

С.Ю. Бартош-Зеленая<sup>1</sup>, И.А. Евсикова<sup>1,2</sup>,  
О.А. Гусева<sup>1,2</sup>, Т.В. Найденов<sup>1</sup>, Л.Д. Кирюхина<sup>3</sup>

## Возможности эхокардиографии правых камер сердца

<sup>1</sup>Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова, Санкт-Петербург

<sup>2</sup>Городская больница № 40, Санкт-Петербург

<sup>3</sup>Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт фтизиопульмонологии, Санкт-Петербург

**Резюме.** Рассматриваются возможности современной эхокардиографии в оценке правых камер сердца. Приводятся наиболее современные способы измерения и нормативы размеров правых камер сердца, параметров систолической и диастолической функций с использованием количественной оценки с помощью трехмерной эхокардиографии и деформации миокарда. Установлено, что значение эхокардиографической оценки правых камер сердца так же велико, как и исследование левых камер, однако затруднено в связи с анатомо-функциональными особенностями. В связи с этим потребовалась разработка и валидация нормативных значений как для линейных и объемных показателей правого предсердия и желудочка, так и для параметров систолической и диастолической функции правого желудочка. Таким образом, современный протокол эхокардиографического исследования должен в числе прочего содержать поперечные размеры правого желудочка на базальном и срединном уровне, диаметр его выносящего тракта на проксимальном и дистальном уровне, а также индекс объема правого предсердия. Для формирования суждения о состоянии систолической функции правого желудочка рекомендовано комбинированное использование таких показателей, как фракционное изменение площади правого желудочка, амплитуда систолической экскурсии, систолическая скорость движения и индекс работы миокарда правого желудочка. При наличии соответствующих возможностей аппаратуры необходимо определять наиболее информативные показатели, такие как объемы и фракция выброса правого желудочка в 3D-режиме и глобальную продольную деформацию.

**Ключевые слова:** правые камеры сердца, 3D-эхокардиография, глобальная продольная деформация, метод количественного определения движения отдельных стенок правого желудочка, фракция выброса, амплитуда систолической экскурсии латеральной части трикуспидального кольца, скорость систолического движения латеральной части трикуспидального кольца, индекс работы миокарда.

До 2010 г. не существовало общего подхода к оценке правых камер сердца. С одной стороны, это было связано с тем, что огромное внимание уделялось оценке левых камер – правый желудочек (ПЖ) называли «забытым», «бедным» родственником левого желудочка (ЛЖ). С другой стороны, на тот момент существовало небольшое количество исследований, представляющих нормальные значения правых камер. Следующим ограничением являлась неоднородность подходов к эхо-визуализации правых отделов и сложность оценки объемов ПЖ вследствие его необычной формы, а также имелся недостаточный опыт использования различных методик оценки правых камер сердца.

Объединенные общей системой кровоснабжения, фиброзно-мышечным аппаратом, перегородкой, перикардом и внутригрудным давлением, желудочки подвержены тесному механическому и функциональному взаимодействию, которое выражается во взаимном влиянии сократимости, пред- и постнагрузки, взаимозависимости в систолу и диастолу как в норме, так и при поражении миокарда. Несомненно, что ПЖ имеет определенные отличия по сравнению с ЛЖ:

- более тонкие стенки (3–5 мм);
- неправильную форму и трабекулярность, наличие модераторного пучка;
- три анатомических области – приносящий (синус), выносящий (конус) тракты и верхушку;
- ПЖ сокращается волной от синуса к конусу;
- ПЖ менее подвержен ишемии, чем ЛЖ; переносит нагрузку объемом лучше, чем нагрузку давлением и имеет более низкую фракцию выброса (ФВ).

В международных рекомендациях Американской эхокардиографической ассоциации (ASE) и Европейской ассоциации по эхокардиографии (EAE) 2005 г. лишь небольшой раздел был посвящен правым камерам [5]. Принятые в 2010 г. рекомендации ASE, EAE и Канадского общества по эхокардиографии (CSE) основывались на большем количестве исследований, что позволило клиницистам с расширенными возможностями применять эхокардиографическую (ЭхоКГ) оценку правых отделов [8]. В рекомендациях ASE и Европейской ассоциации сердечно-сосудистой визуализации (EACVI, 2015) содержатся обновленные значения размеров правого сердца, параметров систолической и диастолической функции с использованием

трехмерной эхокардиографии и деформации миокарда [4]. В последних рекомендациях EACVI (2017), по стандартизации ЭхоКГ заключения также упоминаются нормативы по правым отделам сердца, включая уже объемные показатели, а также их значения, индексированные к площади поверхности тела [2].

