

МИНИСТЕРСТВО ЗДРАВООХРАНЕНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ МЕДИЦИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
КАФЕДРА УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ДИАГНОСТИКИ

О. М. ЖЕРКО

УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ДИАГНОСТИКА ПАТОЛОГИИ АОРТАЛЬНОГО КЛАПАНА

Рекомендовано учебно-методическим объединением
в сфере дополнительного образования взрослых
по направлению образования «Здравоохранение»



Минск БГМУ 2025

УДК 616.126.52-073.43(075.9)

ББК 54.101я75

Ж59

Р е ц е н з е н т ы: д-р мед. наук, проф., зав. каф. внутренних болезней и ультразвуковой диагностики факультета повышения квалификации и переподготовки кадров Витебского государственного ордена Дружбы народов медицинского университета С. И. Пиманов; каф. лучевой диагностики и лучевой терапии Гродненского государственного медицинского университета

Жерко, О. М.

Ж59 Ультразвуковая диагностика патологии аортального клапана : учебно-методическое пособие / О. М. Жерко. – Минск : БГМУ, 2025. – 44 с.

ISBN 978-985-21-1922-1.

Описаны подходы к комплексному ультразвуковому исследованию патологии аортального клапана с применением традиционной эхокардиографии, цветового доплеровского картирования и импульсно-волновой доплерографии.

Предназначено для слушателей, осваивающих содержание образовательных программ переподготовки по специальности «Ультразвуковая диагностика», повышения квалификации врачей ультразвуковой диагностики, врачей функциональной диагностики, врачей лучевой диагностики, врачей-кардиологов.

УДК 616.126.52-073.43(075.9)

ББК 54.101я75

ISBN 978-985-21-1922-1

© Жерко О. М., 2025

© УО «Белорусский государственный
медицинский университет», 2025

МОТИВАЦИОННАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕМЫ

Общее время занятий: 16 ч.

Учебно-методическое пособие посвящено актуальным вопросам ультразвуковой диагностики основных нозологических форм патологии аортального клапана. В пособии подробно освещены вопросы ультразвуковой диагностики и оценки тяжести аортальной регургитации и аортального стеноза, даны современные классификации рассматриваемой патологии. Подробно описаны ультразвуковые диагностические признаки патологии аортального клапана.

Цель занятия: овладение современными знаниями по вопросам ультразвуковой диагностики патологии аортального клапана.

Задачи занятия. Слушатель должен *знать*:

1. Ультразвуковую анатомию сердца.
2. Ультразвуковые признаки аортальной регургитации.
3. Ультразвуковые признаки различной степени тяжести аортальной регургитации.
4. Ультразвуковые признаки аортального стеноза.
5. Ультразвуковые признаки различной степени тяжести аортального стеноза.

Слушатель должен *уметь*:

1. Выполнять ультразвуковое исследование сердца в норме и при патологии.
2. Выполнять оценку кровотока при патологии аортального клапана в режимах цветовой, импульсно-волновой, непрерывно-волновой доплерографии.
3. Выполнять ультразвуковую оценку тяжести аортальной регургитации.
4. Выполнять ультразвуковую оценку тяжести аортального стеноза.
5. Формировать заключение по результатам ультразвукового исследования аортального клапана.

Слушатель должен *научиться*:

1. Правильно выполнять ультразвуковую диагностику аортальной регургитации.
2. Правильно выполнять ультразвуковую диагностику аортального стеноза.
3. Правильно формировать протокол и заключение по результатам ультразвукового исследования аортального клапана.

Требования к исходному уровню знаний. Для полного усвоения темы занятия необходимо знать:

1. Методику выполнения ультразвукового исследования сердца в 2D-режиме.
2. Методику выполнения исследования внутрисердечного кровотока в режимах цветовой, импульсно-волновой, непрерывно-волновой доплерографии.

Контрольные вопросы из смежных дисциплин:

1. Анатомия сердца.
2. Клиническая симптоматика аортальной регургитации и аортального стеноза.

Контрольные вопросы по теме занятия:

1. Ультразвуковые признаки аортальной регургитации.
2. Ультразвуковые признаки аортального стеноза.
3. Ультразвуковые критерии тяжести аортальной регургитации.
4. Ультразвуковые критерии тяжести аортального стеноза.
5. Принципы оформления протокола и заключения по результатам ультразвукового исследования аорты.

СТЕНОЗ АОРТАЛЬНОГО КЛАПАНА

Наиболее частыми причинами аортального стеноза у взрослых являются бicuspidальный аортальный клапан с присоединившейся кальцификацией, кальциноз клапана с тремя створками и хроническая ревматическая болезнь сердца (рис. 1).

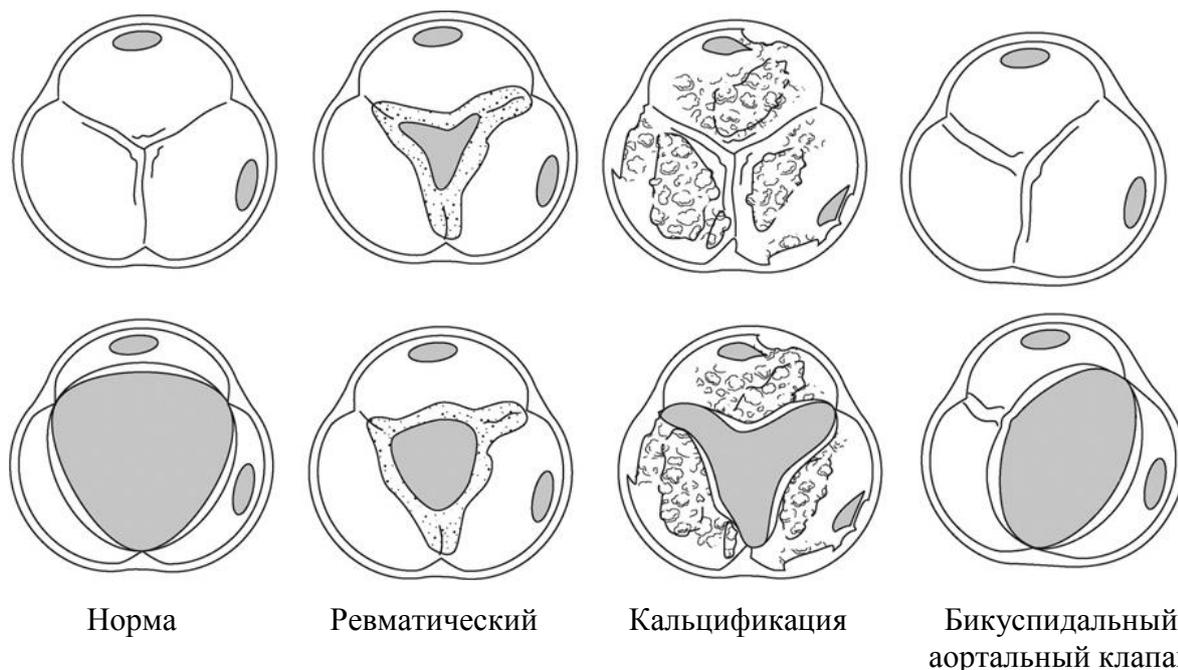


Рис. 1. Этиология аортального стеноза: морфология ревматического аортального стеноза, кальциноза аортального клапана и бicuspidального аортального клапана

Кальцифицирующий дегенеративный стеноз трехстворчатого аортального клапана является возраст-зависимым. Кальцификация, определяемая в 2D-режиме как зона повышенной эхогенности, типична для основания створок клапана и не вызывает выраженную обструкцию выносящего тракта левого желудочка, значительная обструкция может формироваться в возрасте 70–85 лет.

Врожденный бicuspidальный аортальный клапан — самый распространенный врожденный порок сердца (его имеют около 2 % людей в популяции), который обуславливает две трети случаев тяжелого стеноза у взрослых моложе 70 лет и одну треть случаев стеноза у лиц старше 70 лет. При бicuspidальном аортальном клапане наиболее часто ($\approx 80\%$ случаев) происходит сращение левой и правой коронарной створок, что приводит к появлению большей передней и меньшей задней створок и переднезаднему открытию створок с отхождением обеих коронарных артерий от передней створки. Реже отмечается сращение правой и некоронарной створок, формируются большая правая и меньшая левая створки и латерально-медиальное открытие ($\approx 20\%$). Сращивание левой и некоронарной створок встречается редко. Во многих случаях створка большей площади имеет заросшую комиссуру, вследствие чего в закрытом виде клапан выглядит трехстворчатым. Бicuspidальный аортальный клапан часто ассоциируется с дилатацией синусов Вальсальвы и восходящей аорты. Вторичная кальцификация бicuspidального аортального клапана, когда стеноз становится тяжелым, трудноотличима от кальцификации нормально анатомически сформированного клапана. При менее выраженных степенях стеноза, в парастернальном доступе, в плоскости короткой оси в фазе «неполной» систолы визуализируются только две створки с эллипсовидным раскрытием. В парастернальной позиции, плоскости длинной оси левого желудочка в М-режиме определяются асимметричное положение линии смыкания створок (рис. 2), в 2D-режиме — систолическое куполообразное открытие и диастолическое пролабирование створок аортального клапана.

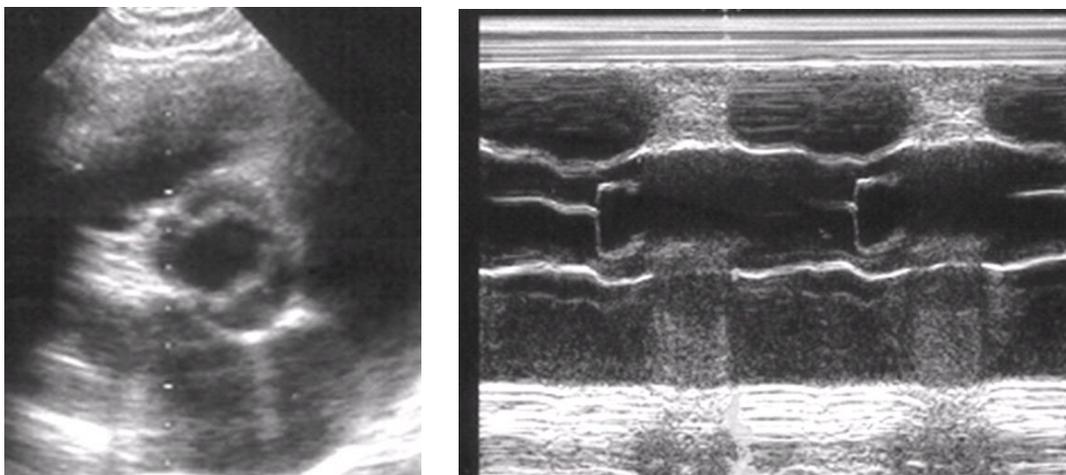


Рис. 2. Бicuspidальный аортальный клапан. В фазу «неполной» систолы визуализируются только две створки с эллипсовидным раскрытием. Парастернальный доступ, короткая ось. Асимметрия линии смыкания створок аортального клапана в М-режиме

В случае *хронической ревматической болезни сердца* первым почти всегда поражается митральный клапан, в связи с этим вовлечение аортального клапана сопровождается ревматическими изменениями митрального клапана. При поражении аортального клапана визуализируются утолщение, повышение эхогенности, кальцификация краев створок, спаивание створок по ко-

миссурам, треугольное или закругленное систолическое отверстие. Кальцификация при ревматическом аортальном стенозе обычно начинается с краев, а не с тела и основания створок, в отличие от кальцифицирующего дегенеративного стеноза трехстворчатого аортального клапана (рис. 3).

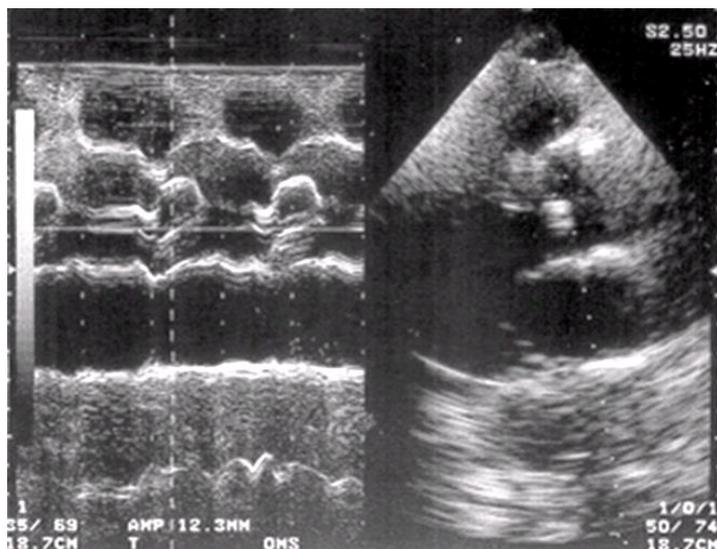


Рис. 3. Ревматический аортальный стеноз. Признаки кальцификации и ограничения систолического раскрытия створок аортального клапана

Врожденный стеноз аортального клапана обычно диагностируют в детском возрасте, но некоторые пациенты долго остаются асимптоматическими. Кроме того, у данной группы пациентов возможен рестеноз после хирургической вальвулотомии, выполненной ранее. Для врожденного стеноза аортального клапана более характерна моностворка с одиночным эксцентрично расположенным отверстием и куполообразным открытием в систолу.

Обструкция выносящего тракта левого желудочка может быть вызвана врожденной фиксированной подклапанной обструкцией (субаортальной мембраной или мышечным субаортальным стенозом), динамической субаортальной обструкцией при гипертрофической кардиомиопатии, надклапанным стенозом.

Субаортальная мембрана может плохо визуализироваться при трансторакальной ЭхоКГ, но ее наличие должно быть заподозрено при нормальной анатомии, полном раскрытии створок аортального клапана и высоком трансаортальном градиенте давления. Пространственная ориентация высокоскоростного потока, его форма в режиме непрерывно-волновой доплерографии подобны как при подклапанной, клапанной или надклапанной фиксированной обструкциях, но режимы цветовой и импульсно-волновой доплерографий позволяют дифференцировать уровень обструкции.

