

Продольная механика как компонент систолической функции левого желудочка у детей первого года жизни в раннем послеоперационном периоде хирургической коррекции перимембранозного дефекта межжелудочковой перегородки

© Ю.С. Синельников, Е.Н. Орехова, Т.В. Матановская

ФГБУ «ФЦССХ имени С.Г. Суханова» Министерства здравоохранения России (г. Пермь), Пермь, Российская Федерация

Для корреспонденции: Татьяна Владимировна Матановская, tania-larigina@yandex.ru

Поступила в редакцию 17 января 2019 г. Исправлена 18 апреля 2019 г. Принята к печати 25 апреля 2019 г.

| | |
|-----------------------|--|
| Цель | Оценка систолической функции левого желудочка с использованием параметров продольной механики у детей первого года жизни с перимембранозным дефектом межжелудочковой перегородки в до- и раннем послеоперационном периоде хирургической коррекции порока. |
| Методы | В простое открытое проспективное исследование вошло 65 детей в возрасте 2–11 мес. с перимембранозным дефектом межжелудочковой перегородки (средний диаметр $8,6 \pm 1,7$ мм) и отношением легочного к системному кровотоку более 1,5/1, оперированных с 2014 по 2017 г. Показатели продольной механики левого желудочка оценивали с использованием векторного анализа скорости движения миокарда. Всем пациентам выполнена хирургическая коррекция порока. Данные эхокардиографии оценены исходно, после завершения операции, через сутки и 20 дней после операции. |
| Результаты | У всех пациентов после операции регистрировалось существенное снижение индексов конечных систолического и диастолического объемов, ударного индекса, фракции выброса. Через сутки происходила нормализация объемных показателей, но у 10,8% пациентов фракция выброса оставалась сниженной. Выявлена слабая корреляция веса и снижения фракции выброса ($R_s = 0,3; p = 0,039$), длительности ишемии и снижения фракции выброса ($R_s = 0,36; p = 0,03$), размеров дефекта межжелудочковой перегородки и редукции фракции выброса ($R_s = 0,33; p = 0,006$). Через 20 сут. на фоне нормализации объемных показателей левого желудочка фракция выброса не достигла исходных значений. Продольная деформация левого желудочка и скорость деформации левого желудочка были снижены до операции. Для прогноза послеоперационного снижения фракции выброса левого желудочка ($\leq 35\%$) чувствительность исходных значений продольной деформации левого желудочка составила 88%, специфичность 98,2%, точка разделения $-9,2\%$; чувствительность скорости деформации левого желудочка составила 87,8%, специфичность 94,7%, точка разделения $-0,47 \text{ с}^{-1}$. |
| Выводы | У детей первого года жизни с перимембранозным дефектом межжелудочковой перегородки снижены показатели продольной механики левого желудочка, что отражает его латентную систолическую дисфункцию. В первые сутки после хирургической коррекции порока транзиторное снижение систолической функции левого желудочка отмечено во всех случаях, а значительное снижение систолической функции левого желудочка возникает у 10,8% пациентов. Параметры продольной механики левого желудочка могут быть использованы как предикторы значимости контрактильной дисфункции левого желудочка в раннем послеоперационном периоде с точкой разделения для деформации более $-9,2\%$, скорости деформации более $-0,47 \text{ с}^{-1}$. |
| Ключевые слова | перимембранозный дефект межжелудочковой перегородки; продольная деформация; систолическая функция |

Цитировать: 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. <http://dx.doi.org/10.21688/1681-3472-2019-1-17-25>



Введение

Дефект межжелудочковой перегородки (ДМЖП) — один из наиболее распространенных врожденных пороков сердца, а его хирургическая коррекция — часто выполняемая процедура у детей первого года жизни [1]. Систолическая дисфункция левого желудочка (ЛЖ) в раннем послеоперационном периоде после пластики межжелудочковой перегородки встречается более чем в 20% случаев [2], что делает важным идентификацию предикторов ее возникновения. Однако в большинстве исследований, посвященных осложнениям хирургической коррекции ДМЖП, оценивался риск послеоперационной смертности, атриовентрикулярных блокад, определялись частота и гемодинамическая значимость резидуального межжелудочкового шунта, аортальной регургитации, обструкции выходного тракта ЛЖ [3]. Ряд авторов показали, что возраст менее 6 мес. и малый вес при рождении являются серьезными факторами риска послеоперационных осложнений, в том числе систолической дисфункции ЛЖ [4]. Имеется немногочисленная информация об особенностях эхокардиографической (ЭхоКГ) оценки послеоперационной левожелудочковой функции у детей первого года жизни [5]. Также отмечено, что информативность конвенциональной оценки функции ЛЖ, как маркера прогноза контрактильной дисфункции в послеоперационном периоде, весьма ограничена [6]. D.R. Patel и соавт. сообщили о преимуществах дополнительного использования ЭхоКГ-технологии — двухмерной speckle tracking imaging (2D-STI), позволяющей изучить одну из составляющих контрактильности (продольную механику ЛЖ у детей для диагностики дисфункции желудочка) [7]. В работе S.-Y. Kwok применялась 2D-STI для оценки механики обоих желудочков у подростков и взрослых после хирургической коррекции ДМЖП. Однако продольная механика ЛЖ, как компонент систолической функции у детей первого года жизни с перимембранозным ДМЖП, до и после хирургической коррекции малоизучена.

Цель исследования — оценка систолической функции левого желудочка с использованием параметров продольной механики у детей первого года жизни с перимембранозным дефектом межжелудочковой перегородки в до- и раннем послеоперационном периоде хирургической коррекции порока.

Методы

В простое открытое проспективное исследование включено 65 детей в возрасте от 2 до 11 мес. (в сред-

нем $5,2 \pm 2,3$ мес., медиана 5 мес.), среди которых 41 мальчик (63,1%) с перимембранозным ДМЖП ($8,6 \pm 1,7$ мм, медиана 8 мм, от 5 до 12 мм), весом от 3 до 10 кг (в среднем $5,64 \pm 1,40$ кг, медиана 5,6 кг), площадью поверхности тела от 0,19 до 0,43 м² (в среднем $0,30 \pm 0,04$ м², медиана 0,31 м²), госпитализированных в ФГБУ «ФЦССХ им. С.Г. Суханова» Минздрава России (г. Пермь) с 2014 по 2017 г. Исследование одобрено локальным этическим комитетом ФГБОУ ВО ПГМУ им. академика Е.А. Вагнера Минздрава России (протокол № 18, 20.11.2015), от родителей пациентов получено письменное информированное согласие на участие в исследовании.

