



УДК 616.12-07

DOI 10.17802/2306-1278-2023-12-4-108-119

ВОЗМОЖНОСТЬ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ДИСФУНКЦИИ ЛЕВОГО ЖЕЛУДОЧКА В РАННЕМ ПОСЛЕОПЕРАЦИОННОМ ПЕРИОДЕ У ДЕТЕЙ С ДЕФЕКТОМ МЕЖЖЕЛУДОЧКОВОЙ ПЕРЕГОРОДКИ

П.В. Лазарьков^{1,2}, Е.Н. Орехова², О.В. Хлынова², Р.М. Шехмамиев^{1,2}, В.А. Белов¹

¹ Федеральное государственное бюджетное учреждение «Федеральный центр сердечно-сосудистой хирургии имени С.Г. Суханова» Министерства здравоохранения Российской Федерации (г. Пермь), ул. Маршала Жукова, 35, Пермь, Российская Федерация, 614013; ² Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Пермский государственный медицинский университет имени академика Е.А. Вагнера» Министерства здравоохранения Российской Федерации, ул. Петропавловская, 26, Пермь, Российская Федерация, 614990

Основные положения

• Отражены результаты диагностики ранней послеоперационной дисфункции у детей до года после коррекции дефекта межжелудочковой перегородки. Оценена связь тропонина I с конвенциональными эхокардиографическими показателями, продольной деформацией левого желудочка и показателями, отражающими центральную гемодинамику. Выявлена предиктивная способность деформации левого желудочка прогнозировать снижение сердечного индекса после операции.

Цель

Оценить и оптимизировать возможности прогнозирования дисфункции левого желудочка (ЛЖ) в раннем послеоперационном периоде у детей с дефектом межжелудочковой перегородки (ДМЖП).

Материалы и методы

Обследованы 204 ребенка в возрасте до года с нерестриктивным перимембранозным ДМЖП. Все показатели оценены до операции, через 6 ч, 24 ч и на 10-е сут после операции. Для контроля обследованы 125 здоровых детей.

Результаты

Через 6 ч после операции отмечено статистически значимое снижение фракции выброса ЛЖ (Мс 55 [60–45] %, $p = 0,0001$), ударного индекса (УИ) выходного тракта (ВТ) ЛЖ (12,07 [16,38–8,24] мл/м², $p = 0,0001$), сердечного индекса (СИ) (1,52 [2,08–1,07] л/мин/м², $p = 0,0001$). Артериальная эластичность увеличилась (21,4 [32,4–15,79] мл/мм рт. ст., $p = 0,002$), что свидетельствовало о значимом нарастании постнагрузки. Снижение податливости артерий проявилось уменьшением значений артериального комплаенса (0,058 [0,081–0,038] мл/мм рт. ст., $p = 0,0001$). Существенно увеличилась венатрикулярная сопряженность (2 [2,54–1,67], $p = 0,009$). Выявлены зависимость УИ выходного тракта ЛЖ и возраста ($R_s = 0,45$, $p = 0,03$), умеренная связь УИ выходного тракта ЛЖ и венатрикулярной сопряженности ($R_s = -0,59$, $p = 0,001$), выраженная связь УИ выходного тракта ЛЖ и артериального комплаенса ($R_s = 0,93$, $p = 0,02$), выраженная связь УИ выходного тракта ЛЖ и артериальной эластичности ($R_s = -0,94$, $p = 0,03$), умеренная корреляция венатрикулярной сопряженности и СИ ($R_s = -0,44$, $p = 0,04$), слабая связь венатрикулярной сопряженности и возраста пациента ($R_s = -0,28$, $p = 0,03$). Продольная деформация до операции ($b = 0,028$, $F = 3,9$, $p = 0,006$) и размер ДМЖП ($b = -0,08$, $F = 3,4$, $p = 0,029$) были статистически значимо связаны с динамикой СИ ЛЖ через 6 ч после операции. Уравнение зависимости: $2,8 - 0,08 * \text{ДМЖП} + 0,028 * S$ (продольная деформация, %). Выявлена предикторная способность снижения СИ через 6 ч после операции: продольной деформации с точкой разделения $-14,3\%$ (чувствительность 96,2%, специфичность 81,6%, AUC 0,92, $p < 0,00001$) и диаметра ДМЖП с точкой разделения 8 мм (чувствительность 75%, специфичность 52%, AUC 0,69, $p < 0,0001$).

Заключение

В раннем послеоперационном периоде наблюдается снижение систолической и насосной функций ЛЖ. Высокие показатели артериальной эластичности ассоциированы со снижением артериального комплаенса и повышением венатрикулярной сопряженности. Дооперационные предикторы

Для корреспонденции: Петр Владимирович Лазарьков, petr08@mail.ru; адрес: ул. Маршала Жукова, 35, Пермь, Российская Федерация, 614013

Corresponding author: Pyotr V. Lazarkov, petr08@mail.ru; address: 35, Marshal Zhukov St., Perm, Russian Federation, 614013

снижения СИ: продольная деформация ЛЖ с точкой разделения –14,3% и диаметр ДМЖП > 8 мм.

Ключевые слова Дефект межжелудочковой перегородки • Дисфункция левого желудочка

Поступила в редакцию: 15.09.2023; поступила после доработки: 08.10.2023; принята к печати: 14.11.2023

THE POSSIBILITY OF PREDICTING LEFT VENTRICULAR DYSFUNCTION
IN THE EARLY POSTOPERATIVE PERIOD IN CHILDREN WITH VENTRICULAR
SEPTAL DEFECT

P.V. Lazarkov^{1,2}, E.N. Orekhova², O.V. Khlynova², R.M. Shekhmametev^{1,2}, V.A. Belov¹

¹ Federal Center for Cardiovascular Surgery named after S. G. Sukhanov, 35, Marshal Zhukov St., Perm, Russian Federation, 614013; ² State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Training “Perm State Medical University named after Academician E.A. Wagner” of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, 26, Petropavlovskaya St., Perm, Russian Federation, 614000

Highlights

• The article reflects data of an original study on the diagnosis of early postoperative dysfunction in children under 1 year of age after correction of a ventricular septal defect. The relationship between troponin I and conventional echocardiographic parameters, left ventricular longitudinal strain (S, % LV), and parameters reflecting central hemodynamics was assessed. The predictive ability of S, % LV in predicting a decrease in cardiac index after surgery was revealed.

Aim	To evaluate the possibility of predicting left ventricular (LV) dysfunction in the early postoperative period in children with ventricular septal defect (VSD).
Methods	The study included 204 children under 1 year of age with non-restrictive perimembranous VSD. All parameters were evaluated before surgery, 6 hours, 24 hours and 10 days after surgery. 125 healthy children were enrolled as the control group.
Results	6 hours after surgery, there was a statistically significant decrease in LV ejection fraction (EF) (Me 55 [K3 60–K1 45] %, p = 0.0001), stroke index (SI) of LV outflow tract (LVOT) (12, 07 [16.38–8.24] mL/m2, p = 0.0001), and cardiac index (CI) (1.52 [2.08–1.07] L/min/m2, p = 0.0001). Arterial elasticity (AE) increased (21.4 [32.4–15.79] mm Hg/mL, p = 0.002), indicating a significant increase in afterload. Arterial compliance (AC) decreased (0.058 [0.081–0.038] mL/mm Hg, p = 0.0001), whereas ventricular-arterial coupling (VAC) value significantly increased (2 [2.54–1.67], p = 0.009). There was a dependence between LVOT SI and age (Rs = 0.45, p = 0.03), a moderate relationship between LVOT SI and VAC (Rs = –0.59, p = 0.001), a pronounced relationship between LVOT SI and AC (Rs = 0, 93, p = 0.02), pronounced relationship between LVOT SI and AE (Rs = –0.94, p = 0.03), moderate correlation between VAC and SI (Rs = –0.44, p = 0.04), weak relationship between VAC and patient age (Rs = –0.28, p = 0.03). Longitudinal deformity before surgery (b = 0.028; F = 3.9; p = 0.006) and VSD size (b = –0.08; F = 3.4; p = 0.029) were significantly associated with LV SI dynamics 6 hours after surgery. Dependence equation was as follows: 2.8 – 0.08 * VSD + 0.028 * S. A predictive ability to reduce CI 6 hours after surgery was revealed: longitudinal strain (S), % with a threshold “–” 14.3% (sensitivity 96.2%, specificity 81.6%, AUC 0.92, p<0,00001) and VSD diameter with a threshold of 8 mm (sensitivity 75%, specificity 52%, AUC 0.69, p<0.0001).
Conclusion	In the early postoperative period, there is a decrease in systolic and LV pump function. High AE rates are associated with a decrease in AC and an increase in VAC. Preoperative predictors of SI decrease are as follows: S, %> “–” 14.3 and VSD size > 8 mm.
Keywords	Ventricular septal defect • Left ventricular dysfunction

Received: 15.09.2023; received in revised form: 08.10.2023; accepted: 14.11.2023

Список сокращений

ВТ	– выходной тракт	ЭхоКГ	– эхокардиография
ДМЖП	– дефект межжелудочковой перегородки	АС	– артериальный комплаенс
ЛЖ	– левый желудочек	АЕ	– артериальная эластичность
СИ	– сердечный индекс	S	– продольная деформации
СН	– сердечная недостаточность	SR	– скорость продольной деформации
УИ	– ударный индекс	VAC	– ventрикуло-артериальная сопряженность
УО	– ударный объем	VE	– конечная систолическая эластичность
ФВ	– фракция выброса		

Введение

Дефекты межжелудочковой перегородки (ДМЖП) встречаются с частотой до 3,5 на 1 000 живорожденных, а хирургическое лечение гемодинамически значимых дефектов – один из наиболее часто выполняемых типов коррекции врожденных пороков сердца [1, 2]. Развитие сердечно-сосудистой хирургии сделало возможным закрытие дефекта у детей первого года жизни. Несмотря на накопленный опыт и низкую хирургическую летальность, появление миокардиальной дисфункции различной выраженности у трети пациентов в раннем послеоперационном периоде и более чем в 20% случаев в отдаленном периоде до сих пор остается проблемой [3–7]. При этом данные о частоте развития, механизмах формирования и особенностях гемодинамики ранней послеоперационной дисфункции левого желудочка (ЛЖ), представленные в современной литературе, весьма противоречивы [6, 8].

