

М.К. Рыбакова, В.В. Митьков, Д.Г. Балдин

**ЭХОКАРДИОГРАФИЯ
в НОРМЕ
для начинающих
от М.К. Рыбаковой**



УДК 616.12-007-073.43 (075.9)

ББК 554.101я75

Р 93

Рыбакова М.К., Митьков В.В., Балдин Д.Г.

Р 93 Эхокардиография в норме для начинающих от М.К. Рыбаковой: с видео-приложением / Рыбакова М.К., Митьков В.В., Балдин Д.Г. – М.: Издательский дом Видар-М, 2024. – 264 с.: ил.

ISBN 978-5-88429-278-9

Книга написана сотрудниками кафедры ультразвуковой диагностики Российской медицинской академии непрерывного последипломного образования (база – ГКБ им. С.П. Боткина, Москва).

Руководство призвано облегчить начинающим эхокардиографистам погружение в специальность. Книга включает подробное описание всех основных стандартных доступов к сердцу при проведении его ультразвукового исследования в норме, анализ каждой из стандартных эхокардиографических позиций. Особый интерес представляет раздел, содержащий подробное описание нормальной гемодинамики сердца и доплерэхокардиографии в норме. В книге подробно разбираются все основные возможные стандартные измерения как в В-, М-режимах, так и в режиме доплерэхокардиографии. Авторы приводят таблицы нормативов стандартных измерений и расчетов, исходя из новых рекомендаций Европейской ассоциации эхокардиографии. Данное издание содержит большое количество иллюстраций и схем. Книга дополнена видеоматериалами и мастер-классом по нормальному исследованию сердца. Издание предназначено для специалистов эхокардиографии, врачей ультразвуковой и функциональной диагностики, кардиологов и терапевтов.

УДК 616.12-007-073.43 (075.9)

ББК 554.101я75

Видеоматериал мастер-класса «Тактика проведения эхокардиографического исследования сердца. Норма» любезно предоставлен компанией «Макс-Технолоджис»

Научное медицинское издание

Рыбакова М.К., Митьков В.В., Балдин Д.Г. Эхокардиография в норме для начинающих от М.К. Рыбаковой

Дизайн макета, обложки: А.И. Морозова, подготовка иллюстраций: О.А. Рыченкова,

компьютерная верстка: Л.С. Родионова, корректор: Т.И. Луковская, монтаж и редактирование видеоклипов

в приложении: Ю.А. Кушель, выпускающий редактор: Л.С. Родионова

ООО «Издательский дом Видар-М», 109028 г. Москва, а/я 16, тел. (495) 589-86-60, <http://www.vidar.ru>

info32@vidar.ru, <http://vk.com/vidarbooks>, <https://www.facebook.com/VIDARpress>

Лицензия ИД № 00322 от 27.10.99. Подписано в печать 15.03.2024. Формат 70 x100 1/16

Бум. мелованная 90 г/м². Гарнитура прагматика. Печать офсетная. Усл. печ. л. 16,5. Заказ № 24-0232

Отпечатано в ООО «КОДЕКС» 141033, Московская обл., г. Мытищи, микрорайон поселок Пироговский,

ул. Фабричная, д.1 <http://www.a-kem.ru>, info@a-kem.ru

ISBN 978-5-88429-278-9

© Рыбакова М.К., Митьков В.В., Балдин Д.Г., 2024

© Оформление. Издательский дом Видар-М,
2024

Оглавление

Предисловие	8
Список обозначений на иллюстрациях	9
Посвящение	10
Глава 1. Нормальная анатомия и гемодинамика сердца	11
Нормальная анатомия грудной клетки и сердца человека	11
Строение грудной клетки	11
Строение плевры	12
Строение перикарда	12
Строение сердца человека	13
Строение левых камер сердца	13
Строение правых камер сердца	18
Кровоснабжение сердца	23
Иннервация сердца	23
Нормальная гемодинамика сердца человека	23
Список рекомендуемой литературы	29
Глава 2. Варианты эхокардиографического исследования и основные эхокардиографические режимы	31
Эхокардиография – вчера, сегодня, завтра	31
Варианты эхокардиографического исследования	34
М-режим	35
Двухмерная эхокардиография, или В-режим	35
Допплерэхокардиография и недоплеровские методы оценки функции сердца	36
Импульсноволновой доплер (pulsed wave – PW)	36
Режим высокой частоты повторения импульсов (high pulse repetition frequency – HPRF)	37
Непрерывноволновой доплер (continuous wave – CW)	37
Цветовой доплер (color doppler – CD)	39
Цветовой М-модальный доплер (color M-mode)	39
Энергетический доплер (power doppler – PD)	39
Тканевой цветовой доплер (tissue color doppler)	39
Тканевой импульсноволновой доплер (pulsed wave tissue doppler imaging)	41
Тканевой нелинейный, или искривленный, доплер, или С-режим (C-mode)	42
Тканевой след (tissure tracking)	42
Оценка деформации и скорости деформации (strain, strain rate)	43
Векторное скоростное изображение, или векторный анализ скорости движения эндокарда (vector velocity imaging)	43

Чреспищеводная эхокардиография	44
Стресс-эхокардиография	44
Внутрисосудистый ультразвук	45
Внутрисердечный ультразвук	45
Контрастная эхокардиография	45
Внутрисердечное кодирование турбулентных потоков	47
Speckle-tracking-эхокардиография	47
Миокардиальная работа	47
Трехмерная и четырехмерная эхокардиография	47
Возможности трехмерной эхокардиографии в клинической практике	50
Оценка систолической функции левого желудочка в реальном времени и анализ ее параметров с построением модели левого желудочка в объеме и количественной оценкой глобальной и локальной сократимости	51
Детальная оценка состояния клапанов сердца при наличии порока с моделированием отверстия клапана	53
Оценка состояния протезированного клапана или окклюдера	53
Искусственный интеллект	53
Список рекомендуемой литературы	55

Глава 3. В-режим и трехмерная эхокардиография в норме.

Стандартные эхокардиографические позиции	57
В-режим и трехмерная эхокардиография в норме	57
Стандартные эхокардиографические доступы и позиции	57
Парастернальный доступ	59
Парастеральная позиция, длинная ось левого желудочка	59
Парастеральная позиция, длинная ось правого желудочка	62
Парастеральная позиция, короткая ось на уровне конца створок аортального клапана	63
Парастеральная позиция, длинная ось ствола легочной артерии	65
Парастеральная позиция, короткая ось на уровне конца створок митрального клапана	67
Парастеральная позиция, короткая ось на уровне головок папиллярных мышц	69
Парастеральная позиция, короткая ось на уровне верхушки левого желудочка	71
Апикальный доступ	71
Апикальная четырехкамерная позиция	71
Апикальная пятикамерная позиция	74
Апикальная двухкамерная позиция	77
Апикальная трехкамерная позиция (длинная ось левого желудочка)	77
Субкостальный доступ	78
Длинная ось нижней полой вены	79
Длинная ось брюшного отдела аорты	79

Короткая ось брюшного отдела аорты и нижней полой вены.	82
Субкостальная четырехкамерная позиция	83
Субкостальная пятикамерная позиция.	84
Субкостальная позиция, короткая ось на уровне концов створок аортального клапана	84
Субкостальная позиция, короткая ось на уровне концов створок митрального клапана.	86
Субкостальная позиция, короткая ось на уровне концов папиллярных мышц	87
Супрастернальный доступ	88
Супрастернальная позиция, длинная ось дуги аорты	89
Супрастернальная позиция, короткая ось дуги аорты	91
Исследование плевральных полостей.	91
Список рекомендуемой литературы	94
Глава 4. М-режим в эхокардиографии в норме	95
Характер движения корня аорты и створок аортального клапана в М-режиме в норме	96
Характер движения створок митрального клапана в диастолу и в систолу в М-режиме в норме	100
Характер движения стенок левого желудочка в диастолу и в систолу в М-режиме в норме	105
Характер движения задней створки клапана легочной артерии в М-режиме в норме	107
Характер движения левого и правого фиброзных колец в М-режиме в норме	109
Стандартные эхокардиографические измерения в М-режиме в норме	110
Оценка зон нарушения локальной сократимости и характера движения стенок левого желудочка в М-режиме	113
Список рекомендуемой литературы	115
Глава 5. Допплерэхокардиография в норме	117
Импульсноволновой доплер	118
Трансмитральный диастолический поток	119
Кровоток в выносящем тракте левого желудочка	121
Транстрикуспидальный диастолический поток	123
Кровоток в выносящем тракте правого желудочка	124
Кровоток в восходящем отделе аорты	125
Кровоток в грудном нисходящем отделе аорты.	126
Кровоток в легочных венах	126
Кровоток в печеночных венах	127
Кровоток в брюшном отделе аорты	129
Режим высокой частоты повторения импульсов.	129
Непрерывноволновой доплер	129
Цветовой доплер	130
Цветовой М-режим.	135

Энергетический доплер	137
Клапанная регургитация в норме	137
Митральная регургитация в норме	137
Трикуспидальная регургитация в норме	139
Легочная регургитация в норме	141
Список рекомендуемой литературы	143

Глава 6. Тканевой доплер и режим оценки деформации

миокарда в норме	145
Тканевой доплер	145
Тканевой цветовой доплер	145
Тканевой импульсноволновой доплер	146
Тканевой миокардиальный доплер	150
Нелинейный тканевой цветовой доплер	150
Спекл-эхокардиография, или оценка деформации и скорости деформации миокарда	151
Нелинейный, или изогнутый, режим деформации	153
Тканевой след	154
Режим векторного скоростного изображения или векторного анализа движения эндокарда	156
Совместное использование импульсноволнового и тканевого импульсноволнового доплера	157
Миокардиальная работа	157
Список рекомендуемой литературы	159

Глава 7. Тактика проведения эхокардиографического исследования.

