



Перспективы применения моделирования полости правого желудочка у детей с атрезией клапана легочной артерии и интактной межжелудочковой перегородкой по данным КТА

© Кобелев Е. *, Войтов А.В., Фридман А.В., Сойнов И.А., Усов В.Ю.

ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр имени академика Е.Н. Мешалкина» Минздрава России; 630055 Новосибирск, ул. Речкуновская, д. 15, Российская Федерация

Цель исследования: изучить возможности трехмерного динамического представления анатомической формы и сократимости у пациентов с атрезией легочной артерии с интактной межжелудочковой перегородкой (АЛА ИМЖП) на основе сравнения показателей конечно-диастолического объема (КДО) правого желудочка и его фракции выброса (ФВ), измеряемых методами эхокардиографии (ЭхоКГ) и компьютерно-томографической ангиографии (КТА) с применением 3D-моделирования камер сердца.

Материал и методы. Проведен ретроспективный анализ данных КТА и ЭхоКГ у 12 пациентов с диагнозом АЛА ИМЖП, проходивших лечение с января 2019 г. по март 2025 г. В анализ были включены данные всех исследований, проводимых на разных этапах коррекции врожденного порока сердца.

Результаты. КДО правого желудочка по результатам 3D-моделирования на основе данных КТА у всех пациентов в среднем составил 9,9 [2,7; 12,9] мл, конечно-систолический объем – 4,7 [1,7; 6,6] мл, ФВ – 42 [18; 70]%. При сопоставлении данных 3D-моделирования и ЭхоКГ установлено, что результаты объемных измерений и функционального анализа значительно отличались. При сравнении КДО правого желудочка по данным КТА и его линейных измерений по данным ЭхоКГ была установлена сильная корреляционная связь, где $r = 0,86$ у конечно-диастолического размера (КДР) в базальном отделе, $r = 0,84$ у КДР в среднем отделе, $r = 0,80$ у КДР по длинной оси. При этом необходимо отметить, что при сравнении ФВ, рассчитанной по данным КТА, и фракции изменения площади правого желудочка была установлена умеренная положительная корреляционная связь, где $r = 0,31$.

Заключение. Применение 3D-моделирования и 3D-печати у детей с АЛА ИМЖП дает возможность персонализированно планировать хирургические вмешательства на сердце у конкретного пациента, позволяя анализировать анатомические особенности порока, более точно оценивать КДО и ФВ желудочков сердца в течение периода наблюдения за пациентом.

Ключевые слова: 3D-реконструкция камер сердца; компьютерная томография; КТ-ангиография; атрезия легочной артерии с интактной межжелудочковой перегородкой

Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.

Для цитирования: Кобелев Е., Войтов А.В., Фридман А.В., Сойнов И.А., Усов В.Ю. Перспективы применения моделирования полости правого желудочка у детей с атрезией клапана легочной артерии и интактной межжелудочковой перегородкой по данным КТА. *Медицинская визуализация*. 2026; 30 (2): 20–25.

<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1603>

Поступила в редакцию: 27.09.2025.

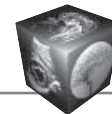
Принята к печати: 12.03.2026.

Опубликована online: 12.05.2026.

Prospects for the use of right ventricular cavity modeling in children with pulmonary artery valve atresia and intact interventricular septum according to CTA

© Eugenio Koblelev*, Alexey V. Voitov, Alexander V. Fridman, Ilya A. Soinov, Vladimir Yu. Usov

E.N. Meshalkin National Research Medical Center of the Ministry of Health of the Russian Federation; 15, Rechkunovskaya str., Novosibirsk 630055, Russian Federation



Purpose. The purpose of this study is to compare the values obtained from echocardiography (echoCG) and computed tomography angiography (CTA) for measuring the end-diastolic volume (EDV) of the right ventricle (RV) and its ejection fraction (EF). This comparison will be done using 3D modeling of the heart chambers.

Materials and Methods. A retrospective analysis of CTA and echoCG data will be performed on 12 patients diagnosed with pulmonary artery atresia and an intact interventricular septum. These patients have been undergoing treatment from January 2014 to March 2025, and their data from various stages of correction for congenital heart disease will be included in the analysis.