Для динамической обструкции выносящего тракта левого желудочка характерно смещение пиковой скорости потока во вторую половину систолы, часто с вогнутостью огибающей доплеровского спектра в ранней систоле. Степень обструкции динамически изменяется день ото дня, может отличаться даже в соседних сердечных циклах или при проведении провокационных проб.

Эхокардиографические признаки аортального стеноза. М-модальное исследование в диагностике аортального стеноза играет незначительную роль и может быть полезно при постановке качественного диагноза. В парастермальном доступе, плоскости длинной оси левого желудочка или короткой оси в сечении на уровне створок аортального клапана визуализируются измененные, плотные, неоднородные по структуре и эхогенности створки, уменьшение их систолического открытия. Для бicuspidального аортального клапана типична эксцентричность расположения линии смыкания створок аортального клапана в диастолу. Индекс эксцентричности составляет $> 1,3$.

Двухмерная эхокардиография. Для аортального стеноза типичны фиброз и обызвествление корня аорты и створок аортального клапана. Эти дегенеративные процессы неспецифичны и не являются признаком, позволяющим определить причину стеноза.

Степени кальциноза аортального клапана:

– I степень — мелкоочаговые отложения солей кальция в теле створок и комиссурах;

– II степень — крупноочаговые отложения кальция в створках без перехода на фиброзное кольцо;

– III степень — массивные отложения кальция с переходом на фиброзное кольцо, стенку аорты, выходной отдел левого желудочка, переднюю створку митрального клапана (рис. 4).

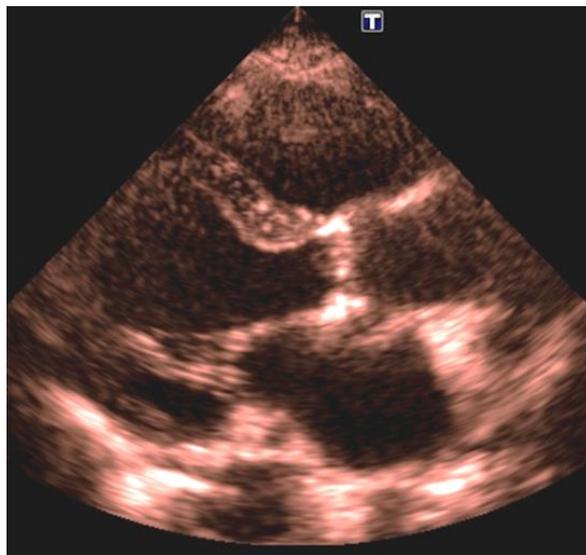


Рис. 4. Кальциноз аортального клапана III степени. Парастермальный доступ, плоскость длинной оси левого желудочка

В фазе систолы наблюдается куполообразный характер движения или систолический прогиб створок аортального клапана: эхосигналы от створок более не являются параллельными стенкам аорты, расположены под углом друг к другу, края створок изогнуты к центру аорты. Эти признаки свидетельствуют о неполном раскрытии аортального клапана в систолу левого желудочка.

Для бicuspidального аортального клапана при сканировании в парастернальном доступе, плоскости короткой оси типична одна линия закрытия аортального клапана и эллипсовидная форма отверстия аортального клапана в фазу «неполной» систолы.

Развитие аортального стеноза обычно сопровождается ремоделированием левого желудочка вследствие обструкции клапана или постоянного повышения артериального давления. Ремоделирование обычно приводит к гипертрофии стенок и увеличению массы миокарда левого желудочка, формированию небольшой полости желудочка и диастолической дисфункции, особенно у пожилых женщин с аортальным стенозом. Гипертрофия левого желудочка при стенозе аортального клапана направлена на нормализацию напряжения стенки левого желудочка. Относительная толщина стенки (отношение толщины стенки к радиусу) — полезный показатель для оценки степени гипертрофии.

В результате ремоделирования конечно-диастолический и конечно-систолический объемы левого желудочка в течение длительного времени мало отличаются от нормы. Только при миогенной дилатации или возникновении митрализации порока определяется увеличение полости левого желудочка.

Для аортального стеноза в отсутствие декомпенсации типично повышение общей сократимости левого желудочка, что является компенсаторным механизмом, обеспечивающим достаточно высокий сердечный выброс при физической нагрузке. В результате повышения давления в фазе систолы в левом желудочке и формирования патологической митральной регургитации происходит *дилатация левого предсердия*, прежде всего в длину, что обуславливает необходимость измерения линейных размеров левого предсердия в четырехкамерной апикальной позиции. Скорость струи митральной регургитации пропорциональна давлению в левом желудочке в фазе систолы.

Восходящий отдел аорты. Кроме оценки этиологии и степени гемодинамической тяжести аортального стеноза, эхокардиографическое исследование взрослых пациентов с аортальным стенозом должно включать оценку аорты с измерением ее диаметра на уровне синусов Вальсальвы и восходящего отдела. Дилатация корня аорты может ассоциироваться с бicuspidальным клапаном аорты. Постстенотическое расширение аорты, обусловленное значительным увеличением линейной скорости кровотока, почти всегда присутствует при тяжелом аортальном стенозе.

Методики оценки тяжести аортального стеноза. Главными гемодинамическими параметрами для стандартной клинической оценки степени тяжести аортального стеноза, согласно международным рекомендациям уровня I по эхокардиографической оценке пациентов, являются:

- максимальная скорость потока через аортальный клапан;
- средний трансаортальный градиент давления;
- площадь эффективного отверстия клапана, рассчитанная с помощью уравнения непрерывности потока;
- индекс площади отверстия.

Максимальный трансклапанный градиент давления (ΔPG_{max}) определяют по упрощенному уравнению Бернулли с учетом максимальной стенотической скорости кровотока (V_{max}):

$$\Delta PG_{max} = 4V_{max}^2.$$

Для получения наибольшего значения трансклапанной скорости обязательно проведение измерений в режиме непрерывно-волновой доплерографии из нескольких акустических окон: апикальный и супрастернальный, или правый парастернальный доступы чаще всего дают наибольшие скорости, изредка может понадобиться субкостальное окно. Необходимо тщательно укладывать пациента, изменять позицию и угол наклона датчика, чтобы ультразвуковой луч был ориентирован параллельно направлению потока крови. Скорость потока через аортальный стеноз определяется как наивысшая скорость в любом ультразвуковом окне при тщательном исследовании; более низкие значения, полученные из других позиций, не учитываются (рис. 5). Акустический доступ, из которого получена наибольшая скорость потока, должен указываться в протоколе выполнения эхокардиографии, обычно из него при последующих исследованиях пациента получают наибольшие значения трансклапанной скорости и градиента потока.

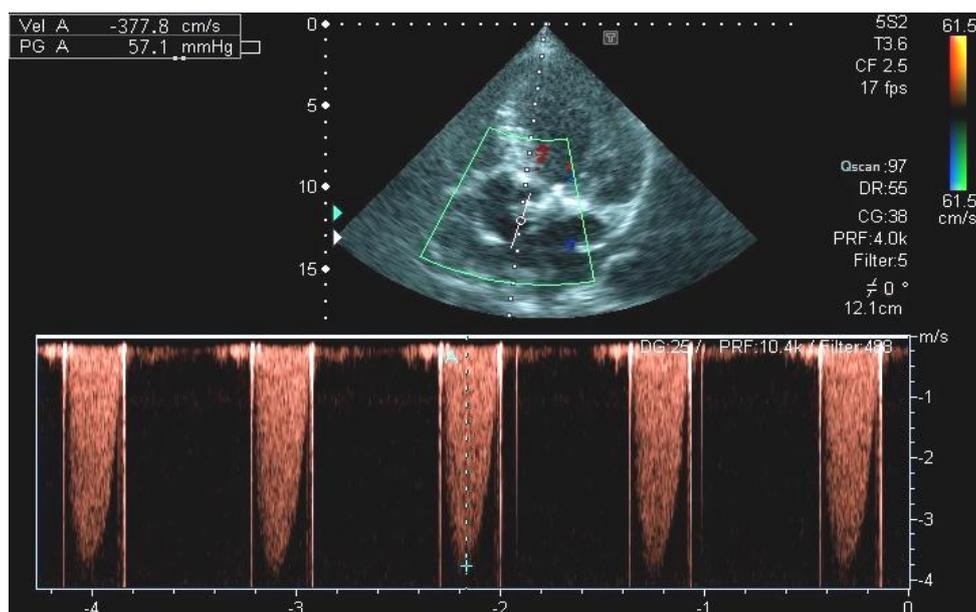


Рис. 5. Пример расчета максимального трансклапанного градиента давления (ΔPG_{max}) при стенозе аортального клапана

В режиме непрерывно-волновой доплерографии любое отклонение ультразвукового луча от параллельности потоку крови приводит к занижению скорости потока, например, если угол отклонения находится в пределах 15° , степень недооценки скорости потока равна 5 % или менее. Поэтому «коррекция угла» не применяется, т. к. может привести к еще большим ошибкам. Следует получить гладкую кривую кровотока с плотным внешним краем и ясно определяемым максимумом. Максимальная скорость измеряется по внешнему краю сигнала, тонкие линейные сигналы на вершине кривой

отражают переходные процессы и не учитываются при измерениях. Некоторые цветовые схемы «размывают» пик кривой скорости, что иногда приводит к переоценке степени тяжести стеноза. Допплеровский спектр стенотического потока трассируют по огибающей для расчета интеграла скорость–время (VTI) и среднего трансклапанного градиента.

При синусовом ритме обычно усредняют три комплекса, при нерегулярном ритме следует усреднять большее количество сокращений (не менее 5 комплексов). Особое внимание уделяют выбору репрезентативных последовательностей сокращений, исключают постэкстрасистолические сердечные циклы.

Средний трансортальный градиент давления (ΔP_{mean}) рассчитывают в режиме непрерывно-волновой доплерографии в фазе систолы при оцифровке аортального стенотического трансклапанного потока путем трассирования огибающей доплеровского спектра (где v_1, \dots, v_n — мгновенные скорости). Автоматически считаются и усредняются мгновенные средние градиенты давления в течение периода выброса, средний градиент давления определяется следующим образом:

$$\Delta P_{mean} = \frac{4v_{21} + 4v_{22} + 4v_{23} + \dots + 4v_{2n}}{n}.$$

Хотя максимальный доплеровский градиент соответствует максимальному мгновенному градиенту, измеренному при катетеризации сердца, средний доплеровский трансортальный градиент соответствует среднему градиенту по данным катетеризации сердца, однако ни один из этих доплеровских градиентов не коррелирует с градиентом между пиками давления в левом желудочке и на аортальном клапане, полученным при катетеризации. Пиковое давление на аортальном клапане и в левом желудочке достигается не одновременно, при катетеризации сердца вычисляют разность между максимальными давлениями в левом желудочке и аорте ($\Delta P_{peak-to-peak}$) (рис. 6).

Ни одна из мгновенных скоростей, записанных в режиме доплерографии, не является вполне сопоставимой с прямыми измерениями при катетеризации. Поэтому, чтобы избежать потенциальной ошибки, необходимо сравнивать только средние трансортальные градиенты. Градиент давления на стенозированном клапане зависит от объемного кровотока так же, как и от степени стенозирования, может возрасти при увеличении трансортального ударного объема, например, при физической нагрузке и стрессе, и снижаться, например, при гиповолемии. При сочетанной аортальной регургитации возрастает ударный объем через аортальный клапан, что приводит к высокому трансклапанному градиенту уже при умеренном стенозе. При систолической дисфункции левого желудочка или вторичной митральной регургитации снижается трансортальный градиент, несмотря на тяжелый аортальный стеноз. Для нивелирования влияния вышеперечисленных физиологических и патофизиологических факторов необходим расчет площади аортального отверстия уравнением непрерывности потока.

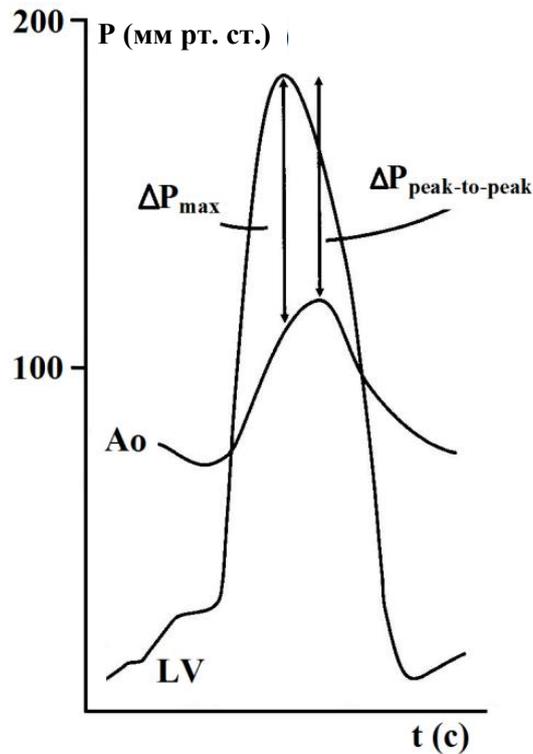


Рис. 6. Кривые давления в левом желудочке и аорте при тяжелом аортальном стенозе. Ao — кривая давления в аорте, LV — кривая давления в левом желудочке, P — давление, t — время. Кривые давления достигают максимума не одновременно: в аорте позже, чем в левом желудочке. При катетеризации сердца измеряют максимальное давление в аорте, затем в левом желудочке и вычисляют их разность ($\Delta P_{\text{peak-to-peak}}$). При доплерографии измеряют максимальную скорость в аорте, которая соответствует максимальному градиенту давления между левым желудочком и аортой (ΔP_{max}). Поэтому при аортальном стенозе доплеровское исследование дает более высокие значения максимального градиента, чем при катетеризации сердца

Расчет эффективной площади аортального клапана уравнением непрерывности потока. Вычисление площади аортального клапана (AVA) полезно при очень низких или очень высоких скоростях потока крови, хотя даже степень открытия клапана несколько варьирует при изменении скорости потока. Площадь клапана вычисляют на основании уравнения непрерывности потока, основывающемся на том, что ударный объем в выносящем тракте левого желудочка (SV_{LVOT}) весь проходит через стенозированное отверстие аортального клапана (SV_{AVA}):

$$SV_{AVA} = SV_{LVOT},$$

где ударный объем, проходящий через любое поперечное сечение, рассчитывается как произведение площади поперечного сечения в см^2 (CSA) и интеграла линейной скорости кровотока через это сечение (VTI, см):

$$SV = CSA \times VTI, \quad CSA = \frac{\pi \times d^2}{4},$$

где d — диаметр выносящего тракта левого желудочка (LVOT).

