

DOI: <https://doi.org/10.17650/1818-8338-2024-18-4-K729>

СОВРЕМЕННЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ЭХОКАРДИОГРАФИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ ПРИ ЛЕГОЧНОЙ АРТЕРИАЛЬНОЙ ГИПЕРТЕНЗИИ

А.А. Клименко^{1,2}, А.А. Богданова³, В.А. Мареева¹

¹ФГАОУ ВО «Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова» Минздрава России; Россия, 117513 Москва, ул. Островитянова, 1;

²ГБУЗ г. Москвы «Городская клиническая больница № 1 им. Н.И. Пирогова Департамента здравоохранения г. Москвы», Россия, 119049 Москва, Ленинский проспект, 8;

³ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова» Минздрава России, 119048 Москва, ул. Трубецкая, 8/2

Контакты: Алеся Александровна Клименко aaklimenko@yandex.ru

Легочная гипертензия (ЛГ) – это гемодинамическое и патофизиологическое состояние, которое характеризуется повышением среднего давления в легочной артерии (ЛА) не менее чем на 20 мм рт. ст. в покое, выявленным при чрезвенной катетеризации сердца. Чтобы оценить вероятность наличия ЛГ, применяют один из быстрых и доступных скрининговых неинвазивных методов диагностики – эхокардиографическое (ЭхоКГ) исследование. Его проводят по стандартному трансторакальному ЭхоКГ-протоколу, при этом прицельно визуализируют и описывают ряд параметров функции правых камер сердца. У пациентов с ЛГ можно наблюдать такие структурные изменения правых камер сердца, как увеличение размеров правого предсердия и правого желудочка (ПЖ), изменение их геометрической формы, утолщение стенки ПЖ, дилатация ствола ЛА и ее ветвей, а также появление трикуспидальной регургитации. Расчет давления в ЛА можно провести как по скорости струи трикуспидальной регургитации, так и по отношению времени ускорения потока в выносящем тракте ПЖ к времени выброса (среднее давление в ЛА), а также по скорости потока легочной регургитации (конечно-диастолическое давление в ЛА). Классические параметры функционального состояния ПЖ, а также дополнительные показатели оценки функции ПЖ (например, соотношение амплитуды движения фиброзного кольца к систолическому давлению в ЛА, которое назвали право-желудочково-артериальным сопряжением) необходимо оценивать только в экспертных центрах по оказанию помощи пациентам с ЛГ. Правильная и своевременная постановка диагноза, четкий динамический контроль состояния пациента имеют решающее значение в назначении целевого лечения и прогнозе заболевания.

Ключевые слова: легочная гипертензия, эхокардиография, легочная артерия, правый желудочек, сердечная недостаточность, прогноз, риоцигуат

Для цитирования: Клименко А.А., Богданова А.А., Мареева В.А. Современные возможности эхокардиографической диагностики при легочной артериальной гипертензии. Клиницист 2024;18(4):44–58.

DOI: <https://doi.org/10.17650/1818-8338-2024-18-4-K729>

Modern possibilities of echocardiographic diagnosis in pulmonary arterial hypertension

A.A. Klimenko^{1,2}, A.A. Bogdanova³, V.A. Mareeva¹

¹N.I. Pirogov Russian National Research Medical University, Ministry of Health of Russia; 1 Ostrovitianov St., Moscow 117997, Russia;

²N.I. Pirogov City Clinical Hospital No. 1, Moscow Healthcare Department; 8 Leninskiy Avenue, Moscow 119049, Russia;

³I.M. Sechenov First Moscow State Medical University, Ministry of Health of Russia; 8/2 Trubetskaya St., Moscow 119048, Russia

Contacts: Alesya Aleksandrovna Klimenko aaklimenko@yandex.ru

Pulmonary Hypertension (PH) is a hemodynamic and pathophysiological condition characterized by an increase in mean pulmonary artery (PA) pressure by at least 20 mm Hg at rest, measured during right heart catheterization. One of the fastest and most accessible screening non-invasive diagnostic methods for assessing the likelihood of this condition is echocardiography, which is performed according to the standard transthoracic echocardiography protocol, focusing on visualizing and describing certain parameters that characterize function of heart right chambers. In patients with

PH, structural changes in the heart right chambers can be observed, such as enlargement of the right atrium and right ventricle, changes in their geometric shape, thickening right ventricle wall, dilatation of the main PA and its branches, and the appearance of tricuspid regurgitation. Pulmonary artery pressure can be measured using either the velocity of the tricuspid regurgitant jet or the ratio of the time acceleration of flow in the outflow tract of the right ventricle to the ejection time (mean pressure in the PA), or the velocity of the pulmonary regurgitation jet (end-diastolic pressure in the PA). Classic parameters of the functional state of the right ventricle, as well as additional indicators of the evaluation of the right ventricular function, for example, the ratio of the amplitude of movement of the fibrous ring to systolic pressure in the PA, called the right ventriculoarterial coupling, should be evaluated only in expert centers providing care for patients with PH. Correct and timely diagnosis, clear dynamic monitoring of the patient's condition play a crucial role in prescribing targeted treatment and predicting the disease course.

Keywords: pulmonary hypertension, echocardiography, pulmonary artery, right ventricle, heart failure, prognosis, riocigat

For citation: Klimenko A.A., Bogdanova A.A., Mareeva V.A. Modern possibilities of echocardiographic diagnosis in pulmonary arterial hypertension. Klinitsist = The Clinician 2024;18(4):44–58. (In Russ.).

DOI: <https://doi.org/10.17650/1818-8338-2024-18-4-K729>

Введение

Легочная гипертензия (ЛГ) — это гемодинамическое и патофизиологическое состояние, которое характеризуется повышением среднего давления в легочной артерии (ЛА) не менее чем на 20 мм рт. ст. в покое, выявленным при чрезвенной катетеризации сердца [1, 2]. Она может включать в себя большое число клинических состояний и быть связана с различными сердечно-сосудистыми и респираторными заболеваниями.

Современная классификация ЛГ основывается на патогенетических особенностях, клинической картине, а также подходах к ее лечению [2]. Выделяют 5 основных групп ЛГ (рис. 1).

Известно, что ЛГ приводит к увеличению постнагрузки на правые камеры сердца, а именно на правый желудочек (ПЖ), что в итоге становится основой развития хронической правожелудочковой сердечной недостаточности. Чтобы оценить вероятность наличия ЛГ, применяют один из быстрых и доступных скрининговых неинвазивных методов диагностики — эхокардиографическое (ЭхоКГ-) исследование, или эхокардиографию (ЭхоКГ) (рис. 2) [1]. Именно этот метод на 1-м этапе диагностики помогает не только определить давление в ЛА и степень его повышения, но и осуществить диагностический поиск причины данного состояния, дать косвенную информацию о структурах и функции сердца, которые будут иметь важное прогностическое значение [3]. ЭхоКГ-измерения позволяют прогнозировать клинический исход у пациентов с ЛГ и полезны для мониторинга ответа на лечение.

Катетеризация правых камер сердца остается «золотым стандартом» диагностики ЛГ. Однако данный метод относится к инвазивной методике и у него могут быть ограничения в использовании, в том числе если речь идет о дальнейшем динамическом наблюдении. В ряде исследований продемонстрирована хорошая корреляционная связь между ЭхоКГ-параметрами и параметрами, которые получены по методу термодилуции при катетеризации правых отделов сердца [4].

У пациентов с ЛГ ЭхоКГ-диагностика проводится по стандартному трансторакальному ЭхоКГ-протоколу, при этом прицельно визуализируются и описываются ряд параметров, характеризующих функцию правых камер сердца [2, 5].

Оценка правых камер сердца

У пациентов с ЛГ можно наблюдать структурные изменения правых камер сердца, которые будут заключаться в увеличении размеров правого предсердия (ПП) и ПЖ, а также в изменениях их геометрической формы, увеличении толщины стенки ПЖ, а также в дилатации ствола ЛА и ее ветвей [6]. В ответ на перегрузку давлением на правые камеры, особенно на ПЖ, развиваются гипертрофия его стенки, дилатации полостей правых отделов сердца с формированием трикуспидальной регургитации (ТР) [6, 7].

Если принять во внимание особую геометрию ПЖ, строение трикуспидального клапана (ТК), особенности папиллярных мышц и хордального аппарата клапана, становится понятно отсутствие единого ЭхоКГ-параметра, который мог бы достоверно описать наличие ЛГ, тяжесть систолической дисфункции ПЖ и степень ТР.

Представляя собой сложную анатомическую структуру, ТК находится в непосредственной близости от правой коронарной артерии, атриовентрикулярного узла и коронарного синуса. Хотя традиционно считается, что у ТК 3 створки (тип I), существуют значительные различия между отдельными пациентами: у некоторых имеются 2 створки (тип II), 4 створки (2 передние — тип IIIA; 2 задние — тип IIIB; 2 септальные — тип IIIC) или более 4 створок (тип IV) [8]. Эти параметры влияют как на оценку работы ПЖ, так и на скорость прогрессирования правожелудочковой сердечной недостаточности.

