

УДК 543.429.2+616.127.2-007.2-073.43
<https://doi.org/10.56871/RBR.2025.25.67.007>

ПРЕИМУЩЕСТВА 3D-ЭХОКАРДИОГРАФИИ В ОЦЕНКЕ МАССЫ МИОКАРДА ПРАВОГО ЖЕЛУДОЧКА И ВИЗУАЛИЗАЦИИ ОТКРЫТОГО АРТЕРИАЛЬНОГО ПРОТОКА

© Линард Юрьевич Артюх¹, Ксения Александровна Гафиатулина²,
Геннадий Иванович Ничипорук^{1, 3}, Иван Васильевич Гайворонский^{1, 3, 4}

¹ Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова. 194044, г. Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, д. 6, Российская Федерация

² Городская Мариинская больница. 191014, г. Санкт-Петербург, Литейный пр., д. 56, Российская Федерация

³ Санкт-Петербургский государственный университет. 199034, г. Санкт-Петербург, Университетская наб., д. 7–9, Российская Федерация

⁴ Национальный медицинский исследовательский центр имени В.А. Алмазова. 197341, г. Санкт-Петербург, ул. Аккуратова, д. 2, Российская Федерация

Контактная информация: Линард Юрьевич Артюх — преподаватель кафедры нормальной анатомии им. академика В.Н. Тонкова.
E-mail: l-artyukh@mail.ru <https://orcid.org/0000-0001-6306-2661> SPIN: 9489-1060

Для цитирования: Артюх Л.Ю., Гафиатулина К.А., Ничипорук Г.И., Гайворонский И.В. Преимущества 3D-эхокардиографии в оценке массы миокарда правого желудочка и визуализации открытого артериального протока. Российские биомедицинские исследования. 2025;10(3):74–82. <https://doi.org/10.56871/RBR.2025.25.67.007>

Поступила: 09.06.2025

Одобрена: 24.07.2025

Принята к печати: 16.09.2025

Резюме. Оценка структуры правого желудочка при помощи двухмерной эхокардиографии достаточно трудная и редкая задача в клинической практике. Масса миокарда правого желудочка чаще определяется с помощью магнитно-резонансной томографии, компьютерной томографии и трехмерной эхокардиографии. Патологические состояния миокарда правого желудочка наблюдаются часто при заболеваниях системы кровообращения, включая в том числе врожденные пороки сердца и магистральных сосудов, такие как открытый артериальный проток (экстракардиальный шунт в период фетального кровообращения плода). Оценка массы миокарда правого желудочка с учетом его «неправильной» геометрической формы достаточно сложна. Метод 3D-эхокардиографии предлагает значительные преимущества, при этом исключается необходимость геометрических допущений и обеспечивается более точное представление о форме и структуре правого желудочка. Проведенные рядом авторов исследования установили, что 3D-эхокардиография в 9 раз более точно способна оценивать характеристики правого желудочка по сравнению с 2D-эхокардиографией и сопоставима с ангиографией (катетеризацией камер сердца). Для визуализации открытого артериального протока данный метод демонстрирует высокую точность, что подтверждает ряд исследований. Использование 3D-эхокардиографии предоставляет новые возможности для более детальной оценки массы миокарда правого желудочка и визуализации анатомических структур сердца, в том числе экстракардиальных, при этом являясь неинвазивной и менее затратной процедурой.

Ключевые слова: масса миокарда правого желудочка, методы оценки массы миокарда правого желудочка, 2D-эхокардиография, 3D-эхокардиография, открытый артериальный проток, визуализация открытого артериального протока, ангиография

<https://doi.org/10.56871/RBR.2025.25.67.007>

POSSIBILITIES OF ECHOCARDIOGRAPHY IN ASSESSING THE MASS OF THE RIGHT VENTRICULAR MYOCARDIUM AND VISUALIZATION OF THE PATENTUS DUCTUS ARTERIOSUS USING 3D ECHOCARDIOGRAPHY

© Linard Yu. Artyukh¹, Ksenia A. Gafiatullina²,
Gennady I. Nichiporuk^{1, 3}, Ivan V. Gayvoronsky^{1, 3, 4}

¹ S.M. Kirov Military Medical Academy. 6 Academician Lebedev str., Saint Petersburg 194044 Russian Federation

² City Mariinsky Hospital. 56 Liteyny ave., Saint Petersburg 191014 Russian Federation

³ Saint Petersburg State University. 7–9 Universitetskaya emb., Saint Petersburg 199034 Russian Federation

⁴ Almazov National Medical Research Center. 2 Akkuratov str., Saint Petersburg 197341 Russian Federation

Contact information: Linard Yu. Artyukh — Lecturer of the Department of Normal Anatomy named after Academician V.N. Tonkov.
E-mail: l-artyukh@mail.ru <https://orcid.org/0000-0001-6306-2661> SPIN: 9489-1060

For citation: Artyukh LYu, Gafiatullina KA, Nichiporuk GI, Gayvoronsky IV. Possibilities of echocardiography in assessing the mass of the right ventricular myocardium and visualization of the patentus ductus arteriosus using 3D echocardiography. Russian Biomedical Research. 2025;10(3):74–82. <https://doi.org/10.56871/RBR.2025.25.67.007>

Received: 09.06.2025

Revised: 24.07.2025

Accepted: 16.09.2025

Abstract. Assessing the structure of the right ventricle using two-dimensional echocardiography is a rather difficult and rare task in clinical practice. The mass of the right ventricular myocardium is more often determined using magnetic resonance imaging, computed tomography and three-dimensional echocardiography. Pathological conditions of the right ventricular myocardium are often observed in diseases of the circulatory system, including, but not limited to, congenital heart defects and major vessels, such as an patentus ductus arteriosus (extracardial shunt during fetal circulation). Estimating the mass of the right ventricular myocardium, taking into account its “irregular” geometric shape, is quite difficult. The 3D echocardiography method offers significant advantages by eliminating the need for geometric assumptions and providing a more accurate representation of the shape and structure of the right ventricle. Studies conducted by a number of authors have established that 3D echocardiography is 9 times more accurate in assessing the characteristics of the pancreas compared to 2D echocardiography and is comparable to angiography (catheterization of heart chambers). For visualization of the open ductus arteriosus, this method demonstrates high accuracy, which is confirmed by a number of studies. The use of 3D echocardiography provides new opportunities for a more detailed assessment of pancreatic myocardial mass and visualization of anatomical structures of the heart, including ectracardial ones, while being a non-invasive and less costly procedure.

