

9

Эхокардиография

Daniel G. Blanchard, MD
и Anthony N. DeMaria, MD

ВВЕДЕНИЕ

Эхокардиография — это исследование структуры и функции сердца с использованием изображений, полученных с помощью энергии ультразвука. В начале своего развития эхокардиография представляла собой примитивную одномерную методику, но в результате эволюции метода мы можем сегодня получать двух- и трехмерные изображения (2-D и 3-D) при положении датчика на поверхности грудной клетки, внутри пищевода, а также внутри сосудистых структур. Клинически ценные одномерные изображения (М-способ) стали доступными в конце 1960-х — в начале 1970-х годов. В середине 1970-х годов были разработаны аппараты с линейными датчиками, с помощью которых можно было получать двухмерные изображения работающего сердца. В конце концов, в результате технологического прогресса в настоящее время используются аппараты с фазовой решеткой. В дополнение к двухмерному изображению важным компонентом полного эхокардиографического исследования стал доплеровский анализ. Ультразвуковая доплеровская технология начала активно развиваться в начале 1980-х годов, в результате чего разработаны импульсно-волновая (PW — pulsed-wave) доплерография, непрерывно-волновая (CW — continuous-wave) доплерография и двухмерное цветное картирование кровотока. УЗ технология в кардиологии продолжает активно развиваться: недавними клиническими дополнениями стали трехмерное изображение (3-D), гармоническое изображение и контрастная эхокардиография.

ФИЗИКА И ПРИНЦИПЫ УЛЬТРАЗВУКА

Ультразвук является звуковой энергией, частота которой превышает диапазон, воспринимаемый слухом (более чем 20 000 Гц). Ультразвук вырабатывается датчиком, состоящим из электродов и пьезоэлектрического кристалла, который деформируется под воздействием электрического тока. Этот кристалл создает УЗ энергию, а после этого генерирует электрический сигнал, когда на него воздействуют отраженные УЗ волны. Ультразвук может применяться для диагностической визуализации. По аналогии со светом его можно сфокусировать в луч, подчиняющийся законам отражения (рефлексии) и рефракции. УЗ луч распространяется по прямой линии через среду с однородной плотностью, но часть энергии отражается, когда луч встречает интерфейс различных акустических сопротивлений. Эту отраженную энергию можно оценивать и использовать для конструирования изображения сердца (1).

Поскольку скорость ультразвука в мягких тканях относительно постоянная (примерно 1540 м/с), можно рассчитать расстояние от датчика до объекта, отражающего ультразвук, используя время, за которое УЗ волна проделывает круговой путь от

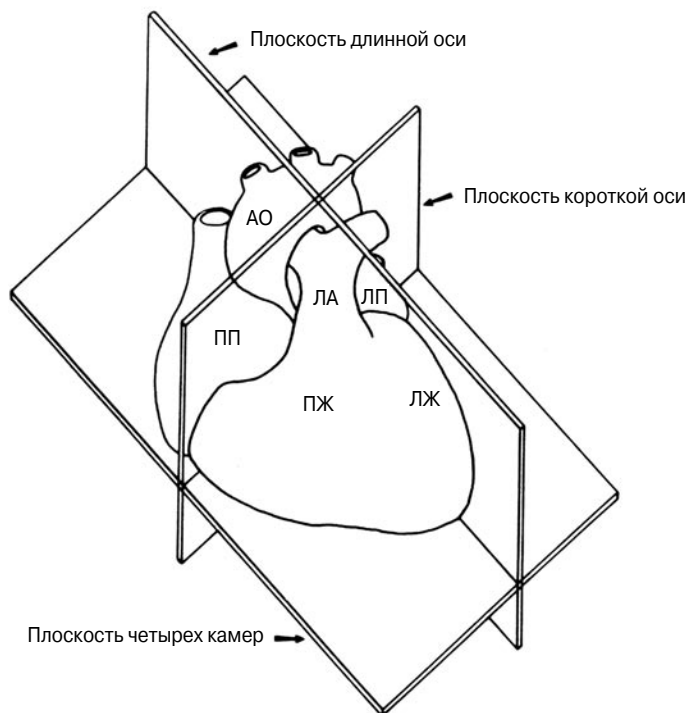


Рис. 1. Три основные томографические плоскости сканирования, используемые в эхокардиографии: плоскость длинной оси, короткой оси и четырех камер. ЛЖ — левый желудочек; ЛП — левое предсердие; ПЖ — правый желудочек; ПП — правое предсердие; ЛА — легочная артерия; АО — аорта. (Из источника 1, с разрешения.)

датчика до рефлектора и обратно. Специализированные компьютеры могут одновременно оценивать отражение ультразвука от множества структур и создавать их изображение на экране в виде одномерного изображения. Если УЗ луч с помощью электроники очень быстро переместить через сектор, можно создать двухмерное изображение.

Для получения изображений высокого качества важны характеристики ультразвука. Высокочастотная УЗ энергия позволяет получить великолепное разрешение, и такие лучи имеют тенденцию меньше отклоняться при прохождении дистанции, чем низкочастотные сигналы. Однако высокочастотные лучи имеют тенденцию к более выраженному отражению и рассеиванию при прохождении через ткань и, следовательно, подвергаются большему затуханию, чем низкочастотные сигналы. Таким образом, при эхокардиографическом исследовании нужно использовать самую высокую частоту ультразвука, позволяющую получить сигналы от целевого органа в поле зрения УЗ (1).

ДВУХМЕРНАЯ ЭХОКАРДИОГРАФИЯ: СТАНДАРТНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

УЗ луч позволяет получить изображение сердца с различных участков грудной клетки. Более двадцати лет назад изображение, полученное с помощью М-способа (определялось движение структур вдоль единственного УЗ луча), было основной методикой клинической эхокардиографии. Позже М-способ в основном был вытес-

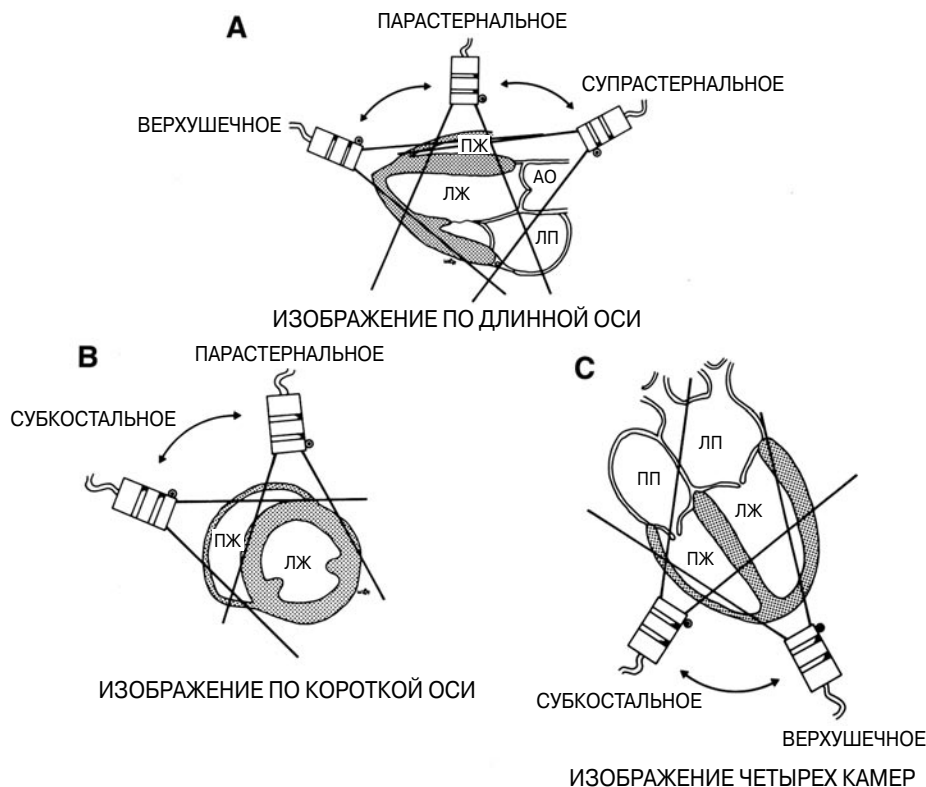


Рис. 2. Визуализация основных томографических плоскостей изображения сердца при разных положениях датчика. Проекцию плоскости длинной оси (А) можно получить из парастерального, супрастерального и верхушечного положений датчика; плоскости короткой оси (В) — из парастерального и субкостального положений; плоскости четырех камер (С) — из верхушечного и субкостального положений.

нен двухмерной визуализацией. С целью стандартизации двухмерного исследования Американское общество эхокардиографии выделяет три ортогональные плоскости изображения: длинная ось, короткая ось и плоскость четырех камер сердца (рис. 1) (2). *Важно помнить, что длинная и короткая оси являются осями сердца, а не всего тела.* Изображение в этих трех плоскостях можно получить из четырех основных положений датчика: парастерального, верхушечного, субкостального и супрастерального (рис. 2). Из парастерального доступа угол наклона датчика можно модифицировать таким образом, чтобы получить проекцию митрального клапана, основания сердца, трикуспидального клапана и выносящего отдела правого желудочка (рис. 3А, В). Из верхушечного и субкостального доступов можно исследовать оба желудочка и все клапаны сердца (рис. 3С–Е). Датчик также можно разместить в супрастеральном положении, чтобы получить проекцию грудного отдела аорты и больших сосудов.

Выполняя полное обследование с использованием этих плоскостей изображения и положений датчика, можно в большинстве случаев визуализировать клапаны сердца, оценить размеры камер и функцию желудочков. Эхокардиография является общепринятым методом оценки систолической функции сердца, оценка с ее помощью фракции выброса и региональной дисфункции желудочков хорошо коррелирует с данными, полученными с помощью ангиографических и радионуклидных методов

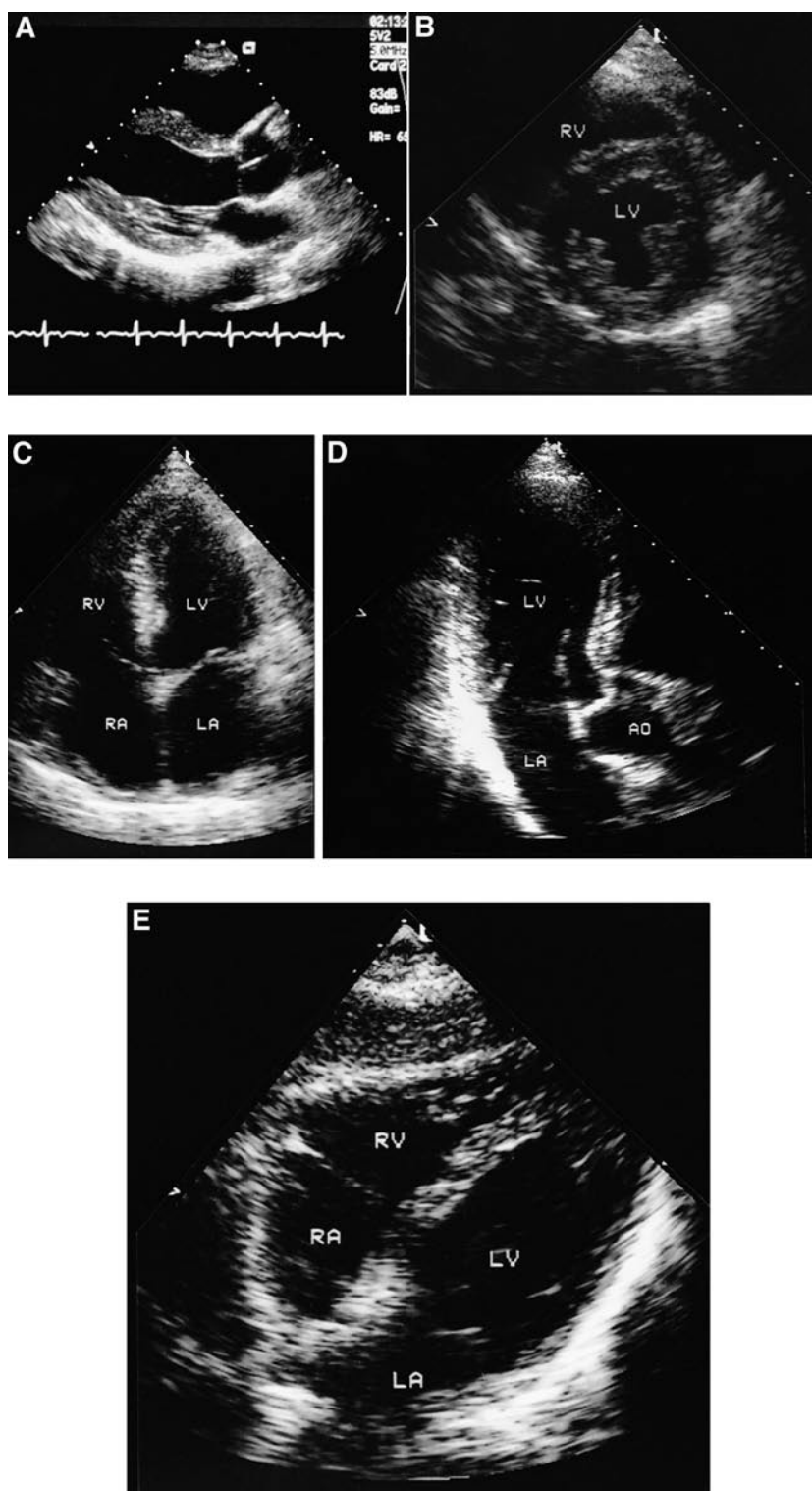


Рис. 3.

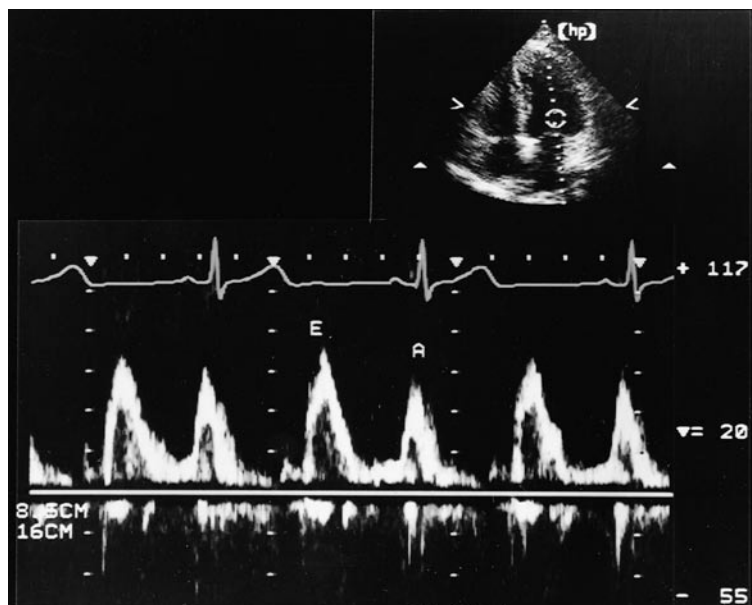


Рис. 4. Нормальная доплеровская кривая, полученная при расположении пробного объема импульсного доплера на уровне краев створок митрального клапана. На кривой изображены фазы диастолического кровотока, а именно: раннего быстрого наполнения (Е) и сокращения предсердия (А). Датчик находится в верхушечном положении. (Из источника 1, с разрешения.)

