный конец правой бедренной кости. Пунктирные линии представляют нормальное исходное положение надколенника при полном разгибании колена. Жирная обводка контура надколенника показывает его положение при медиальном наклоне; *b* — латеральный наклон надколенника. Надколенник также может отклоняться вверх и вниз, но эти движения на рисунке не приводятся



**Рис. 7.34.** *a* — медиальная ротация надколенника. На рисунке показан проксимальный конец правой большеберцовой кости и правый надколенник. Бедренная кость убрана с целью акцентирования движения надколенника. Нижний полюс надколенника следует за медиальной ротацией большеберцовой кости во время автоматической и осевой ротации; *b* — латеральная ротация надколенника. Нижний полюс надколенника следует за латеральной ротацией большеберцовой кости во время автоматической и осевой ротации

ский блок и механизм снижения трения между сухожилием четырехглавой мышцы бедра и мышцелками бедренной кости. Способность надколенника к выполнению своих функций показана на рис. 7.33, 7.34, 7.35.

Надколенник обладает возможностью скользить по мышцелкам бедренной кости, оставаясь между ними.

При полном разгибании колена надколенник выходит на переднюю поверхность дистальной части бедренной кости. При сгибании колена надколенник скользит по бедренным мышцелкам дистально, устраиваясь между ними. При полном сгибании он уходит в межмышцелковую вырезку.

Движение надколенника в сагитальной плоскости, называемое *сгибанием надколенника*, находится за пределами сгибания колена. Разгибание колена придает надколеннику обратный ход и выводит его обратно на надколенную поверхность бедренной кости. Это движение называют *разгибанием надколенника*.

По данным Neegaard, движения сгибания/разгибания надколенника полностью определяются конфигурацией суставных поверхностей и ориентацией механизма разгибателя.



**Рис. 7.35.** *a* — медиальное смещение надколенника. Пунктирным контуром показано нормальное исходное положение надколенника при полном разгибании колена. Жирным контуром обозначено его медиальное смещение; *b* — латеральное смещение надколенника. Жирным контуром обозначено его латеральное смещение



**Рис. 7.36.** Суставные поверхности надколенника

Вместе с поверхностью бедренной кости, на которой он находится, надколенно-бедренный сустав также является наименее конгруэнтным из всех суставов в теле.

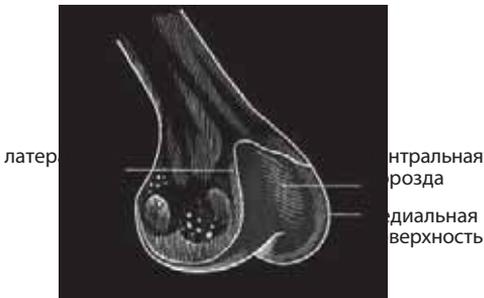
Общая суставная поверхность надколенника много меньше, чем бедренная блоковидная поверхность, и материальные свойства поверхности надколенника

сильно варьируют в пределах самой суставной поверхности, так же как и свойства прилегающего блоковидного хряща. Задняя поверхность надколенника покрыта суставным хрящом и разделена вертикальным гребнем. Гребень может находиться примерно в середине надколенника, разделяя суставную поверхность на примерно равные медиальную и латеральную фасетки. Иногда гребень может располагаться чуть ближе к медиальной границе надколенника, и в таком случае медиальная фасетка будет меньше, чем латеральная.

Независимо от размеров, медиальная и латеральная фасетки имеют плоскую или слегка выпуклую поверхность в поперечнике и по вертикали.

По меньшей мере, в 30% надколенников имеется второй вертикальный гребень, направленный к медиальной границе и отделяющий медиальную фасетку от ее медиального края. Он известен как *дополнительная фасетка надколенника* (рис. 7.36).

Суставной поверхностью бедренной кости, сочленяющейся с надколенником, является межмышечковая вырезка или борозда на передней поверхности дистальной части кости. Борозда соответствует вертикальному гребню надколенника и делит суставную бедренную поверхность на латеральный и медиальный отделы. Эти поверхности являются вогнутыми в поперечнике, но выпуклыми по вертикали.



**Рис. 7.37.** Суставные поверхности бедренной кости. Обратите внимание на хорошо развитую губу в латеральной части суставной поверхности

Латеральная фасетка имеет чуть более выпуклую форму, чем медиальная, и имеет более развитую губу (рис. 7.37, см. рис. 7.2, а).

Угол, образованный медиальной и латеральной фасетками (угол бедренной борозды), в среднем равен  $138^\circ$ , но имеет значительные индивидуальные отклонения ( $116-151^\circ$ ).

### 7.3.1. КОНГРУЭНТНОСТЬ НАДКОЛЕННО-БЕДРЕННОГО СУСТАВА

При полностью разогнутом или нейтральном колене надколенник находится на бедренной борозде. Вертикальное положение надколенника в борозде связано с длиной сухожилия надколенника.

Обычно отношение длины сухожилия (ДС) к длине надколенника (ДН) примерно 1:1. Это отношение (ДС/ДН) называется *индексом Insall и Salviti*.

Его рассчитывают при помощи измерения ДС от верхушки надколенника до маленькой выемки, находящейся сразу проксимально от бугристости большеберцовой кости (на рентгене латеральной поверхности) и максимальной диагональной длины ДН.

На соотношение влияет пол: у женщин наблюдаются чуть большее соотношение (или более длинные сухожилия надколенника). Предельным значением нормы считается соотношение ДС/ДН = 1:3 либо превышение длины связки над длиной надколенника не более чем на 20%.

Слишком длинное сухожилие дает аномально высокое положение надколенника в бедренной борозде, известное под названием *patella alta* (высокий надколенник) (это понятие будет подробнее рассматриваться далее).

Надколенник при нейтральном или разогнутом колене не контактирует вообще, либо контактирует крайне мало с бедренной бороздой ниже. Есть лишь узкая полоска контакта между нижним полюсом надколенника и бедренной бороздой.

Первый устойчивый контакт надколенника происходит при 10–20° сгибания и осуществляется нижним краем надколенника как с латеральной, так и медиальной фасетками. К 90° сгибания колена все части надколенника уже находятся в контакте (хоть и неустойчивом), за исключением добавочной фасетки. При продолжении сгибания свыше 90° медиальная фасетка входит в межмышцелковую борозду, и добавочная фасетка входит в первый контакт. При сгибании в 135° контакт осуществляется только латеральной и добавочной фасетками, а контакт со стороны медиальной фасетки прекращается полностью.

В целом, медиальная фасетка надколенника осуществляет наиболее устойчивый контакт с суставными поверхностями бедренной кости, а контакт добавочной фасетки является самым слабым.

Поскольку любой дисбаланс возникновения и прекращения давления на хрящ может повлечь за собой дегенеративные изменения, неудивительно, что многие распространенные изменения хряща надколенника обнаруживаются фактически, на медиальной и добавочной фасетках. Изменения вместе с тем представляются составной частью нормальных возрастных изменений, необязательно прогрессируют и, как правило, протекают бессимптомно.

Хотя недостаток нормального давления на добавочную фасетку может быть вполне очевидным (она вступает в контакт только при полном сгибании колена), избыток давления на медиальную фасетку должен пониматься в контексте сил реакции надколенно-бедренного сустава.

Singerman с сотрудниками обнаружили, что точка приложения результирующей силы контакта надколенника (КН) мигрирует вверх при сгибании от 20 до 90°. После 90° КН мигрирует вниз. Однако связь различных компонентов силы и угла сгибания может демонстрировать высокую степень вариабельности.

### 7.3.2. СИЛЫ РЕАКЦИИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ НАДКОЛЕННО-БЕДРЕННОГО СУСТАВА

Надколенник находится под воздействием одновременной тяги сухожилия четырехглавой мышцы бедра (вверх) и сухожилия надколенника (вниз). Когда тяга этих двух сил вертикальна или в одной линии друг с другом, надколенник находится в подвешенном состоянии между ними, и контакт между ним и бедренной костью отсутствует или очень незначителен. Когда колено находится в полном разгибании — это именно тот самый случай.

Исследования на трупах подтвердили, что в этом положении контакт надколенника и бедренной кости отсутствует или очень мал. Даже сильное сокращение четырехглавой мышцы бедра в полном разгибании создает очень незначительную



*Рис. 7.38. Комбинированная тяга четырехглавой мышцы бедра ( $F_q$ ) и связки надколенника ( $F_p$ ) может быть сложена в один результирующий вектор ( $R$ ), явно прижимающий надколенник к бедренной кости. Величина  $R$  увеличивается с ростом величин  $F_q$  и  $F_p$  и при усилении сгибания колена*

надколенно-бедренную компрессию или не вызывает ее вовсе. Это является основой упражнений с подъемом прямой ноги как способом повысить мышечную силу четырехглавой мышцы бедра, не создавая или не ухудшая проблем с надколенно-бедренным суставом.

Когда колено начинает двигаться из полного разгибания в сгибание, тяга сухожилия четырехглавой мышцы бедра ( $F_q$ ) и тяга связки надколенника ( $F_p$ ) приобретают все более диагональный характер, прижимая надколенник к бедренной кости (рис. 7.38).

По данным Hirokawa с сотрудниками, при сгибании от 0 до 100°

сила контакта с наружной стороны всегда превышает такую силу с внутренней стороны.

Heegaard обнаружил, что максимальное давление во время сгибания колена всегда было выше на латеральных фасетках при почти полном сгибании и разгибании. Почти равное распределение давления наблюдалось в середине сгибания. Нагрузки натяжения обнаруживаются во фронтальной плоскости либо ниже латеральной, либо ниже медиальной фасетки.

Повышение давления, вызванное четырехглавой мышцей бедра при усилении сгибания, происходит как при активной, так и при пассивной мышце. Если четырехглавая мышца бедра активна, то по мере увеличения угла сгибания наблюдается все более участие в компрессии как активного напряжения, так и пассивного эластического натяжения. Компрессия, естественно, создает силу реакции по всему надколенно-бедренному суставу.

На общую силу реакции сустава влияют как величина активной и пассивной тяги четырехглавой мышцы бедра, так и угол сгибания колена.

В области прикрепления сухожилия надколенника обнаружены высокие стрессовые нагрузки смещения. Они возникают там, где окостенение хряща ускорено в связи с реакцией на высокие нагрузки смещения. Наибольший стресс натяжения сконцентрирован в области ниже прикрепления сухожилия надколенника.

Сила реакции надколенно-бедренного сустава при ходьбе обнаруживается тогда, когда стопа осуществляет первый контакт с опорой, и колено слегка сгибается (на  $10-15^\circ$ ) — это порядка 50% от веса тела.

При усиленном сгибании колена и активности четырехглавой мышцы бедра, которые наблюдаются при подъеме по лестнице или беге в гору, сила реакции надколенно-бедренного сустава может превышать вес тела в 3,3 раза при сгибании на  $60^\circ$ .

Сила реакции надколенно-бедренного сустава может превышать вес тела в 7–8 раз при сгибании коленного сустава в  $130^\circ$  при таких действиях, как предельное сгибание колена, при котором требуется мощное сокращение четырехглавой мышцы бедра.

Хотя силы реакции в других суставах нижних конечностях могут достигать таких же величин, они действуют в намного более конгруэнтных суставах; то есть компрессионные силы распределяются по большим площадям.

В нормальном надколенно-бедренном суставе главный удар компрессионной силы принимает на себя медиальная фасетка. Некоторые механизмы помогают минимизировать или рассеять компрессионную нагрузку на надколенно-бедренный сустав в целом и на медиальную фасетку в частности.

Так как при полном разгибании на подколенник силы компрессии не действуют, не требуются и компрессионные механизмы. По ходу сгибания колена

область контакта постепенно увеличивается, распространяя увеличивающуюся силу компрессии.

При сгибании от 30 до 70° происходит контакт в толстом хряще медиальной фасетки около центрального гребня.

По сути, хрящ медиальной фасетки является самым толстым гиалиновым хрящом человеческого тела. Толстый хрящ лучше выдерживает значительные компрессионные нагрузки. Большая толщина и высокая проницаемость надколенного сустава для влаги может улучшить стабильность сустава, так как надколенник способен глубже устроиться в блоковидной головке.

В пределах одной и той же АД надколенник обладает наибольшей эффективностью как блок и максимально увеличивает ПМ четырехглавой мышцы бедра.

При большом ПМ от четырехглавой мышцы бедра требуется меньшая сила (и меньшая сила компрессии надколенно-бедренного сустава) для создания одного и того же момента. По ходу сгибания ПМ уменьшается, что заставляет четырехглавую мышцу бедра развивать большее усилие.

Однако между 70 и 90° надколенник как структура перестает осуществлять контакт с мышечками бедренной кости. В этой точке амплитуды сгибания сухожилие четырехглавой мышцы бедра входит в контакт с бедренными мышечками, рассеивая некоторую часть надколенно-бедренной компрессии. И наоборот, сила реакции сустава увеличивается при разгибании колена от 90 до 45°, а затем уменьшается по мере разгибания.

Механизмы адаптации надколенника при взаимодействии с большими силами реакции сустава выглядят весьма успешно. Хотя некоторое ухудшение хряща характерно как для медиальной, так и добавочной фасетки, стоит повторить — эти силы редко создают проблемы.

### **7.3.3. МЕДИАЛЬНАЯ И ЛАТЕРАЛЬНАЯ СТАБИЛЬНОСТЬ НАДКОЛЕННО-БЕДРЕННОГО СУСТАВА**

При разогнутом колене надколенник сидит в бедренной борозде непрочно. Пока он не начнет при сгибании колена скользить вниз по бедренным мышечкам и затягиваться в межмышечковую вырезку (примерно при 20° сгибания), медиальная/латеральная стабильность обеспечивается исключительно за счет активного и пассивного напряжения структур вокруг надколенника.

Ficat установил, что надколенно-бедренный сустав находится под постоянным контролем двух ограничительных механизмов, пересекающих друг друга под прямым углом, — поперечной группы стабилизаторов и продольной группы стабилизаторов. Положение надколенника и его подвижность определяются относительным напряжением этих двух систем стабилизации.

Поперечные стабилизаторы колена описывались по-разному. Медиальные и латеральные удерживатели разгибателя надколенника соединяются с медиальной и латеральной широкими мышцами бедра соответственно и направляют коленную чашечку. Некоторые исследователи описывали медиальные и латеральные надколенно-бедренные связки, которые могут быть частью или могут сливаться с волокнами удерживателя.

Установлено, что медиальная надколенно-бедренная связка в среднем способствует 53% смещения сопротивления надколенника при полном разгибании колена.

Также может существовать подвздошно-надколенный тракт, напрямую связывающий надколенник с подвздошно-большеберцовым трактом.

Продольными стабилизаторами надколенника являются сухожилие надколенника снизу и сухожилие четырехглавой мышцы бедра сверху.

Надколенно-большеберцовые связки являются утолщениями капсулы спереди, продолжающимися от нижней границы надколенника дистально до передних венечных связок и передних краев большеберцовой кости по сторонам от сухожилия надколенника.

Как было показано, продольные структуры могут стабилизировать надколенник через надколенно-бедренную компрессию. Понятно, что при разогнутом колене компрессия отсутствует, и надколенник в этом положении сустава остается довольно нестабильным.

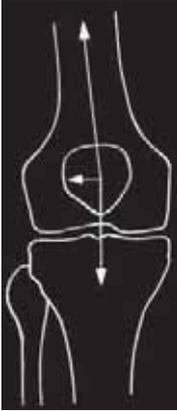
При избыточном разгибании, как при гиперэкстензионной деформации коленных суставов, тяга четырехглавой мышцы бедра и связки надколенника могут сместить коленную чашечку из бедренной борозды, что еще больше усилит ее нестабильность.

Существуют и другие содействующие продольные структуры, и другие эффекты таких структур, которые еще должны быть изучены.

Как поперечные, так и продольные структуры влияют на медиальное/латеральное положение надколенника в бедренной борозде и на так называемую *траекторию надколенника*, т.е. на путь его скольжения вниз по бедренным мышцам в межмышечковой вырезке.

Все пассивные и динамические системы продольной и поперечной стабилизации надколенника могут влиять на медиальное/латеральное положение надколенника. Пассивная подвижность надколенника и его медиальное/латеральное позиционирование находятся под преимущественным управлением пассивных и динамических тяговых усилий окружающих его структур.

Когда колено полностью разогнуто и мускулатура расслаблена, то, по мнению многих исследователей, надколенник должен пассивно смещаться в медиальном или латеральном направлении не более чем на половину своей ширины, и экскурсия должна быть симметричной.



*Рис. 7.39. Тяга четырехглавой мышцы бедра ( $F_q$ ) и тяга связки надколенника ( $F_r$ ) находятся под прямым углом друг к другу, оказывая на надколенник слабое направленное латерально воздействие*

Вместе с тем другие авторы не обнаружили каких-либо достоверных связей, равно как и значительных межличностных различий.

Дисбаланс пассивного натяжения или изменения линии тяги динамических структур оказывает на надколенник существенное влияние. Это особенно справедливо, когда коленный сустав находится в разгибании, и надколенник сидит на довольно неглубокой бедренной борозде. Однако аномальные силы могут воздействовать на экскурсию надколенника даже при его максимально надежном расположении в межмыщелковой вырезке во время сгибания колена.

**Медиальные/латеральные силы, действующие на надколенник.** При активном разгибании или пассивном растягивании четырехглавой мышцы бедра осуществляется тяга надколенника.

Сила, действующая на коленную чашечку, определяется результирующей тягой четырех сегментов четырехглавой мышцы бедра ( $F_q$ ) и тягой связки надколенника ( $F_r$ ). Так как линии действия  $F_q$  и  $F_r$  не совпадают, эти две силы оттягивают надколенник слегка наружу (рис. 7.39).

Все, что может вывести результирующую силу тяги четырехглавой мышцы бедра или связки надколенника в диагональное направление относительно фронтальной плоскости, может увеличивать действие латеральной силы на надколенник.

Усиление этого латерального компонента может усиливать давление на латеральную фasetку, которая, соответственно, плотнее прижимается к латеральной губе бедренной борозды (при разгибании колена) или к латеральной части межмыщелковой вырезки (при сгибании коленного сустава).

Действие большей латеральной силы на надколенник может, на самом деле, вызвать при разогнутом колене подвывих или вывих латеральной губы бедренной борозды. Но даже значительное латеральное усилие вряд ли может привести к вывиху, когда колено находится в сгибании, а надколенник — в межмыщелковой борозде.

Тяга широкой латеральной мышцы бедра в норме направлена на  $12\text{--}15^\circ$  латерально от продольной оси бедренной кости, причем ее нижние волокна направлены по диагонали еще больше.

Тяга длинной латеральной мышцы бедра направлена примерно в  $15-18^\circ$  медиально по отношению к диафизу бедренной кости, а тяга широкой медиальной мышцы бедра — на  $50-55^\circ$  медиально.

Поскольку эти две мышцы тянут не только общее сухожилие четырехглавой мышцы бедра, но также воздействуют на надколенник через соединения удерживателя, то эта вспомогательная функция является критично важной: относительная слабость широкой медиальной мышцы бедра (особенно волокон) может значительно усилить латеральное результирующее воздействие на надколенник.

Представляется, что широкая медиальная мышца бедра особо восприимчива к тормозным эффектам суставных эффузий и часто оказывается подавленной при травмах, сопровождающихся воспалением и опухлостью.

Обычно широкая медиальная мышца бедра прикрепляется к верхней внутренней части надколенника примерно на расстоянии  $1/3-1/2$  длины вниз по медиальной границе. Однако в случае неправильного расположения надколенника ее место прикрепления может располагаться выше — в  $1/4$  длины надколенника в нижнем направлении, и в этом случае ее волокна не могут эффективно противодействовать латеральному движению коленной чашечки.

Диагональность тяги четырехглавой мышцы бедра и сухожилия надколенника может увеличиваться и в связи с проблемами, не связанными с дисбалансом широкой латеральной и медиальной мышцы.

Вальгусная деформация коленных суставов также усиливает диагональность бедренной кости и, как сопутствующее обстоятельство, диагональ тяги четырехглавой мышцы бедра.

Смещение бедренной кости вперед (скручивание кости внутрь) у детей старшего возраста или взрослых обычно приводит к повороту бедренных мышечков внутрь (медиальная ротация) относительно большеберцовой кости. Это увеличивает диагональность сухожилия надколенника, которую можно также наблюдать при латеральном скручивании большеберцовой кости. Каждое из трех условий может вызвать предрасположенность надколенника к избыточному латеральному давлению, к подвывиху либо вывиху.

Чистый эффект тяги четырехглавой мышцы бедра и связки надколенника в клинке обычно оценивают при помощи угла  $Q$  (от слова *quadriceps*) колена.



Рис. 7.40. Угол  $Q$

Угол Q — это угол, образующийся между линией, соединяющей переднюю верхнюю подвздошную ость (ПВПО) со срединной точкой надколенника и линией, соединяющей бугристость большеберцовой кости со срединной точкой надколенника (рис. 7.40).

Нормальным считается угол в 10–15°, измеряемый либо при полном разгибании колена, либо при его легком сгибании.

Некоторые авторы утверждают, что угол Q у женщин несколько больше, чем у мужчин. Большой угол Q у женщин связывают с тем, что у них более широкий таз, более выраженная антеверсия бедренной кости и относительный вальгус колена. Однако на самом ли деле угол Q у женщин больше мужского — вопрос спорный.

Угол Q обычно измеряют при разогнутом колене, поскольку в этом положении латеральные силы могут представлять большую проблему, а также потому, что при согнутом колене угол Q уменьшается за счет медиальной ротации большеберцовой кости относительно бедренной.

Угол Q в 20° и больше считается аномальным и создающим избыточные латеральные силы, действующие на надколенник, которые могут вызвать его предрасположенность к патологическим изменениям.

Хотя слишком большой угол Q обычно является показателем определенного неправильного структурного взаимного расположения костей, даже нормальный угол Q не является гарантией отсутствия проблем.

Линия между ПВПО и срединной точкой надколенника служит только для оценки направления тяги четырехглавой мышцы бедра. Если между широкой медиальной и широкой латеральной мышцами бедра имеется существенный дисбаланс, то угол Q может дать неправильную оценку реальной тяги четырехглавой мышцы бедра, поскольку она уже не находится на должной линии. Аналогичным образом, надколенник может находиться в состоянии подвывиха или вывиха, но если угол Q невелик, его могут ошибочно диагностировать, как нормальный.

На положение надколенника могут влиять не только взаимное расположение и равновесие компонентов четырехглавой мышцы бедра, но и иные силы.

В дисфункции надколенника могут участвовать избыточное напряжение или адаптивное укорочение латерального удерживателя или растяжение медиального удерживателя.

Избыточное напряжение латерального удерживателя (или слабость широкой медиальной мышцы бедра) может вызвать латеральное отклонение коленной чашечки, увеличение латеральной и снижение медиальной компрессии.

Это может указывать на то, что соединения надколенника с ПББТ могут развивать избыточную латеральную тягу надколенника при напряжении ПББТ.

Неизвестно, являются ли изменения в пассивных структурах первичными или вторичными по отношению к динамическим стабилизаторам.

Любое нарушение выравнивания медиальных/латеральных стабилизаторов надколенника может привести к созданию избыточного давления на латеральную фасетку.

Даже существенные латеральные усилия не могут создать подвывих или вывих надколенника, если латеральная губа бедренной борозды достаточной высоты. Если же она недоразвита, подвывих или вывих надколенника могут создать даже небольшие усилия.

Это может быть причинным фактором высокой частоты надколенно-бедренных проблем, наблюдаемых в подростковом возрасте, когда надколенно-бедренный сустав еще находится в стадии развития.

Высота латеральной губы бедренной борозды также может быть фактором, связанным с высоким надколенником. При этом отклонении латеральная губа может быть вполне нормально развитой (хотя может оказаться и недоразвитой), однако высокое положение надколенника смещает его проксимально к высокой латеральной стенке. Верхняя часть латеральной борозды менее развита и это, соответственно, облегчает подвывих надколенника.

Результаты изменений в надколенно-бедренном выравнивании или дисбаланса сил, действующих через сустав, будут обсуждаться в следующем разделе, посвященном травмам и заболеваниям.

## **7.4. ЭФФЕКТЫ ТРАВМ И ЗАБОЛЕВАНИЙ**

Суставы коленного комплекса, как и остальные суставы тела, подвержены дефектам развития, травмам и болезням. Однако многие факторы делают коленный сустав уникальным.

Колено, в отличие от плеча, локтя или запястья, должно нести вес тела и одновременно обеспечивать подвижность. Хотя тазобедренный и голеностопный суставы также несут вес тела, колено — более сложная структура, чем любой из них.

Коленный сустав — это также и сочетание двух самых длинных рычагов в теле, которое к тому же расположено в гораздо более уязвимом положении, чем тазобедренный или голеностопный суставы.

### **7.4.1. ТРАВМЫ КОЛЕННОГО СУСТАВА**

Занятия фитнесом и спортом сейчас в моде среди всех возрастов, среди мужчин и женщин, а это подвергает коленный комплекс повышенному риску травмы. Такие виды спорта, как бег, коньки, лыжи, футбол и теннис, могут вызывать либо прямые, либо непрямые травмы.

В повреждениях коленного комплекса могут участвовать мениски, связки, кости или сухожильно-мышечные структуры.

Травмы менисков, особенно медиальных, весьма распространены и обычно возникают в результате внезапной ротации бедренной кости на фиксированной большеберцовой кости при согнутом колене. Осевая ротация согнутого колена происходит, когда медиальный мениск оказывается точкой вращения. При внезапной нагрузке может произойти разрыв более жестко закрепленного медиального мениска.

