

ISSN 1607-0763 (Print); ISSN 2408-9516 (Online)
<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1395>

Эхокардиографическая методика speckle tracking в определении фиброза у детей после коррекции аномального отхождения левой коронарной артерии от легочной артерии в отдаленном послеоперационном периоде

© Барышникова И.Ю.*, Дарий О.Ю., Ванеева А.М., Рогова Т.В.,
Кожушная К.А., Заварина А.Ю., Асланиди И.П.

ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр сердечно-сосудистой хирургии им. А.Н. Бакулева»
Минздрава России; 121552 Москва, Рублевское шоссе, 135, Российская Федерация

Цель исследования: комплексная эхокардиографическая оценка морфофункционального состояния желудочков сердца с применением методики speckle tracking у детей с аномальным отхождением левой коронарной артерии от легочной артерии (АОЛКА от ЛА) в отдаленном послеоперационном периоде, а также анализ результатов сегментарной продольной и циркулярной деформации миокарда левого желудочка по данным speckle tracking в сравнительном анализе с данными фиброзных изменений миокарда методом МРТ у этой группы детей.

Материал и методы. Исследование является проспективным наблюдательным. Обследовано и проанализировано 25 детей с АОЛКА от ЛА в отдаленном послеоперационном периоде, пролеченных в Центре. Полученные в отдаленном периоде морфофункциональные параметры левого (ЛЖ) и правого (ПЖ) желудочков сравнивали с фракцией выброса и размерами ЛЖ, степенью митральной недостаточности и возрастом на момент коррекции порока. МРТ сердца выполнено 15 пациентам (60%; n = 15/25) на аппарате Avanto 1,5 Тл. Средний возраст детей на момент исследования составил $8,8 \pm 3,5$ года.

Результаты. Снижение продольной деформации миокарда ЛЖ по сегментам уникально в каждом конкретном случае. Наибольшее количество сегментов со сниженной продольной деформацией было выявлено во 2-м сегменте (переднеперегородочный базальный), в 4-м сегменте (нижний базальный), в 5-м сегменте (нижнебоковой базальный), в 6-м сегменте (переднебоковой базальный), в 11-м сегменте (нижнебоковой средний).

Не выявлено статистически значимой зависимости систолической и диастолической функций ЛЖ и ПЖ, оцененных с применением тканевой доплерографии и методики speckle tracking у детей после коррекции АОЛКА от ЛА в отдаленном послеоперационном периоде с фракцией выброса и размерами ЛЖ, степенью митральной недостаточности и возрастом на момент коррекции порока.

Чувствительность, специфичность снижения сегментарной продольной деформации ЛЖ менее 9,5% в определении фиброза по данным МРТ составили 92 и 85% соответственно (площадь под кривой 0,64 (0,56–0,72)).

Ключевые слова: speckle tracking-эхокардиография, аномальное отхождение левой коронарной артерии от легочной артерии, магнитно-резонансная томография, фиброз

Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.

Для цитирования: Барышникова И.Ю., Дарий О.Ю., Ванеева А.М., Рогова Т.В., Кожушная К.А., Заварина А.Ю., Асланиди И.П. Эхокардиографическая методика speckle tracking в определении фиброза у детей после коррекции аномального отхождения левой коронарной артерии от легочной артерии в отдаленном послеоперационном периоде. *Медицинская визуализация*. 2024; 28 (2): 43–53. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1395>

Поступила в редакцию: 07.08.2023. **Принята к печати:** 19.12.2023. **Опубликована online:** 26.12.2023.



Left ventricular speckle tracking echocardiography in predicting of fibrosis in children after correction of anomalous origin of the left coronary artery from the pulmonary artery in the late postoperative period

© Irina Yu. Baryshnikova*, Olga Yu. Dariy, Anna M. Vaneeva, Tat'yana V. Rogova, Kristina A. Kozhushnaya, Anna Yu. Zavarina, Irakly P. Aslanidis

A.N. Bakulev Scientific Center for Cardiovascular Surgery of the Ministry of Health of the Russian Federation;
135, Roublyevskoe shosse, Moscow 121552, Russian Federation

The aim of our study is a comprehensive echo assessment of the LV function using the speckle tracking technique in children with abnormal origin of the left coronary artery from the pulmonary artery in the late postoperative period and a comparative analysis segmental longitudinal and circumferential LV deformation with cardiac magnetic resonance late enhancement of myocardium.

Material and methods. The search is a prospective observational study. We examined and analyzed 25 children with AOLCA from PA in late postoperative period. Obtained morphofunctional LV and RV echo parameters were compared with LV ejection fraction and dimensions, the grade of mitral insufficiency and age at the time of operation. CMR was performed in 15 patients (60%; n = 15/25) using Avanto 1.5T. The average age of children at the time of the study was 8.8 ± 3.5 years.

Results. Reduce of LV segmental longitudinal deformation is unique in each patient's case. The largest number of segments with reduced longitudinal deformation was detected in the 2d (anteroseptal basal); in 4th (inferior basal); 5th (inferolateral basal), 6th (anterolateral basal), 11th (inferolateral middle) segments of LV myocardium.

There is no relationship between LV global longitudinal and circumferential deformation in children in the late postoperative period after correction of AOLCA from PA and initial LV morphological and functional echo data (at the time of defect correction).

Segmental LV longitudinal deformation Area Under the Curve is 0.64 (0.56–0.72) with “cut-off” 9.5% with a sensitivity of 92% and a specificity of 85% and circumferential segmental deformity Area Under the Curve is 0.48 (0.40–0.56) in the predicting of fibrosis according to CMR data.

Keywords: speckle tracking echocardiography, abnormal origin of the left coronary artery from the pulmonary artery, cardiac magnetic resonance imaging, fibrosis

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

For citation: Baryshnikova I.Yu., Dariy O.Yu., Vaneeva A.M., Rogova T.V., Kozhushnaya KA., Zavarina A Yu., Aslanidi I.P. Left ventricular speckle tracking echocardiography in predicting of fibrosis in children after correction of anomalous origin of the left coronary artery from the pulmonary artery in the late postoperative period. *Medical Visualization*. 2024; 28 (2): 43–53. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1395>

Received: 07.08.2023.

Accepted for publication: 19.12.2023.

Published online: 26.12.2023.

Введение

Эхокардиография открывает все новые возможности для изучения функции сердца. Одной из таких методик стала методика speckle tracking. Доступность нового метода оценки функции левого желудочка спровоцировала интерес к ее использованию при врожденных пороках сердца, в частности при аномальном отхождении левой коронарной артерии от легочной артерии (АОЛКА от ЛА). Эхокардиографическая методика speckle tracking основана на измерении региональной деформации желудочка, не зависит от геометрии желудочка и может выявить субклиническую дисфункцию миокарда на более ранних стадиях, чем обычная эхокардиография [1, 2].