Поскольку объем кровотока через любое поперечное сечение равняется произведению площади сечения и скорости потока за период изгнания (интеграл скорости систолической кривой — VTI), уравнение непрерывности потока может быть представлено следующим образом:

$$CSA_{AVA} \times VTI_{AVA} = CSA_{LVOT} \times VTI_{LVOT}.$$

В преобразованном виде уравнение выглядит следующим образом:

$$AVA = \frac{CSA_{LVOT} \times VTI_{LVOT}}{VTI_{AVA}}.$$

Для расчета площади клапана с применением уравнения непрерывности потока требуется выполнение следующих вычислений:

- интеграла скорость–время в выносящем тракте левого желудочка (VTI_{LVOT}) в режиме импульсно-волновой доплерографии (рис. 7);
- диаметра выносящего тракта левого желудочка ($LVOT$) для расчета площади;
- интеграла скорость–время потока через стенозированный аортальный клапан в режиме непрерывно-волновой доплерографии (VTI_{AVA}).

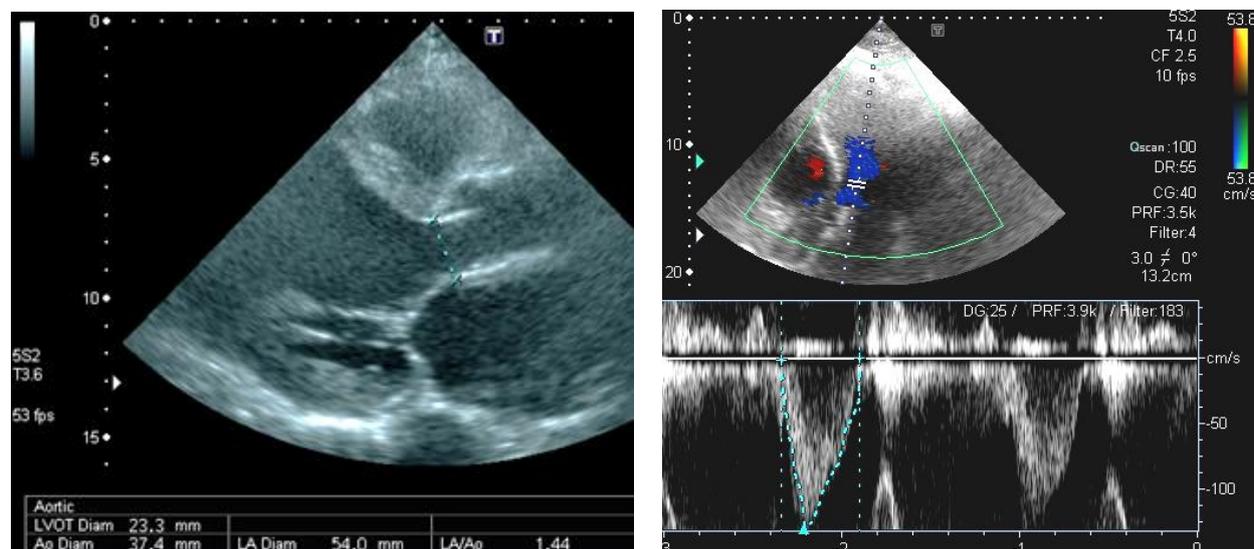


Рис. 7. Пример измерения диаметра выносящего тракта левого желудочка в парастеральном доступе, плоскости длинной оси левого желудочка в В-режиме, расчета интеграла скорость–время потока в выносящем тракте левого желудочка в режиме импульсно-волновой доплерографии в пятикамерной апикальной позиции

Точность определения ударного объема (SV_{LVOT}) зависит от точности измерения диаметра выносящего тракта левого желудочка и скорости потока. Необходимо, чтобы оба измерения проводились на одном и том же анатомическом уровне от клапана аорты. Если гладкая кривая скорости может быть получена на уровне кольца клапана, то это место является предпочтительным (особенно при врожденном аортальном стенозе с куполообразным клапаном). Однако ускорение потока крови на уровне кольца аортального клапана и даже проксимальнее, имеющееся у многих пациентов, особенно

при кальцификации клапана, таково, что необходимо сдвигать контрольный объем импульсно-волнового доплера апикально на 0,5–1 см для получения кривой с ламинарным потоком без дисперсии спектра. В этом случае диаметр выносящего тракта должен измеряться на аналогичном расстоянии от клапана.

Диаметр выносящего тракта левого желудочка измеряют в парастернальной позиции, плоскости длинной оси левого желудочка в середине фазы систолы, при максимальном открытии аортальных створок в В-режиме, на уровне аортального кольца, если в режиме импульсно-волновой доплерографии на этом уровне была получена гладкая кривая скорости (рис. 7). Если в режиме импульсно-волновой доплерографии для получения кривой без дисперсии спектра контрольный объем в выносящем тракте левого желудочка сдвигался апикально на 0,5–1 см, то диаметр выносящего тракта измеряют на том же анатомическом уровне. Расчет диаметра выносящего тракта выполняют путем установки курсоров на внутренние поверхности эндокарда, межжелудочковой перегородки и передней створки митрального клапана, параллельно плоскости аортального клапана (рис. 7). Измерения диаметра являются более точными при тщательной ангуляции датчика, оптимизации изображения путем использования режима увеличенного изображения, усиления и обработки. Обычно усредняются результаты трех измерений при синусовом ритме и не менее пяти последовательных сокращений при нерегулярных ритмах. Результаты измерения диаметра используются для вычисления площади поперечного сечения *LVOT*. Однако следует помнить, что у многих пациентов выносящий тракт левого желудочка, по мере удаления от клапана, становится эллиптическим, а не циркулярным, что может привести к занижению площади его сечения и, следовательно, ударного объема, и в конечном итоге — *AVA*.

Интеграл линейной скорости кровотока в выносящем тракте левого желудочка определяют в режиме импульсно-волновой доплерографии в пятикамерном апикальном сечении (четырёхкамерном с ангуляцией датчика вперед) или апикальном доступе, плоскости длинной оси левого желудочка. Контрольный объем импульсно-волнового доплера размером 3–5 мм устанавливают в месте, где производилось измерение диаметра *LVOT*. При правильно установленном контрольном объеме регистрируется гладкая кривая скорости с хорошо определяемым пиком и узким диапазоном скоростей во время систолы. Во многих случаях не удается получить такие характеристики кровотока у кольца аортального клапана из-за конвергенции потока, приводящей к дисперсии доплеровского спектра. В этом случае контрольный объем медленно смещают по направлению к верхушке до получения гладкой кривой. Интеграл скорость–время кровотока (*VTI*) рассчитывают путем трассировки огибающей доплеровского спектра в фазу систолы (рис. 7).

Точность клинических расчетов площади клапана с помощью уравнения непрерывности потока зависит от варибельности всех трех используемых измерений, включая вариативность полученных данных и их обработки.

Результаты измерения скорости потока через аортальный клапан и в выносящем тракте имеют низкий разброс у одного или разных исследователей ($\approx 3\text{--}5\%$), однако расчетные величины диаметра *LVOT* варьируют от 5 до 8 %. При возведении значения диаметра *LVOT* в квадрат для вычисления площади поперечного сечения погрешность расчетов становится наибольшим источником возможных ошибок. При плохой визуализации рекомендуется измерять диаметр *LVOT* с использованием чреспищеводной ЭхоКГ.

Ограничения расчета эффективной площади клапана с помощью уравнения непрерывности потока. Точное измерение клапанного стеноза предполагает наличие ламинарного потока с пространственно-плоским профилем кровотока, когда скорость одинакова в центре и по краям потока. Если скорость потока под клапаном высока, например, при наличии динамической подклапанной обструкции или подклапанной мембраны, измерения площади стеноза в этом месте будут неточными. При наличии стеноза и регургитации высокие скорости субаортального потока могут изменить профиль потока через выходной тракт, что снизит точность вычислений. Если скорость потока в *LVOT* измеряется на некотором расстоянии от кольца аортального клапана из-за конвергенции потока, профиль скорости может перестать быть плоским из-за высоких скоростей около межжелудочковой перегородки. Тем не менее, если поместить контрольный объем в середину сечения *LVOT*, то можно получить значения приемлемо близкие к средним. Если же поместить контрольный объем ближе к перегородке или передней створке митрального клапана, то можно получить значения выше или ниже средних, соответственно.

Расчеты площади клапана с помощью уравнения непрерывности хорошо верифицированы в клинических и экспериментальных исследованиях. Кроме того, площадь клапана, определенная с помощью уравнения непрерывности потока, является важным параметром для предсказания клинического исхода и принятия клинического решения.

При помощи уравнения непрерывности рассчитывают *эффективное отверстие* — площадь струи потока, проходящей через клапан, а не анатомическую площадь клапана. Площадь эффективного отверстия меньше, чем площадь анатомического отверстия из-за сужения струи потока в отверстии, что детерминировано коэффициентами сжатия и нагнетания при заданной геометрии отверстия. Хотя различие между площадью эффективного и анатомического отверстий может привести к некоторому несоответствию между площадью клапана, измеренной с помощью уравнения непрерывности, и полученной при катетеризации сердца с помощью уравнения Горлина, в настоящее время имеется достаточно клинических данных, оправдывающих применение уравнения непрерывности потока. Размер именно эффективного отверстия, а не анатомического, является главным предиктором клинического исхода.

Потенциальным ограничением расчета площади клапана уравнением непрерывности потока является изменение площади клапана при изменении скорости потока. У взрослых с аортальным стенозом и сохраненной функцией

левого желудочка влияние скорости потока минимальное, и вычисления площади эффективного отверстия клапана в покое являются достаточно точными. При сопутствующей дисфункции левого желудочка, в результате снижения открытия створок аортального клапана и, следовательно, малого эффективного отверстия клапана, даже при отсутствии тяжелого стеноза, влияние изменения скорости потока может быть значительным. Несмотря на это уравнение непрерывности потока может быть использовано при аортальном стенозе с дисфункцией левого желудочка для определения тяжелого стеноза.

Согласно международным рекомендациям уровня II, при необходимости получения дополнительных данных у отдельных пациентов могут быть выполнены расчеты отношения скоростей по упрощенному уравнению непрерывности потока, планиметрическое определение площади клапана.

Упрощенное уравнение непрерывности потока. Упрощенное уравнение непрерывности потока основывается на следующей концепции: при стенозе клапана аорты формы кривых скоростей в выносящем тракте и аорте похожи, так что отношение интеграла скорость–время потока в *LVOT* к интегралу скорость–время в аорте почти идентично отношению максимальных скоростей в *LVOT* (V_{LVOT}) и аорте (V_{AVA}). Следовательно, уравнение непрерывности может быть упрощено следующим образом:

$$AVA = \frac{CSA_{LVOT} \times V_{LVOT}}{V_{AVA}}.$$

Этот метод менее приемлем, потому что результаты его более вариабельны, чем при расчете с использованием в уравнении непрерывности интеграла скорость–время.

Отношение скоростей. Другим подходом к уменьшению ошибки, связанной с измерением диаметра выносящего тракта левого желудочка, является удаление площади поперечного сечения из упрощенного уравнения непрерывности. Безразмерное отношение скоростей выражает размер эффективного отверстия клапана как долю от площади поперечного сечения *LVOT*:

$$\text{Отношение скоростей} = \frac{V_{LVOT}}{V_{AVA}}.$$

Вместо пиковых скоростей в уравнении можно использовать интеграл скорость–время, при этом наблюдается высокая корреляция с коэффициентом отношения пиковых скоростей. При отсутствии клапанного стеноза коэффициент отношения скоростей достигает 1, меньшие цифры указывают на более тяжелый стеноз. Коэффициент отношения скоростей $\leq 0,25$ характерен для тяжелого стеноза с площадью клапана 25 % от нормы. До некоторой степени отношение скоростей является нормализованным к размеру тела, поскольку отражает отношение имеющейся площади клапана к ожидаемой площади вне зависимости от размеров тела. Однако этот метод игнорирует вариабельность размеров *LVOT*, зависящую от вариации размера тела.

Планиметрическое определение площади клапана. Планиметрическое измерение площади аортального клапана может быть альтернативой, если доплеровское определение скоростей недостоверно. Однако планиметрический расчет может давать ошибку, если кальцификация клапана приводит к появлению акустических теней и ревербераций, ограничивающих точность визуализации отверстия. Следует убедиться также, что определено минимальное отверстие, а не область проксимальнее створок клапана с большей площадью, особенно при врожденном аортальном стенозе с куполообразным клапаном (рис. 8). Кроме того, главным предиктором исхода стеноза является скорее эффективное, а не анатомическое отверстие.

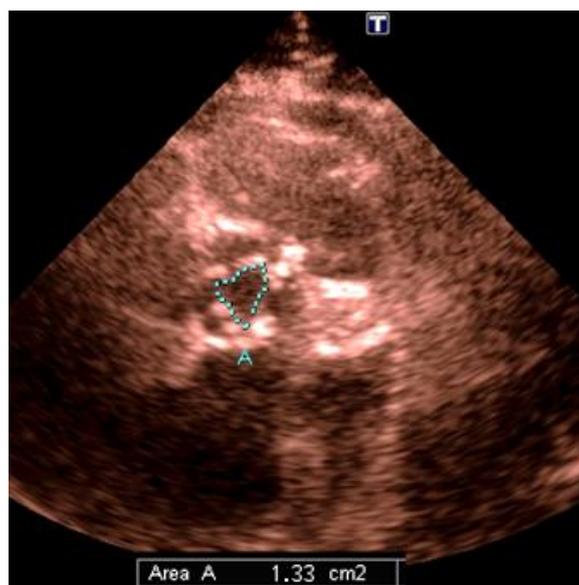


Рис. 8. Пример планиметрического определения площади стенозированного аортального клапана

Степени тяжести аортального стеноза. Степень тяжести аортального стеноза лучше всего описывается значениями максимальной скорости потока, среднего градиента и площади аортального клапана. Для большинства пациентов эти три параметра, соответствующих рекомендациям уровня I, вместе с клиническими данными, оценкой степени аортальной регургитации и функции левого желудочка достаточны для принятия клинического решения. Однако, в некоторых случаях, например, при тяжелой дисфункции левого желудочка, могут оказаться полезными дополнительные измерения. При наличии аортального склероза дальнейшая количественная характеристика не требуется.

