

УДК: 616.12-089.84, 616.12-071.2

DOI: 10.17816/pmj37265-82

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭХОКАРДИОГРАФИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОДОЛЬНОЙ МЕХАНИКИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ДИАСТОЛИЧЕСКОЙ ФУНКЦИИ СИСТЕМНОГО ЖЕЛУДОЧКА У ПАЦИЕНТОВ ПОСЛЕ ОПЕРАЦИИ ФОНТЕНА

Ю.С. Синельников¹, Т.В. Матановская^{1*}, С.А. Орехов²

¹Федеральный центр сердечно-сосудистой хирургии имени С.Г. Суханова, г. Пермь,

²Пермский государственный медицинский университет имени академика Е.А. Вагнера, Россия

USE OF ECHOCARDIOGRAPHIC PARAMETERS OF LONGITUDINAL MECHANICS TO ESTIMATE DIASTOLIC FUNCTION OF SYSTEMIC VENTRICLE IN PATIENTS AFTER FONTAN OPERATION

Yu.S. Sinelnikov¹, T.V. Matanovskaya^{1*}, S.A. Orekhov²

¹Sukbanov Federal Center of Cardiovascular Surgery, Perm,

²E.A. Vagner Perm State Medical University, Russian Federation

Цель. Изучена возможность использования эхокардиографических показателей продольной механики для оценки диастолической функции системного желудочка (СЖ) у пациентов после операции Фонтена.

Материал и методы. Обследовано 29 детей в возрасте $8,6 \pm 3,16$ г. с функционально единственным желудочком сердца после операции Фонтена. Оценены: методом компьютерной томографии – индекс массы миокарда (ИММ) СЖ, фракция выброса (ФВ) СЖ, сердечный выброс (СВ) СЖ, сердечный индекс (СИ) СЖ; по данным эхокардиографии (ЭхоКТ) – диастолические скоростные показатели продольной механики СЖ в фазу раннего быстрого наполнения (SR E), в фазу позднего диастолического наполнения (SR A), соотношение пиков скорости деформации, индекс жесткости функционально единого предсердия, деформация предсердия в фазу кондуита (AS cd), резервуара (ASr) и в контрактильную фазу (AS ct).

© Синельников Ю.С., Матановская Т.В., Орехов С.А., 2020

тел. +7 906 876 60 00

e-mail: Tania-larigina@yandex.ru

[Синельников Ю.С. – доктор медицинских наук, главный врач, доцент кафедры хирургии с курсом сердечно-сосудистой хирургии и инвазивной кардиологии; Матановская Т.В. (*контактное лицо) – кандидат медицинских наук, врач-кардиолог; Орехов С.А. – врач-ординатор (второго года) кафедры педиатрии с курсом поликлинической педиатрии].

© Sinelnikov Yu.S., Matanovskaya T.V., Orekhov S.A., 2020

tel. +7 906 876 60 00

e-mail: Tania-larigina@yandex.ru

[Sinelnikov Yu.S. – MD, PhD, Head Physician; Associate Professor of Department of Surgery with Course of Cardiovascular Surgery and Invasive Cardiology; Matanovskaya T.V. (*contact person) – Candidate of Medical Sciences, cardiologist; Orekhov S.A. – resident Department of Pediatrics with Course of Polyclinic Pediatrics].

Результаты. Отмечены сниженные значения УИ, СВ и СИ СЖ, увеличение ИММ СЖ, получены нормальные показатели ФВ СЖ. Параметры скорости продольной диастолической деформации в раннюю и позднюю фазы наполнения СЖ продемонстрировали прямую значимую связь с УИ, СВ и СИ СЖ, и обратную связь с E/e' . Показатели продольной деформации функционально единого предсердия во все фазы были снижены, коррелировали с E/e' , SR E/SR A, ИММ СЖ, УИ, СВ и СИ. Не было выявлено статистически значимой связи показателей продольной функции предсердия во все фазы и его жесткости с полом, площадью поверхности тела.