Аномальное отхождение левой коронарной артерии от легочной артерии это крайне редкий врожденный порок сердца. Синдром АОЛКА – это уникальная клиническая модель для изучения влияния хронической гипоперфузии и последующей реперфузии на функцию ЛЖ без сопутствующих заболеваний, таких как гипертония, курение табака, диабет или дислипидемия [2–4]. Успешная реваскуляризация инициирует процесс обратного ремоделирования ЛЖ, но, несмотря на нормализацию общей функции ЛЖ после операции, могут существовать остаточные поражения коронарных артерий или фиброз. Также миокард у пациентов с АОЛКА от ЛА может быть хронически гипоперфузирован и часть миокарда может быть не способ-



на к сокращению. Совершенствование методов неинвазивной диагностики заболеваний сердечно-сосудистой системы у детей занимает ключевую роль в улучшении не только результатов хирургического и медикаментозного лечения, но и способствует доклиническому выявлению нарушения функции миокарда и своевременной диагностике осложнений у оперированных пациентов. Проблема раннего выявления ишемии миокарда левого (ЛЖ) и правого (ПЖ) желудочков сердца остается полностью нерешенной во взрослой кардиологии и является крайне актуальной у детей/подростков после коррекции пороков сердца с компрометированным коронарным кровотоком. Деформация миокарда – это новый метод, разработанный для количественной оценки регионарной и глобальной функции миокарда. Концепция применения ультразвуковых методик для оценки деформации миокарда в детской кардиологии является новой, малоизученной.

Цель исследования: комплексная эхокардиографическая оценка морфофункционального состояния желудочков сердца с применением методики speckle tracking у детей с АОЛКА от ЛА в отдаленном послеоперационном периоде (более 5 лет). Кроме того, были проанализированы результаты сегментарной продольной и циркулярной деформации миокарда ЛЖ в сравнительном анализе с данными фиброзных изменений миокарда методом МРТ у этой группы детей.

Материал и методы

Исследование является проспективным наблюдательным. Обследовано и проанализировано 25 детей с АОЛКА от ЛА в отдаленном послеоперационном периоде, пролеченных в Центре. При плановом эхокардиографическом обследовании оценивали морфометрию ЛЖ: конечно-диастолический размер (КДР, см), индексированный конечно-диастолический объем (КДО, мл/м²), толщину нижнебоковой стенки ЛЖ и межжелудочковой перегородки, свободной стенки ПЖ (мм), индексированную к площади поверхности тела массу миокарда. Относительная толщина стенок рассчитывалась как сумма толщины в диастолу нижнебоковой стенки и межжелудочковой перегородки, поделенная на КДР ЛЖ (норма 0,32–0,42). Глобальную (систолическую и диастолическую) функцию ЛЖ и ПЖ оценивали с применением тканевой доплерографии (скорость систолического смещения фиброзного кольца митрального и трикуспидального клапанов – S' (см/с); отношение скорости трансмитрального/транстрикуспидального потока к скорости движения фиброзных колец митрального и трикуспидального клапанов соот-

ветственно (E/e); продольную и циркулярную глобальную деформацию ЛЖ и продольную глобальную деформацию ПЖ, оцененную методом speckle tracking). Исследование проводили на ультразвуковых аппаратах Vivid E9 (GE) и CX-50 (Philips) с использованием матричного датчика S6 и S5 соответственно с одновременной записью ЭКГ. Нормальным считали значение продольной деформации в абсолютных цифрах более «–» 18% [5].

Полученные в отдаленном периоде морфофункциональные параметры ЛЖ и ПЖ сравнивали с фракцией выброса и размерами ЛЖ, степенью митральной недостаточности и возрастом на момент коррекции порока.

МРТ сердца выполнено 15 пациентам (60%; n = 15/25) на аппарате Avanto 1,5 Тл в кардио-программе с ЭКГ-синхронизацией до и после контрастирования макроциклическим парамагнитным контрастным препаратом в дозировке 0,15 ммоль/кг массы тела. Стандартный протокол сканирования сердца включал кинопоследовательности в SSFP (TrueFISP) – для оценки функциональных параметров сердца, в 4-, 2-камерной плоскостях ЛЖ и ПЖ, в плоскости выводных отделов обоих желудочков и по короткой оси сердца. Визуализация структурных изменений миокарда (выявление очагов фиброза) выполнялась с использованием последовательности позднего усиления гадолиния (LGE), сканирование проводилось спустя 10 мин после внутривенного введения контрастного препарата. На полученных изображениях оценивали наличие фиброза, локализацию согласно 17-сегментарной модели АНА и генез фиброза (ишемический и/или неишемический).

Представленные данные обрабатывали, используя программу SPSS ver. 10 Microsoft Windows XP. Данные представлены в виде среднего арифметического \pm среднее квадратическое отклонение. Проверка на “нормальность” осуществлялась при помощи теста Колмогорова–Смирнова. Сравнение количественных переменных, распределение которых соответствовало нормальному, проводили при помощи критерия Стьюдента. Определение силы связи между количественными переменными определяли при помощи критерия Пирсона. Чувствительность, специфичность снижения сегментарной продольной и циркулярной деформации ЛЖ в определении фиброза по данным МРТ оценивали при помощи бинарной логистической регрессии.

Результаты

Средний возраст детей на момент исследования составил $8,8 \pm 3,5$ года. Возраст на момент операции по коррекции порока варьировал от

