

**В.И.Новиков, Т.Н.Новикова**

# **ЭХОКАРДИОГРАФИЯ**

## **МЕТОДИКА И КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА**

*3-е издание, переработанное и дополненное*

УДК 616.12-008.3-073.96

ББК 54.101

Н73

*Все права защищены. Никакая часть данной книги не может быть воспроизведена в любой форме и любыми средствами без письменного разрешения владельцев авторских прав.*

*Авторы:*

**Новиков Владимир Игоревич** – доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой функциональной диагностики Северо-Западного государственного медицинского университета им. И.И.Мечникова;

**Новикова Татьяна Николаевна** – кандидат медицинских наук, доцент кафедры госпитальной терапии и кардиологии им. М.С.Кушаковского Северо-Западного государственного медицинского университета им. И.И.Мечникова

### **Новиков, Владимир Игоревич**

Н73 Эхокардиография. Методика и количественная оценка / В.И.Новиков, Т.Н.Новикова. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : МЕДпресс-информ, 2023. – 136 с. : ил.

ISBN 978-5-907632-67-7

В предлагаемом издании рассматриваются вопросы теории ультразвукового исследования сердца и практического использования различных эхокардиографических режимов, в частности тканевых. Отдельный раздел посвящен современным методам количественной оценки эхокардиограммы и оценке сердечной функции. Актуальность последних определяется значительным изменением взглядов на данную проблему, которое произошло за последние годы.

Пособие базируется на многолетнем личном опыте авторов в области практического применения эхокардиографии в кардиологической клинике, а также в области преподавания данного раздела кардиологии.

Издание предназначено для врачей функциональной диагностики, кардиологов и терапевтов.

УДК 616.12-008.3-073.96  
ББК 54.101

ISBN 978-5-907632-67-7

© Новиков В.И., Новикова Т.Н., 2023  
© Оформление, оригинал-макет. Издательство  
«МЕДпресс-информ», 2017

# СОДЕРЖАНИЕ

Сокращения .....	4
<b>1. Двухмерная эхокардиография (В-режим, 2D-режим) .....</b>	<b>5</b>
1.1. Левый парастеральный доступ .....	6
1.2. Верхушечный доступ .....	11
1.3. Эпигастральный доступ .....	15
1.4. Супрастеральный доступ .....	16
1.5. Дополнительные точки локации .....	17
<b>2. Одномерная эхокардиография (М-режим) .....</b>	<b>18</b>
2.1. Одномерная эхокардиограмма аорты и левого предсердия .....	18
2.2. Одномерная эхокардиограмма левого желудочка .....	19
2.3. Одномерная эхокардиограмма митрального клапана .....	21
2.4. Локация других структур .....	22
<b>3. Допплер-эхокардиография (D-режим) .....</b>	<b>24</b>
3.1. Общие методические вопросы .....	24
3.2. Применение доплер-эхокардиографии .....	31
<b>4. Тканевая эхокардиография .....</b>	<b>45</b>
4.1. Тканевая доплеровская эхокардиография .....	45
4.2. Оценка деформации тканей (strain) .....	48
4.3. Тканевая недоплеровская эхокардиография (speckle tracking) .....	50
4.4. Способы отображения информации .....	52
4.5. Применение режима 2D-Strain .....	56
<b>5. Трехмерная эхокардиография .....</b>	<b>60</b>
5.1. Технические основы .....	60
5.2. Режимы трехмерной эхокардиографии .....	61
5.3. Постобработка трехмерного изображения .....	66
<b>6. Контрастная эхокардиография .....</b>	<b>75</b>
6.1. Контрастирование правых отделов сердца .....	75
6.2. Контрастирование левых отделов сердца .....	76
<b>7. Количественная оценка эхокардиограммы .....</b>	<b>79</b>
7.1. Эхокардиографические измерения и расчеты .....	79
7.2. Оценка сердечной функции и других гемодинамических показателей .....	97
7.3. Компьютерная обработка данных количественной оценки эхокардиограммы .....	121
<b>8. Выполнение исследования и отчет .....</b>	<b>124</b>
8.1. Порядок выполнения исследования .....	124
8.2. Эхокардиографический отчет .....	128
<b>Литература .....</b>	<b>131</b>

## ДВУХМЕРНАЯ ЭХОКАРДИОГРАФИЯ (В-РЕЖИМ, 2D-РЕЖИМ)

Методика двухмерной эхокардиографии (ЭхоКГ) состоит в рассечении сердца ультразвуковыми (УЗ) плоскостями, полученными из разных точек. Точки размещения датчика могут располагаться по-разному, поскольку это зависит от положения сердца у конкретного человека, от размеров сердца, от положения пациента. То же относится и к направлению и углу наклона плоскости. Задачей исследователя является использование нескольких стандартных сечений, которые позволяют оценить состояние различных отделов сердца.

Следует отметить, что применяемые плоскости сечения не являются горизонтальными, фронтальными или сагиттальными. Они ориентируются по отношению к сердцу, но не по отношению к телу пациента. Эта особенность характерна для ЭхоКГ и, с одной стороны, может считаться ее недостатком, поскольку каждое исследование требует индивидуального подбора сечений, но с другой стороны, является большим преимуществом, так как позволяет избежать влияния различных поворотов и смещений сердца.

Необходимо также уделить внимание вопросам терминологии. Двухмерные изображения на экране в англоязычном варианте обозначаются как «parasternal long axis (short axis) view», «apical four chamber view» и т.д. В отечественной литературе чаще всего используются термины «парастеральная позиция (по) длинной оси (короткой оси)», «верхушечная четырехкамерная позиция». Однако очевидно, что слово «позиция» может относиться к расположению датчика, но не к изображению на экране, которое является сечением сердца УЗ-плоскостью и не может называться иначе как «сечение». Кроме того, вместо дословного перевода слов long axis и short axis удобнее использовать адекватные русские слова – продольный и поперечный. Разумеется, вопросы терминологии не имеют определяющего значения, но мы все же рекомендуем использовать термины «продольное (поперечное) сечение», «верхушечное сечение» и т.д.

## 1.1. Левый парастернальный доступ

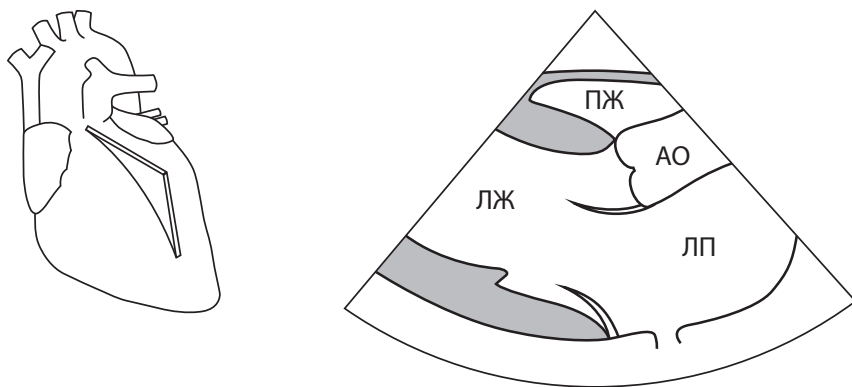
Обычно исследование начинают, устанавливая датчик в левой парастеральной области, где отсутствует легочная ткань и правый желудочек (ПЖ) прилежит к передней грудной стенке. Эта область чаще всего располагается в третьем или четвертом межреберье и соответствует абсолютной сердечной тупости, определяемой перкуторно. Для облегчения локации пациента просят лечь на левый бок, чтобы максимально приблизить сердце к грудной стенке и увеличить зону возможной локации. При этом левая рука должна быть под головой, а правая расположена вдоль тела.

В данной позиции УЗ-плоскостью, исходящей из датчика, можно расщепить сердце либо продольно, либо поперечно. Небольшие изменения угла наклона и небольшие смещения датчика позволяют получить несколько продольных и поперечных сечений.

### 1.1.1. Парастеральные продольные сечения

**Парастеральное продольное сечение левого желудочка (ЛЖ)** (рис. 1.1). При локации данного сечения сверху на экране отображается передняя стенка и полость ПЖ. Далее УЗ-лучи, составляющие верхнюю часть плоскости, рассекают продольно аорту и аортальный клапан, а затем левое предсердие (ЛП). Лучи, составляющие нижнюю часть сектора, рассекают межжелудочковую перегородку (МЖП), полость ЛЖ и его заднюю стенку. Между предсердием и желудочком находятся створки митрального клапана. Все эти структуры видны на экране.