Keywords: right ventricular myocardial mass, methods for estimating right ventricular myocardial mass, 2D echocardiography, 3D echocardiography, patentus ductus arteriosus, patentus ductus arteriosus imaging, angiography



ВВЕДЕНИЕ

Оценка структуры правого желудочка (ПЖ) посредством двухмерной эхокардиографии (2D-ЭхоКГ) все еще остается проблематичной и мало используется в клинической практике. Существует огромное количество исследований, посвященных оценке функции и объему ПЖ, однако оценка массы миокарда несколько игнорируется и практически не описана [1–5]. Чаще для определения массы миокарда ПЖ (ММПЖ) используются магнитно-резонансная томография (МРТ), компьютерная томография (КТ) и трехмерная эхокардиография сердца (3D-ЭхоКГ) [6–8].

В то же время гипертрофия миокарда ПЖ может наблюдаться при многих заболеваниях, таких как легочная гипертензия, врожденные пороки сердца, стеноз легочного клапана и некоторые инфильтративные заболевания [6].

Одной из таких нозологических форм является открытый артериальный проток (ОАП), при длительной персистенции вызывающий тяжелую легочную гипертензию, приводя к объемной перегрузке и гипертрофии правых камер сердца. ОАП составляет 5–10% всех врожденных пороков сердца (ВПС), чаще встречаясь у недоношенных девочек, чем у мальчиков, соответственно 3:1 [9]. По мнению P.S. Rao, M.J. Kern, «Физиологическое воздействие и клиническое значение ОАП во многом зависят от его размера и состояния сердечно-сосудистой системы пациента» [10].

Боталлов проток может быть «немым», малым, средним или большим, в связи с этим существует несколько его классификаций — клинических и ангиографических. Однако до настоящего времени нет данных об эхокардиографических изменениях правых камер сердца в зависимости от размера протока и длительности его функционирования.

Данная публикация посвящена вопросам оценки массы миокарда правого желудочка с целью определения наиболее точных методов, а также вопросам трехмерной эхокардиографии в визуализации артериального протока.

ОЦЕНКА МАССЫ МИОКАРДА ПРАВОГО ЖЕЛУДОЧКА

Обсуждая методы вычисления массы миокарда, нельзя не отметить, что в литературе более распространены методы оценки левого желудочка (ЛЖ). Это объясняется существенной разницей в строении двух желудочков. ЛЖ имеет форму пули, что делает его более доступным для оценки трансторакально. Правый желудочек, в свою очередь, имеет сложную неправильную форму полумесяца или трехгранной пирамиды, по этой причине не существует такой геометрической фигуры, которая могла бы адекватно отразить размеры данной структуры, не упрощая его форму [11].

Правый желудочек с практической и функциональной точек зрения имеет форму в виде U-образно (подковообразно) изогнутой петли [12]. Геометрия ПЖ сложна, так как он серповидно охватывает полость левого желудочка [13]. Функционально ПЖ имеет три сегмента, разделенные двумя мышеч-

ными перехватами — 1-й в области атриовентрикулярного клапана, 2-й сразу под атриовентрикулярным клапаном (наиболее широкий), 3-й в области выходного тракта ПЖ и (или) в области визуализации модераторного пучка (щелевидный).

Правый желудочек имеет три стенки: переднюю, заднюю (диафрагмальную) и левую (внутреннюю или перегородочную), однако современные авторы указывают только на две стенки — париетальную, образующую его переднюю и заднюю поверхности, и перегородочную, разделяющую полости правого и левого желудочков [12]. Следует отметить, что перегородочная стенка, образованная межжелудочковой перегородкой (МЖП), состоит из передней и задней МЖП и мембранозной части МЖП.

При проведении исследования в полости ПЖ определяется выраженная трабекулярность с визуализацией в выходном отделе правого желудочка модераторного пучка (направляющей трабекулы). Анатомические особенности, описанные выше, не позволяют, а иногда и делают невозможным получение качественных акустических окон для его оценки ПЖ из стандартных позиций двухмерной эхокардиографии [8, 11, 14].

Кроме того, нет однозначного мнения, как оценивать межжелудочковую перегородку, которая анатомически принадлежит обоим желудочкам, а функционально — левому [15–17]. Наконец, двухмерная эхокардиография не дает возможности включить в наблюдения выходной отдел правого желудочка (артериальный конус) [11]. Тем не менее способы оценки существуют. Было предложено несколько геометрических моделей для оценки ПЖ [8]. Первая предполагает, что ПЖ имеет эллиптическую площадь поперечного сечения [18], для простоты применения принималась пирамидальная форма [19]. Во втором методе используют площадь призматической формы ПЖ, он зарекомендовал себя при исследовании врожденных пороков сердца [20]. Дальнейшие исследования статических и динамических изменений ПЖ привели к использованию полукруглой формы ПЖ в поперечном сечении, в этом случае объем полости вычислялся путем произведения площади и длины [21]. Дальнейшие работы в этом направлении сформировали иное мнение о форме ПЖ — по короткой оси свободная стенка имеет круглую форму, а по длинной — параболическую форму [22].