Повреждения связок могут происходить в результате воздействия силы, которая заставляет сустав выйти за пределы нормальной АД. Удар по наружной стороне коленного сустава или большеберцовой кости может вызвать вальгусную нагрузку, результатом которого будет разрыв связок, ограничивающих вальгусное движение. Аналогичным образом, гиперразгибание колена может вызвать разрыв задних связок.

Хотя избыточные усилия могут вызывать разрыв связок, их нарушение могут вызывать и небольшие силы, особенно если связки ослабели из-за возрастных изменений, болезни, иммобилизации, в результате действия стероидов или сосудистой недостаточности. Любая из этих причин может влиять на коллаген или основное вещество связок.

Циклические нагрузки (как краткосрочные с большой интенсивностью, так и длительные) также могут влиять на вязкоупругие свойства и жесткость.

Ослабленной связке может потребоваться на восстановление после устранения основной проблемы от 10 месяцев и больше.

Костные и хрящевые структуры могут быть травмированы либо при прямом силовом воздействии, как, например, удар по коленной чашечке или падение на колени, либо при воздействии косвенном, т.е. при нормальном мышечном или связочном напряжении.

Нестабильность коленного сустава, часто наблюдающаяся после повреждения ПКС, может повлечь за собой прогрессирующие изменения суставного хряща, менисков и других связок, пытающихся ограничить увеличившуюся мобильность сустава.

Многочисленные сумки и сухожилия также подвержены травмам. Причиной травмы этих структур может быть либо прямой удар, либо продолжительная компрессионная нагрузка или нагрузка растяжения.

Бурсит чаще всего возникает в преднадколенниковой сумке и поверхностной поднадколенниковой сумке (это известно как «*колени домохозяйки*»), но также может возникать и в областях сильного трения, таких как сумка ниже гусиной лапки.

Локальная болезненность, обычно ассоциируемая с бурситом, может также обнаруживаться при воспалении жировой прослойки между связкой надколенника и передней синовиальной мембраной.

Другим потенциальным источником боли и дисфункции коленного сустава является наличие складки надколенника.

К классическим симптомам относятся: боль при длительном сидении, при подъеме по лестнице и во время упражнений с сопротивлением разгибанию. Более половины пациентов также жалуются на ощущение щелчков.

При сгибании складка туго натягивается над медиальным мышцелком бедренной кости и зажимается под надколенником. Результирующее напряжение в тракте может вызывать нарушение выравнивания надколенника (вызывающее боль) или возникновение воспаления самой складки.

Если в воспалившейся складке начинается фиброз, то может возникнуть вторичный синовит вокруг мышцелка бедренной кости и нарушение мышцелкового хряща.

Утолщенная или воспаленная верхняя складка может вызвать эрозию верхней части медиальной фасетки надколенника.

#### **7.4.2. ТРАВМЫ НАДКОЛЕННО-БЕДРЕННОГО СУСТАВА**

Мы представили механизм многих проблем, которые могут создать предрасположенность колена к надколенно-бедренной дисфункции.

Любая проблема или их комбинация (которая может включать в себя первичные и вторичные изменения) могут создавать избыточное давление на латеральных фасетках надколенника, вызывать латеральный подвывих или латеральный вывих.

Являются ли эти нарушения отдельными клиническими сущностями или частями континуума надколенно-бедренной дисфункции, спорно. Каждое из них, однако, обычно связано с болью в колене, плохой переносимостью продолжительного пассивного сгибания колена (при длительном сидении), «уступанием» колена и усилением симптоматики при повторном использовании четырехглавой мышцы бедра при согнутом колене.

Эти симптомы похожи на симптоматический комплекс, обнаруживаемый при складке надколенника, который может наблюдаться как сопутствующее нарушение.

Дифференциация симптоматологии может тем не менее наблюдаться при подвывихе или вывихе надколенника. Болезненность медиального удерживателя и медиальной границы надколенника возникает при повторном подвывихе или вывихе.

Когда надколенник отклоняется в сторону медиального удерживателя или проскальзывает над латеральной губой бедренной борозды или мышцелком, удерживатель растягивается.

Возврат надколенника в межмышцелковую вырезку может повлиять на медиальную его часть (иногда вызывая костно-хрящевой перелом).

До недавнего времени изменения хряща, наблюдаемые на латеральной фасетке надколенника, считались диагностическими признаками надколенно-бедренной дисфункции, называемой размягчением хряща (*chondromalacia patella*).

Когда обнаружилось, что аналогичные хрящевые изменения обнаруживаются в бессимптомных коленях и что на медиальной фасетке могут наблюдаться еще бóльшие изменения без всякой симптоматики или прогрессирующего ухудшения хряща, стали ставить более общие диагнозы: надколенно-бедренную артралгию или надколенно-бедренный болевой синдром.

Хотя, по сути, хрящевые изменения медиальной фасетки надколенника более распространены, изменения латеральной фасетки чаще приводят к остеоартриту.

Предполагается, что механизм боли указывает на разрушение хряща, при котором побочные продукты раздражают синовию, который затем воспаляется и может вызывать растяжение окружающих структур.

Боль может также исходить от нервного оплетения субхондрального образования, которое при нарушениях хряща начинает подвергаться большим нагрузкам. Такие хрящевые нарушения обычно встречаются при значительных нарушениях стабильности.

Мелкие структурные проблемы, проблемы стабильности или перегрузки обычно встречаются у подростков и молодых взрослых людей и могут вызывать надколенно-бедренную боль. В таких случаях боль часто со временем проходит сама и совершенно необязательно будет прогрессировать в дальнейшем в развитие проблем с остеоартритом. При этом, поскольку хрящ лишен нервов, отсутствие симптомов может указывать и на раннюю стадию хондромаласии, симптомы которой проявляются лишь после дополнительной травмы.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С учетом диапазона возможных проблем, которые могут возникать в коленном суставе, исчерпывающая дискуссия лежит за пределами этой книги. Однако доскональные знания нормальной структуры и функции могут использоваться для прогнозирования или понимания воздействия на сустав определенных травм и их вторичных последствий для незатронутых структур.

Пример анализа представлен в табл. 7.2, в которой для образца взят разрыв МКС.

Следует принимать во внимание следующие аспекты нормальной структуры и функции:

- ♦ нормальная функция, для обеспечения которой предназначена структура;
- ♦ нагрузки, присутствующие при нормальных ситуациях;

Таблица 7.2

**Травма медиальной коллатеральной связки колена**

<b>Медиальная коллатеральная связка</b>	
<b>Нормальное состояние</b>	<b>Эффекты травмы</b>
<i>Нормальная функция</i>	<i>Отсутствие нормальной функции</i>
1. Медиальная стабильность Создает сопротивление стрессу растяжения в медиальной части большеберцово-бедренного сустава 2. Ротационная стабильность Создает сопротивление ротации большеберцово-бедренного сустава	1. Снижение медиальной стабильности большеберцово-бедренного сустава  2. Снижение ротационной стабильности большеберцово-бедренного сустава при сгибании. Может повлечь за собой избыточную латеральную ротацию большеберцовой кости, которая вызывает передний подвывих ее медиального мыщелка
<i>Нормальные нагрузки</i>	<i>Аномальные нагрузки</i>
Нормальный большеберцово-бедренный вальгус создает нагрузку растяжения на медиальную часть колена	Возможное увеличение физиологического вальгуса, повышенная нагрузка натяжения на медиальную часть
<i>Нормальные анатомические связи</i>	<i>Нарушение анатомических связей</i>
Прикрепления к капсуле сустава, медиальному мениску, большеберцовой и бедренной кости	Возможный разрыв капсулы сустава, медиального мениска или отрыв прикреплений к большеберцовой либо бедренной кости
<i>Нормальные функциональные связи</i>	<i>Изменение функциональных связей</i>
1. Работает в согласовании с крестообразными связками для создания антеромедиальной и постеромедиальной ротационной стабильности Взаимодействует со структурами медиального компартмента 2. Помогает предотвратить избыточную компрессионную нагрузку на поверхности латерального большеберцово-бедренного сустава за счет ограничения расширения медиальной части сустава	1. Увеличение нагрузки натяжения на крестообразные связки и структуры медиального компартмента, поскольку эти структуры должны обеспечивать дополнительную опору  2. Прирост сил компрессии на латеральную часть большеберцово-бедренного сустава

- ♦ анатомическая связь структуры с прилегающими структурами;
- ♦ функциональная связь структуры с другими структурами.

Любую травму или болезненный процесс можно рассматривать при помощи модели нормальной структуры и функции как основы для анализа.

Модель, представленную в табл. 7.2, также можно использовать при таких травмах, как разрыв мениска или крестообразной связки.

## ГЛАВА 8

# КОМПЛЕКС ГОЛЕНОСТОПНОГО СУСТАВА И СТОПЫ

Комплекс голеностопного сустава структурно аналогичен комплексу лучезапястного сустава верхней конечности.

Взаимная зависимость лодыжки, стопы и более проксимальных суставов, большие весовые нагрузки на эти суставы приводят к более частым и разнообразным проблемам с суставами лодыжки/стопы, чем с аналогичными суставами верхней конечности.

Превалирование проблем с лодыжкой и стопой фактически породило целое ответвление в медицине, *подиатрию*, которое направлено на коррекцию и профилактику проблем в структурах, находящихся дистально по отношению к коленному суставу. Специалисты в области ортопедии и спортивной медицины также считают, что проблемы голеностопного сустава и стопы, связанные с их дисфункцией, составляют значительную часть их работы.

Проблемы голеностопного сустава могут возникать в связи с его сложной структурой.

Комплекс лодыжка/стопа должен соответствовать требованиям к стабильности:

- 1) обеспечивать устойчивую основу для поддержки тела при различных его положениях, без ненужной мышечной активности и затрат энергии;
- 2) действовать как жесткий рычаг для эффективного отталкивания при ходьбе.

Но требования стабильности могут противоречить таким требованиям подвижности, как:

- 1) демпфирование ротаций, вызываемых более проксимальными суставами нижних конечностей;
- 2) достаточная гибкость для амортизации действующего сверху веса тела при постановке стопы на опору;
- 3) соответствие стопы различным изменчивым конфигурациям почвы.

Комплекс стопы/голеностопного сустава выполняет все эти требования при помощи 28 костей, образующих 25 сложных суставов.

Эти суставы включают в себя: проксимальный и дистальный межберцовые суставы, голеностопный сустав, подтаранный сустав, таранно-ладьевидный и пяточно-кубовидный суставы, пять предплюсне-плюсневых суставов, пять плюснефаланговых суставов и девять межфаланговых суставов.

Для облегчения описания и понимания комплекса лодыжки/стопы кости стопы традиционно разделяют на три функциональных сегмента.

Это задняя часть стопы (задний сегмент), состоящая из таранной и пяточной костей; средняя часть стопы (средний сегмент), состоящая из ладьевидной кости, кубовидной кости и трех клиновидных костей; и передняя часть стопы (передний сегмент), состоящая из костей плюсны и фаланг (рис. 8.1).

Эти термины обычно используются при описании дисфункций или деформаций лодыжки или стопы, но они также пригодны для понимания их нормальной функции.



Рис. 8.1. Функциональные сегменты стопы

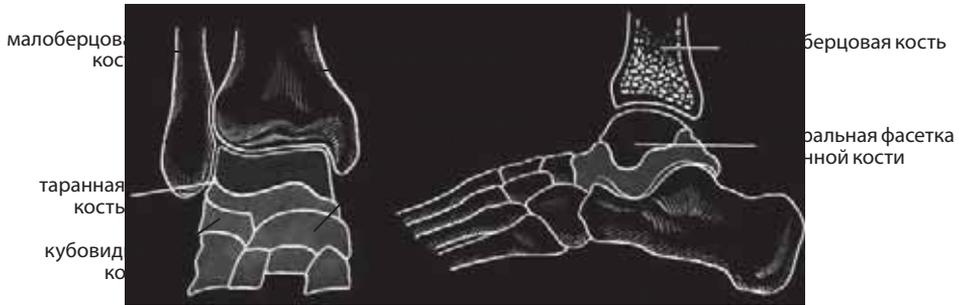
## 8.1. ГОЛЕНОСТОПНЫЙ СУСТАВ

Этот термин относится к сочленению между таранной костью и дистальным концом большой берцовой кости (большеберцово-таранная поверхность), и между таранной костью и малой берцовой костью (таранно-малоберцовая поверхность) (рис. 8.2).

Голеностопный сустав является синовиальным блоковидным суставом с суставной капсулой и ассоциированными связками. Принято считать, что он имеет одну степень свободы — тыльное/подошвенное сгибание.

Проксимальный сегмент голеностопного сустава состоит из вогнутой поверхности дистального конца большой берцовой кости и большеберцовой и малоберцовой лодыжек.

Эти три фасетки образуют почти непрерывную вогнутую суставную поверхность, которая продолжается более дистально с латеральной (малоберцовой) стороны (рис. 8.2, а) и идет на задний край большой берцовой кости (рис. 8.2, б).



**Рис. 8.2.** Голеностопный сустав: а — спереди показано седло, охватывающее с обеих сторон тело таранной кости и наклон оси сустава сверху вниз; б — вид таранной кости сбоку и поперечный разрез большой берцовой кости показывают большое латеральное сочленение таранной кости с лодыжкой малой берцовой кости

Строение дистального конца большой берцовой кости и лодыжек напоминает седло или паз для шипа. Пример такого гнезда — захватывающая часть гаечного ключа. Ключ может быть либо постоянного размера (подходит для гайки только определенного размера), либо разводным (соответственно, его можно подгонять под гайки различного размера). Разводное седло является более сложным, чем постоянное, так как оно объединяет в себе функции подвижности и стабильности. Именно таким является седло голеностопного сустава. Оно основывается на контроле изменений седла со стороны проксимального и дистального межберцовых суставов.

### 8.1.1. СТРУКТУРА ГОЛЕНОСТОПНОГО СУСТАВА

**Проксимальная суставная поверхность.** Проксимальный и дистальный межберцовые суставы (рис. 8.3) анатомически отличны от голеностопного сустава; функция этих связанных суставов предназначена исключительно для лодыжки.

В отличие от своих аналогов на верхней конечности, проксимального и дистального лучелоктевых суставов межберцовые суставы не добавляют никаких степеней свободы дистальным сегментам конечности. Однако, если сращение лучелоктевых суставов оказывает крайне малое функциональное влияние на функцию запястья, сращение межберцовых суставов приводит к существенным нарушениям нормальной функции голеностопного сустава.

**Проксимальный межберцовый сустав** является плоским синовиальным суставом, образуемым сочленением головки малой берцовой кости и постеролатеральной частью большой берцовой кости. Хотя в целом фасетки сустава являются плоскими и конфигурация их у разных людей довольно вариабельна, все же преимущественно наблюдается легкая выпуклость большеберцовой фа-

сетки и легкая вогнутость малоберцовой фасетки.

Наклон фасеток может варьировать по ориентации, от почти вертикального до почти горизонтального.

Каждый проксимальный межберцовый сустав окружен суставной капсулой, усиленной передней и задней межберцовыми связками.

Как правило, проксимальный межберцовый сустав является анатомически отдельным от коленного сустава.

Движения в проксимальном межберцовом суставе переменны, но довольно незначительны; это про- скальзывание вверх и вниз и малоберцовая ротация. Релевантность движения в проксимальном межберцовом суставе станет хорошо понятна, когда мы будем более подробно изучать голеностопное сочленение.

**Дистальный межберцовый сустав** представляет собой синдесмоз между вогнутой фасеткой большой берцовой кости и выпуклой фасеткой малой берцовой кости. На самом деле большая и малая берцовые кости в этом месте друг с другом не контактируют, они разделены фиброзно-жировой тканью. Хотя суставная капсула в дистальном межберцовом суставе отсутствует, здесь имеется несколько ассоциированных связок.

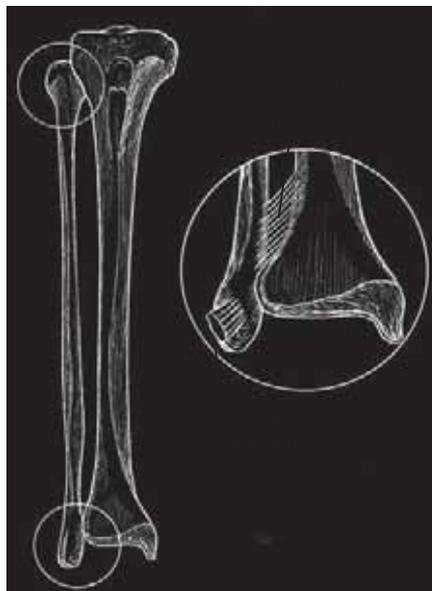
Поскольку проксимальный и дистальный суставы связаны между собой, все связки, находящиеся между большой и малой берцовыми костями, способствуют стабильности обоих суставов.

Связки дистального межберцового сустава отвечают, прежде всего, за сохранение стабильности гнезда.

Россе пришел к выводу, что самой сильной и значимой из связок дистального межберцового сустава является межкостная межберцовая связка (см. вкладку на рис. 8.3). Ее косые волокна идут между большой берцовой костью и малой берцовой костью, удерживая их на близком расстоянии.

Другие связочные структуры, поддерживающие дистальный межберцовый сустав, это передняя и задняя межберцовые связки и межкостная перепонка.

Межкостная мембрана непосредственно поддерживает и проксимальный, и дистальный суставы.



*Рис. 8.3. Проксимальный и дистальный межберцовые суставы. На вкладке — связки дистального межберцового сустава*

Дистальный межберцовый сустав является очень мощным сочленением. Нагрузки, которые стараются сдвинуть таранную кость в гнезде, могут приводить к разрыву коллатералей голеностопного сустава. Продолжительное усилие может вызвать перелом малой берцовой кости поблизости от дистальных межберцовых связок еще до их разрыва.

Функция голеностопного сустава зависит от стабильности межберцового гнезда. Большая и малая берцовые кости не смогли бы захватывать и удерживать таранную кость, если бы они могли расходиться или если бы одной стороны гнезда не хватало (по аналогии: седло разводного ключа не может захватить гайку, если его клещевые сегменты будут расходиться при первом же усилии).

В то же время седло должно обладать определенной подвижностью сегментов, в противном случае было бы проще, чтобы голеностопный сустав был охвачен единой сросшейся дугой.

Функция подвижности гнезда обеспечивается малой берцовой костью. Ее роль в поддержке веса невелика — на нее приходится не более 10% веса, передающегося через бедренную кость. Так как функция поддержки веса малой берцовой костью довольно мала, гиалиновый хрящ проксимального межберцового сустава зависит от его движений, обеспечивающих питание.

Таким образом, наличие целых проксимальных и дистальных межберцовых суставов сохраняет подвижность, существующую между двумя костями. Эти движения мы будем изучать подробнее, когда будем знакомиться с артрокинематикой голеностопного сустава.

**Дистальная суставная поверхность** голеностопного сустава образована телом таранной кости. Тело таранной кости имеет три суставные поверхности: крупную латеральную фасетку, меньшую медиальную фасетку и блоковидную, или верхнюю, поверхность.

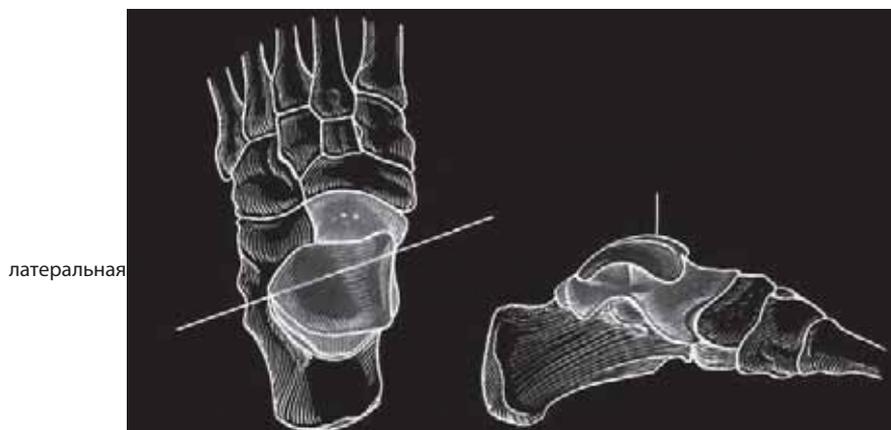
Большая выпуклая блоковидная поверхность имеет центральную борозду, которая проходит под небольшим углом к головке и шейке таранной кости.

Тело таранной кости спереди шире, чем сзади, что придает ему клиновидную форму (рис. 8.4, *a*).

Степень клиновидности имеет индивидуальные различия: у некоторых она не наблюдается вообще, у некоторых уменьшение ширины спереди назад составляет до 25%.

Суставной хрящ, покрывающий блок, составляет одно целое с хрящом, покрывающим обширную латеральную (малоберцовую) фасетку (см. рис. 8.2, *b*) и меньшую медиальную (большеберцовую) *фасетку* (рис. 8.4, *b*).

Голеностопный сустав является самым конгруэнтным суставом в человеческом теле. Структурная целостность поддерживается по всей АД несколькими важными связками.



**Рис. 8.4.** *a* — на изображении таранной кости сверху виден клиновидный блок и переднезадний наклон оси сустава; *b* — на рисунке таранной кости изнутри показана маленькая медиальная фасетка, обеспечивающая сочленение с лодыжкой большой берцовой кости

**Связки.** Капсула голеностопного сустава довольно тонка и особенно слаба спереди и сзади, т.о. стабильность голеностопного сустава зависит от целостности связочной структуры. Связки, которые поддерживают проксимальный и дистальный межберцовые суставы (бедренная межберцовая межкостная связка, передняя и задняя межберцовые связки и межберцовая межкостная мембрана), важны для стабильности гнезда и всего сустава.

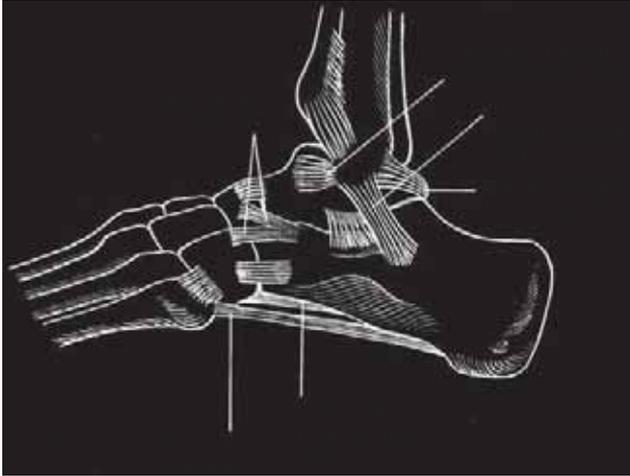
Две другие основные связки поддерживают контакт и конгруэнтность гнезда и таранной кости и контролируют медиальную/латеральную стабильность сустава. Это медиальная коллатеральная связка (МКС) и латеральная коллатеральная связка (ЛКС). Части разгибателя и малоберцового удерживателя голеностопного сустава также способствуют его стабильности.

МКС чаще всего называют дельтовидной связкой. Она имеет форму веера, в ней есть как поверхностные, так и глубокие волокна, которые начинаются от границ большеберцовой лодыжки и присоединяются в виде непрерывной линии спереди к ладьевидной кости, а дистально и сзади — к таранной и пяточной кости (рис. 8.5).

Хотя дельтовидную связку обычно рассматривают в целом, Earl с коллегами обнаружили, что большеберцо-



**Рис. 8.5.** Медиальные связки задней части комплекса «голеностопный сустав/стопа»



**Рис. 8.6.** Латеральные связки задней части комплекса «голеностопный сустав/стопа»

(оторваться) раньше, чем произойдет разрыв дельтовидной связки.

Эта связка не только помогает контролировать нагрузки медиального расхождения сустава, но способствует также остановке движения в крайних точках амплитуды подвижности сустава.

ЛКС состоит из трех отдельных тяжей, которые обычно считаются отдельными связками. Это передняя и задняя таранно-малоберцовые связки и пяточно-малоберцовая связка (рис. 8.6).

Нижний удерживатель разгибателя (рис. 8.7) также может способствовать устойчивости голеностопного сустава.

Усиливают связку и исполняют схожую функцию еще две дополнительные структуры, лежащие вблизи, параллельно пяточно-малоберцовой связке. Это ниж-



**Рис. 8.7.** Верхний и нижний удерживатели разгибателя; верхний и нижний малоберцовые удерживатели

во-пяточные волокна поверхностного слоя дельтовидной связки важнее, чем другие тяжи, точки зрения поддержания нормальных контактных усилий в суставе.

В целом дельтовидная связка исключительно сильна. При достаточно мощных усилиях, направленных на раскрытие медиальной стороны голеностопного сустава, большеберцовая лодыжка может сломаться

нижний тяж верхнего малоберцового удерживателя и более вариабельная латеральная таранно-пяточная связка.

В целом компоненты ЛКС слабее и более подвержены травме, чем компоненты МКС. ЛКС помогает контролировать варусные нагрузки, приводящие к латераль-

ному расхождению сустава (таранное отклонение) и ограничивать движения в крайних точках АД сустава.

Было проведено много экспериментов по последовательному иссечению латеральных связок, давших различные результаты, что можно отнести на счет не только стратегий эксперимента, но и индивидуальных различий. Вместе с тем существует консенсус в отношении следующих факторов.

Участие разных сегментов ЛКС в ограничении тыльного/подошвенного сгибания, таранного отклонения (переднезадняя ось) или таранной ротации (вертикальная ось) зависит от положения голеностопного сустава.

Передняя таранно-малоберцовая связка является самой слабой из всех ЛКС и чаще всего разрывается, за чем следует разрыв пяточно-малоберцовой связки. Повреждение передней таранно-малоберцовой связки неизбежно приводит к переднелатеральной и ротационной нестабильности голеностопного сустава.

Задняя таранно-малоберцовая связка является сильнейшей из коллатеральных связок, и ее изолированный разрыв наблюдается довольно редко.

