

СОДЕРЖАНИЕ

Список сокращений 5 • Предисловие 9 • Благодарности 9

РАЗДЕЛ I **ФИЗИОЛОГИЯ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ**

- 1 Сердечно-сосудистая система: строение и функции** **13**
Элементы сердечно-сосудистой системы 15 • Реакция сердечно-сосудистой системы на физические упражнения 20 • Резюме 21
- 2 Насосная функция сердца** **22**
Общая анатомия сердца 22 • Сердечный цикл 24 • Петля взаимозависимости давления и объема 26 • Сердечный выброс 27 • Перераспределение фракции сердечного выброса 29 • Коронарное кровоснабжение 30 • Оценка структуры и функции сердца 33 • Резюме 38
- 3 Кардиомиоциты** **39**
Микроскопическая анатомия кардиомиоцитов 39 • Электромеханическое сопряжение 43 • Механизмы сокращения 45 • Метаболические потребности 46 • Резюме 47
- 4 Электрическая активность сердца** **48**
Ионная основа электрической активности 48 • Мембранный потенциал покоя 49 • Потенциал действия 49 • Проводящая система сердца 51 • Сердечный автоматизм 53 • Пейсмейкеры 54 • Контроль частоты сердечных сокращений 54 • Мозг и рецепторы в механизме контроля сердечного ритма 56 • Вариабельность сердечного ритма 57 • Резюме 60
- 5 Электрокардиограмма** **62**
Значения электрокардиограммы 62 • Регистрация электрокардиограммы 64 • Измерение частоты сердечных сокращений 66 • Сердечные ритмы 67 • Блокады проводимости 72 • Гипертрофия желудочков 73 • Изменения сегмента ST (ишемия) 75 • Инфаркт миокарда 76 • Способы и условия регистрации электрокардиограммы 78 • Распространенные отклонения электрокардиограммы у спортсменов 79 • Резюме 79
- 6 Гемодинамика и периферическое кровообращение** **81**
Градиент (перепад) давления 81 • Скорость кровотока 82 • Закон Пуазейля 82 • Кровоток 85 • Артериальное давление 88 • Пульсовые волны и их колебания 89 • Контроль просвета сосудов 90 • Рефлекторный контроль артериального давления и вазомоции 93 • Измерение артериального давления и пульсовой волны 96 • Резюме 98

7	Сосуды: строение и функции	100
	Строение кровеносных сосудов 100 • Сосудистая сеть 101 • Эндотелий 103 • Эндотелиальная регуляция сосудистого тонуса 106 • Гладкая мускулатура сосудов 109 • Оценка эндотелиальной и сосудистой функций 112 • Резюме 115	
8	Гемостаз: коагуляция и фибринолиз	116
	Повреждение сосудов 119 • Тромбоциты 119 • Коагуляция 123 • Фибринолиз — расщепление тромба 126 • <i>COVID-19</i> и острые тромботические осложнения 126 • Оценка гемостаза 127 • Резюме 128	
РАЗДЕЛ II ВЛИЯНИЕ ТРЕНИРОВОК НА СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТУЮ СИСТЕМУ		
9	Реакция сердечно-сосудистой системы на аэробную нагрузку	131
	Реакции сердца 131 • Реакция сосудов 137 • Реакции гемостаза 151 • Резюме 156	
10	Адаптация сердечно-сосудистой системы к аэробным нагрузкам	158
	Адаптация сердца 158 • Адаптация сосудов 166 • Адаптация гемостаза 178 • Резюме 181	
11	Сердечно-сосудистый ответ при интенсивных тренировках на выносливость (функциональный тренинг)	183
	Реакции сердца 184 • Реакции сосудов 190 • Реакции гемостаза 198 • Резюме 201	
12	Адаптация сердечно-сосудистой системы к силовым тренировкам	202
	Адаптация сердца 202 • Адаптация сосудов 208 • Адаптация гемостаза 212 • Резюме 213	
	Глоссарий 214 • Список литературы 217 • Предметный указатель 239 • Об авторах 245	