Передняя стенка ПЖ располагается в верхней части экрана. Она имеет наибольшую толщину и движется в соответствии с фазами сердечного цикла –



**Рис. 1.1.** Парастеральный доступ. ПЖ – правый желудочек, ЛЖ – левый желудочек, АО – аорта, ЛП – левое предсердие.

в систолу кзади (на экране вниз), в диастолу кпереди (на экране вверх). Полость ЛЖ представляется на экране небольшой и имеющей неправильную форму, поскольку УЗ-плоскость рассекает ее сбоку и под углом.

Аорта имеет вид трубки, начальная часть которой более узкая – кольцо аортального клапана, затем наблюдается расширение – синусы Вальсальвы, затем вновь более узкая часть – синотубулярное соединение, переходящее в тубулярный отдел восходящей аорты. Во время систолы аорта смещается кпереди, во время диастолы – кзади.

В данном сечении клапан представлен двумя полулунными створками: правой коронарной, расположенной у передней стенки аорты, и некоронарной, расположенной у задней стенки. Во время систолы створки прижимаются к стенкам аорты, во время диастолы смыкаются в центре ее просвета.

Задняя стенка ЛП располагается в нижней части экрана. Как правило, бывает видно место впадения в предсердие одной из легочных вен.

МЖП представляет собой мышечную структуру, которая во время систолы утолщается и смещается кзади. В области аортального кольца она смыкается с передней стенкой аорты.

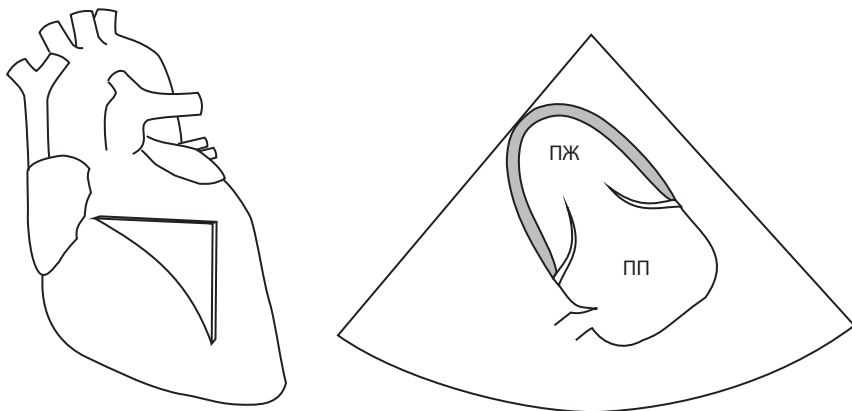
Полость ЛЖ видна лишь частично. Ее верхушечные отделы оказываются недоступными в данном сечении. В то же время хорошо видны входной и выходной отделы желудочка.

Нижнебоковая стенка ЛЖ имеет такую же толщину, как и МЖП. Во время систолы толщина этой стенки также увеличивается, и она смещается кпереди, навстречу МЖП, вследствие чего полость ЛЖ уменьшается. В средней части нижнебоковой стенки в норме может наблюдаться утолщение – заднемедиальная папиллярная мышца с отходящими от нее хордами. Нижнебоковая стенка ЛЖ соединяется со стенкой ЛП. Кзади от этого соединения может быть видно ортогональное сечение небольшого сосуда – коронарного синуса, который огибает сердце по предсердно-желудочковой борозде.

Передняя створка митрального клапана начинается от задней стенки аорты, задняя створка – от нижнебоковой стенки желудочка в месте ее соединения со стенкой предсердия. Передняя створка заметно больше задней. Во время систолы обе створки смыкаются в полости желудочка, ближе к его нижнебоковой стенке. Во время диастолы створки расходятся в противоположных направлениях и располагаются параллельно стенкам желудочка. Обычно можно наблюдать закрытие клапана в фазу диастазиса и его повторное раскрытие во время систолы предсердий.

Таким образом, парастернальное продольное сечение ЛЖ позволяет наблюдать и оценивать большинство важных структур сердца. Оценка может быть чисто визуальной, состоящей в определении формы данных объектов, их соотношений между собой и характера наблюдаемых движений. Визуальная оценка может быть дополнена различными измерениями.

**Парастернальное продольное сечение ПЖ** (рис. 1.2) может быть получено путем небольшого наклона датчика медиально. При этом УЗ-плоскость не будет пересекать МЖП, а пройдет по касательной к ней, через правые отделы сердца. В левой верхней части экрана будут видны верхушечные



**Рис. 1.2.** Парастернальное продольное сечение правых отделов сердца. ПЖ – правый желудочек, ПП – правое предсердие.

отделы ПЖ, в средней части – трехстворчатый клапан, внизу справа – правое предсердие (ПП).

Во время систолы стенки ПЖ сближаются, вследствие чего полость уменьшается. На экране сверху располагается передняя стенка желудочка, а снизу – задняя.

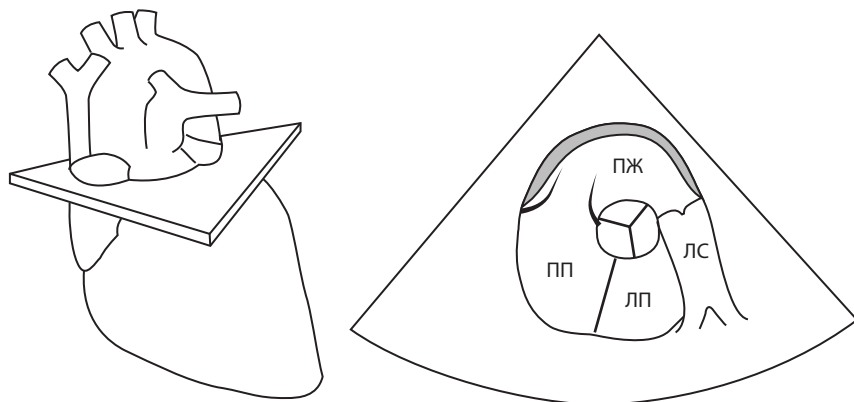
Две видимые в данном сечении створки трехстворчатого клапана – передняя (сверху на экране) и задняя (снизу на экране) – смыкаются во время систолы и расходятся в противоположных направлениях во время диастолы. На протяжении диастолы видны движения створок, связанные с фазами быстрого наполнения, диастазиса и систолы предсердий.

Стенки ПП в данном сечении видны неотчетливо. Как правило, хорошо визуализируется впадение в предсердие нижней полой вены и небольшое образование, расположенное в этом месте, – евстахийев клапан.

### 1.1.2. Парастернальные поперечные сечения

Повернув датчик вокруг его оси на  $90^\circ$  по часовой стрелке и направляя УЗ-плоскость поперечно сердцу, ближе к основанию или к верхушке, можно получить ряд сечений сердца по короткой оси (парастернальные поперечные сечения). В основном данные сечения визуализируют те же структуры сердца, но с другой стороны, благодаря этому появляется возможность получить новую информацию.

**Парастернальное поперечное сечение на уровне аорты** (рис. 1.3) получают, отклоняя плоскость в сторону сосудистого пучка. При этом в центральной части экрана располагается круглая структура, представляющая собой аорту, разрезанную поперечно на уровне клапана. Кпереди от нее по-прежнему лоцируется ПЖ, а кзади – ЛП. Медиально (на экране слева)



**Рис. 1.3.** Парастернальное поперечное сечение на уровне аорты. ЛС – легочный ствол. Остальные обозначения те же, что на рисунках 1.1 и 1.2.

располагается трехстворчатый клапан, ПП и межпредсердная перегородка (МПП). Латерально (на экране справа) лоцируется выходной тракт ПЖ, пульмональный клапан, легочный ствол и его разделение на правую и левую легочные артерии. Одновременная локация всех перечисленных структур возможна не всегда. Иногда приходится рассматривать их по очереди, всякий раз незначительно изменяя положение датчика.

В данном сечении в просвете аорты могут быть видны все три створки аортального клапана. На экране сверху и слева располагается правая коронарная, справа – левая коронарная, внизу слева – некоронарная створка. Во время систолы створки раскрываются, образуя отверстие примерно треугольной формы. Во время диастолы створки смыкаются, причем комиссуры образуют фигуру с тремя лучами, напоминающую перевернутую эмблему Mercedes или букву Y.

Трехстворчатый клапан вновь оказывается представлен двумя створками. Слева на экране лоцируется передняя створка, справа возле аорты находится перегородочная.

ПП отделяется от ЛП МПП, располагающейся кзади от аорты.

Пульмональный клапан в данном сечении оказывается разрезан продольно. При этом видны две из трех его створок. Раскрываясь во время систолы, они прижимаются к стенкам легочного ствола, а в диастолу смыкаются в центре.

