

# Содержание

---

Введение .....	9
<b>1. Мышцы .....</b>	<b>11</b>
<b>1.1. Строение и функции поперечно-полосатых скелетных мышц</b> .....	<b>11</b>
1.1.1. Синергисты и антагонисты .....	12
1.1.2. Формы мышц .....	12
1.1.3. Начало и место прикрепления мышцы .....	14
1.1.4. Сухожилия .....	15
1.1.5. Синовиальные сумки и сухожильные влагалища .....	15
1.1.6. Координация .....	16
1.1.7. Формы мышечных сокращений .....	16
1.1.8. Виды мышечной работы и кровоснабжение мышц .....	20
1.1.9. Доля соединительных тканей в мышцах .....	21
<b>1.2. Тонкая структура мышечных клеток поперечно-полосатых скелетных мышц</b> .....	<b>22</b>
1.2.1. Саркомер — функциональная структурная единица мышечной клетки .....	24
1.2.2. Теория скольжения нитей .....	24
1.2.3. Молекулярные основы биологии движения .....	26
1.2.3.1. Молекулярное строение толстых нитей .....	26
1.2.3.2. Молекулярное строение тонких нитей .....	27
1.2.3.3. Кальций в роли пускового механизма .....	29
1.2.3.4. Принцип перетягивания каната .....	30
1.2.3.5. Роль кальция и аденозинтрифосфата в сокращении мышц .....	31
<b>1.3. Нервы и мышцы</b> .....	<b>34</b>
1.3.1. Моторная единица .....	34
1.3.2. Двигательная концевая пластинка .....	35
1.3.3. Связь между возбуждением и сокращением .....	37
1.3.4. Закон «все или ничего» .....	38
1.3.5. Суперпозиция и тетанус .....	39
<b>1.4. Механические процессы в мышце при сокращении и растяжении</b> .....	<b>42</b>

1.4.1.	Значение длины саркомера для образования активного напряжения .....	45
1.4.2.	Повышение общего напряжения за счет замаха .....	46
1.4.3.	Скорость сокращения .....	48
<b>1.5.</b>	<b>Контроль мышечного напряжения со стороны нервной системы</b> .....	48
<b>1.6.</b>	<b>Виды клеток поперечно-полосатых мышц</b> .....	49
<b>1.7.</b>	<b>Влияние тренировок на скелетные мышцы</b> .....	52
1.7.1.	Силовая тренировка .....	52
1.7.1.1.	Изометрическая силовая тренировка .....	53
1.7.1.2.	Динамическая силовая тренировка .....	54
1.7.2.	Развитие скоростной силы .....	57
1.7.2.1.	Зависимость мышечной силы от возраста и пола .....	58
1.7.2.2.	Мышечная атрофия .....	59
1.7.3.	Тренировка локальной мышечной выносливости .....	59
1.7.3.1.	Биохимические изменения в мышечной клетке под влиянием тренировки на выносливость .....	60
1.7.3.2.	Улучшение капиллярного кровоснабжения .....	60
<b>1.8.</b>	<b>Резюме</b> .....	62
<b>2.</b>	<b>Нервы</b> .....	65
<b>2.1.</b>	<b>Анатомическое строение центральной нервной системы</b> ...	67
<b>2.2.</b>	<b>Функции нервных клеток</b> .....	70
2.2.1.	Моторные нейроны переднего рога спинного мозга — финишный этап моторики .....	71
2.2.2.	Передача сигналов через синапсы .....	74
2.2.3.	Конвергенция и дивергенция .....	75
<b>2.3.</b>	<b>Моторные системы</b> .....	76
2.3.1.	Связь сенсорики и моторики .....	77
<b>2.4.</b>	<b>Роль электрических и химических процессов в возбуждении клеточной мембраны</b> .....	77
2.4.1.	Клеточная мембрана .....	78
2.4.2.	Физико-химические причины мембранного потенциала покоя .....	78
2.4.3.	Возбуждение клетки — потенциал действия .....	81
2.4.4.	Реакция «все или ничего» .....	81
2.4.5.	Пространственная и временная суммация .....	82
2.4.6.	Обратная транспортировка нейротрансмиттеров в синаптические окончания .....	83
2.4.7.	Распространение потенциала действия .....	83
2.4.8.	Тормозные нейроны .....	84
<b>2.5.</b>	<b>Спинальная моторика</b> .....	84
2.5.1.	Рефлексы .....	84
2.5.1.1.	Моносинаптический сухожильный рефлекс .....	86
2.5.1.2.	Нервно-мышечное веретено — гамма-моторная система .....	87
2.5.1.3.	Сухожильный орган Гольджи .....	90
2.5.1.4.	Значение моносинаптического рефлекса мышечного растяжения для опорной моторики .....	91