Коллатеральные связки голеностопного сустава и удерживателя также способствуют стабильности подтаранного сустава, поэтому при его рассмотрении мы к ним вернемся.

### 8.1.2. ФУНКЦИИ ГОЛЕНОСТОПНОГО СУСТАВА

В классическом представлении считается, что голеностопный сустав движется вокруг одной оси, обеспечивая одну степень свободы движения стопе, если она подвижна, или большой и малой берцовой костям, если стопа фиксирована (находится на опоре). Основными движениями являются тыльное и подошвенное сгибание.

Однако многие исследователи в экспериментах, проведенных как *in vitro*, так и *in vivo*, пришли к выводу, что в суставе возможна некоторая ротация таранной кости в пределах гнезда, как в поперечной плоскости вокруг вертикальной оси (ротация или отведение/приведение таранной кости), так и во фронтальной плоскости вокруг переднезадней оси (отклонение таранной кости, или инверсия/эверсия). Такие движения приводят к возникновению подвижных или мгновенных осей ротации сустава.

Rasmussen и Tovborg-Jensen оценивали движения таранной кости в поперечной плоскости (с целыми связками) и обнаружили, что медиальная ее ротация составляет до  $7^\circ$ , а латеральная — до  $10^\circ$ , при этом среднее отклонение таранной кости (переднезадняя ось) составляло  $5^\circ$ .

Lundberg и сотрудники обнаружили аналогичную подвижность в исследованиях стопы под весом *in vivo*, хотя размерность движений была ниже и зависела от положения таранной кости в гнезде.

Хотя и есть аргументация относительно того, насколько фиксированной ось голеностопного сустава остается во время движения или какие дополнительные движения могут существовать в суставе, среди ученых имеется следующее согласие: основные движения голеностопного сустава — тыльное и подошвенное сгибание, которое идет по кривой оси, что заставляет стопу проходить через все три плоскости.

**Оси.** В нейтральном положении голеностопного сустава его ось проходит через лодыжку малой берцовой кости, тело таранной кости и через лодыжку большой берцовой кости либо чуть ниже нее. Лодыжка малой берцовой кости, однако, дистально вытянута на большее расстояние, чем лодыжка большой берцовой кости и лежит чуть кзади.

Такое положение малоберцовой лодыжки связано с нормальным скручиванием, существующим в дистальной части большой берцовой кости по отношению к ее проксимальному плато. Скручивание большой берцовой кости аналогично тому, которое мы наблюдаем в диафизе бедренной кости, только обратно по направлению. По отношению к проксимальной части дистальная часть большой берцовой кости повернута латерально, и поэтому при нормальной стойке пальцы ног смотрят слегка наружу.

С учетом взаимоотношений лодыжек, ось сустава считается латерально повернутой на  $20\text{--}30^\circ$  в поперечной плоскости (см. рис. 8.4, а) и с внешней стороны наклонена вниз на  $10^\circ$  (см. рис. 8.2, а). Однако положение оси может меняться по причине индивидуальных различий, вместе с положением поперечной плоскости, до  $30^\circ$  в каждую сторону от средних величин.



**Рис. 8.8.** Вследствие «трехплоскостной» оси голеностопного сустава тыльное сгибание ноги на фиксированной стопе ведет к медиальному движению ноги в стопе в сторону продольной оси по типу медиальной ротации относительно стопы

Stiehl использовал простую шарнирную модель с индикатором уровня, чтобы показать, как наклон оси с внешней стороны дистально и кзади создает движение в трех плоскостях. Он показал, что тыльное сгибание вокруг типично наклонной оси не только ведет стопу вверх, то одновременно ставит ее слегка латерально по отношению к ноге (увеличенный разворот пальцев). И наоборот, подошвенное сгибание вокруг той же кривой оси ведет стопу вниз, медиально по отношению

к ноге (пальцы внутрь) и поворачивает ее продольно в направлении средней линии (так называемая супинация или инверсия). Если стопа фиксирована, такой же относительный паттерн движения существует между стопой и ногой — нога движется медиально к фиксированной стопе при тыльном сгибании при опорной стопе (рис. 8.8).

Хотя модель Stiehl объясняет функциональную связь между голеностопным суставом и стопой, она не учитывает подвижность гнезда и, соответственно, необходимость межберцовых суставов. Дополнительное понимание требований нормального голеностопного сустава дает нам строение таранной кости и артрокинематика сустава.

**Артрокинематика.** Форма тела таранной кости достаточно сложна. Блок спереди шире, чем сзади. Латеральная (малоберцовая) фасетка значительно больше медиальной (большеберцовой) фасетки, и ее поверхность ориентирована слегка по диагонали к медиальной фасетке.

Inman предположил, что тело таранной кости можно считать сегментом конуса, лежащего на боку, с основанием, направленным латерально. Конус можно представить себе как «усеченный» или обрезанный с обоих концов под разными углами (рис. 8.9).

С учетом такого представления видно, что малая берцовая кость, движущаяся по латеральной фасетке таранной кости, должна смещаться на большее расстояние, чем большеберцовая лодыжка, двигающаяся по маленькой медиальной фасетке. Большее смещение латеральной лодыжки подразумевает движение малой берцовой кости в нескольких направлениях в пределах АД сустава, в том числе латеральное движение (расширение или сужение пространства между лодыжками), движение вверх/вниз и медиальную/латеральную ротацию.

Johnson в своем обзоре показал, что эти движения малы по размерности, но имеют сильные индивидуальные различия в направлениях и зависят от разных условий нагрузки.



**Рис. 8.9.** Блок, маленькую медиальную фасетку и крупную латеральную фасетку таранной кости можно графически представить как часть конической поверхности с усеченными концами конуса (более крупный конец конуса обращен кнаружи)

Индивидуальные особенности движений малой берцовой кости могут быть связаны с ориентацией проксимальной межберцовой фасетки, причем чем более вертикально направлена фасетка, тем выше подвижность. Следует также учитывать и такой фактор, как эластичность межберцовых связок.

Индивидуальными особенностями могут объясняться и вариабельность АД подошвенного/тыльного сгибания в суставе, наблюдаемая при необходимости хирургической межберцовой фиксации. Однако в целом подвижность малой берцовой кости в межберцовых суставах следует считать компонентом нормальной подвижности голеностопного сустава.

Можно также заметить, что величина проксимальной межберцовой подвижности превышает подвижность в дистальном межберцовом суставе, так как движение одного конца малой берцовой кости дает бóльшую амплитуду.

Поскольку латеральная лодыжка при движениях голеностопного сустава смещается больше, чем медиальная, ось сустава не является фиксированной, как должно было бы быть в истинном шарнирном суставе; она должна меняться при движении от тыльного к подошвенному сгибанию.

Однако Scott и Winter, используя биомеханическое моделирование, показали, что голеностопный сустав в принципе можно представлять при ходьбе как простой (моноцентрический) сустав, заметив при этом, что при низких компрессионных нагрузках вариабельность его движений может возрасть.

Аналогичным образом модель Stiehl дает функционально эффективное представление подвижности голеностопного сустава (за вычетом роли малой берцовой кости).

Важно отметить, что независимо от того, принимаем ли мы ось как фиксированную, с одной степенью свободы, движение в голеностопном суставе все равно является трехплоскостным. Если в пределах амплитуды происходит какое-либо смещение оси, подвижность за пределами сагиттальной плоскости может увеличиваться.

За счет своей большой и конгруэнтной суставной поверхности, при ходьбе голеностопный сустав может выдерживать компрессионные нагрузки, составляющие 450% от веса тела, причем с малой вероятностью возникновения первичного (не травматического) артрита.

Greenwalck и Matejczyk показали, что в суставных поверхностях при движении существуют изменения контакта, и выдвинули гипотезу, что некоторое отсутствие конгруэнтности голеностопного сустава необходимо для нормального распределения нагрузки, питания хряща и смазки сустава.

**Амплитуда движения.** Нормальной амплитудой движения голеностопного сустава обычно считается  $20^\circ$  тыльного сгибания из нейтрального положения и  $30-50^\circ$  подошвенного сгибания, тоже из нейтрального положения. Ясно, что последняя величина более вариабельна. Исследования сустава живых людей

в опорном положении показывают, что в этих условиях подошвенное сгибание ограничено 23–28°, а активное тыльное сгибание в безопорном положении ограничивается (в среднем) 4°.

Lundberg с коллегами показал, что амплитуда подошвенного сгибания имеет индивидуальные различия, при этом 60–90% приходится собственно на сам голеностопный сустав, а остальная часть — на более дистальные суставы.

Нормальные ограничения тыльного и подошвенного сгибания имеют, прежде всего, мышечную природу. Активное или пассивное натяжение трехглавой мышцы икры (икроножной и камбаловидной мышц) является основным ограничителем тыльного сгибания, причем ограничивается оно больше при разогнутом, чем при согнутом коленном суставе.

Натяжение передней большеберцовой мышцы, длинного разгибателя большого пальца и длинного разгибателя пальцев является основным ограничивающим фактором подошвенного сгибания.

Хотя связки голеностопного сустава способствуют ограничению и тыльного, и подошвенного сгибания, их функция в большей степени направлена на минимизацию боковых смещений и ротации гнезда таранной кости. В этой функции связки получают помощь от мышц, которые проходят по обеим сторонам голеностопного сустава.

Задняя большеберцовая мышца, длинный сгибатель большого пальца и длинный сгибатель пальцев защищают медиальную сторону сустава; длинная и короткая малоберцовые мышцы защищают внешнюю сторону.

Костные ограничения движений в голеностопном суставе наблюдаются довольно редко: они встречаются при крайней гиперподвижности (гимнасты, танцоры), или в случае выхода из строя одной или более других систем ограничения.

Более полный анализ функции мышц, проходящих через голеностопный сустав, будет представлен позднее, поскольку все эти мышцы пересекают как минимум два, а как правило — три и более сустава щиколотки и стопы.

## 8.2. ПОДТАРАННЫЙ СУСТАВ

Таранно-пяточный, или подтаранный, сустав является сложным, он образован тремя отдельными плоскими сочленениями между таранной костью сверху и пяточной костью снизу. Вместе эти три суставных поверхности обеспечивают движение в трех плоскостях вокруг одной суставной оси.

Функция несущего вес подтаранного сустава исключительно важна для демпфирования ротационных нагрузок, создаваемых весом тела, во время сохранения контакта стопы с поверхностью опоры.

### 8.2.1. СТРУКТУРА ПОДТАРАННОГО СУСТАВА

Заднее таранно-пяточное сочленение является самым крупным из трех сочленений, существующих между таранной и пяточной костями. Заднее сочленение образовано вогнутой фасеткой на нижней поверхности тела таранной кости и выпуклой фасеткой на теле пяточной кости. Меньшего размера переднее и среднее таранно-пяточные сочленения образованы двумя выпуклыми фасетками на нижней части тела и шейке таранной кости и двумя вогнутыми фасетками на пяточной кости. Переднее и среднее сочленения, таким образом, имеют конфигурацию, обратную строению заднего сочленения.

Между задним сочленением и передним и средним сочленениями находится костный туннель, образованный бороздами в нижней части таранной кости и в верхней части пяточной кости. Этот туннель в форме воронки, известный как *предплюсневый канал*, косо проходит через стопу. Его широкий конец (предплюсневый синус) находится чуть впереди от малоберцовой лодыжки, а узкий конец — кзади и книзу от большеберцовой лодыжки и выше костного выхода пяточной кости, называемого таранной опорой.

Предплюсневый канал и связки, идущие по его длине, делят заднее сочленение и переднее и среднее сочленения на две несообщающиеся суставные полости. Заднее сочленение имеет собственную капсулу, переднее и среднее сочленения имеют общую капсулу с таранно-ладьевидным суставом.

Как и в голеностопном суставе, в таранном суставе редко наблюдаются дегенеративные изменения.

Wang с коллегами обнаружили, что поверхности подтаранного сустава, несмотря на то что они меньше поверхностей голеностопного сустава, при аналогичных условиях имеют те же пропорции контакта между поверхностями. Они показали, что на заднюю фасетку приходится 75% нагрузки, передающейся через подтаранный сустав. Эти же авторы определили, что давление на заднюю фасетку, учитывая ее большую площадь контакта, не отличалось от давления на среднюю и переднюю фасетку.

**Связки.** Подтаранный сустав является стабильным суставом, его вывихи редки. Связочная поддержка осуществляется связочными структурами, поддерживающими голеностопный сустав, а также теми связками, которые пересекают только подтаранный сустав.

Harper описал несколько структур, участвующих в латеральной поддержке подтаранного сустава. Они включают в себя (от поверхности в глубину): пяточно-малоберцовую связку и латеральную таранно-пяточную связку (которая присутствует не у всех), цервикальную связку и межкостную таранно-пяточную связку.

Цервикальная, или шейная, связка (рис. 8.10) является самой сильной из всех таранно-пяточных структур. Она проходит в переднем предплюсневом синусе и соединяет шейку таранной кости с шейкой пяточной кости (откуда и название).

Межкостная таранно-пяточная связка идет в предплюсневом канале медиальнее и больше по диагонали и имеет два тяжа: передний и задний.

Harper также описал довольно сложные соединения нижнего удерживателя разгибателя, обеспечивающего поддержку подтаранного сустава как поверхностную, так и внутри предплюсневых каналов.

Хотя роль цервикальной и межкостной связок в поддержании таранно-пяточной стабильности очевидна, не следует недооценивать и участие коллатеральных структур.

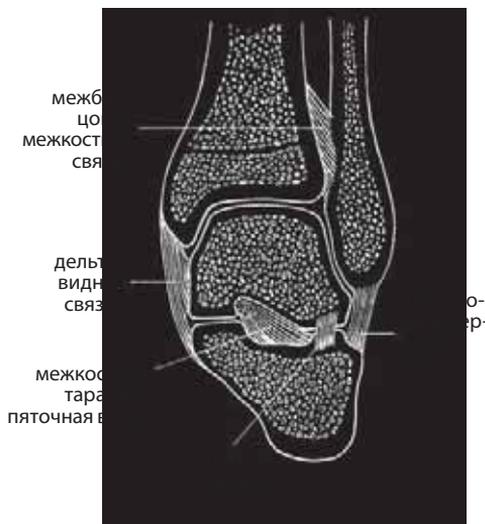


Рис. 8.10. Связки подтаранного сустава (поперечный разрез, вид сзади)

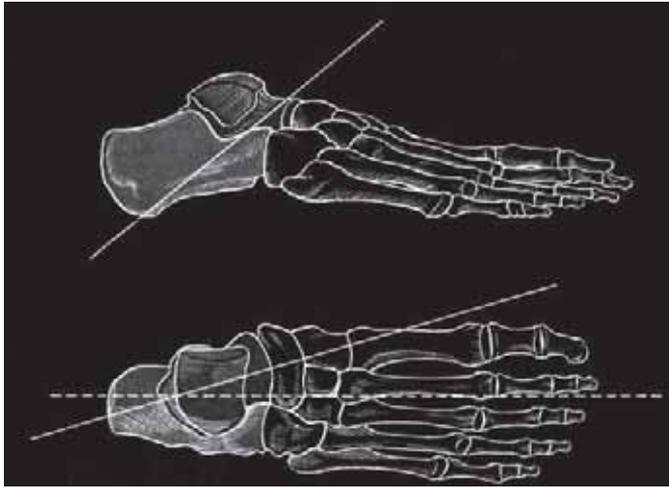
### 8.2.2. ФУНКЦИИ ПОДТАРАНОГО СУСТАВА

**Артрокинематика.** Хотя подтаранный сустав состоит из трех сочленений, переменные выпукло-вогнутые фасетки ограничивают его потенциальную подвижность.

Когда таранная кость движется по задней фасетке пяточной кости, ее суставная поверхность должна проскальзывать в том же направлении, в котором перемещается кость (вогнутая поверхность движется по фиксированной выпуклой поверхности). Вместе с тем в среднем и переднем суставах таранные поверхности должны проскальзывать в направлении, противоположном движению кости (выпуклая поверхность движется по фиксированной вогнутой поверхности).

Таким образом, движение таранной кости является сложным скручиванием (наподобие винтового), которое может продолжаться, только пока задняя фасетка и передняя со средней фасетки могут обеспечивать одновременные и противоположные по направлению движения. Результатом является трехплоскостное движение таранной кости вокруг одной кривой оси сустава.

Таким образом, подтаранный сустав оказывается одноосевым суставом с одной степенью свободы (супинация/пронация).



*Рис. 8.11. Ось подтаранного сустава: а — отклонение вперед примерно на  $42^\circ$ ; б — отклонение вовнутрь примерно на  $16^\circ$*

**Подтаранная ось.** Ось подтаранной пронации/супинации была объектом многих исследований. Полученные результаты показывают, что существуют значительные отличия даже среди обычных здоровых людей.

Manter обнаружил, что ось отклоняется на  $42^\circ$  вверх и вперед от поперечной плоскости (причем разброс у разных исследуемых был достаточно широк: от  $29^\circ$  до  $47^\circ$ ) (рис. 8.11).

Наклон оси указывает, что движение вокруг нее пересекает все три плоскости. Супинацию/пронацию как трехплоскостное движение сустава можно моделировать на простом косом шарнирном суставе и описывать ее по составным движениям в каждой из трех плоскостей. При этом следует понимать, что движение в подтаранном суставе является более сложным, чем в голеностопном и что составные движения здесь не происходят независимо. Составные движения совершаются одновременно, когда пяточная кость (или таранная кость) скручивается по трем суставным поверхностям. Хотя некоторые из составных движений наблюдать легче, чем другие, они всегда происходят вместе.

Для понимания подтаранной пронации/супинации мы должны вначале определить плоскости и наименования составных движений. Если бы ось подтаранного сустава была вертикальной, движение вокруг нее называлось бы отведением/приведением. Если бы она была продольной (переднезадней), то это движение было бы инверсией/эверсией; а если бы ось была венечной, то движение было бы тыльным/подошвенным сгибанием.

На самом деле, ось подтаранного сустава лежит на полпути между продольным и вертикальным направлением. Соответственно, составные движения

эверсии/инверсии (продольная ось) и отведения/приведения (вертикальная ось) почти равны по размерности. Наклон оси подтаранного сустава в фронтальном направлении незначителен, поэтому незначителен и компонент тыльного/ подошвенного сгибания.

Важно отметить, что участие каждого из составных движений в супинации или пронации будет варьировать в соответствии с индивидуальными различиями наклона оси сустава. Если ее наклон составляет всего  $30^\circ$  (а не средние  $42^\circ$ ), ось будет более продольной и менее вертикальной. В стопе такого типа участие в пронации и супинации со стороны инверсии/эверсии будет в два раза превышать вклад со стороны отведения/приведения.

Теперь изучим, как, с учетом таких особенностей подтаранной оси, составные движения составляют одно целое, вызывая пронацию/супинацию.

**Движения в подтаранном суставе при отсутствии поддержки веса.** Супинация/пронация подтаранного сустава будет, прежде всего, описана движением его дистального не несущего веса сегмента (пяточной кости), что делалось всякий раз при начальном описании суставного движения.

Супинация состоит из движений приведения (фронтальная ось), инверсии (переднезадняя или продольная ось) и подошвенного сгибания (фронтальная ось).

Пронация не нагруженной пяточной кости состоит из отведения (вертикальная ось), эверсии (переднезадняя или продольная ось) и тыльного сгибания (фронтальная ось).

Таким образом, три компонента движения пяточной кости образуют супинацию (приведение, инверсия и подошвенное сгибание) и пронацию (отведение, эверсия и тыльное сгибание). Это обязательная комбинация движений, которые не существуют по отдельности.

Однако при наблюдении за задней стороной пяточной кости (со спины) легче всего наблюдается компонент инверсии/эверсии (варусное/вальгусное угловое отклонение пяточной кости относительно большой берцовой кости). Эверсия при пронации видна как усиление углового отклонения вовнутрь между длинной осью большой берцовой кости и бугром пяточной кости (рис. 8.12, *a*).

Таким образом, пяточный компонент эверсии эквивалентен пяточному вальгусу, и эти термины могут быть взаимозаменяемыми.

Соответственно, пронацию можно описывать как состоящую из отведения, вальгуса и тыльного сгибания.

Когда на заднюю часть пяточной кости смотрят при подтаранной супинации, видна пяточная инверсия, т.е. варусное угловое отклонение между пяточной костью и большой берцовой костью (рис. 8.12, *b*). Подтаранную супинацию можно также описывать как состоящую из приведения, варуса и подошвенного сгибания.



**Рис. 8.12.** *а* — пронация в подтаранном суставе сопровождается эверсией пяточной кости. Это видно сзади как увеличение медиального угла между линией, проходящей через ногу, и линией, проходящей через бугор пяточной кости (пяточный вальгус);  
*б* — супинация в подтаранном суставе сопровождается инверсией пяточной кости. Сзади это видно как уменьшение медиального угла между линией, проходящей через ногу, и линией, проходящей через бугор пяточной кости (пяточный варус)

Хотя лучше всего просматривается компонент инверсии/эверсии (варус/вальгус), следует помнить, что это движение пяточной кости не бывает изолированным, оно может происходить только одновременно с такими хуже видимыми составляющими, как отведение/приведение и тыльное/подошвенное сгибание.

Составные движения, формирующие подтаранную супинацию и пронацию, не могут выполняться независимо из-за комплексного характера суставных поверхностей подтаранного сустава.

**Движения в подтаранном суставе при весовой нагрузке.** Когда вес не приходится на стопу, движение через подтаранный сустав совершается дистальным пяточным сегментом.

Когда пятка находится на опоре, а вес приходится на нее, пятка не может выполнить все составные движения. Она может приходиться в состояние эверсии и инверсии (вальгуса и варуса соответственно), хотя результатом этого будет некоторое движение стопы из стороны в сторону по почве. Вместе с тем стопа не может выполнять тыльное/подошвенное сгибание или отведение/приведение, так как эти движения блокируются действующим сверху весом тела.

Поскольку движение в подтаранном суставе не может состоять из изолированной инверсии/эверсии, две другие составные части выполняются за счет проксимального таранного сегмента.

Движение в суставе остается неизменным независимо от того, движется ли дистальный или проксимальный сегмент. Однако, когда проксимальный сегмент берет функцию на себя, его движения будут противоположны описанным для дистального сегмента. При движении в подтаранном суставе под весовой нагрузкой, для того чтобы создать то же движение между сегментами, направление движения таранной кости должно быть противоположно движению пяточной кости в условиях отсутствия весовой нагрузки.

При супинации под нагрузкой пяточная кость сохраняет способность к инверсии. Вместе с тем она не может выполнять приведение и подошвенное сгибание, поэтому движение сустава происходит за счет отведения и тыльного сгибания таранной кости.

Таким образом, подтаранная супинация под нагрузкой осуществляется за счет составных движений инверсии (варуса) пяточной кости, тыльного сгибания и отведения таранной кости. Подтаранная пронация под нагрузкой выполняется за счет эверсии (вальгуса) пяточной кости, подошвенного сгибания и приведения таранной кости.

Составные движения отведения и приведения таранной кости происходят вокруг вертикальной оси, и их иногда называют латеральной и медиальной ротацией соответственно.

Хотя с понимания пронации/супинации в подтаранном суставе начинается наше понимание этого сложного сустава, наиболее важные функции стопа выполняет именно в условиях поддержки веса.

Мы должны понимать, что в таких условиях формируется закрытая цепь для нижней конечности (исходя из того, что стойка является двусторонней либо голова фиксирована в вертикальном положении). Соответственно кинематика и кинетика подтаранного сустава будет влиять и сама будет находиться под влиянием проксимальных и дистальных суставов.

Первая последовательность функции закрытой цепи подтаранного сустава может рассматриваться во взаимосвязи с ротацией голени или всей нижней конечности.

**Движения подтаранного сустава под весом и его влияние на ногу.** Во время подтаранной пронации/супинации с поддержкой веса тыльное сгибание и подошвенное сгибание таранной кости могут поглощаться голеностопным суставом при скольжении тела таранной кости в межберцовом гнезде (назад при тыльном сгибании и вперед при подошвенном сгибании).

Подошвенное/тыльное сгибание таранной кости не оказывает влияния на большую берцовую кость, пока сустав способен двигаться свободно. Однако компонент отведения/приведения таранной кости, который должен присутствовать как составная часть супинации/пронации при поддержке веса, голеностопным суставом не поглощается.

Когда таранная кость вынуждена вращаться (отведение/приведение) в части подтаранного движения, тело таранной кости не может совершать ротацию в гнезде более чем на несколько градусов. Соответственно, таранная кость тянет седло с собой.

Когда в опорном положении происходит супинация подтаранного сустава, таранная кость должна совершить отведение (латеральную ротацию). При этом она тянет с собой и большую, и малую берцовые кости, образующие седло, создавая латеральную ротацию ноги.

Пронация в подтаранном суставе вызывает приведение таранной кости, которое ведет большую и малую берцовые кости в медиальную ротацию.

Через составные движения отведения и приведения таранной кости движение нагруженного подтаранного сустава непосредственно влияет на сегменты и суставы, расположенные выше. Нагруженный подтаранный сустав, удерживаемый в пронации (например при плоскостопии) создает силу медиальной ротации, действующую на ногу и влияющую на коленный и, потенциально, на тазобедренный сустав, причем многими способами.