Стандартные эхокардиографические (ЭхоКГ) методы оценки функции ЛЖ, такие как фракция выброса (ФВ) и визуальная оценка его кинетики, недостаточно информативны для детализации многообразных особенностей нарушений насосной функции ЛЖ и субклинических нарушений контрактильности, возникающих у детей с ДМЖП. Более того, они не позволяют провести параллели с меняющимися гемодинамическими характеристиками после хирургической коррекции порока [9]. Использование ЭхоКГ-показателей продольной деформации и скорости деформации с применением технологии двухмерной ЭхоКГ speckle tracking imaging (2D-STI) позволяет оценить нарушение контрактильности ЛЖ уже на субклиническом уровне, поэтому исследование деформации и скорости деформации в продольном направлении у детей с ДМЖП может помочь в раннем обнаружении послеоперационной дисфункции ЛЖ [10, 11]. Для совершенствования оценки компонентов насосной функции ЛЖ, артериальной эластичности, эффективности сопряжения системы «сердце – артерии» в условиях меняющейся пред- и постнагрузки у детей после хирургической коррекции порока может быть использована ЭхоКГ-оценка артериального комплаенса, конечной систолической эластично-

сти и вентрикуло-артериальной сопряженности [6]. Однако на изменение функции ЛЖ в раннем послеоперационном периоде могут влиять различные факторы, поэтому поиск чувствительных маркеров, предопределяющих дисфункцию ЛЖ после хирургического вмешательства у детей с ДМЖП, представляется актуальной и практически значимой задачей.

Цель исследования – оценить и оптимизировать возможности прогнозирования дисфункции левого желудочка в раннем послеоперационном периоде у детей с дефектом межжелудочковой перегородки.

Материалы и методы

Исследование выполнено в ФГБУ «Федеральный центр сердечно-сосудистой хирургии имени С.Г. Суханова» МЗ РФ (г. Пермь). Протокол исследования и форма информированного согласия одобрены локальным этическим комитетом ФГБОУ ВО «Пермский государственный медицинский университет имени академика Е.А. Вагнера» Минздрава России (протокол № 3 от 22.03.2023). Письменное информированное согласие на участие в исследовании получено от законных представителей пациентов.

В проспективное исследование включены 204 ребенка в возрасте от одного месяца до года с нерестриктивным перимембранозным ДМЖП и отношением легочного к системному кровотоку $\geq 1,5:1$. Дооперационные характеристики пациентов представлены в табл. 1.

Критерии включения в исследование: ФВ ЛЖ (биплановый метод Симпсона) более 55%; уровень тропонина I $ES \leq 0,034$ нг/мл; отсутствие изменений на ЭКГ, характерных для ишемии миокарда; отсутствие сопутствующей патологии и генетически детерминированных синдромов.

Критерии невключения: предшествующий паллиативный этап коррекции (суживание легочной артерии); другие врожденные пороки сердца, регистрация аортальной или трикуспидальной регургитации более I степени; вес при рождении менее 2 кг; гестационный возраст при рождении менее 36 нед.; отсутствие согласия законных представителей несовершеннолетнего в проведении исследования.

Таблица 1. Дооперационные характеристики пациентов и нормы показателей у детей
Table 1. Preoperative characteristics of patients and norms of indicators in children

Признак / Variable	Группа с ДМЖП / Group with VSD, n = 204	Группа здоровых детей / Group of healthy children, n = 125	P
Возраст, мес. / Age, months, Me [Q3–Q1]	5 [7–3]	6 [8–3]	0,2981
Рост, см / Height, cm, Me [Q3–Q1]	64 [68,5–60]	–	–
Вес, кг / Weight, kg, Me [Q3–Q1]	5,8 [7–5]	6,3 [8–4,2]	0,8851
Площадь поверхности тела, м ² / Body surface area, m ² , Me [Q3–Q1]	0,31 [0,34–0,27]	0,33 [0,37–0,24]	0,5903
Пол / Sex, n (%)	мужской / men – 117 (57)	мужской / men – 71 (56,8)	0,966
	женский / women – 87 (43)	женский / women – 54 (43,2)	
СН по Ross / Ross HF classification, n (%)	I ФК / FC – 16 (8) II ФК / FC – 126 (62) III ФК / FC – 63 (30)	–	–
ЧСС, уд./мин / HR, beats per min, Me [Q3–Q1]	133 [141–128]	124 [135–111]	<0,0001
Размер ДМЖП, мм / VSD size, mm, Me [Q3–Q1]	9 [10–8]	–	–
Размер ФК АК, мм / AVA size, mm, Me [Q3–Q1]	9,4 [10,9–9]	–	–
Пиковый градиент давления на ДМЖП, мм рт. ст. / Peak gradient across VSD, mmHg, Me [Q3–Q1]	19 [23–13,5]	–	–
Qp:Qs, Me [Q3–Q1]	3 [3,8–2,4]	–	–
Плазменная концентрация тропонина I ES 0, 034–0,120 нг/мл / Plasma concentration of ES TN I 0, 034–0,120 ng/mL, Me [Q3–Q1]	0,03 [0,06–0,02]	–	–
ФВ ЛЖ (биплановый метод Симпсона) / LVEF (Simpson's biplane method), %, Me [Q3–Q1]	66 [69–61]	65 [69–62]	0,7105
S (–25±7% норма / standard), %*	–14,6 [–11,6...–17,9]	–20,3 [–18,3...–21,5]	<0,0001
SR (–1,9±0,7 норма / standard), с–1/с–1, Me [Q3–Q1]*	–0,86 [–0,61...–1,03]	–0,96 [–0,86...–1,12]	<0,0001
УО ВТЛЖ, норма / LVOT SV standard (17,5 (12,4–19,8)), мл/мл, Me [Q3–Q1]**	5,3 [6,7–4,4]	16 [18,5–12,8]	<0,0001
Индекс УО ЛЖ по VTI, норма, мл/м ² / LV SV index according to VTI standard, mL/m ² (38,4 (28,4–50,9)), Me [Q3–Q1]**	20,7 [25,8–17]	51,1 [59,45–39,33]	<0,0001
КСО ЛЖ (биплановый метод Симпсона), мл / LV ESV (Simpson's biplane method), mL, Me [Q3–Q1]	8,4 [10,1–6,3]	9 [11–6,5]	0,6674
Индекс КСО ЛЖ (биплановый метод Симпсона), мл/м ² / LV ESV index (Simpson's biplane method), mL/m ² , Me [Q3–Q1]	27,06 [34,38–20,76]	28,95 [35,7–20,3]	0,6995
КДО ЛЖ (биплановый метод Симпсона в 4-камерной проекции), мл / LV EDV (Simpson's biplane method), mL, Me [Q3–Q1]	13,7 [16,6–11,32]	25 [29–20]	<0,0001
Индекс КДО ЛЖ (биплановый метод Симпсона), мл/м ² / LV EDV index (Simpson's biplane method), mL/m ² , Me [Q3–Q1]	46,25 [53,12–37,8]	81,05 [96,15–60,52]	<0,0001
СИ ЛЖ по VTI, норма, л/мин/м ² / LV CI according to VTI standard 4,5 (3,4–6,2), L/min/m ² , Me [Q3–Q1]**	2,39 [2,8–1,95]	6,05 [7,64–4,73]	<0,0001
КСД, мм рт. ст. / ESP, mm Hg, Me [Q3–Q1]	78,3 [82,8–71,1]	76,5 [81–72]	0,2207
Артериальная эластичность, мл/мм рт. ст. / Arterial elasticity, mm Hg/mL, Me [Q3–Q1]	14,3 [17,32–11,36]	4,63 [5,29–3,92]	<0,0001
Артериальный комплаенс, мл/мм рт. ст. / Arterial compliance, mL/mm Hg, Me [Q3–Q1]	0,09 [0,1–0,07]	0,43 [0,54–0,35]	<0,0001
Конечная систолическая эластичность желудочка, мл/мм рт. ст. / End-systolic ventricular elasticity, mmHg/mL, Me [Q3–Q1]	9 [12,2–7,38]	7,7 [8,9–5,85]	<0,0001
Вентрикуло-артериальная сопряженность / Ventricular-arterial coupling, Me [Q3–Q1]	1,51 [2,05–1,09]	0,61 [0,9–0,53]	<0,0001
Среднее давление в ЛА, мм рт. ст. / Mean pressure in PA, mmHg, Me [Q3–Q1]	34 [38,7–29,9]	–	–