Легочный ствол имеет протяженность около 10 см и разделяется на правую (расположенную медиально) и левую (расположенную латерально) легочные артерии.

Немного изменив положение УЗ-плоскости на месте легочного ствола, можно лоцировать расположенное за ним ушко ЛП. В отдельных случаях визуализация ушка бывает очень хорошей.

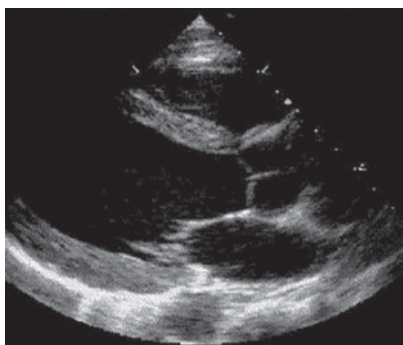
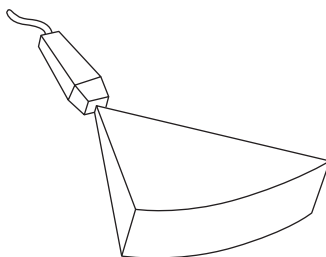
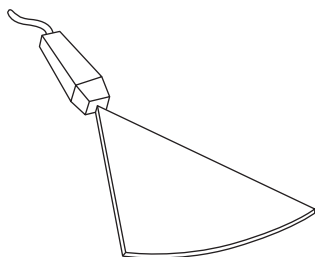
Наконец, при определенном наклоне датчика в данном сечении можно увидеть левую и правую коронарные артерии.



## ТРЕХМЕРНАЯ ЭХОКАРДИОГРАФИЯ

### 5.1. Технические основы

Трехмерная (3D) ЭхоКГ является логичным развитием УЗ-визуализации сердца. Она дает возможность визуализировать не плоскостное, а объемное изображение сердца или отдельных его структур. Это достигается посредством использования специального датчика, испускающего не одну УЗ-плоскость, а несколько плоскостей, расположенных одна за другой. В результате область локации приобретает форму пирамиды (рис. 5.1).



а



б

**Рис. 5.1.** Двухмерная (а) и трехмерная (б) ЭхоКГ. Объяснения в тексте.

С помощью подобного датчика 3D-исследование сердца может выполняться в реальном масштабе времени (live 3D-echo – «живая» трехмерная ЭхоКГ), аналогично тому, как это делается при двухмерной ЭхоКГ. При этом изображение на экране становится объемным, его можно поворачивать и рассматривать с разных сторон. В объемном виде может отображаться не только «анатомическая» информация, обычно получаемая с помощью 2D-режима, но и информация о потоках крови, получаемая с помощью цветового доплеровского режима.

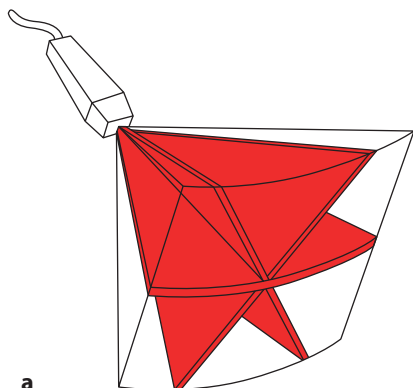
Очевидно, что локация множества секущих плоскостей вместо одной требует усиленной работы прибора. Он должен послать и принять множество импульсов, чтобы создать УЗ-пирамиду, и повторять эту операцию несколько раз за секунду, чтобы иметь возможность следить за движениями сердца. При этом каждый последующий импульс посылается только после возвращения предыдущего. Поэтому число импульсов, которые могут быть посланы в единицу времени, не может быть бесконечным. Оно ограничивается скоростью распространения ультразвука и размерами УЗ-пирамиды, необходимой для получения изображения хорошего качества. Несмотря на использование различных технических приемов, сегодня не представляется возможным получить пирамиду, вмещающую целое сердце и при этом имеющую достаточное пространственное и временное разрешение. В связи с этим для получения необходимого качества изображения приходится ограничивать зону локации, что можно сделать несколькими способами, которые являются отдельными режимами 3D-ЭхоКГ (Отто К.М., 2019).

## 5.2. Режимы трехмерной эхокардиографии

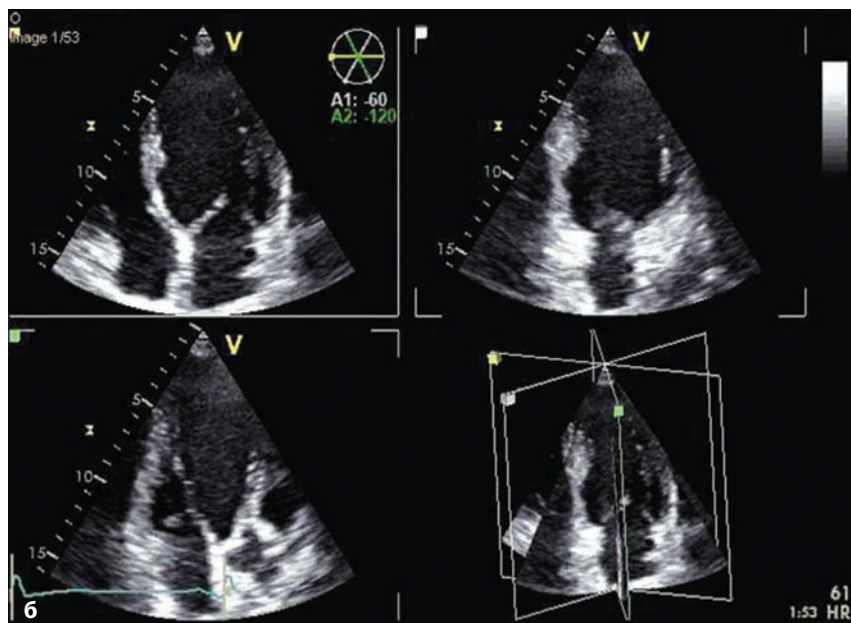
### 5.2.1. Многоплоскостной режим

Одним из наиболее распространенных и наглядных вариантов трехмерного представления сердца на основе его электронной модели является многоплоскостной режим. В данном режиме обычно используются две, а чаще три плоскости (рис. 5.2). В последнем случае сердце представляется в виде трех основных верхушечных сечений – четырехкамерного, двухкамерного и продольного. Важно, что прибор самостоятельно формирует эти сечения из полученной трехмерной модели, а также то, что сечения не являются последовательно полученными, а отображают один и тот же сердечный цикл.

Режим обычно используется для оценки ЛЖ. При этом оконтуривание полости производится прибором автоматически, или вручную, или автоматически с ручной корректировкой (в зависимости от качества локации). На основе оконтуривания выполняются расчеты объемов, ФВ, массы миокарда.



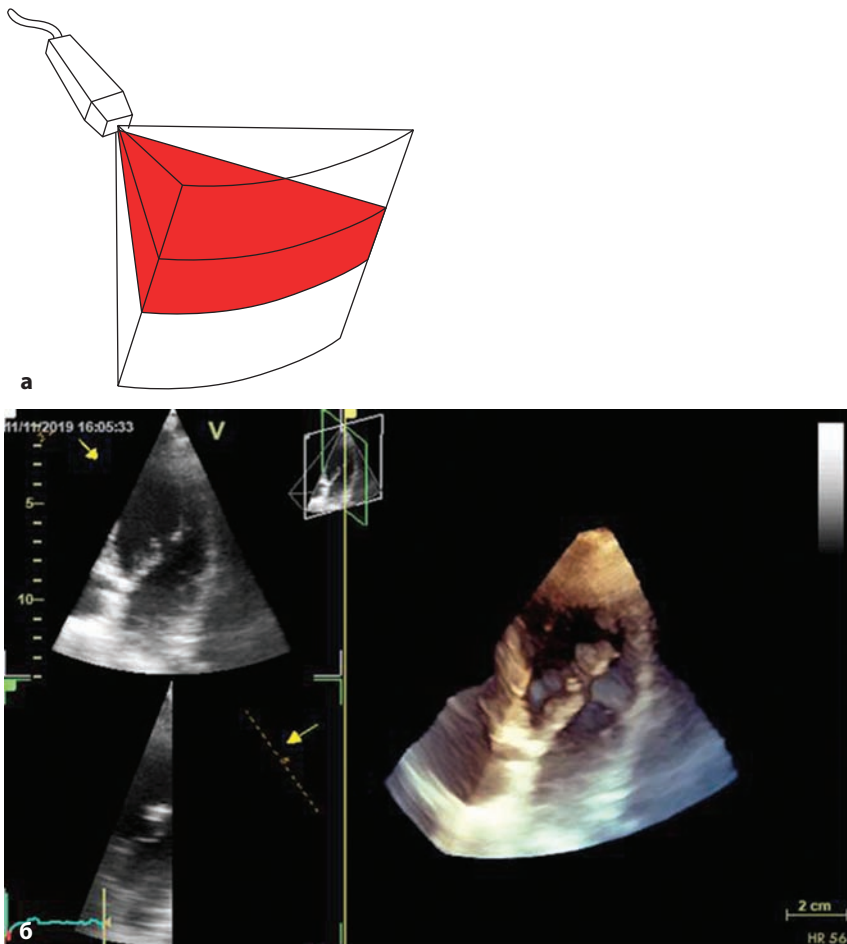
a



**Рис. 5.2.** Трехплоскостной режим. а – схема работы датчика; б – экранное отображение режима.

### 5.2.2. Узкий угол локации («птичий глаз»)

Узкий угол локации с видом сбоку (иное название – «птичий глаз») представляет собой уплощенную пирамиду шириной 60–90° и глубиной около 30° (рис. 5.3). Изображение напоминает двухмерную ЭхоКГ с добавлением глубины. Благодаря незначительной глубине локации качество изображения может быть достаточно высоким. С другой стороны, вид сбоку сохраняет

