

УДК 611/612
ББК 28.70
С50

Advanced Cardiovascular Exercise Physiology, 2nd Edition
By Denise L. Smith, Bo Fernhall

© Copyright © 2023, 2011 by Denise L. Smith and Bo Fernhall

© Human Kinetics supports copyright. Copyright fuels scientific and artistic endeavor, encourages authors to create new works, and promotes free speech. Thank you for buying an authorized edition of this work and for complying with copyright laws by not reproducing, scanning, or distributing any part of it in any form without written permission from the publisher.

You are supporting authors and allowing Human Kinetics to continue to publish works that increase the knowledge, enhance the performance, and improve the lives of people all over the world.

Научные редакторы: *Германов В.А., Машевич Е.А., Озоль С.Н., Прохоренко Н.Ф.*

Смит, Дэнис Л.
С50 Сердечно-сосудистая система. Анатомия и физиология в покое и при физических нагрузках / Дэнис Л. Смит, Бо Фернхолл ; [перевод с английского С. В. Котовой]. — Москва : Эксмо, 2024. — 248 с. : ил.

ISBN 978-5-04-184314-4

Книга посвящена работе сердечно-сосудистой системы. Информация, представленная в ней, дает основу для понимания того, как взаимодействуют элементы СС в процессе покоя и при физических нагрузках и как внутренние органы адаптируются к постоянным тренировкам.

Из книги вы узнаете о структуре и функции каждого элемента сердечно-сосудистой системы: от клеток крови до органов; изучите комплексную реакцию элементов сердечно-сосудистой системы при выполнении аэробных и силовых упражнений, а также при соблюдении режима тренировок; оцените реакцию органов и сердечно-сосудистой системы на стресс, вызванный физическими упражнениями.

Все данные основаны на новейших научных медицинских исследованиях. Издание богато иллюстрировано и содержит более 300 рисунков и схем.

УДК 611/612
ББК 28.70

ISBN 978-5-04-184314-4

© Котова С., перевод на русский язык, 2023
© Оформление. ООО «Издательство «Эксмо», 2024

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.

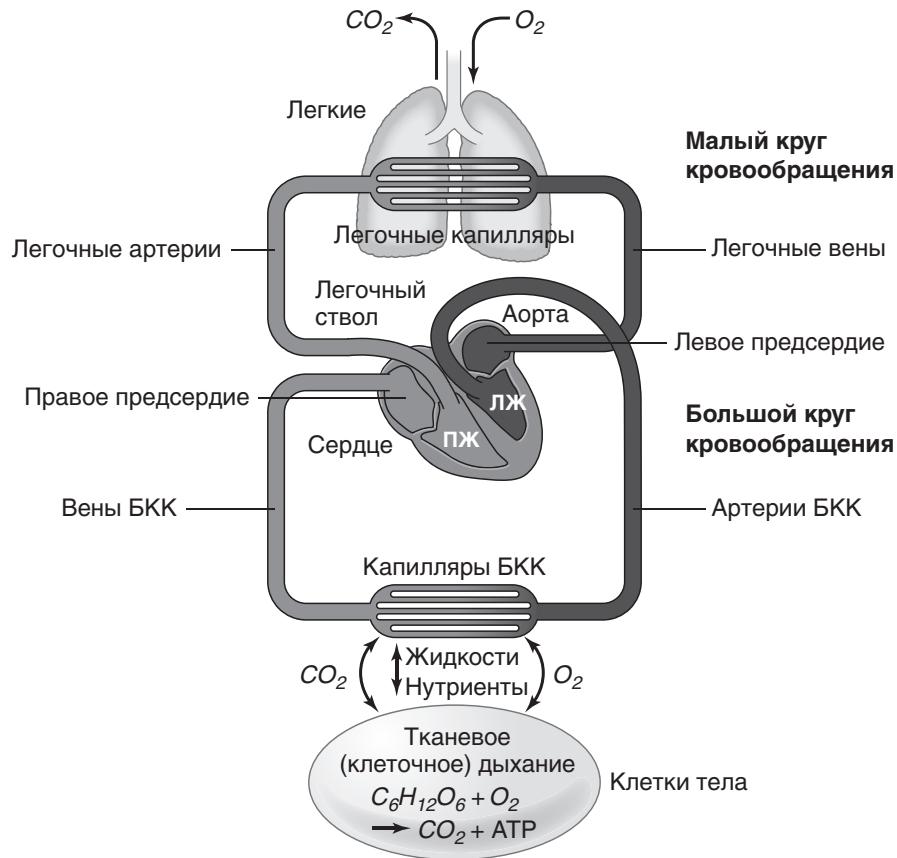


Рис. 1.1. Схема большого и малого круга кровообращения. Малый круг кровообращения доставляет кровь к легочным капиллярам, которые окружают альвеолы, чтобы удалять углекислый газ и насыщать кислородом гемоглобин. Большой круг кровообращения доставляет насыщенную кислородом кровь в системные капилляры,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