Критерий включения: изолированный перимембранозный нерестриктивный ДМЖП с соотношением легочного к системному кровотоку (Qp/Qs) более 1,5/1. Функционирующее открытое овальное окно не являлось критерием невключения и регистрировалось у 29 детей (44,6% случаев, не более 3 мм во всех случаях).

Критерии исключения: другие врожденные пороки сердца, регистрация аортальной или трикуспидальной регургитации более I степени, вес при рождении менее 2 кг. У включенных в исследование детей с перимембранозным ДМЖП средний межжелудочковый градиент составил $19,10 \pm 4,28$ мм рт. ст. (медиана 20 мм рт. ст., от 8 до 27 мм рт. ст.), Qp/Qs $2,9 \pm 0,7$ (медиана 2,9, от 1,6 до 5,0), среднее расчетное давление в легочной артерии $33,6 \pm 5,9$ мм рт. ст. (медиана 31,9 мм рт. ст., от 24,0 до 50,1 мм рт. ст.). Тяжесть функционального класса (ФК) сердечной недостаточности по классификации R.D. Ross (1987): у 43 детей (66,1%) II ФК, у 22 (33,9%) — III ФК сердечной недостаточности [8, 9].

Трансторакальная ЭхоКГ проводилась на ультразвуковом сканере Acuson S 2000 (Siemens Medical Systems, Mountain View, США) секторным датчиком 10V4 с оценкой конвенциональных данных в соответствии с текущими рекомендациями [10]. Средние значения фракции выброса (ФВ) ЛЖ $66,4 \pm 6,3\%$ (медиана 66%, от 50 до 78%, метод biplane Simpson, основные ЭхоКГ-данные волюметрии левого желудочка, индексированной к площади поверхности тела, представлены в табл. 1). Для изучения показателей продольной механики ЛЖ оценены деформация и скорость деформации с использованием программного обеспечения Syngo Vector Velocity Imaging (векторного анализа скорости движения миокарда, VVI). С обяза-

Таблица 1 Основные эхокардиографические параметры в динамике

| Показатель | Дети первого года жизни с дефектом межжелудочковой перегородки (I) | | | | Группа сравнения (II) | P _{I-II} |
|-------------------------------|--|-------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|-------------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | | |
| ЧСС | 137,0 ± 16,9 (Me 13,6, 100–179) | 133,9 ± 18,0 (Me 131, 104–188) | 132,0 ± 15,7 (Me 130, 100–180) | 133,4 ± 15,7 (Me 133, 98–169) | 130,8 ± 14,2 (Me 130, 100–160) | 0,08 |
| p | p ₁₋₂ = 0,29 | p ₂₋₃ = 0,67 | p ₃₋₄ = 0,77 | p ₁₋₄ = 0,2 | p _{4-II} = 0,4 | |
| КСОи ЛЖ, мл/м ² | 31,6 ± 15,8 (Me 28,2, 10,0–84,3) | 22,1 ± 12,2 (Me 18,5, 6,25–71,8) | 24,5 ± 10,4 (Me 25, 6,25–60,9) | 28,2 ± 11,1 (Me 28,2, 9,3–62,8) | 15,3 ± 6,4 (Me 13,6, 9,3–39,0) | 0,0000* |
| p | p ₁₋₂ = 0,0001* | p ₂₋₃ = 0,037* | p ₃₋₄ = 0,0001* | p ₁₋₄ = 0,08 | p _{4-II} = 0,0000* | |
| КДОи ЛЖ, мл/м ² | 86,8 ± 30,0 (Me 83, 25–148) | 45,7 ± 22,2 (Me 42,8, 12–140) | 50,7 ± 22,0 (Me 46,6, 17–154) | 56,8 ± 23,4 (Me 51,5, 51,5–161,0) | 49,9 ± 13,1 (Me 47, 32,5–74,0) | 0,0000* |
| p | p ₁₋₂ = 0,0001* | p ₂₋₃ = 0,0006* | p ₃₋₄ = 0,00001* | p ₁₋₄ = 0,0000* | p _{4-II} = 0,15 | |
| УИ ЛЖ, мл/м ² | 55,0 ± 18,5 (Me 54,3, 14,3–95,0) | 23,1 ± 11,7 (Me 20, 7,5–48,9) | 22,5 ± 12,2 (Me 20, 5,7–52,0) | 32,3 ± 13,0 (Me 28,7, 15–53) | 34,7 ± 8,2 (Me 35,9, 22,8–49,0) | 0,0000* |
| p | p ₁₋₂ = 0,0000* | p ₂₋₃ = 0,4 | p ₃₋₄ = 0,0000* | p ₁₋₄ = 0,0000* | p _{4-II} = 0,37 | |
| ФВ ЛЖ, % | 66,4 ± 6,3 (Me 66, 50–79) | 51,5 ± 9,7 (Me 52, 25–68) | 48,3 ± 9,9 (Me 50, 21–65) | 55,5 ± 6,6 (Me 55, 40–68) | 69,6 ± 3,8 (Me 70, 65–78) | 0,01* |
| p | p ₁₋₂ = 0,0000* | p ₂₋₃ = 0,0001* | p ₃₋₄ = 0,0001* | p ₁₋₄ = 0,0000* | p _{4-II} = 0,0000* | |
| p ср. ЛА, мм рт. ст. | 33,6 ± 5,9 (Me 31,9, 24,6–50,1) | 29,7 ± 5,1 (Me 29,9, 11,4–44,0) | 25,9 ± 4,9 (Me 26,3, 10,0–38,7) | 17,1 ± 5,5 (Me 17,8, 10,0–31,9) | 14,2 ± 4,5 (Me 12,1, 10,0–24,6) | 0,0000* |
| p | p ₁₋₂ = 0,0000* | p ₂₋₃ = 0,001* | p ₃₋₄ = 0,0000* | p ₁₋₄ = 0,0000* | p _{4-II} = 0,03* | |

