

Легочная гипертензия и хроническая сердечная недостаточность: альтернативные индексы правожелудочково-артериального сопряжения

Мареева В. А.^{1,2}, Клименко А. А.¹, Шостак Н. А.¹

¹Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н. И. Пирогова Минздрава России, Москва, Россия

²ООО «Европейский медицинский центр», Москва, Россия

Легочная гипертензия – это тяжелая патология сердечно-сосудистой системы, нередко осложняющая течение хронической сердечной недостаточности (ХСН). Чрезмерное повышение давления в легочной артерии, увеличивает постнагрузку на правый желудочек и постепенно приводит к его дисфункции, что, как известно, связано с неблагоприятными исходами независимо от фракции выброса левого желудочка. В связи с этим, определению состояния правого желудочка важно уделять больше внимания. В настоящее время, с целью оценки функции правых отделов сердца, у пациентов с легочной гипертензией и ХСН, все чаще используется практичный эхокардиографический показатель – правожелудочково-артериальное сопряжение (ПЖАС). Классической формулой для вычисления этого параметра, является отношение амплитуды систолического движения кольца трикуспидального клапана к систолическому давлению в легочной артерии (TAPSE/СДЛА). Данный индекс, показал себя как мощный предиктор неблагоприятных исходов, при этом его компоненты доступны визуализации и просты при интерпретации. Но такой метод вычисления имеет ряд ограничений и может приводить к ошибкам. При оценке прогноза особенно важно исключить или минимизировать любые погрешности, именно поэтому сравнительно недавно стали появляться работы, посвященные поиску альтернативных вариантов вычисления ПЖАС. Рассмотрены трудности, с которыми можно столкнуться при визуализации TAPSE и СДЛА, способы модификации оценки правых отделов сердца у пациентов с легочной гипертензией и хронической сердечной недостаточностью. Обсуждена ценность альтернативных «суррогатных» индексов ПЖАС.



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



Для цитирования: 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. EDN JCEAVK

Pulmonary hypertension and heart failure: alternative indexes of right ventricular-pulmonary artery coupling

Mareyeva V. A.^{1,2}, Klimenko A. A.¹, Shostak N. A.¹

¹Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow, Russia

²European Medical Center, Moscow, Russia

Pulmonary hypertension is a serious cardiovascular pathology, often complicating the course of heart failure (HF). Excessive pulmonary artery pressure increases right ventricular afterload and progressively leads to dysfunction, which is associated with adverse outcomes regardless of left ventricular ejection fraction. In this regard, more attention should be paid to determining the right ventricular condition. Currently, in order to assess the right heart function in patients with pulmonary hypertension and HF, the right ventricular (RV)-pulmonary arterial (PA) coupling, is increasingly being used. The conventional formula to calculate this parameter is the ratio of tricuspid annular plane systolic excursion (TAPSE) and pulmonary artery systolic pressure (PASP). This index has proven to be a powerful predictor of adverse outcomes. But this calculation method has a number of limitations and can lead to errors. It is extremely important to exclude or minimize any possible inaccuracies during prognostic assessment, which is why new researches of alternative RV-PA calculation options have been recently published. Such things as problems that can occur during TAPSE and PASP evaluation, ways of modifying the assessment of right heart's functioning in patients with pulmonary hypertension and heart failure have been addressed. The value of new RV-PA alternative «surrogate» indexes has been discussed.

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

For citation: Mareyeva V. A., Klimenko A. A., Shostak N. A. Pulmonary hypertension and chronic heart failure: alternative indexes of right ventricular-pulmonary arterial coupling. *Rational Pharmacotherapy in Cardiology*. 2023;19(4):398-402. DOI:10.20996/1819-6446-2023-2929. EDN JCEAVK

*Corresponding Author (Автор, ответственный за переписку): m.varvara07@yandex.ru

Received/Поступила: 06.07.2023

Review received/Рецензия получена: 09.08.2023

Accepted/Принята в печать: 23.09.2023

Введение

Дисфункция правого желудочка (ПЖ) в настоящее время является установленным маркером плохого прогноза у пациентов с хронической сердечной недостаточностью (ХСН) [1-4]. Несмотря на то, что размеры, морфологию и функцию правых отделов сердца можно наиболее точно оценить с помощью магнитно-резонансной томографии (МРТ) [5], эхокардиографическое исследование, с определением правожелудочкового-артериального сопряжения (ПЖАС, в англ. Right Ventricular-Pulmonary Arterial Coupling), приобретает все большее значение для прогностической оценки в клинической практике.