Results. According to the results of 3D modeling based on CTA, the average end-diastolic volume of the right ventricle was 9.9 [2.7–12.9] ml, the end-systolic volume was 4.7 [1.7–6.6] ml, and the ejection fraction was 42 [18–70]%. When comparing the results of the 3D modeling with EchoCG data, there was a discrepancy in volumetric measurements and functional analysis. However, when comparing EDV of the right ventricle based on CTA with its linear measurements based on EchoCG, a strong correlation was found, with $r = 0.86$ for end-diastolic size in the basal region, $r = 0.84$ in the middle region, and $r = 0.80$ along the long axis. Additionally, when comparing the ejection fraction calculated from CT data with the fraction of change in area of the right ventricle, a moderate positive correlation of $r = 0.31$ was observed.

Conclusion. The use of 3D modeling and 3D printing for children with pulmonary artery atresia and intact interventricular septum allows for personalized planning of surgical interventions on the heart, enabling a more accurate analysis of the anatomical features of the defect and more precise assessment of end-diastolic volumes and ventricular ejection fractions during patient follow-up.

Keywords: 3D-analysis of CT angiography data; computed tomography; CT-angiography; pulmonary artery atresia, interventricular septum

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest. The study had no sponsorship.

For citation: Kobelev E., Voitov A.V., Fridman A.V., Soinov I.A., Ussov V.Yu. Prospects for the use of right ventricular cavity modeling in children with pulmonary artery valve atresia and intact interventricular septum according to CTA. *Medical Visualization*. 2026; 30 (2): 20–25. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1603>

Received: 27.09.2025.

Accepted for publication: 12.03.2026.

Published online: 12.05.2026.

Введение

Атрезия легочной артерии с интактной межжелудочковой перегородкой (АЛА ИМЖП) является редкой формой врожденного порока сердца и составляет менее 1% от общего числа врожденных пороков сердца, однако практически в каждом случае представляет собой сложную хирургическую проблему, требующую детального анатомического и функционально-гемодинамического анализа [1]. Патоморфологически выделяют две формы атрезии клапана легочной артерии с интактной межжелудочковой перегородкой: первая (мембранозная) характеризуется сращением створок клапана, в результате чего кровь из правого желудочка (ПЖ) перестает поступать в легочное русло, вторая (мышечная) характеризуется стенозом пути оттока из ПЖ и отсутствием клапана легочной артерии без какого-либо сообщения между желудочками. Часто подобный врожденный порок сердца сопровождается гипоплазией ПЖ и трикуспидального клапана. Вариабельность размеров ПЖ и трикуспидального клапана, а также особенности коронарного кровообращения, зависящего от ПЖ, в значительной степени может повлиять на послеоперационное течение заболевания у конкретного пациента и на индивидуальные и групповые результаты операции [2].

Выявление и постановка диагноза данного врожденного порока в основном осуществляются

с помощью эхокардиографии (ЭхоКГ), причем примерно в 86% случаев уже пренатально [2]. Этот метод лучевой диагностики позволяет оценить межпредсердную перегородку, трикуспидальный клапан, ПЖ и ветви легочных артерий. Однако ЭхоКГ имеет ряд ограничений при оценке объема и фракции выброса (ФВ) ПЖ [3]. КТ-ангиография (КТА) позволяет проводить комплексную оценку анатомии сердца и магистральных сосудов, в частности, визуализация формы и размеров открытого артериального протока является одним из наиболее прогностически важных критериев в тактике ведения таких пациентов. Внедрение в практическую деятельность методик измерения объемов (волюмометрии) камер сердца в разные фазы сердечного цикла позволяет получать более точные значения конечно-диастолического объема (КДО) и конечно-систолического объема (КСО) правого и левого желудочков сердца, проводить расчет ФВ, что также может иметь клиническое значение при выборе тактики ведения пациентов [4].

Цель исследования: изучить возможности трехмерного компьютерного представления и анализа анатомических и функциональных показателей у пациентов с атрезией легочной артерии путем сравнения размеров ПЖ и его ФВ, измеряемых методами ЭхоКГ и КТА с применением 3D-моделирования камер сердца.