В норме площадь аортального клапана у взрослых составляет 3,0–4,0 см². Тяжелый стеноз наступает, если площадь клапана уменьшается до ~ 25 % его нормального размера. Таким образом, значение 1,0 см² является приемлемым определением тяжелого аортального стеноза у взрослых (табл. 1). Значение индексирования по размеру тела остается спорным преимущественно потому, что существующие алгоритмы определения размера тела (такие как площадь поверхности тела) не обязательно отражают нормальную

площадь аортального клапана у пациентов с ожирением, потому что площадь клапана не увеличивается при увеличении веса тела. Однако индексирование площади клапана по поверхности тела важно у детей, подростков и взрослых с небольшими размерами тела, т. к. площадь клапана может выглядеть значительно стенозированной при наличии только умеренного стеноза. Другим подходом, кроме определения площади клапана, является индексирование по размерам тела отношения скоростей в *LVOT* и на аортальном клапане.

Таблица 1

Классификация степени тяжести аортального стеноза по данным трансторакальной ЭхоКГ

Показатели	Степень стеноза аортального клапана		
	легкий	умеренный	тяжелый
Скорость аортального потока, м/с	Менее 3,0	3,0–4,0	Более 4,0
Средний градиент, мм рт. ст.	Менее 25	25–40	Более 40
Площадь аортального клапана, см ²	Более 1,5	1,0–1,5	Менее 1,0
Индекс площади аортального клапана, см ² /м ²	–	–	Менее 0,6

Дополнительными критериями тяжелого стеноза аортального клапана являются площадь аортального клапана, установленная на основании упрощенного уравнения непрерывности потока или планиметрического измерения менее 1 см², и отношение скоростей менее 0,25.

Сопутствующие состояния, влияющие на оценку степени тяжести аортального стеноза:

I. Систолическая дисфункция левого желудочка. При аортальном стенозе систолическая функция левого желудочка, как правило, сохраняется до поздних стадий заболевания. Систолическая дисфункция, как правило, вызвана повышением постнагрузки из-за обструкции и может уходить после протезирования аортального клапана.

Площадь аортального клапана, рассчитанная уравнением непрерывности потока, менее зависима от систолической функции левого желудочка и, соответственно, от трансклапанного объемного кровотока, чем трансортальный градиент давления. Даже при нормальной фракции выброса левого желудочка объемный трансортальный кровоток может быть малым из-за малой полости левого желудочка, например, у пожилых женщин или пациентов с артериальной гипертензией.

При одновременном наличии систолической дисфункции левого желудочка и тяжелого аортального стеноза скорость потока через клапан и градиент могут быть невелики, несмотря на малую площадь отверстия клапана. Это состояние называется *аортальный стеноз с низкой скоростью и градиентом при снижении фракции выброса*. Широко используемое определение такого стеноза включает:

- площадь эффективного отверстия < 1 см²;
- фракцию выброса левого желудочка < 50 %;
- средний градиент давления < 40 мм рт. ст.;
- индекс ударного объема (SVi) < 35 мл/м².

Стресс-ЭхоКГ с применением добутамина дает информацию об изменениях скорости в аорте, среднего градиента и площади клапана при увеличении скорости потока, а также об ответе сократительной способности левого желудочка на введение добутамина, оцениваемой по изменению ударного объема или фракции выброса. Полученные данные могут помочь дифференцировать две клинические ситуации:

1. *Тяжелый аортальный стеноз, вызвавший систолическую дисфункцию* (то есть истинный тяжелый аортальный стеноз). Трансаортальные скорости зависят от потока. Так, левожелудочковая недостаточность у пациента с тяжелым аортальным стенозом может привести к относительно умеренным значениям пиковой скорости трансаортального потока и среднего градиента давления при малой площади эффективного отверстия. В этом случае протезирование клапана уменьшит постнагрузку и может привести к увеличению фракции выброса до нормальных значений.

2. *Умеренный аортальный стеноз (то есть псевдоотяжелый аортальный стеноз) с левожелудочковой недостаточностью, вызванной другими причинами*, например, инфарктом миокарда или кардиомиопатией. В этом случае площадь эффективного отверстия мала, потому что левый желудочек не генерирует достаточно энергии для того, чтобы раскрыть аортальный клапан в максимально возможной степени. В этой ситуации замена аортального клапана может не привести к значительному улучшению систолической функции левого желудочка.

У пациентов с низкой фракцией выброса и скоростью потока через аортальный клапан в покое $\geq 4,0$ м/с или средним градиентом давления ≥ 40 мм рт. ст. нет дисфункции левого желудочка. Левый желудочек имеет нормальный ответ на высокую постнагрузку (тяжелый аортальный стеноз), и функция желудочка улучшится после ликвидации стеноза. Такой пациент не нуждается в стресс-ЭхоКГ.

Для выполнения стресс-ЭхоКГ при оценке тяжести аортального стеноза в условиях дисфункции левого желудочка используют низкие дозы добутамина, начиная с 2,5 или 5 мг/кг/мин и увеличивая дозу каждые 3–5 мин до максимальной дозы 10–20 мг/кг/мин. При проведении пробы имеется риск развития аритмии, поэтому в процессе выполнения пробы требуется наблюдение врача, следует избегать введения высоких доз добутамина. Инфузию добутамина следует прекратить, как только будет получен положительный результат пробы или когда ЧСС поднимется более чем на 10–20 уд./мин выше исходной, или превысит 100 уд./мин, предполагается, что максимальный инотропный эффект достигнут. Кроме того, введение добутамина должно быть прекращено при возникновении жалоб, падении артериального давления или появлении аритмии.

Данные доплеровских измерений регистрируются на каждой ступени, включая скорость в *LVOT* из апикального доступа. Скорость потока через аортальный стеноз оптимально определять из акустического окна, обеспечивающего наивысшее значение скорости, хотя для быстрой обработки данных

возможно проведение сравнительных измерений из апикального доступа. Диаметр *LVOT* измеряют до начала пробы и это значение используют на каждой ступени для вычисления площади клапана с помощью уравнения непрерывности потока. Для оценки улучшения сократительной функции левого желудочка полезно на каждой ступени нагрузки измерять фракцию выброса по биплановой методике.

Результаты добутаминовой пробы:

1. Увеличение эффективной площади аортального клапана до конечной площади клапана $> 1,0 \text{ см}^2$ предполагает, что стеноз не является тяжелым.

2. Увеличение ударного объема $> 20 \%$ от исходного уровня предполагает наличие сократительного резерва.

3. О тяжелом стенозе свидетельствует скорость струи через аортальный клапан $\geq 4,0 \text{ м/с}$ или средний градиент $> 30\text{--}40 \text{ мм рт. ст.}$ при условии, что площадь клапана не превышает $1,0 \text{ см}^2$ при любой скорости потока.

4. Отсутствие сократительного резерва (неспособность увеличить ударный объем более чем на 20%) является предиктором высокой хирургической смертности и плохого отдаленного результата, хотя замена клапана может улучшить функцию левого желудочка и исход даже в этой подгруппе пациентов.

II. *Ремоделирование левого желудочка.* Гипертрофированный левый желудочек с маленькой полостью имеет малый ударный объем, так что даже при наличии тяжелого стеноза скорость потока через аортальный клапан и средний градиент может быть ниже, чем можно ожидать при данной площади клапана. В этой ситуации точное значение дает уравнение непрерывности потока. Многие женщины с малыми размерами левого желудочка также имеют малые размеры тела и диаметр *LVOT*, поэтому может оказаться полезным расчет индекса аортального клапана (приведение площади клапана к поверхности тела).

III. *Артериальная гипертензия.* Артериальная гипертензия развивается у $35\text{--}45 \%$ пациентов с аортальным стенозом. Системное артериальное давление может не оказывать прямого влияния на значения градиента и площади аортального клапана, увеличение нагрузки левого желудочка давлением может вызвать изменения фракции выброса и кровотока. Таким образом, наличие гипертензии может первично влиять на кровоток и градиенты давления и в меньшей степени на расчеты площади аортального клапана. Тем не менее, оценка степени тяжести аортального стеноза при неконтролируемой артериальной гипертензии может недостаточно точно отражать степень тяжести заболевания. Поэтому при возможности рекомендуется добиться контроля артериального давления до проведения эхокардиографической оценки степени тяжести стеноза. Протокол исследования всегда должен включать данные измерения артериального давления, полученные во время исследования, для сравнения с результатами других эхокардиографий и клиническими данными.

IV. *Аортальная регургитация.* Около 80 % взрослых с аортальным стенозом также имеют незначительную или умеренную аортальную регургитацию, обычно не оказывающую существенного влияния на оценку степени тяжести аортального стеноза. При значительной аортальной регургитации показатели, определяющие степень тяжести стеноза, сохраняют свое значение, однако вследствие большого трансортального объема крови максимальная скорость и средний градиент будут выше, чем ожидается при данной площади аортального клапана. В этом случае для принятия клинического решения полезны точные количественные данные о степени тяжести как стеноза, так и регургитации. При тяжелом сочетанном поражении аортального клапана встречается комбинация умеренного аортального стеноза и умеренной аортальной регургитации.

V. *Поражения митрального клапана.* У пожилых пациентов с аортальным стенозом часто присутствует митральная регургитация вследствие перегрузки давлением левого желудочка или сопутствующего поражения митрального клапана. Важно различать регургитацию, возникшую вследствие первичного поражения митрального клапана, от вторичной регургитации, связанной с наличием аортального стеноза. Следует оценить размер левого желудочка, гипертрофию, систолическую и диастолическую функции, а также систолическое давление в легочной артерии. Степень тяжести митральной регургитации не влияет на оценку аортального стеноза. При выраженной митральной регургитации трансортальный поток крови может быть низким, что приводит к низкому градиенту давления даже при наличии выраженного аортального стеноза, в этих гемодинамических условиях вычисления площади клапана уравнением непрерывности потока остаются точными. Высокое рабочее давление (высокое давление в левом желудочке вследствие аортального стеноза) может обуславливать переоценку степени тяжести регургитации, если митральная регургитация оценивается по величине потока регургитации. Тщательная оценка механизма митральной регургитации важна для принятия решения о необходимости оперативного вмешательства также и на митральном клапане. Митральный стеноз может обусловить низкий сердечный выброс и, следовательно, аортальный стеноз может протекать с низкой скоростью потока и низким градиентом.

VI. *Высокий сердечный выброс* у пациентов, находящихся на гемодиализе, с анемией, артериовенозной фистулой или другими состояниями, сопровождающимися высоким сердечным выбросом, может обуславливать относительно высокие градиенты давления при легком или умеренном аортальном стенозе. В этой ситуации возможна неправильная диагностика тяжелого аортального стеноза, особенно при затруднениях в расчете площади аортального клапана при динамической обструкции *LVOT*. В этом случае форма кривой в режиме непрерывно-волновой доплерографии с очень ранним пиком может помочь правильно оценить степень тяжести стеноза.

VII. *Дилатация восходящей аорты.* Помимо оценки этиологии аортального стеноза и тяжести нарушений гемодинамики, эхокардиографический

анализ у взрослых с болезнью аортального клапана должен включать экспертизу аорты с измерением диаметра синусов Вальсальвы, синотубулярного перехода и восходящей аорты. Дилатация корня аорты и/или тубулярной восходящей аорты связана с бicuspidальным аортальным клапаном; размер аорты может влиять на время и тип вмешательства.

Гемодинамические варианты аортального стеноза:

1. Высокоградиентный аортальный стеноз — средний градиент > 40 мм рт. ст., пиковая скорость $> 4,0$ м/с, площадь клапана < 1 см² или $< 0,6$ см²/м². Тяжелый аортальный стеноз можно предположить независимо от функции левого желудочка и условий кровотока.

2. Низкопоточковый низкоградиентный аортальный стеноз со сниженной фракцией выброса левого желудочка — средний градиент < 40 мм рт. ст., площадь клапана < 1 см², фракция выброса < 50 %, $SV_i < 35$ мл/м². Стресс-ЭхоКГ с низкими дозами добутамина рекомендуется для различения истинно тяжелого и псевдотяжелого аортального стеноза (увеличение площади клапана до $> 1,0$ см² при усилении кровотока) и выявления пациентов с отсутствием резерва кровотока (или сократительной способности). Однако полезность у пожилых пациентов оценивалась только в небольших регистрах.

3. Низкопоточковый низкоградиентный аортальный стеноз с сохраненной фракцией выброса левого желудочка — средний градиент < 40 мм рт. ст., площадь клапана < 1 см², фракция выброса левого желудочка > 50 %, $SV_i < 35$ мл/м². Обычно встречается у пожилых пациентов с артериальной гипертензией, малым размером левого желудочка и выраженной гипертрофией. Низкопоточковый низкоградиентный аортальный стеноз может быть результатом состояний, связанных с низким ударным объемом (например, умеренной/тяжелой митральной регургитацией, тяжелой трикуспидальной регургитацией, тяжелым митральным стенозом, большим дефектом межжелудочковой перегородки и тяжелой дисфункцией правого желудочка).

4. Нормальный кровоток, низкоградиентный аортальный стеноз с сохраненной фракцией выброса — средний градиент < 40 мм рт. ст., площадь клапана < 1 см², фракция выброса левого желудочка > 50 %, $SV_i > 35$ мл/м². У таких пациентов обычно имеется только умеренный аортальный стеноз.

В клинической практике у многих пациентов наблюдается существенное различие в степени тяжести стеноза, определяемой по максимальной скорости, среднему градиенту и площади аортального клапана.