ПЖАС является комплексным подходом к изучению взаимодействия в системе ПЖ-легочная артерия (ЛА). Определяется этот показатель в виде наиболее распространенного соотношения амплитуды систолического движения кольца трикуспидального клапана (в англ. TAPSE – Tricuspidal Annular Plane Systolic Excursion) к систолическому давлению в ЛА (СДЛА). Такое соотношение TAPSE/СДЛА – диагностически значимый и надежный неинвазивный маркер неблагоприятного прогноза у пациентов с ХСН и ЛГ [2, 6-9], а также, с 2022 года, в новых Европейских клинических рекомендациях, используется как дополнительный эхокардиографический признак вероятности наличия ЛГ [10].

Еще одним преимуществом использования индекса TAPSE/СДЛА, является простота его вычисления. TAPSE – это относительно несложное измерение продольного перемещения латеральной части трехстворчатого кольца к верхушке ПЖ, отражающего его систолическую функцию [11]. Допплеровская оценка СДЛА выполняется рутинно с целью заподозрить, в комплексе с другими параметрами, подтвердить наличие ЛГ [10]. СДЛА поддается измерению в большом количестве случаев [12] и является клинически значимой в популяционных исследованиях [13, 14].

Тем не менее, на практике, нередко осуществимость оценки ПЖАС таким методом бывает затруднительной. Это, в свою очередь, приводит к активному поиску других доступных и простых аналогов оценки состояния системы ПЖ – ЛА.

Недостатки индекса TAPSE/СДЛА

Определение СДЛА, по сумме давления в правом предсердии (ПП) и градиента давления между ПП и ПЖ, признано надежным с момента публикации P.G. Rorr и R. L. Rorr в 1984 году [15]. Однако, ультразвуковая оценка СДЛА может быть неудовлетворительной из-за ряда факторов. Причем, сложности могут возникнуть при определении обеих составляющих.

M. R. Fisher с соавт. в своей работе отметили, что доплеровская эхокардиография (ЭхоКГ) была неточной в 48% случаев определения СДЛА, что ча-

стично связано с неправильным определением давления в ПП [16]. В исследовании J. D. Rich и соавт. оценка СДЛА неинвазивным способом, по сравнению с катетеризацией правых отделов сердца, была неточной в 50,6% (81/160) случаев. При этом давление в ПП было завышено на 2,5 мм рт. ст. в 64,1% (41/64) случаев и занижено на 2,5 мм рт. ст. в 35,9% (23/64) случаев [17].

В свою очередь, давление в ПП напрямую зависит от характеристик нижней полой вены (НПВ). Частота неудач при ее визуализации в некоторых исследованиях достигает 14,9% случаев [18]. Это может быть связано, например, с увеличением толщины подкожно-жировой клетчатки, что встречается нередко в условиях распространенной проблемы ожирения. Повышенное газообразование в желудочно-кишечном тракте, при неправильной подготовке к исследованию, препятствует передаче ультразвука и также может исказить результаты исследования.

При изучении пациентов с ЛГ, в исследовании J. M. Brennan и соавт., у 15% обнаруживалась комбинация нерасширенной НПВ с плохим ее коллабированием и наоборот, расширенной НПВ с адекватным ее коллабированием. Такие результаты не укладываются в современную классификацию давления в ПП [19]. При отсутствии референсных значений, точное определение показателей становится затруднительным. Более того, в классификации действительно представлен лишь примерный диапазон давления в ПП, без указания на конкретную цифру.

Градиент давления между ПП и ПЖ может быть рассчитан с помощью модифицированного коэффициента Бернулли, включающий в себя максимальную скорость трикуспидальной регургитации (в англ. TRV – Tricuspid Regurgitation Velocity) [20]. Во время ультразвукового исследования, при несоблюдении поправки на угол между ультразвуковым лучом и током крови, TRV может отсутствовать или быть искаженной, что не позволяет надежно оценивать СДЛА [17, 21]. Так, неполное или неадекватное определение максимальной TRV, приводило к неверной интерпретации СДЛА в 10 из 12 случаев заниженных результатов [16]. Регистрация TRV может быть затруднена у 15-25% пациентов, в зависимости от опыта специалиста ультразвуковой диагностики [22]. Из 1262 пациентов, TRV не была зарегистрирована у 459 (36%) человек. При этом, ЛГ подтвержденная инвазивными методами наблюдалась в 47% случаев [23].