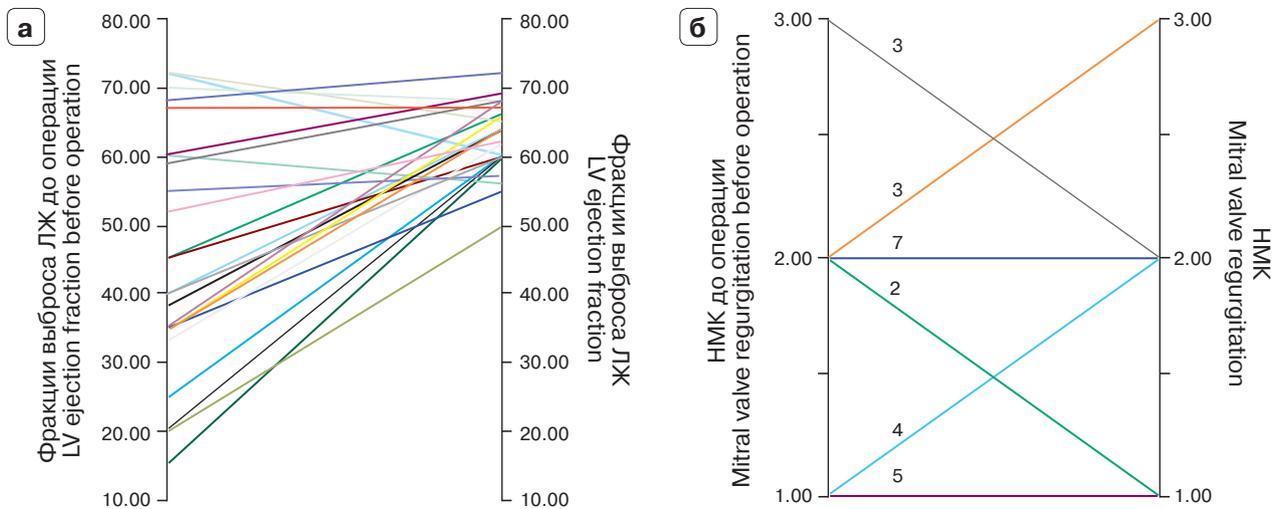


Рис. 1. а – динамика восстановления фракции выброса ЛЖ у детей после коррекции АОЛКА от ЛА. У одного пациента с исходной фракцией выброса ЛЖ 20% произошло восстановление до 50%, остальные дети после коррекции АОЛКА от ЛА на момент исследования в отдаленном периоде имели фракцию выброса более 55%; **б** – изменение степени регургитации на митральном клапане. У 3 пациентов произошло увеличение степени митральной регургитации со 2-й до 3-й, у 4 детей – с 1-й до 2-й степени. Остальные 18 детей имели улучшение или неизменную митральную регургитацию.

Fig. 1. а – Dynamics of LV ejection fraction improve in children after correction of the AOLCA from PA. In one patient with an initial LV ejection fraction of 20% was recovered up to 50%. All other patients have LV ejection fraction more than 55%; **б** – change in the degree of mitral valve regurgitation. In 3 patients there were an increase of mitral regurgitation from 2 to 3 degrees; in 4 children – from 1 to 2 degrees. The remaining 18 children had improvement or unchanged mitral regurgitation.

2,0 до 96,0 мес и в среднем составил $26,1 \pm 29,6$ мес. Исходная фракция выброса ЛЖ в среднем составила $45,3 \pm 18,2\%$ (варьировала от 15,0 до 72,0%), КДР – $3,6 \pm 0,6$ см (варьировал от 2,5 до 4,5 см), недостаточность митрального клапана 1-й степени была выявлена у 4 пациентов, 2-й степени – у 11, 3-й степени – у 9, 4-й степени – у 1. Динамика восстановления фракции выброса и изменения степени недостаточности митрального клапана представлены на рис. 1. У 1 пациента с 4-й степенью регургитации было выполнено протезирование митрального клапана. В отдаленном периоде после коррекции порока у большинства пациентов наблюдалось уменьшение степени регургитации на митральном клапане или отсутствие изменений.

В табл. 1 представлены морфофункциональные эхокардиографические данные ЛЖ и ПЖ у пациентов в отдаленном периоде после коррекции АОЛКА от ЛА.

При оценке ремоделирования ЛЖ выявлены изменения у более половины пациентов: 36% (9 детей) – эксцентрическое ремоделирование, у 8% (2) – концентрическое ремоделирование, у 12% (3) – эксцентрическая гипертрофия и у 4% (1) – концентрическая гипертрофия.

Средние значения глобальной продольной деформации ЛЖ и ПЖ и глобальной циркулярной

деформации ЛЖ не были снижены (см. табл. 1). Однако глобальная продольная и циркулярная деформации ЛЖ варьировали от 14 до 23% и от 8,1 до 31% соответственно. Не выявлено зависимости морфофункциональных параметров ЛЖ и ПЖ, представленных в табл. 1, от фракции выброса и размеров ЛЖ, степени митральной недостаточности и возраста на момент коррекции порока.

При анализе индивидуальных 17-сегментарных карт продольной деформации ЛЖ наибольшее количество сегментов со сниженной деформацией было выявлено во 2-м сегменте (переднеперегородочный базальный), в 4-м сегменте (нижний базальный), 5-м сегменте (нижнебоковой базальный), в 6-м сегменте (переднебоковой базальный), в 11-м сегменте (нижнебоковой средний).

В табл. 2 представлено распределение сегментов со сниженной деформацией по картам продольной деформации ЛЖ (“Bull-eye”) у пациентов в отдаленном периоде после коррекции АОЛКА от ЛА.

По данным МРТ у всех исследуемых пациентов в отсроченную фазу сканирования выявлены изменения в миокарде ЛЖ ишемического (у 60% (9)) и неишемического (у 40% (6)) генеза. Ишемический паттерн накопления контрастного препарата был выявлен у 67% (6) пациентов в бассейне передней межжелудочковой ветви левой коронарной арте-



Таблица 1. Морфофункциональные эхокардиографические данные ЛЖ и ПЖ у пациентов в отдаленном периоде после коррекции АОЛКА от ЛА

Table 1. Morphological and functional echo data of the left and right ventricle in children after correction of anomalous origin of the left coronary artery from the pulmonary artery in the late postoperative period

	Min	Max	Mean ± SD
Конечно-диастолический размер ЛЖ, см LV end-diastolic dimension, cm	3.0	4.50	3.7 ± 0.5
Индексированный к площади поверхности тела конечно-диастолический объем ЛЖ, мл/м ² LV end-diastolic volume indexed body surface area, ml/m ²	36.0	100.0	61.9 ± 16.7
Относительная толщина стенки Relative LV wall thickness	0.24	0.51	0.32 ± 0.7
Индексированная к площади поверхности тела масса миокарда ЛЖ, г/м ² LV myocardium mass indexed body surface area, g/m ²	48.9	102.2	68.5 ± 23.4
Фракция выброса ЛЖ, % LV Ejection Fraction, %	50.0	72.0	62.7 ± 5.2
Глобальная продольная деформация ЛЖ, % Global long LV deformation, %	14.0	23.5	19.0 ± 2.8
Глобальная циркулярная деформация ЛЖ, % Global circumferential LV deformation, %	8.10	31.00	19.1 ± 4.8
Глобальная продольная деформация ПЖ, % Global long RV deformation, %	17.3	24.0	20.1 ± 2.1
S LV lateral, cm/s	5.0	11.0	8.5 ± 1.5
e LV lateral, cm/s	12.0	23.0	16.8 ± 2.8
S RV, cm/s	7.0	15.0	10.6 ± 2.3
e RV, cm/s	6.0	22.0	12.4 ± 3.9
E/e LV	3.5	11.0	6.5 ± 1.9
E/e RV	2.6	9.8	5.6 ± 2.1
MPI LV	0.21	0.48	0.32 ± 0.07
MPI RV	0.16	0.48	0.30 ± 0.07

