



Механическая функция правого желудочка у детей первого года жизни с тетрадой Фалло

Суханов С.Г., Орехова Е.Н., Синельников Ю.С., Суханов М.С.

ФГБУ «Федеральный центр сердечно-сосудистой хирургии» Минздрава России, 614000, Россия, Пермь, ул. Маршала Жукова, 35
УДК 616.12-007-053.1-053.2-07

Поступила в редакцию 15 августа 2014 г. Принята к печати 23 июля 2015 г.

| | |
|--------------------------|---|
| Введение | Функция правого желудочка (ПЖ) у пациентов с тетрадой Фалло (ТФ) во многом определяет результаты хирургической коррекции порока. |
| Цель | Оценка механической функции ПЖ с помощью векторного анализа скорости движения эндокарда у больных с тетрадой Фалло первого года жизни. |
| Материал и методы | Обследовано 25 пациентов с ТФ в возрасте $3,9 \pm 3,0$ мес. Группу сравнения составили 20 здоровых детей. Проводилась оценка векторного анализа продольной деформации (S) и скорости деформации (SR) ПЖ. S ПЖ была снижена у пациентов с ТФ по сравнению со здоровыми детьми ($-11,7 \pm 4,1$ против $-32,1 \pm 3,9\%$, $p < 0,05$). SR была также значимо снижена у больных с ТФ ($-1,4 \pm 0,6$ против $-3,0 \pm 0,6\%$, $p < 0,05$). У пациентов с ТФ S ПЖ была меньше левого ($-11,7 \pm 4,1$ против $-15 \pm 5,0\%$, $p < 0,05$). Значительно сниженной была также SR ПЖ как в раннюю диастолу у пациентов с ТФ ($1,5 \pm 0,54$ против $3,2 \pm 0,53$ с ⁻¹ , $p < 0,05$), так и позднюю ($0,5 \pm 0,5$ против $1,6 \pm 0,5$ с ⁻¹ , $p < 0,05$). |
| Результаты | Выявлена корреляция градиентов на клапане легочной артерии и S ПЖ ($R_s = 0,89$ и $0,8$), обратная корреляция систолической SR и диаметра ствола и ветвей легочной артерии ($R_s = -0,81$, $-0,79$). Механическое ремоделирование правого желудочка у больных с тетрадой Фалло проявляется снижением показателей глобальных и региональных значений систолической и диастолической продольной деформации. |
| Выводы | Систолическое механическое ремоделирование правого желудочка у детей первого года жизни с ТФ представлено значительным снижением скорости глобальной продольной систолической деформации правого желудочка и деформации, уменьшающимися пропорционально степени обструкции путей оттока из правого желудочка. Диастолическое механическое ремоделирование правого желудочка проявляется выраженным нарушением релаксации в виде монофазности наполнения в раннюю и позднюю диастолу. |
| Ключевые слова | Тетрада Фалло • Правый желудочек • Продольная деформация • Скорость деформации |

Функция правого желудочка (ПЖ) у пациентов с тетрадой Фалло (ТФ) во многом определяет непосредственные и отдаленные результаты хирургической коррекции порока [1]. Анатомия, геометрия и функция ПЖ, особенно у пациентов первого года жизни, сложны для конвенциональной эхокардиографической (ЭхоКГ) оценки [2]. Традиционные измерения линейных и объемных показателей ПЖ – конечный систолический объем (КСО), конечный диастолический объем (КДО), фракция выброса (ФВ) – не предоставляют исчерпывающего количественного описа-

ния процессов его ремоделирования [3]. Продольная деформация (S) и скорость деформации (SR) рассматриваются как основные показатели механической функции желудочков. Немногочисленные работы посвящены изучению особенностей механического ремоделирования ПЖ у больных с ТФ после радикальной коррекции или паллиативных вмешательств [4]. Большинство показателей, используемых для идентификации механической функции ПЖ (скорость (Vel), деформация и скорость деформации), основаны на доплеровской визуализации тканей, которая зависит от

