

Инфаркт миокарда правого желудочка при эхокардиографическом исследовании

Ж.К. Науменко^{1,2}

¹ Федеральное государственное бюджетное учреждение «Научно-исследовательский институт пульмонологии» Федерального медико-биологического агентства: 115682, Россия, Москва, Ореховый бульвар, 28

² Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н.И. Пирогова» Министерства здравоохранения Российской Федерации: 117997, Россия, Москва, ул. Островитянова, 1

Резюме

На сегодняшний день поиск новых способов неинвазивной оценки состояния правых отделов сердца остается актуальной проблемой. **Актуальность.** Эхокардиография (ЭхоКГ) по-прежнему является одним из основных функциональных методов исследования, при помощи которого достаточно быстро и объективно выявляются патологические изменения со стороны как левых, так и правых отделов сердца. **Результаты.** При развитии и совершенствовании технических возможностей ультразвуковых сканеров расширяются возможности и появляются новые способы расчета показателей функционального состояния сердца, что позволяет более точно понять патологические процессы, происходящие в каждом конкретном случае. **Заключение.** Благодаря безопасности и возможности обследования «у постели больного» urgentных пациентов с недостаточностью кровообращения ЭхоКГ занимает лидирующие позиции в повседневной клинической практике.

Ключевые слова: Д.Д. Плетнев, эхокардиография, правосторонняя сердечная недостаточность, инфаркт миокарда, правый желудочек.

Для цитирования: Науменко Ж.К. Инфаркт миокарда правого желудочка при эхокардиографическом исследовании. *Пульмонология*. 2022; 32 (2, Прил.): 42–46. DOI: 10.18093/0869-0189-2022-32-2S-42-46

Right ventricular myocardial infarction on echocardiography

Zhanna K. Naumenko^{1,2}

¹ Federal Pulmonology Research Institute, Federal Medical and Biological Agency of Russia: Orekhovyy bul'var 28, Moscow, 115682, Russia

² Pirogov Russian National Research Medical University (Pirogov Medical University), Healthcare Ministry of Russia: ul. Ostrovityanova 1, Moscow, 117997, Russia

Abstract

To date, non-invasive assessment of the right parts of the heart remains an urgent problem. **Relevance.** Echocardiography is still one of the principal functional research methods, which allows you to identify pathological changes quickly and objectively in both left and right parts of the heart. **Results.** The development and improvement of the technical capabilities of ultrasound scanners leads to new methods for calculating the indicators of the functional state of the heart and a more accurate understanding of the pathological processes occurring in a particular case. **Conclusion.** Echocardiography occupies a leading position in everyday clinical practice because of its safety and the possibility of bedside examination of urgent patients with circulatory failure.

Key words: D.D. Pletnev, echocardiography, right-sided heart failure, myocardial infarction, right ventricle.

For citation: Naumenko Zh.K. Right ventricular myocardial infarction on echocardiography. *Pul'monologiya*. 2022; 32 (2, Suppl.): 42–46 (in Russian). DOI: 10.18093/0869-0189-2022-32-2S-42-46

Роль правого желудочка (ПЖ) в гемодинамике не всегда рассматривалась как важная составляющая в процессе формирования сердечно-сосудистой недостаточности в целом. В 1940–50-х гг. по результатам экспериментальных работ *I. Starr et al.* [1] сделан вывод о том, что ПЖ является малозначащей пассивной камерой сердца. Однако в 1970–80 гг. стало очевидным огромное влияние ПЖ на адаптационные возможности всего сердца при различных патологических состояниях [2, 3]. В настоящее время установлено, что при развитии ПЖ-недостаточности может произойти быстрая и фатальная декомпенсация сердечной деятельности.

Значение правых отделов сердца на гемодинамику подчеркивал в своих работах *Д.Д. Плетнев*, который в отсутствие методов инструментальной диагностики

в арсенале предложил клинические дифференциально-диагностические критерии инфаркта миокарда левого (ЛЖ) и ПЖ.