Представления о систолической функции ПЖ также претерпели значительные изменения в последние годы. Как упоминалось выше, по сравнению с относительно простой конической формой левого желудочка, ПЖ отличается более сложной анатомической структурой, в своем переднебоковом сечении имея треугольную форму, тогда как в поперечном сечении по короткой оси ПЖ приобретает форму полумесяца. Принято выделять три основные части ПЖ: входной тракт, который состоит из трикуспидального клапана, сухожильных хорд и папиллярных мышц, апикальную часть с трабекулярной мышцей и выходной тракт (так называемая воронка ПЖ) с пульмональным клапаном, который отделяет желудочек от легочного ствола. В отличие от преимущественно наклонного расположения миоцитов ЛЖ свободная стенка ПЖ имеет два слоя: субэпикардially волокна миокарда ориентированы циркулярно, тогда как в субэндокарде – продольно. Наконец, ПЖ имеет свои особенности распространения сокращения: активация начинается с входного тракта и заканчивается в выходном.

Традиционно наиболее распространенной мерой систолической функции ЛЖ служила фракция выброса, определяемая как отношение разности между конечным диастолическим и конечным систолическим объемами к конечному диастолическому объему. Исходя из описанных выше особенностей, определение фракции выброса ПЖ в двухмерной эхокардиографии не могло служить эффективным способом оценки сократимости правого сердца. С развитием 3D-ЭхоКГ исследование фракции выброса стало возможно и для ПЖ. Одной из последних разработок явилась методика количественного определения движения отдельных стенок правого желудочка (Right Ventricular Separate wall motion quantification – ReVISION), позволяющий количественно определить относительный вклад движения стенки ПЖ вдоль трех различных направлений в глобальную фракцию выброса ПЖ (отношение фракции выброса данного направления к глобальной фракции выброса). В том числе изучается клиническое значение оценки «покадрового» изменения объема ПЖ вдоль трех направлений движения. Вычислив разность между данными кадрами ( $\Delta V/\Delta t$ ), можно оценить относительный вклад продольного, радиального и переднезаднего направлений движения как для систолической, так и для диастолической функции ПЖ. Авторы методики отмечают, что данные параметры измеряются полностью автоматически, поэтому методика ReVISION не предполагает внутри- и межлабораторной вариабельности. Однако методика на данном этапе нуждается в дальнейшей валидации и проспективном исследовании результатов применения описанного подхода [3].

Размер ПЖ может быть получен из верхушечного четырехкамерного сечения в конце диастолы. Размеры ПЖ сильно зависят от поворотов датчика, что приводит к недооценке его параметров. Важно попытаться найти оптимальную точку в 4-камерном сечении для получения «сфокусированного сечения на ПЖ» (рис. 1). По рекомендациям EACVI (2017) диаметр более 42 мм на базальном уровне и более 36 мм в средней трети рассматривается как дилатация ПЖ.

Проксимальный диаметр выходного тракта (ВТПЖ) должен быть измерен в продольном парастернальном сечении по длинной и короткой оси в конце диастолы. Верхняя граница составляет 36 мм (рис. 2 а, б). Дистальный диаметр ВТПЖ, измеренный в конце диастолы на уровне пульмонального клапана должен составлять менее 28 мм (рис. 2 в).

Толщина стенки ПЖ измеряется в парастернальном продольном и субкостальном сечении в конце диастолы, и в соответствии с международными рекомендациями составляет в норме от 3 до 5 мм (рис. 3 а, б).

В международных рекомендациях 2010 г. к патологическим увеличениям относили абсолютные размеры и площадь правого предсердия (ПП) больше 18 см<sup>2</sup>. Затем с 2015 г. к увеличениям для ПП использовали индексированные продольный и поперечный размеры ПП и индекс объема для ПП. В соответствии с последними данными (EACVI, 2017) индекс объема для ПП должен составлять <30 мл/м<sup>2</sup> у мужчин и <28 мл/м<sup>2</sup> у женщин (рис. 4).

По аналогии с ЛЖ выделяют глобальную и локальную оценку систолической функции ПЖ. Глобальная оценка функции ПЖ включает в себя фракционное изменение площади ПЖ, ФВ, индекс работы миокарда (MPI), глобальную продольную деформацию (GLS), скорость нарастания давления в ПЖ в начале систолы (dP/dt).

В латеральной части трикуспидального кольца могут быть измерены следующие показатели систолической функции, такие как амплитуда систолической экскурсии латеральной части трикуспидального кольца в М-режиме (TAPSE), скорость систолического движения латеральной части трикуспидального кольца (TAM, S'), миокардиальное время ускорения в течение изоволюметрического сокращения (IVA).

С помощью тканевого доплера можно измерить локальную систолическую скорость движения миокарда (S'), деформацию (S) и скорость деформации (SR) в сегментах свободной стенки ПЖ (рис. 5–7).

Фракционное изменение площади ПЖ (FAC) определяется как (конечно-диастолическая площадь минус конечно-систолическая площадь)/конечно-диастолическую площадь × 100, и является независимым предиктором сердечной недостаточности, внезапной смерти, инсульта (рис. 8 а, б).

По рекомендациям ASE/EAE/CSE (2010) и EACVI (2015), FAC является одной из часто предлагаемых методик оценки систолической функции ПЖ, и составляет в норме от 42 до 51% с нижней границей 35%.