Примечание. ЧСС — частота сердечных сокращений; КСОи ЛЖ — индекс конечного систолического объема левого желудочка; КДОи ЛЖ — индекс конечного диастолического объема левого желудочка, УИ ЛЖ — ударный индекс левого желудочка; ФВ ЛЖ — фракция выброса левого желудочка, p ср. ЛА — среднее давление в легочной артерии; 1 — исходный результат исследования; 2 — исследование при завершении операции; 3 — исследование в первые сутки после операции; 4 — исследование через 20 дней после операции; p_{I-II} (1) — сравнение данных детей первого года жизни с дефектом межжелудочковой перегородки (I) и здоровых детей группы сравнения (II); p₁₋₂, p₁₋₃, p₁₋₄ — сравнение данных детей с дефектом межжелудочковой перегородки на разных этапах оценки; p_{4-II} — сравнение данных у детей с дефектом межжелудочковой перегородки через 20 дней после операции и здоровых детей группы сравнения; * p < 0,05

тельной электрокардиографической синхронизацией в В-модальном режиме из верхушечной позиции проекции 4 и 2 камер сердца получали усредненные данные векторного анализа скорости движения миокарда от 12 сегментов ЛЖ в 3 сердечных циклах [11–14]. В режиме постобработки изучали информацию о глобальной продольной деформации — strain, S (негативные значения, %) и скорости деформации — strain rate, SR (с⁻¹) ЛЖ (рис. 1). Для сравнения полученных данных с нормативными параметрами продольной механики были обследованы 28 здоровых детей первого года жизни (4,4 ± 1,8 мес., медиана 4 мес., от 3 до 12 мес., p = 0,09), сопоставимые по полу (16 мальчиков, 57,1%, χ² = 0,79), весу (от 3 кг до 12 кг, в среднем 5,68 ± 1,70 кг, медиана 5,7 кг, p = 0,9) и площади поверхности тела (от 0,21 до 0,42 м², в среднем 0,30 ± 0,05 м²; медиана 0,33 м², p = 0,7). У детей с ДМЖП дан-

ные трансоракальной ЭхоКГ с изучением традиционных показателей продольной деформации и скорости деформации ЛЖ анализировали до операции (1), при завершении операции (2), через 24 ч (3) и через 20 дней после операции (4). Деформация и скорость деформации ЛЖ в продольном направлении у пациентов с ДМЖП были значимо ниже чем у здоровых детей контрольной группы, а также по сравнению с данными метаанализов нормативных показателей продольной механики у детей первого года жизни (деформация ЛЖ у детей с ДМЖП –14,5 ± 3,6%, у здоровых –20,1 ± 1,4%; p = 0,00000; скорость деформации ЛЖ у детей с ДМЖП –0,70 ± 0,22 с⁻¹, у здоровых –1,00 ± 0,15 с⁻¹, p = 0,0000) [14].

Всем пациентам выполнена хирургическая коррекция порока: пластика ДМЖП заплатой из ксеноперикарда в условиях искусственного кровообращения (в

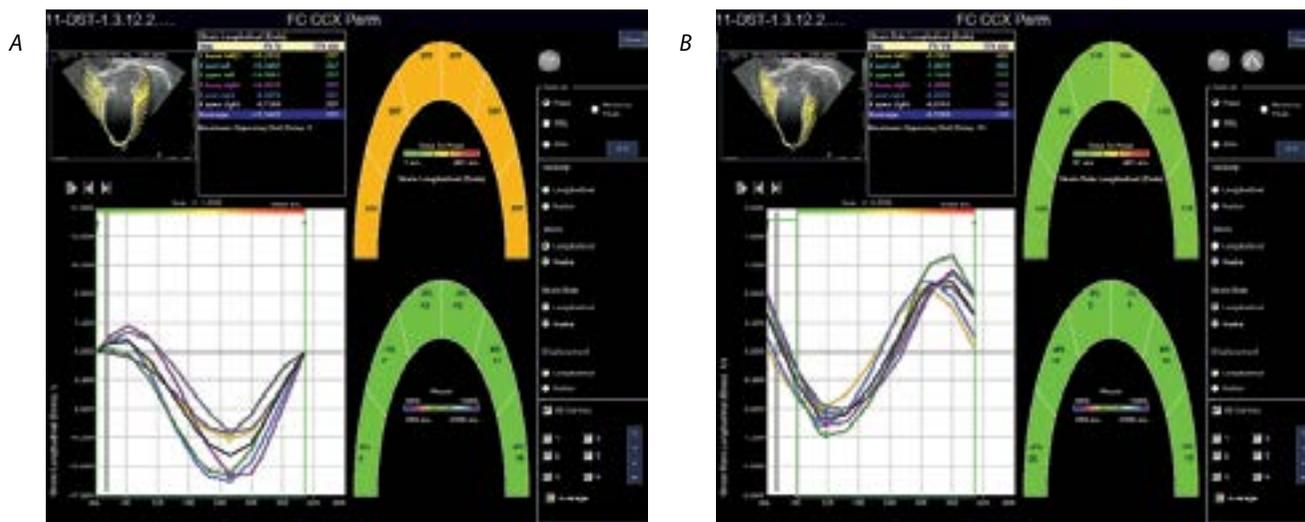


Рис. 1. Оценка продольной деформации и скорости деформации левого желудочка

Примечание. Пациент С., 3 мес., площадь поверхности тела 0,29 м². Диагноз: перимембранный нерестриктивный (межжелудочковый градиент 17 мм рт. ст.) дефект межжелудочковой перегородки 7×5 мм, сброс слева направо, Qp/Qs 2,3/1. Изучение продольной деформации левого желудочка (А), скорости деформации левого желудочка (В). Изображения получены из апикальной позиции, проекция 4 камер. Показатели продольной деформации и скорости деформации отображены для каждого из сегментов левого желудочка и в виде среднего значения (в таблице, графически, на схеме). Глобальная продольная деформация левого желудочка (-12,3%) и скорость продольной деформации (-0,9 с⁻¹) снижены

среднем длительность составила $45,4 \pm 8,7$ мин, медиана 45 мин, от 28 до 68 мин) и пережатия аорты (в среднем длительность ишемии $25,5 \pm 6,3$ мин, медиана 23 мин, от 16 до 42 мин), кардиоплегию проводили раствором «Кустодиол». Длительность пребывания в реанимации $2,2 \pm 1,5$ сут. (медиана 2 сут., от 1 до 7 сут.), продолжительность искусственной вентиляции легких $25,0 \pm 8,8$ ч (медиана 24 ч, от 14 до 59 ч), время инотропной поддержки в послеоперационном периоде $13,9 \pm 17,9$ ч (медиана 4 ч, от 0 до 58 ч), в одном случае проводилась экстракорпоральная мембранная оксигенация в течение 3 сут. в связи с выраженной бивентрикулярной дисфункцией, длительность госпитализации $19,8 \pm 3,8$ дня (медиана 20 дней, от 14 до 28 дней).