ПЖ и ЛЖ существенно различаются по своей анатомии и физиологии, поэтому развитие дисфункции ПЖ, приводящей к правосторонней сердечной недостаточности (СН), имеет свои характерные особенности. В настоящее время под правосторонней СН понимают сложный клинический синдром, включающий различные механизмы патогенеза и патологические процессы в результате дисфункции ПЖ с признаками и симптомами СН [4]. Клинический прогноз при дисфункции ПЖ негативный вне зависимости от причин ее возникновения. В соответствии с рекомендациями международной рабочей группы «Американская ассоциация сердца» в настоя-

шее время дисфункция ПЖ рассматривается как один из компонентов патофизиологического процесса, который может привести к правосторонней СН [4]. Правосторонняя сердечно-сосудистая система включает в себя как элементы системного круга кровообращения (системные вены, правое предсердие (ПП), венечный синус, который впадает в ПП, трехстворчатый (трикуспидальный) клапан, ПЖ (со свободной стенкой ПЖ), выносящий тракт ПЖ и клапан легочной артерии (ЛА)), так и легочный круг кровообращения (ствол, ветви ЛА – до легочных капилляров, где и происходит оксигенация крови). Оксигенированная кровь поступает в левостороннюю систему кровообращения [4].

Поиск инструментальных методов исследования для объективной оценки функционального состояния ПЖ до настоящего времени остается открытым. На сегодня при оценке функции ПЖ проводится анализ геометрии и степени дилатации ПЖ, степени гипертрофии стенок ПЖ, изменения сократимости, ударного объема, перфузии миокарда ПЖ и его взаимоотношения с ЛЖ. Такие исследования как эхокардиография (ЭхоКГ), компьютерная, магнитно-резонансная и позитронно-эмиссионная томография, особенно при комплексном использовании в различных сочетаниях, позволяют ответить на многие вопросы, возникающие при повседневной клинической практике. В экстренных случаях, особенно при необходимости инструментальной диагностики состояния правых и левых отделов сердца «у постели больного», ЭхоКГ остается приоритетным методом.

Патофизиологические механизмы острой правосторонней сердечной недостаточности

Наиболее частыми причинами резкого снижения сократимости миокарда ПЖ являются инфаркт миокарда ПЖ, миокардит, посткардиотомический синдром. Снижение сократительной способности ПЖ в результате поражения миокарда приводит к его дилатации, что способствует нарастанию трикуспидальной регургитации (ТР), повышению давления в ПП, нарастанию дилатации ПЖ и дальнейшему снижению сократимости ПЖ (рис. 1) [5].

В нормальных физиологических условиях существуют механизмы саморегуляции сердца. Согласно закону *Ф. Старлинга*, при растяжении волокон сократимого миокарда повышается сила сокращения при следующей систоле. Однако этот закон действует только в определенном диапазоне растяжения волокон миокарда. Сила сокращений возрастает только при средних величинах их растяжения, т. е. во время диастолы увеличивается площадь контакта между митохондриями и миофибриллами, возрастает энергетическое обеспечение сократительного аппарата, сила сокращения увеличивается. При поражении кардиомиоцитов и волокон миокарда ПЖ сохраненные волокна растягиваются сверх известного предела, что, наоборот, ослабляет силу сокращения ПЖ.

При срыве механизмов саморегуляции сердца дилатированный ПЖ поджимает ЛЖ и по механизму



Рис. 1. Схема развития острой правосторонней сердечной недостаточности

Примечание: ПЖ – правый желудочек.

Figure 1. The scheme of development of acute right-sided heart failure

межжелудочкового взаимодействия вызывает нарушение наполнения ЛЖ, что приводит к снижению его ударного объема [6]. В свою очередь, при повышении давления в ПП повышается системное венозное давление (рис. 2).



