

Патофизиология сердечно- сосудистой системы

Леонард С. Лилли



Wolters Kluwer



Лаборатория
ЗНАНИЙ

Патофизиология сердечно- сосудистой системы

Pathophysiology of Heart Disease

An Introduction to Cardiovascular Medicine

7th Edition

EDITOR

Leonard S. Lilly, MD

Professor of Medicine
Harvard Medical School
Chief, Brigham and Women's/Faulkner Cardiology
Brigham and Women's Hospital
Boston, Massachusetts



Wolters Kluwer

Philadelphia · Baltimore · New York · London
Buenos Aires · Hong Kong · Sydney · Tokyo

Патофизиология

сердечно- сосудистой системы

РЕДАКТОР

Леонард С. Лилли

5-е издание,
переработанное и дополненное

Перевод с английского
под редакцией д. м. н.,
профессора Е. Л. Бокерия



Москва
Лаборатория знаний

УДК 616.1
ББК 54.10
П20

Переводчик: канд. биол. наук, Т. В. Липина

Патофизиология сердечно-сосудистой системы / под ред.
Л. С. Лилли ; пер. с англ. под ред. Е. Л. Бокерия. — 5-е изд., перераб.
и доп. — М. : Лаборатория знаний, 2023. — 712 с. : ил.

ISBN 978-5-00101-327-3

Книга является руководством по клинической кардиологии с точки зрения современной патофизиологии. Она охватывает все заболевания сердечно-сосудистой системы и в доступной форме знакомит читателя с самыми актуальными вопросами патофизиологии сердца и сосудов, диагностикой, клинической картиной и основами лечения кардиологических пациентов.

Хорошему восприятию обширного и непростого материала способствуют оригинальные рисунки, схемы, таблицы, подготовленные опытными клиницистами и продвинутыми в учебе студентами. Настоящее издание переработано и существенно расширено.

Книга предназначена для студентов биологических и медицинских вузов и практикующих врачей.

УДК 616.1
ББК 54.10

*Издательство благодарит д-ра мед. наук, проф. Д. М. Аронова
за участие в подготовке 4-го издания книги.*

Wolters Kluwer Health не принимало участие в переводе издания и поэтому не несет никакой ответственности за неточности или ошибки в переводном издании.

В этой книге приведены точные показания, побочные реакции и графики приема лекарств, но возможно, что они могут измениться. Читателю следует внимательно ознакомиться с инструкцией производителя препарата, вложенной в упаковку. Авторы, редакторы, издатели и распространители не несут никакой ответственности за ошибки или упущения, а также за любые последствия, возникшие от применения информации, изложенной в этой книге, и не дают никаких гарантий, явных или подразумеваемых, относительно содержания публикации. Авторы, редакторы, издатели и распространители не несут никакой ответственности за любой вред или ущерб лицам или собственности, возникший в результате этой публикации.

Учебное издание

ПАТОФИЗИОЛОГИЯ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ

Художник М. А. Владимирская

Технический редактор Т. Ю. Федорова. Корректор И. Н. Панкова

Компьютерная верстка: В. И. Савельев

Подписано в печать 27.02.23. Формат 70×100/16.

Усл. печ. л. 57,85. Заказ

Издательство «Лаборатория знаний»

125167, Москва, проезд Аэропорта, д. 3

Телефон: (499) 157-5272, e-mail: info@pilotLZ.ru, <http://www.pilotLZ.ru>

Отпечатано в АО «Первая Образцовая типография», филиал «Дом печати – ВЯТКА»
в полном соответствии с качеством предоставленных материалов.

610033, г. Киров, ул. Московская, 122. Факс: (8332) 53-53-80, 62-10-36

<http://www.gipp.kirov.ru>; e-mail: order@gipp.kirov.ru

Copyright © 2021 Wolters Kluwer

Copyright © 2016, 2011, 2007, 2003, 1998, 1993

Lippincott Williams & Wilkins, a Wolters Kluwer business.

All rights reserved. Перевод издания

Pathophysiology of Heart Disease by Leonard S. Lilly (Ed).

Опубликовано с разрешения Wolters Kluwer Health Inc.,

USA

ISBN 978-5-00101-327-3

© Лаборатория знаний, 2023

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	9
Предисловие автора	11
Состав участников проекта	13
1. Строение и функции сердца	15
Анатомия и гистология сердца	16
Основы электрофизиологии	30
Сопряжение возбуждения и сокращения	44
Введение в сигнальные системы сердца	48
2. Тоны и шумы сердца	53
Сердечный цикл	54
Тоны сердца	58
Шумы сердца	67
3. Методы визуализации и оценки гемодинамики сердца	79
Рентгенография сердца	80
Эхокардиография	85
Катетеризация сердца	96
Радионуклидные исследования	105
Компьютерная томография	111
Магнитно-резонансная томография	114
Обобщение	117
4. Электрокардиограмма	123
Электрические измерения — модель отдельной клетки	124
Отведения ЭКГ	127
Нормальный процесс распространения возбуждения в сердце	132
Интерпретация электрокардиограммы	137
5. Атеросклероз	173
Состояние сосудов при атеросклерозе	174
Факторы риска развития атеросклероза	193
6. Ишемическая болезнь сердца	207
Факторы, определяющие снабжение миокарда кислородом и его потребность в нем	209
Патофизиология ишемии	215
Последствия ишемии	220
Хроническая стабильная стенокардия: клиническая картина	225
Лечение	235
7. Острые коронарные синдромы	249
Патогенез острых коронарных синдромов	250
Патологическая анатомия и физиология	258
Клиника острых коронарных синдромов	264

Лечение острых коронарных синдромов	270
Осложнения	279
Стратификация риска и тактика ведения больных, перенесших инфаркт миокарда	287
8. Клапанные пороки сердца	293
Митральные пороки	294
Аортальные пороки	311
Трикуспидальные пороки	321
Пороки клапана легочной артерии	322
Хирургические протезированные клапаны	322
Инфекционный эндокардит	324
9. Сердечная недостаточность	337
Физиология	338
Патофизиология	347
Компенсаторные механизмы	352
Гибель миоцитов и клеточная дисфункция	358
Провоцирующие факторы	358
Клиническая картина	360
Прогноз	365
Лечение сердечной недостаточности со сниженной ФВ	365
Лечение сердечной недостаточности с неизменной ФВ	374
Острая сердечная недостаточность	375
10. Кардиомиопатии	383
Дилатационная кардиомиопатия	384
Гипертрофическая кардиомиопатия	393
Рестриктивная кардиомиопатия	403
Другие виды кардиомиопатий	406
11. Патофизиологические механизмы аритмий сердца	411
Формирование импульса в норме	413
Нарушения образования импульса	419
Нарушения проведения импульса	425
Физиологическое обоснование антиаритмической терапии	430
12. Клинические аспекты аритмий сердца	441
Брадиаритмии	442
Тахиаритмии	448
13. Артериальная гипертензия	475
Что такое артериальная гипертензия	476
Как регулируется уровень АД	477
Эссенциальная артериальная гипертензия	480
Вторичная артериальная гипертензия	485
Последствия артериальной гипертензии	493

Гипертонический криз	499
Антигипертензивная терапия	500
14. Заболевания перикарда	513
Анатомия и функции перикарда	514
Острый перикардит.	514
Выпот в полость перикарда.	521
Тампонада сердца	525
Констриктивный перикардит.	530
15. Заболевания периферических сосудов	539
Заболевания аорты.	540
Заболевания периферических артерий	549
Вазоспазм: синдром Рейно.	558
Заболевания вен	560
16. Врожденные пороки сердца	573
Развитие сердечно-сосудистой системы в норме	575
Кровообращение плода и перестройка кровообращения после рождения	583
Врожденные пороки сердца	587
Синдром Эйзенменгера.	610
17. Сердечно-сосудистые средства	615
Инотропные препараты	617
Вазодилататоры.	627
Антиадренергические препараты.	645
Антиаритмические препараты	652
Диуретики.	669
Антитромботические препараты	675
Препараты, регулирующие обмен липидов	692
Указатель	706

Посвящается

**КЭРОЛИН, ДЖОНАТАНУ, РЕБЕККЕ, ДУГЛАСУ,
ДЕБОРЕ И НОРМЕ ЛИЛЛИ**

Предисловие

Очевидно, что при создании того или иного продукта учет интересов потребителя заслуживает самого серьезного внимания. К сожалению, при написании учебников по медицине, которые играют жизненно важную роль в образовании студентов, аспирантов, ординаторов, практикующих врачей и парамедиков, специфика их требований к учебнику учитывается редко. Огромное большинство медицинских учебников пишется для самой широкой аудитории, часто с преобладающим коммерческим интересом к их продаже. Как следствие — медицинская книга содержит мало полезной информации для широкого круга читателей, и в то же время эта информация совершенно недостаточна для углубленного изучения предмета. После знакомства со многими медицинскими учебниками создается впечатление, что они написаны для школы, в которой одновременно в одном классе обучаются все ученики — от первоклассников до выпускников. Такое впечатление обусловлено тем, что в книге не-обходимость разбора явлений, невообразимо различающихся по уровню сложности, должна сочетаться с образовательным процессом.