В свою очередь, при удачной попытке визуализации TRV, можно столкнуться с другими проблемами. Так, тяжелая трикуспидальная регургитация (ТР) может исказить диагностику или оценку степени тяжести ЛГ [24] и зависеть от других экстракардиальных факторов. Например, TRV может быть завышена у пациентов с серповидно-клеточной анемией [25, 26]. Иными словами, определение TRV и вычисление СДЛА может быть ненадежным у пациентов с ЛГ и ХСН.

TAPSE, в свою очередь, представляет собой чрезмерное упрощение сократительной функции ПЖ и также может иметь свои недостатки при измерении. Диагностическая значимость TAPSE значительно снижается у пациентов с тяжелой степенью ТР. Это связано с тем, что прогрессирующая дилатация ПЖ, вследствие тяжелой ТР, приводит к увеличению угла между ультразвуковым лучом и кольцом трехстворчатого клапана, что не позволяет учитывать движение всего трехстворчатого кольца от основания к вершине [27]. На TAPSE влияет не только систолическая функция ПЖ, но и сократительная функция левого желудочка [28].

Стоит также отметить, что для оценки функции ПЖ одного показателя бывает недостаточно и требуется системный многопараметрический подход. Например, было показано, что продольная пиковая систолическая скорость движения кольца трикуспидального клапана (S'), измеренная в режиме тканевой доплерографии, умеренно коррелирует с ФВ ПЖ [29], однако, аналогично TAPSE, позволяет оценить лишь региональную сократительную его функцию. В двухмерной (2D) Speckle Tracking ЭхоКГ, продольная деформация ПЖ, с высокой прогностической ценностью отражает глобальную систолическую функцию ПЖ. В то же время, такой параметр требует хорошего качества визуализации и пренебрегает вкладом выносящего отдела ПЖ в оценку его работы [30]. Известно, что ФВ ПЖ, вычисленная методом МРТ, остается лучшим индикатором глобальной сократительной функции ПЖ [31], а вычисление ее с помощью трехмерной визуализации (3D) позволяет обойти многие ограничения, возникающие в режиме 2D [32]. Тем не менее, 3D сильно зависит от качества изображения, имеет ограниченную доступность, требует специальное оборудование, программное обеспечение и обучение врачей [30].

Таким образом, в связи со сложностью интерпретации ПЖАС через индекс TAPSE/СДЛА, появляется необходимость в поиске альтернативных, так называемых «суррогатных» индексов, при вычислении которых ошибок можно было бы избежать или минимизировать.

«Суррогатные индексы ПЖАС»

В настоящее время, рассматриваются различные подходы для оценки правых отделов сердца. Так, например, S. Ghio и соавторами была предложена стратификация риска смертности от всех причин у пациентов с ЛГ, без определения ПЖАС, в виде простой суммарной оценки трех показателей: TAPSE + степень ТР + диаметр НПВ. Такая модель имела более высокую степень корреляции, по сравнению с индивидуальной оценкой каждого из приведенных параметров [33].

В работе 2020 года, представлено сопоставление трех «суррогатных» индексов ПЖАС у пациентов с декомпенсацией ХСН: хорошо известное соотношение TAPSE/СДЛА, а также две другие формы: TAPSE/TRV и TAPSE pACT (pulmonary artery acceleration time — время ускорения в ЛА) [34].

TAPSE/TRV

Индекс TAPSE/TRV концептуально аналогичен соотношению TAPSE/СДЛА, с той лишь разницей, что более не учитывается определение давления в ПП, и таким образом, появляется возможность минимизировать потенциальные ошибки и/или неточности.