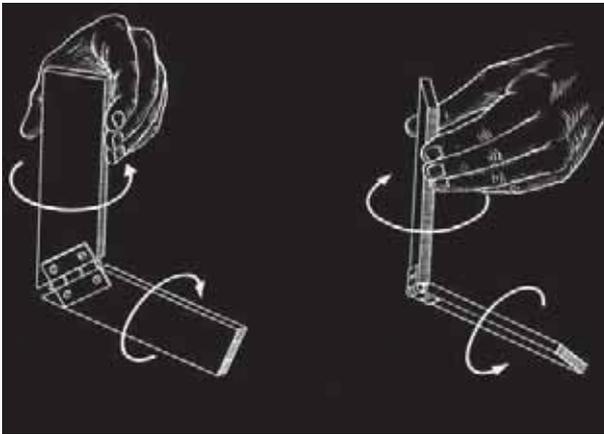
Когда одна стопа, несущая вес, удерживается в пронации, в нижней конечности сохраняется устойчивая сила ротации внутрь. Эта сила может создавать ротационную нагрузку в коленном суставе или вызывать медиальную ротацию в тазобедренном суставе. Медиальная ротация тазобедренного сустава направляет вовнутрь колено, результатом чего является увеличение угла  $Q$  и потенциальная возможность увеличения латеральных сил с последующим подвывихом пателлофemorального сустава.

Если подтаранный сустав может создавать ротационные усилия, действующие на ногу, то и ротация ноги может оказывать свое влияние на него.

Если на ногу подается ротационное усилие (как при повороте направо на правой опорной стопе), латеральное движение большой берцовой кости смещает

в латеральном направлении седло и сидящее в нем тело таранной кости.

Таранная кость не может производить латеральную ротацию (отведение) без запуска других составных движений, являющихся частью подтаранной супинации. При отведении таранной кости поворачивающейся ногой происходит тыльное сгибание таранной кости в гнезде, а пяточная кость идет в инверсию. Медиальное ротационное усилие, действующее на ногу, обязательно повлечет за собой подтаранную пронацию при приведении таранной кости седлом.



**Рис. 8.13.** Подтаранный сустав можно зрительно представлять как скошенную дверную петлю между голенью и стопой: а — медиальная ротация проксимально расположенной голени создает пронацию дистальной стопы; б — латеральная ротация голени создает супинацию дистальной стопы (по Манн Р.А. Биомеханика бега // Хирургия стопы. 5-е изд. Сент-Луис: Изд-во Мосби, 1986. С. 19)

Таблица 8.1

**Составные движения подтаранного сустава**

Составные движения подтаранной супинации/пронации		
	<i>Стопа несет вес</i>	<i>Стопа не несет вес</i>
Супинация	Инверсия (варус) пяточной кости Приведение пяточной кости Подошвенное сгибание пяточной кости	Инверсия (варус) пяточной кости Отведение (латеральная ротация) таранной кости Тыльное сгибание таранной кости Межберцовая латеральная ротация
Пронация	Эверсия (вальгус) пяточной кости Отведение пяточной кости Тыльное сгибание пяточной кости	Эверсия (вальгус) пяточной кости Приведение (медialная ротация) таранной кости Подошвенное сгибание таранной кости Межберцовая медиальная ротация

Взаимозависимость ноги и таранной кости была механически представлена Inman и Mann, которые использовали концепцию подтаранного сустава как скошенной дверной петли. Визуальное представление этой концепции дано на рис. 8.13.

Одна из основных функций подтаранного сустава — поддержка взаимной зависимости между ним и голенью. Когда вес приходится на стопу, движение подтаранного сустава поглощает создаваемые нижней конечностью ротации, которые, в противном случае, поворачивали бы стопу на земле или вызывали бы повреждение голеностопного сустава за счет ротации таранной кости в гнезде. Когда вес не приходится на подтаранный сустав (открытая цепь), его движения и движения голени становятся независимыми и влияния друг на друга не оказывают.

В табл. 8.1 приводятся составные движения в подтаранном суставе, как при нагрузке, так и без нее.

**АД и нейтральное положение подтаранного сустава.** Амплитуду супинации и пронации подтаранного сустава трудно оценивать по причине ее трехплоскостного характера и потому, что участие составляющих меняется с наклоном подтаранной оси.

Пяточный компонент подтаранного движения (варусный/вальгусный угол между задней частью пяточной кости и средней линией ноги сзади) измерять несложно, как при движениях с поддержкой веса, так и без него.

Было измерено, что компонент эверсии (вальгус) пяточной кости составляет от 5 до 10°, а инверсии — от 20 до 30°; общая амплитуда — 35–40°.

Хотя в общей амплитуде инверсии/эверсии особых противоречий не наблюдается, отдельные их амплитуды зависят от того, что берется за нейтральное положение (0°) пяточной кости.

Разные авторы дают различные определения так называемой нейтральной подтаранной позиции, при этом, естественно, возникает ряд вопросов в отношении корректности методов исследования.

Определение нейтрального положения подтаранного сустава имеет большое значение при оценке функций стопы. Нейтральное положение подтаранного сустава используют для оценки позиции заднего отдела стопы и его потенциальной роли в дисфункции проксимальных и дистальных суставов. Это же положение аналогичным образом используют в качестве точки отсчета при оценке положения заднего отдела стопы. Таким образом, возможность определить нейтральное положение подтаранного сустава важна для оценки функций нижней конечности в целом.

Нейтральное положение подтаранного сустава было определено Root с коллегами как начальная точка, из которой инверсия пяточной кости в градусах будет в два раза больше ее эверсии.

Нейтральное положение подтаранного сустава находят так: сначала делают полную супинацию сустава (точнее, выполняют максимальную инверсию пяточной кости), а затем выводят пяточную кость на  $2/3$  дистанции от максимальной супинации до максимальной пронации (или максимальной эверсии пяточной кости).

Vailly с коллегами использовали рентгенограммы и показали, что нейтральное положение подтаранного сустава имеет сильную индивидуальную вариабельность. Оно не всегда находилось точно на  $2/3$  расстояния от максимальной супинации, хотя средние значения у испытуемых и были близки к такому показателю.

Astrom и Arvidson использовали методику для нахождения нейтрального положения подтаранного сустава при помощи пальпации головки пяточной кости у 121 исследуемого без проблем со стопами. Такая техника позволяет предполагать исходные отклонения в положении подтаранной оси. Astrom и Arvidson показали, что среднее положение пяточной кости в пальпируемом «нейтральном положении подтаранного сустава» — это  $2^\circ$  пяточного вальгуса (по отношению к средней линии икры). Когда авторы использовали метод Root и коллег, нейтральным положением подтаранного сустава оказался  $1^\circ$  пяточного варуса.

McPoil и Cornwall при помощи пальпации головки пяточной кости показали, что в среднем положение головки пяточной кости при нейтральном положении подтаранного сустава составляет  $1,5^\circ$  пяточного вальгуса. Однако при оценке положения пяточной кости в опорной фазе ходьбы авторы обнаружили, что у большинства людей пяточная кость не доходит до определяемой таким образом нейтральной позиции подтаранного сустава. Это входило в явное противоречие с практически повсеместно принятым представлением о том, что подтаранный сустав при нормальной ходьбе в начале опоры идет в пронацию, возвращается в нейтральное положение на полшаге и затем, к концу опорной фазы, переходит в супинацию.

McPoil и Cornwall пришли к выводу, что у здоровых людей нейтральное положение подтаранного сустава лучше всего оценивается по положению пяточной кости в расслабленной двусторонней стойке. У их исследуемых среднее значение составляло приблизительно  $3,5^\circ$  пяточного вальгуса (эверсии).

Эти данные согласуются с выводами Astrom и Arvidson в том, что нормальная несущая вес стопа находится в положении большей пронации, чем предполагали ранее, и что взятие за основу нейтрального положения путем пальпации может вести к гипердиагностике в отношении избыточной пронации подтаранного сустава.

Хотя конечные положения амплитуды пяточной инверсии/эверсии являются клинически воспроизводимыми показателями, тыльное/подошвенное сгибание таранной кости как компонент подтаранного движения при весовой нагрузке можно измерить только при помощи статических рентгенограмм.

Отведение/приведение стопы вместе с тем определяется при помощи изменения ротации большой берцовой кости, сопровождающей отведение/приведение таранной кости.

Close с коллегами оценивали большеберцовую ротацию в опорной фазе ходьбы приблизительно в  $10^\circ$ . Эта амплитуда представляет собой наилучшее количественное определение отведения/приведения таранной кости во время нагруженной, «весовой» фазы ходьбы.

Root с коллегами выявили аналогичные величины эверсии/инверсии пяточной кости при ходьбе. Эквивалентность амплитуд эверсии/инверсии и отведения/приведения при ходьбе не представляет собой всего движения, но совпадает с пропорцией участия эверсии/инверсии, отведения/приведения и тыльного/подошвенного сгибания, установленной Sgarlato как 4:4:1 для среднестатистических осей подтаранного сустава. На каждые  $4^\circ$  эверсии пяточной кости наблюдается приведение таранной кости на  $4^\circ$  (медиальная ротация большой берцовой кости на  $4^\circ$ ) и  $1^\circ$  подошвенного сгибания таранной кости при обычной подтаранной оси.

Хотя согласие по многим аспектам функций подтаранного сустава отсутствует, существует единое мнение о том, что полная супинация является плотно упакованным или запертым положением подтаранного сустава, а пронация — положением относительной подвижности.

При супинации натяжение связок стягивает вместе таранно-пяточные суставные поверхности, тем самым их «запирая». И наоборот, приведение и подошвенное сгибание таранной кости, наблюдаемое при пронации под действием веса, вызывает некоторое расхождение смежных предплюсневых костей, что создает между ними определенную подвижность.

Неудивительно, что роль связок в подтаранном суставе столь противоречива. Одни считают, что цервикальная связка и межкостная таранно-пяточная связка ограничивают пронацию, другие — что супинацию.

Sarrafian считает, что связки должны находиться вдоль подтаранной оси, а это создает их натяжение в любом из положений. Если учитывать это предположение, становится понятно, что противоречивость результатов различных авторов объясняется индивидуальными отклонениями в положении оси или связок.

Исследование подтаранного сустава еще далеко от завершения, и понимание его роли как определяющей точки в стопе не может быть достигнуто без понимания того факта, что таранная кость при подтаранном движении с весовой нагрузкой движется не только по пяточной кости, но еще по ладьевидной кости, находящейся спереди от нее, и по связке, помогающей поддерживать головку таранной кости.

Связь таранной кости со структурами ниже ее и спереди от нее привела к созданию анатомической и функциональной концепции таранно-пяточно-ладьевидного сустава.

### **8.3. ТАРАННО-ПЯТОЧНО-ЛАДЬВЕИДНЫЙ СУСТАВ**

При движении в подтаранном суставе с поддержкой веса составные движения таранной кости (отведение/приведение и подошвенное/тыльное сгибание) перемещают таранную кость по пяточной кости и по относительно неподвижной ладьевидной кости.

Сочленение таранной кости с ладьевидной, таранно-ладьевидный сустав, в классике считается частью поперечного предплюсневого сустава. Однако лучшее понимание функции задней части стопы достигается при изучении этого сустава как части расширенной концепции таранно-пяточно-ладьевидного сустава, или ТПЛ.

#### **8.3.1. СТРОЕНИЕ ТПЛ СУСТАВА**

ТПЛ сустав связывает таранно-ладьевидный и подтаранный (таранно-пяточный) суставы, находящееся между собой в тесных анатомических и функциональных отношениях.

Таранно-ладьевидное сочленение образовано проксимально передней частью головки таранной кости, а дистально — вогнутой задней частью ладьевидной кости.

Головка таранной кости вместе с тем также сочленяется снизу с передней и медиальной фасетками пяточной кости и с подошвенной пяточно-ладьевидной связкой, заполняющей раздел между пяточной и ладьевидной костью ниже головки таранной кости.

Соответственно, ТПЛ сустав можно представить себе в виде шарового шарнира, в котором выраженная выпуклость головки таранной кости входит в крупное «седло», образованное вогнутостью ладьевидной кости, вогнутостями

передней и медиальной фасеток пяточной кости, подошвенной пяточно-ладьевидной связкой, а также дельтовидной связкой изнутри и раздвоенными связками снаружи (рис. 8.14).

Подошвенная пяточно-ладьевидная связка, которую чаще называют пружинной связкой, представляет собой треугольный листок связочной соединительной ткани, отходящий от опоры таранной кости и присоединяющийся к нижней части ладьевидной кости. Она продолжается медиально вместе с частью дельтовидной связки лодыжки и латерально объединяется с медиальным тяжом раздвоенной связки (также известной как латеральная пяточно-ладьевидная связка).

Davis с сотрудниками показали, что подошвенная пяточно-ладьевидная связка имеет два отдельных сегмента, каждый из которых участвует в образовании т.н. вертлужной впадины таранной кости.

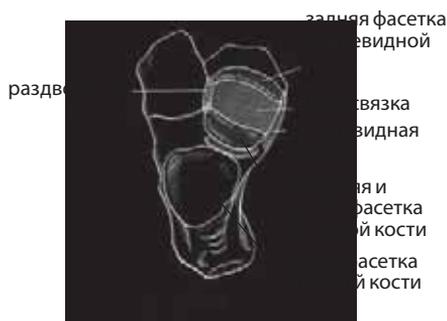
Самым крупным компонентом связки является верхняя внутренняя часть пяточно-ладьевидной связки, или ВВПЛ связка.

ВВПЛ связка тесно связана с поверхностной дельтовидной связкой и образует медиальную и подошвенную «пращу» для головки таранной кости, включающую в себя лишенную сосудов треугольную суставную фасетку в месте контакта таранной кости и связки.

ВВПЛ связка является частью реального суставного сочленения, а не просто средством удерживания вместе фасеток пяточной и ладьевидной костей. Эта концепция была подкреплена наличием волокон, указывающих на то, что связка сопротивляется сгибанию так же, как и нагрузкам растяжения.

Davis и сотрудники также описали второй компонент пяточно-ладьевидной связки, который называется нижней пяточно-ладьевидной связкой. Эта связка ближе к подошве и латеральнее ВВПЛ связки, а ее состав говорит о том, что она оказывает сопротивление только нагрузкам растяжения. Они также подтвердили данные других исследователей о том, что эта связка обладает очень низкой эластичностью (или не обладает ею совсем) и поэтому является не столько пружиной, сколько именно «пращой».

Головка таранной кости и его крупная впадина заключены в единую капсулу, которая охватывает весь ТПЛ сустав. Внутри этой же капсулы находятся перед-



**Рис. 8.14.** Таранно-пяточно-ладьевидный сустав, вид сверху. Таранная кость удалена, открыта крупная вогнутость, образуемая ладьевидной костью, дельтовидной связкой и медиальным тяжом раздвоенной связки

няя и средняя фасетки подтаранного сустава и таранно-ладьевидного сустава. Дно капсулы образовано связками ВВПЛ и нижней пяточно-ладьевидной, а также боковыми сторонами дельтовидной и раздвоенных связок. Следует помнить, что крупная задняя фасетка подтаранного сустава находится в собственной капсуле. Капсулы заднего подтаранного сустава и ТПЛ физически разделены предплюсневый каналом и связками, проходящими по нему.

Связочная поддержка ТПЛ сустава та же, что и для подтаранного сустава, включая медиальные и латеральные коллатеральные связки, структуры нижнего удерживателя разгибателя и цервикальные и межкостные таранно-пяточные связки. Естественно, ТПЛ также поддерживается теми связками, которые способствуют его композиции (ВВПЛ, нижняя пяточно-ладьевидная и раздвоенные связки) и тыльной таранно-ладьевидной связкой. Дополнительная поддержка также обеспечивается со стороны связок, усиливающих примыкающий пяточно-кубовидный сустав, поскольку, как мы увидим при рассмотрении поперечного предплюсневого сустава, таранно-ладьевидная и пяточно-кубовидная связки связаны функционально.

### 8.3.2. ФУНКЦИЯ ТПЛ СУСТАВА

Поведение таранной кости напоминает положение мяча в руках баскетболиста: сверху ее охватывает межберцовое седло, снизу — пяточная кость, а спереди — ладьевидная кость.

Движение таранной кости при поддержке веса в одном из сочленений должно вызывать движения в каждом из нижних ее сочленений.

Таким образом, ТПЛ сустава, как и подтаранные компоненты таранной кости, является трехплоскостным суставом с одной степенью свободы. Ось пронации и супинации ТПЛ наклонена на  $40^\circ$  кверху и кпереди и на  $30^\circ$  медиально и кзади (рис. 8.15).

Это похоже на ось подтаранного сустава. Ось таранно-ладьевидного сустава, однако, наклонена вовнутрь больше, чем ось подтаранного сустава, что позволяет выполнять ТПЛ суставу большее подошвенное/тыльное сгибание, чем подтаранному суставу.

Движения ТПЛ сустава могут иметь несколько бóльшую амплитуду, чем движения подтаранного сустава, однако движения таранной и пяточной костей и отношения с большой берцовой костью в нагруженном состоянии практически идентичны тем, о которых мы говорили при рассмотрении подтаранного сустава.

Функционально сочленения, которые образуют подтаранный и таранно-ладьевидный сустав, существуют как компоненты более заверщенного ТПЛ сустава. Эта взаимосвязь видна не только при совершении пассивных движений,

но также в статике и динамике. Силы, передающиеся от голени к таранной кости, приходится на каждую из суставных поверхностей, которые входят в ТКЛ сустав.

Reeck с коллегами наблюдали на трупах передачу усилий при подаче нагрузок на большую и малую берцовые кости, а также исследовали нагрузки растяжения наружных мышц. Было показано, что наибольшая нагрузка приходилась на заднюю фасетку

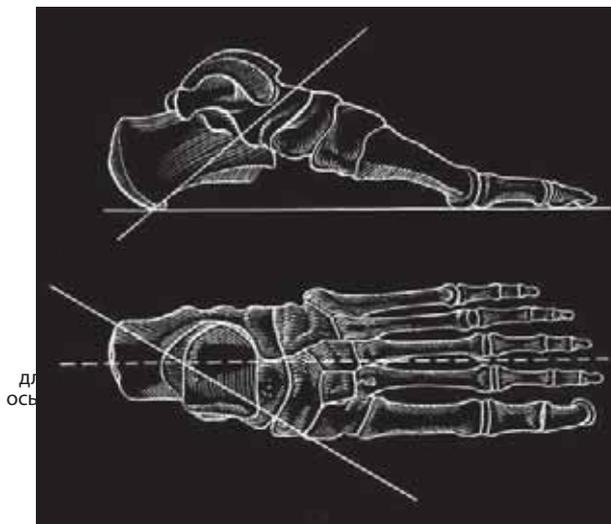
подтаранного сустава, затем, в порядке уменьшения, следовали: таранно-ладьевидное, переднее и медиальное подтаранные и связочное ВВПЛ сочленения. Однако, с учетом таким же образом уменьшающихся поверхностей контакта каждого сочленения, в большинстве положений стопы давления в каждом из сочленений были одинаковыми.

Хотя давления на каждой из суставных поверхностей увеличивались по мере продвижения стопы к стадии отталкивания, в конце опорной фазы ходьбы давление на задней подтаранной фасетке было больше, чем на всех остальных.

Универсальная терминология движений подтаранного и ТПЛ суставов, как и многих других, пока еще не принята. Для этой книги мы выбрали в качестве составных (трехплоскостных) движений супинацию/пронацию, которая включает в себя компоненты фронтальной плоскости (переднезадняя ось), т.е. инверсию и эверсию. Читатели, однако, могут столкнуться и с противоположным толкованием: инверсия/эверсия считаются составными трехплоскостными движениями, а пронация/супинация — их компонентами во фронтальной плоскости.

Хотя пронация/супинация и инверсия/эверсия часто оказываются взаимозаменяемыми терминами, в литературе существует единое мнение по использованию варуса/вальгуса пяточной кости при оценке компонента подтаранного движения во фронтальной плоскости.

Независимо от того, как используются термины, надо отметить, что супинация подтаранного сустава всегда связана с подтаранной инверсией и варусом пяточной



**Рис. 8.15.** Ось таранно-пяточно-ладьевидного сустава:  
*a* — наклон вверх и вперед приблизительно на 40°;  
*b* — наклон внутрь и вперед приблизительно на 30°



**Рис. 8.16.** Таранно-ладьевидный сустав и пяточно-кубовидный сустав образуют составной сустав, известный под названием поперечного предплюсневого сустава

кости, а пронация — с подтаранной эверсией и вальгусом пяточной кости.

Обязательная парность компонентов как части единого трехплоскостного движения может сделать академические терминологические противоречия источником затруднений для тех, кто понимает функции стопы, но не может определиться с терминами. Это, естественно, относится к не слишком опытным читателям. Термины, используемые в исследованиях и публикуемой литературе, следует определять очень тщательно, чтобы они несли в себе максимум ясной информации.

ТПЛ сустав является ключевым в функции стопы. Кости и суставы, расположенные дистально от ТПЛ, образуют, по сути, единый упругий блок, который движется как в ответ, так и в качестве компенсации при движениях таранной и пяточной костей.

Такое компенсаторное движение происходит в значительной степени в поперечном предплюневом суставе.

## 8.4. ПОПЕРЕЧНЫЙ ПРЕДПЛУСНЕВЫЙ СУСТАВ

Поперечный предплюневый (мидтарзальный) сустав является составным суставом, образуемым таранно-ладьевидным и пяточно-кубовидным суставами (рис. 8.16).

Поскольку пяточно-ладьевидный сустав считается классической частью поперечного предплюсневого сустава, он относится к двум суставным комплексам: ТПЛ суставу и поперечному предплюневому суставу.

Другой составной частью поперечного предплюсневого сустава является пяточно-кубовидный сустав.

Оба сустава вместе образуют S-образный сустав, пересекающий стопу по горизонтали, отделяющий задний отдел стопы от среднего и переднего отделов.

Как и ладьевидная кость, кубовидная кость считается при несущей вес стопе неподвижной. Движение поперечного предплюсневого сустава, таким образом, рассматривается как движение таранной и пяточной костей по относительно фиксированному ладьевидно-кубовидному блоку.

Движение в составном поперечном предплюсневом суставе вместе с тем является более сложным, чем может показаться, и происходит преимущественно в ответ на действия ТПЛ.

#### **8.4.1. СТРОЕНИЕ ПОПЕРЕЧНОГО ПРЕДПЛУСНЕВОГО СУСТАВА**

Строение таранно-ладьевидного сустава мы уже рассматривали при изучении ТПЛ сустава. Пяточно-кубовидный сустав образуется проксимально передним отделом пяточной кости, а дистально — задней частью кубовидной кости (см. рис. 8.16).

Суставные поверхности как пяточной, так и кубовидной кости достаточно сложны, они имеют в обоих измерениях реципрокную выпукло-вогнутую форму. Реципрокная форма ограничивает движение в пяточно-кубовидном суставе сильнее, чем в шаровидном пяточно-ладьевидном суставе; пяточная кость при движении ее в подтаранном суставе под нагрузкой должна отвечать конфликтующим артрокинематическим требованиям седлообразных поверхностей, результатом чего является движение скручивания.

Пяточно-кубовидное сочленение имеет собственную капсулу, усиленную несколькими крупными связками. К ним относятся: латеральный тяж раздвоенной связки (также известный как пяточно-кубовидная связка), тыльная пяточно-кубовидная связка, подошвенная пяточно-кубовидная связка (короткая подошвенная связка) и длинная подошвенная связка.

Длинная подошвенная связка является из всех перечисленных связок наиболее важной, потому что она проходит снизу между пяточной костью и кубовидной костью, а затем продолжается к основаниям второй, третьей и четвертой плюсневых костей. Она принимает значительное участие в стабильности поперечного плюсневого сустава и в связанной поддержке продольного свода стопы.

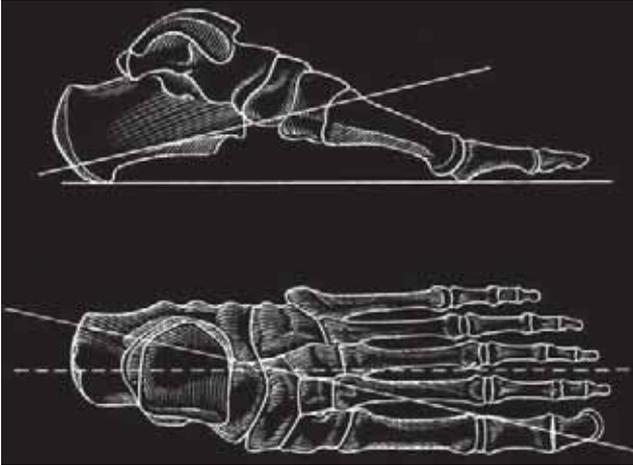
Важная поддержка поперечного предплюсневого сустава осуществляется также со стороны наружных мышц стопы, при их прохождении медиально и латерально к суставу, а также со стороны расположенных снизу внутренних мышц.

#### **8.4.2. ФУНКЦИЯ ПОПЕРЕЧНОГО ПРЕДПЛУСНЕВОГО СУСТАВА**

**Оси.** Поперечный предплюсневый сустав подвергался анализу множеством способов, в результате чего установили, что он действует вокруг двух независимых осей.

Manter и Hicks предложили считать оси, вокруг которых пяточная и таранная кости движутся на относительно фиксированном ладьевидно-кубовидном блоке, как продольную ось и косую ось.

Продольная (или переднезадняя) ось почти горизонтальна: спереди она незначительно отклонена вверх и медиально (рис. 8.17).



*Рис. 8.17. Продольная ось поперечного предплюсневого сустава*

Косая (поперечная) ось поперечного предплюсневого сустава почти параллельна оси ТПЛ сустава, что обеспечивает трехплоскостную супинацию/пронацию с доминирующими компонентами тыльного/подошвенного сгибания и отведения/приведения.

Движение вокруг этой оси более ограничено, чем вокруг продольной оси, потому что она имеет больший наклон во всех трех плоскостях. Вместе продольная и косая оси обеспечивают общую амплитуду супинации/пронации, составляющую 1/3–1/2 амплитуды, возможной для ТПЛ сустава.

Root предположил, что продольная ось, вокруг которой происходит наибольшее движение, дает меньше  $10^\circ$  инверсии/эверсии.