Материал и методы

С января 2019 г. по март 2025 г. 12 пациентов в нашем Центре проходили обследование и лечение с диагнозом АЛА ИМЖП, так что данное исследование является целиком ретроспективным. Все данные вводились и анализировались ретроспективно из базы данных клиники. У 7 пациентов перед радикальной коррекцией врожденного порока осуществлялся динамический контроль по данным КТА и ЭхоКГ. Летальный исход заболевания в послеоперационном периоде во время госпитализации был только у 1 пациента.

Оценка данных дооперационных ЭхоКГ и КТА пациентов

КТА выполняли на аппаратах Aquilion 64 и Aquilion One 320 (Toshiba, Япония) с толщиной реконструируемого слоя не более 1 мм, с реконструкцией в диастолическую и систолическую фазы сердечного цикла. 3D-моделирование и анализ объемных структур осуществлялись в программном обеспечении Materialise Medical (Materialise HQ, Бельгия).

Трансторакальную 3D-ЭхоКГ проводили на аппарате Vivid E95 (GE Healthcare, Франция) с обязательной ЭКГ-синхронизацией в положении пациента на левом боку. Исследование выполняли в стандартных позициях: апикальная 4, 2 и 3-камерная, парастернальная по короткой и длинной оси, надгрудинная, субкостальная.

Статистический анализ

Анализ был выполнен с использованием программного пакета Microsoft Excel. Непрерывные данные отличались от нормального распределения и представлены как медиана [25-й и 75-й процентиля]. Качественные данные представлены как частоты и соответствующие им проценты представленности в группах. Коэффициент корреляции Пирсона (r) применяли для оценки силы связи между сравниваемыми показателями.

Результаты исследования

Средний возраст пациентов на момент первичного обследования составил 99 [3; 126] дней. У всех пациентов были выявлены признаки открытого овального окна или вторичного дефекта межпредсердной перегородки, открытого артериального протока. У 6 пациентов имелась гипоплазия ПЖ – тип В по Bull [50%], и только у 5 были выявлены признаки недостаточности трикуспидального клапана. У 2 пациентов порок сочетался с гипоплазией центрального легочного русла. КДО ПЖ по результатам 3D-моделирования на основе данных КТА у всех пациентов в среднем составил 9,9 [2,7; 12,9] мл, КСО – 4,7 [1,7; 6,6] мл, ФВ – 42 [18; 70]%. При сопоставлении данных 3D-моделирования и ЭхоКГ установлено, что результаты объемных измерений и функционального анализа не имели совпадений. При сравнении КДО ПЖ по данным КТА и его линейных измерений по данным ЭхоКГ была установлена сильная корреляционная связь, где $r = 0,86$ у конечно-диастолического размера (КДР) в базальном отделе, $r = 0,84$ у КДР в среднем отделе, $r = 0,80$ у КДР по длинной оси. При этом стоит отметить, что при сравнении ФВ, рассчитанной по данным КТА, и фракции изменения площади ПЖ (RVFAC) была установлена умеренная положительная корреляционная связь, где $r = 0,31$ (рис. 1).

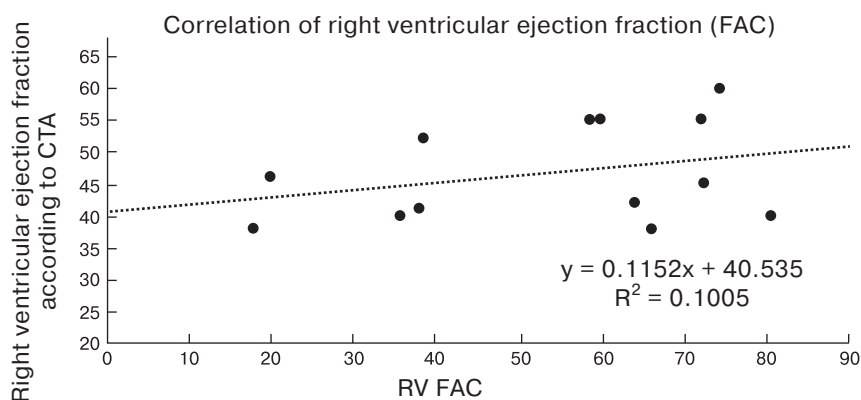
Обсуждение

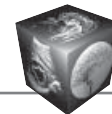
Эхокардиографическая оценка функции и размеров ПЖ при заболеваниях сердца у детей представляет собой сложную задачу из-за большой вариабельности как морфологии, так и его физиологии [5]. Несмотря на то что существуют нормальные референсные данные о размерах и функциях ПЖ у детей, их использование при различных врожденных пороках является сложной задачей.