Таблица 2. Количество сегментов со сниженным значением продольной деформации ЛЖ согласно 17-сегментарной модели у детей в отдаленном периоде после коррекции АОЛКА от ЛА

Table 2. Segments number with reduced value of longitudinal LV deformation according to the 17-segment model in children after correction of anomalous origin of the left coronary artery from the pulmonary artery in the late postoperative period

Сегменты/уровень	Basal, n (%)	Medium, n (%)	Apex, n (%)
Inferior	11 (55%)	4 (20%)	
Inferolateral	3 (15%)	3 (15%)	
Anteroseptal	13 (65%)	1 (5%)	1 (5%)
Anterior	7 (35%)	3 (15%)	2 (10%)
Anterolateral	7 (35%)	4 (20%)	1 (5%)
Inferolateral	9 (45%)	6 (30%)	



рии, а у 33% (3) пациентов в бассейне огибающей ветви левой коронарной артерии. Кроме того, максимальные фиброзные изменения у пациентов с ишемическим генезом фиброза были выявлены по переднеперегородочному сегменту на базальном и среднем уровнях ЛЖ. При анализе степени

трансмуральности фиброза в миокарде ЛЖ в группе пациентов с ишемическим генезом фиброза распространенность фиброза от уровня субэндокардиальных отделов интрамиокардиально составила в среднем $48 \pm 6,3\%$ от толщины миокарда ЛЖ. В группе пациентов с неишемическим гене-

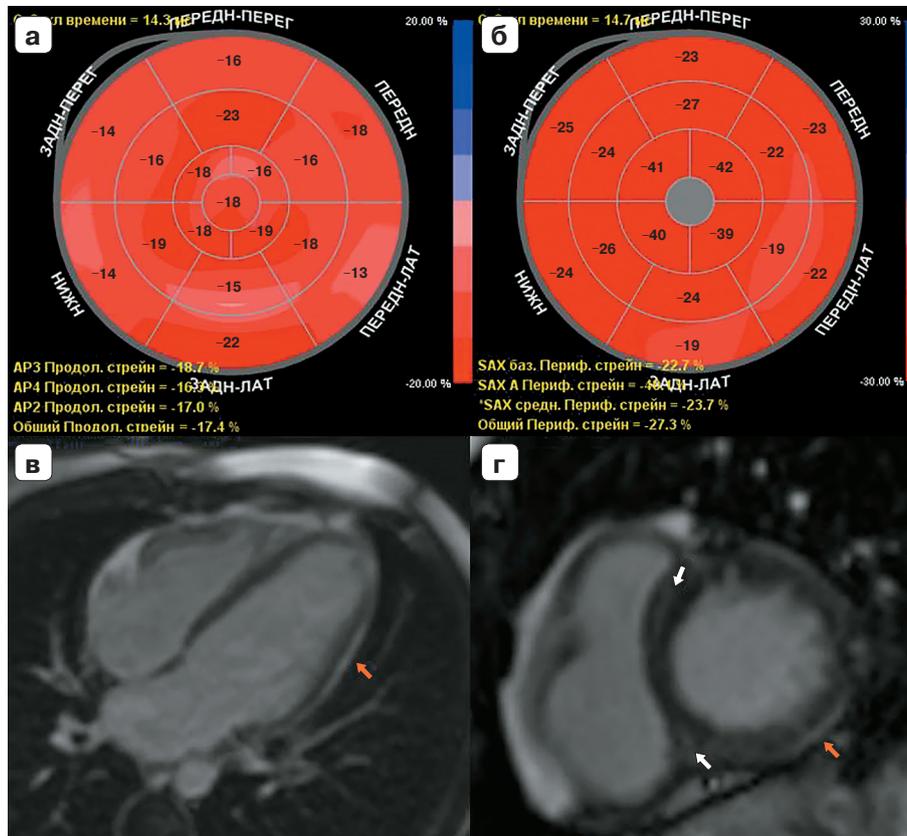
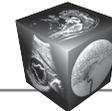


Рис. 2. Визуальная диагностика ЛЖ у ребенка 13 лет после коррекции АОЛКА от ЛА в возрасте 3 лет. Эхокардиография с применением методики speckle tracking. **а** – карта продольной деформации миокарда ЛЖ. Снижение деформации (розовый цвет) на базальном уровне в переднем, переднебоковом, нижнебоковом и нижнем сегментах; **б** – карта циркулярной деформации ЛЖ. Снижение деформации (розовый цвет) на базальном и среднем уровнях в переднеперегородочном и нижнебоковом сегментах. МРТ сердца; **в** – 4-камерная проекция сердца; **г** – короткая ось сердца. Интрамиокардиальное накопление контрастного препарата по переднеперегородочному и нижнеперегородочному сегментам на базальном уровне ЛЖ (белые стрелки), субэпикардальное накопление контрастного препарата по нижнебоковому сегменту ЛЖ на базальном и среднем уровнях (оранжевая стрелка).

Fig. 2. Left ventricle multimodality imagings in a 13-year-old child after AOLCA from PA correction at the age of 3 years. **a** – speckle tracking echocardiography shows impaired longitudinal deformation (pink segment) at the basal level in the anterior, anterolateral, inferolateral and inferior segments; **б** – speckle tracking echocardiography shows impaired circumferential deformation (pink segment) at the basal and middle levels in the antero-septal and infero-lateral segments. Cardiac MRI; **в** – 4-chamber view of the heart; **г** – Short axis view. Intramyocardial contrast agent accumulation in the antero-septal and infero-septal segments at the LV basal level (white arrows), subepicardial contrast agent accumulation in the LV infero-lateral segments at the basal and middle levels (orange arrow).



зом фиброза максимальные фиброзные изменения выявлены по заднеперегородочному сегменту на уровне средней трети и межжелудочковой перегородки на уровне нижней трети. При сопоставлении 17-сегментарной продольной и 16-сегментарной циркулярной карт деформации с помощью метода speckle tracking с локализацией фиб-

роза по сегментам по данным МРТ была выявлена площадь под кривой 0,64 (0,56–0,72) для сегментарной продольной деформации с точкой cut-off локальной продольной деформации 9,5% с чувствительностью 92% и специфичностью 85% и 0,48 (0,40–0,56) для циркулярной сегментарной деформации (рис. 2–4).