В экспериментальных исследованиях было доказано, что изолированная гипертрофия миокарда ПЖ ограничена ее свободной стенкой [23]. Однако нельзя исключать, что межжелудочковая перегородка (МЖП) не затрагивается при изолированных изменениях ПЖ, все-таки при расчетах ее масса исключается [7, 17, 23]. Этот факт подтверждается тем, что при препарировании сердца свободная стенка ПЖ легко отделяется от МЖП и свободной стенки ЛЖ, в то время как свободную стенку ЛЖ отделить от МЖП затруднительно. Кроме того, их результаты демонстрируют более частую гипертрофию МЖП при изолированной гипертрофии ЛЖ (ГЛЖ), чем при гипертрофии ПЖ (ГПЖ). Хотя более поздние работы свидетельствуют о том, что трабекулярный компонент МЖП все-таки принадлежит ПЖ [8].

ММПЖ может быть оценена из произведения удельного веса миокарда и объема свободной стенки ПЖ [7]. J.J. Joусе и соавт. (2001) подтвердили точность данного метода с использованием МРТ, КТ и трехмерной эхокардиографии [7, 24, 25].

Рассмотрим методы расчета ММПЖ [6–8].

ММПЖ оценивается следующим уравнением:

$$\text{ММПЖ} = \text{ПППЖ} \cdot \text{ТС} \cdot \text{ПМ},$$

где ММПЖ — масса миокарда свободной стенки ПЖ; ПППЖ — площадь поверхности свободной стенки ПЖ; ТС — толщина свободной стенки ПЖ; ПМ — плотность миокарда (принимается равной $1,05 \text{ г/см}^3$) [6–8].

Оценка толщины передней стенки ПЖ проводится инструментальным путем, в то время как ПППЖ необходимо высчитывать. Для определения ПППЖ предлагается использовать 1/4 площади поверхности эллипсоида, за который принимается правый желудочек (one-quarter prolate ellipsoid surface area) (рис. 1), а также формулы, приведенные ниже.

Метод точного радиуса

Авторы использовали два взаимно перпендикулярных радиуса R_1 и R_2 , которые измеряли в апикальной позиции (рис. 1, б). Окончательный вариант формулы с поправочными коэффициентами выглядит так [7]:

$$\text{ММПЖ} = 3,4 \left(\frac{R_1^2}{2} \right) \cdot \left(1 + \frac{R_2 \sin^{-1} \varepsilon}{R_1 \varepsilon} \right) \cdot (\text{ТС}) + 2,2,$$

где ММПЖ — масса миокарда свободной стенки ПЖ; ПППЖ — площадь поверхности свободной стенки ПЖ; ТС — толщина свободной стенки ПЖ; ПМ — плотность миокарда (принимается равной $1,05 \text{ г/см}^3$), R_1 и R_2 — большой и малый радиусы соответственно (рис. 1).

Метод упрощенного радиуса [7]

Используются те же радиусы, но формула упрощена и более применима клинически.

$$\text{ММПЖ} = 3,63 \left(\frac{R_1^2}{2} \right) \cdot \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) \cdot (\text{ТС}) + 2,1,$$

где ММПЖ — масса миокарда свободной стенки ПЖ; ПППЖ — площадь поверхности свободной стенки ПЖ; ТС — толщина свободной стенки ПЖ; ПМ — плотность миокарда (принимается равной $1,05 \text{ г/см}^3$); R_1 и R_2 — большой и малый радиусы соответственно (рис. 1).

Метод продольной плоскости [7]

Авторы предположили, что можно использовать площадь продольного сечения для оценки ММПЖ.

$$\begin{aligned} \text{ПППЖ} &= K; \\ \text{ММПЖ} &= 5,84 \cdot K \cdot \text{ТС} + 1, \end{aligned}$$

где ПППЖ — площадь поверхности свободной стенки ПЖ, K — площадь продольного сечения, измеренная в апикальной позиции.

Метод «пули» [6]

Поперечная площадь ПЖ рассчитывается через две взаимно перпендикулярные оси D_1 и D_2 , расположенные на равных расстояниях от трикуспидального кольца и верхушки ПЖ (рис. 2):

$$\text{ПпПЖ} = \frac{5}{24} \pi \cdot D_1 \cdot D_2 \cdot L,$$

где ПпПЖ — площадь поперечного сечения ПЖ; D_1 и D_2 — взаимные перпендикуляры; L — длинная ось ПЖ (трикуспидально-апикальная ось), измерены в апикальной позиции.