В настоящее время отсутствуют какие-либо стандарты выполнения ЭхоКГ у детей с врожденными пороками сердца, а все используемые измерения размеров ПЖ включены в рекомендации

Рис. 1. Диаграмма корреляции фракции выброса правого желудочка, рассчитанной по данным КТА, и RVFAC, рассчитанной по данным ЭхоКГ.

Fig. 1. Correlation between the right ventricular ejection fraction calculated from computed tomography angiography and the RVFAC calculated from echocardiographic data.





для взрослых. Считается, что измерение площади ПЖ хорошо отражает его объем, а ее изменение от конечной диастолы до конечной систолы можно использовать в качестве замены объемной ФВ [6–8]. RVFAC, определяемая по апикальным 4-камерным плоскостям, должна хорошо коррелировать с ФВ ПЖ. К сожалению, в случаях гипоплазии ПЖ у детей с врожденными пороками сердца оценка данного параметра затруднена из-за измененной формы, в частности при выраженной гипертрофии миокарда.

В 2003 г. N. Yoshimura и соавт. опубликовали статью, в которой предложили прогностически эффективную стратегию лечения пациентов с АЛА ИМЖП, основываясь на морфологии и размерах полости ПЖ. Для расчета КДО ПЖ авторы использовали изображения, полученные при зондировании полостей сердца в двух проекциях: прямой и боковой, после чего проводили измерение длины и поперечного размера ПЖ на разных уровнях и на одинаковом расстоянии друг от друга, и по предложенной ими же формуле рассчитывали объем. Такой пример демонстрирует необходимость применения дополнительных методов лучевой диагностики для уточнения анатомии камер сердца, расчетов их объемов и оценки функции. На современном этапе развития КТ-аппаратов, усовершенствования протоколов сканирования уже достигнуты значительные успехи в уменьшении лучевой нагрузки на пациентов без снижения качества и информативности получаемых изображений [9].

Современные пакеты программного обеспечения, работающие с форматами DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine), позволяют в процессе формирования 3D-моделей полостей сердца и магистральных сосудов проводить сегментацию на основе разности плотности контрастированной крови, миокарда и окружающей клетчатки. Это позволяет получать значения объема полости желудочков без учета папиллярных мышц и трабекул, что в значительной степени является более предпочтительным методом в сравнении с измерениями полостей, когда оператор самостоятельно обводит контур по внутренней границе эндокарда.

Получаемые значения объемов ПЖ в конечно-диастолическую и конечно-систолическую фазы, как можно видеть на представленных иллюстрациях, позволяют рассчитывать значения ФВ вне зависимости от сложности анатомической структуры желудочка (рис. 2). Стоит отметить, что расчеты КДО и ФВ по магнитно-резонансной томограмме в ЭКГ-синхронизированном исследовании сердца также, весьма вероятно, будут уступать

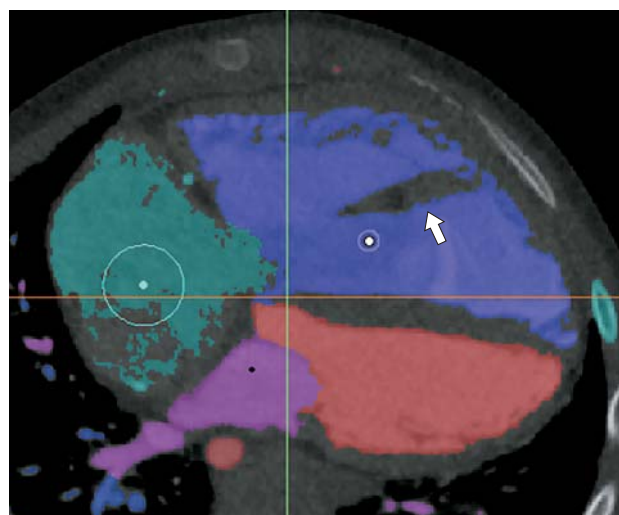


Рис. 2. КТ-ангиограмма сердца, аксиальный срез. Этап сегментации полостей правого (фиолетовый) и левого (коралловый) желудочков сердца, желтая стрелка демонстрирует папиллярную мышцу, исключенную из расчета объемной фигуры.