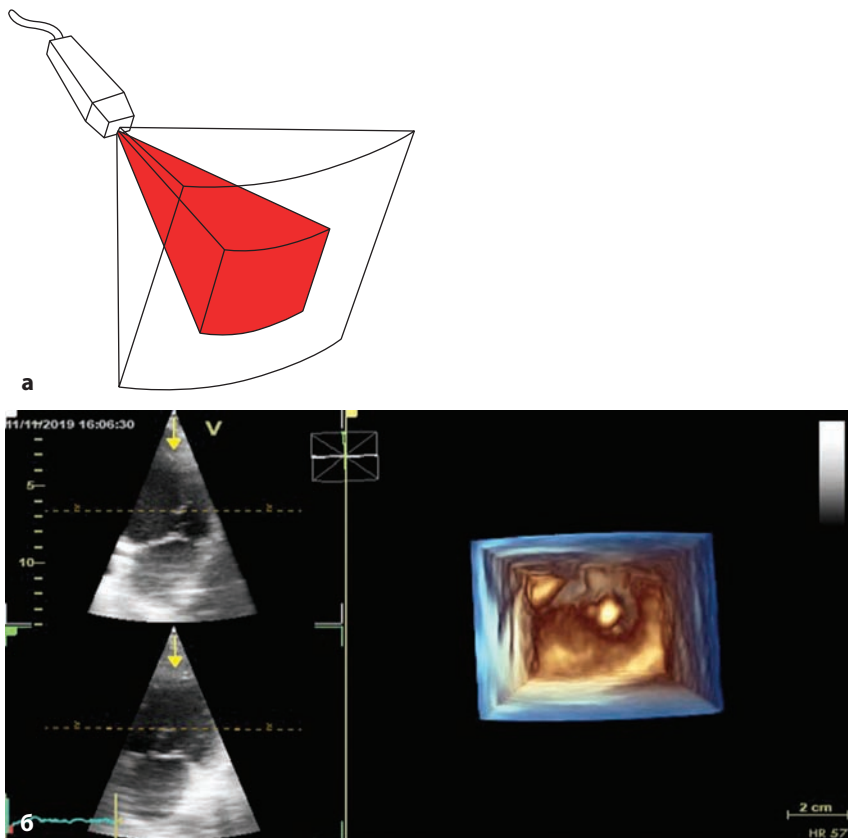


**Рис. 5.3.** Режим «птичий глаз». а – схема работы датчика; б – экранное отображение режима.

возможность оценивать взаимное расположение структур, попадающих в пирамиду. Режим пригоден для использования в реальном масштабе времени («живая» 3D-ЭхоКГ).

### 5.2.3. Узкий угол локации (масштабирование)

Режим масштабирования представляет собой уменьшенную пирамиду с углом локации около  $30^\circ$ , благодаря чему повышается пространственное разрешение и качество локации (рис. 5.4). Режим позволяет сосредоточить-

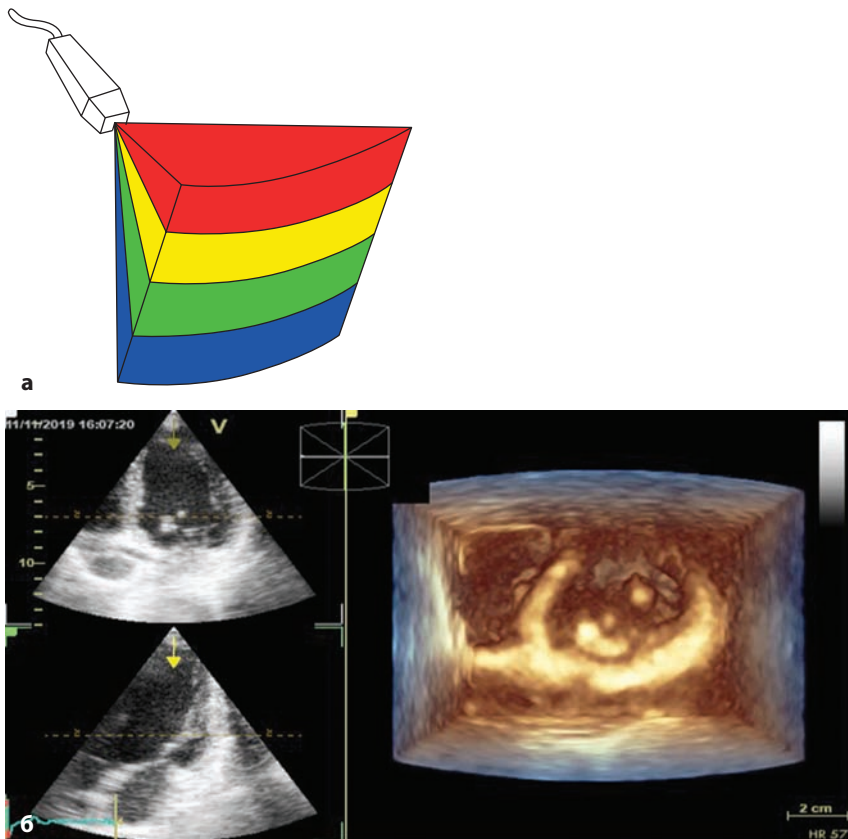


**Рис. 5.4.** Режим масштабирования. *а* – схема работы датчика; *б* – экранное отображение режима.

ся на визуализации какого-либо конкретного объекта для его детальной оценки. В то же время объект исследования как бы выхватывается из своего окружения, и его связи с соседними структурами становятся невидны. Ситуация аналогична взгляду через бинокль. Очевидно, что такой режим наиболее пригоден для локации, например, клапанов или других объектов, взаимосвязи которых с окружающими структурами предварительно установлены.

#### 5.2.4. Широкий угол локации (сканирование полного объема)

Широкий угол локации позволяет лоцировать сердце целиком и получить его электронную модель для последующего анализа. Однако, как было ска-



**Рис. 5.5.** Сканирование полного объема. *а* – построение УЗ-пирамиды из 4 сердечных циклов; *б* – экранное отображение режима.

зано выше, локация полной пирамиды за долю секунды возможна только за счет уменьшения количества импульсов, что ведет к снижению пространственного разрешения. Для сохранения качества изображения его получают по частям. За один сердечный цикл лоцируется одна часть большой пирамиды, за следующий цикл – вторая и т. д. Части пирамиды, полученные за несколько сердечных циклов (обычно от 2 до 6), затем «сшиваются» вместе (рис. 5.5). Для оптимального результата запись должна выполняться при неподвижном положении пациента и датчика и на задержке дыхания. Таким способом удается создать электронную модель целого сердца с хорошим пространственным разрешением и возможностью оценивать взаимосвязи между различными сердечными структурами.

Как уже упоминалось выше, современные приборы позволяют выполнять трехмерное исследование в реальном масштабе времени («живая»

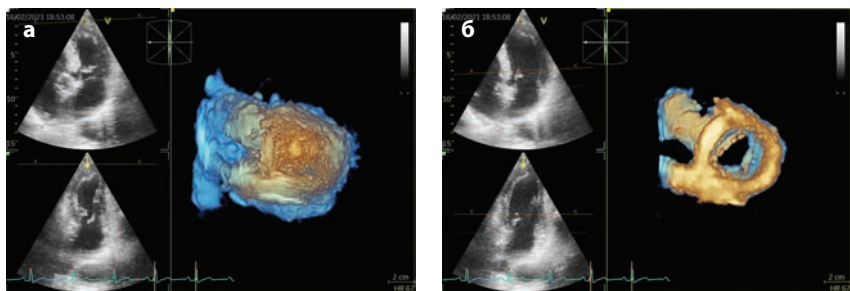
3D-ЭхоКГ). Это касается любых перечисленных режимов, кроме последнего, который изначально предполагает суммирование изображений из разных сердечных циклов. В то же время общее значение «живого» исследования для 3D-ЭхоКГ невелико. Для данной методики гораздо большее значение имеет последующая обработка сохраненной электронной модели.