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

1 ПМ	— один максимальный повтор	КФН	— коллапс после физической нагрузки
eNOS	— эндотелиальная синтаза оксида азота	ЛА	— легочная артерия
Hb	— гемоглобин	ЛЖ	— левый желудочек
Ht	— гематокрит	ЛП	— лекарственный препарат
MVC	— максимальное произвольное сокращение	ЛПНП	— липопротеины низкой плотности
t-PA	— активатор плазминогена тканевого типа	МЖП	— межжелудочковая перегородка
u-PA	— активатор плазминогена урокиназного типа	МКК	— малый круг кровообращения
VO_{2max}	— уровень максимального потребления кислорода	МП	— медицинская помощь
АВ	— атриовентрикулярный	МПК	— максимальное потребление кислорода
АГ	— артериальная гипертензия	МПП	— межпредсердная перегородка
АД	— артериальное давление	МРТ	— магнитно-резонансная томография
АДГ	— антидиуретический гормон	МТ	— масса тела
АД _{ср}	— среднее артериальное давление	НС	— нервная система
АДФ	— аденозиндифосфат	НЧ	— низкочастотный
анат.	— анатомический	ОНЧ	— колебания очень низкой частоты
АПФ	— ангиотензин-превращающий фермент	ОПСС	— общее периферическое сосудистое сопротивление
АТл	— антитело	ПАД	— пульсовое артериальное давление
АТФ	— аденозинтрифосфат	ПД	— потенциал действия
АЧТВ	— активированное частичное тромбопластиновое время	ПЖ	— правый желудочек
БКК	— большой круг кровообращения	ПЖС	— преждевременные сокращения желудочков
БЛНПГ	— блокада левой ножки пучка Гиса	ПСЭС	— предсердная экстрасистолия
БПНПГ	— блокада правой ножки пучка Гиса	ПТВ	— протромбиновое время
в/	— внутри	РААС	— ренин-ангиотензин-альдостероновая система
ВНС	— вегетативная нервная система	разл.	— различный
ВСР	— вариабельность сердечного ритма	РКИ	— рандомизированное клиническое исследование
ВЧ	— высокочастотный	РНК	— рибонуклеиновая кислота
ГК	— грудная клетка	СА	— синоатриальный
ГЛЖ	— гипертрофия левого желудочка	САД	— систолическое артериальное давление
ГМ	— головной мозг	СД	— сахарный диабет
ГПЖ	— гипертрофия правого желудочка	СДД	— среднее динамическое давление
ДАД	— диастолическое артериальное давление	СН	— сердечная недостаточность
ЖКТ	— желудочно-кишечный тракт	СНС	— симпатическая нервная система
ЗЛ	— здоровые люди	СПР	— саркоплазматический ретикулум
ИАП	— ингибитор активатора плазминогена	СРПВ	— скорость распространения пульсовой волны
ИБС	— ишемическая болезнь сердца	ССЗ	— сердечно-сосудистые заболевания
ИМ	— инфаркт миокарда	ССС	— сердечно-сосудистая система
ИМТ	— индекс массы тела	ССУ	— синдром слабости синусового узла
КА	— коронарная артерия	ТТ	— температура тела
КДО	— конечно-диастолический объем	ТФ	— тканевой фактор
КДР	— конечно-диастолический размер	ТЭЛА	— тромбоэмболия легочной артерии
кл.	— клетка	ТЭО	— тромбоэмболические осложнения
КСО	— конечно-систолический объем	УЗДС	— ультразвуковое дуплексное сканирование
КСР	— конечно-систолический размер	УЗИ	— ультразвуковое исследование

6 ■ Список сокращений

ФВ — фракция выброса
физиол. — физиологический
ФН — физическая нагрузка
ФП — фибрилляция предсердий
цГМФ — циклический гуанозинмонофосфат

ЦНС — центральная нервная система
ЧСС — частота сердечных сокращений
ЭКГ — электрокардиограмма
ЭОС — электрическая ось сердца
ЭхоКГ — эхокардиограмма

ПРЕДИСЛОВИЕ

За предыдущие десятилетия в научном понимании функций сердечно-сосудистой системы (ССС) произошли значительные прорывы. Многие из открытий сделаны на основе данных научных исследований, направленных на углубленное понимание клеточных и молекулярных аспектов ССС. Такие исследования проводят по сей день, и их результаты улучшают понимание того, как физические упражнения влияют на ССС и обеспечивают кардиопротекцию. Цель этой книги — предоставить сводную информацию, которая: 1) даст четкое и лаконичное определение и объяснит механизмы работы каждого компонента ССС: сердца, сосудистой сети и крови; 2) позволит систематизировать и детально пояснить, как аэробные тренировки и анаэробные нагрузки (короткие интенсивные и продолжительные) влияют на каждый компонент ССС. Дополнительно в этой книге освещено сложное взаимодействие элементов ССС в состоянии покоя и во время физической нагрузки (ФН).