Рис. 2. Гемодинамические механизмы развития острой правосторонней сердечной недостаточности

Примечание: ПЖ – правый, ЛЖ – левый желудочек.

Figure 2. Hemodynamic mechanisms of development of acute right ventricular failure

Диагностические возможности эхокардиографии при инфаркте миокарда правого желудочка

По данным ЭхоКГ выявляются различные этапы формирования острой правосторонней СН. Уже на первых этапах ЭхоКГ-исследования в В-режиме возможна качественная визуальная оценка размеров правых и левых отделов сердца. В норме из апикальной 4-камерной позиции размеры левых отделов сердца преобладают над правыми. При умеренной дилатации ПЖ его размеры сопоставимы с размерами ЛЖ. При дальнейшей дилатации ПЖ и ПП размеры правых отделов сердца преобладают над левыми (рис. 3).

По мере увеличения размеров ПЖ происходит уменьшение размеров ЛЖ, т. е. меняется геометрия

правых и левых отделов сердца (ремоделирование сердца) (рис. 4). Межжелудочковая перегородка смещается в сторону ЛЖ, уплощается, а ЛЖ приобретает D-образную форму. Такие изменения приводят к уменьшению диастолического наполнения ЛЖ, в результате чего снижается ударный объем ЛЖ [5, 6]. Помимо диастолического взаимодействия ЛЖ и ПЖ, которое рассматривается как желудочковая конкуренция за диастолическое наполнение в ограниченном перикардиальном пространстве, существует и систолическое. По разным данным, систолическая функция ПЖ на 20–40 % зависит от систолической функции ЛЖ [7, 8]. При ЭхоКГ-оценке систолической функции ЛЖ в М-режиме можно увидеть парадоксальное движение межжелудочковой перегородки (см. рис. 4, указано стрелкой) [9], а при расчете систолической функции ЛЖ – снижение ударного объема ЛЖ. Кроме того, можно рассчитать индекс эксцентриситеты ЛЖ (цифровое выражение ремоделирования сердца) [10].

Следствием дилатации ПЖ является патологическая ТР, что приводит к перегрузке ПП и его дилатации. В режиме цветового доплеровского сканирования можно видеть степень распространения струи ТР в полость ПП (рис. 5А, указано стрелкой), а в режиме непрерывного волнового доплеровского сканирования – измерить скорость ТР (см. рис. 5В). Используя максимальную пиковую скорость струи ТР, можно вычислить систолический градиент давления между ПЖ и ПП и рассчитать систолическое давление в ЛА [11].

С помощью ЭхоКГ можно отследить замедление времени ускорения кровотока через клапан ЛА, что свидетельствует об уменьшении потока крови из ПЖ. В норме поток крови через клапан ЛА в режиме импульсного доплеровского сканирования имеет форму равнобедренного треугольника. По мере развития недостаточности ПЖ пик скорости потока крови в выходящем тракте ПЖ смещается в первую половину си-



Рис. 3. Визуальная оценка размеров правого желудочка при его дилатации

Примечание: ПЖ – правый, ЛЖ – левый желудочек.

Figure 3. Visual assessment of the size of the right ventricle during its dilatation