Клиническая характеристика ТР хорошо известна. Градацию ТР по степеням осуществляют с использованием клинических рекомендаций, выделяя легкую, умеренную и тяжелую (табл. 1) [9, 10]. Тяжелая степень

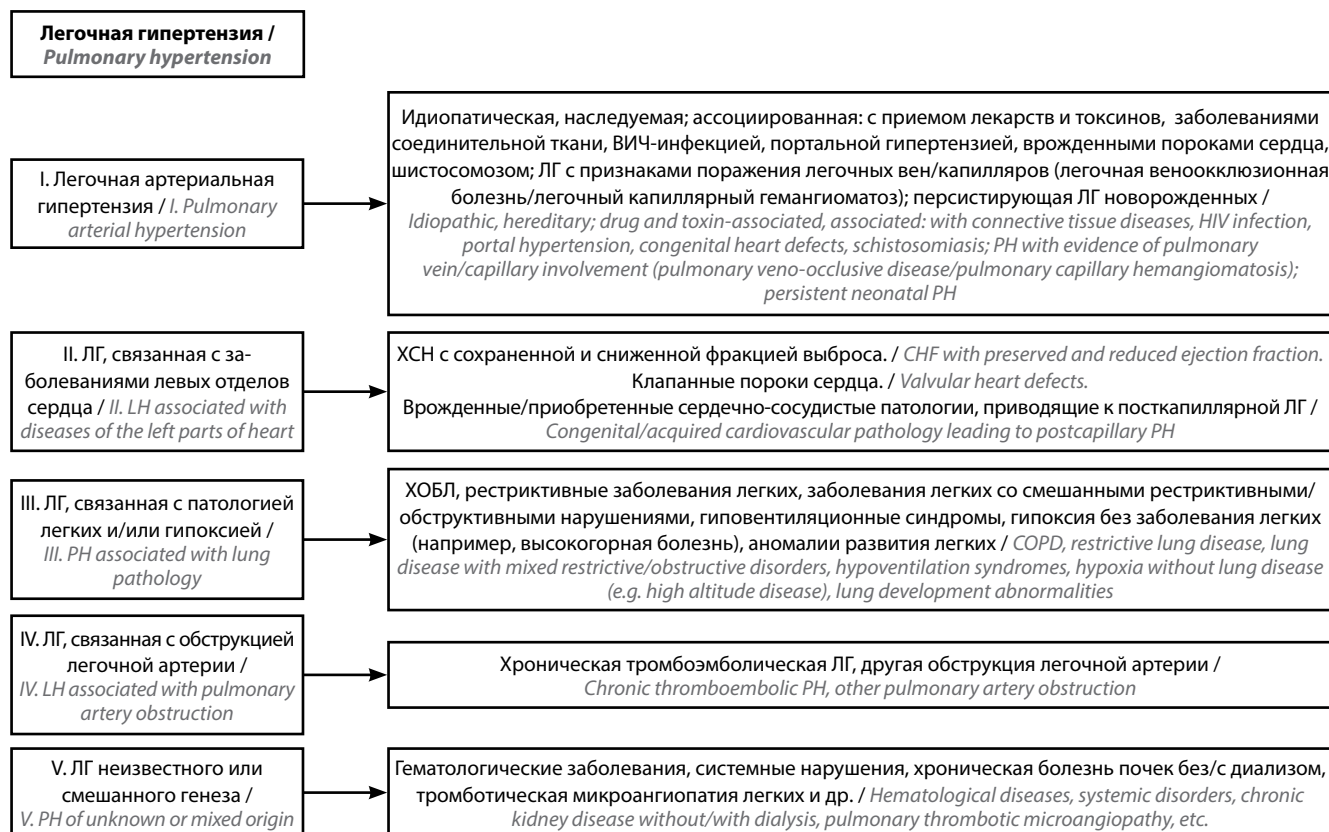


Рис. 1. Клиническая классификация легочной гипертензии (адаптировано из [1] согласно Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivs License)

ЛГ – легочная гипертензия, ВИЧ – вирус иммунодефицита человека, ХСН – хроническая сердечная недостаточность, ХОБЛ – хроническая обструктивная болезнь легких.

Fig. 1. Clinical classification of pulmonary hypertension (adapted from [1], according to the Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivs License) PH – pulmonary hypertension, HIV – human immunodeficiency virus, CHF – chronic heart failure, COPD – chronic obstructive pulmonary disease.

ТР может протекать бессимптомно, несмотря на нарушение функции ПЖ.

Морфологическая классификация ТР основывается на механизме ее развития (табл. 2). *Первичная ТР* связана с анатомическими изменениями аппарата ТК. *Вторичная ТР* вызвана дилатацией кольца ТК вследствие ремоделирования правых отделов сердца (желудочка и предсердия) и повышенного давления в ПЖ. *Изолированная ТР* может существовать у пациентов и без повышенного давления в ПЖ и часто связана с фибрилляцией предсердий. Предполагаемая частота первичной ТР составляет 8–10 %, что значительно реже, чем у вторичной ТР [11].

Следует отметить, что ТР оказывает значительное влияние на клиническое состояние, а также на среднесрочный и долгосрочный прогнозы пациентов независимо от механизма ее развития. Среди 1,6 млн пациентов в США с ТР умеренной и тяжелой степеней у подавляющего большинства имелась вторичная ТР на фоне заболеваний митрального и аортального клапанов сердца и связанной с ними посткапиллярной ЛГ. Однако медикаментозная терапия диуретиками и оптимальная комбинированная терапия хронической

сердечной недостаточности не могут обратить вспять прогрессирующую дисфункцию ПЖ с тяжелой ТР и не связаны с благоприятным долгосрочным прогнозом. Так, J. Nath и соавт. обследовали 601 (11,5 %) пациента без ТР, с ТР легкой степени 3805 (68,8 %) пациентов, умеренной – 620 (11,8 %), тяжелой – 199 (3,8 %) [12], для которых годовая выживаемость составила 91,7, 90,3, 78,9 и 63,9 % соответственно. Было показано, что у пациентов с умеренной и тяжелой ТР годовая выживаемость соответственно на 15 и 30 % ниже, чем у пациентов без ТР, независимо от функции левого желудочка (ЛЖ) или давления в ЛА.

Оценка тяжести вторичной ТР проводится на основании качественных, полуколичественных и количественных признаков (табл. 3) [9].

В норме толщина стенки ПЖ не превышает 5 мм. Толщину стенки ПЖ измеряют из парастеральной позиции в М-режиме, а чаще из 4-камерной субкостальной позиции (рис. 3). Оценка размеров ПЖ проводится из парастеральной позиции по длинной оси, а также из апикальной 4-камерной позиции (рис. 4 и 5). Необходимо также определять линейные размеры ПЖ и конечно-диастолической площади ПЖ.

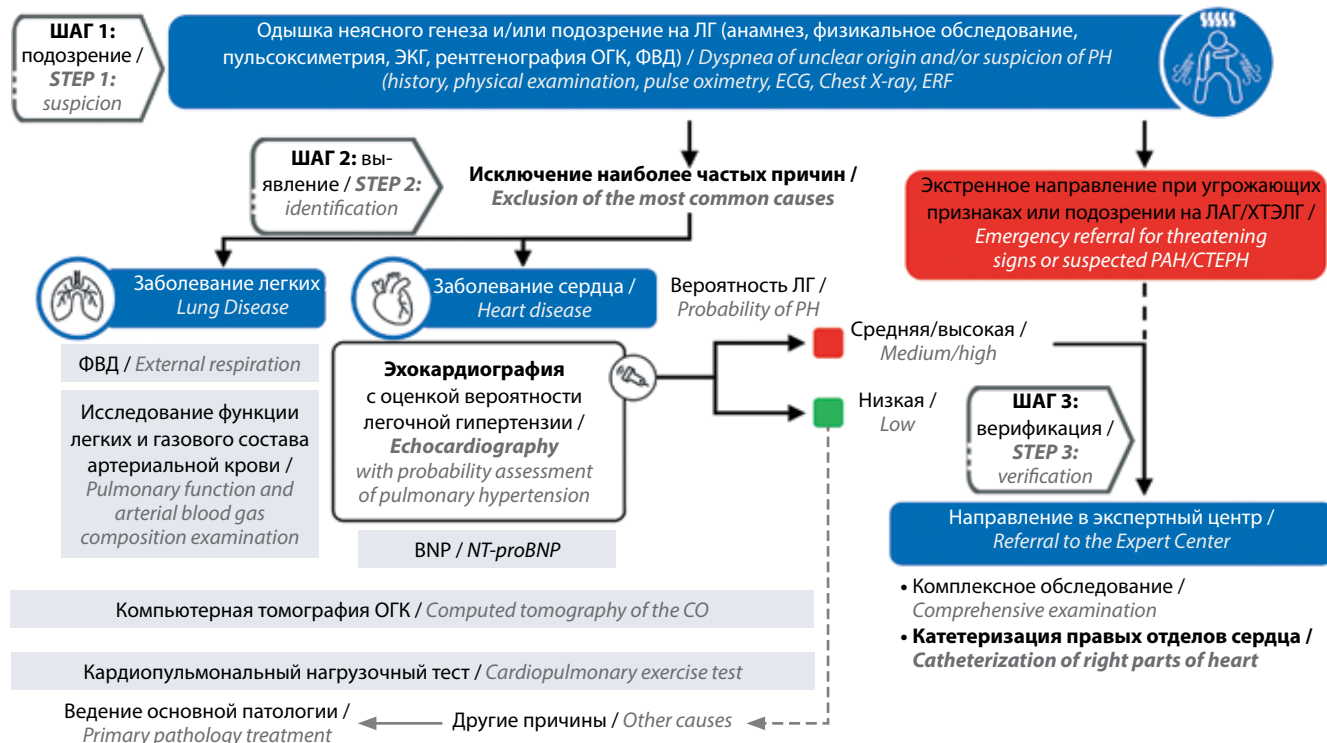


Рис. 2. Пошаговый алгоритм диагностики легочной гипертензии (адаптировано из [1] согласно Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivs License)

ЛГ – легочная гипертензия, ЭКГ – электрокардиография, ОГК – органы грудной клетки, ФВД – функция внешнего дыхания, ЛАГ – легочная артериальная гипертензия, ХТЭЛГ – хроническая тромбоэмболическая легочная гипертензия, BNP/Nt-proBNP – мозговой натрийуретический пептид.

Fig. 2. Step-by-step algorithm for diagnosing of pulmonary hypertension (adapted from [1], according to the Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivs License)

PH – pulmonary hypertension, ECG – electrocardiography, CO – chest organs, ERF – external respiratory function, PAH – pulmonary arterial hypertension, CTEPH – chronic thromboembolic pulmonary hypertension, BNP/Nt-proBNP – brain natriuretic peptide.