### 5.3. Постобработка трехмерного изображения

#### 5.3.1. Обрезка и повороты

Постобработка 3D-изображения на основе современных компьютерных технологий содержит в себе значительно большие возможности получения информации. Соответствующие программы позволяют не просто прокручивать сохраненную видеопетлю вперед и назад, как это делается с двухмерным изображением, но поворачивать пирамиду в разных направлениях, что позволяет взглянуть на структуру с любой стороны, а также «обрезать» лишние структуры, мешающие видеть то, что находится за ними (рис. 5.6). Возможность обрезки и поворота выявляет главное преимущество 3D-ЭхоКГ – создание виртуальных сечений, которые невозможно получить путем перемещения датчика. Например, можно создать сечение, для локации которого датчик следовало бы поместить внутрь грудной клетки или в другое недоступное место. Это показывает, что 3D-ЭхоКГ невозможно заменить двухмерным исследованием, выполненным с особой тщательностью.

Обрезка и повороты являются простейшими элементами постобработки 3D-ЭхоКГ, но эти манипуляции требуют не только наличия соответствующей программы, но и определенной тренировки. Разумеется, возрастают и временные затраты, в связи с чем удобнее выполнять постобработку на специальной «рабочей станции», а не на самом приборе, который может в это время использоваться для новых исследований.



**Рис. 5.6.** Обрезка трехмерного изображения. а – вид с верхушки ЛЖ без обрезки; б – изображение после обрезки на уровне створок митрального клапана.

Надо отметить, что резкое повышение роли постобработки изменяет традиционную методику выполнения ЭхоКГ и делает ее похожей на методику компьютерной томографии. Присутствие пациента необходимо только для записи электронной модели сердца или его части. Все остальные манипуляции выполняются врачом off-line. Во-первых, постобработка полученной модели сердца выполняется описанным выше способом – прокруткой времени, поворотами и обрезанием лишних участков. Во-вторых, используются более сложные виды постобработки с помощью программ, направленных на решение конкретных задач.

### 5.3.2. Исследование левого желудочка

Наиболее распространенными являются программы, позволяющие оценивать объемы и сократимость ЛЖ. Более традиционным способом является ручная или полуавтоматическая обводка эндокарда ЛЖ в двух- или трехплоскостном режиме. В этом случае отличием от стандартной 2D-методики является лишь то, что сечения не требуется получать вручную, а они формируются автоматически из сохраненной 3D-модели и представляют один и тот же сердечный цикл (рис. 5.7).

Более прогрессивной методикой является автоматическое оконтуривание полости после того, как на сформированных сечениях будут указаны контрольные точки. Для этого после входа в программу в представленных сечениях необходимо указать верхушку и базальную часть желудочка в диастолу, а затем в систолу. Результаты последующего автоматического оконтуривания также могут быть скорректированы вручную. На экране представляются КДО, КСО, ФВ, ударный и минутный объем, а также сформированная модель полости желудочка и кривая изменения его объема на протяжении сердечного цикла (рис. 5.8). При достаточном качестве локации эти данные являются весьма надежными и даже могут обладать преимуществом перед ручной обводкой, так как лишены влияния субъективного фактора.

Та же методика позволяет рассчитать массу миокарда ЛЖ. После включения программы к контурам полости во всех сечениях добавляется контур эпикарда (рис. 5.9). Как правило, требуется корректировка этого контура, но в результате автоматически рассчитывается масса миокарда.

Таким образом, 3D-ЭхоКГ оказалась прекрасным инструментом для оценки глобальных показателей ЛЖ – полости, миокарда и сокра-

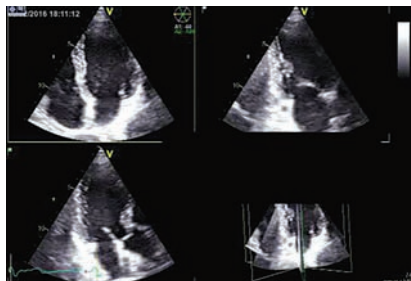
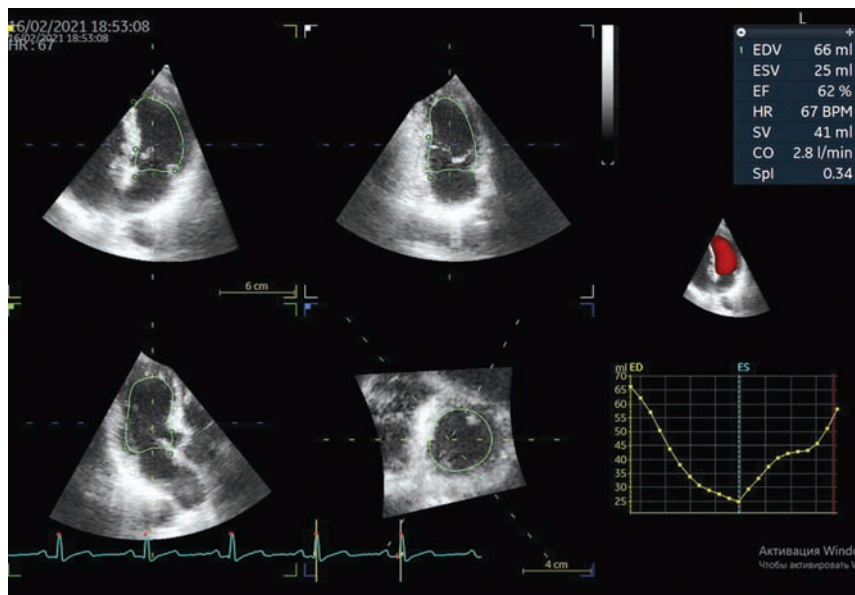
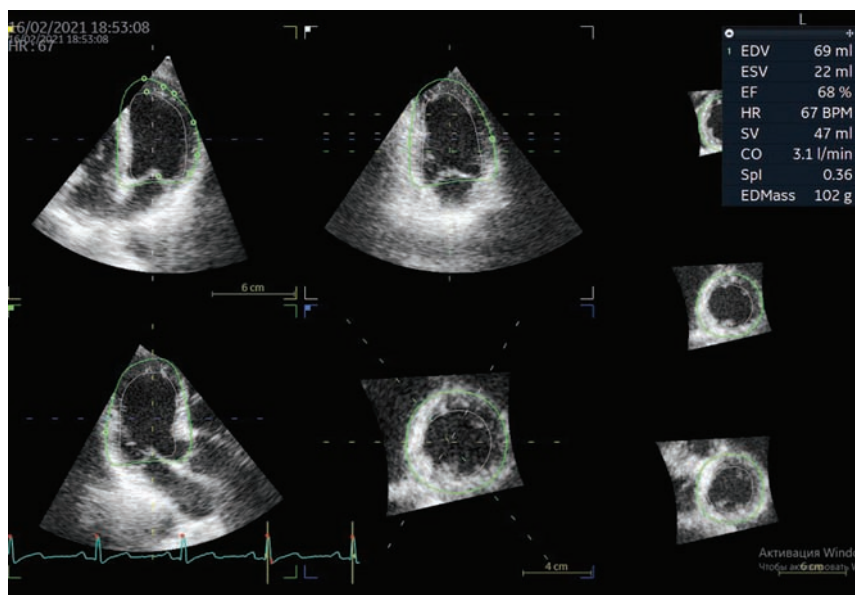


Рис. 5.7. Трехплоскостное представление ЛЖ для оценки его полости.