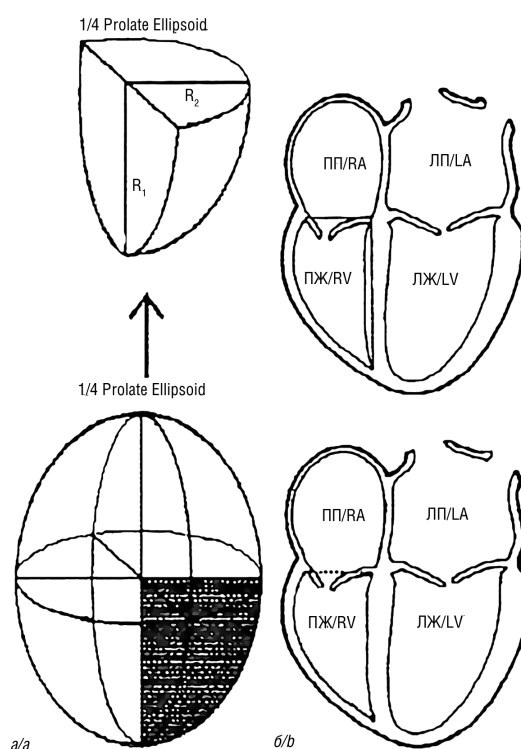


Рис. 1. Модель one-quarter prolate ellipsoid surface area (1/4 площади поверхности эллипсоида, за который принимается правый желудочек) (а): R_1 — большой радиус; R_2 — малый радиус. Заштрихованная часть представляет собой продольную плоскость. Четырехкамерная апикальная позиция сердца (б): ПП — правое предсердие; ПЖ — правый желудочек; ЛП — левое предсердие; ЛЖ — левый желудочек; R_1 — измерение длины межжелудочковой перегородки ПЖ; R_2 — измерение диаметра трикуспидального клапана; пунктиром указано измерение площади правого желудочка [7]

Fig. 1. The one-quarter model prolate ellipsoid surface area (1/4 of the surface area of the ellipsoid, which is taken as the right ventricle) (a): R_1 — large radius; R_2 — small radius. The shaded part represents the longitudinal plane. The four-chambered apical position of the heart (b): RA — right atrium; RV — right ventricle; LA — left atrium; LV — left ventricle; R_1 — measurement of the length of the pancreatic ventricle; R_2 — measurement of the diameter of the tricuspid valve; the dotted line indicates the measurement of the area of the right ventricle [7]

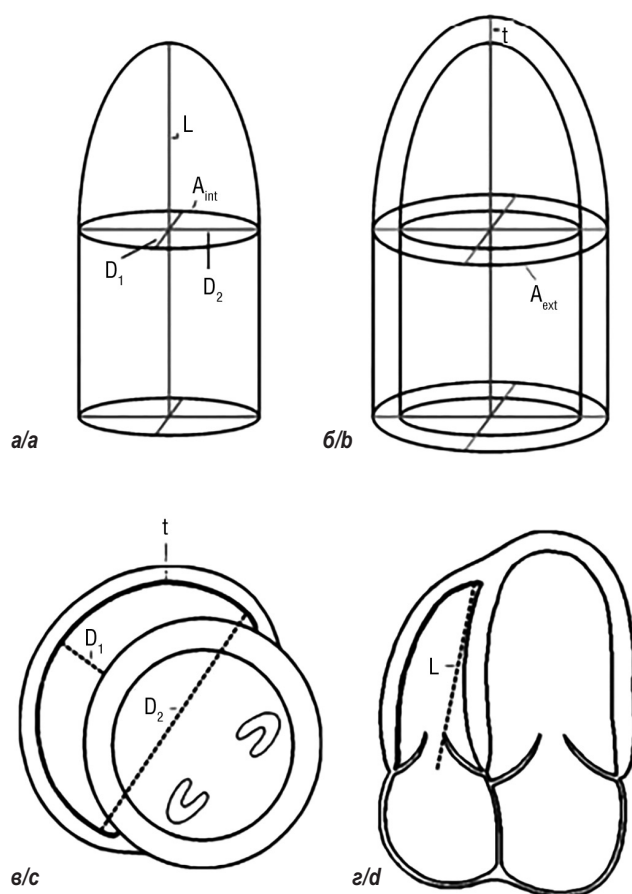


Рис. 2. Формула «пули»: *a* — геометрическая модель ЛЖ; D_1 , D_2 — взаимно перпендикулярные оси по короткой оси, L — длинная ось ЛЖ; *b* — позиция по короткой оси; *c* — объем полости ЛЖ плюс толщина миокарда (t); *d* — апикальная позиция [7]

Fig. 2. The “bullet” formula: *a* — geometric model of the LV; D_1 , D_2 — mutually perpendicular axes along the short axis; L — long axis of the LV; *b* — position along the short axis; *c* — volume of the LV cavity plus the thickness of the myocardium (t); *d* — apical position [7]

Метод трех сегментов [6]

Этот метод был выведен благодаря форме, которую принимает ПЖ, если его рассечь и развернуть (рис. 3). Он требует измерения трех сегментов эндокарда: b — длина эндокарда в позиции по короткой оси аортального клапана (рис. 4, *a*); B — по короткой оси между кольцом трикуспидального клапана и верхушкой (рис. 4, *b*); h — в четырехкамерной позиции (рис. 4, *b*).

Эти сегменты были измерены в диастоле и соответствуют двум основаниям и высоте трапеции (рис. 3). Далее вычислялась площадь трапеции по формуле:

$$A = \left(\frac{b_1 + B}{2} \right) \cdot h$$

где A — площадь трапеции; b_1 , B и h — длины эндокарда, измеренные в диастоле.

Масса миокарда рассчитывалась путем умножения площади трапеции на толщину стенки ПЖ:

$$\text{ММПЖ} = A \cdot \text{ТС} \cdot 1,055,$$

где ММПЖ — масса миокарда ПЖ; A — площадь трапеции, ТС — толщина стенки ПЖ, 1,055 — плотность миокарда (рис. 3).

Используя последние методы, можно вполне удовлетворительно оценить массу миокарда ПЖ с использованием двухмерной эхокардиографии, что подтвердили S.C. Pontes Jr. и соавт., сравнив рассчитанную массу с анатомической. Для этого они проводили испытания сначала на животных, а затем на людях [6]. Однако данные методы нельзя назвать эталонными, поскольку масса правого желудочка все равно недооценивалась. Здесь необходимо отметить, что измерение ММПЖ вообще ассоциировано с большим количеством погрешностей, даже при использовании других методов, таких как трехмерная эхокардиография или МРТ.

