

Государственная корпорация по атомной энергии «РОСАТОМ»
Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное медико-биологическое агентство (ФМБА России)
Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
Российская медицинская академия последипломного образования

В.Н. Михайлов, Т.Л. Ельфимова, В.В. Митьков,
М.Н. Алехин, М.К. Рыбакова, А.Н. Алексеев,
В.Г. Никитаев, К.В. Котенко, О.П. Кузовлев, О.С. Цека,
С.Ю. Тараканова, П.В. Стручков, С.А. Ярошук, Т.В. Крутова,
А.Н. Проничев, Е.Ю. Бердникович, А.Н. Кармазинский, К.С. Чистов,
Е.А. Голышко, Л.А. Алексеева, О.А. Шепелева, В.В. Вахромеев

УЛЬТРАЗВУКОВОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СЕРДЦА – ЭХОКАРДИОГРАФИЯ

Лабораторный практикум
(на базе результатов совместной работы
РОСАТОМ-ФМБА-НИЯУ МИФИ-РМАПО)

Под редакцией В.В. Митькова,
А.Н. Алексеева, В.Г. Никитаева

*Рекомендовано УМО "Ядерные физика и технологии"
в качестве учебного пособия*

Москва 2011

УДК 616 – 073.43 (035); 534.7 (075); 616 + 534.292
ББК 53.6 (54.101); 22.32я7
У51

УЛЬТРАЗВУКОВОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СЕРДЦА – ЭХОКАРДИОГРАФИЯ. Лабораторный практикум (на базе результатов совместной работы РОСАТОМ-ФМБА-НИЯУ МИФИ-РМАПО). /Под ред. В.В. Митькова, А.Н. Алексеева, В.Г. Никитаева. – М.: НИЯУ МИФИ, 2011. – 288 с.

Авт.: В.Н. Михайлов, Т.Л. Ельфимова, В.В. Митьков, М.Н. Алехин, М.К. Рыбакова, А.Н. Алексеев, В.Г. Никитаев, К.В. Котенко, О.П. Кузовлев, О.С. Цека, С.Ю. Тараканова, П.В. Стручков, С.А. Ярощук, Т.В. Крутова, А.Н. Проничев, Е.Ю. Бердникович, А.Н. Кармазинский, К.С. Чистов, Е.А. Голышко, Л.А. Алексеева, О.А. Шепелева, В.В. Вахромеев.

Настоящее пособие – результат сотрудничества Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», Федерального медико-биологического агентства (ФМБА России), клинических больниц № 83 и 85, Российской медицинской академии последипломного образования в области ультразвуковой диагностики и подготовки студентов НИЯУ МИФИ по специализации «Компьютерные медицинские системы».

Пособие состоит из двух частей и приложения. В теоретической части даны необходимые сведения об анатомии и физиологии сердца, существующих современных ультразвуковых эхокардиографических технологиях, стандартных методах исследования и измерения наиболее важных параметров жизнедеятельности сердца, а также о нормах и степени патологии сердечной деятельности, принятых американской и европейской кардиологическими ассоциациями. Практическая часть содержит описание восьми лабораторных работ, первые пять из которых связаны с идентификацией и измерением основных геометрических параметров сердца на эхоИмпульсных ультразвуковых изображениях (в том числе мультимедийных), полученных с использованием В- и М-режимов сканирования, а три последние – со стандартными измерениями отдельных гемодинамических параметров сердца с использованием доплеровских эхокардиограмм. В приложении к лабораторному практикуму приведены примеры выполнения каждой из восьми лабораторных работ с индивидуальным набором эхокардиографических изображений.

Пособие предназначено для студентов кафедры компьютерных медицинских систем факультета автоматики и электроники НИЯУ МИФИ, изучающих курсы «Проектирование компьютерных медицинских систем», «Физические методы медицинской интроскопии», раздел «Ультразвук в медицине: теория и применение» в рамках курса «Теоретическая физика», и может быть полезно специалистам, занимающимся ультразвуковой медицинской кардиологической диагностикой.

Подготовлено в рамках Программы создания и развития НИЯУ МИФИ.

Рецензенты: академик РАМН В.А. Сандриков,
д.ф.-м.н., профессор Е.М. Кудрявцев

ISBN 978-5-7262-1543-3

© Национальный исследовательский
ядерный университет «МИФИ», 2011

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	5
-------------------	---

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

1. Нормальная анатомия и физиология сердца	8
1.1. Нормальная анатомия сердца	8
1.2. Нормальная физиология сердца	26
Рекомендуемая литература	30
2. Эхокардиографические технологии	31
2.1. Импульсные методы эхокардиографии	31
2.2. Доплеровские методы эхокардиографии	35
2.3. Современные эхокардиографические приборы	55
Рекомендуемая литература	57
3. Эхоимпульсная кардиография	58
3.1. Стандартные эхокардиографические доступы и позиции	58
3.2. <i>B</i> -режим импульсной эхокардиографии	59
3.3. <i>M</i> -режим импульсной эхокардиографии	77
Рекомендуемая литература	81
4. Доплеровская эхокардиография	82
4.1. Исследование кровотоков сердца и сердечно-сосудистой системы	82
4.2. Исследование параметров движения миокарда и фиброзных кольец сердечных клапанов	99
Рекомендуемая литература	129
5. Стандартные эхокардиографические измерения и нормативы.	
Расчеты для оценки функции желудочков	130
5.1. Стандартные эхокардиографические измерения	130
5.2. Нормативы стандартных измерений	133
5.3. Расчеты для оценки функции желудочков	137
Рекомендуемая литература	156

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

I. Стандартные измерения на эхоимпульсных ультразвуковых кардиографических изображениях, соответствующих использованию <i>B</i> - и <i>M</i> -режимов сканирования	157
Лабораторная работа 1. Идентификация предъявленных эхокардиографических изображений в стандартных доступах и позициях ультразвукового зонда	157
Лабораторная работа 2. Идентификация основных структурных элементов анатомии сердца и фаз его гемодинамики на	

предъявленных мультимедийных эхокардиографических изображениях	160
Лабораторная работа 3. Стандартные измерения на эхокардиографических изображениях, соответствующих использованию <i>B</i> - и <i>M</i> -режимов сканирования	163
Лабораторная работа 4. Сравнительная оценка результатов стандартных эхокардиографических измерений одних и тех же геометрических параметров сердца, полученных с использованием изображений в <i>B</i> - и <i>M</i> -режимах сканирования	166
Лабораторная работа 5. Расчет основных анатомических и физиологических параметров сердца по результатам измерения соответствующих геометрических параметров эхокардиографических изображений	169
П. Стандартные измерения гемодинамических параметров сердца с использованием допплеровских эхокардиограмм, соответствующих режиму импульсно-волнового ультразвукового допплеровского исследования	173
Лабораторная работа 6. Идентификация предъявленных допплеровских эхокардиографических изображений в стандартных доступах и позициях ультразвукового зонда	173
Лабораторная работа 7. Идентификация основных структурных элементов анатомии сердца и фаз его гемодинамики на предъявленных мультимедийных допплеровских эхокардиографических изображениях	176
Лабораторная работа 8. Стандартные измерения гемодинамических параметров сердца с использованием допплеровских эхокардиограмм, соответствующих режиму импульсно-волнового доплера	179
ПРИЛОЖЕНИЕ	
Пример выполнения рабочего задания лабораторной работы 1	182
Пример выполнения рабочего задания лабораторной работы 2	192
Пример выполнения рабочего задания лабораторной работы 3	204
Пример выполнения рабочего задания лабораторной работы 4	216
Пример выполнения рабочего задания лабораторной работы 5.....	227
Пример выполнения рабочего задания лабораторной работы 6	242
Пример выполнения рабочего задания лабораторной работы 7	252
Пример выполнения рабочего задания лабораторной работы 8.....	273
Сведения об авторах	285

ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящий лабораторный практикум, являющийся коллективным трудом преподавателей кафедры «Компьютерные медицинские системы» НИЯУ МИФИ, врачей Федерального медико-биологического агентства (ФМБА России) и кафедры ультразвуковой диагностики Российской медицинской академии последипломного образования (РМАПО) – ведущих специалистов в области медицинской ультразвуковой диагностики, относится к разряду изданий, необходимых для освоения студентами кафедры в рамках читаемых им курсов лекций «Проектирование компьютерных медицинских систем», «Теоретическая физика» и «Физические методы медицинской интроскопии», а также соответствующих семинарских занятий, сочетающихся с проведением профильных экскурсий в отделениях функциональной диагностики клинических больниц¹.

Выбор тематики настоящего лабораторного практикума, а именно «Ультразвуковое исследование сердца – эхокардиография», обусловлен тем, что на протяжении последних лет именно ультразвуковая эхокардиография² является ведущим методом диагностики патологии сердца. Широкое внедрение метода в практику обусловлено высоким уровнем современной ультразвуковой аппаратуры, отсутствием вредного влияния на пациента и врача, относительно низкой стоимостью по сравнению с остальными видами исследований. Наличие большого количества вариантов исследования позволяет получить точную анатомическую и гемодинамическую информацию о больном и избежать инвазивных вмешательств.

Широкое использование ультразвуковой эхокардиографии внесло существенные корректиры в диагностические алгоритмы пропедевтики³ внутренних болезней, позволяя выявлять самые разнообразные патологические состояния сердца, что ранее было недоступно кардиологам. Ульт-

¹ Создание данного лабораторного практикума – естественное развитие плодотворного сотрудничества НИЯУ МИФИ с крупными медицинскими центрами ФМБА России – клиническими больницами № 83 и 85, одним из результатов которого явилось издание в 2006 г. учебного пособия «Ультразвук в медицине: теория и применение» (М.: МИФИ, 2006).

² Эхокардиография – от греч. ēchō отголосок, эхо + kardia сердце + graphō писать, изображать: синоним ультразвуковая кардиография.

³ Пропедевтика – подготовительный курс к изучению какой-либо науки, подготовительное обучение.

развуковая визуализация сердца и морфометрия его структур позволяют неинвазивно в динамике наблюдать, как происходят изменения структуры сердца и его сократимости под воздействием патологических процессов, а также под влиянием проводимого лечения. Доплеровские¹ ультразвуковые технологии позволяют на живом сердце оценивать внутрисердечную гемодинамику. С помощью стресс-эхокардиографии, моделируя различные условия нагрузки, можно наблюдать те изменения работы сердца и внутрисердечной гемодинамики, которые позволяют выявлять ишемию миокарда² и дифференцировать рубцы и жизнеспособный миокард.

Появление метода тканевого доплера – еще один шаг на пути развития эхокардиографии. Этот метод позволяет распознать особенности сокращения миокарда, ранее не видимые в буквальном смысле этого слова. При движении сердца целый ряд событий происходит со скоростью, превышающей временную разрешающую способность человеческого глаза, что ограничивает возможности двухмерной визуализации сердца. Тканевой доплер, своеобразный «временной микроскоп», позволяет увидеть графически быстрые и невидимые для нашего глаза движения сердца и количественно их охарактеризовать. Измерение этих невидимых глазом событий дает возможность разрабатывать принципиально новые диагностические подходы в эхокардиографии, позволяющие оценивать деформации миокарда.

Освоение современных методов и технологий ультразвуковой эхокардиографии, приобретение навыков работы с результатами соответствующих исследований и проведение стандартных эхокардиографических измерений на реальных ультразвуковых изображениях сердца, в том числе мультимедийных, а также закрепление навыков работы с компьютерными графическими редакторами различных типов и является целью настоящего лабораторного практикума.

Лабораторный практикум состоит из двух частей и приложения.

В теоретической части даны необходимые сведения об анатомии и физиологии сердца, существующих современных ультразвуковых эхокардиографических технологиях, стандартных методах исследования и измерения наиболее важных параметров жизнедеятельности сердца, а также о нормах и степени патологии сердечной деятельности, принятых американской и европейской кардиологическими ассоциациями. Характер из-

¹ В медицинской литературе принято использовать написание слова «доплеровские» с двумя буквами **п**, а именно «допплеровские», в то время как в литературе по физике и технике используется написание с одной буквой **п**, рекомендуемое Физическим энциклопедическим словарем. Мы будем использовать именно такое написание.

² Миокард – это общее название сердечной мышцы.

ложении необходимых теоретических сведений и их содержание во многом заимствованы из вышедшей в 2008 г. книги соавторов настоящего лабораторного практикума ведущих российских специалистов в области ультразвуковой диагностики, в том числе эхокардиографии М.К. Рыбаковой, М.Н. Алексина и В.В. Митькова¹.

Практическая часть содержит описание восьми лабораторных работ, первые пять из которых связаны с идентификацией ультразвуковых изображений, полученных с использованием *B*- и *M*-режимов сканирования, и проведением стандартных эхокардиографических измерений основных геометрических параметров сердца на соответствующих изображениях, а три последние – со стандартными измерениями некоторых гемодинамических параметров сердца с использованием допплеровских технологий, реализованных в режиме импульсно-волнового ультразвукового допплеровского сканирования. Каждое описание лабораторной работы содержит задание, которое следует выполнить при подготовке к работе и в процессе его выполнения, а также контрольные вопросы и требования к форме и содержанию отчета по работе.

В приложении к лабораторному практикуму приведены примеры выполнения каждой из восьми лабораторных работ с индивидуальным набором эхокардиографических изображений (одним из двадцати вариантов, заготовленных для каждой работы). При выполнении лабораторных работ студенты могут использовать любую литературу и программные продукты, в том числе рекомендованные в рабочем задании для каждой из лабораторных работ и в теоретической части лабораторного практикума. Лабораторные работы выполняются студентами на индивидуальных компьютерах в компьютерном классе кафедры «Компьютерные медицинские системы», поэтому в описании примеров выполнения лабораторных работ фигурируют термины «папка» и «файл». Результатом выполнения каждой лабораторной работы является отчет, который студент должен представить преподавателю в соответствии с изложенными в рабочем задании требованиями.

Авторы выражают благодарность Государственной корпорации по атомной энергии «РОСАТОМ» за поддержку работ в области компьютерных медицинских систем, во многом стимулировавших выпуск настоящего лабораторного практикума.

¹ Практическое руководство по ультразвуковой диагностике. Эхокардиография. М.: ВИДАР, 2008.

1. НОРМАЛЬНАЯ АНАТОМИЯ И ФИЗИОЛОГИЯ СЕРДЦА

1.1. НОРМАЛЬНАЯ АНАТОМИЯ СЕРДЦА

Сердце – это простой, эффективный и мощный насос, почти полностью состоящий из мышечной ткани. Оно постоянно сокращается, поддерживая кровообращение организма. По форме сердце напоминает тупоконечный конус. 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.

Сердце находится в грудной клетке в центральном средостении. Кроме сердца в грудной клетке расположены магистральные кровеносные сосуды, тимус, легкие, трахея, пищевод и ряд важных нервных путей, включая блуждающий и диафрагмальный нервы (рис. 1.1).

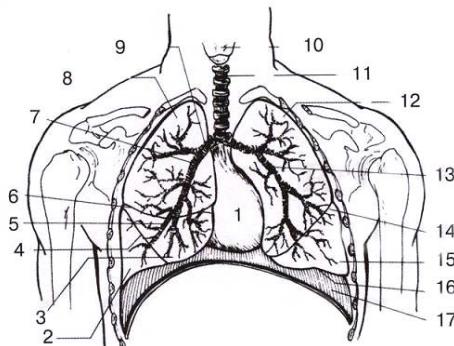


Рис. 1.1. Положение сердца в грудной клетке по отношению к другим органам (Craig M., 1991):

1 – сердце; 2 – нижняя доля правого легкого; 3 – средняя доля правого легкого; 4 – междолевая плевра; 5 – правая бронхиола; 6 – междолевая плевра; 7 – правый долевой бронх; 8 – верхняя доля правого легкого; 9 – правый главный бронх; 10 – гортань; 11 – трахея; 12 – верхняя доля левого легкого; 13 – левый сегментарный бронх; 14 – междолевая плевра; 15 – нижняя доля левого легкого; 16 – основание легкого; 17 – диафрагма

Сердце расположено на сухожильном центре диафрагмы и ограничено по бокам легкими. Примерно две трети сердца лежат слева от средней линии грудной клетки, оставшаяся треть находится справа (рис. 1.2).

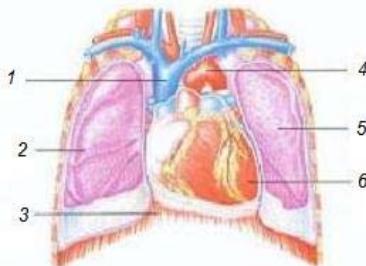


Рис. 1.2. Упрощенная схема расположения сердца в грудной клетке:
1 – верхняя полая вена; 2 – правое легкое; 3 – диафрагма; 4 – аорта;
5 – левое легкое; 6 – сердце

Сердце состоит из четырех полых камер – двух предсердий, принимающих кровь в сердце, и двух желудочков, выталкивающих кровь в кровеносную систему. Кровь проходит через сердце только в одном направлении, и обратный ее ток предупреждают четыре клапана, два из которых отделяют желудочки от предсердий, а два других – желудочки от сосудов кровеносной системы (с венозной и артериальной кровью, соответственно).

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.

Сердце заключено в околосердечную сумку, или перикард, представляющий собой замкнутый конусовидный мешок из соединительной ткани.

Общий вид сердца спереди и сзади показан на рис. 1.3 и 1.4. В сердце различают основание и верхушку. В основание сердца входят предсердия и магистральные сосуды. Верхушка сердца расположена свободно и как бы вдавлена в перикард.

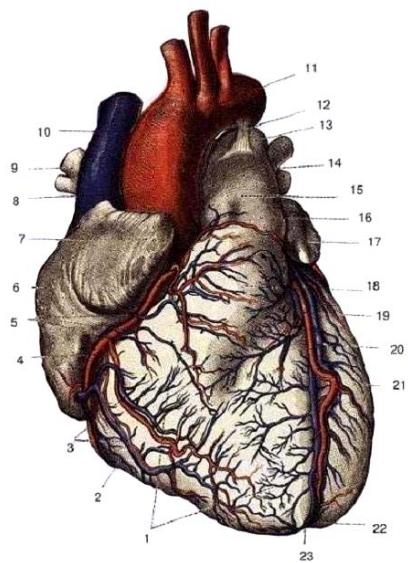


Рис. 1.3. Вид сердца спереди
(Толд К., 1913):

1 – загрудинная 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

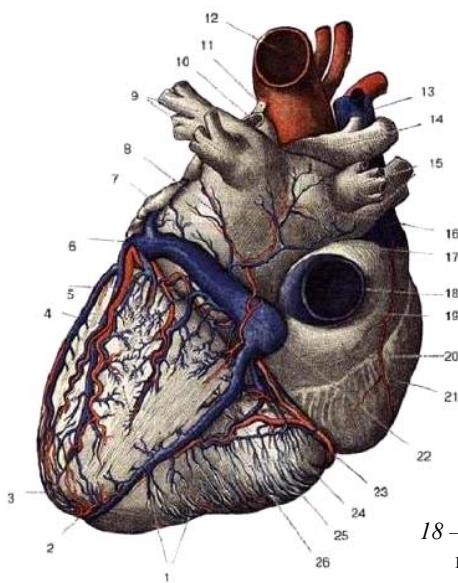


Рис. 1.4. Вид сердца сзади
(Толд К., 1913):

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 (Маршалова 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

Перикард и стенка сердца

Перикард состоит из двух листков (рис. 1.5 и 1.6): фиброзного (париентального) и серозного (висцерального). Фиброзный перикард – тонкая оболочка, покрывающая и окружающая само сердце. Он довольно прочен и обеспечивает защиту от травм. Поскольку он не эластичен, то предупреждает переполнение сердца кровью выше безопасного предела. Между листками перикарда находится щелевидная перикардиальная полость, заполненная небольшим количеством (в норме от 5 до 80 мл) физиологической жидкости, играющей роль смазки. Это позволяет камерам сердца свободно двигаться внутри перикарда во время сокращений.

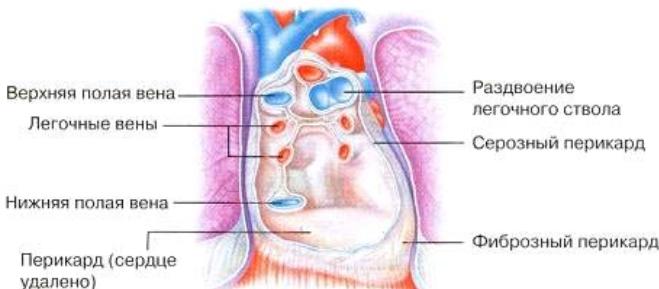


Рис. 1.5. Расположение перикарда

Стенка сердца, находящаяся внутри перикарда, состоит из трех слоев: эпикарда, миокарда и эндокарда (рис. 1.6).

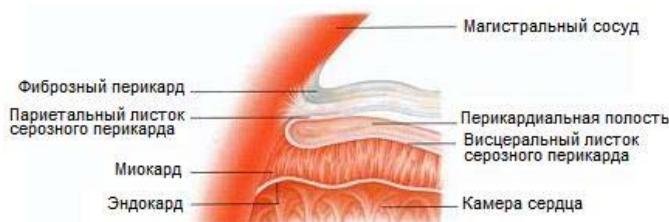


Рис. 1.6. Состав и строение перикарда

Эпикард – это внутренняя (висцеральная) часть серозного слоя перикарда, покрывающая наружную поверхность мышцы сердца

(миокарда) и плотно прикрепленная к ней. Центральный слой – миокард – составляет основную массу сердечной стенки и состоит из сердечных мышечных волокон, присутствующих только в сердце. Мышечные волокна миокарда поддерживаются и фиксируются вместе переплетающимися волокнами соединительной ткани. Эндокард – это нежная оболочка, выстилающая внутреннюю поверхность камер сердца и клапанов и соприкасающаяся с кровью.

Камеры сердца

Сердце разделено на правую и левую половины, каждая из которых состоит из двух камер, или полостей. Строение левых и правых отделов сердца схематично показано на рис.1.7 и более детально – на рис.1.8 и 1.9.

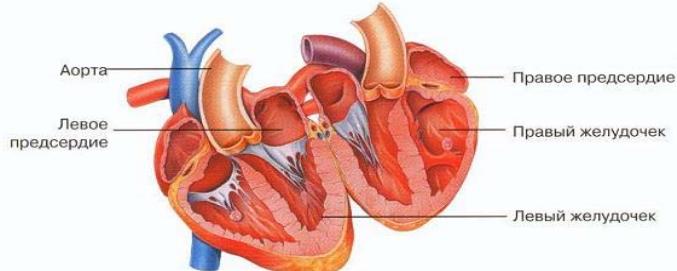


Рис. 1.7. Строение левых и правых отделов сердца

Верхние камеры называются предсердиями. Они соединены с расположенными ниже желудочками.

Строение предсердий. Предсердия – это две сравнительно тонкостенные камеры сердца. Они находятся выше желудочков и отделены от них предсердно-желудочковыми клапанами, предупреждающими обратный ток крови при сокращениях сердца. Между левым предсердием и левым желудочком расположен митральный клапан, а между правым предсердием и правым желудочком – трикуспидальный (трехстворчатый) клапан. Внутренняя поверхность предсердий гладкая, за исключением передних стенок, покрытых гребнями из мышечных пучков, называющихся гребенчатыми мышцами. Каждое предсердие продолжается в ушко предсердия, увеличивая его поверхность.

Рис. 1.8. Левые и правые отделы сердца
(Толд К., 1913):

1 – межжелудочковая перегородка;
2 – папиллярные мышцы; 3 – створки
трикуспидального клапана
(септальная; задняя и передняя);
4 – мембранные части межжелудочковой
перегородки; 5 – створки полулунных
клапанов аорты; 6 – правое предсердие;
7 – ушко правого предсердия;
8 – восходящая аорта; 9 – верхняя полая
вена; 10 – боталлова лигатура;
11 – бифуркация легочной артерии;
12 – переход перикарда в эпикард на
левой ветви легочной артерии и левых
легочных венах; 13 – поперечный синус
перикарда; 14 – левая коронарная артерия;
15 – ушко левого предсердия; 16 – створки
полулунных клапанов аорты; 17 – створки
митрального клапана: передняя и задняя;
18 – папиллярные мышцы; 19 – трабеку-
лы правого и левого желудочков

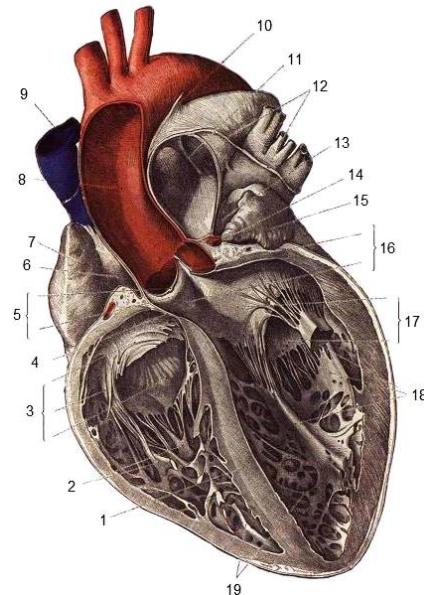
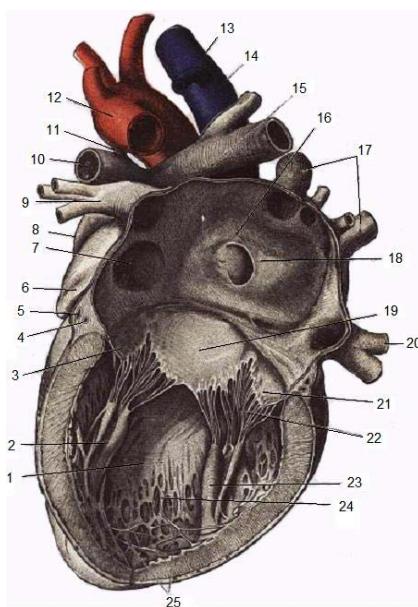


Рис. 1.9. Строение левых камер
сердца (Толд К., 1913):

1 – межжелудочковая перегородка;
2 – папиллярная мышца; 3 – задняя
створка митрального клапана;
4 – огибающая ветвь левой коронарной
артерии; 5 – большая вена сердца;
6 – ушко левого предсердия; 7 – вход в
ушко левого предсердия; 8 – легочная
артерия; 9 – левая верхняя легочная
вена; 10 – левая ветвь легочной артерии;
11 – боталлова лигатура; 12 – аорта;
13 – V. azigos; 14 – верхняя полая вена;
15 – правая ветвь легочной артерии;
16 – межпредсердная перегородка;
17 – правые легочные вены; 18 – клапан
овальной ямки; 19 – передняя створка
митрального клапана; 20 – правые
легочные вены; 21 – задняя створка
митрального клапана; 22 – сухожильные
хорды; 23 – папиллярная мышца;
24 – трабекулы; 25 – дополнительные сухожильные хорды в верхушке



Левое предсердие имеет овальную форму и отделено от правого предсердия межпредсердной перегородкой, а от левого желудочка – митральным клапаном. В левое предсердие впадают четыре легочные вены (рис. 1.9): две правые (верхняя и нижняя) и две левые (верхняя и нижняя). По легочным венам обогащенная кислородом кровь поступает в левое предсердие, отделенное от правого предсердия межпредсердной перегородкой, в центре которой имеются мембранные овальной ямки и клапан мембранны овальной ямки.

Правое предсердие так же, как и левое, имеет овальную форму. Правое предсердие отделено от левого предсердия межпредсердной перегородкой, а от правого желудочка – триkuspidальным (трехстворчатым) клапаном. В правое предсердие впадают верхняя и нижняя полые вены (рис. 1.10), которые несут кровь от верхней и нижней половины туловища. В правое предсердие впадает и коронарный синус – венозный коллектор самого сердца.

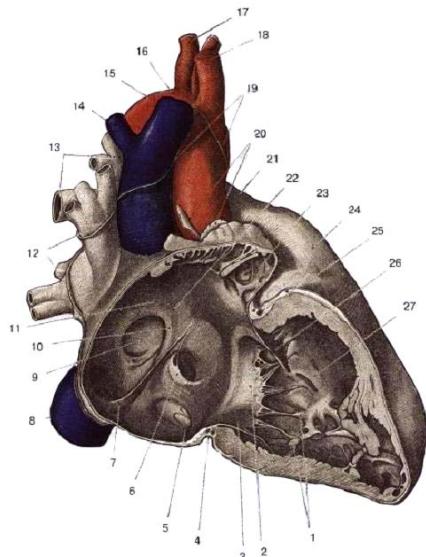


Рис. 1.10. Строение правого предсердия и правого желудочка (Толд К., 1913):

- 1 – папиллярные мышцы;
- 2 – септальная створка триkuspidального клапана;
- 3 – задняя створка триkuspidального клапана;
- 4 – борозда коронарного синуса;
- 5 – тибезиева вена;
- 6 – тибезиева заслонка;
- 7 – евстахиев клапан нижней полой вены;
- 8 – переход перикарда в эпикард на нижней полой вене;
- 9 – овальная ямка;
- 10 – валик овальной ямки (лимб Вессена);
- 11 – ловеров бугорок;
- 12 – переход перикарда в эпикард на передней поверхности правых легочных вен;
- 13 – правая ветвь легочной артерии;
- 14 – V. azigos;
- 15 – верхняя полая вена;
- 16 – дуга аорты;
- 17 – левая подключичная артерия;
- 18 – плечеголовной ствол;
- 19 – переход перикарда в эпикард на аорте и верхней полой вене;
- 20 – жировые долики на эпикарде;
- 21 – легочная артерия;
- 22 – межпредсердная перегородка;
- 23 – ушко левого предсердия;
- 24 – конус легочной артерии;
- 25 – правая коронарная артерия;
- 26 – передняя створка триkuspidального клапана;
- 27 – межжелудочковая перегородка

Строение желудочков сердца. Левый желудочек получает обогащенную кислородом кровь, идущую от легких. Его мощное сокращение выталкивает кровь в аорту – главную артерию организма, и далее в артериальную часть кровеносной системы. Правый желудочек получает «бедную» кислородом кровь от правого предсердия и выталкивает ее в легочную артерию для насыщения кислородом.

Стенки левого желудочка в два раза толще, чем правого, и на поперечном сечении сердца (рис. 1.11) они образуют грубый круг, при этом правый желудочек выглядит сжатым более мощной левой камерой. Разница в толщине мышечного слоя между двумя камерами отражает давление, требующееся для выталкивания крови при сокращении мышц.

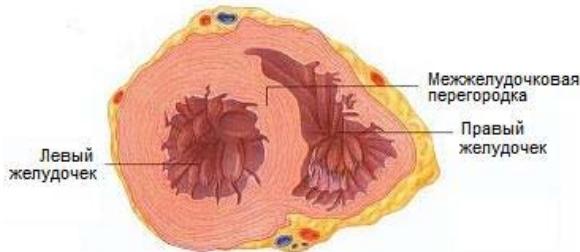


Рис. 1.11. Поперечное сечение сердца

От стенок обоих желудочков отходят сосочковые мышцы, которые сужаются и переходят в сухожильные хорды, прикрепляющиеся к трехстворчатому (трикуспидальному) и митральному клапанам (см. рис. 1.8 и 1.9). Внутренние поверхности желудочков образуют шероховатости за счет неравномерных гребней мышц – мясистых трабекул, которые у выходных путей сменяются гладкой поверхностью.

Левый желудочек имеет форму конуса (см. рис. 1.8 и 1.10). От правого желудочка он отделен межжелудочковой перегородкой, которая в норме служит стенкой левого желудочка, от левого предсердия – створками митрального клапана, а от аорты – створками аортального клапана.

Левый желудочек условно делят на два тракта: приносящий и выносящий. Приносящий тракт – это та область, куда в fazu рас-

слабления сердца (диастолу) поступает кровь из левого предсердия. Выносящий тракт – это гладкий желоб, по которому в фазу сокращения сердца (систолу) кровь устремляется в аорту.

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.

Правый желудочек имеет форму уплощенного конуса, прилегающего к конусу левого желудочка. На поперечном срезе сердца правый желудочек прилежит к левому в виде полумесяца (см. рис. 1.11).

Правый желудочек, как и левый, условно можно разделить на два тракта: приносящий и выносящий. По приносящему тракту в диастолу кровь устремляется из правого предсердия, а по гладкому выносящему тракту в систолу – в легочную артерию (рис. 1.10). В полости правого желудочка расположено большое количество трабекул и папиллярные мышцы. Количество папиллярных мышц может быть различно. Так, передних и задних папиллярных мышц может быть от 1 до 3, а септальных – от 1 до 5. Папиллярные мышцы и трабекулы правого желудочка в области верхушки соединяются «модераторным» пучком. Это очень важный анатомический ориентир правого желудочка. От легочной артерии правый желудочек отделен створками легочного клапана (см. рис. 1.10).

Строение стенок желудочков сердца. Стенка правого желудочка тоньше стенки левого желудочка: толщина ее составляет в конце диастолы около 5 мм.

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, 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. Субэпикардиальные

волокна миокарда ориентированы в продольном направлении, средние – в циркулярном направлении, а субэндокардиальные – в продольном направлении (рис. 1.12). Внутри пучков миокарда имеются соединительнотканые прослойки, состоящие из ткани ретикулярного типа, в которых располагаются лимфатические сосуды. Такое сложное строение объясняет неоднородную эхогенность стенок сердца при ультразвуковом исследовании.

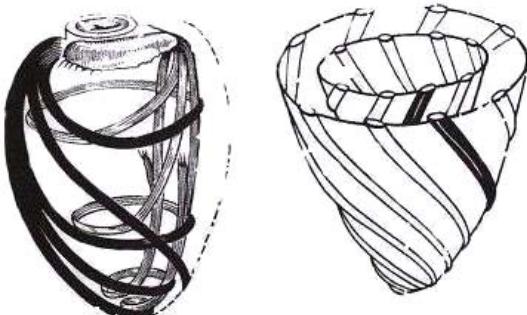


Рис. 1.12. Схема строения миокарда левого желудочка (Михайлов С.С., 1987).

Эндокард непосредственно контактирует с кровью, выстилает внутреннюю поверхность сердца и все внутрисердечные образования, включая клапаны, хорды, трабекулы и папиллярные мышцы. По существу клапаны сердца являются складками эндокарда. В них между листками эндокарда имеется соединительнотканная прослойка, состоящая из гладких мышечных и эластичных волокон.

Клапаны сердца

Кровь проходит через сердце только в одном направлении и обратный ее ток предупреждают четыре клапана (рис. 1.13).

На правой стороне сердца трехстворчатый (трикуспидальный) клапан лежит между предсердием и желудочком, а клапан легочной артерии – между правым желудочком и легочной артерией.

На левой стороне сердца митральный клапан отделяет предсердие от желудочка, тогда как клапан аорты (аортальный клапан) расположен между желудочком и аортой. Трикуспидальный и митральный клапаны состоят из плотной соединительной ткани, по-

крытоей эндокардом – тонким слоем клеток, выстилающим сердце изнутри. Трикуспидальный клапан имеет три открывающиеся и закрывающиеся створки (заслонки), а митральный клапан – две.

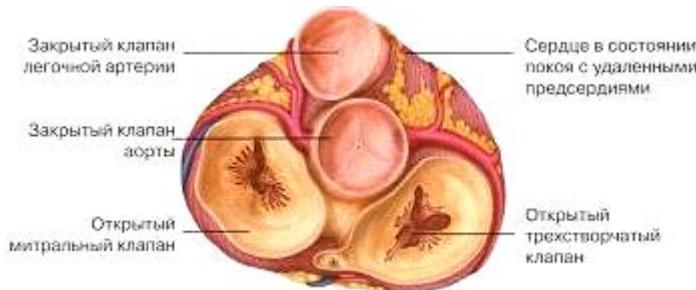


Рис. 1.13. Четыре клапана сердца

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 (см. рис. 1.8 и 1.10). К фиброзным кольцам крепятся створки митрального, 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 существует, но оно более тонкое и не соединено с фиброзным каркасом сердца. Межжелудочковая перегородка состоит из мышечной ткани, однако в области ее крепления к фиброзному кольцу имеется участок фиброзной ткани в виде мембранны.

Строение митрального клапана. Митральный, или двухстворчатый, клапан состоит из передней и задней створок. Створки, разделенные по бокам переднелатеральной и заднемедиальной комиссурами, крепятся к левому фиброзному атриовентрикулярному кольцу (см. рис. 1.8 и 1.14).

Рис.1.14. Строение митрального клапана
(Otto C. 1995):

PM – папиллярная мышца;
LA – левое предсердие



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. 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 (см. рис. 1.8).

Строение триkuspidального клапана. Триkuspidальный, или трехстворчатый, клапан располагается под углом по отношению к митральному клапану, что связано с положением всего правого сердца по отношению к левому (см. рис. 1.8). Этим объясняются трудности эхокардиографической визуализации створок триkuspidального клапана по короткой оси. Различают септальную, переднюю и заднюю створки триkuspidального клапана. Передняя створка наиболее длинная. В области соединения створок имеются комиссуры. К створкам триkuspidального 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.

Строение полулунных клапанов (клапана аорты и клапана легочной артерии). Клапан аорты (аортальный клапан) и легочный клапан (клапан легочной артерии), называемые также полулунными клапанами, перекрывают аорту и легочный ствол, предупреждая обратный ток крови при расслаблении желудочков после сокращения. Каждый из этих двух клапанов состоит из трех карма-

нообразных полуулунных створок, названных так потому, что они похожи на полумесяцы. Клапаны состоят из соединительной ткани, покрыты оболочкой из эндотелия и прикреплены к стенкам артерий (аорты и легочной). Гладкая оболочка обеспечивает идеальную поверхность для прохода крови.

Аортальный клапан в норме имеет три створки: правую коронарную, левую коронарную и некоронарную. На концах створок аортального клапана наблюдаются уплотнения – узелки Аррентиуса, которые обеспечивают более плотное смыкание клапана в диастолу. 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 клапан должен выдерживать высокое давление артериального кровообращения. Это единственный клапан, на котором при трансторакальном¹ исследовании в норме полностью отсутствует физиологическая регургитация².

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. Задняя створка клапана легочной артерии проецируется в области комиссур правой коронарной и левой коронарной створок аортального клапана. Створки легочного клапана менее плотные, чем аортального клапана. Легочная артерия – единственная артерия в организме человека, по которой течет венозная кровь.

¹ Трансторакальная эхокардиография – это ультразвуковое диагностическое исследование сердца, при котором ультразвуковой датчик располагается на поверхности тела человека.

² Регургитация – это небольшой обратный ток крови через закрытый клапан, наблюдающийся при трансторакальном исследовании у всех клапанов сердца за исключением аортального клапана.

Действие клапанов. При сокращении предсердий кровь проходит через открытые триkuspidальный и митральный клапаны в правый и левый желудочки. Когда сокращаются желудочки, быстрое повышение давления крови внутри каждого из них заставляет клапаны захлопываться, предупреждая обратный ток крови в предсердия (рис. 1.15). Натяжение сухожильных нитей, удерживаемых мышцами, отходящими от стенок желудочек, помогает клапанам выдерживать давление крови. Когда предсердно-желудочковые клапаны закрыты, кровь может свободно проходить через полулуные клапаны в легочный ствол и аорту. Эти клапаны открываются за счет высокого давления крови, но закрываются, когда расслабляются желудочки.

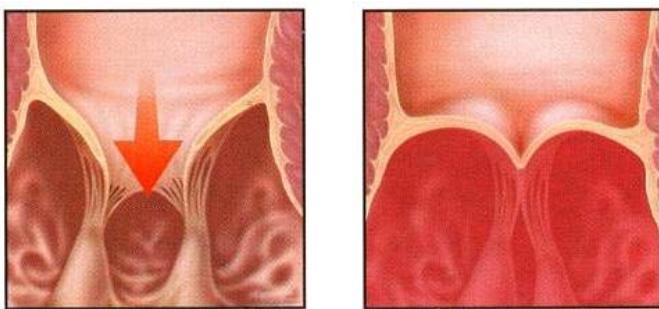


Рис. 1.15. Действие клапанов сердца

Магистральные сосуды

Кровь передается к правому сердцу по двум большим венам (верхней и нижней полым венам) и выносится из левого сердца по аорте. Вместе эти сосуды называются магистральными сосудами (рис. 1.16). Верхняя полая вена отводит кровь от верхней части тела к правому предсердию и образована слиянием правой и левой плечеголовых вен. Нижняя полая вена – самая широкая вена организма. Она проходит через диафрагму, принося кровь в правое предсердие, и только ее конечная часть лежит в грудной клетке. Аорта – самая крупная артерия, ее диаметр у взрослых людей составляет более 2,5 см (в норме 2,5–4 см). Толстая стенка аорты со-

держит эластичную ткань, позволяющую сосуду расширяться, когда кровь выталкивается из сердца.

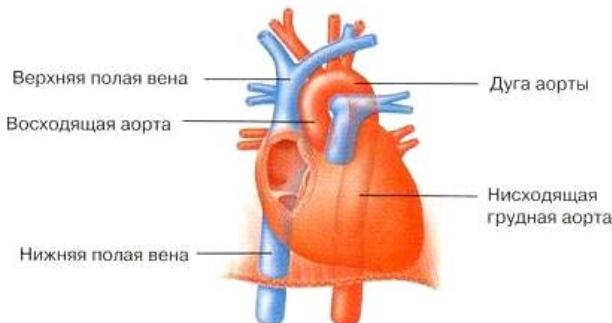


Рис. 1.16. Магистральные сосуды

Стенка аорты имеет трехслойное строение: внутренний слой – интима, средний – медия и наружный – адвентиция. В восходящем отделе аорта может иметь различное строение. В ряде случаев оно «трубчатое», то есть 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

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.

Система кровоснабжения сердца

Мышца сердца и перикард нуждаются в собственном кровоснабжении. Питание осуществляется двумя коронарными, или венечными, артериями (правой и левой), отходящими от восходящей аорты сразу за аортальным клапаном и идущими вокруг сердца внутри жировой ткани рядом с перикардом (рис. 1.17).

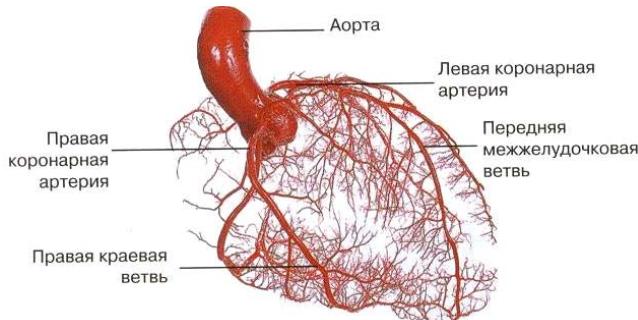


Рис. 1.17. Общая схема кровоснабжения сердца

Левая коронарная артерия снабжает левую сторону сердца и разветвляется на два основных сосуда – переднюю межжелудочковую и огибающую артерии.

Правая коронарная артерия также разделяется на две ветви – правую краевую и заднюю межжелудочковую артерии.

Существуют различные варианты кровоснабжения сердца, но 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 (рис. 1.18).

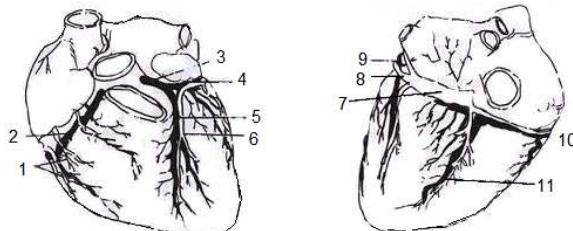


Рис. 1.18. Схема кровоснабжения сердца (Craig M., 1991):

1 – ветви передней коронарной артерии; 2 – правая коронарная артерия; 3 – левая коронарная артерия; 4 – огибающая ветвь; 5 – нисходящая ветвь; 6 – большая вена сердца; 7 – коронарный синус; 8 – проекция клапана большой вены сердца; 9 – огибающая ветвь; 10 – правая коронарная артерия; 11 – задняя нисходящая ветвь

Эти довольно крупные коронарные артерии, окружая сердце, дают многочисленные мелкие ветви и капилляры, обеспечивающие обильное кровоснабжение мышцы сердца (см. рис. 1.3 и 1.4).

Вены сердца (передняя и задняя) собирают обедненную кислородом кровь и впадают в коронарный синус – венозный коллектор сердца. Коронарный синус расположен в межпредсердно-межжелудочковой борозде левых отделов сердца и впадает в правое предсердие (см. 1.3, 1.4, 1.18).

Система иннервации сердца

Сердце сокращается с частотой примерно 75 ударов в минуту (в норме от 60 до 96). Ритмические сокращения сердца возникают под действием импульсов, зарождающихся в нем самом. Если изолированное сердце поместить в соответствующие условия, оно будет продолжать биться с постоянной частотой. Это свойство называется автоматизмом.

В норме ритмические импульсы генерируются только специализированными клетками **водителя ритма и проводящей системы сердца**. Внутри мускульных стенок сердца автономная нервная система, образованная волокнами водителя ритма (пейсмекера) и проводящей системы сердца, задает темп и обеспечивает согласованное сокращение камер сердца. Различные отделы автономной нервной системы сердца показаны на рис. 1.19–1.21.

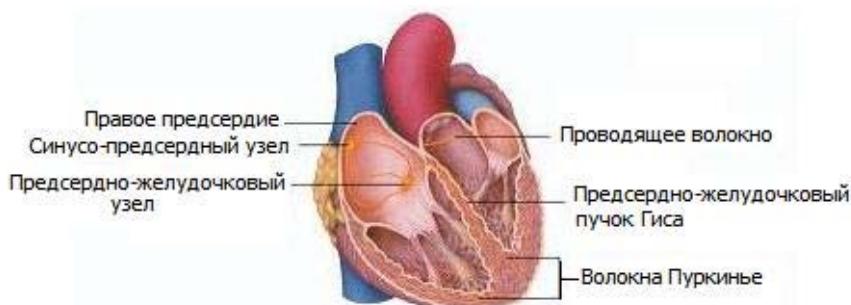


Рис. 1.19. Различные отделы автономной нервной системы сердца

В норме естественным водителем ритма является синусо-предсердный (синоатриальный) узел, представляющий собой пучок клеток в стенке правого предсердия и расположенный рядом с ме-

стом впадения в него верхней полой вены (см. рис. 1.21). Эти клетки генерируют электрические импульсы, проходящие к предсердию, а затем к предсердно-желудочковому (атриовентрикулярному) узлу, расположенному в дне правого предсердия (недалеко от места впадения коронарного синуса в правое предсердие). Импульсы от предсердно-желудочкового узла передаются в нижнюю часть межжелудочковой перегородки через предсердно-желудочковый пучок (пучок Гиса), расщепляющийся на две ветви, которые продолжаются вниз и ветвятся, образуя так называемые волокна Пуркинье. Проходя по ним, импульсы вызывают сокращение желудочков сердца.

Рис. 1.20. 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 – атриовентрикулярный узел; 9 – пучок Гиса; 10 – левая ветвь пучка Гиса

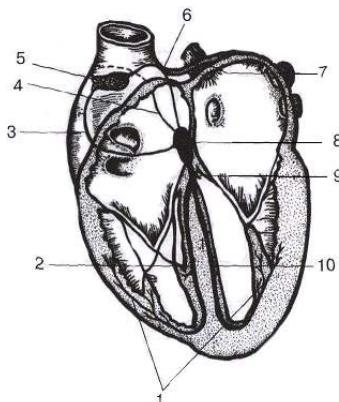
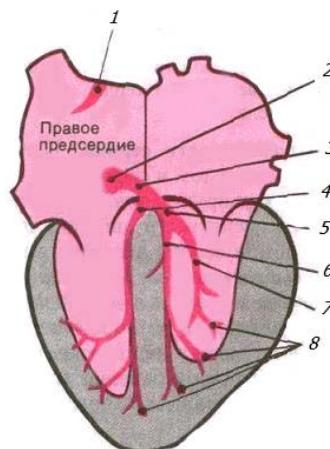


Рис. 1.21. Детализация основных элементов системы иннервации сердца:

1 – синоатриальный узел; 2 – атриовентрикулярный узел; 3 – пучок Гиса; 4 – правая ножка; 5 – левая ножка; 6 – передняя ветвь; 7 – задняя ветвь; 8 – волокна Пуркинье



Если по той или иной причине возбуждения синоатриального узла не возникает, либо его возбуждение не может перейти на предсердие, т.е. в случае отказа естественного водителя ритма, функцию водителя ритма берет на себя атриовентрикулярный узел – пейсмекер второго порядка. Если же проведение возбуждения от предсердий к желудочкам полностью нарушено (полная блокада), то желудочки сокращаются в ритме пейсмекера третьего порядка, расположенного в вентрикулярной (желудочковой) проводящей системе. Обусловлено это тем, что миокард (сердечная мышца), подобно нервной ткани и скелетным мышцам, принадлежит к возбудимым тканям. Характерно при этом и то, что возбуждение, возникающее в каком – либо из отделов мышечной ткани предсердий или желудочков, охватывает все без исключения невозбужденные волокна миокарда. Этим сердечная мышца (миокард) отличается от нервов и скелетных мышц, где каждая клетка возбуждается изолированно.

1.2. НОРМАЛЬНАЯ ФИЗИОЛОГИЯ СЕРДЦА

Нагнетательная функция сердца основана на чередовании расслабления и сокращении желудочков и характеризуется **сердечным циклом**.

Сердечный цикл – это последовательность изменения давления и объема крови внутри сердца (рис. 1.22 и 1.23). Сердечный цикл состоит из периода сокращения сердечной мышцы (систолы) и периода ее расслабления (диастолы).

Во время диастолы кровь из сосудов наполняет предсердия и проходит через открытые клапаны в желудочки. Когда начинается систола, синусо-предсердный узел стимулирует предсердия, которые сокращаются, нагнетая больше крови в желудочки (систола предсердий). Когда предсердия расслабляются (диастола предсердий) и волна импульсов достигает желудочков, они также сокращаются (систола желудочков) и выталкивают кровь через полуулунные клапаны в крупные артерии (аорту и легочный ствол). Систола предсердий, таким образом, предшествует систоле желудочков, в

результате предсердия служат как бы вспомогательными насосами, способствующими заполнению кровью желудочков.

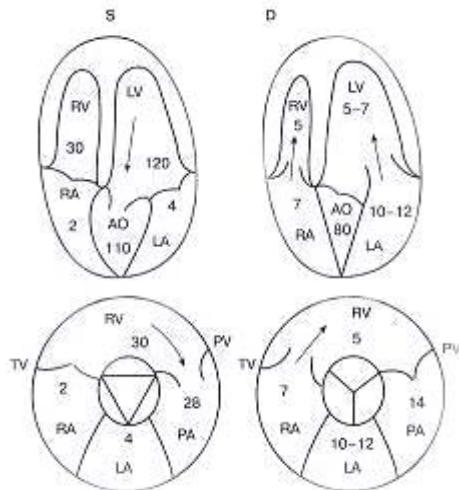


Рис. 1.22. Схема нормального давления в полостях сердца и магистральных сосудах в систолу (S) и диастолу (D) (RV – правый желудочек, RA – правое предсердие, LA – левое предсердие, AO – аорта, LV – левый желудочек, PA – легочная артерия)

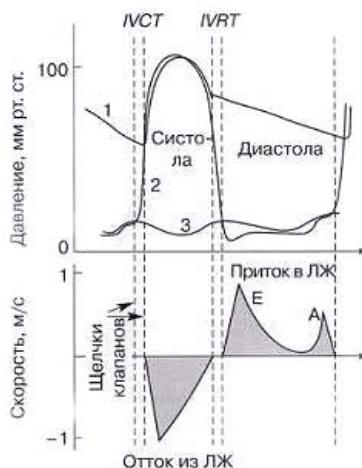


Рис. 1.23. Схема физиологии сердечного цикла (Otto C., 1995):

- 1 – давление в аорте,
- 2 – давление в левом желудочке,
- 3 – давление в левом предсердии

Рассматривая сердце, как полый мышечный орган, состоящий из левого – артериального и правого – венозного отделов, физиологию сердца в целом можно охарактеризовать последовательным описанием физиологии левого и правого отделов сердца.

Нормальная физиология левого отдела сердца

Диастола левого отдела сердца. Обогащенная кислородом кровь по четырем легочным венам поступает в левое предсердие, давление в нем растет и в начале диастолы составляет около 10–12 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 около 7 мм рт. ст. Створки аортального клапана закрыты, давление в аорте составляет около 80 мм рт. ст. (см. D на рис. 1.22).

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

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, называется временем изоволюмического сокращения левого желудочка (*interventricular contractility time – IVCT*) (см. рис. 1.23).

Систола левого отдела сердца. 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 закрыты, и давление в левом предсердии составляет около 4 мм рт. ст. (см. S на рис. 1.22). Кровь поступает в аор-

ту, 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 изоволюмического расслабления левого желудочка (interventricular rest time – IVRT), которое необходимо для снижения давления в левом желудочке (см. рис.1.23).

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.

Нормальная физиология правого отдела сердца

Диастола правого отдела сердца. 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 7 мм рт. ст, а в правом желудочке около 5 мм рт. ст. Створка клапана легочной артерии закрыта, давление в легочной артерии в начале диастолы составляет около 14 мм рт. ст.

Под давлением крови створки триkuspidального клапана открываются, кровь поступает из камеры с большим давлением в камеру с меньшим давлением – из правого предсердия в правый желудочек. Давление между ними выравнивается, и затем давление в правом желудочке начинает превалировать. Створки триkuspidального клапана практически полностью закрываются, но после периода диастазиса происходит систола правого предсердия, и остаточный объем крови поступает в правый желудочек. **Диастола завершилась**, створки триkuspidального клапана закрываются и давление в полости правого желудочка начинает возрастать.

Систола правого отдела сердца. После периода изоволюмического сокращения открываются створки клапана легочной артерии. Давление в полости правого желудочка в начале систолы составляет около 30 мм рт. ст., в легочной артерии около 28 мм рт. ст. В правом предсердии в это время давление снижается до 2 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 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.

Физиологическая диастола правого желудочка начинается от щелчка закрытия клапана легочной артерии и длится до щелчка закрытия трикуспидального клапана. Физиологическая систола начинается от щелчка закрытия трикуспидального клапана и длится до щелчка закрытия клапана легочной артерии.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

- Буроковский В.И., Бокерия Л.А. Сердечно-сосудистая хирургия. – М.: Медицина, 1989. С. 45–58.*
- Михайлов С.С. Клиническая анатомия сердца. – М.: Медицина, 1987. С. 35–245.*
- Привес М.Г., Лысенко Н.К., Бушкович В.И. Анатомия человека. – Л.: Медицина, 1974. С. 383–400.*
- Самусев. Р.П., Путишева Г.И., Смирнов А.В. Атлас по цитологии, гистологии и эмбриологии. – М.: Издательский дом «ОНИКС 21 век», 2004. С. 150–153.*
- Толд К. Анатомический атлас // Практическая медицина (СПб.), 1913. Т. 9. С. 562–577.*
- Физиология человека/Под ред. Р. Шмидта и Г. Тевса. – М.: Мир, 1996. Т.2. С. 414 – 497.*
- Рыбакова М.К., Алексин М.Н., Мит'ков В.В. Практическое руководство по ультразвуковой диагностике. Эхокардиография. – М.: Видар, 2008. С. 53–69.*

2. ЭХОКАРДИОГРАФИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

На протяжении последних 20 лет эхокардиография является одним из основных методов визуализации сердца. Широкое внедрение ультразвуковых волн для исследования и наблюдения функции сердца в практику обусловлено высоким уровнем современной аппаратуры, отсутствием вредного влияния на пациента и врача, относительной дешевизной метода по сравнению с остальными. Наличие большого количества вариантов исследования позволяет получить точную анатомическую и гемодинамическую информацию о больном и избежать инвазивных¹ вмешательств.

В настоящее время в диагностике ишемической болезни сердца и ее осложнений, наряду с использованием традиционных режимов эхокардиографии, все шире применяются новые технологии, такие, как тканевая гармоника, допплеровская визуализация тканей, тканевой кинезис, а также режим цветового допплеровского картирования кровотока с высокой чувствительностью и разрешающей способностью.

2.1. ИМПУЛЬСНЫЕ МЕТОДЫ ЭХОКАРДИОГРАФИИ

M-режим сканирования

M-режим² сканирования – это первый режим, используемый в эхокардиографии для регистрации изменения пространственного положения подвижных структур исследуемого объекта во времени. Он был разработан в основном для исследования сокращений сердца на интервале времени в несколько кардиоциклов. В *M*-

¹ Среди всего многообразия методов диагностики выделяют две большие группы – инвазивные и неинвазивные методы. Инвазивные методы основаны на введении специальных инструментов в полости и органы для получения образцов клеток с последующим изучением полученных материалов. Неинвазивные методы не требуют проведения эндоскопического исследования.

² «*M*» от английского слова motion – движение. Используется и другое обозначение *M*-режима, а именно *TM*-режим (от английского time motion).

режиме исследование периодически повторяется в одном и том же направлении акустического луча, при этом координаты по дальности считываются по вертикальной оси, а амплитуда видеосигнала модулирует яркость строки, в то время как все получаемые строки с течением времени развертываются вдоль горизонтальной оси. При кардиологическом исследовании *M*-режим сканирования дает графическое изображение движения стенок сердца и створок клапанов во времени. Пример *M*-эхокардиограммы дан на рис. 2.1.

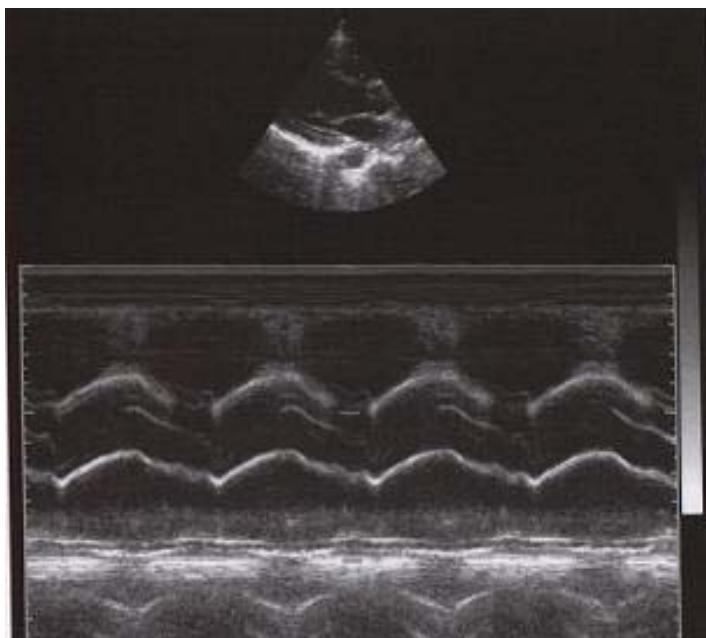


Рис. 2.1. *M*-режим. Экскурсия корня аорты

Преимуществом использования *M*-режима в эхокардиографии является возможность быстрых расчетов параметров центральной гемодинамики, проведение линейных измерений в диастолу и систолу, оценка формы движения створок клапанов и регистрация косвенных признаков ряда нарушений гемодинамики. Данный метод позволил впервые в реальном времени оценить размеры сердца и систолическую функцию желудочков.

В настоящее время *M*-режим применяется как вспомогательный при проведении эхокардиографического исследования и используется преимущественно для измерений. В некоторых случаях данный метод позволяет проводить измерения с довольно большой точностью.

Ограничением метода является необходимость соблюдения угла в 90° между курсором *M*-режима и оцениваемой стенкой сердца. Если изображение сердца и курсор расположены не под прямым углом, все размеры камер сердца будут значительно завышены и могут быть неправильно интерпретированы.

В настоящее время ряд фирм предложили использовать так называемый *анатомический M*-режим, позволяющий изменить угол курсора. Анатомический *M*-режим дает возможность изменить направление курсора и получить график движения структур сердца в различных плоскостях (рис. 2.2).

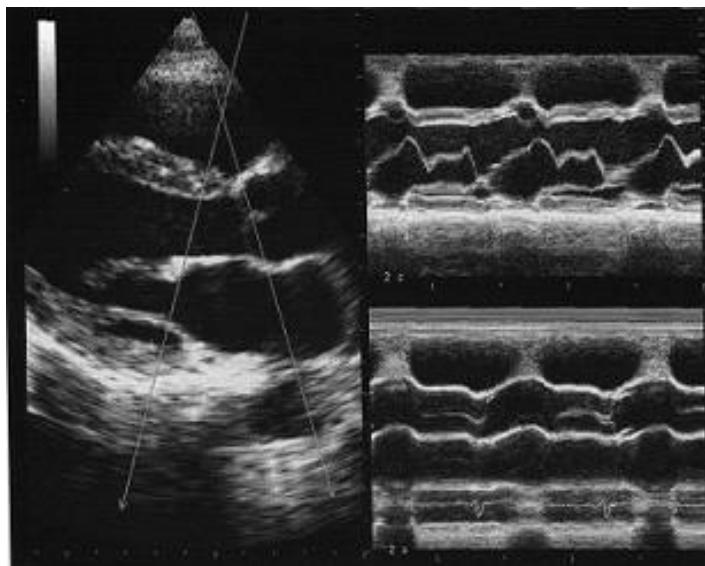


Рис. 2.2. Анатомический *M*-режим: два курсора установлены одновременно перпендикулярно стенкам аорты и левого желудочка. Графики движения створок митрального клапана и корня аорты справа на экране

B-режим сканирования

B-режим¹ сканирования (двухмерная эхокардиография) позволяет получать двухмерное изображение сердца по длинной или короткой оси. В этом режиме амплитуда отраженных от неоднородностей объекта эхопульсов используется для модуляции яркости в плоскости изображения вдоль линии, соответствующей оси ультразвукового пучка, а двухмерность изображения формируется угловым сканированием ультразвукового луча.

B-режим сканирования является основой почти всех современных средств ультразвуковой визуализации. Его широкое применение в ультразвуковой диагностике обусловлено, прежде всего, его удобством, несмотря на то, что в качестве информативного параметра при этом используется только амплитуда эхосигнала.

Преимуществом *B*-режима сканирования в кардиологии является возможность оценки состояния и работы сердца и магистральных сосудов в реальном времени. Метод позволяет измерять размеры полостей сердца, толщину стенок желудочков, оценивать состояние клапанного аппарата, подклапанных структур, глобальную и локальную сократимость желудочков, наличие тромбоза полостей и т.д.

Пример *B*-эхокардиограммы сердца дан на рис. 2.3.



Рис. 2.3. *B*-режим.
Апикальная четырехкамерная позиция. Значительный пролапс задней створки митрального клапана на фоне инфекционного эндокардита

¹ «*B*» от английского слова *brightnes* – яркость. Используется и другое обозначение *B*-режима, а именно *2D*-режим (от английского *two dimensional*).

Ограничением данного метода в кардиологии является плохая визуализация границы эндокард–кровь у ряда больных, что может привести к ошибкам в оценке систолической функции желудочков и неверным измерениям. Помимо этого, могут встречаться миражи или артефакты, симулирующие объемные образования сердца.

2.2. ДОПЛЕРОВСКИЕ МЕТОДЫ ЭХОКАРДИОГРАФИИ

Активное применение доплеровских методов визуализации и измерения в медицине можно отнести к началу 80-х годов XX века. Доплеровские методы ультразвуковой визуализации основаны на использовании акустического эффекта Доплера, одно из проявлений которого заключается в изменении исходной частоты заполнения зондирующего ультразвукового импульса с радиочастотным заполнением при его отражении от движущегося объекта. Разность частот заполнения излученного и отраженного ультразвуковых импульсов, называемая доплеровским сдвигом частоты или просто доплеровским сдвигом, оказывается пропорциональной скорости движения отражающего ультразвук объекта. Смешивая излученный ультразвуковой сигнал с принятым, получают разностный (доплеровский) сигнал, частота которого равна доплеровскому сдвигу частоты. Доплеровские методы в ультразвуковой эхокардиологии объединяют термином доплерэхокардиография.

Доплерэхокардиография – это методы, позволяющие неинвазивно оценивать параметры центральной гемодинамики, в том числе визуализировать кровоток в сосудах, измерять кривую скорости артериального кровотока и распределения скоростей различных элементов крови, измерять спектр доплеровских частот и т.д.

В доплерэхокардиографии используют следующие варианты режимов исследования (или варианты доплерографии):

- 1) импульсно-волновой (Pulsed Wave – PW);
- 2) режим высокой частоты повторения импульсов (High Puls Repetition Frequency Doppler – HPRF);
- 3) непрерывно-волновой (Continuouse Wave Doppler – CW);
- 4) цветовое кодирование (Color Doppler);
- 5) цветовой *M*-режим (Color *M*-mode);

- 6) энергетический (Power Doppler);
- 7) тканевой (Tissue Velocity Imaging, Tissue Miocardial Imaging, Doppler Tissue Imaging).

Импульсно-волновая доплерография

Этот метод доплеровской визуализации использует периодическое излучение коротких (несколько длин волн радиочастотного заполнения) ультразвуковых импульсов (частота их повторения задается синхронизатором, а канал излучения открывается на время длительности импульса) и смеситель, в котором опорным сигналом служит задержанный во времени излученный сигнал (или эквивалентная выборка из принятого сигнала). Последнее обеспечивает пространственное разрешение по глубине зондирования.

Возможности исследования и измерения параметров кровотока с использованием импульсно-волновой доплерографии (или *импульсно-волнового доплера (PW)*) частично иллюстрирует рис. 2.4.

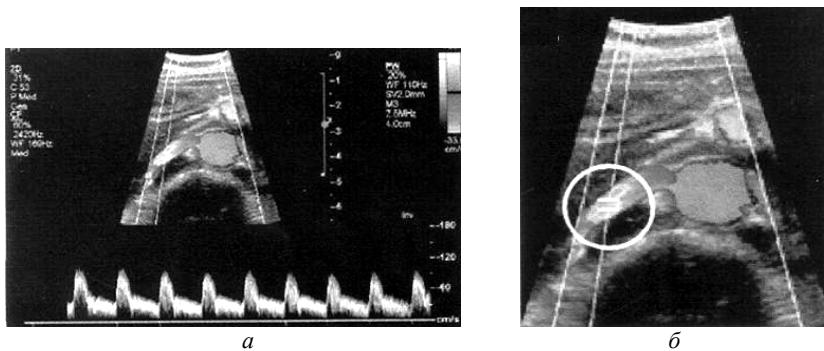


Рис. 2.4. Исследование кровотока в правой почечной артерии с использованием импульсно-волнового доплера (а) при указанной локализации контрольного (измерительного) объема (б), в котором измеряется скорость кровотока в артерии

Данный метод чувствителен к кровотоку лишь внутри некоторой области, называемой измерительным объемом (см. рис. 2.4, б). При этом время распространения излученного импульса до измерительного объема (контрольного объема) и обратно равно задержке между выборками излученного и задержанного сигналов. В ре-

зультате, простым изменением задержки измерительный объем можно перемещать вдоль оси ультразвукового пучка и использовать это для раздельного наблюдения кровотока в сосудах, находящихся на различных глубинах, или в различных точках по сечению сосуда.

Преимуществом метода импульсно-волнового доплера является возможность регистрации кровотока в любой камере сердца или магистральном сосуде. Точка установки контрольного объема служит базовой линией. По вертикали на графике откладывается скорость потока, по горизонтали – время (рис. 2.5). Все потоки, которые в конкретной данной точке движутся к датчику, располагаются на графике выше базовой линии, все потоки, которые движутся от датчика, – ниже базовой линии. Помимо формы и характера кровотока, на графике можно зафиксировать щелчки открытия и закрытия створок клапанов, дополнительные сигналы от хорд створок и стенок сердца.

Рис. 2.5. Трансмитральный диастолический поток в режиме импульсно-волнового доплера



Ограничением метода является невозможность регистрации высокоскоростного потока. Это обусловлено тем, что импульсно-волновой доплер имеет скоростной предел (не более 2,5 м/с), поэтому с его помощью нельзя зарегистрировать потоки, имеющие высокую скорость. Если скорость потока превысит предел возможностей импульсно-волнового доплера, на графике возникает эффект «перехлеста» потока через базовую линию (рис. 2.6).

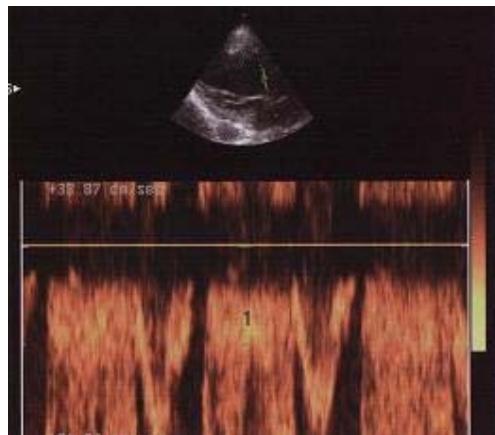


Рис. 2.6. «Перехлест» потока (1) аортальной регургитации и невозможность регистрации его скорости в режиме импульсно-волнового доплера

Иллюстрацией развития импульсно-волновой доплеровской локации могут служить приборы с измерением спектральных характеристик доплеровского сигнала. Пример полученных с их помощью результатов исследования кровотока в артерии при так называемом «дуплексном» сканировании (сочетание *B*-режима сканирования и режима «спектрального доплера») дан на рис. 2.7.