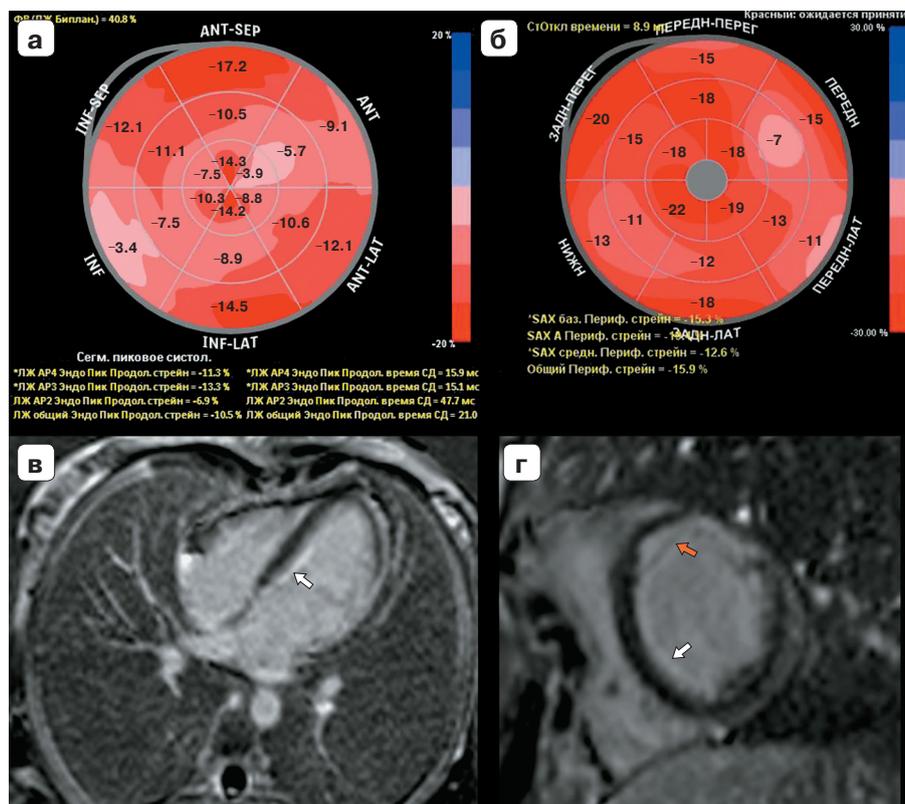


Рис. 3. Визуальная диагностика ЛЖ у ребенка 14 лет после коррекции АОЛКА от ЛА в возрасте 6 лет. Эхокардиография с применением методики speckle tracking. **а** – карта продольной деформации миокарда ЛЖ. Снижение деформации (розовый цвет) на всех уровнях преимущественно в переднем, переднебоковом, нижнеперегородочном и нижнем сегментах; **б** – карта циркулярной деформации ЛЖ. Снижение деформации (розовый цвет) на базальном и среднем уровнях в переднебоковом, переднем и нижнем сегментах. МРТ сердца; **в** – 4-камерная проекция сердца; **г** – короткая ось сердца. Субэндокардиальное накопление контрастного препарата по нижнеперегородочному сегменту на базальном уровне ЛЖ (белые стрелки), практически трансмуральное накопление контрастного препарата по переднему и переднебоковому сегментам ЛЖ на базальном и среднем уровнях (оранжевая стрелка).

Fig. 3. Left ventricle multimodality imagings in a 14-year-old child after AOLCA from PA correction at the age of 6 years. **a** – speckle tracking echocardiography shows impaired longitudinal deformation (pink segment) at all levels, mainly in the anterior, anterolateral, inferio-septal, and inferior segments; **б** – Speckle tracking echocardiography shows impaired circumferential deformation (pink segment) at the basal and middle levels in the antero-lateral, anterior and inferior segments. Cardiac MRI; **в** – 4-chamber view; **г** – Short axis view. Subendocardial contrast agent accumulation in the inferio-septal segment at the LV basal level (white arrows), almost transmural contrast agent accumulation in the anterior and anterolateral LV segments at the basal and middle levels (orange short arrow).

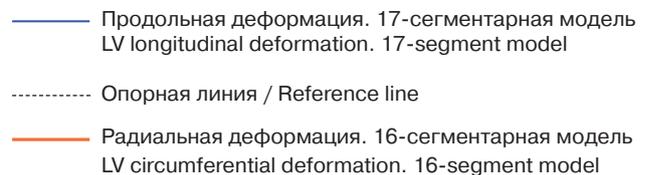
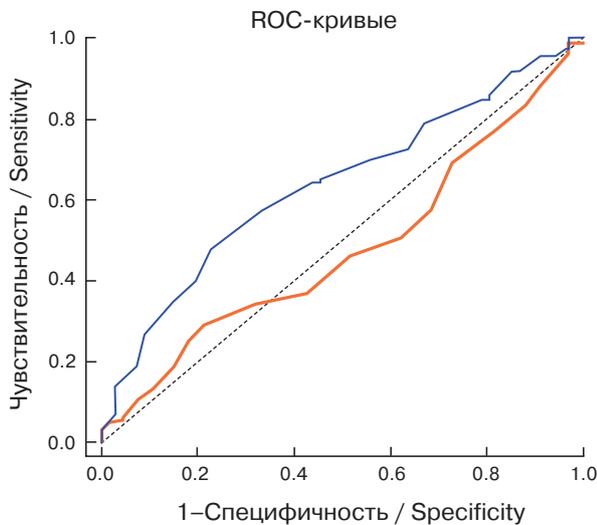


Рис. 4. Чувствительность, специфичность снижения сегментарной продольной и циркулярной деформации ЛЖ в определении фиброза по данным МРТ. Площадь под кривой 0,64 (0,56–0,72) для сегментарной продольной деформации с точкой cut-off локальной продольной деформации 9,5% с чувствительностью 92% и специфичностью 85% и 0,48 (0,40–0,56) для циркулярной сегментарной деформации.

Fig. 4. Sensitivity, specificity of the segmental longitudinal and circumferential deformation decrease in the predicting of fibrosis according to MRI. Segmental longitudinal deformation Area Under the Curve is 0.64 (0.56–0.72) with “cut-off” 9.5% with a sensitivity of 92% and a specificity of 85% and circumferential segmental deformity Area Under the Curve is 0.48 (0.40–0.56).