Правила написания эхокардиографического заключения	161
Тактика проведения эхокардиографического исследования	161
Тактика проведения эхокардиографического исследования в оценке систолической функции левого желудочка	190
М- и В-режимы	190
Режим импульсноволнового доплера	190
Цветовой доплер и цветовой М-модальный доплер	191
Тканевой цветовой доплер	192
Тканевой импульсноволновой доплер	192
Тактика проведения эхокардиографического исследования в оценке систолической функции правого желудочка	193
М-режим	193
В-режим	194
Режим импульсноволнового доплера	194
Тактика проведения эхокардиографического исследования в оценке диастолической функции левого и правого желудочков	195
Импульсноволновой доплер	195
Тканевой импульсноволновой доплер	196
Правила написания и пример протокола эхокардиографического заключения	198
Список рекомендуемой литературы	201

Глава 8. Основные расчеты в эхокардиографии в норме	203
Расчеты для оценки функции желудочков	203
Оценка систолической функции левого и правого желудочков	203
М-режим	204
В-режим	208
Импульсноволновой доплер	211
Непрерывноволновой доплер	211
Тканевой импульсноволновой доплер	212
Оценка диастолической функции левого и правого желудочков	215
Импульсноволновой доплер	216
Цветовой доплер	219
Тканевой импульсноволновой доплер	220
Оценка давления в малом круге кровообращения с использованием доплерэхокардиографии	224
Способы расчета давления в легочной артерии	225
Расчет среднего давления в легочной артерии по отношению времени ускорения потока в выносящем тракте правого желудочка к времени выброса (АТ/ЕТ)	225
Расчет максимального систолического давления в легочной артерии по потоку трикуспидальной регургитации	227
Расчет конечного диастолического давления в легочной артерии по потоку легочной регургитации	228
Способы оценки и расчет давления в правом предсердии	228
Оценка давления в правом предсердии на основании степени дилатации нижней полой вены и ее реакции на вдох	228
Расчет давления в правом предсердии по импульсноволновому и тканевому импульсноволновому доплеру (по M.F. Nageh)	229
Список рекомендуемой литературы	230
Глава 9. Малые аномалии развития сердца и нормальные анатомические образования, симулирующие патологические.	
Открытое овальное окно	231
Малые аномалии развития сердца	231
Дополнительные хорды в полостях желудочков	231
Дополнительные мышечные трабекулы в полости желудочков	233
Евстахиев клапан, или евстахиева заслонка, нижней полой вены	233
Тибезиева заслонка коронарного синуса – венозного коллектора сердца	233
Сеть Хиари	235
Аневризма межпредсердной перегородки	236
Аневризма мембранозной части межжелудочковой перегородки	238
Аневризма коронарного синуса	238
Кумадинова заслонка	239
Открытое овальное окно	239
Список рекомендуемой литературы	241
Заключение	242
Приложение	243

Предисловие

Дорогие коллеги!

Если Вы взяли в руки эту книгу, значит, Вы планируете изучать одну из самых интересных субспециальностей современной ультразвуковой диагностики – эхокардиографию, или ультразвуковую диагностику сердца. Современная эхокардиография – это современная ультразвуковая кардиология. Поэтому без знания кардиологии изучение методики малоэффективно. От специалиста, сидящего за прибором, требуется глубокое знание анатомии и физиологии сердца, патанатомии и патофизиологии сердца, нормальной гемодинамики и ее изменений при различных вариантах патологии. Необходимо обладать пространственным мышлением, знанием врожденных и приобретенных пороков сердца и т.д. Помимо этого, сердце расположено в грудной клетке, и ультразвуковые доступы к нему ограничены, поэтому доктор должен обладать еще и высокой техничностью при проведении исследования. Перечислять можно долго.

В настоящее время по современным требованиям к специальностям «ультразвуковая диагностика», «функциональная диагностика» и «кардиология» прописан навык проведения эхокардиографического исследования и трактовки его результатов на уровне скрининга. Данная книга предназначена для начинающих специалистов и может помочь вникнуть в азы специальности.

Книга включает подробное описание всех основных стандартных доступов к сердцу при проведении его ультразвукового исследования, анализ каждой из стандартных эхокардиографических позиций. Особый интерес представляет раздел, содержащий подробное описание нормальной гемодинамики сердца и доплерэхокардиографии в норме. Подробно разбираются все основные возможные стандартные измерения как в В-, М-режимах, так и в режиме доплерэхокардиографии. Авторы приводят таблицы нормативов стандартных измерений и расчетов исходя из новых рекомендаций Европейской ассоциации эхокардиографии. Данное издание содержит большое количество иллюстраций и схем, некоторые схемы повторяются в различных главах, это сделано специально для удобства восприятия материала. Книга дополнена видеоматериалами и мастер-классом по нормальному исследованию сердца. Предназначено для специалистов эхокардиографии, врачей ультразвуковой и функциональной диагностики, кардиологов и терапевтов.

Книга написана сотрудниками кафедры ультразвуковой диагностики Российской медицинской академии последипломного образования (база – ГКБ им. С.П. Боткина, Москва).

*С уважением, доктор медицинских наук
Рыбакова Марина Константиновна*

Глава 1

Нормальная анатомия и гемодинамика сердца

Нормальная анатомия грудной клетки и сердца человека

Для начинающего специалиста в любом разделе ультразвуковой диагностики очень важно детально изучить нормальную и топографическую анатомию органа, его физиологию и гемодинамику. Это особенно важно для проведения ультразвуковой диагностики сердца и магистральных сосудов, или эхокардиографии. Сердце сокращается и расслабляется, это происходит достаточно быстро на экране, и врач должен хорошо разбираться в том, в какую фазу сердечного цикла какой клапан открыт, а какой закрыт, и куда движется кровь. Именно поэтому погружение в специальность следует начать с изучения нормальной анатомии и физиологии сердца.

Сердце – полый мышечный орган, расположенный в грудной клетке. Положение сердца в грудной клетке может быть различным в зависимости от конституции человека. У нормостеника сердце расположено преимущественно слева, у астеника – более центрально и вниз, у гиперстеника сильно развернуто влево и приподнято на диафрагме. Помимо нормального положения сердца в грудной клетке, можно встретить ряд мальпозиций, например декстрокардию, т.е. положение сердца справа.

Строение грудной клетки

Грудная клетка отделена от брюшной полости диафрагмой. В грудной клетке можно выделить следующие отделы: верхнее, переднее, заднее и центральное средостения.

Центральное средостение включает в себя перикард, сердце, часть восходящего отдела аорты и верхней полой вены, вену *azigos*, ствол легочной артерии и ее бифуркацию, правую и левую легочные вены (верхние и нижние) в месте их впадения в левое предсердие и нервы.



Рис. 1.1. Parietalный перикард вскрыт. Виден висцеральный перикард, эпикардиальный и перикардиальный жир.

В переднем средостении проходят лимфатические сосуды и располагаются лимфатические узлы. Переднее средостение расположено между грудиной и центральным средостением.

Верхнее средостение включает в себя дугу аорты и отходящие от нее артерии (левую подключичную, левую сонную, плечеголовную), а также левую и правую плечеголовые вены, верхнюю полую вену, трахею, пищевод, тимус и грудной лимфатический проток. Верхнее средостение расположено выше центрального средостения.

Заднее средостение включает в себя грудную нисходящую аорту, бифуркацию трахеи, пищевод, вены *azigos* и *hemiazigos*, нервы и грудной лимфатический проток. Заднее средостение расположено между центральным средостением и позвоночником.

Помимо средостений, в грудной клетке выделяют **левую и правую плевральные полости**. В левой плевральной полости располагается левое легкое, состоящее из двух долей, в правой плевральной полости – правое легкое, состоящее из трех долей.