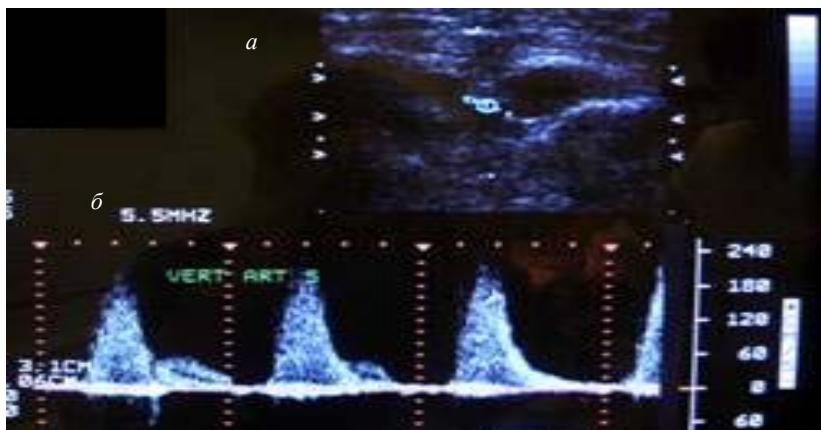


Рис. 2.7. Исследование кровотока в артерии при «дуплексном сканировании»: сочетание *B*-режима (а) и режима спектрального доплера (б)

Режим высокой частоты повторения импульсов

Наряду с описанным выше методом импульсно-волновой доплерографии, в котором для измерения профиля скоростей кровотока необходимо менять глубину сканирования и перемещать ультразвуковой пучок поперек исследуемого сосуда, для ускорения этих процедур применяют так называемую многоканальную разновидность этого метода – режим высокой частоты повторения импульсов (HPRF) с несколькими одновременно выставляемыми измерительными объемами. При этом несколько контрольных объемов располагаются один за другим на различной глубине. Это позволяет регистрировать кровоток, скорость которого превышает 2,5 м/с.

Данный режим редко применяется на практике, так как в настоящее время существует только в нескольких типах ультразвуковых приборов.

Непрерывно-волновая доплерография

Исторически первым прибором эходоплерографии был доплеровский прибор непрерывного излучения – непрерывно-волновой доплеровский локатор (или *непрерывно-волновой доплер* (CW)). Приемный и излучающий пьезопреобразователи обычно совмещаются в ультразвуковом датчике такого прибора и располагаются таким образом, чтобы перекрытие излученного и отраженного ультразвуковых пучков сформировали так называемый измерительный объем, ось которого является биссектрисой угла между акустическими осями излучающего и приемного преобразователей.

Наиболее существенным ограничением метода непрерывно-волнового доплера и реализующей его аппаратуры является отсутствие пространственного разрешения, т.е. возможности разделить доплеровские сигналы от различных точек в пределах ультразвукового пучка. Невозможно также разделить и скорости в различных точках по сечению сосуда, т.е. невозможно измерить профиль скорости кровотока.

Преимуществом метода является возможность регистрации высокоскоростных потоков (рис. 2.8). Метод непрерывно-волнового

доплеровского исследования позволяет произвести расчеты давления в полостях сердца и магистральных сосудах в ту или иную fazu сердечного цикла, оценить степень значимости стеноза и т.д.

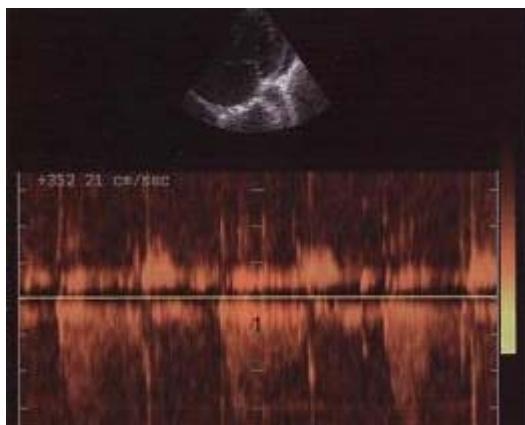


Рис. 2.8. Поток митральной регургитации (1) в режиме непрерывно-волнового доплера

Основным уравнением, которое используется для расчетов в данном режиме, является уравнение Бернуlli, позволяющее вычислить разницу давления или градиент давления. Решив уравнение, можно измерить разницу давления между камерами в норме и при наличии патологического высокоскоростного кровотока.

Цветовое кодирование кровотока

Цветовая доплерография (или *цветовой доплер* (Color Doppler)) представляет собой аналог импульсно-волнового доплера, где используется так называемый CFM-режим доплеровской локации (аббревиатура CFM принята для английского обозначения режима – Color Flow Mapping), при котором в определенной (выделенной) части серошкольного изображения выводится в цвете информация о скорости движения биологических структур (кровотока) в каждом из элементов изображения. Такое выделение цветом называется картированием (или кодированием).

В соответствии с направлением скорости потока крови (к датчику или от датчика) элемент изображения окрашивается в красные или синие тона. При этом изменение цвета от темно-красного до

красного, оранжевого и желтого отображает возрастающую величину среднего значения скорости прямого кровотока (направление к датчику). Для обратного кровотока (направление от датчика) в зависимости от величины скорости цвет меняется от темно-фиолетового до голубого, иногда зелено-голубого и зеленого. Тurbulentный поток кодируется сине-зелено-желтым цветом.

Обычно цветовая палитра дается в качестве справочной на экране монитора прибора рядом с акустическим изображением. Примеры эхограмм, полученных с использованием приборов с цветовым доплеровским картированием изображения, даны на рис. 2.9.

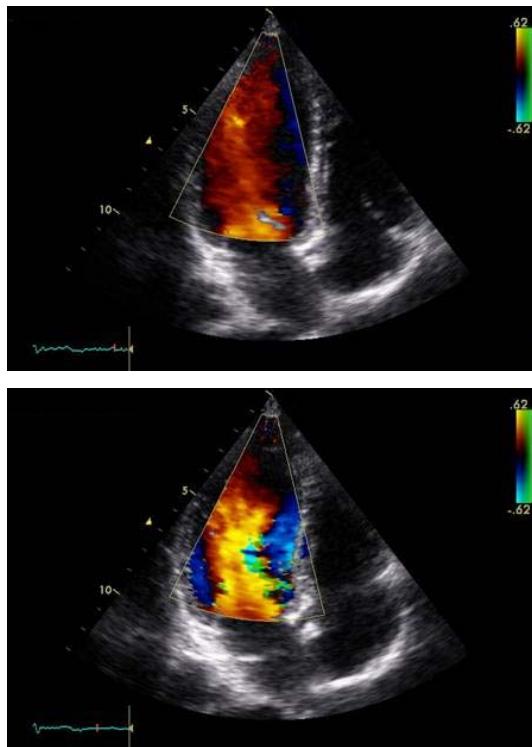


Рис. 2.9. Цветовое доплеровское картирование изображения потока крови в период диастолического наполнения левого желудочка в разные фазы сердечного цикла, о чем свидетельствует разный цвет изображения и синхронная запись электрокардиограммы. Ультразвуковой зонд расположен в области верхушки сердца («апикальная» позиция четырехкамерного сердца)

Преимуществом метода цветового доплеровского картирования изображения является возможность быстрой оценки кровотока в камерах сердца и магистральных сосудах, выявление патологического кровотока через клапаны, регистрация шунтов и т.д. Ограничением метода может служить плохая визуализация в *B*-режиме и наличие пристеночных турбулентных потоков, создающих проблему в их трактовке.

Цветовой *M*-режим доплерографии

Цветовой *M*-режим (Color *M*-mode) состоит из совмещения обычного *M*-режима и режима цветового кодирования кровотока. Преимущество метода состоит в том, что при проведении курсора через ту или иную плоскость можно на графике проследить за направлением и скоростью кровотока в данной плоскости во времени. Режим позволяет разобраться с фазами сердечного цикла и патологическим кровотоком (рис. 2.10). Ограничением метода является плохая визуализация в *B*-режиме и режиме цветового кодирования кровотока.

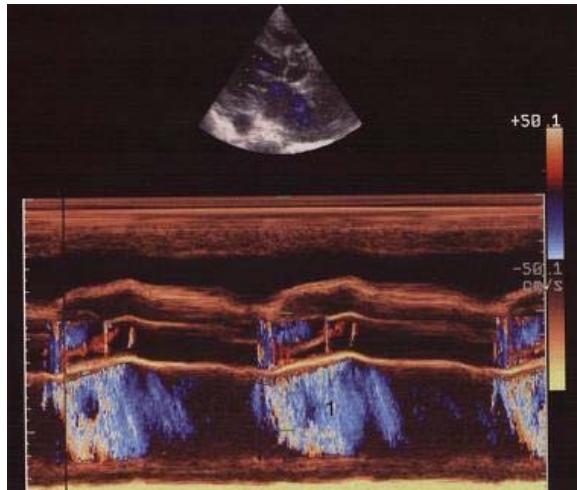


Рис. 2.10. Цветовой *M*-режим доплера. Апикальная четырехкамерная позиция. Значительная митральная регургитация (поток синего цвета)

Энергетическая доплерография

Режим энергетического доплера (Power Doppler) позволяет отображать двухмерную картину расположения и формы сосудов, выделяя их одним цветом на фоне обычного серошкольного изображения в *B*-режиме сканирования.

Метод энергетического доплера не дает информации о средней скорости кровотока в отдельных элементах изображения, а регистрирует лишь факт наличия кровотока. В этом смысле он близок методу рентгеновской ангиографии и позволяет наблюдать сосуды со слабым кровотоком, такие, как сосуды почек, яичек, плаценты и т.д.

По этой причине метод энергетического доплера пока не находит широкого применения в кардиологии. Тем не менее, в эхокардиографии режим энергетического доплера в настоящее время начинают применять в сочетании с использованием контрастных препаратов (левовист и др.) для изучения перфузии миокарда, а без использования контрастных препаратов – для улучшения визуализации границы эндокард – кровь (рис. 2.11).

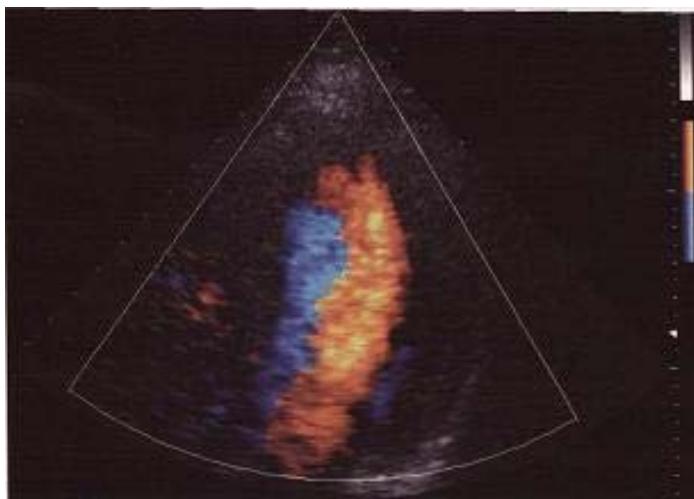


Рис. 2.11. Эхокардиограмма, полученная методом энергетического доплера

Тканевая доплерография

Тканевой доплер (Doppler Tissue Imaging) представляет собой группу методов количественной оценки скорости движения тканей миокарда и других сердечных структур, основанных на эффекте Доплера:

- цветовой (Color Tissue Velocity Imaging),
- нелинейный, «искривленный», или *C*-режим (*C*-mode),
- импульсно-волновой (Pulsed Wave Tissue Velocity Imaging),
- тканевой след (Tissue Tracking),
- доплер оценки деформации и скорости деформации (Strain, Strain Rate),
- векторный анализ движения эндокарда (Vector Velocity Imaging).

Тканевому доплеру присущи основные особенности регистрации изображений, закономерности их анализа и ограничения, свойственные доплеровским исследованиям.

Движение миокарда в отличие от кровотока характеризуется более низкой скоростью (порядка 5–20 см/с) и существенно более мощным по амплитуде отраженным сигналом (рис. 2.12).

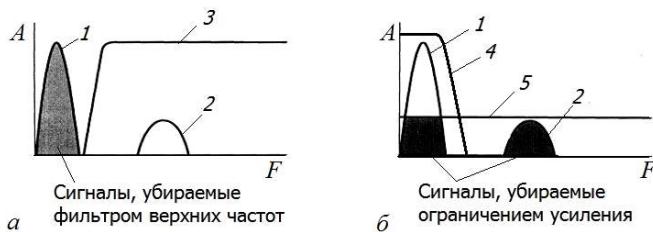


Рис. 2.12. Схемы выделения доплеровского сигнала от потока крови (а) и движения миокарда (б):

1 – доплеровский сигнал от движения тканей миокарда; 2 – доплеровский сигнал от потока крови; 3 и 4 – фильтры верхних и нижних частот соответственно; 5 – уровень (порог) усиления

В традиционных доплеровских системах, применяемых для оценки кровотока, высокоамплитудный и низкоскоростной (низкочастотный) сигнал от движения тканей миокарда считается шумом и удаляется частотными фильтрами, пропускающими только высо-

кочастотные сигналы (обычно более 400–500 Гц), т.е. используются фильтры верхних частот (рис. 2.12, *а*).

Для тканевого доплера основная информация содержится в низкочастотном диапазоне и соответственно применяются другие настройки частотных фильтров, а именно выделяющие доплеровские сигналы с частотами 0–50 Гц, т.е. используются фильтры низких частот, позволяющие выделить движение именно тканей миокарда. Кроме того, увеличение порога усиления отраженного ультразвукового сигнала позволяет эффективно подавить низкоамплитудный сигнал от кровотока (рис. 2.12, *б*). Следующий необходимый элемент настройки – это подбор определенного скоростного диапазона, отражающего движение миокарда 5–20 см/с.

Тканевой доплер позволяет получать доплеровский сигнал от любой движущейся ткани сердца: миокарда, клапанного аппарата, стенок сосудов и предсердий, дополнительных патологических внутрисердечных образований (тромбы, опухоли, вегетации) и т.д. Наибольшее значение имеет изучение миокарда, так как ему присуща собственно сократительная функция, а также изучение движения фиброзных колец митрального и трехстворчатого клапанов, кинетика которых может быть весьма полезной для оценки продольной компоненты функции сокращения желудочков. Поэтому не следует отождествлять скорости движения миокарда только с их собственно сократительной функцией.

Рассмотрим основные режимы тканевого доплера.

Тканевой цветовой доплер (Color TVI). Этот режим основан на кодировании направления движения тканей миокарда определенным цветом. Красным цветом обычно обозначают движение к датчику, синим – от датчика. Изучая направления движения стенок левого и правого желудочков в систолу и диастолу, с помощью тканевого цветового доплера можно обнаружить зоны нарушения локальной сократимости.

Совмещение двухмерного исследования в режиме тканевого цветового доплера с цветовым *M*-режимом повышает точность диагностики (рис. 2.13). Одна из областей применения данного режима связана с уточнением границы эндокард–кровь при плохой ее визуализации в *B*-режиме.

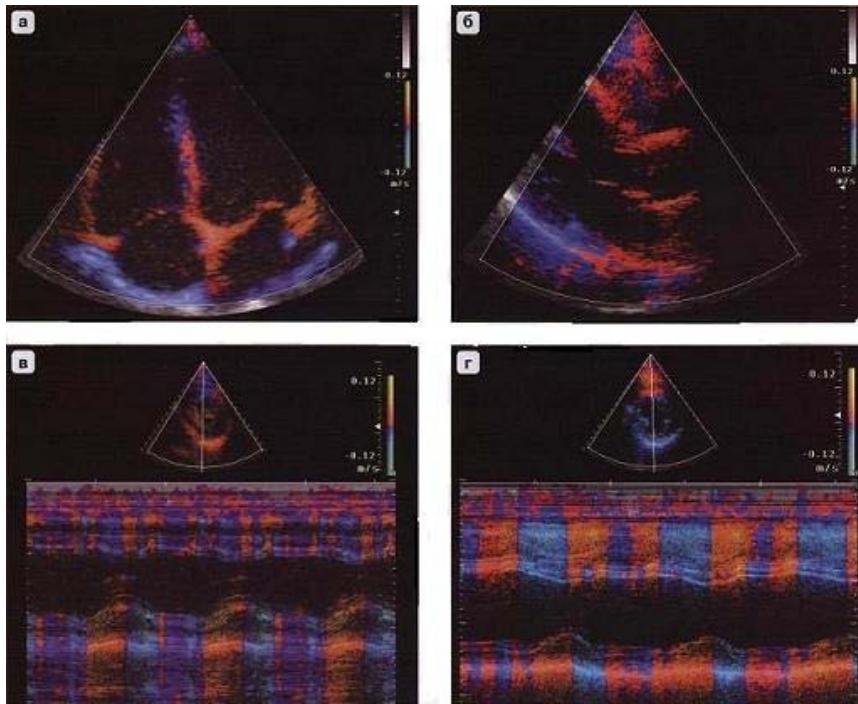


Рис. 2.13. *B*-режим (*а, б*) и *M*-режим (*в, г*) тканевого цветового доплера

Ограничением в использовании метода служит наличие у пациентов внутрижелудочковой блокады, вызывающей парадоксальное движение стенок сердца.

Тканевой нелинейный доплер («искривленный» доплер или *C*-режим (*C-mode*)). Этот режим дает цветовой график движения межжелудочковой перегородки, верхушки и боковой стенки левого или правого желудочков, развернутый во времени (рис. 2.14).

Преимуществом метода является возможность детальной графической оценки направления движения стенок сердца в различных точках интереса и диагностика зон нарушения локальной сократимости. Ограничением метода служит наличие у пациентов внутрижелудочковой блокады, вызывающей парадоксальное движение стенок сердца и затрудняющей диагностику.

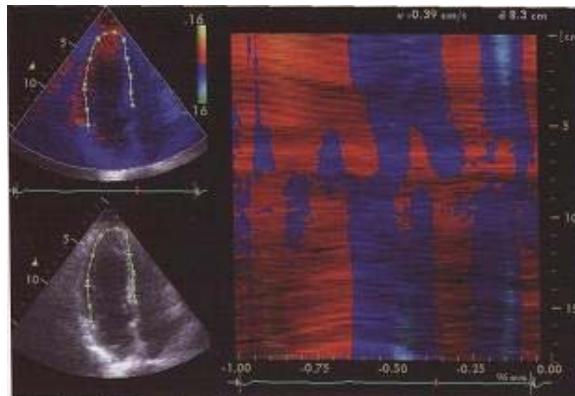


Рис. 2.14. Нелинейный (искривленный) тканевой цветовой доплер (C-режим)

Тканевой импульсно-волновой доплер (Pulsed Wave Tissue Imaging). Этот режим позволяет оценить характер движения фиброзного кольца или стенки желудочков в конкретной точке – точке установки контрольного объема. Преимуществом метода является возможность графической оценки продольной функции желудочков в систолу и диастолу. Выделяют систолический компонент, ранний и поздний диастолические компоненты. Данный вариант доплера позволяет проводить точечное картирование миокарда и увеличивает точность диагностики у больных ишемической болезнью сердца (рис. 2.15).

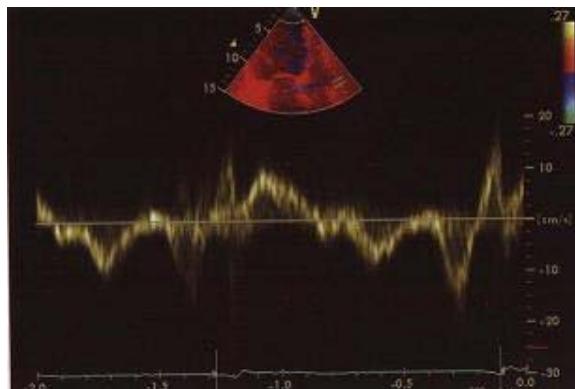


Рис. 2.15. Определение нарушения систолической и диастолической функций правого желудочка с помощью тканевого импульсно-волнового доплера

Наиболее важную роль тканевой импульсно-волновой доплер играет в оценке диастолической функции желудочков. Ограничением метода является плохая визуализация в *B*-режиме.

Тканевой след (Tissue Tracking). Принцип метода состоит в кодировании различными цветами скорости систолического смещения волокон миокарда (от 12 мм/с до 0). В норме картина напоминает радугу – цветовая гамма распределяется от фиолетового цвета в области фиброзных колец до белого в области верхушки сердца, т.е. в той области, где луч и стенка сердца расположены под углом 90°. При нарушении систолической функции желудочков картина меняется (рис. 2.16). Преимущество метода состоит в том, что он позволяет быстро оценить систолическую функцию желудочка и выявить зону нарушения локальной сократимости. Ограничением метода является невозможность его применения на фоне тахикардии.

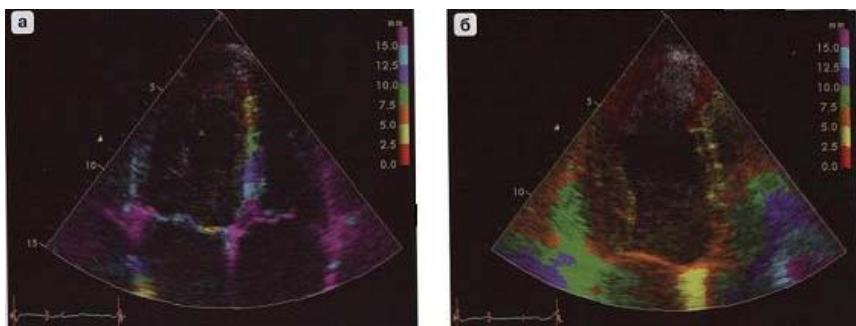


Рис. 2.16. Тканевой след: нормальные скорости систолического смещения стенок левого желудочка (а) и низкий сердечный выброс (б), снижение скоростей систолического смещения стенок левого желудочка

Доплер-оценки деформации и скорости деформации (Strain, Strain Rate). *Strain* – один из вариантов тканевого доплера, позволяющий количественно оценить деформацию волокон миокарда по отношению к начальной форме, то есть оценить в процентах изменение длины волокон относительно исходной величины.

Strain Rate отражает скорость деформации миокарда и позволяет рассчитать градиент между двумя скоростями смещения точек миокарда (рис. 2.17). Преимущество метода состоит в том, что он

позволяет количественно измерить степень деформации миокарда. Ограничение метода заключается в том, что на графическое представление результатов исследования может влиять ряд факторов, в том числе и настройка прибора.

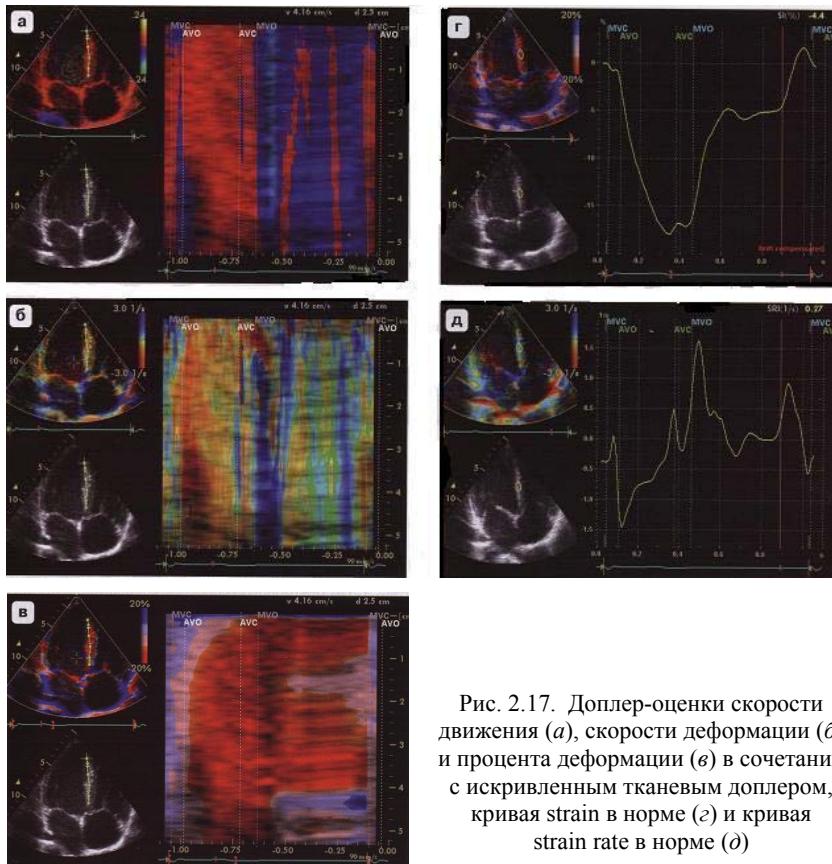


Рис. 2.17. Доплер-оценки скорости движения (a), скорости деформации (b) и процента деформации (c) в сочетании с искривленным тканевым доплером, кривая strain в норме (c) и кривая strain rate в норме (d)

Векторное скоростное изображение (или векторный анализ) скорости движения эндокарда (Vector Velocity Imaging). Данный вариант исследования позволяет проследить за направлением и степенью сокращения и расслабления волокон эндокарда в различных точках (рис. 2.18). В этом и состоит преимущество метода. С помощью векторного анализа скорости движения эндо-

карда можно исследовать зоны нарушения локальной сократимости, оценить систолическую функцию желудочков.

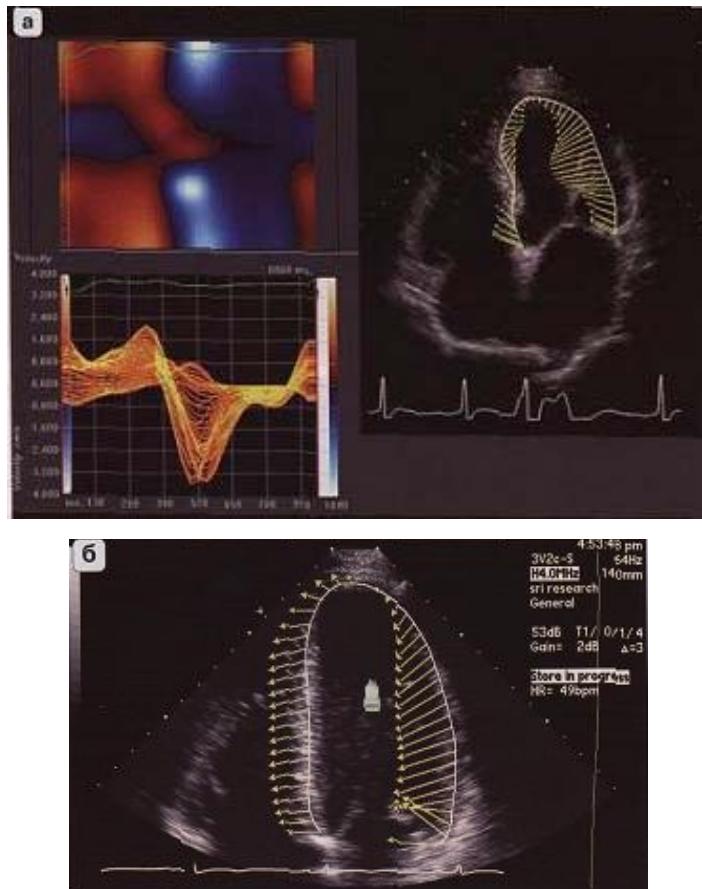


Рис. 2.18. Векторное скоростное изображение движения эндокарда:
а – совмещение трех режимов: «кривой», или изогнутый, тканевой цветовой доплер (или C-color или curved color), тканевой миокардиальный доплер и режим оценки скорости движения эндокарда; *б* – режим оценки скорости движения эндокарда

Данный режим широко используется у больных ишемической болезнью сердца. Ограничением метода является плохая визуализация границы эндокард–кровь.

Другие методы эхокардиографии

Чреспищеводная эхокардиография – ультразвуковое исследование сердца с использованием специальных датчиков (моно-, би- и мультиплановых), которые вводятся в пищевод (рис. 2.19). Метод используется в тех случаях, когда обычная эхокардиография не позволяет поставить точный диагноз. Из-за близкого расположения датчика к сердцу метод обладает высокой информативностью в диагностике тромбов, поражений клапанов, врожденных пороков сердца, заболеваний грудной аорты.



Рис. 2.19. Чреспищеводный датчик

Преимуществом чреспищеводной эхокардиографии является возможность детальной оценки состояния внутрисердечных структур, клапанов сердца, ушек предсердий. Особую роль метод играет в диагностике внутрисердечного тромбоза и других объемных образований сердца. Особую ценность чреспищеводная эхокардиография представляет в оценке функции протезированных клапанов сердца и диагностике врожденных пороков сердца. Ограничением метода и противопоказанием к его применению служит наличие структуры пищевода.

Стресс-эхокардиография. Этот метод эхокардиографии реализуется с использованием физической нагрузки, чреспищеводной электростимуляции или медикаментозной нагрузки (рис. 2.20). Широко применяется у больных ишемической болезнью сердца.

Преимуществом метода является возможность выявления скрытых зон нарушения локальной сократимости и оценка жизнеспособного миокарда. Ограничением метода является плохая визуализация границы эндокард – кровь.

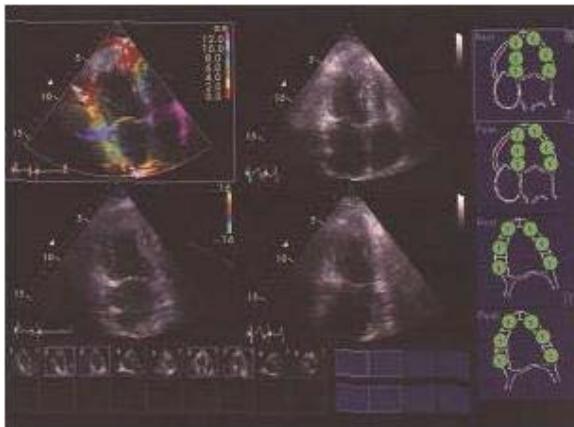


Рис. 2.20. Программа для обработки и оценки движения стенок сердца в стресс-эхокардиографии

Трех- и четырехмерное моделирование сердца – это анализ и построение объемного изображения камер сердца, створок клапанов, кровотока и т.д. (рис. 2.21). По прогнозу ряда ведущих специалистов мира, за данным направлением будущее ультразвуковой эхокардиографии. Работа с трех- и четырехмерным изображением требует предварительного осмотра в *B*-режиме. Преимущество метода состоит в получении изображения сердца в объеме в реальном времени и возможность анализа гемодинамики сердца. Ограничением метода является плохая визуализация в *B*-режиме и возникновение миражей при регистрации в объеме ряда нормальных анатомических образований сердца, например головок папиллярных мышц, симулирующих патологические объемные образования сердца.

Внутрисосудистый ультразвук – это исследование коронарных артерий с использованием специального внутрисосудистого датчика малого диаметра (рис. 2.22). Преимущество метода состоит в том, что он позволяет получать срезы сосуда по короткой оси на большом протяжении от устья и оценивать состояние слоев стенки, степень стеноза и характер бляшки. Ограничением метода является то, что он инвазивный. Используется параллельно с коронарографией.



Рис. 2.21. Трехмерное изображение сердца (выносящий тракт левого желудочка; аортальный и митральный клапаны)



Рис. 2.22. Срез сосуда при исследовании методом внутрисосудистого ультразвука

Внутрисердечный ультразвук – это исследование сердца из внутрисердечного доступа (из правых камер сердца). Исследование проводится с помощью специальных внутрисердечных ультразвуковых зондов (датчиков) (рис. 2.23). Преимуществом метода является возможность детальной оценки состояния камер и структур сердца. Информативность метода сопоставима с информативностью чреспищеводной эхокардиографии. Ограничением метода

служит то, что он является инвазивным и требует пункции подключичной вены. Используется в кардиохирургии.

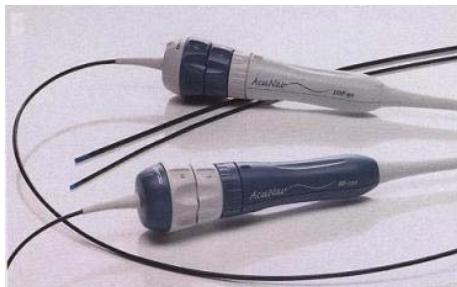


Рис. 2.23. Внутрисердечные датчики

Контрастная эхокардиография. Этот метод существует в двух вариантах: контрастирование правых отделов сердца и оценка перфузии миокарда (контрастирование левых камер сердца). Преимущество метода состоит в его информативности. Контрастная эхокардиография применяется для исследования состояния правых камер сердца при подозрении на дефект межпредсердной перегородки. Для этого используют контрасты, которые не проходят легочно – капиллярный барьер (физиологический раствор, раствор перекиси водорода в разведении 1 : 20 на физиологическом растворе, урографин и т.д.). При тугом заполнении правых отделов сердца микропузырьками воздуха можно оценить состояние межпредсердной перегородки. При наличии дефекта часть контраста будет поступать в левое предсердие.

Контрастная эхокардиография для исследования перфузии миокарда или контрастирование левых камер сердца применяется при подозрении на перенесенный инфаркт миокарда, миокардит и т.д. (рис. 2.24), при этом используются специальные контрасты, проходящие легочно-капиллярный барьер (соновью, альбунекс и др.). Информативность метода контрастирования левых камер сердца сопоставима со сцинтиграфией миокарда, поскольку позволяет выявить дефекты накопления контраста в стенках сердца и оценить границу эндокард–кровь. Положительным фактором при этом в сравнении со сцинтиграфией является отсутствие лучевой нагрузки на пациента. К сожалению, на территории Российской Федерации контрастные

вещества, проходящие легочно-капиллярный барьер, не зарегистрированы и пока не используются. Ограничением метода контрастной эхокардиографии являются его инвазивный характер и возможность развития аллергической реакции.

2.3. СОВРЕМЕННЫЕ ЭХОКАРДИОГРАФИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ

Для эхокардиографии применяют специальные приборы – эхокардиографы, обязательными элементами конструкции которых являются генератор ультразвука (частотой от 1 до 10 МГц), направляемого в виде луча через грудную стенку на различные отделы сердца; датчик, воспринимающий отраженные ультразвуковые сигналы; преобразователь воспринимаемых ультразвуковых волн в электромагнитные и их усилитель, а также регистрирующее устройство, позволяющее получать изображение изучаемых структур сердца – эхокардиограмму (на экране осциллографа, специальной фотобумаге) и фиксировать его на магнитном носителе информации. Современные эхокардиографы оснащены также электрокардиографическим каналом для синхронной регистрации с эхокардиограммой ЭКГ и компьютером, использование которых значительно повышает качество обработки и анализа данных исследования.

Современные медицинские ультразвуковые приборы позволяют получать трехмерные изображения объектов с разрешающей способностью до 0,1 мм, доплеровские методики позволяют оценивать кровоток в сосудах, движение стенок сердца и других тканей тела человека со скоростями менее 1 см/с.

Эхокардиографические ультразвуковые приборы условно можно разделить на три группы: приборы недорогого, среднего и высокого классов.

Так, скрининговое¹ исследование сердца можно провести на любом недорогом ультразвуковом диагностическом приборе при

¹ Скрининг – первичное профилактическое массовое обследование (как, например, флюорография).

наличии соответствующего кардиологического датчика и *B*- и *M*-режимов.

Приборы среднего и высокого класса, в которых используются современные технологии – импульсно-волновой, непрерывно-волновой, тканевой доплер, стресс-эхокардиография и др. – позволяют во много раз повысить информативность исследования, особенно у больных с патологией миокарда.

При наличии патологии только *непрерывно-волновой* доплер позволит измерить высокоскоростные патологические потоки, провести все необходимые расчеты и измерения, оценить гемодинамику. Внутрисосудистые датчики применяются параллельно с ангиографическим исследованием и используются кардиохирургами.

Ультразвуковые приборы с возможностью простейшего трехмерного моделирования встречаются среди приборов среднего класса, а с возможностью сложного трех- и четырехмерного моделирования – среди приборов высокого класса.

Чреспищеводные датчики могут быть моно-, би- и мультиплановыми. Датчик может быть без доплера или с доплером. Объем получаемой информации зависит от возможности датчика. Чреспищеводные датчики предлагаются рядом фирм даже для приборов недорогого класса.

Программы для работы с эхоконтрастными препаратами существуют во всех приборах среднего и высокого классов. Данное направление развивается во всем мире, однако в нашей стране оно представлено недостаточно.

На протяжении последних лет наблюдается тенденция к минимизации прибора с сохранением качества изображения и возможности использования многих разновидностей доплеровских методов исследования. Портативные эхокардиографы представлены рядом ведущих ультразвуковых фирм и начинают пользоваться спросом во всем мире.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

- Алехин М.Н.* Тканевой допплер в современной эхокардиографии. – М.: Инсвязьиздат, 2005. С. 12–27.
- Мит'ков В.В., Сандриков В.А.* Клиническое руководство по ультразвуковой диагностике. – М.: Видар, 1998. Т. 5. С. 9–36.
- Осипов Л.В.* Ультразвуковые диагностические приборы. – М., 1999. С. 164–173.
- Шиллер Н.Б., Осипов М.А.* Клиническая эхокардиография. – М., 1993. С. 9–20.
- Шотемор Ш.Ш.* Путеводитель по диагностическим изображениям. – М.: Советский спорт, 2001. С. 9–69.
- Уйба В.В., Бежина Л.Н., Михайлов Н.Н. и др.* Ультразвук в медицине: теория и применение. – М.: МИФИ, 2006. С. 64–167.
- Рыбакова М.К., Алехин М.Н., Мит'ков В.В.* Практическое руководство по ультразвуковой диагностике. Эхокардиография. – М.: Видар, 2008. С. 23–35.

3. ЭХОИМПУЛЬСНАЯ КАРДИОГРАФИЯ

3.1. СТАНДАРТНЫЕ ЭХОКАРДИОГРАФИЧЕСКИЕ ДОСТУПЫ И ПОЗИЦИИ

Ультразвуковой доступ к сердцу ограничен из-за его положения в грудной клетке (см. рис. 1.1 и 1.2). Левое и правое легкое, грудина, ребра и узкие межреберные промежутки обуславливают труднодоступность сердца во время исследования. Поэтому эхокардиографическое исследование следует проводить в положении больного на левом боку, что значительно облегчает доступ к сердцу. Положение больного по отношению к исследователю может быть различным (спиной или лицом к исследователю). Можно использовать положение больного на спине, однако, как правило, в этом случае оптимальное изображение можно получить только у больных с дилатацией (расширением, растяжением) камер сердца. Если приставить датчик к передней грудной стенке, можно получить на экране большое количество различных позиций. Для проведения исследования используют ряд стандартных позиций, обязательных для пациентов. Помимо этого, существует ряд дополнительных позиций, которые применяются для уточнения диагноза.

В эхокардиографии используют ряд доступов к сердцу и магистральным сосудам: левый паракстernalный, апикальный, субкостальный, супракстernalный, правый паракстernalный и супраклaviкулярный (рис. 3.1).

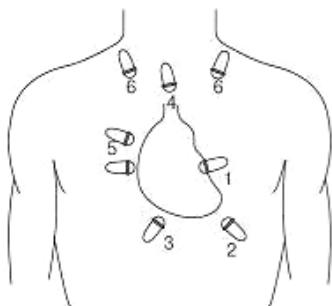


Рис. 3.1. Схема возможных ультразвуковых доступов к сердцу:
1 – левый паракстernalный доступ;
2 – апикальный доступ;
3 – субкостальный доступ;
4 – супракстernalный доступ;
5 – правый паракстernalный доступ (третье или четвертое межреберье);
6 – правый и левый надключичные доступы

В каждом из этих доступов в зависимости от положения датчика можно получить срез по длинной или по короткой оси (рис. 3.2). На экране можно получить зеркальное или реальное изображение. Зеркальное изображение подразумевает выведение левых камер сердца справа, а правых – слева. Наибольшее количество лабораторий мира используют в работе зеркальный вариант изображения сердца.

Рис. 3.2. Схема ортогональных проекций при проведении эхокардиографического исследования
(RA – правое предсердие,
RV – правый желудочек,
AO – аорта, LA – левое предсердие,
LV – левый желудочек)



3.2. В-РЕЖИМ ИМПУЛЬСНОЙ ЭХОКАРДИОГРАФИИ

Паастернальный доступ

Паастернальная позиция, длинная ось левого желудочка. Данная позиция (см. рис. 3.1 и 3.2) удобна для стандартных измерений и расчетов. Для получения позиции датчик устанавливают в четвертом или пятом межреберье у левого края грудины. У пациентов с избыточной массой тела и гиперстеническим телосложением датчик следует установить на одно ребро выше, а у больных астенического телосложения – на одно ребро ниже.

Схема получаемого в этой позиции изображения отделов сердца и соответствующая эхограмма, визуализируемая на экране ультразвукового диагностического аппарата, представлены на рис. 3.3.

На эхограмме (рис. 3.3, б), за передним средостением, визуализируется перикард, ниже – стенка правого желудочка. Между листками перикарда часто наблюдается эпикардиальный жир, который имеет зернистую структуру и движется вместе со стенкой правого желудочка, ниже визуализируется часть правого желудочка. Справа ниже расположены корень аорты, часть восходящего отдела аорты и

две створки аортального клапана (как правило, правая коронарная и некоронарная створки). Под аортой располагается левое предсердие. В данной позиции возможна идеальная визуализация створок митрального клапана – передней и задней, а также хордального аппарата. Слева на экране правый желудочек отделен от левого межжелудочковой перегородкой, которая в норме является стенкой левого желудочка. Ниже расположена полость левого желудочка, задняя стенка левого желудочка и заднемедиальная папиллярная мышца. За задней стенкой в систолу можно увидеть незначительное расхождение листков перикарда и париетальный перикард.

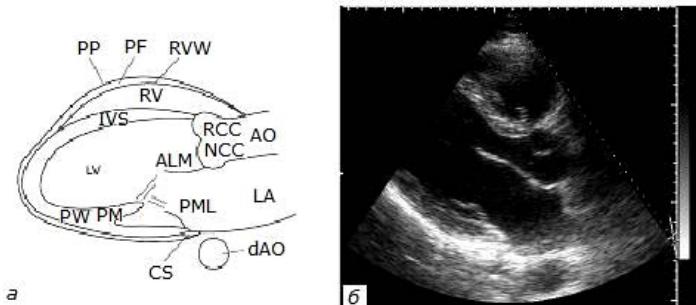


Рис. 3.3. Схема (а) и эхограмма (б) при исследовании левого желудочка в парастернальной позиции по длинной оси:

PP – париетальный перикард; PF – перикардиальный жир; RVW – стенка правого желудочка; RV – правый желудочек; AO – аорта; RCC – правая коронарная створка аортального клапана; NCC – некоронарная (иногда – левая коронарная) створка аортального клапана; LA – левое предсердие; dAO – грудная нисходящая аорта; AML – передняя створка митрального клапана; PML – задняя створка митрального клапана; IVS – межжелудочковая перегородка; LV – левый желудочек; PM – папиллярная мышца; PW – задняя стенка левого желудочка; CS – коронарный синус

В месте перехода левого предсердия в левый желудочек под задней створкой митрального клапана визуализируется небольшое эхонегативное пространство – коронарный синус. Справа на экране за стенкой левого предсердия располагается грудная нисходящая аорта в виде округлого пульсирующего образования.

Паастернальная позиция, длинная ось правого желудочка. Данная позиция (см. рис. 3.1 и 3.2) получается при отклонении

ультразвукового луча вправо и может наблюдаться не у всех пациентов. Используется для исследования правых камер сердца.

Схема наблюдаемых в этой позиции отделов сердца и соответствующая эхограмма представлены на рис. 3.4.

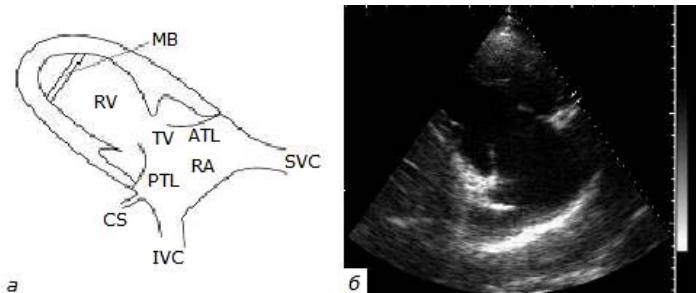


Рис. 3.4. Схема (а) и эхограмма (б) правых камер сердца в параптернальной позиции по длинной оси:

SVC – верхняя полая вена; IVC – нижняя полая вена; CS – коронарный синус;
RA – правое предсердие; PTL – задняя створка трикуспидального клапана;
ATL – передняя створка трикуспидального клапана; RV – правый желудочек;
MB – модераторный пучок правого желудочка

На эхограмме (рис. 3.4, б) слева расположены правый желудочек по длинной оси, передняя и задняя створки трикуспидального клапана. Справа на экране расположено правое предсердие с впадающей в него нижней полой веной и коронарным синусом. Данная позиция удобна для идентификации сети Хиари, евстахиева клапана нижней полой вены, аневризмы коронарного синуса.

У пациентов с дилатацией (расширением) правых камер сердца можно оценить степень трикуспидальной регургитации. При наличии объемного образования на створке трикуспидального клапана или в полости правого предсердия, или желудочка удается уточнить его локализацию.

Параптернальная позиция, короткая ось на уровне конца створок аортального клапана. Для получения этой позиции (см. рис. 3.1 и 3.2) датчик ротируют по часовой стрелке на 15° и направляют ультразвуковой луч вверх. Основание датчика при этом отклоняют вниз. Схема наблюдаемых в этой позиции отделов сердца и соответствующая эхограмма представлены на рис. 3.5.

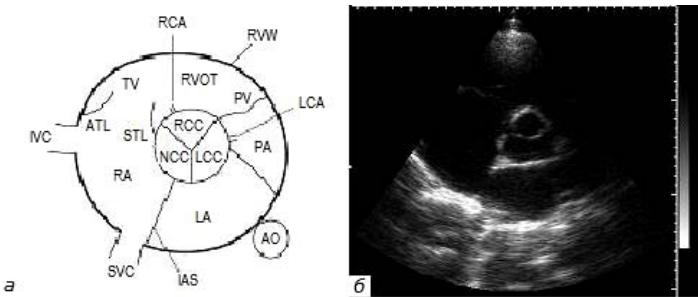


Рис. 3.5. Схема (а) и эхограмма (б) сердца при паастернальной позиции, короткая ось на уровне концов створок аортального клапана:

RVW – стенка правого желудочка; PV – клапан легочной артерии; CA – левая коронарная артерия; PA – легочная артерия; A – левое предсердие; AO – аорта; RVOT – выносящий тракт правого желудочка; RCA – правая коронарная артерия; RCC – правая коронарная створка аортального клапана; NCC – некоронарная створка аортального клапана; LCC – левая коронарная створка аортального клапана; TV – трикуспидальный клапан; ATL – передняя створка трикуспидального клапана; STL – септальная створка трикуспидального клапана; IVC – нижняя полая вена; SVC – верхняя полая вена; RA – правое предсердие

Сверху на экране (рис. 3.5, б) визуализируется выносящий тракт правого желудочка, под ним в центре – корень аорты и три створки аортального клапана. Идентифицировать створки можно по месту отхождения правой и левой коронарных артерий от синусов Вальсальвы. Ствол левой коронарной артерии проецируется справа. Для того чтобы визуализировать ствол правой коронарной артерии, необходимо немного отклонить луч вверх и получить срез корня аорты выше места крепления створок аортального клапана.

Комиссюры створок аортального клапана могут располагаться различно. Для описания их локализации корень аорты представляют в виде циферблата часов. Наиболее часто комиссюры располагаются на уровне 2, 6 и 10 ч. Справа расположен ствол легочной артерии. Невозможно визуализировать одновременно все три створки клапана легочной артерии. В области проекции комиссюры правой коронарной и левой коронарной створок аортального клапана расположена задняя створка клапана легочной артерии. У детей и молодых людей можно увидеть и правую створку клапана.

Ниже аортального клапана определяется левое предсердие, отделенное от правого предсердия межпредсердной перегородкой.

Правое предсердие отделено от правого желудочка створками трикуспидального клапана (на экране расположено слева). В данной позиции можно видеть, как правило, септальную створку трикуспидального клапана в области проекции комиссюры правой коронарной и некоронарной створок аортального клапана и переднюю створку трикуспидального клапана. Данная позиция является обязательной для работы, так как кровоток в выносящем тракте правого желудочка и в легочной артерии важно исследовать у всех пациентов.

Парастернальная позиция, длинная ось ствола легочной артерии. Данная позиция может быть получена вслед за предыдущей. Для этого необходимо отклонить ультразвуковой луч еще выше. Схема наблюдаемых в этой позиции отделов сердца и соответствующая эхограмма представлены на рис. 3.6.

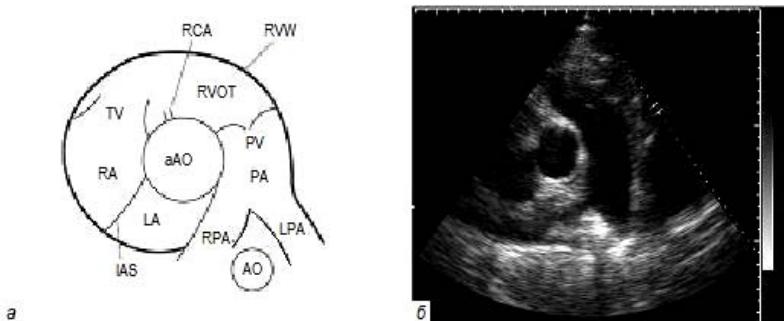


Рис. 3.6. Схема (а) и эхограмма (б) сердца при исследовании по длинной оси ствола и ветвей легочной артерии:

RVW – стенка правого желудочка; PV – клапан легочной артерии; PA – легочная артерия; RPA – правая ветвь легочной артерии; LPA – левая ветвь легочной артерии; LA – левое предсердие; AO – аорта; dAO – дуга аорты; RCA – правая коронарная артерия; TV – трикуспидальный клапан; IAS – межпредсердная перегородка; RA – правое предсердие

В центре на экране (рис. 3.6, б) выше отхождения коронарных артерий в виде окружного образования определяется грудная восходящая аорта, правее – ствол легочной артерии и ее бифуркация на левую и правую ветви. Ниже бифуркации легочной артерии визуализируется дуга аорты по короткой оси. Размеры ветвей легочной артерии, как правило, неодинаковые. Это связано с особенностями

стью среза. Видны две створки клапана легочной артерии – задняя и правая (см. рис. 3.6, б).

Параастернальная позиция, короткая ось на уровне конца створок митрального клапана. Для получения этой позиции ультразвуковой луч необходимо немного отклонить вниз. Схема наблюдаемых в этой позиции отделов сердца и соответствующая эхограмма представлены на рис. 3.7.

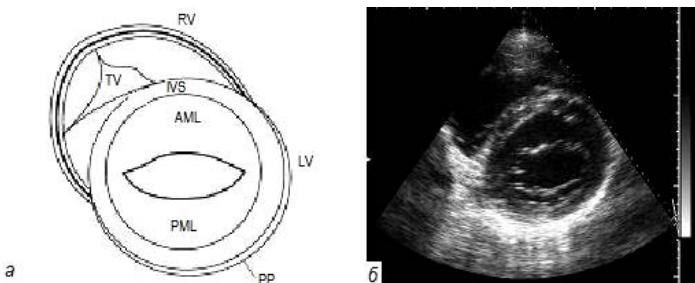


Рис. 3.7. Схема (а) и эхограмма (б) сердца при паастернальной позиции, короткая ось на уровне концов створок митрального клапана:
RV – правый желудочек; LV – левый желудочек; AML – передняя створка митрального клапана; PML – задняя створка митрального клапана;
TV – трикуспидальный клапан

На экране (рис. 3.7, б) виден срез левого желудочка по короткой оси; сверху и, как правило, слева на экране расположен правый желудочек, прилежащий к левому желудочку в виде полумесяца. Положение сердца в грудной клетке может быть различно, поэтому и правый желудочек может располагаться на экране у разных людей по разному. Именно с этим связана небольшая информативность измерения размера правого желудочка в паастернальной позиции.

Правый желудочек отделен от левого межжелудочковой перегородкой, которая в норме является как бы стенкой левого желудочка. Левый желудочек делят на ряд отделов по отношению к позиции правого желудочка: передняя стенка, переднебоковая, заднебоковая и задняя стенки. Межжелудочковую перегородку принято делить на передний и задний отделы.

Створки митрального клапана расположены по короткой оси с комиссурами в области 3 и 9 ч. Передняя створка митрального клапана более длинная, подвижная, задняя створка короче передней.

По краям створок хорошо видны хорды митрального клапана. В реальном времени открытие створок митрального клапана напоминает движение «рот рыбы».

Паастернальная позиция, короткая ось на уровне концов папиллярных мышц. Если луч отклонить ниже на несколько градусов, можно получить срез левого и правого желудочков на уровне концов папиллярных мышц по короткой оси. Схема наблюдаемых в этой позиции отделов сердца и соответствующая эхограмма представлены на рис. 3.8.

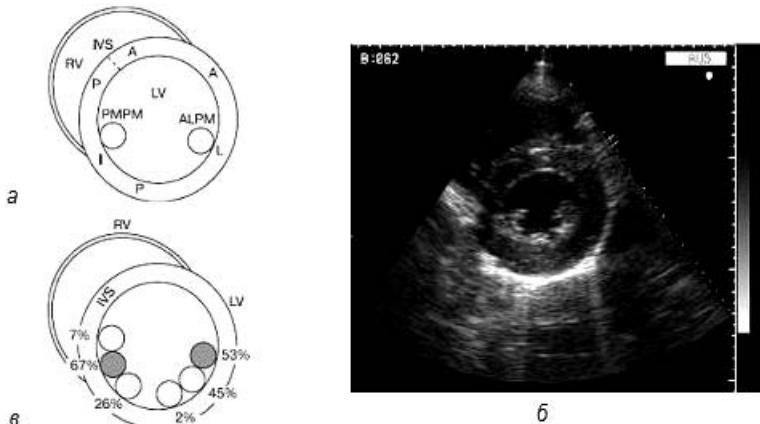


Рис. 3.8. Схема (а) и эхограмма (б) сердца в паастернальной позиции (короткая ось на уровне концов папиллярных мышц) и наиболее часто встречающиеся варианты расположения головок папиллярных мышц (в):
 RV – правый желудочек; LV – левый желудочек; ALPM – переднелатеральная папиллярная мышца; PMPM – заднемедиальная папиллярная мышца; IVS – межжелудочковая перегородка; A – передний сегмент; L – боковой сегмент; P – задний сегмент; I – нижний сегмент

В норме в полости левого желудочка может быть разное количество папиллярных мышц. Как правило, их две: переднелатеральная, расположенная на уровне 3, 4 или 5 ч, и заднемедиальная, расположенная на уровне 7, 8 или 9 ч. Заднемедиальная папиллярная мышца часто имеет две головки (рис. 3.8).

Данная позиция важна для оценки сократимости миокарда левого и правого желудочков в области средней его части. У ряда пациентов удается получить срез по короткой оси на уровне верхушки левого и правого желудочков.

Апикальный доступ

Апикальная четырехкамерная позиция. Если установить датчик на область верхушечного сердечного толчка и направить ультразвуковой луч условно на правое плечо пациента снизу вверх, то можно получить изображение сердца по длинной оси (рис. 3.1 и 3.2).

Схема наблюдаемых в этой позиции отделов сердца и соответствующая эхограмма представлены на рис. 3.9.

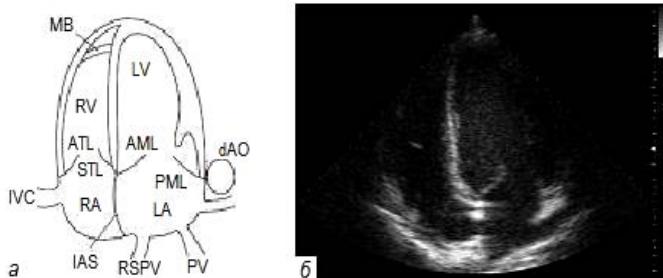


Рис. 3.9. Схема (а) и эхограмма (б) сердца в апикальной четырехкамерной позиции:

MB – модераторный пучок правого желудочка; RV – правый желудочек; TV – трикуспидальный клапан; ATL – передняя створка трикуспидального клапана; STL – септальная створка трикуспидального клапана; RA – правое предсердие; IVC – нижняя полая вена; IAS – межпредсердная перегородка; LA – левое предсердие; AO – аорта; MV – митральный клапан; AML – передняя створка митрального клапана; PML – задняя створка митрального клапана; IVS – межжелудочковая перегородка; LV – левый желудочек; RSPV – правая верхняя легочная вена; PV – легочная вена; DAO – грудная нисходящая аорта

В эхокардиографии традиционно принято работать с зеркальным изображением, поэтому на экране (рис. 3.9, б) левый желудочек и левое предсердие расположены справа, а правый желудочек и правое предсердие – слева. Апикальная четырехкамерная позиция позволяет оценить сократительную способность миокарда, состояние створок митрального и трикуспидального клапанов, произвести дополнительные измерения. В данной позиции хорошо видно крепление левого и правого фиброзных колец на разных уровнях: правое смещено в правый желудочек до 5–7 мм по отношению к левому. Передняя и септальная створки трикуспидального клапана, передняя

и задняя створки митрального клапана и хордальный аппарат четко визуализируются. В полости верхушки правого желудочка расположен модераторный пучок, который позволяет отличить его от левого желудочка при сложных врожденных пороках сердца.

Межпредсердная перегородка в области средней части (овальной ямки) может не визуализироваться на всем протяжении, что часто принимается ошибочно за дефект перегородки. В данной позиции можно увидеть три легочные вены из четырех, впадающих в левое предсердие, и нижнюю полую вену в месте ее впадения в правое предсердие.

Справа на экране около боковой стенки левого предсердия по короткой оси расположена грудная нисходящая аорта в виде округлого образования. Это связано с тем, что за левым предсердием происходит перехлест пищевода и грудной нисходящей аорты (см. рис. 3.9). Достоверно судить о наличии дилатации правых отделов сердца можно только в апикальной четырехкамерной позиции.

Апикальная пятикамерная позиция. Если ротировать датчик на 10–15° по часовой стрелке, то можно, помимо предсердий и желудочков, получить изображение выносящего тракта левого желудочка, створок аортального клапана и части восходящего отдела аорты. Схема наблюдаемых в этой позиции отделов сердца и соответствующая эхограмма представлены на рис. 3.10.

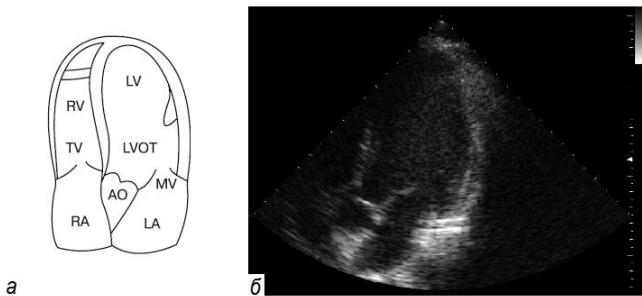


Рис. 3.10. Схема (а) и эхограмма (б) сердца в апикальной пятикамерной позиции: RV – правый желудочек; TV – триkuspidальный клапан; RA – правое предсердие; IAS – межпредсердная перегородка; LA – левое предсердие; AO – аорта; MV – митральный клапан; IVS – межжелудочковая перегородка; LV – левый желудочек; LVOT – выносящий тракт левого желудочка

В данной позиции можно увидеть две створки из трех аортальных клапана. Апикальная пятикамерная позиция служит для оценки кровотока в выносящем тракте левого желудочка и в восходящем отделе аорты при допплеровском исследовании.

Апикальная двухкамерная позиция. Для получения данной позиции можно ротировать датчик еще на 10–15° по часовой стрелке. Схема наблюдаемых в этой позиции отделов сердца и соответствующая эхограмма представлены на рис. 3.11.



Рис. 3.11. Схема (а) и эхограмма (б) при исследовании сердца в апикальной двухкамерной позиции:

LA – левое предсердие; MV – митральный клапан; AML – передняя створка митрального клапана; PML – задняя створка митрального клапана; LV – левый желудочек; PV – легочные вены; PMPM – заднемедиальная папиллярная мышца

На экране (рис. 3.11, б) визуализируется изображение левых камер сердца. В левое предсердие впадают четыре легочные вены. Передняя створка митрального клапана более длинная и всегда соответствует передней стенке левого желудочка, а задняя створка (более короткая) - задней стенке левого желудочка. Передняя стена левого желудочка выпуклая, а задняя - уплощена. В полости левого желудочка можно видеть заднемедиальную папиллярную мышцу в области задней стенки левого желудочка. Решить проблему идентификации стенок левого желудочка поможет положение коронарного синуса – он всегда расположен в проекции задней стенки левого желудочка, так как проходит в межпредсердно-межжелудочковой борозде за задней стенкой левого предсердия. Данная позиция позволяет оценить сократительную способность задней и передней стенок левого желудочка.

Длинная ось левого желудочка. Схема наблюдаемых в этой позиции отделов сердца и соответствующая эхограмма представлены на рис. 3.12. На экране (рис. 3.12, б) визуализируются левое предсердие, митральный клапан, выносящий тракт левого желудочка, часть восходящего отдела аорты и две створки аортального клапана из трех, межжелудочковая перегородка. Изображение получают в реальном режиме – левые отделы сердца расположены слева на экране, правые камеры не визуализируются. За стенкой левого предсердия слева расположена грудная нисходящая аорта.

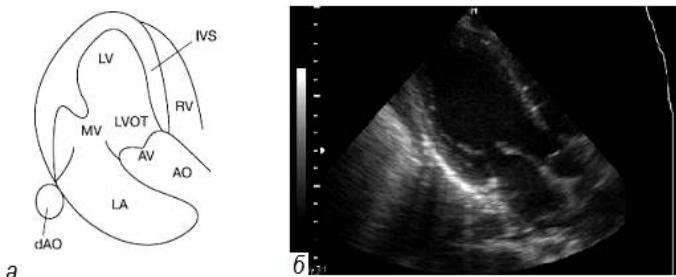


Рис. 3.12. Схема (а) и эхограмма (б) левого желудочка в позиции длинной оси: IVS – межжелудочковая перегородка; RV – правый желудочек; AV – аортальный клапан; AO – аорта; LV – левый желудочек; LVOT – выносящий тракт левого желудочка; MV – митральный клапан; LA – левое предсердие; dAO – грудная нисходящая аорта

Данная позиция используется преимущественно для допплеровского исследования кровотока в выносящем тракте левого желудочка и в восходящем отделе аорты, как правило, у пациентов с аортальной недостаточностью или стенозом.

Субкостальный доступ

Длинная ось нижней полой вены. Для получения эхограммы в этой позиции (см. рис. 3.1 и 3.2) пациента укладывают на спину, датчик устанавливают в эпигастральную область. Схема наблюдаемой при этом нижней полой вены и ее соответствующая эхограмма представлены на рис. 3.13. На эхограмме (рис. 3.13, б) визуализируются паренхима печени и правая печеночная вена, впа-

дающая в нижнюю полую вену. Нижняя полая вена открывается в правое предсердие. В месте ее впадения часто можно увидеть евстахиев клапан нижней полой вены. Исследование состояния нижней полой вены и степени ее зависимости от акта дыхания является обязательным у всех пациентов. В норме нижняя полая вена на вдохе колабирует более чем на 50 %.

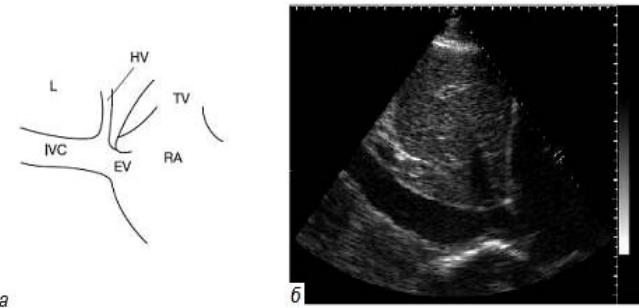


Рис. 3.13. Схема (а) и эхограмма (б) нижней полой вены по длинной оси в субкостальной позиции:

TV – трикуспидальный клапан; RA – правое предсердие; HV – печеночные вены; EV – евстахиев клапан нижней полой вены; IVC – нижняя полая вена; L – печень

Длинная ось брюшного отдела аорты. Если отклонить датчик вправо, то можно получить изображение брюшной аорты и ее ветвей по длинной оси в виде пульсирующего образования. Схема наблюдавшегося в этой позиции брюшного отдела аорты и соответствующая эхограмма представлены на рис. 3.14.

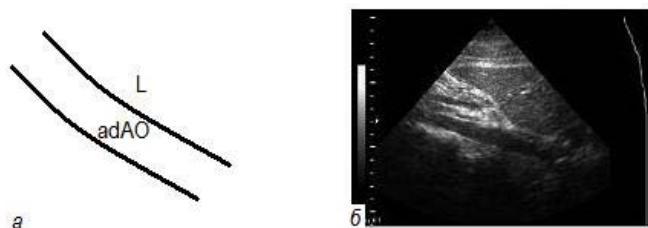


Рис. 3.14. Схема (а) и эхограмма (б) брюшного отдела аорты по длинной оси в субкостальной позиции: abAO – брюшная аорта, L – печень

Анализ кровотока в брюшном отделе аорты является важным у пациентов с аортальной недостаточностью. К тому же аневризма

брюшного отдела аорты может стать находкой во время исследования у пациентов преклонного возраста.

Короткая ось брюшного отдела аорты и нижней полой вены. Эта позиция используется для анализа положения сосудов при декстракардии. Нижняя полая вена колабирует на вдохе, аорта пульсирует. Схема наблюдаемых в этой позиции отделов магистральных сосудов и их соответствующая эхограмма представлены на рис. 3.15.

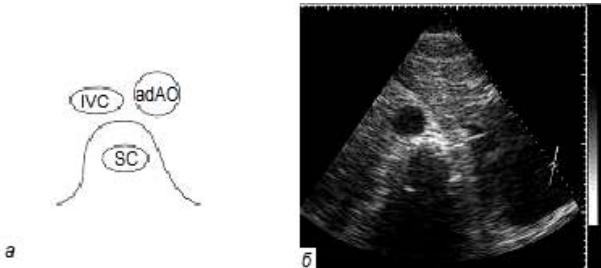


Рис. 3.15. Схема (а) и эхограмма (б) нижней полой вены и брюшного отдела аорты по короткой оси в субкостальной позиции:
IVC – нижняя полая вена; abAO – брюшная аорта; SC – позвоночный канал

Ниже проекции сосудов у худых пациентов можно видеть позвоночник и позвоночный канал. Данная позиция часто используется для оценки состояния аневризмы брюшного отдела аорты.

Субкостальная четырехкамерная позиция. Для выведения этой позиции датчик устанавливают в эпигастральную область и направляют луч вверх через диафрагму. Схема наблюдаемых в этой позиции отделов сердца и соответствующая эхограмма представлены на рис. 3.16.

На эхограмме (рис. 3.16, б) сверху визуализируется изображение паренхимы печени, ниже расположена диафрагма, париетальный листок перикарда, между листками перикарда – физиологическая жидкость за стенкой правых предсердия и желудочка. На стенке правого желудочка может быть виден эпикардиальный жир. Изменение толщины стенки правого желудочка проводят в данной позиции. Ниже справа на экране расположены правый желудочек, межжелудочковая перегородка, полость левого желудочка и его боковая стенка, слева – правое предсердие, трикуспидальный клапан, межпредсердная перегородка, левое предсердие, митральный клапан.

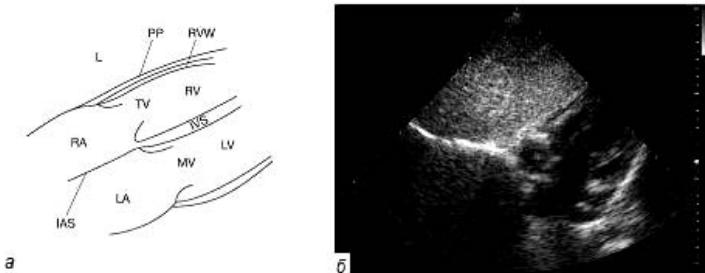


Рис. 3.16. Схема (а) и эхограмма (б) сердца в субкостальной четырехкамерной позиции:

PP – париетальный перикард; RVW – стенка правого желудочка; RV – правый желудочек; IVS – межжелудочковая перегородка; LV – левый желудочек; TV – триkuspidальный клапан; MV – митральный клапан; RA – правое предсердие; LA – левое предсердие; IAS – межпредсердная перегородка

Данная позиция может быть использована для диагностики дефекта межпредсердной перегородки и для расчета систолического давления в правом желудочке и легочной артерии по скорости струи триkuspidальной регургитации.