исследования. Однако у некоторых пациентов обследование может быть ограниченным вследствие УЗ артефактов, выраженного ожирения, тяжелого заболевания легких (когда легочная ткань занимает все пространство между грудной стенкой и сердцем), а также деформации грудной стенки.

Дополнительной методикой, позволившей улучшить качество изображения, является *гармоническая визуализация*. До недавнего времени все УЗ датчики передавали и получали сигналы на той же частоте. При гармоническом изображении датчик посылает сигналы при определенной (фундаментальной) частоте, но получает их при более высокой (гармонической) частоте (например, посылает при частоте 2,5 МГц и получает при частоте 5 МГц). Эта технология помогает ограничить артефакты и часто улучшает визуализацию региональной сократимости левого желудочка (ЛЖ) и анатомии сердца (3).

ДОПЛЕРОВСКАЯ ЭХОКАРДИОГРАФИЯ

Двухмерная визуализация дает много информации о структуре сердца, но не позволяет получить непосредственных данных о кровотоке. Эту важную сферу

Рис. 3. (А) Двухмерное изображение сердца из парастерального подхода по длинной оси. Камеры сердца коррелируют с диаграммой на рисунке 2А. (В) Плоскость короткой оси, пересекающая сердце на уровне папиллярных мышц. (С) Двухмерное изображение из верхушечного четырехкамерного подхода. (D) Двухмерное изображение из верхушечного трехкамерного подхода. (Е) Двухмерное изображение из субкостального четырехкамерного подхода. RA — правое предсердие; RV — правый желудочек; LV — левый желудочек; LA — левое предсердие; АО — аорта. (Из источника 1, с разрешения.)

изображения сердца помогла заполнить доплеровская эхокардиография. Когда УЗ сигнал встречается с движущимся объектом, частота отраженного сигнала изменяется, и величина этого изменения является пропорциональной скорости, с которой объект движется, а также направлению движения объекта. Скорость движущегося объекта можно рассчитать с помощью уравнения Доплера:

$$v = f_d \cdot c / 2f_o (\cos \theta),$$

где v — скорость исследуемых эритроцитов, f_d — зарегистрированный сдвиг доплеровской частоты, f_o — переданная частота и c — скорость УЗ сигнала (4). Угол θ является углом между УЗ лучом и направлением движения эритроцитов (то есть, если УЗ луч направлен параллельно кровотоку, угол равняется 0 градусов). Важность этого угла невозможно переоценить, поскольку компьютерная система эхокардиографа априори предполагает, что угол имеет 0 градусов. Если угол θ имеет более 20 градусов, могут возникать существенные ошибки в расчете скорости (5).

Таким образом, компьютерная система эхокардиографа оценивает изменение частоты (доплеровский сдвиг) ультразвука, отраженного эритроцитами, и транслирует этот сдвиг в скорости кровотока. Общепринято, что на спектральных доплеровских кривых (1) изображена скорость относительно времени и (2) отображен кровоток. Кровоток, направленный к датчику, — над произвольной «нулевой» линией, а кровоток, направленный от датчика, — ниже этой линии. Например, на рисунке 4 изображена нормальная доплеровская кривая кровотока через митральный клапан — типичное раннее наполнение (Е) и позднее наполнение вследствие сокращения предсердия (А). В этом примере датчик находится в верхушечном положении.

Имеется три основных формы доплеровского исследования: импульсно-волновое, непрерывно-волновое и цветное картирование кровотока. Используя методику определения диапазона (*«range gating»*), с помощью пробного объема импульсно-волнового доплера можно исследовать кровоток в отдельных, специфических участках в сердце и сосудах. Это свойство крайне полезно при оценке локальных нарушений кровотока, но вследствие феномена наложения спектров (*«aliasing»*) высокие скорости кровотока невозможно точно зарегистрировать (для более полного ознакомления с этим феноменом рекомендуем обратиться к ссылкам 5 и 6). Нормальная скорость кровотока через трикуспидальный клапан — 0,3–0,7 м/с, в легочной артерии — 0,6–0,9 м/с. Нормальная скорость кровотока через митральный клапан — 0,6–1,3 м/с, в выносящем тракте левого желудочка — 1,0–1,7 м/с.

В отличие от импульсно-волновой доплерографии, с помощью непрерывно-волновой доплерографии можно зарегистрировать все скорости кровотока, встречающиеся по ходу доплеровского УЗ луча. Поэтому, хотя мы и не имеем возможности точно определить локализацию нарушения кровотока, для непрерывно-волновой доплерографии не характерен артефакт *«aliasing»*, и этот метод можно успешно использовать для регистрации очень высоких скоростей кровотока. Цветное доплеровское картирование кровотока, являющееся существенным достижением в эхокардиографии, представляет собой развитие метода импульсно-волновой доплерографии. С помощью этой методики оценивается скорость кровотока в большом количестве пробных объемов по ходу различных путей УЗ лучей. После этого каждой скорости присваивается определенный цвет. Эта цветная карта накладывается на двухмерное изображение с целью получения цветного изображения кровотока в реальном времени. По условию, кровоток в направлении к датчику кодируется оттенками красного цвета, а кровоток в направлении от датчика — синего (рис. 5). Кровоток с очень большой скоростью окрашивается мозаикой цветов или зеленым цветом. Цветное доплеровское картирование кровотока является важной

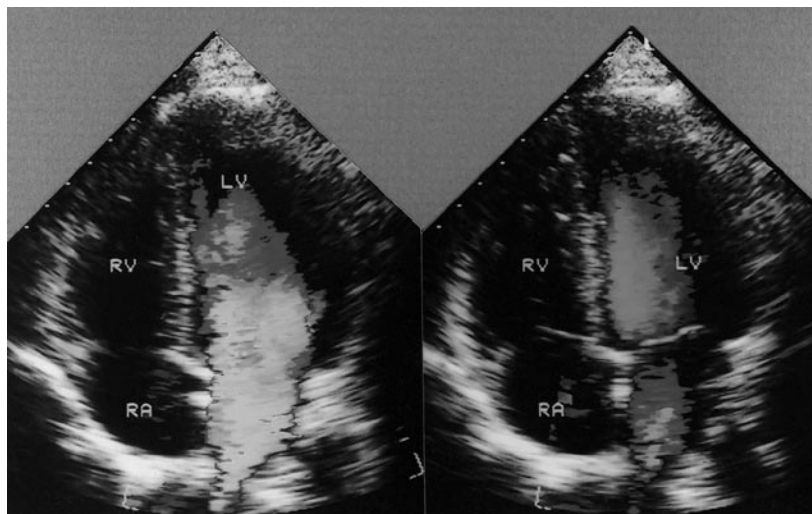


Рис. 5. Верхушечные четырехкамерные изображения: цветное картирование кровотока в диастолу и систолу. Красный цвет указывает на то, что кровь движется в направлении к датчику (диастолическое наполнение); синий цвет указывает на то, что кровь движется в направлении от датчика (систолический выброс). RA — правое предсердие; RV — правый желудочек; LV — левый желудочек. (См. цветную вкладку 1. Из источника 1, с разрешения.)

частью полного эхокардиографического исследования и великолепным методом скрининга и полуколичественной оценки клапанной регургитации и стенозов.

Недавно возник большой интерес к использованию типов диастолического кровотока через митральный клапан для оценки диастолической функции ЛЖ (7). В норме волна E больше волны A (см. рис. 4). В случаях нарушения расслабления ЛЖ раннедиастолический трансмитральный градиент давления уменьшается, в результате чего снижается пиковая скорость волны E и скорость замедления кровотока. В дополнение к этому, увеличивается пиковая скорость волны A (рис. 6A). У пациентов с очень выраженной диастолической дисфункцией и существенно повышенным давлением в левом предсердии и жесткостью ЛЖ соотношение E/A становится патологически высоким, а волна E характеризуется очень быстрым замедлением скорости кровотока (то есть коротким показателем времени замедления). Это так называемый рестриктивный тип наполнения ЛЖ (рис. 6B). В целом, предыдущее нарушение расслабления (малый пик E, большой пик A) представляет собой легкую степень диастолической дисфункции, тогда как рестриктивный тип свидетельствует о тяжелой диастолической дисфункции и существенно повышенном давлении в левом предсердии. Этот рестриктивный тип может встречаться при рестриктивной кардиомиопатии, выраженной систолической дисфункции ЛЖ, заболеваниях перикарда и тяжелом поражении клапанов сердца (например, при выраженной митральной или аортальной регургитации). Рестриктивный тип также ассоциируется с повышенным риском смерти у пациентов с далеко зашедшей сердечной недостаточностью.

Несмотря на возможность оценки диастолических свойств миокарда по типам трансмитрального кровотока, их надо интерпретировать не как патогномоничные признаки диастолической дисфункции, а скорее как компонент полного клинического и эхокардиографического исследования. С этой же целью также полезными являются оценка типа кровотока в легочных венах и визуализация кольца митрального клапана с помощью тканевой доплерографии. Эти методики позволяют выявить

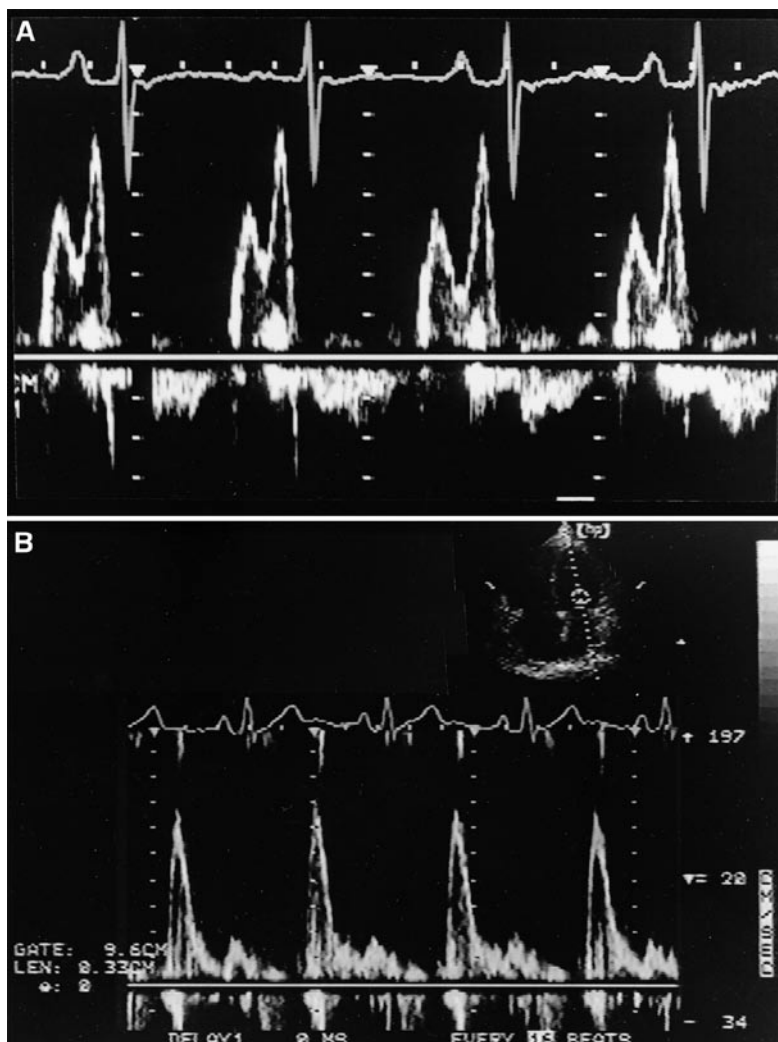


Рис. 6. (А) Импульсная доплерография: доплеровская кривая при нарушении расслабления левого желудочка. Датчик в верхушечном положении, а пробный объем доплера расположен на уровне краев митральных створок. (В) Доплеровская кривая при рестриктивных нарушениях диастолической функции. (Из источника 1, с разрешения.)

повышенное давление в левом предсердии, когда типы трансмитрального кровотока двусмысленные или (псевдо) нормальные (рис. 6С) (7). Рекомендуем обратиться к ссылке 7 для полного ознакомления с использованием ультразвука для оценки диастолической функции.

Уравнение Бернулли и непрерывности кровотока

Градиент в месте изолированного стеноза в сердце или сосуде можно оценить с помощью модифицированного уравнения Бернулли:

$$\text{Градиент давления} = 4 \left([\text{скорость в месте стенозированного отверстия}]^2 - [\text{проксимальная скорость}]^2 \right).$$

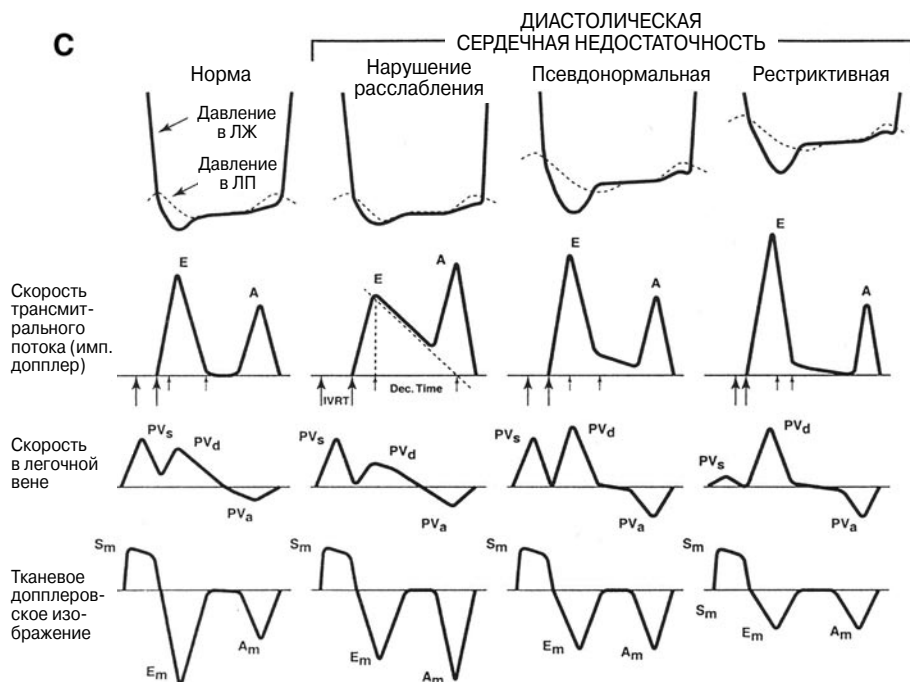


Рис. 6 (продолжение). (С) Доплеровская оценка прогрессирующей диастолической дисфункции: параллельно сопоставлены импульсная доплерография транзитного потока, доплеровская оценка кровотока в легочной вене и тканевая доплерография кольца митрального клапана. IVRT — период изоволюмического расслабления; Dec. Time — период замедления пика E; E — скорость раннего наполнения ЛЖ; A — предсердный компонент наполнения ЛЖ; PVs — систолическая скорость в легочной вене; PVd — диастолическая скорость в легочной вене; PVa — скорость в легочной вене, вызванная сокращением предсердия; Sm — систолическая миокардиальная скорость; Em — раннедиастолическая миокардиальная скорость; Am — миокардиальная скорость во время наполнения ЛЖ, вызванная сокращением предсердия. (Из источника 7, с разрешения.)