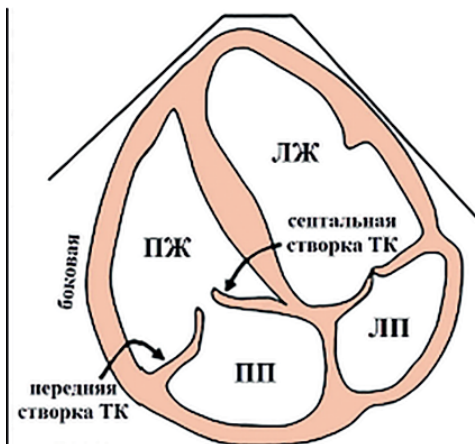
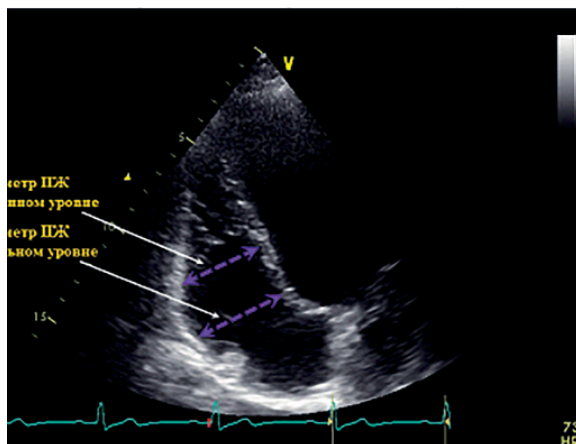


Рис. 1. Измерение диаметра ПЖ на базальном и срединном уровне в «сфокусированном сечении на ПЖ»



Рис. 2. Измерение проксимального диаметра выходного тракта ПЖ в парастеральном сечении по длинной оси (а), по короткой оси (б), дистального диаметра выходного тракта ПЖ в парастеральном сечении на уровне пульмонального клапана (в)

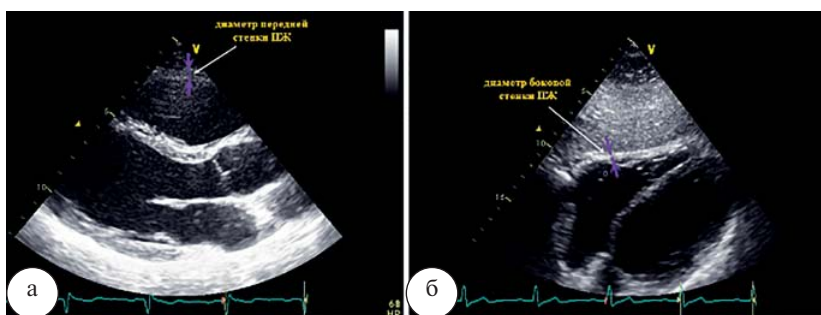


Рис. 3. Измерение толщины стенки ПЖ в продольном парастеральном сечении (а) и в субкостальном сечении (б)

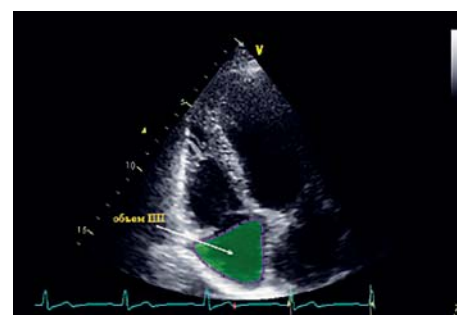


Рис. 4. Измерение объема ПП в «сфокусированном сечении на правых камерах»

Исследование ФВ ПЖ имеет много ограничений. Большая часть ПЖ лежит прямо за грудиной, камера имеет неправильную форму, стенки трабекулярны, положение камеры внутри грудной клетки может значительно изменяться в зависимости от позы пациента. В М-режиме правильно оценить параметры систолической функции в парастеральном сечении практически невозможно, так как визуализируется изображение только части ПЖ. Определение ФВ в В-режиме – малоинформативно, не рекомендуется из-за гетерогенности способов измерения и большого числа геометрических разновидностей ПЖ. Объемы и ФВ

ПЖ могут быть точно измерены с помощью 3D-ЭхоКГ, используя утвержденные трехмерные алгоритмы. 3D-объемы и ФВ ПЖ сопоставимы с данными магнитно-резонансной томографии (МРТ) и коррелируют статистически достоверно лучше ( $r=0,71-0,97$ ), чем показатели 2D-ЭхоКГ ( $r=0,32-0,77$ ),  $p<0,001$  [10]. При использовании алгоритмов отслеживания для определения объемов ПЖ, основанных на отслеживании следа (*Speckle tracking*), точность измерений практически сравнялась с данными МРТ: ( $\text{bias}\pm\text{SD}$ )– $15\pm 24$  мл для конечно-диастолического объема,  $r=0,92$ ,  $p<0,001$ ;  $1,4\pm 4,9\%$  для ФВ,  $r=0,86$ ,  $p<0,001$  [6]. В соответствии