Примечание: ВТЛЖ – выходной тракт левого желудочка; ДМЖП – дефект межжелудочковой перегородки; КДО – конечный диастолический объем; КСД – конечное систолическое давление; КСО – конечный систолический объем; ЛА – легочная артерия; СИ – сердечный индекс; СН – сердечная недостаточность; УО – ударный объем; ФВ ЛЖ – фракция выброса левого желудочка; ФК – функциональный класс; ФК АК – фиброзное кольцо аортального клапана; ЧСС – частота сердечных сокращений; Me – медиана; Qp:Qs – соотношение легочного кровотока к системному по интегралу линейной скорости кровотока; S – стрейн, глобальная продольная деформация левого желудочка; SR – скорость продольной деформации левого желудочка; TN I ES – тропонин I повышенной чувствительности; VTI – интеграл скорости по времени.

* Здесь и далее в табл. 2 цит. по [18]; **здесь и далее в табл. 2 цит. по [19, 20].

Note: AVA – aortic valve annulus; CI – cardiac index; EDV – end-diastolic volume; ESP – end systolic pressure; ESV – end-systolic volume; FC – functional class; HF – heart failure; HR – heart rate; LV EF – left ventricular ejection fraction; LVOT – left ventricular outflow tract; Me – median; PA – pulmonary artery; Qp:Qs – the ratio of pulmonary to systemic blood flow in terms of the linear flow velocity integral; S – strain, global longitudinal deformation of the left ventricle; SR – strain rate; SV – stroke volume; ES TN I – extra sensitive troponin I; VSD – ventricular septal defect; VTI – velocity time integral.

Все пациенты обследованы в соответствии с клиническими рекомендациями «Дефект межжелудочковой перегородки» Министерства здравоохранения Российской Федерации 2021 г. [12]. Для оценки повреждения миокарда у всех участников исследования определяли плазменный уровень тропонина I с использованием набора реагентов и калибраторов Troponin I ES (TN-I ES, VITROS на иммунодиагностической системе VITROS ECiQ Immunodiagnostic System, норматив 0, 034–0,120 нг/мл) до операции, через 6, 24 ч и на 10-е сут после операции. Трансторакальная ЭхоКГ проведена на ультразвуковом сканере ACUSON SC2000 (Siemens Medical Systems, Mountain View, США) секторным датчиком 10V4 (4–10 МГц) с оценкой всех стандартных показателей до операции, через 6, 24 ч и 10 дней после операции [13]. Для динамической характеристики преднагрузки ЛЖ рассчитывали ударный объем (УО) выходного тракта (ВТ) по формуле: диаметр ВТ2 $\times$ 0,785 $\times$ интеграл линейной скорости кровотока в ВТ ЛЖ, а полученное значение индексировали к площади поверхности тела (ударный индекс (УИ) ЛЖ) [14]. Из значений УО ВТ ЛЖ вычисляли СИ по формуле: (УО ВТ $\times$ частота сердечных сокращений) / площадь поверхности тела [14]. Определение артериальной эластичности (Arterial Elastance (AE), мл/мм рт. ст.) для изучения постнагрузки ЛЖ проводили по формуле: конечное систолическое давление / УО (конечное систолическое давление, мм рт. ст.) = систолическое артериальное давление $\times$ 0,9) [6, 13]. Для вычисления артериального комплаенса (Arterial Compliance (AC), мл/мм рт. ст.) значения УО делили на пульсовое артериальное давление [6, 13]. Как объем-независимый показатель для характеристики насосной функции ЛЖ измеряли конечную систолическую эластичность (End-Systolic Ventricular Elastance (VE), соотношением конечного систолического давления к конечному систолическому объему ЛЖ, мл/мм рт. ст.) [6, 13, 15]. По соотношению AE/VE определяли вентрикуло-артериальную сопряженность (Ventricular-Arterial Coupling, VAC) [6, 13, 15]. Для получения значений продольной деформации (S, %) и скорости деформации (SR, с⁻¹) применено программное обеспечение Syngo Vector Velocity Imaging (векторный анализ скорости движения миокарда) [10, 11, 16]. Для контроля референсных значений изученных в работе ЭхоКГ-данных обследованы 125 здоровых детей, сопоставимых по возрасту, полу и площади поверхности тела (табл. 1).

Всем детям с ДМЖП выполнена первичная радикальная коррекция порока в условиях искусственного кровообращения и кардиоплегической остановки сердца. После срединной стернотомии проведена канюляция аорты и полых вен. Для защиты миокарда и остановки сердца использова-

ны два типа растворов: «Кустодиол» и кровяная тепловая кардиopleгия по Дель Нидо. Закрытие дефекта осуществлено трансатриальным доступом заплатой из ксеноперикарда. После восстановления сердечной деятельности и отлучения от искусственного кровообращения всем пациентам проведена модифицированная ультрафильтрация. Во всех случаях использована кардиотоническая поддержка добутрексом в дозе Me 3,2 [Q3 3,75 – Q1 2,52] мкг/кг/мин с длительностью введения от 6 ч до 2 дней. Трем детям выполнена инотропная поддержка с использованием трех препаратов (добутрекс – 20 [20,5–16] мкг/кг/мин; адреналин – 0,8 [0,85–0,8] мкг/кг/мин, норадреналин – 1 [1,1–0,95] мкг/кг/мин). В дальнейшем у них развился рефрактерный синдром низкого сердечного выброса, потребовавший подключения экстракорпоральной мембранной оксигенации [17].

Статистический анализ

Для статистической оценки результатов использованы пакеты программ Statistica 13.5 (StatSoft, Inc., США) и MedCalc, версия 20.011 (MedCalc Software Ltd., Бельгия). Для проверки нормальности распределения количественных показателей применен критерий Колмогорова – Смирнова. Поскольку данные распределения отличались от нормального, описательные статистики количественных переменных представлены медианой (Me), 3-м (Q3) и 1-м (Q1) квартилями. Описательные статистики номинативных переменных отражены в виде количества наблюдаемого признака (n) и процентов (%). При сравнении измерений по количественным показателям использован критерий Манна – Уитни, так как распределение данных отличалось от нормального. Определение зависимости между количественными признаками проведено с помощью коэффициента линейной корреляции Спирмена (Rs). Выполнен дисперсионный анализ повторных измерений для оценки значимости изменения признака. Критерий внутрисубъектных эффектов оценен коэффициентом вариации Гринхауза – Гайссера. Парные сравнения проведены с поправкой Бонферрони. Различия между исходно изучаемыми параметрами считали значимыми при $p < 0,05$. Поиск предикторов среди исходных параметров на послеоперационную динамику ЭхоКГ-данных осуществлен с использованием многофакторного логистического регрессионного анализа. Для изучения диагностической чувствительности и специфичности полученных в регрессионной модели предикторов для ранней послеоперационной динамики СИ ЛЖ использован ROC-анализ (Receiver Operator Characteristic) с определением точки разделения, расчета значения площади под ROC-кривой.