2.5.1.5.	Полисинаптические рефлексy . . . . .	92
2.5.2.	Генераторы движений в спинном мозгу . . . . .	93
<b>2.6.</b>	<b>Супраспинальная, или высшая, моторика</b> . . . . .	94
2.6.1.	Моторная кора головного мозга — последняя промежуточная станция двигательных программ . . . . .	94
2.6.2.	Базальные ганглии — функциональные генераторы медленных программ движений . . . . .	96
2.6.3.	Ствол мозга на службе опорной моторики и чувства равновесия . . . . .	96
2.6.4.	Мозжечок — координационный центр . . . . .	97
2.6.5.	Побуждение к действию и планирование движений . . . . .	97
<b>2.7.</b>	<b>Вегетативная нервная система</b> . . . . .	98
2.7.1.	Симпатическая нервная система . . . . .	99
2.7.2.	Парасимпатическая нервная система . . . . .	100
<b>2.8.</b>	<b>Моторное обучение</b> . . . . .	101
<b>2.9.</b>	<b>Резюме</b> . . . . .	104
<b>3.</b>	<b>Сердечно-сосудистая система</b> . . . . .	107
<b>3.1.</b>	<b>Сердце</b> . . . . .	108
3.1.1.	Электрическая активность сердца . . . . .	111
3.1.2.	Нервы сердца . . . . .	113
3.1.3.	Механика сердца: функции и сердечные циклы . . . . .	113
3.1.3.1.	Работа сердца . . . . .	113
3.1.3.2.	Сердечный цикл . . . . .	117
<b>3.2.</b>	<b>Кровеносные сосуды</b> . . . . .	120
3.2.1.	Система кровообращения . . . . .	120
3.2.1.1.	Артериолы — сосуды, создающие сопротивление . . . . .	120
3.2.1.2.	Капилляры — обмен веществ . . . . .	122
3.2.1.3.	Вены — резервуар крови . . . . .	122
3.2.1.4.	Артериовенозные анастомозы . . . . .	123
3.2.1.5.	Анатомическое строение стенок сосудов . . . . .	123
3.2.2.	Легочный круг кровообращения . . . . .	124
3.2.3.	Кровяное давление . . . . .	124
3.2.3.1.	Артериальное давление . . . . .	124
3.2.3.2.	Венозное давление . . . . .	128
3.2.4.	Скорость тока крови и общая площадь сечения сосудов . . . . .	132
3.2.5.	Функция капилляров . . . . .	132
3.2.5.1.	Транскапиллярный обмен веществ за счет диффузии . . . . .	132
3.2.6.	Коронарные сосуды сердца . . . . .	134
<b>3.3.</b>	<b>Адаптация сердечно-сосудистой системы к динамическим спортивным нагрузкам</b> . . . . .	135
3.3.1.	Увеличение минутного объема сердца . . . . .	135
3.3.1.1.	Частота сердечных сокращений . . . . .	136
3.3.1.2.	Систолический объем . . . . .	137
3.3.1.3.	Центральная реципрокная иннервация . . . . .	140
3.3.1.4.	Обратная нервная связь от работающих мышц . . . . .	141
3.3.2.	Перераспределение крови в работающих мышцах . . . . .	141

3.3.2.1.	Локальная регуляция (авторегуляция) кровоснабжения .....	143
3.3.2.2.	Центральная регуляция кровоснабжения мышц со стороны холинергической симпатической нервной системы .....	144
3.3.2.3.	Роль симпатической нервной системы в перераспределении крови .....	145
3.3.2.4.	Верхний предел повышения кровоснабжения .....	146
3.3.3.	Улучшение усвоения кислорода в работающих мышцах .....	146
3.3.4.	Адаптация сердечно-сосудистой системы к статическим нагрузкам .....	147
<b>3.4.</b>	<b>Влияние тренировки выносливости на сердечно-сосудистую систему</b> .....	<b>148</b>
3.4.1.	Спортивное сердце .....	148
<b>3.5.</b>	<b>Резюме</b> .....	<b>153</b>
<b>4.</b>	<b>Дыхание</b> .....	<b>157</b>
<b>4.1.</b>	<b>Механика дыхания</b> .....	<b>158</b>
4.1.1.	Дыхательные пути .....	158
4.1.1.1.	Сопротивление потоку воздуха в дыхательных путях .....	160
4.1.1.2.	Строение стенок дыхательных путей .....	161
4.1.2.	Строение грудной клетки и функции дыхательных мышц .....	161
4.1.2.1.	Работа, совершаемая при дыхании .....	164
4.1.3.	Функция плевральной полости .....	165
4.1.3.1.	Пневмоторакс .....	166
4.1.4.	Объем легких .....	167
4.1.5.	Мертвое пространство и техника дыхания .....	169
<b>4.2.</b>	<b>Газообмен в легких</b> .....	<b>171</b>
4.2.1.	Парциальное давление газов .....	172
4.2.2.	Диффузионная способность легких для кислорода .....	176
<b>4.3.</b>	<b>Транспортировка кислорода и двуокиси углерода в крови</b> .....	<b>177</b>
4.3.1.	Кислород .....	177
4.3.1.1.	Максимальное потребление кислорода .....	180
4.3.1.2.	Цианоз .....	182
4.3.1.3.	Миоглобин .....	182
4.3.1.4.	Переход кислорода в работающую мышечную клетку .....	183
4.3.2.	Двуокись углерода .....	183
<b>4.4.</b>	<b>Регуляция дыхания</b> .....	<b>184</b>
4.4.1.	Нервная регуляция .....	184
4.4.2.	Химическая регуляция .....	185
4.4.3.	Регуляция дыхания при спортивной нагрузке .....	186
4.4.4.	«Второе дыхание» .....	188
4.4.5.	Колики в боку .....	188
<b>4.5.</b>	<b>Влияние тренировок на дыхание</b> .....	<b>189</b>
<b>4.6.</b>	<b>Дыхание при нырянии</b> .....	<b>191</b>
<b>4.7.</b>	<b>Курение табака</b> .....	<b>194</b>
<b>4.8.</b>	<b>Резюме</b> .....	<b>194</b>
<b>5.</b>	<b>Энергия</b> .....	<b>197</b>
<b>5.1.</b>	<b>Сравнение мышцы с мотором</b> .....	<b>197</b>