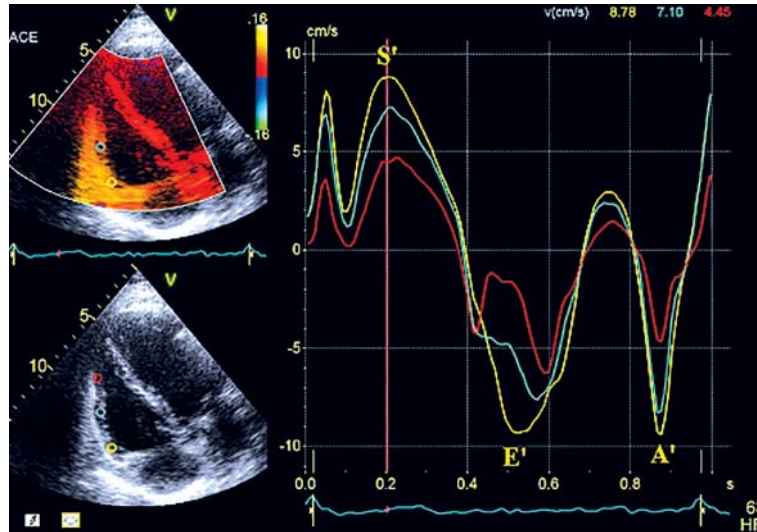


Рис. 5. Измерение  $S'$  в базальном, срединном и верхушечном сегментах свободной стенки ПЖ

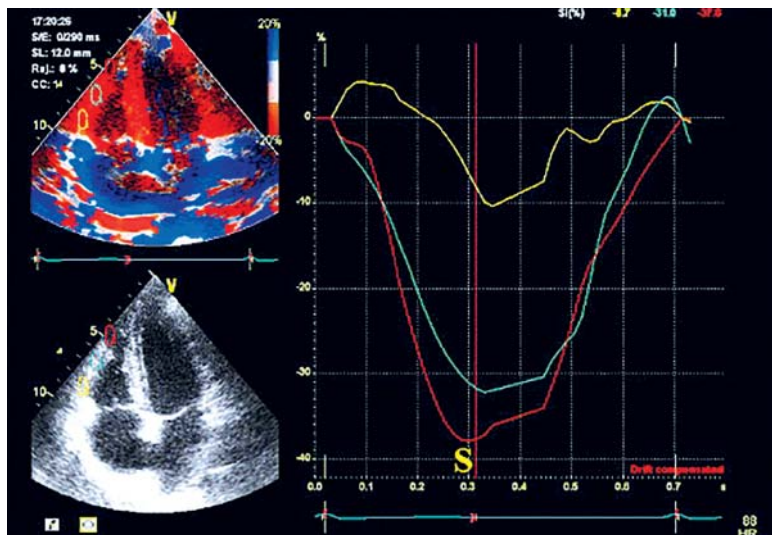


Рис. 6. Измерение S в базальном, срединном и верхушечном сегментах свободной стенки ПЖ

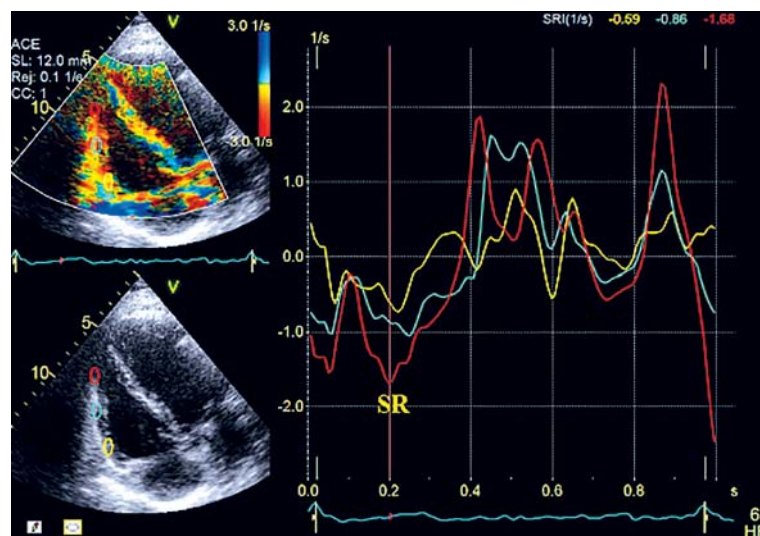


Рис. 7. Измерение SR в базальном, срединном и верхушечном сегментах свободной стенки ПЖ

с рекомендациями EACVI (2015), ФВ ПЖ находится в пределах 51–65%, не менее 45% (рис. 9).

Как и в случае с ЛЖ, в формировании сокращений ПЖ участвуют несколько основных механизмов, а именно: 1) укорочение по продольной оси с подтягиванием трикуспидального кольца к верхушке; 2) движение внутрь полости свободной стенки ПЖ; 3) выпячивание межжелудочковой перегородки в полость ПЖ во время сокращения ЛЖ и натяжение свободной стенки ПЖ над перегородкой. Поскольку относительный вклад трех механизмов может варьировать при различных патологических состояниях, наличие методики, способной оценить роль каждого из трех компонентов в формировании глобальной сократимости ПЖ, поможет определить патофизиологические механизмы систолической дисфункции ПЖ, а также механизмы адаптации ПЖ к различного рода нагрузкам. С этой целью В. Lakatos et al. [3] была разработана методика ReVISION для получения этих компонентов отдельно от трехмерных данных, наборы ПЖ по данным ЭхоКГ.