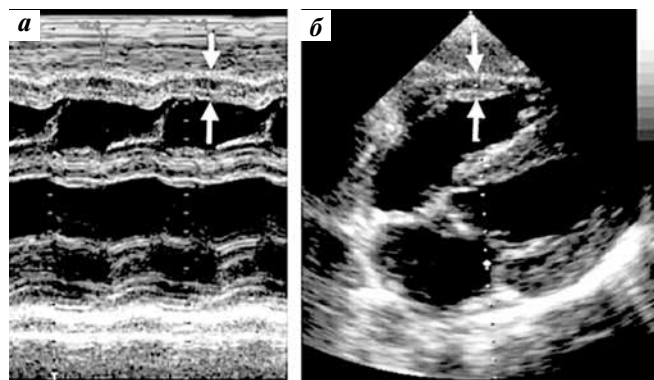


Рис. 3. Эхокардиограммы измерения толщины стенки правого желудочка сердца (показано стрелками) в режимах М (а) и В (б)

Fig. 3. Measurement of right ventricular wall thickness using echocardiogram (shown by arrows) in M (a) and B (b) modes

Можно провести визуальную оценку размера ПЖ по отношению к размеру ЛЖ. В норме ПЖ составляет не больше 2/3 размеров ЛЖ. При незначительной дилатации ПЖ его размер может быть сопоставим с размером ЛЖ. Если имеется значительная дилатация ПЖ, то он может формировать верхушку сердца (рис. 6–8).

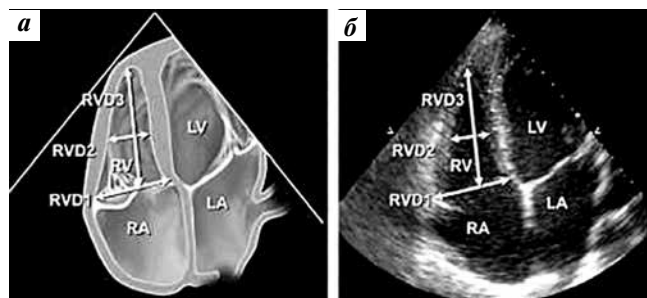


Рис. 4. Эхокардиограммы измерения срединного диаметра правого желудочка на уровне папиллярных мышц левого желудочка в апикальной 4-камерной позиции схематично (а) и в режиме В (б)

Fig. 4. Measurement of the right ventricular median diameter at the level of the left ventricular papillary muscle in the apical four-chamber position schematically (a) and in B mode (b) using echocardiogram

Одним из дополнительных параметров оценки перегрузки правых камер сердца является индекс эксцентричности ЛЖ. Данный показатель представляет собой соотношение 2 ортогональных коротких осей ЛЖ на уровне папиллярных мышц по короткой оси ЛЖ. Индекс эксцентричности отражает степень

Таблица 1. Градация трикуспидальной регургитации

Table 1. Gradation of tricuspid regurgitation

| Параметр Parameter | I степень (легкая) Grade I (mild) | II степень (умеренная) Grade II (moderate) | III степень (тяжелая) Grade III (severe) |
|--|---|---|---|
| Трикуспидальный клапан Tricuspid valve | В норме Normal | В норме или изменен Normal or modified | Пролапс створок, плохая коаптация Prolapse of the flaps, poor coaptation |
| Правый желудочек, правое предсердие, нижняя полая вена Right ventricle, right atrium, inferior vena cava | В норме Normal | В норме или дилатированы Normal or dilated | Дилатированы Dilated |
| Площадь струи регургитации, см ² Area of regurgitation flow, cm ² | <5 | 5–10 | >10 |
| Ширина перешейка регургитации (vena contracta), см Width of isthmus of regurgitation (vena contracta), cm | Не определяется Not defined | <0,7 | >0,7 |
| Радиус PISA, см PISA radius, cm | <0,5 | 0,6–0,9 | >0,9 |
| Форма кривой регургитации Shape of the regurgitation curve | Параболическая Parabolic | Вариабельная Variable | Треугольная с ранним подъемом Triangular with early rise |
| Кровоток в печеночных венах Blood flow in the hepatic veins | Преимущественно систолический Predominantly systolic | Систолический ослабленный Systolic debilitated | Реверсивный Reverse |

Примечание. PISA (proximal isovelocity surface area) — проксимальная зона регургитации.

Note. PISA (proximal isovelocity surface area) — proximal regurgitation zone.



Рис. 5. Эхокардиограмма измерения размера правого желудочка из парастеральной позиции по длинной оси (указано желтой стрелкой)
Fig. 5. Measurement of the right ventricular size from a parasternal position along a long axis (shown by the yellow arrow) using echocardiogram

уплощения межжелудочковой перегородки в результате нарушения контуров ЛЖ и в норме составляет ~1,0 как в диастолу, так и в систолу (рис. 9).

При перегрузке ПЖ также оценивается движение межжелудочковой перегородки, которое может быть парадоксальным со смещением перегородки в систолу в сторону ПЖ (рис. 10).

Помимо измерения размеров правых камер сердца также необходимо проводить оценку систолической и диастолической функций ПЖ. Такими показателями являются амплитуда систолического движения кольца ТК (Tricuspid Annular Plane Systolic Excursion, TAPSE) и продольная пиковая систолическая скорость движения фиброзного кольца ТК (S') (рис. 11, 12).

Амплитуда движения фиброзного кольца ТК отражает движение именно основания ПЖ к его верхушке. Данное измерение проводят в М-режиме из 4-камерного апикального доступа, курсор должен быть расположен в проекции фиброзного кольца передней створки ТК. В норме показатель TAPSE превышает 19 мм. Ряд исследований показали корреляцию TAPSE и фракции выброса ПЖ [13].

Продольную пиковую систолическую скорость движения фиброзного кольца ТК (S') определяют с использованием тканевой доплерографии также из 4-камерного апикального доступа. Данный показатель характеризует скорость систолического движения базального латерального сегмента ПЖ и в норме равен 10 см/с.

Еще одним показателем, отражающим функцию ПЖ, является отношение изменения площади ПЖ во время систолы к его площади во время диастолы,

Таблица 2. Этиология хронической трикуспидальной регургитации
Table 2. Etiology of chronic tricuspid regurgitation

| Тип трикуспидальной регургитации Type of tricuspid regurgitation | Этиология Etiology |
|---|---|
| Первичная Primary | <ul style="list-style-type: none">• Врожденная патология ТК (дисплазия, гипоплазия трикуспидального клапана, аномалия Эбштейна и др.). Congenital pathology of TV (dysplasia, hypoplasia of the tricuspid valve, Ebstein anomaly, etc.).• Инфекционный эндокардит. Infective endocarditis.• Ревматическая лихорадка/ревматическая болезнь сердца с поражением ТК. Rheumatic fever/rheumatic heart disease with TV involvement.• Карциноидный синдром. Carcinoid syndrome.• Наследственная дисплазия соединительной ткани. Hereditary connective tissue dysplasia.• Ятрогенные воздействия (радиация, лекарственные препараты, эндомикардиальная биопсия ПЖ, установка пейсмекеров, кардиовертеров-дефибрилляторов) и др. Iatrogenic effects (radiation, drugs, endomyocardial biopsy of the pancreas, installation of pacemakers, cardioverter-defibrillators), etc. |
| Вторичная Secondary | <ul style="list-style-type: none">• ЛГ всех клинических групп, в том числе вследствие патологии левых отделов сердца (митральный стеноз, недостаточность митрального клапана, кардиомиопатия и др.) и ХТЭЛГ. PH of all clinical groups, including due to pathology of the left heart (mitral stenosis, mitral valve insufficiency, cardiomyopathy, etc.) and CTEPH.• Обструкция выходного отдела легочной артерии. Pulmonary artery outlet obstruction.• Хроническая сердечная недостаточность. Chronic heart failure.• Аритмогенная дисплазия/кардиомиопатия ПЖ и др. Arrhythmogenic dysplasia/cardiomyopathy of RV, etc. |
| Изолированная Isolated | Чаше у пожилых людей с фибрилляцией предсердий при отсутствии сопутствующей ЛГ More frequent in older adults with atrial fibrillation in the absence of concomitant PH |

Примечание. ТК – трикуспидальный клапан, ЛГ – легочная гипертензия, ПЖ – правый желудочек, ХТЭЛГ – хроническая тромбоэмболическая легочная гипертензия.
Note. TV – tricuspid valve, PH – pulmonary hypertension, RV – right ventricle, CTEPH – chronic thromboembolic pulmonary hypertension.