5.1.1.	Энергия .....	198
5.1.2.	АТФ — энергетическая валюта клетки .....	199
5.1.3.	Энзимы в роли стартера .....	200
5.1.4.	Коэнзимы — внутриклеточные транспортные средства .....	200
<b>5.2.</b>	<b>Ресинтез АТФ .....</b>	<b>201</b>
5.2.1.	Расщепление креатинфосфата .....	202
5.2.2.	Разложение питательных веществ .....	202
5.2.2.1.	Аэробный путь в митохондриях .....	203
5.2.2.2.	Анаэробный путь расщепления сахара в саркоплазме .....	212
<b>5.3.</b>	<b>Достоинства и недостатки обоих путей .....</b>	<b>215</b>
<b>5.4.</b>	<b>Анаэробный и аэробный способ получения энергии при различных спортивных нагрузках .....</b>	<b>216</b>
<b>5.5.</b>	<b>Кислородный долг .....</b>	<b>220</b>
<b>5.6.</b>	<b>Влияние тренировок .....</b>	<b>220</b>
<b>5.7.</b>	<b>Резюме .....</b>	<b>221</b>
<b>6.</b>	<b>Спортивные травмы .....</b>	<b>223</b>
<b>6.1.</b>	<b>Определение — частота — причины .....</b>	<b>223</b>
<b>6.2.</b>	<b>Продолжать или остановиться? .....</b>	<b>225</b>
6.2.1.	Признаки, позволяющие сделать вывод о серьезной спортивной травме .....	226
6.2.2.	Четыре главных правила оказания первой помощи .....	227
<b>6.3.</b>	<b>Повреждения кожи .....</b>	<b>228</b>
6.3.1.	Ссадины .....	228
6.3.2.	Рваные, резаные и колотые раны .....	229
6.3.3.	Волдыри и мозоли .....	230
6.3.4.	Ожоги .....	230
6.3.5.	Обморожения .....	231
<b>6.4.</b>	<b>Ушибы .....</b>	<b>232</b>
<b>6.5.</b>	<b>Травмы связочного аппарата .....</b>	<b>234</b>
6.5.1.	Повреждения связок коленного сустава .....	235
6.5.2.	Повреждения связок голеностопного сустава .....	236
<b>6.6.</b>	<b>Травмы суставов .....</b>	<b>237</b>
6.6.1.	Дисторсия .....	239
6.6.2.	Вывих .....	240
6.6.3.	Повреждения коленного сустава — крестообразные связки — мениски .....	241
<b>6.7.</b>	<b>Повреждения мышц и сухожилий .....</b>	<b>244</b>
6.7.1.	Повреждения мышц .....	245
6.7.2.	Повреждения сухожилий .....	248
<b>6.8.</b>	<b>Переломы костей .....</b>	<b>251</b>
<b>6.9.</b>	<b>Резюме .....</b>	<b>253</b>
	Краткий словарь терминов .....	255
	Алфавитный указатель .....	263
	Об авторе .....	271

Посвящается моим родителям и Марии

## Введение

---

Улучшают ли занятия спортом душевное и физическое здоровье? 36 миллионов граждан Германии, занимающихся различными видами спорта, отвечают на этот вопрос по-разному. Многие спортсмены — любители и профессионалы — сохраняют физическую активность до пожилого возраста, а своих детей с ранних лет стараются приобщать к радостям спорта. Наука, которая изучает влияние движения, тренировок и соревнований, а также дефицита подвижности на здоровых и больных людей любого возраста, называется *спортивной медициной*. Полученные ею данные не только используются спортсменами для улучшения своих достижений или предотвращения опасностей, которые таит в себе непродуманная физическая активность, но и находят все более широкое применение в профилактической медицине, а также в лечении и реабилитации заболеваний с помощью спорта.