В основе изложенной здесь информации — новейшие научные и медицинские исследования, описывающие физиологию, функции ССС, а также ее реакции на ФН и адаптацию к разл. факторам. Текстовое описание подробно иллюстрировано, что поможет наглядно пояснить действие физиол. механизмов. Графические презентации широко используют в целях визуализации научных данных для описания реакций на упражнения или схем адаптации к тренировкам. Это издание будет полезно аспирантам (или студентам старших курсов медицинских вузов), профильно изучающим влияние ФН на ССС. Медицинским работникам и клиницистам такая структурированная информация также будет полезной: удобная подборка исследований описывает множество воздействий физических упражнений на ССС. В тексте особое внимание уделено благотворному воздействию физических упражнений на разл. элементы ССС и механизмам, с помощью которых регулярные физические упражнения обеспечивают кардиопротекцию. Предполагается, что читатели прослушали курсы по базовой анатомии, физиологии в целом и физиологии спорта в частности.

› СТРУКТУРА КНИГИ

Вся информация разделена на два раздела: первый посвящен главным образом описанию

структуры и функций ССС, а второй — подробно описанию воздействия физических упражнений на ССС. В первом разделе представлена физиология ССС, он содержит краткое описание структуры и функции каждого ее элемента: сердца, сосудистой сети и крови. Глава 1 содержит комплексную информацию о нормальном функционировании ССС, что дает теоретическую основу для последующих подробных обсуждений, где освещается совместная взаимозависимая функциональность разных элементов и органов ССС в норме в покое и во время ФН. Глава 2 описывает насосную функцию сердца и подчеркивает роль этого органа в доставке богатой кислородом крови в организм, а также необходимость регуляции сердечного выброса в соответствии с метаболическими потребностями организма. Глава 3 подробно показывает структуру и функции кл. миокарда, миоцитов, которые отвечают за сократительную способность сердца. В главе 4 рассматривается электрическая активность сердца в рамках специализированной проводящей системы сердца и внутри кардиомиоцитов. В главе 5 описаны стандартная электрокардиограмма (ЭКГ) и клиническая взаимосвязь между электрической активностью сердца и осциллограммами, видимыми на ЭКГ. Глава 6 содержит описание функций сосудистой сети на уровне органа, и в ней освещены важные темы гемодинамики в целом, регуляции кровотока и артериального давления в частности. Глава 7 посвящена относительно новым данным — науке о биологии сосудов. В ней подробно описаны структура и функции эндотелия и гладкой мускулатуры сосудов. Эта глава в значительной степени опирается на недавние открытия, описывает влияние выделяемых эндотелием веществ на регуляцию диаметра сосудов и кровотока. Глава 8 подробно описывает гемостатическую функцию крови, включая роль тромбоцитов, коагуляцию и фибринолиз. В этой главе подчеркнут тонкий баланс, который необходимо поддерживать между коагуляцией и фибринолизом, чтобы предотвратить нарушения свертывания крови и одновременно снизить кровотечение при повреждении сосуда.

Во втором разделе книги последовательно описано влияние физических упражнений на ССС, включая острую реакцию и хроническую адаптацию к аэробным упражнениям и нагрузкам с утяжелениями. Глава 9 описывает влияние короткой аэробной нагрузки на сердечную, сосудистую

функции и показатели гемостаза. В главе 10 перечислены устойчивые эффекты влияния программы систематических аэробных тренировок на структуру и функции сердца, сосудов и показатели гемостаза. По той же схеме в главе 11 описаны влияние коротких силовых упражнений на сердечную функцию, структуру и функционирование сосудов, а также показатели гемостаза. И в финальной, 12-й главе, представлены данные об устойчивом воздействии систематических тренировок с утяжелением на структуру и функцию сердца, структуру и функцию сосудов и показатели гемостаза.

› НОВОЕ В ЭТОМ ИЗДАНИИ

Это второе издание книги, в которое внесли следующие важные изменения и дополнения.

- Более точную статистику (пересмотрены существующие и добавлены новые данные) для лучшего понимания описаний.
- Новый раздел, посвященный гипертрофии желудочков.
- Новую информацию о центральном аортальном давлении и его показателях.
- Дополнительную информацию о патофизиологии артериальной ригидности и способах ее оценки.
- Обновленную информацию об артериальном давлении (АД) при тренировке, включая клиническое значение этой взаимосвязи.
- Новый раздел о влиянии длительных высокоинтенсивных ФН (марафоны и ультрамарафоны) на состояние коронарных артерий (КА) и гемостатическую функцию.
- Обновленную информацию о гиперемии и вазодилатации при ФН.
- Новые и обновленные разделы об изменении артериальной податливости после короткой и продолжительной ФН.
- Новую информацию о функциях эндотелия в зависимости от пола, возрастных изменений, продолжительности ФН.
- Новый раздел, посвященный артериальной гипотензии после тренировки.
- Обновленные результаты исследований, учитывающих различия между группами здоровых людей (ЗЛ) и испытуемых с кардиологическими дисфункциями на фоне их реакций на интенсивную силовую тренировку, а также

адаптацию ССС к силовым и аэробным тренировкам.