Таблица 1 Основные показатели традиционной двухмерной ЭхоКГ-оценки (M±SD)

| Показатель | Пациенты с ТФ, n = 25 | Группа здоровых, n = 20 | P |
|---------------------------------|--------------------------|----------------------------|----------|
| КСР ЛЖ, мм | 10,4±1,2 | 13,4±0,9 | 0,00000 |
| КДР ЛЖ, мм | 18,2±1,2 | 22,7±1,3 | 0,00000 |
| ФВ ЛЖ, % | 72,7±3,7 | 74,5±4,0 | 0,1 |
| ФВ ПЖ, % | 67,1±3,4 | 68,5±2,9 | 0,09 |
| СЭ ФК ТК, см/с | 22,5±4,2 | 23,3±3,4 | 0,6 |
| Tei индекс | 0,64±0,1 | 0,28±0,03 | 0,00000 |
| Диаметр ПЖ, мм | 10,4±1,5 | 9,1±1,6 | 0,009 |
| Диаметр ФК ТК, мм | 13,0±2,7 | 10,5±0,9 | 0,0027 |
| Толщина свободной стенки ПЖ, мм | 5,2±0,7 | 2,2±0,3 | 0,00000 |
| ВТПЖ, мм | 3,8±1,1 | 12,2±1,5 | 0,00000 |
| КЛА, мм | 5,2±2,0 | 9,8±0,9 | 0,0016 |
| Ствол ЛА, мм | 5,8±1,8 | 10,8±0,9 | 0,00000 |
| Левая ветвь ЛА, мм | 4,02±1,9 | 5,8±0,6 | 0,000023 |
| Правая ветвь ЛА, мм | 4,06±1,8 | 5,9±0,6 | 0,00002 |
| Pg КЛА, мм рт. ст. | 67,4±22,6 | 3,1±0,6 | 0,0000 |
| Mg КЛА, мм рт. ст. | 39,6±16,7 | 1,5±0,3 | 0,0000 |

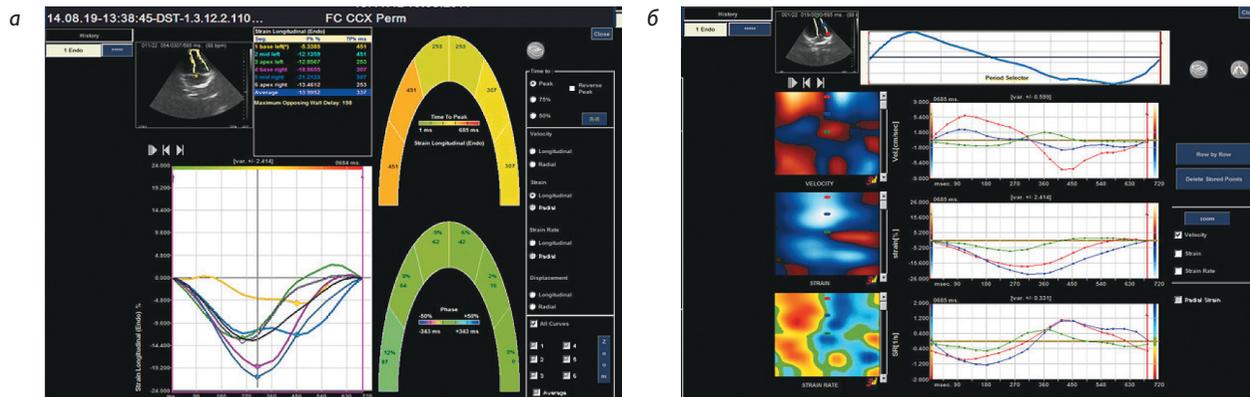
угла ультразвукового сканирования и является маловоспроизводимым способом объективной количественной оценки систолической и диастолической деформации ПЖ [4]. Векторный анализ скорости движения эндокарда (Vector velocity imagine, VVI) относительно новый ЭхоКГ-метод для оценки механического компонента функции ПЖ, основанный на двухмерном В-режиме серошкальных изображений, где вектор показывает направление и скорость движения, без зависимости доплеровского угла и/или частоты кадров [5]. При помощи VVI возможно изучить следующие параметры: вектор скорости в В-режиме изображения, который указывает направление и относительную скорость движения ткани в течение сердечного цикла, цветной М-режим отображения по выбранным пользователем сегментам, графическое изображение продольной деформации и скорости деформации ткани в разные фазы сердечного цикла, время до достижения пикового значения деформации, а также глобальные и региональные показатели механики ПЖ. Клиническая доступность измерений деформации и скорости деформации может предложить решение текущих потребностей в количественной оценке механической функции ПЖ у больных с ТФ. Тщательный анализ дооперационных значений S и SR в зависимости от вариантной анатомии порока позволит дополнить представление кардиохирургов и кардиологов об исходной функции ПЖ, оптимизировать тактику и улучшить результаты лечения.

Цель исследования – оценка механической функции правого желудочка с помощью векторного анализа скорости движения эндокарда у больных с тетрадой Фалло первого года жизни.