Недавний метаанализ показал, что и МРТ, и 3D-эхокардиография недооценивают объемы желудочков [26]. Таким образом, не существует неинвазивного метода, который бы давал данные, сходные с анатомическими [6].

ВОЗМОЖНОСТИ И ПРЕИМУЩЕСТВА ТРЕХМЕРНОЙ ЭХОКАРДИОГРАФИИ

Несмотря на все вышеперечисленные сложности, достаточно точным методом не только качественного, но и количественного исследования ПЖ представляется 3D-эхокардиография [11, 27]. В отличие от двухмерного сканирования, трехмерная ЭхоКГ имеет массу преимуществ, поскольку не требует геометрических допущений об истинной форме желудочка и стандартных изображений [27].

Трехмерная эхокардиография объединяет несколько сканирующих плоскостей, улучшая согласованность обнаружения границ, позволяя оценить каждое изображение в трехмерном соотношении с другими. Данный метод может «достраивать»

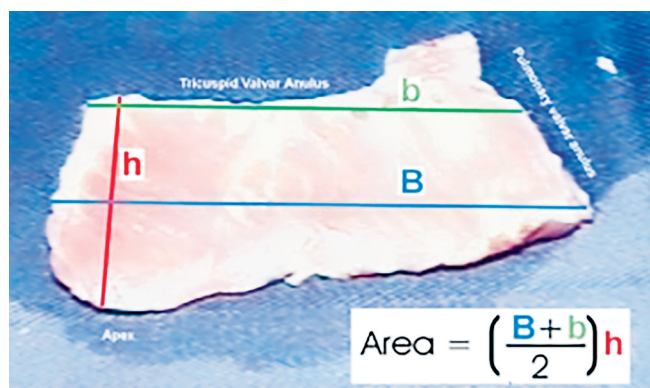


Рис. 3. Свободная стенка правого желудочка после препаровки: Area — площадь; B — большое основание; b — малое основание; h — высота [6]

Fig. 3. Free wall of the pancreas after preparation. Area — the area; B — large base; b — small base; h — height [6]

те части миокарда, которые не удается достаточно визуализировать ввиду анатомического расположения ПЖ. Специальные алгоритмы позволяют менять положение и ориентацию для оптимизации изображения — трехмерную модель можно поворачивать и просматривать. Благодаря данному методу можно получить более точную толщину свободной стенки ПЖ. Согласно исследованию L. Jiang и соавт., точность 3D-ЭхоКГ метода была в 9 раз выше, чем 2D-ЭхоКГ [11].

В литературе часто описывается неравномерная гипертрофия ПЖ в зависимости от причины его перегрузки. Так, при перегрузке давлением стенка выходного тракта ПЖ и (или) миокард вокруг наджелудочкового гребня гипертрофируются в первую очередь [11]. В связи с этим изолированная оценка ММПЖ двухмерным методом не всегда корректна, поскольку она может увеличиваться за счет дилатации ПЖ, а не за счет гипертрофии стенки. При изолированной перегрузке давлением в ПЖ увеличение ММПЖ происходит за счет увеличения толщины стенки, в то время как при изолированной перегрузке объемом без сопутствующей легочной гипертензии увеличение происходит за счет дилатации камеры ПЖ [17].

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ОТКРЫТОГО АРТЕРИАЛЬНОГО ПРОТОКА С ПОМОЩЬЮ 3D-ЭХОКАРДИОГРАФИИ

3D-эхокардиография и ее уникальные возможности обеспечения объемной визуализации в реальном времени

способствуют высокой точности оценки камер сердца. С недавних пор метод стали применять в визуализации внесердечных структур [28], таких как аорта, легочный ствол и открытый артериальный проток, являющихся в периоде фетального кровообращения плода экстракардиальным шунтом.

Проведенные исследования рядом авторов из Университетской больницы Айн-Шамс (Каир) в 2012 году продемонстрировали точность трехмерной эхокардиографии при определении размеров и анатомического типа ОАП по сравнению с двухмерной эхокардиографией и ангиографией. Всем 42 пациентам последовательно, разными врачами, независимо друг от друга, была выполнена 2D-ЭхоКГ, 3D-ЭхоКГ и ангиография. Исследование 3D-ЭхоКГ проводилось согласно рекомендациям, разработанным в 2008 году, специалистами Клиники Майо и Медицинского центра Университета Лома Линда, США [29]. Для одновременного выделения ОАП в трех плоскостях использовался режим многоплоскостного преобразования (multi-plane reformatted — MPR) (рис. 5). Это уникальный метод, позволяющий точно визуализировать динамическую морфологию сердца.

По результатам проведенного исследования были получены следующие данные о средних размерах ОАП [29]: у его легочного конца — $1,8 \pm 0,5$ мм в диапазоне от 1,1 до 3,4 мм; аортального конца — от 3,4 до 11 мм, в среднем $7,7 \pm 1,4$ мм, а также о длине протока в среднем, которая составила $7,6 \pm 1,8$ мм в диапазоне от 2,8 до 10 мм.