Создатели учебной литературы принимают во внимание то, что учебники для студентов, которые знакомятся с предметом в первый раз, должны в значительной степени отличаться от книг, написанных для практикующих врачей. Последние уже имеют практический опыт в изучаемой области и желают освежить свои знания или узнать о новых достижениях в той области медицины, в которой они имеют достаточные, фундаментальные познания. Отсутствие учебников, специально адаптированных для студентов, заставляет профессорско-преподавательский состав медицинских институтов тратить много времени на подготовку и издание объемных курсов лекций и методических разработок.

«*Патофизиология сердечно-сосудистой системы: введение в сердечно-сосудистую медицину*» — представляет собой новый подход к созданию медицинского учебника. Студенты, неудовлетворенные существующей учебной литературой по данному предмету, для которых в основном создавалась эта книга, определили свои требования к ее качеству. Удачей книги стало то, что требования студентов встретили доброжелательное понимание ее автора. Неоценимую роль в ее написании сыграл известный кардиолог Леонард С. Лилли — профессор Гарвардского университета, работающий в Бригаме, гинекологической больнице, и больнице Фолкнер. Он сформировал группу талантливых студентов и преподавателей медицинского факультета, которым удалось создать прекрасный учебник, знакомящий читателя с основами патофизиологии заболеваний сердца. Текст книги, сопровождающие его таблицы и иллюстрации лег-

ко воспринимаются студентами. Несмотря на то что «Патофизиология сердечно-сосудистой системы» не может рассматриваться как энциклопедический всеобъемлющий труд, информация, содержащаяся в книге, достаточно объемна и детализирована.

Предыдущие издания этой книги были встречены с энтузиазмом. В настоящее время книга рекомендована или уже служит в качестве учебного пособия во многих медицинских институтах не только Соединенных Штатов, но и других стран. Сделан перевод на другие языки, получены две премии Американской ассоциации медицинских авторов, кроме того, книга дала импульс для создания нескольких других изданий, разработанных при сотрудничестве студентов и преподавателей. Настоящее пятое издание — это не только переработанный, но и существенно расширенный вариант четвертого издания. Многие рисунки были сделаны заново, с уточнениями, чтобы отобразить сложные аспекты в максимально простой форме. В таком виде учебник окажется гораздо более полезным.

Леонард С. Лилли и его коллеги внесли значительный вклад в подготовку представленной читателю книги. Будущие поколения врачей, а также больные будут благодарны авторам за проделанный ими нелегкий труд.

Ю. Браунвальд,
доктор медицины,
почетный профессор медицины Hersey,
Медицинская Школа в Гарварде,
Бостон, штат Массачусетс

Предисловие автора

Этот учебник представляет собой всестороннее введение в раздел медицины, изучающий заболевания сердечно-сосудистой системы. Несмотря на то что существуют и другие хорошие книги по кардиологии, их слишком энциклопедический характер может вызывать трудности в понимании изучаемого предмета у начинающих студентов. Целью этого издания стало создание упрощенной связи между основным курсом физиологии и практическими занятиями студентов в клинике. Оно должно помочь студентам медицинских специальностей и практикующим врачам сформировать солидный фундамент знаний о заболеваниях сердца и системы кровообращения. Изучать книгу рекомендуется одновременно с прохождением основного курса патофизиологии сердечно-сосудистой системы. Основное внимание в ней обращается на механизмы возникновения и развития заболеваний сердца с целью облегчить дальнейшее углубленное изучение клинической диагностики и терапии.

Мотивом для написания данной книги послужила потребность в ней наших студентов, а также их желание участвовать в ее создании. Как следствие этого, процесс работы над учебником был необычным. Учебник создавался в результате сотрудничества студентов медицинского факультета Гарвардского университета и преподавателей кафедры кардиологии, которые совместно писали и редактировали отдельные части рукописи. Целью такого сотрудничества было максимальное удовлетворение научных интересов студентов при обеспечении высокого качества материала за счет опыта профессорско-преподавательской группы, участвующей в создании книги. В предлагаемом значительно измененном седьмом издании «Патофизиологии сердечно-сосудистой системы: введение в сердечно-сосудистую медицину» был также отражен опыт сотрудничества. В этот раз вместе работали группа выпускников (кардиологии и интернов) и сотрудники нашей кафедры кардиологии. Такое сотрудничество было введено, чтобы включить в издание больше клинического материала, разработать серии вопросов к каждой главе.

В вводных главах книги рассмотрены основы анатомии и физиологии сердца и описаны основные методы исследования, необходимые для понимания клинических аспектов материала последующих глав. В остальных — основные группы заболеваний сердца. Книга предназначена для полного прочтения. Вместе с тем структура ее такова, что каждую главу можно изучать отдельно от других. В последней главе описаны основные классы сердечно-сосудистых лекарственных препаратов и физиологические основы их применения.

Мне было особенно приятно сотрудничать с 118 талантливыми и энергичными студентами, внесшими огромный вклад в семь изданий этой книги. Их энтузиазм и трудолюбие помогли значительно облегчить завершение этого проекта. Благодарю также моих коллег-соавторов по факультету за их знания, усилия и время, потраченное ими на написание этой книги.

Хочется выразить глубокую признательность студентам и преподавателям из многих стран за бесценные конструктивные замечания, сделанные по поводу предыдущих изданий. Многие из них позволили лучше изложить материал. Спасибо всем представившим клинические результаты, обзоры, а также всем поддержавшим настоящее издание. Это Шани Аббара, Лорэн Байер, Дж. Филипп Бауэн, Мари Жерар-Герман, Андетта Хансейкер, Раймонд Куонг, Джиллиан Либерман, Роберт Падера, Хельмут Ренук, Кристиан Симпсон, Михаэль Стейгнер, Скотт Стрекенбах, И-Пинг Сан, Шармила Дорбала, Марчелло Ди Карли, Фрэнк Рибики, Фредерик Шон и Пинак Ша. Мне также хочется поблагодарить Джувет Огуст и Памелу Нэттас за большую помощь в технической работе.

Сотрудничество с редакцией и издательским составом Lippincott Williams & Wilkins/Wolters Kluwer было незабываемым и полезным. Я особенно признателен Эмили Бучиери, Эми Миллхолен, Кристел Тейлор, Холи МакЛоглэн, Алисии Джэксон и Гайатри Говиндаражан (из SPi Global) за их профессионализм, способствовавший выходу книги в свет.

Наконец, я очень благодарен за поддержку и терпение со стороны членов моей семьи при подготовке этого издания.

Все участвовавшие в создании книги надеются, что она углубит ваши знания в области сердечно-сосудистых заболеваний, поможет в дальнейшем их изучении и более эффективном лечении больных.

Леонард С. Лилли, MD,
Бостон, Массачусетс

Состав участников проекта

David D. Berg, MD, MPH

Instructor in Medicine
Harvard Medical School
Cardiovascular Division
Brigham and Women's Hospital
Boston, Massachusetts

Ankeet S. Bhatt, MD, MBA

Fellow in Cardiovascular Medicine
Brigham and Women's Hospital
Harvard Medical School
Boston, Massachusetts

Ron Blankstein, MD

Associate Professor of Medicine and
Radiology
Harvard Medical School
Associate Director, Cardiovascular
Imaging Program
Co-Director, Cardiovascular Imaging
Training Program
Director, Cardiac Computed Tomography
Brigham and Women's Hospital
Boston, Massachusetts

David W. Brown, MD

Associate Professor of Pediatrics
Harvard Medical School
Director, Fellowship Training Program
Department of Cardiology
Boston Children's Hospital
Boston, Massachusetts

Jenifer M. Brown, MD

Fellow in Cardiovascular Medicine
Brigham and Women's Hospital
Harvard Medical School
Boston, Massachusetts

Mark A. Creager, MD

Anna Gundlach Huber Professor of
Medicine
Geisel School of Medicine at Dartmouth
Director, Heart and Vascular Center
Dartmouth-Hitchcock Medical Center
Lebanon, New Hampshire

Jonathan W. Cunningham, MD

Fellow in Cardiovascular Medicine
Brigham and Women's Hospital
Harvard Medical School
Boston, Massachusetts

Sanjay Divakaran, MD

Instructor in Medicine
Harvard Medical School
Cardiovascular Division
Brigham and Women's Hospital
Boston, Massachusetts

Ershele Durrese, MD, PhD

Resident in Internal Medicine/Clinical
Investigator Track
New York University School of Medicine
New York, New York

Lauren A. Eberly, MD, MPH

Fellow in Cardiovascular Medicine
Perelman School of Medicine at the
University of Pennsylvania
Hospital of the University of Pennsylvania
Philadelphia, Pennsylvania