Выводы. 1. Показатели продольной скорости диастолической деформации могут быть использованы для выявления признаков диастолической дисфункции системного желудочка у детей после операции Фонтена. 2. Гемодинамические параметры системного желудочка (ударный индекс, сердечный выброс, сердечный индекс) определяют показатели его диастолической механики. 3. Резервуарная, кондуктивная и контрактильная функции предсердия у пациентов с тотальным кавопульмональным соединением связаны как со скоростными характеристиками диастолической продольной деформации, так с гемодинамическими параметрами системного желудочка.

Ключевые слова. Продольная деформация, скорость деформации, единственный желудочек, операция Фонтена.

Objective. To study the possibilities of using echocardiographic parameters of longitudinal mechanics to assess the diastolic function of the systemic ventricle (SV) in patients after Fontan operation.

Material and methods. We examined 29 children aged $8,6 \pm 3,16$ years with a functionally single ventricle of the heart after performing a total cavopulmonary connection with fenestration of extracardiac conduit. By computed tomography there were evaluated: myocardial mass index (MMI) SV, ejection fraction (EF) SV, cardiac output (CO) SV, cardiac index (CI) SV. In addition to conventional echocardiographic (Echo) parameters, we also studied: diastolic velocity parameters of the longitudinal mechanics of the SV during the early rapid filling phase (SR E), in the phase of late diastolic filling (SR A), the ratio of the peaks of the strain rate (SR E/SR A), the stiffness index of a «functionally single» atrium, the atrial strain in conduit phase (AS cd), reservoir (ASr), and in the contractile phase (AS ct).

Results. Reduced values of the SI, CO and CI SV, an increase in MMI SV, normal values of EF SV. The parameters of the longitudinal diastolic strain rate in the early and late filling phases of e SV showed a direct significant correlation with SI, CO and CI SV and inverse correlation with E/e' . Parameters of longitudinal strain of the «functionally single» atrium in all phases were reduced, they all correlated with E/e' , SR E / SR A, MMI SV, SI, CO and CI SV. There was no statistically significant relationship between the parameters of the longitudinal function of the atrium in all phases and atrial stiffness with sex and body surface area.

Conclusions. 1. The parameters of the longitudinal diastolic strain rate can be used to identify the diastolic dysfunction of the systemic ventricle in children after Fontan operation. 2. The hemodynamic parameters of the systemic ventricle (stroke index, cardiac output, cardiac index) determine the parameters of its diastolic mechanics. 3. The reservoir, conduit, and contractile atrial function in patients after total cavopulmonary connection are associated with both characteristics of diastolic longitudinal strain rate and hemodynamic parameters of systemic ventricle.

Key words. Longitudinal strain, strain rate, single ventricle, Fontan operation.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время стратегия лечения детей с физиологией функционально единственного желудочка заключается в поэтапной хирургической гемодинамической коррекции, заключительной стадией которой является

формирования тотального кавопульмонального соединения [1]. Выживаемость после операции Фонтена существенно возросла и в настоящее время составляет 89–95 % за десятилетний период наблюдения [2]. Однако этой группе пациентов требуется пожизненное пристальное наблюдение кардиолога, монито-

ринг эхокардиографических (ЭхоКГ) данных и в том числе тщательная динамическая оценка диастолической функции системного желудочка (СЖ) [1, 2].

Получение количественных ЭхоКГ-данных о диастолической функции СЖ у детей с унiventрикулярной гемодинамикой с использованием конвенциональных методик представляет определенные трудности в повседневной клинической практике. Это связано как с большим разнообразием анатомии пороков с функционально единственным желудочком сердца, так и с отсутствием согласованного мнения о градации диастолических нарушений у детей и применимости традиционных ЭхоКГ-параметров для классификации диастолических нарушений у пациентов с циркуляцией Фонтена [3, 4]. Использование ЭхоКГ-методик для оценки показателей продольной скорости деформации для изучения диастолической механики СЖ сердца предоставляет возможность получения важных дополнительных функциональных данных о диастолических свойствах собственно миокарда желудочка, не основанных на анализе параметров трансклапанного кровотока [5].