Fig. 2. Computed tomographic angiography of the heart, axial slice. The stage of segmentation of the cavities of the right (purple) and left (coral) ventricles of the heart, the yellow arrow shows the papillary muscle, excluded from the calculation of the volumetric figure.

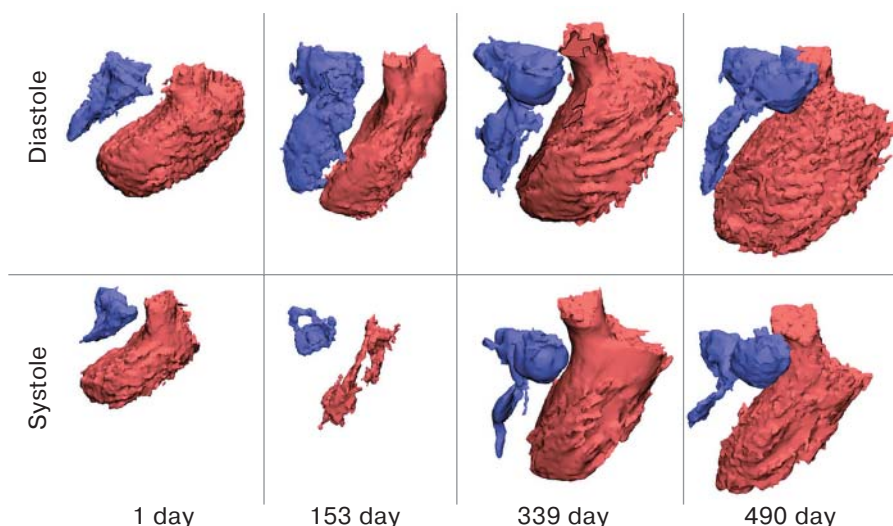
предлагаемой методике, поскольку имеют ряд ограничений, связанных со значительно большей толщиной среза получаемых изображений, деформацией полости желудочка относительно межжелудочковой перегородки и плоскости фиброзного кольца атриовентрикулярного клапана. Помимо этого, воспроизводимость данного метода позволяет сравнивать размеры полостей сердца в динамике, как с использованием программного обеспечения для просмотра 3D-моделей, поскольку сохраняются их пространственные значения, так и после 3D-печати, что может быть полезным при планировании радикальных вмешательств для коррекции врожденного порока сердца (рис. 3).

Необходимо отметить здесь и ограничения 3D-моделирования, основанные на постобработке данных КТА. Во-первых, для успешной сегментации полостей сердца и исключения папиллярных мышц и трабекул при проведении сканирования необходимо добиться гомогенного контрастирования всех камер сердца с плотностью более +200 HU. В противном случае статистические шумы, неизбежно возникающие при реконструкции, могут создавать артефакты критического характера. Во-вторых, из-за высокой частоты сердечных сокращений и вариабельности пульса у детей



Рис. 3. 3D-модели полостей правого (фиолетовый) и левого (коралловый) желудочков сердца, соотношение моделей 1:1. Демонстрируются размеры желудочков сердца в фазы систолы и диастолы у одного пациента в течение нескольких последовательных исследований.

Fig. 3. 3D models of the cavities of the right (purple) and left (coral) ventricles of the heart, the ratio of the models is 1:1. The sizes of the ventricles of the heart in the systole and diastole phases in one patient are demonstrated over several consecutive studies.



фазы систолы и диастолы могут быть неправильно определены программным обеспечением томографа, поэтому их рекомендуется реконструировать вручную под контролем врача, непосредственно после исследования. В-третьих, при низком соотношении сигнал/шум для изображений постобработка визуальных данных может быть затруднена, а получаемые результаты анализа трехмерных структур могут иметь значительные погрешности.