Субкостальная пятикамерная позиция. Данная позиция может быть получена при незначительной ротации датчика по часовой стрелке. Схема наблюдаемых в этой позиции отделов сердца и соответствующая эхограмма представлены на рис. 3.17.



Рис. 3.17. Схема (а) и эхограмма (б) сердца в субкостальной пятикамерной позиции:

RVW – стенка правого желудочка; RV – правый желудочек; IVS – межжелудочковая перегородка; LV – левый желудочек; AO – аорта; TV – триkuspidальный клапан; RA – правое предсердие; SVC – верхняя полая вена; LVOT – выносящий тракт левого желудочка

На эхограмме визуализируются дополнительно выносящий тракт левого желудочка, створки аортального клапана и корень аорты (рис. 3.17, б). Митральный клапан в этом случае практически не визуализируется.

Субкостальная позиция, короткая ось на уровне концов створок аортального клапана. Данная позиция идентична паракостальной позиции, но легочная артерия, левое и правое предсердия, триkuspidальный клапан и выносящий тракт правого желудочка ротированы по отношению к аорте по часовой стрелке (рис. 3.18). Данная позиция позволяет оценить состояние створок клапана легочной артерии и ствола легочной артерии в том случае, если паракостальная позиция не может быть получена (больные хронической обструктивной болезнью легких, после оперативного вмешательства на сердце и т.д.).

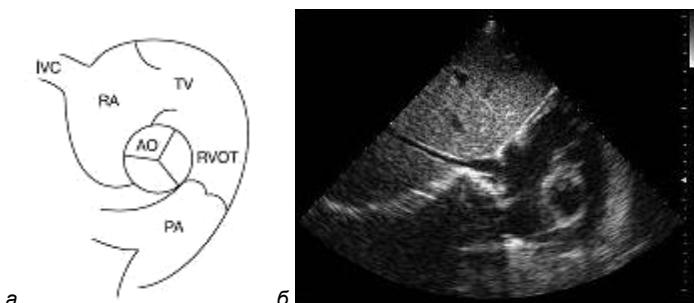


Рис. 3.18. Схема (а) и эхограмма (б) сердца в субкостальной позиции, короткая ось на уровне концов створок аортального клапана:

IVC – нижняя полая вена; RA – правое предсердие; TV – триkuspidальный клапан; RVOT – выносящий тракт правого желудочка; PA – легочная артерия; AO – аорта

Субкостальная позиция, короткая ось на уровне концов створок митрального клапана. Данная позиция аналогична одноименной паракостальной позиции. Комиссюры митрального клапана расположены приблизительно на уровне 11 и 5 ч (рис. 3.19). Данная позиция может быть использована для планиметрического расчета площади митрального отверстия у больных с митральным стенозом и для оценки сократительной способности базальных отделов миокарда левого желудочка.

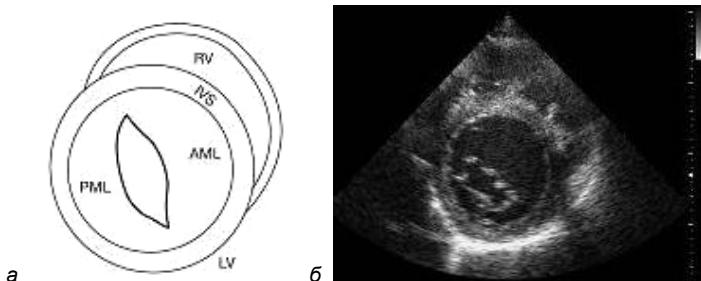


Рис. 3.19. Схема (а) и эхограмма (б) сердца в субкостальной позиции, короткая ось на уровне концов створок митрального клапана:
 RV – правый желудочек; LV – левый желудочек; AML – передняя створка митрального клапана; PML – задняя створка митрального клапана; IVS – межжелудочковая перегородка

Субкостальная позиция, короткая ось на уровне концов папиллярных мышц. Данная позиция получается при незначительном наклоне датчика вниз. Изображение аналогично паракстernalной позиции. Папиллярные мышцы расположены на уровне приблизительно 10 и 5 ч (рис. 3.20). Позиция является дополнительной для оценки сократительной способности миокарда левого желудочка в области среднего отдела.

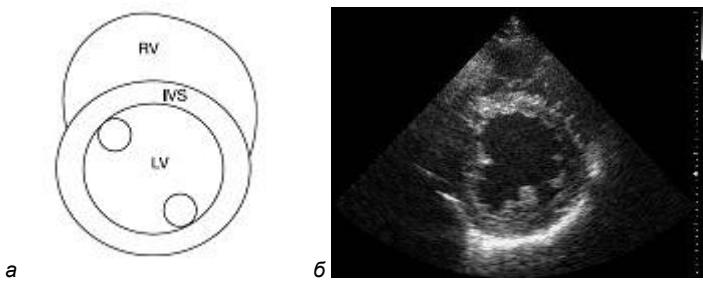


Рис. 3.20. Схема (а) и эхограмма (б) сердца в субкостальной позиции, короткая ось на уровне концов папиллярных мышц:
 RV – правый желудочек; LV – левый желудочек; IVS – межжелудочковая перегородка

Супрастернальный доступ

Данный доступ используют для исследования кровотока в восходящем и нисходящем отделах грудной аорты и дуги аорты. Ис-

пользуется выборочно у пациентов с подозрением на аневризму аорты, с аортальным стенозом, а также с подозрением на коарктацию аорты, открытый артериальный проток и т. д. Больного укладывают на спину, под плечи подкладывают валик, а голову запрокидывают назад. Датчик устанавливают в яремную ямку и направляют луч за грудину.

Супрастернальная позиция, длинная ось дуги аорты. В данной позиции визуализируется часть восходящего отдела аорты, дуга и часть нисходящего отдела аорты (рис. 3.21). Ниже по короткой оси расположены правая ветвь легочной артерии и левое предсердие. Справа на экране от дуги аорты отходит левая подключичная артерия и левая сонная артерия. Если немного изменить ротацию датчика, то можно получить изображение плечеголовной артерии.

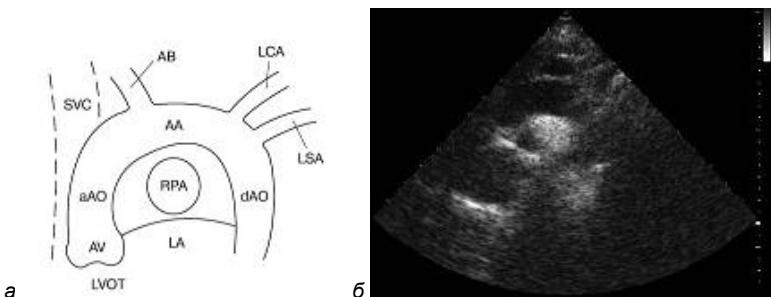


Рис. 3.21. Схема (а) и эхограмма (б) сердца в супрастернальной позиции, длинная ось дуги аорты:

SVC – верхняя полая вена; AB – плечеголовной ствол; LCA – левая сонная артерия; LSA – левая подключичная артерия; AA – дуга аорты; aAO – грудная восходящая аорта; dAO – грудная нисходящая аорта; RPA – правая ветвь легочной артерии; LA – левое предсердие; AV – аортальный клапан; LVOT – выносящий тракт левого желудочка

Супрастернальная позиция, короткая ось дуги аорты. При ротации датчика по часовой стрелке можно наблюдать срез дуги аорты по короткой оси. Под ней по длинной оси расположены правая ветвь легочной артерии и левое предсердие. Слева на экране у детей и худых пациентов можно получить изображение верхней полой вены (рис. 3.22). В ряде случаев можно визуализировать четыре легочные вены и место их впадения в левое предсердие.

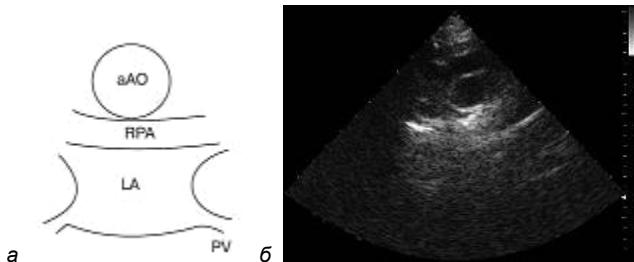


Рис. 3.22. Схема (а) и эхограмма (б) сердца в супрастернальной позиции, короткая ось дуги аорты:
aAO – грудная восходящая аорта; RPA – правая ветвь легочной артерии;
LA – левое предсердие; PV – клапан легочной артерии

Исследование плевральных полостей

Обязательной частью эхокардиографического исследования является анализ состояния плевральных полостей у пациентов с кардиологической патологией. Поскольку жидкость хорошо проводит ультразвуковой луч, то с помощью ультразвука можно диагностировать даже незначительное ее скопление в плевральных синусах.

Для исследования правой плевральной полости датчик устанавливают в правое подреберье на край печени и направляют луч вверх на купол диафрагмы (рис. 3.23).

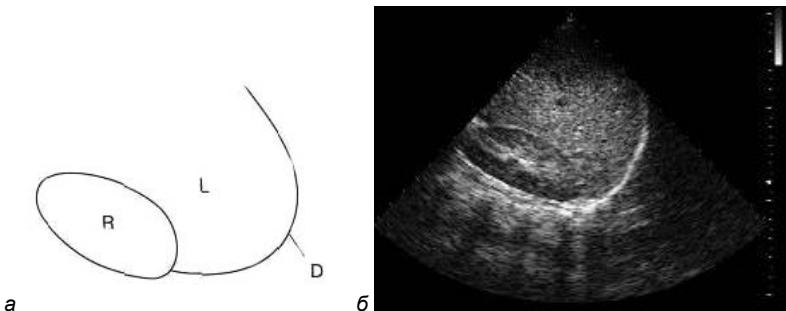


Рис. 3.23. Схема (а) и эхограмма (б) сердца при стандартном исследовании правой плевральной полости (L – печень, D – диафрагма, R – почка)

Левую плевральную полость можно исследовать, если установить датчик ниже проекции селезенки и направить луч на купол

диафрагмы (рис. 3.24). В норме в синусах визуализируются плевральная физиологическая смазка и край легкого. Исследовать плевральные полости можно и со спины в положении больного сидя.

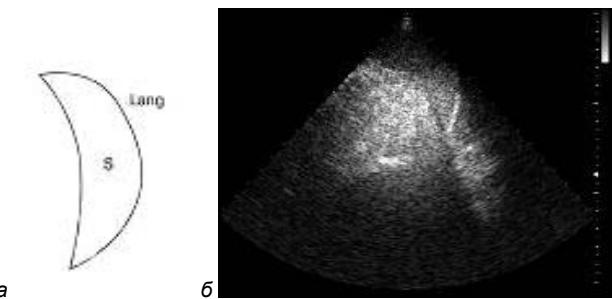


Рис. 3.24. Схема (а) и эхограмма (б) при стандартном исследовании левой плевральной полости (Lang – легкое, S – селезенка)

3.3. М-РЕЖИМ ИМПУЛЬСНОЙ ЭХОКАРДИОГРАФИИ

Схема проведения эхокардиографического исследования в *M*-режиме дана на рис. 3.25. *M*-модальный режим позволил впервые в реальном времени оценить размеры сердца и систолическую функцию желудочков. В настоящее время он применяется как вспомогательный режим при проведении эхокардиографического исследования преимущественно для измерений.

В том случае, когда в парастернальной позиции (см. рис. 3.1) курсор *M*-режима располагается строго перпендикулярно изображению сердца, измерения могут быть проведены с большой точностью. Если изображение сердца и курсор расположены под углом, все размеры камер сердца будут значительно завышены и могут быть неправильно истолкованы. Эта ошибка встречается у специалистов с небольшим

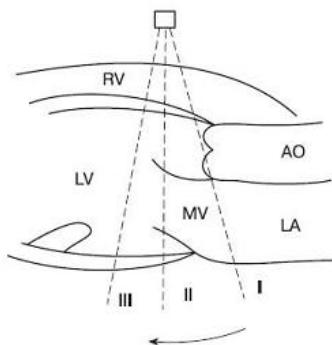


Рис. 3.25. Порядок проведения исследования в *M*-режиме:
AO – аорта; LA – левое предсердие; MV – митральный клапан; RV – правый желудочек; LV – левый желудочек

стажем работы. В том случае, если *M*-режим не может быть применен, допустимо проводить измерения в модальном *B*-режиме в конце диастолы.

На графике *M*-модальной развертки по вертикали откладывается расстояние, а по горизонтали – время. В зависимости от положения курсора на экране можно получить график колебания серии точек, расположенных вдоль курсора, вытянутый во времени, то есть проследить за их колебанием в систолу и диастолу. Исследование в *M*-режиме можно проводить в различных позициях, но наиболее традиционной является парастернальная позиция у левого края грудины.

Для визуализации формы движения корня аорты, створок аортального клапана и стенок левого предсердия курсор *M*-режима проводят через центр корня аорты на уровне конца створок аортального клапана.

Схема формы движения указанных отделов сердца и соответствующая эхограмма приведены на рис. 3.26.

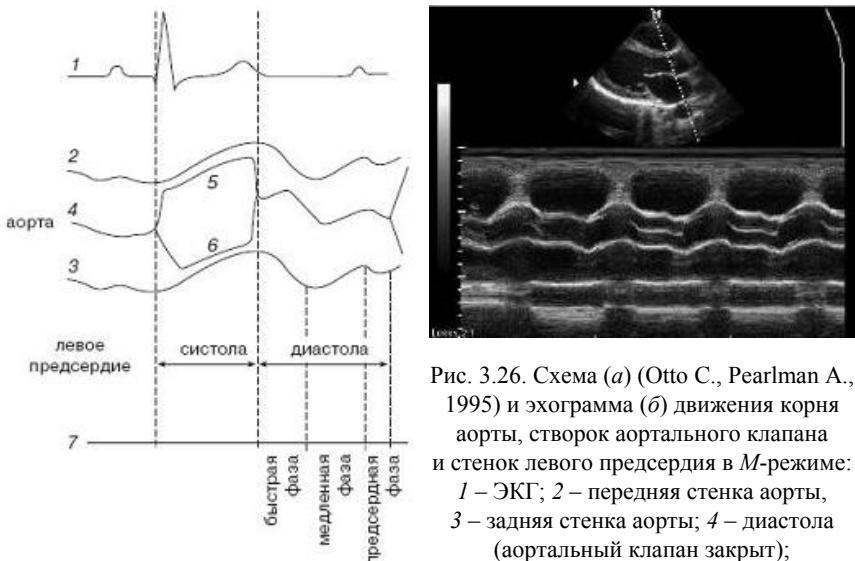


Рис. 3.26. Схема (а) (Otto C., Pearlman A., 1995) и эхограмма (б) движения корня аорты, створок аортального клапана и стенок левого предсердия в *M*-режиме:
1 – ЭКГ; 2 – передняя стенка аорты, 3 – задняя стенка аорты; 4 – диастола (аортальный клапан закрыт);
5 и 6 – открытие створок аортального клапан в систолу; 7 – задняя стенка левого предсердия

5 и 6 – открытие створок аортального клапан в систолу; 7 – задняя стенка левого предсердия

Экскурсия корня аорты составляет в норме более 7 мм, открытие створок аортального клапана – более 14 мм. На эхограмме (рис. 3.26, б) можно проследить за колебанием стенки правого желудочкa, передней стенки аорты, корня аорты, створок аортального клапана, задней стенки аорты, левого предсердия и его задней стенки, грудной нисходящей аорты. Форма движения створок аортального клапана в систолу напоминает коробочку; в диастолу они закрыты. В *M*-режиме можно проследить за движением только двух из трех имеющихся створок аортального клапана, как правило, правой коронарной и некоронарной. В норме в систолу можно наблюдать незначительную систолическую вибрацию створок аортального клапана при отсутствии аортальной регургитации.

Если переместить курсор левее на конец створок митрального клапана, то в *M*-режиме можно визуализировать форму движения створок митрального клапана, а также стенок левого и правого желудочков (рис. 3.27).

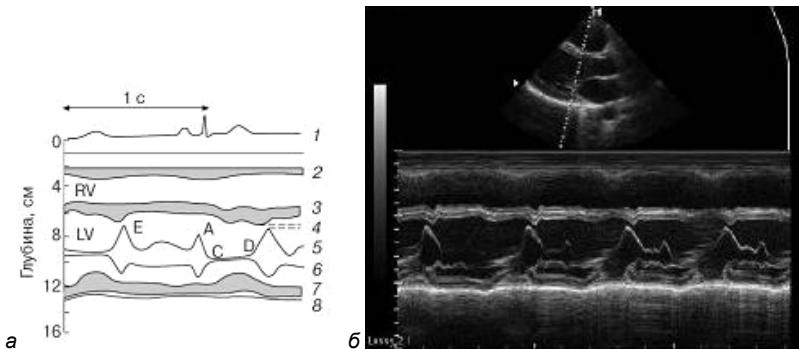


Рис 3.27. Схема (а) (Otto C., Pearlman A., 1995) и эхограмма (б) движения створок митрального клапана и стенок левого и правого желудочков в *M*-режиме:
1 – ЭКГ; 2 – передняя стенка правого желудочка; 3 – межжелудочковая перегородка; 4 – расстояние от пика Е открытия митрального клапана до межжелудочковой перегородки; 5 – передняя стенка митрального клапана; 6 – задняя стенка митрального клапана; 7 – задняя стенка левого желудочка; 8 – перикард

На эхограмме (рис. 3.27, б) сверху можно увидеть колебание стенки правого желудочка, ниже расположена полость правого же-

лудочка¹, а также межжелудочковая перегородка, полость левого желудочка, задняя стенка левого желудочка, париетальный листок перикарда. В систолу между листками перикарда имеется небольшое эхонегативное пространство.

В полости левого желудочка можно проследить за характером движения створок митрального клапана. Так, движение передней створки митрального клапана напоминает букву М, а задней – W.

В систолу створки митрального клапана закрыты. С началом диастолы они открываются, и кровь устремляется из левого предсердия в левый желудочек. Происходит быстрое диастолическое наполнение. Расстояние от пика Е – максимального открытия передней створки до пика А – максимального открытия задней створки в норме составляет более 25 мм. Расстояние от пика Е передней створки до межжелудочковой перегородки не должно превышать 7 мм (в ряде случаев до 10 мм). В точке Е давление между камерами выравнивается, створки начинают закрываться, и происходит медленное диастолическое наполнение. Затем створки открываются вследствие систолы левого предсердия и изгнания остаточного объема крови в левый желудочек (пик А). Эта фаза называется поздним диастолическим наполнением, или систолой предсердий, и характерна для пациентов с синусовым ритмом. В *M*-режиме можно измерить продолжительность систолы и диастолы, скорость раннего и позднего диастолического наполнения, но с появлением допплеровской эхокардиографии диагностическая значимость этих измерений снизилась.

M-модальный режим эхокардиографии по-прежнему способствует оценке систолической функции левого желудочка. Использование цветного *M*-модального допплера позволяет разобраться с фазами сердечного цикла у пациентов со сложными пороками сердца. В настоящее время ряд фирм предлагает использовать «анатомический» *M*-режим, позволяющий изменить угол курсора и за счет

¹ В зависимости от положения правого желудочка по отношению к левому размер правого желудочка в этой позиции не является диагностически значимым. Для оценки размеров правых камер сердца нужно использовать апикальную четырехкамерную или субкостальную четырехкамерную позиции.

этого избежать ошибок в расчетах и измерениях (курсор анатомического *M*-режима на экране ультразвукового диагностического аппарата обычно выглядит в виде пунктирной стрелки ярко зеленого цвета).

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

- Митьков В.В., Сандриков В.А.*, Клиническое руководство по ультразвуковой диагностике. – М.: Видар, 1998. Т. 5. С. 46–57.
- Шиллер Н., Осипов М.А.* Клиническая эхокардиография. – 2-е изд. – М.: Практика, 2005. С. 21–32.
- Otto C., Pearlman A.* Textbook of Clinical Echocardiography. – Philadelphia: W.B. Saunders Company, 1995. Р. 29–52.
- Рыбакова М.К., Алексин М.Н., Митьков В.В.* Практическое руководство по ультразвуковой диагностике. Эхокардиография. – М.: Видар, 2008. С. 53–69.

4. ДОПЛЕРОВСКАЯ ЭХОКАРДИОГРАФИЯ

Доплеровский метод ультразвуковой визуализации, как уже отмечалось выше, позволяет неинвазивно оценивать параметры гемодинамики сердца и сердечнососудистой системы, в том числе визуализировать кровоток в камерах сердца и сосудах, измерять скорость артериального кровотока и распределение скоростей различных элементов крови, а в режиме тканевого доплера визуализировать и измерять деформацию и скорость деформации различных сегментов миокарда, митрального и трicuspidального клапанов, измерять временной синхронизм работы камер сердца, проводить векторный анализ движения эндокарда.

Рассмотрим возможности применения описанных ранее видов доплеровской эхографии в кардиологии.

4.1. ИССЛЕДОВАНИЕ КРОВОТОКОВ СЕРДЦА И СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ

При нажатии кнопки PW на клавиатуре прибора на курсоре появляется контрольный, измерительный (или пробный) объем (sample volume). Контрольный объем можно переместить в любую точку экрана и изучить кровоток в конкретной данной точке. Ширина контрольного объема легко изменяется. Графическая доплеровская развертка отражает изменение во времени характера потока в месте установки контрольного объема в данной конкретной точке. Точка установки контрольного объема называется нулевой (или базовой) линией. По вертикали на графике откладывается скорость потока, по горизонтали – время. Все потоки, которые в конкретной данной точке движутся в направлении к датчику, располагаются на графике выше базовой линии, все потоки, которые движутся в направлении от датчика, – ниже базовой линии.

Необходимо помнить о том, что скорость кровотока может изменяться на протяжении каждого сердечного цикла в зависимости от акта дыхания. Особенно четко это можно видеть у детей и подростков. В том случае, если скорость потока нормальная, он называется ламинарным (равномерным, идеальным) и будет регистри-

роваться на экране с четкими контурами в режиме импульсно-волнового доплера. Если скорость потока возрастает, то он называется турбулентным, и в импульсно-волновом режиме невозможно зафиксировать четко его контуры (рис. 4.1).

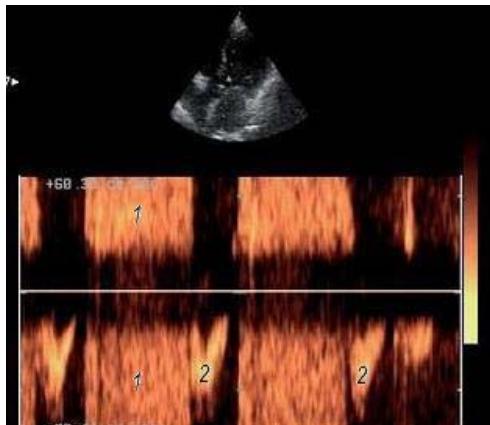


Рис. 4.1. Эхограмма турбулентного (1) и ламинарного (2) потоков

Режим импульсно-волнового доплера

Поскольку импульсно-волновой доплер (PW) позволяет оценить кровоток в любой точке, стандартное доплеровское исследование включает в себя, прежде всего, оценку нормальной гемодинамики сердца – кровотока в приносящем и выносящем трактах левого и правого желудочков и в магистральных сосудах.

Трансмитральный диастолический поток. Для исследования трансмитрального диастолического потока контрольный объем следует установить в левом желудочке на уровне концов створок митрального клапана или в области фиброзного атриовентрикулярного кольца. Оптимальной для исследования кровотока на митральном клапане является апикальная четырехкамерная позиция (рис. 4.2). Диастолический поток через митральный клапан направлен к датчику и регистрируется выше базовой линии. После щелчка – закрытия аортального клапана – регистрируется время, которое необходимо для снижения давления в полости левого желудочка, – время изовольюмического расслабления левого желудочка (isovolumic relaxa-

tion time – IVRT). Затем следует щелчок – открытие митрального клапана (вертикальная линия на рис. 4.2, *а*). Кровь устремляется из левого предсердия в полость левого желудочка – в точке Е давление между камерами выравнивается.

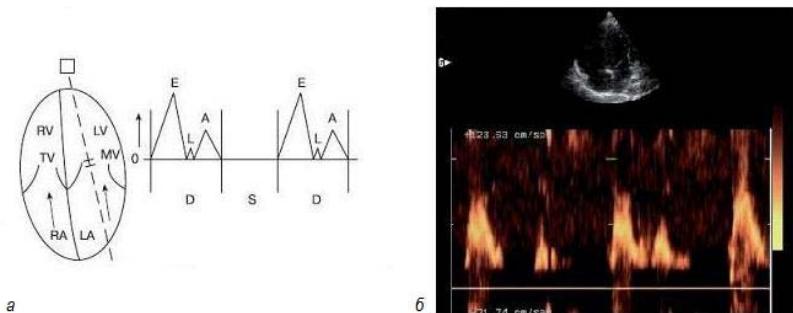


Рис. 4.2. Исследование трансмитрального диастолического потока:
а – схема установки контрольного объема при регистрации трансмитрального диастолического потока в апикальной четырехкамерной позиции и форма потока, (S – систолическая и D – диастолическая фазы работы сердца; вертикальные линии – щелчок – открытие и закрытие митрального клапана);
б – нормальный трансмитральный диастолический поток, зарегистрированный в режиме импульсно-волнового допплера. На спектре четко видны пики Е, А и L, щелчок – открытие митрального клапана. Ниже изолинии видны помехи, возникающие от движения створок и хорд

После того как давление в левом желудочке превысило давление в левом предсердии, створки митрального клапана начинают закрываться и полностью захлопываются. Пик Е соответствует раннему диастолическому наполнению. После этого наступает период диастазиса, в течение которого можно наблюдать небольшой пассивный ток крови из предсердия в желудочек (пик L на рис. 4.2). Пик L часто можно видеть у детей и подростков. Давление в левом предсердии повышается, поскольку в него продолжается ток крови из легочных вен. Происходит систола левого предсердия, и остаточный объем крови поступает в левый желудочек (пик А на рис. 4.2). Створки митрального клапана закрываются. На графике можно видеть щелчок – закрытие митрального клапана. Пик А соответствует позднему диастолическому наполнению, или систоле предсердия. Соотношение скоростей, соответствующих пикам Е и А, в норме больше или равно 1. Скорость в пике Е у здорового молодого человека составляет около 1,0 м/с, а в пике А – (0,2–0,4) м/с.

С помощью импульсно-волнового доплера можно измерить целый ряд характеристик потока крови (рис. 4.3):

AT (acceleration time) – время ускорения потока, т.е. время от щелчка открытия митрального клапана до пика скорости потока (в м/с);

DT (deceleration time) – время замедления потока, то есть время от пика скорости до базовой линии;

ET (ejection time) – время выброса, то есть время от щелчка открытия до щелчка закрытия клапана;

V_{cp} – средняя скорость потока, вычисляется как сумма скоростей потока, измеренных через каждые 2 мс, деленная на число измерений;

VTI (velocity time integral) – интеграл линейной скорости потока:

$$VTI = V_{cp} \cdot ET \text{ (в см или м);}$$

V_{max} – максимальная скорость потока (в м/с или см/с);

IVRT (isovolumic relaxation time) – время изовольюмического расслабления;

IVCT (isovolumic contractility time) – время изовольюмического сокращения.

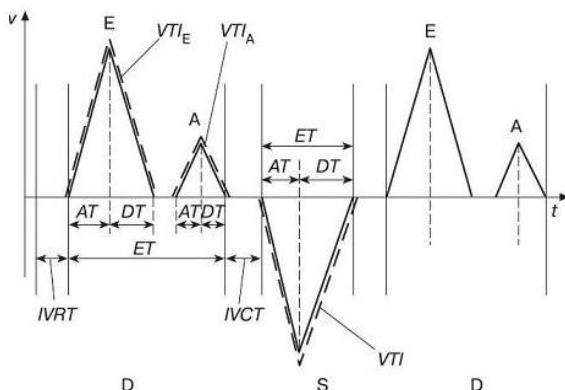


Рис. 4.3. Схема стандартных измерений в режиме импульсно-волнового доплера на примере трансмитрального диастолического потока (фаза D) и потока в выносящем тракте левого желудочка (фаза S)

Кровоток в выносящем тракте левого желудочка. Оптимальной для исследования кровотока в выносящем тракте левого желудочка (left ventricular outflow tract – LVOT) является апикальная пятикамерная позиция. Кровь течет в направлении от датчика.

Поток будет располагаться ниже базовой линии. Контрольный объем следует установить в выносящем тракте левого желудочка под створками аортального клапана (рис. 4.4).

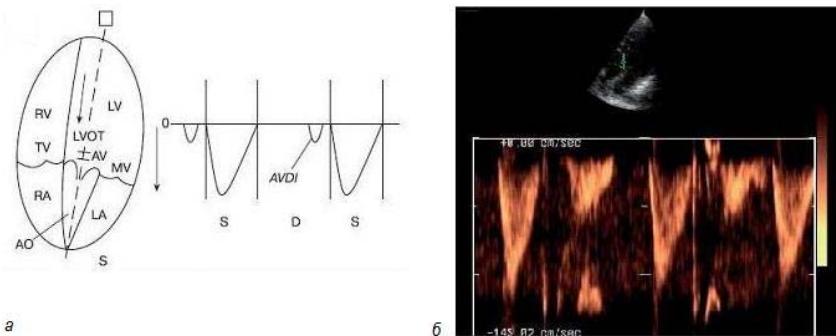


Рис. 4.4. Исследование кровотока в выносящем тракте левого желудочка в систолу (S):

а – схема установки контрольного объема при регистрации систолического потока в выносящем тракте левого желудочка в апикальной пятикамерной позиции и форма потока; *б* – нормальный систолический поток в выносящем тракте левого желудочка, зарегистрированный в режиме импульсно-волнового доплера. На спектре четко видны щелчки открытия и закрытия аортального клапана, предсердно-желудочковый диастолический интервал (AVDI)

После щелчка – закрытия митрального клапана давление в полости левого желудочка начинает расти. Время от щелчка – закрытия митрального клапана до щелчка – открытия аортального клапана – называют временем изоволююмического сокращения левого желудочка (IVCT). Створки аортального клапана открываются, и кровь устремляется из камеры с большим давлением – из левого желудочка в камеру с меньшим давлением – в аорту. В начале систолы давление в камерах выравнивается, и поток достигает пика скорости. Давление в аорте начинает превалировать над давлением в левом желудочке, створки аортального клапана прикрываются, скорость потока уменьшается. В момент закрытия створок аортального клапана на графике регистрируется щелчок – закрытие. В норме в выносящем тракте левого желудочка (LVOT) пик скорости потока смещен в первую половину систолы. До щелчка – открытия аортального клапана при сохраненном синусовом ритме можно зафиксировать предсердно-желудочковый диастолический интервал,

соответствующий систоле предсердия (atrio ventricular diastolic interval – AVDI). В том случае, если отсутствует стеноз аортального клапана, форма потока в LVOT и его основные характеристики соответствуют потоку в аорте. Скорость потока в аорте немного выше, чем в выносящем тракте левого желудочка. С помощью импульсно-волнового доплера можно измерить ряд характеристик потока. В норме скорость потока в LVOT составляет около (0,8–1,2) м/с, а скорость AVDI составляет (0,2–0,4) м/с. Нормальная скорость потока в аорте над створками клапана равна (1,0–1,7) м/с. При увеличении частоты сердечных сокращений скорость кровотока возрастает.

Транстрикуспидальный диастолический поток. Диастолический поток через трикуспидальный клапан можно зарегистрировать, установив контрольный объем в правом желудочке над створками трикуспидального клапана или в области правого фиброзного атриовентрикулярного кольца (рис. 4.5).

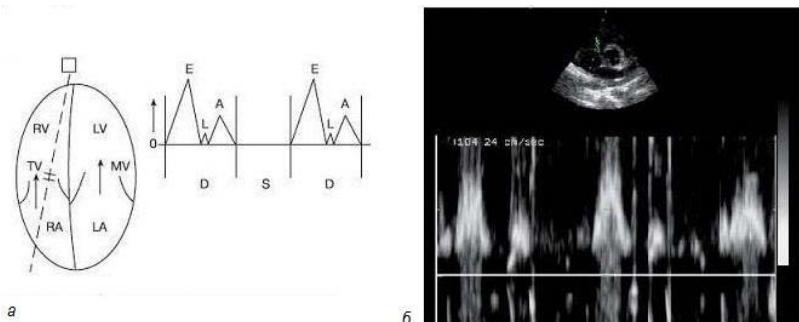


Рис. 4.5. Исследование транстрикуспидального диастолического потока:

а – схема установки контрольного объема при регистрации транстрикуспидального диастолического потока в апикальной четырехкамерной позиции и форма потока; *б* – нормальный транстрикуспидальный диастолический поток, зарегистрированный в режиме импульсно-волнового доплера. Скорость пиков Е и А меньше, чем на митральном клапане. Четко виден щелчок – открытие трикуспидального клапана

Форма потока напоминает трансмитральный поток, скорости в пиках Е и А будут ниже, чем в левом отделе сердца. Пик Е соответствует быстрому диастолическому наполнению правого желудочка, пик А – позднему диастолическому наполнению, или систоле пра-

вого предсердия. Поток направлен к датчику, поэтому регистрируется выше базовой линии. В период диастазиса может наблюдаться пассивный ток крови из правого предсердия в правый желудочек (пик L). Время изовольюмического расслабления и сокращения правого желудочка может быть измерено на графике аналогично измерениям в левом сердце. У нормального здорового пациента пиковые скорости транстрикуспидального потока ниже, чем на митральном клапане. Скорость пика E составляет (0,3–0,7) м/с.

Кровоток в выносящем тракте правого желудочка. Для анализа кровотока в выносящем тракте правого желудочка (RVOT) и в легочной артерии можно использовать парастернальную, или субкостальную, позицию по короткой оси на уровне концов створок аортального клапана. Контрольный объем устанавливают в правом желудочке под створками клапана легочной артерии (рис. 4.6). Поток в систолу направлен из правого желудочка в легочную артерию, от датчика (на графике расположен ниже базовой линии).

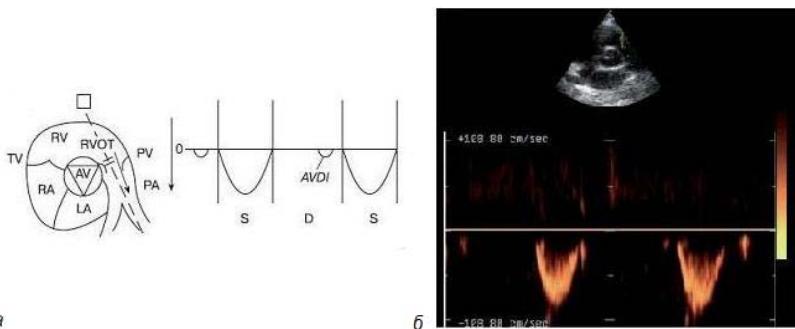


Рис. 4.6. Исследование кровотока в выносящем тракте правого желудочка в систолу:
 а – схема установки контрольного объема при регистрации систолического потока в выносящем тракте правого желудочка в парастернальной позиции по короткой оси и форма потока; б – нормальный поток в выносящем тракте правого желудочка, зарегистрированный в режиме импульсно-волнового доплера. Пик скорости потока находится в середине систолы. Скорость потока меньше, чем в LVOT

Форма потока в отличие от потока в выносящем тракте левого желудочка равнобедренная, пик скорости потока смешен в середину систолы. В выносящем тракте правого желудочка при сохраненном синусовом ритме также может регистрироваться предсердно-

желудочковый диастолический интервал – AVDI. Скорость потока ниже, чем в левом сердце, измерения проводятся аналогично измерениям в выносящем тракте левого желудочка. В норме скорость потока в RVOT составляет (0,8–1,0) м/с, время выброса больше, чем в LVOT (табл. 4.1).

Таблица 4.1

Максимальные скорости кровотока (в м/с), измеренные неинвазивно с использованием допплерографии
(Hatle L., Angelsen B., 1982)

Место установки контрольного объема	Дети	Взрослые
Трансмитральный диастолический поток	1,0 (0,8–1,3)	0,90 (0,6–1,3)
Транстрикуспидальный диастолический поток	0,6 (0,5–0,8)	0,50 (0,3–0,7)
Легочная артерия	0,90 (0,7–1,1)	0,75 (0,6–0,9)
Выносящий тракт левого желудочка	1,0 (0,7–1,2)	0,9 (0,7–1,1)
Аорта	1,50 (1,2–1,8)	1,35 (1,0–1,7)

Кровоток в восходящем отделе аорты. Исследование кровотока в восходящем отделе грудной аорты проводят в супрастернальной позиции. Контрольный объем следует установить в восходящем отделе аорты над створками аортального клапана (рис. 4.7). Если перемещать контрольный объем выше, вдоль курсора, по направлению к дуге аорты, то можно проследить изменение формы потока. Поток направлен к датчику и располагается выше базовой линии, по мере приближения к дуге аорты скорость убывает.

Кровоток в грудном нисходящем отделе аорты. Для анализа кровотока в грудном нисходящем отделе аорты используют супрастернальную позицию. Контрольный объем устанавливают в точке перехода дуги аорты в нисходящий отдел и затем перемещают вниз, вдоль курсора (рис. 4.8). Форма потока (S) изменяется, поток расположен ниже нулевой линии, так как направлен от датчика. Скорость потока незначительно возрастает по мере удаления от дуги аорты. В конце систолы в грудной нисходящей аорте имеется в норме реверсия потока (RS).

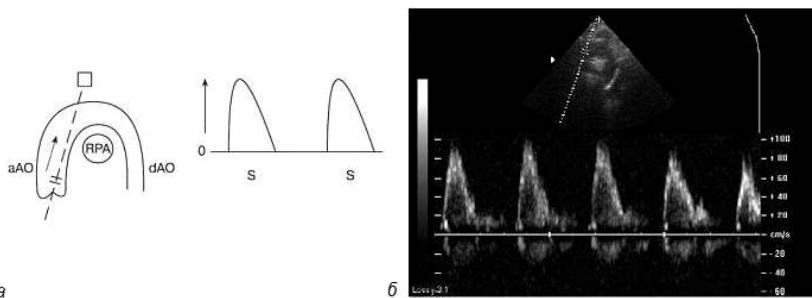


Рис. 4.7. Исследование кровотока в восходящем отделе аорты:

а – схема установки контрольного объема при регистрации потока в восходящем отделе аорты в супрастернальной позиции и форма потока; *б* – нормальный поток в восходящем отделе аорты

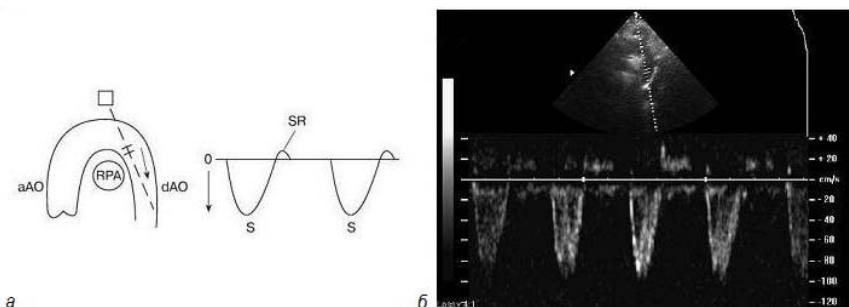


Рис. 4.8. Исследование кровотока в грудном нисходящем отделе аорты:

а – схема установки контрольного объема при регистрации потока в грудном нисходящем отделе аорты в супрастернальной позиции и форма потока; *б* – нормальный поток в грудном нисходящем отделе аорты. Реверсия потока в конце систолы

Кровоток в легочных венах. При трансторакальном исследовании в ряде случаев удается наблюдать кровоток в легочных венах. Для этого используют апикальную четырехкамерную позицию, а контрольный объем устанавливают в месте впадения правой легочной вены в левое предсердие на расстоянии 0,5–1 см от устья (рис. 4.9).

Поток состоит из систолического (S), диастолического (D) и предсердного компонентов (A). Скорость систолического потока больше, чем диастолического. Эти потоки регистрируются выше базовой линии. В момент систолы левого предсердия в норме про-

исходит незначительная реверсия крови в легочные вены; пик А, соответствующий систоле предсердия, располагается ниже базовой линии. Анализ кровотока в легочных венах проводится при ряде заболеваний (констриктивный перикардит, тампонада сердца, рестриктивная кардиомиопатия и т.д.), а также для анализа давления в левом предсердии и расчета конечного диастолического давления в левом желудочке.

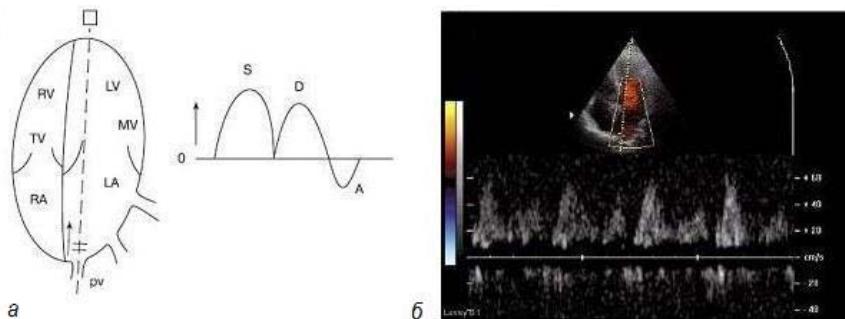


Рис. 4.9. Исследование кровотока из правой верхней легочной вены:
 а – схема установки контрольного объема при трансторакальной регистрации потока в легочной вене в апикальной позиции и форма потока; б – нормальный поток из легочной вены, зарегистрированный в режиме импульсно-волнового доплера. Регистрируются систолическая, диастолическая и предсердная фазы потока

Кровоток в печеночных венах. Анализ кровотока в печеночных венах проводят в субкостальной позиции. Контрольный объем устанавливают в печеночную вену, в месте ее впадения в нижнюю полую вену (рис. 4.10). Поток из печеночной вены в нижнюю полую вену имеет систолическую (S), диастолическую (D) и предсердную (A) фазы. В момент систолы правого предсердия часть крови забрасывается назад в печеночную вену и нижнюю полую вену. Систолическая и диастолическая фазы потока направлены от датчика, поэтому регистрируются ниже базовой линии. Пик А соответствует реверсии потока в систолу правого предсердия, направлен к датчику и располагается выше базовой линии. Анализ кривой потока в печеночной вене составляет важную часть исследования у больных с легочной гипертензией (табл. 4.2).

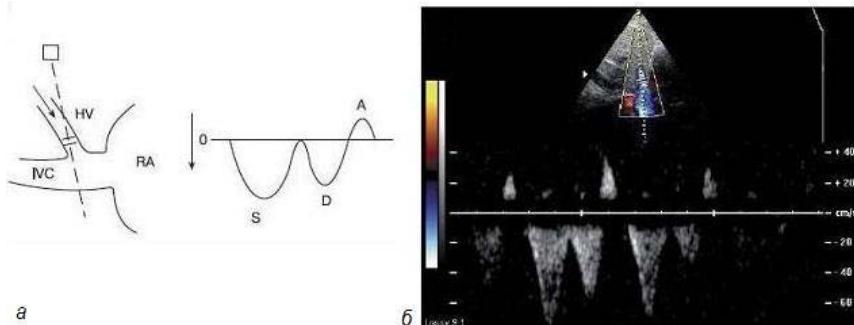


Рис. 4.10. Исследование кровотока в печеночной вене:

а – схема установки контрольного объема при регистрации потока в печеночной вене в субкостальной позиции и форма потока; б – нормальный поток в печеночной вене, зарегистрированный в режиме импульсно-волнового доплера.

Регистрируются систолическая, диастолическая и предсердная фазы потока.

В норме имеется незначительная зависимость скорости потока от акта дыхания

Таблица 4.2

Доплерографические измерения в норме
(Otto C., Pearlman A., 1995)

Показатель	Локализация			
	Аорта		Легочная артерия	
V_{cp} , см/с	92 (72–120)		63 (44–78)	
ET , мс	294 (265–325)		331 (280–380)	
AT , мс	98 (83–118)		159 (130–185)	
	Левый желудочек	Правый желудочек		
Возраст, годы	>50 лет	<50 лет	>50 лет	<50 лет
V_E , см/с	72 \pm 14	62 \pm 14	51 \pm 7	41 \pm 8
V_A , см/с	40 \pm 10	59 \pm 14	27 \pm 8	33 \pm 8
E/A	1,9 \pm 0,6	1,1 \pm 0,3	2,0 \pm 0,5	1,34 \pm 0,4
DT_E , см	179 \pm 20	210 \pm 36	188 \pm 22	198 \pm 23
$IVRT$, см	76 \pm 11	90 \pm 17	76 \pm 11	90 \pm 17
	Левый желудочек	Правый желудочек		
Возраст, годы	>50 лет	<50 лет	>50 лет	<50 лет
Пик S, см/с	48 \pm 9	71 \pm 9	46 \pm 8	-
Пик D, см/с	50 \pm 10	38 \pm 9	27 \pm 8	-
Пик A, см/с	19 \pm 4	23 \pm 14	-	-

Режим высокой частоты повторения импульсов

Данный метод (HPRF), как известно, является многоканальной разновидностью импульсно-волновой допплерографии и основан на использовании нескольких уровней отражения сигнала. Контрольные объемы расположены один за другим на различной глубине. Это позволяет регистрировать кровоток, скорость которого превышает 2,5 м/с. В настоящее время ряд фирм – производителей ультразвукового оборудования предлагает аппараты с высокой частоты смены импульсов, с помощью которого можно регистрировать скорость кровотока до 5–6 м/с, что позволяет заменить режим непрерывно-волнового доплера.

Режим непрерывно-волнового доплера

Этот режим (CW) используется для регистрации высокоскоростного кровотока (рис. 4.11). Недостаток метода заключается в том, что на графике регистрируются все потоки по ходу луча. В том случае, если имеется комбинированный порок сердца, трактовка полученного графика может быть затруднена. Методика CW допплеровского исследования требует отличного знания гемодинамики, так как позволяет произвести расчеты давления в полостях сердца и магистральных сосудах в ту или иную фазу сердечного цикла, рассчитать степень значимости стеноза и т.д. Современная эхокардиография невозможна без использования режима CW.

С помощью CW можно анализировать и нормальный кровоток при отсутствии патологии. Необходимо помнить о том, что на графике будут регистрироваться все потоки по ходу курсора.

Основным уравнением CW является уравнение Бернулли.

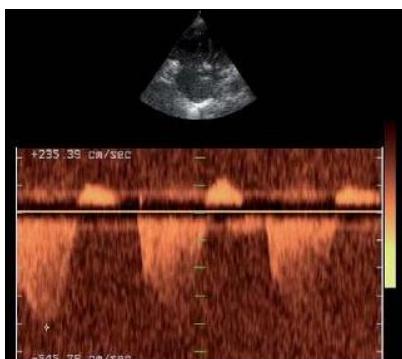


Рис. 4.11. Исследование в режиме непрерывно-волнового доплера для регистрации высокоскоростного потока ($V_{tp} = 4$ м/с)

Упрощенное уравнение Бернулли выглядит следующим образом:

$$PG = 4 \cdot v^2,$$

где PG – разница давления, или градиент давления (в мм рт. ст.); v – скорость кровотока (в м/с).

С помощью этого уравнения можно определить разницу давления между камерами в норме и при наличии патологического высокоскоростного кровотока. В норме разница давления между камерами в ту или иную фазу сердечного цикла составляет от 2 до 10 мм рт. ст. Так, если скорость потока через митральный клапан составляет 1 м/с в диастолу, то: $PG = 4 \cdot 1^2 = 4$ мм рт. ст. Данная разница давлений является нормальной.

Режим цветового доплера

Этот режим не требует длительного обучения и значительно упрощает задачу исследователя. В зависимости от позиции можно проследить нормальный кровоток и выявить патологический. Сопоставив цветовой доплер с курсором CW или контрольным объемом PW, можно произвести необходимые расчеты. Цветовой доплер – аналог импульсно-волнового доплера, где направление и скорость кровотока картируются различным цветом. Так, кровоток к датчику принято картировать красным цветом, от датчика – синим цветом. На рис. (4.12–4.17) показан нормальный кровоток в режиме цветового доплеровского сканирования в различных стандартных позициях.



Рис. 4.12. Поток на митральном клапане в период диастолического наполнения в режиме цветового доплера. Апикальная позиция. Поток направлен к датчику, картируется красным цветом. Регистрируется кровоток из легочных вен

Рис. 4.13. Поток в выносящем тракте левого желудочка в режиме цветового доплера. Апикальная позиция. Поток направлен от датчика, картируется синим цветом. В области межжелудочковой перегородки в LVOT в норме регистрируется турбулентный спектр потока

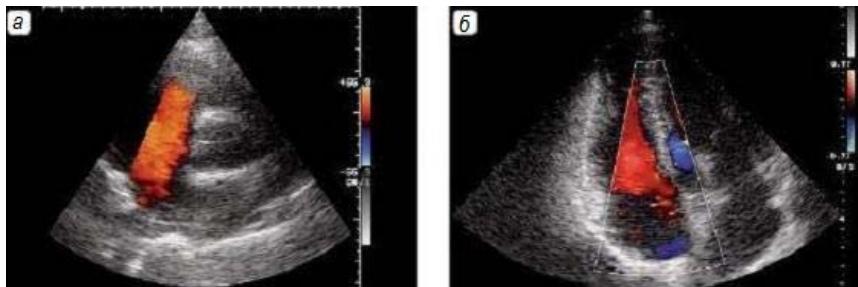


Рис. 4.14. Диастолический поток на триkuspidальном клапане в режиме цветового доплера:

а – параптернальная позиция, короткая ось аортального клапана; *б* – апикальная позиция. Поток картируется красным цветом, направлен к датчику. В полости правого предсердия, вдоль межпредсердной перегородки, регистрируется систолико-диастолический поток из верхней полой вены, картируется красным цветом. Поток направлен к датчику, часто ошибочно принимается за поток через дефект межпредсердной перегородки

Рис. 4.15. Систолический поток в выносящем тракте правого желудочка и в легочной артерии в параптернальной позиции по короткой оси в режиме цветового доплера. Поток направлен от датчика, картируется синим цветом



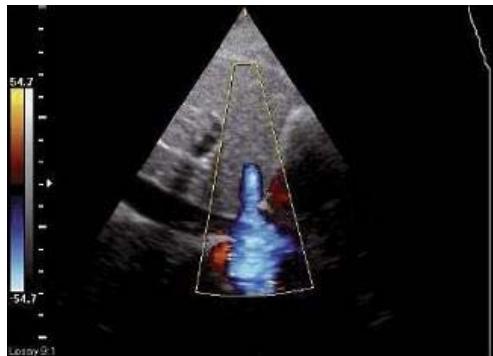


Рис. 4.16. Цветовое доплеровское картирование кровотока в печеночной вене



Рис. 4.17. Цветовое доплеровское картирование кровотока в брюшном отделе аорты

Турбулентный кровоток картируется сине-зелено-желтым цветом. Цветовой доплер позволяет быстро выявить патологический кровоток. Необходимо помнить, что в данном случае должен быть непрямой угол между кровотоком и ультразвуковым лучом, так как если этот угол равен 90° , то на экране будет фиксироваться «мертвая» зона (рис. 4.18). Следует обратить внимание на характер потока в выносящем тракте левого желудочка в апикальной пятикамерной позиции. Вдоль межжелудочковой перегородки в выносящем тракте регистрируется в систолу желто-зеленый турбулентный поток, возникающий за счет сужения выносящего тракта. Данный поток часто ошибочно принимают за поток аортальной регургитации. Искажение спектра цветового доплера можно наблюдать на фоне

тахикардии (рис.4.19). В данном случае ускоренный кровоток будет регистрироваться через все клапаны.

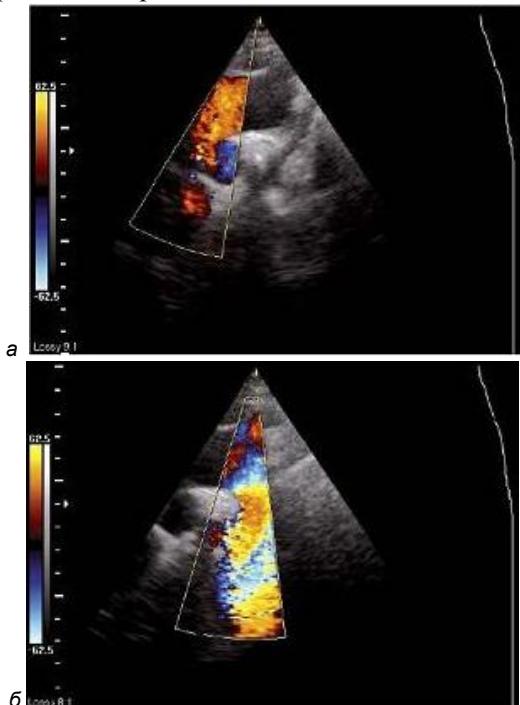
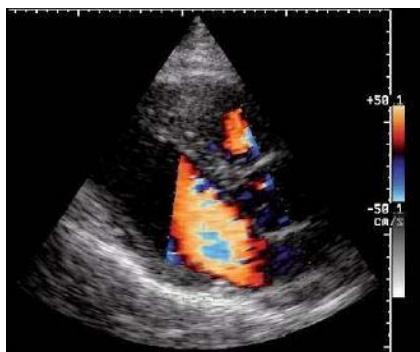


Рис. 4.18. Поток в восходящем (а) и нисходящем (б) отделах аорты в режиме цветового доплера в супрастернальной позиции. Поток в восходящем отделе аорты направлен к датчику, картируется красным цветом, в нисходящем отделе аорты – от датчика, картируется синим цветом. В области дуги аорты, под местом установки датчика, регистрируется «мертвая» зона

Рис. 4.19. Изменение спектра цветового доплера на фоне тахикардии у здорового человека



M-режим цветового доплера

Сопоставление *M*-режима и цветового доплера при проведении курсора через ту или иную плоскость позволяет разобраться с фазами сердечного цикла и патологическим кровотоком. Метод вспомогательный, эффективен при небольшом навыке работы с цветом (рис. 4.20).

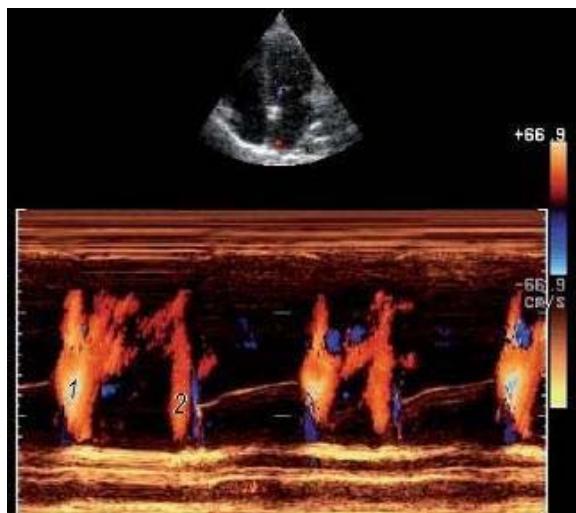


Рис. 4.20. Цветовой *M*-режим модального доплера:
1 – раннее диастолическое наполнение левого желудочка;
2 – позднее диастолическое наполнение левого желудочка

Режим энергетического доплера

Применяется для регистрации низкоскоростного кровотока, поэтому в кардиологии он пока не находит активного применения. При использовании энергетического доплера теряется направление кровотока. В настоящее время есть сообщения об использовании энергетического доплера в сочетании с контрастными препаратами (левовист, альбунекс и др.) для изучения перфузии миокарда и выявления скрытых зон нарушения локальной сократимости.

4.2. ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ДВИЖЕНИЯ МИОКАРДА И ФИБРОЗНЫХ КОЛЕЦ СЕРДЕЧНЫХ КЛАПАНОВ

Эти исследования проводятся с использованием режимов тканевого доплера. Вообще говоря, тканевой доплер позволяет изучать любые движущиеся ткани сердца: миокарда, клапанного аппарата, стенок предсердий и сосудов, дополнительных патологических внутрисердечных образований (тромбы, опухоли, вегетации). Однако наибольшее значение имеет изучение движения именно миокарда, так как ему присуща собственно сократительная функция сердца, а также изучение движения фиброзных колец митрального и трикуспидального клапанов, кинетика которых во многом определяет продольную компоненту функции сокращения желудочков сердца.

Скорость движения миокарда, отражаемая при тканевом доплеровском исследовании, представляет собой сумму нескольких движений, нередко разнонаправленных (рис. 4.21). Прежде всего, это – собственно сокращение и расслабление миокарда. В систолу все сегменты миокарда сокращаются и движутся по направлению к центру тяжести сердца.

Наоборот, в диастолу все сегменты движутся от центра тяжести, который в норме расположен в точке, соответствующей 69 % расстояния от переднебокового края аортального клапана до верхушки. Кроме того, происходит общее движение сердца в грудной клетке на протяжении сердечного цикла. Во время систолы сердце ротируется и движется по направлению к грудной стенке (к датчику), а во время диастолы – в обратную сторону. Наряду с этим сердце испытывает влияние других тканей, движущихся в непосредственной близости от сердца. Это

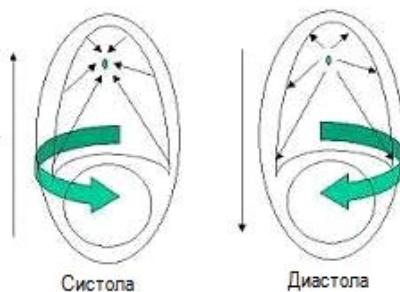


Рис. 4.21. Схема направлений основных векторов движения миокарда в систолу и диастолу желудочков (Garcia – Fernandez M. A., 1998)

могут быть передаточное движение сердца и возвратное движение окружающих тканей, пульсация сосудов, дыхательные движения. Тканевой доплер в каждый момент времени отражает вектор скорости, который является результатом не только сокращения миокарда, но и всех перечисленных движений. Поэтому не следует отождествлять скорости движения миокарда только с их собственно сократительной функцией.

Информация о скорости и направлении движения тканей сердца, получаемая с помощью тканевого доплера, может быть представлена несколькими режимами (рис. 4.22). Все эти режимы базируются на обработке двухмерной кинопетли скоростей, получаемой в тканевом доплере, и могут быть воспроизведены в режиме off-line.



Рис. 4.22. Схема режимов тканевого доплера

Тканевой импульсно-волновой доплер

Наиболее доступным и широко распространенным является импульсно-волновой режим тканевого доплера. Этот режим позволяет регистрировать в виде спектрограммы (рис. 4.23) скорость тех участков миокарда или других сердечных структур, которые попадают в контрольный объем на протяжении сердечного цикла из конкретной зоны интереса. Доплерограмма движений миокарда состоит из трех основных пиков: систолического и двух диастолических, противоположно направленных (рис. 4.24).

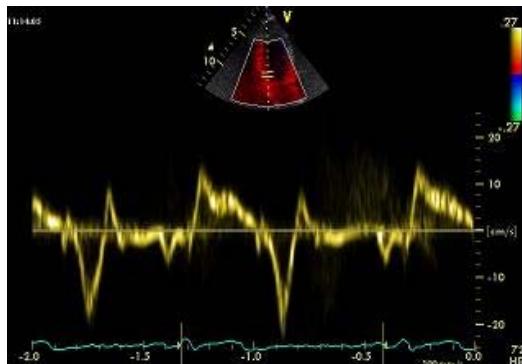


Рис. 4.23. Тканевой доплер в импульсно-волновом режиме, движение базального отдела боковой стенки ЛЖ. Апикальная четырехкамерная позиция

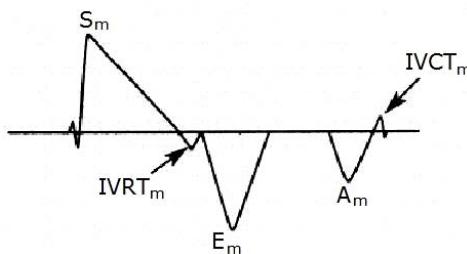


Рис. 4.24. Схема маркировки спектрограммы движения миокарда в импульсно-волновом режиме тканевого доплера:

S_m – систолический пик движения миокарда; E_m – движение миокарда в раннюю диастолу; A_m – движение миокарда в fazu sокращения предсердий; $IVRT_m$ – сегментарное время изоволюмического расслабления для данного сегмента миокарда; $IVCT_m$ – сегментарное время изоволюмического сокращения для данного сегмента миокарда

Сокращение миокарда в поперечном направлении осуществляется в основном за счет циркулярно расположенных волокон в среднем слое миокарда, а в продольном направлении – за счет продольных субэндокардиально расположенных волокон. Функция последних, в первую очередь, нарушается при ишемической болезни сердца, так как субэндокардиальные слои миокарда находятся в наиболее неблагоприятных условиях коронарного кровоснабжения.

Регистрация допплеровского сигнала от миокарда из верхушечных позиций преимущественно отражает вектор продольного сокращения, обусловленного сокращением субэндокардиальных слоев миокарда, так как вектор поперечного сокращения циркулярных волокон лежит под углом 90° по отношению к ультразвуковому лучу и, следовательно, не оказывает влияния на сдвиг частоты допплеровского сигнала. Обратная ситуация наблюдается при регистрации движения миокарда в режиме тканевого доплера из поперечных сечений, где движение миокарда в основном образуется циркулярно расположенными волокнами миокарда, а продольное движение оказывается под углом 90°, и им можно пренебречь.

Теоретически возможна регистрация сегментарного радиального (поперечного) движения миокарда из паракоронарного доступа по длинной или короткой оси, ротационного – из паракоронарного доступа по короткой оси и продольного – из верхушечного доступа в позиции по длинной оси левого желудочка, на четыре и две камеры сердца. Однако на практике в основном анализируются только продольные движения для сегментов стенок левого и правого желудочков.

Систолическая волна варьирует по форме и скорости в зависимости от сегментов миокарда. В продольном сечении максимальная систолическая скорость составляет в норме от 8 до 18 см/с. Однако у пациентов с объемной перегрузкой или у молодых лиц с высокой частотой сердечных сокращений максимальная систолическая скорость может быть и больше. Для межжелудочковой перегородки и для нижней стенки левого желудочка более характерен монофазный систолический пик (рис. 4.25, а), а для передней и боковой стенок – двухфазный с высоким первым пиком (рис. 4.25, б). Предполагается, что этот ранний пик в большей степени обусловлен движением сегментов нежели их собственным сокращением.

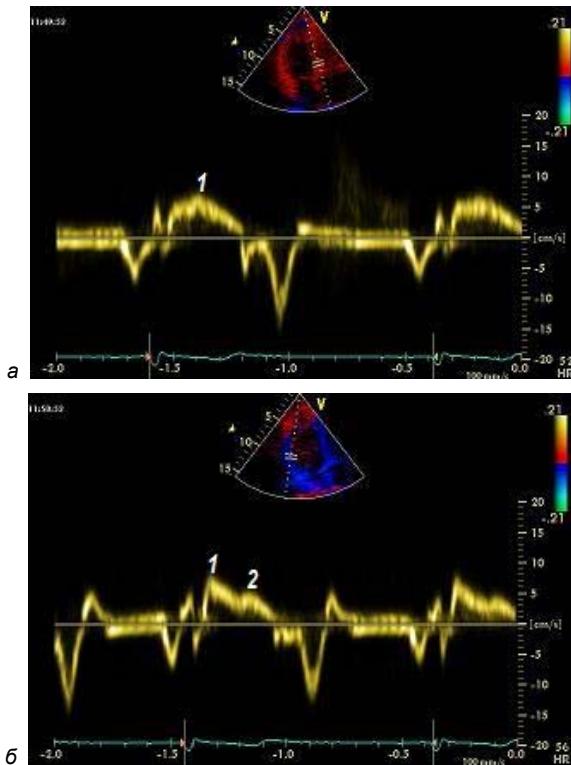


Рис. 4.25. Тканевой импульсно-волновой доплер, апикальная четырехкамерная позиция. Спектрограммы движения:

а – базального отдела межжелудочковой перегородки с монофазным систолическим пиком (*1*); *б* – базального отдела латеральной стенки с двухфазным систолическим пиком (*1* и *2*)

Диастолическое движение миокарда в значительной степени напоминает по форме перевернутый трансмитральный кровоток и состоит из двух пиков: движения, соответствующего раннему расслаблению, и движения, соответствующего сокращению предсердий. Эти пики по аналогии с трансмитральным кровотоком обозначаются буквами E_m и A_m или «е» и «а», только строчными.

В норме у молодых лиц соотношение пиков E_m/A_m более 1 практически во всех сегментах сердца. Это соотношение зависит от возраста и у лиц старших возрастных групп соотношение пиков E_m/A_m становится менее 1 (табл. 4.3 – 4.5).

Таблица 4.3

**Значения некоторых параметров движения
митрального фиброзного кольца у здоровых лиц
в импульсно-волновом режиме тканевого доплера**
(Edner M. et al., 2000)

Показатель	Все обследованные ($M \pm \sigma$ и пределы значений)	Возрастные группы, годы ($M \pm \sigma$)		
		20–39	40–59	60–81
<i>n</i>	88	25	34	39
Перегородочный отдел фиброзного кольца митрального клапана				
S', см/с	7,7 ± 1,4 (5,3–13,0)	8,2 ± 1,1	8,2 ± 1,5	6,9 ± 1,1
E', см/с	9,7 ± 2,8 (4,5–16,7)	12,3 ± 2,3	10,3 ± 1,8	7,0 ± 1,7
A', см/с	9,2 ± 2,3 (4,0–14,3)	7,5 ± 2,2	10,0 ± 2,1	9,7 ± 1,7
E' / A'	1,2 ± 0,6 (0,42,8)	1,8 ± 0,6	1,1 ± 0,3	0,8 ± 0,2
IVRT', мс	82,2 ± 24 (35–137)	66,6 ± 23	79,1 ± 22	99,2 ± 25
Боковой отдел фиброзного кольца митрального клапана				
S', см/с	9,9 ± 2,9 (5,0–15,7)	11,3 ± 2,6	10,4 ± 2,7	8,1 ± 2,6
E', см/с	12,8 ± 4,3 (4,0–23,3)	16,9 ± 3,4	13,0 ± 3,1	9,1 ± 2,5
A', см/с	9,2 ± 2,9 (3,7–16,0)	7,3 ± 2,7	9,8 ± 2,4	10,2 ± 2,8
E' / A'	1,6 ± 1,0 (0,4–5,5)	2,7 ± 1,2	1,4 ± 0,5	0,9 ± 0,3
IVRT', мс	76,1 ± 27 (33–200)	62,7 ± 16,8	69,8 ± 3,4	93,9 ± 29,7

Таблица 4.4

**Значения некоторых параметров импульсно-волнового режима
тканевого доплера в норме**
(Павлюкова Е.Н. и др., 2002¹)

Сегмент	Максимальная скорость движения сегментов ² миокарда				IVRT _m , мс
	S _m , см/с	E _m , см/с	A _m , см/с	E _m /A _m	
Переднеперегородочный базальный	7,87 ± 1,41	10,41 ± 3,39	7,91 ± 2,02	1,37 ± 0,35	58,50 ± 11,57
Переднеперегородочный средний	7,48 ± 1,52	10,03 ± 2,54	7,51 ± 2,05	1,42 ± 0,40	57,58 ± 11,31
Передний базальный	11,03 ± 3,16	14,68 ± 3,78	9,33 ± 3,21	1,67 ± 0,47	53,33 ± 10,71
Передний средний	10,00 ± 3,17	12,37 ± 3,16	8,18 ± 2,77	1,64 ± 0,49	56,00 ± 10,36
Боковой базальный	10,39 ± 4,16	14,36 ± 3,52	9,10 ± 3,79	1,71 ± 0,57	52,78 ± 9,45
Боковой средний	9,91 ± 3,66	12,39 ± 3,19	8,21 ± 2,85	1,62 ± 0,55	57,94 ± 8,01
Задний базальный	9,79 ± 2,56	13,66 ± 4,21	8,61 ± 2,13	1,63 ± 0,43	55,03 ± 9,27
Задний средний	8,94 ± 2,99	11,69 ± 3,33	7,77 ± 2,26	1,60 ± 0,47	54,78 ± 7,03

Сегмент	Максимальная скорость движения сегментов ² миокарда				IVRT _m , мс
	S _m , см/с	E _m , см/с	A _m , см/с	E _m /A _m	
Нижний базальный	9,27±2,24	13,69±2,65	10,36±2,49	1,37±0,32	52,61±11,83
Нижний средний	8,00±2,42	11,51±2,79	8,42±2,26	1,42±0,34	56,97±12,29
Нижнеперегородочный базальный	8,27±2,19	12,18±2,44	9,85±3,07	1,30±0,31	56,78±10,53
Нижнеперегородочный средний	7,09±2,18	11,72±2,37	8,43±2,56	1,38±0,29	56,48± 9,78
Верхний переднеперегородочный	8,21± 2,0	9,28 ±2,06	6,84 ±1,83	1,45±0,37	59,45 ±8,56
Верхний заднебоковой	8,82 ±2,83	10,24±2,91	7,12 ±2,47	1,52±0,36	58,85± 8,35
Верхний нижнеперегородочный	7,08± 1,94	9,27±2,59	6,55 ±1,66	1,46±0,33	58,79±10,02

¹Авторы использовали 15-сегментную схему деления левого желудочка.