Чтобы использовать результаты исследований, проводимых в сфере спортивной медицины, в своей спортивной практике, спортсмены и другие люди, чьи профессиональные и личные интересы связаны со спортом, должны иметь базовые знания о биологических функциях человеческого организма, являющихся предметом изучения *спортивной физиологии* — одной из отраслей спортивной медицины. Она описывает не только функционирование органов и систем организма человека в состоянии покоя, но и изменение биологических процессов в условиях спортивных нагрузок.

Кроме того, в рамках спортивной физиологии изучается, какую пользу для здоровья приносят регулярные тренировки (или какой вред влекут за собой неправильно организованные или чрезмерно интенсивные тренировочные занятия).

В этой книге рассматриваются физиологические основы и принципы работы органов и систем организма, на которые оказывают влияние спортивные занятия. Материал излагается в доступной форме, чтобы он был понятен читателю, не имеющему естественно-научного образования

и глубоких знаний в области биологии, медицины или биохимии. Все главы построены одинаково: сначала дается обзор анатомического строения той или иной системы, потом описывается ее работа в состоянии покоя, а затем изменения, которые происходят в ней под воздействием спортивной нагрузки. В конце каждой главы разъясняется, как данная система адаптируется к тренировочному процессу. Последняя глава рассматривает распространенные спортивные травмы.

Таким образом, книга предназначена не только для любителей спорта и профессиональных спортсменов, но и для студентов, изучающих спортивные дисциплины, учителей физкультуры, тренеров, учеников старших классов и всех, кто каким-либо образом связан со спортом.

Я благодарен за многочисленные примеры и советы из области практики, предоставленные мне коллегами и студентами спортивного отделения Гамбургского университета.



# 1. Мышцы

---

Спортивная физиология — это наука об изменениях, происходящих во всех органах и системах тела человека под влиянием спорта.

Спортсмен, анализирующий воздействие физических нагрузок с позиции биологии и физиологии, быстро приходит к выводу, что все изменения обусловлены в конечном итоге повышением потребности работающих мышц в кислороде и энергии. Поэтому мышцам в спортивной физиологии отводится центральное место.

Мышцы дают возможность не только совершать активные и целенаправленные спортивные действия. Движения, выполняемые с помощью скелетных мышц, лежат в основе практически всех форм взаимодействия человека с окружающим миром, включая речь, мимику, жесты и художественные выразительные формы в музыке и искусстве.

В данной главе рассматриваются только *поперечно-полосатые скелетные мышцы*. Особые свойства сердечной мышцы и гладкой мускулатуры внутренних органов описываются в главе 3.

Все движения скелетных мышц управляются и контролируются моторной нервной системой. Нервная система и контроль с ее стороны над всеми моторными функциями рассматриваются в главе 2.

## 1.1. Строение и функции поперечно-полосатых скелетных мышц

Почти половина (40—45 процентов) всей массы тела приходится на мышцы. Примерно 434 скелетные мышцы, симметрично распределенные между правой и левой половинами тела, расходуют в состоянии покоя всего около 20 процентов энергетических ресурсов организма. Однако в момент пиковой спортивной нагрузки доля потребляемой энергии в работающих группах мышц может достигать до 90 процентов. Общей для всех мышц является особая способность преобразовывать связанную

химическую энергию в механическую *энергию движения*. В ходе этого преобразования возникает механическое напряжение, которое передает усилия скелетных мышц через сухожилия на кости. Все многообразие движений тела и форм его взаимодействия с окружающим миром сводится в конечном итоге к единственной способности мышц, заключающейся в создании напряжения за счет их *сокращения*.

Скелетные мышцы выполняют всего одну задачу: сокращаясь, они создают усилие, которое через сухожилия передается на кости.

### 1.1.1. Синергисты и антагонисты

Совершая движения, мышца работает не в одиночку, а всегда в сочетании с несколькими другими мышцами (см. рис. 1.1). К примеру, когда двуглавая мышца плеча (бицепс) сгибает руку в локтевом суставе, одновременно удлиняется трехглавая мышца плеча (трицепс), управляющая противоположно направленным движением. И наоборот, бицепс удлиняется, когда трицепс выпрямляет руку в локте.

Такие пары мышц, которые отвечают за разнонаправленные движения в суставе, называют *антагонистами*. Разгибающая мышца выступает в роли антагониста по отношению к сгибающей, и наоборот.