TRV является значимым ЭхоКГ показателем. Так, в рекомендациях Европейского кардиологического сообщества, среди четырех рекомендуемых параметров для определения диастолической дисфункции ЛЖ, также используется TRV [35]. Модель, состоящая из комбинированной оценки TRV, TAPSE и давления в ПП, наиболее точно предсказывает наличие ЛГ у пациентов с ХБП [36]. Индекс TAPSE/TRV, наравне с TAPSE/СДЛА, показал себя как мощный маркер прогноза, в исследовании M. Vicenzi и соавторов, у пациентов с ЛГ [37]. Благодаря TAPSE/TRV удалось разделить группу больных с промежуточным риском на подгруппы средне-низкого и средне-высокого риска. В последнем случае, определение прогноза играло значимую роль. Показатели пациентов с более низким соотношением TAPSE/TRV, коррелировали с более высокими инвазивными данными давления в ЛА и повышенным NT-proBNP (N-концевой пропептид натриуретического гормона) [37].

В группе пациентов с ТЭЛА среднего риска, показатели TAPSE <20 мм и TRV/TAPSE > 4,5, ассоциировались с 21,1% риском 30-дневной смертности и/или необходимостью в проведении экстренного тромболитика [38].

Соотношение TRV/TAPSE нашло применение и в педиатрической практике. У детей с ЛГ увеличивается TRV/TAPSE по мере ухудшения функционального класса NYHA [39]. Таким образом, TAPSE/TRV может быть полезен в клинической практике.

TAPSE×pACTn

pACT — это интервал времени от начала выброса крови ПЖ до максимальной скорости потока через ЛА [40]. Еще в 1983 году было предложено использование этого параметра для неинвазивной оценки давления в ЛА, продемонстрировав обратную корреляцию между укорочением pACT по мере нарастания среднего давления в ЛА (СрДЛА) [41]. pACT доступна визуализации до 99,6% пациентов, хорошо коррелирует с максимальной TRV и пиковым СДЛА в большой популяции случайно выбранных пациен-

тов, проходящих ЭхоКГ [42]. Также показатель рАСТ коррелирует как с неинвазивной оценкой СДЛА, так и с инвазивно измеренными СДЛА и СрДЛА [43]. Точка отсечения рАСТ в 100 мс, соответствующая СДЛА более 38 мм рт.ст. и СрДЛА более 25 мм рт.ст., по данным исследования S. O. Granstam и соавторами, обладала 89% чувствительностью и 84% специфичностью [43].

У детей неинвазивно определенный рАСТ также обратно связан с показателями легочной гемодинамики, полученными при катетеризации правых отделов сердца [44]. Продемонстрировано, что рАСТ менее 107 мс, определенное с помощью чреспищеводной ЭхоКГ, выявляет ЛГ с чувствительностью 75% и специфичностью 94,8% у кардиохирургических пациентов в условиях операционной. Более того, рАСТ, по всей видимости, является достоверным показателем ЛГ у пациентов с различной степенью TR [45]. По данным систематического обзора 21 научной работы, чувствительность и специфичность рАСТ составила 84% при определении ЛГ у взрослых. На его значения не влияли аритмия или этиология ЛГ [40].

Иными словами, прогностические взаимосвязи позволяют рассматривать рАСТ в качестве неинвазивного инструмента для оценки и мониторинга легочной гемодинамики. Исключения составляют пациенты с острой сердечно-сосудистой и дыхательной недостаточностью, у которых измерение рАСТ для определения давления в ЛА оказалось ненадежным [46].

В сравнительном исследовании G. Pestelli и соавт. показано, что TAPSE/СДЛА остается наиболее

мощным предиктором смертности [34]. За ним, по степени значимости, следует TAPSE×рАСТ, TAPSE/TRV и TAPSE. Для TAPSE×рАСТ и TAPSE/TRV определены пороговые значения: 140 см·мс и 5,5 мс соответственно, что имело прогностическую ценность — у скончавшихся пациентов показатели были значительно ниже пороговых, чем у выживших. Индекс TAPSE/СДЛА показал сильную значимую корреляцию с TAPSE×рАСТ ($R=0,748$, $P<0,001$) и очень сильную значимую корреляцию с TAPSE/TRV ($R=0,948$, $P<0,001$); кроме того, продемонстрирована сильная корреляционная связь TAPSE×рАСТ с TAPSE/TRV ($R=0,822$, $P<0,001$) [34].