Elazer R. Edelman, MD, PhD, FACC

Poitras Professor of Medical Engineering
and Science, Massachusetts Institute of
Technology
Director, MIT Institute of Medical
Engineering and Science
Professor of Medicine, Harvard Medical
School
Cardiovascular Division, Brigham and
Women's Hospital
Boston, Massachusetts

Stanislav Henkin, MD, MPH

Assistant Professor of Medicine
Geisel School of Medicine at Dartmouth
Heart and Vascular Center
Dartmouth-Hitchcock Medical Center
Lebanon, New Hampshire

Bruce A. Koplan, MD, MPH

Assistant Professor of Medicine

Harvard Medical School
 Director, Electrophysiology Laboratories
 Cardiovascular Division
 Brigham and Women's Hospital
 Boston, Massachusetts

Vivek T. Kulkarni, MD, MHS, EdM

Fellow in Cardiovascular Medicine
 Perelman School of Medicine at the
 University of Pennsylvania
 Hospital of the University of Pennsylvania
 Philadelphia, Pennsylvania

Neal K. Lakdawala, MD

Assistant Professor of Medicine
 Harvard Medical School
 Cardiovascular Genetics and Center for
 Advanced Heart Disease
 Cardiovascular Division
 Brigham and Women's Hospital
 Boston, Massachusetts

Eldrin F. Lewis, MD, MPH

Professor of Medicine
 Stanford University School of Medicine
 Chief, Cardiovascular Medicine
 Stanford Health
 Stanford, California

Peter Libby, MD

Mallinckrodt Professor of Medicine
 Harvard Medical School
 Senior Physician
 Cardiovascular Division
 Brigham and Women's Hospital
 Boston, Massachusetts

Leonard S. Lilly, MD

Professor of Medicine
 Harvard Medical School
 Chief, Brigham and Women's/Faulkner
 Cardiology
 Brigham and Women's Hospital
 Boston, Massachusetts

Mathew S. Lopes, MD

Fellow in Cardiovascular and Critical
 Care Medicine
 Brigham and Women's Hospital
 Harvard Medical School
 Boston, Massachusetts

Diana M. Lopez, MD

Fellow in Cardiovascular Medicine
 Brigham and Women's Hospital
 Harvard Medical School
 Boston, Massachusetts

Victor Nauffal, MD

Fellow in Cardiovascular Medicine
 Brigham and Women's Hospital
 Harvard Medical School
 Boston, Massachusetts

Patrick T. O'Gara, MD

Professor of Medicine
 Harvard Medical School
 Watkins Family Distinguished Chair in
 Cardiology
 Cardiovascular Division
 Brigham and Women's Hospital
 Boston, Massachusetts

Siddharth M. Patel, MD

Fellow in Cardiovascular Medicine
 Brigham and Women's Hospital
 Harvard Medical School
 Boston, Massachusetts

Daniel C. Pipilas, MD

Fellow in Cardiovascular Medicine
 Massachusetts General Hospital
 Harvard Medical School
 Boston, Massachusetts

Marc S. Sabatine, MD, MPH

Professor of Medicine
 Harvard Medical School
 Lewis Dexter, MD, Distinguished Chair
 in Cardiovascular Medicine and Chair,
 TIMI Study Group
 Brigham and Women's Hospital
 Boston, Massachusetts

Gordon H. Williams, MD

Professor of Medicine
 Harvard Medical School
 Senior Physician
 Endocrinology, Diabetes, and Metabolism
 Brigham and Women's Hospital
 Boston, Massachusetts

*Эршела Дюррези
Элазер Р. Эдельман,
Леонард С. Лилли*

Анатомия и гистология сердца

16

- Перикард
- Анатомия сердца
- Внутреннее строение сердца
- Проводящая система сердца
- Иннервация сердца
- Сосуды сердца
- Гистология клеток миокарда желудочков

Основы электрофизиологии

30

- Ионные каналы и транспорт ионов
- Потенциал покоя
- Потенциал действия
- Рефрактерные периоды
- Проведение импульса
- Нормальная последовательность деполяризации сердца

Сопряжение возбуждения и сокращения

44

- Сократительные белки миоцитов
- Кальций-зависимое высвобождение кальция и сократительный цикл

Введение в сигнальные системы сердца

48

- β -Адренергическая стимуляция и холинергическая сигнализация

Знание нормальной структуры и функции сердца является основой для понимания заболеваний сердца. В этой главе представлен обзор основ анатомии и электрофизиологии сердца, а также клеточных и молекулярных механизмов, приводящих к сокращению сердца.

АНАТОМИЯ И ГИСТОЛОГИЯ СЕРДЦА

Хотя строение сердца изучается с древнейших времен, интерес к этой теме в наши дни возрастает. Развитие современных методов визуализации сердца, таких как коронарная ангиография, электрокардиография, компьютерная томография, магнитно-резонансная томография, дают сведения о пространственном расположении структур сердца. Такая информация важна для понимания патофизиологии заболеваний сердца. Особое внимание в этой главе уделяется аспектам анатомии сердца, имеющим значение для клиницистов, т. е. «функциональной анатомии».

ПЕРИКАРД

Сердце и корни магистральных сосудов сердца расположены в фиброзно-серозном мешке — перикарде (рис. 1.1). Перикард состоит из двух слоев: плотного наружного фиброзного слоя и внутреннего серозного слоя. Внутренний серозный слой покрывает наружную стенку сердца и называется **висцеральным перикардом**. Другой стороной он обращен к внутренней поверхности наружного фиброзного слоя, образуя **париетальный перикард**. Пространство между висцеральным и париетальным слоями содержит тонкую пленку перикардиальной жидкости, которая позволяет сердцу биться в условиях минимального трения.

Перикард прикрепляется с одной стороны к грудице, с другой — к правой и левой медиастинальной плевре. Связь перикарда с окружающими структурами способствует его прочной фиксации в грудной клетке и, таким образом, обеспечивает нормальную позицию сердца.

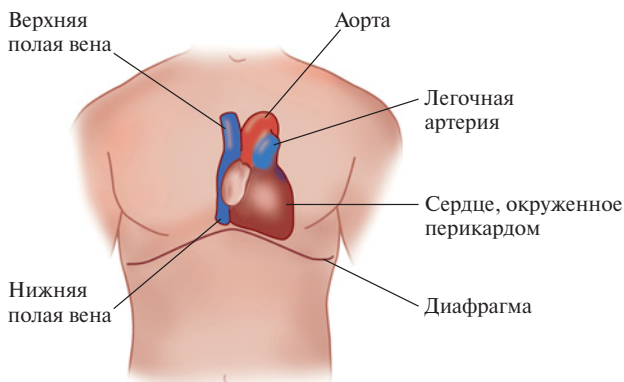


Рис. 1.1. Расположение сердца в грудной клетке. Верхняя полая вена, аорта и легочная артерия направлены вверх, нижняя полая вена направлена вниз

Аорта и легочная артерия выходят из соответствующих желудочков. Верхняя полая вена впадает в сердце (рис. 1.1). Нижняя полая вена выходит из перикарда книзу.

АНАТОМИЯ СЕРДЦА

Сердце имеет форму конуса и состоит из четырех камер. Правый и левый желудочки сердца являются основными насосными камерами. Имеющие более тонкий мышечный слой правое и левое предсердия направляют кровь в соответствующие желудочки.

Для описания поверхностей и границ сердца используют следующие термины (рис. 1.2). **Верхушка** формируется вершиной левого желудочка и направлена вниз, вперед и влево, а **основание** или задняя поверхность — предсердиями, главным образом левым, и расположено между воротами легких. **Передняя** поверхность сердца образована правыми предсердием и желудочком. Так как левые предсердие и желудочек расположены больше сзади, они формируют только узкую полосу передней поверхности сердца. **Нижняя** поверхность сердца образована обоими желудочками, преимущественно левым. Эта часть сердца прилежит к диафрагме, поэтому ее считают «диафрагмальной» поверхностью.

При исследовании грудной клетки в переднезадней проекции (таким как рентгенография грудной клетки, описание в гл. 3) различают четыре видимые границы сердца. Правая граница образована правым предсердием, и она всегда находится на линии верхней и нижней полых вен. Нижняя граница почти горизонтальная, она образована в основном правым желудочком и только вблизи верхушки — левым желудочком. Левый желудочек и часть левого предсердия образуют левую границу сердца, в то время как верхняя граница образована обоими предсердиями. Существуют два основных «правила» нормальной анатомии сердца: 1) правосторонние отделы сердца расположены в основном спереди по отношению к левосторонним отделам и 2) камеры предсердий располагаются в основном справа от соответствующих им желудочков.