² Обозначения: S_m – в систолу, E_m – в раннюю диастолу, A_m – в фазу сокращения предсердий, IVRT_m – сегментарное время изоволюмического расслабления.

Таблица 4.5

Значения продольных скоростей движения сегментов миокарда в систолу и диастолу в режиме обработки тканевого доплера у здоровых лиц (M +σ) (n = 10)

Сегмент	S _m , см/с	E _m , см/с	A _m , см/с	E _m /A _m
Переднеперегородочный:				
базальный	4,7 ± 0,9	7,3 ± 1,7	4,8 ± 1,1	1,6 ± 0,7
средний	3,0 ± 0,9	5,9 ± 1,9	3,4 ± 1,1	1,9 ± 0,8
Передний:				
базальный	5,8 ± 2,6	7,8 ± 2,3	2,3 ± 1,1	4,2 ± 2,1
средний	4,4 ± 2,6	5,6 ± 1,3	1,8 ± 1,6	5,0 ± 2,6
Переднебоковой:				
азальный	6,8 ± 2,5	10,2 ± 3,3	3,6 ± 2,2	4,4 ± 2,9
средний	6,0 ± 3,7	6,5 ± 3,6	1,9 ± 1,2	4,8 ± 2,5
Заднебоковой:				
базальный	6,8 ± 3,0	10,2 ± 3,6	4,1 ± 2,3	3,6 ± 2,4
средний	5,6 ± 3,5	7,7 ± 4,2	2,4 ± 1,8	4,8 ± 4,4
Задний:				
базальный	6,0 ± 0,7	9,8 ± 3,0	6,3 ± 2,1	2,1 ± 2,0
средний	4,7 ± 0,6	7,3 ± 2,4	4,5 ± 1,3	1,9 ± 1,2
Заднеперегородочный:				
базальный	5,3 ± 0,9	8,6 ± 1,8	5,9 ± 1,2	1,6 ± 0,6
средний	3,8 ± 0,7	7,3 ± 1,5	4,3 ± 1,1	1,9 ± 0,8

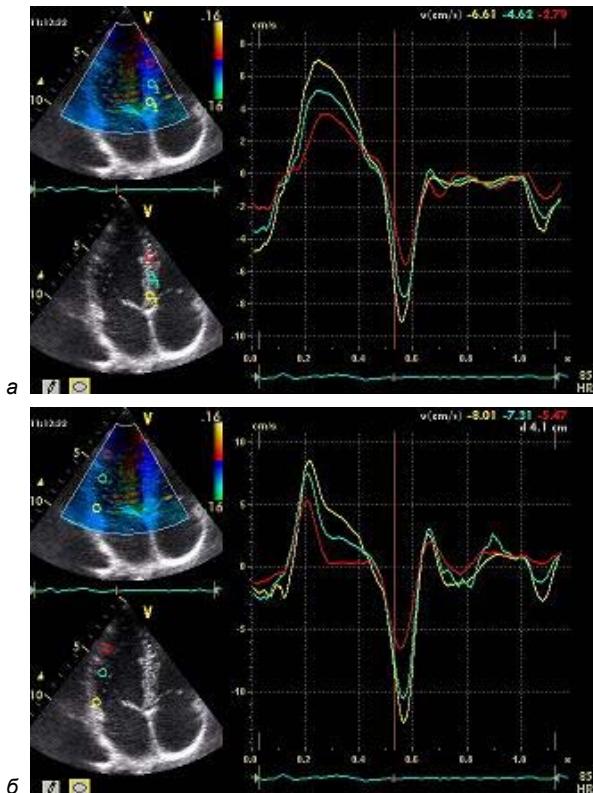


Рис. 4.26. Реконструированные кривые скорости движения миокарда, полученные с использованием обработки цветового тканевого допплеровского изображения в апикальной четырехкамерной позиции. Продольные скорости движения миокарда в систолу и диастолу уменьшаются по направлению к верхушке в МЖП (а) и в боковой стенке (б), что указывает на внутрижелудочковый градиент скорости

Во время диастазиса в норме могут наблюдаться небольшие движения миокарда. Между окончанием систолического движения и началом движения, соответствующего раннему расслаблению миокарда, происходит серия очень быстрых низкоскоростных движений, связанных с деротацией и изменением формы желудочков. Так как верхушка сердца в норме остается относительно фиксированной на протяжении сердечного цикла, а основание сердца движется к верхушке в систолу и от нее в диастолу, продольные скорости движе-

ний миокарда имеют внутрижелудочковый градиент в пределах каждой стенки с наибольшей скоростью в базальных сегментах. Особенно отчетливо внутрижелудочковый градиент в пределах каждой стенки желудочков удается проследить по реконструированным кривым скоростей движения миокарда, которые отражают движение различных сегментов в одном и том же сердечном цикле (рис. 4.26).

Радиальные скорости из параптернального доступа также имеют внутрижелудочковый градиент (с наибольшей скоростью в базальных сегментах) и внутримиокардиальный градиент с наибольшей скоростью в субэндокардиальных отделах и наименьшей – в субэпикардиальных отделах (рис. 4.27). Продольные скорости правого желудочка больше продольных скоростей соответствующих сегментов левого желудочка.

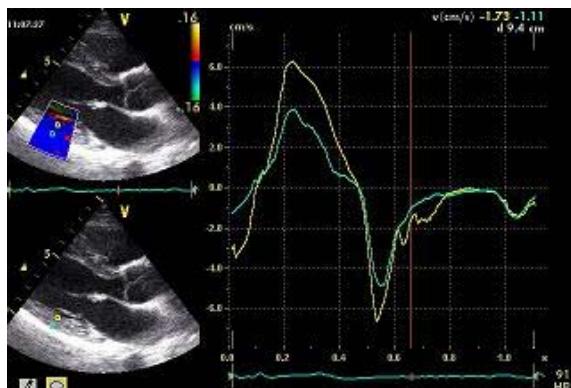


Рис. 4.27. Реконструированные кривые скорости движения миокарда, полученные с использованием обработки цветового тканевого допплеровского изображения в параптернальной позиции по длинной оси левого желудочка. Скорости субэндокардиальных слоев (желтая кривая) больше скорости субэпикардиальных слоев задней стенки (зеленая кривая), что указывает на внутримиокардиальный градиент скорости

Тканевой импульсно-волновой допплер использовался для количественной оценки движения миокарда при самых разнообразных заболеваниях и патологических состояниях. Однако в клинической практике применение этого метода для количественной оценки движения миокарда малопригодно, так как он требует много времени для проведения исследования. С практической точки зрения

импульсно-волновой спектральный режим тканевого допплера преимущественно используется для регистрации скорости движения фиброзных колец атриовентрикулярных клапанов, что позволяет ввести интегральный показатель глобальной продольной сократительной функции желудочков и сделать тканевой допплер востребованным в повседневной практике.

Тканевой импульсно-волновой допплер фиброзных колец атриовентрикулярных клапанов. Клиническое применение тканевого допплера для оценки продольной функции желудочков основано на измерениях скорости и смещения фиброзных колец атриовентрикулярных клапанов. Возможность такого подхода исходит из относительной неподвижности верхушки сердца и смещения основания сердца в систолу к верхушке, а в диастолу от нее. Укорочение и удлинение длинной оси главным образом обусловлено продольно расположенным субэндокардиальными волокнами миокарда, которые являются наиболее уязвимым слоем миокарда, страдающим в первую очередь при различных болезнях сердца.

Регистрация движения фиброзных колец атриовентрикулярных клапанов в импульсно-волновом тканевом допплеровском режиме наиболее проста методически и максимально воспроизводима по сравнению с регистрацией движений различных сегментов миокарда. Этому способствует как наибольшая скорость перемещения фиброзных колец атриовентрикулярных клапанов, так и четкость анатомических ориентиров их выделения по сравнению с сегментами миокарда.

В норме спектрограммы скоростей перемещения фиброзных колец атриовентрикулярных клапанов в целом аналогичны спектрограммам скоростей движения базальных сегментов миокарда (рис. 4.28). С возрастом наблюдается небольшое уменьшение систолической скорости движения фиброзных колец (см. табл. 4.3).

Продольные скорости движения фиброзных колец могут быть зарегистрированы в импульсно-волновом режиме тканевого допплера в апикальных четырех-, двух- и пятикамерных позициях (рис. 4.29). Оценка движения фиброзного кольца митрального клапана позволяет судить о глобальном движении левого желудочка в систолу и диастолу, а оценка движения трехстворчатого клапана – о глобальном движении правого желудочка.

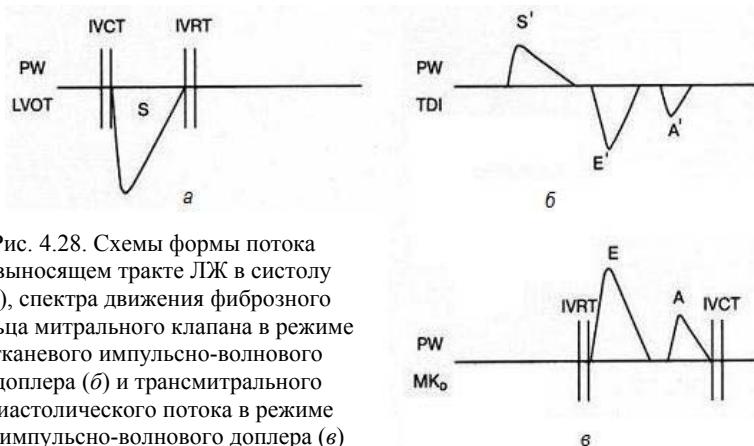


Рис. 4.28. Схемы формы потока в выносящем тракте ЛЖ в sistолу (a), спектра движения фиброзного кольца митрального клапана в режиме тканевого импульсно-волнового доплера (b) и трансмитрального диастолического потока в режиме импульсно-волнового доплера (c)

в норме:

S – sistолический поток в выносящем тракте ЛЖ; S' – sistолическая скорость смещения; E' – ранняя диастолическая скорость смещения; A' – поздняя диастолическая скорость или скорость смещения в фазу сокращения предсердий; E – ранняя диастолическая скорость кровотока; A – поздняя диастолическая скорость; IVRT – время изовольюмического расслабления ЛЖ; IVCT – время изовольюмического сокращения ЛЖ

Спектрограмма движения фиброзного кольца по форме напоминает спектрограмму движения миокарда и состоит из трех пиков. Первый пик антеградно направлен (выше изолинии) и отражает sistолическую скорость (S' или S_m, или S_a, или s). Еще два пика ретроградно направлены и регистрируются в диастолу: ранний диастолический (E или E_m, или E_a, или e) и поздний диастолический или предсердный (A' или A_m, или A_a, или a). Здесь и далее пики движения миокарда в режиме тканевого доплера обозначаются с индексом _m (S_m, E_m, A_m), пики движения фиброзных колец атриовентрикулярных клапанов с верхним штрихом (S', E', A').

В ряде случаев может быть зарегистрирован дополнительный антеградный пресистолический пик (между окончанием A' и началом S'). Этот пик не всегда регистрируется на спектрограммах движения фиброзного кольца митрального клапана, но достаточно отчетливо выражен на спектрограммах движения фиброзного кольца трикуспидального клапана, где скорости больше вследствие относительно небольшой постнагрузки правого желудочка.

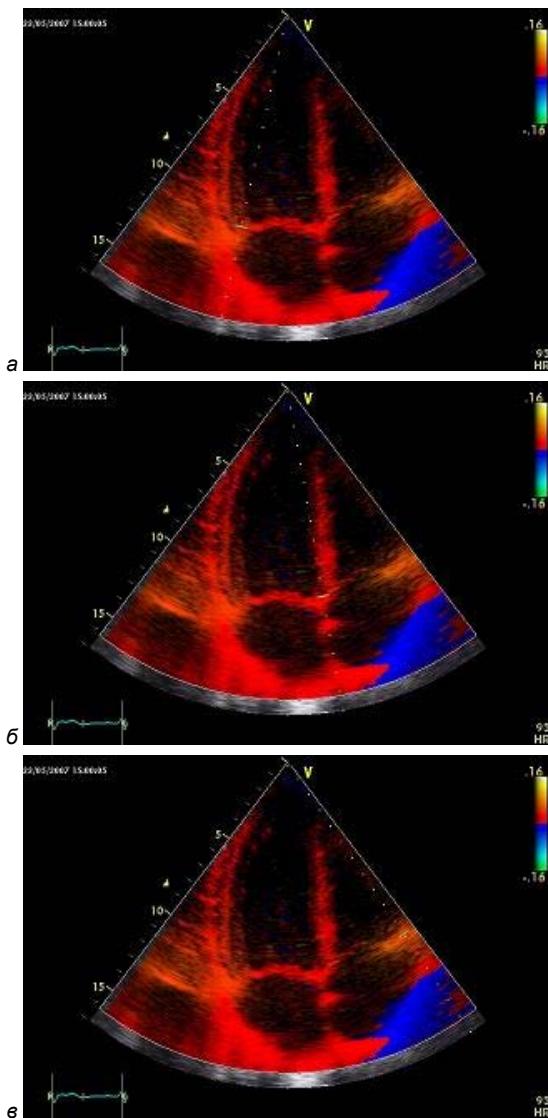


Рис. 4.29. Места расположения зоны интереса в импульсно-волновом режиме тканевого доплера при исследовании движения фиброзных колец в апикальной четырехкамерной позиции: *а* – латеральная часть фиброзного кольца митрального клапана; *б* – медиальная часть фиброзного кольца митрального клапана, *в* – латеральная часть фиброзного кольца трехстворчатого клапана

Оценка скоростей и временных интервалов позволяет получить количественную информацию о продольной сократительной функции сердца. Получаемая при этом информация в значительной степени отражает характеристики, которые могут быть получены при оценке движения фиброзных колец в хорошо знакомом и широко распространенном *M*-режиме. Согласованность между этими режимами хорошая, но тканевой импульсно-волновой доплер имеет несомненное преимущество из-за простоты регистрации спектрограммы, а также легкости и быстроты ее количественной оценки.

Таким образом, тканевой доплер фиброзных колец атриовентрикулярных клапанов позволяет быстро и неинвазивно оценивать глобальную систолическую и диастолическую функции желудочков, а при совместной оценке с кровотоком через атриовентрикулярные клапаны – и давление в полостях сердца, которое также в значительной степени определяется функцией сердца.

В табл.4.6. приводятся нормальные и патологические значения некоторых показателей движения фиброзных колец в импульсно-волновом режиме тканевого доплера.

Таблица 4.6

**Нормальные и патологические значения некоторых показателей
движения фиброзных колец в импульсно-волновом режиме
тканевого доплера**
(Galderizi M., Mondillo S., 2007)

Показатель	В норме	Нарушения	
		небольшие	выраженные
S' митрального кольца, см/с	>9	7–4	<3
E' митрального кольца, см/с	>9	7–4	<3
E/E' левого желудочка	<8		>15
S' трехстворчатого кольца, см/с	>13	12–10	<10
E' трехстворчатого кольца, см/с	>12	10–8	<8

Для эффективного применения импульсно-волнового режима тканевого доплера для оценки движения фиброзных колец всегда следует помнить, что выраженные атриовентрикулярные регургитации являются основным ограничением его использования. Тка-

невой доплер фиброзного кольца, представляя собой интегральный показатель, обычно не позволяет адекватно судить о специфических причинах снижения функции сердца.

Цветовой режим тканевого доплера

Этот метод в отличие от спектрального позволяет отдельно анализировать эндокардиальные и эпикардиальные слои миокарда. Цветовые режимы тканевого доплера, как и цветовые режимы исследования кровотока, отражают среднюю скорость движения и результирующую направления движения в виде двухмерного изображения (рис. 4.30).

Максимальные и средние скорости, интеграл скорости и временные интервалы могут быть измерены в каждом сегменте миокарда, в каждом слое миокарда и в каждый момент времени на протяжении сердечного цикла. Основными ограничениями цветового тканевого доплера являются низкая частота кадров и соответственно низкое временное разрешение. Постоянный прогресс в технологии формирования луча и параллельный процессинг увеличили частоту кадров в ультразвуковых системах до уровня, позволяющего адекватно анализировать большинство сердечных событий (временное разрешение достигает 10 мс).

В основе всех режимов и инструментов обработки лежат набор и сохранение (acquisition) цифровых данных о скорости и направлении движения каждого участка изучаемого объекта для их последующего анализа. Набор и сохранение цифровых данных проводятся в режиме цветового тканевого доплера. Анализ обычно выполняется в формате off-line и открывает очень широкие перспективы для оценки сложных пространственно – временных соотношений как собственно механической, так и электромеханической активности сердца на протяжении систолы и диастолы.

Средства анализа и представления цифровых данных скорости весьма многообразны, поставляются в виде пакетов программ и способны работать в режиме off – line на рабочих станциях и персональных компьютерах без использования ультразвуковых сканеров. Подобные пакеты программ представляют собой мощные ис-

следовательские инструменты с широкими возможностями как анализа, так и представления получаемых данных.

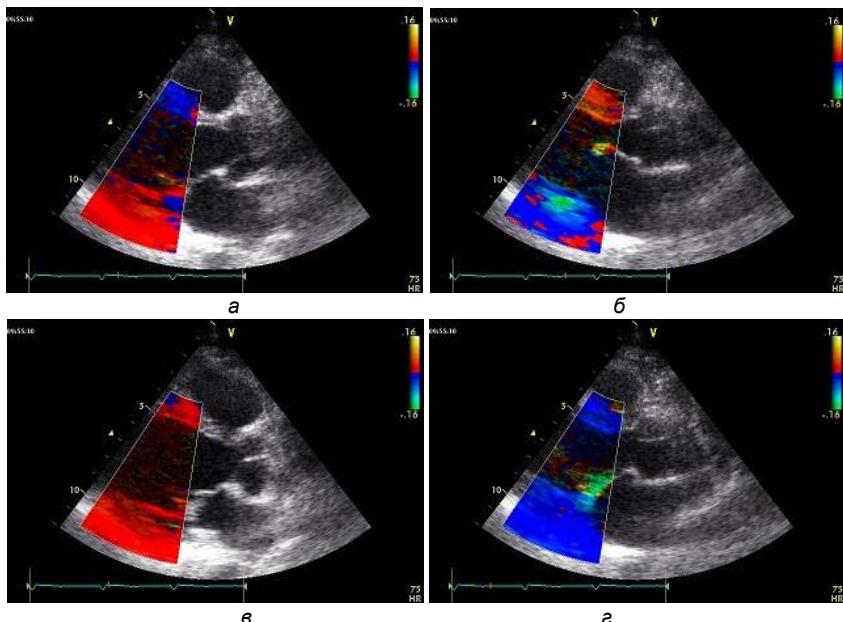


Рис. 4.30. Цветовой тканевой доплер, параастернальная позиция, длинная ось ЛЖ:

а – в систолу: красный цвет задней стенки (к датчику) отражает сокращение стенки плюс общее движение сердца к датчику; синий цвет МЖП (от датчика) отражает сокращение МЖП, преобладающее над общим движением сердца к датчику;

б – в диастолу: синий цвет задней стенки (от датчика) отражает расслабление стенки плюс общее движение сердца от датчика; красный цвет МЖП (к датчику) отражает расслабление МЖП, преобладающее над общим движением сердца от датчика;

в – в фазу изометрического напряжения: МЖП и задняя стенка окрашены красным цветом, отражающим их синхронное движение к датчику за счет общего движения сердца;

г – в фазу изометрического расслабления: МЖП и задняя стенка окрашены синим цветом, отражающим их синхронное движение от датчика за счет общего движения сердца

Для представления данных в этих пакетах широко используются функциональные или параметрические изображения. Функциональные изображения представляют собой пространственную развертку разнообразных событий во времени в формате осей x и y .

При этом по оси x отображается время, а по оси y – анализируемое событие в пределах выбранной пользователем зоны интереса. Функциональные изображения могут быть реконструированы для скорости движения миокарда, ускорения, амплитуды смещения, деформации и скорости деформации и т.д. Клиническое значение ряда режимов и инструментов подобных пакетов программ пока окончательно не определено. Ниже кратко представлены некоторые наиболее широко распространенные из них.

Реконструированная кривая скорости движения миокарда. Этот инструмент позволяет off-line реконструировать кривые скорости движения миокарда на протяжении одного или нескольких последовательных сердечных циклов в любой точке сохраненного набора цифровых данных скорости (рис. 4.31). Этот инструмент может быть реализован для множества произвольно выбранных точек интереса (см. рис. 4.26). Данными точками могут быть различные сегменты миокарда или различные слои миокарда и т.д. (см. рис. 4.27).

График реконструированных кривых скорости движения миокарда аналогичен спектру скорости, получаемому в режиме импульсно-волнового тканевого доплера. Однако следует помнить, что значения скоростей, измеренных в формате off – line, меньше соответствующих значений, полученных on – line в режиме импульсно-волнового тканевого доплера. Это связано с тем, что для реконструкции кривой скорости используются усредненные скорости, полученные в режиме цветового тканевого доплера. Основным преимуществом этого инструмента является возможность реконструкции кривых скорости движения нескольких сегментов или слоев миокарда для одного и того же сердечного цикла.

Миокардиальный градиент скорости. В нормально сокращающемся сердце эндокард движется быстрее эпикарда. Градиент скорости между эндокардом и эпикардом отражает скорость изменения толщины стенки и представляет собой скорость деформации стенки. Систолический миокардиальный градиент скорости является индикатором сегментарной локальной сократимости, причем независимым от общего смещения сердца в грудной клетке. Предложены различные способы расчета миокардиального градиента скорости. В простейшем варианте миокардиальный градиент скорости

может быть рассчитан как разница скоростей движения эндокарда и эпикарда, отнесенная к толщине стенки. Миокардиальный градиент скорости измеряется в 1/с. По сути, этот показатель отражает региональную радиальную скорость деформации. В норме с возрастом максимальный диастолический миокардиальный градиент скорости претерпевает те же изменения, что и максимальная диастолическая скорость.

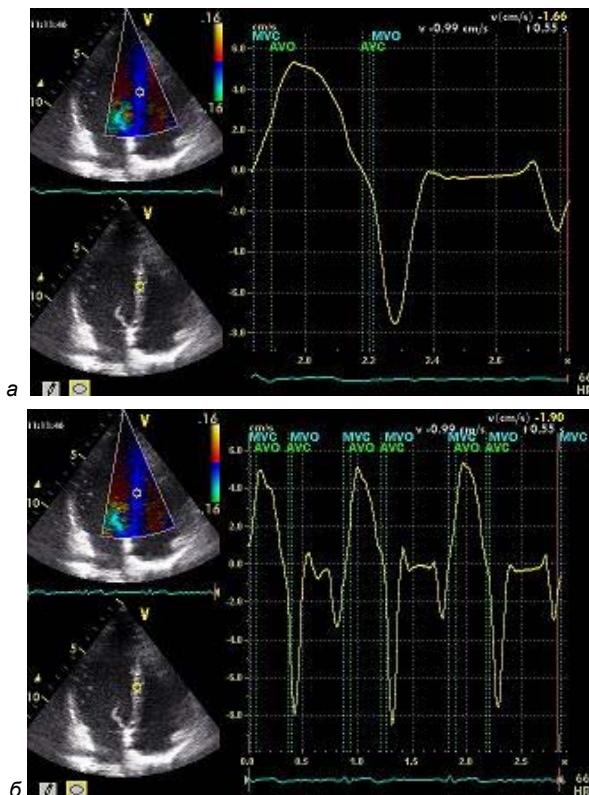


Рис. 4.31. Реконструированная кривая скорости движения среднего перегородочного сегмента миокарда ЛЖ:
 а – на протяжении одного сердечного цикла в апикальной четырехкамерной позиции; б – на протяжении трех последовательных сердечных циклов в апикальной четырехкамерной позиции

M-режим цветового тканевого доплера. Этот режим отображает информацию о скоростях и результирующей направления движения только в пределах одной линии сканирования (рис. 4.32). Цветовой M-режим тканевого доплера не получил распространения в клинической практике из-за ограниченного пространственного разрешения.

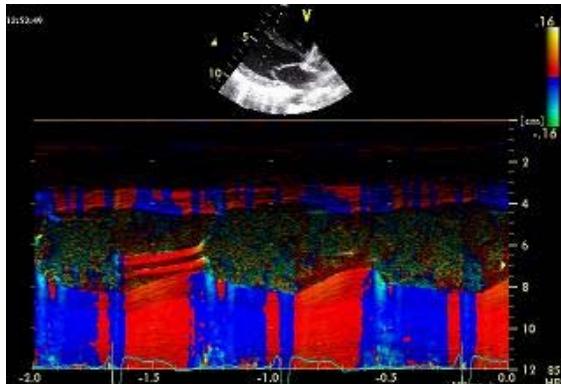


Рис. 4.32. Цветовой M-режим тканевого доплера, парастернальная позиция, длинная ось ЛЖ

Нелинейный (curved) M-режим цветового тканевого доплера. Инструмент представляет собой реконструированное M-модальное цветовое изображение скоростей движения внутрисердечных структур, попадающих на произвольно прочерченную пользователем линию (рис. 4.33). Эта линия может быть ломаной и произвольной длины.

Нелинейный или изогнутый (curved) M-режим цветового доплера позволяет мгновенно и наглядно отобразить временной и скоростной асинхронизм между различными сегментами миокарда. Наиболее оптимально данный инструмент может быть использован для расчета временной задержки событий между разными участками миокарда или иных внутрисердечных структур. Точность расчетов ограничивается временным разрешением (частотой кадров) двухмерного цветового тканевого доплера, которое на современных приборах при использовании узкого сектора сканирования может достигать 10 мс. По сути – это один из вариантов функционального изображения. Применительно к рассматриваемому инст-

рументу анализируемым событием является направление (кодируется красным и синим цветами) и скорость (кодируется оттенками цвета) движения миокарда, а зоной интереса является произвольно прочерченная пользователем линия.

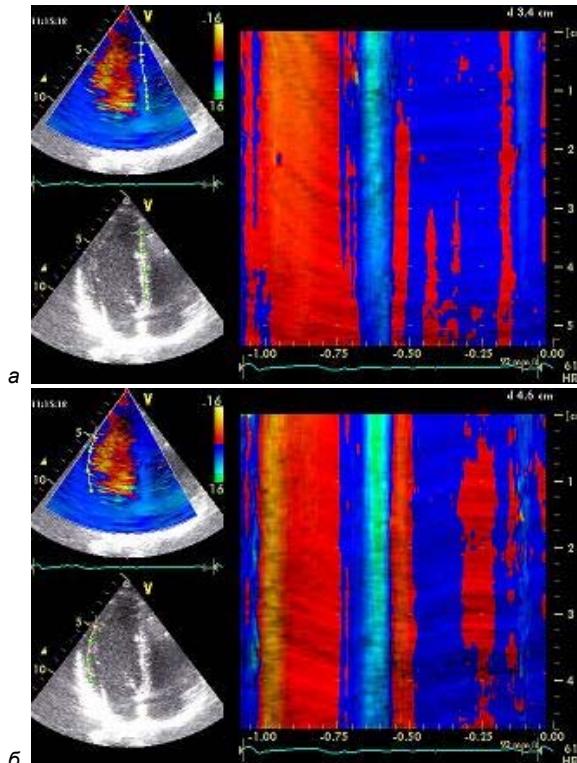


Рис. 4.33. Нелинейный или изогнутый (curved) *M*-режим цветового доплера межжелудочковой перегородки (а) и боковой стенки (б) в апикальной четырехкамерной позиции.

Тканевой след

Тканевой след (tissue tracking) отражает интеграл скорости движения конкретного участка ткани (миокарда) во время систолы. Этот интеграл равен пройденному конкретным участком миокарда расстоянию вдоль оси доплеровского сканирования за время систолы (рис. 4.34).

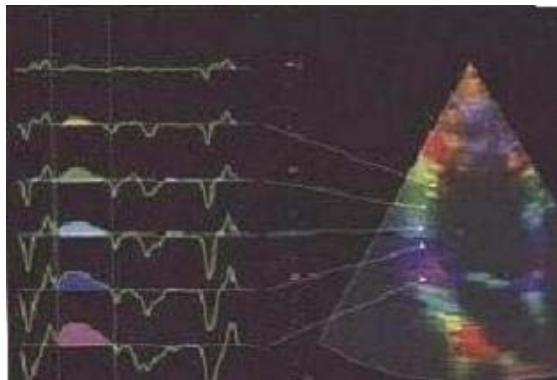


Рис. 4.34. Схема формирования цветовых полос режима тканевого следа

Для адекватной работы данного режима обязательным условием является одновременная регистрация отведения электрокардиограммы (ЭКГ) на экране монитора ультразвукового диагностического прибора. Это необходимо для определения начала и конца систолы желудочков. Тканевой след позволяет быстро оценить амплитуду продольного смещения миокарда желудочков и других сердечных структур по направлению от основания сердца к его верхушке во время систолы желудочков. Оценка проводится из верхушечного доступа шкалой из различных цветов. Каждый цвет кодирует определенную амплитуду продольного смещения в систолу желудочков с последовательным ее увеличением от цвета к цвету (рис. 4.35).

Пределы амплитуды смещения, кодируемой цветами, могут быть произвольно изменены пользователем. Такая возможность позволяет адаптировать шкалу амплитуды смещения к различным гемодинамическим ситуациям (рис. 4.36). Обычно шкалу амплитуды смещения выбирают таким образом, чтобы она прокрашивала максимальное количество сегментов по направлению от верхушки сердца к его основанию. При регистрации тканевого следа сердца из верхушечного доступа наименьшая амплитуда смещения миокарда наблюдается в зоне верхушки с последовательным увеличением амплитуды смещения по направлению к основанию сердца. Максимальная амплитуда смещения обычно приходится на фиброзное кольцо атриовентрикулярных клапанов и прилежащих к ним отделов миокарда желудочков и предсердий. Эта закономер-

ность объясняется наличием в норме внутрижелудочкового градиента скорости с максимальными значениями скоростей в базальных отделах желудочков.

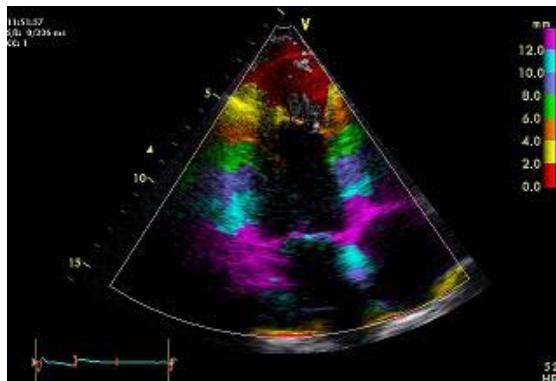


Рис. 4.35. Нормальная сократимость левого желудочка в режиме тканевого следа (фракция выброса левого желудочка более 60%). Апикальная четырехкамерная позиция. Фиброзное кольцо митрального клапана имеет максимальное смещение, превышающее 12 мм (окрашено фиолетовым цветом). Бирюзовым цветом окрашены базальные отделы левого желудочка, имеющие смещение на протяжении систолы в пределах от 10 до 12 мм. Синим цветом окрашены те отделы миокарда левого желудочка, смещение которых составило от 8 до 10 мм и т.д. Минимальное смещение наблюдается в области верхушки сердца, которая окрашена в красный цвет (смещение в систолу составляет не более 2 мм)

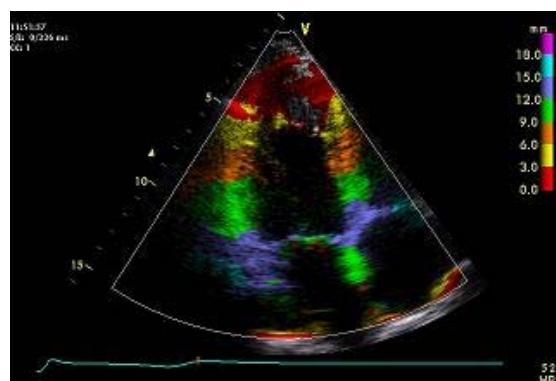


Рис. 4.36. Апикальная четырехкамерная позиция. Тот же пациент, что и на рис. 4.35. Изменена шкала тканевого следа. На изображении отсутствует бирюзовый цвет, кодирующий смещение тканей сердца в диапазоне от 15 до 18 мм, и фиолетовый цвет, указывающий на смещение более 18 мм. Это свидетельствует о том, что максимальное смещение сердца в систолу не превышает 15 мм

Тканевой след используется в клинической практике для быстрой и наглядной оценки глобальной систолической функции левого желудочка (рис. 4.37, 4.38).

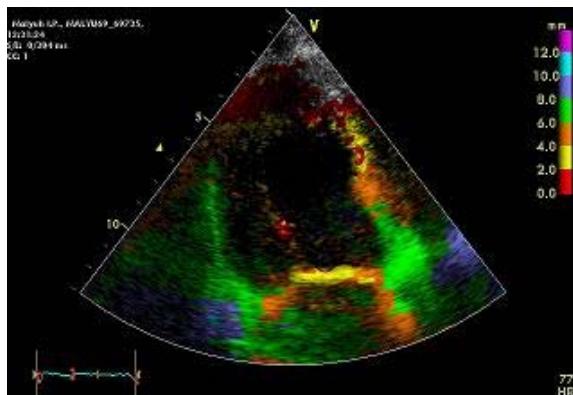


Рис. 4.37. Умеренное снижение глобальной сократимости левого желудочка в режиме тканевого следа (фракция выброса левого желудочка 35–40 %). Апикальная четырехкамерная позиция. Максимальное смещение в области латеральной части фиброзного кольца митрального клапана составляет от 6 до 8 мм (окрашено зеленым цветом)

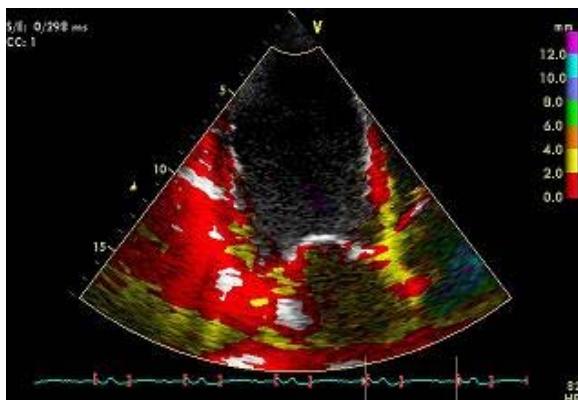


Рис. 4.38. Апикальная четырехкамерная позиция. Максимальное смещение в области фиброзного кольца митрального клапана в режиме тканевого следа не превышает 4 мм (окрашено желтым цветом) у больного со значительным снижением глобальной сократимости левого желудочка (фракция выброса левого желудочка 20%)

Деформация и скорость деформации

Деформация (strain) определяется как деформация объекта по отношению к его начальной форме. Для одномерных (линейных) объектов эта деформация может быть представлена удлинением или укорочением.

Относительное изменение длины и будет являться деформацией (strain), которая обозначается символом \hat{e} и может быть описана следующей формулой $\hat{e} = \frac{L - L_0}{L_0}$,

где L – длина объекта после деформации, а L_0 – исходная длина объекта (рис. 4.39).

Поскольку эта величина является изменением длины относительно исходной величины, то она выражается в %. Если происходит удлинение объекта, то деформация считается положительной величиной, при укорочении объекта – отрицательной.

Скорость деформации (strain rate) отражает скорость, с которой происходит деформация (Strain). Скорость деформации обозначается символом \hat{e}' и измеряется в 1/с. Скорость деформации миокарда рассчитывается на основе пространственного градиента скоростей между двумя соседними точками миокарда:

$$\hat{e}' = \frac{v_1 - v_2}{d}, \text{ где } d \text{ – расстояние}$$

между точками 1 и 2, а v_1 и v_2 – скорости движения в этих же точках (рис. 4.40).

При утолщении сегмента миокарда в радиальном направлении \hat{e}' принимает положительное значение. Истончение сегмента в радиальном направлении характеризуется отрицательным значением \hat{e}' . Продольные изменения деформации сегментов миокарда (полу-

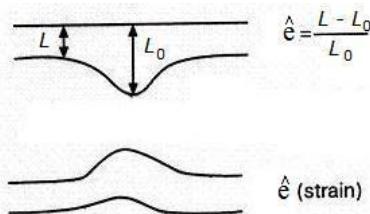


Рис. 4.39. Схема радиальной линейной деформации

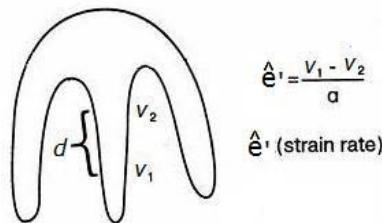


Рис. 4.40. Схема определения продольной скорости деформации миокарда (strain rate)

чаемые из верхушечных позиций датчика) лучше характеризуются терминами «скорость укорочения» в систолу (отрицательное значение \dot{e}') и «скорость удлинения» в диастолу (положительное значение \dot{e}').

Варианты представления деформации миокарда. Локальная скорость деформации миокарда \dot{e}' может быть представлена:

- двуухмерным режимом в формате реального времени (рис. 4.41–4.43);
- изогнутым (curved) *M*-режимом (рис. 4.44);
- кривой, построенной по двухмерным цифровым данным скорости для выбранной точки миокарда (рис. 4.45).

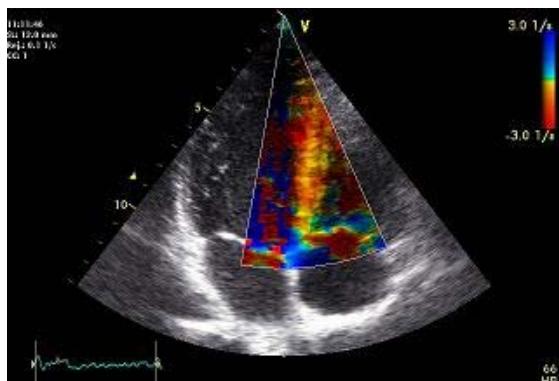


Рис. 4.41. Апикальная четырехкамерная позиция, систола желудочков в режиме скорости деформации \dot{e}' в норме, межжелудочковая перегородка окрашена преимущественно в желтые цвета из-за систолического укорочения по продольной оси

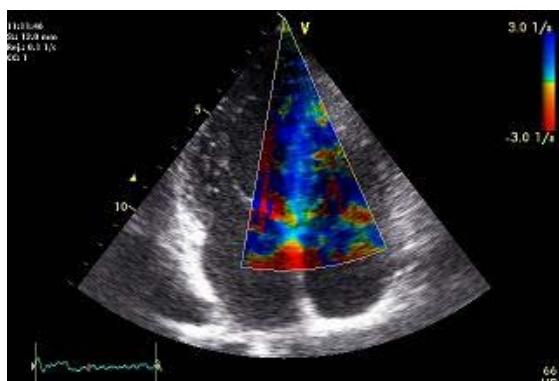


Рис. 4.42. Апикальная четырехкамерная позиция, ранняя диастола желудочков в режиме скорости деформации \dot{e}' в норме. Межжелудочковая перегородка окрашена преимущественно в синие цвета из-за диастолического удлинения по продольной оси

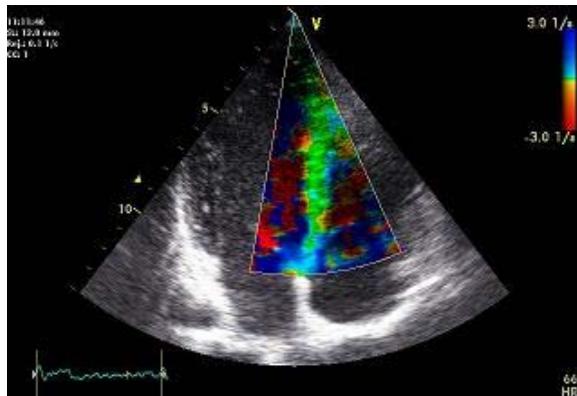


Рис. 4.43. Апикальная четырехкамерная позиция, диастазис в режиме скорости деформации e' в норме. Межжелудочковая перегородка окрашена преимущественно в зеленые цвета, что указывает на нулевые значения скорости деформации

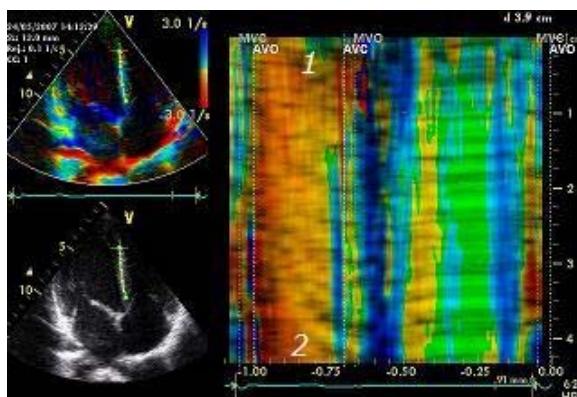


Рис. 4.44. Нелинейный или изогнутый M -режим скорости деформации миокарда межжелудочковой перегородки, апикальная четырехкамерная позиция (1 – основание МЖП; 2 – верхушечные отделы МЖП). В систолу межжелудочковая перегородка окрашена преимущественно в желтые цвета из-за систолического укорочения по продольной оси. В диастолу прослеживаются две синие полосы, соответствующие диастолическому удлинению в фазы раннего и позднего расслабления. Зеленые полосы указывают на отсутствие деформации

Для обозначения изменений e' в двухмерном и M -модальном режимах используются определенные цветовые шкалы. Нарастание отрицательного e' (истончение/уменьшение) отражается шкалой от

желтого цвета к красному, нарастание положительного $\dot{\epsilon}'$ (утолщение/удлинение) – от синего цвета к голубому. Нулевые значения $\dot{\epsilon}'$ кодируются зеленым цветом. Это облегчает визуальное выделение участков миокарда или временных периодов, не содержащих деформации объекта.

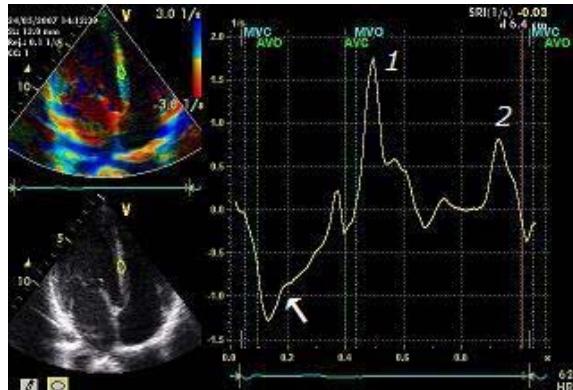


Рис. 4.45. Кривая скорости деформации миокарда (strain rate), апикальная четырехкамерная позиция для среднего сегмента межжелудочковой перегородки. В систолу регистрируются отрицательные значения скорости деформации из-за систолического укорочения (стрелка). В диастолу регистрируются два положительных пика, соответствующих скоростям удлинения в раннюю (1) и позднюю (2) диастолу

Параметры деформации и скорости деформации нормального миокарда. У здоровых лиц продольные систолический и ранний диастолический $\dot{\epsilon}'$ и $\dot{\epsilon}$ относительно гомогенны в пределах базальных, средних и верхушечных сегментов для всех стенок левого желудочка. Максимальный систолический $\dot{\epsilon}'$ равен 1,6 1/c; максимальный ранний диастолический $\dot{\epsilon}'$ – 2,0 1/c; максимальный поздний диастолический $\dot{\epsilon}'$ – 1,0 1/c; систолический $\dot{\epsilon}$ равен 20%. Поздние диастолические $\dot{\epsilon}'$ и $\dot{\epsilon}$ в верхушечных сегментах обычно имеют меньшие значения по сравнению с соответствующими показателями, измеренными в базальных сегментах.

Наибольшие различия кривых скорости движения миокарда и его деформации отмечаются в периоды изоволюмического расслабления и сокращения. В эти периоды стенка может двигаться с

достаточно высокой скоростью, однако деформация миокарда при этом отсутствует (рис. 4.46).

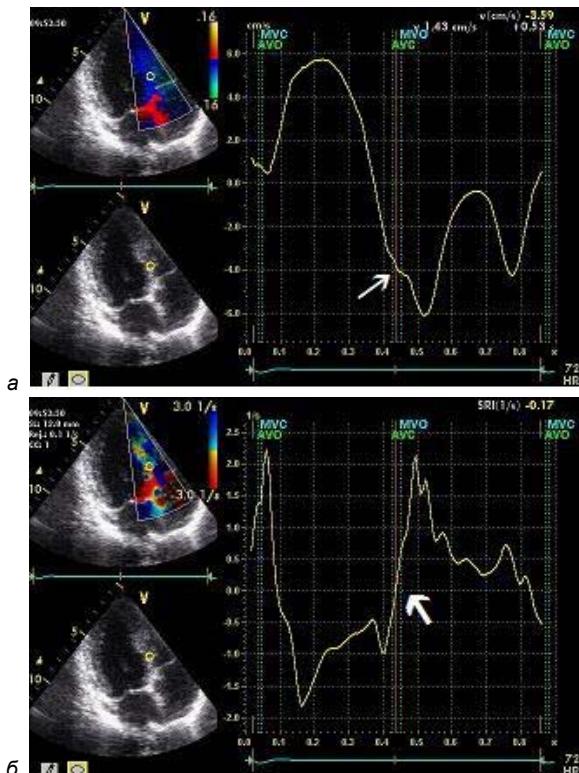


Рис. 4.46. Кривые скорости движения миокарда (а) и его деформации (б).

В период изоволюмического расслабления ЛЖ регистрируется движение от датчика на кривой скорости движения миокарда (стрелка), однако деформация миокарда при этом практически отсутствует (крупная стрелка)

В норме показатели систолического и диастолического \dot{e}' и \ddot{e} примерно вдвое больше в радиальном направлении по сравнению с продольным. Продольные систолический и диастолический показатели \dot{e}' и \ddot{e} правого желудочка больше, чем в левом желудочке, и характеризуются большей гетерогенностью.

В норме после закрытия аортального клапана может наблюдаться небольшая степень утолщения миокарда, особенно в базальных сегментах. Такое постсистолическое утолщение миокарда в

норме не превышает 20% систолического утолщения и как правило составляет около 10%. Обычно постсистолическое утолщение связывают с поздней активацией базальных сегментов.

Регистрация цифровых данных (acquisition) в двухмерном режиме для оптимальной оценки параметров деформации миокарда. Цифровые данные в двухмерном режиме тканевого доплера должны быть зарегистрированы с максимально возможной частотой кадров. Это может быть реализовано при уменьшении сектора сканирования. Для реализации частоты 250 кадров в секунду ширина спектра будет составлять всего 15°. Понятно, что при такой ширине спектра одновременно возможно зарегистрировать только одну из стенок сердца в продольном направлении. Для уменьшения влияния артефактов на качество регистрации в режиме strain rate изучаемая стенка желудочка должна находиться в центре сектора, так как реверберация от ребер обычно наблюдается в боковой части сектора. Стенка желудочка и сектор должны быть ориентированы таким образом, чтобы они были максимально параллельны. Так как режим strain rate базируется на измерении скорости движения тканей, то скоростной диапазон должен подбираться таким образом, чтобы полностью исключить aliasing-эффект¹ во время регистрации данных.

Параметры деформации и скорости деформации миокарда в наибольшей степени по сравнению с другими показателями тканевого доплера отражают сократимость миокарда. Однако не стоит ставить знак равенства между этими понятиями. Степень деформации сокращающегося миокарда зависит от условий пред- и постнагрузки, частоты сердечных сокращений, геометрии левого желудочка и его эластичности, влияния соседних сегментов. И главное, режимы оценки деформации не позволяют дифференцировать активную и пассивную деформацию.

Клиническое значение параметров деформации миокарда заключается в основном в диагностике острой ишемии миокарда и различных форм ишемической дисфункции.

¹ Aliasing-эффект – это появление на экране ультразвукового диагностического аппарата ложных изображений спектра вследствие неоднозначности измерения спектра частот доплеровского сдвига, возникающего при ширине последнего, превышающей частоту повторения зондирующих импульсов.

Режим изображения синхронизации ткани сердца. Этот режим был разработан для облегчения измерения интервала от начала комплекса QRS электрокардиограммы до максимальной систолической скорости движения различных тканей сердца. Он позволяет в формате реального времени с помощью определенной цветовой кодировки идентифицировать интервал от начала комплекса QRS до максимального систолического движения тканей сердца и проводить быстрые количественные измерения этого интервала и сегментарных максимальных систолических скоростей движения. Нормальные значения интервала до максимальной скорости движения, соответствующие 20–150 мс, кодируются зеленым цветом. Желтым цветом кодируется интервал 150–300 мс и красным – интервал 300–500 мс. Получаемые цветовые кодировки в режиме реального времени накладываются на двухмерное изображение (рис. 4.47). С помощью режима изображения синхронизации ткани появляется возможность быстрой визуальной оценки различных видов диссинхронии миокарда. Особую актуальность клиническому использованию режима изображения синхронизации ткани придает внедрение ресинхронизационной терапии.

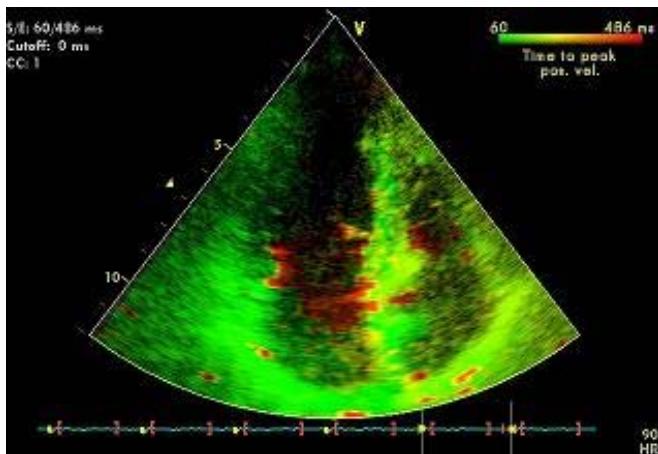


Рис. 4.47. Апикальная четырехкамерная позиция в режиме изображения синхронизации ткани в норме

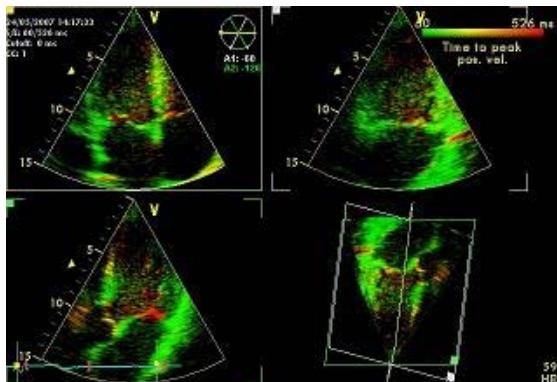


Рис. 4.48. Многоплоскостное сканирование в режиме изображения синхронизации ткани. Кодировка всех стенок ЛЖ зеленым цветом свидетельствует об отсутствии диссинхронии

Режим изображения синхронизации ткани сердца может быть реализован на датчиках, используемых для четырехмерной эхокардиографии, совместно с режимами многоплоскостного сканирования (в двух или даже трех плоскостях) (рис. 4.48). Такие многоплоскостные изображения в режиме синхронизации ткани являются основой для виртуального построения трехмерных моделей синхронизации камер сердца, на которых наиболее наглядно могут быть продемонстрированы зоны диссинхронии (рис. 4.49).

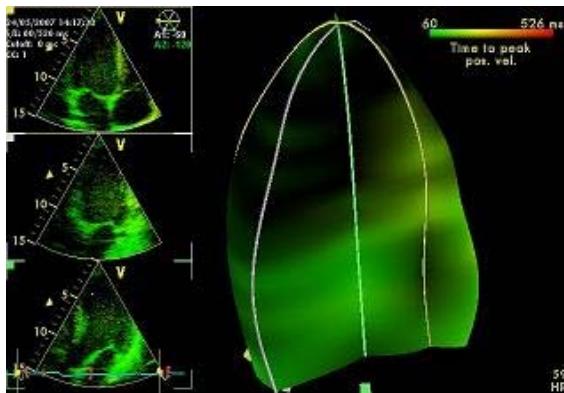


Рис. 4.49. Трехмерная модель синхронизации стенок левого желудочка, построенная на основе многоплоскостного сканирования

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

- Алехин М.Н.* Тканевой допплер в современной эхокардиографии. – М.: Инсвязьиздат, 2005. С. 120.
- Мит'ков В.В., Сандриков В.А.* Клиническое руководство по ультразвуковой диагностике. – М.: Видар, 1998. Т. 5. С. 46–57.
- Никитин Н.П., Клиланд Д.Д.Ф.* Применение тканевой миокардиальной допплерэхокардиографии в кардиологии. // Кардиология, 2002. № 3. С. 66–79.
- Павлюкова Е.Н., Шмырин А.В., Дамбаев А.И. и др.* Сегментарная систолическая и диастолическая функции левого желудочка у практически здоровых лиц (по результатам импульсно-волнового тканевого допплеровского исследования) // Ультразвуковая и функциональная диагностика, 2002. №3. С. 71–76.
- Шиллер Н.Б., Осипов М.А.* Клиническая эхокардиография. – М., 1993. С. 45–59.
- Рыбакова М.К., Алехин М.Н., Мит'ков В.В.* Практическое руководство по ультразвуковой диагностике. Эхокардиография. – М: Видар, 2008. С. 53–69.

5. СТАНДАРТНЫЕ ЭХОКАРДИОГРАФИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ И НОРМАТИВЫ. РАСЧЕТЫ ДЛЯ ОЦЕНКИ ФУНКЦИЙ ЖЕЛУДОЧКОВ

5.1. СТАНДАРТНЫЕ ЭХОКАРДИОГРАФИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Стандартные эхокардиографические измерения проводятся в паракардиальной позиции по длинной оси левого желудочка и в апикальной четырехкамерной позиции в *M*- или *B*-режимах в конце диастолы (рис. 5.1).

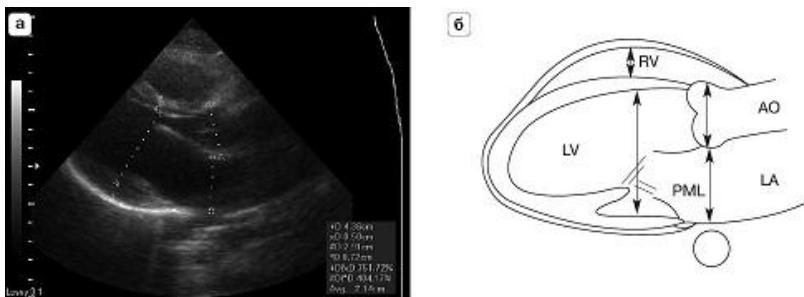


Рис. 5.1. Эхограмма (а) и схема (б) стандартного измерения в паракардиальной позиции по длинной оси левого желудочка (RV – правый желудочек; LV – левый желудочек; AO – аорта; LA – левое предсердие; PML – задняя створка митрального клапана)

Курсор измерителя должен быть расположен строго перпендикулярно изображению. Конечные систолические размеры являются дополнительными и используются для серии расчетов (массы миокарда, оценки систолической функции и т.д.).

Оценку состояния ствола и ветвей легочной артерии проводят в паракардиальной или субкостальной позиции (рис. 5.2).

Оценку состояния правых и левых камер сердца целесообразно проводить в апикальной четырехкамерной позиции (рис. 5.3).

Измерение нижней полой вены, брюшного отдела аорты, дуги аорты проводят в позициях, иллюстрируемых рис. 5.4–5.6 соответственно, а оценку толщины стенки правого желудочка в диастолу – в *M*- или *B*-режимах из субкостального доступа (субкостальная четырехкамерная позиция) (рис. 5.7).

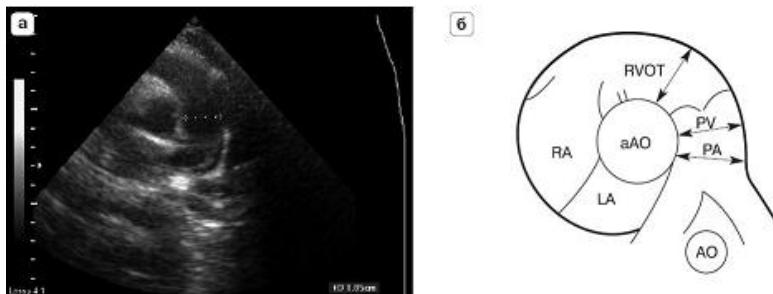


Рис. 5.2. Эхограмма (а) и схема (б) стандартного измерения выносящего тракта правого желудочка и ствола легочной артерии (RVOT – выносящий тракт правого желудочка; PV – клапан легочной артерии; PA – легочная артерия; LA – левое предсердие; AO – аорта; RA – правое предсердие)



Рис. 5.3. Эхограмма (а) и схема (б) стандартного измерения в апикальной четырехкамерной позиции (RV – правый желудочек; RA – правое предсердие; LA – левое предсердие; LV – левый желудочек)



Рис. 5.4. Эхограмма (а) и схема (б) измерения диаметра нижней полой вены и правой печеночной вены. Субкостальная позиция, длинная ось нижней полой вены (RA – правое предсердие; HV – печеночные вены; IVC – нижняя полая вена)

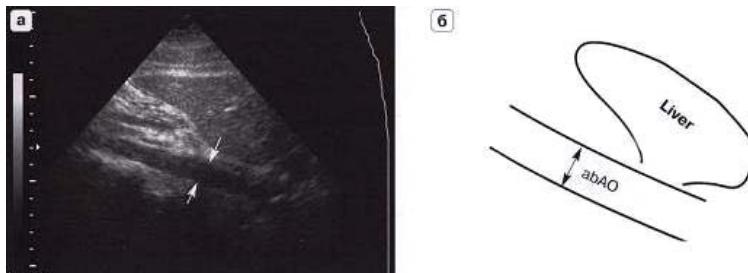


Рис. 5.5. Эхограмма (а) и схема (б) измерения диаметра брюшного отдела аорты.
Субкостальная позиция, длинная ось брюшного отдела аорты
(abAO – брюшная аорта; Liver – печень)

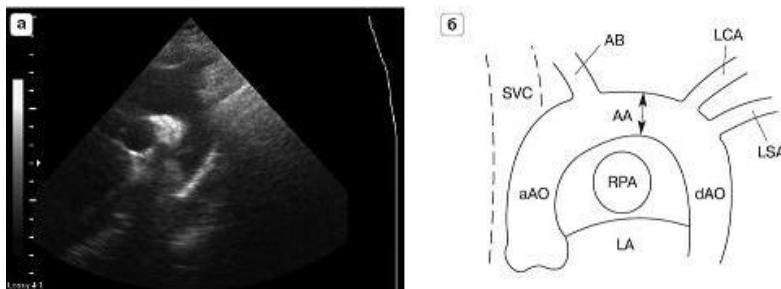


Рис. 5.6. Эхограмма (а) и схема (б) измерения дуги аорты. Супрастернальная позиция, длинная ось дуги аорты (SVC – верхняя полая вена; AB – плечеголовной ствол; LCA – левая сонная артерия; LSA – левая подключичная артерия; AA – дуга аорты; aAO – грудная восходящая аорта; dAO – грудная нисходящая аорта; RPA – правая ветвь легочной артерии; LA – левое предсердие)



Рис. 5.7. Эхограмма (а) и схема (б) измерения толщины стенки правого желудочка.
Субкостальная четырехкамерная позиция (PP – париетальный перикард; RVW – стенка правого желудочка; RV – правый желудочек; IVS – межжелудочковая перегородка; LV – левый желудочек; TV – трикуспидальный клапан; MV – митральный клапан; RA – правое предсердие; LA – левое предсердие; IAS – межпредсердная перегородка)

5.2. НОРМАТИВЫ СТАНДАРТНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Нормативы стандартных измерений в паракардиальной позиции (Graig M., 1991).

1. Диаметр правого желудочка в конце диастолы – 25–38 мм (обычно менее 28 мм).
2. Диаметр LVOT или аортального фиброзного кольца – 16–26 мм.
3. Диаметр аорты на уровне синусов Вальсальвы – 24–39 мм.
4. Аорта в области синотубулярного сужения – 21–34 мм.
5. Левое предсердие – 25–38 мм (в конце систолы).
6. Диаметр левого желудочка в конце диастолы и в конце систолы – 37–53 мм (менее 56 мм) и 23–36 мм соответственно.
7. Толщина стенки правого желудочка в конце диастолы – менее 5 мм.
8. Толщина межжелудочковой перегородки в конце диастолы – менее 12 мм.
9. Толщина задней стенки левого желудочка в конце диастолы – менее 11 мм.

Нормативы эхокардиографических измерений у взрослых (Otto C. M., Reagman A.S., 1995).

1. Аорта:

диаметр кольца – 1,4–2,6 см;

диаметр на уровне концов створок аортального клапана – 2,2–3,6 см;

диаметр восходящей аорты – 2,1–3,4 см;

нисходящая грудная аорта – 2,0–3,6 см;

дуга аорты – 2,0–3,6 см.

2. Левый желудочек:

короткая ось, см: диастола – 3,5–6,0, систола – 2,1–4,0;

длинная ось, см: диастола – 6,3–10,3, систола – 4,6–8,4;

конечный диастолический объем, мл:

мужчины – 96–157, женщины – 59–138;

конечный систолический объем, мл:

мужчины – 33–68, женщины – 18–65;

толщина стенок левого желудочка в конце диастолы, см:

мужчины – 0,6–1,1, женщины – 0,6–0,9.

3. Фракция выброса, %:

мужчины – 59 ± 6 , женщины – 58 ± 7 .

4. Масса миокарда, г:

мужчины – менее 294, женщины – менее 198.

5. Левое предсердие, см:

переднезадний размер (PLAX) – 2,3–4,5;

медиально–латеральный размер (A4C) – 2,5–4,5;

верхне–нижний размер (A4C) – 3,4–6,1;

диаметр фиброзного митрального кольца:

конец диастолы – 2,7–0,4), конец систолы – 2,9–0,3.

6. Правый желудочек, см:

толщина стенки – 0,2–0,5;

диаметр – 2,2–4,4;

длина: диастолы – 5,5–9,5, систолы – 4,2–8,1.

7. Легочная артерия, см:

диаметр кольца – 1,0–2,2;

диаметр ствола – 0,9–2,9.

8. Нижняя полая вена в месте впадения в правое предсердие:

диаметр – 1,2–2,3 см.

Рекомендации Европейской и Американской ассоциаций эхокардиографии для проведения измерений, расчетов, оценки камер сердца и магистральных сосудов. Эти рекомендации, опубликованные в 2006 г., содержат указания по проведению стандартных общепринятых измерений и расчетов при трансторакальном и чреспищеводном исследовании сердца. Стандартные измерения камер сердца, магистральных сосудов, стенок желудочков изложены весьма обстоятельно и проиллюстрированы схемами. Предлагаемые новые нормативы для взрослых пациентов и градации степени их изменения приведены в табл. 5.1–5.3.

В указанных рекомендациях большое внимание уделено и расчету объемов камер сердца, показателя фракции выброса, массы миокарда левого желудочка. Рекомендуется по возможности использовать В-режим для расчета показателя фракции выброса желудочков, как более достоверный.

Рекомендуемые нормативы для оценки степени нарушения гемодинамики приведены в табл. 5.4.

Таблица 5.1

Линейные измерения толщины стенок и массы миокарда левого желудочка, индексированные показатели в норме и при различной степени их нарушения (женщины, мужчины)

Показатель	Норма	Нарушение		
		малое	умеренное	значительное
<i>M-режим</i>				
Масса миокарда левого желудочка, г	<i>67 – 162</i> <i>88 – 224</i>	<i>163–186</i> <i>225–258</i>	<i>187 – 210</i> <i>259 – 292</i>	<i>> 210</i> <i>> 292</i>
Толщина задней стенки левого желудочка, см	<i>0,6 – 0,9</i> <i>0,6 – 1,0</i>	<i>1,0 – 1,2</i> <i>1,1 – 1,3</i>	<i>1,3 – 1,5</i> <i>1,4 – 1,6</i>	<i>> 1,5</i> <i>> 1,6</i>
Толщина межжелудочковой перегородки, см	<i>0,6 – 0,9</i> <i>0,6 – 1,0</i>	<i>1,0 – 1,2</i> <i>1,1 – 1,3</i>	<i>1,3 – 1,5</i> <i>1,4 – 1,6</i>	<i>> 1,5</i> <i>> 1,6</i>
<i>B-режим</i>				
Масса миокарда левого желудочка, г	<i>66 – 150</i> <i>96 – 200</i>	<i>151 – 171</i> <i>201 – 207</i>	<i>172 – 182</i> <i>228 – 254</i>	<i>> 182</i> <i>> 254</i>

Примечание: выделенные курсивом показатели рекомендуются и являются предпочтительными.

Таблица 5.2

Линейные измерения и объемы левого желудочка в диастолу и систолу, индексированные показатели в норме и при различной степени их нарушения (женщины, мужчины)

Показатель	Норма	Нарушение		
		малое	умеренное	значительное
Поперечный размер левого желудочка (в диастолу), см	<i>3,9 – 5,3</i> <i>4,2 – 5,9</i>	<i>5,4 – 5,7</i> <i>6,0 – 6,3</i>	<i>5,8 – 6,1</i> <i>6,4 – 6,8</i>	<i>> 6,1</i> <i>> 6,8</i>
Объем левого желудочка, мл:				
в диастолу	<i>56 – 104</i> <i>67 – 155</i>	<i>105 – 117</i> <i>156 – 178</i>	<i>118 – 130</i> <i>179 – 201</i>	<i>> 130</i> <i>> 201</i>
в систолу	<i>19 – 49</i> <i>22 – 58</i>	<i>50 – 59</i> <i>59 – 70</i>	<i>60 – 69</i> <i>71 – 82</i>	<i>> 69</i> <i>> 82</i>

Примечание: выделенные курсивом показатели рекомендуются и являются предпочтительными

Таблица 5.3

Линейные измерения правого желудочка и легочной артерии в норме и при различной степени их нарушения

Показатель	Норма	Нарушение		
		малое	умеренное	значительное
Поперечный размер правого желудочка, см:				
в базальном отделе	2,0 – 2,8	2,9 – 3,3	3,4 – 3,8	> 3,8
в среднем отделе	2,7 – 3,3	3,4 – 3,7	3,8 – 4,1	> 4,1
Длина правого желудочка (от базального отдела до верхушки), см	7,1 – 7,9	8,0 – 8,5	8,6 – 9,1	> 9,1
Поперечный размер выносящего тракта правого желудочка, см:				
на уровне аортального клапана	2,5 – 2,9	3,0 – 3,2	3,3 – 3,5	> 3,5
на уровне клапана легочной артерии	1,7 – 2,3	2,4 – 2,7	2,8 – 3,1	> 3,1
Диаметр легочной артерии на уровне клапана, см	1,5 – 2,1	2,2 – 2,5	2,6 – 2,9	> 2,9

Таблица 5.4

Фракции укорочения волокон миокарда и межжелудочковой перегородки, а также фракция выброса, индексированные показатели в норме и при различной степени их нарушения (женщины, мужчины)

Показатель	Норма	Нарушение		
		малое	умеренное	значительное
Фракция укорочения волокон миокарда (<i>M</i> -режим), %	<i>27 – 45</i> <i>25 – 43</i>	<i>22 – 26</i> <i>24 – 20</i>	<i>17 – 21</i> <i>15 – 19</i>	<i>< 17</i> <i>< 15</i>
Фракция укорочения межжелудочковой перегородки (<i>B</i> -режим), %	<i>15 – 23</i> <i>14 – 22</i>	<i>13 – 14</i> <i>12 – 13</i>	<i>11 – 12</i> <i>10 – 11</i>	<i>< 11</i> <i>< 10</i>
Фракция выброса (<i>B</i> -режим), %	<i>> 55</i> <i>> 55</i>	<i>45 – 54</i> <i>45 – 54</i>	<i>30 – 44</i> <i>30 – 44</i>	<i>< 30</i> <i>< 30</i>

Примечание: выделенные курсивом показатели рекомендуются и являются предпочтительными.

5.3. РАСЧЕТЫ ДЛЯ ОЦЕНКИ ФУНКЦИЙ ЖЕЛУДОЧКОВ

На протяжении многих лет, с тех пор как существует современная эхокардиография, продолжается изучение функций левого и правого желудочков. Оценка систолической функции как левого, так и правого желудочка – это не «слепой» расчет параметров гемодинамики по той или иной формуле, а комплексный подход к анализу ряда эхокардиографических признаков и показателей. Особый интерес специалистов вызывает оценка функций правого желудочка. Исследования в этом направлении продолжаются. Появление новых методов и новых технологий в ультразвуке позволяет существенно расширить объем информации по данному вопросу.