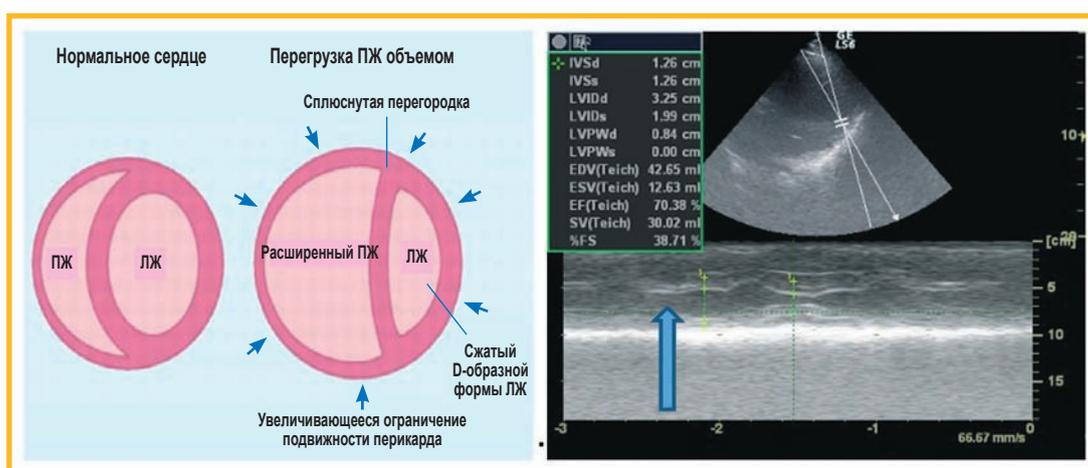


Рис. 4. Ремоделирование сердца, вентрикулярно-взаимозависимый эффект (уплощение межжелудочковой перегородки и смещение влево искажает нормальные геометрические взаимоотношения желудочков. Снижается диастолическое наполнение левого желудочка и его ударный объем)

Примечание: ПЖ – правый, ЛЖ – левый желудочек.

Figure 4. Cardiac remodeling, ventricular-interdependent effect (flattening of the interventricular septum and displacement to the left distorts the normal geometric relationships of the ventricles. The diastolic filling of the left ventricle and its stroke volume decrease)

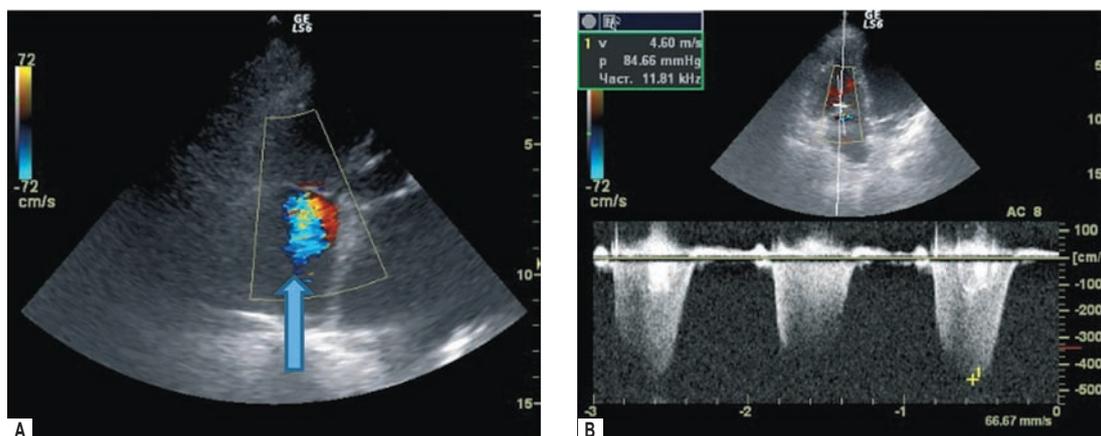


Рис. 5. Трикуспидальная регургитация: А – перегрузка правого предсердия; В – максимальная скорость потока трикуспидальной регургитации

Figure 5. Tricuspid regurgitation: A, right atrial overload; B, maximum flow rate of tricuspid regurgitation