Результаты

До операции у всех пациентов ФВ ЛЖ была в нормативном диапазоне (65,19; 61–69%), но УО ВТЛЖ (5,43; 4,4–6,7 мл) и УИ ЛЖ (17,8; 14,3–21,5 мл/м²), СИ (2,4; 1,95–2,85 л/мин/м²), показатели S (–14,56; –11,62...–17,9%) и SR (–0,86; –0,61...–1,03, с^{–1}) были снижены. Величина ФВ ЛЖ (по Симпсону) у пациентов с ДМЖП до операции и у здоровых детей статистически значимо не отличалась (66; 69–61% против 65; 69–62%, $p = 0,7105$). При этом разница в значениях S (–14,6; –17,9...–11,6 против –20,3; –21,5...–18,3 %, $p < 0,0001$), SR (–0,86; –1,03...–0,61 против –0,96; –1,12...–0,86 с^{–1}, $p < 0,0001$), индекса конечного диастолического объема (46,25 [53,12–37,8] против 81,05 [96,15–60,52] мл/м², $p < 0,0001$), УИ (20,7 [25,8–17,0] против 51,1 [59,45–39,33] мл/м², $p < 0,0001$), СИ (2,39 [2,8–1,95] против 6,05 [7,64–4,73] л/мин/м², $p < 0,0001$) была статистически значимой. Также у детей с ДМЖП по сравнению с относительно здоровыми обследованными выявлены более высокие значения АЕ (14,3 [17,32–11,36] против 4,63 [5,29–3,92] мл/мм рт. ст., $p < 0,0001$). При этом АС был существенно ниже (0,09 [0,1–0,07] против 0,43 [0,54–0,35] мл/мм рт. ст., $p < 0,0001$), а VE (9 [12,2–7,38] против 7,7 [8,9–5,85] мл/мм рт. ст., $p < 0,0001$) и VAC (1,51 [2,05–1,09] против 0,61 [0,9–0,53], $p < 0,0001$) были выше. Полученные нами данные диапазона значений у обследованных групп детей были аналогичны значениям, приводимым в литературе другими исследователями [6, 11, 13, 15, 16]. Величина плазменной концентрации тропонина I до операции в основной группе не отличалась от нормы (0,03; 0,06–0,02 нг/мл; табл. 1). При проведении корреляционного анализа у детей с ДМЖП наблюдалась прямая зависимость УИ ВТЛЖ и возраста ($R_s = 0,45$, $p = 0,03$), умеренная обратная связь УИ ВТЛЖ и VAC ($R_s = -0,59$, $p = 0,001$), выраженная прямая связь УИ ВТЛЖ и АС ($R_s = 0,93$, $p = 0,02$) и выраженная обратная связь УИ ВТЛЖ и АЕ ($R_s = -0,94$, $p = 0,03$). Также была выявлена умеренная обратная корреляция VAC и СИ ($R_s = -0,44$, $p = 0,04$), слабая обратная связь VAC и возраста пациента ($R_s = -0,28$, $p = 0,03$). Параметры продольной механики показали связь с функциональным классом сердечной недостаточности (для S и сердечной недостаточности $R_s = -0,2$, $p = 0,04$; для SR и сердечной недостаточности $R_s = -0,15$, $p = 0,04$).

Через 6 ч после операции отмечено статистически значимое по сравнению с дооперационными показателями снижение ФВ ЛЖ (с 66 [69–61] до 55 [60–45] %, $p = 0,0001$), УИ ВТЛЖ (с 20,7 [25,8–17] до 12,07 [16,38–8,24] мл/м², $p = 0,0001$), СИ (2,39 [2,8–1,95] до 1,52 [2,08–1,07] л/мин/м², $p = 0,0001$). Индекс конечного систолического объема при этом существенно не изменился (до операции 27,06 [34,38–20,76] мл/м², через 6 ч 23,14 [31,48–18,06]

мл/м², $p = 0,1$), но снизился индекс конечного диастолического объема (с 46,25 [53,12–37,8] до 35,98 [46,95–26,79] мл/м², $p = 0,0002$). Значительно ухудшились показатели продольной механики (S с –14,6 [–11,6...–17,9] до –3,5 [–2,5...–8] %, $p = 0,0001$; SR с –0,86 [–0,61...–1,03] до –0,59 [–0,3...–1] с^{–1}, $p = 0,0001$). Тропонин I повысился с 0,03 [0,06–0,02] до 7,26 [9,2–6,88] нг/мл ($p = 0,001$). Следует отметить увеличение АЕ (с 14,3 [17,32–11,36] до 21,4 [32,4–15,79] мл/мм рт. ст., $p = 0,002$), что свидетельствует о значимом возрастании постнагрузки в раннем послеоперационном периоде. Снижение податливости артерий проявилось уменьшением значений АС (с 0,09 [0,1–0,07] до 0,058 [0,081–0,038] мл/мм рт. ст., $p = 0,0001$). Возросла конечная систолическая эластичность ЛЖ (с 9 [12,2–7,38] до 11,025 [14,22–8,7] мл/мм рт. ст., $p = 0,0001$) и существенно увеличилась VAC (с 1,51 [2,05–1,09] до 2 [2,54–1,67], $p = 0,009$). При этом обнаружены сильная обратная корреляция параметров через 6 ч после операции: УИ ВТЛЖ и АС ($R_s = -0,9$, $p = 0,001$), АЕ и СИ ($R_s = -0,89$, $p = 0,001$), АЕ и УИ ВТЛЖ ($R_s = -0,9$, $p = 0,001$), VE и АС ($R_s = -0,74$, $p = 0,001$); умеренная обратная связь УИ ВТЛЖ и VAC ($R_s = -0,48$, $p = 0,001$). Тропонин I показал слабую прямую связь с длительностью искусственной вентиляции легких ($R_s = 0,15$, $p = 0,02$) и продолжительностью пребывания в отделении реанимации ($R_s = 0,16$, $p = 0,03$). Наблюдалась слабая обратная корреляция тропонина I и ФВ ЛЖ ($R_s = -0,188$, $p = 0,0068$) и слабая прямая корреляция тропонина I и SR ЛЖ ($R_s = 0,20$, $p = 0,0037$). Корреляции показателей УИ ВТЛЖ и СИ ЛЖ и тропонина I не обнаружено. Таким образом, через 6 ч после операции значимая отрицательная динамика значений УИ ВТЛЖ и СИ ЛЖ была связана со снижением АС и повышением АЕ и VAC.

Через сутки после операции уровень тропонина I снизился (4,27 [5,73–3,4] нг/мл, $p = 0,01$). При этом время зажима аорты и длительность искусственного кровообращения имели сильную прямую корреляцию с концентрацией тропонина I через 6 ч после операции ($R_s = 0,99$, $p < 0,001$). Через сутки после операции ФВ ЛЖ оказалась ниже, чем через 6 ч после операции (48 [55–40] против 55 [60–45] %, $p = 0,0001$). В противоположность динамике ФВ ЛЖ через сутки статистически значимо повысились УИ ВТЛЖ (с 12,07 [16,38–8,24] до 18,09 [24,5–13,5] мл/м², $p = 0,0001$), СИ (с 1,52 [2,08–1,07] до 2,32 [3,1–1,71] л/мин/м², $p = 0,0001$), параметры продольной механики (S с –3,5 [–2,5...–8,0] до –12,1 [–7,5...–16,1] %, $p = 0,001$; SR с –0,59 [–0,3...–1,0] до –0,65 [–0,48...–0,85] с^{–1}, $p = 0,04$). Индекс конечного систолического объема значимо возрос (до 27,66 [36,07–21,66] мл/м², $p = 0,001$). Снизились АЕ (до 16,49 [22,43–11,54] мл/мм рт. ст., $p = 0,002$) и VE (до 9,11 [11,19–7,29] мл/мм рт. ст., $p = 0,0001$), повысился АС (до 0,076 [0,107–0,056] мл/мм рт. ст., $p = 0,0001$).

К 10-м послеоперационным суткам тропонин I в группе наблюдения снизился (до 0,18 [0,23–0,11] нг/мл, $p = 0,001$), при этом возросли ФВ ЛЖ (до 52 [58–44] %, $p = 0,0001$), УИ ВТЛЖ (до 22,74 [25,99–19,39] мл/м², $p = 0,0001$), СИ (до 3,01 [3,59–2,56] л/мин/м², $p = 0,0001$), показатели продольной механики (S до –15 [–12,4...–17,9] %, $p = 0,0001$; SR до –0,82 [–0,68...–1,0] с^{–1}, $p = 0,001$). Тогда как индекс конечного систолического объема снизился (до 22,39 [30,74–17,99] мл/м², $p = 0,001$), как и величины AE (до 11,37 [13,25–9,25] мл/мм рт. ст., $p = 0,0001$) и VAC (до 1,01 [1,3–0,78], $p = 0,0001$). При этом возросла величина AC (до 0,111 [0,133–0,097] мл/мм рт. ст., $p = 0,0001$) (табл. 2).

Таким образом, при последовательном сравне-

нии анализируемых ЭхоКГ-показателей выявлено, что после операции в раннем послеоперационном периоде УИ, СИ, S, SR, ФВ ЛЖ, AC снижаются, а AE, VAC повышаются, но к 10-м суткам параметры имеют тенденцию к нормализации. Дисперсионный анализ повторных измерений показал, что максимальное статистически значимое снижение показателей насосной функции ЛЖ происходило через 6 ч после операции: УИ ВТЛЖ (12,06, [16,38–8,24] мл/м², $p < 0,0001$; 95% ДИ [7,04–10,51] с поправкой Бонферрони, СИ (1,52 [2,08–1,06] л/мин/м², $p < 0,0001$; 95% ДИ [0,58–0,93]). При анализе внутригрупповых изменений СИ через 6 ч после операции установлено, что у 47 (22,94%) больных незначительно снизился СИ от исходного уровня

Таблица 2. Послеоперационные данные пациентов
Table 2. Postoperative data of patients