Статистический анализ

Статистическая обработка результатов проведена с использованием программ STATISTICA 10.0. и MedCalc 12.1.1. Количественные данные представлены в виде среднего (M) и стандартного отклонения (SD), медианы (Me), диапазона минимальных и максимальных значений. Проверка гипотезы о нормальности распределения признаков производилась с помощью критерия Шапиро – Уилка. Различия в показателях расценивали как статистически значимые при $p < 0,05$. Для оценки связи между количественными призна-

ками использовали корреляционный анализ с расчетом коэффициента ранговой корреляции Спирмена (R_s). Для проверки значимости различий диапазонов послеоперационных значений ФВ ЛЖ в зависимости от исходных показателей деформации и скорости деформации ЛЖ использован дисперсионный анализ (ANOVA). Для проверки эффективности использования изучаемых показателей в качестве диагностического теста применен ROC-анализ (англ. Receiver Operating Characteristic) с определением площади под кривой (англ. Area Under Curve, AUC).

Результаты

За время наблюдения летальных исходов не зафиксировано. По данным электрокардиографии не выявлено нарушений проводимости среди обследованных больных. В двух случаях (3,07%) при завершении искусственного кровообращения по данным чреспищеводной ЭхоКГ отмечен резидуальный лево-правый шунт по верхнему краю заплаты (1 и 1,5 мм соответственно); не выявлено аортальной регургитации, трикуспидальная регургитация не более 1-й степени обнаружена в 13 случаях (20%). У всех пациентов в раннем послеоперационном периоде регистрировалось существенное снижение индексов конечного систолического объема ЛЖ (КСОи, с $31,6 \pm$

Таблица 2 Динамика данных продольной механики левого желудочка

| Показатель | Дети первого года жизни с дефектом межжелудочковой перегородки (I) | | | | Группа сравнения (II) | P _{I-II} |
|------------------------|--|---|--|--|---|-------------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | | |
| S ЛЖ, % | -14,5 ± 3,6 (Me -15,5, -6,7... -19,3) | -13,9 ± 3,5 (Me -15, -6,5... -18,5) | -13 ± 3,5 (Me -14,1, -5,6... -18,0) | -15,2 ± 4,5 (Me -16, -8,0... -19,3) | -20,1 ± 1,4 (Me -20, -18... -23) | 0,0000* |
| P | p ₁₋₂ = 0,4 | p ₂₋₃ = 0,21 | p ₃₋₄ = 0,006* | p ₁₋₄ = 0,31 | p _{4-II} = 0,0000* | |
| SR ЛЖ, с ⁻¹ | -0,70 ± 0,22 (Me -0,71, -0,28... -1,10) | -0,69 ± 0,20 (Me -0,69, -0,28... -1,00) | -0,66 ± 0,20 (Me 0,67, -0,27... -1,00) | -0,8 ± 0,1 (Me -0,8, -0,44... -1,20) | -1,00 ± 0,15 (Me -0,92, -0,8... -1,4) | 0,0000* |
| P | p ₁₋₂ = 0,1 | p ₂₋₃ = 0,5 | p ₃₋₄ = 0,0001* | p ₁₋₄ = 0,07 | p _{4-II} = 0,0001* | |

Примечание. S ЛЖ — продольная деформация левого желудочка; SR ЛЖ — скорость продольной деформации левого желудочка; 1 — исходный результат исследования; 2 — исследование при завершении операции; 3 — исследование в первые сутки после операции; 4 — исследование через 20 дней после операции; p_{I-II} (1) — сравнение данных детей первого года жизни с дефектом межжелудочковой перегородки (I) и здоровых детей группы сравнения (II); p₁₋₂, p₁₋₃, p₁₋₄ — сравнение данных детей с дефектом межжелудочковой перегородки на разных этапах оценки, p_{4-II} — сравнение данных у детей с дефектом межжелудочковой перегородки через 20 дней после операции и здоровых детей группы сравнения; * p < 0,05

15,8 до 22,1 ± 12,2 мл/м², p₁₋₂ = 0,0001, на 27,5 ± 18,4% от исходных данных), конечного диастолического объема ЛЖ (КДОи, с 86,8 ± 30,0 до 45,7 ± 22,2 мл/м², p₁₋₂ = 0,0001, на 40 ± 15% от исходного значения), ударного индекса ЛЖ (УИ, с 55,0 ± 18,5 до 23,0 ± 11,7 мл/м², p₁₋₂ = 0,00001, на 34,9 ± 19,0% от исходного показателя, данные в табл. 1). Также отмечено значительное снижение ФВ ЛЖ (с 66,4 ± 6,3 до 51,5 ± 9,7%, p₁₋₂ = 0,00001, на 22,5 ± 14,6% по сравнению с исходными показателями). Через сутки после операции имелась тенденция к нормализации объемных показателей ЛЖ (КСОи 24,5 ± 10,4 мл/м², p₂₋₃ = 0,037; КДОи 50,7 ± 22,0 мл/м², p₂₋₃ = 0,0006; УИ 22,5 ± 12,2 мл/м², p₂₋₃ = 0,4), хотя ФВ ЛЖ оставалась сниженной (48,3 ± 9,9%, p₂₋₃ = 0,0001). Таким образом, максимальное снижение КСОи и КДОи определялось при завершении искусственного кровообращения, а наиболее сниженные УИ и ФВ ЛЖ регистрировались в первые послеоперационные сутки. Выявлена слабая корреляция веса ребенка и процента редукиции ФВ ЛЖ после операции (R_s = 0,3, p = 0,039), длительности ишемии миокарда и процента редукиции ФВ ЛЖ (RS = 0,36, p = 0,003), исходного значения КСОи и процента редукиции ФВ ЛЖ (RS = 0,24, p = 0,04), размера ДМЖП и процента редукиции ФВ ЛЖ (R_s = 0,33, p = 0,006). Остальные изученные параметры (пол, КДОи, УИ, Qr/Qs, межжелудочковый градиент, среднее расчетное давление в легочной артерии, длительность искусственного кровообращения) не продемонстрировали значимой корреляционной связи со снижением ФВ ЛЖ в раннем послеоперационном периоде. К 20-м послеоперационным суткам волюметрические