Два сустава, составляющих поперечный предплюсневый сустав, могут, до известной степени, функционировать независимо, хотя движение в одном из них обычно сопровождается хотя бы минимальным движением в другом суставе.

ТПЛ сустав и поперечный предплюсневый сустав механически связаны общим пяточно-ладьевидным суставом. Любое движение в подтаранном и, соответственно, в ТПЛ суставе должно включать в себя движение и в таранно-ладьевидном суставе. Поскольку таранно-ладьевидный сустав имеет взаимную зависимость с движением в пяточно-кубовидном суставе, движение в подтаранном/ТПЛ суставах будет вовлекать в действие поперечный предплюсневый сустав.

При супинации ТПЛ связь с поперечным предплюсневым суставом идет через пяточно-кубовидный и таранно-ладьевидный суставы.

При полной супинации и запирании ТПЛ (костные поверхности притянуты одна к другой) поперечный предплюсневый сустав также выводится в положе-

Движение вокруг этой оси является трехплоскостным, создающим супинацию/пронацию, как в подтаранном и ТПЛ суставах.

В отличие от оси подтаранного/ТПЛ сустава, продольная ось поперечного предплюсневого сустава приближается к истинной переднезадней оси, поэтому такие компоненты движения как инверсия/эверсия являются доминирующими.

ние полной супинации, и его костные поверхности стягиваются в положение запираания.

При пронации и свободной упаковке ТПЛ поперечный предплюсневый сустав также подвижен и находится в состоянии свободной упаковки.

**Действия.** Поперечный предплюсневый сустав является переходным звеном между задним и передним отделами стопы; он увеличивает амплитуду супинации/пронации ТПЛ сустава и компенсирует положение переднего отдела стопы относительно заднего. В данном контексте компенсация является способностью переднего отдела стопы полностью оставаться на опоре, если задний отдел находится в вальгусе или варусе.

В нагруженном положении медиальная ротация большой берцовой кости вызывает пронацию ТПЛ сустава. Если сила пронации продолжает действовать дистально через стопу, ее внешний край будет стремиться оторваться от земли, тем самым уменьшая стабильность площади опоры и приводя к неравномерному распределению веса.

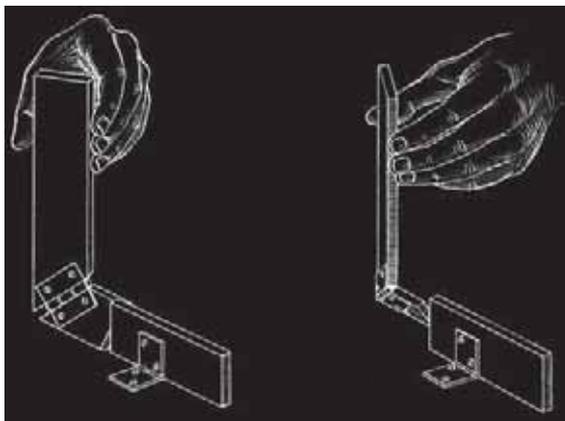
Этого нежелательного эффекта пронации ТПЛ можно избежать, если ротацию поглощает поперечный предплюсневый сустав; то есть таранная и пяточная кости движутся по фиксированному ладьевидно-кубовидному блоку, приводя к относительной супинации переднего отдела стопы, дистально по отношению к поперечному предплюсневому суставу.

Поперечный предплюсневый сустав сохраняет нормальное распределение веса в переднем отделе стопы, позволяя заднему отделу поглощать ротацию нижней конечности (рис. 8.18).

Пока задний отдел стопы находится в пронации (а ТПЛ сустав подвижен), поперечный предплюсневый сустав свободно компенсирует положение заднего отдела и адаптируется к особенностям поверхности опоры.

В статической двусторонней стойке на ровной почве ТПЛ и поперечный предплюсневый сустав находятся в пронации.

Когда человек переходит в одноопорное положение и на-



**Рис. 8.18.** Поперечный предплюсневый сустав позволяет переднему отделу стопы полностью оставаться на опоре, поглощая пронацию подтаранного сустава, вызванную медиальной ротацией голени (а), или супинацию подтаранного сустава, вызванную латеральной ротацией голени (б) (по Манн Р.А. Биомеханика бега // Хирургия стопы. 5-е изд. Сент-Луис: Изд-во Мосби, 1986. С. 15)

чинает ходьбу, ТПЛ продолжает пронацию, но поперечный предплюсневый сустав переходит к супинации примерно в той же степени, чтобы сохранить правильное распределение веса на передней части стопы.

Камешек, попавший под средний отдел стопы, может потребовать выполнения даже большей супинации поперечного предплюсневых сустава, чтобы сохранить необходимый контакт переднего отдела стопы с опорой (если дополнительная амплитуда супинации возможна). Если такая амплитуда в поперечном предплюсневом суставе невозможна, камень может заставить задний отдел стопы также перейти в супинацию.

При других вариантах стойки на неровных поверхностях, например, боком на склоне горы, ближняя к вершине стопа должна, для сохранения контакта, выполнить значительную пронацию; причем эта пронация будет совершаться как ТПЛ, так и поперечным предплюсневых суставом.

Когда задняя часть стопы (ТПЛ) находится в пронации, суставы как заднего, так и среднего отдела стопы подвижны и могут совершать необходимые компенсаторные изменения, требуемые для поддержания контакта стопы с почвой в пределах АД сустава.

Супинация заднего отдела стопы (ТПЛ) ограничивает возможность поперечного предплюсневых сустава компенсировать передний отдел стопы или совершать его противоположную ротацию. При увеличении супинации ТПЛ поперечный предплюсневый сустав также идет в увеличение супинации. Соответственно, при нарастании супинации в ТПЛ мобильность поперечного предплюсневых сустава прогрессивно ограничивается.

При полной супинации ТПЛ, такой как наблюдается при латеральной ротации большой берцовой кости нагруженной ноги, супинация запирает не только ТПЛ, но и поперечный предплюсневый сустав. Хотя поперечные предплюсневых суставы способны к мелким компенсаторным изменениям, передняя часть стопы может все равно идти в супинацию, хоть это зависит еще от величины прилагаемого усилия.

При нормальной походке супинация заднего отдела стопы возникает, когда стопе требуется выступить в роли жесткого рычага (это вторая половина опорной фазы). Запирание подтаранного/ТПЛ сустава и поперечного предплюсневых сустава облегчает передачу веса через предплюсне-плюсневых суставы к переднему отделу стопы.

Однако при супинации заднего отдела стопы неровной поверхностью такое запирание заднего и среднего отделов стопы может оказаться нежелательным. Весь внутренний край стопы может подниматься, и, если не включатся мышцы латеральной стороны стопы, может возникнуть растяжение латеральных связок.

Когда заперты ТПЛ и поперечный предплюсневый суставы не могут поглотить ротацию, создаваемую нагруженной конечностью или неровностями по-

чвы, усилия должны рассеиваться за счет голеностопного сустава, а это может привести к травме его структур.

## 8.5. ПРЕДПЛЮСНЕ-ПЛЮСНЕВЫЕ СУСТАВЫ

### 8.5.1. СТРОЕНИЕ ПРЕДПЛЮСНЕ-ПЛЮСНЕВЫХ СУСТАВОВ

Предплюсне-плюсневые суставы (ППС) образованы дистальным предплюсневым рядом сзади и основаниями плюсневых костей спереди (рис. 8.19).

Первый ППС представляет собой сочленение между основанием первой плюсневой кости и внутренней клиновидной кости. Он имеет собственную суставную капсулу.

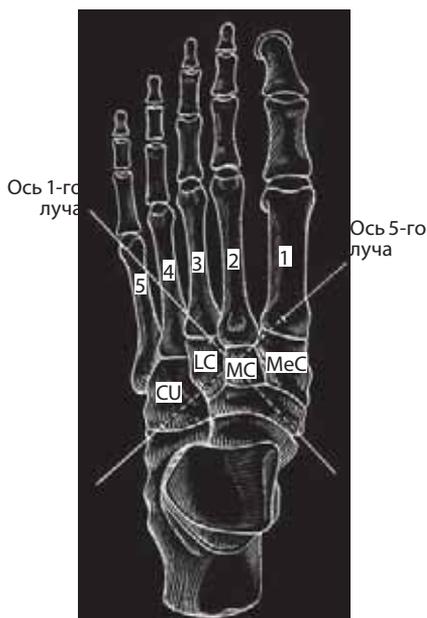
Второй ППС является сочленением основания второй плюсневой кости и гнезда, образованного средней клиновидной костью и боками внутренней и наружной клиновидных костей. Этот сустав находится дальше сзади, чем остальные ППС; он мощнее, и его подвижность больше ограничена.

Третий ППС, образованный третьей плюсневой костью и латеральной клиновидной костью, имеет общую капсулу со вторым ППС.

Четвертый и пятый ППС образованы основаниями четвертой и пятой плюсневых костей с кубовидной костью. Эти два сустава также имеют общую капсулу.

Между основаниями плюсневых костей имеются небольшие плоские сочленения, которые позволяют плюсневым костям двигаться относительно друг друга.

Каждый ППС усилен многочисленными тыльными, подошвенными и межкостными связками. Кроме того, стабильность его усиливается за счет глубокой поперечной плюсневой связки, похожей на аналогичную связку кисти, которая не позволяет головкам плюсневых костей расходиться в суставах.



**Рис. 8.19.** Предплюсне-плюсневые, плюснефаланговые и межфаланговые суставы стопы: CU — кубовидная кость; MeC — внутренняя клиновидная кость; MC — средняя клиновидная кость; LC — наружная клиновидная кость

### 8.5.2. ФУНКЦИИ ПРЕДПЛЮСНЕ-ПЛЮСНЕВЫХ СУСТАВОВ

Основная функция ППС — это продолжение функции поперечного предплюсневой сустава, т.е. эти суставы стараются регулировать позицию плюсневых костей и фаланг относительно несущей вес поверхности.

Пока движение поперечного предплюсневой сустава адекватно компенсирует положение заднего отдела стопы, движения ППС не нужны. Однако, когда позиция заднего отдела достигает предела и поперечный предплюсневый сустав исчерпывает свои компенсационные возможности, ППС могут совершать ротацию и обеспечивать дальнейшую адаптацию позиции передней части стопы.

**Оси.** Считается, что каждый из ППС имеет собственную, хоть и не совсем независимую, ось движения. Nicks исследовал оси пяти лучей.

Луч — это функциональная единица, образованная плюсневой костью и связанной с ней клиновидной костью (лучи с первого по третий включительно). Клиновидные кости включаются в двигательную единицу как составная часть из-за малого движения в клиновидно-ладьевидных суставах. Клиновидно-ладьевидное движение, таким образом, функционально становится частью движения, возможного в ППС. Там, где связанной клиновидной кости нет, лучи образуются только плюсневыми костями (четвертый и пятый лучи) при их движении по кубовидной кости.

Оси первого и пятого лучей показаны на рис. 8.19. Каждая ось диагональная и, таким образом, имеет трехплоскостной характер.

АД первого луча наибольшая из всех плюсневых костей. Ось первого луча отклоняется так, чтобы тыльное сгибание (разгибание) первого луча сопровождалось инверсией и приведением, а подошвенное сгибание (сгибание) — эверсией и отведением. Компоненты отведения/приведения в норме являются минимальными.

Движения пятого луча вокруг оси более ограничены и происходят при противоположной организации компонентов: тыльное сгибание сопровождается эверсией и отведением, а подошвенное — инверсией и приведением.

Движения ППС не считаются движениями пронации/супинации, так как их составные части не столь постоянны, как компоненты движений ТПЛ и поперечного предплюсневой сустава.

Ось третьего луча почти совпадает с фронтальной осью; доминирующим движением, таким образом, является тыльное/подошвенное сгибание.

Оси второго и четвертого лучей Nicks определены не были, однако они рассматриваются как промежуточные между соседними осями первого и пятого лучей соответственно. Второй луч движется по оси, которая отклонена в сторону оси первого луча, но в меньшей степени. Четвертый луч движется вокруг оси,

Таблица 8.2

**Движения лучей стопы**

	<b>Тыльное сгибание</b>	<b>Подошвенное сгибание</b>
Первый луч	Инверсия Легкое приведение	Эверсия Легкое отведение
Второй луч	Легкая инверсия	Легкая эверсия
Третий луч	—	—
Четвертый луч	Легкая эверсия	Легкая инверсия
Пятый луч	Эверсия Легкое отведение	Инверсия Легкое приведение

которая похожа, но менее крута, чем ось пятого луча. Наименее мобильным из пяти считается второй луч.

В табл. 8.2 приводятся движения всех пяти лучей при тыльном и подошвенном сгибании ППС.

**Действия.** Движения ППС в некоторой степени взаимозависимы, как и движения пястно-запястного сустава кисти. ППС, подобно ПЗ суставу, также участвуют в углублении и уплощении свода стопы. Активно действующая сила тыльного сгибания, направленная через ненагруженный ППС, одновременно разгибает пять плюсневых костей, также создавая инверсию в первых двух лучах и эверсию в двух последних лучах. Противоположные движения, сопровождающие тыльное сгибание, уплощают контур подошвенной поверхности стопы.

При активной силе подошвенного сгибания, действующей через ненагруженный ППС, ППС производит сгибание с одновременной эверсией первых двух лучей и инверсией двух последних. Такое действие увеличивает «чашеобразность» подошвенной поверхности стопы.

Вместе с тем релевантность движений ППС обнаруживается более четко не столько в свободной стопе (открытая цепь), сколько в стопе, несущей вес (закрытая цепь).

**Скручивание супинации.** Когда задняя часть стопы выполняет значительную пронацию при поддержке веса, поперечный предплюсневый сустав обычно выполняет супинацию для создания противоположно направленной ротации переднего отдела стопы.

Если амплитуда супинации поперечного предплюсневого сустава оказывается недостаточной для того, чтобы соответствовать требованиям силы пронации, медиальная часть переднего отдела стопы начинает давить на опору, а латеральная сторона приподнимается.

При попытке сохранить контакт с почвой первый и второй лучи выводятся в тыльное сгибание, а четвертый и пятый — в подошвенное сгибание.



*Рис. 8.20. Предельная пронация стопы сопровождается приведением головки таранной кости, эверсией пяточной кости и пронацией в поперечном предплюсневом суставе (необязательном). Если передний отдел стопы должен оставаться на земле, предплюсне-плюсневый сустав для противодействия должен выполнить скручивание супинации*

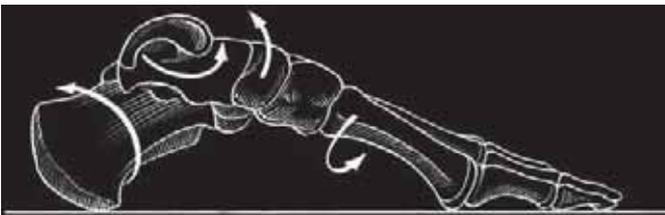
На рис. 8.20 в качестве примера такого скручивания супинации показана реакция сегментов стопы на сильный момент пронации через ТПЛ.

Поперечный предплюсневый сустав в ответ на движение заднего отдела стопы может давать только ограниченную по амплитуде супинацию и для полной подстройки переднего отдела требует скручивания супинации ППС.

При скручивании конфигурация переднего отдела стопы не является постоянной; она может меняться в соответствии с потребностями поддержки веса в стопе и особенностями почвы.

**Скручивание пронации.** Когда задняя часть стопы и поперечный предплюсневый сустав запираются в супинации, подстройка переднего отдела стопы ложится целиком на ППС.

При супинации заднего отдела стопы передний отдел стремится приподняться с внутренней стороны и надавить на опору внешней стороной. Первый и второй лучи, для сохранения контакта с почвой, идут в подошвенное сгибание, а четвертый и пятый — в тыльное сгибание. Так как подошвенное сгибание пер-



*Рис. 8.21. Предельная супинация стопы сопровождается отведением головки таранной кости, инверсией пяточной кости и супинацией в поперечном предплюсневом суставе. Если передний отдел стопы должен оставаться на земле, предплюсне-плюсневый сустав для противодействия должен выполнить скручивание пронации*

Компонент ротации, сопровождающий тыльное сгибание первого и второго лучей и подошвенное сгибание четвертого и пятого лучей, является инверсией. Соответственно, вся передняя часть стопы идет в инверсионную ротацию вокруг гипотетической оси второго луча. Эту ротацию называют *скручиванием супинации* ППС.

На рис. 8.20 в качестве примера такого скручивания супинации показана реакция сегментов стопы на сильный момент пронации через ТПЛ.

Поперечный предплюсневый сустав в ответ на движение заднего отдела стопы может давать только ограниченную по амплитуде супинацию и для полной подстройки переднего отдела требует скручивания супинации ППС.

При скручивании конфигурация переднего отдела стопы не является постоянной; она может меняться в соответствии с потребностями поддержки веса в стопе и особенностями почвы.

**Скручивание пронации.** Когда задняя часть стопы и поперечный предплюсневый сустав запираются в супинации, подстройка переднего отдела стопы ложится целиком на ППС.

При супинации заднего отдела стопы передний отдел стремится приподняться с внутренней стороны и надавить на опору внешней стороной. Первый и второй лучи, для сохранения контакта с почвой, идут в подошвенное сгибание, а четвертый и пятый — в тыльное сгибание. Так как подошвенное сгибание пер-

вого и второго лучей и тыльное сгибание четвертого и пятого лучей сопровождаются эверсией, весь передний отдел выполняет скручивание пронации.

Конфигурация скручивания пронации, как и скручивания супинации, может варьировать. Хотя скручивание про-

нации может обеспечивать адекватную контрротацию при умеренной супинации заднего отдела стопы, оно может так же адекватно сохранять стабильность переднего отдела при предельной супинации.

На рис. 8.21 показана ротация, сообщенная нагруженной стопе латеральной ротацией нижней конечности, или супинацией ТПЛ сустава.

Скручивание пронации и супинации ППС происходит только тогда, когда функция поперечного предплюсневого сустава недостаточна, т.е. когда этот сустав неспособен выполнять контрротацию или если его амплитуда недостаточна для полной компенсации позиции заднего отдела стопы.

## 8.6. ПЛЮСНЕФАЛАНГОВЫЕ СУСТАВЫ

Пять плюснефаланговых суставов (ПФС, см. рис. 8.19) представляют собой мышечелковые синовиальные суставы с двумя степенями свободы: разгибание/сгибание (или тыльное/подошвенное сгибание) и отведение/приведение.

Хотя обе степени свободы могут быть полезными для ПФС в тех редких случаях, когда стопу используют для хватательных действий, доминирующими функциональными движениями в этих суставах являются все же сгибание и разгибание.

При нагруженной стопе разгибание пальцев позволяет телу пройти над стопой; пальцы при этом динамически уравнивают действующий сверху вес тела, надавливая на опорную поверхность за счет активности сгибателей пальцев.

### 8.6.1. СТРОЕНИЕ ПЛЮСНЕФАЛАНГОВОГО СУСТАВА

ПФС проксимально образованы головками пястных костей, а дистально — основаниями проксимальных фаланг.

Плюсневые кости могут быть разной длины. У 56% людей самой длинной является вторая плюсневая кость, следующей за ней идет первая плюсневая кость, затем, по порядку, идут кости с третьей по пятую.

Паттерн длины плюсневых костей называется «*указательный минус стопа*». У 28% людей первая плюсневая кость равна по длине второй кости, что называется «*указательный плюс-минус стопа*». У 16% людей вторая плюсневая кость короче первой (это называется «*указательный плюс стопа*»). Паттерн длины плюсневых костей может создавать человеку определенные проблемы с ПФС и пальцами ног.

ПФС стопы структурно аналогичны пястно-фаланговым суставам кисти, хотя в этой аналогии есть ряд исключений. В отличие от того, что мы видим в ПФС кисти, амплитуда разгибания ПФС стопы больше амплитуды сгибания.

Все головки плюсневых костей в положении стоя несут вес. Соответственно, суставной хрящ на подошвенной стороне головки плюсневой кости должен останавливаться ближе к ее несущей вес поверхности. Это ограничивает возможную амплитуду ПФС.

Поскольку в первом ППС нет возможности противопоставления, первый палец стопы движется в той же плоскости, что и остальные четыре пальца.

Первый ПФС стопы, как и первый ПФС кисти, имеет две сезамовидные кости. При нейтральном положении сустава сезамовидные кости находятся в двух бороздах, разделенных межсезамовидным гребнем. Связки, связанные с сезамовидными костями, образуют треугольную массу, стабилизирующую кости в бороздах.

Сезамовидные кости служат анатомическими блоками для короткого сгибателя большого пальца ноги и защищают сухожилие длинного сгибателя большого пальца от связанных с поддержкой веса травм при его прохождении через туннель, образуемый сезамовидными костями и межсезамовидной связкой, соединяющей их подошвенные поверхности.

В отличие от костей руки, сезамовидные кости стопы делят приходящийся на них вес тела с относительно крупной четырехугольной головкой первой плюсневой кости.

При разгибании пальца более чем на  $10^\circ$  сезамовидные кости покидают борозды и могут стать неустойчивыми. Хроническая латеральная нестабильность может приводить к деформации ПФС.

Стабильность ПФС обеспечивается подошвенными подушечками, коллатеральными связками и глубокой поперечной плюсневой связкой.

Подушечки подошвы структурно аналогичны подушечкам кисти. Эти волокнисто-хрящевые структуры четырех меньших пальцев дистально соединены с основаниями проксимальных фаланг, а проксимально срастаются с суставными капсулами и с глубокой поперечной плюсневой связкой.

Коллатеральные связки имеют два компонента: собственную, или фаланговую, часть, которая параллельна плюсневым костям и фалангам, и вспомогательный компонент, который идет по диагонали от головки плюсневой кости к подошвенной подушечке. Подошвенные подушечки защищают нагружаемую весом подошвенную поверхность головок плюсневых костей и, вместе с коллатеральными связками, способствуют устойчивости ПФС.

Deland с коллегами отметили, что подушечки и коллатеральные связки образуют «прочный ящик из мягкой ткани», связанный с боками головок плюсневых костей и поддерживающий ПФС. Он отметил также, что сухожилия длинного сгибателя идут в бороздах в своих оболочках, которые помогают сухожилиям сохранять положение при пересечении ПФС.

Сезамовидные кости и толстая подошвенная капсула первого ПФС заменяют подушечки, имеющиеся в других пальцах.

### 8.6.2. ФУНКЦИЯ ПЛЮСНЕФАЛАНГОВОГО СУСТАВА

Хотя ПФС имеют две степени свободы, сгибание/разгибание является гораздо более важной функцией, чем отведение/приведение.

В исследовании было показано, что разгибание первого ПФС может составлять до 82°, а сгибание — до 17°. Амплитуда варьирует в зависимости от относительной длины плюсневых костей и условий (совершаются движения в условиях поддержки веса или без него). АД первого ПФС также может зависеть от степени тыльного или подошвенного сгибания ППС и уменьшается с возрастом.

Функция ПФС направлена, прежде всего, на обеспечение движения по типу «дверной петли» в пальцах и соответствующий отрыв пятки от опоры с одновременным сохранением небольшой, но динамической опорной базы, создаваемой пальцами ног и их мускулатурой. Эта функция расширена за счет двух структурных аспектов ПФС: плюсневого разрыва и влияния разгибания ПФС на подошвенный апоневроз.

**Разгибание. Плюсневый перегиб.** Понятие *плюсневого перегиба* относится к одиночной кривой оси, которая идет через головки второй–пятой плюсневых костей, и вокруг которой происходит разгибание пальцев при поддержке веса. Наклон этой оси создается за счет уменьшения длины плюсневых костей со второй по пятую; он имеет достаточную индивидуальную вариабельность.

Плюсневый перегиб может составлять от 54 до 73° по отношению к продольной оси стопы. Перегибом он называется потому, что именно здесь опорная стопа работает как дверная петля при подъеме пятки.

Для того чтобы оторвать от опоры пятку опорной ноги, необходимо активное сокращение мышц подошвенного сгибания голеностопного сустава. Большинство из этих мышц (что будет рассматриваться позднее) участвует в супинации заднего отдела стопы и прямо либо косвенно (через ТПЛ сустав) в супинации поперечного предплюсневого сустава.

Мышцы не могут поднять вес тела, если суставы заднего отдела стопы и среднего отдела не находятся в полной супинации и заперении, т.е. пятка отрывается от опоры тогда, когда стопа от пяточной кости до плюсневых костей становится одним жестким рычагом.

Жесткий рычаг вращается вокруг плюсневого перегиба (ось ПФС) (рис. 8.22).

В этот период разгибания ПФС головки плюсневых костей проскальзывают в заднем и подошвенном направлениях по подошвенным подушечкам и фалангам, стабилизированной поверхностью опоры. Площадью опоры становятся пальцы, и для сохранения устойчивости именно через них должна проходить линия тяжести тела.



*Рис. 8.22. Плюсневый перегиб распределяет вес по головкам плюневых костей при подъеме пятки*

Диагональное направление комбинированной оси ПФС служит для более равномерного распределения веса тела по пальцам, которое было гораздо менее ровным при сохранении оси в строго фронтальном направлении.

Если вес тела смещается вперед через стопу, а стопа поднимается строго вокруг фронтальной оси ПФС, на первую и вторую плюневые кости приходится явно лишний вес. От этих двух пальцев также требовалась бы непропорционально большая

амплитуда разгибания. Диагональ плюневого перегиба смещает вес кнаружи, минимизируя тем самым нагрузку на первые два пальца.

**Подошвенный апоневроз** — это плотная фасция, идущая почти по всей длине стопы. Она начинается сзади на пяточной кости и продолжается в переднем направлении, прикрепляется пальцевидными отростками к подошвенным подушечкам, а затем, проходя через них далее, к проксимальным фалангам каждого из пальцев.