Признак / Variable	Me [Q3–Q1] после операции / after surgery		
	6 ч / hours	24 ч / hours	10 сут / days
ЧСС, уд./мин / HR, beats per min	120 [134–118]	132 [137–119]	133 [138–124]
Плазменная концентрация тропонина I ES 0, 034–0,120 нг/мл / Plasma concentration of ES TN I 0, 034–0,120 ng/mL	7,26 [9,2–6,88]	4,27 [5,73–3,4]	0,18 [0,23–0,11]
ФВ ЛЖ (биплановый метод Симпсона) / LVEF (Simpson's biplane method), %	55 [60–45]	48 [55–40]	52 [58–44]
S (–25±7% норма/ standard), %*	–3,5 [–2,5–«»8]	–12,1 [–7,5–«»16,1]	–15 [–12,4–«»17,9]
SR (–1,9±0,7 норма/ standard), с–1/с–1*	–0,59 [–0,3–«»1]	–0,65 [–0,48–«»0,85]	–0,82 [–0,68–«»1]
УО ВТЛЖ, норма / LVOT SV standard 17,5 (12,4–19,8), мл/мL**	3,68 [5–2,4]	4,7 [6,37–3,5]	6,9 [8,2–5,87]
Индекс УО ЛЖ по VTI, норма, мл/м ² / LV SV index according to VTI standard, mL/m ² (38,4 (28,4–50,9))**	12,07 [16,38–8,24]	18,09 [24,5–13,5]	22,74 [25,99–19,39]
КСО ЛЖ (биплановый метод Симпсона), мл / LV ESV (Simpson's biplane method), mL	7,1 [9–5,6]	8,5 [10,4–7]	7,1 [8,7–5,5]
Индекс КСО ЛЖ (биплановый метод Симпсона), мл/м ² / LV ESV index (Simpson's biplane method), mL/m ²	23,14 [31,48–18,06]	27,66 [36,07–21,66]	22,39 [30,74–17,99]
КДО ЛЖ (биплановый метод Симпсона), мл / LV EDV (Simpson's biplane method), mL	11,1 [13,6–8,4]	13,94 [16,45–11,34]	14,16 [16,97–12,12]
Индекс КДО ЛЖ (биплановый метод Симпсона), мл/м ² / LV EDV Index (Simpson's biplane method), mL/m ²	35,98 [46,95–26,79]	45,93 [54,29–36,78]	46,24 [53,9–39,09]
СИ ЛЖ по VTI, норма, л/мин/м ² / LV CI according to VTI, L/min/m ² (24,5 (3,4–6,2))**	1,52 [2,08–1,07]	2,32 [3,1–1,71]	3,01 [3,59–2,56]
КСД, мм рт. ст. / ESP, mm Hg	80,1 [84,6–74,7]	77,4 [83,7–72]	78,3 [82,8–72]
Артериальная эластичность, мл/мм рт. ст. / Arterial elasticity, mm Hg/mL	21,4 [32,4–15,79]	16,49 [22,43–11,54]	11,37 [13,25–9,25]
Артериальный комплаенс, мл/мм рт. ст. / Arterial compliance, mL/mm Hg	0,058 [0,081–0,038]	0,076 [0,107–0,056]	0,111 [0,133–0,097]
Конечная систолическая эластичность желудочка, мл/мм рт. ст. / End-systolic ventricular elasticity, mmHg/mL	11,025 [14,22–8,7]	9,11 [11,19–7,29]	10,8 [14,19–8,63]
Вентрикуло-артериальная сопряженность / Ventricular-arterial coupling	2 [2,54–1,67]	1,84 [2,52–1,31]	1,01 [1,3–0,78]
Среднее давление в ЛА, мм рт. ст. / Mean pressure in PA, mmHg	16,7 [21,7–12,1]	24,9 [28,5–23,1]	15,4 [19,8–10,1]

Примечание: ВТЛЖ – выходной тракт левого желудочка; КДО – конечный диастолический объем; КСД – конечное систолическое давление; КСО – конечный систолический объем; ЛА – легочная артерия; СИ – сердечный индекс; УО – ударный объем; ФВ ЛЖ – фракция выброса левого желудочка; ЧСС – частота сердечных сокращений; Me – медиана; S – стрейн, глобальная продольная деформация левого желудочка; SR – скорость продольной деформации левого желудочка; TN I ES – тропонин I повышенной чувствительности; VTI – интеграл скорости по времени.

Note: CI – cardiac index; EDV – end-diastolic volume; ESP – end systolic pressure; ESV – end-systolic volume; HR – heart rate; LV EF – left ventricular ejection fraction; LVOT – left ventricular outflow tract; Me – median; PA – pulmonary artery; S – strain, global longitudinal deformation of the left ventricle; SR – strain rate; SV – stroke volume; ES TN I – extra sensitive troponin I; VTI – velocity time integral.

(от 10 до 30%), у 125 (60,97%) – значительно (более 30% от исходного), а у 33 больных (16,09%) изменения СИ не превышали 10% от дооперационных значений. Также дисперсионный анализ показал, что, чем ниже были значения СИ через 6 ч после операции, тем выше были потребность в добутаминах и вазоактивный инотропный индекс (коэффициента Уилкса λ 0,47, $F = 8,7$, $p = 0,00001$).

Унивариантный регрессионный анализ ЭхоКГ-данных позволил установить комплекс дооперационных показателей, влияющих на СИ через 6 ч после операции: S, SR, VE, AE, AC, возраст, размер ДМЖП. Однако по результатам множественного регрессионного анализа только показатели продольной деформации до операции ($b = 0,028$, $F = 3,9$, $p = 0,006$) и размер ДМЖП ($b = -0,08$, $F = 3,4$, $p = 0,029$) были значимо связаны с динамикой СИ ЛЖ через 6 ч после операции. Наблюдаемая зависимость СИ через 6 ч после операции от исходных параметров продольной деформации и размеров ДМЖП описывается уравнением: $2,8 - 0,08 * \text{ДМЖП} + 0,028 * S$.

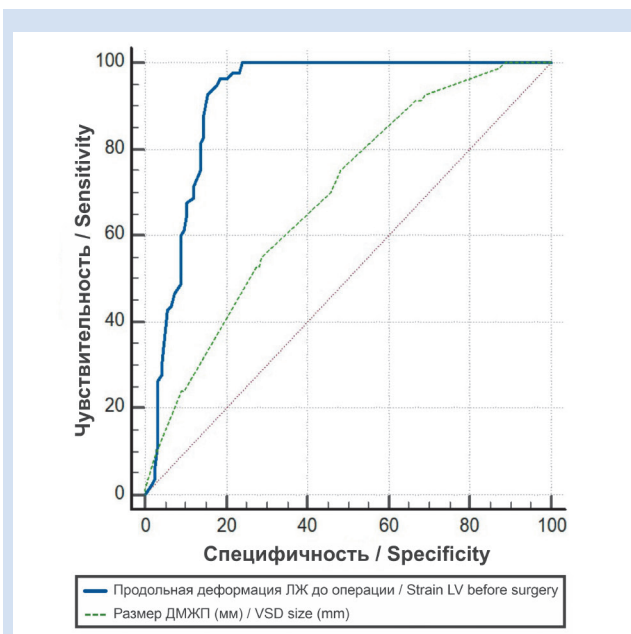
Кроме того, изучены чувствительность и специфичность дооперационных показателей в их способности определять послеоперационное снижение СИ. При проведении ROC-анализа выявлено, что максимальной чувствительностью, специфичностью предикторной способности в определении снижения СИ через 6 ч после операции обладали показатель дооперационной продольной деформации ЛЖ с точкой разделения $-14,3\%$ (чувстви-

тельность 96,2%, специфичность 81,6%, AUC 0,92, $p < 0,00001$) и диаметр ДМЖП с точкой разделения 8 мм (чувствительность 75%, специфичность 52%, AUC 0,69, $p < 0,0001$) (рисунок).

Обсуждение

В настоящее время широко обсуждаются механизмы развития дисфункции ЛЖ после хирургической коррекции ДМЖП. S.R.V. Reddy и соавторы полагают, что наличие внутрижелудочковой диссинхронии из-за нарушения проводимости по правой ножке пучка Гиса приводит к дилатации и систолической дисфункции ЛЖ у этой группы пациентов [21]. Авторские коллективы под руководством G.T. Adamson и A. Banpurkar считают, что с послеоперационной дисфункцией ЛЖ связаны размер дефекта и межжелудочковой заплата с соответствующим акинетичным участком перегородки [5, 16]. Мы также обнаружили значимую связь между величиной межжелудочкового дефекта и параметрами насосной функции ЛЖ в раннем послеоперационном периоде (чем больше размер дефекта, тем ниже СИ через 6 ч после операции). Ряд авторов описывают вклад в послеоперационную дисфункцию ЛЖ гипоперфузионного повреждения миокарда, что в ряде случаев подтверждает стойкое повышение тропонина через 12 ч после операции [22]. А.А. Kotbu и соавторы полагают, что на фоне перегрузки объемом имеется дооперационная дисфункция ЛЖ, что подтверждается снижением показателей продольной деформации [10]. Среди обследованных нами пациентов значения S и SR до операции тоже оказались существенно ниже у детей с ДМЖП, по сравнению с таковыми у здоровых детей. Также по результатам проведенного множественного регрессионного анализа важным фактом прогнозирования послеоперационных изменений насосной функции ЛЖ у детей с ДМЖП явилась выявленная предикторная ценность показателей продольной деформации ЛЖ до операции. При этом влияния величины предоперационной ФВ ЛЖ на послеоперационную динамику СИ не удалось доказать.