Некоторые исследователи полагают, что оценка функции желудочков может быть выполнена с помощью индекса работы миокарда (MPI). Рассчитывается как соотношение суммы времени изоволюметрического расслабления (IVRT) и изоволюметрического сокращения (IVCT) ко времени выброса (ET).

Правосторонний MPI может быть получен двумя способами, с помощью импульсного и тканевого доплеровских режимов (рис. 10 а, б). Использование тканевого доплеровского режима проще, так как все временные интервалы измеряются во время одного сокращения при направлении импульса на латеральную часть трикуспидального кольца. Эта методика доступна для большинства пациентов как с трикуспидальной регургитацией, так и без нее, является легко воспроизводимой, не зависит от ограничений сложной геометрии ПЖ. Одновременно могут быть измерены другие показатели функции правых камер – систолическая скорость экскурсии ( $S'$ ), скорость раннего диастолического движения ( $E'$ ) и скорость позднего диастолического движения ( $A'$ ) на одном изображении. Значения MPI  $>0,43$  для импульсного и  $>0,54$  для тканевого доплеровского режима могут свидетельствовать о дисфункции ПЖ.

Следует учитывать, что MPI недостоверен при разных R–R интервалах (например, фибрилляция предсердий), при повышении давления в правом предсердии (например, при инфаркте ПЖ), так как сокращается IVRT, что приводит к занижению MPI.

Оценка систолической функции может быть проведена с помощью измерения TAPSE в M-режиме.

Измерение TAPSE является простой, менее зависимой от качества изображения, легко воспроизводимой методикой, не требует сложного оборудования или длительного анализа изображений. Однако оценка TAPSE предполагает, что сдвиг одного сегмента представляет функцию сложной трехмерной структуры ПЖ, что не является вполне правомерным.

Согласно международным рекомендациям, методика оценки TAPSE должна использоваться в повседневной практике как простая методика оценки функции ПЖ с нижней границей для систолической функции ПЖ равной 17 мм (рис. 11).

Для определения  $S'$ , контрольный объем помещается на латеральную часть трикуспидального кольца или в центр базального сегмента свободной стенки ПЖ (рис. 12).

Методика зависит от угла сканирования и наименее воспроизводима для всех других сегментов, кроме базального сегмента ПЖ. Методика также предполагает, что функция отдельного базального сегмента дает представление о функции всего ПЖ, что маловероятно, особенно при состояниях, связанных с локальным нарушением функции ПЖ, например при инфаркте ПЖ.

По рекомендациям ASE/EACVI (2015) при систолической скорости экскурсии  $S'$  менее 9,5 см/с должно возникнуть подозрение о нарушении функции ПЖ. Показатель систолической скорости экскурсии  $S'$  может быть также получен с помощью цветного доплеровского режима. Пограничное значение этого параметра в соответствии с рекомендациями составило 6 см/с.

Глобальная продольная деформация (GLS) ПЖ является воспроизводимой и доступной методикой оценки глобальной систолической функции и рассчитывается как процент систолического укорочения свободной стенки ПЖ от основания к верхушке. Продольная деформация зависит от формы, размера ПЖ, качества и доступности изображения ПЖ. Значение GLS ПЖ больше  $-20\%$  считается патологическим (рис. 13).

В соответствии с рекомендациями EACVI (2017), патологическим принято значение общего продольного систолического стрейна для свободной стенки ПЖ (GLS) больше  $-23\%$ . Определение общего продольного систолического стрейна свободной стенки ПЖ возможно арифметически (среднее из показаний по трем сегментам ПЖ в методике 6 или 3 сегментов) или по систолическому пику кривой среднего стрейна ПЖ (в методике 3 сегментов) [7]. Клиническое применение стрейна ПЖ заключается в определении субклинических изменений (до изменения параметров стандартной ЭхоКГ и ФВ ПЖ в 3D-режиме), динамической оценки терапевтического эффекта и прогноза. При исследовании прогностического значения GLS правого желудочка А. Sachdev et al. [9] обнаружили, что прогрессирование симптомов легочной гипертензии в 2,5 раза чаще определялось при снижении GLS ПЖ  $<20\%$ , и более, чем в 20 раз – при снижении GLS ПЖ  $<12,5\%$ . Аналогично снижалась выживаемость данных пациентов. Смертность от всех причин была также выше среди пациентов с GLS ПЖ  $<15\%$ .