Когда пальцы разгибаются в ПФС (независимо от того, является движение активным или пассивным, с поддержкой веса или без него), апоневроз прогрессивно натягивается и проксимальные фаланги проскальзывают дорсально по отношению к плюневым костям. Крупные головки плюневых костей прекращают действовать как блоки, вокруг которых натягивается апоневроз.

Эта роль апоневроза выражена лучше всего результатами Deland с коллегами, которые показали, что волокнистый хрящ подошвенных подушечек организован не только для сопротивления компрессионным усилиям при поддержке веса, но и для сопротивления нагрузкам растяжения, действующим через натянутый подошвенный апоневроз.

Натяжение апоневроза может способствовать супинации стопы при подтягивании пятки к пальцам (рис. 8.23).

Когда суставы заднего отдела стопы и среднего отдела под действием усилия подошвенного сгибания при поддержке веса выполняют супинацию и заpirание, продолжение усилия вызывает подъем пятки и разгибание пальцев в плюневом перегибе.

Подошвенный апоневроз натягивается при разгибании в ПФС, поддерживая структуры запертых заднего и среднего отделов стопы, через которые вес тела передается на пальцы.

Натянутый апоневроз также оказывает сопротивление избыточному разгибанию пальцев за счет создания, при натяжении структур, пассивной силы сги-

бания через ПФС. Пассивная сила сгибания помогает активной мускулатуре пальцев прижимать пальцы к опоре для поддержки веса тела в условиях уменьшенной площади опоры.

Механизм подошвенного апоневроза считается наиболее эффективным в первом ПФС, а от второго до пятого ПФС его эффективность постепенно уменьшается. Влияние разгибания ПФС на подошвенный апоневроз будет далее рассматриваться при изучении сводов стопы.

**Сгибание, отведение и приведение.** Сгибание ПФС из нейтрального положения может выполняться только до определенного уровня, причем для опорной стопы оно незначительно. Необходимость в нем возникает только тогда, когда кпереди от плюсневых костей опора внезапно исчезает.

Преимущественно сгибание ПФС происходит при возвращении из разгибания в нейтральное положение.

Аналогичным образом, трудно установить отчетливую функцию отведения и приведения ПФС. Представляется, что подвижность суставов в этом направлении предназначена для поглощения определенных усилий, передаваемых на пальцы плюсневыми костями при их движении в скручивание пронации или супинации.

Отведение первого пальца от плюсневой кости в норме составляет около 15°. Увеличение этого нормального углового отклонения в первом ПФС называется вальгусом большого пальца ноги (*hallux valgus*). Этот вальгус может быть связан с «индексом минус стопы» или с одним из других состояний, в том числе варусным расположением первой плюсневой кости (плюсневый варус).

Результатом может являться уменьшение АД, постепенный латеральный подвывих сухожилий сгибателя, пересекающих первый ПФС, и последующее смещение весовой нагрузки от первого луча к меньшим пальцам.

Излишнее отведение или приведение ПФС можно наблюдать также в случае деформаций отведения или приведения костей или суставов в направлении кзади по стопе. Получающиеся отклонения ПФС могут быть попытками компенсации положения пальца в целях избежать перегрузки какого-либо одного пальца и сохранения плюсневого перегиба для нормальной ходьбы.



**Рис. 8.23.** Подъем свода с разгибанием пальцев происходит за счет воздействия плюснефаланговых суставов на подошвенный апоневроз по типу ворота

## 8.7. МЕЖФАЛАНГОВЫЕ СУСТАВЫ

Межфаланговые (МФ) суставы пальцев являются синовиальными шарнирными суставами с одной степенью свободы — сгибания/разгибания.

Есть пять проксимальных МФ сустава и четыре дистальных МФ сустава.

Каждая фаланга, в принципе, идентична по структуре своему «двойнику» в кисти, хотя и значительно короче.

Функция пальцев заключается в смягчении переноса веса на противоположную стопу при ходьбе и сохранение устойчивости за счет надавливания на опору как в статической стойке, так и, в случае необходимости, при ходьбе.

Относительные длины пальцев могут варьировать. Чаще всего, первый палец длиннее остальных (в 69% случаев). В 22% случаев второй палец может быть длиннее первого, у 9% длина первого и второго пальцев одинакова.

Viladot предположил, что каждая из конфигураций предполагает различные проблемы со стопой, хотя при современной обуви удобнее всего вариант «индекс минус стопа» (вторая плюсневая кость длиннее, чем первая) и более длинный второй палец.

**Своды стопы.** Костная и связочная конфигурация ТПЛ сустава, поперечного плюсневая сустава и ППС вместе образуют структурный свод стопы.

ПФС и пальцы не являются частью свода, но, как мы увидим, могут косвенно влиять на его форму при натяжении подошвенного апоневроза во время разгибания ПФС.

Хотя мы исследовали функции суставов стопы по отдельности и обсуждали влияние каждого сустава на соседние суставы, комбинированные функции лучше всего изучать, наблюдая за поведением арочной структуры стопы.

Свод, или своды, стопы, можно описать как однократно скрученную костно-связочную пластину (рис. 8.24).



*Рис. 8.24. Скрученная костно-связочная пластина стопы, образующая продольный и поперечный своды*

Передний край пластины (образованный головками плюсневых костей) расположен горизонтально и находится в полном контакте с опорой. Задний край пластины (задняя часть пяточной кости) вертикален. Получившееся скручивание между горизонтальным и вертикальным краями создает как горизонтальную, так и вертикальную арку. Нагрузка на пластину (вес тела в опорной фазе) эти арки слегка уплощает. При разгрузке пластины (вес перенесен) упругие своды возвращаются к исходной форме.

Реальным механизмом скручивания и раскручивания костно-связочной пластины явля-

ется движение в ТПЛ суставе, поперечном предплюсневом и плюснефаланговом суставах, которые связывают образующие пластину кости. Скрученная пластина, при помощи составляющих ее суставов, является опорным механизмом, предназначенным для того, чтобы облегчать поглощение и распределение веса тела по стопе в опорных фазах и при изменении конфигурации почвы.

Simkin и Leichter отмечают, что стопа может накапливать энергию растяжения и высвобождать ее при «квазиэластической» отдаче, что защищает кости нижних конечностей от переломов при нагрузках. Контрротации, которые возникают при скручивании и раскручивании пластины, помогают сохранять вертикальное положение голени при амортизации.

Конфигурация сводов, наблюдаемая у взрослых, отсутствует при рождении, однако развивается с момента, когда ребенок встает и начинает ходить (т.е. когда вес начинает приходиться на стопу).

Gould с коллегами исследовали детей в возрасте от 11 до 14 месяцев и обнаружил у них уплощенный свод. К 5-летнему возрасту, когда дети достигают схожих со взрослыми параметров ходьбы, у большинства из них развивается такой же свод, как у взрослых.

### 8.7.1. СТРУКТУРА

Хотя концепция однократно скрученной костно-связочной пластины дает наилучшее представление о своде стопы взрослого человека, свод более традиционно рассматривают как состоящий из двух отдельных арок: продольного и поперечного сводов стопы.

Продольный свод описывается как арка, задним основанием которой является пяточная кость, а передним — головки плюсневых костей. Арка является непрерывной как с внешней, так и с внутренней стороны стопы, но поскольку с внутренней стороны она выше, то ее обычно и используют как сторону отсчета (рис. 8.25).

Поперечная арка, как и продольная, является непрерывной структурой. Ее легче всего визуализировать на уровне передних частей предплюсневых костей и оснований плюсневых костей.



*Рис. 8.25. Медиальная продольная арка (свод) со связочной поддержкой (подошвенные связки — в проекции от внешней стороны стопы)*



**Рис. 8.26.** Поперечный свод:

*a* — на уровне передних предплюсневых костей;  
*b* — на уровне середины плюсневых костей  
 (CU — кубовидная кость; MeC — внутренняя  
 клиновидная кость; MC — средняя  
 клиновидная кость; LC — наружная  
 клиновидная кость)

Так как пластину можно рассматривать как один непрерывный набор взаимозависимых связей, поддержка в одной точке может способствовать укреплению всей пластины.

Поскольку верхняя внутренняя часть пяточно-ладьевидной связки непосредственно укрепляет головку таранной кости, а цервикальная связка (иногда ее считают частью межкостной таранно-пяточной связки) толще и сильнее, чем ее расположенный медиально «партнер», мы можем включить эти структуры в ключевые поддерживающие элементы.

Поддержка со стороны длинной и короткой подошвенных связок представляется менее значимой. Может осуществляться только вторичная поддержка со стороны этих связок, поскольку весовая компрессия, идущая через пяточно-кубовидный сустав, который пересекают эти связки, составляет только половину от усилия, которое приходится на таранно-ладьевидный сустав.

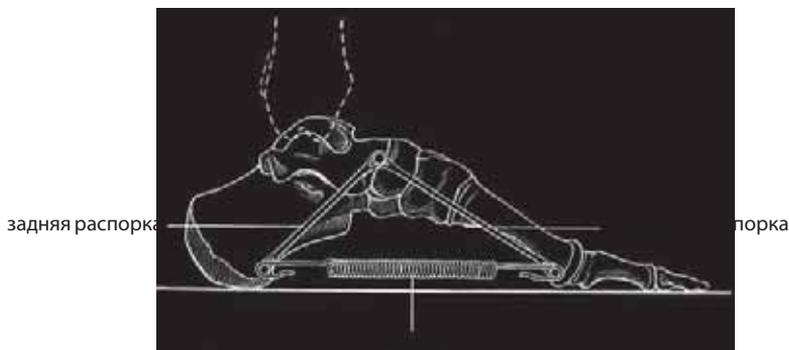
Хотя другие пассивные структуры способствуют поддержке арки, роль подошвенного апоневроза в этом уникальна. Подошвенный апоневроз, при своем прохождении от задней части пяточной кости до оснований проксимальных фаланг пальцев, охватывает всю протяженность скрученной пластинки.

Функцию апоневроза сравнивают обычно с функцией поперечной стяжки в строительной ферме. Ферма и стяжка образуют треугольник: две стойки фермы выступают как стороны треугольника, а стяжка — как основание. Таранная и пяточная кости образуют заднюю распорку, а передняя распорка образуется остальными предплюсневыми и плюсневыми костями (рис. 8.27).

На уровне передних предплюсневых костей ключевой в образовании арки является средняя клиновидная кость (рис. 8.26, *a*).

Верхушкой арки является вторая плюсневая кость, удерживаемая в гнезде. На уровне головок плюсневых костей поперечная арка полностью редуцирована, и все головки плюсневых костей параллельны несущей вес поверхности.

Форма и организация костей частично связаны со стабильностью подошвенных арок. Однако без дополнительной поддержки связи арки коллапсировали бы и свод начал бы раскрутку.



*Рис. 8.27. Функцию стопы можно рассматривать как работу распорок и стяжки, где задней распоркой выступают пяточная и таранная кости, а остальные предплюсневые и плюсневые кости действуют в качестве передней распорки; подошвенный апоневроз здесь действует как натянутая стяжка. Нагрузка на стопу давит на распорки и создает дополнительное натяжение стяжки*

Подошвенный апоневроз, как и стяжка, связывает переднюю и заднюю распорки при воздействии веса на треугольник. Распорки при поддержке веса испытывают компрессионные усилия, а стяжка — усилие растяжения. Увеличивая нагрузку на ферму, т.е. вызывая уплощение треугольника, мы увеличиваем и натяжение стяжки.

Натяжение подошвенного апоневроза становится очевидным, если предпринять попытку активного или пассивного разгибания ПФС и вызвать уплощение треугольника. Амплитуда разгибания ПФС будет ограничена. И наоборот, увеличение высоты треугольника, независимо от стороны, будет вызывать разгрузку стяжки.

Например, когда на большую берцовую кость действует сила латеральной ротации, задний отдел стопы идет в супинацию и подошвенный апоневроз разгружается. При снижении натяжения подошвенного апоневроза увеличивается амплитуда возможного гиперразгибания пальцев. В конце концов, увеличивающееся натяжение стяжки, независимо от нагрузки на стопу, будет стягивать обе распорки вместе, укорачивая основание и увеличивая высоту треугольника. Это явление можно наблюдать при разогнутых ПФС.

Разгибаются ли пальцы со свободным дистальным концом рычага или они разгибаются при отрыве пятки в опорной фазе, апоневроз натягивается и высота арки увеличивается просто за счет прироста пассивного натяжения апоневроза.

Посредством механизма подошвенного апоневроза ПФС (которые в действительности не являются частью костно-связочной пластины) действуют во взаимной зависимости с суставами заднего отдела стопы и могут способствовать супинации стопы за счет влияния разгибания ПФС на подошвенный апоневроз.

Представляется, что мышечная деятельность оказывает незначительную поддержку костно-связочной пластине при нормальном статическом положении стопы.

Однако при ходьбе мышцы, ориентированные как продольно, так и поперечно, становятся активными и участвуют в поддержке скрученной пластины. Основная поддержка при ходьбе поступает от задней большеберцовой мышцы, определенный вклад вносят также длинный сгибатель пальцев, длинный сгибатель большого пальца и длинная малоберцовая мышца.

Мышечная деятельность может вызывать концентрическое скручивание пластины, либо, при эксцентрическом сокращении, контролировать некоторое раскручивание упругой пластины для амортизации и приспособления стопы к неровной поверхности.

### 8.7.2. ФУНКЦИЯ

Хотя арочная структура стопы похожа на структуру ладонных дуг кисти, задачи, выполняемые каждой из этих систем, совершенно различны. Дуги ладони предназначены преимущественно для облегчения хвата и управления, но могут в известной степени облегчать руке некоторые функции при поддержке веса. Движения же стопы для захвата крайне редки и используются очень немногими людьми.

Подошвенные арки (своды) адаптированы исключительно для функций поддержки и распределения веса.

Стопа, при фиксированной структуре арок, может осуществлять следующие стабилизирующие функции:

- 1) распределение веса по стопе;
- 2) превращение стопы в жесткий рычаг.

Однако при нежесткой структуре (и только при таком условии), стопа может выполнять следующие функции подвижности:

- 1) амортизация веса;
- 2) адаптация к изменениям формы поверхности опоры;
- 3) смягчение передающихся сверху ротаций.

**Распределение веса.** Так как стопа не является жестко фиксированной аркой, распределение веса по стопе зависит от формы арки и расположения линии силы тяжести в данный момент.

Однако, как правило, распределение действующего сверху веса тела начинается с таранной кости, так как тело таранной кости принимает на себя весь вес, который идет вниз по ноге; в стойке на двух ногах каждая таранная кость получает по 50% веса тел, в односторонней стойке — 100%.

При статической двусторонней или односторонней стойке, как минимум 50% веса, приходящегося на таранную кость, проходит через заднее подтаранное сочленение к пяточной кости, а 50% или менее идет впереди, через ТПЛ или пяточно-кубовидный сустав, к переднему отделу стопы.

Паттерн распределения веса легко понять, посмотрев на трабекулы костей стопы (рис. 8.28).

По причине более медиального расположения головки таранной кости, через таранно-ладьевидный сустав проходит в два раза больше веса, чем через пяточно-кубовидный. Аналогичным образом происходит распределение веса в переднем крае костно-связочной пластины.

При статической стойке распределение веса в костях плюсны идет в пропорции 2:1:1:1 от первого луча к пятому.

Функция поддержки веса головок плюсовых костей во время ходьбы изменяется, причем со значительной вариабельностью. Действие веса на каждую из головок возрастает по мере приближения к плюсовому перегибу, причем вес, приходящийся на вторую–четвертую головки, обычно больше, чем действующий на первую и пятую головки.

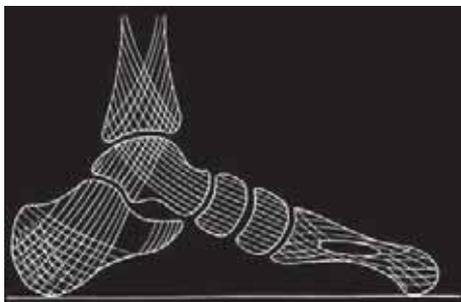
Значительное количество веса, приходящегося на пяточную кость как в стойке, так и при ходьбе, рассеивается за счет подушечки пятки, которая находится с подошвенной стороны пяточной кости. Эта подушечка состоит из жировых клеток, которые находятся в ячейках, образованных фиброзными перегородками. Перегородки, в свою очередь, сверху прикрепляются к пяточной кости, а снизу — к коже.

Роль пяточной подушечки наиболее важна при ходьбе, когда при контакте пятки с почвой нагрузки на пяточную кость составляют от 85 до 100%. При беге эти усилия могут увеличиваться до 250% веса тела.

Эффективность амортизирующего действия подушечки пятки уменьшается с возрастом и сопутствующей старению потерей коллагена, эластичных тканей и воды. Эти изменения заметны у большинства людей в возрасте после 40 лет.

**Подвижность.** Компонент подвижности распределения веса по стопе (амортизация) и адаптации можно наблюдать по реакциям связующих и поддерживающих структур сводов при нагрузке на стопу.

При отсутствии веса подтаранный/ТПЛ сустав обычно находится в легкой супинации, а поперечный предплюсневый сустав находится в нейтральной позиции. При действии веса костно-связочная пластина нагружена. Ответом пластины на нагрузку является эверсия (вальгус) пяточной кости и приведение и подошвенное сгибание головки таранной кости. Движение таранной кости — легкое вдавление (движение вперед и вниз) ладьевидной кости. Дальнейшее



*Рис. 8.28. Трабекулы костей медиальной части стопы*

вдавление таранной кости останавливается натяжением поддерживающих структур свода.

Если вес далее не увеличивается (как в статической двусторонней стойке), происходит пронация ТПЛ сустава в нейтральную позицию и полная пронация поперечного предплюсневого сустава. Чистый эффект заключается в амортизации части действующего сверху веса за счет компрессии хряща в нагруженных суставах, раскручивания пластины и упругости поддерживающих структур.

Если почва неровная и требуется пронация переднего отдела стопы, скручивание пронации передней части стопы и ППС может начинаться раньше, чем произойдет дальнейшая пронация заднего отдела (максимальное раскручивание пластины).

Если от стопы требуется супинация, реагировать могут как поперечный предплюсневый сустав, так и ППС, причем реакция произойдет еще до того, как задняя часть стопы начнет реверс из положения пронации. По причине упругости поддерживающих структур сводов, разгрузка стопы восстанавливает исходную форму сводов и выравнивание суставов.

Способность стопы к амортизации ротаций ноги считается функцией подвижности. Это становится ясно, если скручивание большой берцовой кости вызывается медиально действующей ротационной силой. Происходит не только ответная пронация ТПЛ сустава, но вся стопа сохраняет способность приспосабливаться к изменениям конфигурации почвы. ТПЛ сустав будет выполнять супинацию, как и поперечный предплюсневый сустав. ППС осуществляет скручивание пронации для удержания головок плюсневых костей на опоре, скручивание костно-связочной пластины увеличивается. Хотя ротация большой берцовой кости поглощается, пластина дальше скручиваться уже не может и прекращает быть подвижной.

ППС сохраняют способность реагировать только на те изменения конфигурации почвы, которые требуют скручивания супинации и соответствующего незначительного раскручивания пластины. Любое другое изменение поверхности опоры поведет всю скрученную пластину латерально или будет требовать отпирания заднего отдела стопы и перехода силы, скручивающей большую берцовую кость в латеральное направление.

## **8.8. МЫШЦЫ ГОЛЕНОСТОПНОГО СУСТАВА И СТОПЫ**

В голеностопном суставе и стопе нет мышц, которые пересекают или воздействуют только на один сустав. Все они воздействуют как минимум на два сустава или комплекса суставов. Мышечная активность вызывает действия суставов, которые зависят от угла тяги мышцы относительно оси сустава.

В стопе сустав могут пересекать две оси, и моментальная ось вращения может сильно варьировать между предельными значениями амплитуды сустава. Мышечное действие еще более усложняется за счет взаимозависимого характера суставов лодыжки и стопы.

Таким образом, хотя мы и представляем краткий обзор функции мышц, их деятельность лучше всего изучать в контексте актуальной функции в статической позе и при ходьбе.

### 8.8.1. НАРУЖНАЯ МУСКУЛАТУРА

**Подошвенные сгибатели лодыжки.** Икроножная мышца идет от двух головок на мыщелках бедренной кости и прикрепляется посредством ахиллова (пяточного) сухожилия к самой задней части пяточной кости.

Камбаловидная мышца находится глубже икроножной, начинается на большой и малой берцовых костях, и прикрепляется вместе с икроножной мышцей к задней поверхности пяточной кости.

Две головки икроножной мышцы и камбаловидной мышцы вместе известны под названием трехглавой мышцы голени; они являются основными подошвенными сгибателями голеностопного сустава.

Ахиллово сухожилие прикрепляется к пяточной кости далеко от оси сустава и создает большое плечо момента (ПМ); оно проходит чуть внутреннее осей подтаранного и ТПЛ суставов, и активность икроножной и камбаловидной мышц как вместе, так и по отдельности вызывает сильную супинацию заднего отдела стопы.

Активность икроножной и камбаловидной мышц при нагруженной стопе запирает стопу в жесткий рычаг как путем непосредственной супинации ТПЛ сустава, так и путем косвенной супинации в поперечном предплюсневом суставе. Продолжение усилия подошвенного сгибания поднимает пятку и вызывает подъем свода.

Подъем свода трехглавой мышцей голени легко наблюдать у большинства людей, когда они выполняют активное подошвенное сгибание при нагруженной стопе (рис. 8.29).

Подъем свода происходит за счет скручивания костно-связочной пла-



*Рис. 8.29. Действия трехглавой мышцы голени при фиксированной стопе вызывают подошвенное сгибание в голеностопном суставе, супинацию таранно-пяточно-ладьевидного сустава и подъем продольного свода*

стины, когда задний отдел стопы идет в супинацию, а также за счет натяжения подошвенного апоневроза при разгибании ПФ сустава.

Имеются некоторые противоречия в отношении роли трехглавой мышцы голени. Klein с коллегами показали наличие большой вариабельности величины плеча момента и линии тяги трицепса по отношению к подтаранной оси даже у одних и тех же людей. В исследовании на трупах авторы показали, что трехглавая мышца голени действует как супинатор, если подтаранный сустав находится в пронации, и как пронатор, если этот же сустав находится в супинации.

Thordarson с коллегами, также в исследованиях на трупах, приписывали эффект уплощения стопы трехглавой мышце голени. Хотя активность трехглавой мышцы голени у живых людей обычно связана с супинацией ТПЛ сустава, следует учитывать, что функция этой мышцы в ТПЛ суставе может быть различной у разных людей, особенно в случае аномальной пронации или супинации сустава.

Другими мышцами подошвенного сгибания голеностопного сустава являются: подошвенная мышца, задняя большеберцовая мышца, длинный сгибатель большого пальца, длинный сгибатель пальцев, а также длинная и короткая малоберцовые мышцы.

Хотя каждая из этих мышц проходит позади оси сустава, ПМ подошвенного сгибания их слишком мало, и они создают в суставе всего 5% общего усилия подошвенного сгибания.

Подошвенная мышца настолько слаба, что ее функцией, по сути, можно пренебречь.

Задняя большеберцовая мышца является преимущественно супинатором стопы. Она имеет большое ПМ как для ТПЛ, так и для поперечного предплюсневого сустава, хотя ее относительно небольшая площадь поперечного сечения позволяет ей создавать только половину момента супинации, развиваемого камбаловидной мышцей. Кроме того, задняя большеберцовая мышца считается важным динамическим участником поддержки свода стопы во время ходьбы.

Дисфункция задней большеберцовой мышцы может быть важным и даже ключевым элементом, ведущим к приобретенному плоскостопию.

Длинный сгибатель большого пальца и длинный сгибатель пальцев проходят по продольной внутренней дуге и помогают поддержанию свода при ходьбе. Эти мышцы прикрепляются к дистальным фалангам каждого пальца и заставляют их сгибаться.

Сгибание МФ сустава большого пальца сгибателем большого пальца создает давление пальца на опору (рис. 8.30, а).

Сгибание дистальных и проксимальных фаланг остальных пальцев длинным сгибателем пальцев вызывает хватательное действие, которое может создавать так называемую *коггистую лапу* (разгибание ПФС при сгибании МФ суставов),

похожую на ту, которая возникает в кисти, если проксимальную фалангу не стабилизируют внутренние мышцы (рис. 8.30, *b*).

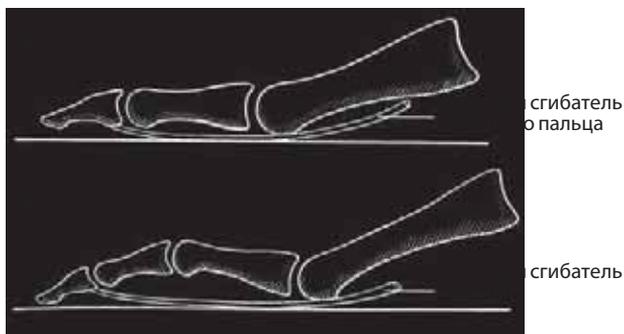
Как и в кисти, активность межкостных мышц может стабилизировать ПФ сустава и предотвращать их гиперразгибание.

Длинная и короткая малоберцовые мышцы являются первичными пронаторами ТПЛ сустава, причем каждая из них имеет значительное ПМ.

Хотя ПМ подтаранной пронации невелико, длинная малоберцовая мышца осуществляет подошвенное сгибание и пронацию первого луча, к которому она прикрепляется. Это действие облегчает перенос веса с внешней на внутреннюю сторону стопы и стабилизирует первый луч, когда сила реакции опоры пытается перевести его в тыльное сгибание.

На долю длинной малоберцовой мышцы приходится также поддержка поперечного и наружного продольного свода. Это кажется противоречивым в отношении ее функции пронатора, однако сухожилие длинной малоберцовой мышцы охватывает предплюсневые кости в поперечном направлении и проходит под кубовидной костью, тем самым ограничивая ее уход вниз (рис. 8.31).