Сгибание в локтевом суставе осуществляется не только за счет сокращения бицепса. Моторная нервная система активизирует одновременно с бицепсом и другие мышцы-сгибатели, находящиеся на внутренней стороне руки. В нашем примере на рисунке 1 помощь бицепсу в сгибании оказывает также плечевая мышца. Мышцы, которые совместно участвуют в совершении движения, называют *синергистами*.

### 1.1.2. Формы мышц

Все мышцы выполняют одну-единственную функцию — притягивают друг к другу противоположные точки своего прикрепления, но они сильно различаются по величине и форме (сравните, например, мышцы глазного века и ягодичные мышцы). Они могут иметь объемную или плоскую форму и подразделяются на перистые и веретенообразные (см. рис. 1.2).

*Веретенообразные мышцы* состоят из толстого брюшка, или *головки*, которая равномерно сужается к концам и переходит в сухожилия. Отдельные мышечные клетки (волокна) располагаются в них параллельно продольной оси мышцы.

Мышечные волокна *однопериистой* мышцы расположены под углом к основному направлению мышцы и прикрепляются к сухожилию, иду-

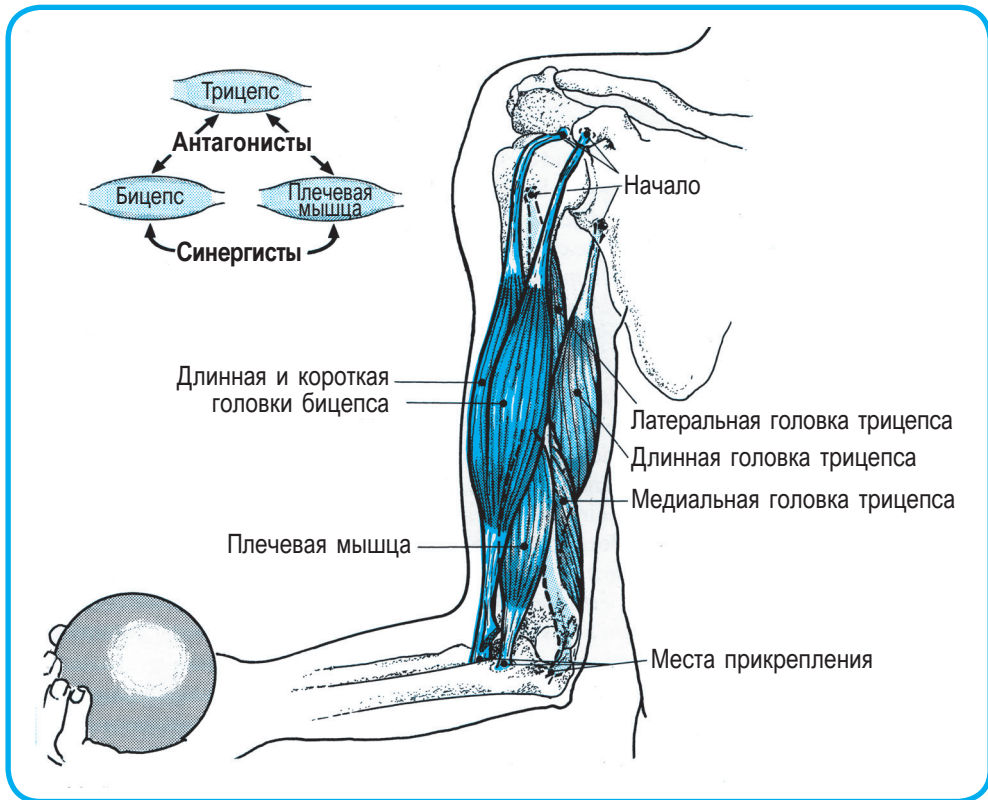


Рис. 1.1. Крупные мышцы, управляющие движениями в локтевом (и плечевом) суставе

щему вдоль ее края. Если сухожилие находится посередине мышцы, а мышечные клетки отходят от него в обе стороны подобно птичьему перу, такая мышца называется *двуперистой*. Благодаря такому анатомическому строению к сухожилию может прикрепляться очень большое количество мышечных волокон, в результате чего двуперистые мышцы способны развивать особенно большую силу. Поэтому перистые мышцы располагаются в тех частях тела, где преимущественно требуется сила (мышцы туловища), а веретенообразные — там, где должны выполняться быстрые движения, например, в руках и ногах.

Мышцы могут пересекать не только один сустав (как, например, плечевая мышца, которая относится к односуставным), но и два (например, бицепс). Такие мышцы называются двусуставными. Кроме того, мышцы могут иметь разное количество головок. В частности, двуглавая мышца плеча, как следует из ее названия, имеет две головки, а трехглавая соответственно три (см. также рис. 1.1 на с. 00).