Материал и методы

Обследовано 25 пациентов с ТФ в возрасте 3,9±3,0 мес. (1–11 мес.), массой тела 4,9±1,6 кг, площадью поверхности тела (ППТ) 0,29±0,09 м², из них 14 мальчиков (56%) госпитализированы в ФГБУ «ФЦССХ» Минздрава России (г. Пермь) для радикальной коррекции порока за период с 2012 по 2014 г. Родители пациентов подписали информированное согласие, исследование одобрил этический комитет учреждения. Группу сравнения составили 20 сопоставимых по возрасту (3,3±3,0 мес.), массе тела (5,1±1,8 кг) и ППТ (0,3±0,08 м²) здоровых детей. Состояние пациентов с ТФ, включенных в исследование, оценено как средней степени тяжести, у 13 больных (52%) отмечались одышно-цианотические приступы, перкутанная сатурация кислорода составила 85±6,3% (от 70 до 93), уровень гемоглобина – 134±17,8 г/л, частота сердечных сокращений – 139±13 в мин. Из исследования исключены пациенты, требовавшие респираторной и кардиотонической поддержки до операции, с крайними формами ТФ, сопутствующими заболеваниями, нарушением проводимости (с полной блокадой правой ножки пучка Гиса).

Пациентам выполняли комплекс клинических, лабораторных и инструментальных исследований (ЭКГ, общий и биохимический анализы крови, оценка показателей гемостаза, рентгенография органов грудной клетки, ЭхоКГ, мультиспиральная компьютерная томография или ангиокардиография для детальной морфометрической оценки выходного тракта ПЖ (ВТПЖ), клапана легочной артерии (КЛА), ствола и ветвей ЛА). У всех пациен-



Оценка механической функции ПЖ с использованием векторного анализа скорости движения эндокарда: а – глобальный показатель систолической деформации ПЖ в четырехкамерной проекции, рассчитывается офлайн автоматически после ручной трассировки границы эндокарда. Данные представлены в виде поsegmentарных (6 сегментов в таблице) и глобальных значений, а также графики; б – оценка региональных показателей по выбранному пользователем точкам. Демонстрация в виде изогнутого М-режима, графиков скорости продольного смещения, деформации и скорости деформации боковых сегментов ПЖ на базальном, медиальном и апикальном уровнях

тов с ТФ отмечена декстрапозиция аорты, в 24 случаях (96%) подаортальный и в 1 случае (4%) подартеральный дефект межжелудочковой перегородки (ДМЖП), гипертрофия инфундибулярного отдела ПЖ, умеренная (56%) и выраженная (44%) обструкция путей оттока от ПЖ. Коллатеральный легочный кровоток в 7 случаях (28%) был представлен большими аортолегочными коллатеральями, у 9 пациентов (36%) функционирующим открытым артериальным протоком, межпредсердное сообщение обнаружено у 12 пациентов (48%). Для изучения функции ПЖ выполняли ЭхоКГ на аппарате Acuson S 2000 (Siemens Medical Systems, Mountain View, CA, USA). Данные традиционных двухмерных ЭхоКГ-показателей представлены в табл. 1. Для оценки геометрии и функции ПЖ измеряли: линейные размеры ПЖ в диастолу (мм), толщину свободной стенки ПЖ в диастолу (мм), ФВ ПЖ (метод Simpson, %), Tei индекс ПЖ (отношение суммы времени изово-

люмического расслабления и изоволюмического сокращения ко времени выброса; используется как показатель систолической функции и возрастает по мере увеличения массы желудочка), систолическую экскурсию фиброзного кольца трикуспидального клапана (ФК ТК) методом Kaul (см/с). Помимо конвенциональных показателей, оценивали векторный анализ S и SR ПЖ из позиций 4 и 2 камер на основе динамической оценки двухмерного ЭхоКГ серошкального изображения с использованием патентованной технологии speckle tracking Syngo VVI. В любой момент сердечного цикла проводили ручную трассировку внутреннего контура ПЖ (эндокарда), отступая 1 мм от латеральной части фиброзного кольца трикуспидального клапана, начиная от боковой стенки ПЖ и заканчивая на 1 мм ниже уровня ТК на перегородочном уровне у здоровых, на уровне окончания сигнала в МЖП в В-режиме – у пациентов с ТФ в проекции 4 и 2 камер

Таблица 2 ЭхоКГ-характеристики глобальной механической функции ПЖ у обследованных пациентов с ТФ и здоровых детей первого года жизни (M±SD)

| Показатель | Пациенты с ТФ, n = 25 | Группа здоровых, n = 20 | P |
|----------------------------|-----------------------|-------------------------|---------|
| Sys S ПЖ, % | -11,7±4,1 | -32,1±3,9 | 0,0000* |
| Sys S ЛЖ, % | -15,0±5,0 | -30±3,5 | 0,0000* |
| Sys SR ПЖ, с ⁻¹ | -1,4±0,6 | -3,0±0,6 | 0,0000* |
| ED SR ПЖ, с ⁻¹ | 0,9±0,3 | 3,2±0,5 | 0,0000* |
| LD SR ПЖ, с ⁻¹ | 0,7±0,4 | 1,62±0,5 | 0,0000* |