Аналогичным образом длинная малоберцовая мышца может способствовать скручиванию пронации переднего отдела стопы в то время, как задний отдел находится в супинации, что увеличивает скручивание костно-связочной пластины.



**Рис. 8.30.** *a* — действие длинного сгибателя большого пальца заставляет дистальную фалангу большого пальца прижиматься к опоре; *b* — действие длинного сгибателя пальцев заставляет четыре остальных пальца стопы «захватывать» почву



**Рис. 8.31.** Сухожилие длинной малоберцовой мышцы проходит под стопой и поперек нее. Активное сокращение мышцы поддерживает поперечный свод стопы и скрученную костно-связочную пластину

Стабильность каждого малоберцового сухожилия зависит от целостности верхнего и нижнего малоберцового удерживателя. Растяжения латеральных структур могут влиять на малоберцовый удерживатель, участвующий в поддержке латеральной части лодыжки и подтаранной опоре.

Вялость верхнего удерживателя, в частности, может приводить к подвывиху малоберцовых сухожилий и отслоению короткой малоберцовой мышцы, при ее не лимитированной экскурсии, от малоберцовой лодыжки.

**Тыльные сгибатели голеностопного сустава** — передняя большеберцовая мышца, длинный разгибатель большого пальца, длинный разгибатель пальцев и третичная малоберцовая мышца.

Передняя большеберцовая мышца и длинный разгибатель большого пальца являются сильными тыльными сгибателями голеностопного сустава, но могут также незначительно создавать супинацию ТПЛ сустава.

Передняя большеберцовая мышца и длинный разгибатель большого пальца являются единственными супинаторами, которые активны при первом контакте пятки с опорой во время ходьбы, т.е. в фазе, когда на задний отдел стопы действует значительная сила пронации. Передняя большеберцовая мышца, однако, может развивать силу пронации только слегка бóльшую, чем сила супинации задней большеберцовой мышцы.

Длинный разгибатель большого пальца является более слабым супинатором, чем передняя большеберцовая мышца.

Супинаторное действие передней большеберцовой мышцы может измениться на противоположное, если линия тяги проецируется на внешнюю сторону от оси подтаранного сустава, что может наблюдаться при избыточной пронации стопы.

Длинный разгибатель большого пальца также разгибает ПФ сустав большого пальца. Если длинный разгибатель большого пальца выполняет попытку выполнить тыльное сгибание стопы без помощи передней большеберцовой мышцы, в первом пальце возникает тенденция к одновременному образованию «когтя».

Длинный разгибатель большого пальца и третичная малоберцовая мышца являются относительно слабыми тыльными сгибателями и пронаторами стопы. Длинный разгибатель большого пальца также производит разгибание ПФ суставов остальных четырех пальцев. Его строение и функция в ПФ и МФ суставах идентичны разгибателю пальцев кисти.

Вместе взятые мышцы, выполняющие супинацию, слабее, чем мышцы, выполняющие пронацию. Именно поэтому расслабленная и не нагруженная весом стопа возвращается в позицию легкой подтаранной инверсии и нейтрального положения предплюсневого сустава.

Таблица 8.3

**Внутренние мышцы стопы**

Мышца	Функция	Аналог в кисти
Короткий разгибатель пальцев	Разгибание ПФ суставов	Нет
Отводящая мышца большого пальца	Отведение и сгибание ПФ сустава большого пальца	Короткая отводящая мышца большого пальца
Короткий сгибатель пальцев	Сгибание ПМФС пальцев, кроме большого	Поверхностный сгибатель пальцев*
Отводящая мышца пятого пальца	Отведение и сгибание малого пальца	Отводящая мышца мизинца
Квадратная мышца подошвы	Выравнивание диагональной тяги длинного сгибателя пальцев в одну линию с продольными осями пальцев	Нет
Червеобразные мышцы	Сгибание ПФС и разгибание МФС четырех пальцев, кроме большого	Червеобразные мышцы
Короткий сгибатель большого пальца	Сгибание ПФС большого пальца	Короткий сгибатель большого пальца
Приводящая мышца большого пальца	Косая головка: приведение и сгибание ПФС большого пальца Поперечная головка: поперечное приведение головок плюсневых костей	Приводящая мышца большого пальца
Сгибатель пятого пальца	Сгибание ПФС пятого пальца	Сгибатель пятого пальца
Межкостные подошвенные мышцы	Приведение ПФС 3–5-го пальцев, сгибание ПФС и разгибание МФС 2–5-го пальцев	Межкостные мышцы ладони
Тыльные подошвенные мышцы	Отведение ПФС 2-го пальца (любое направление), отведение ПФС 3–4-го пальцев, сгибание ПФС, разгибание МФС 2–5-го пальцев	Тыльные мышцы кисти

*Примечание:* поверхностный сгибатель пальцев кисти является наружной мышцей, тогда как короткий сгибатель пальцев стопы относится к внутренним мышцам: ПФС — плюснефаланговый сустав; ПМФС — проксимальный межфаланговый сустав; МФС — межфаланговый сустав.

**8.8.2. ВНУТРЕННЯЯ МУСКУЛАТУРА**

Функцию внутренних мышц стопы лучше всего изучать, сравнивая каждую такую мышцу с соответствующим аналогом в кисти. Хотя большинство людей не могут использовать мышцы стопы таким же образом, как мышцы кисти, потенциальная возможность такого их применения ограничена только отсутствием противопоставления большого пальца и длиной остальных пальцев.

Внутренние мышцы стопы чаще всего низводят до роли стабилизаторов пальцев и важных исполнителей динамической поддержки поперечного и продольного сводов стопы при ходьбе.

Внутренние мышцы большого пальца присоединяются прямо или косвенно к сезамовидным костям и способствуют стабилизации этих несущих вес структур.

Механизм разгибателя пальцев стопы — практически тот же самый, что и разгибателя пальцев кисти. Длинный и короткий разгибатели пальцев являются разгибателями плюснефаланговых суставов.

Активность червеобразных мышц и тыльных и подошвенных межкостных мышц сохраняет или вызывает разгибание в МФ суставах. Что, возможно, более важно, внутренние мышцы пальцев (как сгибатели ПФС) могут эксцентрически способствовать контролю разгибания пальцев, косвенно вызываемому подошвенными сгибателями голеностопного сустава.

Функции внутренних мышц стопы перечислены в табл. 8.3.

## 8.9. ОТКЛОНЕНИЯ ОТ НОРМАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ И ФУНКЦИИ

Сложная взаимная зависимость суставов лодыжки и стопы делает изолированную дисфункцию или аномалию только одного какого-либо сустава или структуры практически невозможной. При возникновении отклонения от нормы обязательно затрагиваются как проксимальные, так и дистальные суставы.

Все врожденные и приобретенные проблемы описать невозможно, однако мы приведем здесь два примера «принципа домино» при деформациях.

### 8.9.1. ПЛОСКОСТОПИЕ

Ключевыми как для функции, так и для дисфункции стопы являются суставы ее заднего отдела. Пронированная, или плоская, стопа (*pes valgus* или *pes planus*) характерна избыточным раскручиванием костно-связочной пластины при поддержке веса.

Положение пронации ТПЛ/подтаранного и поперечного предплюсневого сустава создает (или возникает в результате) медиальную ротационную нагрузку на ногу. Медиальная ротационная нагрузка, или позиция избыточной медиальной ротации, ноги может приводить к различным вероятным проблемам в области коленного сустава, включая чрезмерное угловое отклонение сухожилия коленной чашечки и чрезмерного давления на латеральную фасетку коленной чашечки.

Снижение свода, сопровождающее пронацию ТПЛ и поперечного предплюшневого сустава, может приводить к функциональной неравномерности длины ног, если эта проблема является асимметричной.

Пронация подтаранного сустава может вызвать снижение оси голеностопного сустава и незначительное уменьшение общей длины ноги.

Уменьшение высоты свода также натягивает подошвенные связки и подошвенный апоневроз (стяжку треугольника).

Длительная нагрузка на эти структуры может приводить к циклическим микроскопическим разрывам, боли и воспалению.

При пронации заднего отдела стопы передняя ее часть должна приспособливаться за счет супинации в ТПЛ.

Если адаптивные изменения в тканях выражаются в устойчивой супинации ТПЛ, то это называется *варусом переднего отдела стопы* (по сути, то же самое, что и скручивание супинации).

Варус переднего отдела стопы диагностируется при помощи оценки положения переднего отдела по отношению к поперечной плоскости подтаранного сустава в нейтральной позиции заднего отдела (обычно в безопорном состоянии).

Однако при использовании этого метода оценки многие исследователи ставили диагноз варуса переднего отдела большинству вполне здоровых людей. Эти результаты либо говорят о сомнительности метода выявления нейтрального положения подтаранного сустава, либо выступают не в пользу допущения, что передняя часть здоровой стопы должна обязательно иметь жесткую связь с задним отделом.

При варусе переднего отдела (скручивание супинации), которое сопровождается чрезмерную пронацию заднего отдела, сильное тыльное сгибание первого луча может предотвращать, при несении веса, смещение определенной его поддержки латерально расположенных лучей.

Супинация первого луча, наблюдаемая при его тыльном сгибании, может также создавать излишнюю варусную нагрузку на первый ПФС, результатом чего будет *вальгус большого пальца*.

Вальгус большого пальца, в свою очередь, меняет линию тяги сгибателей первого пальца и может ухудшать отталкивание в конечной стадии опорной фазы.

Наиболее часто встречающейся формой плоскостопия является так называемое *подвижное или гибкое плоскостопие*, при котором свод восстанавливается, когда вес не приходится на стопу.

Лечение направлено в основном на профилактику чрезмерной пронации при нагружаемой стопе за счет контролирования вальгуса (эверсии) пяточной кости.

Если это можно сделать, циклическое натяжение в пассивных структурах прерывается, и влияние его на другие сегменты закрытой цепи уменьшается или исчезает.

### 8.9.2. СУПИНАЦИЯ СТОПЫ

Менее частой, но потенциально более серьезной проблемой является чрезмерная супинация стопы при поддержке веса (т.н. *впалая стопа*).

При впалой стопе ТПЛ/подтаранный и поперечный предплюсневый суставы могут запираются в супинацию, что выключает их из участия в амортизации или адаптации к неровной почве.

Супинация заднего отдела стопы, приводящая к дополнительному скручиванию костно-связочной пластины, может создавать латеральную ротационную нагрузку на ноги (или может быть ею вызвана). Латеральная ротационная нагрузка, в свою очередь, может влиять на структуры коленного сустава.

Неспособность амортизации дополнительной ротации конечности в задней части стопы увеличивает растяжение структур голеностопного сустава, особенно латеральных коллатеральных связок.

Подошвенный апоневроз остается в провисшем состоянии и со временем может укорачиваться (реакция адаптации).

Для сохранения распределения веса по стопе ТПС приходится выполнять пронацию. Это может приводить к хроническому подошвенному сгибанию первого луча.

В отличие от гибкого плоскостопия, эффективных консервативных мер лечения впадой стопы нет. Единственным исключением может быть случай корректируемого ротационного дефицита расположенных выше сегментов ноги, или ситуация, когда вторичных изменений костей или мягких тканей стопы не происходит.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Как функции, так и дисфункции многочисленных структур и суставов, составляющих стопу и лодыжку, весьма сложны. Часто бывает трудно определить, являются ли проблемы первичными или вторичными по отношению к проблемам, находящимся проксимально или дистально от болевой зоны.

Независимо от этого занятия спортом приводят к увеличению количества людей, обращающихся за медицинской помощью из-за проблем со стопой и лодыжкой.

Преодолеть эту тенденцию в известной степени поможет усовершенствование исследований и технологий, связанных с обувью.

Маловероятно вместе с тем, что даже самая технологичная обувь будет одновременно учитывать разнообразные требования подвижности и стабильности, предъявляемые суставами нижних конечностей, не говоря уже об огромном числе индивидуальных различий.

## ГЛАВА 9

# ВИСОЧНО-НИЖНЕЧЕЛЮСТНОЙ СУСТАВ

Височно-нижнечелюстной сустав (ВНЧС) уникален.

Нижняя челюсть — это подковообразная кость, которая имеет на каждом из своих концов сочленение с височной костью, в силу чего образуются два совершенно отдельных, но прочно связанных друг с другом сустава.

Кроме двух отдельных сочленений, каждый из ВНЧС имеет диск, который, в свою очередь, разделяет ВНЧС на верхний и нижний сустав. Таким образом, любое движение нижней челюсти оказывает влияние на четыре отдельных сустава.

Каждый ВНЧС образован сочленением мыщелка (или головки) нижней челюсти с суставным бугорком височной кости и находящимся между ними суставным диском.

Сустав, образуемый мыщелком нижней челюсти и нижней поверхностью диска, является блоковидным суставом.

Сустав, образуемый суставным бугорком и верхней поверхностью диска, является плоским, или скользящим, суставом.

Sicher и Nylander описывают сустав как блоковидный (или шарнирный) сустав с подвижными суставными ямками.

ВНЧС является суставом синовиальным, хотя гиалиновый хрящ, выстилающий суставные поверхности, в нем отсутствует. Поверхности покрыты плотной коллагеновой тканью, которую рассматривают, скорее, как волокнистый хрящ.

ВНЧС уникален также и с функциональной точки зрения. Очень немногие суставы движутся с той же частотой, что и ВНЧС. Кроме движений, возникающих при еде или жевании, которые могут создавать в суставе значительные силы, движение сустава происходит во время разговора и глотания, причем эти движения тонко контролируются и требуют существенно меньших усилий.

Для ВНЧС характерно сочетание сложности, практически непрерывного использования и способности развивать значительную силу и совершать очень тонкие движения.

## 9.1. СТРУКТУРА

### 9.1.1. СУСТАВНЫЕ ПОВЕРХНОСТИ

Нижняя челюсть является «дистальным», или подвижным, сегментом ВНЧС. Она делится на тело и две ветви (рис. 9.1).

Место, в котором соединяются тело и ветви, называется челюстным углом. Нижнечелюстные мышцелки расположены на концах ветвей, в их самой задневерхней части. Каждый мышцелок отходит от ветви медиально на 15–20 мм (рис. 9.2).

Та часть мышцелка, которую можно пальпировать непосредственно перед наружным слуховым проходом уха, является латеральным полюсом.

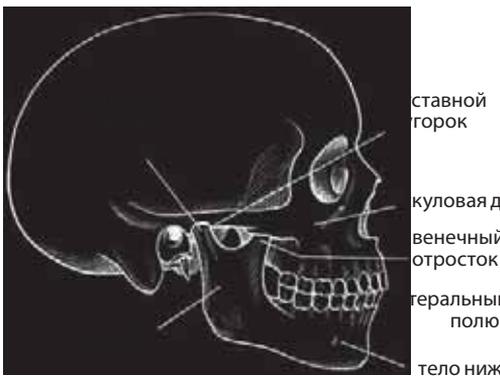
Медиальный полюс находится глубоко и пальпации не поддается. Однако, если вложить кончики пальцев в наружные слуховые проходы и надавить слегка вперед, можно пальпировать мышцелки. Если пациент при этом открывает и закрывает рот, пальцами можно почувствовать движение мышцелков.

Линии, следующие за осью медиальных/латеральных полюсов каждого мышцелка, пересекаются чуть впереди от большого отверстия. Передняя часть мышцелка состоит из трабекулярной кости и является суставной частью мышцелка.

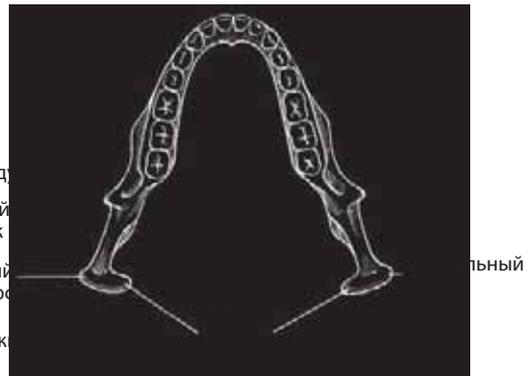
На нижней челюсти имеется еще один выступ, расположенный впереди от мышцелка. Это венечный отросток (см. рис. 9.1).

Когда рот закрыт, венечный отросток скрыт под скуловой дугой, но, если рот открыть, его можно пальпировать ниже дуги. Венечный отросток служит местом прикрепления височной мышцы.

«Проксимальным», или стационарным, сегментом ВНЧС является височная кость. Мыщелки нижней челюсти входят в суставные ямки височной кости.



**Рис. 9.1.** Череп и нижняя челюсть, вид сбоку (по: Perry I.F., Rohe D.A., Garcia O.A. *The Kinesiology Workbook*. F.A. Davis, Philadelphia, 1991. P. 162)



**Рис. 9.2.** Нижняя челюсть, вид сверху (нижняя челюсть отделена от черепа). Хорошо видны медиальный и латеральный полюса нижней челюсти

Суставная ямка расположена между задним суставным гребнем и суставным бугорком височной кости (рис. 9.1, 9.3).

При поверхностном осмотре суставная ямка выглядит как суставная поверхность ВНЧС. При более тщательном рассмотрении видно, что кость в этой области тонкая и полупро-

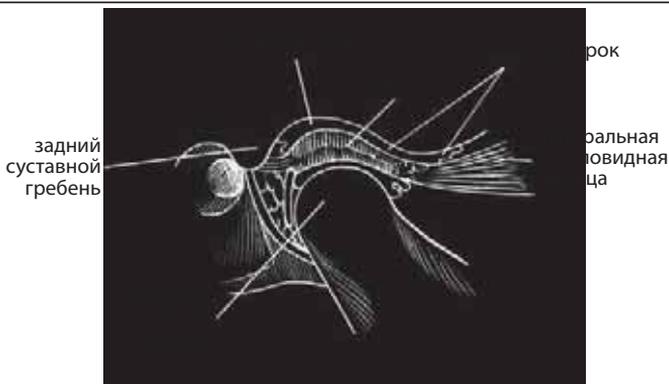
зрачная и для выполнения функции суставной поверхности не подходит. Суставной бугорок в большей своей части представлен трабекулярной костью и служит первичной суставной поверхностью ВНЧС.

Суставные поверхности мыщелка и суставного бугорка височной кости покрыты плотной коллагеновой, лишенной сосудов тканью, в которой содержится некоторое количество хрящевых клеток. Поскольку некоторые клетки являются хрящевыми, это покрытие часто называют волокнистым хрящом. Наибольшее количество волокнистого хряща находится на суставном бугорке и передней верхней части мыщелка; это лишний раз доказывает, что они являются основными областями сочленения.

Волокна коллагена в глубоких слоях располагаются перпендикулярно костной поверхности, что дает возможность успешно выдерживать существенные нагрузки. Волокна у поверхности суставного покрытия располагаются параллельно, что облегчает скольжение суставных поверхностей.

Важно то, что здесь присутствует не гиалиновый, а волокнистый хрящ, поскольку волокнистый хрящ способен к восстановлению и перестройке. Обычно волокнистый хрящ встречается в тех областях, которые предназначены выдерживать повторные значительные нагрузки.

Повторные нагрузки при движениях нижней челюсти сочетаются с огромной силой при укусе или пережевывании (порядка 597 N у женщин и 847 N у мужчин). Волокнистый хрящ в суставных поверхностях ВНЧС помогает выдерживать такие нагрузки и может, до определенной степени, восстанавливаться. Вместе с тем суставной диск ВНЧС такими возможностями не обладает.



**Рис. 9.3.** ВНЧС, вид сбоку. Показаны прикрепления капсулы и диск (по: Perry I.F., Rohe D.A., Garcia O.A. *The Kinesiology Workbook*. F.A. Davis, Philadelphia, 1991. P. 163)

### 9.1.2. СУСТАВНОЙ ДИСК

Суставной диск ВНЧС является двояковогнутым, т.е. как нижняя, так и верхняя его поверхности являются вогнутыми.

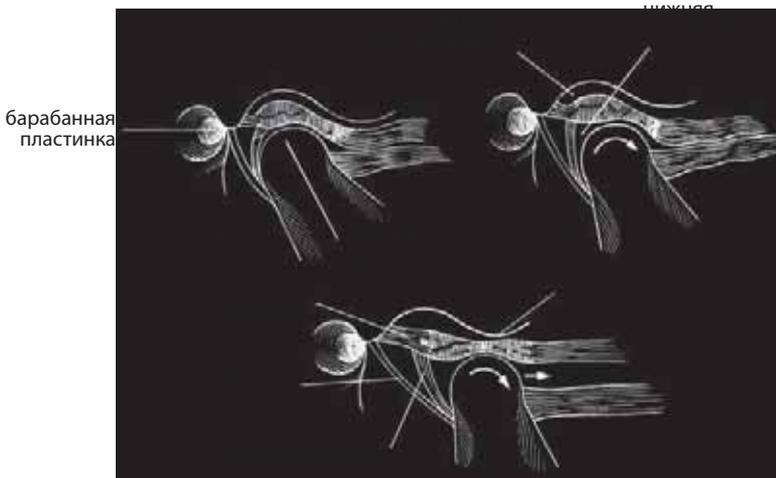
Диск ВНЧС позволяет выпуклой поверхности мыщелка и выпуклой поверхности суставного бугорка (см. рис. 9.3) оставаться конгруэнтными при всех движениях, возможных в данном суставе.

Диск прочно прикреплен к медиальному и латеральному полюсам мыщелка нижней челюсти, но при этом он не имеет медиальных или латеральных прикреплений к суставной капсуле. Это позволяет диску довольно свободно вращаться вокруг мыщелка в переднезаднем направлении.

Спереди диск прикрепляется к суставной капсуле и к сухожилию латеральной крыловидной мышцы. Передние прикрепления ограничивают заднее поступательное смещение диска.

Сзади диск прикрепляется к сложной структуре, компоненты которой вместе называются двупластинчатой (или двухслойной) ретродисковой прокладкой. Каждый из двух тяжей (или пластинок) двупластинчатой ретродисковой прокладки прикрепляется к диску спереди (рис. 9.4, с).

Верхняя пластинка прикрепляется сзади к серповидной пластинке (в задней суставной ямке). Верхняя пластинка состоит из упругих волокон, позволяющих верхнему тяжу растягиваться, также она позволяет диску поступательно смещаться кзади по суставному бугорку во время открытия рта; ее эластические свойства помогают вернуться к прежней позиции (назад) при закрытии рта.



**Рис. 9.4.** Вид ВНЧС сбоку (по: Perry I.F., Rohe D.A., Garcia O.A. *The Kinesiology Workbook*. F.A.Davis, Philadelphia, 1991. P. 163)

Нижняя пластинка прикрепляется к шейке мыщелка и является неупругой. Она служит просто ограничителем диска, лимитируя поступательное смещение вперед, и не способствует возврату в исходную позицию при закрытии рта.

Когда ВНЧС находится в состоянии покоя, ни одна из пластинок двупластинчатой ретродисковой прокладки не находится в напряжении. Между пластинками находится рыхлая соединительная ткань с богатой артериальной и нервной сетью.

Толщина диска различна: 2 мм спереди, 3 мм сзади и 1 мм в середине (рис. 9.4, а). Это помогает диску адаптироваться к костным поверхностям, а также создает большую конгруэнтность суставных поверхностей.

Передняя и задняя части диска насыщены сосудами и нервами, а средняя полоса не содержит ни нервов, ни сосудов. Такое отсутствие сосудистой и нервной сети связано с тем, что на поверхность именно средней части диска приходится основная нагрузка.

### 9.1.3. КАПСУЛА И СВЯЗКИ

Капсула ВНЧС не столь хорошо описана, как многие другие капсулы. По «Анатомии» Грея, сустав поддерживается короткими капсульными волокнами, идущими от височной кости к диску и от диска — к шейке мыщелка. Часть капсулы выше диска довольно рыхлая, тогда как часть капсулы ниже диска плотная. Соответственно, диск имеет более плотные прикрепления к мыщелку ниже и более свободно движется по суставному бугорку выше.

Капсула довольно тонкая и неплотная в передней, медиальной и задней части, однако ее латеральные части довольно прочны и усилены длинными волокнами (от височной кости к мыщелку (см. рис. 9.4, с).

Недостаточная прочность капсулы спереди и неконгруэнтность костных суставных поверхностей делает сустав предрасположенным к переднему вывиху нижнечелюстного мыщелка.

Капсула хорошо иннервируется и содержит множество сосудов, вследствие чего может служить хорошим источником информации о положении и движении сустава.

Основными связками ВНЧС являются: височно-нижнечелюстная связка, шилонижнечелюстная связка и клиновидно-нижнечелюстная связка.

Височно-нижнечелюстная связка — это сильная связка, состоящая из двух частей (рис. 9.5).

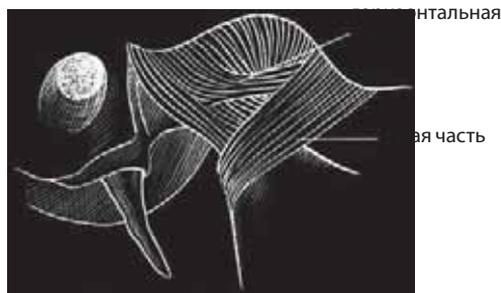
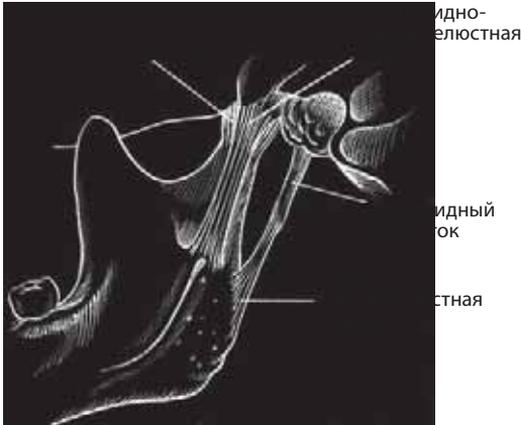


Рис. 9.5. Височно-нижнечелюстная связка



**Рис. 9.6.** Капсула, клиновидно-нижнечелюстная и шилонижнечелюстная связки

Наружная косая ее часть прикрепляется к шейке мыщелка и суставному бугорку. Она работает как поддерживающая связка и ограничивает движение нижней челюсти вниз и назад, а также ограничивает ротацию мыщелка при открывании рта.