› ИНФОРМАЦИЯ ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ

В этом разделе представлены набор тестовых упражнений и примеры с изображениями, информация обновлена для этого издания. Дополнительные материалы доступны онлайн по адресу <http://hkpropel.humankinetics.com>.



Также предлагаются ответы на обзорные вопросы каждой главы и примеры ответов на вопросы по целевым исследованиям.

- **Набор тестов.** В разделе приводятся вопросы, которые можно загрузить для интеграции с системой управления обучением или распечатать в виде бумажных тестов.
- **Банк изображений.** Большинство рисунков и таблиц из печатной книги упорядочены по главам. Преподаватели могут использовать все изображения или выбрать только необходимые для создания своих собственных презентаций, проспектов или учебных материалов.
- **Ответы на целевые вопросы.** Содержатся вопросы к 15 тематическим обзорам, представленным в книге, а также примеры ответов на часто задаваемые вопросы.
- **Ответы на проверочные вопросы.** Преподаватели могут быстро получить доступ к ответам на обзорные вопросы в конце каждой главы.

Один учебник не может всесторонне осветить все, что известно о ССС. Но авторы надеются, что информация, представленная в этой книге, обеспечит читателю основу для понимания того, как взаимодействуют элементы ССС на фоне физических упражнений, как физиол. процессы адаптируются к постоянным тренировкам. Студенты, желающие провести исследование по влиянию физических упражнений на ССС, могут найти направление для своей деятельности, отметив возможные информационные пробелы, если таковые будут выявлены в книге.

БЛАГОДАРНОСТИ

Много людей помогали создавать эту книгу, и авторы в долгу перед ними, но некоторые заслуживают особого упоминания. Специалист по ресурсам *Amy Tocco* вдохновила нас начать работу над вторым изданием и поддерживала на протяжении всех этапов подготовки рукописи. Шеф-редактор *Judy Park* разделяла видение авторов, взяв на себя организацию многих процессов, необходимых для завершения рукописи. Обсуждения с *Tom Rowland* помогли максимально корректно сформулировать тезисы в нескольких местах, и он любезно выступил рецензентом нескольких глав. *Hannah Segrave* была незаменима при подготовке первого издания, ее навыки улучшили рукопись, а хорошее настроение увлекло всех, кто работал над проектом. *Danielle Wigmore* и *Dan Drury* сотрудничали с нами при составлении глав для первого издания, и авторы благодарят

их за такой вклад. *Wesley Lefferts* предоставил основные схемы, которые помогли прояснить текст для второго издания, и авторы крайне признательны за такую помощь.

Хотелось бы отметить и роль студентов: они подтолкнули авторов к разработке логического подхода к пониманию сложного и запутанного взаимодействия элементов ССС и влияния на них физических упражнений. Также авторы с благодарностью признают ту важную роль, с которой студенты справились, — бесконечное вдохновение и мотивация всей команды при выполнении непростой задачи написания этой книги.

Наконец, авторы особо хотели бы поблагодарить свои семьи за их неизменную поддержку и ободрение в течение длительного процесса подготовки этого издания — процесса, который отдалял их от родных больше, чем хотелось бы.

РАЗДЕЛ I

ФИЗИОЛОГИЯ СЕРДЕЧНО–СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ

ССС объединяет в себе сердце, сосудистую сеть и кровь. Этот комплекс органов реагирует на ФН совокупно, путем сложных взаимодействий, что позволяет удовлетворять метаболические потребности работающих мышц, сохранять необходимый уровень саморегуляции (гомеостаза для функционирования организма и его своевременной реакции на потенциальные угрозы).

Раздел I — это краткое объяснение структуры и функций каждого элемента ССС (сердца,

сосудов и крови), где значительное внимание уделено работе кл., составляющих орган, и контролю их функций. В разделе II описаны процессы комплексной реакции элементов ССС при выполнении аэробных и силовых упражнений, а также при следовании режиму тренировок. Полезно также помнить и о совокупной реакции на стресс, вызванной физическими упражнениями. Эти моменты освещаются на протяжении каждой главы всего раздела I.

СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТАЯ СИСТЕМА: СТРОЕНИЕ И ФУНКЦИИ

ЦЕЛИ ОБУЧЕНИЯ

- Описать анатомию сердца.
- Описать ток крови по малому кругу кровообращения (МКК) и большому кругу кровообращения (БКК), ток крови в сердце, а также изменения концентрации кислорода в крови в зависимости от отдела кровеносной системы.
- Определить максимальное потребление кислорода (МПК) и его связь с сердечным выбросом.
- Перечислить типы артерий и другие виды сосудов, описать особенности и характеристики их строения.
- Объяснить, как структурные изменения стенок сосудов влияют на их функцию.
- Описать разл. компоненты крови и их пропорции друг к другу.
- Определить форменные элементы в крови и роль, которую они играют в ССС.

ССС — удивительный механизм, который сотни лет вызывает неподдельный интерес, подталкивая к серьезным исследованиям клиницистов и ученых. В древние времена сердце рассматривали какместилище наших эмоций, и даже сегодня образ сердца связан с понятием чувств. В 1628 г. *William Harvey* предположил, что сердце перекачивает кровь по замкнутому сосудистому контуру (*Fee*, 2006). Сегодня каждый старшеклассник хотя бы упрощенно представляет роль ССС в поддержании жизни. Но исследователи ежедневно делают новые захватывающие открытия об этом комплексе органов и функций. Недавние работы в основном сосредоточены на клеточных и молекулярных аспектах сердечно-сосудистой функции.

ССС состоит из трех взаимно связанных и хорошо скоординированных структур: сердца, сосудистой сети и крови. Вместе эти элементы обеспечивают основную функцию ССС: доставку кислорода и питательных веществ к кл. организма и выведение продуктов жизнедеятельности из кл. ССС выполняет множество функций, которые можно разделить на несколько основных и иногда пересекающихся категорий следующим образом.

1. Транспорт и доставка.
 - Газообмен — транспорт и обмен дыхательных газов (кислорода и углекислого газа).
 - Доставка и обмен питательных веществ и продуктов жизнедеятельности.
 - Транспорт гормонов и других химических сигналов.
2. Гомеостаз (саморегуляция).
 - Поддержание водно-солевого обмена.
 - Поддержание *pH*-баланса.
 - Поддержание теплового баланса.
 - Регулирование АД.
3. Защита.
 - Предотвращение кровопотери через механизм гемостаза.
 - Профилактика инфекции: лейкоциты и лимфатическая ткань.

Это важнейшие задачи организма, и они выполняются благодаря тесным функциональным взаимосвязям между ССС и другими основными механизмами в организме. Во взаимодействие вовлечены нервная, дыхательная, эндокринная, иммунная, пищеварительная, мочевыделительная, костно-мышечная и покровная системы. Как видно

на схеме, представленной на рис. 1.1, сердце обеспечивает циркуляцию крови в МКК и БКК. МКК доставляет частично дезоксигенированную кровь из правого желудочка (ПЖ) в легочные капилляры, где она насыщается кислородом и возвращается в левое предсердие. МКК поддерживает важную взаимосвязь между ССС и дыхательной системой. Дыхательная система отвечает за доставку кислорода в альвеолы, кислород диффундирует в кровь по тонкостенным кровеносным капиллярам, а затем уже сердце обеспечивает подачу насыщенной кислородом крови к кл. организма. Аналогичным образом ССС отводит и углекислый газ. Вырабатываясь на клеточном уровне, он поступает в легочные капилляры и оттуда диффундирует в легкие, откуда выделяется при выдохе. Система кровообращения распределяет кровь по всем основным системам и тканям организма, а также активно взаимодействует с пищеварительной, мочевыделительной и покровной системами для выполнения основных сердечно-сосудистых функций и поддержания работоспособности этих механизмов.

ССС выполняет сразу несколько важных функций в гомеостатическом балансе: поддержание адекватного артериального давления (АД) в тканях организма и обеспечение оптимального уровня кислорода; поддержание баланса *pH* в определенных рамках; терморегуляцию за счет образования пота (получаемого из плазмы) и за счет усиления кожного кровотока; регуляцию метаболизма, особенно в отношении уровня глюкозы в крови.

Способность крови свертываться и предотвращать кровопотерю при повреждении кровеносного сосуда относится к важнейшей функции всей ССС — защитной. Но образование тромбов без необходимости может представлять угрозу для жизни. Эндотелий сосудов создает противотромботическую среду в условиях покоя, но может быстро активироваться, когда разрушается эндотелиальная выстилка. Лейкоциты помогают управлять иммунными реакциями и активно взаимодействуют с белками, переносимыми с кровью: так возникает воспалительная реакция и защита от внешних патогенов.