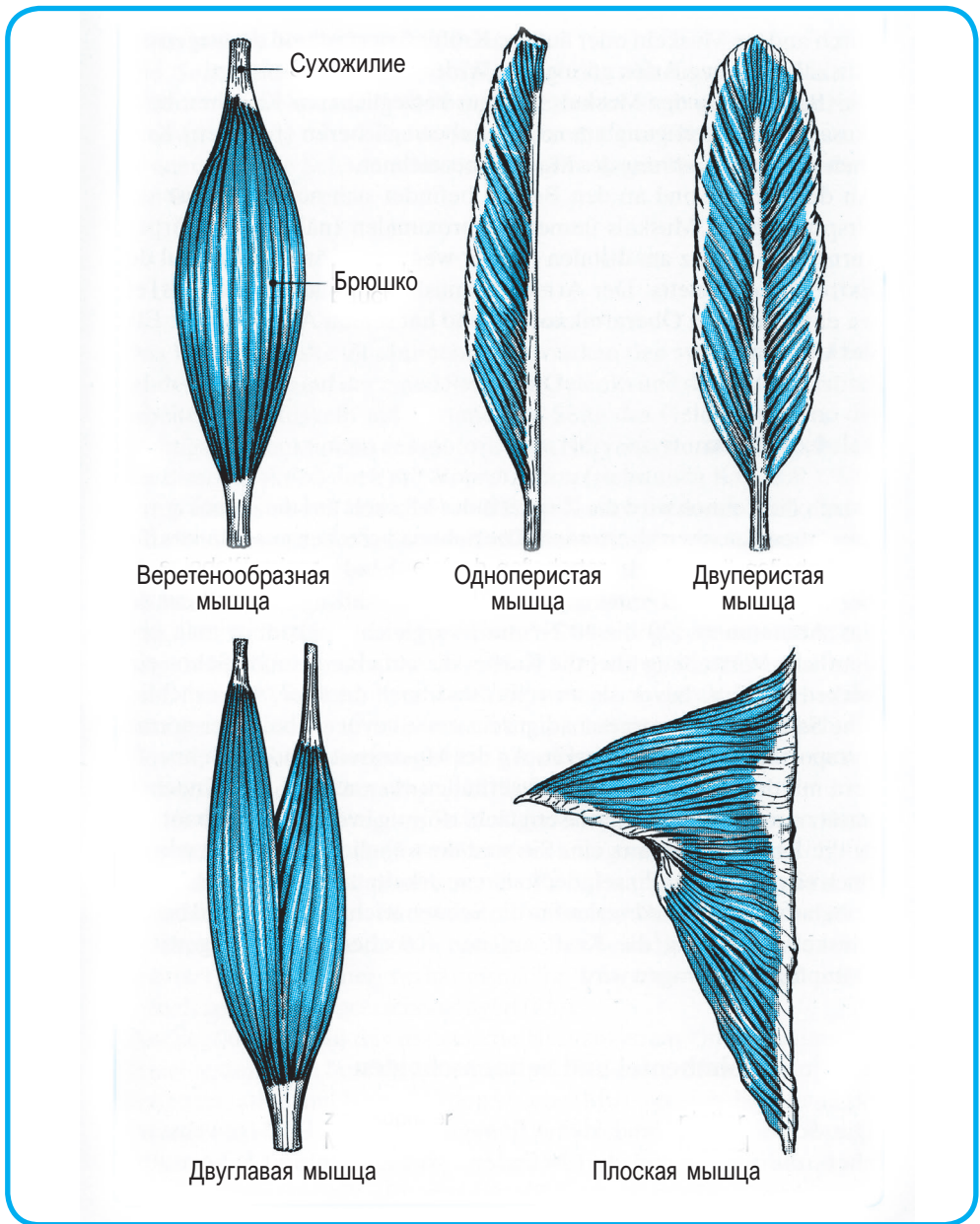


Рис. 1.2. Формы мышц

### 1.1.3. Начало и место прикрепления мышцы

В соответствии с законами механики напряжение, возникающее в мышце в ходе ее сокращения, с равной силой воздействует на обе кости, к

которым она прикрепляется. Однако движется при этом только та кость, которая не зафиксирована с помощью других мышц или внешних сил и поэтому оказывает мышечному усилию меньшее сопротивление.

Место присоединения мышцы к подвижной кости называется местом ее *прикрепления*, а к неподвижной (зафиксированной) — *началом*.

В руках и ногах мышцы обычно начинаются от проксимальной (самой ближней к туловищу) части конечности и прикрепляются другим концом к дистальной (наиболее удаленной) части. Так, например, бицепс начинается от плечевой кости и прикрепляется к локтевой.