Таким образом, в клинической практике ПЖ должен быть измерен на базальном и срединном уровнях, ВТПЖ на уровне проксимального и дистального отделов. Из размеров правых камер также необходимо обязательно рассчитывать индекс объема правого

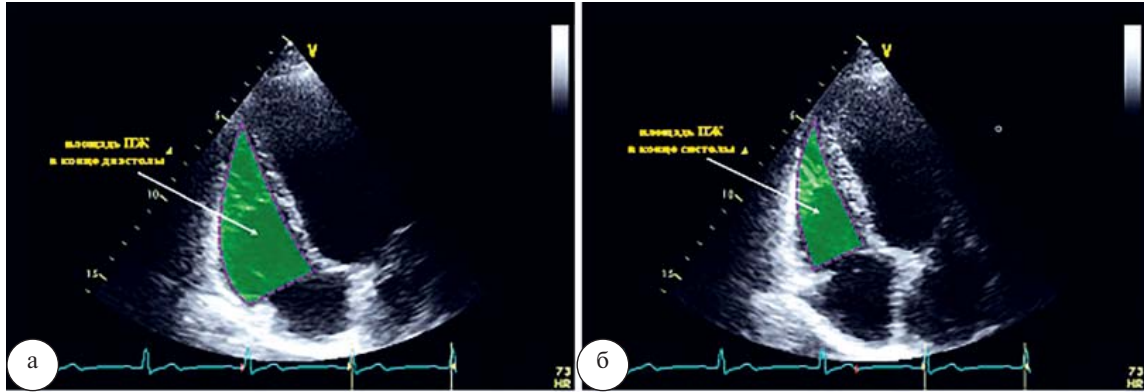


Рис. 8. Измерение конечно-диастолической площади (а) и конечно-систолической площади для расчета фракционного изменения площади (ФАК) ПЖ (б)

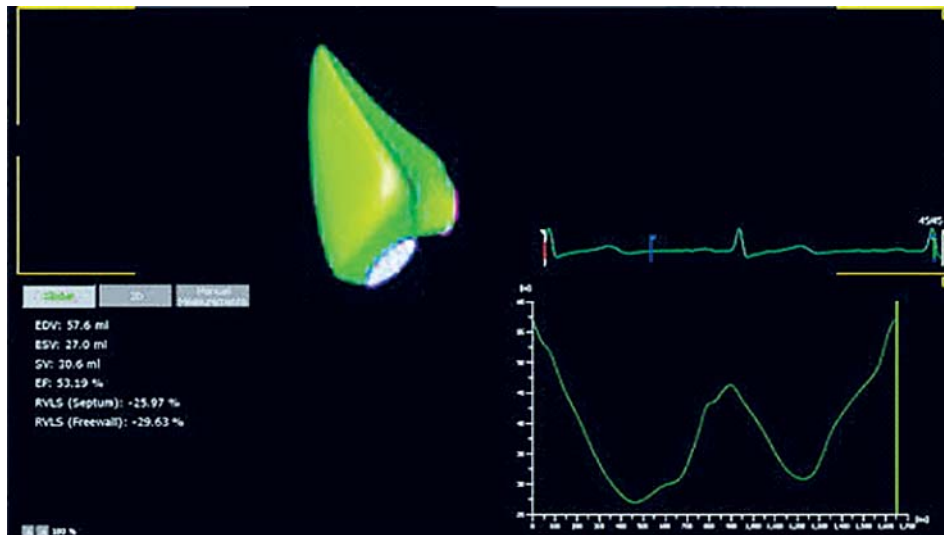


Рис. 9. Измерение объемов и ФВ ПЖ в 3D-режиме

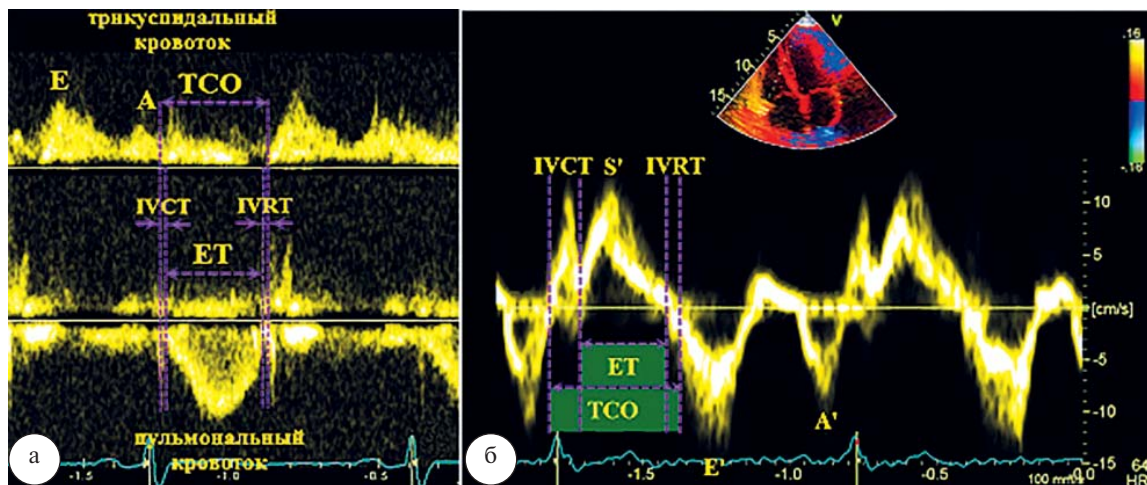


Рис. 10. Измерение МРИ ПЖ в импульсном доплеровском (а) и в тканевом доплеровском режимах (б)