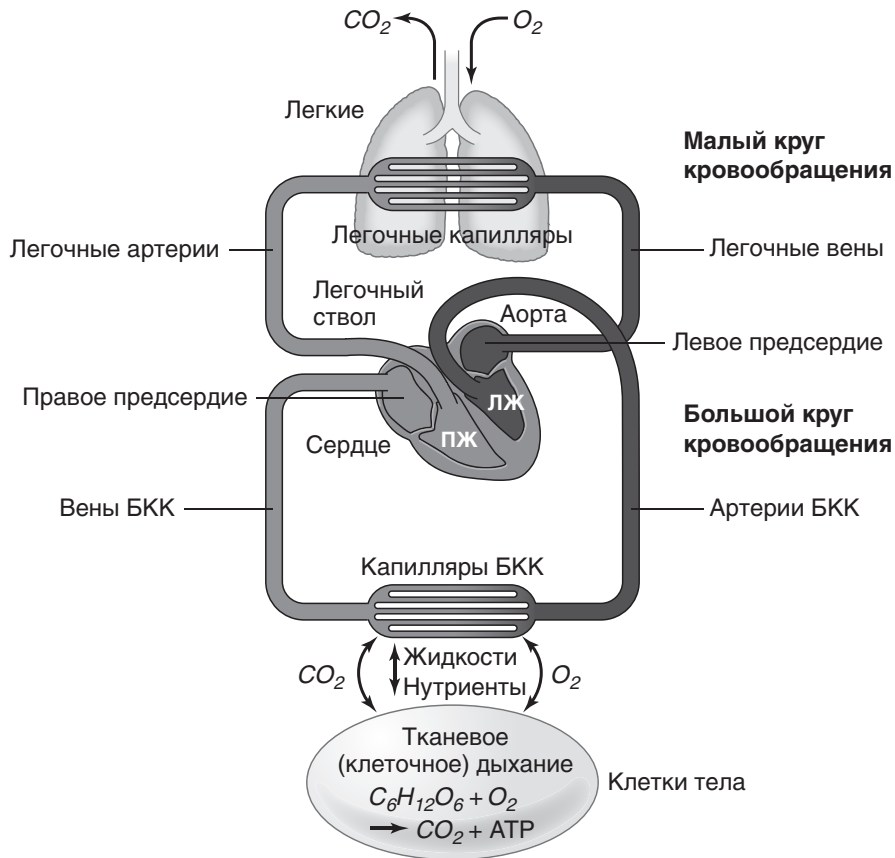


Рис. 1.1. Схема большого и малого круга кровообращения. Малый круг кровообращения доставляет кровь к легочным капиллярам, которые окружают альвеолы, чтобы удалять углекислый газ и насыщать кислородом гемоглобин. Большой круг кровообращения доставляет насыщенную кислородом кровь в системные капилляры, чтобы обеспечить кл. организм кислородом и вывести из них углекислый газ

ЭЛЕМЕНТЫ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ

В этой главе кратко рассматриваются структура и функции составляющих ССС, что дает наглядное представление о том, в какой степени взаимодействия должны работать все элементы, чтобы достигать результатов, описанных выше. В следующих главах строение и функции каждого составляющего компонента рассмотрены более подробно, с пояснениями того, как именно происходит реакция на стресс, связанный с физическими упражнениями.

СЕРДЦЕ

ССС включает сердце, сосудистую сеть и кровь. Сердце выступает как насос для системы кровообращения, обеспечивая также силу сокращения, необходимую для переноса крови к разл. органам (см. строение сердца на рис. 1.2). Предсердия служат приемными камерами. Правое предсердие получает кровь из верхней полой вены и нижней полой вены, а левое — насыщенную кислородом кровь из легочных вен. Правый желудочек перекачивает кровь в легкие (МКК), а левый желудочек (ЛЖ) отправляет кровь по всему телу (БКК). Мышечная стенка сердца называется миокардом,

что в переводе с древнегреческого означает «сердечная мышца». Правильно работающие клапаны сердца обеспечивают односторонний ток крови. Сердце — относительно небольшой орган, весящий ~300–350 г у здоровых взрослых. В состоянии покоя сердце получает ~4% кровотока и ~10% общего потребления кислорода.