#### 1.1.4. Сухожилия

При помощи сухожилий усилия мышц передаются костям. Сухожилия образованы очень прочными волокнами соединительной ткани. Они выдерживают нагрузку от 40 до 60 Н/мм<sup>2</sup>. Для сравнения: прочность на разрыв алюминия составляет от 20 до 40 Н/мм<sup>2</sup>. Можно представить себе силу, с которой необходимо воздействовать на здоровое сухожилие, чтобы порвать его, или насколько оно должно быть предварительно изношено, чтобы разорваться при нормальной спортивной нагрузке. С той стороны, где сухожилие прикрепляется к мышце, его волокна срываются с мышечными, а со стороны кости врастают в надкостницу, расходясь в стороны наподобие веера. Это напоминает кисточку, которую вдавили в поверхность, смазанную клеем, и дали засохнуть. Когда сухожилие не испытывает нагрузки, оно имеет волнообразную форму, чтобы в определенной степени амортизировать усилие мышц, оказываемое ими при сокращении на кость.

#### 1.1.5. Синовиальные сумки и сухожильные влагалища

*Синовиальные сумки* — это небольшие наполненные жидкостью мешочки из соединительной ткани, которые располагаются во всех местах, где мышцы и сухожилия трутся о костные выступы. Они снижают эффект от трения, распределяя давление, возникающее между мышцей (сухожилием) и костью.

*Сухожильные влагалища* представляют собой наполненные жидкостью трубки из соединительной ткани, внутри которых проходят сухожилия в местах, где им приходится менять направление, огибая кости и связки. Благодаря жидкости снижается трение, сухожилия скользят относительно легко.

### 1.1.6. Координация

Налаживание тонкого взаимодействия между мышцами-синергистами с одной стороны сустава и антагонистами с другой стороны — это одна из самых важных задач моторной нервной системы. Данная функция носит название *координации* (см. также раздел 2.8). Скоординированная работа различных мышц позволяет выполнять даже самые сложные спортивные движения с большой точностью и строго отмеренным усилием. В упрощенном виде можно представить себе, что действия синергистов, сгибающих конечность в суставе, постоянно тормозятся антагонистами, и наоборот. Таким образом, скорость, сила и направление любого движения во многом определяются скоординированным противодействием мышц, которые сами по себе не в состоянии выполнить это движение, а могут выступать лишь в роли антагонистов.

Чем меньше тормозящее воздействие антагонистических групп мышц, чем лучше налажено взаимодействие между синергистами и антагонистами, тем более плавными, элегантными и легкими становятся движения. Многим спортсменам известно из собственного опыта, что разучивание новых движений поначалу всегда дается с определенным трудом и довольно быстро вызывает чувство усталости.

Это объясняется тем, что моторной нервной системе требуется определенное время, чтобы найти оптимальное сочетание мышц, способных выполнить новое движение, и наладить координацию между ними. Если по окончании тренировочной программы то же самое движение выполняется без видимых усилий и как бы играючи, это значит в том числе, что благодаря координирующей работе моторной нервной системы найдено оптимальное сочетание мышц-синергистов и устранено ненужное сопротивление мышц-антагонистов.

- Координация является приобретенным навыком и может быть улучшена за счет тренировок.

### 1.1.7. Формы мышечных сокращений

Когда на нервную клетку оказывается возбуждающее воздействие в виде нервного импульса (или используемых в экспериментах электрических импульсов), она демонстрирует стереотипную реакцию — быстро укорачивается в размерах, а затем расслабляется.

Эта основная функция мышечных движений может фиксироваться с помощью механического самописца (*миографа*). При этом опыт может быть поставлен таким образом: мышца зафиксирована с обеих концов и может только создавать напряжение, но не способна укорачиваться.



В данном случае мышца создает очень высокие показатели напряжения, но не совершает видимых движений, такую форму сокращения называют *изометрической* (от греч. *isos* и *metreo* — «равный размер»).

Если вы, к примеру, висите на перекладине на согнутых в локтях руках, то бицепс совершает изометрическое сокращение.

Если зафиксировать мышцу только с одного конца, а на второй повесить небольшой груз, то мышца под его весом немного растянется, а затем придет в состояние равновесия. При электрической стимуляции она сократится и слегка приподнимет груз, но, поскольку вес груза от этого не меняется, напряжение мышцы остается постоянным. Такую форму сокращения называют *изотонической* (с одинаковым напряжением).

К примеру, изотоническое сокращение совершают мышцы руки, когда вы поднимаете лист бумаги с письменного стола.

Если эксперимент с изменением длины мышцы и ее напряжения производить в ходе сокращения одновременно или поочередно, то обе эти формы (изотоническая и изометрическая) будут комбинироваться и образовывать следующие смешанные формы.