Sys S – систолическая деформация; Sys SR – скорость систолической деформации; ED SR – скорость ранней диастолической деформации; LD SR – скорость поздней диастолической деформации. * p<0,05 – достоверность различий между пациентами с ТФ и здоровыми детьми

Таблица 3 ЭхоКГ-характеристики локальной механической функции ПЖ у обследованных пациентов с ТФ и здоровых детей первого года жизни

| Стенка | Уровень | Sys S, % | | Sys SR, с ⁻¹ | | Dias S, % | | ED SR, с ⁻¹ | | LD SR, с ⁻¹ | |
|---------|---------|-----------|------------|-------------------------|-----------|-----------|------------|------------------------|----------|------------------------|----------|
| | | ТФ | здоровые | ТФ | здоровые | ТФ | здоровые | ТФ | здоровые | ТФ | здоровые |
| Боковая | Б | -11,0±4,0 | -36,0±8,5* | -1,5±1,0 | -3,4±0,8* | 13,0±5,0 | 46,0±11,0* | 1,2±0,3 | 3,0±0,9* | 1,1±0,2 | 1,7±0,6* |
| | С | -7,0±4,0 | -35,5±8,0* | -0,9±1,1 | -2,4±0,8* | 9,0±4,1 | 30,0±7,3* | 0,8±0,3 | 2,4±0,8* | 0,7±0,2 | 1,2±0,4* |
| | А | -6,7±5,0 | -38,5±8,0* | -0,8±0,9 | -3,6±0,7* | 6,0±2,1 | 26,0±6,8* | 0,7±0,1 | 2,6±1,0* | 0,6±0,08 | 1,3±0,5* |
| МЖП | Б | - | -33,0±9,0 | - | -3,0±0,8 | - | 34,4±6,3 | - | 3,5±0,9 | - | 1,5±0,3 |
| | С | -10,0±3,5 | -30,5±7,0* | -1,2±1,1 | -2,7±0,7* | 12,0±5,9 | 28,0±7,5* | 1,6±0,8 | 2,4±0,5* | 1,3±0,4 | 1,6±0,4* |
| | А | -9,0±3,5 | -35±8,0* | -1,1±0,9 | -2,5±0,7* | 10,0±5 | 32,0±7,1* | 1,3±0,2 | 2,6±0,4* | 0,9±0,3 | 1,8±0,5* |

Б – базальный уровень, С – средний уровень, А – апикальный уровень; Sys S – систолическая деформация; Sys SR – систолическая скорость деформации; Dias S – диастолическая деформация; ED SR – ранняя диастолическая скорость деформации; LD SR – поздняя диастолическая скорость деформации. * p<0,05 – достоверность различий между пациентами с ТФ и здоровыми детьми

(длинная ось приточного тракта ПЖ) [7]. Для характеристики локальной продольной S и SR выбирали три точки на эндокарде свободной стенки ПЖ и межжелудочковой перегородки в позиции четырех камер на базальном, медиальном и апикальном уровнях, результаты оценивали в режиме постобработки. Данные получали в фазу систолы ПЖ, ранней и поздней диастолы (рисунок). Для оценки глобальных показателей деформации левого (ЛЖ) и правого желудочков полученные параметры из двух-, четырехкамерных проекций были усреднены.

Статистический анализ

Статистический анализ материала проведен при помощи пакета программ Statistica 8.0. Для описания количественных признаков использовали значения среднего (M) и стандартного отклонения (SD). Оценку статистической достоверности различий (p) между группами проводили с использованием параметрических методов (при нормальном распределении признака) – двухвыборочного t-критерия Стьюдента для сравнений средних (M±SD). Различия показателей считали достоверными при уровне значимости p<0,05. Зависимость между изучаемыми количественными признаками определяли с помощью коэффициента линейной корреляции Спирмена (Rs).

Результаты

Систолическая функция обоих желудочков соответствовала нормам и достоверно не различалась у пациентов с ТФ и здоровых обследованных: ФВ ЛЖ 72,7±3,7 и 74,5±4%, p = 0,1; ФВ ПЖ 67,1±3,4 и 68,5±2,9%, p = 0,09 [5]. Систолическая экскурсия кольца ТК также достоверно не различалась у больных с ТФ и здоровых детей: 22,5±4,2 и 23,3±3,4 см/с, p = 0,6. Индекс Tei у больных с ТФ был достоверно выше по сравнению со здоровыми обследован-

ными (0,64±0,1 против 0,28±0,03, p = 0,0000). Выявлена прямая корреляционная связь индекса Tei и толщины миокарда ПЖ у пациентов с ТФ (Rs = 0,74).