параметры существенно оптимизировались (КСОи 28,2 ± 11,1 мл/м², p₃₋₄ = 0,0001, p₁₋₄ = 0,08; КДОи 56,8 ± 23,4 мл/м², p₃₋₄ = 0,00001, p₁₋₄ = 0,00001; УИ 32,3 ± 13,0 мл/м², p₃₋₄ = 0,00001, p₁₋₄ = 0,00001). Несмотря на статистически значимое увеличение ФВ ЛЖ, по сравнению с данными в первые сутки после операции, через 20 дней после хирургической коррекции порока ФВ ЛЖ не достигла дооперационных значений (55,5 ± 6,6%, p₃₋₄ = 0,00001, p₁₋₄ = 0,00001) и существенно отличалась от показателей у здоровых детей (69,6 ± 3,8%, p_{4-II} = 0,00001). На 20-е сут. после операции расчетные ЭхоКГ-данные среднего давления в легочной артерии снизились и соответствовали норме (с 33,6 ± 5,9 до 17,1 ± 5,5 мм рт. ст., p₁₋₄ = 0,00001).

При оценке динамики параметров продольной механики выявлено, что, по сравнению с исходными данными, показатели деформации и скорости деформации значимо не изменились ни при завершении операции (деформация ЛЖ исходно -14,5 ± 3,6%, при завершении операции -13,9 ± 3,5%; p₁₋₂ = 0,4; скорость деформации до операции -0,70 ± 0,22 с⁻¹, после -0,69 ± 0,21 с⁻¹, p₁₋₂ = 0,1), ни в первые послеоперационные сутки (деформация ЛЖ -13,0 ± 3,5%, p₂₋₃ = 0,21; скорость деформации ЛЖ -0,66 ± 0,20 с⁻¹, p₂₋₃ = 0,21), несмотря на существенные параллельные уменьшения КСОи и КДОи. К 20-м послеоперационным суткам показатели продольной механики увеличились (деформация ЛЖ -15,6 ± 2,7%, p₃₋₄ = 0,0006; скорость деформации ЛЖ -0,8 ± 0,1 с⁻¹, p₃₋₄ = 0,0001), однако они не достигли порога нормальных значений, определяемых у детей группы сравнения (деформация

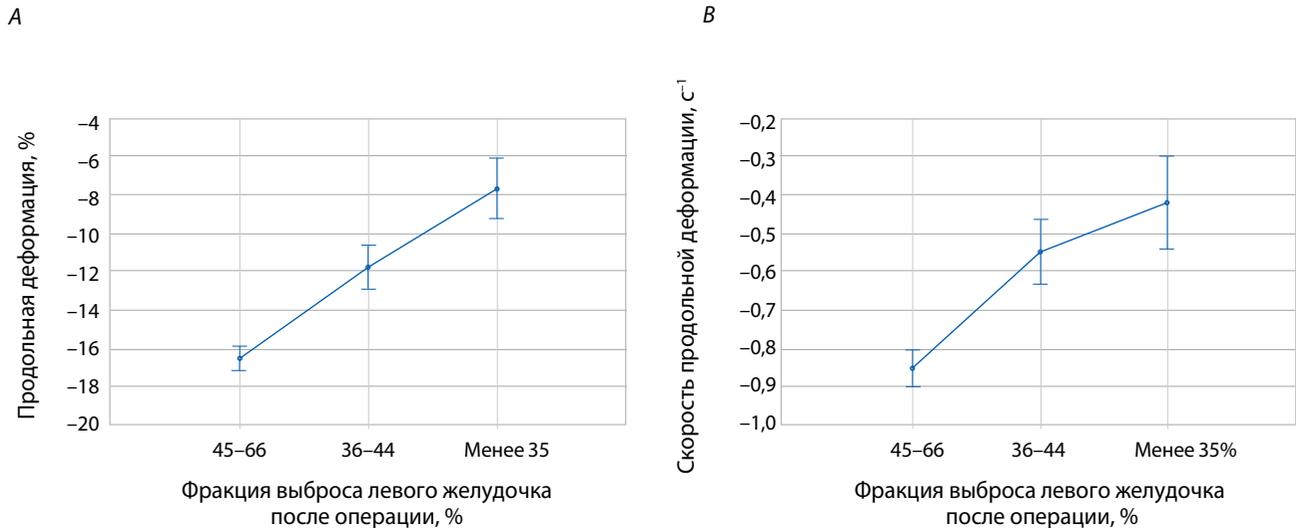


Рис. 2. Графики распределения диапазонов значений фракции выброса левого желудочка в первые сутки после операции в зависимости от продольной деформации (А) и скорости продольной деформации (Б) левого желудочка до операции

ЛЖ $-20,1 \pm 1,4\%$; $p_{4-11} = 0,0000$; скорость деформации $-1,00 \pm 0,15 \text{ с}^{-1}$, $p_{4-11} = 0,00001$; данные в табл. 2).

Выявлена значимая корреляция дооперационной продольной деформации и скорости деформации ЛЖ и ФВ ЛЖ как после завершения операции ($R_s = 0,8$, $p = 0,01$; $R_s = 0,7$, $p = 0,001$ соответственно), так и в 1-е сутки после операции ($R_s = 0,85$, $p = 0,01$; $R_s = 0,76$, $p = 0,001$ соответственно), тогда как корреляции ФВ ЛЖ до операции и деформации и скорости деформации исходно не выявлено ($R_s = -0,17$, $p = 0,16$; $R_s = -0,22$, $p = 0,07$ соответственно). Также исходные параметры деформации коррелировали с ФК сердечной недостаточности ($R_s = 0,57$, $p = 0,0001$; $R_s = 0,54$, $p = 0,0001$ соответственно), тогда как корреляции фракции выброса ЛЖ до операции и дооперационного функционального класса сердечной недостаточности не выявлено ($R_s = 0,07$, $p = 0,5$). Определялась связь дооперационных значений показателей продольной механики ЛЖ и длительности инотропной поддержки в послеоперационном периоде ($R_s = 0,77$, $p = 0,0001$; $R_s = 0,64$, $p = 0,002$ для деформации и скорости деформации соответственно). Анализ распределения продемонстрировал, что исходные значения деформации и скорости деформации ЛЖ соответствуют диапазонам значений ФВ ЛЖ в первые сутки после операции: при исходной деформации $-16,5 \pm 2,2\%$ (95% ДИ $-17,0 \dots -15,8\%$) и скорости деформации $-0,85 \pm 0,18 \text{ с}^{-1}$ (95% ДИ $-0,9 \dots -0,8 \text{ с}^{-1}$) фракция выброса ЛЖ 45–66% ($n = 44$, 67,7% пациентов); при исходной дефор-