Заклучение

Несмотря на то, что соотношение TAPSE/СДЛА пока остается лидирующим для стратификации прогноза у пациентов с ХСН и ЛГ, TAPSE×рАСТ и TAPSE/TRV можно рассматривать в качестве альтернативных и информативных суррогатных индексов ПЖАС, с целью нивелирования погрешностей, а также в тех случаях, когда вычисление TAPSE/СДЛА затруднено. Дальнейшее изучение и, впоследствии, возможное внедрение этих методов оценки системы ПЖ-ЛА, потенциально может обеспечить более точный многопараметрический подход стратификации риска у пациентов с ЛГ и ХСН.

Отношения и Деятельность. Нет. Relationships and Activities. None.

References/Литература

1. Ghio S, Gavazzi A, Campana C, et al. Independent and Additive Prognostic Value of Right Ventricular Systolic Function and Pulmonary Artery Pressure in Patients With Chronic Heart Failure. *J Am Coll Cardiol*. 2001;37(1):183-8. DOI:10.1016/s0735-1097(00)01102-5.
2. Ghio S, Guazzi M, Scardovi AB, 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):873-879. DOI:10.1002/ejhf.664.
3. Gorter TM, Hoendermis ES, van Veldhuisen DJ, et al. Right ventricular dysfunction in heart failure with preserved ejection fraction: a systematic review and meta-analysis. *Eur J Heart Fail*. 2016;18(12):1472-1487. DOI:10.1002/ejhf.630.
4. Mohammed SF, Hussain I, AbouEzzeddine OF, et al. Right Ventricular Function in Heart Failure With Preserved Ejection Fraction. A Community-Based Study. *Circulation*. 2014;130(25):2310-2320. DOI:10.1161/CIRCULATIONAHA.113.008461.
5. Benza R, Biederman R, Murali S, et al. Role of cardiac magnetic resonance imaging in the management of patients with pulmonary arterial hypertension. *J Am Coll Cardiol*. 2008;52:1683-1692. DOI:10.1016/j.jacc.2008.08.033.
6. Deaconu S, Deaconu A, Scarlatescu A, et al. Right ventricular-arterial coupling — A new perspective for right ventricle evaluation in heart failure patients undergoing cardiac resynchronization therapy. *Echocardiography*. 2021;38(7):1157-1164. DOI:10.1111/echo.15096.
7. Guazzi M, Bandera F, Pelissero G, et al. Tricuspid annular plane systolic excursion and pulmonary arterial systolic pressure relationship in heart failure: an index of right ventricular contractile function and prognosis. *Am J Physiol Heart Circ Physiol*. 2013;305(9):1373-1381. DOI:10.1152/ajpheart.00157.2013.
8. 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):1211-1221. DOI:10.1016/j.jcmg.2016.12.024.
9. Tello K, Axmann J, Ghofrani HA, et al. Relevance of the TAPSE/PASP ratio in pulmonary arterial hypertension. *Int J Cardiol*. 2018;266:229-235. DOI:10.1016/j.ijcard.2018.01.053.
10. Humbert M, Kovacs G, Hoeper MM, et al; ESC/ERS Scientific Document Group. 2022 ESC/ERS Guidelines for the diagnosis and treatment of pulmonary hypertension. *Eur Heart J*. 2022;43(38):3618-3731. DOI:10.1093/eurheartj/ehac237.
11. Noordegraaf VA, Galiè N. The role of the right ventricle in pulmonary arterial hypertension. *Eur Respir Rev*. 2011;20(122):243-53. DOI:10.1183/09059180.00006511.
12. Shalaby A, Voigt A, El-Saed A, Saba S. Usefulness of pulmonary artery pressure by echocardiography to predict outcome in patients receiving cardiac resynchronization therapy heart failure. *Am J Cardiol*. 2008;101(2):238-241. DOI: 10.1016/j.amjcard.2007.07.064.
13. Bursi F, McNallan SM, Redfield MM, et al. Pulmonary pressures and death in heart failure: a community study. *J Am Coll Cardiol*. 2012;59(3):222-231. DOI:10.1016/j.jacc.2011.06.076.
14. Lam CS, Roger VL, Rodeheffer RJ, et al. Pulmonary hypertension in heart failure with preserved ejection fraction: a community-based study. *J Am Coll Cardiol*. 2009;53(13):1119-1126. DOI:10.1016/j.jacc.2008.11.051.
15. Yock PG, Popp RL. Noninvasive estimation of right ventricular systolic pressure by Doppler ultrasound in patients with tricuspid regurgitation. *Circulation*. 1984;70(4):657-62. DOI:10.1161/01.cir.70.4.657.
16. Fisher MR, Forfia PR, Chamera E, et al. Accuracy of Doppler echocardiography in the hemodynamic assessment of pulmonary hypertension. *Am J Respir Crit Care Med*. 2009;179(7):615-21. DOI:10.1164/rccm.200811-1691OC.
17. Rich JD, Shah SJ, Swamy RS, et al. Inaccuracy of Doppler echocardiographic estimates of pulmonary artery pressures in patients with pulmonary hypertension: implications for clinical practice. *Chest*. 2011;139(5):988-993. DOI:10.1378/chest.10-1269.
18. Duwat A, Zogheib E, Guinot P, et al. The gray zone of the qualitative assessment of respiratory changes in inferior vena cava diameter in ICU patients. *Crit Care*. 2014;18(1):R14. DOI:10.1186/cc13693.