Строение плевры

Плевра состоит из двух листков – париетального, или наружного, листка и висцерального, или внутреннего, листка. Между листками плевры располагается небольшое количество физиологической жидкости, или смазки.

Строение перикарда

Сердце окружено перикардиальной сумкой. Перикард состоит из наружного париетального, или фиброзного, листка и внутреннего висцерального, или серозного, листка. Между листками перикарда в полости перикарда содержится небольшое количество физиологической жидкости, или смазки, которая является фильтратом серозной оболочки и гасит трение листков

при сокращении сердца. Как на париетальном, так и на висцеральном перикарде можно видеть перикардиальный или эпикардиальный жир (рис. 1.1).

Строение сердца человека

Размеры сердца различны и зависят от конституции человека. Считается, что размер сердца приблизительно равен размеру кулака человека. Масса сердца мужчины может составлять от 280 до 340 г, женщины – от 230 до 280 г.

В сердце различают основание и верхушку. В основание сердца входят предсердия и магистральные сосуды. Верхушка расположена свободно и как бы вдавлена в перикард.

Сердце состоит из двух отделов: левого – артериального и правого – венозного. Артериальная, обогащенная кислородом кровь течет в левых отделах сердца, а венозная, обедненная кислородом кровь – в правых отделах сердца. «Левое» сердце включает в себя левое предсердие и легочные вены, левый желудочек и аорту. «Правое» сердце состоит из правого предсердия, верхней и нижней полых вен, правого желудочка и легочной артерии. В норме эти потоки не пересекаются, однако в ряде случаев можно наблюдать небольшое нормальное эпизодическое смешение артериальной и венозной крови в области мембраны овальной ямки или незакрытие овального окна. В главе 2 будет дано подробное описание данной гемодинамической ситуации.

Строение левых камер сердца

Строение левого предсердия. Левое предсердие имеет овальную форму. В основании его имеется ушко – анатомическое образование, которое редко удается визуализировать трансторакально у взрослых пациентов и которое часто служит источником эмболий в систему большого круга кровообращения. Ушко прикрывает боковую поверхность левого предсердия и ствол легочной артерии. Левое предсердие отделено от правого предсердия межпредсердной перегородкой, а от левого желудочка – митральным клапаном. В левое предсердие впадают четыре легочные вены: правая – верхняя и нижняя, левая – верхняя и нижняя. По легочным венам обогащенная кислородом кровь поступает в левое предсердие. В центре межпредсердной перегородки расположена мембрана овальной ямки. Длина ее у взрослого человека составляет около 17–18 мм (рис. 1.2). Мембрана овальной ямки прикрывает после рождения овальное отверстие, которое функционирует внутриутробно, обеспечивая вместе с открытым артериальным протоком кровообращение плода. Мембрана овальной ямки имеет клапан, который находит на межпредсердную перегородку со стороны левого предсердия.

Строение фиброзного каркаса сердца. Фиброзный каркас сердца располагается в месте соединения предсердий и желудочков и состоит из левого и правого фиброзных атриовентрикулярных колец и аортального фиброзного кольца. К фиброзным кольцам крепятся створки митрального,

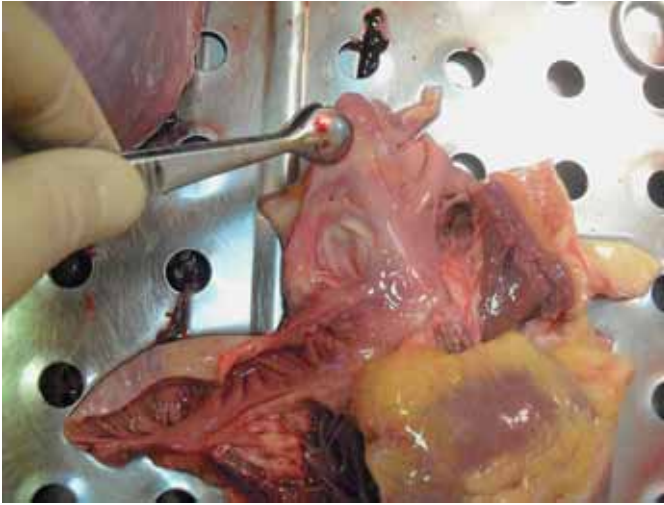


Рис. 1.2. Мембрана овальной ямки. Вид со стороны левого предсердия. Макропрепарат.

трикуспидального и аортального клапанов. Правое фиброзное атриовентрикулярное кольцо смещено вниз в полость правого желудочка до 5–7 мм по отношению к левому фиброзному кольцу. Этот признак в ряде случаев помогает идентифицировать правый желудочек. Таким образом, существует часть межжелудочковой перегородки, которая граничит с правым предсердием и называется межпредсердно-межжелудочковой перегородкой. Долгое время считалось, что легочная артерия не имеет фиброзного кольца. Однако оказалось, что это не так: фиброзное кольцо легочной артерии более тонкое, не соединено с фиброзным каркасом сердца.

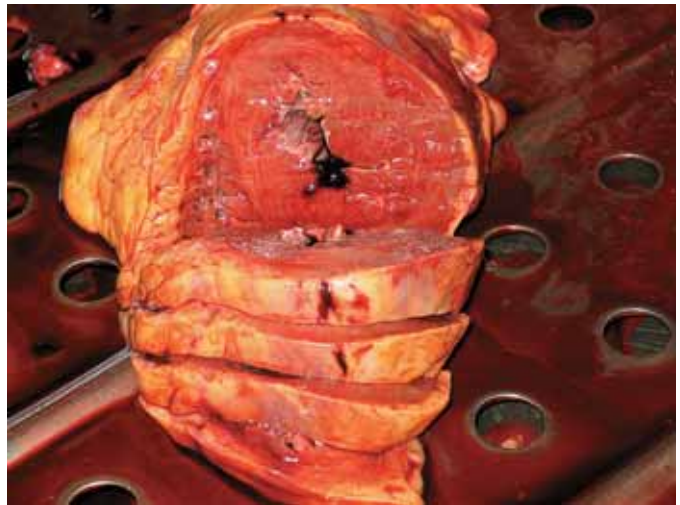
Строение митрального клапана. Митральный, или двустворчатый, клапан состоит из передней и задней створок. Створки по бокам разделены переднелатеральной и заднемедиальной комиссурами, крепятся к левому фиброзному атриовентрикулярному кольцу. Передняя створка больше задней и более подвижная. Створки митрального клапана как бы подвешены на хордах, которые крепятся по краям створок и по всей их длине (рис. 1.3). Количество хорд может быть различным. К свободному краю передней створки митрального клапана может крепиться в норме от 11 до 25 хорд, а к поверхности передней створки – от 8 до 15 хорд, к свободному краю задней створки митрального клапана – от 20 до 45 хорд, к поверхности задней створки – от 10 до 20 хорд. Количество хорд возрастает по мере отхождения от папиллярных мышц за счет их разветвления под створками митрального клапана.

Строение левого желудочка. Левый желудочек имеет форму конуса. От правого желудочка он отделен межжелудочковой перегородкой, которая в норме служит стенкой левого желудочка, от левого предсердия – створками митрального клапана, от аорты – створками аортального клапана. Межжелудочковая перегородка состоит из мышечной ткани, однако в области ее крепления к фиброзному кольцу имеется участок фиброзной ткани в виде мембраны.

Рис. 1.3. Хорды и створки митрального клапана. Макропрепарат.



Рис. 1.4. Поперечные срезы левого желудочка. Строение волокон миокарда. Макропрепарат.



Стенки левого и правого желудочков имеют одинаковое строение и состоят из трех слоев: наружный – эпикард, средний – миокард и внутренний – эндокард. В эпикарде проходят коронарные артерии, вены, нервы и лимфатические сосуды и располагается жировая ткань. Миокард состоит из пучков мышечных волокон, которые крепятся к фиброзным кольцам левого и правого желудочков и имеют сложную ориентацию в трех направлениях. Субэпикардальные волокна миокарда ориентированы в продольном направлении, средние – в циркулярном направлении и субэндокардальные – в продольном направлении (рис. 1.4).

Левый желудочек условно делят на два тракта: приносящий и выносящий. Приносящий тракт – это та область, куда в диастолу поступает кровь из левого предсердия. Выносящий тракт – это гладкий желоб, по которому кровь устремляется в аорту в систолу (рис. 1.5).