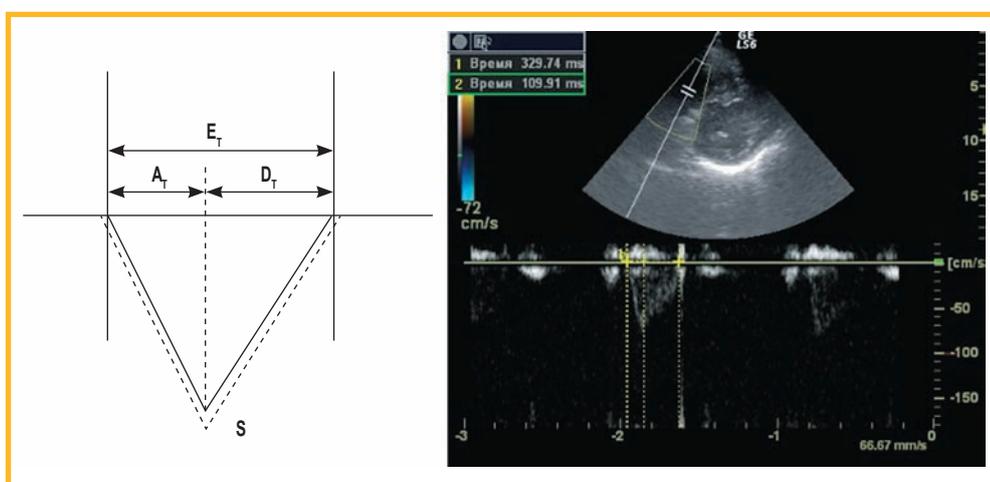


Рис. 6. Снижение времени ускорения кровотока через клапан легочной артерии
Примечание: E_T – общее время потока крови через легочный клапан; A_T – время ускорения кровотока в выходном тракте правого желудочка; D_T – время замедления потока в выходном тракте правого желудочка.

Figure 6. Decreased time to accelerate blood flow through the pulmonary valve

столы, т. к. время ускорения кровотока через клапан ЛА уменьшается (рис. 6).

С развитием технических возможностей и расширением режимов ЭхоКГ-исследования появились новые возможности оценки систолической и диастолической функции ПЖ. Для оценки диастолической функции ПЖ используются режимы импульсного и тканевого импульсного доплеровского сканирования. Выделяются следующие варианты (типы) диастолической дисфункции ПЖ:

- нарушение релаксации ПЖ (легкий вариант);
- псевдонормальный;
- рестриктивный (тяжелый).

При наличии импульсного и тканевого импульсного доплеровского сканирования при проведении ЭхоКГ возможно выделить все типы диастолической дисфункции как ПЖ, так и ЛЖ (рис. 7) [10, 12].

В настоящее время идет активный поиск методов оценки систолической функции ПЖ с помощью ЭхоКГ. Наиболее часто в клинической практике используется метод оценки систолической функции ПЖ по амплитуде движения фиброзного кольца трикуспидального клапана (показатель TAPSE – *Tricuspid Anual Plane Systolic Excursion*) (рис. 8) [10, 12]. С учетом того, что наибольший вклад в систолическую функцию ПЖ вносит его продольное укорочение (в отличие от ЛЖ),

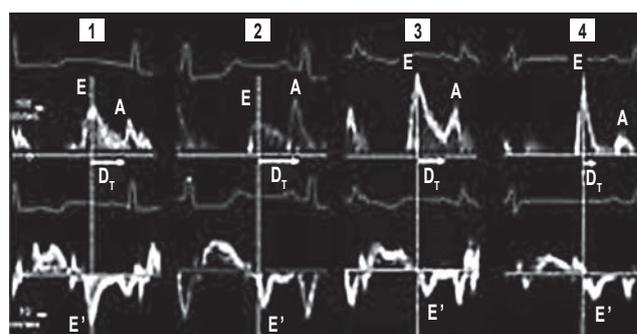


Рис. 7. Оценка диастолической функции желудочков: 1 – норма; 2 – нарушение релаксации $E/A < 0,8$; 3 – псевдонормальный тип $0,8 < E/A < 2,1 + E/E' > 6$; 4 – рестриктивный тип $E/A > 2,1 + D_T < 120$ мс

Примечание: E – максимальная скорость раннего диастолического наполнения желудочка (импульсный доплер); E' – максимальная ранняя диастолическая скорость миокарда (тканевой доплер); A – максимальная скорость позднего диастолического наполнения желудочка (импульсный доплер); A' – максимальная поздняя систолическая скорость миокарда (тканевой доплер); D_T – время замедления потока в выходном тракте правого желудочка.