Закключение

Применение 3D-моделирования и его вывод на материальный носитель в виде 3D-печати у детей с атрезией легочной артерии с интактной межжелудочковой перегородкой дает возможность персонализированно планировать хирургические вмешательства на сердце у конкретного пациента, позволяя сердечно-сосудистому хирургу анализировать анатомические особенности порока еще на дооперационном этапе. Однако результаты анализа трехмерных моделей сердца с реконструкцией в различные фазы сердечного цикла позволяют также получать точные данные об объемах полостей, тем самым предоставляя возможность оценивать конечно-диастолические объемы и фракции выброса желудочков сердца в течение периода наблюдения за пациентом. Такой подход может иметь значение как инструмент прогноза для принятия решения о необходимости и сроках коррекции порока, а также объемах хирургического вмешательства в период наблюдения за такими пациентами с атрезией легочной артерии, неизбежно требующей ранней хирургической коррекции.

Участие авторов

Кобелев Е. – концепция и дизайн исследования, написание текста, сбор и обработка данных, подготовка, подготовка и редактирование текста, создание опубликованной работы.

Войтов А.В. – статистическая обработка данных, написание текста.

Фридман А.В. – сбор и обработка данных.

Сойнов И.А. – подготовка и редактирование текста.

Усов В.Ю. – утверждение окончательного варианта статьи.

Authors' participation

Kobelev E. – concept and design of the study, writing text, collection and analysis of data, text preparation and editing, preparation and creation of the published work.

Voitov A.V. – concept and design of the study, writing text.

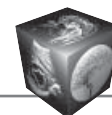
Fridman A.V. – collection and analysis of data.

Soinov I.A. – text preparation and editing.

Usov V.Yu. – approval of the final version of the article.

Список литературы [References]

1. Котов С.А., Соболев А.В., Чвамания А.А., Бутрим Ю.В. Трансвентрикулярная баллонная вальвулопластика клапанного стеноза легочной артерии у новорожденного ребенка с атрезией легочной артерии I типа с интактной межжелудочковой перегородкой. *Детские болезни сердца и сосудов*. 2019; 16 (4): 282–286. <https://doi.org/10.24022/1810-0686-2019-16-4-282-286>
Kotov S.A., Sobolev A.V., Chvamanian A.A., Butrim Yu.V. Transventricular balloon valvuloplasty of valvular pulmonary stenosis in newborn with type 1 pulmonary atresia with intact ventricular septum. *Children's Heart and Vascular Diseases*. 2019; 16 (4): 282–286. <https://doi.org/10.24022/1810-0686-2019-16-4-282-286> (In Russian)



2. Gorla S.R., Thomas A., Singh A.P. Pulmonary Atresia With Intact Ventricular Septum. [Updated 2025 May 5]. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2025 Jan-. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK546666/>
3. Пичкуре Ж., Калинин А., Лейниекс А., Алехин М.Н. Современные методы эхокардиографии в оценке функции правого желудочка. *Кардиология*. 2017; 57 (9): 54–64.
Pickure Z., Kalinin A., Lejnieks A., Alekhin M.N. Current Echocardiographic Techniques for Evaluation of the Right Ventricle. *Kardiologija*. 2017; 57 (9): 54–64. <https://doi.org/10.18087/cardio.2017.9.10019> (In Russian)
4. Ярошук Н.А., Кочмашева В.В., Дитятев В.П. Сравнительный анализ значений объемов левого желудочка у пациентов с инфарктом миокарда в зависимости от метода визуализации. *Российский кардиологический журнал*. 2012; 5: 30–33.
Yaroshchuk N.A., Kochmasheva V.V., Dityatev V.P. Comparative analysis of left ventricular volume parameters by visualisation method in patients with myocardial infarction. *Russian Journal of Cardiology*. 2012; 5: 30–33. (In Russian)
5. Mah K., Mertens L. Echocardiographic Assessment of Right Ventricular Function in Paediatric Heart Disease: A Practical Clinical Approach. *CJC Pediatr. Congenit. Heart Dis.* 2022; 1 (3): 136–157. <https://doi.org/10.1016/j.cjpcp.2022.05.002>
6. Lopez L., Colan S.D., Frommelt P.C. et al. Recommendations for quantification methods during the performance of a pediatric echocardiogram: a report from the Pediatric Measurements Writing Group of the American Society of Echocardiography Pediatric and Congenital Heart Disease Council. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2010; 23: 465–495. <https://doi.org/10.1016/j.echo.2010.03.019>
7. Rothstein E.S., Palac R.T., O'Rourke D.J. et al. Evaluation of echocardiographic derived parameters for right ventricular size and function using cardiac magnetic resonance imaging. *Echocardiography*. 2021; 38: 1336–1344. <https://doi.org/10.1111/echo.15162>
8. Lai W.W., Gauvreau K., Rivera E.S. et al. Accuracy of guideline recommendations for two-dimensional quantification of the right ventricle by echocardiography. *Int. J. Cardiovasc. Imaging*. 2008; 7: 691–698. <https://doi.org/10.1007/s10554-008-9314-4>
9. Yoshimura N., Yamaguchi M., Ohashi H. et al. Pulmonary atresia with intact ventricular septum: strategy based on right ventricular morphology. *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.* 2003; 126 (5): 1417–1426. [https://doi.org/10.1016/s0022-5223\(03\)01035-3](https://doi.org/10.1016/s0022-5223(03)01035-3)