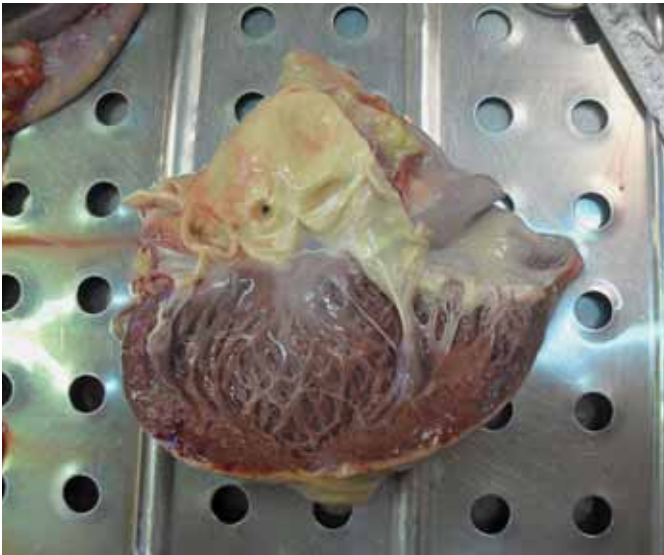


Рис. 1.5. Строение выносящего и приносящего трактов левого желудочка. Макропрепарат.

В полости левого желудочка, как правило, расположены две папиллярные мышцы: переднелатеральная и заднемедиальная. Заднемедиальная папиллярная мышца преимущественно имеет две головки. В ряде случаев две головки имеет и переднелатеральная папиллярная мышца. По данным анатомов, в норме в полости левого желудочка можно встретить до 16 головок папиллярных мышц. Помимо хорд, идущих от головок папиллярных мышц к створкам митрального клапана, в полости приносящего тракта левого желудочка можно встретить дополнительные хорды и дополнительные мышечные трабекулы. Это нормальные анатомические образования. Особенно часто можно видеть дополнительную мышечную трабекулу, расположенную параллельно межжелудочковой перегородке. Такие хорды могут располагаться между головками папиллярных мышц или стенками желудочка, а также между стенкой желудочка и мышечной трабекулой или межжелудочковой перегородкой.

Строение аортального клапана. Аортальный клапан в норме имеет три створки: правую коронарную, левую коронарную и некоронарную. На концах створок аортального клапана наблюдаются уплотнения – узелки Аррениуса, которые обеспечивают более плотное смыкание клапана в диастолу (рис. 1.6). Створки крепятся к аортальному фиброзному кольцу. В местах соединения створок имеются тонкие комиссуры. Выше места крепления створок аорта образует небольшие расширения – синусы Вальсальвы, от которых отходят коронарные артерии – левая и правая. Створки аортального клапана очень плотные, так как в процессе жизни человека они выдерживают большие перепады давления. Это единственный клапан, на котором при трансторакальном исследовании в норме отсутствует физиологическая регургитация.

Рис. 1.6. Корень аорты и восходящий отдел аорты. Три створки аортального клапана. Узелки Аррениуса на концах створок. Синусы Вальсальвы. Места отхождения коронарных артерий от левого и правого синусов Вальсальвы. Макропрепарат.

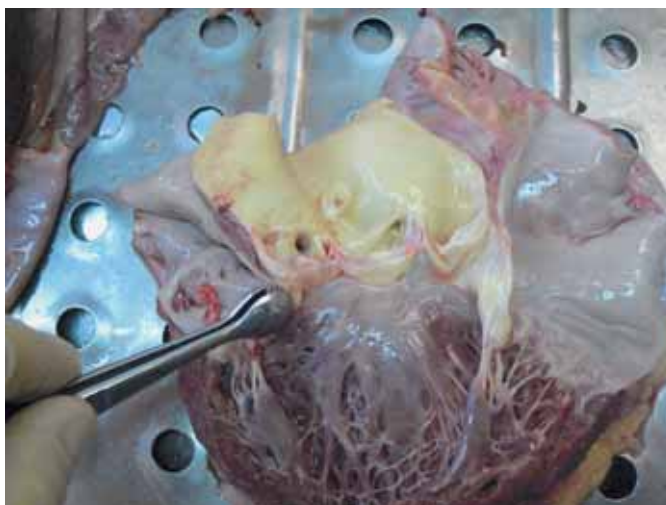


Рис. 1.7. Часть стенки восходящей аорты. Макропрепарат.



Строение аорты. Стенка аорты имеет трехслойное строение: внутренний слой – интима, средний – медиа и наружный – адвентиция (рис. 1.7). В восходящем отделе аорта может иметь различное строение. В ряде случаев оно «трубчатое», т.е. когда корень аорты и восходящий отдел имеют практически один диаметр, а в некоторых – «луковичное», когда корень аорты расширен в виде луковицы за счет синусов Вальсальвы. Различают корень аорты, грудной восходящий отдел, дугу, грудной нисходящий и брюшной отделы. От дуги аорты отходят плечеголовной ствол, левая сонная и левая подключичная артерии.

Строение правых камер сердца

Строение правого предсердия. Правое предсердие отделено от левого межпредсердной перегородкой. В средней части межпредсердной перегородки имеется тонкая мембрана – овальная ямка, которая прикрыта складкой – овальной заслонкой. В первый месяц после рождения ребенка овальная заслонка должна прирасти к межпредсердной перегородке. Однако в настоящее время доказано, что приблизительно у 25% людей в популяции овальная ямка остается просто прикрыта овальной заслонкой. В этом случае при повышении давления в одной из камер овальное окно открывается и начинается сброс крови слева направо.

У ряда людей мембрана овальной ямки удлинена и выбухает в сторону одного из предсердий или совершает колебательные движения в обе стороны. Данная малая аномалия развития носит название «аневризма межпредсердной перегородки» и в большинстве случаев является вариантом нормы.

Правое предсердие имеет овальную форму. В него впадают верхняя и нижняя полые вены, которые несут кровь от верхней и нижней половин туловища. В правое предсердие впадает и коронарный синус – венозный коллектор самого сердца. Нижняя полая вена может иметь клапан – евстахиев клапан, который может быть достаточно длинным и флатировать в кровотоке в полости правого предсердия. В ряде случаев его ошибочно принимают за миксому или тромб. Особенно хорошо евстахиев клапан виден у детей при эхокардиографическом исследовании. В полости правого предсердия в ряде случаев можно встретить еще одно образование, которое ошибочно может быть принято за мембрану, – сеть Хиари. Сеть Хиари – это перфорированное нитчатое рудиментарное продолжение евстахиева клапана в коронарный синус. Она может совершать хаотические движения во время сердечного цикла. Пограничный гребень (*crista terminalis*), или гребенчатые мышцы, правого предсердия отделяет верхнюю стенку правого предсердия от передней стенки и при трансторакальном исследовании может быть принят за тромб. Правое предсердие отделено от правого желудочка правым фиброзным атриовентрикулярным кольцом, к которому крепятся створки трикуспидального клапана (рис. 1.8).

Строение трикуспидального клапана. Трикуспидальный, или трехстворчатый, клапан располагается под углом по отношению к митральному клапану, что связано с положением всего правого сердца по отношению к левому. Этим объясняются трудности эхокардиографической визуализации створок трикуспидального клапана по короткой оси. Различают септальную, переднюю и заднюю створки трикуспидального клапана. Передняя створка наиболее длинная. В области соединения створок имеются комиссуры. К створкам трикуспидального клапана может подходить различное количество хорд. Так же как и у митрального клапана, они крепятся преимущественно по краю створок и частично по всей их длине. Количество хорд может быть различно – от 4 до 16 к каждой створке (рис. 1.9).

Рис. 1.8. Строение правого предсердия, створок трикуспидального клапана и правого желудочка. Модераторный пучок правого желудочка. Макропрепарат.

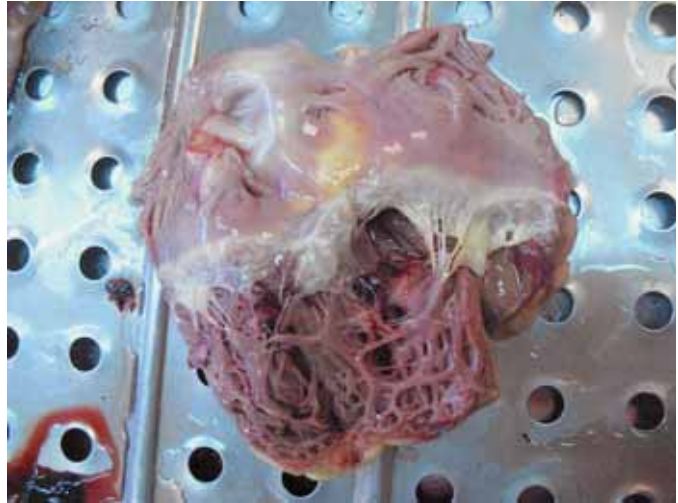
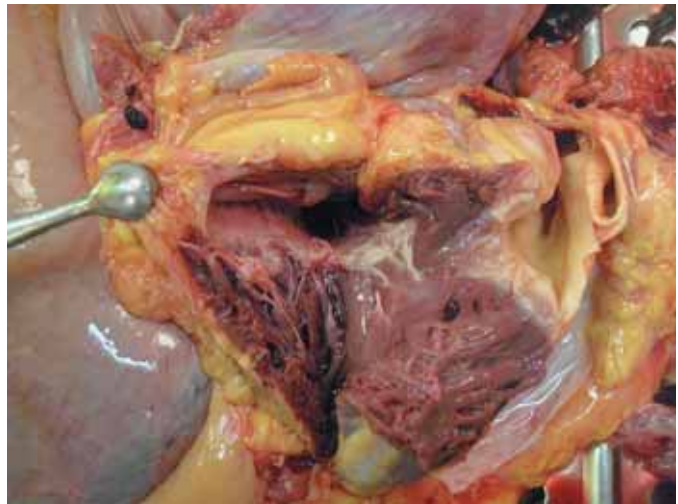


Рис. 1.9. Строение трикуспидального клапана. Стенка правого желудочка. Трабекулы правого желудочка. Макропрепарат.