ВНУТРЕННЕЕ СТРОЕНИЕ СЕРДЦА

Внутри сердца имеются четыре основных клапана, которые обеспечивают антеградное движение крови вперед и предупреждают обратный ток крови. Предсердно-желудочковые клапаны (трехстворчатый и митральный) отделяют предсердия от желудочков, в то время как полулунные (легочный и аортальный) отделяют желудочки от крупных артерий. Все четыре клапана сердца прикрепляются к фиброзному **скелету сердца** (рис. 1.3). Остов сердца состоит из плотной соединительной ткани, служащей опорой для клапанов и мышц желудочков и предсердий.

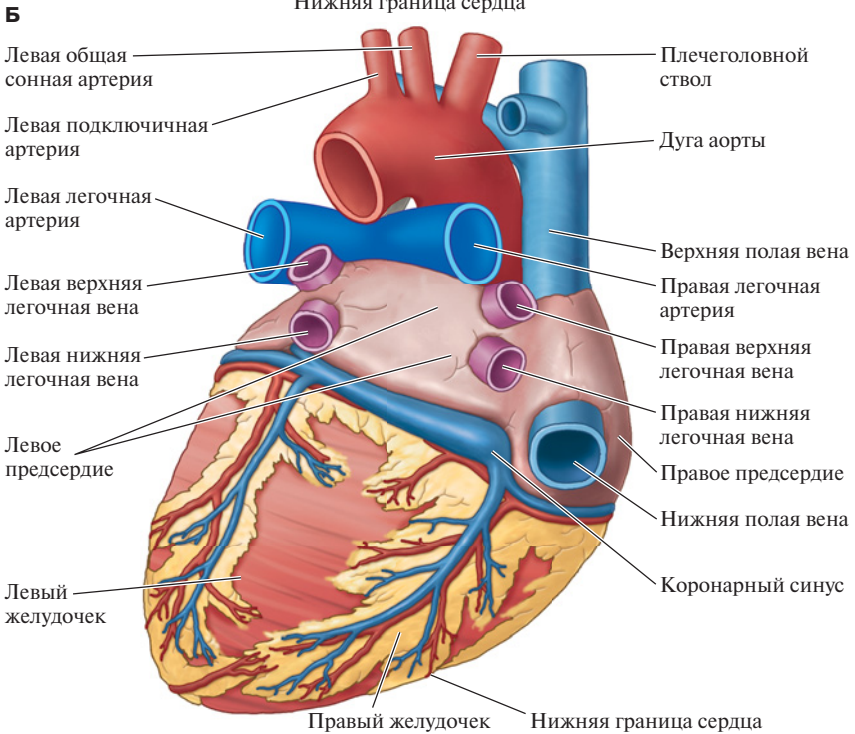
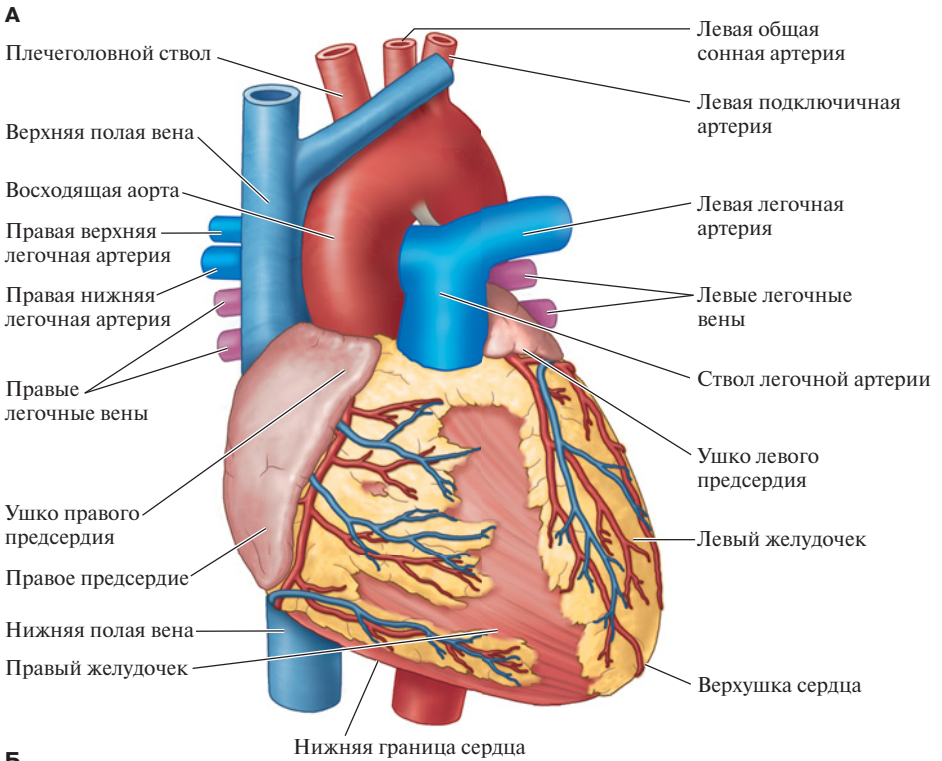


Рис. 1.2. А. Сердце и магистральные сосуды, вид спереди. **Б.** Сердце и магистральные сосуды, вид сзади

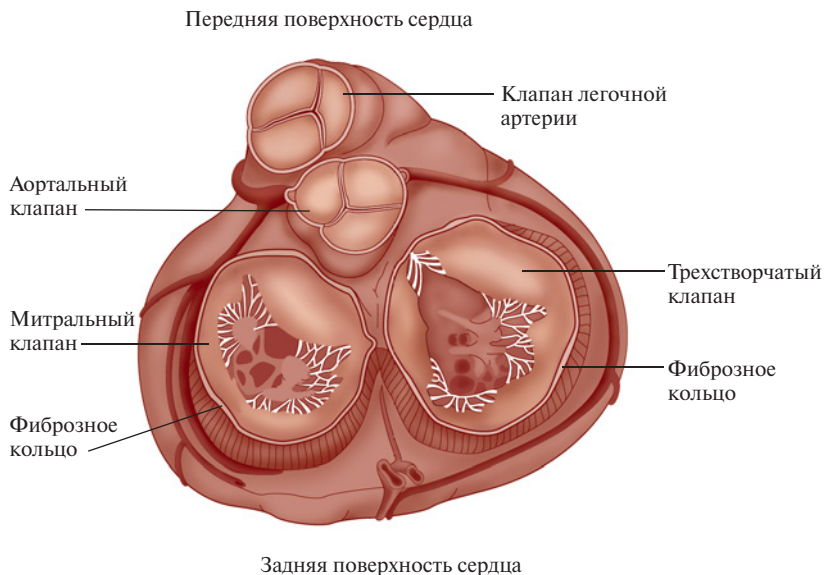


Рис. 1.3. Четыре сердечных клапана; вид сверху через удаленные предсердия. На рисунке изображен период наполнения желудочков (фаза диастолы), в течение которого трехстворчатый и митральный клапаны открыты, а полулунные клапаны (легочный и аортальный) закрыты. Фиброзные кольца митрального и трехстворчатого клапанов толще, чем кольца легочного и аортального клапанов

Поверхность клапанов и внутренняя поверхность камер сердца выстланы одним слоем эндотелиальных клеток, который называется **эндокардом**. Субэндокардиальная ткань содержит фибробласты, эластичные и коллагеновые волокна, вены, нервы, волокна проводящей системы и продолжается соединительной тканью в мышечный слой сердца — миокард. **Миокард** — наиболее толстый слой сердца, состоящий из клеток мышцы сердца, гистология которых будет описана позже. Снаружи от миокарда находится слой соединительной и жировой ткани, покрывающий крупные сосуды сердца и нервы, которые проходят к мышечному слою сердца. **Эпикард** — наружный слой сердца — это другое название описанного ранее висцерального перикарда.

Правые предсердие и желудочек

Верхняя и нижняя полые вены, коронарный синус впадают в **правое предсердие** (рис. 1.4). Полые вены возвращают венозную кровь из системных вен в правое предсердие, а коронарный синус является венозным возвратом от коронарных артерий. Межпредсердная перегородка формирует заднюю стенку правого предсердия и отделяет его от левого предсердия. **Трехстворчатый клапан** расположен на дне предсердия и открывается в полость правого желудочка. **Правый желудочек**

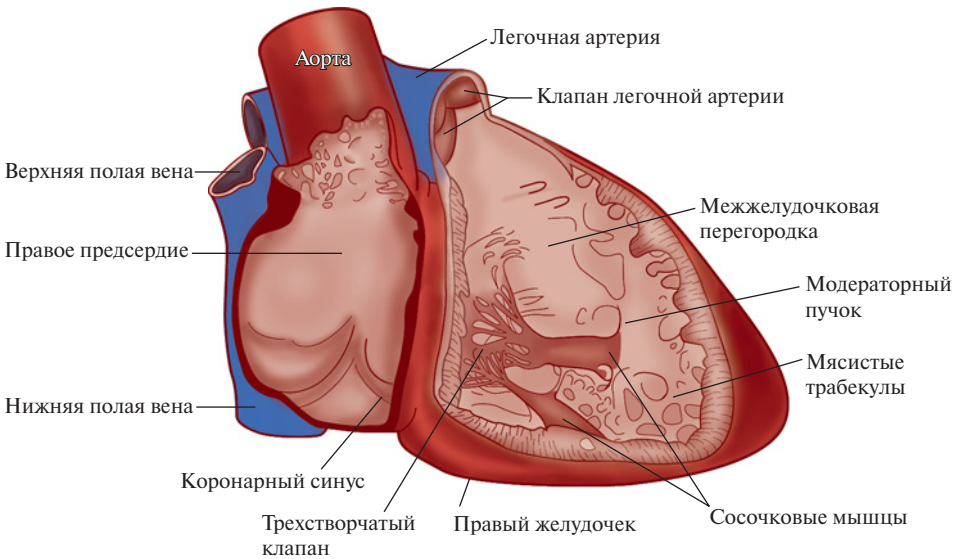


Рис. 1.4. Внутреннее строение правого предсердия и правого желудочка. (С изменениями из: Goss CM. *Gray's Anatomy*. 29th ed. Philadelphia, PA: Lea & Febiger; 1973: 547.)