1. *Ауксотоническое сокращение.* Мышца укорачивается, и одновременно возрастает ее напряжение. Большинство движений, совершаемых мышцами в ходе спортивных занятий, имеют ауксотоническую природу, поскольку нагрузка, преодолеваемая с одновременным изменением положения костей, в большинстве случаев одновременно изменяет и напряжение мышцы, и ее длину.
2. *Удерживающее сокращение.* Груз не подвешен свободно к мышце, а лежит на какой-либо опоре. При сокращении мышца сначала должна создать нужное напряжение (изометрическая фаза), а затем она поднимает груз, преодолевая силу тяжести (изотоническая фаза). Удерживающее сокращение мышц можно наблюдать, например, в тяжелой атлетике.
3. *Установочное сокращение.* Свободно подвешенный к мышце груз сначала приподнимается за счет укорочения (изотоническая фаза), а затем, по достижении некоего внешнего упора, удерживается. При этом может усиливаться напряжение мышцы, но ее длина уже не меняется (изометрическая фаза). В качестве вида спорта, где часто выполняются установочные сокращения мышц, можно назвать бокс.

Эти формы мышечного сокращения можно четко разграничить лишь в ходе эксперимента. Мышечная работа чаще всего состоит из комбинации различных форм сокращения. Для описания последовательности спортивных движений с практической точки зрения целесообразнее

несколько иначе классифицировать виды мышечных сокращений, что видно, например, из анализа простого упражнения:

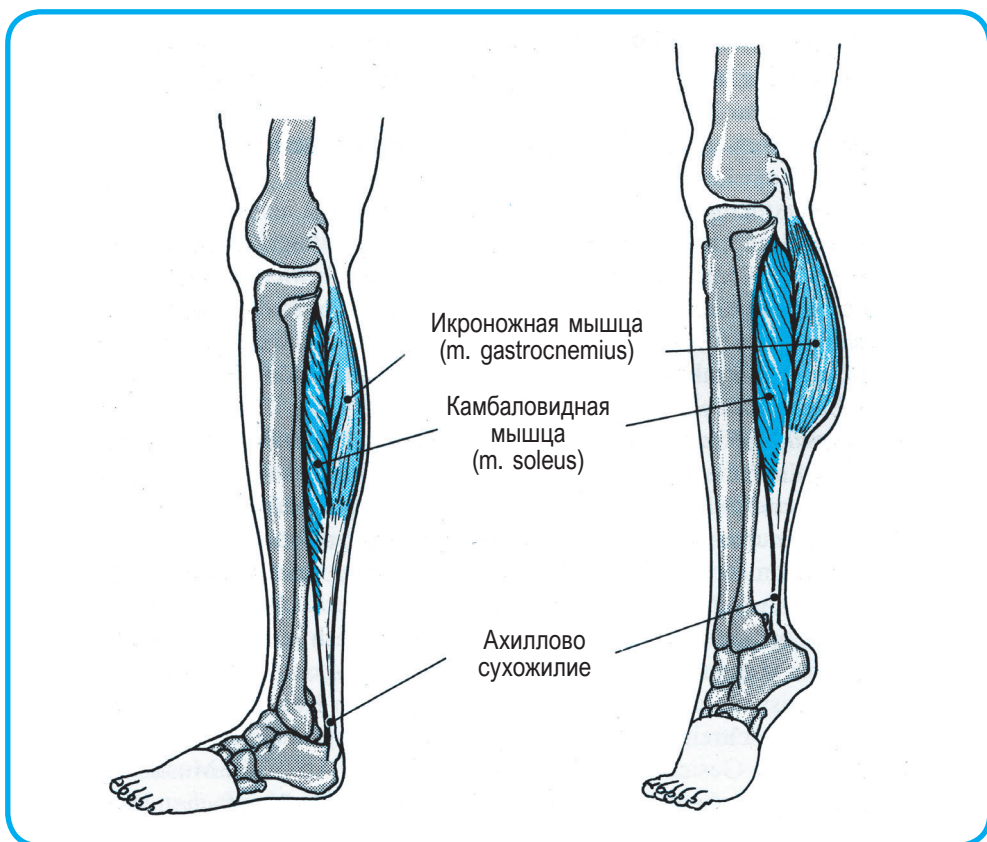
*подняться на носки;*

*задержаться в этом положении на несколько секунд;*

*опуститься в обычную стойку.*

Чтобы подняться на носки, нам прежде всего необходимо сократить мышцы, расположенные в задней части голени. Две самые важные мышцы, осуществляющие подошвенное сгибание стопы в голеностопном суставе, — это икроножная и камбаловидная мышцы (*musculus gastrocnemius* и *musculus soleus*, см. рис. 1.3 на с. 24).

Двуглавая икроножная мышца начинается обеими своими головками от наружного и внутреннего мыщелков бедренной кости и прикрепляется с помощью ахиллова сухожилия к пяточной кости. Она пересекает коленный и голеностопный суставы (является двусуставной).



**Рис. 1.3.** Крупные мышцы голени, осуществляющие подошвенное сгибание стопы