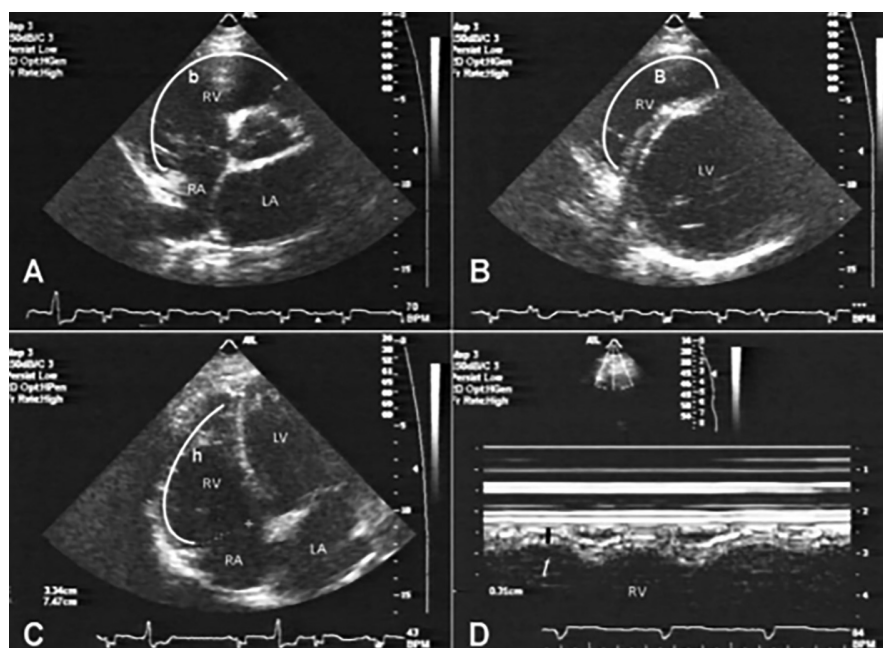


Рис. 4. Измерение эндокарда по методу трех сегментов: а — парастеральная позиция по короткой оси на уровне аортального клапана; б — парастеральная позиция по короткой оси на уровне сосочковых мышц; в — апикальная четырехкамерная позиция; г — измерение толщины ПЖ в М-режиме. RA — правое предсердие (right atrium); LA — левое предсердие (left atrium); RV — правый желудочек (right ventricle); LV — левый желудочек (left ventricle) [6]

Fig. 4. Measurement of the endocardium using the three segments method: a — parasternal position along the short axis at the level of the aortic valve; b — parasternal position along the short axis at the papillary muscle level; c — apical four-chamber position; d — measurement of pancreatic thickness in M-mode. RA — right atrium; LA — left atrium; RV — right ventricle; LV — left ventricle [6]

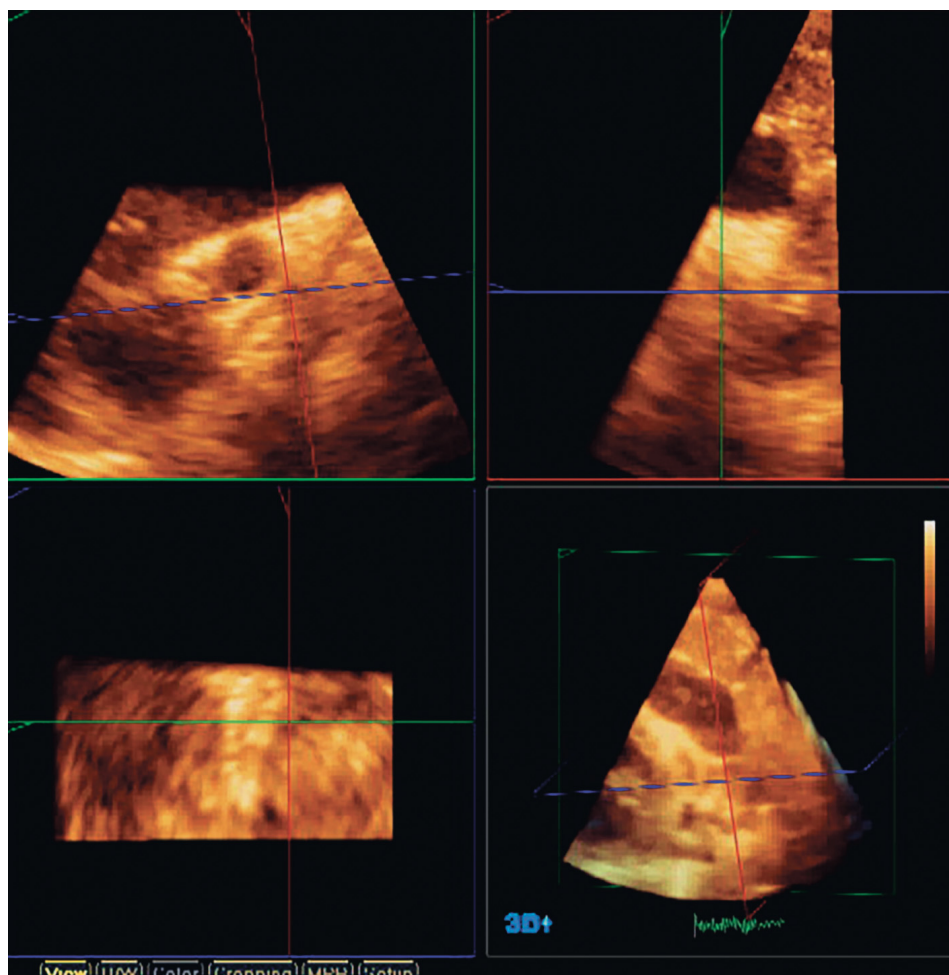


Рис. 5. Многоплоскостное переформатированное окно. Видны три разные проекции: коронарная (зеленый квадрат), сагиттальная (красный квадрат) и поперечная (синий квадрат). Легочный конец протока отмечен точкой пересечения зеленой и красной линий в синем квадрате

Fig. 5. Multi-plane reformatted window. Three different projections are visible: the coronary (green square), sagittal (red square) and transverse (blue square). The pulmonary end of the duct is marked by the intersection point of the green and red lines in the blue square

Длина протока, измеренная с помощью 2D-ЭхоКГ, составила в среднем $7,1 \pm 1,7$ мм, а измеренная с помощью 3D-ЭхоКГ — в среднем $7,6 \pm 1,8$ мм. 3D-эхокардиографическое измерение длины ОАП показало лучшие результаты по сравнению с измерением с помощью ангиографии, которое составило в среднем $7,8 \pm 2,3$ мм. Однако авторы утверждают, что «при 2D-эхокардиографии длина ОАП была значительно занижена по сравнению с измерением при ангиографии» [29].