Оценка систолической функции левого и правого желудочков

Эхокардиографический метод позволяет рассчитать большое количество показателей, таких, как диаметр, объем, площадь, масса миокарда и т. д. Необходимо помнить, что все расчеты должны проводиться с большой тщательностью – только в этом случае можно получить достоверные результаты, хорошо коррелирующие с инвазивными методами оценки центральной гемодинамики. Для оценки систолической функции левого и правого желудочков используется расчет ударного и минутного объемов, показателей фракции выброса и фракции укорочения волокон миокарда, массы миокарда, напряжения на стенку и относительной толщины стенки желудочка.

Сначала целесообразно осветить основные возможности эхокардиографии в данной области и затем детализировать протокол исследования для каждого из желудочков.

Оценка систолической функции желудочков в *M*-режиме

Расчет массы миокарда, объемов желудочков в систолу и в диастолу и показателей, характеризующих состояние систолической функции левого и правого желудочков, применяли с момента появ-

ления модального *M*-режима. Однако использование *M*-режима имеет свои ограничения. В том случае, если курсор установлен не перпендикулярно изображению, расчеты окажутся ложными и приведут к ошибке диагностики. Правильно оценить параметры систолической функции правого желудочка в парастернальной позиции практически невозможно, так как мы получаем изображение только части правого желудочка (для этого можно использовать субкостальную четырехкамерную позицию).

Расчет объема желудочка. Наиболее простая формула для расчета объема полости левого или правого желудочка – возвведение в куб диаметра полости в диастолу или систолу (рис. 5.8):

$$V = D^3,$$

где D – диаметр полости, измеренный в см.

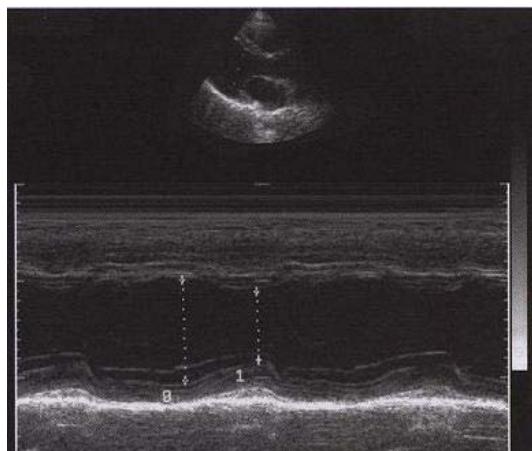


Рис. 5.8. Расчет объемов левого желудочка и фракции выброса по уравнению Teichgolz (*M*-режим): фракция выброса равна 67 % (0 – диастола, 1 – систола)

В этом случае совсем не учитывается конусное строение левого желудочка, поэтому ошибка расчета объема очень велика.

С появлением *M*-режима наиболее удобной стала формула, предложенная Teichgolz:

$$V = \left(\frac{7}{2,4 + D} \right) D^3,$$

где D – диаметр желудочка в систолу или диастолу, измеренный в см.

Данная формула помогает быстро произвести расчеты. В том случае, если курсор *M*-режима установлен не перпендикулярно стенкам желудочка, возможна ошибка измерения. Использование анатомического *M*-режима позволяет установить курсор строго перпендикулярно изображению и избежать ошибки.

Расчет массы миокарда левого желудочка (left ventricular mass). Существуют два популярных метода для расчета массы миокарда в *M*-режиме: Penn и метод ASE, или метод, предложенный Американской ассоциацией эхокардиографии (American Society of Echocardiography).

Метод Penn для оценки массы миокарда. С помощью курсора *M*-режима получают графическое изображение левого желудочка в парастернальной позиции, измеряют его диаметр в конце диастолы и систолы, толщину задней стенки левого желудочка и межжелудочковой перегородки в диастолу и систолу:

$$LV_{mass} = 1,04[(IVST_d + LVID_d + PWT_d)^3 - (LVID_d)^3] - 13,6 \text{ (г)},$$

где $IVST_d$ – толщина межжелудочковой перегородки в диастолу, $LVID_d$ – диаметр левого желудочка в диастолу, PWT_d – толщина задней стенки левого желудочка в диастолу, или:

$$LV_{mass} = (1,04 \cdot LVV_m) - 13,6 \text{ (г)},$$

где LVV_m – объем миокарда.

Метод ASE для оценки массы миокарда.

$$LV_{mass} = 0,8 \cdot [1,04 \cdot (IVST_d + LVID_d + PWT_d)^3 - (LVID_d)^3] + 0,6 \text{ (г)},$$

где $IVST_d$ – толщина межжелудочковой перегородки в диастолу, $LVID_d$ – диаметр левого желудочка в диастолу, PWT_d – толщина задней стенки левого желудочка в диастолу, или:

$$LV_{mass} = (1,04 \cdot LVV_m) \cdot 0,8 + 0,6 \text{ (г)}.$$

В норме масса миокарда левого желудочка, рассчитанная в *M*-режиме, составляет около (181 ± 44) г у мужчин и (128 ± 42) г у женщин.

Индекс массы миокарда левого желудочка. Индекс массы миокарда равен массе миокарда желудочка, деленной на площадь поверхности тела:

$$ILV_{mass} = LV_{mass} / BSA \text{ (г/м}^2\text{)},$$

где BSA – площадь поверхности тела (body surface area – BSA).

В норме индекс массы миокарда, рассчитанный в *M*-режиме, составляет (93 ± 22) г/м² у мужчин и (76 ± 18) г/м² у женщин, то есть менее 100 г/м².

Площадь поверхности тела (BSA):

$$BSA = [0,007184 \cdot (\text{рост в см})^{0,725} + (\text{масса тела в кг})^{0,425}] (\text{м}^2).$$

Расчет ударного объема (SV – stroke volume). Ударный объем – это объем крови, выбрасываемый за одно сердечное сокращение (измеряется в миллилитрах):

$$SV = EDV - ESV,$$

где SV – конечный диастолический объем, ESV – конечный систолический объем. Ударный объем в норме составляет 70–100 мл.

Расчет минутного объема кровотока (CO – cardiac output). Минутный объем – это объем крови, перекачиваемый сердцем за одну минуту (измеряется в л/мин):

$$CO = (SV \cdot HR) / 1000,$$

где SV – ударный объем, HR – частота сердечных сокращений. Минутный объем в норме составляет 5–7 л/мин.

Расчет фракции выброса (Ejection fraction – EF). Расчет показателя фракции выброса и процента фракции выброса производят с помощью расчета объемов по формуле Teichgolz (см. рис. 5.8):

$$EF = EDV - ESV / EDV,$$

где EDV – конечный диастолический объем, ESV – конечный систолический объем.

В норме данный показатель равен 0,60 и более. Процент фракции выброса равен произведению фракции выброса на 100 %. В норме процент фракции выброса, рассчитанный с применением данного метода, составляет более 60 %.

Расчет фракции укорочения волокон миокарда (Fraction shortening):

$$FS = (EDD - ESD) / EDD; \quad \%FS = FS \cdot 100\%,$$

где FS – фракция укорочения волокон миокарда, %FS – процент фракции укорочения, EDD – конечный диастолический диаметр, ESD – конечный систолический диаметр. В норме процент фракции укорочения более или равен 30 %.

Расчет относительной толщины стенки желудочка (RWT – relative wall thickness):

$$RWT = 2 \cdot PWT / LVID,$$

где PWT (posterior wall thickness) – толщина задней стенки, LVID (left ventricular internal dimension) – диаметр левого желудочка в диастолу. В норме RWT составляет 0,22–0,42.

Относительная толщина стенки может быть рассчитана как в систолу, так и в диастолу. Данный показатель используют для уточнения варианта гипертрофической и дилатационной кардиомиопатии.

Расчет напряжения на стенку левого желудочка (left ventricular wall thickness) (σ). Формула эмпирическая, требует оценки систолического артериального давления (P) пациента, внутреннего объема левого желудочка и толщины задней стенки левого желудочка (рис. 5.9):

$$\sigma = 0,334 \cdot P \cdot \frac{LVID}{PWT \cdot (1 + PWT/LVID)},$$

где LVID (left ventricular internal dimension) – внутренний объем левого желудочка, PWT (posterior wall thickness) – толщина задней стенки левого желудочка, P (pressure) – давление в левом желудочке.

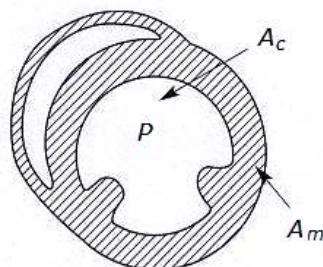


Рис. 5.9. Схема расчета напряжения на стенку левого желудочка (Otto C.M., Pearlman A.S., 1995)

Расчет скорости циркулярного укорочения волокон миокарда (velocity of circumferential fiber shortening – VCF). Данный показатель может быть рассчитан как в M -, так и в B -режиме. При B -режиме используют дополнительно импульсно-волновой доплер для расчета времени выброса (LVET):

$$VCF = FS / LVET,$$

где FS – фракция укорочения волокон миокарда, LVET – время выброса. В норме показатель VCF больше или равен 1,1.

Оценка систолической функции желудочков в B -режиме

Расчет систолической функции левого желудочка проводят по уравнениям Бьюлита, Симпсона, площадь–длина или по модифицированным уравнениям Симпсона или Тортоледо.

Расчет объема желудочка. Измерения проводят в систолу и диастолу (рис. 5.10).

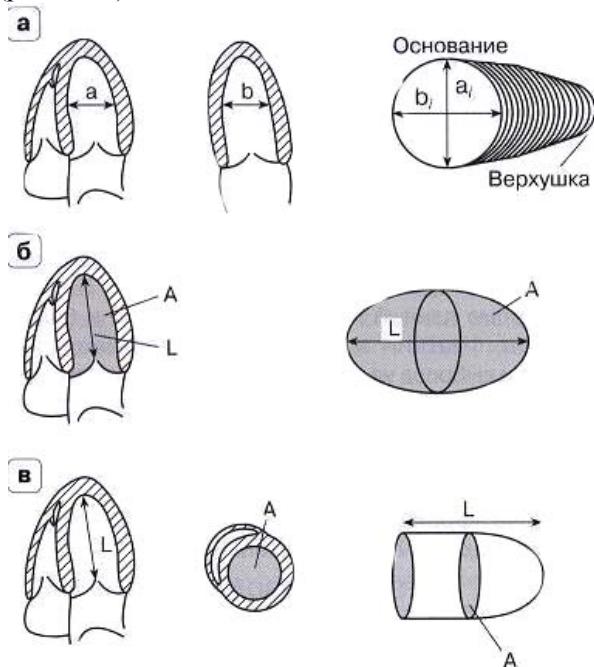


Рис. 5.10. Схема расчета объема ЛЖ (В – режим) (Otto C.M., Pearlman A.S., 1995):
а – по формуле дисков, б – по формуле эллипса, в – по формуле площадь–длина

Формула площадь–длина (формула Бьюолита) используется для расчета объема левого и правого желудочков в систолу и в диастолу. Оптимальной при этом является апикальная четырехкамерная или двухкамерная позиция:

$$V = \frac{5}{6} (A \cdot L),$$

где A – планиметрически измеренная площадь желудочка, L – длина желудочка.

Формула эллипсов: $V = 0,85 \cdot A^2 / L$.

$$V = \frac{\left(\frac{5}{6} A^2\right)}{L}.$$

Формула площадь–длина (уравнение Симпсона): $V = \frac{\left(\frac{5}{6} A^2\right)}{L}$.

Модифицированное уравнение Симпсона. Данное уравнение суммирует и усредняет измерения в различных позициях по короткой и длинной оси:

$$V = (A_1 + A_2) \cdot b + A_3 \cdot b/2 + \pi b^3/6,$$

где $b = L/3$; L – длина левого желудочка, A_1 – площадь левого желудочка, измеренная по короткой оси на уровне концов створок митрального клапана, A_2 – площадь левого желудочка, измеренная на уровне папиллярных мышц, A_3 – площадь левого желудочка, измеренная в апикальной четырехкамерной позиции.

Уравнения Симпсона, простое и модифицированное, позволяют учесть геометрию желудочек и получить более точные результаты.

Формула дисков. В настоящее время в связи с использованием программ трехмерного и четырехмерного моделирования сердца применяется формула дисков для расчета показателей систолической функции желудочек. Левый желудочек разбивается на большое количество дисков, рассчитывается объем каждого диска, показатели суммируются и делятся на число измерений.

Уравнение Тортоледо:

$$EDV = (D_{\max} \cdot L_{\max} \cdot 3,42) - 6,44,$$

где EDV – конечный диастолический объем, D_{\max} и L_{\max} – максимальные значения площади (в см^2) и длины (в см) желудочка. Измерения проводят в апикальной позиции. Данная формула хорошо коррелирует с уравнением Симпсона.

Показатель фракции выброса и процента фракции выброса рассчитывается с помощью вычисления объемов по формуле Симпсона в апикальной четырехкамерной или двухкамерной позиции. Этот показатель при применении уравнения Симпсона в норме составляет более 50%.

Расчеты в B -режиме показали более точную корреляцию с инвазивными методами.

Расчет объема левого предсердия. Получают изображение левого предсердия в апикальной четырехкамерной позиции в фазу систолы желудочек. Используют формулу площадь–длина, трацируют предсердие по контуру и получают площадь предсердия (A_1) и длину предсердия (L). Аналогичный расчет площади пред-

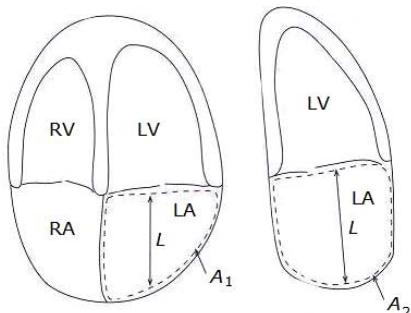


Рис. 5.11. Схема расчета объема левого предсердия (*B*-режим)

сердия проводят в апикальной двухкамерной позиции (A_2). Объем левого предсердия (рис. 5.11) вычисляется по формуле:

$$LAV = 8A_1 \cdot A_2 / 3\pi L,$$

где A_1 – площадь предсердия в апикальной четырехкамерной позиции, A_2 – площадь предсердия в апикальной двухкамерной позиции, L – длина предсердия.

Расчет напряжения на стенку левого желудочка (left ventricular wall stress) (σ).

Данный расчет в *B*-режиме проводят по короткой оси левого желудочка на уровне папиллярных мышц:

$$\sigma = 1,33 \cdot P(A_c \cdot A_m) \cdot 10^3 \text{ дин}/\text{см}^2,$$

где A_c – внутренняя площадь полости левого желудочка, A_m – наружная площадь эпикарда, P – давление в левом желудочке.

Расчет массы миокарда. Формула для расчета массы миокарда в *B*-режиме имеет вид:

$$MM_{лж} = 0,8 [1,04(KДP_{лж} + T3C_{лж} + TМЖП)^3 - (KДP_{лж})^3],$$

где $KДP_{лж}$ – конечный диастолический размер левого желудочка, $TМЖП$ – толщина межжелудочковой перегородки, $T3C_{лж}$ – толщина задней стенки левого желудочка.

Масса миокарда левого желудочка, рассчитанная в *B*-режиме, у мужчин составляет $(99 \pm 15,6)$ г, у женщин – (88 ± 15) г.

Оценка систолической функции желудочков в режиме импульсно-волнового допплера

Уравнение непрерывности потока для расчета ударного объема:

$$SV = CSA \cdot VTI,$$

где $CSA = \pi d^2 / 4$ – площадь поперечного сечения выносящего тракта левого желудочка, VTI – интеграл линейной скорости потока, причем $VTI = V_{cp} \cdot ET$, где V_{cp} – средняя скорость потока в выносящем тракте левого желудочка, ET – время выброса (рис. 5.12).

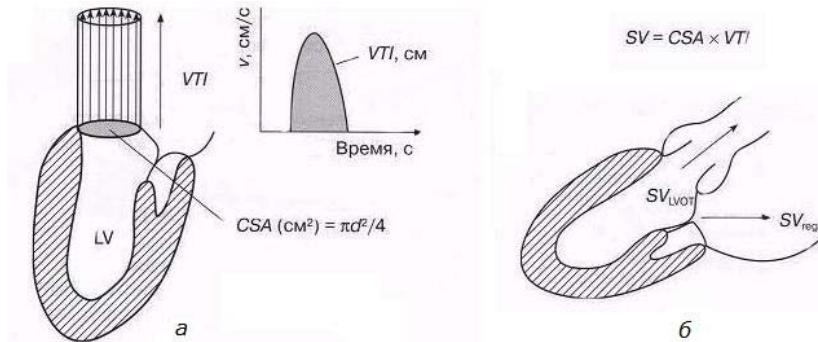


Рис. 5.12. Схемы расчета ударного объема:

а – с использованием уравнения непрерывности потока; *б* – с использованием уравнения непрерывности потока при наличии значительной митральной регургитации (Otto C.M., Pearlman A.S., 1995)

В том случае, когда присутствует гемодинамически значимая митральная регургитация (более 2-й степени), тотальный ударный объем левого желудочка рассчитывается по формуле:

$$TSV = FSV + RSV,$$

где TSV – тотальный ударный объем левого желудочка, PSV – выносящий тракт левого желудочка, RSV – ударный объем струи регургитации.

Оценка систолической функции желудочков в режиме непрерывно-волнового доплера

Расчет скорости нарастания давления в левом желудочке в начале систолы. Этот расчет производят по оценке систолического давления P_{dps} в левом предсердии, которое в свою очередь рассчитывают по потоку митральной регургитации. Измерив скорость этого потока, по уравнению Бернулли определяют систолический градиент давления на митральном клапане PG_{MKS} , т.е. между левым предсердием и желудочком. А измерив с помощью тонометра систолическое артериальное давление AD_s пациента, вычисляют систолическое давление в левом предсердии по формуле:

$$P_{dps} = AD_s - PG_{MKS}.$$

По скорости нарастания давления в желудочке в начале систолы (dP/dt) и времени Δt , которое необходимо для нарастания этого давления от 4 мм рт. ст. до 32 мм рт. ст. (Nishimura R.A.), можно оценить нарушение систолической функции желудочка (табл. 5.5).

Таблица 5.5

Оценка степени нарушения систолической функции желудочка по скорости нарастания давления в желудочке в начале систолы (dP/dt) и времени Δt , которое необходимо для нарастания давления в левом желудочке от 4 мм рт. ст. до 32 мм ст. ст. (Nishimura R.A.)

Систолическая функция левого желудочка	dP/dt , мм рт. ст.	Δt , мс
Нормальная	> 1200	> 27
Незначительная (умеренная) дисфункция	800–1200	27–40
Значительная дисфункция	800	< 40

Расчет допплеровского эхокардиографического индекса (Index), или индекса Tei, для оценки функции левого и правого желудочков (систолической и диастолической) проводится по формуле

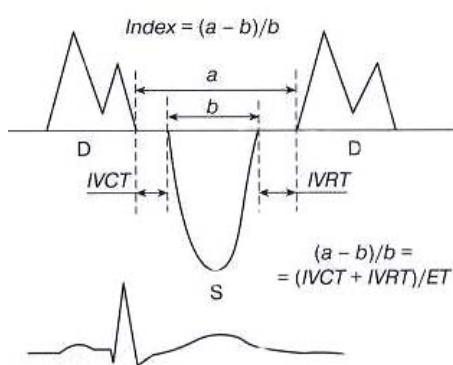


Рис. 5.13. Схема расчета допплеровского индекса для оценки систолической и диастолической функций левого и правого желудочков

$\text{Index} = (\text{IVCT} + \text{IVRT}) / \text{ET}$, где IVCT – время изоволюмического сокращения, IVRT – время расслабления левого желудочка, ET – время выброса (рис. 5.13).

Аналогичным образом оценивают индекс правого желудочка. Данный показатель объединяет оценку как систолической, так и диастолической функций и не зависит от частоты сердечных сокращений. В норме в левом желудочке он составляет око-

ло 0,36, а в правом желудочке – $(0,28 \pm 0,04)$. Нормативы и зависимость индекса от степени нарушения систолической функции желудочка представлены в табл. 5.6.

Таблица 5.6

**Оценка систолической функции желудочка и степени ее нарушения по доплеровскому индексу (или индексу Tei)
(Anderson B., 2000)**

Функция желудочка	Доплеровский индекс (индекс T_{ei})
Нормальная	$< 0,4$
Незначительно сниженная	$0,4 - 0,5$
Умеренно сниженная	$0,6 - 0,9$
Значительно сниженная	$> 1,0$

Расчет временной константы расслабления (Tau) и ригидности камеры левого желудочка (KV). Weiss предложил рассчитывать временную константу расслабления миокарда во время изовольюмической диастолы (Tau). Это время измеряют по спектру потока митральной регургитации в режиме непрерывно-волнового доплера. Трассируют по контуру время замедления потока митральной регургитации и проводят расчеты по уравнению Бернулли от пика dP/dt до точки 5 мм рт. ст. (рис. 5.14, а). В норме показатели Tau составляют 25–40 мс.

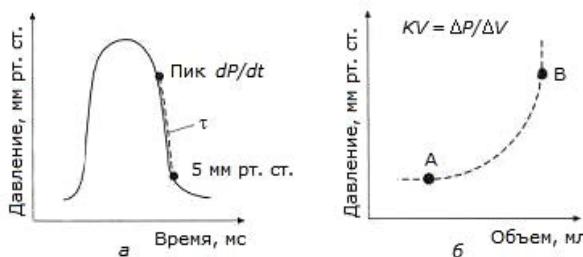


Рис. 5.14. Схемы расчета: а – временной константы расслабления (τ), б – упругости камеры левого желудочка (KV) (Otto C.M., Pearlman A.S., 1995)

Ригидность камеры левого желудочка (KV) – это производная давления левого желудочка по объему (рис. 5.14, б): $KV = \Delta P / \Delta V$. В норме KV составляет 0,010–0,025.

Оценка систолической функции желудочков с использованием режима тканевого импульсно-волнового доплера

С помощью тканевого импульсно-волнового доплера измеряют скорость систолического смещения левого или правого фиброзных колец S_m . В норме данный показатель для левого желудочка составляет более 6 см/с, для правого желудочка – более 17 см/с.

При снижении скорости S_m можно косвенно судить о наличии нарушения систолической функции желудочка.

Расчет фракции выброса левого желудочка по среднему значению скорости пика S_m движения фиброзного кольца митрального клапана (Gulati V.):

$$\Phi B_{лж} (\%) = 8,2 \cdot (\text{среднее значение } S_m) + 3\%,$$

причем среднее значение S_m рассчитывают по данным двух измерений в апикальной четырехкамерной позиции в основании створок клапана.

Оценка диастолической функции левого и правого желудочков

Диастола – это период от момента закрытия аортального клапана до момента закрытия митрального клапана. Гемодинамически диастола состоит из четырех подфаз (рис. 5.15). После систолы левого желудочка, когда произошло закрытие аортального клапана, наступает период изоволююмического расслабления, когда давление в левом желудочке и в аорте продолжает падать и вслед за этим происходит открытие митрального клапана. Время от щелчка – закрытия аортального клапана до щелчка – открытия митрального клапана, называется изоволююмическим расслаблением левого желудочка (IVRT). В этот период миофибриллы возвращаются в состояние покоя после состояния сокращения.

Когда давление в полости левого желудочка снижается практически до давления в левом предсердии, открываются створки митрального клапана и начинается фаза быстрого диастолического наполнения (пик E). Затем давление в левом желудочке и левом предсердии практически выравнивается, начинается фаза медленного

диастолического наполнения (DT). Створки митрального клапана закрываются, начинается третья фаза – период диастазиса (пик L).

После этого происходит систола предсердий, и остаточный объем крови поступает в левый желудочек из левого предсердия (пик A).

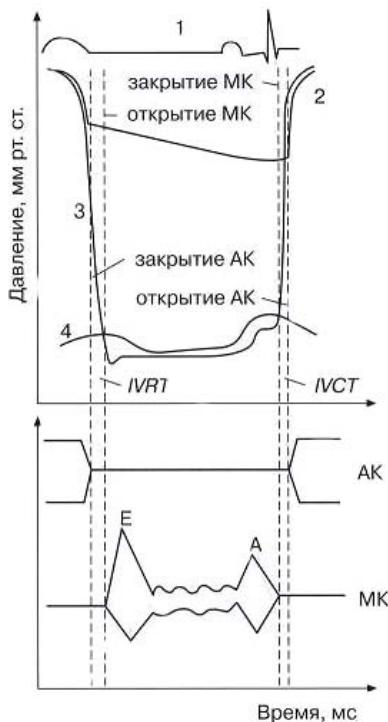


Рис. 5.15. Схема соотношения между давлением в ЛЖ, аорте и ЛП в M-режиме (Otto C.M., Pearlman A.S., 1995):
1 – ЭКГ; 2 – давление в АО;
3 – давление в ЛЖ; 4 – давление в ЛП

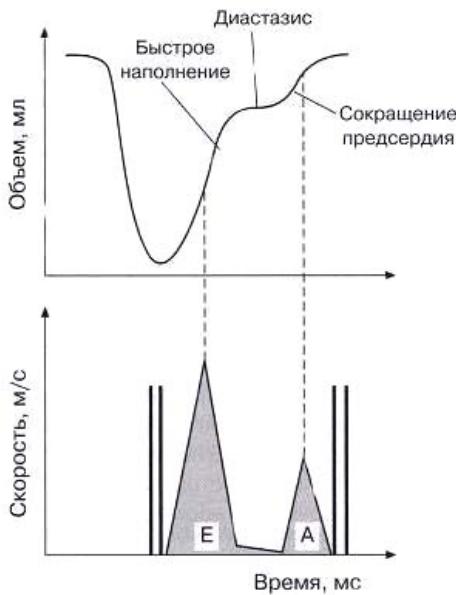


Рис. 5.16. Схема соотношения между давлением в ЛЖ и трансмитральным диастолическим потоком (Otto C.M., Pearlman A.S., 1995)

Время изоволюмического сокращения левого желудочка (IVCT), т.е. время, за которое давление в полости левого желудочка возрастает, измеряется от щелчка – закрытия митрального клапана до щелчка – открытия аортального клапана. В норме форма трансмитрального диастолического потока представляет собой два пика Е и А. Первый соответствует быстрому диастолическому наполнению желудочков, второй – медленному диастолическому наполнению.

нию, или систоле левого предсердия (рис. 5.16). При мерцательной аритмии второй пик А отсутствует или хаотично расположен.

Оценка диастолической функции кровотока в режиме импульсно-волнового доплера

Оценка параметров трансмитрального и транстрикуспидального диастолического потока. В норме кровоток на митральном и трикуспидальном клапанах в диастолу представлен двумя пиками – Е и А (рис. 5.17), причем в период диастазиса между пиками Е и А может регистрироваться пик L.

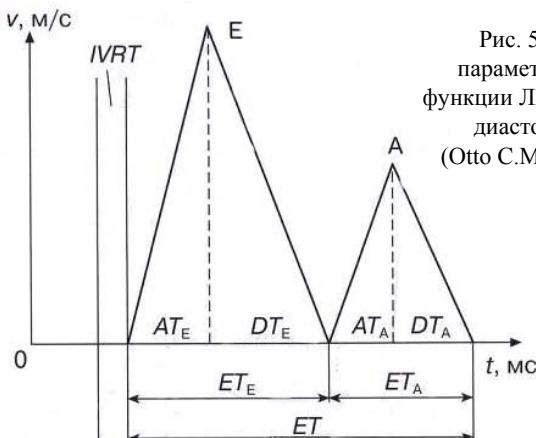


Рис. 5.17. Схема расчета параметров диастолической функции ЛЖ по трансмитральному диастолическому потоку (Otto C.M., Pearlman A.S., 1995)

Рассчитывают показатели трансмитрального и транстрикуспидального потоков в диастолу в режиме импульсно-волнового доплера в апикальной четырехкамерной позиции или для трикуспидального клапана в парастернальной позиции по короткой оси аортального клапана. Измеряют следующие показатели:

IVRT – время изоволюмического расслабления желудочка – время от щелчка – закрытия аортального или легочного клапанов до щелчка – открытия митрального или трикуспидального клапанов (мс). Расчет IVRT правого желудочка проводят в паастернальной позиции (короткая ось аортального клапана), установив контрольный объем в выносящий тракт правого желудочка. На экране получают поток в выносящем тракте правого желудочка в ре-

жиме импульсноволнового допплера, фиксируют щелчки – закрытие легочного клапана и открытие трикуспидального клапана. Измеряют продолжительность IVRT правого желудочка (мс или с). В норме IVRT равно (65 ± 20) мс. IVRT существенно снижается при рестриктивной кардиомиопатии вследствие высокого давления в левом предсердии;

IVCT – время изовольюмического сокращения желудочка – время от щелчка – закрытия митрального или трикуспидального клапанов до щелчка – открытия аортального или легочного клапанов (мс);

V_e – скорость раннего диастолического наполнения желудочка (см/с), или скорость пика Е. В норме составляет 70–100 см/с;

V_a – скорость позднего диастолического наполнения желудочка соответствует систоле предсердия (см/с), или скорость пика А. В норме она равна 45–70 см/с;

E/A – отношение скоростей раннего и позднего наполнения желудочков. В норме данный показатель составляет 1,0–1,5;

DTe – время замедления раннего диастолического наполнения желудочка (мс). В норме оно равно (160 – 220) мс.

Помимо вышеописанных параметров, можно рассчитать и другие показатели, также характеризующие диастолическую функцию, такие, как:

AT(1/2) – половина времени ускорения пика Е, измеряется от пика Е до 50 % нарастания скорости потока, в норме равно (62 ± 18) м/с;

DT(1/2) – половина времени замедления пика Е, измеряется от пика Е до 50 % убывания скорости потока. DT(1/2) составляет (73 ± 24) м/с;

(1/2)FF – фракция одной второй наполнения (one – half filling fraction). Рассчитывается как отношение интеграла линейной скорости пика Е к интегралу линейной скорости всего потока:

$$(1/2)FF = VTI_e / VTI \cdot (E + A),$$

в норме (1/2) FF более 0,55;

(1/3)FF – фракция одной третьей наполнения (one – third filling fraction). Рассчитывается как отношение одной трети интеграла линейной скорости пика Е к интегралу линейной скорости всего потока. В норме одна треть FF равна $(0,58 \pm 0,08)$.

Оценка кровотока в легочных венах для оценки диастолической функции левого желудочка. В настоящее время в литературе можно встретить большое количество работ, посвященных исследованию кровотока в легочных венах при различной патологии сердца. Трансторакальное исследование кровотока в легочных венах следует проводить в апикальной позиции. Контрольный объем устанавливают в полости левого предсердия на расстоянии 5 мм от места впадения правой верхней легочной вены. Форма потока в легочных венах, полученная при трансторакальном исследовании, немного отличается от формы потока, полученной с использованием чреспищеводной эхокардиографии.

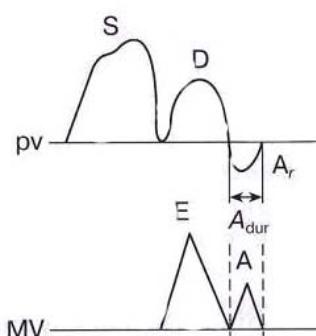


Рис. 5.18. Схема соотношения кривых потока в легочных венах и трансмитрального диастолического потока.

Режим импульсно-волнового доплера (Otto C.M., Pearlman A.S., 1995)

отношение скорости кровотока в правой печеночной вене в фазу ранней диастолы к скорости кровотока в фазу систолы правого предсердия $D_{\text{пв}}/A_{\text{пв}}$. В норме данное

При использовании трансторакального доступа поток состоит из трех компонентов: систолического (S), диастолического (D) и предсердного (A) (ряд авторов называют эти пики X, Y и Z) (рис. 5.18). При чреспищеводном доступе хорошо видно, что систолическая фаза S состоит из двух пиков – раннего систолического (Se) и позднего систолического (Sl).

Оценка кровотока в печеночных венах для диастолической функции правого желудочка.

Для оценки диастолической функции правого желудочка рассчитывают отношение скорости кровотока в правой печеночной вене в фазу ранней диастолы к скорости кровотока

на митральном и трикуспидальном клапанах, а также в легочных венах для взрослой популяции. Измерения и нормативы для трансторакального исследования кровотока на митральном, трикуспидальном клапанах и в легочных венах для взрослой популяции представлены в табл. 5.7.

Таблица 5.7

Нормальные показатели диастолической функции во взрослой популяции (мужчины и старше 50 лет)
 (Klein A.L. et al., 1989, 1990)

Доплеровские параметры	Нормальные показатели	
	возраст 21 – 49 лет	возраст > 50 лет
Митральный клапан	$n = 61$	$n = 56$
Пик E, см/с	72 ± 14 (44 – 100)	62 ± 14 (34 – 90)
Пик A, см/с	40 ± 10 (20 – 60)	59 ± 14 (31 – 87)
E/A	$1,9 \pm 0,6$ (0,7 – 1,3)	$1,1 \pm 0,3$ (0,5 – 1,7)
DT, мс	179 ± 20 (139 – 219)	210 ± 36 (138 – 282)
IVRT, мс		
Триkuspidальный клапан	$n = 61$	$n = 56$
пик E, см/с	51 ± 7 (37 – 65)	41 ± 8 (25 – 57)
пик A, см/с	27 ± 8 (11 – 43)	33 ± 8 (17 – 49)
E/A	$2,0 \pm 0,5$ (1,0 – 3,00)	$1,34 \pm 0,4$ (0,5 – 2,1)
DT, мс	188 ± 22 (144 – 232)	198 ± 23 (152 – 244)

**Оценка диастолической функции желудочков
в режиме цветового доплера**

Расчет скорости раннего диастолического наполнения левого желудочка в режиме цветового доплера (velocity propagation – Vp). Используются апикальное окно и M-модальный цветовой доплер. Оценивают продолжительность раннего диастолического наполнения левого желудочка от основания до верхушки в режиме цветового M-модального доплера. В норме данный показатель составляет около 70 см/с (рис. 5.19). При нарушении диастолической функции по первому типу снижается до 47 см/с, при псевдонормальном и рестриктивном типах нарушения диастолической функции желудочка составляет менее 43 см/с. У больных с кардиомиопатией, гипертензией и т.д. этот показатель значительно снижается.

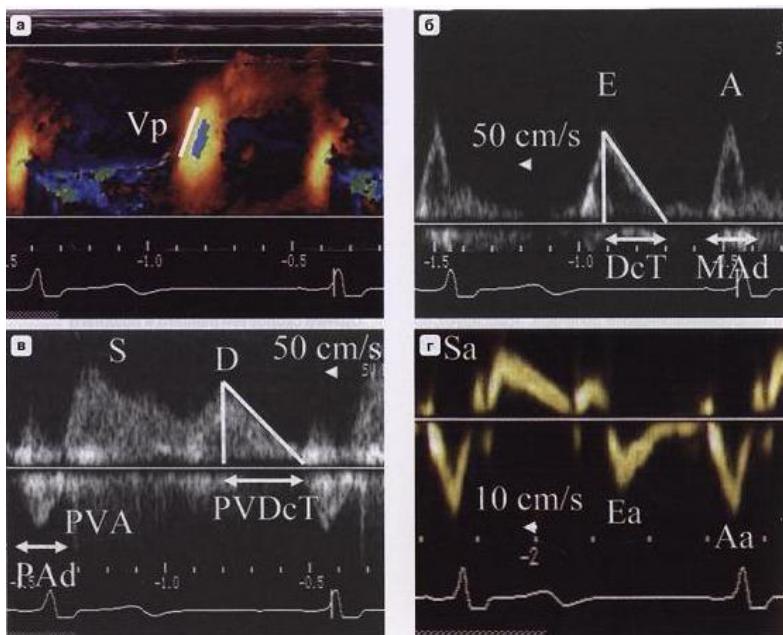


Рис. 5.19. Способ оценки нарушения диастолической функции левого желудочка с использованием цветового *M*-режима доплера в апикальной четырехкамерной позиции (а). Сопоставление с данными трансмитрального диастолического потока (б), потока в легочных венах (в) и формой движения левого фиброзного кольца в режиме импульсного тканевого доплера (г) (Hadano Y., 2005)

Оценка диастолической функции желудочков в режиме тканевого импульсно-волнового доплера

В режиме тканевого импульсно-волнового доплера для оценки диастолической функции левого и правого желудочков на уровне митрального и триkuspidального фиброзных колец рассчитывают следующие показатели:

$IVRT_m$ – время изоволюмического миокардиального расслабления (мс);

$IVCT_m$ – время изоволюмического миокардиального сокращения (мс);

DTe_m – время замедления волны E_m раннего диастолического движения (мс);

E_m – скорость раннего диастолического движения (см/с);

A_m – скорость позднего диастолического движения (см/с);

E_m/A_m – отношение скорости раннего диастолического движения фиброзного кольца к скорости позднего диастолического движения;

ET_m диастолический – время от начала раннего диастолического движения до конца позднего диастолического движения или продолжительность диастолы (мс).

Помимо вышеописанных показателей, можно рассчитать интегралы скоростей каждой из фаз кривой (систола, ранняя и поздняя диастола).

Расчет давления в левом предсердии и конечного давления в левом желудочке для оценки диастолической функции желудочков

Расчет давления в левом предсердии с помощью систолической фракции кровотока в легочной вене. С помощью систолической фракции (SF) можно рассчитать давление в левом предсердии:

$$LAP = 35 - 0,39 \cdot (SF),$$

где LAP – давление в левом предсердии, в мм рт. ст.

Систолическая фракция равна сумме интегралов линейной скорости потока в легочной вене в систолу и в диастолу, деленной на интеграл линейной скорости в диастолу и умноженной на 100%:

$$SF = [(VTI_s + VTI_d) / VTI_d] \cdot 100\%.$$

Так, при SF менее 55 % давление в левом предсердии (LAP) меньше или равно 15 мм рт. ст.

Расчет давления в левом предсердии по скорости струи митральной регургитации. Данный способ расчета давления в левом предсердии связан с измерением пикового градиента давления потока митральной регургитации. Получив данную величину, измеряют систолическое артериальное давление пациента с помощью тонометра. Давление в левом предсердии будет равно разнице давления в левом желудочке в систолу, то есть систолическому артериальному давлению минус разница давления между левым предсердием и желудочком в систолу:

$$P_{\text{лп}} = A \bar{D}_{\text{сист лж}} - PG_{\text{мр}},$$

где $PG_{\text{мр}}$ – градиент давления потока митральной регургитации.

Расчет давления в левом предсердии с использованием импульсно-волнового и цветового доплера в *M*-режиме:

$$P_{\text{лп}} = 5,27 \cdot (v_e/v_p) + 4,6,$$

где v_e – скорость пика Е трансмитрального диастолического потока в режиме импульсно-волнового доплера, v_p – скорость распространения потока в фазе диастолы к верхушке левого желудочка в *M*-режиме цветового доплера (апикальная четырехкамерная позиция).

Расчет конечного диастолического давления левого желудочка по скорости потока в легочной вене в фазу предсердной систолы:

$$EDPLV = (0,48) \cdot (v_{pva}) - 1,6,$$

где v_{pva} – скорость потока в легочной вене в фазу систолы предсердия.

Эмпирический расчет конечного диастолического давления в левом желудочке по параметрам трансмитрального диастолического кровотока:

$$EDPLV = 46 - (0,22 \cdot IVRT) - (0,10 \cdot AFF) - (0,03 \cdot DT) - 2 \cdot (E/A) + (0,05 \cdot MAR),$$

где IVRT – время изоволюмического расслабления, AFF – фракция сокращения предсердия, DT – время замедления потока пика Е, E/A – отношение скоростей потоков Е к А, MAR – время от щелчка – закрытия митрального клапана до зубца R на ЭКГ.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Митьков В.В., Сандриков В.А. Клиническое руководство по ультразвуковой диагностике. – М.: Видар, 1998. Т. 5. С.119–128.

Шиллер Н., Осипов М.Л. Клиническая эхокардиография. – 2-е изд. – М.: Практика, 2005. С. 62–73.

Рыбакова М.К., Алексин М.Н., Митьков В.В. Практическое руководство по ультразвуковой диагностике. Эхокардиография. – М: Видар, 2008. С.101–120.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

I. Стандартные измерения на эхоТМПУЛЬСНЫХ ультразвуковых кардиографических изображениях, соответствующих использованию В- и М-режимов сканирования

Лабораторная работа 1

Идентификация предъявленных эхокардиографических изображений в стандартных доступах и позициях ультразвукового зонда

Цель работы: освоение принципов идентификации эхоТМПУЛЬСНЫХ кардиографических изображений сердца, полученных в В- и М-режимах ультразвукового сканирования; выработка навыков идентификации основных структурных элементов анатомии сердца и фаз сердечного цикла на реальных эхокардиографических ультразвуковых изображениях; отработка навыков использования программы Paint и графического редактора Word.

Подготовка к работе

1. Изучить разделы 1 и 3, а также подраздел 2.1 теоретической части.
2. Освоить работу с изображениями с использованием программы Paint и графического редактора Word.

Рабочее задание

1. Создать рабочую папку на устройстве С: с именем, представляющим фамилию и инициалы студента (например, «Иванов И.И.»), в которую будут помещаться все рабочие файлы. Ознакомиться с предъявлением индивидуальным набором ультразвуковых изо-

бражений сердца (индивидуальным вариантом) и занести этот набор эхокардиографических изображений в рабочую папку. При этом следует иметь в виду, что на предъявленных двухмерных эхокардиографических изображениях «левое сердце» расположено в **левой** части изображения в отличие от наиболее часто используемого в литературе (см. теоретическую часть) расположения «левого сердца» в **правой** части изображения.

2. Для каждого из предъявленных индивидуальных эхокардиографических изображений текстом идентифицировать использованные для их получения стандартные доступы и позиции ультразвукового зонда, указать использованный режим сканирования, а также идентифицировать основные структурные элементы анатомии сердца и зарегистрировать их на изображении. Для этого, переведя файл каждого изображения в режим Word (с возможным промежуточным использованием программы Paint для изменения масштаба изображения), воспользоваться текстовым и графическим (выноски, стрелки) редакторами.

3. На изображениях, соответствующих *M*-режиму сканирования, с зарегистрированными вами структурными элементами анатомии сердца отметить графически (с соответствующей текстовой нотацией) основные динамические фазы сердечного цикла (по крайней мере, систолу и диастолу).

4. На изображениях, соответствующих *B*-режиму сканирования, с зарегистрированными вами структурными элементами анатомии сердца указать текстом идентифицируемую для данного изображения фазу сердечного цикла.

5. Написать краткий отчет о проделанной работе (можно в электронном виде, поместив файл отчета в рабочую папку).

Требования к оформлению отчета

Отчет должен содержать:

титульный лист с наименованием учебного заведения, кафедры, курса, лабораторной работы, фамилией и подписью студента;
указание цели работы;

описание объектов исследования;
результаты выполнения работы;
заключение, в котором приводится краткое перечисление выполненных действий, полученных результатов и сделанные из этих результатов выводы.

Контрольные вопросы

1. Что представляет собой сердце в самом общем смысле?
2. Сколько камер содержит сердце и каково их назначение?
3. Сколько клапанов содержит сердце и каково их назначение?
4. Чем функционально «левое» сердце отличается от «правого»?
5. Из чего состоит система иннервации сердца и каково ее назначение?
6. Что представляет собой кардиоцикл и каковы его основные фазы?
7. Чем отличаются *B*- и *M*-режимы ультразвукового сканирования?

Лабораторная работа 2

Идентификация основных структурных элементов анатомии сердца и фаз его гемодинамики на предъявленных мультимедийных эхокардиографических изображениях

Цель работы: освоение принципов идентификации эхоИМПУЛЬСНЫХ мультимедийных кардиографических изображений сердца, полученных в В-режиме ультразвукового сканирования; выработка навыков идентификации основных структурных элементов анатомии сердца и фаз сердечного цикла на реальных мультимедийных эхокардиографических ультразвуковых изображениях; отработка навыков использования графического редактора *Virtual Dub Mod 1.5.10.2* для покадровой развертки мультимедийных изображений с последующим применением программы *Paint* и графического редактора *Word*.

Подготовка к работе

1. Изучить разделы 1 и 3, а также подраздел 2.1 теоретической части.
2. Освоить работу с изображениями с использованием графического редактора *Virtual Dub Mod 1.5.10.2* для покадровой развертки мультимедийных изображений, а также программы *Paint* и графического редактора *Word* для последующей обработки статических изображений.

Рабочее задание

1. Ознакомиться с предъявлением индивидуальным набором эхоИМПУЛЬСНЫХ ультразвуковых мультимедийных изображений сердца, создать рабочую папку на устройстве С: с именем, представляющим фамилию и инициалы студента (например, «Иванов И.И.»), в которую следует занести предъявленные мультимедийные изображения в качестве индивидуального задания и впоследствии заносить рабочие файлы. Для каждого из предъявленных

индивидуальных эхокардиографических мультимедийных изображений текстом идентифицировать использованные для их получения стандартные доступы и позиции ультразвукового зонда, а также указать использованный режим сканирования. При этом следует иметь в виду, что на предъявленных двухмерных эхокардиографических изображениях «левое сердце» расположено в **левой** части изображения в отличие от наиболее часто используемого в литературе (см. тертетическую часть) расположения «левого сердца» в **правой** части изображения.

2. Для каждой из предъявленных мультимедийных эхокардиограмм выделить и зафиксировать наиболее характерные фазы сердечного цикла (систолу, диастолу). Для этого следует воспользоваться графическим редактором Virtual Dub Mod 1.5.10.2, позволяющим произвести покадровую развертку мультимедийного изображения (при этом целесообразно ограничить временную длительность мультимедийного изображения небольшим количеством повторяющихся кардиоциклов).

3. Выбрать из полученных последовательностей покадровых изображений для каждого из предъявленных мультимедийных изображений по две серии (последовательности) статических кадров, которые на Ваш взгляд отвечают систолической и диастолической фазам сердечного цикла, и выделить эти серии кадров в отдельные папки файлов.

4. Из каждой серии кадров, выделенных в п. 3, отобрать по одной паре изображений, соответствующих систолической и диастолической фазам сердечного цикла, идентифицировать на них (с помощью текстового и графического редакторов Word) основные структурные элементы анатомии сердца и зарегистрировать их на изображениях, как это делалось в лабораторной работе 1.

5. Написать краткий отчет о проделанной работе (можно в электронном виде, поместив файл отчета в рабочую папку).

Требования к оформлению отчета

Отчет должен содержать:

титульный лист с наименованием учебного заведения, кафедры, курса, лабораторной работы, фамилией и подписью студента;

указание цели работы;
описание объектов исследования;
результаты выполнения работы;
заключение, в котором приводится краткое перечисление выполненных действий, полученных результатов и сделанные из этих результатов выводы.

Контрольные вопросы

1. Что представляет собой сердце в самом общем смысле?
2. Сколько камер содержит сердце и каково их назначение?
3. Сколько клапанов содержит сердце и каково их назначение?
4. Чем функционально «левое» сердце отличается от «правого»?
5. Из чего состоит система иннервации сердца и каково ее назначение?
6. Что представляет собой кардиоцикл и каковы его основные фазы?
7. Какие фазы кардиоцикла имеют место между систолой и диастолой?

Лабораторная работа 3

Стандартные измерения на эхокардиографических изображениях, соответствующих использованию B- и M-режимов сканирования

Цель работы: приобретение навыков проведения стандартных измерений основных геометрических параметров сердца по эхокардиографическим изображениям, полученным эхоимпульсными методами при различных доступах и позициях ультразвукового сканирования для двух основных методов сканирования (B- и M-режимы).

Подготовка к работе

1. Изучить разделы 1 и 3, а также подраздел 2.1 теоретической части.
2. Изучить по разделу 5 теоретической части подразделы, которые касаются использования именно B- и M-режимов сканирования, для проведения соответствующих измерений и расчетов.
3. Освоить работу с изображениями с использованием программы Paint и графического редактора Word.

Рабочее задание

1. Создать рабочую папку на устройстве С: с именем, представляющим фамилию и инициалы студента (например, «Иванов И.И.»), в которую будут помещаться все рабочие файлы. Ознакомиться с предъявлением индивидуальным набором эхоимпульсных ультразвуковых изображений сердца (индивидуальным вариантом) и занести этот набор кардиографических изображений в рабочую папку. При этом следует иметь в виду, что на предъявленных двухмерных эхокардиографических изображениях «левое сердце» расположено в **левой** части изображения в отличие от наиболее часто используемого в литературе (см. теоретическую часть) расположения «левого сердца» в **правой** части изображения.

2. Для каждого из предъявленных индивидуальных эхокардиографических изображений текстом идентифицировать использованные для их получения стандартные доступы и позиции ультразвукового зонда, указать использованный режим сканирования, а также идентифицировать основные структурные элементы анатомии сердца и зарегистрировать их на изображении. Для этого, переводя файл каждого изображения в режим Word (с возможным промежуточным использованием программы Paint для изменения масштаба изображения), воспользоваться текстовым и графическим (выноски, стрелки) редакторами, как это делалось в лабораторной работе 1.

3. Для каждого из предъявленных индивидуальных эхокардиографических изображений указать графически (с использованием графического редактора Word) какие именно геометрические параметры сердца могут быть измерены на соответствующих эхокардиографических изображениях (решение этой задачи в случае *M*-изображений в значительной степени облегчается указанными на встроенных *B*-изображениях положениях курсора) и провести соответствующие измерения, результаты которых свести в таблицы.

4. Сравнить полученные результаты с соответствующими современными нормативами (см. нормативы 1995 г. в разд. 5 теоретической части) и сделать вывод о норме или патологии. При наличии последней с помощью табл. 5.1–5.2 сделать вывод о степени патологии.

5. Написать краткий отчет о проделанной работе (можно в электронном виде, поместив файл отчета в рабочую папку).

Требования к оформлению отчета

Отчет должен содержать:

титульный лист с наименованием учебного заведения, кафедры, курса, лабораторной работы, фамилией и подписью студента;

указание цели работы;

описание объектов исследования;

результаты выполнения работы;

заключение, в котором приводится краткое перечисление выполненных действий, полученных результатов и сделанные из этих результатов выводы.

Контрольные вопросы

1. Какие геометрические параметры сердца могут быть измерены на *B*-эхограмме, соответствующей парастернальной позиции в доступе вдоль длинной оси левого желудочка, а также в апикальной четырехкамерной позиции?
2. Какие геометрические параметры сердца относятся к стандартно измеряемым на *M*-эхограммах при некоторых стандартных положениях курсора, обозначаемого на встроенных *B*-изображениях?
3. Для чего нужны измерения геометрических параметров сердца?
4. Какие расчеты для оценки функции желудочков можно произвести по измеренным геометрическим параметрам сердца?

Лабораторная работа 4

Сравнительная оценка результатов стандартных эхокардиографических измерений одних и тех же геометрических параметров сердца, полученных с использованием изображений в В- и М-режимах сканирования

Цель работы: проведение сравнительной оценки результатов стандартных измерений одних и тех же основных геометрических параметров сердца, полученных с использованием эхоИМПУЛЬСНЫХ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ изображений, соответствующих различным доступам и позициям ультразвукового сканирования для двух основных методов сканирования (В- и М-режимы). Результаты работы должны продемонстрировать точностную предпочтительность использования для подобных количественных измерений в М-режиме сканирования.

Подготовка к работе

1. Изучить разделы 1 и 3, а также подраздел 2.1 теоретической части.
2. Изучить по разделу 5 теоретической части те подразделы, которые касаются использования для соответствующих измерений и расчетов В- и М-режимов сканирования.
3. Освоить работу с изображениями с использованием программы Paint и графического редактора Word.

Рабочее задание

1. Создать рабочую папку на устройстве С: с именем, представляющим фамилию и инициалы студента (например, «Иванов И.И.»), в которую будут помещаться все рабочие файлы; ознакомиться с предъявлением индивидуальным набором эхоИМПУЛЬСНЫХ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ЭХОКАРДИОГРАФИЧЕСКИХ изображений (индивидуальным вариантом) и занести этот набор изображений в рабочую

папку. При этом следует иметь в виду, что на предъявленных двухмерных эхокардиографических изображениях «левое сердце» расположено в **левой** части изображения в отличие от наиболее часто используемого в литературе (см. теоретическую часть) расположения «левого сердца» в **правой** части изображения.

2. Для каждого из предъявленных индивидуальных эхокардиографических изображений текстом идентифицировать использованные для их получения стандартные доступы и позиции ультразвукового зонда, указать использованный режим сканирования, а также идентифицировать основные структурные элементы анатомии сердца и зарегистрировать их на изображении. Для этого, переводя файл каждого изображения в режим Word (с возможным промежуточным использованием программы Paint для изменения масштаба изображения), воспользоваться текстовым и графическим (выноски, стрелки) редакторами, как это делалось в лабораторных работах 1 и 3.

3. На предъявленных *B*-изображениях сердца в зависимости от индивидуального задания провести измерения диаметров левого предсердия и левого желудочка, а также толщин межжелудочковой перегородки и задней стенки левого желудочка, как это делалось в лабораторной работе 3.

4. На предъявленных изображениях этого же сердца в *M*-режиме сканирования (парастернальная позиция, длинная ось левого желудочка) провести измерения перечисленных в п. 3 геометрических параметров сердца и дополнительно провести измерение диаметра аортального клапана или корня аорты.

5. Провести сравнительную оценку результатов сделанных измерений одних и тех же геометрических параметров сердца, полученных с использованием *B*- и *M*-режимов сканирования.

6. Написать краткий отчет о проделанной работе (можно в электронном виде, поместив файл отчета в рабочую папку).

Требования к оформлению отчета

Отчет должен содержать:

титульный лист с наименованием учебного заведения, кафедры, курса, лабораторной работы, фамилией и подписью студента;

указание цели работы;
описание объектов исследования;
результаты выполнения работы;
заключение, в котором приводится краткое перечисление выполненных действий, полученных результатов и сделанные из этих результатов выводы.

Контрольные вопросы

1. Какие геометрические параметры сердца могут быть измерены на *B*-эхограмме, соответствующей парастернальной позиции в доступе вдоль длинной оси левого желудочка, а также в апикальной четырехкамерной позиции?
2. Какие геометрические параметры сердца относятся к стандартно измеряемым на *M*-эхограммах при некоторых стандартных положениях курсора, обозначаемого на встроенных *B*-изображениях?
3. Для чего нужны измерения геометрических параметров сердца?
4. Какие расчеты для оценки функций желудочков можно произвести по измеренным геометрическим параметрам сердца?
5. Какой режим сканирования (*B* или *M*) обеспечивает более высокую точность при измерениях геометрических параметров сердца?

Лабораторная работа 5

Расчет основных анатомических и физиологических параметров сердца по результатам измерения соответствующих геометрических параметров эхокардиографических изображений

Цель работы: приобретение навыков расчета основных анатомических и физиологических параметров сердца по результатам измерения соответствующих геометрических параметров эхокардиографических изображений, полученных эхоИмпульсными методами при различных доступах и позициях ультразвукового сканирования для двух основных методов сканирования (В- и М-режимы).

Подготовка к работе

1. Изучить разделы 1 и 3 теоретической части, а также подраздел 2.1.
2. Изучить из раздела 5 теоретической части те подразделы, которые касаются использования В- и М-режимов сканирования для соответствующих измерений и расчетов.
3. По материалам раздела 5 теоретической части освоить существующие математические методы расчетов основных анатомических и физиологических параметров сердца при использовании эхокардиографических изображений, полученных при В- и М-режимах сканирования. Освоить работу с математическими формулами, применяемыми для реализации соответствующих методов расчета.
4. Освоить работу с изображениями с использованием программы Paint и графического редактора Word.

Рабочее задание

1. Создать рабочую папку на устройстве С: с именем, представляющим фамилию и инициалы студента (например, «Иванов И.И.»),

в которую будут помещаться все рабочие файлы; ознакомиться с предъявленным индивидуальным набором ультразвуковых эхокардиографических изображений (индивидуальным вариантом) и занести этот набор изображений в рабочую папку. При этом следует иметь в виду, что на предъявленных двухмерных эхокардиографических изображениях «левое сердце» расположено в **левой** части изображения в отличие от наиболее часто используемого в литературе (см. теоретическую часть) расположения «левого сердца» в **правой** части изображения.

2. Из предъявленных эхокардиографических изображений отобрать те, которые можно использовать для проведения расчетов объема и массы миокарда левого желудочка, а также для проведения расчетов ударного объема, фракции выброса и фракции укорочения волокон миокарда левого желудочка (решение этой задачи в случае *M*-изображений в значительной степени облегчается указанными на встроенных *B*-изображениях положениях курсора; при наличии в индивидуальном задании мультимедийного *B*-изображения сердца, пригодного по вашему мнению для проведения указанных выше расчетов геометрических и физиологических параметров, предварительно следует воспользоваться графическим редактором Virtual Dub Mod 1.5.10.2, позволяющим произвести покадровую развертку мультимедийного изображения, как это делалось в лабораторной работе 2; выбрать из полученной последовательности покадровых изображений те кадры, которые на ваш взгляд могут быть использованы для проведения соответствующих расчетов, и выделить эти кадры в отдельные файлы). Для каждого из отобранных вами эхокардиографических изображений идентифицировать использованные для их получения доступы и позиции ультразвукового зонда, а также основные структурные элементы анатомии сердца и зарегистрировать их на изображении, как это делалось в лабораторных работах 1–4.

3. Для каждого из отобранных вами изображений одного и того же сердца указать графически (с использованием графического редактора Word), какие именно геометрические параметры сердца должны быть измерены на данных эхокардиографических изображениях для проведения расчетов объема и массы миокарда левого

желудочка, а также ударного объема, фракции выброса и фракции укорочения волокон миокарда левого желудочка, и провести измерения соответствующих геометрических параметров сердца, а результаты измерений свести в таблицы.

4. С использованием измеренных геометрических параметров сердца для каждого из отобранных вами изображений провести расчет объема и массы миокарда левого желудочка по нескольким известным вам расчетным формулам.

5. С использованием измеренных геометрических параметров сердца для каждого из отобранных вами изображений провести расчет ударного объема, фракции выброса и фракции укорочения волокон миокарда левого желудочка.

6. Провести сравнение результатов расчетов анатомических и физиологических параметров сердца, выполненных с использованием эхокардиографических изображений, полученных при различных доступах и позициях ультразвукового зонда, а также результатов расчетов, полученных с использованием различных формул, с современными нормативами соответствующих параметров сердца и сделать вывод о норме или патологии (в последнем случае оценить степень патологии).

7. Написать краткий отчет о проделанной работе (можно в электронном виде, поместив файл отчета в рабочую папку).

Требования к оформлению отчета

Отчет должен содержать:

титульный лист с наименованием учебного заведения, кафедры, курса, лабораторной работы, фамилией и подписью студента;

указание цели работы;

описание объектов исследования;

результаты выполнения работы;

заключение, в котором приводятся краткое перечисление выполненных действий, полученные результаты и сделанные из этих результатов выводы.

Контрольные вопросы

1. Для чего нужны измерения геометрических параметров сердца?
2. Перечислите основные анатомические и физиологические параметры сердца, которые могут быть рассчитаны с использованием измеренных фрагментов эхокардиографических изображений, полученных в *B*- и *M*-режимах сканирования.
3. Какие расчеты для оценки функций желудочков можно произвести по измеренным геометрическим параметрам сердца?
4. Какие геометрические параметры эхокардиографических изображений, полученных в *B*- и *M*-режимах сканирования, необходимо измерить для расчетов массы миокарда левого желудочка, ударного объема и фракции выброса левого желудочка, а также фракции укорочения волокон миокарда левого желудочка?
5. Какие геометрические параметры сердца должны быть измерены на *B*-эхограмме, соответствующей парастернальной позиции в доступе вдоль длинной оси левого желудочка, а также в апикальной 4-камерной позиции, для проведения расчетов перечисленных выше (в п. 4) анатомических и физиологических параметров сердца?
6. Какие геометрические параметры сердца относятся к стандартно измеряемым на *M*-эхограммах при некоторых стандартных положениях курсора, обозначаемых на встроенных *B*-изображениях, и какие из этих параметров необходимы для проведения расчетов анатомических и физиологических параметров сердца?

II. Стандартные измерения гемодинамических параметров сердца с использованием доплеровских эхокардиограмм, соответствующих режиму импульсно-волнового доплеровского исследования

Лабораторная работа 6

Идентификация предъявленных доплеровских эхокардиографических изображений в стандартных доступах и позициях ультразвукового зонда

Цель работы: освоение принципов идентификации эхокардиографических изображений сердца, полученных с использованием основных разновидностей технологий доплеровской эхокардиографии (импульсно-волновой, цветовой, тканевой); выработка навыков идентификации основных структурных элементов анатомии сердца и оценки индивидуальных гемодинамических параметров исследованного сердца на реальных эхокардиографических ультразвуковых изображениях; отработка навыков использования программы *Paint* и графического редактора *Word* при анализе изображений.

Подготовка к работе

1. Изучить разделы 1, 3 и 4, а также подраздел 2.2 теоретической части.
2. Освоить работу с изображениями с использованием программы *Paint* и графического редактора *Word*.

Рабочее задание

1. Ознакомиться с предъявлением индивидуальным набором доплеровских ультразвуковых эхокардиографических изображений сердца, создать рабочую папку на устройстве С: с именем, представляющим фамилию и инициалы студента (например, «Иванов И.И.»), в которую следует занести предъявленные изображения в

качестве индивидуального задания и впоследствии заносить рабочие файлы. При этом следует иметь в виду, что на предъявленных двухмерных эхокардиографических изображениях «левое сердце» расположено в **левой** части изображения в отличие от наиболее часто используемого в литературе (см.теоретическую часть) расположения «левого сердца» в **правой** части изображения.

2. Для каждого из предъявленных индивидуальных эхокардиографических изображений текстом идентифицировать использованные для их получения стандартные доступы и позиции ультразвукового зонда, указать использованный режим сканирования, идентифицировать разновидность доплеровской эхокардиографической технологии (импульсно-волновой, цветовой, тканевой), использованной для получения соответствующего изображения, а также идентифицировать цель проведенного доплеровского исследования и зарегистрировать структурные элементы анатомии сердца, расположенные вблизи измерительного объема. Для этого, переводя файл изображения в режим Word (с возможным промежуточным использованием программы Paint для изменения масштаба изображения), воспользоваться текстовым и графическим (выноски, стрелки) редакторами.

3. На изображениях с идентифицированными вами исследуемыми структурными элементами анатомии сердца отметить графически (с соответствующей текстовой нотацией) основные динамические фазы сердечного цикла, а также зарегистрировать и дать описание характерных фрагментов изображения, отражающих индивидуальную гемодинамику исследованного сердца.

4. Написать краткий отчет о проделанной работе (можно в электронном виде, поместив файл отчета в рабочую папку).

Требования к оформлению отчета

Отчет должен содержать:

титульный лист с наименованием учебного заведения, кафедры, курса, лабораторной работы, фамилией и подписью студента;

указание цели работы;

описание объектов исследования;
результаты выполнения работы;
заключение, в котором приводятся краткое перечисление выполненных действий, полученные результаты и сделанные из этих результатов выводы.

Контрольные вопросы

1. Перечислите разновидности технологий доплеровской эхокардиографии и их основные возможности в исследовании сердца.
2. Что позволяет исследовать импульсно-волновая и цветовая доплеровская эхокардиография?
3. Что позволяет исследовать тканевая доплеровская эхокардиография?
4. Как по эходоплерокардиограмме идентифицировать фазы сердечного цикла?
5. Что такое регургитация сердечных клапанов и как она проявляется на доплеровских эхокардиограммах?

Лабораторная работа 7

Идентификация основных структурных элементов анатомии сердца и фаз его гемодинамики на предъявленных мультимедийных доплеровских эхокардиографических изображениях

Цель работы: освоение принципов идентификации доплеровских мультимедийных эхокардиографических изображений сердца, полученных в режимах импульсно-волнового и цветового доплеровского сканирования; выработка навыков идентификации основных структурных элементов анатомии сердца и фаз сердечного цикла на реальных мультимедийных эхокардиографических ультразвуковых изображениях; отработка навыков использования графического редактора Virtual Dub Mod 1.5.10.2 для покадровой развертки мультимедийных изображений с последующим применением программы Paint и графического редактора Word.

Подготовка к работе

1. Изучить разделы 1 и 3, а также подраздел 2.2 теоретической части.
2. Освоить работу с изображениями с использованием графического редактора Virtual Dub Mod 1.5.10.2 для покадровой развертки мультимедийных изображений, а также программы Paint и графического редактора Word для последующей обработки статических изображений.

Рабочее задание

1. Ознакомиться с предъявлением индивидуальным набором доплеровских ультразвуковых мультимедийных эхокардиографических изображений, создать рабочую папку на устройстве С: с именем, представляющим фамилию и инициалы студента (например, «Иванов И.И.»), в которую следует занести предъявленные мультимедийные изображения в качестве индивидуального задания

и впоследствии заносить рабочие файлы; для каждого из предъявленных индивидуальных эхокардиографических мультимедийных изображений текстом идентифицировать использованные для их получения стандартные доступы и позиции ультразвукового зонда, а также указать, на каком именно структурном элементе сердца проводится данное допплеровское ультразвуковое исследование. При этом следует иметь в виду, что на предъявленных двухмерных эхокардиографических изображениях «левое сердце» расположено в **левой** части изображения в отличие от наиболее часто используемого в литературе (см. теоретическую часть) расположения «левого сердца» в **правой** части изображения.

2. На каждой из предъявленных мультимедийных допплеровских эхокардиограмм идентифицировать наиболее характерные фазы сердечного цикла (систолу, диастолу), как это делалось в лабораторной работе 2. Для этого следует воспользоваться графическим редактором Virtual Dub Mod 1.5.10.2, позволяющим произвести покадровую развертку мультимедийного изображения (при этом целесообразно ограничить временную длительность мультимедийного изображения небольшим количеством повторяющихся кардиоциклов); выбрать из полученных последовательностей покадровых изображений для каждого из предъявленных мультимедийных изображений по две наиболее характерных серии статических кадров, которые на Ваш взгляд отвечают систолической и диастолической фазам сердечного цикла, и выделить эти серии кадров в отдельные папки файлов.

3. Для каждого из зафиксированных в п. 2 наборов статических эхокардиографических изображений, соответствующих по Вашему мнению систолической и диастолической фазам сердечного цикла, идентифицировать основные структурные элементы анатомии сердца и зарегистрировать их на изображении, как это делалось в лабораторной работе 2.

4. Для каждого из зафиксированных в п. 2 наборов статических эхокардиографических изображений, соответствующих по вашему мнению систолической и диастолической фазам сердечного цикла, идентифицировать и зафиксировать наиболее яркие и характерные гемодинамические фрагменты этих изображений.

5. Написать краткий отчет о проделанной работе (можно в электронном виде, поместив файл отчета в рабочую папку).

Требования к оформлению отчета

Отчет должен содержать:

титульный лист с наименованием учебного заведения, кафедры, курса, лабораторной работы, фамилией и подписью студента;
указание цели работы;
описание объектов исследования;
результаты выполнения работы;
заключение, в котором приводится краткое перечисление выполненных действий, полученные результаты и сделанные из этих результатов выводы.

Контрольные вопросы

1. Перечислите разновидности технологий доплеровской эхокардиографии и их основные возможности в исследовании сердца.
2. Что позволяет исследовать импульсно-волновая и цветовая эходоплерокардиография?
3. Что позволяет исследовать тканевая эходоплерокардиография?
4. Как по эходоплерокардиограмме идентифицировать фазы сердечного цикла?
5. Что такое регургитация сердечных клапанов и как она проявляется на эходоплерокардиограммах?

Лабораторная работа 8

Стандартные измерения гемодинамических параметров сердца с использованием допплеровских эхокардиограмм, соответствующих режиму импульсно-волнового доплера

Цель работы: приобретение навыков расчета некоторых основных физиологических параметров сердца по результатам измерения соответствующих временных и гемодинамических параметров допплеровских эхокардиографических изображений, полученных методом импульсно-волнового допплеровского исследования при двух различных доступах и позициях ультразвукового сканирования.

Подготовка к работе

1. Изучить разделы 1 и 4, а также подраздел 2.2 теоретической части.
2. Изучить по разделу 5 теоретической части те подразделы, которые касаются использования режима импульсно-волнового доплера для измерений временных и гемодинамических параметров сердечной гемодинамики, а также проведения соответствующих расчетов физиологических параметров сердца.
3. По материалам раздела 5 теоретической части изучить существующие математические методы расчетов основных физиологических параметров сердца при использовании эхокардиографических изображений, полученных в режиме импульсно-волнового допплеровского кардиографического сканирования. Освоить работу с математическими формулами, применяемыми для реализации соответствующих методов расчета.
4. Освоить работу с изображениями при использовании программы Paint и графического редактора Word.