Строение правого желудочка. Правый желудочек условно можно разделить на тракты – приносящий и выносящий. По приносящему тракту кровь устремляется в диастолу из правого предсердия, а по гладкому выносящему тракту – в систолу в легочную артерию. Стенка правого желудочка тоньше стенки левого желудочка: толщина ее составляет в конце диастолы около 5 мм. Правый желудочек прилежит к левому в виде полумесяца. В полости правого желудочка расположены папиллярные мышцы и большое количество трабекул. Количество папиллярных мышц может быть различно. Папиллярные мышцы и трабекулы правого желудочка в области верхушки соединяются «модераторным» пучком. Это очень важный анатомический ориентир правого желудочка (рис. 1.10). От легочной артерии правый желудочек отделен створками легочного клапана.

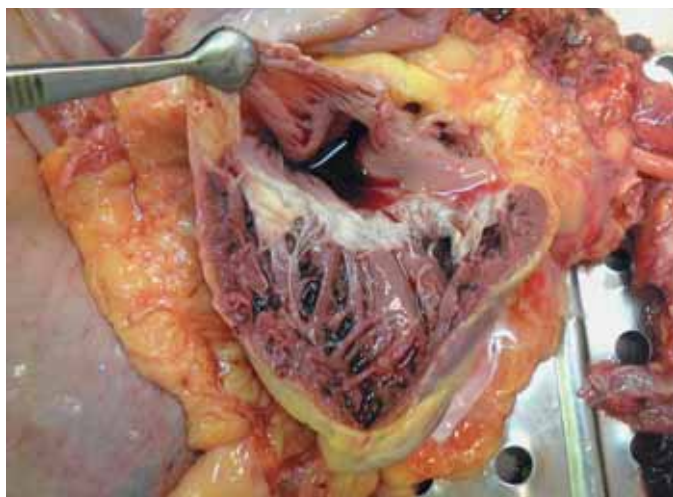


Рис. 1.10. Модераторный пучок правого желудочка и стенка правого желудочка. Макропрепарат.

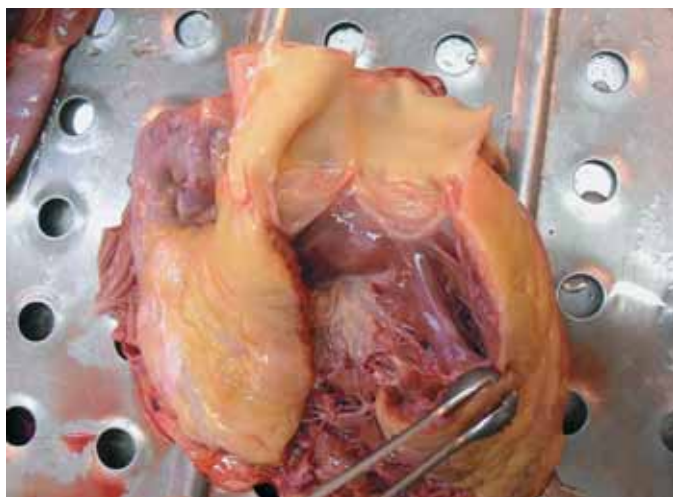


Рис. 1.11. Створки клапана легочной артерии, стенка легочной артерии и выносящий тракт правого желудочка. Макропрепарат.

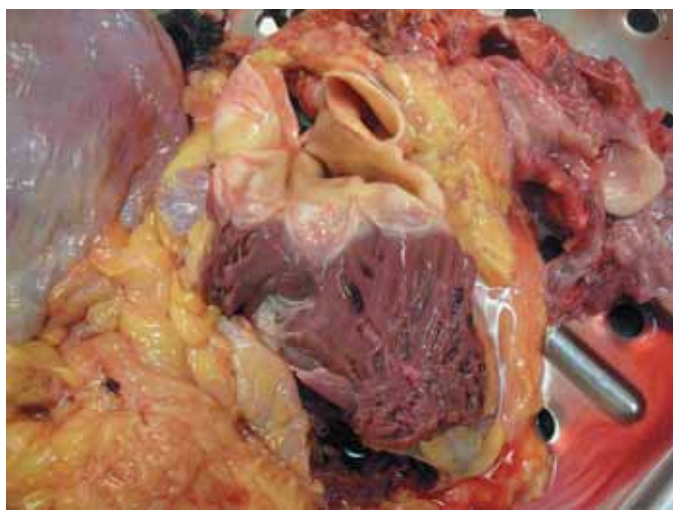


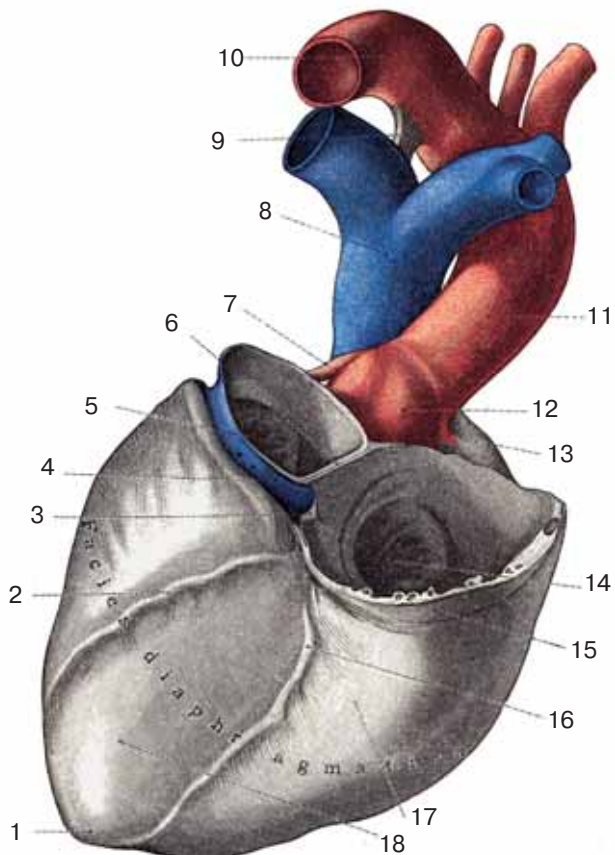
Рис. 1.12. Раскрытые полулунные створки клапана легочной артерии. Макропрепарат.

Строение клапана легочной артерии. Клапан легочной артерии в норме имеет три створки: переднюю, правую и заднюю, которые крепятся к фиброзному кольцу. В начальной части легочного ствола имеются расширения и углубления – синусы. Легочный клапан при эхокардиографическом исследовании удается визуализировать лишь частично. Как правило, можно вывести заднюю и правую створки (рис. 1.11). Задняя створка клапана легочной артерии проецируется в области комиссур правой коронарной и левой коронарной створок аортального клапана. Передняя створка клапана легочной артерии в норме не видна. Створки легочного клапана менее плотные, чем аортального клапана (рис. 1.12). Легочная артерия – единственная артерия в организме человека, по которой течет венозная кровь.

Строение легочной артерии. Стенка легочной артерии устроена аналогично стенке аорты. Легочная артерия имеет фиброзное кольцо, которое не связано с фиброзным каркасом сердца. Фиброзное кольцо легочной артерии можно видеть при эхокардиографическом исследовании у больных с нарушением кальциевого обмена. Легочная артерия имеет ствол, который затем делится на правую и левую ветви. Место бифуркации расположено под дугой аорты (рис. 1.13).

Рис. 1.13. Схема отхождения ствола легочной артерии от правого желудочка, деления ее на левую и правую ветви и ее положение относительно восходящего отдела аорты и дуги аорты (Толд К., 1913).