Первым шагом у пациентов с большей или меньшей, чем ожидалось в соответствии с максимальной скоростью или средним градиентом, площадью клапана должна быть выполнена проверка точности эхокардиографических расчетов (см. выше источники ошибок).

Следующим шагом в случае расхождений при измерении степени тяжести стеноза является оценка фракции выброса левого желудочка и степени сопутствующей аортальной регургитации. При малом сердечном выбросе вследствие малого размера камеры левого желудочка или низкой фракции выброса и при малой площади аортального клапана может наблюдаться не-

большая скорость аортального потока. Если скорость трансаортального потока высока вследствие сопутствующей аортальной регургитации, то площадь клапана может превышать 1 см^2 , несмотря на высокую скорость потока и средний градиент. В этом случае полезно сравнение ударного объема, полученного доплерографически в выносящем тракте левого желудочка по скорости потока в *LVOT*, с ударным объемом, вычисленным в 2D-режиме с использованием биплановой методики, для подтверждения низкой или высокой объемной скорости трансаортального потока.

Если проверка подтвердила точность проведенных измерений, отсутствуют клинические признаки низкого сердечного выброса, то у пациента со скоростью потока $< 4,0 \text{ м/с}$ и площадью клапана $< 1,0 \text{ см}^2$ наиболее вероятно имеется лишь умеренный аортальный стеноз при малых размерах тела. При малых размерах тела и нормальном трансклапанном потоке максимальная скорость является лучшим показателем степени тяжести стеноза.

Алгоритм разрешения расхождений при измерении степени тяжести аортального стеноза:

I. Скорость аортального потока $> 4 \text{ м/с}$ и площадь аортального клапана $> 1 \text{ см}^2$:

1. Проверить точность измерения диаметра *LVOT* и сравнить с данными предыдущих исследований.

2. Проверить, не измерялась ли скорость потока в *LVOT* в зоне ускорения потока.

3. Вычислить индексированную площадь аортального клапана:

– если рост пациента $< 135 \text{ см}$;

– площадь поверхности тела $< 1,5 \text{ м}^2$;

– индекс массы тела < 22 (соответствует 55 кг при этом росте).

4. Оценить степень тяжести аортальной регургитации.

5. Определить, нет ли высокого сердечного выброса:

– определить ударный объем по скорости потока в *LVOT*;

– определить фракцию выброса и ударный объем в 2D-режиме.

Возможные причины высокой скорости трансаортального кровотока:

– умеренно-выраженная аортальная регургитация;

– высокий сердечный выброс;

– большие размеры тела.

II. Скорость аортального потока $\leq 4 \text{ м/с}$ и площадь аортального клапана $\leq 1 \text{ см}^2$:

1. Проверить точность измерения диаметра *LVOT* и сравнить с данными предыдущих исследований.

2. Проверить, не измерялась ли скорость потока в *LVOT* далеко от клапана.

3. Вычислить индексированную площадь аортального клапана:

– если рост пациента $< 135 \text{ см}$;

– площадь поверхности тела $< 1,5 \text{ м}^2$;

– индекс массы тела < 22 (соответствует 55 кг при этом росте).

4. Определить, нет ли низкой объемной скорости трансортального потока:

- определить ударный объем по скорости потока в *LVOT*;
- определить фракцию выброса и ударный объем в 2D-режиме;
- определить степень тяжести митральной регургитации;
- выяснить, нет ли митрального стеноза.

5. Если фракция выброса < 55 %:

- оценить степень кальцификации клапана;
- рассмотреть возможность проведения стресс-эхокардиографии с добутамином.

Возможные причины низкой скорости трансортального кровотока:

- низкая фракция выброса;
- малый размер полости левого желудочка;
- малые размеры тела;
- умеренно-выраженная митральная регургитация;
- умеренно-выраженный митральный стеноз.

Прогноз при стенозе аортального клапана. Прогноз зависит от присутствия или отсутствия клинической симптоматики, а не от гемодинамической тяжести стеноза. Существует значительное совпадение в характеристиках гемодинамической тяжести стеноза у симптоматических и асимптомных взрослых пациентов, нередко при скорости аортального потока более 4 м/с клиническая симптоматика отсутствует. В среднем скорость трансклапанного стенотического потока увеличивается на 0,3 м/с за год, средний градиент — на 7 мм рт. ст. за год, площадь клапана уменьшается приблизительно на 0,1 см² за год. Гемодинамическое прогрессирование заболевания может присутствовать в виде увеличения трансортальной скорости и градиента кровотока, в то же время прогрессирование стенозирования возможно без увеличения трансортальной скорости кровотока за счет одновременного снижения трансортального объемного кровотока. У пациентов с асимптомным аортальным стенозом проявление клинической симптоматики более сильно зависит от доплеровских значений скорости стенотического потока. При начальной скорости стенотического кровотока менее 3 м/с темп появления симптомов, требующих замены клапана, составляет 8 % в год, при скорости трансортального кровотока 3–4 м/с — 17 % в год, при скорости кровотока более 4 м/с — 40 % в год. Время протезирования клапана определяется появлением клинической симптоматики. Поскольку при аортальном стенозе могут иметь место значительные сопутствующие кардиологические заболевания, определение гемодинамической значимости аортального стеноза является важным моментом курации данного пациента.

Эхокардиографическими предикторами развития симптомов и негативных исходов при аортальном стенозе у бессимптомных пациентов являются следующие: пиковая скорость аортальной струи; тяжесть кальцификации клапана; фракция выброса левого желудочка; скорость гемодинамического прогрессирования; увеличение трансортального градиента при выполнении

упражнений; чрезмерная гипертрофия левого желудочка; аномальная продольная функция левого желудочка, определенная на основании глобальной систолической продольной деформации GLS_{Avg} , рассчитанной в режиме 2D Speckle Tracking эхокардиографии; легочная гипертензия.

На решение о хирургическом вмешательстве при бессимптомном аортальном стенозе влияют пиковая скорость аортальной струи $> 5,5$ м/с; сочетание выраженной кальцификации клапана с быстрым увеличением пиковой трансклапанной скорости около 0,3 м/с/год; увеличение среднего градиента давления при физической нагрузке более чем на 20 мм рт. ст.

АОРТАЛЬНАЯ РЕГУРГИТАЦИЯ

Эхокардиография является ключевым исследованием, используемым для описания анатомии клапана, количественной оценки аортальной регургитации, оценки ее механизмов, определения морфологии аорты и возможности клапаносохраняющей операции на аорте или восстановления клапана.

Этиологические факторы, обуславливающие аортальную регургитацию, можно условно разделить на две группы: связанные с патологией створок аортального клапана и аорты (табл. 2).

Таблица 2

Этиология аортальной регургитации

Патология	Болезнь
Патология аортального клапана	Врожденный бicuspidальный аортальный клапан. Кальцифицирующее дегенеративное поражение трехстворчатого аортального клапана. Ревматическая болезнь аортального клапана. Миксоматозная клапанная болезнь. Инфекционный эндокардит. Небактериальный тромботический эндокардит
Патология аорты	Синдром Марфана. Дилатация синусов Вальсальвы и восходящей аорты при врожденном бicuspidальном аортальном клапане. Гипертензивная дилатация аорты. Кистозный медианекроз. Расслоение аорты. Системные воспалительные заболевания

Ультразвуковые признаки, типичные для врожденного бicuspidального аортального клапана, кальцифицирующего дегенеративного поражения трехстворчатого аортального клапана, хронической ревматической болезни сердца, были рассмотрены ранее. Для *миксоматозной клапанной болезни* характерны утолщение, «избыточность», пролапс створок в выносящий тракт левого желудочка в фазу диастолы, типично также поражение митрального клапана. Нормальная полуцилиндрическая форма створок аортального клапана искажена, при исследовании в парастернальном доступе, плоскости короткой оси створки лоцируются как экзогенная «масса» с размытыми

контурами. *Инфекционный эндокардит* вызывает аортальную регургитацию вследствие перфорации или нарушения смыкания створок из-за отсутствия вегетаций.

Редкой патологией, вызывающей недостаточность аортального клапана, может быть врожденная фенестрация створок, небактериальный тромбоцитический эндокардит (например, при системной красной волчанке), инфильтративные поражения (амилоидоз), болезни накопления гликогена или системные воспалительные заболевания, такие как анкилозирующий спондилит, мукополисахаридозы.

Аортальная регургитация при *дилатации аорты* на уровне аортального кольца формируется из-за неадекватной коаптации растянутых створок. В норме смежные створки аортального клапана в фазу диастолы при смыкании формируют зоны наложения, заходят одна за другую, поэтому незначительная дилатация кольца может не приводить к недостаточности клапана. Синдром Марфана характеризуется сглаживанием синотубулярного перехода с дилатацией аортального кольца и синусов Вальсальвы. При кистозном медианекрозе синотубулярный переход обычно сохранен, могут дилатироваться синусы и восходящий отдел аорты. При врожденном бicuspidальном аортальном клапане формируется значимая дилатация синусов Вальсальвы и восходящего отдела аорты. Для сифилитического аортита типична обширная кальцификация дилатированного восходящего отдела аорты. При расслоении аорты аортальная регургитация формируется вследствие дилатации аортального кольца и неадекватной коаптации или в случае распространения ложного канала под аортальное кольцо и формирования молотящей створки.

Косвенные ультразвуковые признаки аортальной регургитации:

1. Увеличение расстояния от максимального переднего движения передней створки митрального клапана (пика *E*) до максимального заднего движения межжелудочковой перегородки (расстояние между точкой максимального раннедиастолического раскрытия митрального клапана и ближайшим участком эндокарда межжелудочковой перегородки в систолу) в парастернальном доступе в М-модальном режиме. Если аортальная регургитация направлена в сторону передней створки митрального клапана, амплитуда открытия передней створки митрального клапана в фазу раннего диастолического наполнения левого желудочка снижена, что приводит к увеличению расстояния от пика *E* до максимального заднего движения межжелудочковой перегородки.

2. Высокочастотное дрожание передней створки митрального клапана в диастолу в парастернальном доступе в М-модальном режиме (рис. 9).

3. «Обратное куполообразное» выгибание передней митральной створки в парастернальном доступе, плоскости длинной или короткой оси в 2D-режиме при умеренной или тяжелой аортальной регургитации.

4. Повреждение потоком регургитации межжелудочковой перегородки или митрального клапана.

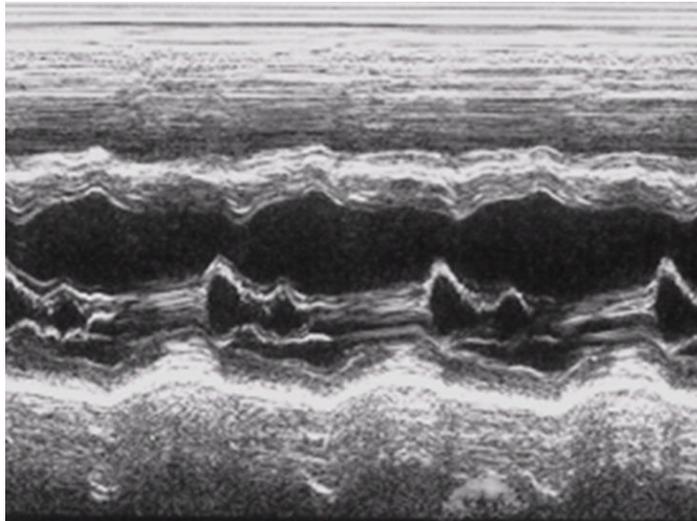


Рис. 9. Косвенные признаки аортальной регургитации в М-режиме. Вибрация передней створки митрального клапана в М-режиме отмечается, когда в ее сторону направлена аортальная регургитирующая струя. Увеличение расстояния от максимального переднего движения передней створки митрального клапана до максимального заднего движения межжелудочковой перегородки

Механизмы аортальной регургитации:

1. Тип I — нормальные створки, но недостаточная коаптация из-за дилатации корня аорты с центральной регургитирующей струей (дилатация любых компонентов корня аорты — кольца, синусов Вальсальвы, синотубулярного соединения).

2. Тип IIa — пролапс створок с эксцентричной регургитирующей струей:

1) молотящая створка: полная экскурсия створки в выносящий тракт левого желудочка в парастернальном доступе, сечении по длинной оси;

2) частичный пролапс створки: дистальная часть створки пролабирует в выносящий тракт левого желудочка (прогиб тела створки в проекции по длинной оси, небольшая циркулярная структура вблизи свободного края створки в сечении по короткой оси);

3) полный пролапс створки: свободный край створки проецируется за плоскость аортального кольца с прогибом всего тела створки в выносящий тракт левого желудочка (визуализация большой круглой или овальной структуры сразу под клапаном по короткой оси).

3. Тип IIб — фенестрация свободного края с эксцентричной регургитирующей струей: наличие эксцентричной струи аортальной регургитации без определенных доказательств пролапса створок.

4. Тип III — аномалии качества или количества створок аортального клапана с аномалией структуры створок и большой центральной или эксцентрической струей регургитации: утолщенные и ригидные клапаны с уменьшенным движением; деструкция тканей (эндокардит); большие пятна кальцификации/обширные кальцификаты всех створок, мешающие движению створок.

Степени кальцификации аортального клапана приведены ранее.

Корень аорты и восходящую аорту оценивают в 2D-режиме путем выполнения измерений диаметров аорты на четырех уровнях: кольца, синусов Вальсальвы, синотубулярного соединения и трубчатого восходящего отдела. Расчеты диаметров должны выполняться в парастернальной проекции по длинной оси от «переднего края до переднего края» аорты в конце диастолы, за исключением кольца аорты, которое измеряется в середине систолы. У пациентов с аортальной регургитацией важно дифференцировать три фенотипа восходящей аорты: аневризму корня аорты (синусы Вальсальвы > 45 мм); аневризму трубчатой восходящей аорты (синусы Вальсальвы < 40–45 мм); изолированную аортальную регургитацию (все диаметры аорты < 40 мм).

Ремоделирование левого желудочка. Под воздействием хронической перегрузки объемом отмечается прогрессирующая дилатация и формирование сферической полости левого желудочка (рис. 10).