Внутренняя часть связки прикрепляется к латеральному полюсу мыщелка, к задней части диска и к суставному бугорку. Ее волокна почти горизонтальны и сопротивляются движению мыщелка назад. Ограничение заднего поступа-

тельного движения мыщелка защищает ретродисковую прокладку.

Ни один из тяжей ВНЧС связки не ограничивает смещение мыщелка или диска вперед, но зато они ограничивают латеральное смещение.

Шилонижнечелюстная связка — тяж глубокой шейной фасции, который идет от шиловидного отростка височной кости к задней границе ветви нижней челюсти (рис. 9.6).

Она входит между жевательной мышцей и медиальными крыловидными мышцами. Ее функция не ясна. Некоторые авторы указывают, что она ограничивает выпячивание нижней челюсти, другие считают, что при закрытии рта она тянет диск назад, третьи говорят, что у нее вообще нет функции.

Клиновидно-нижнечелюстная связка прикрепляется к гребню клиновидной кости и к поверхности середины ветви нижней челюсти (см. рис. 9.6).

Абе с коллегами утверждают, что клиновидно-нижнечелюстная связка медиально переходит в диск. Некоторые авторы утверждают, что она поддерживает нижнюю челюсть и предохраняет ее от излишнего поступательного смещения вперед. Другие авторы считают, что такой функции она не имеет.

#### 9.1.4. СУСТАВНОЕ СОЕДИНЕНИЕ

Диск делит ВНЧС на два отдельных суставных пространства (см. рис. 9.4, *b*). Бóльшим из двух является верхний сустав. Каждый сустав имеет собственную синовиальную выстилку. Питание волокнистого хряща, покрывающего суставные поверхности и лишённую сосудов среднюю часть диска, производится за счет синовиальной жидкости.

Переменяющееся давление, действующее на эти коллагеновые структуры при движениях сустава, вызывает перекачивание жидкости внутрь и наружу, за счет чего, собственно, и поступает питание.

**Нижний сустав** ВНЧС, блоковидный сустав, образован передней поверхностью мыщелка нижней челюсти и нижней поверхностью суставного диска. Мыщелок и диск плотно прикрепляются к медиальному и латеральному полюсам мыщелка. Эти прикрепления позволяют выполнять свободную ротацию диска на мыщелке, или мыщелка под диском, по оси, идущей через оба полюса мыщелка.

Хотя мыщелок нижней челюсти может свободно выполнять переднюю ротацию на диске (или диск может выполнять заднюю ротацию на мыщелке), жесткие медиальные и латеральные прикрепления между диском и мыщелком заставляют оба поступательно смещаться вперед (скользить) как одно целое при минимальном доступном смещении между обеими структурами.

**Верхний сустав** ВНЧС, скользящий сустав, образован суставной поверхностью височной кости и верхней поверхностью суставного диска. Свободное прикрепление диска к височной кости позволяет выполнять поступательное движение между двумя структурами.

**Функция диска.** Двояковогнутая форма диска дает ВНЧС три преимущества.

Во-первых, она обеспечивает повышенную конгруэнтность суставных поверхностей в широком диапазоне положений.

Во-вторых, форма диска (тонкий в центре и расширяющийся вперед и назад) дает диску большую гибкость, и он может лучше соответствовать суставным поверхностям мыщелка и височной кости, когда мыщелок сначала вращается, а затем поступательно смещается над суставным бугорком.

В-третьих, эта форма («толстое–тонкое–толстое») создает механизм автоцентровки диска на мыщелке.

Когда увеличивается давление между мыщелком и суставным бугорком, диск вращается на мыщелке так, что между сочленяющимися поверхностями оказывается самая тонкая его часть. Когда давление между суставными поверхностями уменьшается, и они расходятся, диск может свободно вращаться так, что между поверхностями оказывается более широкая его часть.

### 9.1.5. ДВИЖЕНИЯ НИЖНЕЙ ЧЕЛЮСТИ

В ВНЧС доступны следующие движения: открытие рта (опускание нижней челюсти), закрытие рта (поднимание нижней челюсти), выдвижение подбородка вперед (выпячивание нижней челюсти), втягивание подбородка (соответственно, нижней челюсти) и скольжение зубов друг по другу в стороны (латеральное отклонение челюсти). Эти движения выполняются за счет разных сочетаний ротации и скольжения в верхнем и нижнем суставах.

Функциональные движения нижней челюсти достигаются за счет комбинаций внутрисуставных движений, которые контролируются тонким взаимодействием множества мышц.

Основные функции, которые поддерживаются ВНЧС, это жевание, речь и глотание.

Для некоторого облегчения нашей задачи, мы будем описывать только те движения, которые совершаются без сопротивления (движения с пустым ртом).

**Поднимание и опускание нижней челюсти.** При нормально функционирующих ВНЧС поднимание и опускание нижней челюсти являются относительно симметричными движениями. Движение в каждом из ВНЧС идет в соответствии с одним и тем же паттерном.

В литературе можно встретить два различных и иногда даже конфликтующих описания движения открывания рта.

Первое описание включает в себя две последовательных фазы: ротацию и скольжение.

В фазе ротации при открывании рта существует чистая передняя ротация (вращение) мыщелка на диске (см. рис. 9.4, *a, b*). Движение происходит в нижнем суставе, между диском и мыщелком. Позицию в конце фазы ротации можно описать либо как заднюю ротацию диска на мыщелке, либо как переднюю ротацию мыщелка на диске.

Вторая фаза включает в себя смещение комплекса «диск/мыщелок» вперед и вниз по суставному бугорку (см. рис. 9.4, *b, c*). Это движение происходит в верхнем суставе, между диском и суставным бугорком, оно же отвечает за остальную часть открытия.

Обычно рот открывается на 4–50 мм. При этом движении от 11 до 25 мм приходится на ротацию мыщелка по диску, остальная часть — на поступательное движение диска и мыщелка по суставному бугорку.

Вторая модель, основанная на данных недавних исследований, говорит о том, что компоненты ротации и скольжения присутствуют, но действуют не столько последовательно, сколько сопутствуют друг другу, т.е. ротация и скольжение наблюдаются по всему диапазону опускания нижней челюсти и ее поднимания, начиная с самого начала открывания рта.

Isberg с коллегами также отметили, что количество ротации имеет положительную корреляцию с крутизной суставного бугорка.

Для быстрой и грубой, но при этом полезной оценки функции можно использовать проксимальные межфаланговые (ПМФ) суставы. Если между центральными резцами можно вставить два ПМФ сустава, разведение челюстей функционально, хотя нормальным считаются и три сустава.

Dijkstra с коллегами показали наличие положительной корреляции между величиной открытия рта и длиной нижней челюсти. Это следует учиты-

вать при определении того, что может быть нормой для каждого отдельного пациента.

Поднимание нижней челюсти (закрывание рта) является процессом, обратным ее опусканию. Этот процесс состоит из поступательного смещения назад и вверх и ротации мышелка на диске назад (или диска на мышелке, но вперед).

**Выпячивание и втягивание нижней челюсти.** Это движение наблюдается, когда все точки на нижней челюсти продвигаются вперед на одинаковое расстояние. При выпячивании челюсти никакой ротации в ВНЧС не происходит. Все движение является поступательным и происходит только в верхнем суставе. При выпячивании зубы друг друга не касаются.

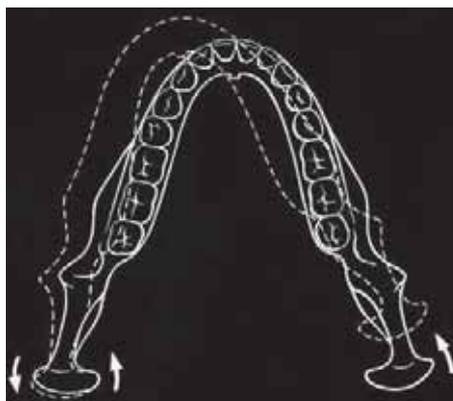
Во время выпячивания задние прикрепления диска (двупластинчатая ретродисковая ткань) растягиваются на 9 мм, что и позволяет выполнять движение. Выпячивание должно быть адекватным настолько, чтобы грани нижних и верхних зубов могли соприкоснуться.

При втягивании все точки на нижней челюсти продвигаются назад на одинаковое расстояние. Височно-нижнечелюстная связка ограничивает это движение, это же делает мягкая ткань, имеющаяся в ретродисковой области между мышелком и задним гребнем суставной ямки. Связка ограничивает движения за счет натягивания, ретродисковая ткань — за счет заполнения пространства, в которое мог бы при втягивании войти мышелок. Это движение измеряли редко, однако известно, что поступательное смещение при нем обычно не превышает 3 мм.

**Боковые отклонения нижней челюсти.** Нижняя челюсть может двигаться асимметрично: либо вокруг вертикальной, либо вокруг переднезадней оси на одном из мышелков. При латеральном отклонении подбородка в одну сторону один мышелок вращается вокруг вертикальной оси, а другой — смещается вперед (рис. 9.7).

Например, при отклонении вправо правый мышелок будет вращаться, а левый — совершать поступательное движение (скользить) вперед. Результатом будет являться движение нижней челюсти (подбородка) вправо.

В норме латеральная экскурсия сустава равна примерно 8 мм. Для функционального измерения латерального дви-



**Рис. 9.7.** Демонстрация латерального отклонения нижней челюсти влево (по: Perry I.F., Rohe D.A., Garcia O.A. *The Kinesiology Workbook*. F.A. Davis, Philadelphia, 1991. P. 171)

жения нижней челюсти используется ширина двух верхних центральных резцов. Если нижняя челюсть может сдвигаться в обоих направлениях на полную ширину одного из центральных резцов, движение считается нормальным.

Еще одним асимметричным движением нижней челюсти является ротация одного мыщелка вокруг переднезадней оси. Когда один из мыщелков вращается вокруг переднезадней оси, второй мыщелок опускается. В результате получается движение нижней челюсти во фронтальной плоскости, при котором центр нижней челюсти идет вниз и слегка отклоняется от средней линии в сторону мыщелка, совершающего вращение.

Такое движение обычно наблюдается при откусывании чего-либо одной половиной рта. Хотя эти движения и описывались отдельно, обычно они являются одним комплексным движением, используемым при жевании и перемалывании пищи.

## 9.2. ФУНКЦИИ

ВНЧС — один из наиболее часто используемых суставов тела. Он используется для жевания, речи и глотания. Большинство движений ВНЧС являются движениями «с пустым ртом», т.е. они происходят без сопротивления со стороны пищи или контакта между верхними и нижними зубами.

Сустав хорошо приспособлен для столь интенсивного использования. Конструкция хряща, покрывающего суставные поверхности, такова, что он может выдерживать повторные мощные нагрузки.

Кроме собственно структуры сустава, которая обеспечивает частое использование, окружающая мускулатура также предназначена как для создания существенных усилий, так и тонкого контроля, для которого требуется речь, для жевания же — значительная сила. Мускулатура ВНЧС функциональна в обоих таких случаях.

### 9.2.1. КОНТРОЛЬ ДИСКА

Контроль суставного диска может быть как активным, так и пассивным. Пассивный контроль осуществляется при помощи капсуло-связочных прикреплений диска к мыщелку, о чем мы уже говорили. Активный контроль диска может осуществляться через прикрепления латеральной крыловидной мышцы, хотя существуют подтвержденные данные, что эти прикрепления существуют не у всех людей.

Bell предположил, что за сохранение позиции диска могут отвечать две мышцы. Эти две мышцы выходят из жевательной мышцы и прикрепляются к переднелатеральной части диска. Они помогают преодолевать тягу в медиальном

направлении, осуществляемую переднемедиальным прикреплением боковой крыловидной мышцы.

Теперь обратим внимание на взаимодействие активных и пассивных сил, контролирующих диск в действии. Эти силы будут действовать независимо от того, рассматриваем мы последовательную или сопутствующую модель открывания рта.

Когда происходит ротация ВНЧС, она осуществляется в нижнем суставе, и взаимодействие происходит между диском и мышцелком. Медиальные и латеральные прикрепления диска к мышцелку ограничивают движение диска на мышцелке движением ротации.

Во время поступательного движения двояковогнутая форма диска позволяет ему следовать за мышцелком; другие силы здесь просто не нужны. Нижняя ретродисковая пластинка ограничивает экскурсию диска вперед.

Верхняя часть боковой крыловидной мышцы во время открывания рта неактивна. Во время закрывания рта упругая верхняя ретродисковая пластика тянет диск назад. Кроме того, верхняя часть боковой крыловидной мышцы создает усилие, посредством эксцентрического сокращения контролирующее заднее движение диска.

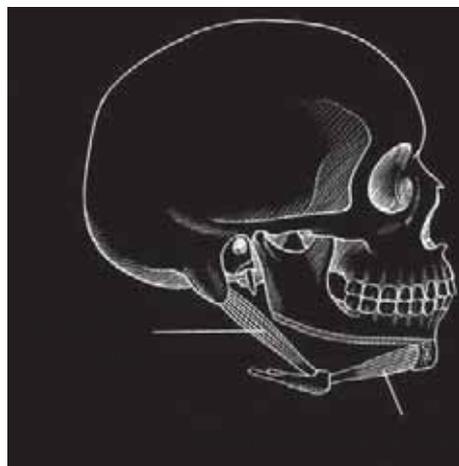
Абе с коллегами считают, что этому действию способствует также клиновидно-нижнечелюстная связка. Медиальные и латеральные прикрепления диска к мышцелку также ограничивают движение до ротации диска на мышцелке.

### 9.2.2. МЫШЕЧНЫЙ КОНТРОЛЬ ВНЧС

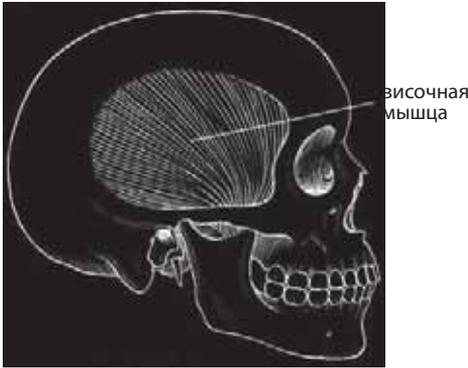
Основная мышца, отвечающая за опускание нижней челюсти, — двубрюшная мышца (рис. 9.8).

Некоторые авторы считают депрессорами латеральные крыловидные мышцы, однако Bell приводит доказательства того, что при открывании рта верхние части этих мышц неактивны, активны только нижние их части. Bell утверждает, что верхняя и нижняя части латеральной крыловидной мышцы могут функционировать независимо.

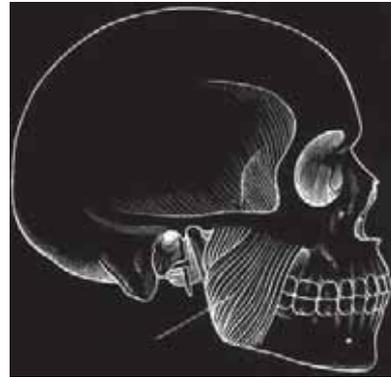
Следует также отметить, что фактором, способствующим опусканию нижней челюсти, является сила тяжести.



**Рис. 9.8.** Двубрюшная мышца (no: Perry I.F., Rohe D.A., Garcia O.A. *The Kinesiology Workbook*. F.A. Davis, Philadelphia, 1991. P. 168)



**Рис. 9.9.** Височная мышца  
(по: Perry I.F., Rohe D.A., Garcia O.A.  
*The Kinesiology Workbook*. F.A. Davis,  
Philadelphia, 1991. P. 166)



**Рис. 9.10.** Жевательная мышца  
(по: Perry I.F., Rohe D.A., Garcia O.A.  
*The Kinesiology Workbook*. F.A. Davis,  
Philadelphia, 1991. P. 165)

Поднимание нижней челюсти осуществляется, прежде всего, височными мышцами (рис. 9.9), жевательными мышцами (рис. 9.10) и медиальными крыловидными мышцами (рис. 9.11).

Также во время поднимания нижней челюсти активны верхние части латеральных крыловидных мышц. Цель этой активности — передняя ротация диска на мыщелке. Это также можно рассматривать как сохранение диска в переднем положении, когда мыщелок начинает ротацию назад.

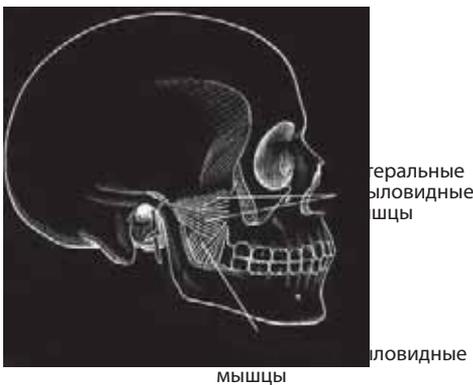
Верхние части латеральных крыловидных мышц сокращаются эксцентрически, что позволяет комплексу «диск/мыщелок» совершать поступательные движения вперед и назад, а затем удерживать диск в переднем положении, пока

мыщелок не завершит заднюю ротацию, для возврата в нормальное положение покоя.

Выпячивание челюсти совершается двусторонним действием жевательных мышц, срединных крыловидных мышц и боковых крыловидных мышц.

Втягивание нижней челюсти достигается за счет двустороннего действия задних волокон височных мышц, которым способствуют двубрюшные и надподъязычные мышцы.

Латеральное отклонение, или движение подбородка (центра нижней



**Рис. 9.11.** Медиальные и латеральные крыловидные мышцы (по: Perry I.F., Rohe D.A., Garcia O.A. *The Kinesiology Workbook*. F.A. Davis, Philadelphia, 1991. P. 167)

челюсти) от средней линии, вызывается односторонним действием различных мышц. Как срединные, так и боковые крыловидные мышцы отклоняют нижнюю челюсть в противоположную сторону. Височная мышца может отклонять нижнюю челюсть в свою сторону.

Исключением из этого является комбинированное действие латеральной крыловидной мышцы и височной мышцы с одной стороны. Эти две мышцы могут создавать эффективную пару сил.

Например, левая латеральная крыловидная мышца прикрепляется к медиальному полюсу мыщелка и тянет его вперед. Левая височная мышца прикрепляется к латеральному полюсу мыщелка и тянет его назад. Вместе они создают вращение и, соответственно, вызывают отклонение нижней челюсти влево. Действуя в одиночку, левая латеральная крыловидная мышца отклоняла бы нижнюю челюсть вправо. Поскольку височная мышца еще и поднимает нижнюю челюсть, такая комбинация мышечной активности особенно полезна при жевании.

### 9.2.3. СВЯЗИ С ШЕЙНЫМ ОТДЕЛОМ ПОЗВОНОЧНИКА

Шейный отдел позвоночника тесно связан с ВНЧС. Мышцы, прикрепляющиеся к нижней челюсти, имеют также прикрепления и на черепе, к подъязычной кости и ключицам. Соответственно, мышцы могут действовать не только на нижнюю челюсть, но также на атлanto-затылочный сустав и шейный отдел. В свою очередь, положение головы и шеи может влиять на напряжение мышц, что может изменять положение или функцию нижней челюсти.

Многие из симптомов дисфункции ВНЧС аналогичны симптомам при проблемах с шейным отделом позвоночника. Учитывая тесную связь этих двух областей, любого клиента с жалобами на одну из них следует обследовать и на состояние другой области.

### 9.2.4. РАСПОЛОЖЕНИЕ ЗУБОВ

Зубы тесно связаны с функцией ВНЧС. Кроме того, что одной из функций ВНЧС является жевание, контакт верхних и нижних зубов ограничивает подвижность височно-нижнечелюстного состава при движениях с пустым ртом. Наличие и положение зубов исключительно важно для нормального функционирования ВНЧС.

Нормальное расположение зубов взрослого человека таково: 32 зуба, расположенные по четырем квадрантам.

Единственные зубы, которые мы будем называть по их наименованиям, — это верхние и нижние центральные резцы. Это два центральных зуба на верхней челюсти и два центральных зуба на нижней челюсти. Когда центральные резцы находятся в устойчивом контакте, эта позиция называется *позицией окклюзии*.

Однако это не является нормальным положением покоя нижней челюсти. Для него характерно сохранение «свободного» пространства между нижними и верхними зубами в 1,5–5 мм. Это свободное пространство исключительно важно. Если пространство сохраняется, внутрисуставное давление в ВНЧС уменьшается, нагрузка на суставные структуры снижается и ткани этой области получают возможность отдыха и восстановления.

### 9.3. ДИСФУНКЦИИ

Дисфункции ВНЧС довольно многочисленны. Некоторые могут быть вызваны непосредственной травмой, полученной в автомобильной аварии или при падении. Другие являются результатами неправильных поструральных или оральных навыков, таких как поза с наклоненной головой или *бруксизм* (скрип зубами). Здесь описываются только две проблемы: реципрокный щелчок и остеоартрит.

#### 9.3.1. РЕЦИПРОКНЫЙ ЩЕЛЧОК

У пациентов со смещением диска вперед обнаруживается слышимый щелчок в ВНЧС при открытии рта и второй щелчок — при закрытии. Это называется *реципрокным щелчком*.

В этой ситуации мышцелок нижней челюсти в состоянии покоя находится скорее в контакте с ретродисковой тканью, чем с самим диском. При открывании рта мышцелок проскальзывает вперед и под диск, чтобы оказаться с ним в обычных взаимоотношениях. Именно во время этого проскальзывания и может раздаваться отчетливо слышимый щелчок. Как только мышцелок занимает нормальное положение относительно диска, движение открытия и закрытия продолжается обычным путем, пока при закрытии мышцелок опять не выскользнет из-под диска. В этот момент слышится второй щелчок.

Можно считать, что такой щелчок означает нарушение нормальной взаимосвязи диска и мышцелка. В случае переднего смещения диска, однако, начальный щелчок означает восстановление нормальной связи.

Если щелчок раздается в самом начале открывания рта и в самом конце его закрывания, то переднее смещение диска довольно ограничено. Чем позже раздается щелчок в фазе открывания рта, тем более серьезным является смещение диска.

Существуют некоторые доказательства того, что временной паттерн щелчков при открывании и закрывании рта может определять лечебный прогноз.

### 9.3.2. ОСТЕОАРТРИТ

Kessler и Hertling утверждают, что от 80 до 90% населения старше 60 лет имеет некоторые симптомы остеоартрита ВНЧС.

По мнению Mahan, остеоартрит обычно бывает односторонним (в отличие от ревматоидного артрита, который, как правило, носит двусторонний характер).

Основная причина остеоартрита — повторные мелкие травмы сустава, в особенности травмы, которые создают ударный контакт между суставными поверхностями. Потеря задних зубов также может приводить к дегенеративным изменениям, так как простая окклюзия оставшихся зубов вызывает соприкосновение суставных поверхностей ВНЧС.

Основными симптомами остеоартрита являются боль при поступательном движении мышелка по суставному бугорку при почти безболезненной ротации мышелка; уплощение мышелка и суставного бугорка и сужение суставного пространства ВНЧС.

В более запущенных стадиях заболевания может наблюдаться перфорация диска и симптом губы вокруг суставных поверхностей.

У людей с остеоартритом ограничены движения ртом. Обычно симптомы со временем ослабевают, а боль исчезает примерно через 8 месяцев. Почти нормальная функция (правда, при наличии крепитации) восстанавливается через 1–3 года.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Височно-нижнечелюстные суставы уникальны как с точки зрения структуры, так и функции. Амплитуда и частота движений нижней челюсти, ежедневное преодоление сопротивления во время жевания и проблемы мышечного баланса делают этот суставной комплекс особенно чувствительным.

При обследовании суставных комплексов мы видим, что каждый из них обладает уникальными свойствами. Однако при этом мы ни разу не столкнемся со столь сложными внутрисуставными и дисковыми движениями, какие встречаются в ВНЧС.



ДЛЯ ЗАМЕТОК

---

---

*Научное издание*

**Нейматов Эдуард Металович**  
**Сабинин Сергей Львович**

**ПРИКЛАДНАЯ БИОМЕХАНИКА  
в спортивной медицине и остеопатии**

Оригинал-макет подготовлен ООО «Медицинское информационное агентство»

Главный редактор *А.С. Петров*  
Художник *М.А. Новиков*

Санитарно-эпидемиологическое заключение  
№ 77.99.60.953.Д.000945.01.10 от 21.01.2010 г.

Подписано в печать 15.07.2016. Формат 70×100/16.  
Бумага офсетная. Гарнитура Minion Pro. Печать офсетная.  
Объем 28 печ. л. Тираж 2000 экз.

ООО «Издательство «Медицинское информационное агентство»  
119048, Москва, ул. Усачева, д. 62, стр. 1, оф. 6  
Тел./факс: (499) 245-45-55  
E-mail: [miapubl@mail.ru](mailto:miapubl@mail.ru)  
<http://www.medagency.ru>  
Интернет-магазин: [www.medkniga.ru](http://www.medkniga.ru)

Книга почтой на Украине: а/я 4539, г. Винница, 21037  
E-mail: [maxbooks@svitonline.com](mailto:maxbooks@svitonline.com)  
Телефоны: +380688347389, 8 (0432) 660510

Отпечатано в ОАО «Тверской полиграфический комбинат»  
170024, г. Тверь, проспект Ленина, д. 5

ISBN 978-5-9986-0290-0



9 785998 602900