Figure 7. Assessment of diastolic ventricular function: 1 – normal; 2 – E/A relaxation disorder < 0.8 ; 3 – pseudonormal type $0.8 < E/A < 2.1 + E/E' > 6$; 4 – E/A restrictive type $> 2.1 + D_T < 120$ mc

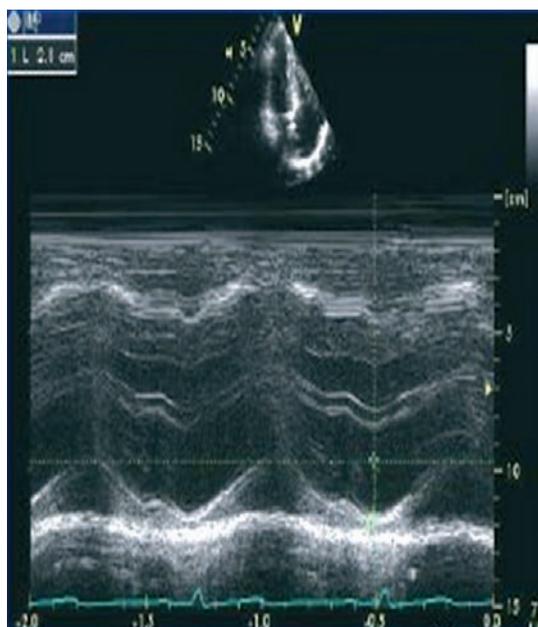


Рис. 8. Систолическая экскурсия фиброзного кольца трикуспидального клапана (оценка показателя TAPSE)

Примечание: TAPSE (*Tricuspid Annular Plane Systolic Excursion*) – амплитуда движения фиброзного кольца трикуспидального клапана.

Figure 8. Tricuspid Annular Plane Systolic Excursion (TAPSE Score)

анализ изменений ПЖ проводится в систолу и диастолу вдоль его продольной оси. В норме показатель TAPSE составляет 24 ± 4 мм (фракция выброса ПЖ – $3,2 \times$ TAPSE). О гемодинамически значимой систолической дисфункции ПЖ свидетельствует показатель TAPSE < 16 мм. Кроме того, систолическую функцию ПЖ можно оценить по фракционному изменению площади ПЖ [13], а имея в распоряжении тканевой импульсный доплер – по скорости систолического движения базального латерального сегмента ПЖ (S') или при помощи интегральной оценки глобальной функции ПЖ по показателю *Tei-index* (MPI (*myocardial performance index*)) – индекс производительности миокарда) [10, 12].

Заключение

Таким образом, признаки недостаточности ПЖ выявляются при помощи ЭхоКГ уже на первых этапах развития правосторонней СН. Соответственно, лечебные мероприятия при поражении ПЖ должны быть направлены на улучшение функционального статуса миокарда ПЖ, снижение легочной вазоконстрикции и взаимодействие ЛЖ и ПЖ.

Информация об авторах / Author Information

Науменко Жанна Константиновна – к. м. н., старший научный сотрудник лаборатории функциональных и ультразвуковых методов исследования Федерального государственного бюджетного учреждения «Научно-исследовательский институт пульмонологии» Федерального медико-биологического агентства, доцент кафедры пульмонологии факультета дополнительного профессионального образования Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н.И.Пирогова» Министерства здравоохранения Российской Федерации; тел.: (903) 270-27-16; e-mail: naumenko_janna@