Известно, что при гемодинамически значимом перимембранозном ДМЖП присутствует перегрузка объемом ЛЖ за счет повышенной преднагрузки вследствие увеличенного венозного возврата на фоне лево-правого шунтирования. Однако вследствие наличия самого дефекта ЛЖ в систолу опорожняется в двух направлениях: часть от ударного объема крови перемещается вправо (что отражает Qp/Qs), и только часть крови из ЛЖ в систолу направляется в аорту. Именно в этой связи УО (и, следовательно, УИ и СИ), определенный по потоку в аорту, был снижен у исследованных нами пациентов до операции. При расчете ФВ ЛЖ методом Симпсона двунаправленный УО не учитывается (только различия конечного диастолического и ко-



ROC-кривые параметров продольной деформации ЛЖ до операции и размера дефекта межжелудочковой перегородки в оценке прогноза послеоперационной дисфункции ЛЖ

Примечание: ДМЖП – дефект межжелудочковой перегородки; ЛЖ – левый желудочек.

ROC-curves of LV longitudinal deformation before surgery and the size of the interventricular septal defect in assessing the prognosis of postoperative left ventricular dysfunction

Note: LV – left ventricular; VSD – ventricular septal defect.

нечного систолического объемов, то есть общий УО), следовательно, ФВ ЛЖ в такой ситуации не будет в полной мере отражать насосную составляющую работы ЛЖ. Вероятно, в этой связи исходные параметры ФВ ЛЖ не показали себя как предиктор послеоперационной насосной дисфункции, в отличие от продольного стрейна.

Возможно и другое объяснение полученным данным динамики ЭхоКГ-параметров в послеоперационном периоде у обследованных больных. Так, в дооперационном периоде на фоне существенно сниженного УИ (в сравнении со здоровыми) механизм Франка – Старлинга компенсировал перегрузку объемом ЛЖ и поддерживал адекватную гемодинамику, однако анализ артериальной и конечной систолической желудочковой эластичности, а также коэффициент вентрикуло-артериальной сопряженности продемонстрировали неоптимальный уровень этих показателей: по сравнению со здоровыми обследованными у детей с ДМЖП были более высокие значения АЕ и VАС и более низкие показатели VE. Хирургическая коррекция порока ликвидировала лево-правый межжелудочковый шунт, что снизило венозный возврат и немедленно изменило уровень инотропного состояния, ранее модулируемого повышенной преднагрузкой ЛЖ. Однако в таком случае не действовал механизм Франка – Старлинга: не было дополнительного объема крови, который бы растягивал ЛЖ, повышая последующий выброс уже только в аорту. Компенсаторно возрастает АЕ, как отражение постнагрузки. Однако ЛЖ, что следует из полученных нами данных, не может немедленно перестроиться в новых условиях наполнения и адекватно увеличить объем желудочка в диастолу, что приводит к явлению, известному как *afterload mismatch*: одновременному снижению преднагрузки и увеличению постнагрузки вследствие с систолической дисфункции ЛЖ. В совокупности с исходной дооперационной депрессией сократительной функции ЛЖ, подтверждаемой уменьшением параметров продольной деформации ЛЖ, перечисленные факторы обусловили снижение насосной функции в раннем послеоперационном периоде.

Вероятно, какой-то вклад в снижение функции ЛЖ внесло и гипоперфузионное повреждение, что подтверждает повышение уровня тропонина I через 6 ч после операции. Однако выявлены лишь слабая корреляция тропонина I и ФВ ЛЖ, а также статистически не значимая связь УИ ВТЛЖ и СИ ЛЖ. Кроме того, транзиторность повышения тропонина и его снижение уже к первым суткам после операции позволяет предположить незначительную роль

этого механизма в формировании послеоперационной систолической дисфункции.

Следует отметить, что адаптация ЛЖ к новым гемодинамическим условиям после закрытия ДМЖП произошла уже к 10-м послеоперационным суткам. Исходя из немногочисленных литературных данных, реверсия послеоперационных изменений функции ЛЖ может занять 3–9 мес., хотя приводятся данные о том, что и через 10 лет после хирургической коррекции порока сохраняется субклиническая дисфункция ЛЖ [23]. Можно предполагать, что изученная нами динамика данных ЭхоКГ внесут свой вклад в понимание механизмов формирования дисфункции ЛЖ в раннем послеоперационном периоде закрытия ДМЖП, что позволит их своевременно прогнозировать и адекватно корректировать. При этом исследование будет продолжено с целью изучения среднесрочных и отдаленных результатов ремоделирования ЛЖ у данной категории пациентов.

Ограничение исследования

Исследование охватывает дисфункцию левого желудочка и динамику восстановления на госпитальном этапе, в дальнейшем требуется изучение результатов среднесрочного и отдаленного периодов.

Заключение

В раннем послеоперационном периоде хирургической коррекции ДМЖП наблюдается снижение систолической и насосной функций ЛЖ. Высокие показатели артериальной эластичности и низкие конечной систолической эластичности ассоциированы со снижением артериального комплаенса и повышением вентрикуло-артериальной сопряженности в раннем послеоперационном периоде. К дооперационным предикторам снижения сердечного индекса в раннем послеоперационном периоде относятся продольная деформация ЛЖ с точкой разделения $-14,3\%$ и диаметр ДМЖП > 8 мм.

Конфликт интересов

П.В. Лазарьков заявляет об отсутствии конфликта интересов. Е.Н. Орехова заявляет об отсутствии конфликта интересов. О.В. Хлынова заявляет об отсутствии конфликта интересов. Р.М. Шехматев заявляет об отсутствии конфликта интересов. В.А. Белов заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование

Авторы заявляют об отсутствии финансирования исследования.

Информация об авторах

Лазарьков Петр Владимирович, врач – сердечно-сосудистый хирург федерального государственного бюджетного

Author Information Form

Lazarkov Pyotr V., Cardiovascular Surgeon, Federal State Budgetary Institution "Federal Center for Cardiovascular Surgery

учреждения «Федеральный центр сердечно-сосудистой хирургии имени С.Г. Суханова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Пермь, Российская Федерация; аспирант кафедры госпитальной терапии и кардиологии федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Пермский государственный медицинский университет имени академика Е.А. Вагнера» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Пермь, Российская Федерация; **ORCID** 0000-0001-7165-9134

Орехова Екатерина Николаевна, доктор медицинских наук доцент кафедры госпитальной терапии и кардиологии федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Пермский государственный медицинский университет имени академика Е.А. Вагнера» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Пермь, Российская Федерация; **ORCID** 0000-0002-6819-2980

Хлынова Ольга Витальевна, член-корреспондент РАН, доктор медицинских наук, профессор заведующая кафедрой госпитальной терапии и кардиологии федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Пермский государственный медицинский университет имени академика Е.А. Вагнера» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Пермь, Российская Федерация; **ORCID** 0000-0003-4860-0112

Шехмаматьев Роман Маратович, врач – сердечно-сосудистый хирург федерального государственного бюджетного учреждения «Федеральный центр сердечно-сосудистой хирургии имени С.Г. Суханова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Пермь, Российская Федерация; ассистент кафедры хирургии с курсом сердечно-сосудистой хирургии и инвазивной кардиологии федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Пермский государственный медицинский университет имени академика Е.А. Вагнера» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Пермь, Российская Федерация; **ORCID** 0000-0002-0601-1486

Белов Вячеслав Александрович, главный врач, врач – сердечно-сосудистый хирург федерального государственного бюджетного учреждения «Федеральный центр сердечно-сосудистой хирургии имени С.Г. Суханова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Пермь, Российская Федерация; **ORCID** 0000-0002-0945-8208

named after S.G. Sukhanov” of the Ministry of Health of the Russian Federation, Perm, Russian Federation; Postgraduate Student, Department of Advanced Therapy and Cardiology, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Perm State Medical University named after Academician E.A. Wagner” of the Ministry of Health of the Russian Federation, Perm, Russian Federation; **ORCID** 0000-0001-7165-9134

Orehova Ekaterina N., PhD, MD, Associate Professor at the Department of Advanced Therapy and Cardiology, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Perm State Medical University named after Academician E.A. Wagner” of the Ministry of Health of the Russian Federation, Perm, Russian Federation; **ORCID** 0000-0002-6819-2980

Khlynova Olga V., PhD, MD, Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Head of the Department of Advanced Therapy and Cardiology, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Perm State Medical University named after Academician E.A. Wagner” of the Ministry of Health of the Russian Federation, Perm, Russian Federation; **ORCID** 0000-0003-4860-0112

Shekhmametyev Roman M., Cardiovascular Surgeon, Federal State Budgetary Institution “Federal Center for Cardiovascular Surgery named after S.G. Sukhanov” of the Ministry of Health of the Russian Federation, Perm, Russian Federation; Assistant at the Department of Surgery, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Perm State Medical University named after Academician E.A. Wagner” of the Ministry of Health of the Russian Federation, Perm, Russian Federation; **ORCID** 0000-0002-0601-1486