У обследованных здоровых детей первого года жизни показатели систолического и диастолического S и SR сопоставимы с нормальными значениями, полученными другими исследователями, и значительно отличались от таковых у детей первого года жизни с ТФ [5]. Показатель глобальной систолической продольной деформации ПЖ достоверно снижен у пациентов с ТФ по сравнению со здоровыми детьми (-1,7±4,1 против -32,1±3,9%, p = 0,0000). Скорость систолической деформации была также значимо снижена у больных с ТФ (-1,4±0,6 против -3,0±0,6%, p = 0,00000). Кроме того, отмечено снижение систолического продольного стрейна не только правого, но и левого желудочка у больных с ТФ (S ЛЖ -15±5%, S ПЖ -11,7±4,1%), что обусловлено шунтированием крови через ДМЖП слева направо и возможной функциональной гиповолемией ЛЖ. Известно, что в норме продольная деформация правого желудочка больше левого [6]. Преобладание показателей систолической деформации ПЖ над левым продемонстрировано в группе обследованных здоровых детей до года (S ЛЖ -30±3,5%, S ПЖ -32±3,9%). У пациентов с ТФ деформация ПЖ, как показано выше, меньше, чем у левого, что обусловлено степенью выраженности исходного механического ремоделирования желудочков. Значительно сниженной была также скорость продольной деформации ПЖ как в раннюю диастолу у пациентов с ТФ (1,5±0,54 против 3,2±0,53 с⁻¹, p = 0,0000), так и в позднюю диастолу (0,5±0,5 против 1,6±0,5 с⁻¹, p = 0,0000) (табл. 2).

Выявлена корреляция пикового и среднего градиентов на КЛА и глобальной систолической продольной деформации ПЖ (Rs = 0,89 и 0,8): чем более выражена обструкция

путей оттока из ПЖ, тем более низкие значения глобального продольного систолического стрейна. Обнаружена сильная прямая корреляционная связь между индексом Tei и значениями глобальной продольной систолической S и SR ($R_s = 0,8$ и $0,77$), что свидетельствует в пользу наличия систолической дисфункции ПЖ. Показатели скорости систолической деформации обратно коррелировали с диаметром ствола и ветвей ЛА ($R_s = -0,81, -0,79$).

При посегментарной оценке ПЖ обнаружено снижение S и SR на всех уровнях в систолу, раннюю и позднюю диастолу, что подтверждает наличие систолической и диастолической механической дисфункции ПЖ (табл. 3). У здоровых детей показатели систолической деформации и скорости деформации увеличивались от базальных сегментов боковой стенки ПЖ ($S -35,7 \pm 8,5\%$, $SR -3,4 \pm 0,8 \text{ с}^{-1}$) к апикальным ($S -37,7 \pm 7,6\%$, $SR -3,6 \pm 0,7 \text{ с}^{-1}$), тогда как у больных с ТФ (исходно более низкие по сравнению с нормальными) показатели деформации и скорости деформации снижались от базальных сегментов ($S -11,1 \pm 3,9\%$, $SR -1,5 \pm 1 \text{ с}^{-1}$) к верхушечным ($S -6,7 \pm 5,5\%$, $SR -0,8 \pm 0,9 \text{ с}^{-1}$). Кроме того, значения сегментарного стрейна и скорости стрейна боковой стенки ПЖ у здоровых детей были выше аналогичных значений межжелудочковой перегородки со стороны ПЖ: S базальный боковая стенка $-35,7 \pm 8,5\%$, S медиальный боковая стенка $-35,5 \pm 8,1\%$, S апикальный боковая стенка $-37,7 \pm 7,6\%$; SR базальный боковая стенка $-3,4 \pm 0,8 \text{ с}^{-1}$, SR медиальный боковая стенка $-2,4 \pm 0,8 \text{ с}^{-1}$, SR апикальный боковая стенка $-2,6 \pm 0,7 \text{ с}^{-1}$; S базальный МЖП $-33,1 \pm 8,8\%$, S медиальный МЖП $-30,5 \pm 7,3\%$, S апикальный МЖП $-35,2 \pm 7,7\%$; SR базальный МЖП $-3,0 \pm 0,8 \text{ с}^{-1}$, SR медиальный МЖП $-2,7 \pm 0,7 \text{ с}^{-1}$, SR апикальный МЖП $-2,5 \pm 0,7 \text{ с}^{-1}$. У пациентов с ТФ систолические показатели S и SR боковой стенки на медиальном и апикальном уровнях были ниже, чем в противоположных сегментах межжелудочковой перегородки: S базальный боковая стенка $-11,1 \pm 3,9\%$, S медиальный боковая стенка $-7,4 \pm 4,2\%$, S апикальный боковая стенка $-6,7 \pm 5,5\%$; SR базальный боковая стенка $-1,5 \pm 1 \text{ с}^{-1}$, SR медиальный боковая стенка $-0,9 \pm 1,1 \text{ с}^{-1}$, SR апикальный боковая стенка $-0,8 \pm 0,9 \text{ с}^{-1}$; S медиальный МЖП $-10 \pm 3,5\%$, S апикальный МЖП $-8,7 \pm 3,5\%$; SR медиальный МЖП $-1,2 \pm 1,1 \text{ с}^{-1}$, SR апикальный МЖП $-1,1 \pm 0,9 \text{ с}^{-1}$. Таким образом, посегментарная способность продольно ориентированных волокон к систолической деформации (то есть к укорочению) и скорость деформации у детей первого года жизни с ТФ значительно снижена. Данные о продольной систолической деформации апикальных сегментов боковой стенки ПЖ свидетельствуют о том, что часть волокон в момент систолы либо не укорачивается, либо, наоборот, удлиняется (полученный диапа-