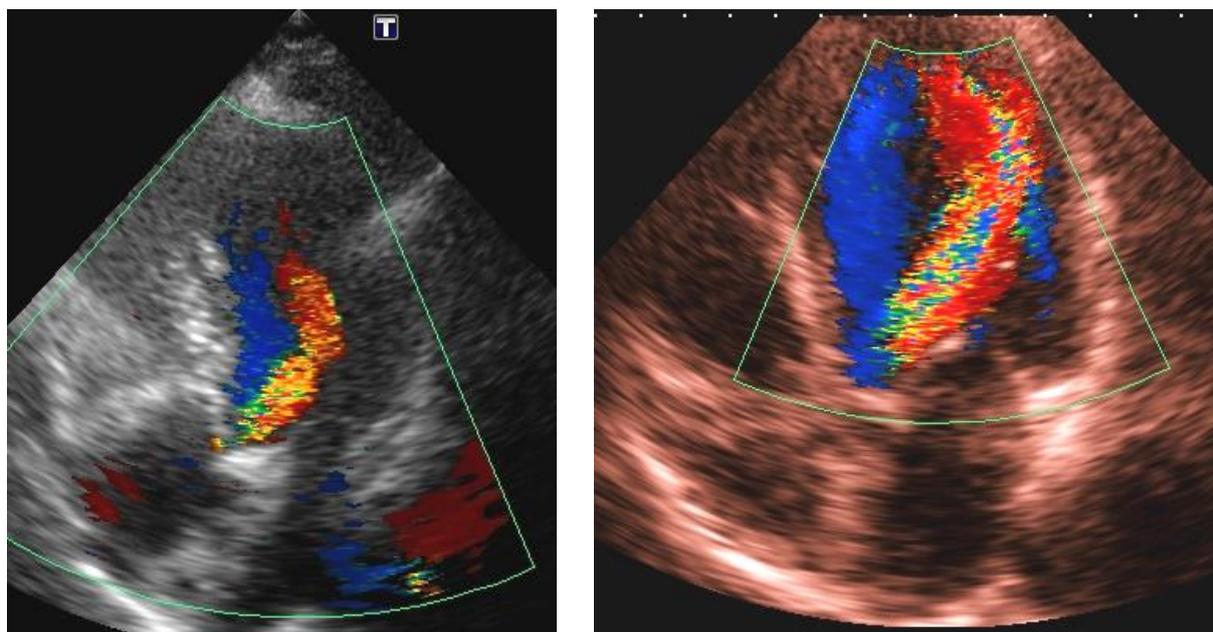


Рис. 10. Умеренная аортальная регургитация (слева). Тяжелая аортальная регургитация, сферическая дилатированная полость левого желудочка (справа)

Если хроническая аортальная регургитация нарастает постепенно и левый желудочек остается податливым в фазу диастолы, то конечно-диастолическое давление в левом желудочке не нарастает. Типично медленное увеличение размера левого желудочка в течение ряда лет без ухудшения систолической функции. При значительной хронической гемодинамической перегрузке может сформироваться необратимая систолическая дисфункция даже в отсутствие клинической симптоматики.

В то же время нормальный размер полости левого желудочка фактически исключает тяжелую хроническую аортальную регургитацию.

В противоположность хронической регургитации при острой аортальной регургитации существует короткий интервал от начала объемной перегрузки до клинической манифестации, когда значительная дилатация левого желудочка еще не сформировалась (табл. 3).

Основные особенности острой и хронической аортальной регургитации

Параметр	Хроническая аортальная регургитация	Острая аортальная регургитация
Этиология (примеры)	Бicuspidальный аортальный клапан Артериальная гипертензия	Инфекционный эндокардит Аортальная диссекция
Размер левого желудочка	Дилатирован	Нормальный
Конечно-диастолическое давление в левом желудочке	Нормальное	Повышенное
Пульсовое давление	Повышенное	Пониженное
Склон потока регургитации в режиме непрерывно-волновой доплерографии	Пологий	Крутой (v-образный)

Цветовое доплеровское картирование (ЦДК). В режиме ЦДК аортальную регургитацию можно оценить по следующим показателям: площадь проксимальной зоны регургитации, перешеек регургитации, направление струи регургитации в левом желудочке. Критерий оценки значимости аортальной регургитации по длине струи, проникающей в полость левого желудочка, является неудовлетворительным.

Оценка степени аортальной регургитации по процентному отношению проксимальной ширины струи и диаметра выносящего тракта левого желудочка. Для выполнения данной методики предпочтительным является парастернальный доступ из-за лучшего аксиального разрешения. Предел Найквиста для расчета в режиме ЦДК устанавливают в диапазоне 50–60 см/с. Максимальную ширину струи аортальной регургитации измеряют в парастернальной позиции, продольном или поперечном сечении под аортальным клапаном или в пределах 1 см от аортального клапана. Диаметр выносящего тракта левого желудочка измеряют в парастернальном доступе, плоскости длинной оси путем установки курсоров на точки крепления корня аорты к межжелудочковой перегородке и передней створки митрального клапана к задней стенке аорты (рис. 11).

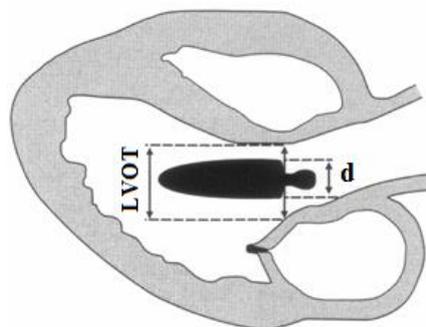


Рис. 11. Схема измерения проксимальной ширины струи аортальной регургитации (d) и ее отношения к диаметру выносящего тракта левого желудочка (LVOT). Измерения производят в парастернальном доступе, плоскости длинной оси левого желудочка в пределах 1 см от клапана

Критерии оценки степени аортальной регургитации по процентному отношению проксимальной ширины струи и диаметра выносящего тракта левого желудочка:

1. Незначительная — $< 25\%$.
2. Незначительно-умеренная — $25\text{--}45\%$.
3. Умеренно-тяжелая — $46\text{--}64\%$.
4. Тяжелая — $\geq 65\%$.

Форма потока регургитации влияет на достоверность полученного результата. Если проксимальная часть струи не параллельна эндокарду выносящего тракта, могут возникнуть трудности в определении места измерения ширины струи. При эксцентричном распространении регургитации в сторону передней створки митрального клапана или межжелудочковой перегородки проксимальная часть струи имеет, как правило, малую ширину, что приводит к недооценке значимости регургитации. С другой стороны, центрально распространяющаяся струя полностью расширяется в выносящем тракте, что может привести к переоценке значимости регургитации. Некорректно оценивать с использованием методики аортальную регургитацию, формирующуюся вдоль всей линии коаптации, что может быть выявлено при сканировании по короткой оси.

Методика требует технически тщательного проведения исследования с точным направлением ультразвукового луча через максимальный диаметр струи и максимальный диаметр выносящего тракта левого желудочка, которые могут не располагаться в одной плоскости. Форма регургитирующего отверстия влияет на ширину цветового изображения, регургитирующее отверстие часто не является совершенно круглым.

Минимальная часть сходящегося потока или перешеек регургитации. *Перешеек регургитации* — наименьшая часть потока регургитации на уровне створок аортального клапана, непосредственно под областью конвергенции потока. Перешеек регургитации измеряют в парастернальной позиции, плоскости длинной оси в цветовом 2D- или M-модальном режиме при пределе Найквиста в диапазоне $50\text{--}60\text{ см/с}$ (рис. 12).

Для надлежащей оценки перешейка регургитации необходима визуализация всех компонентов струи регургитации: проксимальной, минимальной частей сходящегося потока и регургитирующей струи. Данный критерий тяжести регургитации является более надежным, чем процентное отношение ширины поперечного сечения струи регургитации и диаметра выносящего тракта левого желудочка. Для надлежащей оценки перешейка регургитации необходима визуализация всех компонентов струи регургитации: проксимальной, минимальной частей сходящегося потока и регургитирующей струи. Данный критерий тяжести регургитации является более надежным, чем процентное отношение ширины поперечного сечения струи регургитации и диаметра выносящего тракта левого желудочка.

Размер перешейка регургитации не зависит от скорости потока, объемного кровотока, движущего давления при фиксированном регургитирующем

отверстии. Однако, если регургитирующее отверстие динамично, перешеек регургитации может изменяться в зависимости от гемодинамики или в течение сердечного цикла. Ширина перешейка регургитации остается постоянной при остро возникшей регургитации, в то время как площадь регургитирующего потока может вводить в заблуждение.

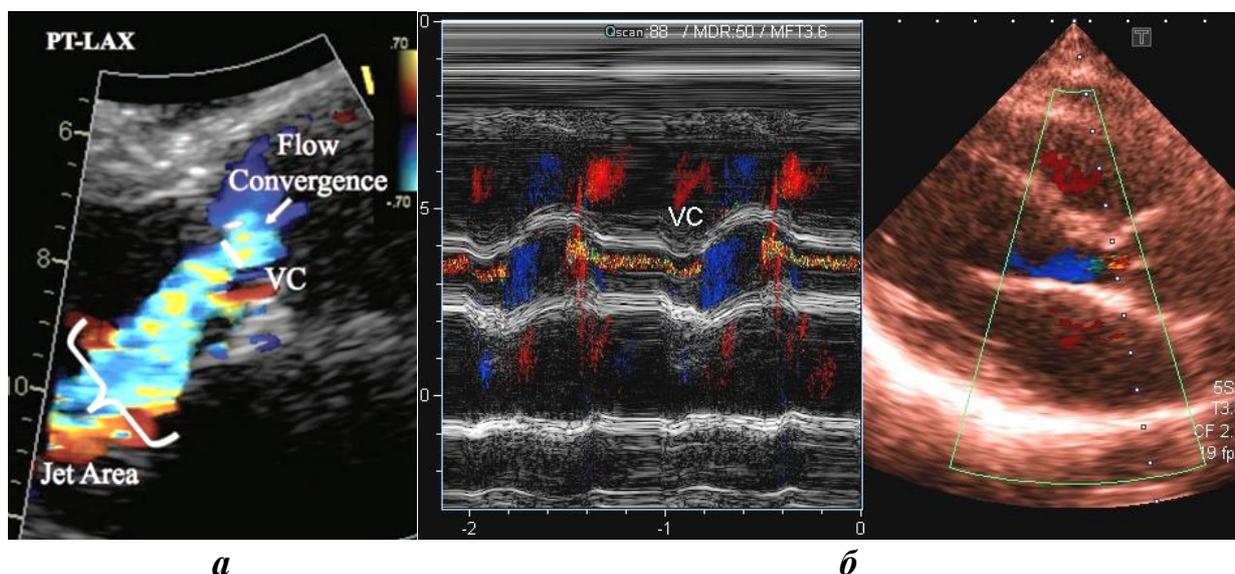


Рис. 12. Три компонента струи аортальной регургитации:

а — зона конвергенции потока (Flow Convergence), перешеек регургитации (VC), площадь струи в левом желудочке (Jet Area); *б* — пример оценки аортальной регургитации по величине перешейка регургитации в парастеральной позиции, плоскости длинной оси в цветовом М-модальном режиме

В связи с тем, что перешеек регургитации состоит из высоких скоростей, он значительно менее чувствителен к техническим факторам, таким как частота повторения импульсов *PRF*, по сравнению со значениями площади регургитации в принимающей камере.

Вследствие небольших размеров перешейка регургитации (менее 1 см) даже небольшая погрешность измерения может привести к значительной ошибке в оценке значимости регургитации, поэтому выполняется оптимизация изображения.

Количественная оценка перешейка регургитации проводится с использованием следующих приемов оптимизации изображения:

- перпендикулярность ультразвукового луча перешейку регургитации;
- режим увеличенного изображения (*Zoom*) для повышения достоверности измерения;
- минимально возможный цветовой сектор опроса в целях достижения максимального бокового и временного разрешения;
- минимальная глубина сканирования.

Иногда при оценке перешейка регургитации необходимо ангулировать датчик так, чтобы визуализировать зоны проксимального ускорения потока и расширения регургитирующей струи для более качественного выделения перешейка регургитации.

Ограничением методики является наличие нескольких струй регургитации или струй с неправильной формой минимальной части сходящегося потока, когда диаметр перешейка регургитации не отражает тяжесть аортальной регургитации. Сканирование по короткой оси обеспечивает лучшую оценку перешейка регургитации.

Критерии оценки значимости аортальной регургитации по величине перешейка регургитации (vena contracta):

1. Незначительная: ширина перешейка регургитации $< 0,3$ см.
2. Умеренная: ширина перешейка регургитации — $0,3–0,6$ см.
3. Тяжелая: ширина перешейка регургитации $> 0,6$ см.

Пороговое значение ширины перешейка регургитации $0,5$ см является высокочувствительным, $0,7$ см — высокоспецифичным для тяжелой регургитации. Таким образом, пороговое значение ширины перешейка регургитации $0,6$ см является лучшим сочетанием специфичности и чувствительности для диагностики тяжелой аортальной регургитации.

Расчет площади эффективного регургитирующего отверстия (EROA).

Визуализацию проксимальной изоскоростной зоны регургитации выполняют из апикального, параапикального доступов в режиме увеличенного изображения клапана и надклапанной области. Предел Найквиста регулируют таким образом, чтобы проксимальная зона регургитации имела полусферическую форму. Радиус PISA (радиус изоскоростной поверхности конвергирующего потока) измеряют как расстояние от регургитирующего отверстия до проксимальной элайзинговой изоскоростной струи в режиме кинопетли при получении наибольшего изображения.

Для расчета эффективной площади регургитирующего отверстия (EROA) в режиме непрерывно-волновой доплерографии определяют максимальную скорость и интеграл скорость–время потока регургитации.

Исходя из предположения, что весь объем проксимальной зоны регургитации проходит на другую сторону клапана, объем проксимальной струи регургитации (Q , см³/с) рассчитывают по формуле:

$$Q = 2 \times \pi \times r^2 \times V_a,$$

где V_a — минимальная скорость, при которой происходит искажение доплеровского спектра или скорость элайзинга (равна установленному пределу Найквиста, см/с).