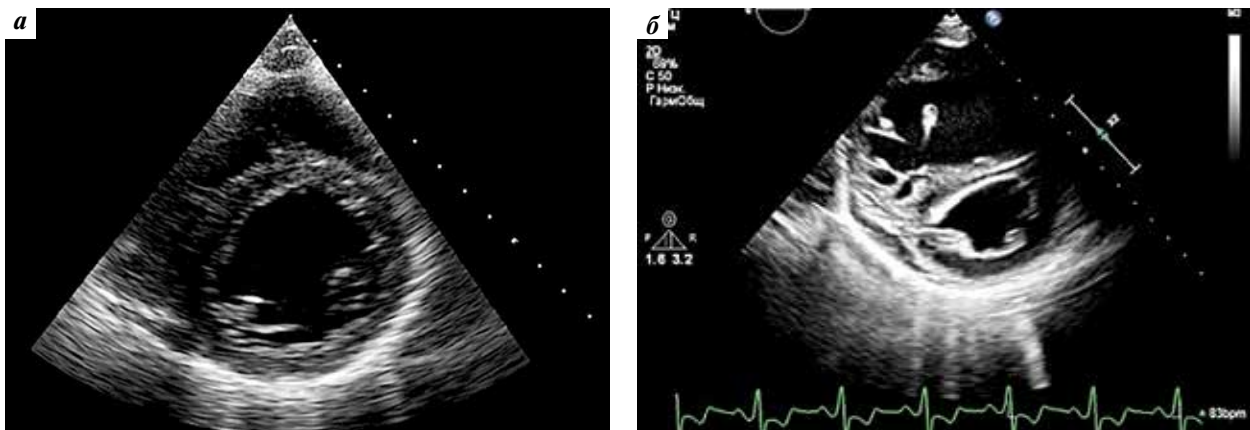


Рис. 6. Эхокардиограммы нормального (а) и увеличенного (б) размеров правого желудочка из парастеральной позиции по короткой оси
Fig. 6. Normal (a) and enlarged (b) right ventricular size when measured from a parasternal position on a short axis using echocardiogram

т.е. фракционное изменение площади (ФИП). Расчеты конечно-диастолической и конечно-систолической площадей проводят в 4-камерной апикальной позиции. При расчете ФИП трабекулы и верхушка

включаются в полость ПЖ (см. рис. 12). Нормальные значения ФИП составляют 35–60 %.
Для оценки размера ПП определяют его объем, индекс объема, а также площадь. Нормальные показатели

Таблица 3. Эхокардиографические критерии для определения тяжести трикуспидальной регургитации: интегративный подход

Table 3. Echocardiographic criteria for estimation of severity of tricuspid regurgitation: an integrative approach

| Признаки Signs | Характеристика Characteristic |
|--|--|
| Качественные Qualitative | |
| Морфология клапана Valve morphology | Аномальный/«молящийся»/большой дефект коаптации Abnormal/“failing”/large coaptation defect |
| Цвет потока струи регургитации Color of regurgitation flow | Очень большая центральная или краевая струя, достигающая стенок ^a Very large central or marginal jet reaching the wall ^a |
| Допплеровский сигнал струи регургитации Doppler signal of regurgitation flow | Плотная/треугольная с ранним пиком (менее 2 м/с при выраженной трикуспидальной регургитации) Dense/triangular with early peak (less than 2 m/s with marked tricuspid regurgitation) |
| Полуколичественные Semi-quantitative | |
| Ширина перешейка регургитации (vena contracta), мм Width of isthmus of regurgitation (vena contracta), mm | ≥7a |
| Входящий венозный поток Incoming venous flow | Обратный систолический ток в печеночных венах Reverse systolic flow in hepatic veins |
| Входящий поток Incoming flow | Доминирующий Е-пик не менее 1 м/с ^b Dominant E-peak at least 1 m/s ^b |
| Другое Other | Радиус проксимальной зоны регургитации более 9 мм ^b Proximal regurgitation radius greater than 9 mm ^b |
| Количественные Quantitative | |
| Эффективная площадь регургитации, мм ² Effective regurgitation area, mm ² | ≥40 |
| Эффективное окно регургитации, мм Effective regurgitation window, mm | >40 |
| Объем регургитации, мл/сокращение Regurgitation volume, ml/reduction | ≥45 |
| Увеличение сосудов/камер сердца Enlargement of heart vessels/chambers | Правый желудочек, правое предсердие, верхняя полая вена Right ventricle, right atrium, superior vena cava |

^aПри числе Найквиста 50–60 см/с.^bВ отсутствие других причин повышения давления в правом предсердии.^cБазовое число Найквиста смещено к 28 см/с.^dWith Nyquist number 50–60 cm/s.^eIn the absence of other causes of increased pressure in the right atrium.^fNyquist base number is shifted to 28 cm/s.

площади ПП — не более 18 см², индекса объема — не более 32 мл/м² у мужчин и 27 мл/м² у женщин (рис. 13).

Обязательной в протоколе обследования пациента с ЛГ остается и оценка левых отделов сердца.

Измерение давления в легочной артерии

Расчет давления в ЛА можно провести следующими способами:

- по скорости струи ТР (максимальное систолическое давление в ЛА — СДЛА);
- отношению времени ускорения потока в выносящем тракте ПЖ к времени выброса (среднее давление в ЛА);

- скорости потока легочной регургитации (конечно-диастолическое давление в ЛА).

По пиковой скорости ТР можно расчетным путем оценить СДЛА. Для оценки ТР используют цветное доплеровское исследование. Его проводят из апикальной 4-камерной позиции, а также вдоль короткой оси сердца из парастеральной и субкостальной позиций. Чтобы избежать ошибки оценки СДЛА по потоку ТР, важно ультразвуковой луч располагать максимально параллельно потоку ТР. Далее используют вероятностный подход к диагностике ЛГ по скорости волны ТР, но только при обследовании первичных больных (до подтверждения



Рис. 7. Эхокардиограмма увеличенного размера правого желудочка из парастеральной позиции по длинной оси

Fig. 7. Increased right ventricular size from a parasternal position along a long axis measured using echocardiogram

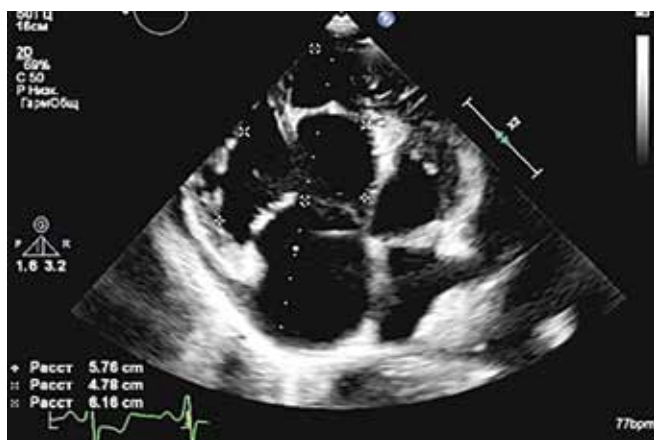


Рис. 8. Эхокардиограмма значительной дилатации правых камер сердца из апикальной четырехкамерной позиции

Fig. 8. Significant dilation of the right heart chambers from apical four-chamber position measured using echocardiogram



Рис. 9. Эхокардиограмма оценки индекса эксцентricности левого желудочка (индекс более 1,1) у пациента с легочной гипертензией

Fig. 9. Measurement of left ventricular eccentricity index in patient with pulmonary hypertension using echocardiogram

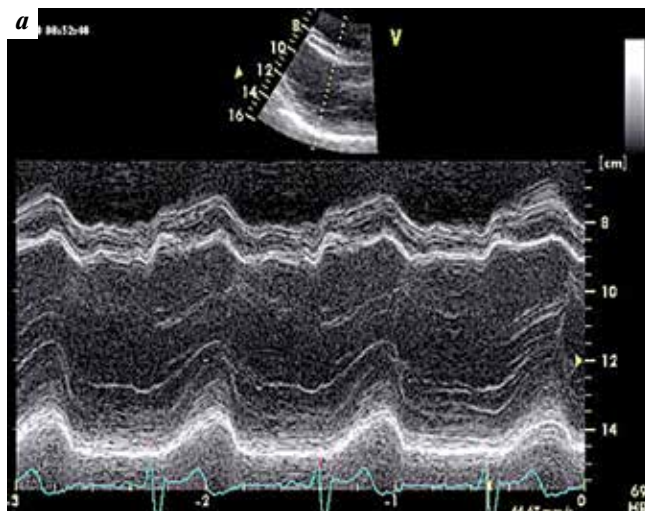


Рис. 10. Эхокардиограмма парадоксального движения межжелудочковой перегородки в режимах М (а) и В (б)

Fig. 10. Paradoxical movement of the interventricular septum in the M- (a) and B-modes (b) measured using echocardiogram

диагноза). Оценка вероятности ЛГ представлена в табл. 4 [2].

Систолическое давление в ПЖ определяют по струе регургитации на ТК, вычисляя таким образом градиент давления между ПЖ и ПП с помощью упрощенного уравнения Бернулли, когда к полученному градиенту прибавляется давление в ПП, которое определяют с учетом диаметра нижней полой вены и ее коллапирования на вдохе.

Систолическое давление в ПЖ рассчитывается по формуле

$$P_{\text{сис}} \text{ ПЖ} = PG_{\text{тр}} + P_{\text{пп}},$$

где $PG_{\text{тр}}$ — максимальный систолический градиент на ТК, $P_{\text{пп}}$ — давление в ПП.