зон значений стрейна от -16 до $3,9$). Диастолические параметры деформации и скорости деформации были также существенно нарушены у пациентов с ТФ. Диастолическая деформация у больных с ТФ была снижена во всех сегментах боковой стенки ПЖ, что является маркером нарушенного комплаенса и повышенного давления наполнения (S базальный сегмент $13,0 \pm 5,0\%$, S медиальный $9,0 \pm 4,1\%$, S апикальный $6,0 \pm 2,1\%$ у пациентов с ТФ против S базальный $46,0 \pm 11,0\%$, S медиальный $30,0 \pm 7,3\%$, S апикальный $26,0 \pm 6,8\%$ у здоровых, для всех межгрупповых сравнений $p < 0,05$), и МЖП (S медиальный $12,0 \pm 5,9\%$, S апикальный $10,0 \pm 5,0\%$ у пациентов с ТФ против S базальный $34,4 \pm 6,3\%$, S медиальный $28,0 \pm 7,5\%$, S апикальный $32,0 \pm 7,1\%$ у здоровых, $p < 0,05$). Значительно была угнетена скорость продольной деформации в раннюю диастолу ПЖ, в связи с чем показатели SR во время ранней и поздней диастолы были практически одинаковы: ранняя диастола – SR базальный $1,2 \pm 0,3 \text{ с}^{-1}$, SR медиальный $0,8 \pm 0,3 \text{ с}^{-1}$, SR апикальный $0,7 \pm 0,1 \text{ с}^{-1}$; поздняя диастола – SR базальный $1,1 \pm 0,2 \text{ с}^{-1}$, SR медиальный $0,7 \pm 0,3 \text{ с}^{-1}$, SR апикальный $0,6 \pm 0,1 \text{ с}^{-1}$, $p > 0,05$ для всех соответствующих измерений). Региональная неоднородность SR у больных с ТФ проявилась и в том, что скорость деформации перегородки на медиальном и апикальном уровнях была выше, чем в аналогичных сегментах боковой стенки. Полученные данные свидетельствуют о выраженном нарушении релаксационной способности и податливости ПЖ у детей с тетрадой Фалло.

Обсуждение

К настоящему времени отсутствует не только доказательная база по оценке систолической и диастолической деформации миокарда ПЖ у больных с ТФ, но и общепризнанные нормативные показатели, в связи с чем актуально накопление фактических данных о значениях S и SR в систолу, раннюю и позднюю диастолу. Учитывая морфологические особенности строения ПЖ (продольные волокна доминируют в свободной стенке ПЖ), исследование именно продольного S и SR (не радиального или циркулярного) является приемлемым для изучения процессов механического ремоделирования ПЖ [7]. Ряд исследователей, изучавших показатели тканевой доплер-эхокардиографии левого и правого желудочков у детей первого года жизни с ТФ, считают, что систолическая функция миокарда правого желудочка не изменена до операции, но значительно снижается после радикальной коррекции порока [1]. Однако полученные нами данные небольшой группы пациентов совпадают с результатами Solarz D.E. и соавт., продемонстрировавшими достовер-