Belov Vyacheslav A., Chief Physician, Cardiovascular Surgeon, Federal State Budgetary Institution “Federal Center for Cardiovascular Surgery named after S.G. Sukhanov” of the Ministry of Health of the Russian Federation, Perm, Russian Federation; **ORCID** 0000-0002-0945-8208

Вклад авторов в статью

ЛПВ – вклад в концепцию и дизайн исследования, получение и анализ данных исследования, написание статьи, корректировка статьи, утверждение окончательной версии для публикации, полная ответственность за содержание

ОЕН – вклад в концепцию и дизайн исследования, получение и анализ данных исследования, написание статьи, корректировка статьи, утверждение окончательной версии для публикации, полная ответственность за содержание

ХОВ – вклад в концепцию и дизайн исследования, написание статьи, корректировка статьи, утверждение окончательной версии для публикации, полная ответственность за содержание

ШРМ – вклад в концепцию и дизайн исследования, написание статьи, корректировка статьи, утверждение окончательной версии для публикации, полная ответственность за содержание

БВА – вклад в концепцию и дизайн исследования, написание статьи, корректировка статьи, утверждение окончательной версии для публикации, полная ответственность за содержание

Author Contribution Statement

LPV – contribution to the concept and design of the study, data collection and analysis, manuscript writing, editing, approval of the final version, fully responsible for the content

OEN – contribution to the concept and design of the study, data collection and analysis, manuscript writing, editing, approval of the final version, fully responsible for the content

HOV – contribution to the concept and design of the study, manuscript writing, editing, approval of the final version, fully responsible for the content

ShRM – contribution to the concept and design of the study, manuscript writing, editing, approval of the final version, fully responsible for the content

BVA – contribution to the concept and design of the study, manuscript writing, editing, approval of the final version, fully responsible for the content

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Саперова Е.В., Вахлова И.В. Врожденные пороки сердца у детей: распространенность, факторы риска, смертность. Вопросы современной педиатрии. 2017;16(2):126-133. doi:10.15690/vsp.v16i2.1713
2. Rao P.S., Harris A.D. Recent advances in managing septal defects: ventricular septal defects and atrioventricular septal defects. F1000Res. 2018;7:F1000 Faculty Rev-498. doi:10.12688/f1000research.14102.1
3. Lowenthal A., Tacy T.A., Behzadian F., Pun R. Echocardiographic predictors of early postsurgical myocardial dysfunction in pediatric patients with aortic valve insufficiency. *Pediatr Cardiol.* 2013; 34: 1335-1343. doi:10.1007/s00246-013-0646-z
4. Matsuhisa H., Yoshimura N., Higuma T., Misaki T., Onuma Y., Ichida F., Oshima Y., Okita Y. Ventricular septal dysfunction after surgical closure of multiple ventricular septal defects. *Ann Thorac Surg.* 2013; 96: 891-897. doi:10.1016/j.athoracsur.2013.05.013
5. Adamson G.T., Arunamata A., Tacy T.A., Silverman N.H., Ma M., Maskatia S.A., Pun R. Postoperative Recovery of Left Ventricular Function following Repair of Large Ventricular Septal Defects in Infants. *J Am Soc Echocardiogr* 2019. doi:10.1016/j.echo.2019.10.003
6. Oh J., Lee B.A., Shin W.J., Jeong D., Yun T.J., Park C.S., Choi E.S., Song I.K. Clinical implication of intraoperative ventricular-arterial coupling in pediatric patients undergoing ventricular septal defects repair: A retrospective cohort study. *Paediatr Anaesth.* 2021;31(11):1216-1224. doi:10.1111/pan.14277
7. Menting M.E., Cuypers J.A., Opić P., Utens E.M., Witsenburg M., van den Bosch A.E., van Domburg R.T., Meijboom F.J., Boersma E., Bogers A.J., Roos-Hesselink J.W. The unnatural history of the ventricular septal defect: outcome up to 40 years after surgical closure. *J Am Coll Cardiol.* 2015;65(18):1941-51. doi:10.1016/j.jacc.2015.02.055
8. Марцинкевич Г. И., Кривошеков Е. В., Соколов А. А. Послеоперационное ремоделирование сердца у детей при коррекции межжелудочковых дефектов. *Сибирский медицинский журнал.* 2012; 27(1):44-48.
9. Smigla G., Jaquiss R., Walczak R., Bonadonna D., Kaemmer D., Schwimer C. et al. Assessing the safety of del Nidocardioplegia solution in adult congenital cases. *Perfus (United Kingdom).* 2014; 29 (6): 554-8. DOI:10.1177/0267659114543346
10. Kotby A.A., Abd Al Aziz M.M., Husseiny A.H., Al-Fahham M.M. Detection of Early Myocardial Injury in Children with Ventricular Septal Defect Using Cardiac Troponin I and Two-Dimensional Speckle Tracking Echocardiography. *Pediatr Cardiol.* 2020;41(8):1548-1558. doi:10.1007/s00246-020-02410-2
11. Синельников Ю.С., Орехова Е.Н., Матановская Т.В. Продольная механика как компонент систолической функции левого желудочка у детей первого года жизни в раннем послеоперационном периоде хирургической коррекции перимембранозного дефекта межжелудочковой перегородки. *Патология кровообращения и кардиохирургия;* 2019; 23(1): 17-25. doi:10.21688-1681-3472-2019-1-17-25
12. Дефект межжелудочковой перегородки. Клинические рекомендации. 2021. Режим доступа: <https://racvs.ru/clinic/klinicheskie-rekomendatsii-2021/Defekt%20mezhheludochkovoj%20peregorodki.pdf> (дата обращения 10.09.2023)
13. Antonini-Canterin F., Poli S., Vrizz O., Pavan D., Bello V.D., Nicolosi G.L. The Ventricular-Arterial Coupling: From Basic Pathophysiology to Clinical Application in the Echocardiography Laboratory. *J Cardiovasc Echogr.* 2013;23(4):91-95. doi:10.4103/2211-4122.127408
14. Lopez L., Colan S.D., Frommelt P.C., Ensing G.J., Kendall K., Younoszai A.K., Lai W.W., Geva T. 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(5):465-95; quiz 576-7. doi:10.1016/j.echo.2010.03.019
15. Marinari E., Rizza A., Iacobelli R., Iodice F., Favia I., Romagnoli S., Di Chiara L., Ricci Z. Ventricular-Arterial Coupling in Children and Infants With Congenital Heart Disease After Cardiopulmonary Bypass Surgery: Observational Study. *Pediatr Crit Care Med.* 2019; 20(8):753-758. doi:10.1097/PCC.0000000000001982
16. Banpurkar A., Azad S., Radhakrishnan S., Garg A. Left Ventricular Function Assessment of Patients with Postoperative Ventricular Septal Defect Closure by Longitudinal Strain on Two-Dimensional Echocardiography 1 Year after Surgery. *J Indian Acad Echocardiogr Cardiovasc Imaging* 2021;5:139-43. doi:10.1016/j.ihj.2022.02.004
17. Синельников Ю.С., Шехмаметьев Р.М., Лазарьков П.В., Прохоров С.Н., Лыжин Е.М. Опыт применения экстракорпоральной мембранной оксигенации у детей с бивентрикулярной физиологией в послеоперационном периоде. *Комплексные проблемы сердечно-сосудистых заболеваний.* 2020;9(4): 59-70. doi:10.17802/2306-1278-2020-9-4-59-70
18. Синельников Ю.С., Орехова Е.Н., Матановская Т.В., Полевщикова Марина Андреевна Эхокардиографическая оценка показателей механики левого желудочка у детей первого года жизни. *Патология кровообращения и кардиохирургия.* 2017. 21(3):23-31. doi: 10.21688-1681-3472-2017-3-23-31
19. Cattermole, G. N., Leung, P. Y., Mak, P. S., Chan, S. S., Graham, C. A., Rainer, T. H. The normal ranges of cardiovascular parameters in children measured using the Ultrasonic Cardiac Output Monitor. *Critical care medicine.* 2010;38(9):1875-1881. doi:10.1097/CCM.0b013e3181e8adee
20. Yingchoncharoen T., Agarwal S., Popović Z.B., Marwick T.H. Normal ranges of left ventricular strain: a meta-analysis. *J Am Soc Echocardiogr.* 2013; 26(2):185-91. doi: 10.1016/j.echo.2012.10.008.
21. Veeram Reddy S.R., Du W., Zilberman M.V. Left ventricular mechanical synchrony and global systolic function in pediatric patients late after ventricular septal defect patch closure: a three-dimensional echocardiographic study. *Congenit Heart Dis.* 2009; 4(6):454-8. doi: 10.1111/j.1747-0803.2009.00332.x
22. Su J.A., Kumar S.R., Mahmoud H., Bowdish M.E., Toubat O., Wood J.C., Kung G.C. Postoperative Serum Troponin Trends in Infants Undergoing Cardiac Surgery. *Semin Thorac Cardiovasc Surg.* 2019;31(2):244-251. doi: 10.1053/j.semtevs.2018.08.010
23. Nederend I., C de Geus E.J., Blom N.A., J ten Harkel A.D. Long-term follow-up after ventricular septal defect repair in children: cardiac autonomic control, cardiac function and exercise capacity. *J Cardiothorac Surg.* 2018 May 1;53(5):1082-1088. doi: 10.1093/ejcts/ezx438.