Обсуждение

АОЛКА от ЛА крайне редкий врожденный порок, который не проявляется внутриутробно из-за особенностей кровообращения плода, включающих почти равное давление в легочной артерии и аорте, а также высокое сопротивление легочных сосудов и относительно одинаковую концентрацию кислорода в магистральных сосудах. Эти факторы способствуют нормальной внутриутробной перфузии миокарда [3, 4]. Также в первые дни после рождения высокое легочное сосудистое сопротивление позволяет поддерживать перфузионное давление в аномально отходящей левой коронарной артерии. У детей с АОЛКА от ЛА патологические изменения миокарда начинают развиваться при снижении давления в легочной артерии. Ретроградный поток в левой коронарной артерии, притекающий из правой коронарной артерии через естественные коллатерали к легочной артерии вследствие низкого давления в ней, вызывает обширную ишемию миокарда, которая возникает из-за потери перфузионного давления в коронарных артериях в результате синдрома обкрадывания. Степень ишемии миокарда зависит от количества коллатералей, развитых между правой и левой коронарными артериями. Обычно АОЛКА от ЛА проявляется симптомами застойной сердечной недостаточности и при отсутствии лечения смертность достигает 90% на первом году жизни. Предоперационная ишемия миокарда приводит к снижению фракции выброса ЛЖ, митральной регургитации и расширению ЛЖ [3]. Лечение выбора заключается в немедленной хирургической реимплантации ЛКА в аорту или

создании внутрилегочного тоннеля/перегородки, когда ее перемещение невозможно (операция Такеуши).

Синдром АОЛКА от ЛА – это уникальная клиническая модель для изучения влияния хронической гипоперфузии и последующей реперфузии на функцию ЛЖ без сопутствующих заболеваний, таких как гипертония, курение табака, диабет или дислипидемия [4]. Успешная реваскуляризация инициирует процесс обратного ремоделирования ЛЖ, но, несмотря на нормализацию общей функции ЛЖ после операции, могут существовать остаточные поражения коронарных артерий или фиброз. Наконец, миокард у пациентов с АОЛКА от ЛА может быть хронически гипоперфузирован. Совершенствование методов неинвазивной диагностики заболеваний сердечно-сосудистой системы у детей играет ключевую роль в улучшении не только результатов хирургического и медикаментозного лечения, но и способствует доклиническому выявлению нарушения функции миокарда и своевременной диагностике осложнений у оперированных пациентов. Проблема раннего выявления ишемии миокарда ЛЖ и ПЖ сердца остается полностью нерешенной во взрослой кардиологии и является крайне актуальной у детей/подростков после коррекции пороков сердца с компрометированным коронарным кровотоком. Деформация миокарда – это новый метод, разработанный для количественной оценки регионарной и глобальной функций миокарда. Концепция применения ультразвуковых методик для оценки деформации миокарда в детской кардиологии является новой, малоизученной.



Проведенные исследования и сообщения разных авторов свидетельствуют о недостаточности оценки функции ЛЖ обычными методами эхокардиографии. Были представлены случаи внезапной сердечной смерти у пациентов после операции с сохраненной функцией ЛЖ и без значимой недостаточности митрального клапана [6, 7]. Несмотря на хорошую первичную диагностику и хирургическое пособие, в послеоперационном периоде необходимо динамическое наблюдение за пациентами для оценки митральной регургитации и функции миокарда, но наилучший метод для наблюдения пока не определен.

L. Mertens и соавт. сообщили о результатах динамического наблюдения за показателями деформации миокарда у новорожденных детей, которым выполнена операция в связи с АОЛКА от ЛА. Они обнаружили, что в послеоперационном периоде восстановление значений глобальной продольной деформации миокарда ЛЖ было дольше, чем значения радиальной деформации, особенно при выполнении тестов с физической нагрузкой [8]. G. Di Salvo и соавт. получили аналогичные данные при наблюдении 30 пациентов в течение 12 мес после реимплантации левой коронарной артерии при таком пороке [9]. Напротив, A.G. Cabrera и соавт. показали несколько другие результаты: глобальная продольная и радиальная деформации у 11 (79%) из 14 пациентов с АОЛКА от ЛА, обследованных через 6 лет после хирургического вмешательства, оставались сниженными [10]. Наши данные согласуются с результатами вышеуказанных авторов частично. В отдаленном послеоперационном периоде у пациентов с АОЛКА от ЛА мы получили практически полное восстановление глобальной продольной деформации ЛЖ и не полностью глобальной циркулярной деформации ЛЖ $19,0 \pm 2,8$ (14,0–23,5) и $19,1 \pm 4,8$ (8,1–31,0) соответственно. Это может свидетельствовать о том, что при адекватном восстановлении коронарного кровотока субэндокардиальная ишемия регрессирует быстрее, поскольку значения глобальной продольной деформации ЛЖ достигают нормальных значений раньше циркулярных. Учитывая это, можно предположить, что у наших пациентов отсутствовало трансмуральное фиброзное поражение миокарда по данным МРТ из-за восстановления коронарного кровотока после операции.

Снижение продольной деформации в послеоперационном периоде у детей с АОЛКА от ЛА отмечается в результатах исследований большинства авторов [8–10]. Но закономерности поражения зон миокарда не выявлено, что усложняет процесс динамического наблюдения за такими пациента-

ми. Это также подтверждается в исследовании A. Secinaro и соавт. [11]. У 6 пациентов в возрасте от 6 лет до 21 года была выполнена МРТ сердца, где выявили нарушение кинетики миокарда преимущественно в переднебоковой стенке ЛЖ. В нашем исследовании максимальные фиброзные изменения локализованы по переднеперегородочному сегменту ЛЖ у пациентов с ишемическим генезом фиброза (бассейн передней межжелудочковой ветви левой коронарной артерии) и по заднеперегородочному сегменту ЛЖ и межжелудочковой перегородке у пациентов с неишемическим генезом фиброза (вероятно, на фоне ремоделирования миокарда ЛЖ). В исследовании A. Dabrowska-Kugaska и соавт. снижение показателей деформации миокарда локализовалось преимущественно в заднебоковой стенке ЛЖ и в верхушечной области. В других исследованиях региональные нарушения кинетики миокарда определялись также в бассейне правой коронарной артерии [4, 8–10]. Некоторые авторы наблюдали сохранение кинетики миокарда апикальных сегментов в послеоперационном периоде наряду со снижением показателей деформации миокарда в переднебоковых отделах ЛЖ [9, 11].