ные различия в значениях S и SR как в систолу, так и диастолу у больных с ТФ по сравнению со здоровыми детьми [8]. Выявленная механическая дисфункция ПЖ у пациентов с ТФ первых месяцев жизни, вероятно, связана с тем, что малодифференцированные, по данным гистоморфометрического анализа, кардиомиоциты гипертрофируются пропорционально степени обструкции путей оттока из ПЖ [9]. Однако они функционально неполноценны, что подтверждается хорошо развитым гранулярным эндоплазматическим ретикуломом и аппаратом Гольджи, наличием непараллельных миофибрилл, множественными вставочными дисками, скоплением мелких митохондрий в сочетании с зонами сборки новых миофибрилл [10]. Сохраняющаяся гипоксемия у новорожденных с ТФ сопровождается торможением развития белоксинтезирующих структур, роста, дифференцировки кардиомиоцитов ПЖ и активацией ультраструктурной перестройки гипертрофированных кардиомиоцитов с постепенной утратой специализированных структур.

Таким образом, продолжающееся в онтогенезе ремоделирование ПЖ у детей первых месяцев жизни с ТФ ассоциируется с нарушением показателей механической функции ПЖ. Для оценки диастолических свойств ПЖ у детей первого года жизни традиционные показатели релаксации не подходят, так как на фоне высокой частоты сердечных сокращений ранний и поздний пики сливаются [11]. Значения скорости стрейна в раннюю и позднюю диастолу отражают наполнение ПЖ. Выявленные нами нарушения скорости деформации в диастолическую фазу ПЖ свидетельствуют о выраженном нарушении процессов активной релаксации значительно гипертрофированного желудочка, работающего в условиях постоянной перегрузки давлением. Значения диастолической скорости деформации в фазу ранней и поздней диастолы сопоставимы, что подтверждает значительно повышенную диастолическую жесткость ПЖ. Таким образом, у обследованных нами пациентов с ТФ монофазное наполнение ПЖ, который становится ненаполняемым и функционирует как кондуит между правым предсердием и стенозированным отточным трактом, не способным принимать кровь под низким давлением. Часто описываемые в литературе осложнения после радикальной коррекции ТФ ассоциированы с правожелудочковой дисфункцией и, как предполагают исследователи, возникают в связи с повреждением инфундибулярного отдела ПЖ, появлением пульмональной регургитации [2, 12]. Полученные нами данные свидетельствуют о том, что признаки систолической и диастолической дисфункции у пациентов с ТФ имеются исходно, только традиционные способы оценки функции ПЖ не способны их идентифицировать. Все

перечисленные признаки механического ремоделирования являются дополнительными критериями в пользу раннего хирургического вмешательства и тщательности выбора способа коррекции, так как сократительная способность миокарда у пациентов с ТФ исходно скомпрометирована.

Заключение

1) У пациентов с ТФ изменены показатели механической функции обоих желудочков.

2) Механическое ремоделирование ПЖ у больных с ТФ проявляется снижением показателей как глобальных, так и региональных значений систолической и диастолической деформации.

3) Систолическое механическое ремоделирование ПЖ у детей первого года жизни с ТФ представлено значительным снижением скорости глобальной продольной систолической деформации ПЖ и деформации, уменьшающейся пропорционально степени обструкции путей оттока из ПЖ.

4) Диастолическое механическое ремоделирование ПЖ у детей первого года жизни с ТФ проявляется выраженным нарушением релаксации в виде монофазности наполнения в раннюю и позднюю диастолу.

Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов, связанных со статьей.

Список литературы

1. Барышникова И.Ю., Плахова В.В., Купряшов А.А., Зеленикин М.А. Функциональное состояние миокарда желудочков у детей раннего возраста с тетрадой Фалло до и после радикальной коррекции порока // Бюллетень НЦССХ им. А.Н. Бакулева «Сердечно-сосудистые заболевания». 2010. Т. 11. № 6. С. 242.
2. Morales D.L., Zafar F., Frazer C.D. Right ventricular infundibulum sparing (RVIS) tetralogy of fallot repair: a review of over 300 patients // Ann. Surg. 2009. Vol. 250. № 4. P. 611–617.
3. Di Salvo G., Pacileo G., Rea A. et al. Quantitative evaluation of regional myocardial function using strain and strain rate imaging: normal values in pediatric age // Ital. Heart J. Suppl. 2005. Vol. 6 № 7. P. 420–426.
4. Weidemann F., Eyskens B., Mertens L. et al. Quantification of regional right and left ventricular function by ultrasonic strain rate and strain indexes after surgical repair of tetralogy of Fallot // Am. J. Cardiol. 2002. Vol. 90. № 2. P. 133–138.
5. Kutty S., Deatsman S.L., Nugent M.L., et al. Assessment of regional right ventricular velocities, strain, and displacement in normal children using velocity vector imaging // Echocardiography. 2008. Vol. 25. № 3. P. 294–307.
6. Алехин М.Н. Ультразвуковые методы оценки деформации миокарда и их клиническое значение. М., 2012. 88 с.
7. Tazar J., Alvarez M.S. Quantification of Right Ventricular Function in Pulmonary Hypertension // Rev. Fed. Arg. Cardiol. 2012. Vol. 41. № 2. P. 89–95.
8. Solarz D.E., Witt S.A., Glascock, B.J. et al. T.R. Right ventricular strain rate and strain analysis in patients with repaired tetralogy of Fallot: possible interventricular septal compensation // J. Am. Soc. Echocardiogr. 2004. Vol. 17. № 4. P. 338–344.