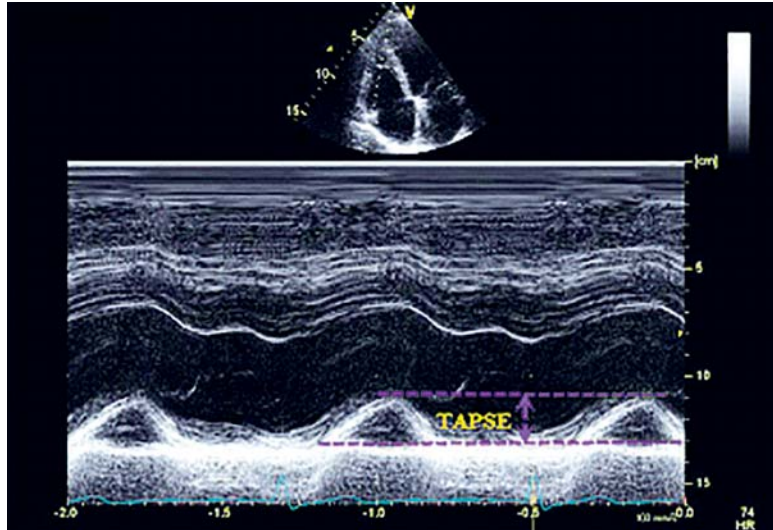


Рис. 11. Измерение TAPSE в М-режиме

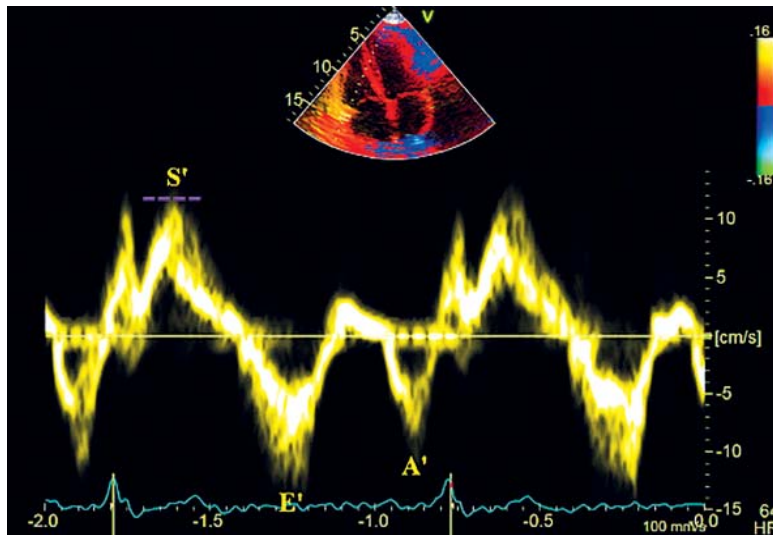


Рис. 12. Измерение S' латеральной части трикуспидального кольца в тканевом доплеровском режиме

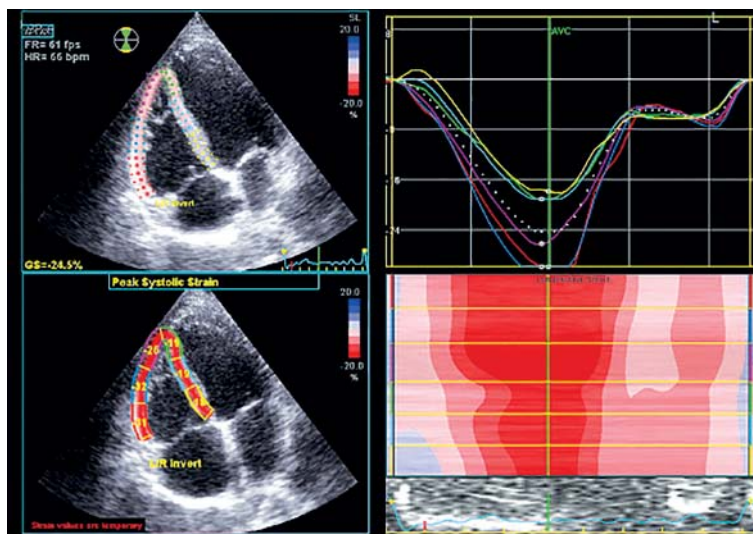


Рис. 13. Измерение GLS ПЖ в режиме Speckle tracking

предсердия с учетом значений, представленных в современных рекомендациях.

Существует несколько простых методик оценки систолической функции ПЖ, которые следует использовать в обычной диагностической практике. Это такие показатели, как FAC, TAPSE, S' и MPI.

Комбинируя эти параметры, можно с большей уверенностью утверждать о нормальной или патологической функции ПЖ, а также оценивать в динамике эффективность терапии.