1 – верхушка левого желудочка, 2 – задняя стенка левого желудочка, 3 – правое фиброзное кольцо, 4 – коронарный синус, 5 – левое фиброзное кольцо, 6 – стенка левого желудочка, 7 – левая коронарная артерия, 8 – ствол легочной артерии, 9 – боталлова лигатура, 10 – дуга аорты, 11 – грудная восходящая аорта, 12 – корень аорты, 13 – правая коронарная артерия, 14 – правый желудочек, 15 – коронарная борозда, 16 – вена сердца, 17 – задняя стенка правого желудочка, 18 – задняя стенка левого желудочка.



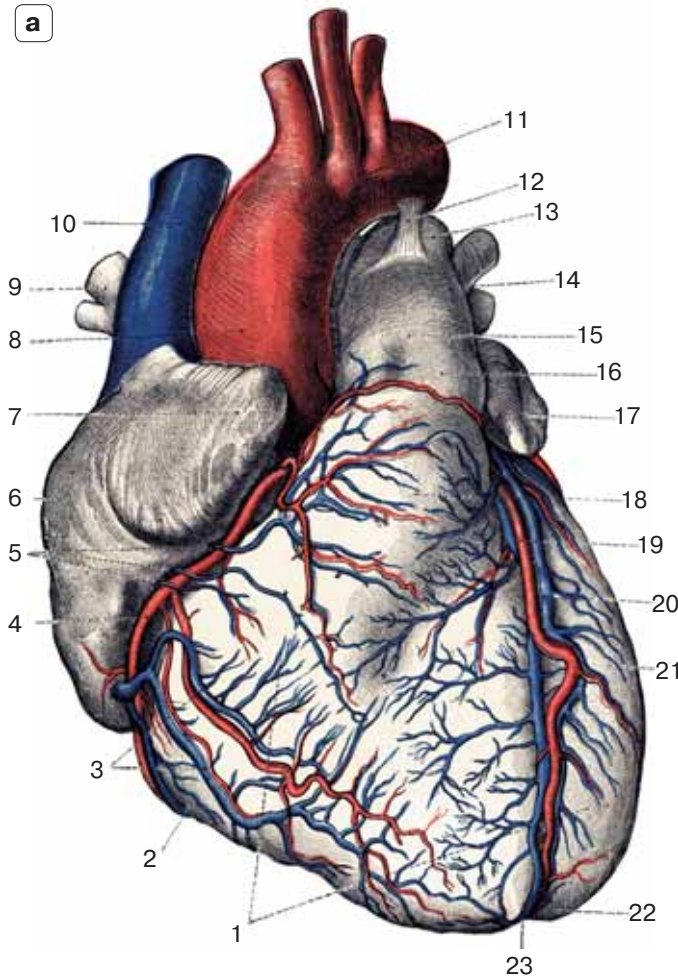
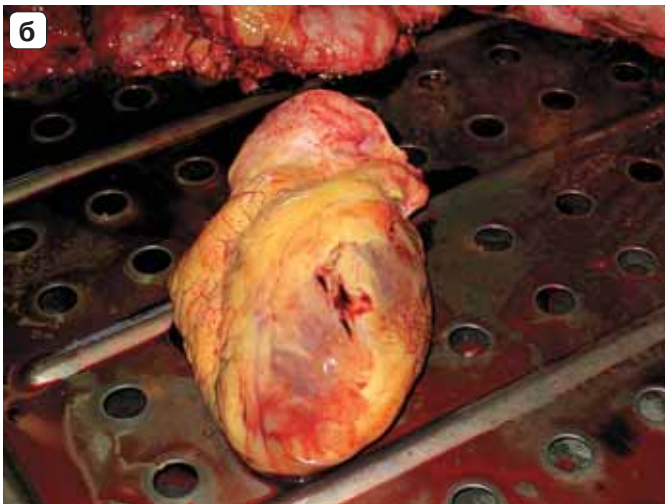


Рис. 1.14. Вид сердца спереди.

а – нормальная анатомия сердца (Толд К., 1913).

1 – грудная поверхность сердца, 2 – правый желудочек, 3 – передние вены сердца, 4 – правая коронарная артерия, 5 – передняя вена сердца, 6 – правое предсердие, 7 – ушко правого предсердия, 8 – восходящая аорта, 9 – правая верхняя легочная вена, 10 – верхняя полая вена, 11 – дуга аорты, 12 – боталлова лигатура, 13 – левая ветвь легочной артерии, 14 – левая верхняя легочная вена, 15 – легочная артерия, 16 – синус легочной артерии, 17 – ушко левого предсердия, 18 – артериальный конус, 19 – передняя нисходящая ветвь левой коронарной артерии, 20 – большая вена сердца, 21 – левый желудочек, 22 – верхушка сердца, 23 – выемка верхушки сердца; **б** – макропрепарат.



Кровоснабжение сердца

Коронарные артерии кровоснабжают сердце. В норме имеются правая и левая коронарные артерии, отходящие от правого и левого коронарных синусов аорты (синусов Вальсальвы) (рис. 1.14).

Строение их может быть различно и варьирует. Коронарные артерии делятся на ветви и капилляры и несут кровь к мышце сердца. Существуют различные варианты кровоснабжения сердца. Наиболее часто левая коронарная артерия питает левое предсердие, большую часть левого желудочка и межжелудочковой перегородки, а правая коронарная – часть левого желудочка и перегородки, весь правый желудочек и правое предсердие.

Вены сердца – передняя и задняя, собирают обедненную кислородом кровь и впадают в коронарный синус – венозный коллектор сердца. Коронарный синус расположен в межпредсердно-межжелудочковой борозде по задней стенке левых отделов сердца и впадает в правое предсердие рядом с нижней полой веной (рис. 1.15).

Иннервация сердца

Проводящая система сердца состоит из водителя ритма – синусового узла, расположенного в правом предсердии, рядом с местом впадения верхней полой вены. Импульс быстро достигает атриовентрикулярного узла, расположенного в межпредсердной перегородке, недалеко от места впадения коронарного синуса в правое предсердие. Далее импульс по волокнам Пуркинье и ветвям пучка Гиса вызывает сокращение желудочков. В случае отказа синусового узла атриовентрикулярный узел может взять на себя функцию водителя ритма (рис. 1.16).

Нормальная гемодинамика сердца человека

Допплерэхокардиография в настоящее время является методом выбора в оценке гемодинамики сердца. Для того чтобы овладеть методом доплерэхокардиографии, нужно хорошо знать нормальную гемодинамику сердца и иметь навык работы в двухмерном режиме. На схеме нормального давления в полостях сердца и в магистральных сосудах можно хорошо разобраться с фазами сердечного цикла и с нормальной гемодинамикой сердца человека (рис. 1.17).

Сердце – полый мышечный орган, состоящий из левого – артериального и правого – венозного отделов. Обогащенная кислородом кровь по четырем легочным венам поступает в левое предсердие, давление в нем растет и в начале диастолы составляет не более 14 мм рт.ст. Под давлением крови створки митрального клапана открываются, кровь устремляется в камеру с меньшим давлением – в левый желудочек, где в начале диастолы давление составляет не более 12 мм рт.ст. Створки аортального клапана закрыты, давление в аорте в диастолу составляет около 80 мм рт.ст.

Давление между камерами выравнивается и затем начинает превалировать давление в полости левого желудочка. В результате этого створки митрального клапана начинают закрываться и полностью захлопываются.