мации $-11,7 \pm 1,7\%$ (95% ДИ $-12,7 \dots -10,7\%$) и скорости деформации $-0,60 \pm 0,13 \text{ с}^{-1}$ (95% ДИ $-0,50 \dots -0,75 \text{ с}^{-1}$) фракция выброса ЛЖ 36–44% ($n = 14$, 21,5% пациентов); при исходной деформации $-7,7 \pm 0,56\%$ (95% ДИ $-8,2 \dots -7,7\%$) и скорости деформации $-0,41 \pm 0,11 \text{ с}^{-1}$ (95% ДИ $-0,48 \dots -0,31 \text{ с}^{-1}$) фракция выброса ЛЖ не более 35% ($n = 7$, 10,8%; F-критерий 70,6, $p = 0,00001$; рис. 2). Для проверки надежности использования дооперационных показателей продольной механики ЛЖ в качестве маркеров прогнозирования значительного снижения ФВ ЛЖ в раннем послеоперационном периоде (не более 35%), а также для изучения чувствительности, специфичности и точки разделения проведен ROC-анализ (табл. 3, рис. 3). В прогнозировании значительного снижения ФВ ЛЖ в ранний срок после операции чувствительность определения исходных значений для продольной деформации ЛЖ составила 88%, специфичность 98,2% (AUC $0,97 \pm 0,02$, 95% ДИ $0,89-0,99$, точка разделения $-9,2\%$, Z-статистика 21,7, $p < 0,0001$); для скорости продольной деформации чувствительность составила 87,5%, специфичность 94,7% (AUC $0,94 \pm 0,04$, 95% ДИ $0,86-0,98$, точка разделения $-0,47 \text{ с}^{-1}$, Z-статистика 10,3, $p < 0,0001$). Прочие изученные исходные показатели (вес, размер ДМЖП, % редукции КСОи) обладали меньшими чувствительностью и специфичностью в отношении прогнозирования значительного снижения систолической функции ЛЖ после хирургической коррекции перимембранозного ДМЖП у детей первого года жизни.

Обсуждение

Описано несколько возможных механизмов развития контрактальной дисфункции ЛЖ после хирургической коррекции ДМЖП: уменьшение преднагрузки, увеличение постнагрузки, изменение геометрии ЛЖ (отношений передне-заднего и септо-латерального диаметров с относительным утолщением стенок ЛЖ), фиксация базальных сегментов межжелудочковой перегородки заплатой и, как следствие, отсутствие кинетики базального перегородочного сегмента, появление внутрижелудочковой механической диссинхронии, воздействие искусственного кровообращения и длительного пережатия аорты на функцию миокарда [5, 6, 15, 16]. Авторы ряда исследований отмечают, что изменения ФВ ЛЖ, связанные с уменьшением преднагрузки после закрытия ДМЖП, носят кратковременный характер и нивелируются в первые сутки послеоперационного периода [5, 15]. У большинства обследованных нами пациентов также отмечена нормализация УИ и ФВ ЛЖ за время наблюдения (n = 58; 89,2%). Однако у 7 больных (10,8%), несмотря на позитивные тенденции, угнетение систолической функции ЛЖ носило более стойкий характер и состояние не нормализовалось в течение 20 дней послеоперационного наблюдения. J.W. Roos-Hesselink и соавт. отмечают, что стойкая послеоперационная систолическая дисфункция ЛЖ после хирургической коррекции ДМЖП может быть основой для отдаленных неблагоприятных исходов, в том числе для снижения толерантности к физической нагрузке и развитию тяжелой сердечной недостаточности [17]. Полученные данные могут свидетельствовать в пользу исходных доопера-

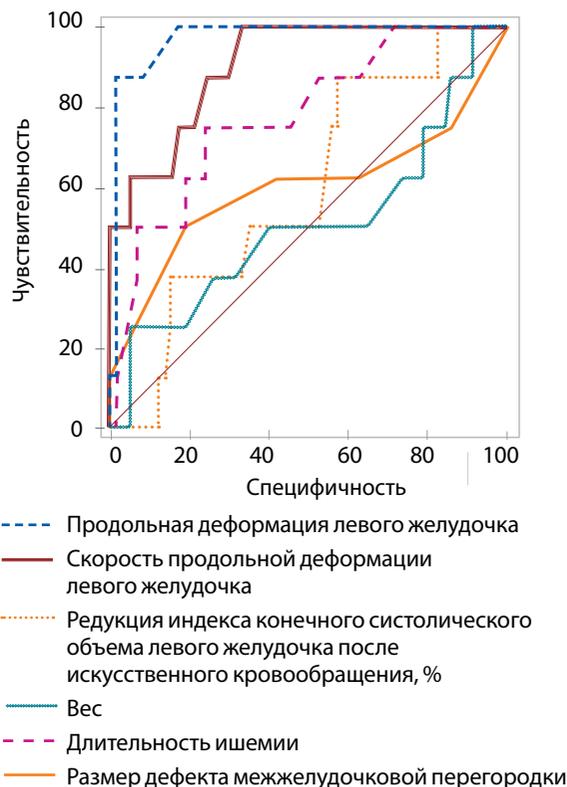


Рис. 3. Сравнение ROC-кривых диагностических параметров для прогноза выраженного снижения фракции выброса левого желудочка (не более 35%) после пластики перимембранозного дефекта межжелудочковой перегородки у детей первого года жизни в зависимости от исходных показателей

ционных субклинических изменений структуры ЛЖ у детей с перимембранозным ДМЖП, что обуславливает отсутствие быстрой нормализации систолической