19. Brennan JM, Blair JE, Goonewardena S, et al. Reappraisal of the use of inferior vena cava for estimating right atrial pressure. *J Am Soc Echocardiogr.* 2007;20(7):857-861. DOI:10.1016/j.echo.2007.01.005.
20. Rudski LG, Lai WW, Afilalo J, et al. 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. *J Am Soc Echocardiogr.* 2010;23(7):685-713. DOI:10.1016/j.echo.2010.05.010
21. Lau EM, Manes A, Celermajer DS, Galiè N. Early detection of pulmonary vascular disease in pulmonary arterial hypertension: time to move forward. *Eur Heart J.* 2011;32(20):2489-2498. DOI:10.1093/eurheartj/ehr160.
22. Borgeson DD, Seward JB, Miller FAJr, et al. Frequency of Doppler measurable pulmonary artery pressures. *J Am Soc Echocardiogr.* 1996;9:832-837. DOI: 10.1016/s0894-7317(96)90475-7.
23. O'Leary JM, Assad TR, Xu M, et al. Lack of a tricuspid regurgitation Doppler signal and pulmonary hypertension by invasive measurement. *J Am Heart Assoc.* 2018;7(13):e009362. DOI:10.1161/JAHA.118.009362.
24. Vahanian A, Beyersdorf F, Praz F, et al.; ESC/EACTS Scientific Document Group. 2021 ESC/EACTS Guidelines for the management of valvular heart disease. *Eur Heart J.* 2022;43(7):561-632. DOI:10.1093/eurheartj/ehab395.
25. Fonseca GH, Souza R, Salemi VM, et al. Pulmonary hypertension diagnosed by right heart catheterisation in sickle cell disease. *Eur Respir J.* 2012;39(1):112-118. DOI:10.1183/09031936.00134410.
26. Parent F, Bachir D, Inamo J, et al. A hemodynamic study of pulmonary hypertension in sickle cell disease. *N Engl J Med.* 2011;365(1):44-53. DOI:10.1056/NEJMoa1005565.
27. Hsiao S-H, Lin S-K, Wang W-C, et al. Severe tricuspid regurgitation shows significant impact in the relationship among peak systolic tricuspid annular velocity, tricuspid annular plane systolic excursion, and right ventricular ejection fraction. *J Am Soc Echocardiogr.* 2006;19(7):902-10. DOI.org/10.1016/j.echo.2006.01.014.
28. 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):973-977. DOI:10.1016/j.amjcard.2006.04.041.
29. Pavlicek M, Wahl A, Rutz T, et al. Right ventricular systolic function assessment: rank of echocardiographic methods vs. cardiac magnetic resonance imaging. *Eur J Echocardiogr.* 2011;12(11):871-80. DOI:10.1093/EJECARD/JER138.
30. Surkova E, Cosyns B, Gerber B, et al. The dysfunctional right ventricle: the importance of multi-modality imaging. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging.* 2022;23(7):885-97. DOI:10.1093/EHJCI/JEAC037.
31. Grothues F, Moon JC, Bellenger NG, et al. Interstudy reproducibility of right ventricular volumes, function, and mass with cardiovascular magnetic resonance. *Am Heart J.* 2004;147(2):218-23. DOI:10.1016/j.ahj.2003.10.005.
32. Addetia K, Lang RM. Decoding the right ventricle in 3 dimensions. *JAMA Cardiol.* 2018;3(10):910-1. DOI:10.1001/jamacardio.2018.2452.
33. Ghio S, Mercurio V, Fortuni F, et al. A comprehensive echocardiographic method for risk stratification in pulmonary arterial hypertension. *Eur Respir J.* 2020;56(3):2000513. DOI:10.1183/13993003.00513-2020.
34. 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;329:234-241. DOI:10.1016/j.ijcard.2020.12.057.