(рис. 1.4) имеет треугольную форму, и его верхняя часть образует конусообразный выходной тракт, продолжением которого является легочная артерия. Несмотря на то что внутренняя поверхность выходного тракта гладкая, остальная часть желудочка покрыта сетью беспорядочно расположенных мышечных пучков (называемых **трабекулами**), которые образуют губчатую поверхность стенки правого желудочка. Большая трабекула, проходящая через полость желудочка, называется **модераторным пучком** и содержит часть волокон правой ножки пучка Гиса, идущих к мышце желудочка.

Правый желудочек имеет три **папиллярные мышцы**, которые направлены внутрь его полости и с помощью тонких нитевидных **сухожильных нитей** прикрепляются к краю створок трехстворчатого клапана. Створки клапана, в свою очередь, прикрепляются к фиброзному кольцу, удерживающему клапан между правым предсердием и желудочком. Сокращение желудочка начинается с сокращения папиллярных мышц, при этом сухожилия папиллярных мышц натягиваются, и створки трехстворчатого клапана смыкаются. При сокращении желудочка это предупреждает обратный ток крови из желудочка в правое предсердие.

На выходе из правого желудочка расположен **легочный клапан**, через который кровь попадает в легочную артерию. Этот клапан состоит из трех створок, которые прикрепляются к фиброзному кольцу. Во время расслабления желудочка эластическая тяга легочных артерий направляет кровь обратно к сердцу, что вызывает движение створок клапана по направлению друг к другу. Это приводит к закрытию клапана легочной артерии и предупреждает обратный ток крови в правый желудочек.

Левые предсердие и желудочек

В заднюю половину **левого предсердия** впадают четыре легочные вены (**рис. 1.5А**). Толщина стенки левого предсердия составляет около 2 мм, и она немного толще, чем стенка правого предсердия. Митральный клапан открывается внутрь левого желудочка непосредственно из нижней части стенки левого предсердия.

Полость **левого желудочка** приближается к конусообразной форме и несколько длиннее, чем полость правого желудочка. Толщина стенки левого желудочка у взрослых здоровых людей составляет 9—11 мм, почти в 3 раза толще стенки правого желудочка. Преддверием аорты является гладкостенная часть полости левого желудочка, которая располагается непосредственно под клапаном аорты. Ниже этого места бо́льшая часть желудочка покрыта трабекулами, более мелкими и многочисленными, чем в правом желудочке.

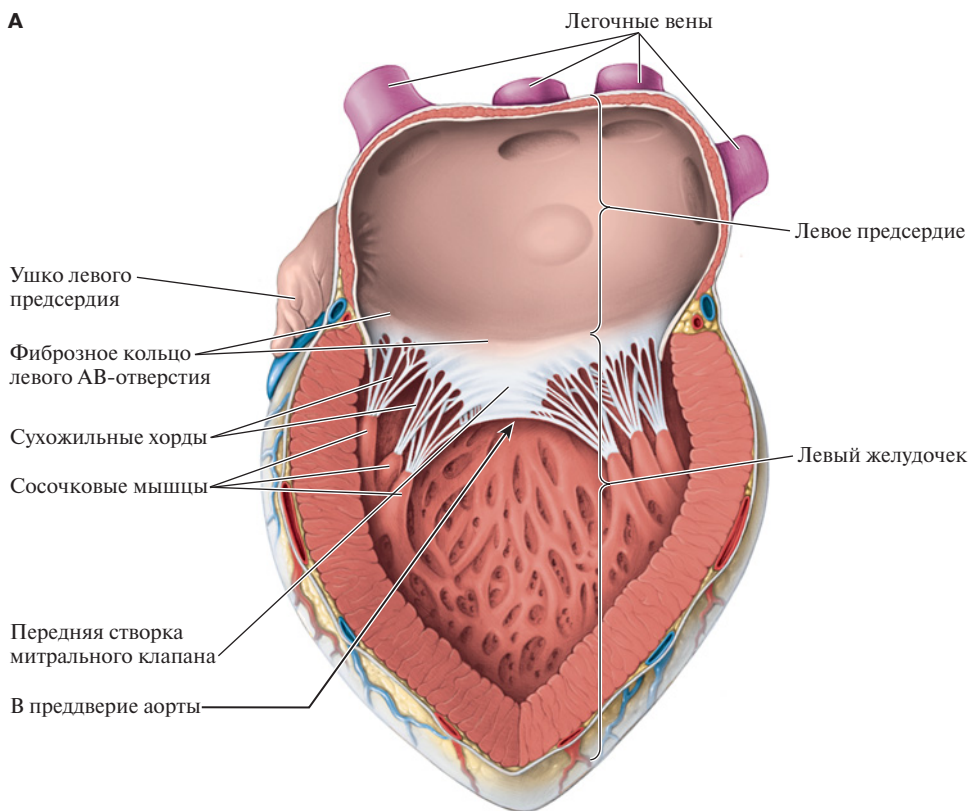


Рис. 1.5. Внутреннее строение левого предсердия и левого желудочка. **А.** Левое предсердие и левый желудочек, входные и выходные отделы. **Б.** Внутреннее строение полости ЛЖ. (Окончание рис. на 22-й полосе.) (С изменениями из: Moore KL, Dalley AF, Agur AMR. *Clinically Oriented Anatomy*. 7th ed. Philadelphia, PA: Lipincott Williams & Wilkins, 2014: 142—143.)

Б

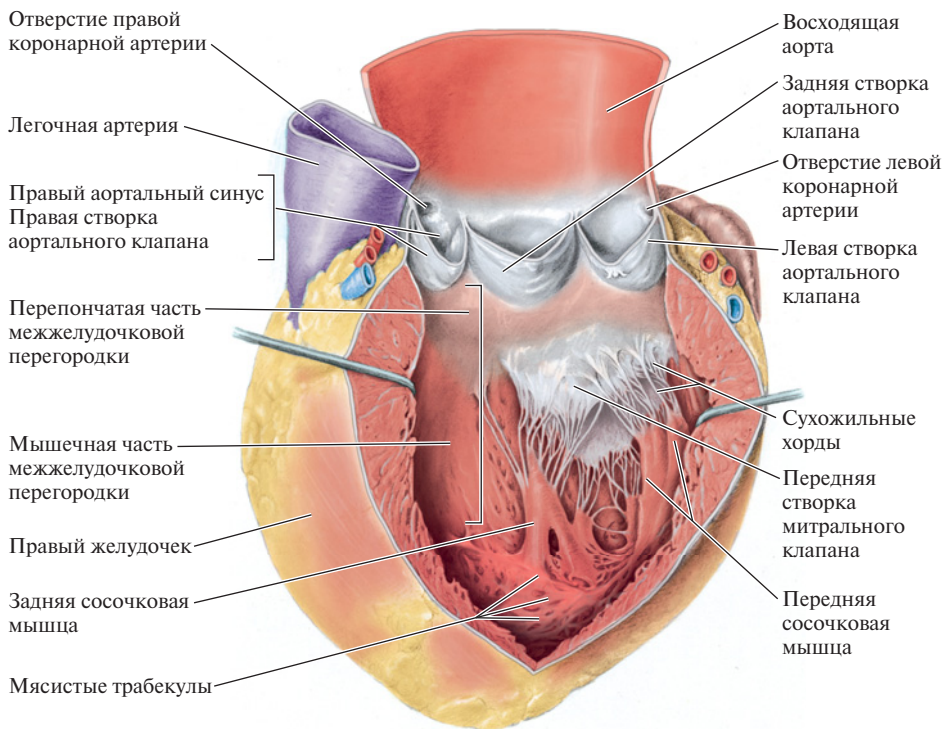


Рис. 1.5. Внутреннее строение левого предсердия и левого желудочка (окончание).