Таблица 3 Сравнительная характеристика площади под ROC-кривой дооперационных характеристик для прогноза выраженного снижения фракции выброса левого желудочка (не более 35%) после пластики перимембранозного ДМЖП у детей первого года жизни

| Показатель | AUC | SE | 95% доверительный интервал | Z-статистика | Точка разделения для прогнозирования фракции выброса левого желудочка не более 35% |
|---------------------------------|------|------|----------------------------|--------------|--|
| S ЛЖ, % | 0,97 | 0,02 | 0,89–0,99 | 27,7* | >–9,2 |
| SR ЛЖ, с ⁻¹ | 0,94 | 0,04 | 0,86–0,98 | 10,3* | >–0,47 |
| Редукция КСОи после операции, % | 0,59 | 0,09 | 0,46–0,71 | 0,9 | >33 |
| Вес ребенка, кг | 0,5 | 0,1 | 0,38–0,63 | 0,05 | <4 |
| Длительность ишемии, мин | 0,77 | 0,09 | 0,65–0,81 | 1,07 | >38 |
| Размер ДМЖП, мм | 0,6 | 0,1 | 0,4–0,7 | 0,7 | >7 |

Примечание. AUC — площадь под ROC-кривой (англ. Area Under ROC Curve); SE — стандартная ошибка (англ. Standard Error); S ЛЖ — продольная деформация левого желудочка; SR ЛЖ — скорость продольной деформации левого желудочка; КСОи — индекс конечного систолического объема левого желудочка; ДМЖП — дефект межжелудочковой перегородки; * p<0,05

функции ЛЖ в послеоперационном периоде. Ряд авторов отмечает, что у пациентов с ДМЖП и гемодинамически значимым лево-правым шунтом патологическое воздействие, приводящее к ремоделированию ЛЖ, определяется воздействием объемной перегрузки, вызывающей различные морфо-функциональные изменения, в том числе нарушение гомеостаза коллагена, структуры межфибриллярных митохондрий и их связь с сократительными единицами саркомеров, нарушение субэндокардиальной перфузии, активацию очагового эндокардиального периваскулярного фиброза [18]. Очевидно, что перечисленные характеристики структурного ремоделирования миокарда ЛЖ, как правило, не могут быть идентифицированы методами конвенциональной ЭхоКГ. Изучение параметров продольной механики у детей с врожденными пороками сердца до операции, по мнению многих исследователей, является чувствительным маркером латентной систолической дисфункции ЛЖ, в том числе при перимембранозном ДМЖП [12, 13, 18, 19]. Исходя из полученных нами результатов, можно использовать параметры продольной деформации не только как компонент оценки систолической дисфункции ЛЖ, но и в качестве предикторов послеоперационного выраженного угнетения контрактильности ЛЖ. Получение деформации ЛЖ в продольном направлении более $-9,2\%$ и скорости деформации более $-0,47 \text{ с}^{-1}$ может обозначить группу пациентов, требующих наиболее пристального внимания анестезиологов, кардиохирургов и кардиологов для своевременной коррекции лечения и длительного послеоперационного наблюдения. Безусловно, требуется дальнейший тщательный клинический и ЭхоКГ-мониторинг этой категории пациентов для уточнения характеристик структурно-функционального ремоделирования левого желудочка.

Выводы

У детей первого года жизни с перимембранозным дефектом межжелудочковой перегородки снижены показатели продольной механики левого желудочка, что отражает его латентную систолическую дисфункцию. В первые сутки после хирургической коррекции перимембранозного дефекта межжелудочковой перегородки транзитное снижение фракции выброса и ударного индекса левого желудочка отмечено во всех случаях, а значительное снижение систолической функции левого желудочка возникает у $10,8\%$ пациентов. Параметры продольной механики левого

желудочка могут быть использованы как предикторы значимости контрактильной дисфункции левого желудочка в раннем послеоперационном периоде с точкой разделения для деформации более $-9,2\%$, скорости деформации более $-0,47 \text{ с}^{-1}$.