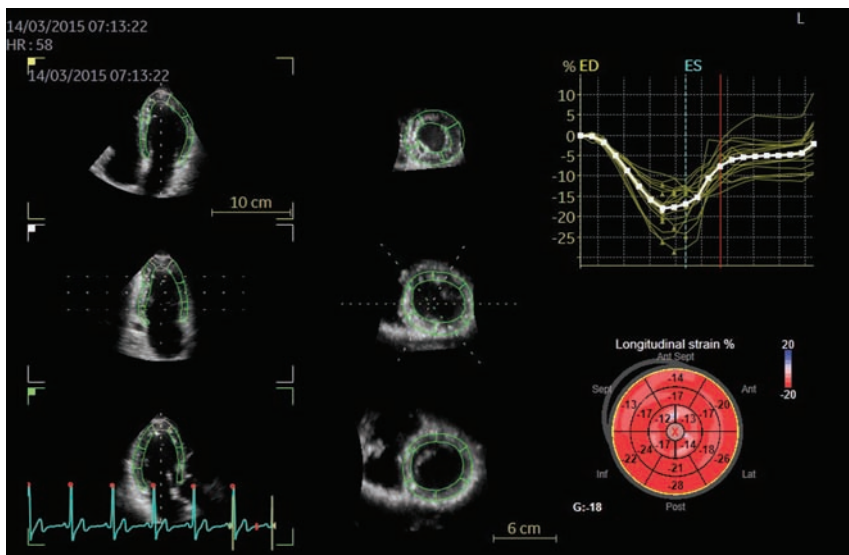




**Рис. 5.8.** Автоматическое оконтуривание полости ЛЖ. Представление ЛЖ в виде четырех сечений, трехмерная модель полости ЛЖ и кривая изменения его объема.



**Рис. 5.9.** Автоматическое оконтуривание полости и миокарда ЛЖ с представлением расчетных показателей.



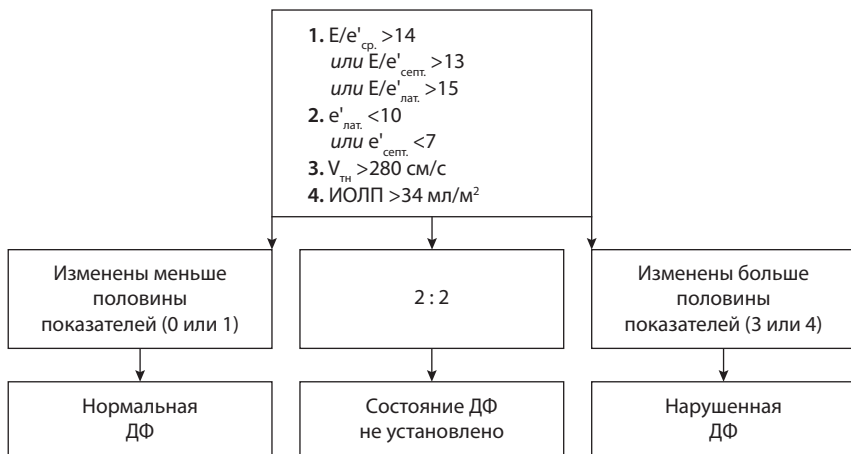
**Рис. 5.10.** Режим 3D-Strain с представлением результатов в виде «бычьего глаза».

тимости. Что касается локальных нарушений, то их визуальная оценка дополняется лишь возможностью поворачивать модель ЛЖ, разглядывая локальные нарушения с разных сторон. Количественная же оценка локальных нарушений с помощью данной методики пока не показала особых преимуществ. Для этой цели представляется более полезным исследование тканевой деформации, тем более что она может также выполняться на основе трехмерной модели ЛЖ – 3D-Strain – с представлением результатов в виде «бычьего глаза» (рис. 5.10).

### 5.3.3. Исследование правого желудочка

Задача оценки объемов и сократимости ПЖ практически невыполнима для двухмерной ЭхоКГ из-за неправильной формы его полости. Между тем потребность в надежной оценке состояния ПЖ возросла ввиду развития кардиохирургии. Наиболее адекватным методом решения данной задачи является МРТ сердца. 3D-ЭхоКГ вполне способна стать альтернативой МРТ благодаря большей доступности и отсутствию противопоказаний (Shiota T., 2015).

Для 3D-исследования ПЖ требуется запись полного объема сердца. После включения программы на изображении ПЖ должны быть помечены контрольные точки (рис. 5.11). После этого программа формирует полость неправильной формы и рассчитывает ее объемы, показатели выброса и сократимости.

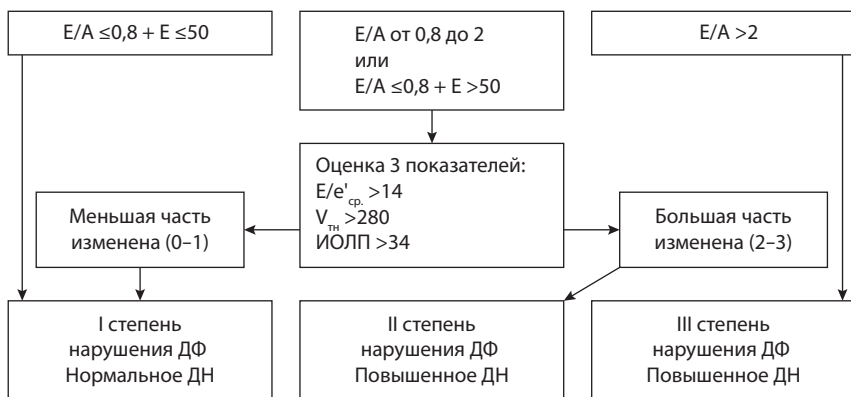


**Рис. 7.25.** Алгоритм оценки диастолической функции (ДФ) у лиц с нормальной систолической функцией и без заболеваний миокарда.

диастолической дисфункции и резко повышается при тяжелой. В связи с этим для данной группы пациентов предлагается другой алгоритм оценки, представленный на рисунке 7.26.

Как видно из рисунка 7.26, оценку следует начинать с анализа митрального кровотока:

- если он имеет вид, характерный для замедления релаксации с параметрами  $E/A \leq 0,8$  и  $E \leq 50$ , то это соответствует легкой диастолической дисфункции (I степень) и нормальному давлению наполнения;



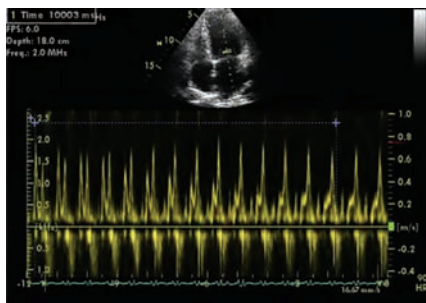
**Рис. 7.26.** Алгоритм оценки диастолической функции у лиц со структурными заболеваниями сердца. ДФ – диастолическая функция, ДН – давление наполнения.

- если вид митрального кровотока соответствует рестриктивному наполнению желудочка с  $E/A > 2$ , то имеет место тяжелая диастолическая дисфункция (III степень) с выраженным повышением давления наполнения;
- при промежуточных вариантах митрального кровотока необходима дополнительная оценка трех основных параметров диастолической функции –  $E/e'$ , ИОЛП и  $V_{TH}$ . Если показатели остаются нормальными или изменен лишь один из них, то диастолическая дисфункция является легкой. Если же 2 или 3 показателя оказываются изменены, то диастолическую дисфункцию следует считать умеренной (II степень).

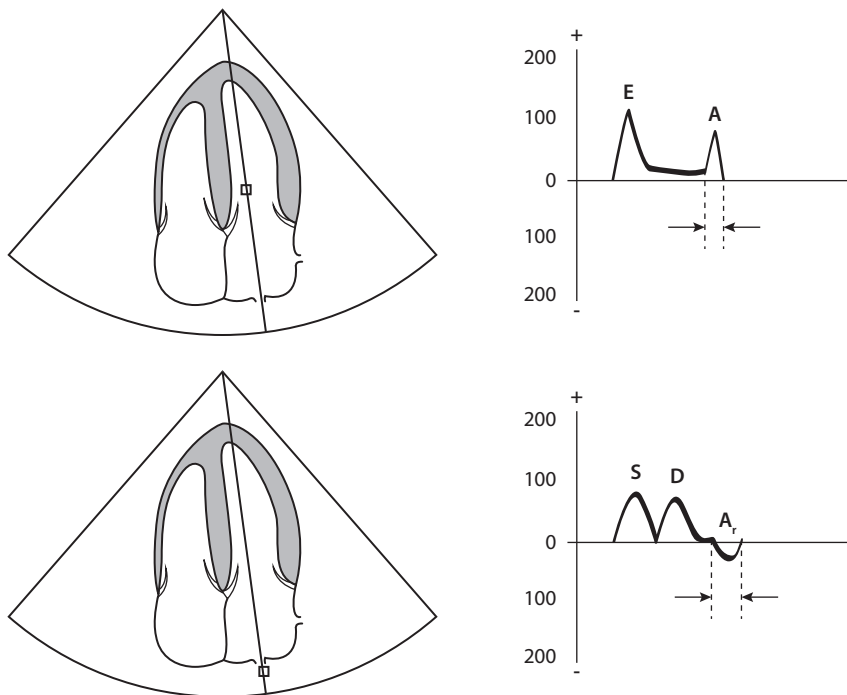
Сопоставляя представленный подход с исходной оценкой по митральному кровотоку, можно заметить, что диастолической дисфункции I степени примерно соответствует митральный кровоток с признаками замедленной релаксации, II степени – псевдонормальный кровоток и III степени – рестриктивный. Тем не менее очевидно, что надежная оценка диастолической функции только по митральному кровотоку невозможна без учета размера предсердия и уровня давления наполнения. В связи с этим сегодня необходимо пользоваться способом оценки диастолической функции, предложенным в рекомендациях 2009–2016 гг.