9. Kuruvilla S., Balakrishnan K.R., Parvathy U. Right ventricular myocardium in Fallot's tetralogy: a light microscopic, morphometric and ultrastructural study // *Images Paediatr. Cardiol.* 2004. Vol. 6. № 4. P. 1–30.
10. Егорова И.Ф., Серов Р.А., Ильин В.Н., Шарыкин А.С. Морфофункциональный анализ состояния кардиомиоцитов правого желудочка у больных тетрадой Фалло // *Арх. патол.* 2001. № 4. С. 8–13.
11. Mertens L.L., Friedberg M.K. Imaging the right ventricle—current state of the art // *Nat. Rev. Cardiol.* 2010. Vol. 7. P. 551–563.
12. Бокерия Л.А., Сокольская Н.О. Эхокардиографическая оценка функции миокарда у больных с врожденными пороками сердца в раннем послеоперационном периоде. М., 2004. 77 с.

Сведения об авторах

Суханов Сергей Германович – д-р мед. наук, проф., главный врач ФГБУ «Федеральный центр сердечно-сосудистой хирургии» Минздрава России (Пермь, Россия)

Орехова Екатерина Николаевна – д-р мед. наук, зав. отделением функциональной диагностики ФГБУ «Федеральный центр сердечно-сосудистой хирургии» Минздрава России (Пермь, Россия)

Синельников Юрий Семенович – д-р мед. наук, зав. отделением детской кардиохирургии ФГБУ «Федеральный центр сердечно-сосудистой хирургии» Минздрава России (Пермь, Россия)

Суханов Михаил Сергеевич – кардиохирург отделения детской кардиохирургии ФГБУ «Федеральный центр сердечно-сосудистой хирургии» Минздрава России (Пермь, Россия)

Mechanical function of the right ventricle in infants with tetralogy of Fallot

Sukhanov S.G., Orekhova E.N.*, Sinelnikov U.S., Sukhanov M.S.

Federal Center for Cardiovascular Surgery Ministry of Health Care of Russian Federation, 35 Marshal Zhukov St., 614000 Perm, Russian Federation

* Corresponding author. Email: kafedra@permheart.ru

Objective. The function of the right ventricle (RV) in patients with tetralogy of Fallot (ToF) largely determines the immediate and long-term results of surgical correction of the defect. The aim of this study was to evaluate the mechanical function of RV by analyzing the endocardium movement velocity in infants with ToF.

Methods. The study involved 25 ToF patients 3.9±3 months old and 20 healthy children as the comparison group. The vector analysis used allowed for evaluating longitudinal strain (S) and strain rate (SR) of the right ventricle.

Results. RV S was lower in ToF patients as compared to healthy ones (-11.7±4.1 against -32.1±3.9%, p<0.05). SR was also significantly reduced in patients with ToF as compared to the healthy ones (-1.4±0.6% against -3.0±0.6%, p<0.05). In patients with ToF RV S was smaller than LV S (-11.7±4.1% against -15±5%, p<0.05). Also reduced was RV SR in patients with ToF both in early diastole (1.5±0.54 vs. 3.2±0.53 s⁻¹, p<0.05), and in late diastole (0.5±0.5 vs. 1.6±0.5 s⁻¹, p<0.05).

It was found out that the pulmonic valve gradients correlate with RV S (Rs = 0.89 and 0.8), while inverse correlation was observed between systolic SR and the pulmonary artery trunk and branches. Mechanical remodeling of RV in patients with ToF manifests itself by a decrease in global and regional systolic and diastolic strain. Systolic

Conclusion. Systolic mechanical remodeling of RV in ToF patients makes itself evident by a considerable decrease in the velocity of RV global longitudinal systolic deformation in proportion to the degree of obstruction of the outflow tract of the right ventricle. Diastolic mechanical remodeling manifests itself by pronounced impaired relaxation in the form of RV monophasic filling in the early and late diastoles.

Key words: tetralogy of Fallot; right ventricle; longitudinal strain; strain rate

Received 15 August 2015. Accepted 23 July 2015.