Рабочее задание

1. Создать рабочую папку на устройстве **С:** с именем, представляющим фамилию и инициалы студента (например, «Иванов И.И.»), в которую впоследствии заносить рабочие файлы. Ознакомиться с предъявланным индивидуальным набором доплеровских ультразвуковых изображений сердца и занести их в рабочую папку. При этом следует иметь в виду, что на предъявленных двухмерных эхокардиографических изображениях «левое сердце» расположено в **левой** части изображения в отличие от наиболее часто используемого в литературе (см. теоретическую часть) расположения «левого сердца» в **правой** части изображения.
2. Для каждого из предъявленных индивидуальных эхокардиографических изображений текстом идентифицировать использованные для их получения стандартные доступы и позиции ультразвукового зонда, а также указать режим сканирования. Идентифицировать цель проведенного доплеровского исследования и зарегистрировать структурные элементы анатомии сердца, расположенные вблизи измерительного объема. Для этого, переводя файл изображения в режим Word (с возможным промежуточным использованием программы Paint для изменения масштаба изображения), воспользоваться текстовым и графическим (выноски, стрелки) редакторами, как это делалось в лабораторной работе 6.
3. Для каждого из предъявленных изображений сердца отметить графически (с соответствующей текстовой нотацией) основные динамические фазы сердечного цикла и дать описание фрагментов изображения, отражающих индивидуальную гемодинамику исследованного сердца.
4. Графически указать на предъявленных изображениях те временные и гемодинамические параметры, которые необходимо измерить для расчета гемодинамических и физиологических функций желудочков сердца (в соответствии с индивидуальным заданием) и провести соответствующие измерения.
5. Провести расчет гемодинамических и физиологических функций исследованного сердца (в соответствии с индивидуальным заданием), сравнить полученные результаты с соответствую-

щими нормативами и сделать вывод об отсутствии или наличии патологии; в последнем случае указать степень патологии.

6. Написать краткий отчет о проделанной работе (можно в электронном виде, занеся его в рабочую папку).

Требования к оформлению отчета

Отчет должен содержать:

титульный лист с наименованием учебного заведения, кафедры, курса, лабораторной работы, фамилией и подписью студента;

указание цели работы;

описание объектов исследования;

результаты выполнения работы;

заключение, в котором приводятся краткое перечисление выполненных действий, полученные результаты и сделанные из этих результатов выводы.

Контрольные вопросы

1. Перечислите основные физиологические параметры сердца, которые могут быть рассчитаны с использованием измеренных временных и гемодинамических параметров эхокардиографических изображений, полученных в режиме импульсно-волнового допплеровского эхокардиографического исследования.

2. Какие временные и гемодинамические параметры эхокардиографических изображений, полученных в режиме импульсно-волнового допплеровского исследования, необходимо измерить для оценочных расчетов параметров кровотока через митральный и триkuspidальный клапаны в диастолической фазе сердечного цикла, а также величины ударного объема левого желудочка?

3. Какие временные и гемодинамические параметры эхокардиографических изображений, полученных в режиме импульсно-волнового допплеровского исследования, необходимо измерить для оценочного расчета ударного объема левого желудочка?

4. Чем отличаются гемодинамические параметры потоков крови на митральном и триkuspidальном клапанах сердца?

**ПРИМЕРЫ ВЫПОЛНЕНИЯ
ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ**

Приведены примеры выполнения рабочего задания каждой из восьми работ лабораторного практикума с индивидуальными наборами эхокардиографических изображений (одним из 20-и вариантов, заготовленных для каждой работы).

Для лабораторных работ 2 и 7 в конце книги помещен диск с набором мультимедийных эхокардиографических изображений и их покадровой развертки.

Пример выполнения рабочего задания лабораторной работы 1

Вариант № 3

1. Ознакомление с предъявленными изображениями по варианту № 3. Создание рабочей папки с фамилией и инициалами студента (папка «Иванов И.И.») и занесение в нее предъявленных изображений (см. п.1 – Вариант № 3» в папке «Иванов И.И.»).

Папка «ИВАНОВ И.И.», п.1 – Вариант № 3

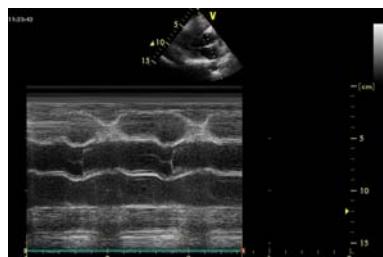


Image 2.2.15

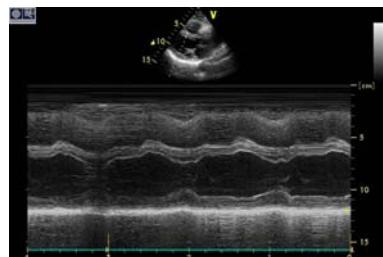


Image 2.2.20

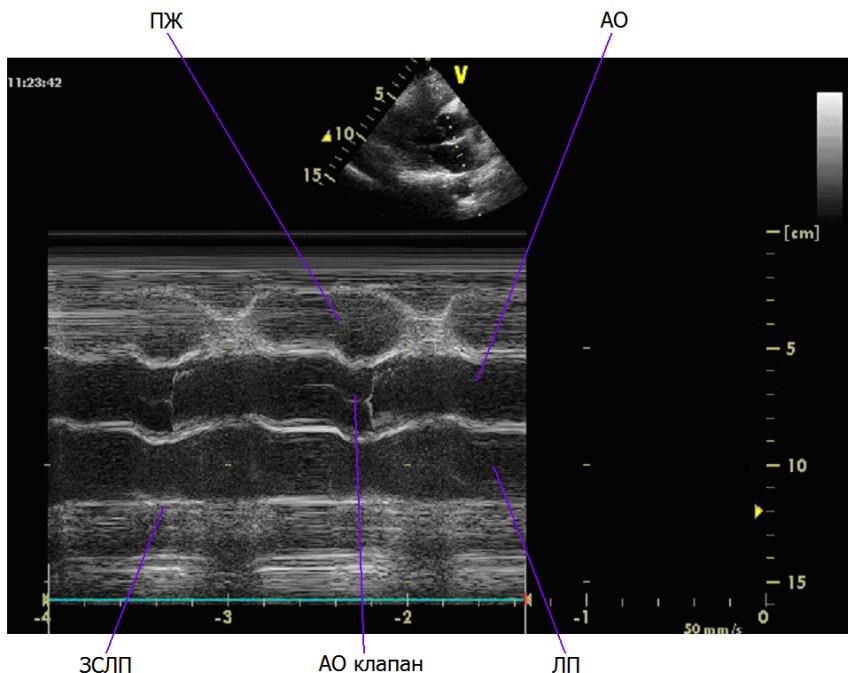


Image 3.1.19

2. Идентификация доступов и позиций ультразвукового зонда, а также использованного режима сканирования для каждого из предъявленных изображений; идентификация и графическая регистрация основных структурных элементов анатомии исследованного сердца (проводится в папке «Иванов И.И.», папка «п.2»).

Папка «Иванов И.И.», п. 2

Файл Image 2.2.15 – парастернальная позиция, длинная ось левого желудочка, *M*-режим сканирования со встроенным *B*-изображением (курсор проходит по корню аорты).



ПЖ – правый желудочек

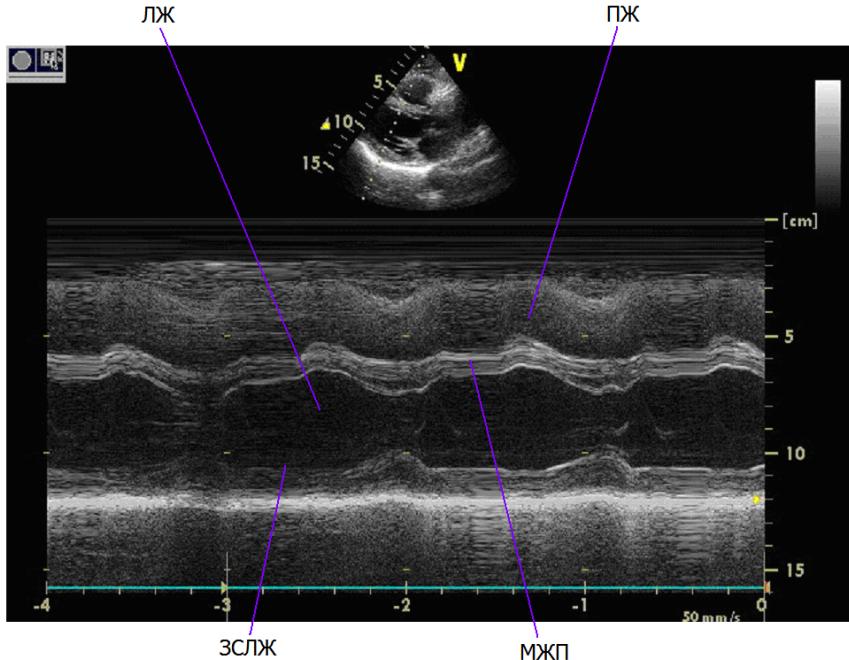
АО – аорта (курсор проходит по корню аорты)

ЛП – левое предсердие

ЗСЛП – задняя стенка левого предсердия

АО клапан – аортальный клапан

Файл Image 2.2.20 – парастернальная позиция, длинная ось левого желудочкa, *M*-режим сканирования со встроенным *B*-изображением; (курсор расположен в средней части левого желудочкa).



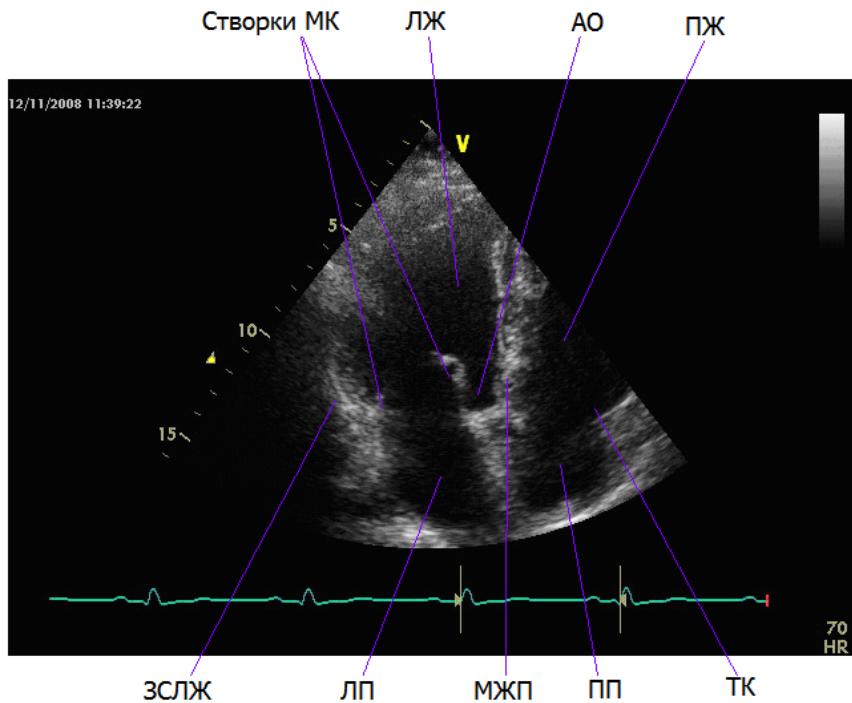
ПЖ – правый желудочек

ЛЖ – левый желудочек

МЖП – межжелудочковая перегородка

ЗСЛЖ – задняя стенка левого желудочкa

Файл Image 3.1.19 – апикальная пятикамерная позиция,
B-режим сканирования.



ЛП – левое предсердие

ПП – правое предсердие

ЛЖ – левый желудочек

ПЖ – правый желудочек

АО – аорта

МЖП – межжелудочковая перегородка

ЗСЛЖ – задняя стенка левого желудочка

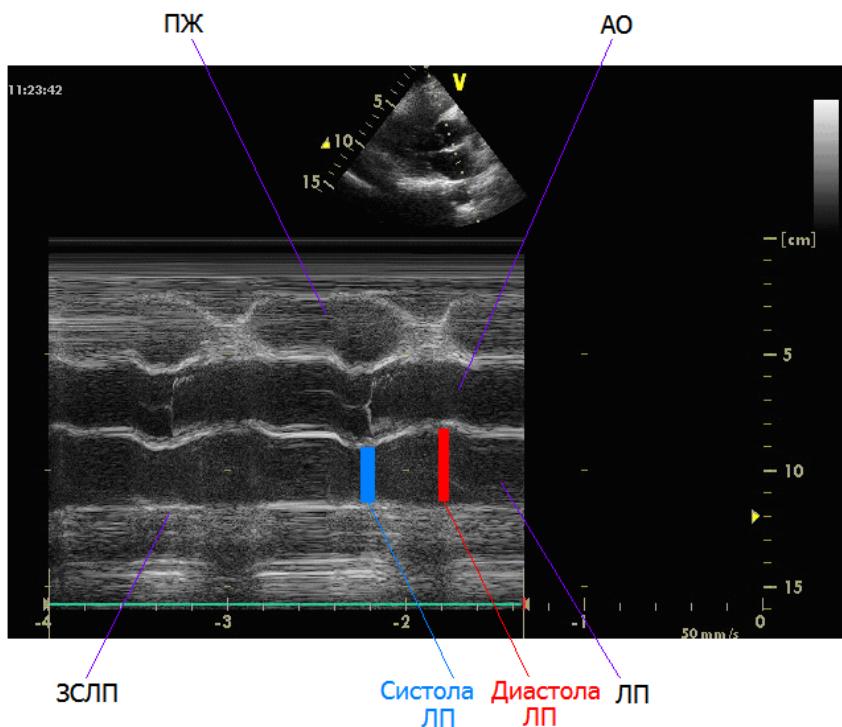
Створки МК – створки митрального клапана

ТК – трикуспидальный клапан

3. Идентификация динамических фаз сердечного цикла (систолы и диастолы) на предъявленных изображениях, соответствующих *M*-режиму сканирования (проводится в папке «Иванов И.И.», папка «п.3»).

Папка «Иванов И.И.», п. 3

Файл Image 2.2.15 – парастернальная позиция, длинная ось левого желудочка, *M*-режим сканирования со встроенным *B*-изображением.



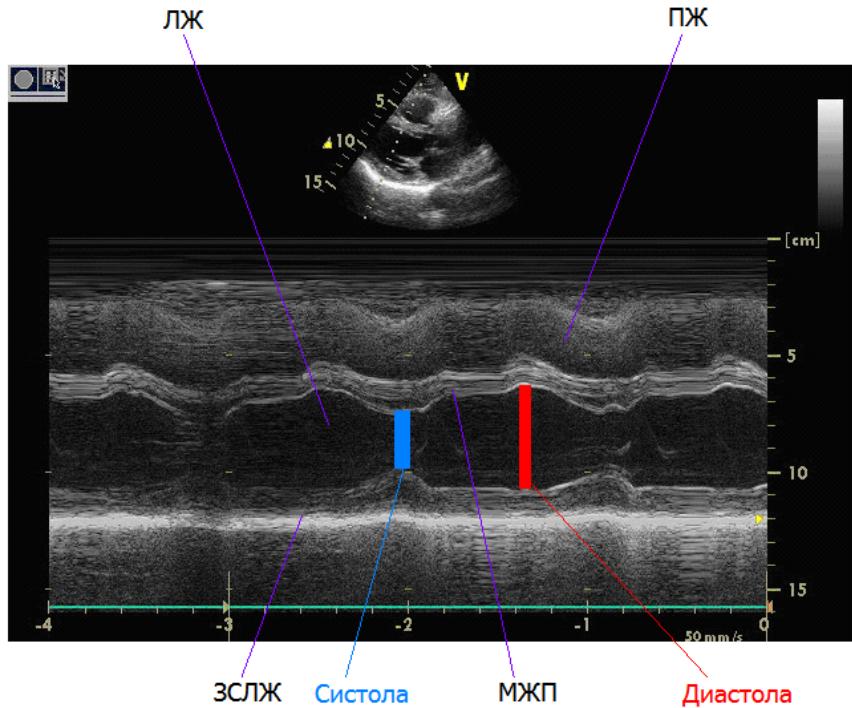
ПЖ – правый желудочек

АО – аорта (курсор проходит по корню аорты)

ЛП – левое предсердие

ЗСЛП – задняя стенка левого предсердия

Файл Image 2.2.20 – парастернальная позиция, длинная ось левого желудочка, *M*-режим сканирования со встроенным *B*-изображением (курсор расположен по диаметру левого желудочка).



ПЖ – правый желудочек

ЛЖ – левый желудочек

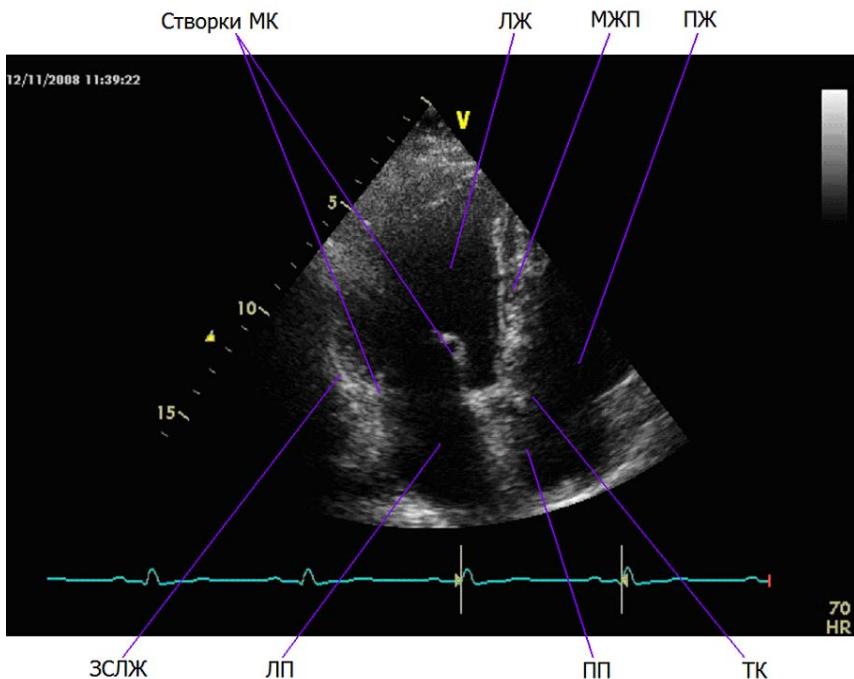
МЖП – межжелудочковая перегородка

ЗСЛЖ – задняя стенка левого желудочка

4. Идентификация динамических фаз сердечного цикла (систолы или диастолы) на предъявленных изображениях, соответствующих В-режиму сканирования (проводится в папке «Иванов И.И.», папка «п.4»).

Папка «Иванов И.И.», п. 4

Файл Image 3.1.19 – апикальная пятикамерная позиция, В-режим сканирования.



ЛП – левое предсердие

ПП – правое предсердие

ЛЖ – левый желудочек

ПЖ – правый желудочек

МЖП – межжелудочковая перегородка

ЗСЛЖ – задняя стенка левого желудочка

Створки МК – створки митрального клапана

ТК – трикуспидальный клапан

СТАДИЯ
ПОЗДНЕГО
ДИАСТОЛИЧЕСКОГО
НАПОЛНЕНИЯ
ЛЕВОГО ЖЕЛУДОЧКА

5. Написание и оформление краткого отчета о проделанной работе (проводится в папке «Иванов И.И.», папка «п. 5»).

Папка «Иванов И.И.», п. 5

Титул:

Федеральное агентство по образованию

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Факультет автоматики и электроники

Кафедра № 46



Лабораторная работа 1

«Идентификация предъявленных эхокардиографических изображений в стандартных доступах и позициях ультразвукового зонда»

в рамках лабораторного практикума
«Ультразвуковая эхокардиография»
по курсам
«Теоретическая физика» и «Физические методы
медицинской интроскопии»

Студент группы А6 – 23

И. И. Иванов

подпись

Цель работы: освоение принципов идентификации эхоТ-кардиографических изображений сердца, полученных в В- и М-режимах ультразвукового сканирования; выработка навыков идентификации основных структурных элементов анатомии сердца и фаз сердечного цикла на реальных эхокардиографических ультразвуковых изображениях; отработка навыков использования программы Paint и графического редактора Word.

Описание объектов исследования: три эхокардиографических изображения в двух доступах и трех позициях ультразвукового зонда, полученные в М- и В-режимах сканирования; предъявленные изображения относятся к варианту № 3 данной лабораторной работы и включают в себя файлы, приведенные в папке «п.1 – Вариант № 3» (см. папку «Иванов И.И.»).

Результаты выполнения работы: в соответствии с п.1 рабочего задания создана рабочая папка с фамилией и инициалами студента (папка «Иванов И.И.»), в которую занесены предъявленные эхокардиографические изображения по предложенному варианту № 3 (см. папку «п. 1 – Вариант № 3» в папке «Иванов И.И.») и проведено ознакомление с ними. При выполнении п. 2–4 рабочего задания исходные файлы предъявленных изображений были преобразованы в формат Word и снабжены соответствующими пометками с сохранением их исходных номеров (см. папки «п.2» – «п.4» в папке «Иванов И.И.»; при этом изменения масштабов изображения с помощью программы Paint не потребовалось).

Заключение: в результате работы для всех предъявленных эхокардиографических изображений идентифицированы доступы и позиции ультразвукового зонда, а также режимы ультразвукового сканирования, использованные для получения соответствующих изображений. В соответствии с рабочим заданием для всех предъявленных эхокардиографических изображений идентифицированы основные анатомические структурные элементы сердца, а также идентифицированы графически основные гемодинамические фазы (систола и диастола) на М-изображениях и указана конкретная гемодинамическая фаза на В-изображении. Таким образом, рабочее задание выполнено в полном объеме.

Пример выполнения рабочего задания лабораторной работы 2

Вариант № 9

1. Ознакомление с предъявленными изображениями по варианту № 9, создание рабочей папки с Фамилией и инициалами студента (см. папку «Иванов И.И.») и занесение в нее предъявленных мультимедийных эхокардиографических изображений; идентификация использованных для получения предъявленных мультимедийных изображений доступов и позиций ультразвукового зонда, а также режима сканирования (проводится в папке «Иванов И.И.», папка «п.1»).

Папка «Иванов И.И.», папка «п. 1»

1.1. По данному индивидуальному заданию предъявлены три мультимедийных эхокардиографических изображения, а именно файлы: Image 3.3.407; Image 3.3.413; Image 3.3.416.

Данные файлы приведены на прилагаемом диске в папке «Лабораторная работа № 2» (папка «Иванов И.И.», подпапка «п.1»)¹.

1.2. Идентификация доступов и позиций ультразвукового зонда, а также использованного режима сканирования:

- а) файл Image 3.3.407 – паастернальная позиция, длинная ось левого желудочка, *B*-режим сканирования;
- б) файл Image 3.3.413 – паастернальная позиция, короткая ось левого желудочка на уровне папиллярных мышц, *B*-режим сканирования;
- в) файл Image 3.3.416 – апикальная четырехкамерная позиция, *B*-режим сканирования.

2. Покадровая развертка предъявленных мультимедийных эхокардиографических изображений с использованием графического редактора Virtual Dub Mod 1.5.10.2 и идентификация последовательностей статических изображений, соответствующих систоли-

¹ См. прилагаемый диск в конце книги.

ческой и диастолической фазам сердечного цикла (проводится в папке «Иванов И.И.», папка «п.2»).

Папка «Иванов И.И.», папка «п. 2»

2.1. Покадровая развертка предъявленных мультимедийных эхокардиографических изображений. Результаты покадровой развертки приведены на прилагаемом диске в папке «Лабораторная работа № 2» (папка «Иванов И.И.», подпапка «п.2»).

а) Результаты анализа покадровой развертки файла Image 3.3.407:

систолической фазе сердечного цикла соответствуют последовательности кадров с номерами 03–10 и 26–36 (см. п. 2.1 файл Image 3.3.407);

диастолической фазе сердечного цикла соответствуют последовательности кадров с номерами 14–25 и 37–46 (см. п. 2.1 файл Image 3.3.407).

б) Результаты анализа покадровой развертки файла Image 3.3.413:

систолической фазе сердечного цикла соответствуют последовательности кадров с номерами 01–11 и 26–36 (см. п. 2.1 файл Image 3.3.413);

диастолической фазе сердечного цикла соответствуют последовательности кадров с номерами 12–25 и 37–50 (см. п. 2.1 файл Image 3.3.413).

в) Результаты анализа покадровой развертки файла Image 3.3.416:

систолической фазе сердечного цикла соответствуют последовательности кадров с номерами 04–11 (см. п. 2.1 файл Image 3.3.416);

диастолической фазе сердечного цикла соответствуют последовательности кадров с номерами 15–21 (см. п. 2.1 файл Image 3.3.416).

2.2. Идентификация последовательностей полученных покадровых статических изображений, соответствующих систолической и диастолической фазами сердечного цикла.

а) Результаты анализа покадровой развертки файла Image 3.3.407:

систолической фазе сердечного цикла соответствуют последовательности кадров с номерами 03–10 и 26–36 (см. п. 2.1 файл Image 3.3.407);

диастолической фазе сердечного цикла соответствуют последовательности кадров с номерами 14–25 и 37–46 (см. п. 2.1 файл Image 3.3.407).

б) Результаты анализа покадровой развертки файла Image 3.3.413:

систолической фазе сердечного цикла соответствуют последовательности кадров с номерами 01–11 и 26–36 (см. п. 2.1 файл Image 3.3.413);

диастолической фазе сердечного цикла соответствуют последовательности кадров с номерами 12–25 и 37–50 (см. п.2.1 файл Image 3.3.413).

в) Результаты анализа покадровой развертки файла Image 3.3.416:

систолической фазе сердечного цикла соответствуют последовательности кадров с номерами 04–11 (см. п. 2.1 файл Image 3.3.416);

диастолической фазе сердечного цикла соответствуют последовательности кадров с номерами 15–21 (см. п.2.1 файл Image 3.3.416).

3. В каждом из наборов идентифицированных в п. 2 последовательностей покадровых изображений выделение по одной паре последовательностей, соответствующих систолической и диастолической фазам сердечного цикла и занесение их в соответствующие папки файлов (проводится в папке «Иванов И.И.», папка «п.3»).

Папка «Иванов И.И.», папка «п. 3»

Выделение каждой из идентифицированных последовательностей покадровых эхокардиографических изображений по одной паре последовательностей изображений, соответствующих систолической и диастолической фазам сердечного цикла.

Результаты выполнения п. 3 приведены на прилагаемом диске в папке «Лабораторная работа № 2» (папка «Иванов И.И.», папка «п.3»).

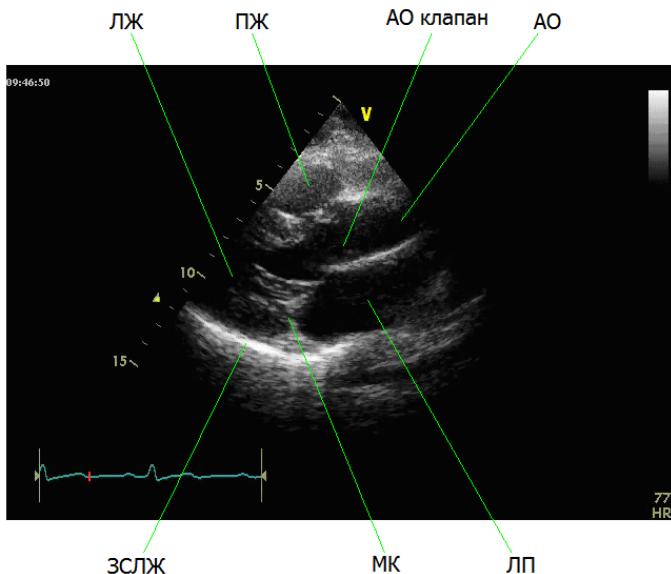
4. Из каждой пары последовательностей статических изображений, выделенных в п. 3, отбор по одной паре изображений, соответствующих систолической и диастолической фазам сердечного цикла; перевод этих пар изображений в формат Word и с помощью

его графического и текстового редакторов проведение идентификации и регистрации основных структурных элементов анатомии сердца, как это делалось в лабораторной работе 1 (проводится в папке «Иванов И.И.», папка «п. 4»).

Папка «Иванов И.И.», папка «п. 4»

Идентификация основных структурных элементов анатомии исследованного сердца. (Результаты выполнения п. 4 приведены ниже, а также и на прилагаемом диске в папке «Лабораторная работа № 2» (папка «Иванов И.И.», подпапка «п.4».)

Файл Image 3.3.407–10 – параптернальная позиция, длинная ось левого желудочка, В-режим сканирования.



Систолическая фаза сердечного цикла

ЛЖ – левый желудочек (диаметр минимальный)

ПЖ – правый желудочек

АО – аорта

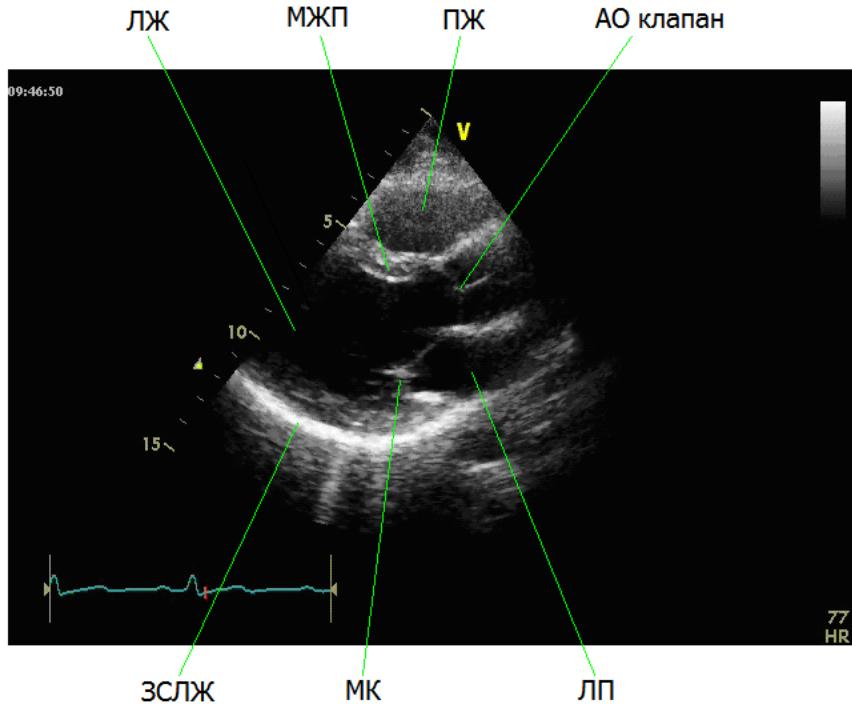
АО клапан – аортальный клапан (перед закрытием)

МК – митральный клапан (перед открытием)

ЛП – левое предсердие

ЗСЛЖ – задняя стенка левого желудочка

Файл Image 3.3.407–25 – парастернальная позиция, длинная ось левого желудочка, В-режим сканирования.



Диастолическая фаза сердечного цикла

ЛЖ – левый желудочек (диаметр максимальный)

ПЖ – правый желудочек

АО клапан – аортальный клапан (перед открытием)

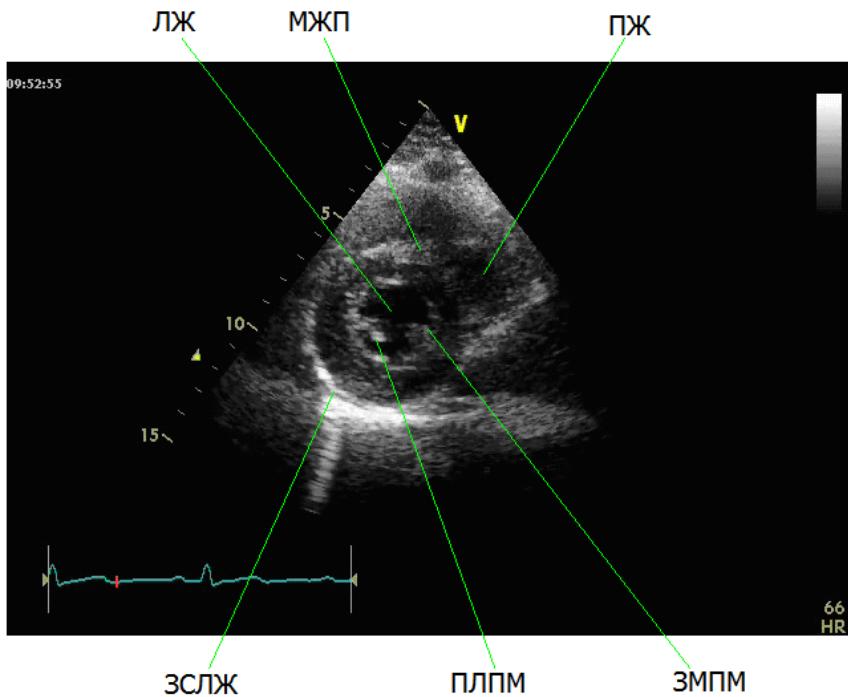
МК – митральный клапан (перед закрытием)

ЛП – левое предсердие

МЖП – межжелудочковая перегородка

ЗСЛЖ – задняя стенка левого желудочка

Файл Image 3.3.413–11 – парастернальная позиция, короткая ось левого желудочка на уровне папиллярных мышц, *B*-режим сканирования.



Систолическая фаза сердечного цикла

ЛЖ – левый желудочек (диаметр минимальный)

ПЖ – правый желудочек

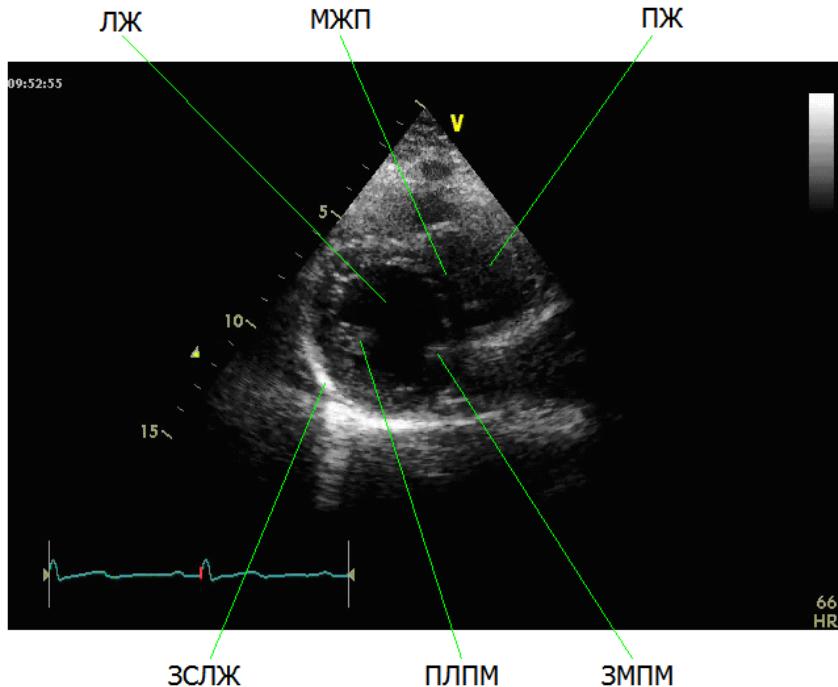
МЖП – межжелудочковая перегородка

ЗСЛЖ – задняя стенка левого желудочка

ЗМПМ – заднемедиальная папиллярная мышца

ПЛПМ – переднелатеральная папиллярная мышца

Файл Image 3.3.413–25 – парастернальная позиция, короткая ось левого желудочка на уровне папиллярных мышц, *B*-режим сканирования.



Диастолическая фаза сердечного цикла

ЛЖ – левый желудочек (диаметр максимальный)

ПЖ – правый желудочек

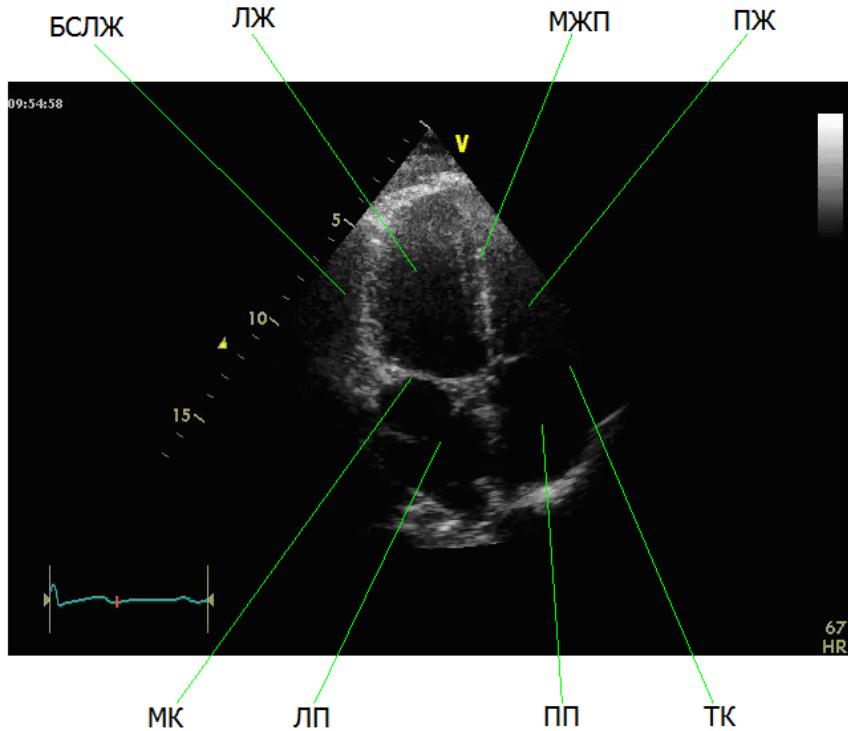
МЖП – межжелудочковая перегородка

ЗСЛЖ – задняя стенка левого желудочка

ЗМПМ – заднемедиальная папиллярная мышца

ПЛПМ – переднелатеральная папиллярная мышца

Файл Image 3.3.416–11 – апикальная четырехкамерная позиция, В-режим сканирования.



Систолическая фаза сердечного цикла

ЛЖ – левый желудочек (диаметр минимальный)

ПЖ – правый желудочек

МЖП – межжелудочковая перегородка

БСЛЖ – боковая стенка левого желудочка

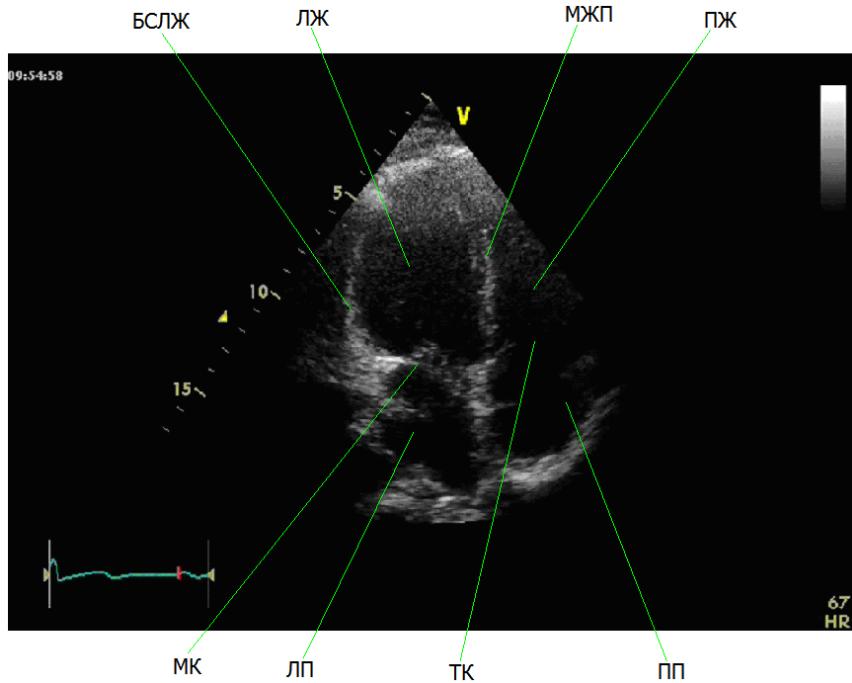
МК – митральный клапан (перед открытием)

ТК – триkuspidальный клапан (перед открытием)

ЛП – левое предсердие

ПП – правое предсердие

Файл Image 3.3.416–21 – апикальная четырехкамерная позиция, В-режим сканирования.



Диастолическая фаза сердечного цикла

ЛЖ – левый желудочек (диаметр максимальный)

ПЖ – правый желудочек

МЖП – межжелудочковая перегородка

БСЛЖ – боковая стенка левого желудочка

МК – митральный клапан (перед закрытием)

ТК – триkuspidальный клапан (перед закрытием)

ЛП – левое предсердие

ПП – правое предсердие

5. Написание краткого отчета о проделанной работе (можно в электронном виде с занесением соответствующего файла в папку «Иванов И.И.») (проводится в папке «Иванов И.И.», папка «п. 5»).

Папка «Иванов И.И.», п. 5

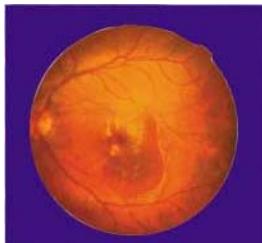
Титул:

Федеральное агентство по образованию

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Факультет автоматики и электроники

Кафедра № 46



**КОМПЬЮТЕРНЫЕ
МЕДИЦИНСКИЕ
СИСТЕМЫ** 

Лабораторная работа 2

«Идентификация основных структурных элементов анатомии сердца и фаз его гемодинамики на предъявленных мультимедийных эхокардиографических изображениях».

в рамках лабораторного практикума
«Ультразвуковая эхокардиография»
по курсам
«Теоретическая физика» и «Физические методы
медицинской интроскопии»

Студент группы А6 – 23

И. И. Иванов

подпись

Цель работы: освоение принципов идентификации эхоТ-пульсных мультимедийных кардиографических изображений сердца, полученных в В-режиме ультразвукового сканирования; выработка навыков идентификации основных структурных элементов анатомии сердца и фаз сердечного цикла на реальных мультимедийных эхокардиографических ультразвуковых изображениях; отработка навыков использования графического редактора Virtual Dub Mod 1.5.10.2 для покадровой развертки мультимедийных изображений с последующим применением программы Paint и графического редактора Word.

Описание объектов исследования: три мультимедийных эхокардиографических изображения в трех доступах и позициях ультразвукового зонда, полученные в В-режиме сканирования; предъявленные изображения относятся к Варианту № 9 данной лабораторной работы.

Результаты выполнения работы: в соответствии с п.1 рабочего задания проведено ознакомление с предъявленными мультимедийными эхокардиографическими изображениями и создана рабочая папка с фамилией и инициалами студента (см. папку «Иванов И.И.»), в которую занесены предъявленные изображения (папка «п.1.1 – Вариант № 9» в папке «Иванов И.И.»). Для каждого из предъявленных мультимедийных изображений идентифицированы использованные для их получения доступы и позиции ультразвукового зонда, а также использованный режим сканирования (см. папку «п.1.2» в папке «Иванов И.И.»).

При выполнении п.2 рабочего задания с помощь графического редактора Virtual Dub Mod 1.5.10.2 проведена покадровая развертка предъявленных мультимедийных изображений (см. папку «п.2.1» в папке «Иванов И.И.») и идентифицированы последовательности статических изображений, которые соответствуют систолической и диастолической фазам сердечного цикла (см. папку «п.2.2» в папке «Иванов И.И.»).

При выполнении п. 3 рабочего задания в каждом из наборов, идентифицированных в п. 2 последовательностей покадровых изображений, выделено по одной паре последовательностей, соответствующих систолической и диастолической фазам сердечного цикла (см. папку «п.3» в папке «Иванов И.И.»).

При выполнении п. 4 рабочего задания из каждой пары последовательностей статических изображений, выделенных в п. 3, отобрано по одной паре изображений, соответствующих систолической и диастолической фазам сердечного цикла; эти пары изображений переведены в формат Word и с помощью его графического и текстового редакторов проведена и зафиксирована идентификация и регистрация основных структурных элементов анатомии сердца (см. папку «п.4» в папке «Иванов И.И.»).

Заключение: в результате работы для всех предъявленных мультимедийных эхокардиографических изображений идентифицированы доступы и позиции ультразвукового зонда, а также режим ультразвукового сканирования, использованный для получения соответствующих изображений. В соответствии с рабочим заданием для всех предъявленных изображений идентифицированы и зарегистрированы основные гемодинамические фазы сердечного цикла (систола и диастола), а также основные структурные элементы анатомии сердца.

Таким образом, рабочее задание выполнено в полном объеме.

Пример выполнения рабочего задания лабораторной работы 3

Вариант № 14

1. Ознакомление с предъявленными изображениями по варианту № 14; создание рабочей папки с фамилией и инициалами студента (папка «Иванов И.И.») и занесение в нее предъявленных изображений по предложенному варианту № 14 (см. папку «п. 1 – Вариант № 14» в папке «Иванов И.И.»)

Папка «Иванов И.И.», п. 1 – Вариант № 14

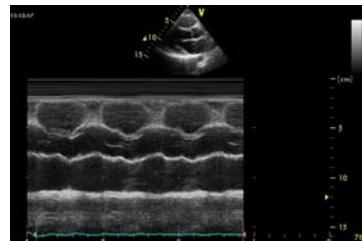


Image 4.4.1

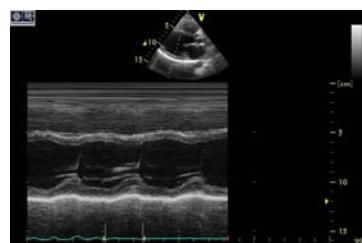


Image 4.4.8

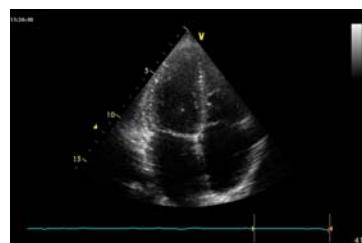
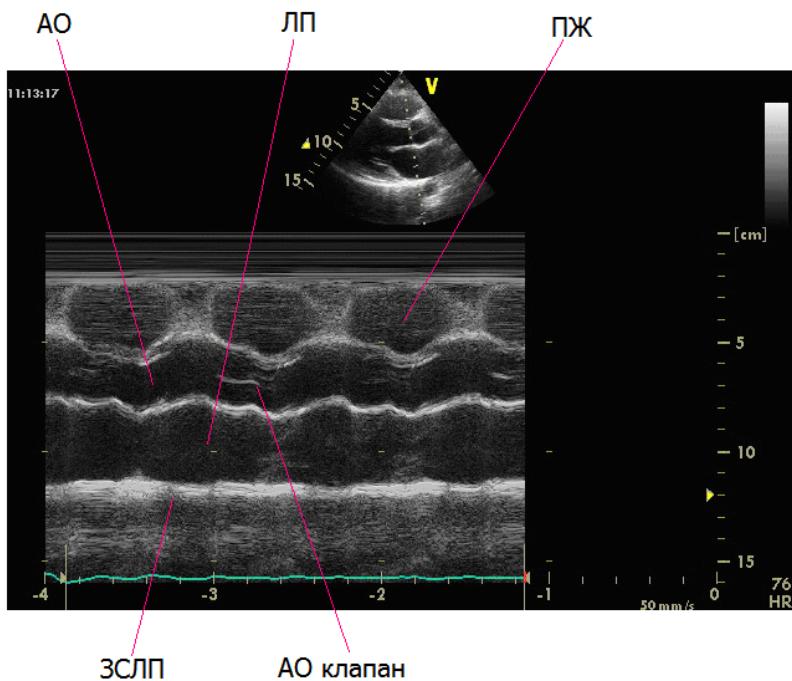


Image 4.4.20

2. Идентификация доступов и позиций ультразвукового зонда, а также использованного режима сканирования для каждого из предъявленных изображений; идентификация и графическая регистрация основных структурных элементов анатомии исследованного сердца (проводится в папке «Иванов И.И.», папка «п.2»).

Папка «Иванов И.И.», п. 2

Файл Image 4.4.1 – парастернальная позиция, длинная ось левого желудочка, *M*-режим сканирования со встроенным *B*-изображением



ПЖ – правый желудочек

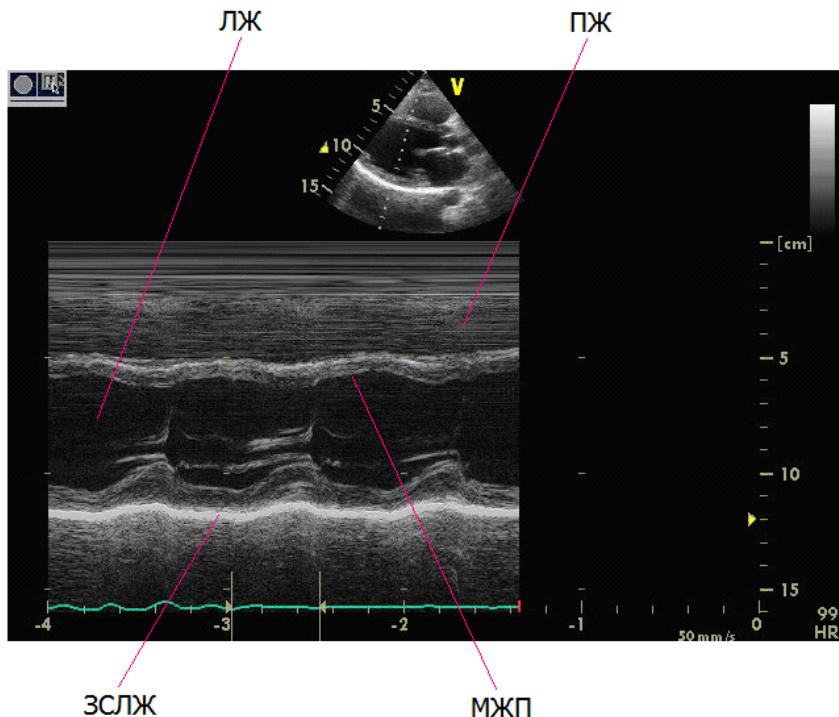
АО – аорта (курсор проходит по фиброзному кольцу аортального клапана)

ЛП – левое предсердие

ЗСЛП – задняя стенка левого предсердия

АО клапан – аортальный клапан

Файл Image 4.4.8 – парастернальная позиция, длинная ось левого желудочка, *M*-режим сканирования со встроенным *B*-изображением.



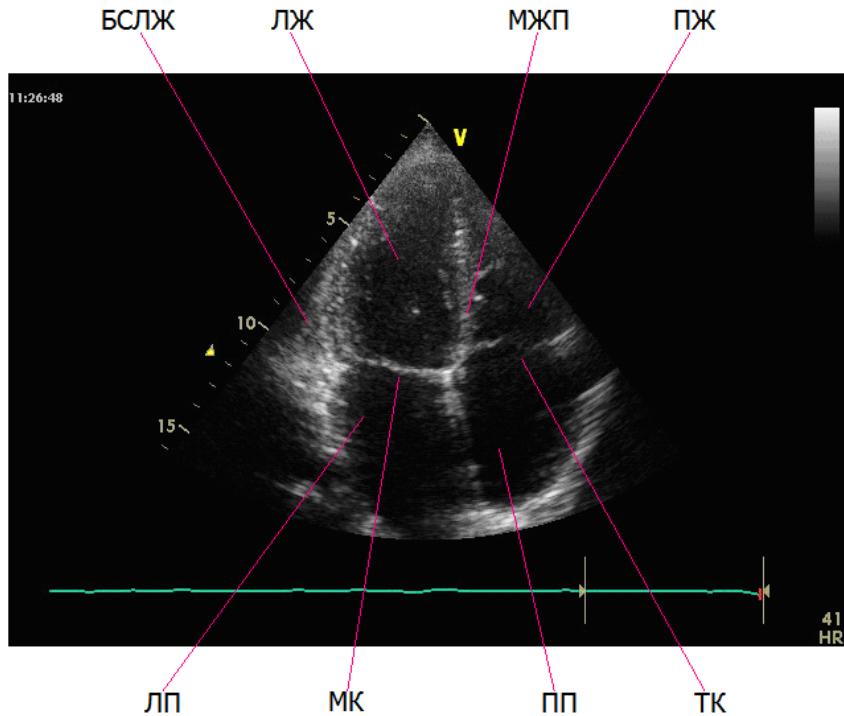
ПЖ – правый желудочек

ЛЖ – левый желудочек

МЖП – межжелудочковая перегородка

ЗСЛЖ – задняя стенка левого желудочка

Файл Image 4.4.20 – апикальная четырехкамерная позиция, В-режим сканирования.



ЛП – левое предсердие

ПП – правое предсердие

ЛЖ – левый желудочек

ПЖ – правый желудочек

МЖП – межжелудочковая перегородка

БСЛЖ – боковая стенка левого желудочка

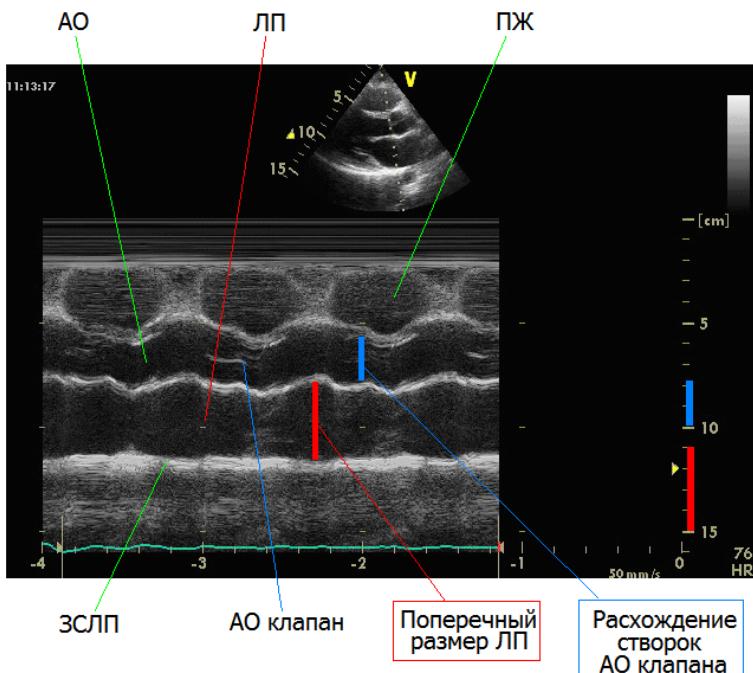
МК – митральный клапан

ТК – трикуспидальный клапан

3. Графическая регистрация тех геометрических параметров сердца, которые могут быть стандартно измерены на предъявленных эхокардиографических изображениях, проведение соответствующих измерений этих параметров и сведение полученных результатов в таблицы (проводится в папке «Иванов И.И.», папка «п.3»).

Папка «Иванов И.И.», п. 3

файл Image 4.4.1 – парастернальная позиция, длинная ось левого желудочка, *M*-режим сканирования со встроенным *B*-изображением.



$$D_{LP} = 40 \text{ мм (поперечный размер LP)}$$

$$D_{AO} = 23 \text{ мм (расхождение створок AO клапана)}$$

ПЖ – правый желудочек

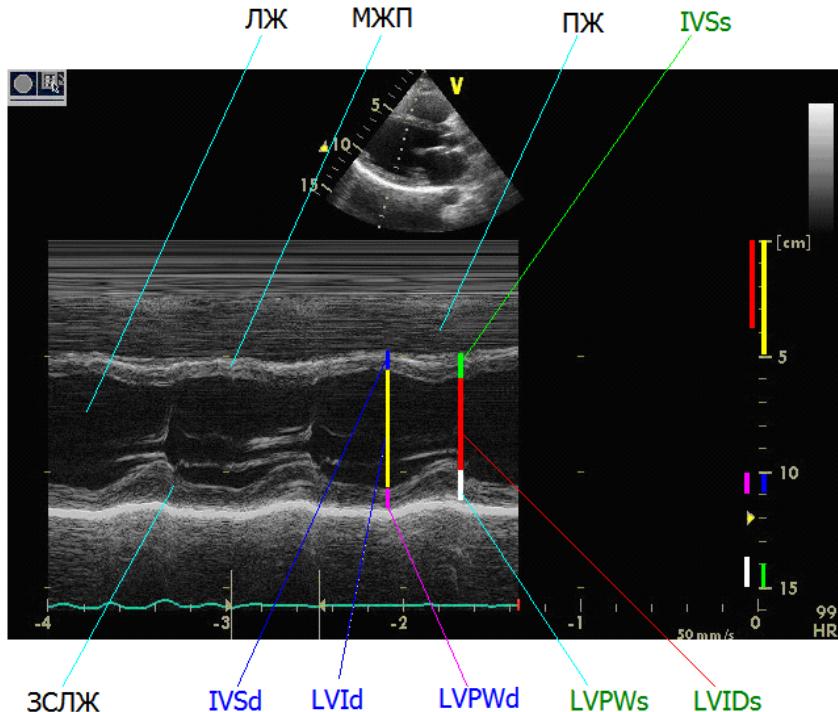
АО – аорта (курсор проходит по фиброзному кольцу аортального клапана)

ЛП – левое предсердие

ЗСЛП – задняя стенка левого предсердия

АО клапан – аортальный клапан

Файл Image 4.4.8 – парастернальная позиция, длинная ось левого желудочка, *M*-режим сканирования со встроенным *B*-изображением.



ЗСЛЖ – задняя стенка левого предсердия

ЛЖ – левый желудочек

ПЖ – правый желудочек

МЖП – межжелудочковая перегородка

IVSd – толщина МЖП в диастолу

LVIDd – диаметр ЛЖ в диастолу

LVPWd – толщина ЗСЛЖ в диастолу

IVSs – толщина МЖП в систолу

LVIDs – диаметр ЛЖ в систолу

LVPWs – толщина ЗСЛЖ в систолу

$$\text{IVSd} = 10,0 \text{ мм}$$

$$\text{LVIDd} = 50,0 \text{ мм}$$

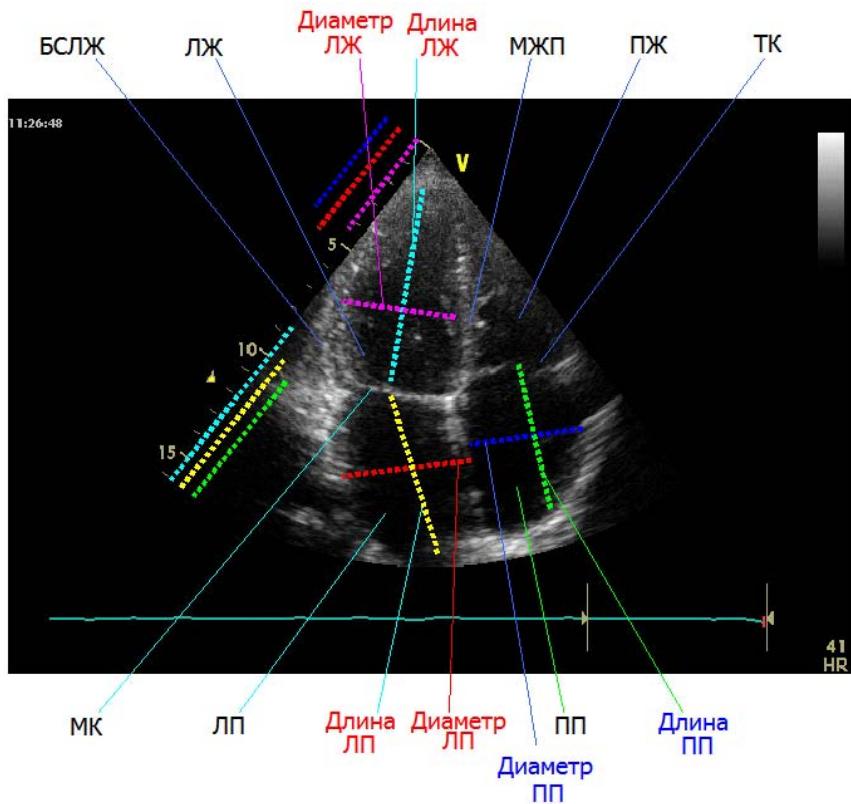
$$\text{LVPWd} = 9,5 \text{ мм}$$

$$\text{IVSs} = 10,0 \text{ мм}$$

$$\text{LVIDs} = 39,0 \text{ мм}$$

$$\text{LVPWs} = 12,5 \text{ мм}$$

Файл Image 4.4.20 – апикальная четырехкамерная позиция, В-режим сканирования



БСЛЖ – боковая стенка левого желудочка

ЛЖ – левый желудочек

МЖП – межжелудочковая перегородка

ПЖ – правый желудочек

ТК – триkuspidальный клапан

МК – митральный клапан

ЛП – левое предсердие

ПП – правое предсердие

Длина ЛП	$L_{lp} = 62,0$ мм
Диаметр ЛП	$D_{lp} = 51,0$ мм
Длина ПП	$L_{pp} = 57,0$ мм
Диаметр ПП	$D_{pp} = 45,0$ мм
Длина ЛЖ	$L_{lj} = 74,0$ мм
Диаметр ЛЖ	$D_{lj} = 43,0$ мм

Результаты проведенных измерений

M-режим сканирования:

$D_{ЛП} = 40$ мм (поперечный размер ЛП)

$D_{AO} = 23$ мм (расхождение створок АО клапана)

M-режим сканирования:

$IVSd = 10,0$ мм $IVSs = 10,0$ мм

$LVI_d = 50,0$ мм $LVI_Ss = 39,0$ мм

$LVPW_d = 9,5$ мм $LVPW_s = 12,5$ мм

B-режим сканирования

Длина ЛП $L_{ЛП} = 62,0$ мм Диаметр ЛП $D_{ЛП} = 51,0$ мм

Длина ПП $L_{ПП} = 57,0$ мм Диаметр ПП $D_{ПП} = 45,0$ мм

Длина ЛЖ $L_{ЛЖ} = 74,0$ мм Диаметр ЛЖ $D_{ЛЖ} = 43,0$ мм

4. Сравнение результатов проведенных измерений геометрических параметров сердца с современными нормативами и формулирование вывода о норме или патологии (в последнем случае и о степени патологии) (проводится в папке «Иванов И.И.», папка «п.4»).

папка «Иванов И.И.», п. 4

Сравнение результатов измерений с нормативами

Геометрический параметр, мм	Результаты измерения, мм		Норматив 1995 г., мм	Рекомендации 2006 г. M-режим, мм
	M-режим	B-режим		
Диаметр ПП	40,0	45,0		
Длина ПП		57,0		
Диаметр ЛП	40,0	51,0		
Длина ЛП		62,0		
Диаметр ЛЖ (диастола)	50,0	43,0	35 - 60	39 - 53
Длина ЛЖ (диастола)		74,0	63 - 103	
Диаметр ЛЖ (систола)	39,0			
Толщина МЖП (диастола)	10,0		6 - 12	6 - 10
Толщина МЖП (систола)	10,0		6 - 12	6 - 10
Толщина ЗСЛЖ (диастола)	9,5		6 - 12	6 - 10
Толщина ЗСЛЖ (систола)	12,5		6 - 12	6 - 10
Расхождение створок АО клапана	23,0		14 - 26	

ВЫВОДЫ

Сравнение результатов проведенных измерений геометрических параметров сердца с соответствующими Нормативами 1995 г. показывает, что исследованное сердце отвечает норме по всем параметрам за исключением значения толщины ЗСЛЖ в систолу.

Сравнение результатов проведенных измерений геометрических параметров сердца с соответствующими Рекомендациями Европейской и Американской Ассоциаций Эхокардиографии 2006 г. показывает, что исследованное сердце характеризуется отклонениями от нормы, т. е. патологией по толщине ЗСЛЖ в систолу.

ОЦЕНКА СТЕПЕНИ ПАТОЛОГИИ

Геометрический параметр, мм	Результат измерения в М-режиме, мм	Рекомендации 2006 г., М-режим, мм			
		норма	нарушение		
			малое	умеренное	значительное
Толщина ЗСЛЖ (c)	12,5	6 - 9	10 - 12	13 - 15	> 16

Сравнение величин измеренных геометрических параметров сердца, отличающихся от нормы, с соответствующими их значениями для различных степеней патологии по Рекомендациям Европейской и Американской Ассоциаций Эхокардиографии 2006 г. свидетельствует о том, что отклонение толщины ЗСЛЖ в систолу отвечает умеренной патологии.

5. Написание краткого отчета о проделанной работе (проводится в папке «Иванов И.И.», папка «п.5»).

Папка «Иванов И.И.», п. 5

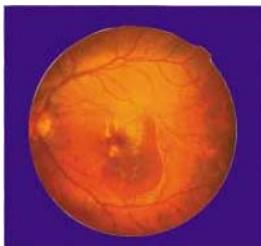
Титул:

Федеральное агентство по образованию

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Факультет автоматики и электроники

Кафедра № 46



**КОМПЬЮТЕРНЫЕ
МЕДИЦИНСКИЕ
СИСТЕМЫ** *МИФИ*

Лабораторная работа 3

**«Стандартные измерения на эхокардиографических изображениях, соответствующих использованию
В- и М-режимов сканирования»**

в рамках лабораторного практикума
«Ультразвуковая эхокардиография»

по курсам

«Теоретическая физика» и «Физические методы медицинской интроскопии»

Студент группы А6 – 23

И. И. Иванов

подпись

Цель работы: приобретение навыков проведения стандартных измерений основных геометрических параметров сердца по эхокардиографическим изображениям, полученным эхоИмпульсными методами при различных доступах и позициях ультразвукового сканирования для двух основных методов сканирования (*B*- и *M*-режимы).

Описание объектов исследования: три эхокардиографических изображения в двух доступах и трех позициях ультразвукового зонда, полученные в *M*- и *B*-режимах сканирования; предъявленные изображения относятся к варианту № 14 данной лабораторной работы и включают в себя файлы, приведенные в папке «п.1 – Вариант № 14».

Результаты выполнения работы: в соответствии с п. 1 рабочего задания проведено ознакомление с предъявленными эхокардиографическими изображениями по варианту № 14, создана рабочая папка с фамилией и инициалами студента (папка «Иванов И.И.»), в которую занесены предъявленные эхокардиографические изображения (см. папку «п.1 – Вариант № 14» в папке «Иванов И.И.»).

При выполнении п. 2 рабочего задания исходные файлы предъявленных изображений были преобразованы в формат Word и снабжены соответствующими пометками с сохранением их исходных номеров, при этом изменения масштабов изображения с помощью программы Paint не потребовалось; для каждого из предъявленных изображений идентифицированы использованные при их получении доступы и позиции ультразвукового зонда, кроме того указан применявшийся режим сканирования, а также идентифицированы основные структурные элементы анатомии исследованного сердца (см. папку «п.2» – в папке «Иванов И.И.»).

Для выполнении п. 3 рабочего задания с использованием графического редактора Word указано, какие именно геометрические параметры сердца могут быть измерены на соответствующих эхокардиографических изображениях, и проведены соответствующие измерения, результаты которых сведены в таблицы.

В соответствии с п. 4 рабочего задания проведено сравнение результатов проведенных измерений геометрических параметров сердца с Нормативами 1995 г. и Рекомендациями Европейской и Американской Ассоциаций Эхокардиографии 2006 г. (см. папку «п.4» в папке «Иванов И.И.»).

Заключение: в результате работы для всех предъявленных эхокардиографических изображений идентифицированы доступы и позиции ультразвукового зонда, а также режимы ультразвукового сканирования, использованные для получения соответствующих изображений.

Графически указаны, какие именно геометрические параметры сердца можно измерить на соответствующих изображениях и проведены соответствующие измерения этих геометрических параметров, результаты которых сведены в таблицы.

Сравнение результатов проведенных измерений геометрических параметров сердца с соответствующими Нормативами 1995 г. показывает, что исследованное сердце отвечает норме по всем параметрам за исключением значения толщины ЗСЛЖ в систолу.

Сравнение результатов проведенных измерений геометрических параметров сердца с соответствующими Рекомендациями Европейской и Американской Ассоциаций Эхокардиографии 2006 г. показывает, что исследованное сердце характеризуется отклонениями от нормы, т. е. патологией по толщине ЗСЛЖ в систолу, выявленной при измерениях параметров изображений, полученных в *M*-режиме сканирования.

Сравнение величин измеренных геометрических параметров сердца, отличающихся от нормы, с соответствующими их значениями для различных степеней патологии по Рекомендациям Европейской и Американской Ассоциаций Эхокардиографии 2006 г. свидетельствует о том, что ***отклонение толщины ЗСЛЖ в систолу отвечает умеренной патологии.***

Таким образом, рабочее задание выполнено в полном объеме.

Пример выполнения рабочего задания лабораторной работы 4

Вариант № 6

1. Ознакомление с предъявленными изображениями по варианту № 6; создание рабочей папки с фамилией и инициалами студента (папка «Иванов И.И.») и занесение в нее предъявленных изображений (см. папку «п.1 – Вариант № 6» в папке «Иванов И.И.»).