Если скорость кровотока проксимальнее места стеноза меньше 1,5 м/с, этот показатель проксимальной скорости можно игнорировать. В результате получаем уравнение, в котором градиент давления через дискретный стеноз в четыре раза превышает квадрат пиковой скорости через отверстие. Это уравнение можно использовать, чтобы рассчитывать градиенты давления через любое отверстие, ограничивающее кровоток (8). Кроме этого, если присутствует клапанная регургитация, уравнение Бернулли можно использовать для расчета градиентов давления через трикуспидальный и митральный клапаны. Это довольно ценная методика измерения давления в легочной артерии, поскольку пиковое давление в правом желудочке (ПЖ) и легочной артерии равно 4 (пиковая скорость TP)² плюс давление в правом предсердии (которое можно оценить при физикальном исследовании).

Согласно уравнению непрерывности кровотока произведение площади поперечного сечения A и скорости V является постоянным в закрытой системе кровотока:

$$A_1 V_1 = A_2 V_2$$

Наиболее часто уравнение непрерывности кровотока используют при расчете площади аортального клапана. Таким образом, произведение площади поперечного

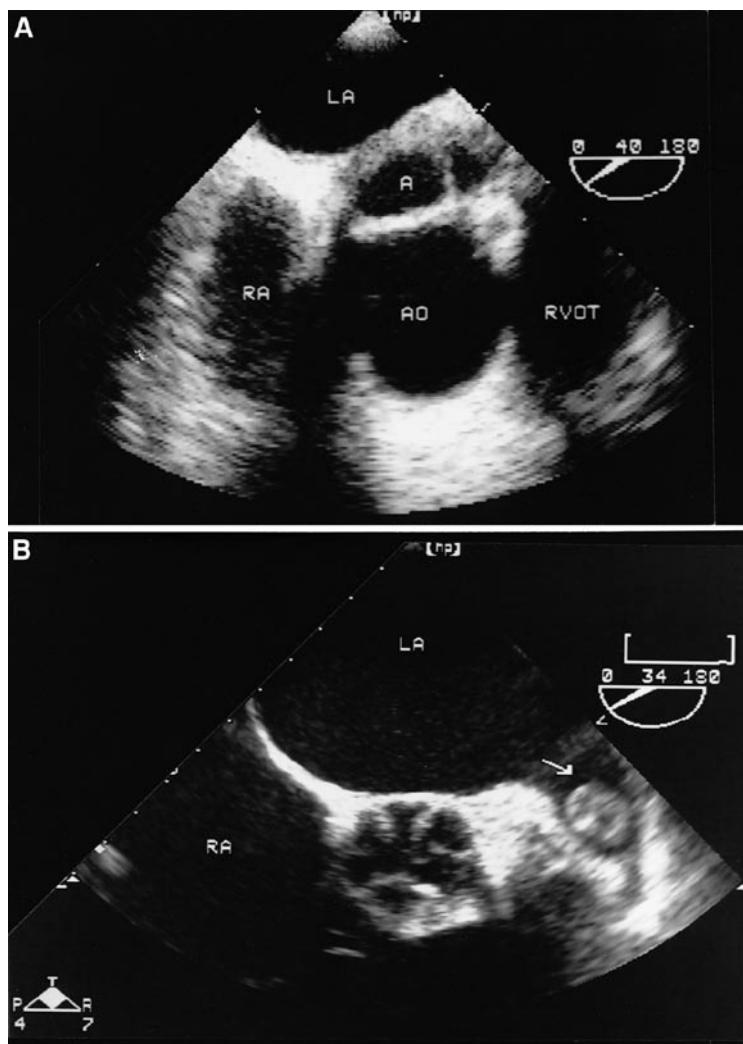


Рис. 8. (А) Изображение при трансэзофагеальной эхокардиографии по короткой оси через основание сердца. Между корнем аорты (АО) и левым предсердием (LA) имеется большая полость абсцесса с перегородками. (В) Изображение тромба в ушке левого предсердия (стрелка), полученное при трансэзофагеальной эхокардиографии. RVOT — выносящий тракт правого желудочка. (Из источника 1, с разрешения.)

ТРАНСЭЗОФАГЕАЛЬНАЯ ЭХОКАРДИОГРАФИЯ И ПОРТАТИВНЫЕ АППАРАТЫ

Иногда с помощью трансторакальной эхокардиографии (ТТЭ) не удастся получить адекватно детализированную информацию относительно анатомии сердца. Чаще всего это касается ситуаций, когда нужно оценить состояние задних структур сердца (а именно левое предсердие и митральный клапан), протезированных клапанов сердца, наличие небольших вегетаций или тромбов, а также состояние грудного отдела аорты. Трансэзофагеальная эхокардиография (ТЭЭ) — отличный выбор для таких ситуаций, поскольку пищевод большей своей частью находится непосредственно возле левого предсердия и грудного отдела аорты (10).

Изображения с помощью ТЭЭ можно получать с разнообразных позиций, но большинство авторов рекомендуют три основные позиции: (1) сзади от основания сердца, (2) сзади от левого предсердия и (3) с нижней поверхности сердца (рис. 7А,В). Имеется несколько специфических ситуаций, при которых рекомендуется проводить ТЭЭ. К ним относится оценка: (1) анатомии сердца, когда ТЭЭ является неадекватной, (2) вегетаций на клапанах и инфекционных интракардиальных абсцессов (рис. 8А), (3) функции протезированного клапана, (4) источников сердечной эмболии, включая тромбы в ушке левого предсердия (рис. 8В), открытое овальное окно и аневризму межпредсердной перегородки, и (5) расслоения аорты и атеросклероза (11).

В результате технологического прогресса не так давно были созданы портативные эхокардиографические аппараты небольшого размера и веса (2,5–3 кг). Эти переносные аппараты существенно облегчают исследование сердца врачом в любой ситуации. Однако качество изображения, которое можно получить на этих сканерах, уступает качеству изображения, получаемого на современных стационарных УЗ аппаратах. Кроме этого, большинство переносных сканеров не дают возможности выполнить спектральную доплерографию и цветное картирование кровотока. На сегодня не имеется соответствующих рекомендаций относительно использования портативных УЗ аппаратов. В нескольких исследованиях продемонстрировано преимущество портативных аппаратов при выявлении патологии сердца и аорты, тогда как в других сообщениях его не выявили, особенно у критически больных пациентов.

Эта сфера активно развивается, но в данный момент лучше всего рассматривать эхокардиографическое исследование с помощью портативных аппаратов как продолжение обследования стетоскопом. Если исследование выполняет опытный врач, диагностические возможности такого сканирования по крайней мере равны аускультации и, вероятно, существенно выше (12).

КОНТРАСТНАЯ ЭХОКАРДИОГРАФИЯ

За последние несколько лет наблюдается бурное развитие контрастной эхокардиографии. На протяжении многих лет основным контрастным агентом, используемым при эхокардиографическом исследовании, был «возбужденный» физраствор, содержащий многочисленные микропузырьки воздуха — сильные отражатели УЗ энергии. Когда такой физраствор ввести внутривенно, он вызывает густое контрастирование правых отделов сердца, и это великолепный метод выявления внутрисердечных шунтов. Поскольку микропузырьки воздуха быстро растворяются в кровотоке, они не проходят через легочную циркуляцию. Поэтому любые микропузырьки воздуха, попавшие в левые отделы сердца, должны попасть туда через шунт (рис. 9).

Непосредственная инъекция «возбужденного» физраствора в аорту или ЛЖ вызывает УЗ контрастирование, соответственно, миокарда и полости ЛЖ (13). Контрастирование ЛЖ существенно улучшает УЗ изображение и определение краев эндокарда, но внутриаrтериальная инъекция контраста определенно не практична для рутинного использования. Обширные исследования за последние несколько лет привели к созданию нескольких эхокардиографических контрастных агентов (включая Optison™, Definity® и Imagent™), которые не разрушаются в легочном русле, а поступают в левые отделы сердца. Нынешняя генерация этих агентов представляет собой микропузырьки, наполненные вместо воздуха разнообразными перфлюорокарбоновыми газами. Поскольку данные газы являются плотными и намного менее растворимыми в крови, чем воздух, они могут сохраняться в циркуляции, вызывая постоянное и густое контрастирование полости ЛЖ. Эти микропузырьки также про-

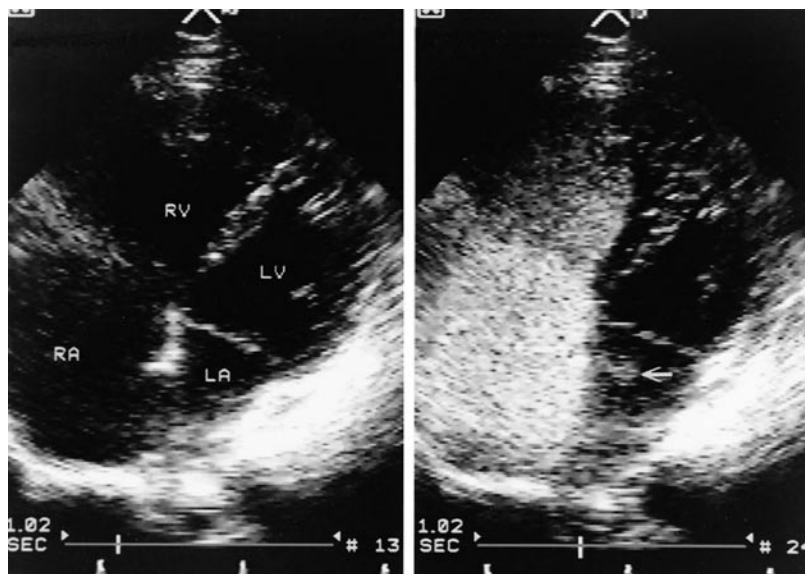


Рис. 9. Инъекция микропузырькового контраста, правого предсердия (RA) в левое предсердие (LA). RV — правый желудочек; LV — левый желудочек. (Из источника 1, с разрешения.)

ходят вместе с кровью через коронарные сосуды, и новая технология сегодня позволяет проводить количественную оценку миокардиального кровотока с помощью измерения характеристик транзита контраста через миокард. В дополнение к этому, гармоническое изображение усиливает отражение УЗ от микропузырьков контраста (резонирующих в ультразвуковом поле), в то время как оно уменьшает возврат сигнала от миокарда (который не резонирует) (14). Использование эхоконтрастных агентов особенно ценно при стресс-эхокардиографии, поскольку увеличение четкости границы эндокарда ЛЖ улучшает определение региональной дисфункции. Недавние исследования также продемонстрировали, что при проведении стресс-теста можно оценивать и региональные нарушения перфузии миокарда.

ЗАБОЛЕВАНИЯ КЛАПАНОВ СЕРДЦА

Аортальный клапан

Аортальный стеноз

Тонкие створки аортального клапана обычно удается хорошо визуализировать с помощью эхокардиографического метода. Поражение аортального клапана в большинстве случаев лучше всего визуализируется из парастеральных подходов. В случаях приобретенного (кальцифицирующего) аортального стеноза (АС) створки клапана существенно утолщены и кальцинированы, а их движение значительно ограничено (рис. 10). В случаях врожденного АС видно куполовидное движение створок в систолу, часто в сочетании с врожденными аномалиями створок клапана (например, двухстворчатый, одностворчатый). Попытки планиметрически определить площадь клапана с помощью ТТЭ обычно не были успешными, хотя планиметрическое определение при ТЭЭ давало хорошие результаты. Таким образом, стандартное двухмерное изображение позволяет точно определить наличие АС, но не его тяжесть.

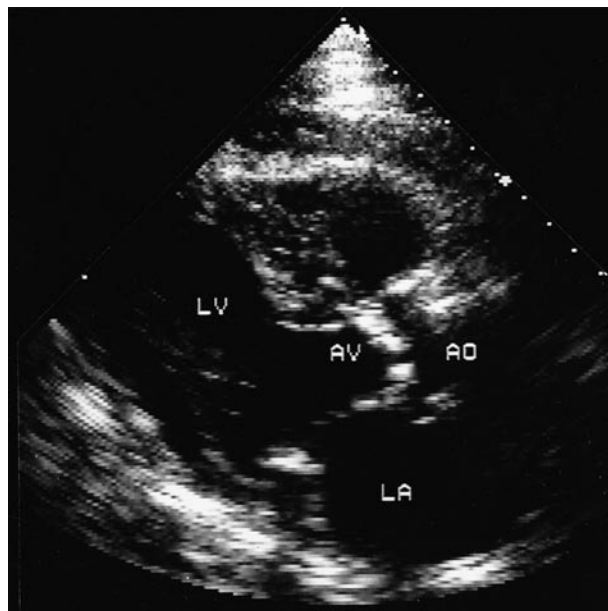


Рис. 10. Парастернальное изображение по длинной оси демонстрирует утолщенный, стенотический аортальный клапан (AV).

АО — аорта;

LV — левый желудочек;

LA — левое предсердие.

(Из источника 1, с разрешения.)