Литература / References

1. Starr I., Jeffers W.A., Meade R.H. The absence of conspicuous increments of venous pressure after severe damage to the right ventricle of the dog with a discussion of the relation between clinical congestive failure and heart disease. *Am. Heart J.* 1943; 26 (3): 291–301. DOI: 10.1016/S0002-8703(43)90325-4.
2. Cohn J.N., Guiha N.H., Broder M.I., Limas C.J. Right ventricular infarction: Clinical and hemodynamic features. *Am. J. Cardiol.* 1974; 33 (2): 209–214. DOI: 10.1016/0002-9149(74)90276-8.
3. Dell'Italia L.J., Starling M.R., O'Rourke R.A. Physical examination for exclusion of hemodynamically important right ventricular infarction. *Ann. Intern. Med.* 1983; 99 (5): 608–611. DOI: 10.7326/0003-4819-99-5-608.
4. Mehra M.R., Park M.H., Landzberg M.J. et al. Right heart failure: Toward a common language. *J. Heart Lung Transplant.* 2014; 33 (2): 123–126. DOI: 10.1016/j.healun.2013.10.015.
5. Haddad F., Doyle R., Murphy D.J., Hunt S.A. Right ventricular function in cardiovascular disease, part II: pathophysiology, clinical importance, and management of right ventricular failure. *Circulation.* 2008; 117 (13): 1717–1731. DOI: 10.1161/circulationaha.107.653584.
6. Santamore W.P., Dell'Italia L.J. Ventricular interdependence: Significant left ventricular contributions to right ventricular systolic function. *Prog. Cardiovasc. Dis.* 1998; 40 (4): 289–308. DOI: 10.1016/s0033-0620(98)80049-2.
7. Ryan J.J., Huston J., Kutty S. et al. Right ventricular adaptation and failure in pulmonary arterial hypertension. *Can. J. Cardiol.* 2015; 31 (4): 391–406. DOI: 10.1016/j.cjca.2015.01.023.
8. Konstam M.A., Cohen S.R., Salem D.N. et al. Comparison of left and right ventricular end-systolic pressure-volume relations in congestive heart failure. *J. Am. Coll. Cardiol.* 1985; 5 (6): 1326–1334. DOI: 10.1016/s0735-1097(85)80344-2.
9. Brinker J.A., Weiss J.L., Lappé D.L. et al. Leftward septal displacement during right ventricular loading in man. *Circulation.* 1980; 61 (3): 626–633. DOI: 10.1161/01.cir.61.3.626.
10. Howard L.S., Grapsa J., Dawson D. et al. Echocardiographic assessment of pulmonary hypertension: standard operating procedure. *Eur. Respir. Rev.* 2012; 21 (125): 239–248. DOI: 10.1183/09059180.00003912.
11. Berger M., Haimowitz A., Van Tosh A. et al. Quantitative assessment of pulmonary hypertension in patients with tricuspid regurgitation using continuous wave Doppler ultrasound. *J. Am. Coll. Cardiol.* 1985; 6 (2): 359–365. DOI: 10.1016/s0735-1097(85)80172-8.
12. Rudski L.G., Lai W.W., Afilano 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.
13. Lang R.M., Bierig M., Devereux R.B. et al. Recommendations for chamber quantification: A report from the American Society of Echocardiography's guidelines and standards committee and the Chamber Quantification Writing Group, developed in conjunction with the European Association of Echocardiography, a branch of the European Society of Cardiology. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2005; 18 (12): 1440–1463. DOI: 10.1016/j.echo.2005.10.005.

mail.ru (SPIN-код: 7191-1758, Author ID: 687383, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4804-6142>)

Zhanna K. Naumenko, Candidate of Medicine, Senior Researcher, Laboratory of Functional and Ultrasound Research Methods, Federal Pulmonology Research Institute, Federal Medical and Biological Agency of Russia, Associate Professor, Department of Pulmonology, Faculty of Additional Professional Education, Pirogov Russian National Research Medical University (Pirogov Medical University), Healthcare Ministry of Russia; tel.: (903) 270-27-16; e-mail: naumenko_janna@mail.ru (SPIN-код: 7191-1758, Author ID: 687383, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4804-6142>)