Цель исследования – изучить возможности использования эхокардиографических показателей продольной механики для оценки диастолической функции системного желудочка у пациентов после операции Фонтена.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование выполнено в Федеральном центре сердечно-сосудистой хирургии им. С.Г. Суханова Министерства здравоохранения Российской Федерации (г. Пермь). Работа была одобрена локальным этическим

комитетом учреждения. Во всех случаях получено письменное согласие от родителей пациентов на участие в исследовании. На амбулаторном этапе наблюдения обследовано 29 детей в возрасте $8,6 \pm 3,16$ г. [Me 8; LQ 4; UQ 14], 12 (41,4 %) мальчиков, с площадью поверхности тела (ППТ) $0,95 \pm 0,25$ м² [Me 0,9; LQ 0,62; UQ 1,5] с функционально единственным желудочком сердца после выполнения тотального кавопульмонального соединения с фенестрацией экстракардиального кондуита. Средний возраст на момент выполнения операции Фонтена $4,4 \pm 1,95$ г. [Me 4; LQ 2; UQ 8]. У включенных в исследование пациентов определялись следующие варианты анатомии функционально единственного желудочка сердца: синдром гипоплазии левых отделов сердца (4 пациента, 15,3 %), атрезия трикуспидального клапана с нормальным расположением магистральных сосудов (7 пациентов, 24,1 %), атрезия трикуспидального клапана с транспозицией магистральных сосудов и с атрезией/стенозом легочной артерии (один пациент, 3,44 %), корригированная транспозиция магистральных сосудов со стенозом легочной артерии (один пациент, 3,44 %), двуприточный единственный желудочек сердца с морфологией правого (3 пациента, 10,3 %), двуприточный единственный желудочек сердца с морфологией левого (2 пациента, 6,9 %), несбалансированная форма атриовентрикулярной коммуникации с доминантным правым желудочком (4 пациента, 13,8 %), множественные дефекты межжелудочковой перегородки (4 пациента, 13,8 %), двойное отхождение сосудов от правого желудочка (2 пациента, 6,9 %), аномалия Эбштейна, тип D (один пациент, 3,4 %). Таким образом, типы СЖ у обследованных больных:

левый – 11 (37,9 %), правый – 14 (48,3 %), «общий» – 4 (13,8 %). В исследование не включены пациенты с нарушениями ритма сердца и проводимости (по данным суточного мониторирования ЭКГ), недостаточностью на системном атриовентрикулярном клапане более II степени, признаками печеночной дисфункции, при отсутствии качественной ЭхоКГ-визуализации сердца. Тяжесть сердечной недостаточности у всех обследованных детей не превышала II функциональный класс (ф.к., по классификации Нью-Йоркской ассоциации сердца, NYHA): I ф.к. – 5 (17,2 %), II ф.к. – 24 (82,7 %). Насыщение

крови кислородом (по данным пульсоксиметрии) у обследованных детей составило $90,5 \pm 6,8$ %. Постоянно принимали аспирин 24 (82,7 %) пациента, варфарин – 5 (17,2 %), каптоприл – 6 (20,7 %), метопролол – 4 (13,8 %), силденафил – 11 (37,0 %), спиронолактон – 5 (17,2 %).

Мультиспиральная компьютерная томография сердца с контрастированием выполнялась всем пациентам для визуализации экстракардиального кондуита, оценки индекса массы миокарда (ИММ) СЖ, фракции выброса (ФВ) СЖ, сердечного выброса (СВ) СЖ, сердечного индекса (СИ) СЖ (табл. 1).