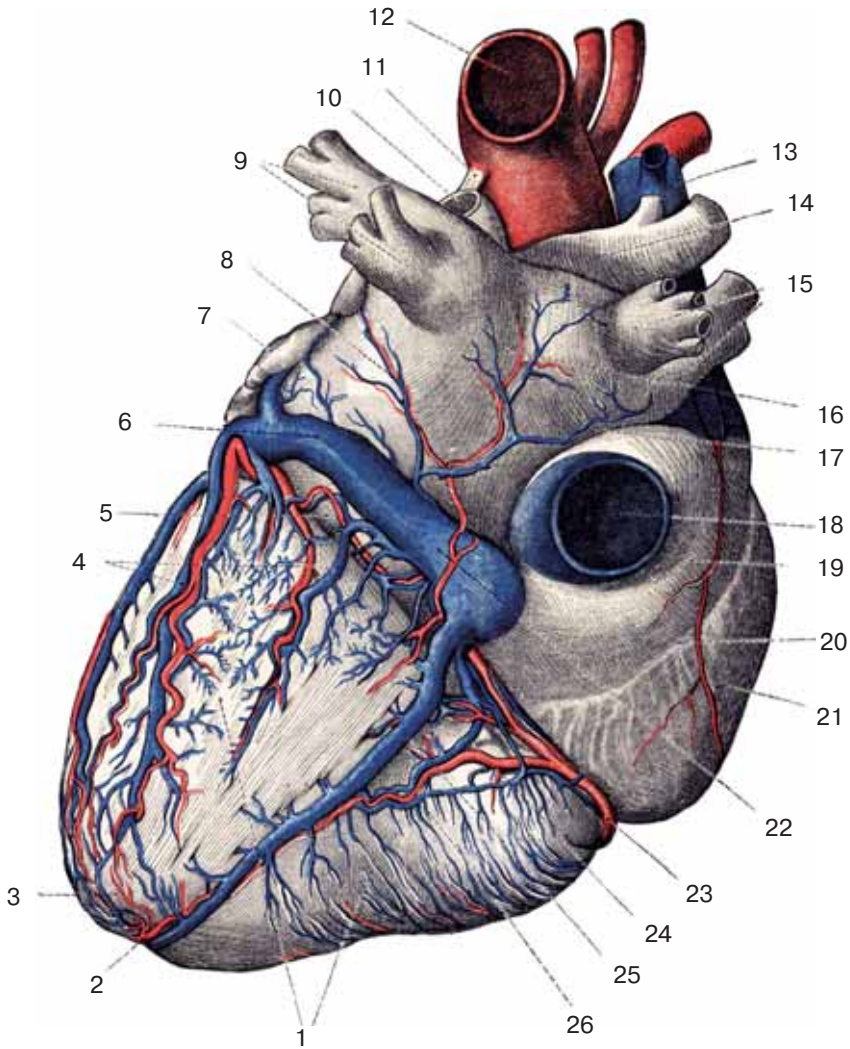


Рис. 1.15. Схема венозного кровообращения сердца (Толд К., 1913).

1 – диафрагмальная поверхность сердца, 2 – выемка верхушки сердца, 3 – верхушка сердца, 4 – задняя вена левого желудочка, 5 – борозда коронарного синуса, 6 – большая вена сердца, 7 – ушко левого предсердия, 8 – вена левого предсердия (Маршалла вена), 9 – левые легочные вены, 10 – левая ветвь легочной артерии, 11 – боталлова лигатура, 12 – аорта, 13 – верхняя полая вена, 14 – правая ветвь легочной артерии, 15 – правые легочные вены, 16 – левое предсердие, 17 – длинная задняя борозда между предсердиями, 18 – нижняя полая вена, 19 – пазуха полых вен, 20 – пограничная борозда правого предсердия, 21 – правое предсердие, 22 – коронарный синус, 23 – правая коронарная артерия, 24 – малая вена сердца, 25 – средняя вена сердца, 26 – задняя ветвь правой коронарной артерии.

Рис. 1.16. Схема иннервации сердца (Craig M., 1991). 1 – волокна Пуркинье, 2 – правая ветвь пучка Гиса, 3 – задний внутриузловой тракт, 4 – средний внутриузловой тракт, 5 – синусовый узел, 6 – передний внутриузловой тракт, 7 – пучок Бахмана, 8 – атрио-вентрикулярный узел, 9 – пучок Гиса, 10 – левая ветвь пучка Гиса.

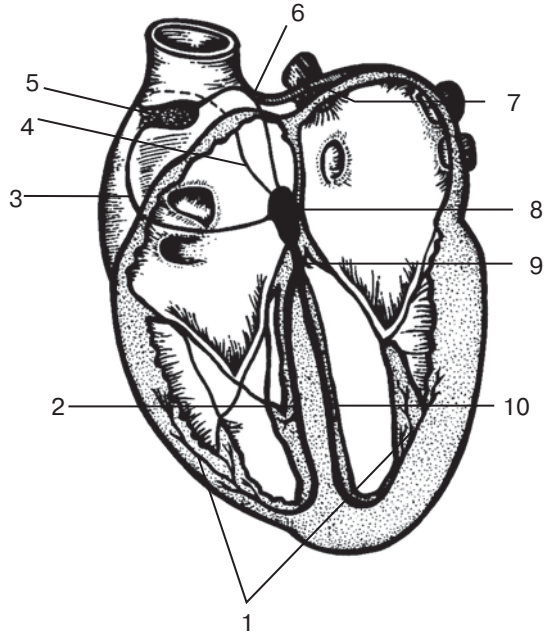
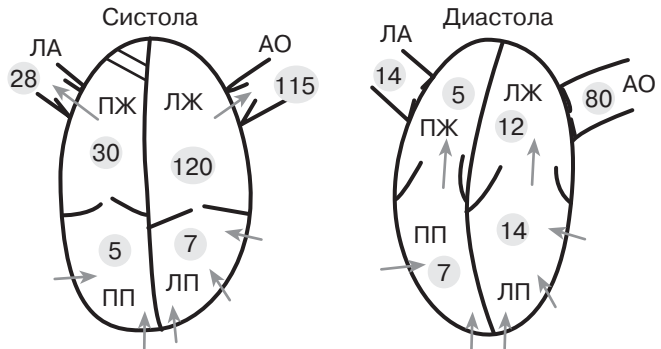


Рис. 1.17. Схема нормального давления в полостях сердца и магистральных сосудах в систолу и диастолу. Цифрами указано приблизительное давление (мм рт.ст.) в полостях сердца и в магистральных сосудах в систолу и в диастолу.



После короткого периода диастазиса, во время которого может быть незначительное пассивное поступление части крови из левого предсердия в левый желудочек, происходит систола левого предсердия, остаточный объем крови изгоняется в левый желудочек. Диастола завершилась, и давление в полости левого желудочка начинает возрастать. Время от щелчка закрытия митрального клапана до щелчка открытия аортального клапана, которое необходимо для нарастания давления в левом желудочке после диастолы, называется временем изоволюметрического сокращения левого желудочка (interventricular contractility time – IVCT). Створки аортального клапана открываются под давлением крови. В начале систолы давление в полости левого желудочка составляет около 120 мм рт.ст., давление в аорте ниже – около 110–115 мм рт.ст. При этом створки митрального клапана

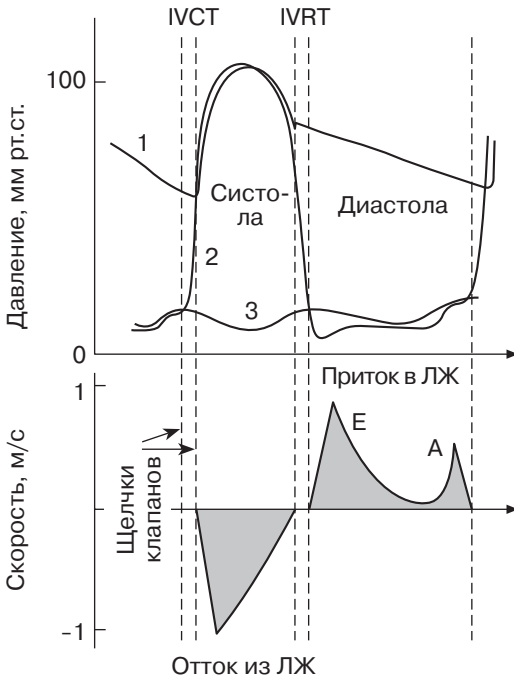


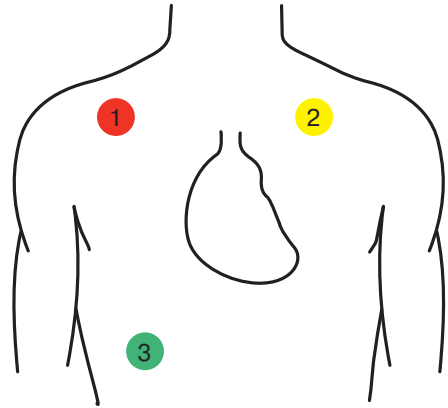
Рис. 1.18. Схема физиологии сердечного цикла (Otto C., Pearlman A., 1995). 1 – давление в аорте, 2 – давление в левом желудочке, 3 – давление в левом предсердии.

закрыты, и давление в левом предсердии составляет около 5–7 мм рт.ст. Кровь поступает в аорту, давление между камерами выравнивается, и затем начинает превалировать давление в аорте. Створки аортального клапана закрываются. Давление в левом желудочке продолжает падать. Промежуток от щелчка закрытия аортального клапана до щелчка открытия митрального клапана называется временем изоволюметрического расслабления левого желудочка (interventricular rest time – IVRT), которое необходимо для снижения давления в левом желудочке после систолы (рис. 1.18).

Таким образом, физиологическая диастола начинается сразу после щелчка закрытия аортального клапана и заканчивается щелчком закрытия митрального клапана; физиологическая систола начинается сразу после закрытия митрального клапана и заканчивается щелчком закрытия аортального клапана. По аорте и ее ветвям артериальная кровь распространяется по всему организму. Венозная, обедненная кислородом кровь, оттекая от тканей и внутренних органов, поступает в верхнюю и нижнюю полые вены и затем – в правое предсердие. Нижняя полая вена собирает кровь от нижней половины туловища, верхняя полая вена – от верхней половины туловища. В начале диастолы давление в правом предсердии составляет около 5–7 мм рт.ст., а в правом желудочке – около 2–5 мм рт.ст. Створки клапана легочной артерии закрыты, давление в легочной артерии в начале диастолы составляет не более 14 мм рт.ст.