Сердечный выброс¹ — количество крови, выталкиваемое из желудочков сердца за 1 мин. Этот показатель говорит о способности сердца перекачивать кровь для удовлетворения потребностей организма поминутно. Сердечный выброс определяется произведением частоты сердечных сокращений (ЧСС, сокращений в минуту) и ударного объема крови (выбрасываемого за 1 сокращение). В естественных условиях покоя сердечный выброс составляет ~5 л/мин, что в значительной степени зависит от размера тела. Но это значение может быстро изменяться, реагируя на новые потребности организма. Например, во время интенсивных физических упражнений производительность сердца может увеличиться в 5–7 раз. Это необходимо для удовлетворения метаболических потребностей при активной мышечной нагрузке.

¹ В русскоязычной профессиональной литературе чаще используется термин «минутный объем кровообращения».

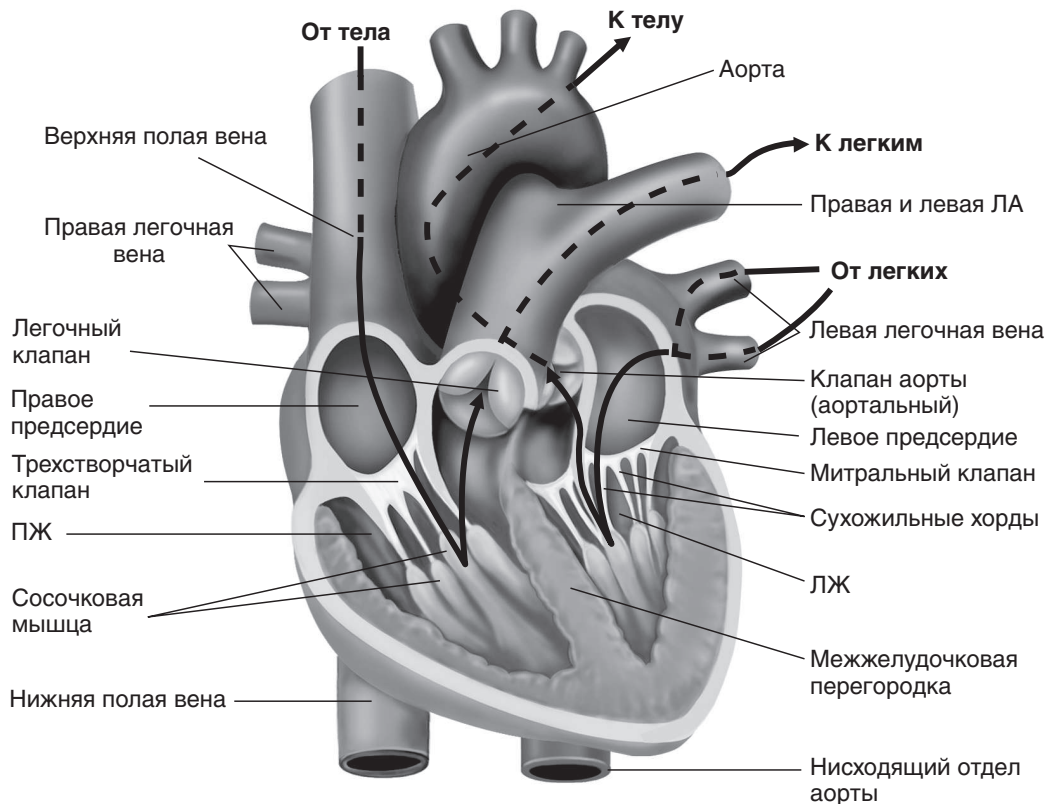


Рис. 1.2. Структура сердца. Клапаны играют важную роль в обеспечении одностороннего движения крови через сердце

СОСУДЫ

Сосуды — эластичные трубчатые каналы, они отвечают за распределение крови, кислорода, питательных веществ и множества других соединений, которые кровь транспортирует по всему организму. На рис. 1.3 представлено упрощенное схематическое изображение циркуляции крови через сердечно-сосудистую сеть. Хотя кровообращение в большинстве органов происходит параллельно, печеночное и почечное кровоснабжение осуществляется последовательно. Относительное распределение крови, поступающей в каждую из систем кровообращения, тщательно контролируется механизмами констрикции (сужения) или дилатации (расширения) сосудов в форме артериол — они снабжают органы. Степень сокращения и расслабления гладкой мускулатуры в стенках сосудов определяется единой системой нейрогуморально-гормонально-барьерной регуляции в соответствии с текущими метаболическими потребностями тканей.