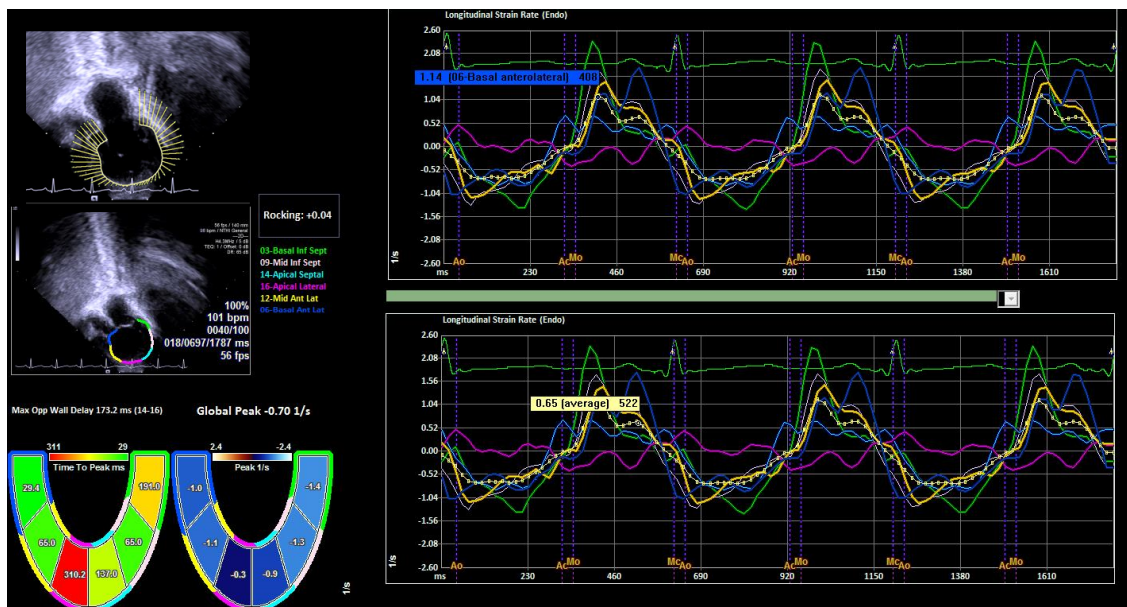


Рис. 1. Оценка диастолической скорости продольной деформации системного желудочка: пациент С., 4 года, площадь поверхности тела $0,82 \text{ м}^2$. Диагноз: атрезия трикуспидального клапана. Операция Фонтана (2019). Изображение системного (левого) желудочка получено из апикальной позиции, проекция 4 камер. Представлен векторный анализ скорости продольной деформации системного желудочка в раннюю диастолу (SR E, график справа сверху, среднее значение $1,14 \text{ с}^{-1}$) и позднюю диастолу (SR A, график справа снизу, среднее значение $0,65 \text{ с}^{-1}$). Сегменты системного желудочка маркированы цветом (слева в центре) и значения скорости деформации отображены графически от всех опрашиваемых сегментов и рассчитано усредненное значение (average). Соотношение SR E/SR A 1,75

Таблица 1

Основные параметры функции системного желудочка по данным эхокардиографии и мультиспиральной компьютерной томографии

Показатель, единицы измерения, метод	$M \pm SD$	Me	$LQ; UQ$
Частота сердечных сокращений, уд. в мин	90,4 ± 16,4	92	60; 120
Индекс производительности миокарда СЖ, ЭхоКГ	0,53 ± 0,2	0,5	0,27; 0,89
Фракция изменения площади СЖ, %, ЭхоКГ	43,0 ± 7,4	44	25; 58
Ударный объем СЖ, мл, ЭхоКГ	23,7 ± 11,7	20	7; 58
Продольная деформация СЖ, %, ЭхоКГ	-4,8 ± 3,2	-15,3	-18; -8,5
ФВ СЖ, %, МСКТ	54,6 ± 5,2	53	45; 66
Ударный индекс СЖ, мл/м ² , МСКТ	24,3 ± 9,3	24,7	8; 41
Сердечный выброс СЖ, л/мин, МСКТ	2,1 ± 1,1	2	0,67; 5
Сердечный индекс СЖ, л/мин/м ² , МСКТ	2,2 ± 1,0	2,03	0,76; 4,9
Индекс массы миокарда СЖ, г/м ² , МСКТ	78,4 ± 12,7	76	56; 110

Примечание: ЭхоКГ – эхокардиография, СЖ – системный желудочек, МСКТ – мультиспиральная компьютерная томография, M – среднее значение показателя, SD – стандартное отклонение, Me – медиана, $LQ; UQ$ – нижний и верхний квартили.