Под давлением крови створки трикуспидального клапана открываются, кровь поступает из камеры с большим давлением в камеру с меньшим дав-

Рис. 1.19. Схема установки электродов на грудной клетке пациента. Красный электрод (1) устанавливается справа от грудины, желтый электрод (2) – слева от грудины, зеленый электрод (3) – справа на область печени.



лением – из правого предсердия в правый желудочек. Давление между ними выравнивается, и затем давление в правом желудочке начинает превалировать. Створки трикуспидального клапана практически полностью закрываются, но после периода диастазиса происходит систола правого предсердия, и остаточный объем крови поступает в правый желудочек. Створки трикуспидального клапана закрываются, давление в полости правого желудочка начинает возрастать; после периода изоволюметрического сокращения открываются створки клапана легочной артерии. Давление в полости правого желудочка в начале систолы составляет в норме не более 30 мм рт.ст., в легочной артерии – около 20–25 мм рт.ст. В правом предсердии в это время давление снижается до 0–5 мм рт.ст. Кровь поступает из правого желудочка в легочную артерию и по ее ветвям в легкие. Давление между камерами выравнивается и затем начинает превалировать давление в легочной артерии. Створки клапана легочной артерии начинают прикрываться и полностью захлопываются. Систола правого желудочка закончилась. За время от щелчка закрытия клапана легочной артерии до щелчка открытия трикуспидального клапана (IVRT) давление в полости правого желудочка падает после систолы. Физиологическая диастола правого желудочка начинается от щелчка закрытия клапана легочной артерии и длится до щелчка открытия трикуспидального клапана. Физиологическая систола начинается от щелчка закрытия трикуспидального клапана и длится до щелчка открытия клапана легочной артерии.

Эхокардиографическое исследование принято проводить с синхронизацией электрокардиограммы (ЭКГ) и выведением ее на экран. На грудную клетку пациента крепят 3 электрода: красный – справа от грудины во втором межреберье, желтый – слева от грудины во втором межреберье, зеленый – слева на область ребер ниже проекции верхушки сердца (рис. 1.19).

На мониторе внизу выводят кривую ЭКГ в одном отведении. Это необходимо для корректной оценки гемодинамики у больных со сложными нарушениями ритма и проводимости. Врач ультразвуковой диагностики должен разбираться в фазах сердечного цикла и их корреляцией с кривой ЭКГ (рис. 1.20).

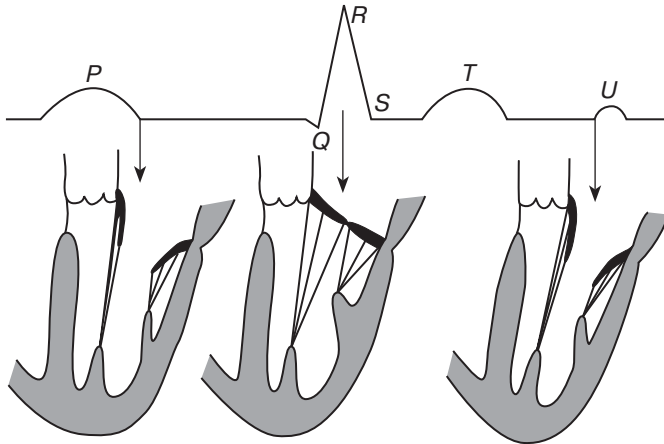


Рис. 1.20. Схема физиологии сердечного цикла, синхронизированного с кривой ЭКГ. Зубец *P* – деполяризация предсердий; зубец *Q* – реполяризация предсердий и деполяризация межжелудочковой перегородки; зубец *R* – деполяризация боковых стенок и верхушки желудочков; зубец *S* – деполяризация оснований желудочков; зубец *T* – реполяризация желудочков; зубец *U* – встречается редко, соответствует реполяризации желудочков; интервал *PQ* – время, необходимое для деполяризации предсердий; интервал *QRS* – время деполяризации желудочков; интервал *QRST* – время от начала деполяризации до конца реполяризации желудочков, т.е. соответствует систоле; интервал *TR* – состояние покоя; интервал *R–R* – время одного сердечного цикла. Вывод: интервал *QT* соответствует систоле желудочков, интервал *TP* – диастоле желудочков. При этом зубец *P* соответствует систоле предсердий, т.е. это позднее диастолическое наполнение желудочков.

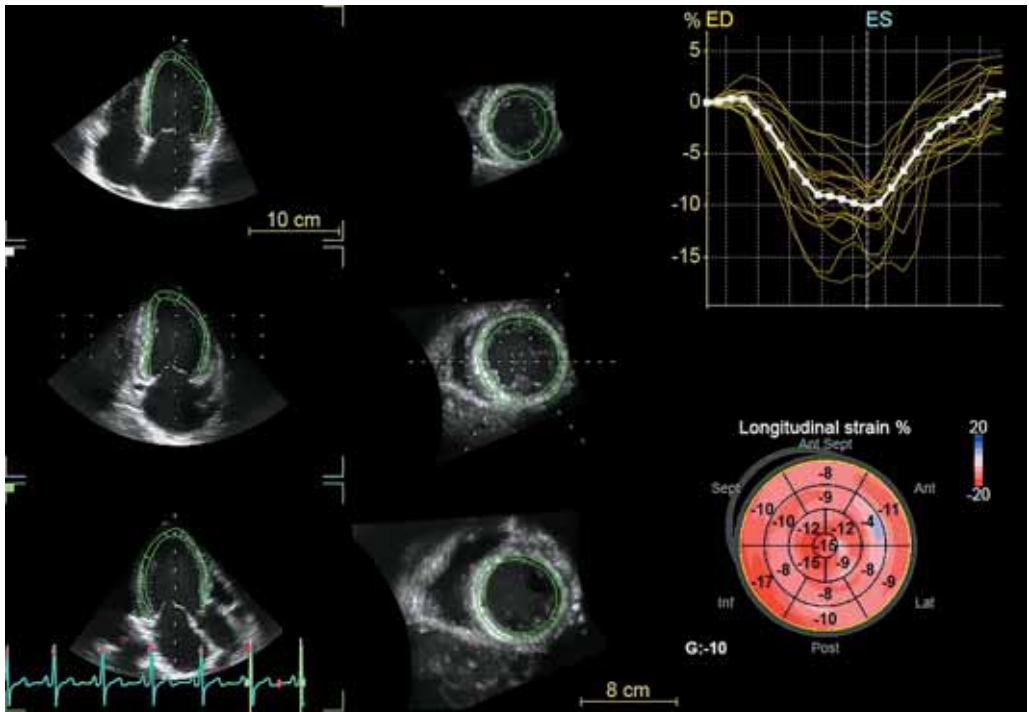


Рис. 1.21. Трехмерная эхокардиография, анализ параметров гемодинамики и построение кривых деформации миокарда по сегментам, расчет глобальной деформации. Внизу на экране кривая ЭКГ.

Однако в настоящее время синхронизация ультразвукового изображения сердца и ЭКГ используется также для корректной оценки параметров центральной гемодинамики с использованием трехмерной эхокардиографии и для оценки деформации миокарда желудочков (рис. 1.21).

Список рекомендуемой литературы

- Буракавский В.И., Бокерия Л.А. Сердечно-сосудистая хирургия. М.: Медицина, 1989: 45–58.
- Каган И.И. Клиническая анатомия сердца. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2018. 128 с.
- Михайлов С.С. Клиническая анатомия сердца. М.: Медицина, 1987: 35–245.
- Привес М.Г., Лысенко Н., Бушкович В.И. Анатомия человека. Л.: Медицина, 1974: 383–400.
- Рыбакова М.К., Митьков В.В., Балдин Д.Г. Эхокардиография при врожденных пороках сердца у взрослых. М.: Издательский дом Видар-М, 2021: 9–26.
- Рыбакова М.К., Митьков В.В., Балдин Д.Г. Эхокардиография от Рыбаковой М.К. 3-е изд. М.: Издательский дом Видар-М, 2023: 36–50.
- Толд К. Анатомический атлас. СПб.: Практическая медицина, 1913. Т. 9: 562–577.
- Craig M. Diagnostic Medical Sonography. Echocardiography. Philadelphia: J.B. Lippincott Company, 1991. 461 p.
- Otto C., Pearlman A. Textbook of Clinical Echocardiography. Philadelphia: W.B. Saunders Comhany, 1995. 404 p.