Краеугольным камнем количественного определения тяжести АС является доплеровское исследование. Непрерывно-волновая доплерография позволяет определить пиковую скорость кровотока через аортальный клапан, которую можно использовать для расчета пикового мгновенного систолического градиента с помощью модифицированного уравнения Бернулли. Как упоминалось ранее, площадь отверстия аортального клапана можно после этого рассчитать с помощью уравнения непрерывности следующим образом. Прежде всего, рассчитывают площадь ВТЛЖ проксимально от аортального клапана по формуле: πr^2 , где r — половина диаметра ВТЛЖ, измеренного при парастернальном изображении ЛЖ по длинной оси. После этого определяют скорость кровотока в ВТЛЖ с помощью импульсной доплерографии. Наконец, площадь отверстия клапана рассчитывают, умножив площадь ВТЛЖ на скорость кровотока в ВТЛЖ и разделив результат на пиковую скорость кровотока через стенотическое отверстие (9, 10). Эти расчеты довольно хорошо коррелируют с показателями, полученными при катетеризации, и являются достоверными, если скорость кровотока в ВТЛЖ меньше 1,5 м/с.

Аортальная недостаточность

В случаях аортальной недостаточности (АН) у части больных при двухмерной визуализации наблюдают неизмененные створки аортального клапана, в других случаях можно визуализировать аномалии створок, увеличение корня аорты, дилатацию ЛЖ и диастолическое трепетание передней створки митрального клапана. При острой тяжелой АН с помощью одномерной эхокардиографии (М-способ) выявляют раннее диастолическое прикрытие митрального клапана (нечастая, но очень важная находка). Хотя двухмерная визуализация может дать основание подозревать АН, доплеровское исследование является намного более полезным и позволяет легко выявить патологический кровоток. Действительно, цветное доплеровское картирование кровотока является очень быстрым скрининговым методом выявления АН, чувствительность которого составляет около 100%. Однако количественно оценить АН намного труднее.

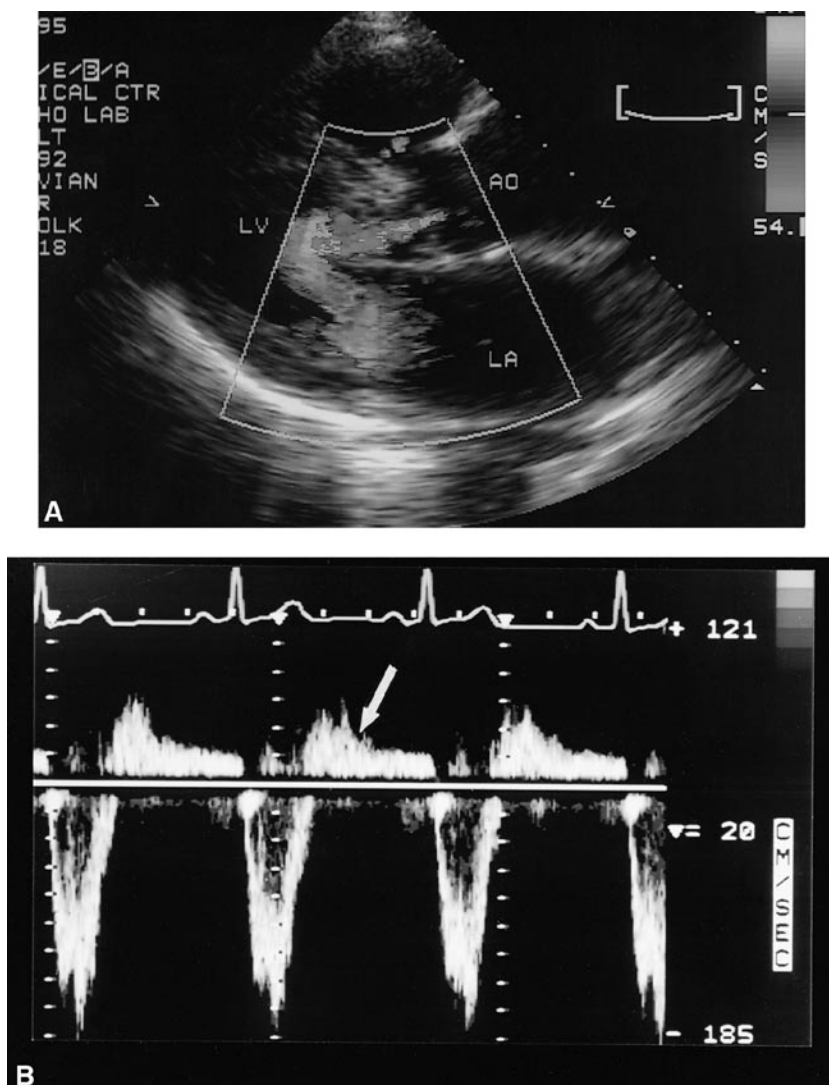


Рис. 11. (А) Парастернальное изображение по длинной оси, показано многоцветную струю (свидетельствует о турбулентном кровотоке) аортальной регургитации в выносящем тракте левого желудочка. Ширина струи узкая, что свидетельствует о легкой степени регургитации. (См. цветную вкладку 2). (В) Кривая, полученная при импульсной доплерографии (из супрастернального положения датчика) в случае тяжелой аортальной регургитации. Пробный объем находится в нисходящем отделе грудной аорты, присутствует голодиастолическая реверсия кровотока (стрелка). АО — аорта; LA — левое предсердие; LV — левый желудочек. (Из источника 1, с разрешения.)

Имеется несколько подходов к полуколичественной оценке АН с помощью эхокардиографии. При первом используется цветное картирование кровотока. При изображениях из парастернального подхода тяжесть АН можно оценить по диаметру (или площади поперечного сечения) цветной струи в ВТЛЖ. При легкой АН диаметр струи составляет менее 25% от диаметра выносящего тракта (рис. 11А), тогда как при тяжелой АН цветная струя часто занимает в диастолу более чем 75% ВТЛЖ. Признаки умеренной АН являются промежуточными.

Во втором методе непрерывно-волновая доплерография используется для расчета «периода снижения градиента давления наполовину» при АН (см. раздел «Митральный стеноз»). Данный параметр является функцией градиента между аортой и ЛЖ во время диастолы. При тяжелой АН этот градиент снижается очень быстро (следствием этого является короткий период снижения градиента давления наполовину), а при легкой АН градиент снижается намного более медленно (следствие этого — удлинение указанного периода). В целом, период снижения градиента давления наполовину от 200 до 250 мс или меньше дает серьезные основания заподозрить тяжелую АН.

При третьем методе используется импульсная доплерография, чтобы определить диастолическую реверсию кровотока в нисходящей аорте. Голодиастолическая реверсия кровотока свидетельствует о тяжелой АН (рис. 11В). Несколько других методов оценки тяжести АН (а именно, расчет объема потока регургитации и площади отверстия регургитации с использованием измерений конвергенции кровотока) не являются предметом рассмотрения в данном разделе (1).

В то время, как эхокардиографическая оценка АС выражается количественно и в большинстве случаев она точная, оценка АН в лучшем случае является полуквантитативной. Поэтому ключевое значение имеют клиническое обследование и сопоставление. Несмотря на это, эхокардиография является вполне полезным методом при заболеваниях аортального клапана и может помочь определить необходимое время для замены клапана.

Митральный клапан

МИТРАЛЬНЫЙ СТЕНОЗ

Выявление митрального стеноза (МС) было одним из самых ранних клинических применений ультразвука в кардиологии. Ревматический МС характеризуется ограничением подвижности и фиброзом митральных створок, главным образом по их краям. Створки иногда кальцинированы, обычно утолщены и демонстрируют характерное «куполообразное движение» во время диастолы (рис. 12А). Задняя створка клапана может подтягиваться вперед во время диастолы, что является следствием слияния по комиссурам с более длинной передней створкой. Левое предсердие практически всегда увеличено. При парастеральной проекции по короткой оси легко визуализируются спайки по комиссурам, в результате чего формируется характерный вид отверстия — «рыбий рот» (рис. 12В) (15). При доплерографии обнаруживается патологически высокая скорость диастолического кровотока через митральный клапан и часто удается выявить сосуществующую митральную регургитацию.

Количественную эхокардиографическую оценку тяжести МС можно выполнить двумя путями. Во-первых, площадь митрального отверстия можно измерить непосредственно планиметрически при изображении сердца из парастерального подхода по короткой оси. Нужно избегать артефактов, возникающих при чрезмерном усилении (gain), и внимательно искать наименьшую площадь отверстия на уровне дистальных краев створок. При правильном выполнении эта методика является точной и хорошо коррелирует с данными, полученными при катетеризации. Вторая часто используемая методика связана с определением «периода снижения градиента давления наполовину» (pressure half-time). Период снижения градиента давления наполовину — это интервал, необходимый для того, чтобы скорость трансмитрального кровотока снизилась от своего максимума до скорости, представляющей половину начального градиента давления. С увеличением тяжести МС скорость замедления кровотока снижается (то есть градиент давления между левым предсердием и ЛЖ

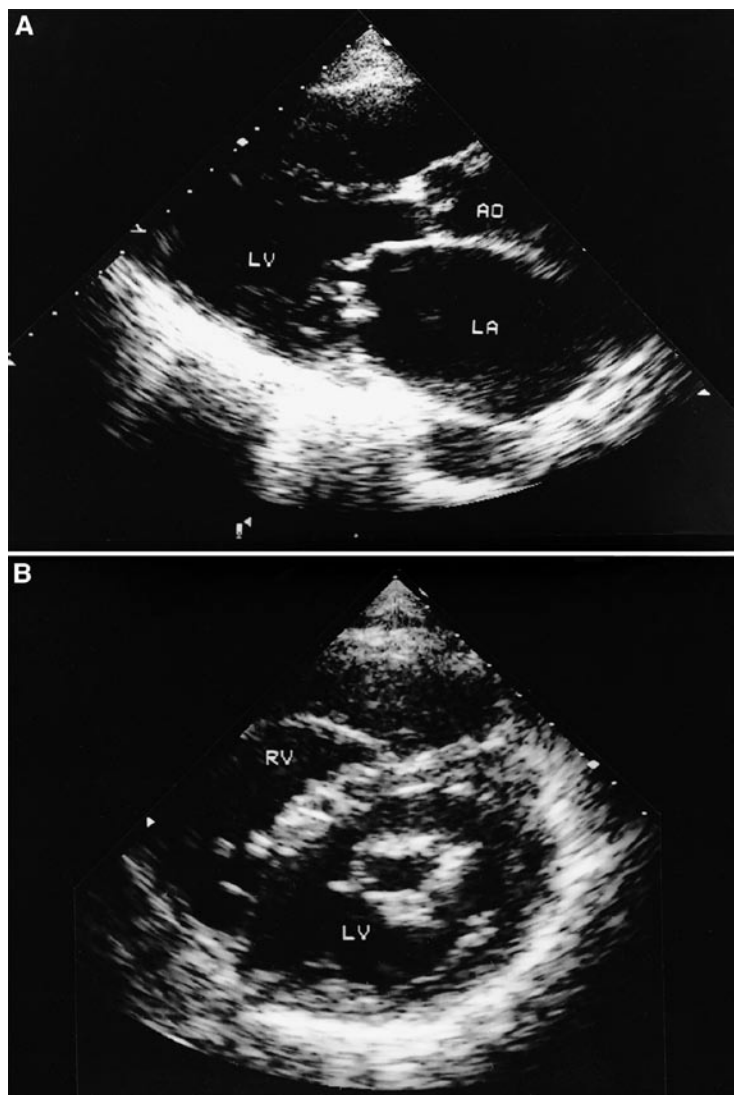


Рис. 12. (А) Парастеральное изображение по длинной оси в случае митрального стеноза. Левое предсердие (LA) увеличено, открытие митрального клапана ограничено и присутствует «куполообразное» движение передней створки митрального клапана. (В) Парастеральное изображение по короткой оси при митральном стенозе. RV — правый желудочек; LV — левый желудочек; АО — аорта. (Из источника 1, с разрешения.)

остается высоким на протяжении диастолы), в результате чего удлиняется время снижения градиента давления наполовину. Этот метод также хорошо коррелирует с планиметрическими измерениями, но неточен сразу после митральной вальвулопластики.

В дополнение к количественной оценке площади митрального отверстия эхокардиография помогает предсказать успех чрескожной митральной вальвулопластики. Была создана и проверена система баллов, базирующаяся на следующих четырех параметрах: утолщение митрального клапана, кальцификация, мобильность и вовлечение в процесс подклапанных структур. Каждый параметр оценивают по шкале

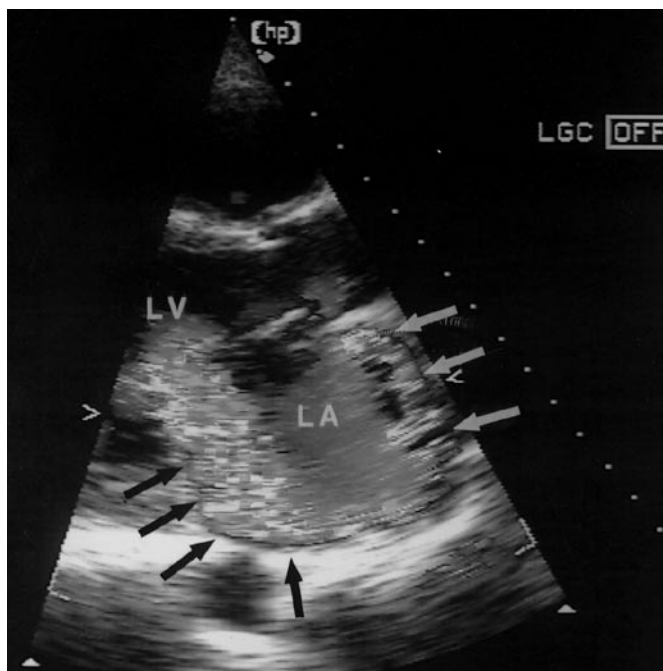


Рис. 13. Парастеральное изображение по длинной оси в случае тяжелой митральной регургитации. Цветная доплеровская струя направлена назад и является эксцентрической (черные стрелки). Струя «обнимает» стенку левого предсердия (LA) и делает заворот на своем пути к корню аорты (белые стрелки). LV — левый желудочек. (См. цветную вкладку 3. Из источника 1, с разрешения.)

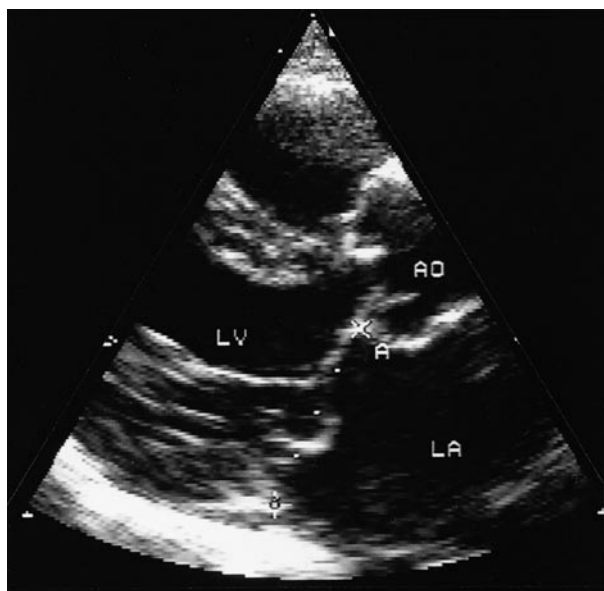


Рис. 14. Парастеральное изображение по длинной оси через митральный клапан в позднюю систолу. Плоскость кольца МК (A) обозначена прерывистой линией. Задняя створка пролабирует мимо уровня кольца. LA — левое предсердие; AO — аорта; LV — левый желудочек. (Из источника 1, с разрешения.)