ЭхоКГ-исследование выполнено на аппарате Acuson SC 2000 (Siemens Medical Systems, Mountain View, CA, USA) с использованием фазированного датчика 4V1C. Кроме конвенциональной ЭхоКГ-оценки рассчитывали: ударный индекс (УИ, мл/м²) СЖ ($0,785 \cdot$ площадь сечения выходного тракта СЖ² · интеграл линейной скорости кровотока в выходном тракте СЖ/ППТ), индекс производительности миокарда с использованием тканевого доплера (MPI, норма для детей $0,33 \pm 0,02$), фракционное изменение площади СЖ (ФИП СЖ, норма для ПЖ $49 \pm 7\%$) [6]. Из временных параметров диастолы СЖ оценивали: время замедления кровотока через атриовентрикулярный клапан СЖ в раннюю диастолу (Deceleration Time, мс). Из скоростных параметров диастолы СЖ с использованием импульсно-волнового доплера измеряли: скорость раннего быстрого наполнения (пиковая скорость волны E атриовентрикулярного кровотока СЖ, м/с, в случае двуприточного единственного желудочка сердца проводились измерения

кровотока через митральный клапан, при корригированной транспозиции магистральных сосудов – через трикуспидальный), скорость позднего предсердного наполнения (пиковая скорость волны A атриовентрикулярного кровотока, м/с), с использованием импульсно-волнового тканевого доплера – e' (раннюю диастолическую скорость движения латеральной части фиброзного кольца атриовентрикулярного клапана СЖ). Оценивали соотношения E/A и E/e'. Диастолическая функция рассчитывалась как нормальная при соотношении E/A > 1, E < 0,5 м/с, DT > 140 мс, E/e' < 8; данные ЭхоКГ соответствовали I типу диастолической дисфункции, если E/A ≤ 0,8, E > 0,5 м/с, DT ≥ 200 мс, E/e' < 10; II типу, если E/A > 0,8 < 2, DT < 140 мс, E/e' 10–14; III типу, если E/A > 2, DT < 140 мс, E/e' > 14 [4, 7].

Для анализа параметров продольной механики СЖ применялся векторный анализ скорости движения эндокарда (Vector velocity imaging, Syngo® VVI, Siemens Medical Solution, Inc.). Оценивали продольную деформа-

цию СЖ в систолу (в %, максимальный негативный пик на кривой деформации после открытия створок аортального клапана, норма для левого желудочка $-20,5$ %, 95 % доверительный интервал, ДИ $-19,5$... -21 %, для правого желудочка $-24 \pm 3,8$ %) [8]. Диастолические скоростные показатели продольной механики СЖ оценивали в фазу раннего быстрого наполнения (первый максимальный позитивный пик на кривой скорости деформации, регистрирующийся после открытия створок системного атриовентрикулярного клапана, SR E, с^{-1} , норма для левого желудочка $0,99$, $0,79$ – $1,18$ с^{-1} , для правого желудочка $1,55 \pm 0,1$ с^{-1}) и в фазу позднего диастолического наполнения (второй позитивный пик на кривой скорости деформации СЖ, SR A, с^{-1} , норма для левого желудочка $0,66$, $0,56$ – $0,91$ с^{-1} , для правого $1,02 \pm 0,1$ с^{-1}) [9]. Также оценивали соотношение пиков скорости деформации (SR E/SR A, норма $1,38$, от $1,09$ до $1,60$) [9] (рис. 1). Стандартно при оценке степени диастолической дисфункции левого желудочка измеряется индекс объема левого предсердия, увеличение которого расценивается как результат функционирования предсердия в условиях повышенного конечного диастолического давления в левом желудочке и увеличенной преднагрузки. Однако у детей после операции Фонтена функционально единое предсердие, в связи с чем расчет его объема / индекса не будет информативен в оценке диастолической функции СЖ. Для характеристики свойств «функционально общего» предсердия рассчитывали индекс его жесткости (stiffness index), отражающий величину давления, необходимого для изменения единицы объема предсердия во время фазы заполнения по формуле: E/e' /продольную деформацию