При этом проведенное исследование в 2014 году учеными из Университета Танта позволило получить сходные данные со своими коллегами из Университетской больницы Айн-Шамс, изучив исследования у 24 пациентов при помощи 3D-эхокардиографии. Исходя из полученных результатов, авторами приводятся следующие данные: «Диаметр легочного конца от 1,9 до 3,4 мм со средним значением $2,6 \pm 0,61$ мм; диаметр аортального конца от 3,5 до 9 мм со средним значе-

нием $5,74 \pm 1,74$ мм; длина протока от 4 до 10 мм со средним значением $7,29 \pm 1,87$ мм» [30].

Данные исследования наглядно демонстрируют преимущества 3D-эхокардиографии по сравнению с двухмерным исследованием [29, 30] и способность составить конкуренцию достаточно инвазивному методу диагностики — ангиографии, считающимся «золотым стандартом» для оценки ОАП.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Трехмерная эхокардиография — достаточно точный метод не только качественного, но и количественного исследования правого желудочка. Оценка массы миокарда правого желудочка актуальна для оценки патологических изменений, связанных с перегрузкой объемом и давлением в правом желудочке. Она осуществима благодаря уже разработанным методам расчета массы миокарда правого желудочка, таким

как «Метод точного радиуса», «Метод упрощенного радиуса», «Метод продольной плоскости», «Метод “пули”» и «Метод трех сегментов». Одной из наиболее частых врожденных патологий в неонатальном периоде является открытый артериальный проток. Его оценка с помощью трехмерной эхокардиографии в режиме реального времени позволяет определить форму, размер (артериального, срединного и легочного концов) и положение протока. Двухмерная эхокардиография уступает трехмерной эхокардиографии в визуализации ОАП, которая по полученным результатам сопоставима с ангиографией, и в будущем может стать ее альтернативой.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. Все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

ADDITIONAL INFORMATION

Author contribution. Thereby, all authors made a substantial contribution to the conception of the study, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the article, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the study.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Mor-Avi V., Sugeng L., Lindner J.R. Imaging the forgotten chamber: Is the devil in the boundary? *J Am Soc Echocardiogr.* 2010;23(2):141–143. DOI: 10.1016/j.echo.2009.12.021.
- Gopal A.S., Chukwu E.O., Iwuchukwu C.J. et al. Normal values of right ventricular size and function by real-time 3-dimensional echocardiography: comparison with cardiac magnetic resonance imaging. *J Am Soc Echocardiography.* 2007;20(5):445–455. DOI: 10.1016/j.echo.2006.10.027.
- Kjaergaard J., Petersen C.L., Kjaer A. et al. Evaluation of right ventricular volume and function by 2D and 3D echocardiography compared to MRI. *Eur J Echocardiogr.* 2006;7(6): 430–438. DOI: 10.1016/j.euje.2005.10.009.
- Shiota T. 3D echocardiography: evaluation of the right ventricle. *Curr Opin Cardiol.* 2009;24(5):410–415. DOI: 10.1097/HCO.0b013e32832cf8f6.
- Sheehan F., Redington A. The right ventricle: anatomy, physiology and clinical imaging. *Heart.* 2008;94(11):1510–1515. DOI: 10.1136/hrt.2007.132779.
- Pontes S.C. Jr, Assef J.E., Barretto R.B., Chacur P., Moreira D.A., Da S. Nina V.J., Nunes F., Melani R.H., Correia E.B., Dinkuisen J., Sousa A.M. Estimation of right ventricular mass by two-dimensional echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr.* 2005;18(5):427–434. DOI: 10.1016/j.echo.2005.01.036.
- Joyce J.J., Denslow S., Kline C.H., Baylen B.G., Wiles H.B. Estimation of right ventricular free-wall mass using two-dimensional echocardiography. *Pediatric Cardiology.* 2001;22(4):306–314. DOI: 10.1007/s002460010235.
- Czegledy F., Aebischer N., Smith D., Katz J. (1993). A mathematical model of the right ventricular muscle geometry and mass. *J Biomed Eng.* 1993;15(2):127–131. DOI: 10.1016/0141-5425(93)90041-v.
- Moore P., Brook M.M., Heymann M.A. Patent ductus arteriosus. In: Allen H.D., Gutgesell H.P., Clark E.B. et al., editors. *Moss and Adam's heart disease in infants, children and adolescents including the fetus and young adult.* 6th ed. Philadelphia, USA: Lippincott Williams and Wilkins; 2001.
- Rao P.S. Summary and comparison of patent ductus arteriosus closure methods. In: Rao P.S., Kern M.J., editors. *Catheter based devices for the treatment of non-coronary cardiovascular disease in adults and children.* Philadelphia, PA, USA: Lippincott Williams and Wilkins; 2003.
- Jiang L., Vazquez de Prada J.A., Handschumacher M.D., Guerrero J.L., Vlahakes G.J., King M.E., Levine R.A. Three-dimensional echocardiography: In vivo validation for right ventricular free wall mass as an index of hypertrophy. *J Am Coll Cardiol.* 1994;23(7):1715–1722. DOI: 10.1016/0735-1097(94)90680-7.
- Бокерия Л.А., Беришвили И.И. Хирургическая анатомия сердца. Т. 1. Нормальное сердце и физиология кровообращения. 2-е изд., испр. и доп. М.: НЦССХ им. А.Н. Бакулева РАМН; 2009.
Bokeria L.A., Berishvili I.I. Surgical anatomy of the heart. Vol. 1. Normal heart and physiology of blood circulation. 2nd ed., corrected and enlarged. Moscow: A.N. Bakulev Scientific Center of Cardiovascular Surgery, Russian Academy of Medical Sciences; 2009. (In Russian).
- Беришвили И.И. Некоторые данные о морфогеометрии нормальных сердец. В кн.: *Диагностика и хирургическое лечение сердца и сосудов.* М.; 1981.
Berishvili I.I. Some data on the morpho-geometry of normal hearts. In: *Diagnostics and surgical treatment of the heart and blood vessels.* Moscow; 1981.
- Lang R.M., Badano L.P., Mor-Avi V., Afilalo J., Armstrong A., Ernande L., Flachskampf F.A., Foster E., Goldstein S.A., Kuznetsova T., Lancellotti P., Muraru D., Picard M.H., Rietzschel E.R., Rudski L., Spencer K.T., Tsang W., Voigt J.U. Recommendations for cardiac chamber quantification by echocardiography in adults: an update from the American Society of Echocardiography and the European Association of Cardiovascular Imaging. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging.* 2015;16(3):233–270. DOI: 10.1093/ehjci/jev014. Erratum in: *Eur Heart J Cardiovasc Imaging.* 2016;17(4):412.