Полученный показатель при отсутствии стеноза клапана ЛА будет соответствовать систолическому

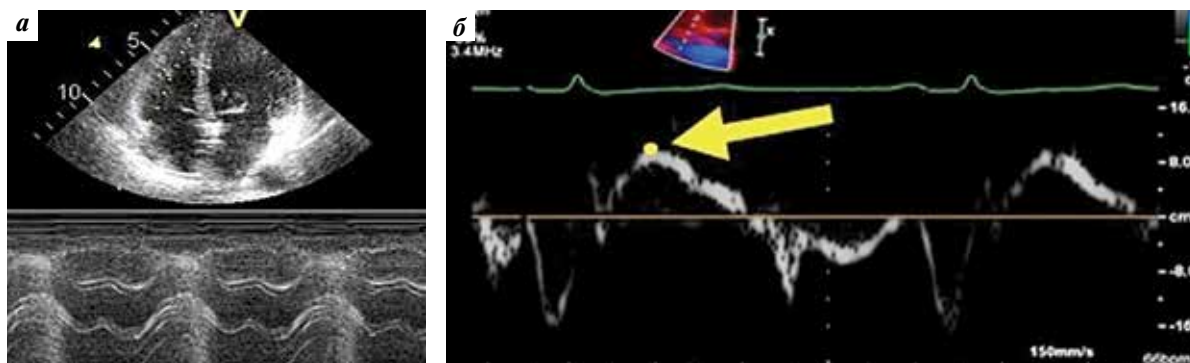


Рис. 11. Эхокардиограмма парадоксального движения межжелудочковой перегородки в режиме М (а) и при тканевой доплерографии (б). Желтой стрелкой указан S'-пик, отражающий систолическую функцию правого желудочка
Fig. 11. Echocardiogram of paradoxical interventricular septal motion in M-mode (a) and tissue Doppler (b). The yellow arrow shows S'-peak reflecting the systolic function of the right ventricle

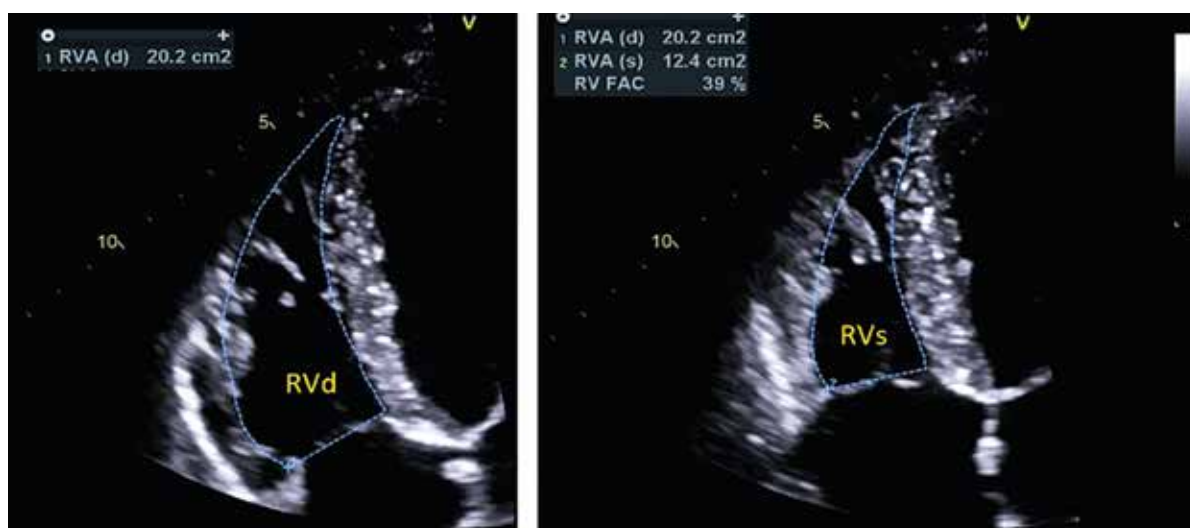


Рис. 12. Эхокардиограммы апикальной 4-камерной позиции: измерение площади правого желудочка в диастолу (RVd) и систолу (RVs) для вычисления фракционного изменения площади
Fig. 12. Echocardiogram of apical four-chamber position: measuring square of the right ventricular area during diastole (RVd) and systole (RVs) to calculate fractional change of the square



Рис. 13. Эхокардиограмма определения основных показателей правого предсердия
Fig. 13. Estimation of main indicators of the right atrium using echocardiogram

давлению в легочной артерии, которое определяют с учетом диаметра нижней полой вены (рис. 14, табл. 5) [2].

При наличии обструкции выносящего тракта ПЖ и/или стеноза клапана ЛА определение СДЛА осуществляют по следующей формуле:

$$\text{СДЛА} = P_{\text{сис}} \text{ ПЖ} - PG_{\text{макс}} \text{ ТК.}$$

В ряде случаев не удастся качественно оценить кровоток через ТК с помощью непрерывно-волновой доплерографии. Тогда можно использовать введенный в вену взболтанный физиологический раствор, который не проникает через легочные капилляры. Именно такой способ позволит усилить Эхо-сигнал и получить качественное изображение струи ТР (рис. 15).

Время ускорения потока (Acceleration Time, АТ) в выносящем тракте ПЖ определяется с помощью непрерывно-волнового доплеровского сканирования

Таблица 4. Определение вероятности легочной гипертензии с помощью эхокардиографии (ЭхоКГ)

Table 4. Estimation of likelihood of pulmonary hypertension by echocardiography (EchoCG)

| Пиковая скорость трикуспидальной регургитации, м/с Peak velocity of tricuspid regurgitation, m/s | Наличие дополнительных ЭхоКГ-признаков ЛГ* Presence of additional EchoCG signs of PH* | Вероятность ЛГ Probability of PH |
|--|--|--|
| <2,8 | Нет No | Низкая Low |
| <2,8 | Да* Yes* | Средняя Moderate |
| 2,9–3,4 | Нет No | Средняя Moderate |
| 2,9–3,4 | Да* Yes* | Высокая High |
| >3,4 | Не имеет значения Doesn't matter | Высокая High |
| Желудочки Ventricles | Легочная артерия Pulmonary artery | Нижняя полая вена и правое предсердие Inferior vena cava and right atrium |
| Соотношение диаметров правого/левого желудочков на уровне базальных сегментов более 1,0 Right/left ventricular diameter ratio at basal segment level is greater than 1.0 | Время доплеровского ускорения оттока из правого желудочка менее 105 мс и/или среднесистолическая выемка (зазубрина) Doppler acceleration time of right ventricular outflow less than 105 ms and/or midsystolic notch (serration) | Диаметр нижней полой вены более 21 мм с уменьшенным инспираторным коллапсом (менее 50 % со вдохом или менее 20 % при спокойном вдохе) Inferior vena cava diameter is greater than 21 mm with reduced inspiratory collapse (less than 50 % with inspiration or less than 20 % with calm inspiration) |
| Уплотнение межжелудочковой перегородки (индекс эксцентricности левого желудочка более 1,1 в систолу и/или диастолу) Flattening of the interventricular septum (left ventricular eccentricity index greater than 1.1 in systole and/or diastole) | Скорость потока регургитации на легочном клапане в начале диастолы более 2,2 м/с Regurgitation flow velocity on the pulmonary valve at the beginning of diastole is more than 2.2 m/s | Площадь правого предсердия (в конце систолы) более 18 см ² Right atrial area square (at the end of systole) is more than 18 cm ² |
| Отношение TAPSE/СДЛА более 0,55 мм/мм рт. ст. The TAPSE/SPPA ratio is greater than 0.55 mm/mm Hg | Диаметр легочного ствола больше диаметра корня аорты. The diameter of the pulmonary trunk is larger than that of the aortic root. Диаметр легочного ствола более 25 мм The diameter of the pulmonary trunk is more than 25 mm | — |

*Для изменения уровня ЭхоКГ-вероятности ЛГ необходимо наличие признаков как минимум из 2 категорий дополнительных признаков (желудочки/легочная артерия/нижняя полая вена и правое предсердие).

Примечание. ТР – трикуспидальная регургитация, ЛГ – легочная гипертензия, TAPSE – амплитуда движения фиброзного кольца трикуспидального клапана, СДЛА – систолическое давление в легочной артерии.

*To change the level of EchoCG-probability of PH, it is necessary to have signs from at least 2 categories of additional EchoCG-indices (ventricles/pulmonary artery/inferior vena cava and right atrium).

Note. TR – tricuspid regurgitation, PH – pulmonary hypertension, TAPSE – amplitude of movement of the fibrous ring of the tricuspid valve, SPPA – systolic pressure in the pulmonary artery.

из парастеральной короткой оси на уровне клапана ЛА. При ЛГ происходит изменение формы кровотока в клапане ЛА (где мы будем видеть более быстрое формирование пика линейной скорости), а также его смещение в первую половину систолы и снижение времени кровотока менее 105 мс (рис. 16).

Характер кровотока в ЛА имеет W-образный спектр в выходном тракте ПЖ при ЛГ (рис. 17), регистрируется мезосистолическое замедление легочного потока у больного с ЛГ.

С помощью ЭхоКГ можно оценить диастолическое ДЛА (рис. 18). Этот способ используется как

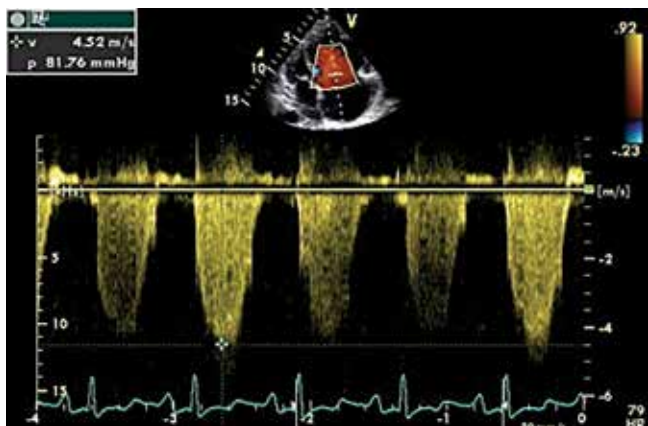


Рис. 14. Эхокардиограмма измерения систолического давления в легочной артерии по скорости и градиенту на уровне трикуспидального клапана (апикальная 4-камерная позиция)

Fig. 14. Measurement of systolic pressure in the pulmonary artery by velocity and gradient at tricuspid valve level (apical four-chamber position) using echocardiogram

Таблица 5. Градационная оценка давления в правом предсердии

Table 5. Gradational assessment of right atrial pressure

| Диаметр нижней полой вены, см Diameter of the inferior vena cava, cm | Реакция на вдох, % Breath response, % | Давление в правом предсердии, мм рт. ст. Pressure in the right atrium, mm Hg |
|---|--|---|
| <2,1 | >50 | 3 (0–5) |
| >2,1 | >50 | 8 (5–10) |
| >2,1 | <50 | 15 (10–20) |



Рис. 15. Взболтанный физиологический раствор для улучшения визуализации в правых камерах сердца

Fig. 15. Shaken saline solution to improve imaging in right chambers of heart

дополнительный параметр оценки степени ЛГ и определяется по следующей формуле:

$$\text{диастолическое ДЛА} = 4V^2 + P_{\text{пп}}$$

где V — скорость потока ЛР в конце диастолы.