Полость левого желудочка (**рис. 1.5Б**) имеет две большие сосочковые мышцы. Они больше аналогичных мышц правого желудочка, их сухожильные нити более толстые, хотя их число меньше, чем в правом желудочке. Сухожильные нити каждой папиллярной мышцы распределены между двумя створками **митрального клапана**. Так же как и при сокращении мышцы правого желудочка, натяжение сухожилий во время сокращения левого желудочка помогает створкам митрального клапана плотно примыкать друг к другу и тем самым предупреждать обратный ток крови.

Аортальный клапан отделяет левый желудочек от аорты. Вокруг клапана аорты — фиброзное кольцо, к которому прикреплены три створки клапана. Непосредственно над правой и левой створками клапанов аорты в стенке аорты берут начало правая и левая коронарные артерии (**рис. 1.5Б**).

Межжелудочковая перегородка

Межжелудочковая перегородка — толстая стенка между правым и левым желудочками. Она состоит из мышечной и перепончатой части (**рис. 1.5Б**). На наружной поверхности сердца местам прикрепления

межжелудочковой перегородки соответствуют передняя и задняя межжелудочковые борозды. Вследствие более высокого гидростатического давления в левом желудочке мышечная часть перегородки выпячивается в полость правого желудочка. Маленькая, овальной формы перепончатая часть перегородки тонка и расположена непосредственно под створками клапана аорты.

Для того чтобы обобщить функционально-анатомические данные, представленные в этом разделе, проведем обзор тока крови через сердце. Венозная кровь попадает в сердце через нижнюю и верхнюю полые вены, впадающие в правое предсердие. Затем кровь через трехстворчатый клапан попадает в правый желудочек. При сокращении правого желудочка кровь через клапан легочной артерии попадает в легочную артерию и легкие, где происходит газообмен: кровь теряет углекислый газ и насыщается кислородом. Обогащенная кислородом кровь возвращается в сердце через легочные вены в левое предсердие и затем, проходя через митральный клапан, попадает в левый желудочек. При сокращении левого желудочка обогащенная кислородом кровь через аортальный клапан попадает в аорту, затем она доставляется ко всем органам и тканям организма.

Проводящая система сердца

Проводящая система сердца (рис. 1.6) состоит из специализированных клеток, которые инициируют сердцебиение и координируют сокращение камер сердца. **Синоатриальный (СА) узел** — это небольшая масса специализированных мышечных волокон сердца в стенке правого предсердия. Он расположен справа от места впадения верхней полой вены и в норме вырабатывает электрический импульс для сокращения. **Атриовентрикулярный (АВ) узел** находится под эндокардом в нижнезадней части межпредсердной перегородки. От АВ-узла отходит **пучок Гиса**, который проходит через межжелудочковую перегородку кзади. Внутри перегородки пучок Гиса разделяется на широкую сеть волокон, которые проходят по левой части перегородки, — **левую ножку пучка Гиса**, и на компактную часть в виде провода, идущего по правой стороне, — **правую ножку пучка Гиса**.

Правая ножка пучка Гиса — толстая, глубоко проникает в мышечную часть межжелудочковой перегородки и продолжается до верхушки сердца. Недалеко от места соединения межжелудочковой перегородки и передней стенки правого желудочка правая ножка пучка Гиса располагается под эндокардом и делится на две ветви. Одна ветвь проходит через полость правого желудочка в составе модераторного пучка, тогда как другая продолжается до верхушки желудочка. Эти ветви в конце разветвляются на тонкую сеть, богатую анастомозами, охватывающую весь правый желудочек.

Функционально левый пучок Гиса разделен на переднюю и заднюю ветви и на небольшую ветвь, идущую к перегородке. Передняя ветвь

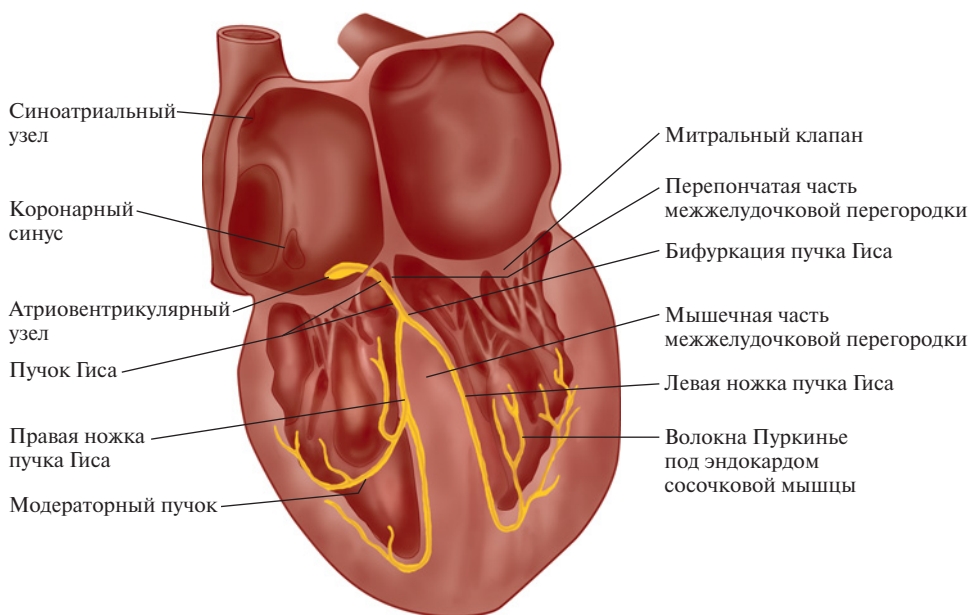


Рис. 1.6. Основные компоненты проводящей системы сердца. Система включает синоатриальный узел, атриоventрикулярный узел, пучок Гиса, правую и левую ножки пучка Гиса и волокна Пуркинье. В мышечной перекладине проходит значительная часть правой ножки пучка Гиса

проходит кпереди, к верхушке, образуя при этом субэндокардиальное сплетение в области передней папиллярной мышцы. Задняя ветвь, достигнув задней папиллярной мышцы, разветвляется, образуя субэндокардиальное сплетение, после чего простирается по оставшейся части левого желудочка.

От субэндокардиальных сплетений обоих желудочков отходят **волокна Пуркинье**, которые проникают в мышцу желудочков. Импульсы, которые образуются в системе Пуркинье — Гиса, сначала передаются к папиллярным мышцам, а затем — к стенкам желудочков. Благодаря такой последовательности папиллярные мышцы сокращаются первыми, после чего начинается сокращение желудочков. Как уже объяснялось ранее, такая координация последовательности сокращения предупреждает обратный ток крови через предсердно-желудочковые клапаны.

ИННЕРВАЦИЯ СЕРДЦА

Нервная система сердца представлена симпатическими и парасимпатическими афферентными и эфферентными нервными волокнами. Преганглионарные *симпатические* нервные волокна расположены между верхними 5-м и 6-м грудными сегментами спинного мозга и соединяются с нейронами второго порядка шейных симпатических узлов. В соста-

ве сердечных нервов эти волокна оканчиваются в сердце и магистральных сосудах. Преганглионарные *парасимпатические* волокна начинаются в задних двигательных ядрах мозжечка и в составе ветвей блуждающего нерва достигают сердца и магистральных сосудов. Здесь волокна образуют синапсы с нейронами второго порядка, расположенными в ганглиях этих образований. Обильная афферентная вагусная иннервация передней и задней стенок желудочков регулирует важные сердечные рефлексы, в то время как обилие эфферентных волокон блуждающего нерва, направленных к СА- и АВ-узлам, позволяет регулировать выработку и проведение электрического импульса.

Сосуды сердца

Сосуды сердца представлены артериями, венами и лимфатическими сосудами. Главные составляющие этих систем заключены в рыхлую соединительную ткань жирового слоя эпикарда.

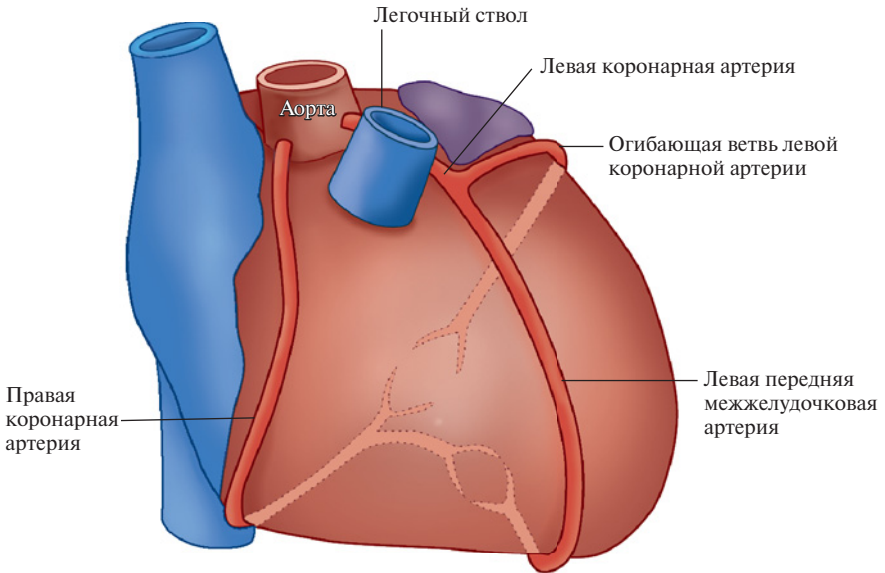
Артерии сердца

Сердечная мышца снабжается кислородом и питательными веществами из правой и левой коронарных артерий, которые отходят у основания аорты непосредственно над створками клапана аорты (рис. 1.5Б, 1.7). После своего начала эти сосуды проходят вперед, охватывая обе стороны легочной артерии (рис. 1.7).