A. Dabrowska-Kugaska и соавт. представили отдаленные результаты наблюдений за 24 пациентами после коррекции АОЛКА от ЛА [4]. Пациенты наблюдались в среднем 17 лет ($16,8 \pm 7,8$; от 1,2 до 23,3 года). Только у 4 пациентов были симптомы сердечной недостаточности II класса по Нью-Йоркской классификации сердечной недостаточности. Среднее значение глобальной продольной деформации ЛЖ было снижено и составило $-15,8 \pm 3,3\%$ в группе с АОЛКА от ЛА и $-21,9 \pm 1,7\%$ в контрольной группе ($p < 0,001$). Исследователи выявили, что худшие показатели продольной деформации наблюдались в базальных боковых сегментах ЛЖ ($-8,9 \pm 8,9\%$), а также что у каждого пациента в группе с АОЛКА от ЛА был хотя бы один сегмент ЛЖ с аномальным значением продольной деформации миокарда. Это также частично согласуется с нашими данными: максимальное количество сегментов с клинически значимым значением сниженной деформации (менее 16%, в абсолютных цифрах) – базальные передний, переднеперегородочный, нижний, нижнебоковой, переднебоковой, а также средний нижний, что соответствует 1, 2, 4, 5, 6 и 11-му сегментам общепринятой 17-сегментарной модели ЛЖ.

Глобальная продольная деформация миокарда ЛЖ более чувствительный параметр, чем фракция выброса ЛЖ, для выявления субклинической дисфункции миокарда. Поскольку пациенты с АОЛКА от ЛА представляют уникальную модель развития



ишемии и фиброза, мы проанализировали полученные результаты сегментарной продольной и циркулярной деформации миокарда ЛЖ в сравнительном анализе с данными фиброзных изменений миокарда методом МРТ у 15 детей этой группы. Была рассчитана площадь под кривой 0,64 (0,56–0,72) только для сегментарной продольной деформации с точкой cut-off 9,5% с чувствительностью 92% и специфичностью 85%. Несмотря на то что все пациенты имели фиброзные изменения миокарда ЛЖ ишемического или неишемического генеза, относительно малую площадь под кривой следует связывать с тем, что результат сниженной сегментарной продольной деформации миокарда ЛЖ, полученной с помощью двухмерной методики speckle tracking, может быть следствием фиброза миокарда лишь косвенно. В основе патологического функционирования миокарда наряду с фиброзом могут лежать другие факторы: геометрия ЛЖ, частота сердечных сокращений, пред- и постнагрузка, деформация грудной клетки и, наконец, вендорные отличия [12–14].

Выводы

1. Наибольшее количество сегментов со сниженной деформацией было выявлено во 2-м сегменте (переднеперегородочный базальный), в 4-м сегменте (нижний базальный), 5-м сегменте (нижнебоковой базальный), в 6-м сегменте (переднебоковой базальный), в 11-м сегменте (нижнебоковой средний).

2. Не выявлено зависимости систолической и диастолической функций ЛЖ и ПЖ, оцененных с применением тканевой доплерографии и методики speckle tracking, у детей после коррекции АОЛКА от ЛА в отдаленном послеоперационном периоде (длительность наблюдения более 5 лет) от фракции выброса и размеров ЛЖ, степени митральной недостаточности и возраста на момент коррекции порока.

3. Чувствительность, специфичность снижения сегментарной продольной деформации ЛЖ менее 9,5% в определении фиброза по данным МРТ составили 92 и 85% соответственно (площадь под кривой 0,64 (0,56–0,72)).

4. Необходима регулярная динамическая оценка функции сердца с применением эхокардиографической методики speckle tracking у пациентов с АОЛКА от ЛА после хирургического вмешательства для выявления пациентов с субклинической ишемией при неполном восстановлении после коррекции и/или возникшей впоследствии и своевременного ее лечения.

Участие авторов

Барышникова И.Ю. – участие в научном дизайне, проведение исследования, сбор и обработка данных, статистическая обработка данных, написание текста, анализ и интерпретация полученных данных, подготовка, создание опубликованной работы.

Дарий О.Ю. – проведение исследования, сбор и обработка данных, анализ и интерпретация полученных данных, подготовка и редактирование текста.

Ванеева А.М. – проведение исследования, сбор и обработка данных, ответственность за целостность всех частей статьи.

Рогова Т.В. – концепция и дизайн исследования.

Кожушная К.А. – проведение исследования, сбор и обработка данных.

Заварина А.Ю. – утверждение окончательной версии статьи.

Асланиди И.П. – утверждение окончательной версии статьи.

Authors' participation

Baryshnikova I.Yu. – participation in scientific design, conducting research, collection and analysis of data, writing text, preparation and creation of the published work.

Dariy O.Yu. – conducting research, analysis and interpretation of the obtained data, text preparation and editing.

Vaneeva A.M. – conducting research, collection and analysis of data, responsibility for the integrity of all parts of the article.

Rogova T.V. – concept and design of the study.

Kozhushnaya K.A. – conducting research, collection and analysis of data.

Zavarina A.Yu. – approval of the final version of the article.

Aslanidi I.P. – approval of the final version of the article.

Список литературы [References]

1. Бокерия Л.А., Алехин М.Н., Машина Т.В., Мрикаев Д.В., Голухова Е.З. Современные ультразвуковые технологии в кардиологии и кардиохирургии. М.: НЦССХ им. А.Н. Бакулева, 2018. 140 с.
Bockeria L.A., Alekhin M.N., Mashina T.V., Mrikaev D.V., Golukhova E.Z. Actual ultrasound tools in cardiology and cardiac surgery. Moscow. Centre for CVS named A.N. Bakulev; 2018. 140 p. (In Russian)
2. Барышникова И.Ю., Ванеева А.М. Клиническое применение эхокардиографической методик speckle tracking для оценки функции левого желудочка у пациентов с врожденными пороками сердца. *Грудная и сердечно-сосудистая хирургия*. 2022; 64 (4): 370–377. <https://doi.org/10.24022/0236-2791-2022-64-4-370-377>
Baryshnikova I.Yu., Vaneeva A.M. Left ventricular Speckle tracking echocardiography in patients with congenital heart disease in clinical practice. *Russian Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery*. 2022; 64 (4): 370–377 <https://doi.org/10.24022/0236-2791-2022-64-4-370-377> (In Russian)
3. Бокерия Л.А., Шаталов К.В. Детская кардиохирургия. М.: НЦССХ им. А.Н. Бакулева, 2016. 747с.