- DOI: 10.1093/ehjci/jew041. Erratum in: *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*. 2016;17(9):969. DOI: 10.1093/ehjci/jew124.
15. Basmajian J.V. Grant's method of anatomy. Cap. 32. Heart and pericardium. 8th ed. Baltimore: Williams and Wilkins; 1971.
 16. Anderson H.R., Becker A.E. The orientation of fibres within the ventricular mass. In: *Cardiac anatomy: an integrated text and color atlas*. London: Gower Medical Publishing; 1980.
 17. Arcilla R.A., Mathew R., Sodt P., Lester L., Cahill N., Thilenius O.G. Right ventricular mass estimation by angioechocardiography. *Cathet Cardiovasc Diagn*. 1976;2(2):125–136. DOI: 10.1002/ccd.1810020204.
 18. Gentzler R.D., Briselli M.F., Gault J.H. Angiographic estimation of right ventricular volume in man. *Circulation*. 1974;50(2):324–330. DOI: 10.1161/01.cir.50.2.324.
 19. Ferlinz J., Gorlin R., Cohn P.F., Herman M.V. Right ventricular performance in patients with coronary artery disease. *Circulation*. 1975;52(4):608–615. DOI: 10.1161/01.cir.52.4.608.
 20. Fisher E.A., DuBrow I.W., Hastreiter A.R. Right ventricular volume in congenital heart disease. *Am J Cardiol*. 1975;36(1):67–75.
 21. Levine R.A., Thomas C.G., Aretz T., Gillam L.D., Guyer D.E., King M.E., Weyman A.E. Echocardiographic measurement of right ventricular volume. *Circulation*. 1984;69(3):497–505. DOI: 10.1161/01.cir.69.3.497.
 22. Aebischer N., Czegledy F. Determination of right ventricular volume by two-dimensional echocardiography with a crescentic model. *J Am Soc Echocardiogr*. 1989;2(2):110–118. DOI: 10.1016/s0894-7317(89)80073-2.
 23. Fulton R.M., Hutchinson E.C., Jones A.M. Ventricular weight in cardiac hypertrophy. *Br Heart J*. 1952;14(3):413–420. DOI: 10.1136/hrt.14.3.413.
 24. Doherty N.E., Fujita N., Caputo G.R., Higgins C.B. (1992). Measurement of right ventricular mass in normal and dilated cardiomyopathic ventricles using cine magnetic resonance imaging. *Am J Cardiol*. 1992;69(14):1223–1228. DOI: 10.1016/0002-9149(92)90940-z.
 25. Hajduczok Z.D., Weiss R.M., Stanford W., Marcus M.L. (1990). Determination of right ventricular mass in humans and dogs with ultrafast cardiac computed tomography. *Circulation*. 1990;82(1):202–212. DOI: 10.1161/01.cir.82.1.202.
 26. Kitano T., Nabeshima Y., Takeuchi M. Measurement accuracy of right ventricular parameters using 3D echocardiography: study-level meta-analysis. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2023;16(3):395–399. DOI: 10.1016/j.jcmg.2022.11.009.
 27. Hubka M., Mantei K., Bolson E., Coady K., Sheehan F. (n.d.). Measurement of right ventricular mass and volume by three-dimensional echocardiography by freehand scanning. *Comput Cardiol*. 2000;27:703–706.
 28. Roushdy A., Fiky A.E., Din D.E. Visualization of patent ductus arteriosus using real-time three-dimensional echocardiogram: Comparative study with 2D echocardiogram and angiography. *J Saudi Heart Assoc*. 2012;24(3):177–186. DOI: 10.1016/j.jsha.2012.02.001.
 29. Yang H.S., Bansal R.C., Mookadam F., Khandheria B.K., Tajik A.J., Chandrasekaran K. Practical guide for three-dimensional transthoracic echocardiography using a fully sampled matrix array transducer. *J Am Soc Echocardiogr*. 2008;21:979–989. DOI: 10.1016/j.echo.2008.06.011.
 30. Elsheikh R.G., Darweish A.Z., Elsetiha M., Kamel H. Comparative study between real time three dimensional echocardiogram and angiography in evaluation of patent ductus arteriosus, single center experience. *J Saudi Heart Assoc*. 2014;26(4):204–211. DOI: 10.1016/j.jsha.2014.02.005.