от 1 до 4 (где 4 — наибольшая тяжесть) и отдельные компоненты суммируют. Количество баллов от 8 до 12 или больше позволяет предвидеть плохой результат вальвулопластики и повышенный риск осложнений.

МИТРАЛЬНАЯ РЕГУРГИТАЦИЯ

Как и в случае АН, эхокардиография — чрезвычайно точный метод для выявления митральной недостаточности (МН), однако ее количественная оценка более сложна. Двухмерное изображение при МН позволяет выявить утолщенные, аномальные створки митрального клапана (например, в случаях ревматического заболевания, миксоматозной дегенерации, пролапса митрального клапана или разрыва хорды митрального клапана). При тяжелой МН левое предсердие и левый желудочек часто увеличены. Допплеровская эхокардиография — первичный метод полуколичественной оценки МН. При цветном доплеровском картировании в левом предсердии в систолу выявляется струя мозаичного кровотока (следствие aliasing), и размер этой цветной струи в целом коррелирует с ангиографической тяжестью МН (рис. 13; см. цветную вкладку 3) (17). В то же время, при эксцентрически направленной митральной регургитации можно выявить цветную струю с обманчиво небольшой площадью поперечного сечения, даже когда вентрикулография левого желудочка демонстрирует тяжелую МН.

Для расчета объемов регургитации можно использовать волюметрический анализ (импульсно-волновая доплерография), однако точность этого метода ограничена. При количественной оценке МН помогает исследование легочных вен с помощью импульсной доплерографии (ТТЭ или ТЭЭ), поскольку систолическая реверсия кровотока в пределах легочной вены является довольно специфической для тяжелой МН. Недавно было продемонстрировано, что конвергенция кровотока является полезным маркером в случаях клапанной регургитации (18). При существенной митральной регургитации часто выявляют большую зону цветного кровотока высокой скорости (aliasing) проксимально от створок митрального клапана. Эта находка (даже при относительно небольшой цветной струе в левом предсердии) часто свидетельствует о МН, по крайней мере, средней тяжести.

ПРОЛАПС МИТРАЛЬНОГО КЛАПАНА

Эхокардиография является диагностическим методом выбора при диагностике пролапса митрального клапана. Данное состояние определяется как выпячивание назад створок митрального клапана в левое предсердие, при этом часть створок минует уровень кольца митрального клапана при парастеральном изображении по длинной оси ЛЖ (рис. 14). При одномерном изображении (М-способ) также можно определить пролапс митрального клапана, но этот метод менее чувствителен, чем двухмерное изображение.

При УЗ исследовании сердца хорошо визуализируется разрыв хорды. Обычно визуализируются вовлеченная хорда и створка, а также определяется тяжесть МН. ТЭЭ особенно полезна для оценки возможности реконструктивной операции на митральном клапане.

ПРОТЕЗИРОВАННЫЕ КЛАПАНЫ СЕРДЦА

Эхокардиография позволяет оценить анатомию и функцию биопротезов и механических клапанов сердца. Однако обычно оценка протезов значительно более ограничена, чем оценка нативных клапанов. Вследствие акустического затенения существенно осложняется визуализация участков, дистальных к протезированным

(особенно механическим) клапанам, а это ограничивает определение клапанной регургитации, тромбов и вегетаций. Вследствие этого ТЭЭ стала незаменимым методом оценки дисфункции протезированных клапанов и ассоциированных с ними аномалий.

Заболевание клапанов правых отделов сердца и легочная гипертензия

При двухмерной эхокардиографии можно выявить ревматическое поражение трикуспидального клапана (ТК) и клапана легочной артерии (ЛА), а также врожденный стеноз клапана ЛА. Цветное доплеровское картирование кровотока позволяет выявить регургитацию на ТК и клапане ЛА, а также провести полуколичественную оценку ее тяжести аналогично к оценке недостаточности митрального и аортального клапанов. Измерение пиковой скорости регургитации на ТК с помощью непрерывно-волновой доплерографии помогает оценить пиковое систолическое давление в ЛА и ПЖ (с помощью модифицированного уравнения Бернулли) (9).

При легочной гипертензии и перегрузке правого желудочка при двухмерной эхокардиографии выявляют увеличение ПЖ и правого предсердия, дилатацию ЛА и нижней полой вены, уплощение межжелудочковой перегородки (с потерей нормального искривления в направлении ПЖ) и гипертрофию свободной стенки ПЖ. Доплеровское исследование в таких случаях часто демонстрирует умеренную или тяжелую трикуспидальную регургитацию.

ЗАБОЛЕВАНИЯ АОРТЫ

Расслоение аорты

За последние несколько лет благодаря методу эхокардиографии фундаментально изменились диагностические подходы при подозрении на расслоение аорты. ТТЭ является довольно точным скрининговым методом при расслоении восходящей аорты (тип А), но не чувствительна для определения расслоения нисходящей аорты (тип В). К диагностическим находкам относятся дилатированная аорта с тонким линейным мобильным сигналом в ее просвете, представляющим собой отслоенный лоскут интимы. При цветном доплеровском картировании кровотока можно выявить нормальный кровоток или кровоток с высокой скоростью в истинном просвете и медленный (стагнирующий) кровоток в ложном просвете. Иногда можно определить вход в ложный канал. Хотя ТТЭ иногда бывает полезной, при расслоении аорты ТЭЭ стала диагностической процедурой выбора (12). Чувствительность и специфичность ТЭЭ не уступает магнитно-резонансной томографии. Кроме того, ТЭЭ имеет преимущество в портативности и скорости выполнения. В дополнение к этому во время исследования можно определить функцию ЛЖ и клапанов сердца. С помощью ТЭЭ можно также выявить тромбоз ложного просвета, травматическое пересечение аорты и интрамуральную гематому аорты (эту патологию все чаще выявляют и ее прогноз подобный прогнозу при расслоении аорты) (19).

Аневризма аорты и атеросклероз

Аневризмы аорты могут быть мешковидными или диффузными, а при эхокардиографическом исследовании они имеют вид фокальных или диффузных участков расширения аорты. С помощью ТТЭ можно выявить дилатацию восходящей аорты, а также можно иногда визуализировать аневризмы нисходящего отдела грудной и абдоминального отдела аорты (рис. 15). Также хорошо визуализируются аневризмы

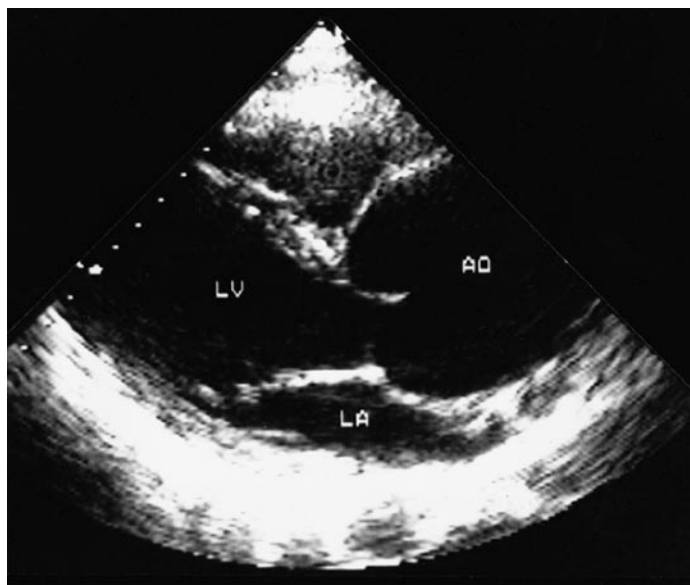


Рис. 15. Парастернальное изображение по длинной оси корня аорты (АО). LA — левое предсердие; LV — левый желудочек. (Из источника 1, с разрешения.)

синуса Вальсальвы (асимметричная дилатация корня аорты) и удастся четко определить аортальную недостаточность или шунты, часто ассоциирующиеся с этими аневризмами. Эхокардиография широко используется с целью определить время, когда необходимо провести замену аортального клапана и корня аорты у пациентов с синдромом Марфана (12).

ТЭЭ играет важную роль для выявления атеросклероза аорты. В прошлом это заболевание недооценивали, но сейчас оно считается мощным фактором риска возникновения инсульта и периферических эмболий. Сегодня ТЭЭ считается методом выбора для диагностики атером аорты, имеющих характерный вид асимметричных, кальцинированных бляшек, выступающих в просвет аорты (12).

ИНФЕКЦИОННЫЙ ЭНДОКАРДИТ

Эхокардиография является интегральной частью процесса диагностики и лечения инфекционного эндокардита. Не вызывает сомнения, что диагноз остается клиническим, но выявление вегетаций с помощью эхокардиографии сегодня включено в большинство современных диагностических алгоритмов и стратегий лечения. Определяющим критерием эндокардита является инфекционная вегетация на клапане (рис. 16), и с помощью ТТЭ эти вегетации выявляются с довольно высокой чувствительностью (хотя у около 20% пациентов с доказанным эндокардитом нативного клапана при ТТЭ вегетации могут не выявляться).

ТЭЭ — существенно более точный, чем ТТЭ, метод визуализации вегетаций. Кроме того, ТЭЭ имеет существенные преимущества при выявлении клапанных абсцессов и эндокардита протезированного клапана (см. рис. 8А) (20). С помощью эхокардиографии также визуализируют ассоциированную патологию, а именно клапанную регургитацию, гнойный перикардит и внутрисердечную фистулу. Точная визуализация этих нарушений помогает определить тактику лечения, она полезна

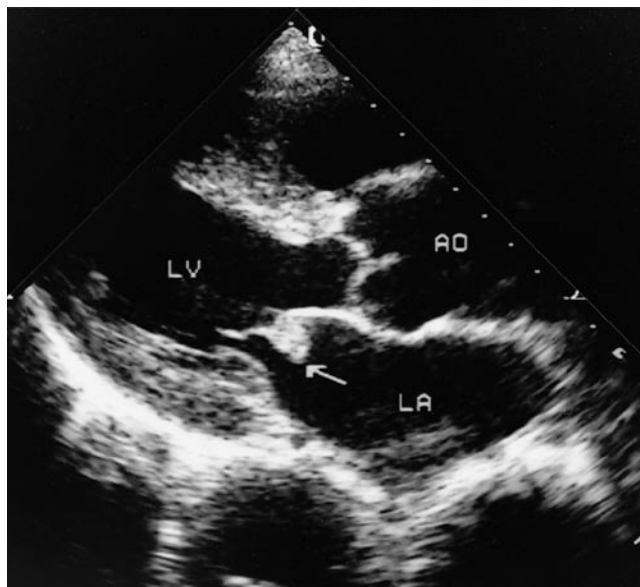


Рис. 16. Парастернальное изображение по длинной оси, демонстрирующее вегетацию (стрелка) на передней створке митрального клапана.

АО — аорта;

LV — левый желудочек;

LA — левое предсердие.

(Из источника 1, с разрешения.)

при оценке необходимости проведения кардиохирургического лечения. Распространенной клинической проблемой является правильное использование ТЭЭ у пациентов с эндокардитом. Разумный подход состоит в использовании ТТЭ как первого скринингового метода у большинства пациентов с подозрением на эндокардит. Если при проведении ТТЭ встречаются технические ограничения или находки неоднозначны либо выявляются вегетации у пациентов, имеющих высокий риск возникновения перивальвулярных осложнений, нужно выполнить ТЭЭ. Если при ТТЭ вегетации не выявляются или вегетации выявлены у пациентов с низким риском осложнений, необходимости в проведении ТЭЭ, как правило, нет. Пациентам с высоким риском (а именно, с протезированными клапанами сердца, врожденными пороками сердца или при инфицировании вирулентным микроорганизмом) при серьезном подозрении на эндокардит нужно выполнять ТЭЭ, даже если при ТТЭ вегетации не выявлены (20).

Несмотря на все технологические достижения, инфекционный эндокардит остается клиническим диагнозом, и значение метода эхокардиографии нельзя переоценивать. Миксоматозная дегенерация клапана может маскироваться под вегетации, а старую, зажившую вегетацию можно ошибочно интерпретировать как острое повреждение. Поэтому эхокардиографические данные нужно интерпретировать в контексте всех имеющихся клинических данных.

ИШЕМИЧЕСКАЯ БОЛЕЗНЬ СЕРДЦА

Эхокардиография является важным методом для выявления и анализа ишемии и инфаркта миокарда (ИМ). Ишемия ЛЖ быстро приводит к дисфункции и гипокинезии вовлеченного сегмента желудочка. Если коронарный кровоток не был возобновлен, возникает постоянное повреждение с формированием зоны акинезии и утончением пораженного сегмента миокарда. Если удалось идентифицировать зону дисфункции миокарда, часто можно определить инфаркт-зависимую коронарную артерию (21). С помощью эхокардиографии выявляют эти нарушения, а также дилатацию ЛЖ и снижение фракции выброса, ассоциирующиеся с тяжелой ИБС. Миокард ЛЖ делят

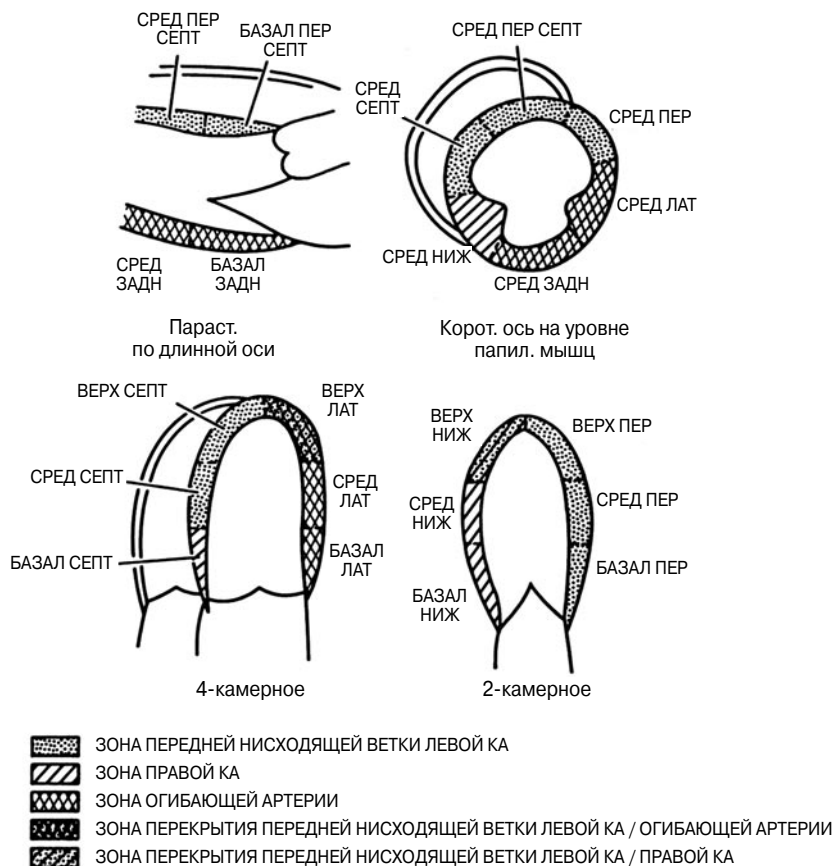


Рис. 17. Формат из шестнадцати сегментов для идентификации сегментов стенки левого желудочка. Также включены участки, снабжающиеся отдельными коронарными артериями. ПЕР — передний; СЕПТ — септальный; ЗАДН — задний; ЛАТ — латеральный; НИЖ — нижний; КА — коронарная артерия. (Из источника 21.)