35. Nagueh SF, Smiseth OA, Appleton CP, et al. Recommendations for the evaluation of left ventricular diastolic function by echocardiography: An update from the American Society of Echocardiography and the European Association of Cardiovascular Imaging. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging.* 2016;29(4):277-314. DOI:10.1093/ehjci/jew082.
36. Edmonston DL, Rajagopal S, Wolf M. Echocardiography to Screen for Pulmonary Hypertension in CKD. *Kidney Int Rep.* 2020;5(12):2275-2283. DOI:10.1016/j.ekir.2020.09.033.
37. 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.
38. Czurzynski M, Kurnicka K, Lichodziejewska B, et al. Tricuspid Regurgitation Peak Gradient (TRPG)/Tricuspid Annulus Plane Systolic Excursion (TAPSE) — A novel parameter for stepwise echocardiographic risk stratification in normotensive patients with acute pulmonary embolism. *Circ J.* 2018;82(4):1179-85. DOI:10.1253/circj.CJ-17-0940.
39. Koestenberger M, Avian A, Cantinotti M, et al. A novel echocardiographic approach indicates disease severity in pediatric pulmonary hypertension. *Pediatr Int.* 2020;0:1-3. DOI:10.1111/ped.14163.
40. Wang Y-C, Huang C-H, Tu Y-K. Pulmonary hypertension and pulmonary artery acceleration time: a systematic review and meta-analysis. *J Am Soc Echocardiogr.* 2018;31(2):201-210. DOI:10.1016/j.echo.2017.10.016.
41. Kitabatake A, Inoue M, Asao M, et al. Noninvasive evaluation of pulmonary hypertension by a pulsed Doppler technique. *Circulation.* 1983;68(2):302-9. DOI:10.1161/01.cir.68.2.302.
42. Yared K, Noseworthy P, Weyman AE, et al. Pulmonary Artery Acceleration Time Provides an Accurate Estimate of Systolic Pulmonary Arterial Pressure during Transthoracic Echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr.* 2011;24(6):687-92. DOI:10.1016/j.echo.2011.03.008.
43. Granstam SO, Bjorklund E, Wikstrom G, Roos MW. Use of echocardiographic pulmonary acceleration time and estimated vascular resistance for the evaluation of possible pulmonary hypertension. *Cardiovasc Ultrasound.* 2013;11:7. DOI:10.1186/1476-7120-11-7.
44. Levy PT, Patel MD, Groh G, et al. Pulmonary artery acceleration time provides a reliable estimate of invasive pulmonary hemodynamics in children. *J Am Soc Echocardiogr.* 2016;29(11):1056-65. DOI:10.1016/j.echo.2016.08.013.
45. Cowie B, Kluger R, Rex S, Missant C. The relationship between pulmonary artery acceleration time and mean pulmonary artery pressure in patients undergoing cardiac surgery: an observational study. *Eur J Anaesthesiol.* 2016;33(1):28-33. DOI:10.1097/EJA.0000000000000314.
46. Dammasa V, Corradi F, Colombo CNJ, et al. Pulmonary artery acceleration time accuracy for systolic pulmonary artery pressure estimation in critically ill patients. *Ultrasound J.* 2022;14(1):26. DOI:10.1186/s13089-022-00276-4.

Сведения об Авторах/About the Authors

Мареева Варвара Андреевна [Varvara A. Mareyeva]
eLibrary SPIN 1145-1636, ORCID 0000-0001-8302-6916

Клименко Алеся Александровна [Alesya A. Klimenko]
eLibrary SPIN 8396-9251, ORCID 0000-0002-7410-9784

Шостак Надежда Александровна [Nadezhda A. Shostak]
eLibrary SPIN 1950-6838, ORCID 0000-0003-4669-1006