При наличии соответствующих возможностей современной аппаратуры необходимо определять наиболее информативные показатели, такие как ПЖ в 3D-режиме и GLS, которые имеют чувствительность и специфичность, в высокой степени коррелирующие со значениями, полученными при МРТ сердца (для ФВ в 3D-режиме коэффициент корреляции составил 0,85; для 2D GLS – 0,67) [10].

### Литература

1. Freed, B.H. Right ventricular strain in pulmonary arterial hypertension: a 2D echocardiography and cardiac magnetic resonance study / B.H. Freed [et al.] // Echocardiography. – 2015. – Vol. 32. – P. 257–263.
2. Galderisi, M. Standardization of adult transthoracic echocardiography reporting in agreement with recent chamber quantification, diastolic function, and heart valve disease recommendations: an expert consensus document of the European Association of Cardiovascular Imaging / M. Galderisi [et al.] // European Heart Journal. – Cardiovascular Imaging. – 2017. – Vol. 18 (12). – P. 10.
3. Lakatos, B. Quantification of the relative contribution of the different right ventricular wall motion components to right ventricular ejection fraction: the ReVISION method / B. Lacatos, Z. Toser, M. Tokodi // Cardiovascular Ultrasound. – 2017. – Vol. 15. – P. 8.
4. Lang, R.M. Recommendations for cardiac chamber quantification by echocardiography in adults: an update from the American Society of Echocardiography and the European Association of Cardiovascular Imaging / R.M. Lang [et al.] // Journal of the American Society of Echocardiography. – 2015. – Vol. 28. – P. 1–39.
5. Lang, R.M. Recommendations for chamber quantification: a report from the American Society of Echocardiography's Guidelines and Standards Committee and the Chamber Quantification Writing Group, Developed in Conjunction with the European Association of Echocardiography, a branch of the European Society of Cardiology / R.M. Lang [et al.] // Journal of the American Society of Echocardiography. – 2005. – Vol. 18. – P. 1440–1463.
6. Muraru, D. New speckle-tracking algorithm for right ventricular volume analysis from three-dimensional echocardiographic data sets: validation with cardiac magnetic resonance and comparison with the previous analysis tool / D. Muraru [et al.] // European Heart Journal. – Cardiovascular Imaging. – 2016. – Vol. 17. – P. 1279–89.
7. Muraru, D. Sex- and method-specific reference values for right ventricular strain by 2-dimensional speckle-tracking echocardiography / D. Muraru [et al.] // Circulation – Cardiovascular Imaging. – 2016 Vol. 9 (2). – P. 38–66.
8. Rudski, L.G. Guidelines for the echocardiographic assessment of the right heart in adults: a report from the American Society of Echocardiography endorsed by the European Association of Echocardiography, a registered branch of the European Society of Cardiology, and the Canadian Society of Echocardiography / L.G. Rudski [et al.] // Journal of the American Society of Echocardiography. – 2010. – Vol. 23. – P. 685–713.
9. Sachdev, A. Right ventricular strain for prediction of survival in patients with pulmonary arterial hypertension / A. Shachdev [et al.] // CHEST. – 2011. – Vol. 139 (6). – P. 1299–1309.
10. Zwaan, H.B. Right ventricular quantification in clinical practice: two-dimensional vs. three-dimensional echocardiography compared with cardiac magnetic resonance imaging / H.B. Zwaan [et al.] // European Journal Echocardiography. – 2011. – Vol. 12. – P. 656–654.

S.Yu. Bartosh-Zelenaya, I.A. Evsikova, O.A. Guseva, T.V. Nayden, L.D. Kiryukhina

### The possibilities of echocardiography of the right heart chambers

**Abstract.** *The possibilities of modern echocardiography in the right heart chambers assessment are disclosed. The most novel methods of measurement and standards of sizes of the right heart chambers, parameters of systolic and diastolic function using quantitative three-dimensional echocardiography and myocardial strain are described. It was mentioned that echocardiographic estimation of the right heart chambers is of the same great significance as the assessment of the left ones, but is complicated due to anatomic and functional features. It demanded some steps for create and validate the right atrium and ventricle linear and volume parameters, right ventricle systolic and diastolic function and its normal values. So, contemporary echo-protocol would contain right ventricle basal and median sizes, proximal and distal right ventricle outflow tract diameters, right atrium volume index. For assessment of the right ventricle systolic function the combined using of following markers is recommended: fractional area change, tricuspid annulus systolic excursion, systolic myocardial velocity, myocardial performance index. Special technologies of modern ultrasound equipment allows to determine the most effective parameters, such as 3D volumes, 3D ejection fraction and right ventricle global longitudinal strain.*

**Key words:** *right heart chambers, 3D echocardiography, global longitudinal strain, Right Ventricular Separate wall motion quantification, ejection fraction, tricuspid annulus peak systolic excursion, peak systolic tricuspid valve lateral annular velocity, myocardial performance index.*

Контактный телефон: +7-911-023-16-55; e-mail: ira\_evsikova@mail.ru