на 16 сегментов в соответствии с форматом, принятым Американским обществом эхокардиографии (рис. 17) (21). Характеристика сокращения каждого из этих сегментов позволяет выполнить полуколичественную оценку сократимости ЛЖ по показателю сокращения стенки в баллах. Этот параметр используется для оценки прогноза как при остром ИМ, так и при хронической ИБС.

Кроме оценки степени повреждения при остром инфаркте миокарда, при эхокардиографии можно выявить также осложнения после ИМ. Легко визуализируются такие находки, как перикардиальный выпот (вследствие перикардита или разрыва свободной стенки ЛЖ), разрыв межжелудочковой перегородки, митральная регургитация (вследствие увеличения ЛЖ или ишемии папиллярной мышцы), псевдоаневризма ЛЖ и дисфункция ПЖ, ассоциированные с инфарктом нижней стенки ЛЖ. Также можно оценивать долговременное ремоделирование ЛЖ и формирование его аневризмы (рис. 18) (22).

Стресс-эхокардиография

Для повышения точности диагностики ишемии миокарда эхокардиографию комбинируют с нагрузочным тестом (23). При этой методике на экране монитора

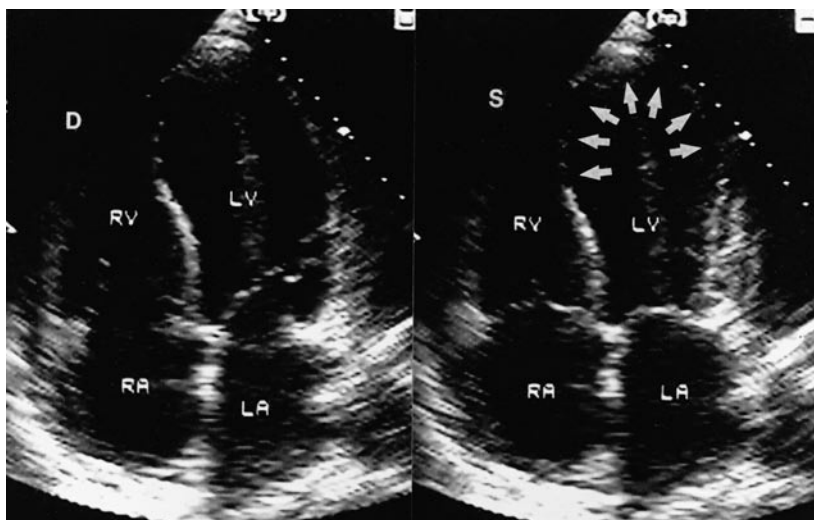


Рис. 18. Верхушечные четырехкамерные изображения большого переднего инфаркта с аневризмой. Диастола (D) показана слева, систола (S) — справа. Во время систолы основание желудочка сокращается (стрелки). RA — правое предсердие; RV — правый желудочек; LV — левый желудочек; LA — левое предсердие. (Из источника 1, с разрешения.)

проектируют рядом одновременно кинопетли двухмерных изображений, сделанных до или после (или во время) стресса. В норме миокард ЛЖ при нагрузке становится гиперкинетическим, а конечно-диастолический размер камеры ЛЖ уменьшается. Патологической считается индуцированная стрессом гипокинезия, и можно сделать предположение о пораженной коронарной артерии на основании той конкретной зоны (зон), в которой при стрессе возникает дисфункция. Нарушение сократимости множественных сегментов ЛЖ и его дилатация при нагрузке являются неблагоприятными находками, свидетельствующими о тяжелых стенозах во многих коронарных артериях и распространенной ишемии (23).

Стресс-эхокардиографию можно выполнить как с помощью физической нагрузки, так и при ступенчатой инфузии добутина. Оба типа стресса являются безопасными и хорошо переносятся, а показатели точности сопоставимы с показателями точности для стресс-теста в комбинации с радионуклидной визуализацией. Стресс-эхокардиография имеет несколько более низкую чувствительность, чем стресс-радионуклидная визуализация, однако несколько более высокую специфичность. Добутиновая эхокардиография играет важную роль в выявлении жизнеспособности миокарда и феномена «гибернации» (24). Такие технические инновации, как гармоническое изображение и контрастная эхокардиография, повысили точность и применимость стресс-эхокардиографии. В дополнение к этому, УЗ контрастные агенты помогают облегчить непосредственную количественную оценку перфузии миокарда во время стресса.

КАРДИОМИОПАТИИ

Кардиомиопатии обычно разделяют на три категории: дилатационная (ДКМП), гипертрофическая (ГКМП) и рестриктивная (РКМП). Эхокардиография играет важную роль в их клинической оценке, обеспечивая информацию о размере камер, толщине стенок желудочков, поражении клапанов и систолической функции. В слу-

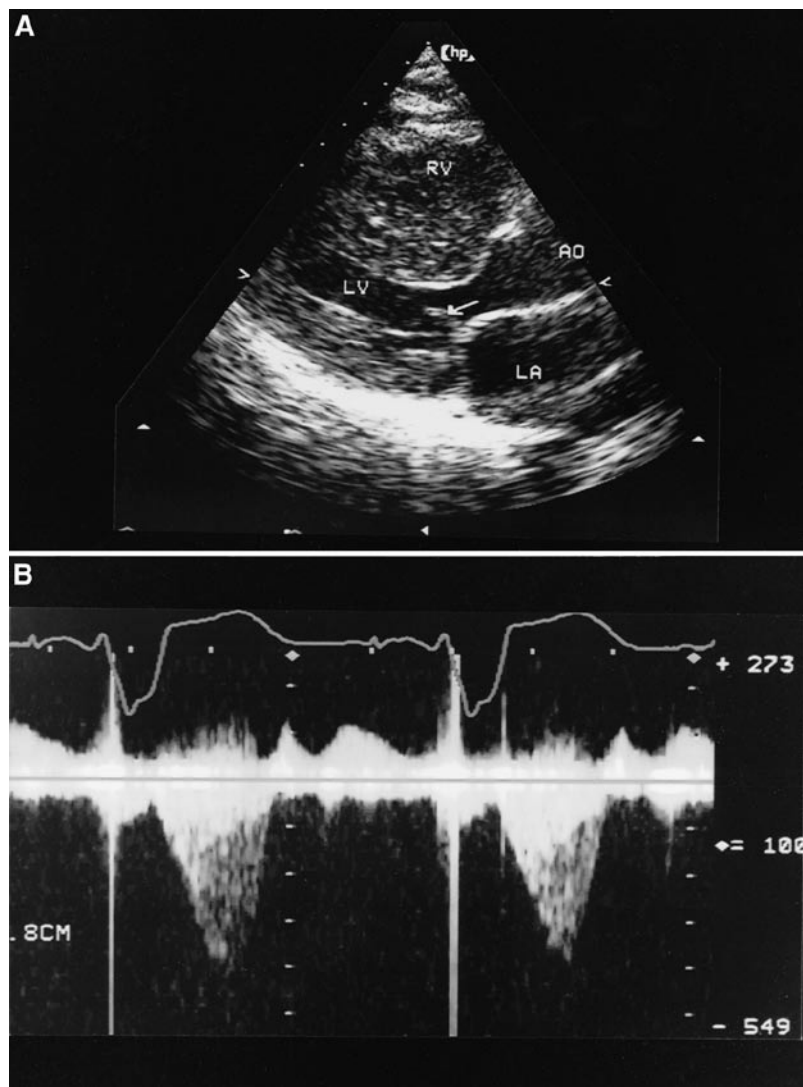


Рис. 19. (А) Парастернальное изображение по длинной оси (во время систолы) при гипертрофической кардиомиопатии (ГКМП). Присутствует асимметрическая гипертрофия перегородки, а также переднесистолическое движение передней створки митрального клапана (стрелка). (В) Кривая, полученная при непрерывно-волновой доплерографии через выносящий тракт левого желудочка у пациента с гипертрофической обструктивной кардиомиопатией (из верхушечного положения датчика). По сравнению с клапанным аортальным стенозом, нарастание скорости замедлено (что отображает скорее динамическую, а не фиксированную обструкцию выносящего тракта ЛЖ). LV — левый желудочек; LA — левое предсердие; RV — правый желудочек; АО — аорта. (Из источника 1, с разрешения.)

чаях классической ГКМП данных эхокардиографии может оказаться достаточно для установления диагноза. В то же время, в случаях ДКМП, РКМП и неклассического варианта ГКМП для установления окончательного диагноза может потребоваться дополнительная клиническая информация. Эти заболевания подробно обсуждаются в разделе 33. В данном подразделе мы в основном обратим внимание на УЗ характеристики кардиомиопатии.

Гипертрофическая кардиомиопатия

ГКМП является первичной патологией миокарда, проявляющейся беспричинной гипертрофией, которая часто непропорционально поражает перегородку. Первым и фундаментальным эхокардиографическим признаком является гипертрофия ЛЖ, часто крайне выраженная. При классическом варианте перегородка вовлечена в процесс больше, чем другие зоны миокарда (рис. 19А), но гипертрофия также может быть концентрической или верхушечной. Асимметричная гипертрофия перегородки приводит ко второму классическому УЗ признаку ГКМП — динамической обструкции ВТЛЖ. Это ассоциируется с переднесистолическим движением митрального клапана (см. рис. 19А, стрелка). Систолическое выпячивание патологически утолщенной перегородки в ВТЛЖ создает градиент давления посредством эффекта Вентури, в результате которого митральные створки притягиваются к межжелудочковой перегородке, вызывая динамическую обструкцию. Как и выраженная гипертрофия ЛЖ, переднесистолическое движение митральных створок не является патогномоничным для ГКМП и может возникать при других состояниях, таких как гиповолемия и гипердинамические состояния (1).

Третьим проявлением классической ГКМП является среднесистолическое частичное закрытие аортального клапана. Оно наблюдается только в случаях обструктивной ГКМП и, вероятно, является проявлением внезапного позднесистолического падения давления, вызванного переднесистолическим движением митрального клапана. Поэтому при наличии такого признака вероятной является значимая обструкция ВТЛЖ (25). Четвертый признак ГКМП выявляется при непрерывно-волновой доплерографии, выполненной через ВТЛЖ. В норме скорость кровотока в этой области достигает пика в ранний период систолы и максимальная скорость составляет 1,7 м/с. При ГКМП с обструкцией ВТЛЖ пиковая систолическая скорость кровотока является патологически высокой. Но, в отличие от клапанного АС спектральная кривая при непрерывно-волновой доплерографии, выполненной через ВТЛЖ, при ГКМП достигает своего пика в поздний период систолы, создавая характерный «саблезубый» тип (рис. 19В). При катетеризации можно предвидеть такой тип доплеровской кривой, поскольку градиент в выносящем тракте в ранней систоле существенно не повышен, но резко повышается в середине и поздней систоле вследствие динамической обструкции. С помощью пиковой скорости кровотока, определенной методом постоянной доплерографии, по модифицированному уравнению Бернулли рассчитывают систолический градиент давления в ВТЛЖ. Однако в недавних исследованиях сделано предположение, что такой расчет градиента не всегда может быть точным при ГКМП.

Дилатационная кардиомиопатия

Эхокардиографические находки при ДКМП включают дилатацию всех четырех камер сердца и выраженное увеличение полости ЛЖ. Систолическая функция снижена, зачастую значительно. Кроме того, стенки ЛЖ зачастую истончены, с сопутствующим увеличением левого предсердия, ограниченным открытием митрального и аортального клапана (вследствие низкого ударного объема) и дилатацией кольца митрального клапана (с вторичной митральной регургитацией) (26). К сожалению, эти находки не являются специфическими для ДКМП и могут быть вызваны тяжелой ИБС, вирусным миокардитом, сердечными токсинами и дефицитом некоторых питательных веществ. ИБС часто можно заподозрить по наличию региональной дисфункции ЛЖ, но эта находка не всегда надежна. При ДКМП часто встречается диастолическая дисфункция, и доплеровское исследование трансмитрального по-

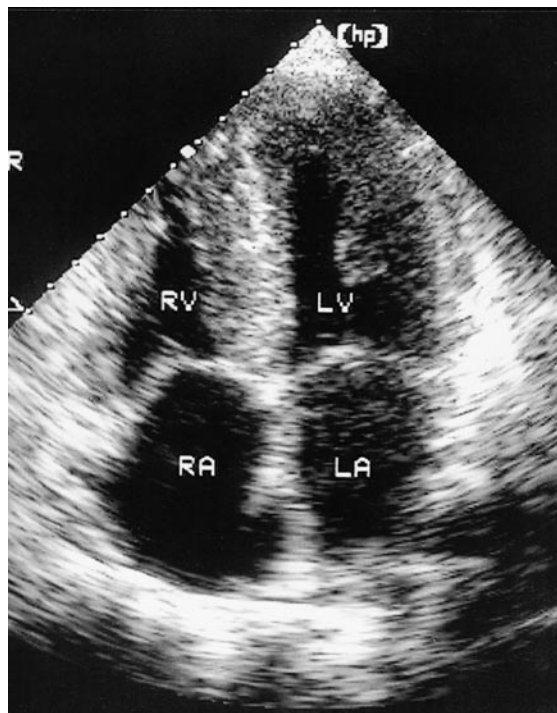


Рис. 20. Верхушечное четырехкамерное изображение при амилоидозе сердца.