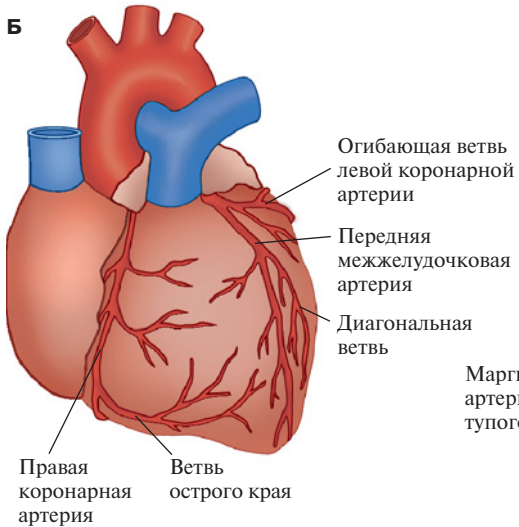
Крупный ствол **левой коронарной артерии** (ЛКА) проходит между левым предсердием и легочным стволом и достигает предсердно-желудочковой борозды. Здесь происходит его деление на **переднюю межжелудочковую ветвь ЛКА** (переднюю межжелудочковую артерию, ПМЖА) и огибающую артерию. ПМЖА проходит в передней межжелудочковой борозде по направлению к верхушке сердца. В процессе прохождения по передней поверхности ПМЖА дает ветви, снабжающие кровью передние две трети межжелудочковой перегородки и верхушечную часть передней папиллярной мышцы. ПМЖА также дает диагональные ветви, которые снабжают кровью переднюю поверхность левого желудочка. **Огибающая артерия** проходит в левой предсердно-желудочковой борозде и, огибая левую границу сердца, достигает его задней поверхности. По ходу она разветвляется на множество краевых ветвей, которые снабжают кровью боковую и заднюю части стенки левого желудочка.

Правая коронарная артерия (ПКА) проходит спереди назад в правой предсердно-желудочковой борозде, между правым предсердием и желудочком. Она снабжает кровью правый желудочек посредством ветвей острого края. У большинства людей от конечной части ПКА отходит большая ветвь — **задняя межжелудочковая артерия** (рис. 1.7В). Эта артерия проходит по нижнезадней поверхности, достигая верхушки сердца; она снабжает кровью нижнюю и заднюю стенки желудочков и заднюю

А



Б



В

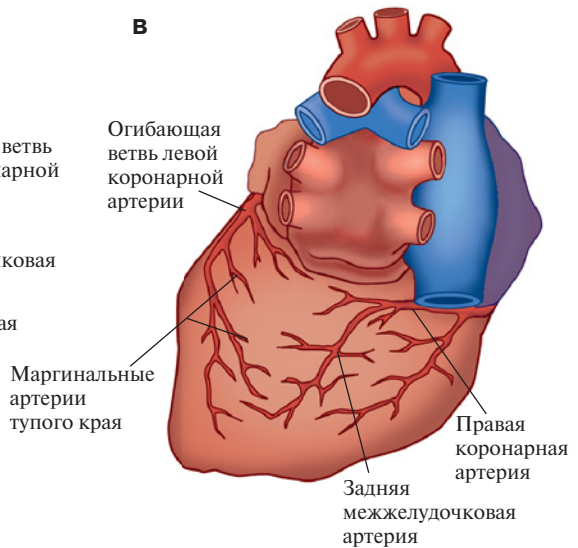


Рис. 1.7. Расположение коронарных артерий. **А.** Схема правой и левой коронарных артерий показывает их расположение по отношению друг к другу; левая коронарная артерия разделяется на огибающую артерию, снабжающую кровью боковую и заднюю части левого желудочка, и на переднюю межжелудочковую артерию, которая снабжает кровью переднюю стенку левого желудочка, переднюю часть межжелудочковой перегородки и, частично, переднюю стенку правого желудочка. Правая коронарная артерия (ПКА) снабжает кровью правый желудочек и заднюю часть левого желудочка через концевые ветви. Задняя межжелудочковая артерия часто отходит от ПКА. **Б.** Вид сердца спереди. Представлены коронарные артерии и их основные ветви. **В.** Вид сердца сзади. Представлены конечные отделы правой и огибающей артерий и их ветви

треть межжелудочковой перегородки. До того как от ПКА отходит задняя межжелудочковая ветвь, отходит другая ветвь — **артерия АВ-узла**.

У 85% людей задняя межжелудочковая артерия и артерия АВ-узла отходят от правой коронарной артерии, и такой тип коронарного кровообращения называется *правым доминантным*. Приблизительно у 8% людей задняя межжелудочковая артерия отходит от огибающей артерии, что приводит к *левому доминантному типу* коронарного кровообращения. У остальных людей кровь для задней поверхности сердца доставляется ветвями, отходящими как от правой коронарной, так и огибающей артерий, что образует *кодминантный* тип коронарного кровообращения.

Синоатриальный узел большей частью снабжается кровью из правой коронарной артерии (в 70%). Однако в 25% случаев у здоровых людей артерия СА-узла отходит от огибающей артерии, а в 5% случаев — одновременно от ПКА и огибающей артерий.

Выходя из эпикарда, ветви коронарных артерий проникают в мышцы желудочков, образуя при этом богатую сеть анастомозирующих между собой мелких сосудов в стенках всех камер сердца. От них отходит огромное количество капилляров, образующих сеть вокруг каждого мышечного волокна сердца. Мышечные волокна, расположенные непосредственно под эндокардом, в основном в области папиллярных мышц и толстой стенки левого желудочка, снабжаются кровью одновременно из конечных ветвей коронарных артерий и из полости желудочка через тонкие сосуды, называемые **тебезиевыми венами**.

Между коронарными артериями на субартериолярном уровне имеются коллатеральные соединения диаметром обычно менее 200 мкм. В здоровом сердце можно видеть небольшое число таких коллатеральных сосудов. Однако при атеросклеротическом поражении коронарной артерии они могут увеличиваться в размерах и обеспечивать кровью сосуды, расположенные ниже места обструкции.

Вены сердца

Коронарные вены следуют по ходу больших коронарных артерий. Эти сосуды возвращают кровь из капилляров миокарда в правое предсердие, в основном проходя через коронарный синус. Крупные вены располагаются поверх коронарных артерий в эпикардиальной жировой ткани. Тебезиевые вены, упоминавшиеся ранее, обеспечивают дополнительный возможный путь для прямого возврата небольшой порции крови в камеры сердца.

Лимфатические сосуды сердца

Лимфатическая система — это обширное сплетение сосудов, снабженных клапанами, которые расположены в субэндокардиальной соединительной ткани всех четырех камер сердца. Лимфа собирается в эпикардиальное сплетение лимфатических сосудов, расположенное в интерстициальной

соединительной ткани. Соединяясь, эти маленькие сосуды образуют несколько больших лимфатических сосудов, которые следуют по ходу коронарных артерий и вен. Эти крупные сосуды сливаются в предсердно-желудочковой борозде, образуя большой лимфатический сосуд, который выходит из сердца и впадает в лимфатическое сплетение средостения, а затем в грудной лимфатический проток.

Гистология клеток миокарда желудочков

Зрелая клетка миокарда (ее также называют **кардиомиоцитом**) имеет размер до 25 мкм в диаметре и 100 мкм в длину. Клетка имеет поперечно-полосатую исчерченность подобно клетке скелетной мышцы. Однако, в противоположность многоядерным скелетным миофибриллам, кардиомиоциты имеют только одно или два ядра, расположенных в центре клетки. Вокруг каждого кардиомиоцита присутствует соединительная ткань, богатая сетью капилляров.

Каждая миокардиальная клетка содержит некоторое количество **миофибрилл**, которые представляют собой длинные цепи индивидуальных **саркомеров** — основных сократительных единиц клетки (**рис. 1.8**). Каждый саркомер состоит из двух групп частично перекрывающихся филаментов (нитевидные структуры, различимые при больших увеличениях микроскопа), образованных сократительными белками. Биохимическое и биофизическое взаимодействие между миофиламентами приводит к мышечному сокращению. Структура и функции филаментов будут описаны в этой главе позже.