Финансирование

Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы / References

1. Sands A.J., Casey F.A., Craig B.G., Dornan J., Rogers J., Mulholland H. Incidence and risk factors for ventricular septal defect in "low risk" neonates. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed.* 1999;81(1):F61-F63. PMID: PMC1720968, PMID: 10375365. <http://dx.doi.org/10.1136/fn.81.1.f61>
2. Menting M.E., Cuypers J.A., Opic 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. PMID: 25953746. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jacc.2015.02.055>
3. Kitagawa T., Durham L.A. 3rd, Mosca R.S., Bove E.L. Techniques and results in the management of multiple ventricular septal defects. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 1998;115(4):848-56. PMID: 9576221. [http://dx.doi.org/10.1016/S0022-5223\(98\)70366-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0022-5223(98)70366-6)
4. Anderson B.R., Stevens K.N., Nicolson S.C., Gruber S.B., Spray T.L., Wernovsky G., Gruber P.J. Contemporary outcomes of surgical ventricular septal defect closure. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2013;145(3):641-7. PMID: 23414985. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jtcvs.2012.11.032>
5. Matsuhsa H., Yoshimura N., Higuma T., Masaki 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(3):891-7. PMID: 23895887. <http://dx.doi.org/10.1016/j.athoracsur.2013.05.013>
6. 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. [Martsinkevich G.I., Krivoshchekov E.V., Sokolov A.A. Early postoperative heart remodeling in children with ventricular septal defects. *Siberian Medical Journal.* 2012;27(1):44-48. (In Russ.)]
7. Patel D.R., Cui W., Gambetta K., Roberson D.A. A comparison of Tei index versus systolic to diastolic ratio to detect left ventricular dysfunction in pediatric patients. *J Am Soc Echocardiogr.* 2009;22(2):152-8. PMID: 19121569. <http://dx.doi.org/10.1016/j.echo.2008.11.021>
8. Неонатология: национальное руководство. Под ред. Н.Н. Володина. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2009. 848 с. [Neonatology: national guidelines. Volodin N.N., editor. Moscow: GEOTAR-Media Publ, 2009. 848 p. (In Russ.)]
9. Price J.F. *Unique aspects of heart failure in the neonate.* In: Shaddy R., editor. Heart failure in congenital heart disease. London: Springer-Verlag, 2011. p. 21-42. http://dx.doi.org/10.1007/978-1-84996-480-7_2
10. Lopes 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. PMID: 20451803. <http://dx.doi.org/10.1016/j.echo.2010.03.019>
11. Voigt J.U., Pedrizzetti G., Lysyansky P., Marwick T.H., Houle H., Baumann R., Pedri S., Ito Y., Abe Y., Metz S., Song J.H., Hamilton J., Sengupta P.P., Kolias T.J., d'Hooge J., Aurigemma G.P., Thomas J.D., Badano L.P. Definitions for a common standard for 2D speckle tracking echocardiography: consensus document of the EACVI/ASE/Industry Task Force to standardize deformation imaging. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging.* 2015;16(1):1-11. PMID: 25525063. <http://dx.doi.org/10.1093/ehjci/jeu184>
 12. Breatnach C.R., Levy P.T., James A.T., Franklin O., El-Khuffash A. Novel echocardiography methods in the functional assessment of the newborn heart. *Neonatology.* 2016;110(4):248-260. PMID: 27287615. <http://dx.doi.org/10.1159/000445779>
 13. Penk J., Patel A., Lay A., Webb C. Longitudinal strain and strain rate in patients with hemodynamically significant ventricular septal defects. *World J Pediatr Congenit Heart Surg.* 2014;5(2):216-8. PMID: 24668967. <http://dx.doi.org/10.1177/2150135113512334>
 14. Jashari H., Rydberg A., Ibrahim P., Bajraktari G., Kryeziu L., Jashari F., Henein M.Y. Normal ranges of left ventricular strain in children: a meta-analysis. *Cardiovasc Ultrasound.* 2015;13:37. PMID: 26250696, PMCID: PMC4528396. <http://dx.doi.org/10.1186/s12947-015-0029-0>
 15. Quinn T.A., Cabreriza S.E., Blumental B.F., Printz B.F., Altman K., Glickstein J.S., Snyder M.S., Mosca R.S., Quaegebeur J.M., Holmes J.W., Spotnitz H.M. Regional functional depression immediately after ventricular septal defect closure. *J Am Soc Echocardiogr.* 2004;17(10):1066-72. PMID: 15452473. <http://dx.doi.org/10.1016/j.echo.2004.06.021>
 16. Karadeniz C., Atalay S., Demir F., Tutar E., Ciftci O., Ucar T., Uysale A., Eyiletan Z. Does surgically induced right bundle branch block really effect ventricular function in children after ventricular septal defect closure? *Pediatr Cardiol.* 2015;36(3):481-8. PMID: 25293427. <http://dx.doi.org/10.1007/s00246-014-1037-9>
 17. Roos-Hesselink J.W., Meijboom F.J., Spitaels S.E., Van Domburg R., Van Rijen E.H., Utens E.M., Bogers A.J., Simoons M.L. Outcome of patients after surgical closure of ventricular septal defect at young age: longitudinal follow-up of 22-34 years. *Eur Heart J.* 2004;25(12):1057-62. PMID: 15191777. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ehj.2004.04.012>
 18. Barnes J., Dell'Italia L.J. The multiple mechanistic faces of a pure volume overload: implications for therapy. *Am J Med Sci.* 2014;348(4):337-46. PMID: 24781435, PMCID: PMC4504010. <http://dx.doi.org/10.1097/MAJ.0000000000000255>
 19. Kwok S-Y., Yeung S-S., Li V.W.-Y., Cheung Y-F. Ventricular mechanics after repair of subarterial and perimembranous VSDs. *Eur J Clin Invest.* 2017;47(12). PMID: 29082523. <http://dx.doi.org/10.1111/eci.12852>

Longitudinal mechanics as a component of the left ventricular systolic function in children of the first year of life in the early postoperative period after surgical perimembranous ventricular septal defect closure

Yuri S. Sinelnikov, Ekaterina N. Orekhova, Tatyana V. Matanovskaya

Sukhanov Federal Center for Cardiovascular Surgery of Healthcare Ministry of Russia, Perm, Russian Federation

Corresponding author. Tatyana V. Matanovskaya, tania-larigina@yandex.ru

Aim. To evaluate left ventricular systolic function in the early postoperative period after surgical perimembranous ventricular septal defect (VSD) closure in children aged <1 year using longitudinal mechanics.

Methods. Between 2014 and 2017, we examined 65 children aged 2–11 months with perimembranous VSD (mean diameter = 8.6 ± 1.7 mm) and a pulmonary-to-systemic blood flow ratio of >1.5/1. The longitudinal mechanics of the left ventricle (LV) were assessed using vector velocity imaging. All the children underwent surgical perimembranous VSD closure. Echocardiographic studies were performed preoperatively, immediately postoperatively, and 1 and 20 days postoperatively.

Results. In all the children, significant decreases in the LV end-systolic volume index, end-diastolic volume index, stroke volume index (SVI), and ejection fraction (EF) were identified immediately postoperatively when compared with the preoperative findings. One day postoperatively, the LV volume data normalized; however, in 10.8% of the children, the SVI and EF remained impaired. The percentage EF reduction showed weak correlations with the childrens' weights ($R_s = 0.3$; $p = 0.039$), aortic cross-clamping durations ($R_s = 0.36$; $p = 0.03$), and VSD sizes ($R_s = 0.33$; $p = 0.006$). Twenty days postoperatively, the LV volumetric parameters normalized; however, the EF did not reach the initial value. The longitudinal strain and strain rate were reduced preoperatively when compared with normal values. For the prediction of a postoperatively significant EF reduction ($\leq 35\%$), the preoperative LV strain had a sensitivity of 88%, specificity of 98.2%, and cutoff value of -9.2% ; the LV strain rate had a sensitivity of 87.8%, specificity of 94.7%, and cutoff value of -0.47 s^{-1} .

Conclusion. Children aged <1 year with perimembranous VSD showed reductions in the longitudinal mechanics of the LV, reflecting subclinical systolic dysfunction. One day after surgical correction, a transient decrease in LV systolic function was noted in all the children; however, a significantly impaired LV systolic function was noted in 10.8% of the children. Our findings indicate that the longitudinal mechanics of the LV can predict LV systolic dysfunction in the early postoperative period with high sensitivity and specificity.

Key words: longitudinal stain; perimembranous ventricular septal defect; systolic function

Received 17 January 2019. Revised 18 April 2019. Accepted 25 April 2019.

Funding: The study did not have sponsorship.

Conflict of interest: Authors declare no conflict of interest.

Copyright: © 2019 Sinelnikov et. al. This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 License.

How to cite: Sinelnikov Yu.S., Orekhova E.N., Matanovskaya T.V. 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 kardiokhirurgiya = Circulation Pathology and Cardiac Surgery.* 2019;23(1):17-25. <http://dx.doi.org/10.21688/1681-3472-2019-1-17-25> (In Russ.)