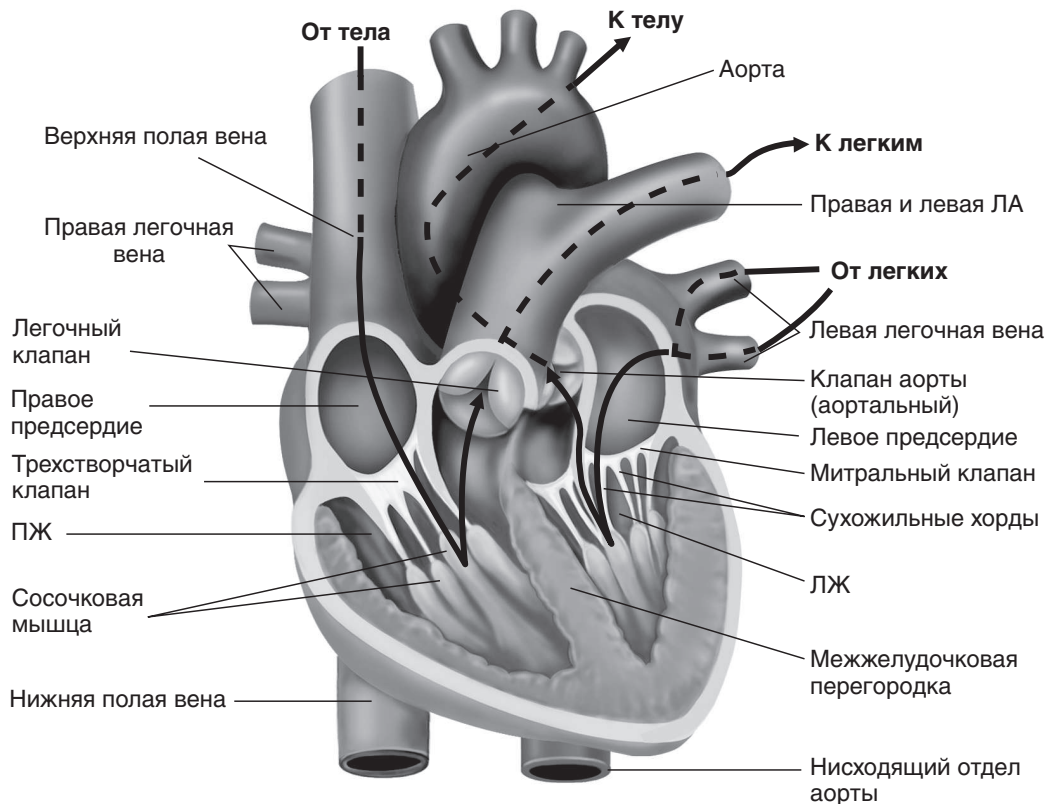


Рис. 1.2. Структура сердца. Клапаны играют важную роль в обеспечении одностороннего движения крови через сердце

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,

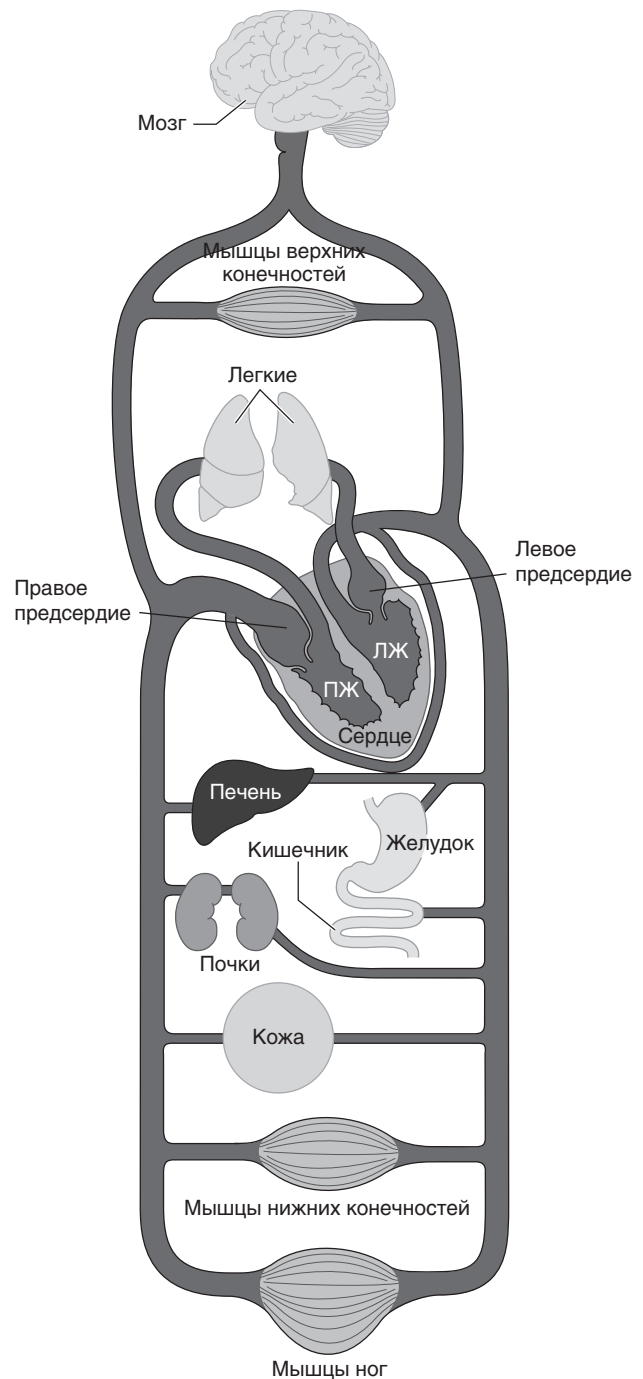


Рис. 1.3. Схема основных путей сердечно-сосудистой системы. Кровообращение в большинстве системных органов происходит параллельно, но печеночное и почечное кровоснабжение осуществляется последовательно. ПЖ — правый желудочек; ЛЖ — левый желудочек