RV — правый желудочек;

RA — правое предсердие;

LA — левое предсердие;

LV — левый желудочек.

(Из источника 1, с разрешения.)

тока может продемонстрировать патологическое расслабление, рестриктивный или «псевдонормальный» тип, в зависимости от давления в левом предсердии, состояния пред- и посленагрузки. Рестриктивный тип кровотока через митральный клапан ассоциируется с плохим прогнозом при ДКМП.

Рестриктивная кардиомиопатия

РКМП — довольно редко встречающееся состояние, характеризующееся при УЗ исследовании (1) диффузным увеличением толщины стенки ЛЖ при отсутствии выраженной дилатации камеры и (2) выраженным увеличением обоих предсердий (27). Систолическая функция может быть нормальной или умеренно сниженной. Допплеровское исследование кровотока через митральный клапан может продемонстрировать нарушения расслабления в ранний период течения РКМП. По мере прогрессирования заболевания постепенно формируется рестриктивный тип. РКМП может быть идиопатической или формироваться вследствие инфильтративных заболеваний, таких как гемохроматоз и гиперэозинофильный эндокардит. Однако наиболее частой причиной РКМП является амилоидоз, вызывающий бивентрикулярную гипертрофию и диффузное утолщение межпредсердной перегородки и сердечных клапанов (рис. 20). При амилоидозе описывали УЗ вид миокарда наподобие «матового стекла» или крапчатого миокарда, но этот признак имеет минимальную клиническую пользу. Как и при других кардиомиопатиях, эхокардиографические находки при РКМП часто помогают в установлении диагноза, но они по сути своей неспецифичны.

ОБРАЗОВАНИЯ В СЕРДЦЕ

Эхокардиография стала методом выбора для выявления внутрисердечных тромбов, вегетаций и опухолей. С помощью эхокардиографии также удается визуализи-

ровать большое количество псевдообразований или доброкачественных анатомических вариантов, а именно: избыточный евстахиевый клапан, сетку Хиари, заметный модераторный тяж в ПЖ и псевдохорды в ЛЖ. С помощью ультразвука также можно выявить внутрисердечные посторонние тела, включая электроды пейсмейкера, внутрисердечные катетеры и эндомикардиальные биоптомы.

Внутрисердечные тромбы

Тромбы могут возникать в любой камере сердца и приводить к эмболическим событиям (28). Основные предрасполагающие факторы для формирования внутрисердечных тромбов: низкий сердечный выброс, локализованный стаз кровотока и повреждение миокарда. Эхокардиографический вид тромба вполне разнообразный: тромбы могут быть полностью мобильными или фиксированными к эндокарду, ламинарными и иметь гомогенную плотность либо гетерогенными, с участками центрального размягчения или кальциноза. В типичных случаях при УЗ исследовании тромбы имеют четко определяемые границы и должны визуализироваться во множественных плоскостях сканирования (28).

Тромбы в правых отделах сердца зачастую ламинарные, но могут быть вполне мобильными (особенно венозные тромбоэмболы, мигрировавшие в правые отделы сердца), они увеличивают риск тромбоэмболии легочной артерии. Тромбы в левом предсердии чаще всего возникают при систолической дисфункции ЛЖ, митральном стенозе, фибрилляции предсердий и выраженном увеличении левого предсердия. ТЭЭ имеет явные преимущества перед ТТЭ относительно выявления этих тромбов, в особенности локализующихся в ушке левого предсердия (см. рис. 8В). Поскольку примерно 50% тромбов в левом предсердии находятся именно в ушке, методом выбора для их выявления является ТЭЭ. Тромбы в левом предсердии часто сопровождаются спонтанным УЗ контрастированием (или «дымом») в левом предсердии, что свидетельствует о стагнации кровотока и повышенной вероятности эмболических событий.

Тромбы в ЛЖ обычно возникают в условиях систолической дисфункции (28), в том числе при ДКМП, остром ИМ и хронической аневризме ЛЖ. Большинство тромбов в ЛЖ локализуются в области верхушки и, таким образом, они лучше всего визуализируются с верхушечных подходов. Тромбы в ЛЖ могут быть ламинарными и фиксированными, выпячивающимися в полость ЛЖ или мобильными, а по УЗ плотности — гомогенными или гетерогенными. Иногда имитировать верхушечные тромбы могут артефакты. Истинный тромб ЛЖ имеет плотность, отличающуюся от плотности миокарда, он движется конкордантно с подлежащей тканью миокарда и визуализируется во многих плоскостях сканирования. И наконец, тромбы в ЛЖ редко возникают в зонах нормально функционирующего миокарда.

Опухоли сердца

Опухоли сердца могут быть доброкачественными или злокачественными; злокачественные опухоли могут быть первичными, метастатическими или появившимися в результате непосредственного распространения из соседних опухолей. Хотя первичные злокачественные образования сердца крайне редки, метастазирование в сердце при раке легких, раке грудной железы, лимфоме или меланоме встречается довольно часто, особенно в поздних стадиях заболевания. Такие опухоли можно увидеть в пределах камер сердца, но вовлечение перикарда или эпикарда встречается чаще.

Миксомы — наиболее распространенные первичные опухоли сердца, около 75% миксом выявляют в левом предсердии (29). При двухмерном изображении эти опухоли обычно выглядят желатиноподобными, крапчатыми и иногда глобулярными.

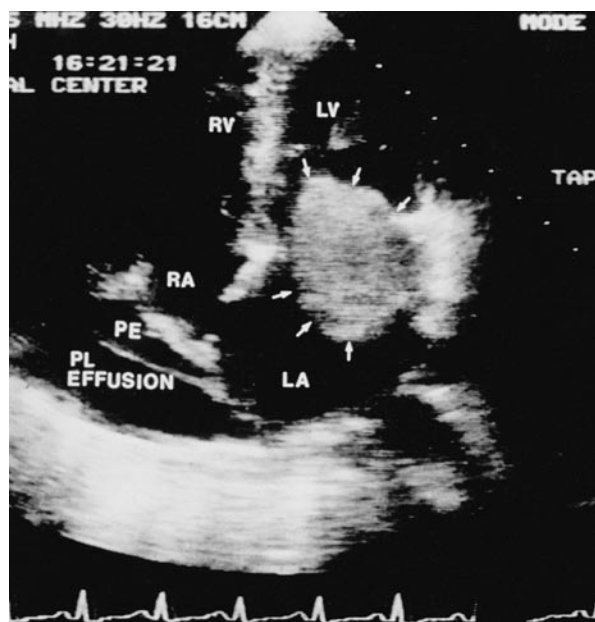


Рис. 21. Верхушечное четырехкамерное изображение большой миксомы левого предсердия (стрелки), присоединенной к латеральной стенке левого предсердия (LA).
RA — правое предсердие;
RV — правый желудочек;
LV — левый желудочек;
PE — перикардальный выпот;
PL EFFUSION — плевральный выпот.
(Из источника 1, с разрешения.)

Часто выявляют гетерогенность ткани, но кальцинаты встречаются редко. Хотя миксомы могут происходить из любого участка стенки предсердия, миксомы обычно присоединены своей ножкой к межпредсердной перегородке. Большие миксомы практически всегда мобильны и могут двигаться назад и вперед в область кольца митрального клапана. При доплеровском исследовании можно выявить клапанную регургитацию, обструкцию или их сочетание. Большинство больших миксом можно с точностью выявлять при ТТЭ (рис. 21), однако для выявления небольших опухолей преимущества имеет ТЭЭ (29). Менее распространены такие доброкачественные опухоли сердца, как рабдомиомы (ассоциируются с туберозным склерозом), фибромы (которые имеют тенденцию расти в пределах стенки ЛЖ) и папиллярные фиброэластомы (растущие на клапанах и имеющие тенденцию вызывать системные эмболии).

ВРОЖДЕННЫЕ ПОРОКИ СЕРДЦА

В этом подразделе мы остановимся в основном на эхокардиографическом распознавании более распространенных врожденных пороков, встречающихся у взрослых.

Дефект межпредсердной перегородки

Большинство вторичных и первичных дефектов межпредсердной перегородки (ДМПП) легко выявляются при ТТЭ (30). Однако дефекты венозного синуса иногда сложно выявить без ТЭЭ. Поскольку нормальная МПП тонкая и при верхушечном положении датчика идет параллельно УЗ лучу, артефактное выпадение эхосигналов в области овальной ямки можно ошибочно принять за ДМПП. Поэтому преимущество имеет субкостальный подход. Вторичные дефекты (наиболее распространенная форма ДМПП) характеризуются локализованным отсутствием ткани в средней части МПП (рис. 22А; см. цветную вкладку 3). Отсутствие какой-либо ткани МПП, находящейся между дефектом и основанием межжелудочковой перегородки (МЖП), наряду с отсутствием нормального смещения кольца трикуспидального клапана в направлении верхушки свидетельствует о первичном дефекте МПП.

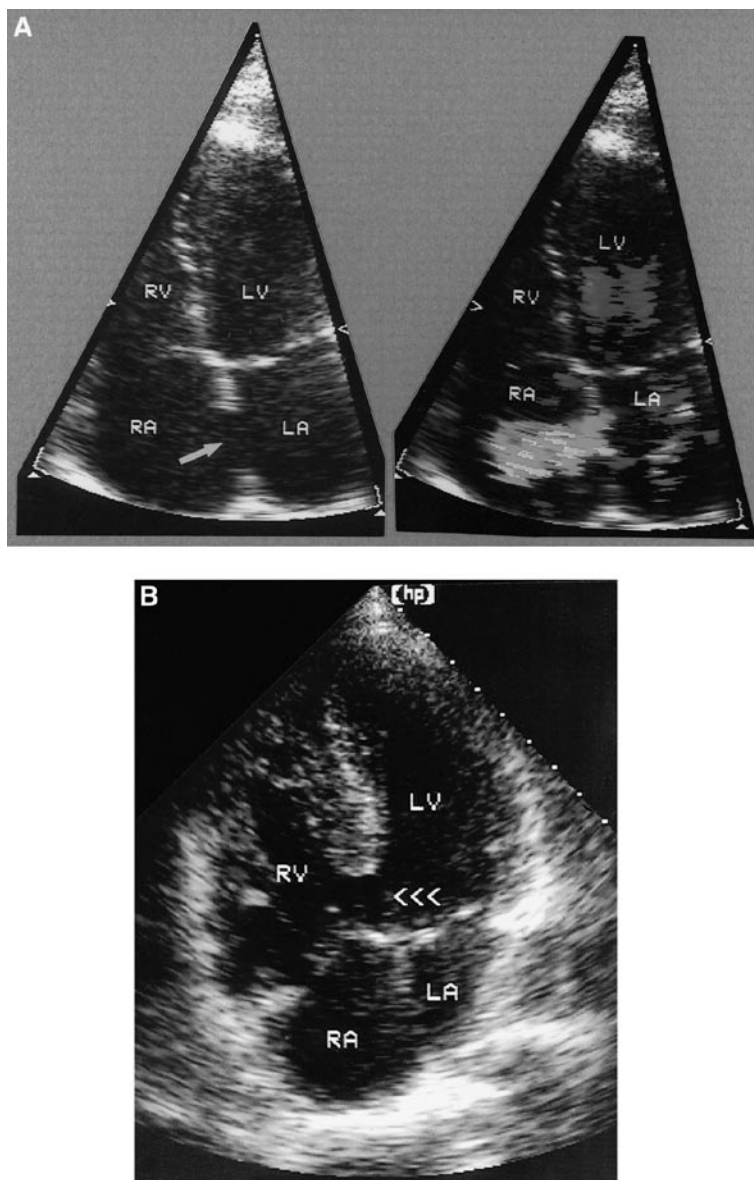


Рис. 22. (А) Верхушечное четырехкамерное изображение вторичного дефекта межпредсердной перегородки. Слева присутствует дефект в средней части межпредсердной перегородки (стрелки). Справа представлен цветной кровоток через шунт. RA — правое предсердие; RV — правый желудочек; LA — левое предсердие; LV — левый желудочек. (См. цветную вкладку 4). (В) Верхушечное четырехкамерное изображение дефекта в приносящем отделе МЖП. RV — правый желудочек; RA — правое предсердие; LA — левое предсердие; LV — левый желудочек. (Из источника 1, с разрешения.)

При первичном дефекте МПП часто наблюдаются расщепленная передняя створка митрального клапана, митральная регургитация и дефект приносящего отдела МЖП. Дефекты венозного синуса выявляются в верхних и задних участках МПП и обычно ассоциируются с аномальным дренажом одной или более легочных вен в правое предсердие (1).

Дополнительные находки, которые выявляются при ДМПП с помощью двухмерной эхокардиографии, это увеличение ПЖ и правого предсердия, уплощение МЖП и ее парадоксальное движение. При доплерографии часто выявляют кровоток через дефект, но приток крови в предсердия из полых вен и легочных вен иногда может имитировать ДМПП. Чтобы избежать ложной диагностики ДМПП, рекомендуют проводить внутривенную инъекцию «возбужденного» физраствора (см. «Контрастная эхокардиография»). И наконец, у пациентов с ДМПП или другими внутрисердечными шунтами можно использовать доплерографию и двухмерное изображение, чтобы ориентировочно оценить соотношение легочного кровотока к системному.

Дефект межжелудочковой перегородки

Большинство дефектов межжелудочковой перегородки (ДМЖП) у взрослых являются перимембранозными. Дефекты приносящего отдела перегородки (АВ канал), трабекулярные и дефекты выносящего тракта (надгребешковые) встречаются намного реже. Хотя большие ДМЖП часто удается визуализировать с помощью отдельно взятой двухмерной визуализации (рис. 22В), важным компонентом исследования для выявления маленьких дефектов является цветное доплеровское картирование кровотока (31). С помощью непрерывно-волновой доплерографии можно измерить пиковую скорость систолического кровотока через ДМЖП, а это позволяет, используя модифицированное уравнение Бернулли, оценить градиент давления между двумя желудочками (оценочное систолическое давление в ПЖ равно разнице систолического артериального давления и рассчитанного градиента Бернулли) (9). При двухмерном изображении и доплерографии обнаруживают также увеличение сердца (вероятно, вследствие перегрузки ПЖ давлением), аномалии митрального и трикуспидального клапанов и регургитацию, сопутствующий ДМПП (наиболее часто при дефектах приносящего отдела МЖП), аневризмы МЖП и аортальную недостаточность (особенно при надгребешковых ДМЖП). При внутривенной инъекции «возбужденного» физраствора иногда удается визуализировать «негативные» контрастные потоки в области правожелудочковой части МЖП.