При ряде состояний стандартная оценка диастолической функции бывает затруднена или даже невозможна. Во всех подобных случаях наибольшее значение имеет правильная комплексная оценка давления наполнения, включающая измерение  $E/e'$ ,  $V_{TH}$ , ИОЛП. В качестве дополнительных признаков повышения давления наполнения могут также использоваться следующие:

- показатель  $\Delta E/A$  – изменение соотношения  $E/A$  митрального кровотока при проведении пробы Вальсальвы (рис. 7.27). Сравнивается величина данного соотношения на высоте вдоха и через 10 с напряжения в результате попытки выдоха при закрытых дыхательных путях. Снижение данного показателя более чем на 50% считается специфичным для повышения давления наполнения;
- оценка кровотока в легочных венах также позволяет обнаружить повышение конечного диастолического давления в ЛЖ. С этой целью сравнивают продолжительность волны А митрального кровотока и ретроградной предсердной волны в легочной вене –  $A_r$  (рис. 7.28). В норме продолжительность этих волн одинакова. При повышении давления наполнения



**Рис. 7.27.** Изменение соотношения  $E/A$  при проведении пробы Вальсальвы. Объяснения в тексте.



**Рис. 7.28.** Измерение продолжительности предсердной волны митрального кровотока (A) и ретроградной предсердной волны ( $A_r$ ) в легочной вене.

волна A митрального кровотока укорачивается, так как предсердию становится труднее вталкивать кровь в желудочек. Диагностическим считается укорочение A в сравнении с  $A_r$  на 30 мс и более.

В различных ситуациях ценность некоторых диастолических показателей может снижаться, а других, наоборот, возрастет. В связи с этим для целого ряда состояний могут использоваться модификации вышеописанного подхода, основанные на данных специальных исследований. К таким состояниям можно отнести фибрилляцию предсердий, атриовентрикулярную блокаду и электрокардиостимуляцию, гипертрофическую и рестриктивную кардиомиопатию, митральный стеноз, митральную недостаточность, аортальные пороки сердца. Особенности оценки диастолической функции с использованием некоторых дополнительных показателей представлены в таблице 7.12.

Во всех перечисленных в таблице 7.12 случаях рекомендуется комплексная оценка уровня давления наполнения, включающая измерение  $V_{TH}$  ( $>2,8$  м/с) и ИОЛП ( $>34$  мл/м<sup>2</sup>). Заключение не должно базироваться на результате оценки одного показателя.

**Таблица 7.12.** Признаки повышения давления наполнения у отдельных категорий пациентов (цит. по S.F.Nagueh, 2016)

Заболевания	ЭхоКГ-показатели и их диагностические значения
Фибрилляция предсердий	Максимальное ускорение волны E ( $\geq 1,900 \text{ см/с}^2$ ) IVRT ( $\leq 65 \text{ мс}$ ) $T_{\text{dec}}$ диастолической волны кровотока в легочных венах ( $\leq 220 \text{ мс}$ ) $E/V_p$ ( $\geq 1,4$ ) $E/e'_{\text{септ.}}$ ( $\geq 11$ )
Синусовая тахикардия	Митральный кровоток с преобладанием раннего наполнения у пациентов с ФВ $< 50\%$ IVRT ( $\leq 70 \text{ мс}$ ) Сниженная фракция систолической волны в легочных венах ( $\leq 40\%$ ) Среднее $E/e'$ ( $> 14$ ) – высокая специфичность, но низкая чувствительность При частичном или полном слиянии волн E и A компенсаторная пауза после экстрасистолы часто ведет к разделению волн, что можно использовать для оценки диастолической функции
Гипертрофическая кардиомиопатия	Среднее $E/e'$ ( $> 14$ ) $A_r-A$ ( $\geq 30 \text{ мс}$ ) $V_{\text{тн}}$ ( $> 2,8 \text{ м/с}$ ) Индекс объема ЛП ( $> 34 \text{ мл/м}^2$ )
Рестриктивная кардиомиопатия	$T_{\text{dec}}$ ( $< 140 \text{ мс}$ ) $E/A$ ( $> 2,5$ ) IVRT ( $< 50 \text{ мс}$ ) – высокая специфичность Среднее $E/e'$ ( $> 14$ )
Некардиальная легочная гипертензия	$E/e'_{\text{лат.}}$ можно использовать для решения вопроса о возможной кардиальной причине легочной гипертензии: при кардиальной причине $E/e' > 13$ , при некардиальной $< 8$
Митральный стеноз	IVRT ( $< 60 \text{ мс}$ ) – высокая специфичность IVRT/ $T_{E-e'}$ ( $< 4,2$ ) $A$ ( $> 1,5 \text{ м/с}$ )
Митральная недостаточность	$A_r-A$ ( $\geq 30 \text{ мс}$ ) IVRT ( $< 60 \text{ мс}$ ) – высокая специфичность IVRT/ $T_{E-e'}$ ( $< 5,6$ ) может использоваться для оценки давления наполнения у пациентов с митральной недостаточностью и нормальной ФВ Среднее $E/e'$ ( $> 14$ ) может использоваться только у пациентов со сниженной ФВ

IVRT – isovolumic relaxation time – время изоволюметрического расслабления;  $V_p$  – flow propagation velocity – скорость проникновения кровотока в ЛЖ;  $T_{E-e'}$  – интервал между появлением митрального потока и началом движения митрального кольца.

### 7.2.3.4. Стресс-тест в оценке диастолической функции

В отдельных случаях для уточнения состояния диастолической функции может использоваться стресс-тест (Овчинников А.Г., 2020). В норме при нагрузке ускоряется релаксация, и выброс растет без существенного повышения давления наполнения. При диастолической дисфункции, напротив, на фоне нагрузки давление наполнения существенно возрастает.

Следует отметить, что выполнение стресс-теста не требуется при отсутствии заболеваний сердца и нормальных диастолических показателях. Также он не нужен при явно измененных показателях, когда повышение давления наполнения очевидно. Наибольшая необходимость в стресс-тесте имеется при одышке и легкой диастолической дисфункции, когда релаксация замедлена, а давление наполнения нормально. В этой ситуации тест может показать повышение давления наполнения при нагрузке.

В качестве нагрузки предпочтительна физическая нагрузка на горизонтальном велоэргометре. Показатели  $E$ ,  $e'$ ,  $V_{тн}$  измеряются исходно, а затем во время нагрузки или через 1–2 мин после нее (при разделении пиков  $E$  и  $A$ ).

Однозначно говорить о нарушении диастолической функции можно при одновременном изменении всех нижеперечисленных показателей:

- $E/e'_{ср.} > 14$  (или  $E/e'_{лат.} > 15$ );
- $V_{тн} > 280$ ;
- $e'_{септ.} < 7$  (или  $e'_{лат.} < 10$ ).

Диастолическую функцию следует считать нормальной, если при нагрузке  $V_{тн}$  остается  $< 280$  и  $E/e'_{ср.}$  (или  $E/e'_{септ.}$ )  $< 10$ .

### 7.2.4. Функция левого предсердия

Представление о функции ЛП и возможность ее оценки получили развитие с появлением новых методик 3D-ЭхоКГ и режима 2D-Strain, позволяющих отслеживать изменение объема ЛП и деформации его стенок на протяжении сердечного цикла.

Изменения объема предсердия представлены на рисунке 7.29. Видно, что если начать отсчет от комплекса QRS, то в этот момент объем ЛП минимальный, так как завершилось опорожнение камеры. С началом сокращения желудочка митральный клапан закрывается и предсердие начинает наполняться, т.е. его объем увеличивается. Наполнение продолжается до завершения систолы желудочка. С ее завершением митральный клапан открывается, и кровь начинает уходить из ЛП в ЛЖ, т.е. объем предсердия уменьшается. При наличии предсердного сокращения происходит добавочное ускоренное уменьшение объема ЛП, в результате чего кривая изменения объема приобретает ступенчатый характер.