Папка «Иванов И.И.», «п. 1 – Вариант № 6»



Image 3.3.403

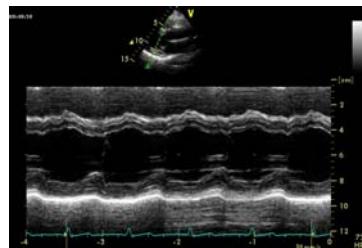


Image 3.3.408

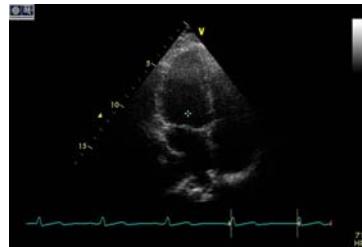
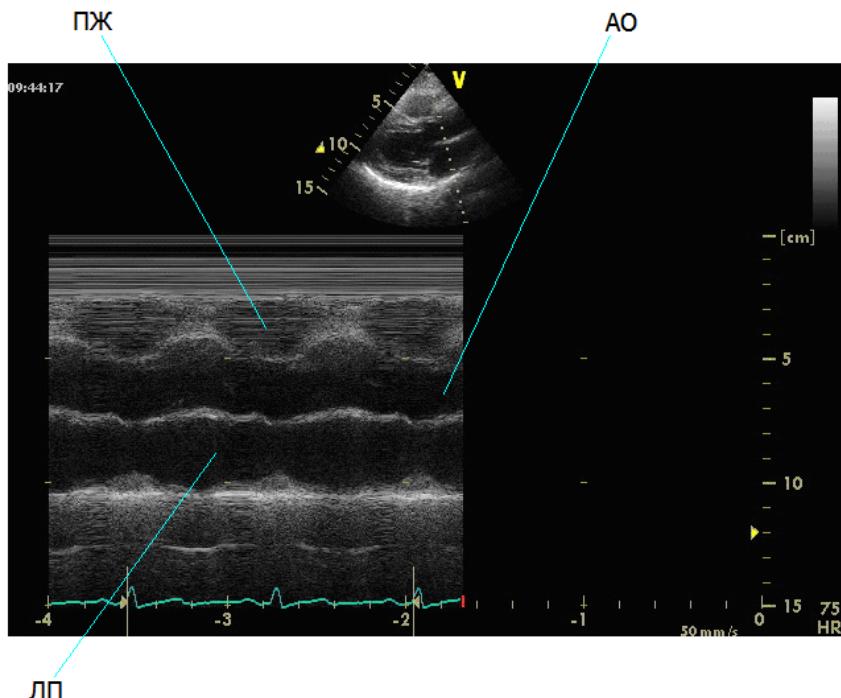


Image 3.3.414

2. Идентификация доступов и позиций ультразвукового зонда, а также использованного режима сканирования для каждого из предъявленных изображений; идентификация и графическая регистрация основных структурных элементов анатомии исследованного сердца (проводится в папке «Иванов И.И.», папка «п.2»).

Папка «Иванов И.И.», п. 2

Файл Image 3.3.403 – парастернальная позиция, длинная ось левого желудочка, *M*-режим сканирования со встроенным *B*-изображением; (курсор проходит по фиброзному кольцу аортального клапана).

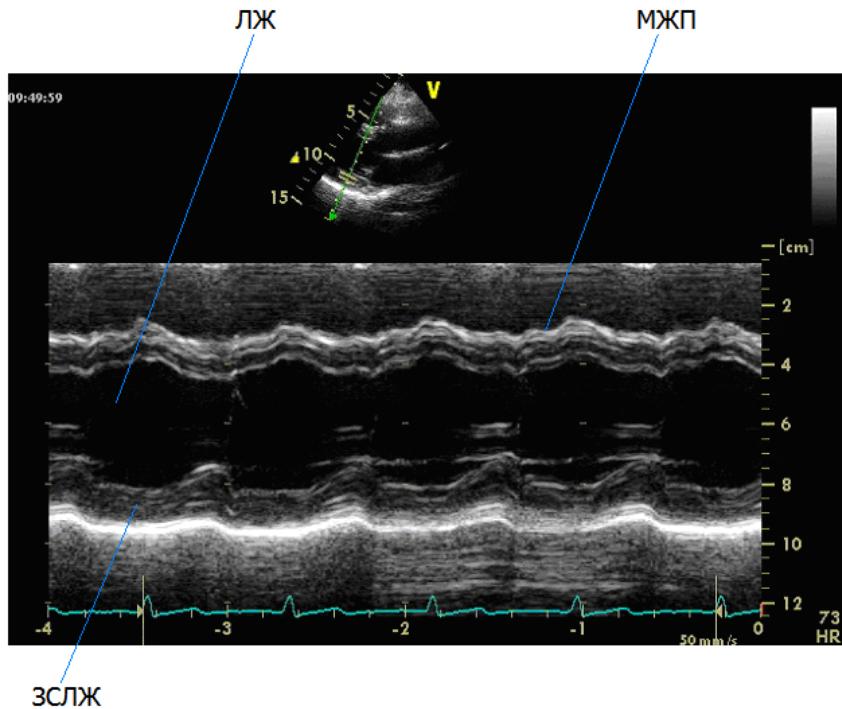


ПЖ – правый желудочек

АО – аорта

ЛП – левое предсердие

файл Image 3.3.408 – парастернальная позиция, длинная ось левого желудочка, анатомический *M*-режим сканирования со встроенным *B*-изображением; (курсор проходит по диаметру левого желудочка).

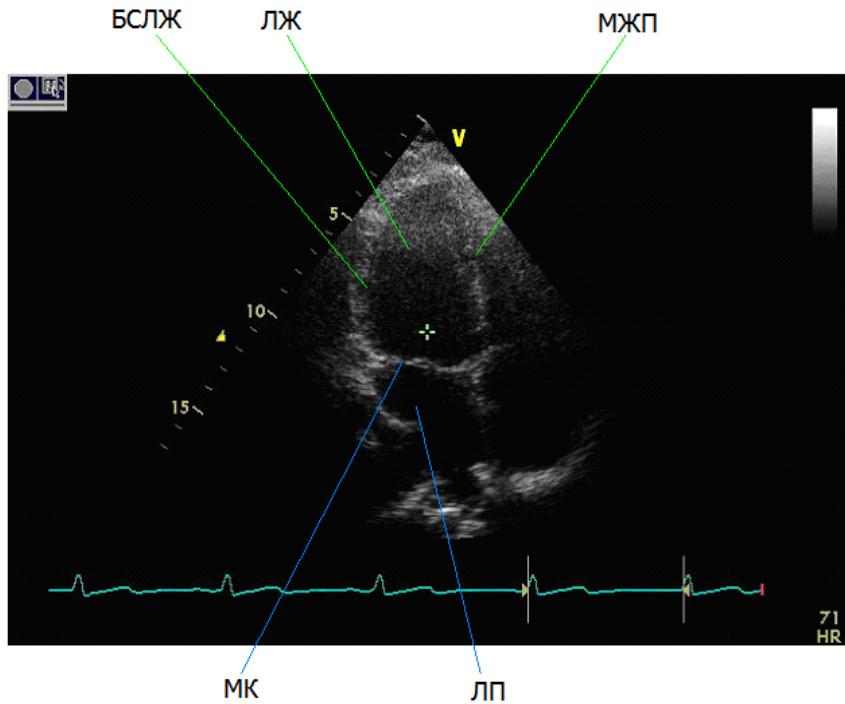


ЛЖ – левый желудочек

МЖП – межжелудочковая перегородка

ЗСЛЖ – задняя стенка левого желудочка

файл Image 3.3.414 – апикальная четырехкамерная позиция, В-режим сканирования.



ЛЖ – левый желудочек

МЖП – межжелудочковая перегородка

БСЛЖ – боковая стенка левого желудочка

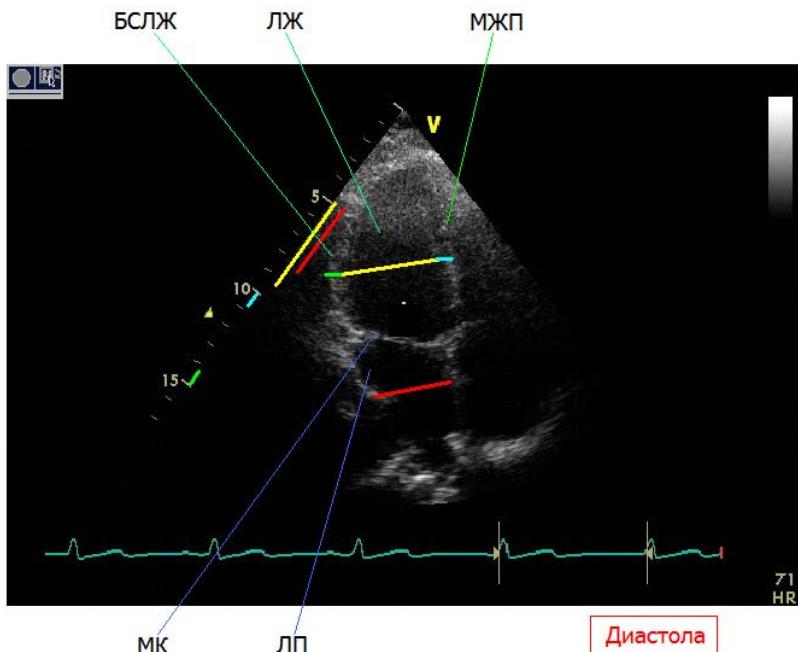
МК – митральный клапан

ЛП – левое предсердие

3. Указание и графическая регистрация тех геометрических параметров сердца, которые могут быть измерены на предъявленных эхокардиографических *B*-изображениях, и проведение соответствующих измерений (проводится в папке «Иванов И.И.», папка «п.3»).

Папка «Иванов И.И.», п. 3

файл Image 3.3.414 – апикальная четырехкамерная позиция, *B*-режим сканирования.



ЛЖ – левый желудочек

МЖП – межжелудочковая перегородка

БСЛЖ – боковая стенка левого желудочка

МК – митральный клапан

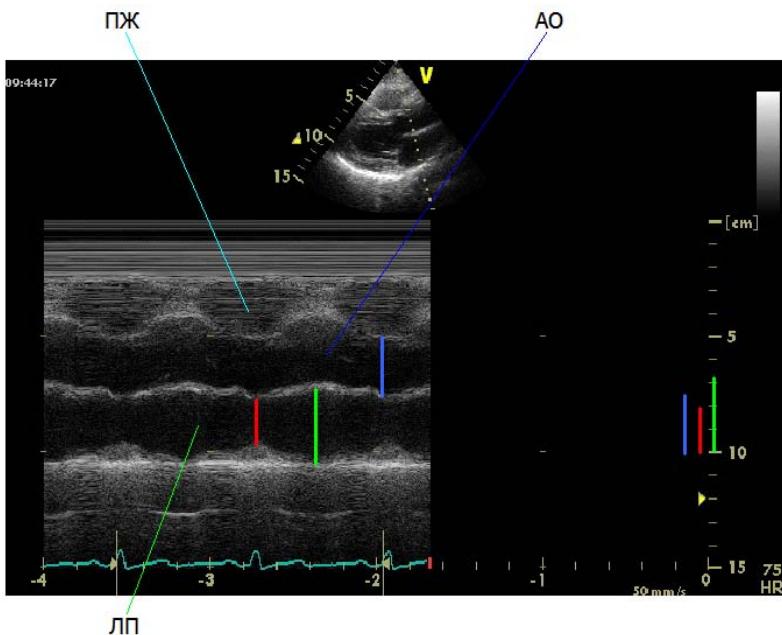
ЛП – левое предсердие

Измеряемый геометрический параметр	Численное значение, мм
Диаметр ЛЖ	44,0
Диаметр ЛП	32,0
Толщина МЖП	8,0
Толщина ЗСЛЖ	8,0

4. Указание и графическая регистрация тех геометрических параметров сердца, которые могут быть измерены на предъявленных эхокардиографических *M*-изображениях, и проведение соответствующих измерений (проводится в папке «Иванов И.И.», папка «п.4»).

Папка «Иванов И.И.», п. 4

Файл Image 3.3.403 – парастернальная позиция, длинная ось левого желудочка, *M*-режим сканирования со встроенным *B*-изображением (курсор проходит по фиброзному кольцу аортального клапана).

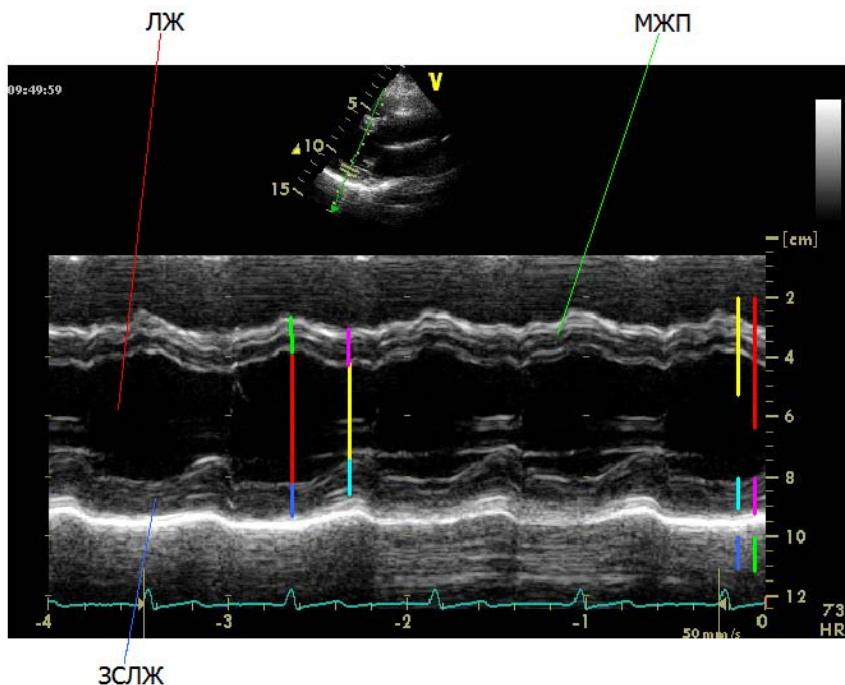


ПЖ – правый желудочек; АО – аорта

ЛП – правое предсердие

Измеряемый геометрический параметр	Численное значение, мм
Диаметр ЛП в диастолу предсердия	33,0
Диаметр ЛП в систолу предсердия	19,5
Диаметр аортального клапана на уровне фиброзного кольца	27,0

Файл Image 3.3.408 – парастернальная позиция, длинная ось левого желудочка, анатомический *M*-режим сканирования со встроенным *B*-изображением.



ЛЖ – левый желудочек

МЖП – межжелудочковая перегородка

ЗСЛЖ – задняя стенка левого желудочка

Измеряемый геометрический параметр	Численное значение, мм
Диаметр ЛЖ в диастолу	44,0
Диаметр ЛЖ в систолу	33,0
Толщина МЖП в диастолу	12,0
Толщина МЖП в систолу	12,5
Толщина ЗСЛЖ в диастолу	11,0
Толщина ЗСЛЖ в систолу	14,0

5. Сравнение результатов проведенных измерений геометрических параметров сердца, полученных на эхокардиографических изображениях при использовании *B*- и *M*-режимов сканирования (проводится в папке «Иванов И.И.», папка «п.5»).

Папка «Иванов И.И.», п. 5

Сравнительная оценка результатов проведенных измерений

Поскольку предъявленное *B*-изображение исследованного сердца идентифицировано как отвечающее диастолической фазе сердечного цикла, то и сравнивать результаты измерений, проведенных на *B*-изображении, необходимо с соответствующими результатами измерений, проведенных на *M*-изображениях именно в диастолу. Полученные при этом результаты сведены в таблицу.

Измеряемый геометрический параметр	Численное значение, мм	
	<i>M</i> -режим	<i>B</i> -режим
Диаметр ЛЖ в диастолу	44,0	44,0
Толщина МЖП в диастолу	12,0	8,0
Толщина ЗСЛЖ в диастолу	11,0	8,0

Как следует из этой таблицы, результаты измерения диаметра ЛЖ на изображениях, соответствующих *B* – и *M* – режимам сканирования, оказались идентичными. Расхождения же касаются результатов измерения толщин МЖП и ЗСЛЖ.

6. Написание краткого отчета о проделанной работе (проводится в папке «Иванов И.И.», папка «п. 6»).

Папка «Иванов И.И.», п. 6

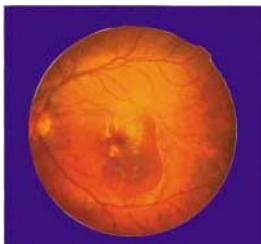
Титул:

Федеральное агентство по образованию

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Факультет автоматики и электроники

Кафедра № 46



**КОМПЬЮТЕРНЫЕ
МЕДИЦИНСКИЕ
СИСТЕМЫ** *МИФИ*

Лабораторная работа 4

*«Сравнительная оценка результатов стандартных
эхокардиографических измерений одних и тех же
геометрических параметров сердца, соответствующих
использованию изображений в В- и М-режимах
сканирования»*

в рамках лабораторного практикума
«Ультразвуковая эхокардиография»
по курсам «Теоретическая физика»
и «Физические методы медицинской интроскопии»

Студент группы А6 – 23

И. И. Иванов

подпись

Цель работы: Проведение сравнительной оценки результатов стандартных измерений одних и тех же основных геометрических параметров сердца, сделанных с использованием эхоИМПУЛЬСНЫХ ультразвуковых изображений, полученных при различных доступах и позициях ультразвукового сканирования для двух основных методов сканирования (*B*- и *M*-режимы). Результаты работы должны продемонстрировать точностную предпочтительность использования для подобных количественных измерений использование *M*-режима сканирования.

Описание объектов исследования: три эхокардиографических изображения в двух доступах и трех позициях ультразвукового зонда, полученные в *M*- и *B*-режимах сканирования; предъявленные изображения относятся к варианту № 6 данной лабораторной работы и включают в себя файлы, приведенные в папке «п.1 – Вариант № 6».

Результаты выполнения работы: в соответствии с п. 1 рабочего задания создана рабочая папка с фамилией и инициалами студента (см. папку «Иванов И.И.»), в которую занесены предъявленные эхокардиографические изображения по предложенному варианту № 6 (папка «п. 1 – Вариант № 6»), а также результаты выполнения п.2 – п.6 рабочего задания (см. папки «п. 2» – «п. 6» в папке «Иванов И.И.»).

При выполнении п. 2–4 рабочего задания исходные файлы предъявленных изображений были преобразованы в формат Word и снабжены соответствующими пометками с сохранением их исходных номеров (см. папки «п.2» – «п.4» в папке «Иванов И.И.»); при этом изменения масштабов изображения с помощью программы Paint не потребовалось.

При выполнении п.3 и 4 рабочего задания проведены измерения основных геометрических параметров сердца для трех предъявленных эхокардиографических изображений, а результаты измерений сведены в таблицы.

В соответствии с п. 5 рабочего задания выполнено сравнение результатов проведенных измерений геометрических параметров сердца для диастолической фазы сердечного цикла, так как именно

эта фаза была идентифицирована на предъявленном *B*-изображении.

Заключение: в результате работы для всех предъявленных эхокардиографических изображений идентифицированы доступы и позиции ультразвукового зонда, а также режимы ультразвукового сканирования, использованные для получения соответствующих изображений. Графически указаны, какие именно геометрические параметры сердца измерялись на соответствующих изображениях, а их численные значения сведены в таблицы. Выполнено сравнение результатов проведенных измерений на изображениях, полученных с использованием *B*- и *M*-режимов сканирования.

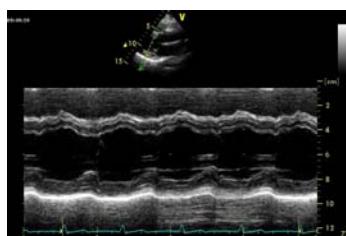
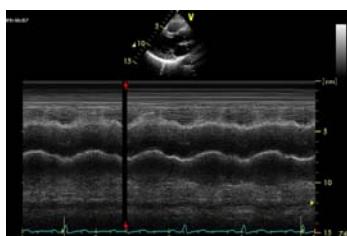
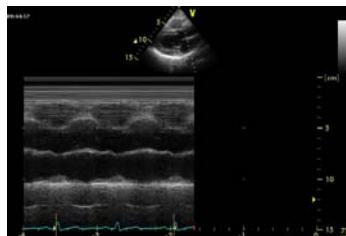
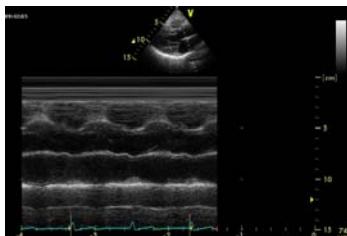
Таким образом, рабочее задание выполнено в полном объеме.

Пример выполнения рабочего задания лабораторной работы № 5

Вариант № 6

1. Ознакомление с предъявленными изображениями по варианту № 6, создание рабочей папки с фамилией и инициалами студента (папка «Иванов И.И.») и занесение в нее предъявленных эхокардиографических изображений.

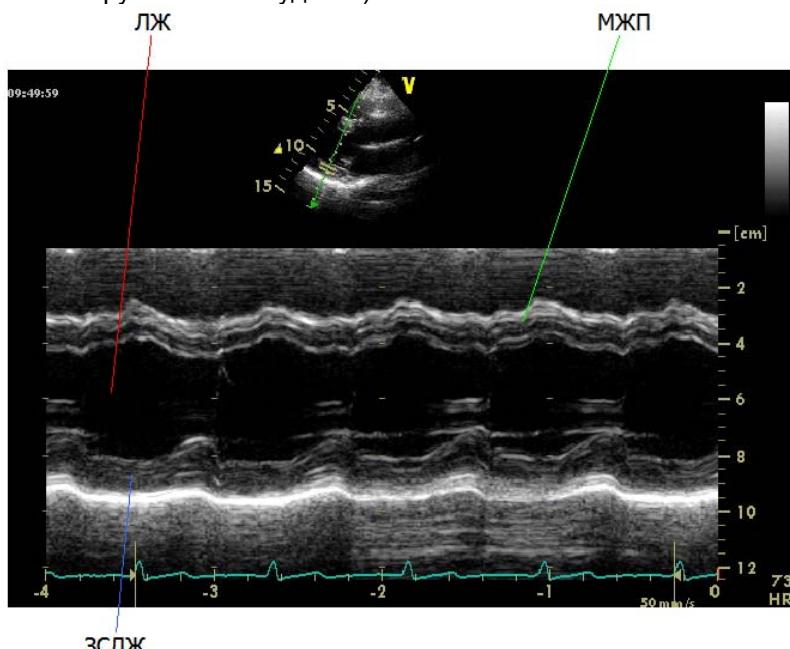
Папка «Иванов И.И.», п.1



2. Отбор тех изображений из предъявленного индивидуального задания по варианту № 6, которые могут быть использованы для проведения расчетов, указанных в п. 3 рабочего задания; идентификация на отобранных изображениях доступов и позиций ультразвукового зонда, использованного режима сканирования, а также основных структурных элементов анатомии сердца и регистрация их на каждом из предъявленных изображений (проводится в папке «Иванов И.И.», папка «п.2»).

«Иванов И.И.», папка «п.2»

Файл Image 3.3.408 – парастернальная позиция, длинная ось левого желудочка, анатомический *M*-режим сканирования со встроенным *B*-изображением; курсор направлен вдоль диаметра левого желудочка (курсор проходит по диаметру левого желудочка).

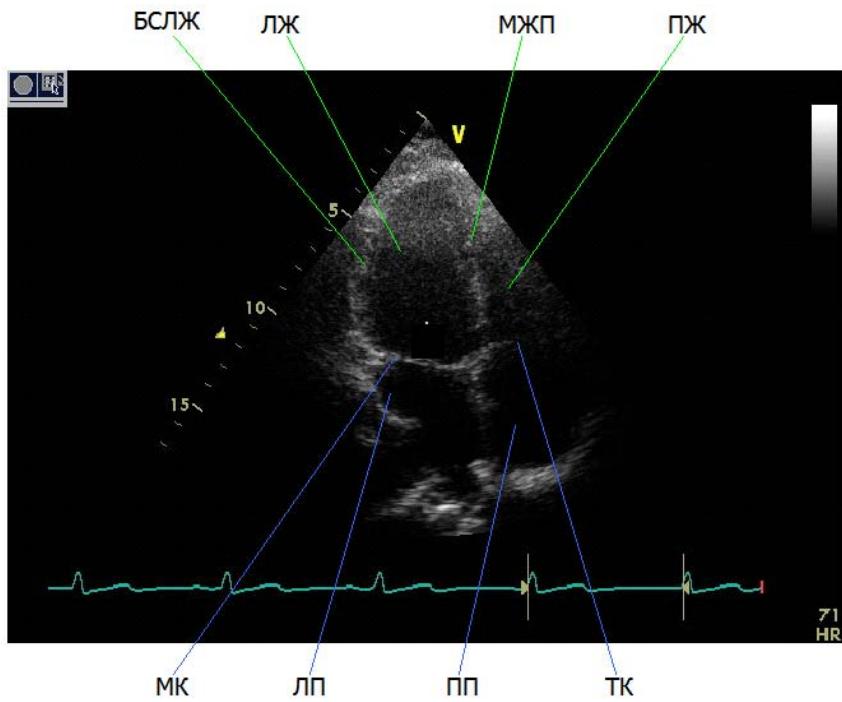


ЛЖ – левый желудочек

МЖП – межжелудочковая перегородка

ЗСЛЖ – задняя стенка левого желудочка

Файл Image 3.3.414 – апикальная четырехкамерная позиция, В-режим сканирования.



Диастола

ЛЖ – левый желудочек

МЖП – межжелудочковая перегородка

БСЛЖ – боковая стенка левого желудочка

ПЖ – правый желудочек

МК – митральный клапан

ЛП – левое предсердие

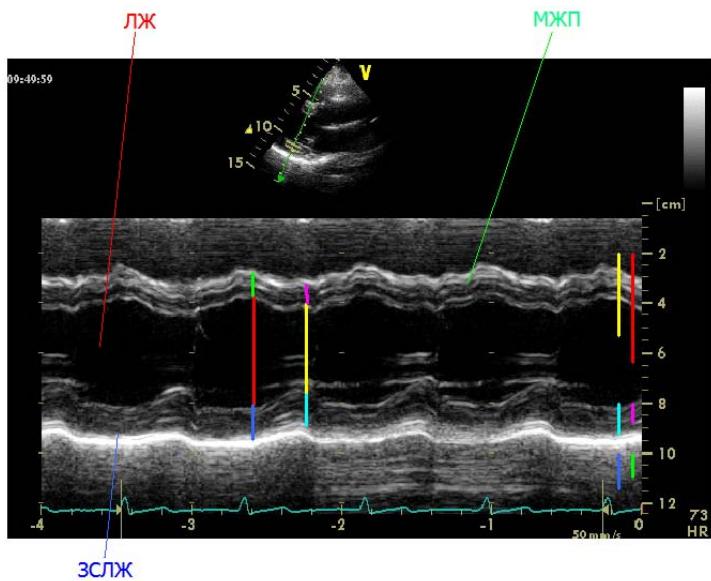
ТК – трикуспидальный клапан

ПП – правое предсердие

3. Указание и графическая регистрация тех геометрических параметров сердца, которые могут быть измерены на отобранных (из предъявленных) эхокардиографических изображениях, проведение соответствующих измерений и сведение их результатов в таблицы (проводится в папке «Иванов И.И.», папка «п.3»).

Папка «Иванов И.И.», п. 3

Файл Image 3.3.408 – парастернальная позиция, длинная ось левого желудочка, анатомический *M*-режим сканирования со встроенным *B*-изображением.



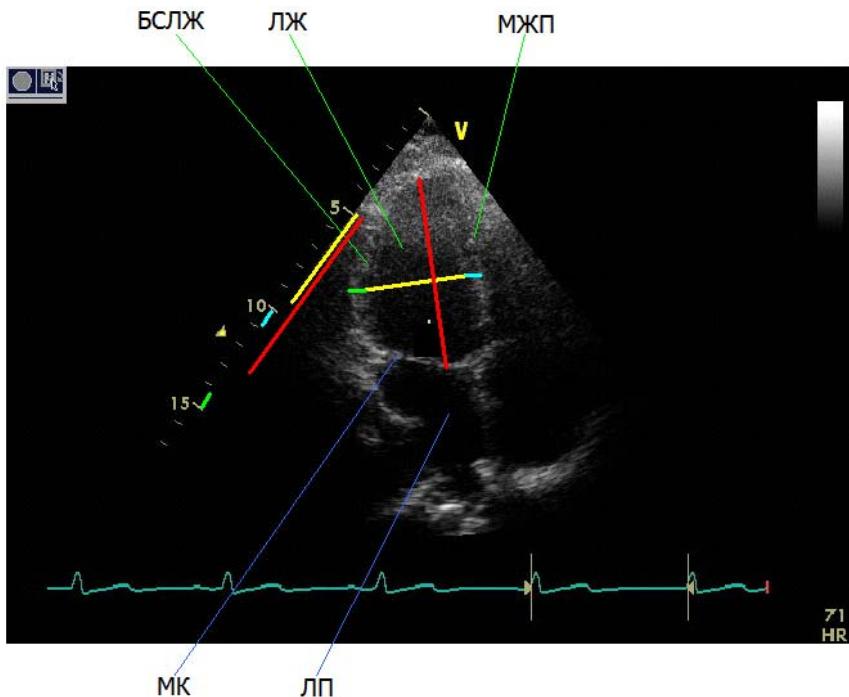
ЛЖ – левый желудочек

МЖП – межжелудочковая перегородка

ЗСЛЖ – задняя стенка левого желудочка

Измеряемый геометрический параметр	Численное значение, мм
Диаметр ЛЖ в диастолу	44,0
Диаметр ЛЖ в систолу	33,0
Толщина МЖП в диастолу	12,0
Толщина МЖП в систолу	13,5
Толщина ЗСЛЖ в диастолу	9,0
Толщина ЗСЛЖ в систолу	12,5

Файл Image 3.3.414 – апикальная четырехкамерная позиция, В-режим сканирования.



Диастола

ЛЖ – левый желудочек

МЖП – межжелудочковая перегородка

БСЛЖ – боковая стенка левого желудочка

МК – митральный клапан

ЛП – левое предсердие

Измеряемый геометрический параметр	Численное значение, мм
Диаметр ЛЖ	44,0
Длина ЛЖ	76,0
Толщина МЖП	8,5
Толщина ЗСЛЖ	8,0

4. Расчет объема и массы миокарда левого желудочка по некоторым различным наиболее употребительным формулам для всех отобранных изображений (проводится в папке «Иванов И.И.», папка «п.4»).

папка «Иванов И.И.», п. 4

Расчет объема левого желудочка

а) Результаты проведенных измерений:

Измеряемый геометрический параметр	Численное значение, мм	
	M – режим	B - режим
Диаметр ЛЖ в диастолу LVIDd	44,0	44,0
Диаметр ЛЖ в систолу	33,0	
Толщина МЖП в диастолу IVSTd	12,0	8,5
Толщина МЖП в систолу	13,5	
Толщина ЗСЛЖ в диастолу PWTd	9,0	8,0
Толщина ЗСЛЖ в систолу	12,5	
Длина ЛЖ	-	76,0

б) Расчет объема левого желудочка:

B-режим

Формула площадь – длина (формула Бьюолита):

$$V = (5 / 6) \cdot [LLVd \cdot \pi \cdot (LVIDd / 2)^2] = (5 / 6) \cdot 7,6 \cdot \pi \cdot 2,2^2 \text{ см}^3 = 96,25 \text{ см}^3.$$

Формула эллипсов:

$$V = 0,85 \cdot [\pi \cdot (LVIDd / 2) \cdot (LLVd / 2)^2 / LLVd] = 0,85 \cdot (\pi \cdot 2,2 \cdot 3,8)^2 / 7,6 \text{ см}^3 = 77,07 \text{ см}^3.$$

M-режим

Простейшая формула:

$$Vd = (LVIDd)^3 = 4,4^3 \text{ см}^3 = 85,18 \text{ см}^3,$$

$$Vs = (LVIDs)^3 = 3,3^3 \text{ см}^3 = 35,94 \text{ см}^3.$$

Формула Teichgolz:

$$Vd = 7 \cdot (LVIDd)^3 / [LVIDd + 2,4] = 7 \cdot 85,18 / (4,4 + 2,4) \text{ см}^3 = 87,69 \text{ см}^3,$$

$$Vs = 7 \cdot (LVIDs)^3 / [LVIDs + 2,4] = 7 \cdot 35,94 / (3,3 + 2,4) \text{ см}^3 = 37,55 \text{ см}^3.$$

в) Результаты расчетов объема левого желудочка:

Рассчитанный объем ЛЖ, см ³	B-режим		M-режим	
	формула Бьюлита	формула эллипсов	простейшая формула	формула Teichgolz
Vd (диастола)	96,25	77,07	85,18	87,69
Vs (систола)			35,94	37,55

Расчет массы миокарда левого желудочка

а) Результаты проведенных измерений:

Измеряемый геометрический параметр	Численное значение, мм	
	M-режим	B-режим
Диаметр ЛЖ в диастолу LVIDd	44,0	44,0
Диаметр ЛЖ в систолу	33,0	
Толщина МЖП в диастолу IVSTd	12,0	8,5
Толщина МЖП в систолу	13,5	
Толщина ЗСЛЖ в диастолу PWTd	9,0	8,0
Толщина ЗСЛЖ в систолу	12,5	
Длина ЛЖ	-	76,0

б) Результаты расчетов объема левого желудочка:

Рассчитанный объем ЛЖ, см ³	B-режим		M-режим	
	формула Бьюлита	формула эллипсов	простейшая формула	формула Teichgolz
Vd (диастола)	96,25	77,07	85,18	87,69
Vs (систола)			35,94	37,55

в) Расчет массы миокарда левого желудочка

B-режим

$$\begin{aligned} LVmass &= 0,8 \cdot \{1,04 \cdot [(LVIDd + IVSTd + PWTd)]^3 - (LVIDd)^3\}(r) = \\ &= 0,8 \cdot \{1,04 \cdot [(4,4 + 0,85 + 0,8)]^3 - (4,4)^3\}(r) = 116,10 \text{ г.} \end{aligned}$$

M-режим

Метод Penn

$$\begin{aligned} LVmass &= 1,04 \cdot [(IVSTd + LVIDd + PWTd)]^3 - (LVIDd)^3(r) - 13,6(r) = \\ &= 1,04 \cdot [(1,2 + 4,4 + 0,9)^3 - 4,4^3](r) - 13,6(r) = 183,42 \text{ г.} \end{aligned}$$

Метод ASE

$$\begin{aligned} LVmass &= 0,8 \cdot \{1,04 \cdot [(LVIDd + IVSTd + PWNd)]^3 - (LVIDd)^3\}(r) - 0,6(r) = \\ &= 0,8 \cdot \{1,04 \cdot [(4,4 + 1,2 + 0,9)^3 - (4,4)^3]\}(r) - 0,6(r) = 159,75 \text{ г.} \end{aligned}$$

г) Результаты расчетов массы миокарда левого желудочка

Рассчитанная масса миокарда ЛЖ	<i>B</i> -режим, г	<i>M</i> -режим, метод Penn, г	<i>M</i> -режим, метод ASE, г
LVmass (диастола)	116,10	183,42	159,75

Результаты проведенных расчетов

а) Объем левого желудочка:

Рассчитанный объем ЛЖ, см ³	<i>B</i> -режим		<i>M</i> -режим	
	формула Бьюлита	формула эллипсов	простейшая формула	формула Teichgolz
Vd (диастола)	96,25	77,07	85,18	87,69
Vs (систола)			35,94	37,55

б) Масса миокарда левого желудочка:

Рассчитанная масса миокарда ЛЖ	<i>B</i> -режим, г	<i>M</i> -режим, метод Penn, г	<i>M</i> -режим, метод ASE, г
LVmass (диастола)	116,10	183,42	159,75

5. Расчет ударного объема, фракции выброса и фракции укорочения волокон миокарда левого желудочка с использованием измеренных (п. 3) и рассчитанных (п. 4) геометрических параметров сердца (проводится в папке «Иванов И.И.», папка «п. 5»).

Папка «Иванов И.И.», п. 5

Результаты расчетов объема левого желудочка

Рассчитанный объем ЛЖ, см ³	<i>B</i> -режим		<i>M</i> -режим	
	формула Бьюлита	формула эллипсов	простейшая формула	формула Teichgolz
Vd (диастола)	96,25	77,07	85,18	87,69
Vs (систола)			35,94	37,55

а) Расчет ударного объема левого желудочка (*M*-режим)

$$SV = Vd - Vs,$$

$SV = (85,18 - 35,94) = 49,24 \text{ см}^3$ (при расчете объема по простейшей формуле);

$SV = (87,69 - 37,55) = 50,14 \text{ см}^3$ (при расчете объема по формуле Teichgolz).

б) Расчет фракции выброса левого желудочка (*M*-режим)

$$EF = SV / Vd$$

$EF = 49,24 / 85,18 = 0,58$; %EF = 58% (при расчете объема по простейшей формуле);

$EF = 50,14 / 87,69 = 0,57 \text{ см}^3$; %EF = 57% (при расчете объема по формуле Teichgolz).

в) Расчет фракции укорочения волокон миокарда левого желудочка (*M* – режим)

$$FS = (LVIDd - LVIDs) / LVIDd,$$

$$FS = (4,4 - 3,3) / 4,4 = 0,25; \%FS = 25\%.$$

6. Сравнение результатов проведенных расчетов геометрических и физиологических параметров сердца с современными нормативами. Формулирование вывода о норме или патологии (в последнем случае и о степени патологии) (проводится в папке «Иванов И.И.», папка «п. 6»).

Папка «Иванов И.И.», п. 6

Геометрические и физиологические параметры сердца	Результаты расчетов		Нормативные рекомендации 2006 г.	
	<i>B</i> -режим	<i>M</i> -режим	<i>B</i> -режим	<i>M</i> -режим
Объем ЛЖ, см^3 <i>Vd</i> (диастола) <i>Vs</i> (систола)	96,25; 77,07	85,18; 87,69 35,69; 37,55	56 – 104 19 – 49	56–104 19 - 49
Масса миокарда ЛЖ, г <i>LVmass</i> (диастола)	116,10	183,42 159,75	66 – 150	67 - 162
Фракция выброса ЛЖ, %		58 57	> 55	
Фракция укорочения волокон миокарда ЛЖ, %		25		27–45

ВЫВОДЫ

Сравнение результатов проведенных расчетов геометрических и физиологических параметров сердца с соответствующими Рекомендациями Европейской и Американской Ассоциаций Эхокардиографии 2006 г. показывает, что исследованное сердце характеризуется некоторыми отклонениями от нормы, т. е. патологией, в частности, по величине массы миокарда ЛЖ в диастолу (при расчете объема ЛЖ по простейшей формуле), и по величине фракции укорочения волокон миокарда, причем оба эти отклонения соответствуют использованию М – режима сканирования.

ОЦЕНКА СТЕПЕНИ ПАТОЛОГИИ

Геометрические и физиологические параметры сердца	Результат измерения, М-режим	Рекомендации 2006 г., М-режим, мм			
		норма	нарушение		
			малое	умеренное	значительное
Масса миокарда ЛЖ (диастола), г	183,42	67–162	163–186	187–210	> 211
Фракция укорочения волокон миокарда ЛЖ, %	25	27–45	22–26	17–21	< 16

Сравнение величин рассчитанных геометрических параметров сердца, отличающихся от нормы, с соответствующими их значениями для различных степеней патологии по Рекомендациям Европейской и Американской Ассоциаций Эхокардиографии 2006 г. свидетельствует о том, что отклонения в массе миокарда в диастолу и во фракции укорочения волокон миокарда отвечают незначительной патологии.

7. Написание краткого отчета о проделанной работе (проводится в папке «ИВАНОВ И.И.», папка «п.7»).

Папка «Иванов И.И.», п. 7

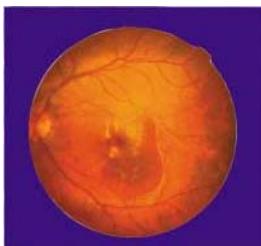
Титул:

Федеральное агентство по образованию

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Факультет автоматики и электроники

Кафедра № 46



**КОМПЬЮТЕРНЫЕ
МЕДИЦИНСКИЕ
СИСТЕМЫ** 

Лабораторная работа 5

«Расчет основных анатомических и физиологических параметров сердца по результатам измерения соответствующих геометрических параметров эхокардиографических изображений «

**в рамках лабораторного практикума
«Ультразвуковая эхокардиография»
по курсам «Теоретическая физика»
и «Физические методы медицинской интроскопии»**

Студент группы А6 – 23

И. И. Иванов

подпись

Цель работы: приобретение навыков расчета основных анатомических и физиологических параметров сердца по результатам измерения соответствующих геометрических параметров эхокардиографических изображений, полученных эхоИМПУЛЬСНЫМИ методами при различных доступах и позициях ультразвукового сканирования для двух основных методов сканирования (*B*- и *M*-режимы).

Описание объектов исследования: пять эхокардиографических изображения в двух доступах и трех позициях ультразвукового зонда, полученные в *M*- и *B*-режимах сканирования; предъявленные изображения относятся к варианту № 6 данной лабораторной работы и включают в себя файлы, приведенные в папке «п. 1 – Вариант № 6».

Результаты выполнения работы: в соответствии с п. 1 рабочего задания проведено ознакомление с предъявленными эхокардиографическими изображениям (см. папку «Вариант № 6») и создана рабочая папка с фамилией и инициалами студента (см. папку «Иванов И.И.»), в которую занесены предъявленные эхокардиографические изображения (см. папку «п.1 – Вариант № 6» в папке «Иванов И.И.»).

В соответствии с п. 2 рабочего задания из предъявленных пяти эхокардиографических изображений были отобраны два изображения, пригодные для проведения измерений и расчетов геометрических и физиологических параметров сердца, перечисленных в п.3 рабочего задания:

а) файл Image 3.3.408 – параптернальная позиция, длинная ось левого желудочка, анатомический *M*-режим сканирования со встроенным *B*-изображением; курсор направлен по диаметру левого желудочка;

б) файл Image 3.3.414 – апикальная четырехкамерная позиция, *B*-режим сканирования (см. папку «п.3» в папке «Иванов И.И.»).

В соответствии с п. 2 рабочего задания на отобранных изображениях идентифицированы использованные для их получения доступы и позиции ультразвукового зонда, а также основные структурные элементы анатомии сердца (см. папку «п.2» в папке «Иванов И.И.»).

При выполнении п. 3 рабочего задания на отобранных изображениях графически отмечены те геометрические параметры сердца, которые необходимо измерить для проведения расчетов, указанных в п.3 рабочего задания и проведены все необходимые измерения, результаты которых сведены в таблицы.

В соответствии с п. 4 рабочего задания выполнен расчет объема и массы миокарда левого желудочка по нескольким наиболее употребительным формулам, и полученные результаты сведены в таблицы.

В соответствии с п. 5 рабочего задания проведены расчеты ударного объема, фракции выброса и фракции укорочения волокон миокарда левого желудочка, результаты которых сведены в таблицы.

В соответствии с п. 6 рабочего задания проведено сравнение результатов расчетов параметров сердца с современными нормативами.

Заключение: в результате работы из пяти предъявленных эхокардиографических изображений отобраны два изображения, пригодные для измерения геометрических параметров, необходимых для проведения указанных в рабочем задании расчетов геометрических и физиологических параметров сердца; идентифицированы доступы и позиции ультразвукового зонда, а также режимы ультразвукового сканирования, использованные для получения соответствующих отобранных изображений.

Графически указаны, какие именно геометрические параметры сердца измерялись на соответствующих изображениях, а их численные значения сведены в таблицы.

С использованием нескольких наиболее употребительных формул выполнены расчеты объема и массы миокарда левого желудочка, а также ударного объема, фракции выброса и фракции укорочения волокон миокарда левого желудочка. Полученные результаты сведены в таблицы.

Выполнено сравнение результатов проведенных расчетов геометрических и физиологических параметров сердца с соответствующими Рекомендациями Европейской и Американской Ассоциаций Эхокардиографии 2006 г., которое показало, что исследо-

ванное сердце характеризуется некоторыми отклонениями от нормы, т. е. патологией, в частности, по величине массы миокарда ЛЖ в диастолу (при расчете объема ЛЖ по простейшей формуле), и по величине фракции укорочения волокон миокарда, причем оба эти отклонения соответствуют использованию *M*-режима сканирования.

Сравнение величин измеренных геометрических параметров сердца, отличающихся от нормы, с соответствующими их значениями для различных степеней патологии по Рекомендациям Европейской и Американской Ассоциаций Эхокардиографии 2006 г. свидетельствует о том, что эти отклонения отвечают незначительной патологии.

Таким образом, рабочее задание выполнено в полном объеме.

Пример выполнения рабочего задания лабораторной работы 6

Вариант № 3

1. Ознакомление с предъявленными изображениями по варианту № 3, создание рабочей папки с Фамилией и инициалами студента и занесение в нее предъявленных эхокардиографических изображений (см. папку «п.1 – Вариант № 3» в папке «Иванов И.И.»).

Папка «Иванов И.И.», «п. 1 – Вариант № 3»

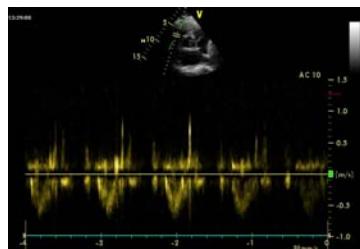


Image 2.4.38

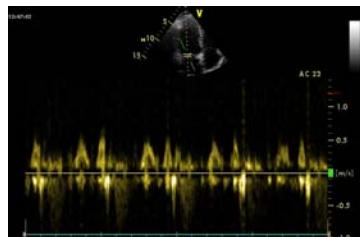


Image 2.4.44

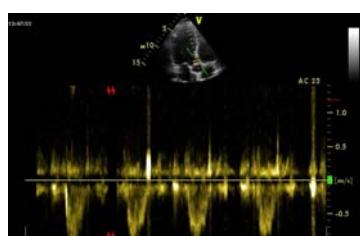


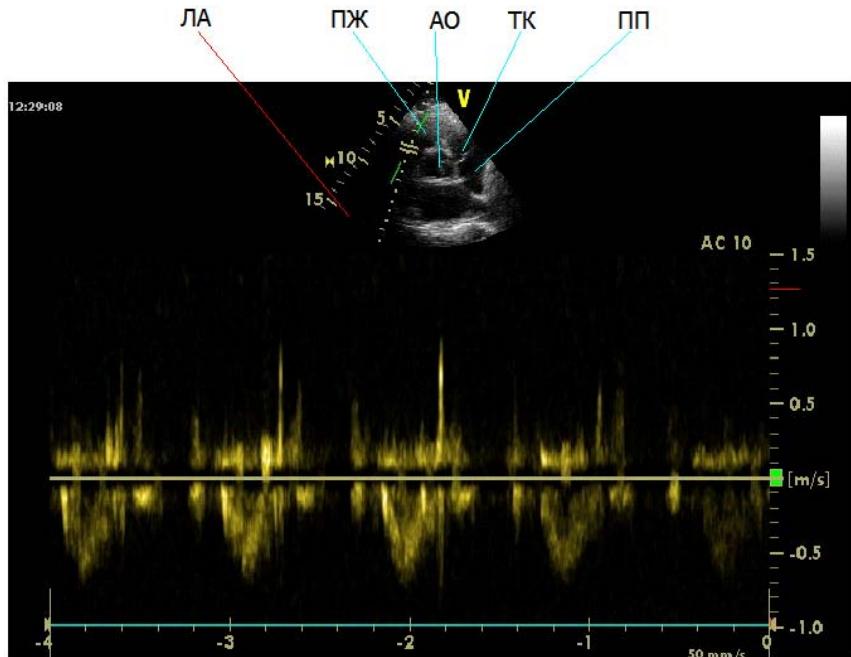
Image 2.4.45

2. Идентификация доступов и позиций ультразвукового зонда, использованного режима сканирования для каждого из предъявленных изображений, а также цели проведенного допплеровского исследования и структурных элементов анатомии сердца, расположенных вблизи измерительного объема (проводится в папке «Иванов И.И.», папка «п.2»).

Папка «Иванов И.И.», п. 2

Файл Image 2.4.38 – импульсно-волновой допплер со встроенным *B*-изображением; паастернальная позиция по короткой оси на уровне аортального клапана.

Измеряется кровоток в выносящем тракте правого желудочка



ЛА – легочная артерия

ПЖ – правый желудочек

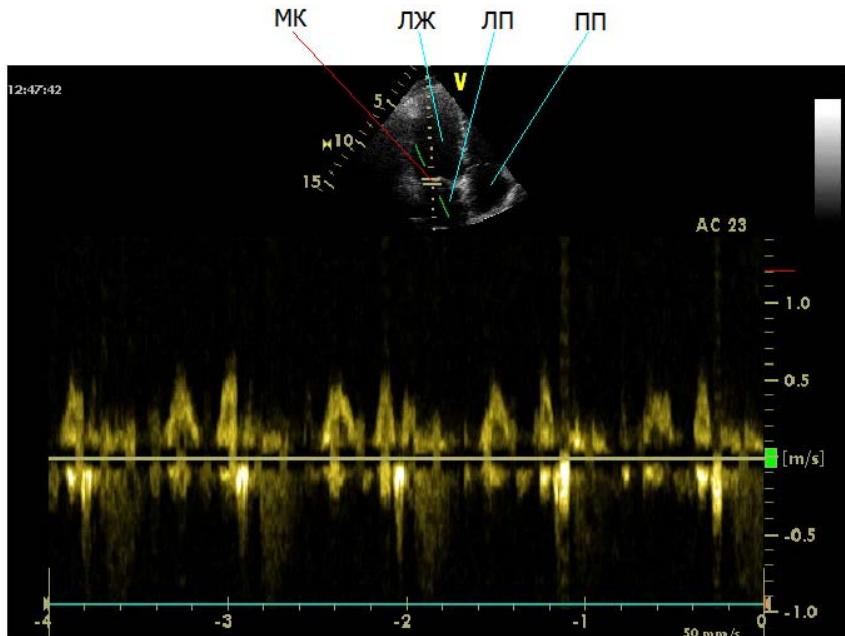
ТК – трикуспидальный клапан

ПП – правое предсердие

АО - аорта

Файл Image 2.4.44 – импульсно-волновой доплер со встроенным *B*-изображением; апикальная четырехкамерная позиция.

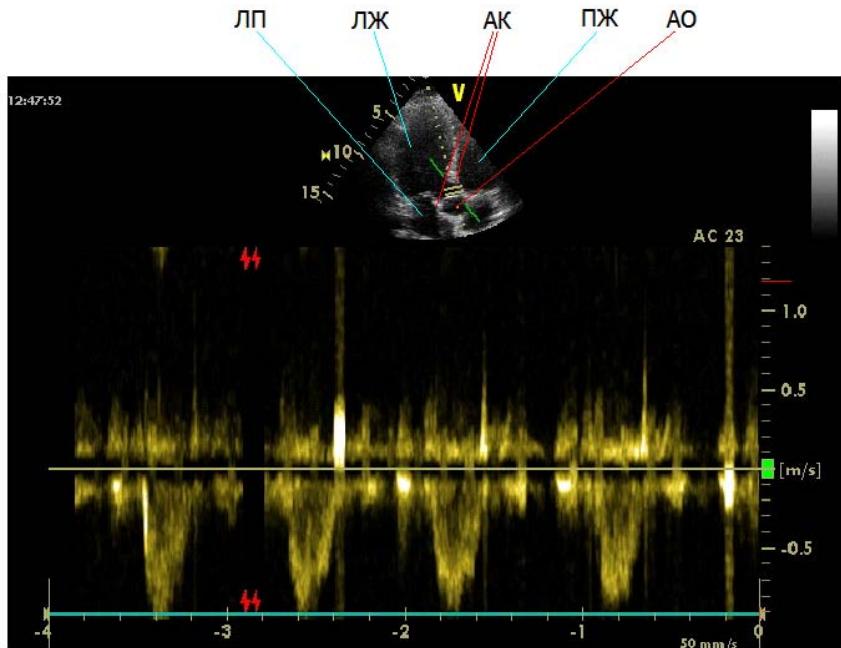
Измеряется трансмитральный кровоток



ЛЖ – левый желудочек
ЛП – левое предсердие
МК – митральный клапан
ПП – правое предсердие

Файл Image 2.4.45 – импульсно-волновой доплер со встроенным *B*-изображением; апикальная пятикамерная позиция.

Измеряется кровоток в выносящем тракте левого желудочка в систолу



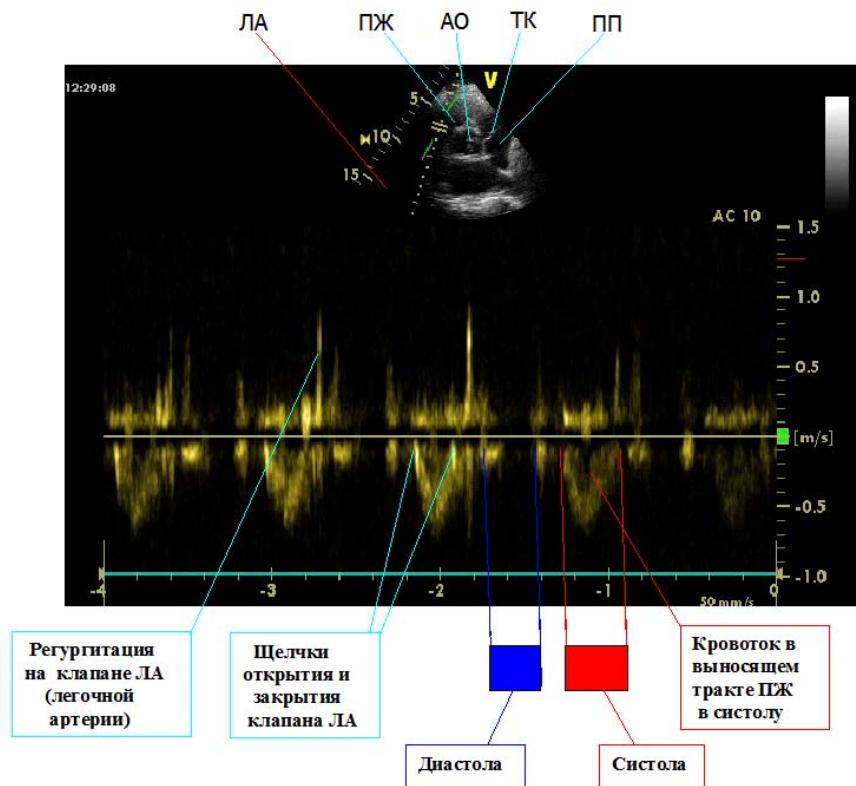
ЛЖ – левый желудочек
ЛП – левое предсердие
ПЖ - правый желудочек
АК – аортальный клапан
АО - аорта

3. Идентификация динамических фаз сердечного цикла на предъявленных изображениях, а также регистрация и описание фрагментов изображений, отражающих индивидуальную гемодинамику исследованного сердца (проводится в папке «Иванов И.И.», папка «п.3»).

Папка «Иванов И.И.», п. 3

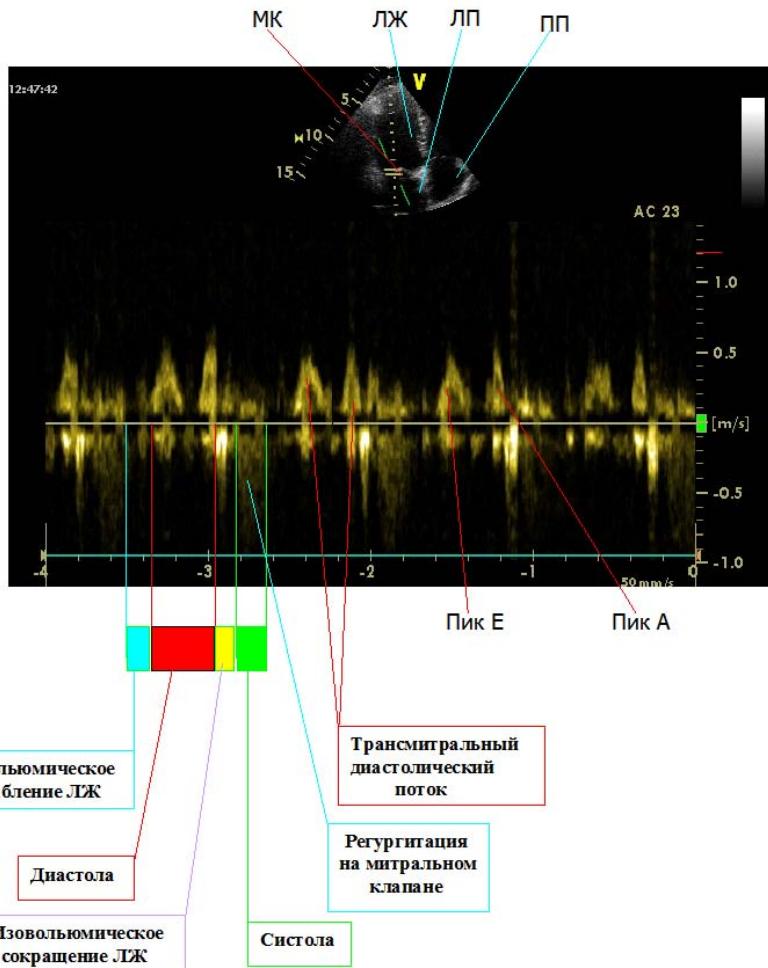
Файл Image 2.4.38 – Импульсно-волновой доплер со встроенным В-изображением; паастернальная позиция по короткой оси на уровне аортального клапана.

Измеряется кровоток в выносящем тракте правого желудочка



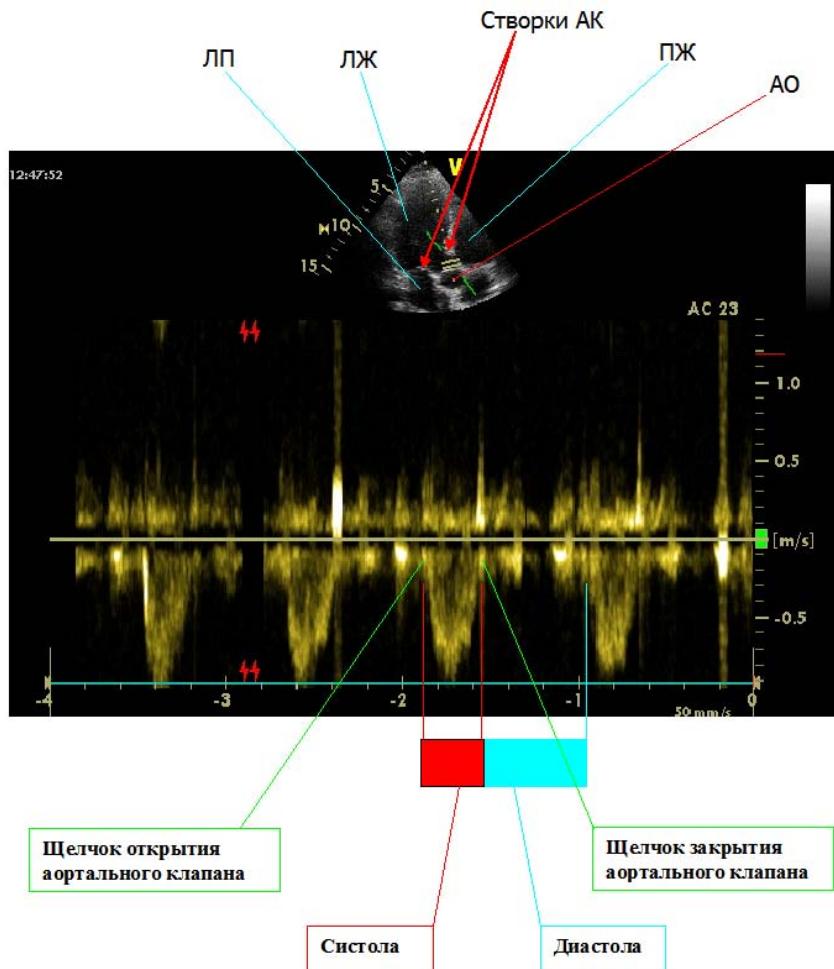
Файл Image 2.4.44 – Импульсно-волновой доплер со встроенным В-изображением; апикальная четырехкамерная позиция.

Измеряется трансмитральный диастолический кровоток



Файл Image 2.4.45 – импульсно-волновой допплер со встроенным *B*-изображением; апикальная пятикамерная позиция.

Измеряется кровоток в выносящем тракте левого желудочка в систолу



4. Написание краткого отчета о проделанной работе (проводится в папке «Иванов И.И.», папка «п.4»).

Папка «Иванов И.И.», п. 4

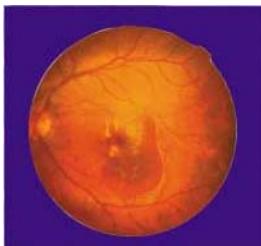
Титул:

Федеральное агентство по образованию

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Факультет автоматики и электроники

Кафедра № 46



Лабораторная работа № 6

«Идентификация предъявленных доплеровских эхокардиографических изображений в стандартных доступах и позициях ультразвукового зонда»

в рамках лабораторного практикума
«Ультразвуковая эхокардиография»
по курсам «Теоретическая физика»
и «Физические методы медицинской интроскопии»

Студент группы А6 – 23

И. И. Иванов

подпись

Цель работы: освоение принципов идентификации эхокардиографических изображений сердца, полученных с использованием основных разновидностей технологий доплеровской эхокардиографии (импульсно-волновой, цветовой, тканевой); выработка навыков идентификации основных структурных элементов анатомии сердца и оценки индивидуальных гемодинамических параметров исследованного сердца на реальных эхокардиографических ультразвуковых изображениях; отработка навыков использования программы Paint и графического редактора Word при анализе изображений.

Описание объектов исследования: три эхокардиографических изображения в двух доступах и трех позициях ультразвукового зонда, полученные в доплеровских режимах сканирования со встроенным *B*-изображением; предъявленные изображения относятся к варианту № 3 данной лабораторной работы и включают в себя файлы, приведенные в папке «Вариант № 3».

Результаты выполнения работы: в соответствии с п.1 рабочего задания проведено ознакомление с предъявленными доплеровскими эхокардиографическими изображениями (см. папку «Вариант № 3») и создана рабочая папка с фамилией и инициалами студента (см. папку «Иванов И.И.»), в которую занесены предъявленные изображения папка (см. папку «п.1 – Вариант № 3» в папке «Иванов И.И.»).

При выполнении п.2 рабочего задания исходные файлы предъявленных изображений были преобразованы в формат Word и снабжены соответствующими пометками с сохранением их исходных номеров (при этом изменения масштабов изображения с помощью программы Paint не потребовалось). В соответствии с п. 2 рабочего задания идентифицированы разновидности использованной эходоплерографии, доступы и позиции ультразвукового зонда, режим сканирования, а также основные структурные элементы сердца и цель проводившегося исследования (см. папку «п.2» в папке «Иванов И.И.»).

В соответствии с п. 3 рабочего задания указаны и графически зарегистрированы основные фазы сердечного цикла и дано описание отдельных фрагментов изображения, отражающих индивидуальную гемодинамику исследованного сердца.

Заключение: в результате работы для всех предъявленных доплеровских эхокардиографических изображений идентифицированы доступы и позиции ультразвукового зонда, а также режимы ультразвукового сканирования, использованные для получения соответствующих изображений. В соответствии с рабочим заданием для всех предъявленных доплерограмм идентифицированы цели проведенных исследований, зарегистрированы анатомические структурные элементы сердца, расположенные вблизи измерительного объема, а также графически идентифицированы основные фазы сердечного цикла, зарегистрированы и описаны отдельные фрагменты изображений, характеризующие индивидуальную гемодинамику исследованного сердца. Таким образом, рабочее задание выполнено в полном объеме.

Пример выполнения рабочего задания лабораторной работы 7

Вариант № 16

1. Ознакомление с предъявленными изображениями по Варианту № 16, создание рабочей папки с фамилией и инициалами студента (см. папку «Иванов И.И.») и занесение в нее предъявленных мультимедийных эхокардиографических изображений; идентификация использованных для получения предъявленных мультимедийных изображений доступов и позиций ультразвукового зонда, а также режима сканирования (проводится в папке «Иванов И.И.», папка «п.1»).

Папка «Иванов И.И.», папка «п. 1»

1.1. По данному индивидуальному заданию предъявлены два мультимедийных эхокардиографических изображения, а именно файлы: Image 4.7.28 и Image 4.7.30.

Данные файлы приведены на прилагаемом диске в папке «Лабораторная работа № 7» (папка «Иванов И.И.», подпапка «п.1»)¹.

1.2. Идентификация доступов и позиций ультразвукового зонда, а также использованного режима сканирования:

а) файл Image 4.7.28 – апикальная пятикамерная позиция, В-режим сканирования; цветовая допплерография правого сердца (правого предсердия, правого желудочка, триkuspidального клапана) с частичной цветовой допплерографией отдела аорты, примыкающего к аортальному клапану;

б) файл Image 4.7.30 – апикальная четырехкамерная позиция, В-режим сканирования, цветовая допплерография левого сердца (левого предсердия, митрального клапана и примыкающей к нему области левого желудочка).

¹ См. прилагаемый диск в конце книги.

2. Покадровая развертка предъявленных мультимедийных эхокардиографических изображений с использованием графического редактора Virtual Dub Mod 1.5.10.2, идентификация последовательностей статических изображений, соответствующих систолической и диастолической фазам сердечного цикла, и занесение их в соответствующие папки файлов (проводится в папке «Иванов И.И.», папка «п.2»).

Папка «Иванов И.И.», папка «п. 2»

2.1. Покадровая развертка предъявленных мультимедийных эхокардиографических изображений.

Результаты покадровой развертки приведены на прилагаемом диске в папке «Лабораторная работа № 7» (папка «Иванов И.И.», подпапка «п. 2.1» в папке «п.2»).

2.2. Идентификация фаз сердечного цикла (систола и диастола).

а) *Результаты анализа покадровой развертки файла Image 4.7.28:*

систолической фазе сердечного цикла соответствуют последовательности кадров с номерами 04–11, 26–37 и 53–64 (см. п. 2.1 файл Image 4.7.28);

диастолической фазе сердечного цикла соответствуют последовательности кадров с номерами 12–25 и 39–51 (см. п. 2.1 файл Image 4.7.28).

б) *Результаты анализа покадровой развертки файла Image 4.7.30:*

систолической фазе сердечного цикла соответствуют последовательности кадров с номерами 02–11 и 27–34 (см. п. 2.1 файл Image 4.7.30);

диастолической фазе сердечного цикла соответствуют последовательности кадров с номерами 13–26 и 39–49 (см. п.2.1 файл Image 4.7.30).

2.3. Отбор характерных последовательностей статических кадров, соответствующих систолической и диастолической фазам сердечного цикла, и выделение их в отдельные папки файлов для каждого из предъявленных мультимедийных эхокардиографических изображений.

Результаты выполнения этого пункта приведены на прилагаемом диске в папке «Лабораторная работа № 7» (папка «Иванов И.И.», подпапка «п.2.3» в папке «п.2»).

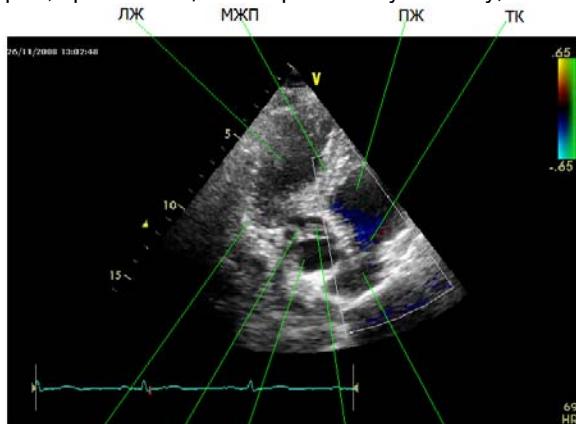
3. В каждом из наборов идентифицированных в п. 2 последовательностей покадровых изображений выделение по одной паре статических изображений, соответствующих систолической и диастолической фазам сердечного цикла, переводение их в формат Word и с помощью его графического и текстового редакторов проведение идентификации и регистрации основных структурных элементов анатомии сердца (проводится в папке «Иванов И.И.», папка «п.3»).

Папка «Иванов И.И.», папка «п. 3»

Идентификация и регистрация основных структурных элементов анатомии исследованного сердца. Результаты выполнения п.3 приведены ниже, а также и на прилагаемом диске в папке «Лабораторная работа № 7» (папка «Иванов И.И.», подпапка «п.3»).