Эффективная площадь регургитирующего отверстия (effective regurgitant orifice area — EROA) рассчитывается с учетом максимальной скорости потока регургитации (V_{max}) в режиме непрерывно-волновой доплерографии:

$$EROA = \frac{Q}{V_{max}} = \frac{2 \times \pi \times r^2 \times V_a}{V_{max}}.$$

Ударный объем регургитации (SV_{reg} , см³) рассчитывают путем умножения площади регургитирующего отверстия (EROA) на интеграл скорость–время регургитирующей струи (VTI_{reg}):

$$SV_{reg} = EROA \times VTI_{reg}.$$

Поскольку в расчете используется мгновенная пиковая скорость регургитации, площадь эффективного регургитирующего отверстия может быть немного больше, чем рассчитанная другими методиками.

Расчеты могут быть выполнены точно, только если проксимальная зона регургитации имеет форму полусферы. Для обеспечения этого условия распространение ультразвуковой волны должно быть параллельно кровотоку. Изолинию цветового доплера смещают в направлении регургитирующего потока до достижения хорошей визуализации полусферической формы проксимальной зоны регургитации, другим вариантом настроек может быть снижение предела Найквиста (последний снижает уровень фильтра, в то время как первый — нет) или использование двух вышеперечисленных способов.

Если основание полусферы проксимальной зоны регургитации не составляет 180° , в расчет должна быть введена поправка путем умножения на отношение угла, образующегося при смыкании краев створок, непосредственно прилегающих к регургитирующему отверстию, и 180° .

Методика расчета *PISA* более корректна для оценки центрально распространяющейся в принимающей камере струи регургитации, чем эксцентричной струи, и при округлом регургитирующем отверстии. Если проксимальная зона регургитации не имеет форму полусферы и есть трудности в идентификации положения регургитирующего отверстия, возможная погрешность в определении величины радиуса проксимальной изоскоростной струи, возведенная в квадрат, может заметно повлиять на расчет эффективного регургитирующего отверстия. Модифицированная методика расчета *PISA*, используемая при невозможности определить местоположение регургитирующего отверстия, позволяет использовать в расчете расстояние между двумя контурами проксимальной зоны регургитации или элайзинга, а также автоматизировать поиск локализации наибольшего полушария проксимальной зоны регургитации.

Критерии оценки степени аортальной регургитации по площади эффективного регургитирующего отверстия (EROA):

1. Незначительная — $< 0,10 \text{ см}^2$.
2. Незначительно-умеренная — $0,10\text{--}0,19 \text{ см}^2$.
3. Умеренно-тяжелая — $0,20\text{--}0,29 \text{ см}^2$.
4. Тяжелая — $\geq 0,30 \text{ см}^2$.

Ограничением методики является низкое качество визуализации створок аортального клапана и проксимальной изоволюметрической зоны регургитации из апикального доступа, а также кальцификация аортального клапана. Ошибка расчета *EROA* может быть связана с неверным выбором времени измерения радиуса проксимальной зоны регургитации: радиус проксимальной зоны регургитации должен измеряться *в начале диастолы*, максимально приближенно к моменту формирования пиковой скорости регургитации. Кроме того, деформация плоскости клапана, вызванная аневризмой восходящего отдела аорты, может привести к недооценке аортальной регургитации. Ограничением методики также является несколько струй регургитации, менее точна методика при эксцентричном распространении струи.

ИМПУЛЬСНО-ВОЛНОВАЯ ДОПЛЕРОГРАФИЯ

Диастолическая реверсия кровотока в аорте. В норме наблюдается короткая фаза диастолической реверсии потока в аорте. Реверсию кровотока лучше всего регистрировать из супрастернального доступа на уровне перешейка или в проксимальной части нисходящей грудной аорты (рис. 13). При нарастании аортальной регургитации увеличиваются продолжительность и скорость реверсии кровотока в аорте. Голодиастолическая реверсия потока типична для умеренной или тяжелой регургитации и специфична при регистрации в абдоминальной аорте. Скорость волны реверсии потока в конце диастолы, интеграл скорость–время потока и отношение интеграла скорость–время фазы реверсии к интегралу скорость–время антеградного потока являются полуколичественными критериями оценки аортальной регургитации. Однако возрастная ригидность аорты может приводить к увеличению продолжительности аортальной реверсии потока в норме.

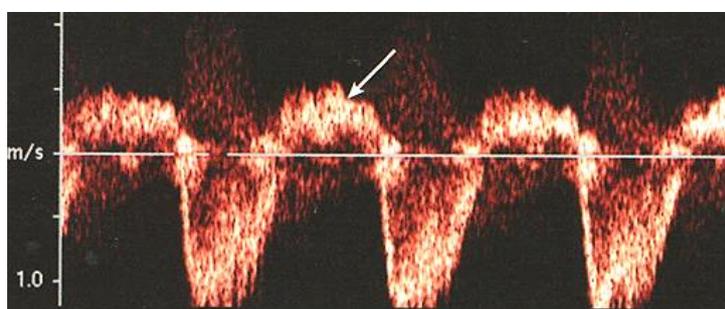


Рис. 13. Голодиастолическая реверсия потока при тяжелой аортальной регургитации (стрелка). Регистрация кровотока в режиме импульсно-волновой доплерографии в грудном нисходящем отделе аорты из супрастернального доступа

Признаком тяжелой аортальной регургитации является голодиастолическая реверсия потока в нисходящей аорте с конечно-диастолической скоростью > 20 см/с.

Расчет регургитирующего объема и фракции регургитирующего объема с помощью уравнения непрерывности потока. Методика основана на сопоставлении ударного объема в выносящем тракте левого желудочка с ударным объемом на митральном клапане или на клапане легочной артерии. Общий ударный объем (в выносящем тракте левого желудочка) и ударный объем на митральном клапане рассчитывают по формуле:

$$SV = VTI \times CSA,$$

где CSA — площадь поперечного сечения выносящего тракта левого желудочка, VTI — интеграл скорость–время (рис. 14).

Для расчета площади поперечного сечения необходимы диаметры выносящего тракта и митрального кольца. Диаметр митрального кольца измеряют как расстояние между основаниями передней и задней митральных створок в середину диастолы в режиме кинопетли спустя один кадр после начала прикрытия створок, следующего после их первичного открытия.

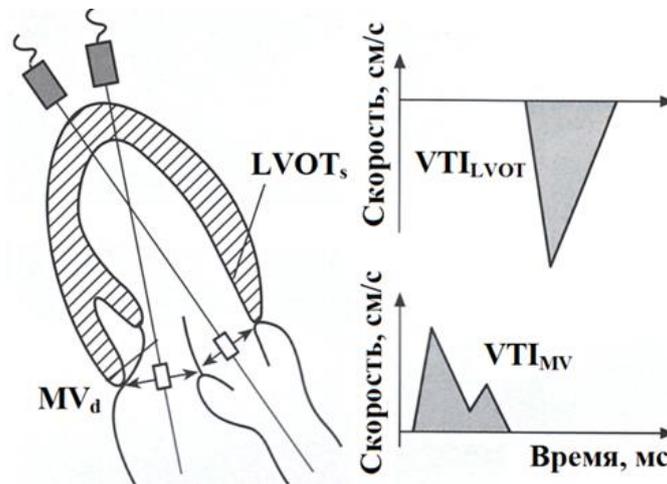


Рис. 14. Схема расчета митрального регургитирующего объема. Общий ударный объем рассчитывают в выносящем тракте левого желудочка (для расчета необходимы диаметр выносящего тракта в фазе систолы LVOTs и интеграл скорость–время кровотока — VTI_{LVOT}). Трансмитральный ударный объем рассчитывают через митральное кольцо (для расчета необходимы диаметр митрального кольца в диастолу MVd и интеграл скорость–время на митральном клапане — VTI_{MV}). Регургитирующий объем равен разнице общего ударного объема и трансмитрального ударного объема

Общий ударный объем может быть получен в режиме импульсно-волновой доплерографии или при расчете в 2D-режиме биплановой методикой из разницы конечно-диастолического и конечно-систолического объемов.

Разница между объемным кровотоком через два клапана представляет собой регургитирующий объем (RV):

$$RV = SV_{LVOT} - SV_{MV},$$

где SV_{LVOT} — ударный объем в выносящем тракте левого желудочка, SV_{MV} — ударный объем через клапанное кольцо митрального клапана.

Методика не может быть использована в присутствии митральной регургитации, превышающей незначительную степень.

Критерии оценки степени аортальной регургитации по величине регургитирующего объема:

1. Незначительная — < 30 мл/удар.
2. Незначительно-умеренная — 30–44 мл/удар.
3. Умеренно-тяжелая — 45–59 мл/удар.
4. Тяжелая — ≥ 60 мл/удар.

Фракцию регургитирующего объема рассчитывают как отношение регургитирующего объема к общему ударному объему.

Критерии оценки степени аортальной регургитации по величине фракции регургитирующего объема:

1. Незначительная — $< 30\%$.
2. Незначительно-умеренная — 30–39 %.
3. Умеренно-тяжелая — 40–49 %.
4. Тяжелая — $\geq 50\%$.

Площадь эффективного регургитирующего отверстия рассчитывают как отношение регургитирующего объема к интегралу скорость–время потока регургитации (VTI_{Reg}), рассчитанному в режиме непрерывно-волновой доплерографии:

$$EROA = \frac{RV}{VTI_{reg}}$$

Критерии тяжелой аортальной регургитации аналогичны методике *PISA*: регургитирующий объем ≥ 60 мл, $EROA \geq 0,3$ см².

НЕПРЕРЫВНО-ВОЛНОВАЯ ДОПЛЕРОГРАФИЯ

Плотность спектра аортальной регургитации

Плотность спектра аортальной регургитации в сравнении с плотностью спектра антеградного потока, качественно характеризует объем регургитации. Однако спектральная плотность регургитации детерминирована направлением основного потока и параструй в ультразвуковом луче, а также возможностью регургитирующей струи распространяться и вовлекать прилегающие слои форменных элементов крови в параструи.

Скорость диастолического замедления аортальной регургитации или время полуспада диастолического градиента давления

Скорость диастолического замедления аортальной регургитации или время полуспада диастолического градиента давления (*РНТ*) отражает скорость выравнивания диастолического давления между аортой и левым желудочком. С увеличением тяжести регургитации диастолическое аортальное давление снижается более быстро, конечно-диастолическая скорость регургитации становится меньше, поэтому *РНТ* укорачивается (рис. 15).

Диастолическая скорость аортальной регургитации также детерминируется диастолической податливостью левого желудочка. Время полуспада диастолического градиента давления может укорачиваться при подъеме диастолического давления в левом желудочке, вазодилататорной терапии. Время полуспада градиента давления удлиняется или нормализуется при хронической адаптации левого желудочка к тяжелой аортальной регургитации.

Критерии оценки значимости аортальной регургитации по величине времени полуспада градиента давления (РНТ):

1. Незначительная: время полуспада градиента давления > 500 мс.
2. Умеренная: *РНТ* имеет промежуточные значения.
3. Тяжелая: время полуспада градиента давления < 200 мс.

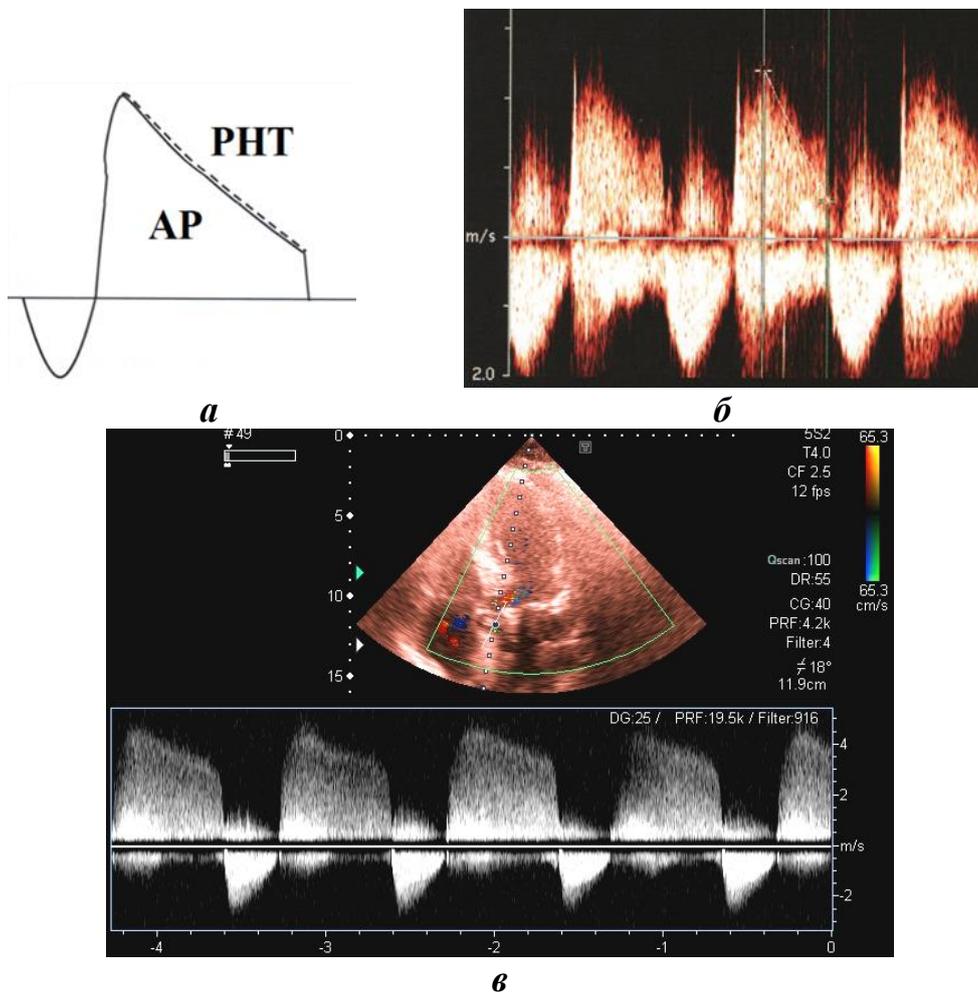


Рис. 15. Примеры оценки аортальной регургитации по времени полуспада диастолического градиента давления:

a — схема расчета времени полуспада диастолического градиента давления (РНТ) аортальной регургитации (АР); *б* — тяжелая острая аортальная регургитация с коротким РНТ в режиме непрерывно-волновой доплерографии; *в* — умеренная хроническая аортальная регургитация

КЛАССИФИКАЦИЯ АОРТАЛЬНОЙ РЕГУРГИТАЦИИ

Аортальную регургитацию разделяют на *острую* и *хроническую*. Остро возникшая аортальная регургитация формируется при наличии специфических причин, например, расслоения аорты, имеет различную степень тяжести, вызывает значительное нарушение гемодинамики.