Кривая изменения объема ЛП может быть построена с помощью программы обработки трехмерного изображения, которая рассматривалась

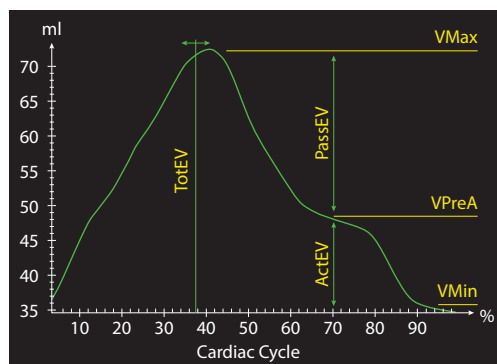
в разделе 5.3.4. Пример данной кривой представлен на рисунке 7.30. По ней можно четко определить три величины объема ЛП – минимальный ( $V_{\min}$ ), максимальный ( $V_{\max}$ ) и объем перед систолой предсердия ( $V_{\text{preA}}$ ). Анализ полученных величин объемов позволяет определить три функции предсердия – резервуарную, кондуктивную и сократительную.

Под резервуарной функцией подразумевается общая способность предсердия опорожняться, т.е. перемещать в желудочек определенный объем крови – объем опорожнения, или emptying volume (LAEV). За основную характеристику этой функции принимается так называемая фракция опорожнения, или emptying fraction (LAEF). Она рассчитывается по формуле:

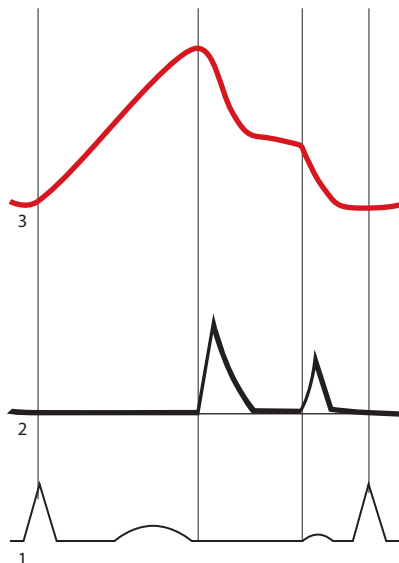
$$\text{LAEF} = 100 \times (V_{\max} - V_{\min}) / V_{\max}.$$

По данным L.Thomas (2019), нормальное значение этого показателя составляет  $>51\%$ .

При наличии систолы предсердия общую способность опорожняться можно разделить на пассивное и активное опорожнение, отражающие кондуктивную и сократительную функции предсердия.

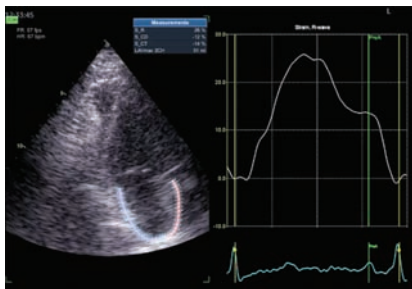


**Рис. 7.30.** Кривая изменений объема ЛП, полученная с помощью 3D-ЭхоКГ. TotEV – общий объем опорожнения, PassEV – объем пассивного опорожнения, ActEV – объем активного опорожнения, VMax – максимальный объем, VPreA – объем перед систолой предсердия, VMin – минимальный объем. (Цит. по L.Thomas, 2019.)



**Рис. 7.29.** Изменения объема ЛП. 1 – ЭКГ; 2 – митральный кровоток; 3 – объем ЛП. Объяснения в тексте.





**Рис. 7.31.** Кривая изменений деформации стенки ЛП, полученная с помощью 2D-Strain.

сократительная функция отсутствует, а кондуктивная равна резервуарной.

Альтернативной возможностью оценки функции ЛП является использование для этой цели показателей деформации. В режиме 2D-Strain специальная программа позволяет произвести захват стенки предсердия и измерить ее продольную деформацию (рис. 7.31). Как видно из рисунка, кривая изменения деформации аналогична кривой изменения объема. В ней также можно выделить три фазы, позволяющие выполнить оценку функции ЛП:

- деформация во время резервуарной фазы (LASr);
- деформация во время кондуктивной фазы (LAScd);
- деформация во время сократительной фазы (LASct).

По данным F.Pathan и соавт. (2017), величина LASr должна составлять 39,2% (95% доверительный интервал [ДИ] 37,1–41,3), величина LAScd – 23,0% (95% ДИ 20,7–25,2), а величина LASct – 17,4% (95% ДИ 16,0–19,0).

Методику 2D-Strain можно считать сегодня более удобной и доступной. В то же время надо указать, что возможности 2D-Strain и 3D-ЭхоКГ перекрывают друг друга: обе методики позволяют исследовать как объемы, так и деформацию. Изучение функции ЛП разными способами продолжается и в настоящее время.

### 7.2.5. Давление в легочной артерии

Систолическое давление в легочной артерии может быть достаточно точно определено у лиц с трикуспидальной регургитацией (рис. 7.32).

Измеренная с помощью постоянно-волнового доплеровского режима скорость трикуспидальной регургитации позволяет рассчитать систолический градиент давления между ПЖ и ПП. Если предположить примерный уровень давления в ПП, то давление в ПЖ будет выше этого уровня на рассчитанную величину градиента. Систолическое давление в легочной артерии принимается равным систолическому давлению в ПЖ.

Характеристикой кондуктивной функции является фракция пассивного опорожнения:  $100 \times (V_{\max} - V_{\text{preA}}) / V_{\max}$ .

Нормальное значение >21%.

Характеристика сократительной функции – фракция активного опорожнения:  $100 \times (V_{\text{preA}} - V_{\min}) / V_{\text{preA}}$ .

Нормальное значение >27%.

Следует добавить, что указанные три функции можно рассматривать только при наличии синусового или предсердного ритма. В условиях отсутствия систолы предсердия

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Алехин М.Н.* Тканевой доплер в клинической эхокардиографии. – М., 2006. – 112 с.
2. Рекомендации ESC/ERS по диагностике и лечению легочной гипертензии 2015 // Российский кардиологический журнал. – 2016. – №5 (133). – С. 5–64.
3. *Овчинников А.Г., Агеев Ф.Т., Алехин М.Н. и др.* Диастолическая трансторакальная стресс-эхокардиография с дозированной физической нагрузкой в диагностике сердечной недостаточности с сохраненной фракцией выброса: показания, методология, интерпретация результатов // Ультразвуковая и функциональная диагностика. – 2020. – №2. – С. 60–89.
4. *Отто К.М.* Клиническая эхокардиография: практическое руководство. Пер. с англ. под общ. ред. В.А.Сандрикова. – М.: Логосфера, 2019. – 1294 с.
5. *Рыбакова М.К., Митьков В.В.* Эхокардиография в таблицах и схемах. – М.: Видар-М, 2011. – 288 с.
6. *Armstrong W.F., Ryan T.* Feigenbaum's echocardiography. – Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 2010.
7. *Borger M.A., Fedak P.W.M., Stephens E.H. et al.* The American Association for Thoracic Surgery consensus guidelines on bicuspid aortic valve-related aortopathy: Executive summary // J. Thorac. Cardiovasc. Surg. – 2018. – Vol. 156. – P. 473–480.
8. *Erbel R., Aboyans V., Boileau C. et al.* 2014 ESC Guidelines on the diagnosis and treatment of aortic diseases: Document covering acute and chronic aortic diseases of the thoracic and abdominal aorta of the adult. The Task Force for the Diagnosis and Treatment of Aortic Diseases of the European Society of Cardiology (ESC) // Eur. Heart J. – 2014. – Vol. 35 (41). – P. 2873–2926.
9. *Eskandari M., Monaghan M.* Contrast echocardiography in daily clinical practice // Herz. – 2017. – Vol. 42 (3). – P. 271–278.
10. Guidelines for the Echocardiographic Assessment of the Right Heart in Adults: A Report from the American Society of Echocardiography // J. Am. Soc. Echocardiogr. – 2010. – Vol. 23. – P. 685–713.
11. *Kou S., Caballero L., Dulgheru R. et al.* Echocardiographic reference ranges for normal cardiac chamber size: results from the NORRE study // Eur. Heart J. (Cardiovasc. Imaging). – 2014, June 1. – Vol. 15 (6). – P. 680–690.
12. *Lancellotti P., Zamorano J.L., Habib G., Badano L.* The EACVI textbook of echocardiography. – 2<sup>nd</sup> ed. – Oxford University Press, 2017.
13. *Lang R.M., Badano L.P., Mor-Avi V. et al.* Recommendations for cardiac chamber quantification by echocardiography in adults: an update from the American Society of Echocardiography and the European Association of Cardiovascular Imaging // J. Am. Soc. Echocardiogr. – 2015. – Vol. 28 (1). – P. 1–39.