П. 3.1

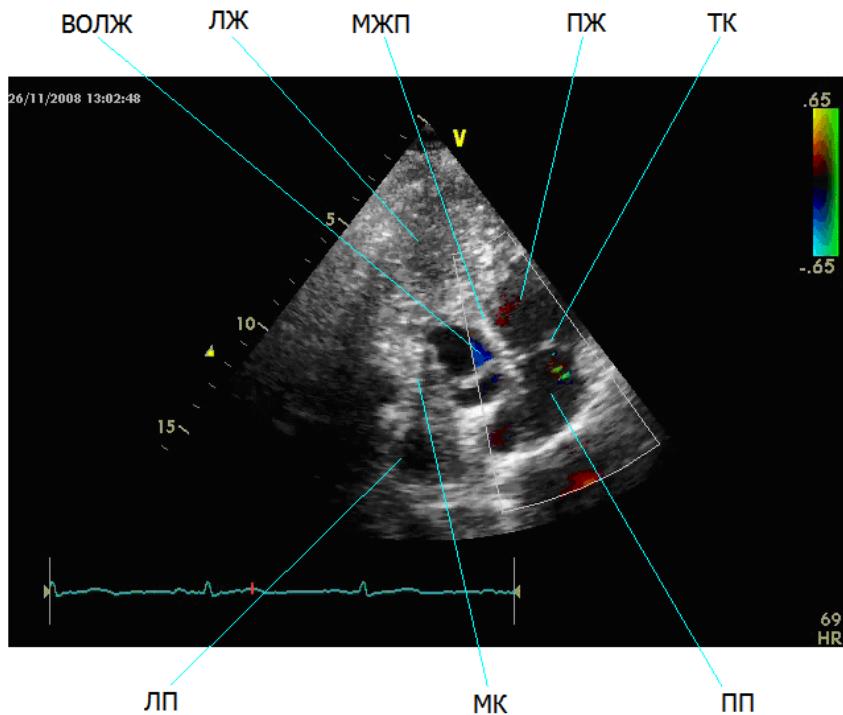
Image 4.7.28-27 – диастолическая фаза сердечного цикла; апикальная пятикамерная позиция, В-режим сканирования; цветовая допплерография правого сердца (правого предсердия, правого желудочка, триkuspidального клапана) с частичной цветовой допплерографией отдела аорты, примыкающего к аортальному клапану;



ЛЖ – левый желудочек
ПЖ – правый желудочек
ЛП – левое предсердие
ПП – правое предсердие
ЗСЛЖ – задняя стенка левого желудочка

МК – митральный клапан
ТК – триkuspidальный клапан
АК – аортальный клапан
МЖП – межжелудочковая перегородка

Image 4.7. 28 - 33 – систолическая фаза сердечного цикла; апикальная пятикамерная позиция, В-режим сканирования; цветовая допплерография правого сердца (правого предсердия, правого желудочка, трикуспидального клапана) с частичной цветовой допплерографией отдела аорты, примыкающего к аортальному клапану.



ЛЖ – левый желудочек

ВОЛЖ – выносящий отдел левого желудочка

ПЖ – правый желудочек

МК – митральный клапан

ЛП – левое предсердие

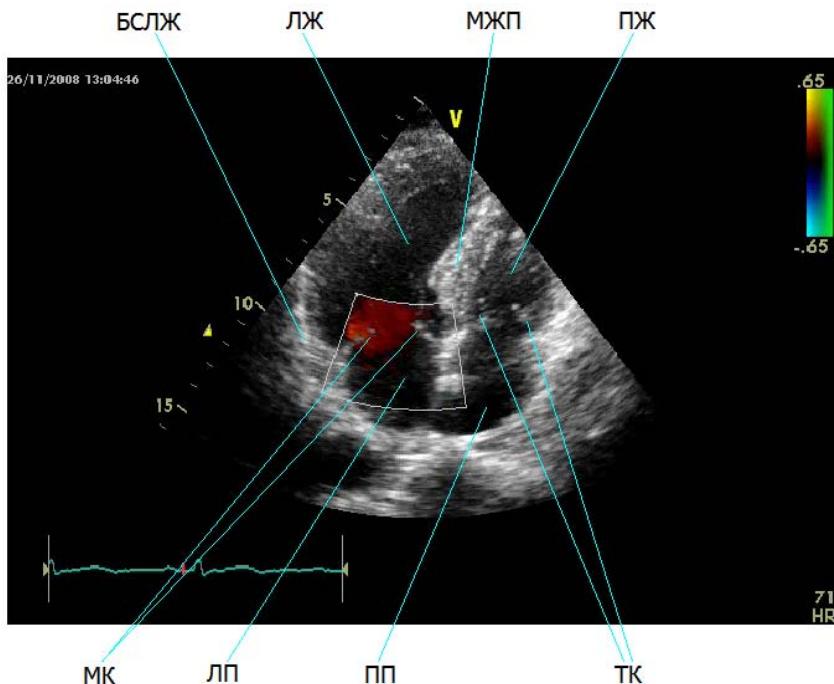
ТК – трикуспидальный клапан

ПП – правое предсердие

МЖП – межжелудочковая перегородка

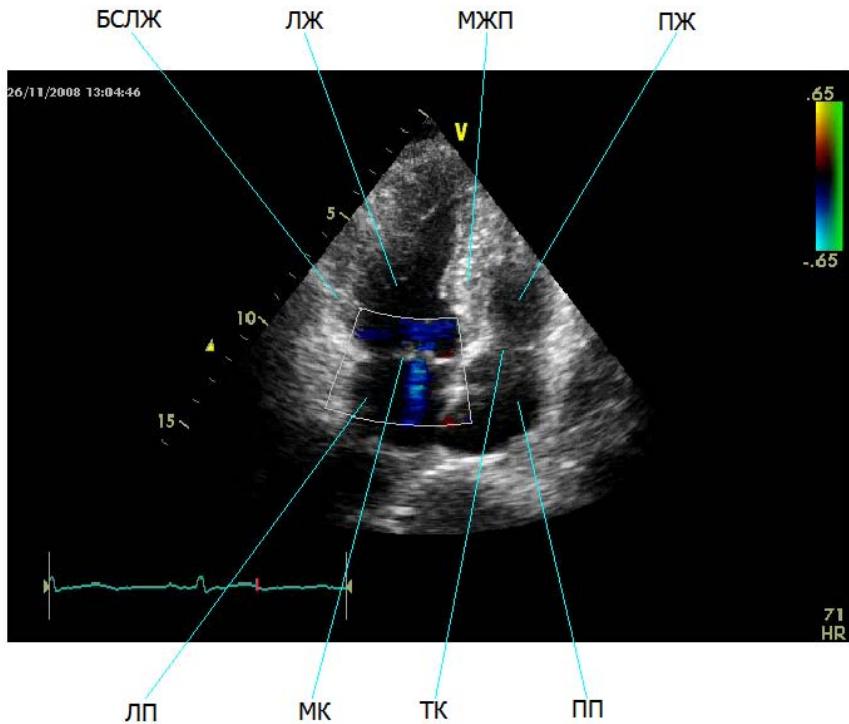
П. 3.2

Файл Image 4.7.30-22 – диастолическая фаза сердечного цикла (начальная стадия); апикальная четырехкамерная позиция, В-режим сканирования, цветовая допплерография левого сердца (левого предсердия, митрального клапана и примыкающей к нему области левого желудочка).



- ЛЖ – левый желудочек
- МК – митральный клапан
- ПЖ – правый желудочек
- ТК – триkuspidальный клапан
- ЛП – левое предсердие
- ПП – правое предсердие
- МЖП – межжелудочковая перегородка
- БСЛЖ – боковая стенка левого желудочка

Файл Image 4.7.30-34 – систолическая фаза сердечного цикла; апикальная четырехкамерная позиция, В-режим сканирования, цветовая доплерография левого сердца (левого предсердия, митрального клапана и призывающей к нему области левого желудочка).



ЛЖ – левый желудочек

МК – митральный клапан

ПЖ – правый желудочек

ТК – трикуспидальный клапан

ЛП – левое предсердие

ПП – правое предсердие

МЖП – межжелудочковаia peregorodka

БСЛЖ – боковая стенка левого желудочка

4. В каждом из наборов отобранных в п. 2 покадровых изображений, отвечающих диастолической и систолической фазам сердечного цикла, идентификация и регистрация наиболее характерных гемодинамических фрагментов этих изображений (проводится в папке «Иванов И.И.», папка «п.4»).

«Иванов И.И.», папка «п.4»

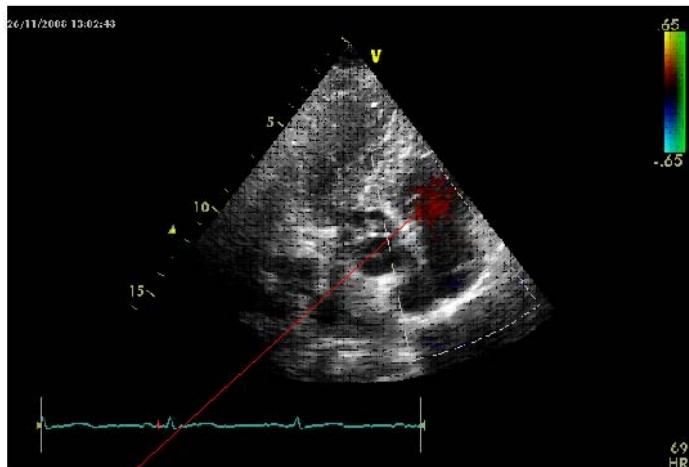
Идентификация и регистрация наиболее ярких и характерных гемодинамических фрагментов для отобранных последовательностей покадровых изображений, соответствующих систолической и диастолической фазам сердечного цикла, для каждого из предъявленных мультимедийных эхокардиографических изображений.

Результаты выполнения п. 4 приведены ниже, а также и на прилагаемом диске в папке «Лабораторная работа № 7» (папка «Иванов И.И.», подпапка «п.4», в том числе папка п. 4.1 для Image 4.7.28 и папка п. 4.2 для Image 4.7.30).

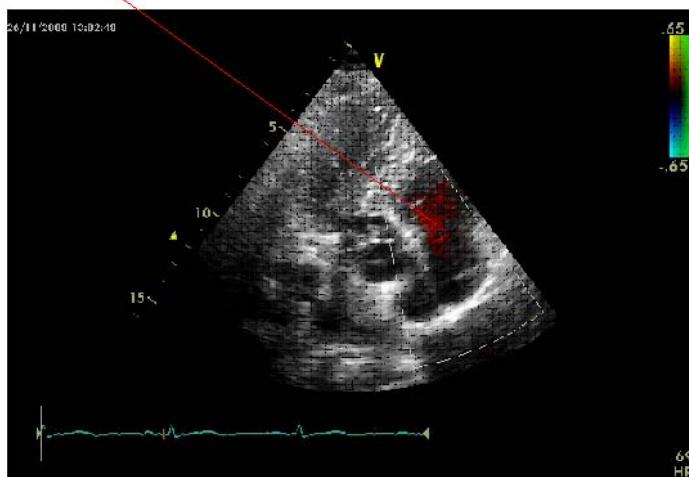
П. 4.1

Файл Image 4.7.28 – Диастола

Начальная диастолическая фаза сердечного цикла

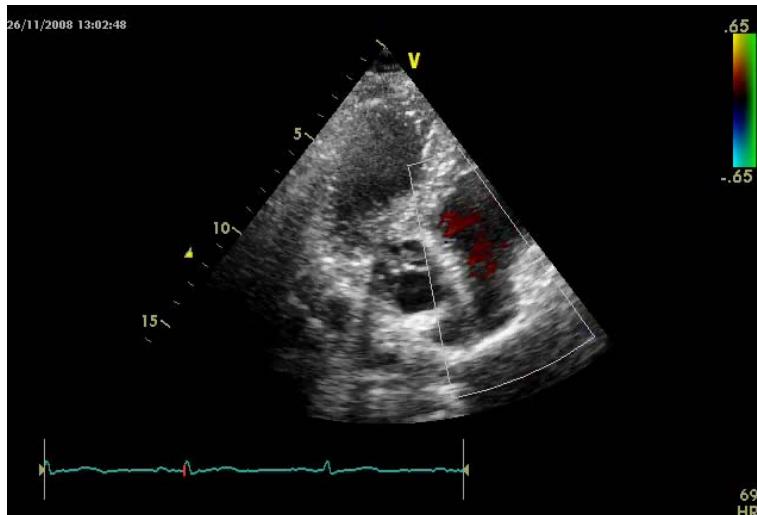


Файл Image 4.7.28-23
(кровяной поток наполнения правого желудочка)



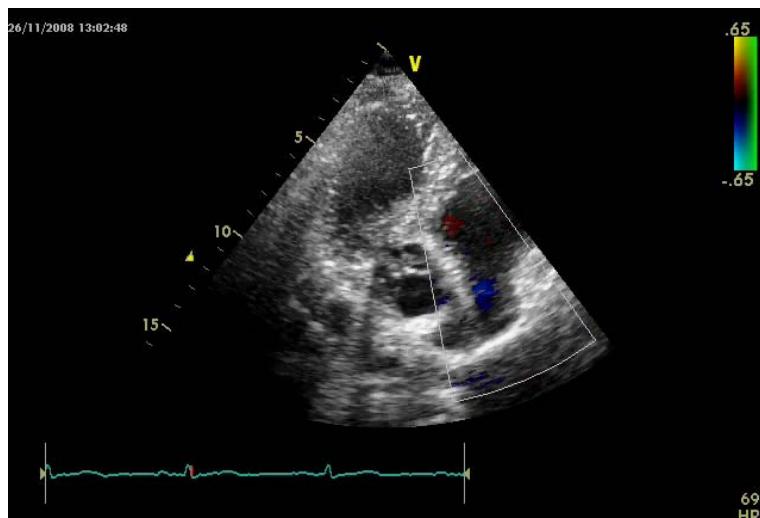
Файл Image 4.7.28-24

Диастолическая фаза сердечного цикла (продолжение)



Файл Image 4.7.28-25

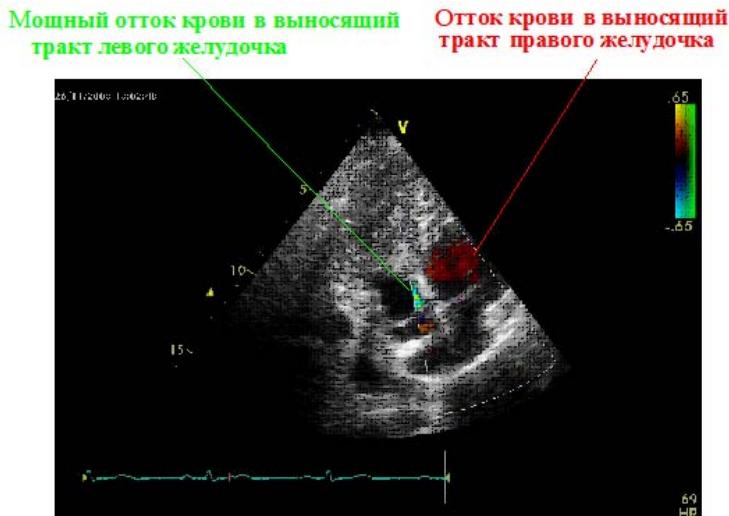
Диастолическая фаза сердечного цикла (окончание)



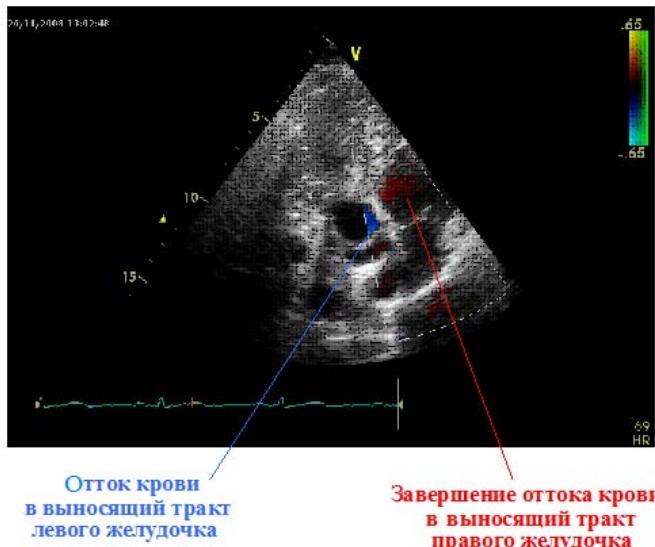
Файл Image 4.7.28-26

Файл Image 4.7.28 - Систола

Систолическая фаза сердечного цикла



Файл Image 4.7.28-30

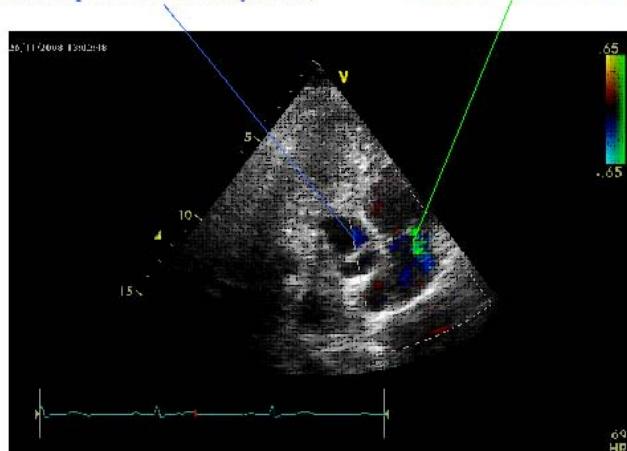


Файл Image 4.7.28-32

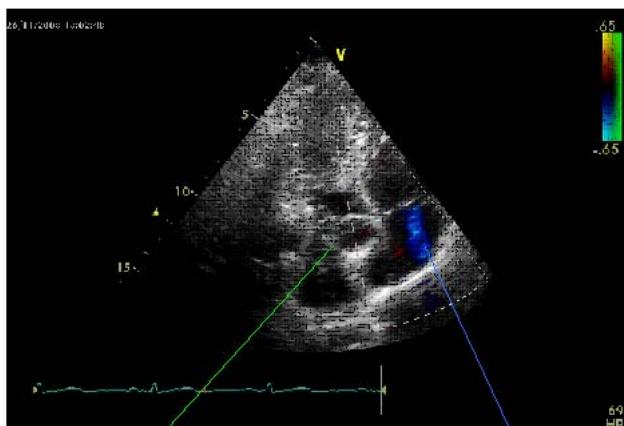
Окончание систолической фазы сердечного цикла

Завершение оттока крови
в выносящий тракт левого желудочка

Мощная [второй степени] регургитация
на триkuspidальном клапане



Файл Image 4.7.28-34



Аортальный
клапан закрыт

Остаточная регургитация
на триkuspidальном клапане

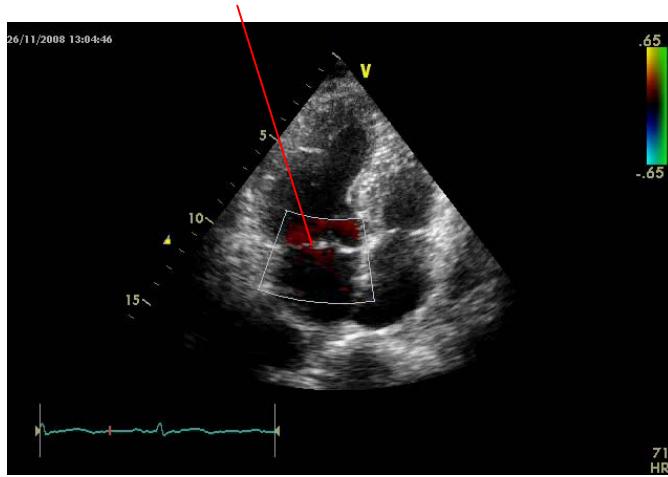
Файл Image 4.7.28-37

П. 4.2

Файл Image 4.7.30 – Диастола

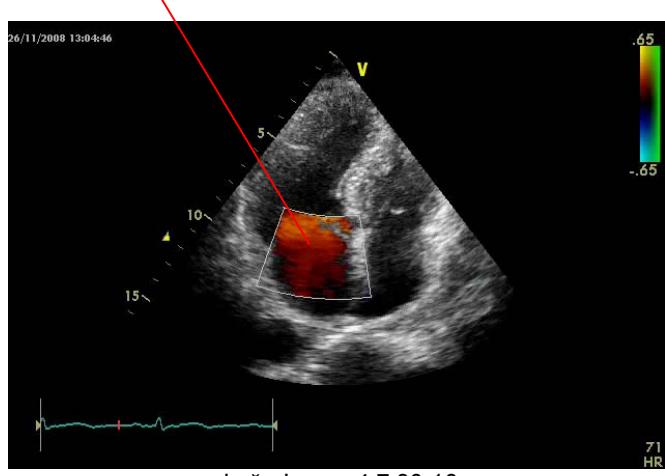
Диастолическая фаза сердечного цикла (начало)

Трансмитральный поток наполнения левого желудочка



Файл Image 4.7.30-14

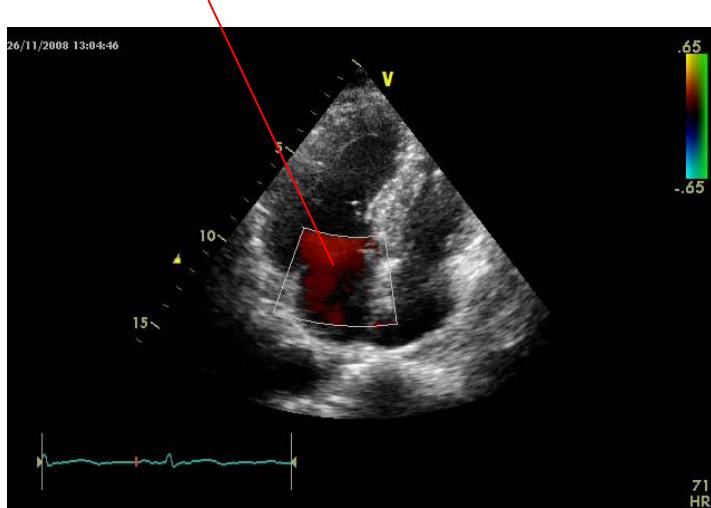
Трансмитральный поток наполнения левого желудочка, пик Е



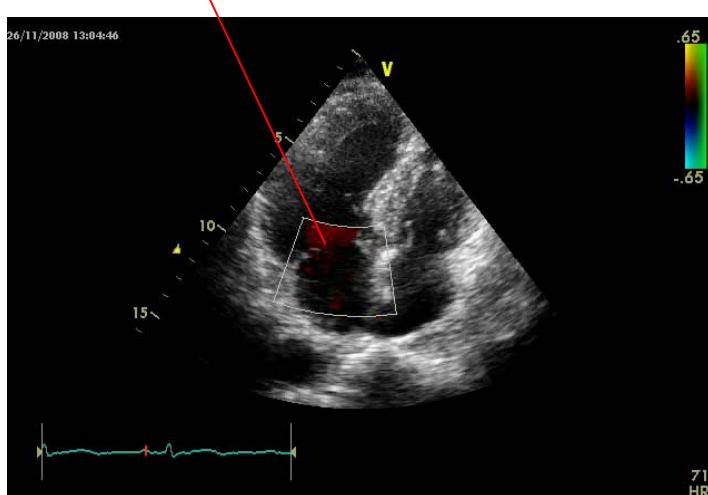
Файл Image 4.7.30-16

Диастолическая фаза сердечного цикла (продолжение)

Трансмитральный поток наполнения левого желудочка, пик Е

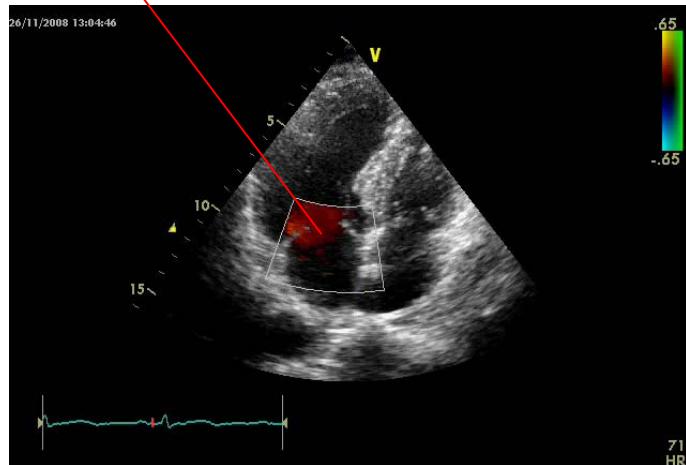


Трансмитральный поток наполнения левого желудочка, завершение пика Е



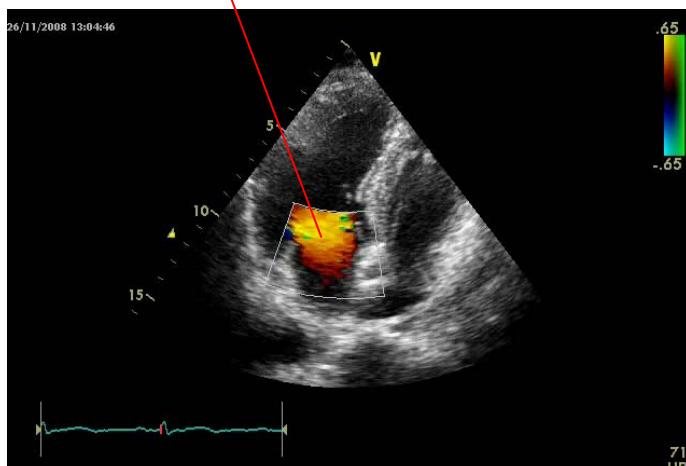
Диастолическая фаза сердечного цикла (продолжение)

Трансмитральный поток наполнения левого желудочка,
начало пика A



Файл Image 4.7.30-22

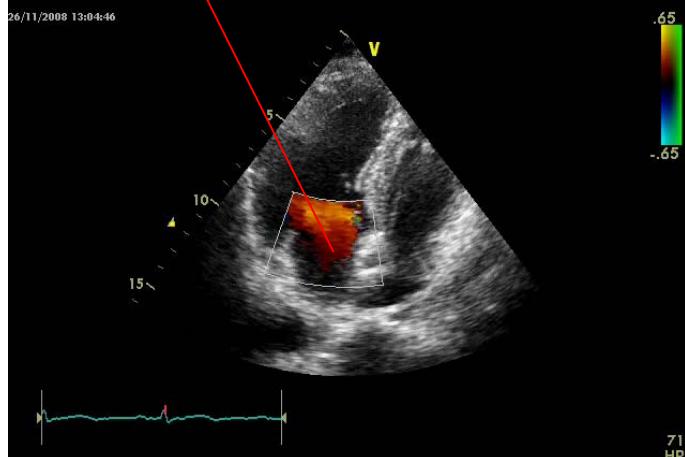
Трансмитральный поток наполнения левого желудочка, пик A
(судя по цвету, пик A превышает по величине пик E)



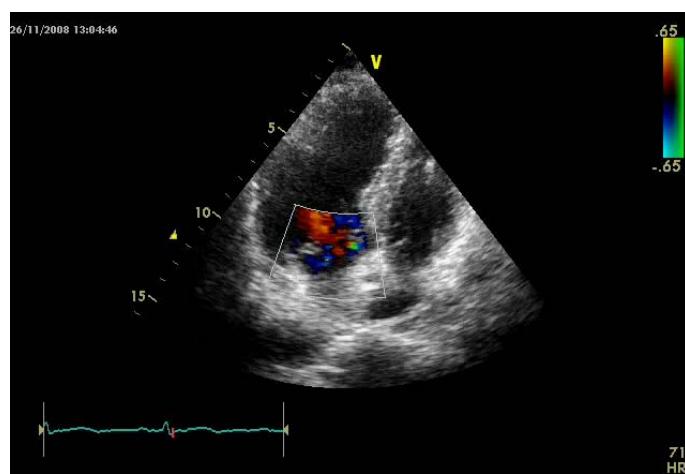
Файл Image 4.7.30-24

Диастолическая фаза сердечного цикла (продолжение)

Трансмитральный поток наполнения левого желудочка,
окончание пика A



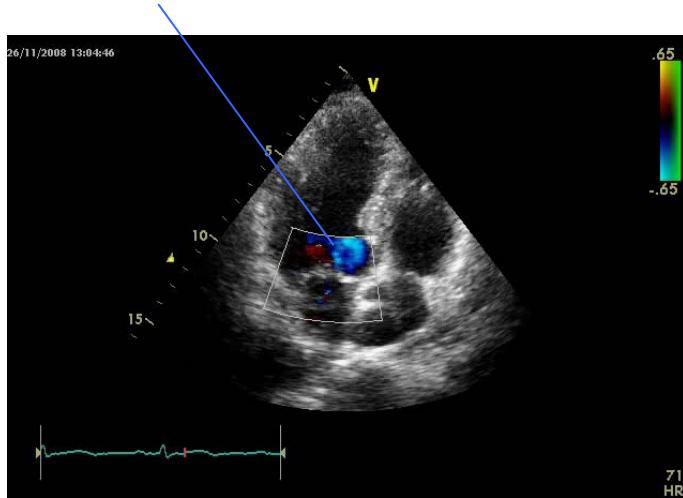
Диастолическая фаза сердечного цикла (окончание)



Файл Image 4.7.30 – Систола

Систолическая фаза сердечного цикла (начало)

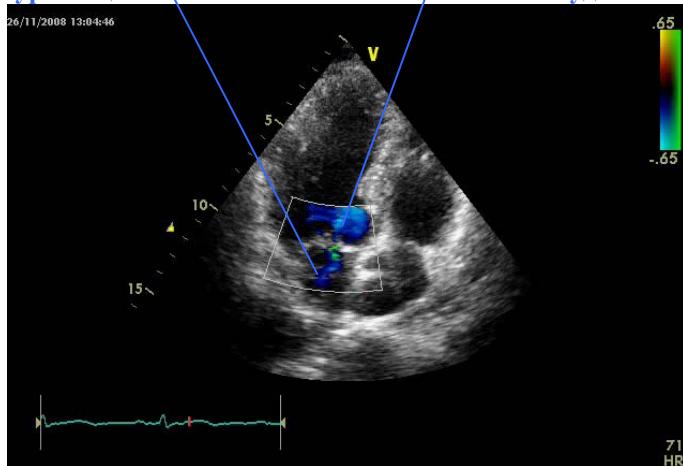
Поток в выносящем отделе левого желудочка



Файл Image 4.7.30-29

Поток трансмитральной
регургитации

Поток в выносящем отделе
левого желудочка

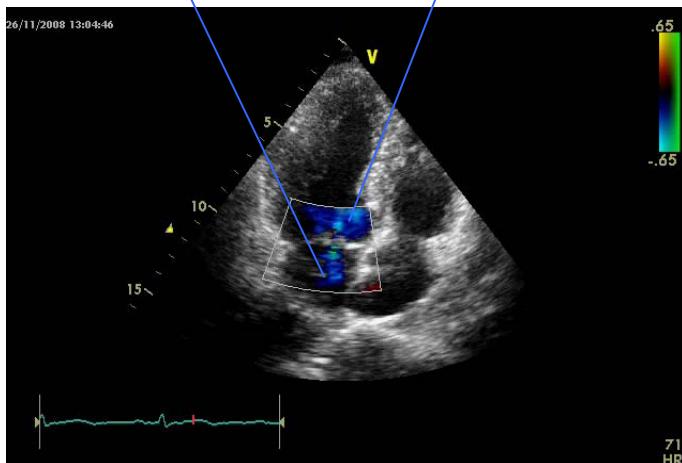


Файл Image 4.7.30-30

Систолическая фаза сердечного цикла (продолжение)

Поток трансмитральной регургитации

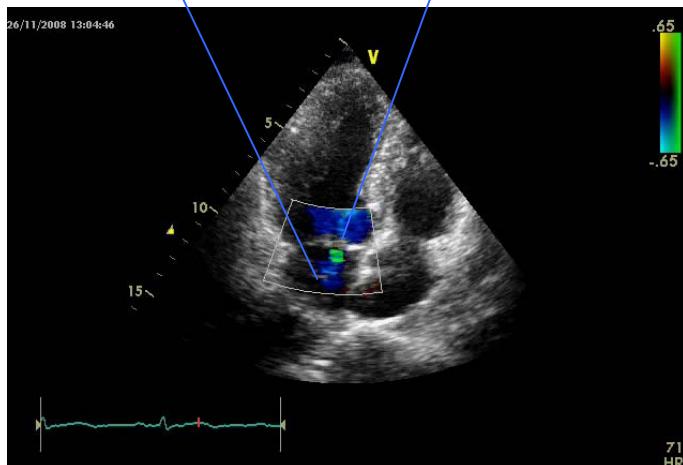
Поток в выносящем отделе левого желудочка



Файл Image 4.7.30-31

Поток трансмитральной регургитации

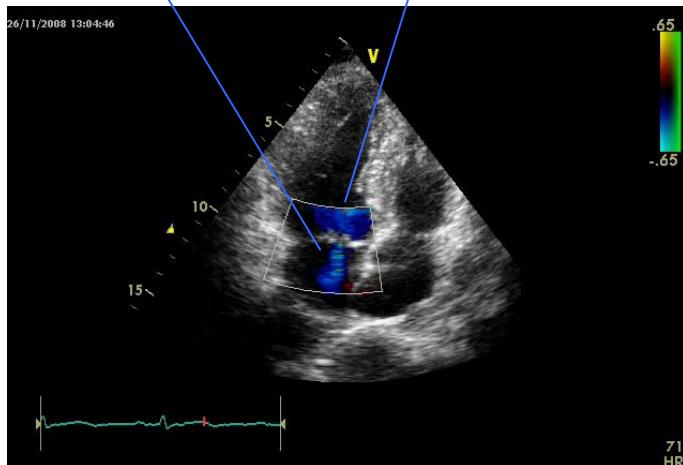
Поток в выносящем отделе левого желудочка



Файл Image 4.7.30-32

Систолическая фаза сердечного цикла (окончание)

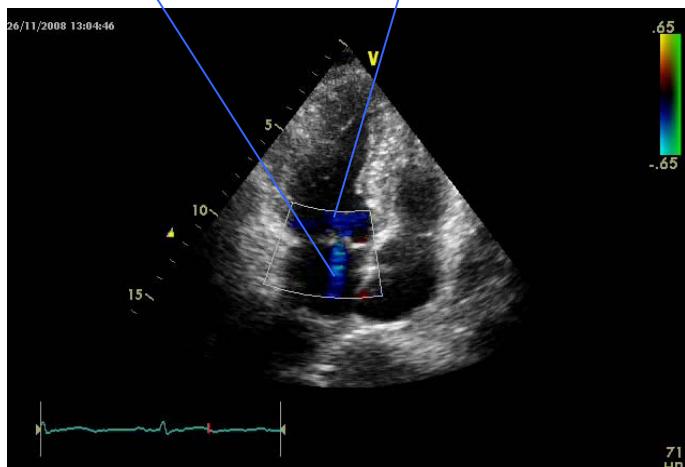
Поток трансмитральной
регургитации Поток в выносящем отделе
левого желудочка



Файл Image 4.7.30-33

Поток трансмитральной
регургитации

Поток в выносящем отделе
левого желудочка



Файл Image 4.7.30-34

5. Написание краткого отчета о проделанной работе (можно в электронном виде) (проводится в папке «Иванов И.И.», папка «п.5»).

Папка «Иванов И.И.», п. 5

Титул:

Федеральное агентство по образованию

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Факультет автоматики и электроники

Кафедра № 46



**КОМПЬЮТЕРНЫЕ
МЕДИЦИНСКИЕ
СИСТЕМЫ** 

Лабораторная работа 7

**«Идентификация основных структурных элементов
анатомии сердца и фаз его гемодинамики
на предъявленных мультимедийных доплеровских
эхокардиографических изображениях»**

в рамках лабораторного практикума
«Ультразвуковая эхокардиография»
по курсам
«Теоретическая физика» и «Физические методы
медицинской интроскопии»

Студент группы А6 – 23

И. И. Иванов

подпись

Цель работы: освоение принципов идентификации доплеровских мультимедийных эхокардиографических изображений сердца, полученных в режимах импульсно-волнового и цветового доплеровского зондирования; выработка навыков идентификации основных структурных элементов анатомии сердца и фаз сердечного цикла на реальных мультимедийных эхокардиографических ультразвуковых изображениях; отработка навыков использования графического редактора Virtual Dub Mod 1.5.10.2 для покадровой развертки мультимедийных изображений с последующим применением программы Paint и графического редактора Word.

Описание объектов исследования: два мультимедийных эхокардиографических изображения в одном доступе и двух позициях ультразвукового зонда, полученные в *B*-режиме цветового доплеровского сканирования; предъявленные изображения относятся к варианту № 16 данной лабораторной работы и включают в себя файлы, приведенные в папке «Вариант № 16».

Результаты выполнения работы: в соответствии с п. 1 рабочего задания проведено ознакомление с предъявленными мультимедийными эхокардиографическими изображениями и создана рабочая папка с фамилией и инициалами студента (см. папку «Иванов И.И.»), в которую занесены предъявленные изображения (папка «п.1.1 – Вариант № 16» в папке «Иванов И.И.»). Для каждого из предъявленных мультимедийных изображений идентифицированы использованные для их получения доступы и позиции ультразвукового зонда, а также использованный режим сканирования (см. папку «п.1.2» в папке «Иванов И.И.»).

При выполнении п. 2 рабочего задания с помощью графического редактора Virtual Dub Mod 1.5.10.2 проведена покадровая развертка предъявленных мультимедийных изображений (см. папку «п.2.1» в папке «Иванов И.И.») и идентифицированы последовательности статических изображений, которые соответствуют систолической и диастолической фазам сердечного цикла (см. папку «п.2.2» в папке «Иванов И.И.»); наиболее характерные из этих последовательностей выделены в отдельные файлы и папки (см. папку «п.2.3» в папке «Иванов И.И.»).

При выполнении п. 3 рабочего задания в каждом из наборов идентифицированных в п.2 последовательностей покадровых изображений выделено по одной паре статических изображений, соответствующих систолической и диастолической фазам сердечного цикла, и на этих изображениях идентифицированы и зарегистрированы основные структурные элементы анатомии сердца (см. папку «п.3» в папке «Иванов И.И.»).

При выполнении п. 4 рабочего задания для каждого из зафиксированных в п.2 наборов статических эхокардиографических изображений, соответствующих систолической и диастолической фазам сердечного цикла, идентифицированы и зафиксированы (графически и текстово) наиболее яркие и характерные гемодинамические фрагменты этих изображений.

Заключение: в результате работы для всех предъявленных мультимедийных эхокардиографических изображений идентифицированы доступы и позиции ультразвукового зонда, а также режим ультразвукового сканирования, использованные для получения соответствующих изображений. В соответствии с рабочим заданием для всех предъявленных изображений идентифицированы и зарегистрированы основные гемодинамические фазы сердечного цикла (систола и диастола), а также основные структурные элементы анатомии сердца. Для последовательностей статических покадровых изображений, соответствующих диастолической и систолической фазам сердечного цикла, идентифицированы, графически зарегистрированы и описаны наиболее яркие и характерные гемодинамические фрагменты этих изображений.

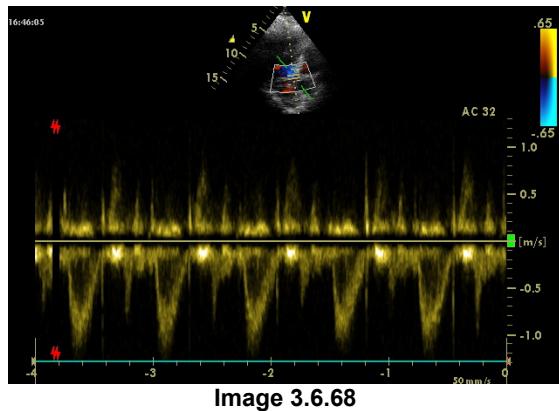
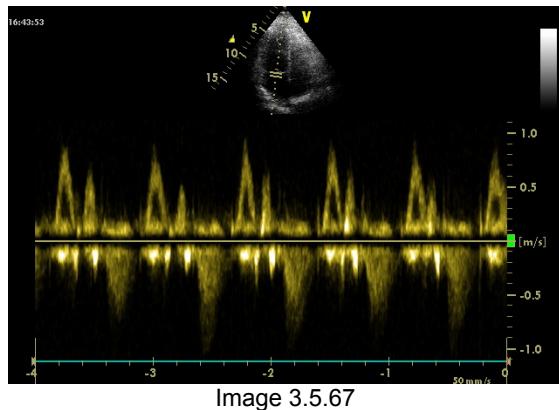
Таким образом, рабочее задание выполнено в полном объеме.

Пример выполнения рабочего задания лабораторной работы 8

Вариант № 12

1. Ознакомление с предъявленными изображениями по варианту № 12, создание рабочей папки с фамилией и инициалами студента (см. папку «Иванов И.И.») и занесение в нее предъявленных эхокардиографических изображений (см. папку «п.1 – Вариант № 12»).

Папка «Иванов И.И.», «п. 1 – Вариант № 12»

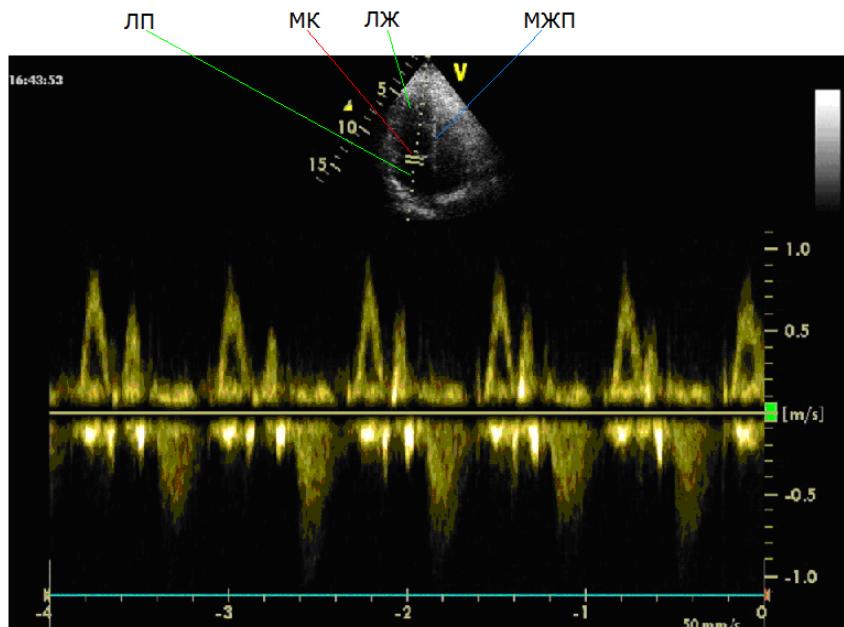


2. Идентификация доступов и позиций ультразвукового зонда, а также использованного режима сканирования для каждого из предъявленных изображений. Идентификация цели проведенного допплеровского исследования и регистрация структурных элементов анатомии сердца, расположенных вблизи измерительного объема (проводится в папке «Иванов И.И.», папка «п.2»).

Папка «Иванов И.И.», п. 2

Image 3.6.67 – импульсно-волновой допплер со встроенным цветовым *B*-изображением; апикальная четырехкамерная позиция.

Измеряется трансмитральный кровоток



ЛЖ – левый желудочек

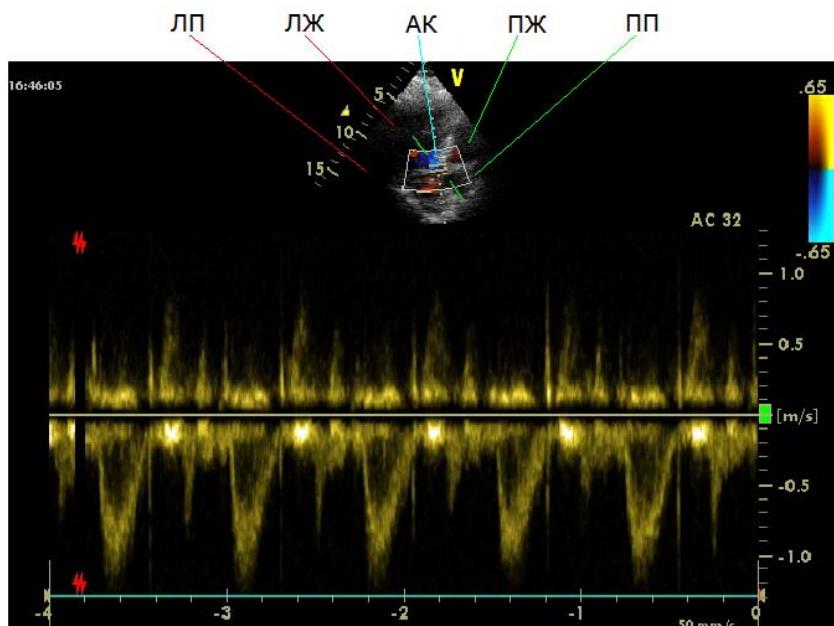
ЛП – левое предсердие

МК – митральный клапан

МЖП – межжелудочковая перегородка

Image 3.6.68 – импульсно-волновой допплер со встроенным цветовым B -изображением; апикальная пятикамерная позиция

Измеряется кровоток в выносящем отделе левого желудочка в систолу



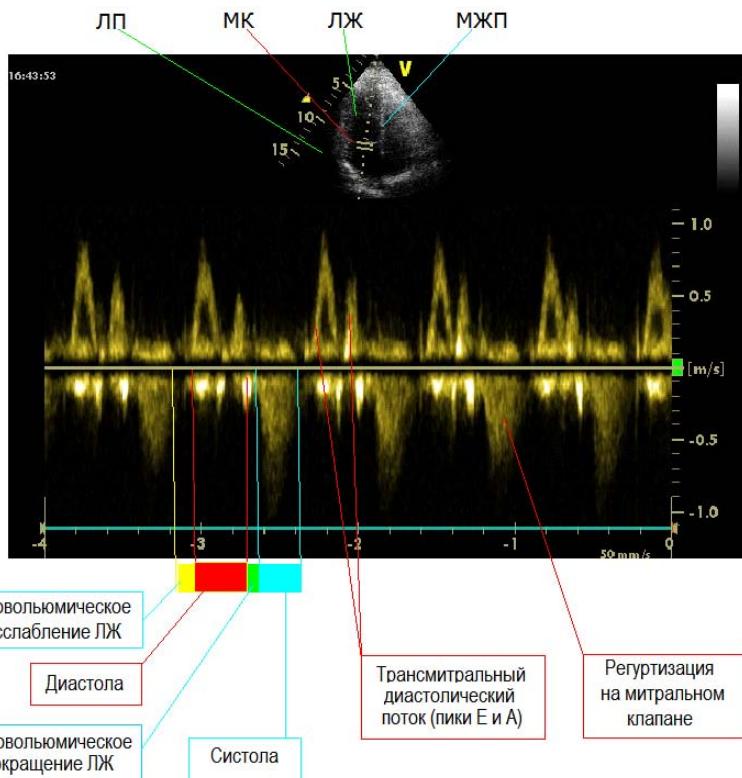
ЛЖ – левый желудочек
ЛП – левое предсердие
РЖ – правый желудочек
РП – правое предсердие
АК – аортальный клапан

3. Идентификация динамических фаз сердечного цикла на предъявленных изображениях, а также регистрация и описание фрагментов изображений, отражающих индивидуальную гемодинамику исследованного сердца (проводится в папке «Иванов И.И.», папка «п.3»).

Папка «Иванов И.И.», п. 3

Image 3.6.67 – импульсно-волновой доплер со встроенным цветовым B -изображением; апикальная четырехкамерная позиция.

Измеряется трансмитральный кровоток

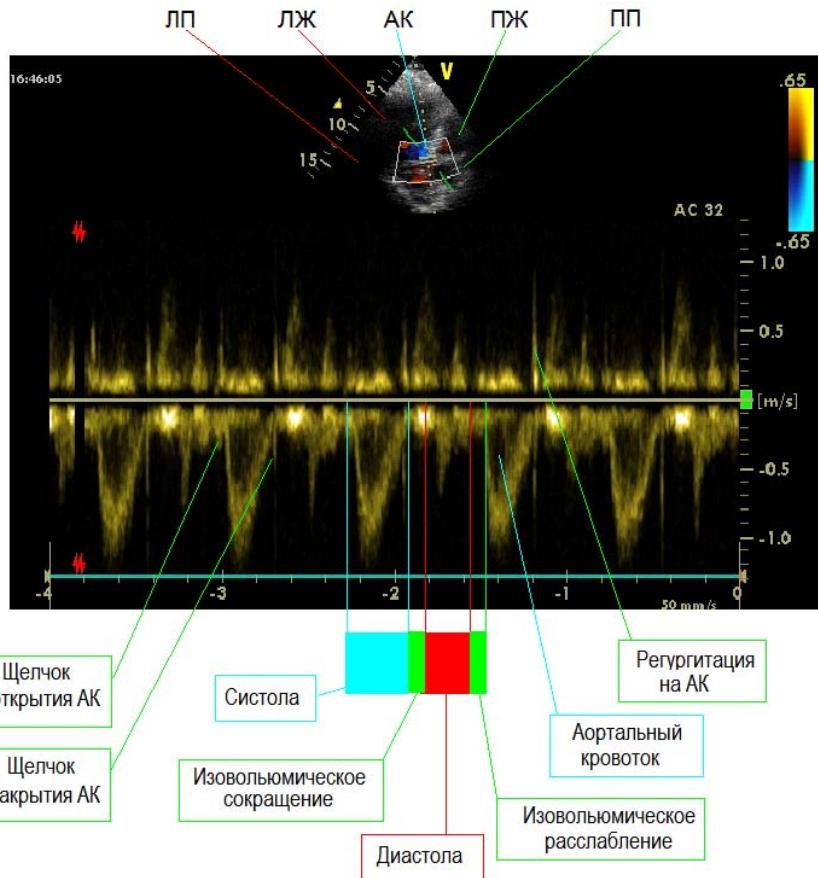


ЛЖ – левый желудочек
ЛП – левое предсердие

МК – митральный клапан
МЖП – межжелудочковая перегородка

Image 3.6.68 – импульсно-волновой доплер со встроенным цветовым *B*-изображением в анатомическом режиме; апикальная пятикамерная позиция.

Измеряется кровоток в выносящем тракте левого желудочка в систолу



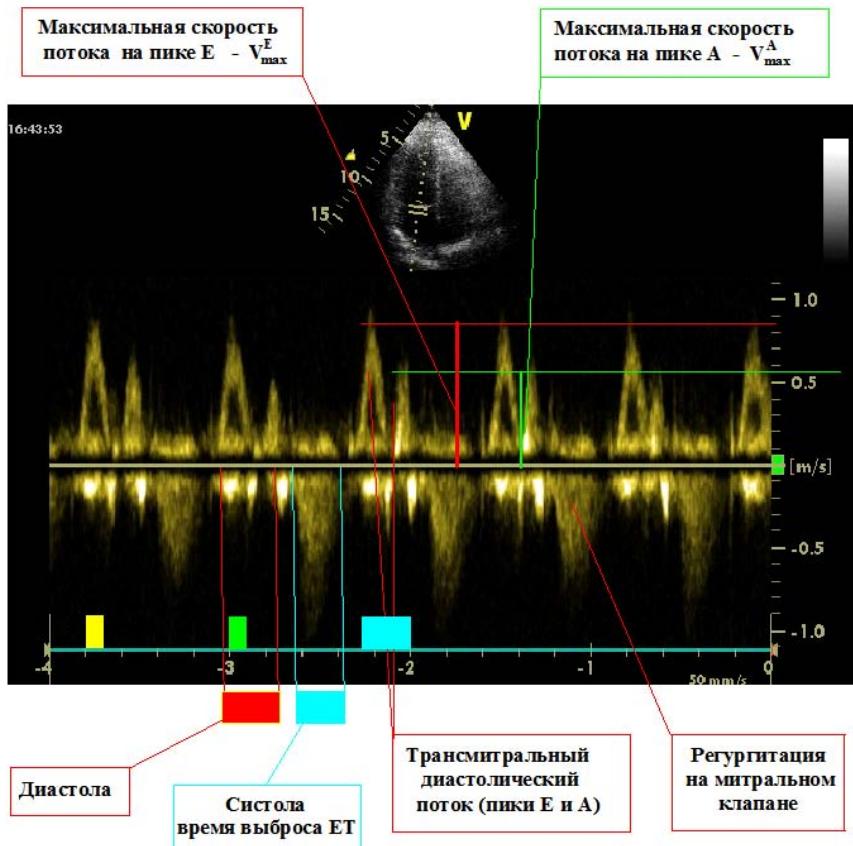
ЛЖ – левый желудочек
ПЖ – правый желудочек
АК – аортальный клапан
ЛП – левое предсердие
ПП – правое предсердие

4. Графическое указание на предъявленных изображениях тех временных и гемодинамических параметров, которые необходимо измерить для расчета гемодинамических и физиологических функций сердца и проведение соответствующих измерений, в соответствии с индивидуальным заданием по варианту № 12 на предъявленном изображении Image 3.6.67 графически обозначены и измерены величины скоростей пиков Е и А трансмитрального диастолического потока, а также временные интервалы систолы, диастолы и изовольюмических расслабления и сокращения левого желудочка, а на изображении Image 3.6.68 – диаметр выносящего тракта левого желудочка, максимальная скорость потока выносящего тракта, время выброса, а также временные интервалы изовольюмических расслабления и сокращения левого желудочка (проводится в папке «Иванов И.И.», папка «п.4»).

Папка «Иванов И.И.», папка «п.4»

Image 3.5.67 – импульсно-волновой допплер со встроенным цветовым B -изображением в анатомическом режиме; апикальная четырехкамерная позиция

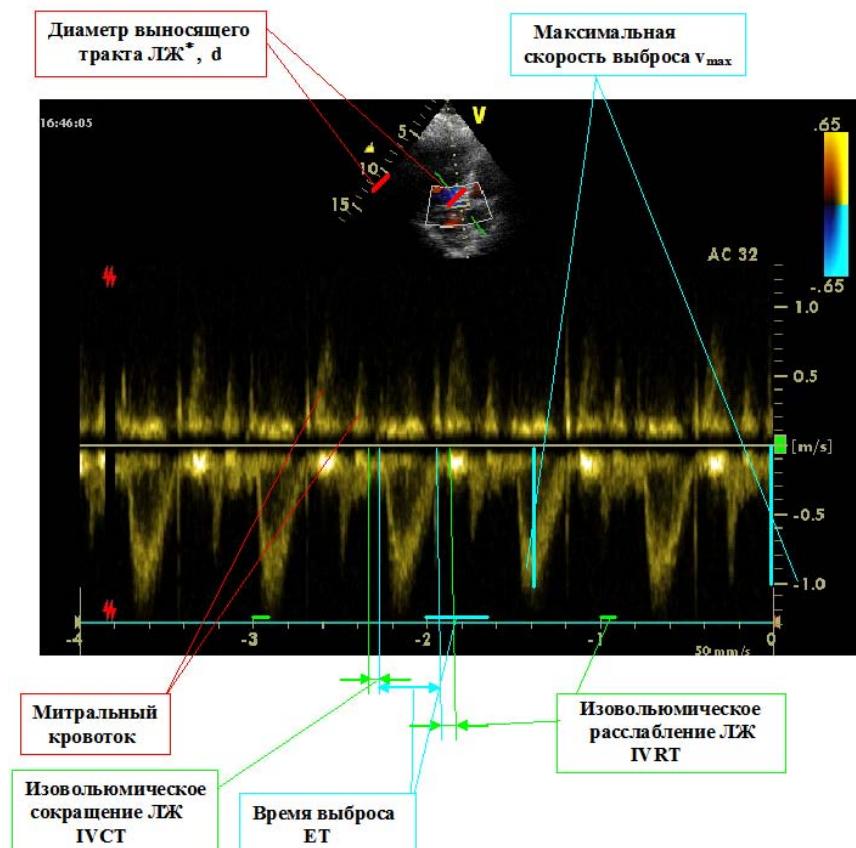
Измеряется трансмитральный кровоток



Параметр	V_{\max}^E , см/с	V_{\max}^A , см/с	ET, с
Значение	0,87	0,58	0,27

Image 3.6.68 – импульсно-волновой доплер со встроенным цветовым B -изображением в анатомическом режиме; апикальная пятикамерная позиция.

Измеряется кровоток в выносящем тракте левого желудочка в систолу



Параметр	d, см	v_{\max} , см/с	ET, с	IVRT, с	IVCT, с
Значение	2,5	100	0,35	0,1	0,1

* Строго говоря, измерение диаметра аортального клапана следует проводить в паракстernalной позиции по длинной оси левого желудочка.

5. Выполнение расчетов гемодинамических и физиологических функций исследованного сердца. В соответствии с индивидуальным заданием по варианту № 12 выполнение расчетов ударного объема левого желудочка, а также доплеровского эхокардиографического индекса Index Tei, проведение сравнения полученных результатов с соответствующими нормативами и формулирование вывода об отсутствии или наличии патологии функций левого желудочка; при наличии патологии проведение оценки ее степени (проводится в папке «Иванов И.И.», папка «п.5»).

Папка «Иванов И.И.», п. 5

Image 3.6.67 – расчет гемодинамических и физиологических функций левого желудочка.

1. Результаты проведенных измерений

Параметр	V _{max} ^E , см/с	V _{max} ^A , см/с	ET, с	IVRT, с	IVCT, с
Значение	0,87	0,58	0,27	0,1	0,1

2. Пики E, A и их отношение:

E = 0,87 м/с; величина пика A несколько ниже нормы (норма E = 1,0 м/с);
A = 0,58 м/с; величина пика A несколько выше нормы (норма A = 0,2–0,4 м/с);

E / A = 1,5; отношение E/A соответствует норме (норма E/A > 1,0).

3. Расчет доплеровского эхокардиографического индекса (Index) или индекса Tei:

$$\text{Index} = (\text{IVCT} + \text{IVRT}) / \text{ET} = (0,1 + 0,1) / 0,27 = 0,74.$$

Сравнение рассчитанного доплеровского индекса для левого желудочка с нормативами (см. таблицу) свидетельствует о том, что функция исследованного сердца **умеренно снижена**.

Функция желудочка	Index Tei (норматив)	Index Tei (рассчитанный)
Нормальная	< 0,4	
Незначительно снижена	0,4 – 0,5	
Умеренно снижена	0,5 – 0,9	0,74
Значительно снижена	> 1,0	

Image 3.6.68 – расчет гемодинамических и физиологических функций левого желудочка.

1. Результаты проведенных измерений.

Параметр	d, см	v _{max} , см/с	ET, с	IVRT, с	IVCT, с
Значение	2,5	100	0,35	0,1	0,1

2. Расчет ударного объема левого желудочка (объема выброса выносящего тракта ЛЖ):

$$SV = CSA \cdot VTI,$$

где SV – ударный объем; CSA – площадь поперечного сечения выносящего тракта ЛЖ; VTI – интеграл скорости потока в выносящем тракте за время выброса.

$$CSA = \pi \cdot d^2 / 4 = \pi \cdot 6,25 \text{ см}^2 / 4 = 4,91 \text{ см}^2$$

$$VTI = Vcp \cdot ET = (Vmax / 2) \cdot ET = (100 / 2) \cdot 0,35 \text{ см} = 17,5 \text{ см}$$

$$SV = CSA \cdot VTI = 4,91 \cdot 17,5 = 245,5 \text{ см}^3$$

3. Расчет доплеровского эхокардиографического индекса (Index) или индекса Tei:

$$Index = (IVCT + IVRT) / ET = (0,1 + 0,1) / 0,35 = 0,57.$$

Сравнение рассчитанного доплеровского индекса для левого желудочка с нормативами (см. таблицу) свидетельствует о том, что функция исследованного сердца **умеренно снижена**

Функция желудочка	Index Tei (норматив)	Index Tei (рассчитанный)
Нормальная	< 0,4	
Незначительно снижена	0,4 – 0,5	
Умеренно снижена	0,5 – 0,9	0,57
Значительно снижена	> 1,0	

6. Написание краткого отчета о проделанной работе (проводится в папке «Иванов И.И.», папка «п.6»).

Папка «Иванов И.И.», п. 6

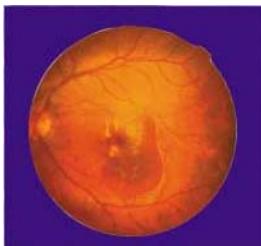
Титул:

Федеральное агентство по образованию

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Факультет автоматики и электроники

Кафедра № 46



**КОМПЬЮТЕРНЫЕ
МЕДИЦИНСКИЕ
СИСТЕМЫ** *МИФИ*

Лабораторная работа 8

**«Стандартные измерения гемодинамических
параметров сердца с использованием доплеровских
эхокардиограмм, соответствующих режиму
импульсно-волнового доплера»**

в рамках лабораторного практикума
«Ультразвуковая эхокардиография»
по курсам
«Теоретическая физика» и «Физические методы
медицинской интроскопии»

Студент группы А6 – 23

И. И. Иванов

подпись

Цель работы: приобретение навыков расчета основных физиологических параметров сердца по результатам измерения соответствующих временных и гемодинамических параметров доплеровских эхокардиографических изображений, полученных методом импульсно-волнового доплеровского исследования при различных доступах и позициях ультразвукового зондирования.

Описание объектов исследования: два эхокардиографических изображения в одном доступе и двух позициях ультразвукового зонда, полученные в доплеровских режимах сканирования со встроенным *B*-изображением; предъявленные изображения относятся к варианту № 12 данной лабораторной работы и включают в себя файлы, приведенные в папке «п.1 - вариант № 12».

Результаты выполнения работы: в соответствии с п.1 рабочего задания проведено ознакомление с предъявленными доплеровскими эхокардиографическими изображениями, создана рабочая папка с фамилией и инициалами студента (см. папку «Иванов И.И.»), в которую занесены предъявленные эхокардиографические изображения (см. папку «п.1 – Вариант № 12»).

При выполнении п. 2–5 рабочего задания исходные файлы предъявленных изображений были преобразованы в формат Word и снабжены соответствующими пометками с сохранением их исходных номеров (при этом изменения масштабов изображения с помощью программы Paint не потребовалось).

При выполнении п. 2 рабочего задания для каждого из предъявленных изображений идентифицированы использованные для их получения стандартные доступы и позиции ультразвукового зонда и режим сканирования, а также идентифицированы цели проводившихся ультразвуковых эхокардиографических исследований и графически зарегистрированы структурные элементы анатомии сердца, расположенные вблизи измерительного объема (см. папку «п.2» в папке «Иванов И.И.»).

При выполнении п. 3 рабочего задания для каждого из предъявленных изображений графически отмечены (с соответствующей текстовой нотацией) основные динамические фазы сердечного цикла и дано описание фрагментов изображения, отражающих индивидуальную гемодинамику исследованного сердца (см. папку «п.3» в папке «Иванов И.И.»).

При выполнении п. 4 рабочего задания в соответствии с вариантом № 12 на предъявленном изображении Image 3.6.67 графически обозначены и измерены величины скоростей пиков Е и А трансмитрального диастолического потока, а также временные интервалы систолы и изоволюмических расслабления и сокращения левого желудочка, а на изображении Image 3.6.68 – диаметр выносящего тракта левого желудочка, максимальная скорость потока выносящего тракта, время выброса, а также временные интервалы изоволюмических расслабления и сокращения левого желудочка (см папку «п.4» в папке «Иванов И.И.»).

При выполнении п. 5 рабочего задания в соответствии с вариантом № 12 выполнены расчеты ударного объема левого желудочка, а также доплеровского эхокардиографического индекса (Index Tei), проведено сравнение полученных результатов с соответствующими нормативами и сделан вывод о наличии сердечной патологии, степень которой формулируется как **умеренное снижение** функции левого желудочка.

Заключение: в результате работы для двух предъявленных доплеровских эхокардиографических изображений идентифицированы доступы и позиции ультразвукового зонда, а также режимы ультразвукового сканирования, использованные для получения соответствующих изображений. В соответствии с рабочим заданием для всех предъявленных доплерограмм идентифицированы цели проведенных исследований, зарегистрированы анатомические структурные элементы сердца, расположенные вблизи измерительного объема, а также графически идентифицированы основные фазы сердечного цикла, зарегистрированы и описаны отдельные фрагменты изображений, характеризующие индивидуальную гемодинамику исследованного сердца. Выполнены расчеты ударного объема левого желудочка, а также доплеровского эхокардиографического индекса (Index Tei), проведено сравнение полученных результатов с соответствующими нормативами и сделан вывод о наличии сердечной патологии, степень которой сформулирована как **умеренное снижение** функции левого желудочка.

Таким образом, рабочее задание выполнено в полном объеме.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Михайлов Виктор Никитович – научный руководитель Российского федерального ядерного центра (г. Соров), директор Института стратегической стабильности (г. Москва), заведующий кафедрой «Электронные измерительные системы» НИЯУ МИФИ, академик РАН, профессор, доктор технических наук, лауреат Ленинской и Государственных премий СССР и России.

Ельфимова Татьяна Леонидовна – заместитель генерального директора Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом» – статс-секретарь, кандидат химических наук, профессор кафедры «Компьютерные медицинские системы» НИЯУ МИФИ.

Мит'ков Владимир Вячеславович – заведующий кафедрой ультразвуковой диагностики ГОУ ДПО «Российская медицинская академия последипломного образования Росздрава», Президент «Российской ассоциации специалистов ультразвуковой диагностики в медицине», доктор медицинских наук, профессор.

Алексин Михаил Николаевич – доктор медицинских наук, заведующий ОФД ФГУ «Центральная клиническая больница с поликлиникой» УД Президента РФ, профессор кафедры клинической функциональной диагностики ФПДО МГМСУ, член исполнительного комитета «Российской ассоциации специалистов ультразвуковой диагностики в медицине».

Рыбакова Марина Константиновна – доктор медицинских наук, профессор кафедры ультразвуковой диагностики ГОУ ДПО «Российская медицинская академия последипломного образования Росздрава», член исполнительного комитета «Российской ассоциации специалистов ультразвуковой диагностики в медицине».

Алексеев Александр Николаевич – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, доцент кафедры «Компьютерные медицинские системы» НИЯУ МИФИ.

Никитаев Валентин Григорьевич – заведующий кафедрой «Компьютерные медицинские системы» НИЯУ МИФИ, доктор технических наук, профессор.

Котенко Константин Валентинович – генеральный директор Федерального медицинского биофизического центра им. А.И. Бурна-зяна ФМБА России, доктор медицинских наук, профессор.

Кузовлев Олег Петрович – главный врач Клинической больницы № 83 ФМБА России, доктор медицинских наук, профессор, заслуженный врач Российской Федерации.

Цека Олег Сергеевич – главный врач Клинической больницы № 85 ФМБА России, доктор медицинских наук, профессор.

Тараканова Светлана Юрьевна – и.о. главного врача ДКБ № 38 – ЦЭП ФМБА России, врач высшей квалификационной категории.

Стручков Петр Владимирович – заведующий отделением функциональной диагностики Клинической больницы № 85 ФМБА России, заведующий кафедрой клинической физиологии и функциональной диагностики ИПК ФМБА России, доктор медицинских наук, профессор.

Яроцук Светлана Александровна – врач отделения функциональной диагностики Клинической больницы № 85, ассистент кафедры клинической физиологии и функциональной диагностики ИПК ФМБА России (фото на обложке).

Крутова Тамара Васильевна – заведующая отделением функциональной и ультразвуковой диагностики Клинической больницы № 83 ФМБА России, врач высшей квалификационной категории, кандидат медицинских наук, доцент кафедры внутренних болезней ИПК ФМБА России.

Проничев Александр Николаевич – первый заместитель заведующего кафедрой «Компьютерные медицинские системы» НИЯУ МИФИ, кандидат технических наук.

Бердникович Елена Юрьевна – заместитель заведующего кафедрой «Компьютерные медицинские системы» НИЯУ МИФИ, кандидат технических наук.

Кармазинский Андрей Николаевич – доктор технических наук, профессор кафедры «Электроника» НИЯУ МИФИ.

Чистов Кирилл Сергеевич – доцент кафедры «Компьютерные медицинские системы» НИЯУ МИФИ, кандидат технических наук.

Голышко Екатерина Александровна – студентка-дипломница кафедры «Компьютерные медицинские системы» НИЯУ МИФИ.

Алексеева Людмила Александровна – аспирантка Государственного университета управления.

Шепелева Ольга Александровна – аспирантка Института проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН.

Вахромеев Виталий Владимирович – инженер кафедры «Компьютерные медицинские системы» НИЯУ МИФИ.

УЛЬТРАЗВУКОВОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СЕРДЦА – ЭХОКАРДИОГРАФИЯ

Лабораторный практикум

Под редакцией В.В. Митькова,
А.Н. Алексеева, В.Г. Никитаева

Редактор *Е. Н. Кочубей*
Макет подготовлен *Е. Н. Кочубей*

Подписано в печать 15.12.2010. Формат 60×84 1/16.

Изд. № 081-1. П.л. 18,0. Тираж 200 экз. Заказ № 54.

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ».

115409, Москва, Каширское шоссе, 31

ООО «Полиграфический комплекс «Курчатовский».

144000, Московская область, г. Электросталь, ул. Красная, д. 42