Дополнительным показателем оценки функции ПЖ является соотношение амплитуды движения фиброзного кольца к СДЛА (TAPSE к СДЛА), которое назвали правожелудочково-артериальным сопряжением (ПЖАС) [14]. В норме оно составляет более 0,55 мм/мм рт. ст. Снижение соотношения менее 0,55 свидетельствует о систолической дисфункции ПЖ (рис. 19) [15].

Параметр ПЖАС отражает совместную работу «насоса» ПЖ и буферные свойства ЛА. ПЖАС имеет хорошую корреляцию с результатами катетеризации правых отделов сердца [16] и является независимым предиктором смертности и частоты госпитализаций при любых формах ЛГ [17, 18]. Ввиду того что при «стандартном» определении ПЖАС могут возникать трудности [19, 20], ведут исследования по «выведению» иных ПЖАС-индексов, которые бы снижали риск появления погрешностей и неточностей при подсчете. Так, по отношению TAPSE к скорости ТР рассчитана дополнительная стратификация риска при легочной артериальной гипертензии (ЛАГ) [21], а произведение TAPSE на АТ в ЛА продемонстрировало высокую прогностическую ценность при хронической сердечной недостаточности [15].

Оценить ПЖАС можно также с помощью методики спекл-трекинга — оценки глобальной продольной деформации и деформации свободной стенки ПЖ [22, 23]. Технология спекл-трекинг основана на оценке перемещения естественных акустических зернистых структур миокарда на серошкальном изображении в В-режиме, что позволяет изучить движение миокарда и одновременно получать информацию о деформации и скорости деформации волокон миокарда в продольном и радиальном направлениях. Нормой деформации свободной стенки ПЖ считают величину менее 20 %.

Учитывая сложную анатомическую форму ПЖ и особенности его расположения, все чаще в лабораториях при проведении ЭхоКГ применяют современные методы оценки с помощью 3D-визуализации (рис. 20) [24]. При сопоставлении данных ЭхоКГ и магнитно-резонансной томографии при ЛГ наибольшим коэффициентом корреляции обладала только функция выброса ПЖ, измеренная при 3D-ЭхоКГ [24–26], которая позволяет проводить прямую планиметрию ПЖ, а также оценивать строение выносящего тракта. Однако существует ряд препятствий к рутинному применению данного метода: не все, даже экспертные, ЭхоКГ-аппараты позволяют оценить функцию ПЖ, также не всегда хватает времени на исследование, особенно в поликлинических условиях, для дополнительной оценки ряда функций.

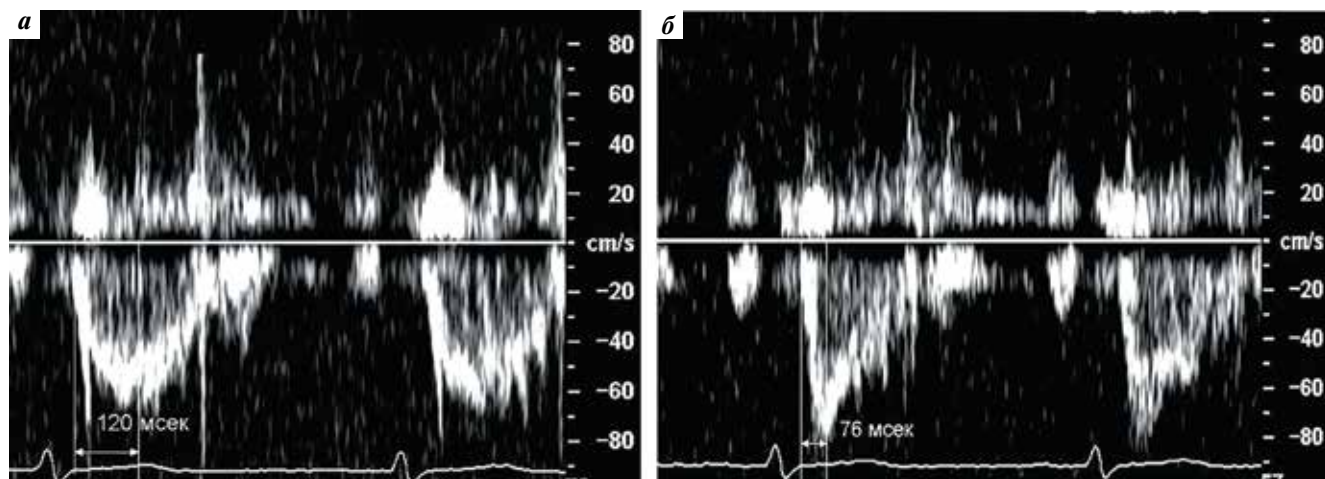


Рис. 16. Допплерограмма потока в выходном тракте правого желудочка при нормальном (а) и высоком (б) давлении в легочной артерии. Время ускорения потока при легочной гипертензии — 76 мм рт. ст. (норма: >105 мм рт. ст.)

Fig. 16. Doppler flow in the right ventricular outflow tract at normal (a) and high (b) pulmonary artery pressure. Flow acceleration time in pulmonary hypertension — 76 mm Hg (normal: >105 mm Hg)

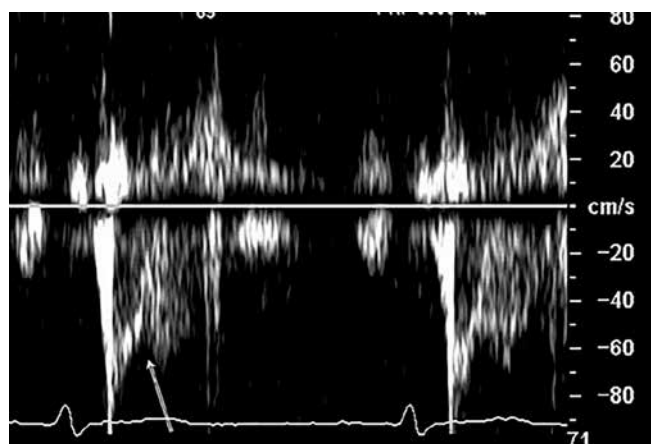


Рис. 17. Эхокардиограмма W-образного спектра кровотока в легочной артерии, стрелкой показано мезосистолическое замедление легочного потока

Fig. 17. Echocardiogram of W-shaped spectrum of pulmonary artery blood flow, arrow shows mesosystolic slowing of pulmonary flow

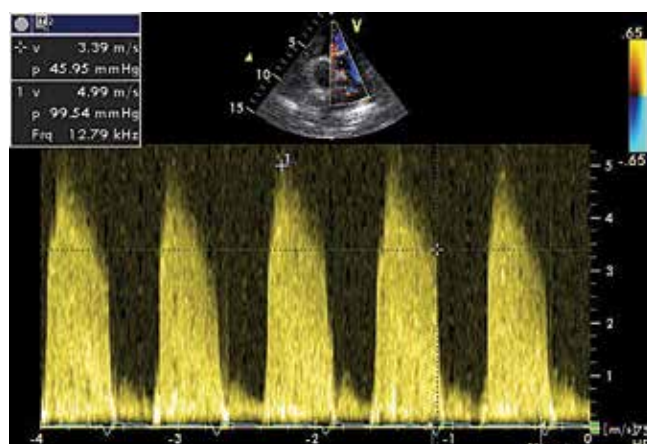


Рис. 18. Эхокардиограмма оценки скорости потока легочной регургитации в конце диастолы

Fig. 18. Evaluation of pulmonary regurgitation flow velocity at the end of diastole using echocardiogram

Кроме того, отсутствуют общепринятые референсные значения для оценки функции ПЖ при 3D-визуализации, хотя такие исследования сейчас ведутся, изучаются в разных возрастных группах и при различных заболеваниях сердечно-сосудистой системы.

Роль эхокардиографии в оценке риска летального исхода и лечении при легочной артериальной гипертензии

Пациентам с ЛАГ рекомендована стратегия лечения в соответствии с установленным риском наступления летального исхода в течение года, который определяется по конкретным клиническим, функциональным, гемодинамическим, биохимическим и ЭхоКГ-параметрам [2]. Регулярные визиты к врачу пациента с ЛГ с оценкой ЭхоКГ-данных рекомендуется проводить

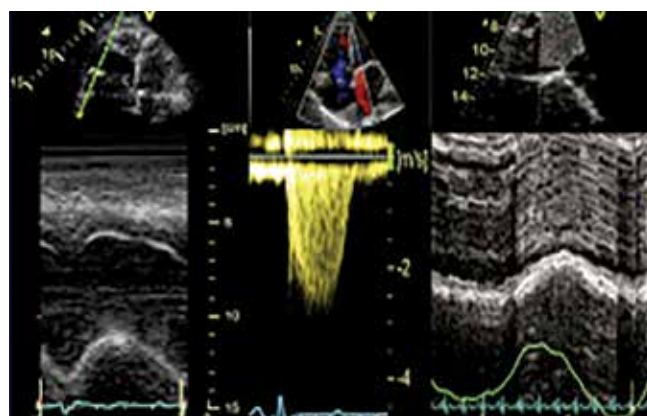


Рис. 19. Эхокардиограмма оценки правожелудочково-артериального сопряжения

Fig. 19. Echocardiogram of right ventricular-arterial conjugation assessment

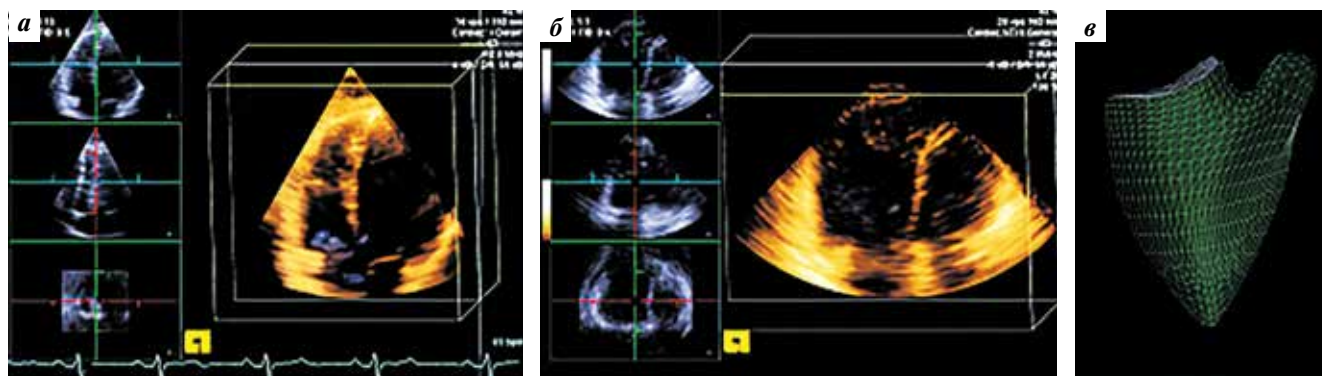


Рис. 20. Эхокардиограмма 3D-визуализации правого желудочка: измерения в апикальной (а) и субкостальной (б) позициях для формирования окончательной 3D-модели правого желудочка (в)