Сосуды имеют сложное строение, это динамичные органы, которые постоянно изменяют свой диаметр (просвет), чтобы регулировать кровоток в соответствии с потребностями тканей в питании. Стенка сосуда также высвобождает ряд химических медиаторов, которые участвуют в свертывании крови и запуске воспалительной реакции. Внутренняя выстилка кровеносных, лимфатических сосудов — эндотелий. Он играет решающую роль в перемещении веществ между сосудистым пространством и подлежащей тканью, регулируя сосудистый тонус (вазоконстрикция и вазодилатация), свертывание крови и фибринолиз, а также воспалительные реакции. Недавняя пандемия *COVID-19* продемонстрировала важность эндотелия. Множество клинических нарушений при тяжелых исходах *COVID-19* были опосредованы реакциями эндотелия, включая высвобождение воспалительных цитокинов (цитокиновый шторм), повышенную проницаемость сосудов, приводящую к застойным явлениям в разл. органах, и повышенный потенциал свертывания крови (микротромбы). Может пострадать эндотелий сосудов любого органа, и этим можно объяснить многочисленные клинические исходы.

› ОСНОВНЫЕ ТЕЗИСЫ

ССС — сложная система органов, состоящая из сердца, сосудистой сети и крови. ССС реагирует на физические упражнения, адаптируясь к метаболическим потребностям работающих мышц.

Скорость и давление крови в сосудистой системе

На рис. 1.4 отражены скорость циркуляции, АД и сопротивление кровотоку в системе

кровообращения в зависимости от площади поперечного сечения сосудов. У аорты (самой большой артерии в организме) площадь поперечного сечения больше, чем у обычных артерий. А площадь поперечного сечения артерии больше, чем у артериолы,

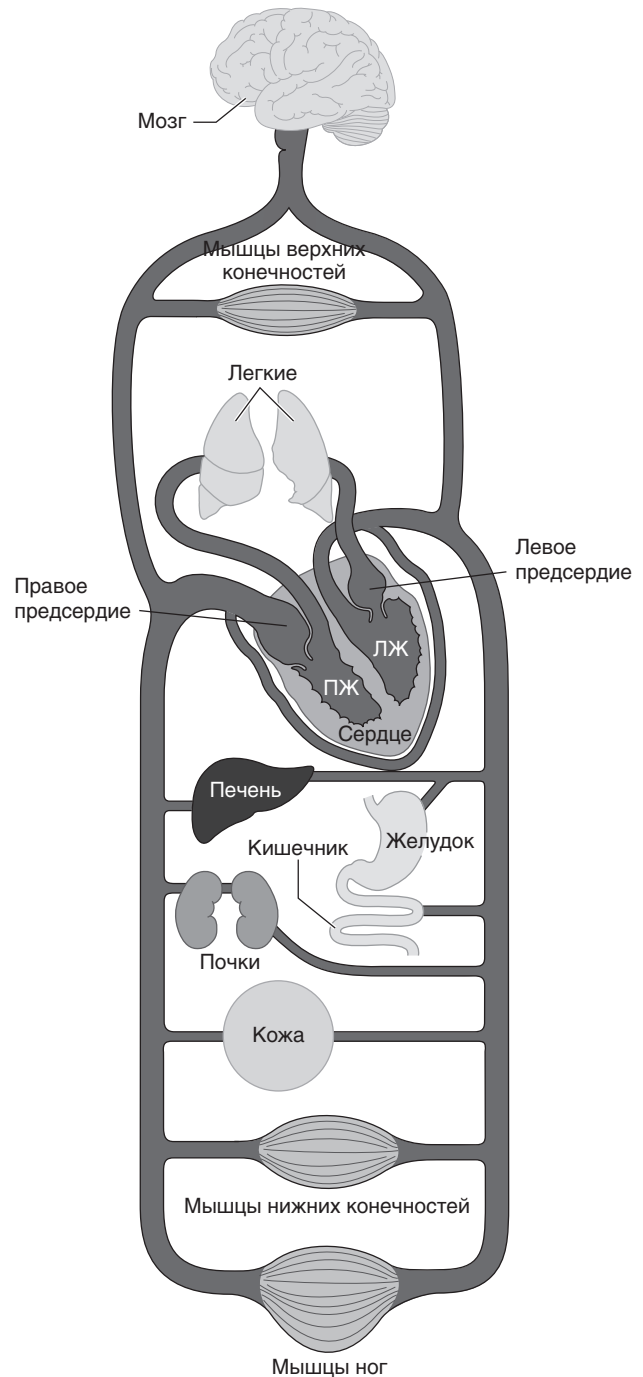


Рис. 1.3. Схема основных путей сердечно-сосудистой системы. Кровообращение в большинстве системных органов происходит параллельно, но печеночное и почечное кровоснабжение осуществляется последовательно. ПЖ — правый желудочек; ЛЖ — левый желудочек