Открытый артериальный проток

Открытый артериальный проток является соединением между дистальным аспектом дуги аорты и легочной артерией (обычно сразу слева от места ее бифуркации). При двухмерной визуализации иногда удается выявить открытый артериальный проток, но цветное доплеровское картирование с существенно большей вероятностью позволяет продемонстрировать характерный диастолический кровоток с высокой скоростью в проксимальном отделе легочной артерии (32). Дополнительные находки при двухмерной визуализации включают увеличение ЛЖ и его объемную перегрузку. Если развивается синдром Эйзенменгера, правые отделы сердца увеличиваются, а дилатация ЛЖ может в некоторой степени уменьшиться. Таким образом, отсутствие увеличения ЛЖ или ПЖ свидетельствует о том, что шунт небольшой.

Аномалии конотрункуса и аорты

Наиболее распространенной врожденной аномалией сердца у взрослых является двустворчатый аортальный клапан (распространенность от 1 до 2% у мужчин и несколько меньше у женщин). Эта аномалия часто ассоциируется с аортальной недостаточностью или стенозом, а также с коарктацией аорты. Тетрада Фалло является одной из наиболее частых аномалий конотрункуса. Классические эхокардиографические признаки включают большой перимембранозный ДМЖП, стеноз легочной

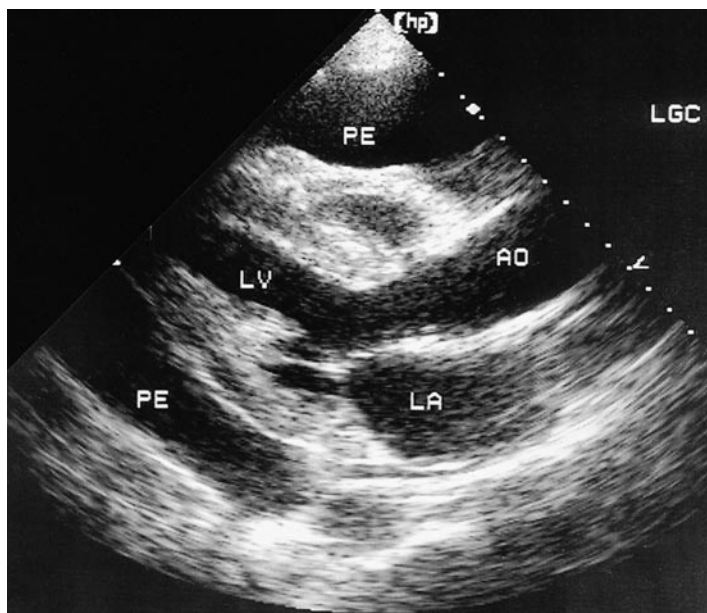


Рис. 23. Парастернальное изображение по длинной оси большого перикардиального выпота (PE). LV — левый желудочек; LA — левое предсердие; AO — аорта. (Из источника 1, с разрешения.)

артерии, увеличение и гипертрофию ПЖ, а также переднее смещение аортального клапана. Коарктацию аорты, которая часто ассоциируется с двухстворчатым аортальным клапаном, лучше всего визуализировать из супрастернального подхода. Коарктацию иногда можно выявить при двухмерном изображении, однако оценку нисходящего отдела аорты обычно ограничивают акустическое затенение и выпадение эхосигналов. Допплеровская оценка является более надежной и позволяет продемонстрировать патологически высокую скорость кровотока в нисходящем отделе аорты. Классической находкой при коарктации является голодиастолический антеградный кровоток в нисходящем отделе аорты, свидетельствующий о градиенте давления в течение диастолы и, таким образом, о тяжелой коарктации. Еще одной врожденной аномалией, которую иногда можно выявить у взрослого пациента, является аномалия Эбштейна. При двухмерной визуализации в классических случаях обнаруживается деформация трикуспидального клапана, включающая удлиненную переднюю створку и смещение в направлении верхушки септальной створки. Кроме того, выявляют увеличение правых отделов сердца и трикуспидальную регургитацию. Дефект МПП присутствует у небольшого, но довольно существенного числа таких пациентов.

ЗАБОЛЕВАНИЯ ПЕРИКАРДА

Эхокардиография является точным и надежным методом выявления перикардиального выпота, интраперикардиальных образований и тампонады сердца. Перикардиальный выпот определяют как «темное», или эхосвободное пространство, граничащее непосредственно с эпикардом (рис. 23). Перикардиальный выпот может быть концентрическим или локальным, его размер существенно колеблется. Большие, нелокализованные выпоты обычно содержат по меньшей мере 400 мл жид-

кости и часто позволяют сердцу двигаться свободно в пределах перикардального пространства. Множественные фибриновые тяжи в перикардальном выпоте повышают вероятность инфекции, кровоизлияния или злокачественного заболевания.

Имеется несколько эхокардиографических ключей к выявлению тампонады. Чувствительным, хотя и неспецифическим признаком повышенного давления в полости перикарда является коллапс стенки правого предсердия (особенно с ассоциированной тахикардией). Более специфический признак тампонады — диастолический коллапс, или компрессия свободной стенки ПЖ, свидетельствующая о существенном повышении внутриперикардального давления. И наконец, исследование с помощью импульсной доплерографии кровотока через митральный клапан при тампонаде сердца позволяет продемонстрировать патологическую вариабельность пиковой скорости при дыхании (33). Вариабельность пиковой скорости E при дыхании, превышающая 20%, свидетельствует о тампонаде сердца при наличии выпота и о перикардальной констрикции, когда выпот отсутствует или минимальный. Эта доплеровская находка ценна для дифференциации констриктивного перикардита от рестриктивной кардиомиопатии, поскольку повышенные дыхательные колебания скорости кровотока через митральный клапан при этом заболевании не выявляются (34).

ЛИТЕРАТУРА

1. DeMaria AN, Blanchard DG. The echocardiogram. In: Fuster V, Alexander RW, O'Rourke R, et al., eds. *Hurst's The Heart*, 11th ed. McGraw-Hill, New York, 2004, pp. 351–465.
2. Henry WL, DeMaria A, Gramiak R, et al. Report of the American Society of Echocardiography: nomenclature and standards in two-dimensional echocardiography. *Circulation* 1980;62:212.
3. Thomas JD, Rubin DN. Tissue harmonic imaging: why does it work? *J Am Soc Echocardiogr* 1998;11:803–805.
4. Burns PM. The physical principles of Doppler and spectral analysis. *J Clin Ultrasound* 1987;15:567–590.
5. Nishimura RA, Miller FA Jr, Callahan MJ, et al. Doppler echocardiography: theory, instrumentation, technique, and application. *Mayo Clin Proc* 1985;60:321–343.
6. Bom K, deBoo J, Rijsterborgh H. On the aliasing problem in pulsed Doppler cardiac studies. *J Clin Ultrasound* 1984;12:559–567.
7. Zile MR, Brutsaert DL. New concepts in diastolic dysfunction and diastolic heart failure: Part I. *Circulation* 2002;105:1387–1393.
8. Hegrenaes L, Hatle L. Aortic stenosis in adults. Noninvasive estimation of pressure differences by continuous wave Doppler echocardiography. *Br Heart J* 1985;54:396–404.
9. Richards KL, Cannon SR, Miller JF, Crawford MH. Calculation of aortic valve area by Doppler echocardiography: a direct application of the continuity equation. *Circulation* 1986;73:964–969.
10. Daniel WG, Mugge A. Transesophageal echocardiography. *N Engl J Med* 1995;332:1268–1279.
11. Blanchard DG, Kimura BJ, Dittrich HC, DeMaria AN. Transesophageal echocardiography of the aorta. *JAMA* 1994;272:546–551.
12. Seward JB, Douglas PS, Erbel R, et al. Hand-carried cardiac ultrasound (HCU) device: recommendations regarding new technology. A report from the echocardiography task force on new technology of the nomenclature and standards committee of the American Society of Echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr* 2002;15:369–373.
13. Gramiak R, Shah PM. Echocardiography of the aortic root. *Invest Radiol* 1968;3:356–366.
14. Galuto L, DeMaria AN, May-Newman K, et al. Evaluation of dynamic changes in microvascular flow during ischemia-reperfusion by myocardial contrast echocardiography. *J Am Coll Cardiol* 1998;32:1096–1101.
15. Glover MU, Warren SE, Vieweg WVR, et al. M-mode and two-dimensional echocardiographic correlation with findings at catheterization and surgery in patients with mitral stenosis. *Am Heart J* 1983;105:98–102.
16. Hatle L, Angelsen B, Tromsdal A. Noninvasive assessment of atrioventricular pressure half-time by Doppler ultrasound. *Circulation* 1979;60:1096–1104.
17. Spain MG, et al. Quantitative assessment of mitral regurgitation by Doppler color flow imaging: angiographic and hemodynamic correlations. *J Am Coll Cardiol* 1989;13:585.
18. Bargiggia CS, Tronconi L, Sahn DJ, et al. A new method for quantitation of mitral regurgitation based on color flow Doppler imaging of flow convergence proximal to regurgitant orifice. *Circulation* 1991;84:1481–1489.
19. Sawhney NS, DeMaria AN, Blanchard DG. Aortic intramural hematoma: an increasingly recognized and potentially fatal entity. *Chest* 2001;120:1340–1346.
20. Yvorchuk KJ, Chan K-L. Application of transthoracic and transesophageal echocardiography in the diagnosis and management of infective endocarditis. *J Am Soc Echocardiogr* 1994;14:294–308.
21. Segar DS, Brown SC, Sawada SC, et al. Dobutamine stress echocardiography: correlation with coronary lesion severity as determined by quantitative angiography. *J Am Coll Cardiol* 1992;19:1197–1202.
22. Matsumoto M, Watanabe E, Gotto A, et al. Left ventricular aneurysm and the prediction of left ventricular enlargement studied by two-dimensional echocardiography: quantitative assessment of aneurysm size in relation to clinical course. *Circulation* 1985;72:280–286.
23. Quinones MA, Verani MS, Haichin RM, et al. Exercise echocardiography versus Tl-201 single photon emission computerized tomography in evaluation of coronary artery disease. Analysis of 292 patients. *Circulation* 1992;85:1026–1031.
24. Bax JJ, Cornel JH, Visser FC, et al. Prediction of recovery of myocardial dysfunction after revascularization: comparison of fluorine-18 fluorodeoxyglucose/thallium-201 SPECT, thallium-201 stress-reinjection SPECT and dobutamine echocardiography. *J Am Coll Cardiol* 1996;28:558–564.
25. Wigle ED, Rakowski H, Kimball BP, Williams WG. Hypertrophic cardiomyopathy: clinical spectrum and treatment. *Circulation* 1995;92:1680–1692.

26. Shah PM. Echocardiography in congestive or dilated cardiomyopathy. *J Am Soc Echocardiogr* 1985;1:20–27.
27. Picano E, Pinamonti B, Ferdeghini EM, et al. Two-dimensional echocardiography in myocardial amyloidosis. *Echo-cardiography* 1991;8:253–262.
28. Haugland JM, Asinger RW, Mikeil FL, et al. Embolic potential of left ventricular thrombi: detection by two-dimensional echocardiography. *Circulation* 1984;70:588–598.
29. Reynen K. Cardiac myxomas. *N Engl J Med* 1995;1610–1617.
30. Shub C, Dimopoulos IN, Seward JB, et al. Sensitivity of two-dimensional echocardiography in the direct visualization of atrial septal defect utilizing the subcostal approach: experience with 154 patients. *J Am Coll Cardiol* 1983;2:127–135.
31. Linker DT, Rossvoll O, Chapman JV, Angelsen B. Sensitivity and speed of color Doppler flow mapping compared with continuous wave Doppler for the detection of ventricular septal defects. *Br Heart J* 1991;65:201–203.
32. Liao P-K, Su W-J, Hung J-S. Doppler echocardiographic flow characteristics of isolated patent ductus arteriosus: better delineation by Doppler color flow mapping. *J Am Coll Cardiol* 1988;12:1285–1291.
33. Appleton CP, Hatle LK, Popp RL. Cardiac tamponade and pericardial effusion: respiratory variation in transvalvular flow velocities studied by Doppler echocardiography. *J Am Coll Cardiol* 1988;11:1020–1030.
34. Oh JK, Hatle LK, Seward JB, et al. Diagnostic role of Doppler echocardiography in constrictive pericarditis. *J Am Coll Cardiol* 1994;23:154–162.
35. Fisher EA, Stahl JA, Budd JH, Goldman ME. Transesophageal echocardiography: procedures and clinical applications. *J Am Coll Cardiol* 1991;18:1333–1348.

РЕКОМЕНДОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

- DeMaria AN, Blanchard DG. The echocardiogram. In: Fuster V, Alexander RW, O'Rourke R, et al., eds. *Hurst's The Heart*, 11th ed. McGraw-Hill, New York, 2004, pp. 351–465.
- Blanchard DG, DeMaria AN. Cardiac and extracardiac masses: echocardiographic evaluation. In: Skorton DJ, Schelbert HR, Wolf CL, Brundage BH, eds. *Marcus' Cardiac Imaging*, 2nd ed. W. B. Saunders, Philadelphia, 1996, pp. 452–480.
- Nishimura RA, Miller FA Jr, Callahan MI, et al. Doppler echocardiography: theory, instrumentation, technique, and application. *Mayo Clin Proc* 1985;60:321–343.

СПИСОК УСЛОВНЫХ СОКРАЩЕНИЙ

АН	— аортальная недостаточность
АС	— аортальный стеноз
ВПВ	— верхняя полая вена
ВТЛЖ	— выносящий тракт левого желудочка
ГКМП	— гипертрофическая кардиомиопатия
ДКМП	— дилатационная кардиомиопатия
ДМЖП	— дефект межжелудочковой перегородки
ДМПП	— дефект межпредсердной перегородки
ИБС	— ишемическая болезнь сердца
ИМ	— инфаркт миокарда
КМП	— кардиомиопатия
ЛА	— легочная артерия
ЛВЛВ	— левая верхняя легочная вена
ЛЖ	— левый желудочек
ЛП	— левое предсердие
МЖП	— межжелудочковая перегородка
МН	— митральная недостаточность
МПП	— межпредсердная перегородка
МРТ	— магнитно-резонансная томография
МС	— митральный стеноз
НПВ	— нижняя полая вена
ОАП	— открытый артериальный проток
ПВЛВ	— правая верхняя легочная вена
ПЖ	— правый желудочек
ПП	— правое предсердие
РКМП	— рестриктивная кардиомиопатия
ТК	— трикуспидальный клапан
ТТЭ	— трансторакальная эхокардиография
ТЭЭ	— трансэзофагеальная эхокардиография
УЛП	— ушко левого предсердия