Для корреспонденции*: Кобелев Евгений – e-mail: kobelev_e@meshalkin.ru

Кобелев Евгений – канд. мед. наук, младший научный сотрудник научно-исследовательского отдела лучевой и инструментальной диагностики ФГБУ “НМИЦ им. академика Е.Н. Мешалкина” Минздрава России, Новосибирск. <https://orcid.org/0000-0002-5901-2271>

Войтов Алексей Викторович – канд. мед. наук, старший научный сотрудник научно-исследовательского отдела врожденных пороков сердца Института патологии кровообращения ФГБУ “НМИЦ им. академика Е.Н. Мешалкина” Минздрава России, Новосибирск. <https://orcid.org/0000-0003-3797-4899>

Фридман Александр Владимирович – врач-рентгенолог рентгеновского отделения ФГБУ “НМИЦ им. академика Е.Н. Мешалкина” Минздрава России, Новосибирск. <https://orcid.org/0000-0002-2300-2418>

Сойнов Илья Александрович – доктор мед. наук, заведующий научно-исследовательским отделом врожденных пороков сердца Института патологии кровообращения ФГБУ “НМИЦ им. академика Е.Н. Мешалкина” Минздрава России, Новосибирск. <https://orcid.org/0000-0003-3691-2848>

Усов Владимир Юрьевич – доктор мед. наук, профессор, главный научный сотрудник научно-исследовательского отдела лучевой и инструментальной диагностики ФГБУ “НМИЦ им. академика Е.Н. Мешалкина” Минздрава России, Новосибирск. <https://orcid.org/0000-0002-7352-6068>

Contact*: Kobelev Eugenii – e-mail: kobelev_e@meshalkin.ru

Eugenii Kobelev – Cand. of Sci. (Med.), junior researcher, Scientific Research Department of Radiation and Instrumental Diagnostics, E.N. Meshalkin National Research Medical Center, Novosibirsk. <https://orcid.org/0000-0002-5901-2271>

Alexey V. Voitov – Cand. of Sci. (Med.), senior researcher, Scientific Research Department of Congenital Heart Defects, Institute of Circulatory Pathology, E.N. Meshalkin National Research Medical Center, Novosibirsk. <https://orcid.org/0000-0003-3797-4899>

Alexander V. Fridman – radiologist at the X-ray Department, E.N. Meshalkin National Research Medical Center, Novosibirsk. <https://orcid.org/0000-0002-2300-2418>

Ilya A. Soinov – Doct. Sci. (Med.), Head of the Research Department of Congenital Heart Defects, Institute of Circulatory Pathology, E.N. Meshalkin National Research Medical Center, Novosibirsk. <https://orcid.org/0000-0003-3691-2848>

Vladimir Yu. Usov – Doct. Sci. (Med.), Professor, Scientific Research Department of Radiation and Instrumental Diagnostics, E.N. Meshalkin National Research Medical Center, Novosibirsk. <https://orcid.org/0000-0002-7352-6068>