REFERENCES

1. Saperova E.V., Vahlova I.V. Congenital Heart Diseases in Children: Incidence, Risk Factors, Mortality. *Current Pediatrics.* 2017; 16(2):126-133. doi:10.15690/vsp.v16i2.1713 (In Russian)
2. Rao P.S., Harris A.D. Recent advances in managing septal defects: ventricular septal defects and atrioventricular septal defects. *F1000Res.* 2018;7:F1000 Faculty Rev-498. doi:10.12688/f1000research.14102.1
3. Lowenthal A., Tacy T.A., Behzadian F., Pun R. Echocardiographic predictors of early postsurgical myocardial

dysfunction in pediatric patients with aortic valve insufficiency. *Pediatr Cardiol.* 2013; 34: 1335-1343. doi:10.1007/s00246-013-0646-z

4. Matsuhisa H., Yoshimura N., Higuma T., Misaki T., Onuma Y., Ichida F., Oshima Y., Okita Y. Ventricular septal dysfunction after surgical closure of multiple ventricular septal defects. *Ann Thorac Surg.* 2013; 96: 891-897. doi:10.1016/j.athoracsur.2013.05.013

5. Adamson G.T., Arunamata A., Tacy T.A., Silverman N.H., Ma M., Maskatia S.A., Pun R. Postoperative Recovery of Left Ventricular Function following Repair of Large Ventricular Septal Defects in Infants. *J Am Soc Echocardiogr* 2019. doi:10.1016/j.echo.2019.10.003

6. Oh J., Lee B.A., Shin W.J., Jeong D., Yun T.J., Park C.S., Choi E.S., Song I.K. Clinical implication of intraoperative ventricular-arterial coupling in pediatric patients undergoing ventricular septal defects repair: A retrospective cohort study. *Paediatr Anaesth.* 2021;31(11):1216-1224. doi:10.1111/pan.14277

7. Menting M.E., Cuypers J.A., Opić P., Utens E.M., Witsenburg M., van den Bosch A.E., van Domburg R.T., Meijboom F.J., Boersma E., Bogers A.J., Roos-Hesselink J.W. The unnatural history of the ventricular septal defect: outcome up to 40 years after surgical closure. *J Am Coll Cardiol.* 2015;65(18):1941-51. doi:10.1016/j.jacc.2015.02.055

8. Martsinkevich G.I., Krivoshechekov E.V., Sokolov A. A. Postoperative remodeling of the heart in children during the correction of interventricular defects // *SMZh.* 2012; 27(1):44-48 (In Russian)

9. Smigla G., Jaquiss R., Walczak R., Bonadonna D., Kaemmer D., Schwimer C. et al. Assessing the safety of the Nidocardoplegia solution in adult congenital cases. *Perfus (United Kingdom).* 2014; 29 (6): 554-8. DOI:10.1177/0267659114543346

10. Kotby A.A., Abd Al Aziz M.M., Husseiny A.H., Al-Fahham M.M. Detection of Early Myocardial Injury in Children with Ventricular Septal Defect Using Cardiac Troponin I and Two-Dimensional Speckle Tracking Echocardiography. *Pediatr Cardiol.* 2020;41(8):1548-1558. doi:10.1007/s00246-020-02410-2

11. Sinelnikov, Y., Orekhova, E., & Matanovskaya, T. (2019). Longitudinal mechanics as predictors of left ventricular systolic function in the early postoperative period after surgical perimembranous ventricular septal defect closure in children aged <1 year. *Patologiya krovoobrashcheniya i kardiokirurgiya.* 2019;23(1), 17-25. doi:10.21688-1681-3472-2019-1-17-25 (In Russian)

12. Interventricular Dissection Defectio Clinical recommendations 2021. Available at: <https://racvs.ru/clinic/klinicheskie-rekomendatsii-2021/defekt%20Mezhzheludochkovoj%20PEREGORODKI.pdf>. (accessed 10.09.2023) (In Russian)

13. Antonini-Canterin F., Poli S., Vriz O., Pavan D., Bello V.D., Nicolosi G.L. The Ventricular-Arterial Coupling: From Basic Pathophysiology to Clinical Application in the Echocardiography Laboratory. *J Cardiovasc Echogr.* 2013;23(4):91-95. doi:10.4103/2211-4122.127408

14. Lopez L., Colan S.D., Frommelt P.C., Ensing G.J., Kendall

K., Younoszai A.K., Lai W.W., Geva T. 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(5):465-95; quiz 576-7. doi:10.1016/j.echo.2010.03.019

15. Marinari E., Rizza A., Iacobelli R., Iodice F., Favia I., Romagnoli S., Di Chiara L., Ricci Z. Ventricular-Arterial Coupling in Children and Infants With Congenital Heart Disease After Cardiopulmonary Bypass Surgery: Observational Study. *Pediatr Crit Care Med.* 2019; 20(8):753-758. doi:10.1097/PCC.0000000000001982

16. Banpurkar A., Azad S., Radhakrishnan S., Garg A. Left Ventricular Function Assessment of Patients with Postoperative Ventricular Septal Defect Closure by Longitudinal Strain on Two-Dimensional Echocardiography 1 Year after Surgery. *J Indian Acad Echocardiogr Cardiovasc Imaging* 2021;5:139-43. doi:10.1016/j.ihj.2022.02.004

17. Sinelnikov Yu.S., Shekhmametiev R.M., Lazarkov P.V., Prokhorov S.N., Lyzhin E.M. Experience in the use of extracorporeal membrane oxygenation in children with biventricular physiology in the postoperative period. *Comprehensive problems of cardiovascular diseases.* 2020; 9 (4): 59-70. doi: 10.17802/2306-1278-2020-4-4-59-70 (In Russian)

18. Sinelnikov, Y., Orekhova, E., Matanovskaya, T., & Polevshikova, M. (2017). Echocardiographic evaluation of left ventricle mechanical parameters in infants of the first year of life. *Patologiya Krovoobrashcheniya i Kardiokirurgiya.* 2017. 21(3):23-31. doi: 10.21688-1681-3472-2017-3-23-31 (In Russian)

19. Cattermole, G. N., Leung, P. Y., Mak, P. S., Chan, S. S., Graham, C. A., Rainer, T. H. The normal ranges of cardiovascular parameters in children measured using the Ultrasonic Cardiac Output Monitor. *Critical care medicine.* 2010;38(9):1875-1881. doi:10.1097/CCM.0b013e3181e8adee

20. Yingchoncharoen T., Agarwal S., Popović Z.B., Marwick T.H. Normal ranges of left ventricular strain: a meta-analysis. *J Am Soc Echocardiogr.* 2013; 26(2):185-91. doi: 10.1016/j.echo.2012.10.008.

21. Veeram Reddy S.R., Du W., Zilberman M.V. Left ventricular mechanical synchrony and global systolic function in pediatric patients late after ventricular septal defect patch closure: a three-dimensional echocardiographic study. *Congenit Heart Dis.* 2009; 4(6):454-8. doi: 10.1111/j.1747-0803.2009.00332.x

22. Su J.A., Kumar S.R., Mahmoud H., Bowdish M.E., Toubat O., Wood J.C., Kung G.C. Postoperative Serum Troponin Trends in Infants Undergoing Cardiac Surgery. *Semin Thorac Cardiovasc Surg.* 2019;31(2):244-251. doi: 10.1053/j.semtevs.2018.08.010

23. Nederend I., C de Geus E.J., Blom N.A., J ten Harkel A.D. Long-term follow-up after ventricular septal defect repair in children: cardiac autonomic control, cardiac function and exercise capacity. *J Cardiothorac Surg.* 2018 May 1;53(5):1082-1088. doi: 10.1093/ejcts/ezx438.

Для цитирования: Лазарьков П.В., Орехова Е.Н., Хлынова О.В., Шехмамиев Р.М., Белов В.А. Возможность прогнозирования дисфункции левого желудочка в раннем послеоперационном периоде у детей с дефектом межжелудочковой перегородки. *Комплексные проблемы сердечно-сосудистых заболеваний.* 2023;12(4): 108-119. DOI: 10.17802/2306-1278-2023-12-4-108-119

To cite: Lazarkov P.V., Orekhova E.N., Khlynova O.V., Shekhmametiev R.M., Belov V.A. The possibility of predicting left ventricular dysfunction in the early postoperative period in children with ventricular septal defect. *Complex Issues of Cardiovascular Diseases.* 2023;12(4): 108-119. DOI: 10.17802/2306-1278-2023-12-4-108-119