- Bockeria L.A., Shatalov K.V. Pediatric cardiac surgery. Moscow. Centre for CVS named A.N. Bakulev; 2016; 2016. 747 p. (In Russian)
4. Dąbrowska-Kugacka A., Dorniak K., Meyer-Szary J. et al. Myocardial function in patients with anomalous left coronary artery from the pulmonary artery syndrome: A long-term speckle tracking echocardiographic study. *PLoS One*. 2019; 14 (10): e0223227. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0223227>
 5. Potter E., Marwick T.H. Assessment of Left Ventricular Function by Echocardiography: The Case for Routinely Adding Global Longitudinal Strain to Ejection Fraction. *JACC Cardiovasc. Imaging*. 2018; 11 (2, Pt 1): 260–274. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2017.11.017>
 6. Lange R., Vogt M., Hörer J. et al. Long-term results of repair of anomalous origin of the left coronary artery from the pulmonary artery. *Ann. Thorac. Surg.* 2007; 83 (4): 1463–1471. <https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2006.11.005>
 7. Dodge-Khatami A., Mavroudis C., Backer C.L. Anomalous origin of the left coronary artery from the pulmonary artery: collective review of surgical therapy. *Ann. Thorac. Surg.* 2002; 74 (3): 946–955. [https://doi.org/10.1016/s0003-4975\(02\)03633-0](https://doi.org/10.1016/s0003-4975(02)03633-0)
 8. Mertens L., Weidemann F., Sutherland G.R. Left ventricular function before and after repair of an anomalous left coronary artery arising from the pulmonary trunk. *Cardiol. Young.* 2001; 11 (1): 79–83. <https://doi.org/10.1017/s1047951100012464>
 9. Di Salvo G., Sibilini G., Issa Z. et al. Left ventricular mechanics in patients with abnormal origin of the left main coronary artery from the pulmonary trunk late after successful repair. *Cardiology*. 2017; 136: 71–76. <https://doi.org/10.1159/000447961>
 10. Cabrera A.G., Chen D.W., Pignatelli R.H. et al. Outcomes of anomalous left coronary artery from pulmonary artery repair: beyond normal function. *Ann. Thorac. Surg.* 2015; 99: 1342–1347. <https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2014.12.035>
 11. Secinaro A., Ntsinjana H., Tann O. et al. Cardiovascular magnetic resonance findings in repaired anomalous left coronary artery to pulmonary artery connection (ALCAPA). *J. Cardiovasc. Magn. Reson.* 2011; 16: 13–27. <https://doi.org/10.1186/1532-429X-13-27>
 12. Moharram M.A., Lamberts R.R., Whalley G. et al. Myocardial tissue characterisation using echocardiographic deformation imaging. *Cardiovasc. Ultrasound*. 2019; 17 (1): 27. <https://doi.org/10.1186/s12947-019-0176-9>
 13. Sonaglioni A., Nicolosi G.L., Rigamonti E. et al. Molecular Approaches and Echocardiographic Deformation Imaging in Detecting Myocardial Fibrosis. *Int. J. Mol. Sci.* 2022; 23 (18): 10944. <https://doi.org/10.3390/ijms231810944>
 14. Lisi M., Cameli M., Mandoli G.E. et al. Detection of myocardial fibrosis by speckle-tracking echocardiography: From prediction to clinical applications. *Heart Fail. Rev.* 2022; 27: 1857–1867. <https://doi.org/10.1007/s10741-022-10214-0>

Для корреспонденции*: Барышникова Ирина Юрьевна – e-mail: iybaryshnikova@bakulev.ru; jatropa@mail.ru

Барышникова Ирина Юрьевна – канд. мед. наук, научный сотрудник отделения ультразвуковой диагностики ФГБУ “НМИЦ ССХ им. А.Н. Бакулева” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0001-8071-2531>

Дарий Ольга Юрьевна – канд. мед. наук, врач-рентгенолог рентгенодиагностического отдела КТ и МРТ ФГБУ “НМИЦ ССХ им. А.Н. Бакулева” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0003-0140-8166>

Ванеева Анна Муратовна – младший научный сотрудник отделения ультразвуковой диагностики ФГБУ “НМИЦ ССХ им. А.Н. Бакулева” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-2065-5720>

Рогова Татьяна Владимировна – доктор мед. наук, профессор, заведующая отделением реконструктивной хирургии новорожденных ФГБУ “НМИЦ ССХ им. А.Н. Бакулева” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-7610-1743>

Кожушная Кристина Алексеевна – кардиолог ФГБУ “НМИЦ ССХ им. А.Н. Бакулева” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-0223-2003>

Заварина Анна Юрьевна – главный врач Реабилитационного центра для детей с пороками сердца ФГБУ “НМИЦ ССХ им. А.Н. Бакулева” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-3091-9136>

Асланиди Ираклий Павлович – доктор мед. наук, профессор, заместитель директора, руководитель отдела ядерной диагностики ФГБУ “НМИЦ ССХ им. А.Н. Бакулева” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0001-6386-2378>

Contact*: Irina Yu. Baryshnikova – e-mail: iybaryshnikova@bakulev.ru; jatropa@mail.ru

Irina Yu. Baryshnikova – Cand. of Sci. (Med.), Researcher, Department of ultrasound diagnostics, A.N. Bakulev Scientific Center for Cardiovascular Surgery, Moscow. <https://orcid.org/0000-0001-8071-2531>

Olga Yu. Daryi – Cand. of Sci. (Med.), radiologist, radiologist of the X-ray diagnostic department, A.N. Bakulev Scientific Center for Cardiovascular Surgery, Moscow. <https://orcid.org/0000-0003-0140-8166>

Anna M. Vaneeva – Researcher Assistant, Department of ultrasound diagnostics, A.N. Bakulev Scientific Center for Cardiovascular Surgery, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-2065-5720>

Tat'yana V. Rogova – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Head of department of neonatal reconstructive surgery, A.N. Bakulev Scientific Center for Cardiovascular Surgery, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-7610-1743>

Kristina A. Kozhushnaya – cardiologist, A.N. Bakulev Scientific Center for Cardiovascular Surgery, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-0223-2003>

Anna Yu. Zavarina – Chief Physician of the Rehabilitation Center for Children with Heart Defects, A.N. Bakulev Scientific Center for Cardiovascular Surgery, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-3091-9136>

Irakly P. Aslanidis – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Head of the Nuclear Medicine Department, Head of the Department of Radiodiagnosis, Radiologist, A.N. Bakulev Scientific Center for Cardiovascular Surgery of the Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow. <https://orcid.org/0000-0001-6386-2378>