Fig. 20. 3D imaging of the right ventricle using echocardiogram: measurements in apical (a) and subcostal (b) positions to form the final 3D model of the right ventricle (v)

каждые 3–6 мес. По результатам ЭхоКГ мы диагностируем низкий риск при площади ПП менее 18 см², TAPSE/СДЛА – более 0,32 мм/мм рт. ст. и отсутствии перикардального выпота, умеренный риск – при площади ПП 18–26 см², TAPSE/СДЛА – 0,19–0,32 мм/мм рт. ст. и минимальном перикардальном выпоте, высокий риск – при площади ПП более 26 см², TAPSE/СДЛА – менее 0,19 мм/мм рт. ст. и умеренном или большом перикардальном выпоте.

В работах, которые были посвящены валидации параметра TAPSE/СДЛА (включен в российские и международные рекомендации по ЛГ), продемонстрировано, что он является простым неинвазивным методом измерения связи ПЖ с артериями и зависит от диастолической жесткости ПЖ, особенно при тяжелой ЛГ [27].

Цель фармакотерапии ЛГ и правожелудочковой сердечной недостаточности – влияние на объем и преднагрузку, сократимость миокарда и постнагрузку ПЖ, а также на снижение давления в малом круге кровообращения, что станет основанием для ожидания уменьшения постнагрузки и улучшения функции ПЖ. Так, например, в 2018 г. опубликован ретроспективный анализ исследований препарата риоцигуата, являющегося стимулятором растворимой гуанилатциклазы, с оценкой ЭхоКГ-данных пациентов с ЛАГ и хронической тромбоэмболической легочной гипертензией (ХТЭЛГ) – исследование RIVER [28]. ЛАГ-специфические препараты изучаются во многих клинических исследованиях, доказано их влияние на переносимость физической нагрузки, уменьшение уровня натрийуретического пептида и некоторых гемодинамических параметров, измеренных при катетеризации правых отделов сердца. В исследовании же RIVER проведена оценка размеров и функции правых отделов сердца при длительном применении риоцигуата у пациентов с ЛАГ и ХТЭЛГ, которые были участниками проспективных рандомизированных двойных слепых многоцентровых плацебо-контролируемых исследований риоцигуата в параллельных группах PATENT-1, CHEST-1, соответствующих им пролонгированных исследований,

а также ряда других. Всем пациентам рекомендовалось ЭхоКГ-исследование исходно, через 3, 6, 12 мес с оценкой следующих функционально-анатомических параметров правых отделов сердца: площадь ПП и ПЖ, TAPSE, толщина стенки ПЖ, скорость ТР, фракционное изменение площади ПЖ, систолическая функция правого и левого желудочков, индекс эксцентричности ЛЖ, диаметр легочного ствола, наличие перикардального выпота. Первичной конечной точкой явилось изменение площади ПП через 12 мес лечения по сравнению с исходным. Клинически значимое изменение размеров правых отделов сердца определяли как уменьшение площади ПП или ПЖ не менее чем на 15 %. В исследовании RIVER были ретроспективно проанализированы ЭхоКГ-данные 71 пациента (в т. ч. женщин 54 %, средний возраст пациентов 60 ± 13 лет, среднее давление в ЛА 46 ± 10 мм рт. ст.), среди которых 39 (55 %) больных с ХТЭЛГ и 32 (45 %) с ЛАГ. В исследовании RIVER на фоне длительного приема риоцигуата почти у половины (46,9 %) пациентов наблюдалось клинически значимое уменьшение площади ПП, причем через 12 нед у 51 % пациентов площадь ПП была меньше 18 см², что ассоциировано с благоприятным прогнозом ЛГ. Было показано значимое увеличение функциональных показателей (TAPSE, фракционного изменения площади ПЖ) правых отделов сердца через 12 мес лечения риоцигуатом (в 73 % случаев в качестве монотерапии и в 27 % в качестве комбинированной терапии), что подтверждает возможность как улучшения правожелудочковой сердечной недостаточности при применении таргетной терапии ЛГ, так и использования метода ЭхоКГ в экспертной динамической оценке состояния пациента, эффективности терапии [28].

Таким образом, функция ПЖ является основным фактором, определяющим клиническую картину и исход при ЛГ. Необходимо отметить, что нормальная функция ПЖ характеризуется системным венозным возвратом, наполнением ЛА (постнагрузка ПЖ), эластичностью и подвижностью перикарда, сократимостью

свободной стенки ПЖ и межжелудочковой перегородки. ПЖ обладает адаптивной способностью к повышенной постнагрузке, которая формируется с течением времени при прогрессировании ЛГ за счет повышения его сократительной способности. Длительная перегрузка ПЖ давлением и/или объемом первоначально способствует компенсаторной гипертрофии миокарда, а в дальнейшем снижению его сократительной способности и дилатации. Именно своевременное выявление ЭхоКГ-параметров дисфункции ПЖ играет значимую роль в решении вопросов о правильной постановке диагноза и назначении лечения.

Заключение

Неинвазивный характер ЭхоКГ-исследования, доступность для рутинной практики в сочетании с высокими визуализирующими возможностями делают данный метод наиболее востребованным в диагностике и динамической оценке ЛАГ. В то же время выраженная вариабельность структурных и функциональных характеристик правых камер сердца требует разработки единых нормативов и подходов для количественной оценки как правых камер сердца, так и их клапанного аппарата, сосудов бассейна легочного ствола и полых вен.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Чазова И.Е., Мартынюк Т.В., Шмалыц А.А. и др. Евразийские рекомендации по диагностике и лечению легочной гипертензии. 2023. Евразийский кардиологический журнал 2024;(1):6–85. DOI: 10.38109/2225-1685-2024-1-6-85
Chazova I.E., Martynyuk T.V., Shmalts A.A. et al. Eurasian recommendations for the diagnosis and treatment of pulmonary hypertension. 2023. Evrazijskij kardiologicheskij zhurnal = Eurasian Journal of Cardiology 2024;(1):6–85. (In Russ.). DOI:10.38109/2225-1685-2024-1-6-85
2. Авдеев С.Н., Барбараш О.Л., Валиева З.С. и др. Легочная гипертензия, в том числе хроническая тромбоэмболическая легочная гипертензия. Клинические рекомендации 2024. Российский кардиологический журнал = Russian Journal of Cardiology 2024;29(11):6161. DOI: 10.15829/1560-4071-2024-6161
Avdeev S.N., Barbarash O.L., Valieva Z.S. et al. 2024 Clinical practice guidelines for Pulmonary hypertension, including chronic thromboembolic pulmonary hypertension. Rossijskij kardiologicheskij zhurnal = Russian Journal of Cardiology 2024;29(11):6161. (In Russ.). DOI: 10.15829/1560-4071-2024-6161
3. Белевская А.А., Дадачева З.Х., Саидова М.И. и др. Возможности эхокардиографии в диагностике легочной гипертензии и оценке ремоделирования сердца. Лечебное дело 2015;(1):111–21. Belevskaya A.A., Dadacheva Z.H., Saidova M.I. et al. The role of echocardiography in diagnosis of pulmonary hypertension and assessment of heart remodeling. Lechebnoe delo = Medical Business 2015;(1):111–21. (In Russ.).
4. Федоренко В.Н., Найденов Т.В. Эхокардиографическая оценка правого желудочка, гемодинамическая характеристика и выявление легочной гипертензии. Медицина: теория и практика 2022;7(2):62–9. DOI: 10.56871/7421.2022.65.99.008
Fedorets V.N., Naiden T.V. Echocardiographic assessment of the right ventricle, hemodynamic characteristics, and identification of pulmonary hypertension. Medicina: teoriya i praktika = Medicine: Theory and Practice 2022;7(2):62–9. (In Russ.). DOI: 10.56871/7421.2022.65.99.008
5. Ullah W., Minalyan A., Saleem S. et al. Comparative accuracy of non-invasive imaging versus right heart catheterization for the diagnosis of pulmonary hypertension: A systematic review and meta-analysis. Int J Cardiol Heart Vasc 2020;29:100568. DOI: 10.1016/j.ijcha.2020.100568
6. Строев Ю.И., Чурилов Л.П. Диагностика заболеваний системы дыхания и ее патофизиологические основы: III. Cor pulmonale – легочное сердце. Российские биомедицинские исследования 2020;5(2):4–16.
Stroev Yu.I., Churilov L.P. Diagnosis of respiratory system diseases and its pathophysiological basis: III. Cor pulmonale – pulmonary heart disease. Rossijskie biomedicinskie issledovaniya = Russian Biomedical Research 2020;5(2):4–16 (In Russ.).
7. Чазова И.Е., Мартынюк Т.В., Данилов Н.М. Легочная гипертензия или высший пилотаж кардиологии. Системные гипертензии 2020;17(2):66–8. DOI: 10.26442/2075082X.2020.2.200213
Chazova I.E., Martynyuk T.V., Danilov N.M. Pulmonary Hypertension or Cardiology's Highest Piloting Skill. Sistemny'e gipertenzii = Systemic Hypertensions 2020;17(2):66–8. (In Russ.). DOI: 10.26442/2075082X.2020.2.200213
8. Hahn R.T., Weckbach L.T., Noack T. et al. Proposal for a standard echocardiographic tricuspid valve nomenclature. JACC Cardiovasc Imaging 2021;14:1299–305. DOI: 10.1016/j.jcmg.2021.01.012
9. Клинические рекомендации. Пороки трикуспидального (трехстворчатого) клапана, 2018 год / Ассоциация сердечно-сосудистых хирургов России. Доступно по: <https://racvs.ru/upload/iblock/be7/be791631b1a735148d13ddd30c36bae1.pdf>
Clinical Guidelines. Defects of the Tricuspid (Three-Leaf) Valve, 2018 / Association of Cardiovascular Surgeons of Russia. (In Russ.). Available at: <https://racvs.ru/upload/iblock/be7/be791631b1a735148d13ddd30c36bae1.pdf>
10. Lancellotti P., Moura L., Pierard L.A. et al. European Association of Echocardiography recommendations for the assessment of valvular regurgitation. Part 2: mitral and tricuspid regurgitation (native valve disease). Eur J Echocardiogr 2010;11(4):307–32. DOI: 10.1093/ejechocard/jeq031
11. Prihadi E.A., Delgado V., Leon M.B. et al. Morphologic types of tricuspid regurgitation: characteristics and prognostic implications. JACC Cardiovasc Imaging 2019;12(3):491–9. DOI: 10.1016/j.jcmg.2018.09.027
12. Nath J., Foster E., Heidenreich P.A. Impact of tricuspid regurgitation on long-term survival. J Am Coll Cardiol 2004;43(3):405–9. DOI: 10.1016/j.jacc.2003.09.036
13. Дикур О.Н., Полтавская М.Г., Гивертс И.Ю. и др. Желудочно-артериальное сопряжение при хронической сердечной недостаточности с сохраненной и сниженной фракцией выброса левого желудочка. Кардиология и сердечно-сосудистая хирургия 2014;7(4):59–68. DOI: 10.17116/terarkh2016889102-105
Dycur O.N., Poltavskaya M.G., Giverts I.Yu. et al. Ventriculoarterial coupling in chronic heart failure with preserved and reduced left ventricular ejection fraction. Kardiologiya i serdechno-sosudistaya khirurgiya = Cardiology