Хроническая аортальная регургитация может быть классифицирована следующим образом:

1. Незначительная (функциональная).
2. Незначительно-умеренная.
3. Умеренная.
4. Умеренно-тяжелая.
5. Тяжелая.

Критерии оценки тяжести аортальной регургитации приведены в табл. 4–6.

**Качественные и количественные параметры, используемые
для классификации аортальной регургитации**

Группы параметров	Незначительная	Умеренная	Тяжелая
Структурные параметры			
Размер левого желудочка	Нормальный ¹	Нормальный или дилатированный	Обычно дилатированный ²
Створки аортального клапана	Нормальные или аномальные	Нормальные или аномальные	Аномальные / Молотящая створка, широкий дефект коаптации
Допплеровские параметры			
Ширина струи в LVOT (ЦДК) ³	Маленькая при центрально распространяющейся струе	Промежуточная	Большая при центрально распространяющейся струе; вариабельная при эксцентричной струе
Плотность спектра регургитации (CW)	Неполный или слабый	Плотный	Плотный
Скорость замедления потока регургитации РНТ, мс ⁴	Медленная > 500	Умеренная 500–200	Быстрая < 200
Диастолическая реверсия кровотока в нисходящей аорте (PW)	Короткая, раннедиастолическая	Промежуточная	Видная, голодиастолическая, конечно-диастолическая скорость потока > 20 см/с
Количественные параметры⁵			
Ширина VC, см	< 0,3	0,3–0,6	> 0,6
Ширина струи / диаметр LVOT, % ³	< 25	25–45 46–64	≥ 65
CSA струи / CSA LVOT, % ³	< 5	5–20 21–59	≥ 60
Регургитирующий объем, мл/удар	< 30	30–44 45–59	≥ 60
Фракция регургитирующего объема, %	< 30	30–39 40–49	≥ 50
EROA, мм ²	< 10	10–19 20–29	≥ 30

Примечания: ¹ Если нет других причин дилатации левого желудочка. Нормальные размеры в 2D-режиме: левый желудочек по короткой оси ≤ 2,8 см/м²; конечно-диастолический объем ≤ 82 мл/м².

² Исключением является острая аортальная регургитация, в случае если не прошло время, необходимое для дилатации левого желудочка.

³ Предел Найквиста в диапазоне 50–60 см/с.

⁴ РНТ уменьшается при возрастании диастолического давления в левом желудочке и вазодилататорной терапии, может увеличиваться при хронической адаптации к тяжелой аортальной регургитации.

⁵ Количественные параметры субклассифицируют умеренную регургитацию на подгруппы: незначительно-умеренная и умеренно-тяжелая.

Эхокардиографические и доплеровские параметры, используемые при оценке тяжести аортальной регургитации: преимущества, недостатки

Параметры	Преимущества	Недостатки
<i>Структурные параметры</i>		
Размер левого желудочка	Дилатация чувствительна для хронической тяжелой аортальной регургитации, важна для прогноза. Нормальный размер практически исключает тяжелую хроническую аортальную регургитацию	Дилатация может быть вызвана другими причинами. Размер камер может быть нормальным при острой тяжелой аортальной регургитации
Створки аортального клапана	Обычно аномалия при тяжелой аортальной регургитации. Молотящая створка специфична для тяжелой аортальной регургитации	Низкая точность, можно существенно недооценить или переоценить патологическое изменение
<i>Доплеровские показатели</i>		
Ширина / площадь струи в выносящем тракте левого желудочка в режиме ЦДК	Простая, очень чувствительная методика для скрининговой оценки аортальной регургитации	Расширение ниже регургитирующего отверстия непредсказуемо; недооценка тяжести эксцентричной аортальной регургитации
Ширина перешейка регургитации VC, см	Простая количественная методика, хороша для идентификации незначительной и тяжелой аортальной регургитации	Не используется для оценки нескольких струй регургитации, небольшой величины, небольшая ошибка измерения приведет к большой погрешности в определении значимости аортальной регургитации
Метод PISA	Количественный. Обеспечивает расчет тяжести поражения — EROA и оценку перегрузки объемом (регургитирующий объем)	Ограничением является кальцификация аортального клапана. Не применима при нескольких струях регургитации, менее точна при эксцентричной струе. Обеспечивает расчет пикового кровотока и максимальной EROA. Недооценивает при аневризме аорты. Ограниченный опыт применения
Количественные расчеты — PW	Количественный метод, основанный при нескольких струях и эксцентричных регургитациях. Обеспечивает расчет тяжести поражения — EROA и оценку перегрузки объемом (регургитирующий объем)	Ограничение — комбинированная аортальная и митральная регургитация, можно использовать в расчете кровотока через легочный клапан
Плотность доплеровского спектра регургитации (CW)	Простая методика. Неполная или слабая струя указывает на незначительную AP	Качественная методика; частичное совпадение при умеренной и тяжелой аортальной регургитации, вспомогательный признак

Параметры	Преимущества	Недостатки
Допплеровские показатели		
Скорость замедления потока регургитации РНТ, мс (CW)	Простая методика	Качественная методика; зависит от изменений диастолического давления в левом желудочке и аорте
Диастолическая реверсия кровотока в нисходящей аорте (PW)	Простая методика	Зависима от жесткости стенки аорты, короткая фаза реверсии кровотока является нормой

Таблица 6

Количественные параметры специфических и вспомогательных критериев в градации аортальной регургитации

Признаки	Градация аортальной регургитации		
	незначительная	умеренная	тяжелая
Специфические	Центральная струя шириной < 25 % от диаметра LVOT ¹ ; ширина перешейка регургитации (VC) < 0,3 см ¹ ; отсутствие или небольшая (краткая) ранняя диастолическая реверсия потока в нисходящем отделе грудной аорты	Признаки тяжести аортальной регургитации, превышающие незначительную, но не достигающие критериев тяжелой	Центральная струя, ширина ≥ 65 % от диаметра LVOT ¹ ; ширина перешейка регургитации (VC) > 0,6 см ¹
Вспомогательные	Время полуспада градиента давления АР (РНТ) > 500 мс; нормальный размер ЛЖ ²	Промежуточные показатели	Время полуспада градиента давления АР (РНТ) < 200 мс; голодиастолическая реверсия потока в нисходящей аорте; умеренная или значительная дилатация ЛЖ ³
Расчетные параметры ⁴ : – регургитирующий объем, мл/удар; – фракция регургитации, %; – EROA, мм ²	< 30 < 30 < 10	30–44 45–59 30–39 40–49 10–19 20–29	≥ 60 ≥ 50 ≥ 30

Примечания: ¹ При пределе Найквиста в диапазоне 50–60 см/с.

² Размер левого желудочка (ЛЖ) используется только при хронической аортальной регургитации. Нормальный размер ЛЖ в 2D-режиме: по короткой оси ≤ 2,8 см/м², конечно-диастолический объем ≤ 82 мл/м².

³ При отсутствии других причин для дилатации ЛЖ.

⁴ Количественные параметры субклассифицируют умеренную регургитацию на подгруппы: незначительно-умеренная и умеренно-тяжелая.

САМОКОНТРОЛЬ УСВОЕНИЯ ТЕМЫ

1. Скорость распространения ультразвука определяется:

- а) частотой;
- б) амплитудой;
- в) длиной волны;
- г) периодом;
- д) средой.

2. Скорость распространения ультразвука возрастает:

- а) если плотность среды возрастает;
- б) плотность среды уменьшается;
- в) упругость возрастает;
- г) плотность, упругость возрастают;
- д) плотность уменьшается, упругость возрастает.

3. Эффективная площадь аортального клапана при тяжелом стенозе составляет:

- а) менее $1,5 \text{ см}^2$;
- б) менее 1 см^2 ;
- в) менее $0,7 \text{ см}^2$.

4. Пиковая систолическая скорость трансортального потока при тяжелом аортальном стенозе составляет:

- а) $> 3,0 \text{ м/с}$;
- б) $> 3,5 \text{ м/с}$;
- в) $> 4,0 \text{ м/с}$.

5. Средний трансклапанный градиент при тяжелом стенозе составляет:

- а) более 30 мм рт. ст.;
- б) более 40 мм рт. ст.;
- в) более 50 мм рт. ст.

6. Величина перешейка регургитации при тяжелой аортальной регургитации составляет:

- а) $> 0,3 \text{ см}$;
- б) $> 0,6 \text{ см}$;
- в) $> 0,8 \text{ см}$.

7. Площадь эффективного регургитирующего отверстия при тяжелой аортальной регургитации составляет:

- а) $\geq 0,15 \text{ см}^2$;
- б) $\geq 0,25 \text{ см}^2$;
- в) $\geq 0,30 \text{ см}^2$.

8. Признаком тяжелой аортальной регургитации является голодиастолическая реверсия потока в нисходящей аорте с конечно-диастолической скоростью:

а) > 10 см/с;

б) > 15 см/с;

в) > 20 см/с.

9. Величина регургитирующего объема при тяжелой аортальной регургитации составляет:

а) ≥ 45 мл/удар;

б) ≥ 55 мл/удар;

в) ≥ 60 мл/удар.

10. Величина фракции регургитирующего объема при тяжелой аортальной регургитации составляет:

а) ≥ 50 %;

б) ≥ 40 %;

в) ≥ 30 %.

Ответы: 1 — д; 2 — д; 3 — б; 4 — б; 5 — б; 6 — б; 7 — в; 8 — в; 9 — в; 10 — а.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жерко, О. М. Клиническая трансторакальная эхокардиография. Практическое руководство для врачей / О. М. Жерко. – 2-е изд., доп. и перераб. – Минск : Альфа-книга, 2020. – 848 с.
2. *Диагностика* и лечение пациентов (взрослое население) со стенозом аортального клапана при оказании медицинской помощи в стационарных условиях : клинический протокол : утв. постановлением М-ва здравоохранения Респ. Беларусь от 21 дек. 2022 г. № 123. – 17 с. – URL: <https://pravo.by> (дата обращения: 09.02.2023).
3. *The practice of clinical echocardiography* / С. М. Otto [et al.] ; ed. С. М. Otto. – 5th ed. – Philadelphia : Elsevier, 2017. – 965 p.
4. *Recommendations on the echocardiographic assessment of aortic valve stenosis: a focused update from the European Association of Cardiovascular Imaging and the American Society of Echocardiography* / Н. Baumgartner [et al.] // J. Am. Soc. Echocardiogr. – 2017. – Vol. 30. – P. 372–392.
5. *Recommendations for the use of echocardiography in the evaluation of rheumatic heart disease: a report from the American Society of Echocardiography* / N. G. Pandian [et al.] // J. Am. Soc. Echocardiogr. – 2023. – Vol. 36. – P. 3–28.
6. *World Heart Federation criteria for echocardiographic diagnosis of rheumatic heart disease — an evidence-based guideline* / B. Reményi [et al.] // Nat. Rev. Cardiol. – 2012. – Vol. 9. – P. 297–309.
7. *ESC Guidelines for the management of grown-up congenital heart disease (new version 2010)*. The Task Force on the Management of Grown-up Congenital Heart Disease of the European Society of Cardiology (ESC). Endorsed by the Association for European Paediatric Cardiology (AEPIC) / Н. Baumgartner [et al.] // Eur. Heart J. – 2010. – Vol. 31. – P. 2915–2957.
8. *2021 ESC/EACTS Guidelines for the management of valvular heart disease* / A. Vahanian [et al.] // Eur. Heart J. – 2021.
9. *Recommendations for evaluation of the severity of native valvular regurgitation with two-dimensional and doppler echocardiography: a report from the American Society of Echocardiography’s Nomenclature and Standards Committee and The Task Force on Valvular Regurgitation, developed in conjunction with the American College of Cardiology Echocardiography Committee, The Cardiac Imaging Committee Council on Clinical Cardiology, the American Heart Association, and the European Society of Cardiology Working Group on Echocardiography* / W. A. Zoghbi [et al.] // J. Am. Soc. Echocardiogr. – 2003. – Vol. 16. – P. 777–802.
10. *Recommendations for the echocardiographic assessment of native valvular regurgitation: an executive summary from the European Association of Cardiovascular Imaging* / P. Lancellotti [et al.] // Eur. Heart J. – Cardiovasc. Imaging. – 2013. – Vol. 14. – P. 611–644.
11. *Recommendations for noninvasive evaluation of native valvular regurgitation: a report from the American Society of Echocardiography developed in collaboration with the Society for Cardiovascular Magnetic Resonance* / W. A. Zoghbi [et al.] // J. Am. Soc. Echocardiogr. – 2017. – Vol. 30. – P. 303–371.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Мотивационная характеристика темы.....	3
Стеноз аортального клапана	4
Аортальная регургитация.....	24
Импульсно-волновая доплерография	33
Непрерывно-волновая доплерография	35
Самоконтроль усвоения темы.....	40
Список использованной литературы	42

Учебное издание

Жерко Ольга Михайловна

**УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ДИАГНОСТИКА
ПАТОЛОГИИ АОРТАЛЬНОГО КЛАПАНА**

Учебно-методическое пособие

Ответственная за выпуск О. М. Жерко
Корректор Н. С. Кудрявцева
Компьютерная вёрстка Н. М. Федорцовой

Подписано в печать 04.06.25. Формат 60×84/16. Бумага писчая «PROJECTA Special».
Ризография. Гарнитура «Times».
Усл. печ. л. 2,56. Уч.-изд. л. 2,41. Тираж 50 экз. Заказ 392.

Издатель и полиграфическое исполнение: учреждение образования
«Белорусский государственный медицинский университет».
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 1/187 от 24.11.2023.
Ул. Ленинградская, 6, 220006, Минск.