Внутри каждой миокардиальной клетки соседние саркомеры расположены последовательно, это обеспечивает характерную поперечно-полосатую исчерченность при световой микроскопии. Относительная плотность поперечных полос определяет локализацию сократительных белков, расположенных внутри саркомера. В обычном физиологическом состоянии общая длина саркомера (расстояние между Z и Z) во время сердечного цикла варьирует между 2,2 и 1,5 мкм. Наибольший размер отражает степень растяжения волокна при заполнении желудочков, в то время как наименьший размер отражает степень укорочения волокна во время сокращения.

Мембрана миокардиальных клеток называется **сарколеммой**. Особый участок мембраны представлен **вставочным диском** — это отличительная характеристика ткани сердечной мышцы. Вставочные диски через обычный микроскоп видны как темно окрашенные поперечные линии, которые через неравномерные промежутки пересекают цепочки сердечных клеток. Диски представляют собой сложные мостики, соединяющие соседние волокна сердца, образуя структурную и электрическую непрерывную связь между клетками миокарда.

Другой функциональной особенностью мембраны клеток является **система поперечных канальцев (или T-канальцы)**. Это сложная система, которая характеризуется глубокими, пальцевидными впячиваниями сар-

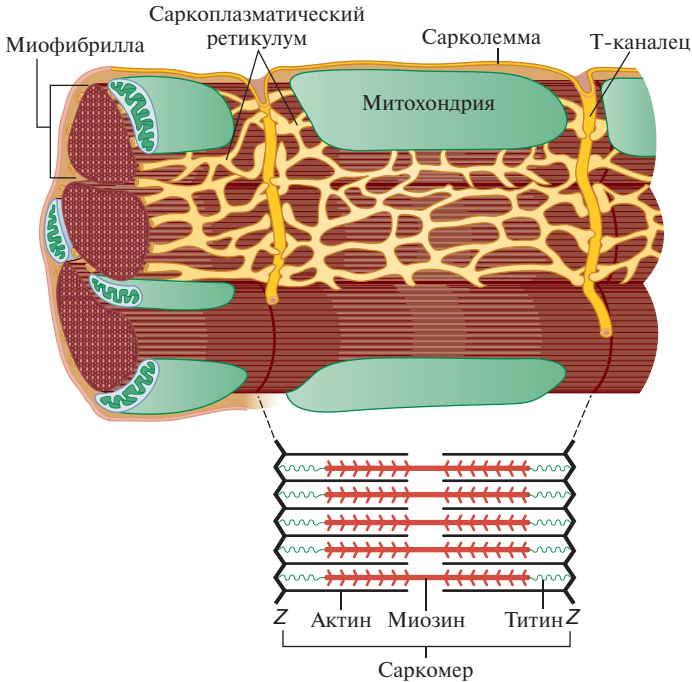


Рис. 1.8. *Вверху.* Схематическое представление ультраструктуры клетки миокарда. *Вверху:* клетка состоит из множества параллельных миофибрилл, окруженных митохондриями. Т-каналцы представляют собой впячивания клеточной мембраны (сарколеммы), увеличивающие поверхность клетки для транспорта ионов и проведения электрического импульса. Внутриклеточный саркоплазматический ретикулум содержит основную часть внутриклеточного кальция и связан с Т-каналцами. (С изменениями из: Katz AM. *Physiology of the Heart*. 2nd ed. New York, NY: Raven Press, 1992: 21.) *Внизу:* увеличенный вид саркомера, основного сократительного элемента. Каждая миофибрилла состоит из серии соединяющихся между собой саркомеров, границами которых служат Z-линии. Саркомер состоит из чередующихся тонких (актин) и толстых (миозин) миофиламентов. Титин — белок, присоединяющий миозин к Z-линии и обеспечивающий эластичность

колеммы (рис. 1.8, 1.9). Подобно вставочным дискам, мембраны поперечных канальцев образуют пути быстрой передачи импульсов электрического возбуждения, которые инициируют сокращение. Система Т-каналцев увеличивает область поверхности сарколеммы для контакта с внеклеточной средой, обеспечивая быстрый и синхронный трансмембранный транспорт ионов в процессе возбуждения и сокращения.

Саркоплазматический ретикулум представляет собой обширную внутриклеточную сеть мембранных канальцев, которая структурно и функционально объединена с Т-каналцевой системой. Боковые мешочки саркоплазматического ретикулума (называемые терминальными цистернами) под прямым углом присоединяются к Т-каналцам (рис. 1.9). Эти мешочки содержат большую часть внутриклеточного кальция, высвобождение которого является важным звеном передачи возбуждения через мембрану и начала сокращения мышечного аппарата. Боковые ме-

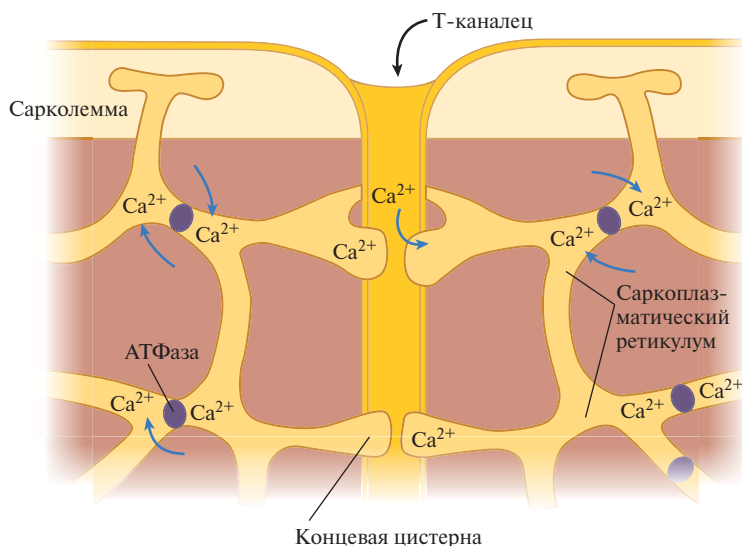


Рис. 1.9. Схема канальцевых систем кардиомиоцита. Т-каналцы, образованные впячиванием сарколеммы, под прямым углом присоединяются к концевым цистернам саркоплазматического ретикула. Такая связь имеет большое значение для высвобождения кальция из саркоплазматического ретикула под действием электрического возбуждения на мембране

шочки также примыкают к вставочным дискам и сарколемме, формируя полную систему сопряжения процессов возбуждения и сокращения.

Для обслуживания огромных метаболических потребностей сердца и обеспечения высокоэнергетическими фосфатами миокардиальные клетки обильно снабжены митохондриями. Эти органеллы расположены между отдельными миофибриллами и занимают приблизительно 35% объема клетки (рис. 1.8).

ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОФИЗИОЛОГИИ

Ритмическое сокращение сердца обеспечивается последовательным прохождением электрического импульса по проводящей системе. Признаком электрической стимуляции является **потенциал возбуждения**, который образуется за счет ионных токов через специальные каналцы сарколеммы. Для того чтобы понять, как электрические импульсы приводят к сокращению сердца, проанализируем процесс клеточной деполяризации и реполяризации. Эти материалы послужат важным фундаментом для глав по электрокардиографии (гл. 4) и аритмиям сердца (гл. 11 и 12).

Сердечные клетки, ответственные за электрическое возбуждение, разделены на 3 типа в соответствии с электрофизиологическими свойствами, изученными благодаря внутриклеточному введению микроэлектродов и методу локальной фиксации потенциала patch-clamp:

[. . .]

Книга «**Патофизиология сердечно-сосудистой системы**» под редакцией **Л. Лилли** была с энтузиазмом встречена студентами-медиками и преподавателями по всему миру.

Тщательно пересмотренное профессорско-преподавательским составом Гарвардской медицинской школы и командой избранных специалистов по кардиологии и внутренним болезням, это седьмое издание обеспечит четкое, полное и клинически значимое понимание патофизиологии сердечно-сосудистой системы, закладывающее прочную основу для диагностики и ведения пациентов.

Особенности обновленного издания:

- в тексте отражены новейшие представления о механизмах заболеваний сердца и технологические достижения современной медицины;
- полноцветные иллюстрации помогают читателям визуализировать и быстро усвоить ключевые концепции;
- цветные фотографии демонстрируют реальные примеры многих клинически значимых сердечно-сосудистых заболеваний;
- вопросы к каждой главе позволят закрепить материал и облегчат подготовку к экзаменам;
- заключение в конце глав обеспечит организованный и быстрый обзор основной информации.

Книга адресована практикующим врачам и студентам медицинских вузов. Она будет полезна каждому специалисту, стремящемуся поддерживать свой профессионализм, быть в курсе последних достижений кардиологии, а также систематизировать свои знания в этой области.

Оригинальное английское издание опубликовано Wolters Kluwer