- and Cardiovascular Surgery 2014;7(4):59–68. (In Russ.). DOI: 10.17116/terarkh2016889102-105
14. Мареева В.А., Клименко А.А., Шостак Н.А. Легочная гипертензия и хроническая сердечная недостаточность: альтернативные индексы правожелудочково-артериального сопряжения. Рациональная фармакотерапия в кардиологии 2023;19(4):398–402. DOI: 10.20996/1819-6446-2023-2929 Mareeva V.A., Klimenko A.A., Shostak N.A. Pulmonary hypertension and heart failure: alternative indexes of right ventricular-pulmonary artery coupling. Racional' naya farmakoterapiya v kardiologii = Rational Pharmacotherapy in Cardiology 2023;19(4):398–402. (In Russ.). DOI: 10.20996/1819-6446-2023-2929
 15. Pestelli G., Fiorencis A., Trevisan F. et al. New measures of right ventricle-pulmonary artery coupling in heart failure: an all-cause mortality echocardiographic study. Int J Cardiol 2021;329:234–41. DOI: 10.1016/j.ijcard.2020.12.057
 16. Guazzi M., Dixon D., Labate V. et al. RV Contractile function and its coupling to pulmonary circulation in heart failure with preserved ejection fraction stratification of clinical phenotypes and outcomes. JACC Cardiovasc Imaging 2017;10(10):1211–21. DOI: 10.1016/j.jcmg.2016.12.024
 17. Tello K., Wan J., Dalmer A. et al. Validation of the tricuspid annular plane systolic excursion / systolic pulmonary artery pressure ratio for the assessment of right ventricular-arterial coupling in severe pulmonary hypertension. Circ Cardiovasc Imaging 2019;12(9):e009047. DOI: 10.1161/CIRCIMAGING.119.009047
 18. Ghio S., Guazzi M., Scardovi A.B. et al. Different correlates but similar prognostic implications for right ventricular dysfunction in heart failure patients with reduced or preserved ejection fraction. Eur J Heart Fail 2016;19(7):873–9. DOI: 10.1002/ehf.664
 19. Lopez-Candales A., Rajagopalan N., Saxena N. et al. Right ventricular systolic function is not the sole determinant of tricuspid annular motion. Am J Cardiol 2006;98(7):973–7. DOI: 10.1016/j.amjcard.2006.04.041
 20. Fisher M.R., Forfia P.R., Chamera E. et al. Accuracy of Doppler echocardiography in the hemodynamic assessment of pulmonary hypertension. American journal of respiratory and critical care medicine: Am J Respir Crit Care Med 2009;179(7):615–21. DOI: 10.1164/rccm.200811-1691OC
 21. Vicenzi M., Caravita S., Rota I. et al. The added value of right ventricular function normalized for afterload to improve risk stratification of patients with pulmonary arterial hypertension. PLoS One 2022;17(5):e0265059. DOI: 10.1371/journal.pone.0265059
 22. Никифоров В.С., Никищенко Ю.В. Современные возможности speckle tracking эхокардиографии в клинической практике. Рациональная фармакотерапия в кардиологии 2017;13(2):248–55. DOI: 10.20996/1819-6446-2017-13-2-248-255 Nikiforov V.S., Nikishchenkova Yu.V. Current Opportunities of Speckle Tracking Echocardiography in Clinical Practice. Racional' naya farmakoterapiya v kardiologii = Rational Pharmacotherapy in Cardiology 2017;13(2):248–55. (In Russ.). DOI: 10.20996/1819-6446-2017-13-2-248-255
 23. Fukuda Y., Tanaka H., Ryo-Koriyama K. et al. Comprehensive functional assessment of right-sided heart using speckle tracking strain for patients with pulmonary hypertension. Echocardiography 2016;33(7):1001–8. DOI: 10.1111/echo.13205
 24. Jenei C., Kádár R., Balogh L. et al. Role of 3D echocardiography-determined atrial volumes in distinguishing between pre-capillary and post-capillary pulmonary hypertension. ESC Heart Fail 2021;8(5):3975–83. DOI: 10.1002/ehf2.13496
 25. Maffessanti F., Muraru D., Esposito R. et al. Age-, body size-, and sex-specific reference values for right ventricular volumes and ejection fraction by three-dimensional echocardiography: a multicenter echocardiographic study in 507 healthy volunteers. Circ Cardiovasc Imaging 2013;6(5):700–10. DOI: 10.1161/CIRCIMAGING.113.000706
 26. Muraru D., Spadotto V., Cecchetto A. et al. 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. Eur Heart J Cardiovasc Imaging 2016;17(11):1279–89. DOI: 10.1093/ehjci/jev309
 27. Tello K., Wan J., Dalmer A. et al. Validation of the tricuspid annular plane systolic excursion/systolic pulmonary artery pressure ratio for the assessment of right ventricular-arterial coupling in severe pulmonary hypertension. Circ Cardiovasc Imaging 2019;12(9):e009047. DOI: 10.1161/CIRCIMAGING.119.009047
 28. Marra A.M., Halank M., Benjamin N. et al. Right ventricular size and function under riociguat in pulmonary arterial hypertension and chronic thromboembolic pulmonary hypertension (the RIVER study). Respir Res 2018;19(1):258. DOI: 10.1186/s12931-018-0957-y

Вклад авторов

А.А. Клименко: концепция и дизайн исследования, написание статьи, окончательное утверждение рукописи;

А.А. Богданова: проведение экспертного ЭхоКГ-исследования, написание статьи;

В.А. Мареева: сбор данных, редактирование.

Authors' contributions

A.A. Klimenko: concept and design of the study, writing of the article, manuscript final approval;

A.A. Bogdanova: expert Echo examination, writing of the article;

V.A. Mareeva: data collection, editing.

ORCID авторов / ORCID of authors

А.А. Клименко / A.A. Klimenko: <https://orcid.org/0000-0002-7410-9784>

А.А. Богданова / A.A. Bogdanova: <https://orcid.org/0000-0002-7034-8382>

В.А. Мареева / V.A. Mareeva: <https://orcid.org/0000-0001-8302-6916>

Конфликт интересов. А.А. Клименко является заместителем главного редактора журнала «Клиницист» с 2023 г., но не имеет отношения к решению о публикации статьи. Данная статья прошла принятую в журнале процедуру рецензирования. Об иных конфликтах интересов авторы не заявляли.

Conflict of interest. A.A. Klimenko has been the deputy editor-in-chief of the Clinician magazine since 2023, but is not related to the decision to publish the article. This article has passed the review procedure accepted in the journal. The authors did not declare any other conflicts of interest.

Финансирование. Работа выполнена без спонсорской поддержки.

Funding. The work was performed without external funding.

Статья поступила: 20.11.2024. **Принята к публикации:** 27.12.2024. **Опубликована онлайн:** 30.12.2024.

Article submitted: 20.11.2024. **Accepted for publication:** 27.12.2024. **Published online:** 30.12.2024.