предсердия (норма $0,17 \pm 0,07$ с^{-1}) [10]. Увеличенный индекс жесткости предсердия – косвенный маркер повышенного давления заклинивания легочной артерии с точкой разделения $0,25$ с^{-1} [10]. Кроме того, оценивали продольную деформацию предсердия во время фазы кондуита (Atrial Strain conduit, AS cd) для характеристики механического вклада камеры в период ранней диастолы СЖ: измерялась как разность величин деформации в начале сокращения предсердия (начало волны А трансклапанного кровотока) минус величина деформации в момент открытия створок атриовентрикулярного клапана СЖ (начало волны Е трансклапанного кровотока). AS cd в норме имеет отрицательное значение и составляет -18 ... -25 % [11, 12]. Деформация предсердия в фазу сокращения (ASct) оценивалась для характеристики вклада предсердия в фазу поздней диастолы и измерялась как разница между величиной деформации в конце диастолы СЖ (закрытие створок атриовентрикулярного клапана СЖ в конце волны А трансклапанного кровотока) минус величина деформации в начале сокращения предсердия (в начале волны А трансклапанного кровотока СЖ). ASct в норме имеет отрицательное значение -13 ... -25 % (95 % ДИ -8 ... -19 %) [11, 12]. Продольная деформация предсердия во время фазы резервуара (Atrial Strain reservoir, ASr) оценивалась для характеристики накопительной функции камеры, отражающей ее наполнение и комплаенс, измерялась как разность пиковых величин деформаций, регистрировавшихся при открытии створок атриовентрикулярного клапана СЖ (начало волны Е трансклапанного потока) и во время окончания диастолы СЖ (конец волны А трансклапанного потока) [11].

Деформация предсердия в резервуарную фазу у детей в норме имеет положительное значение и составляет у левого предсердия $52,8 \pm 10 \%$, у правого предсердия $47,3 \pm 9,6 \%$ [12].

Полученные данные статистически обрабатывали с использованием программы Statistica (версия 10.0). Распределение показателей оценено с использованием тестов Шапиро – Уилка и Колмогорова – Смирнова. Данные представлены в виде значений среднего (M) и стандартного отклонения (SD) при нормальном распределении и нижнего и верхнего квартилей и медианы (LQ ; UQ , Me) при ненормальном распределении. Коэффициент корреляции Спирмена (R_s) использовался для оценки корреляции между изучаемыми количественными параметрами. Значение $p < 0,05$ считалось статистически значимым. Для проверки связи типа СЖ с параметрами систолической и диастолической функции СЖ использовался однофакторный дисперсионный анализ (ANOVA) с выполнением апостериорного тестирования Фишера для множественных сравнений. Для оценки значимости различий параметров диастолической скорости продольной деформации в зависимости от давления наполнения системного желудочка (<14 и >14) также использован дисперсионный анализ ANOVA.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

При ЭхоКГ-оценке параметров, характеризующих систолическую функцию СЖ у обследованных пациентов, отмечены сниженные значения ФИП СЖ ($43 \pm 7,4 \%$), УО ($23,7 \pm 11,7$ мл), продольной деформации СЖ ($-14,8 \pm 3,2 \%$) и МРІ ($0,53 \pm 0,2$). Данные МСКТ также демонстрировали, что показатели насосной функции СЖ были ниже нормативных (УИ $24,3 \pm 9,3$ мл/м²;

СВ $2,1 \pm 1,1$ л/мин/м²; СИ $2,2 \pm 1$ л/мин/м²), а ИММ СЖ повышен ($78,4 \pm 12,7$ г/м²). Значения ФВ СЖ составили $54,6 \pm 5,2 \%$ (Me 53 %, LQ 45 %; UQ 66 %), ФВ менее 50 % ($48 \pm 1,5 \%$) выявлена у 5 детей (18,5 %). Отмечена связь возраста пациентов и УИ СЖ ($R_s = 0,43$; $p = 0,002$), возраста и СИ ($R_s = 0,41$; $p = 0,03$), ППТ и СВ ($R_s = 0,44$; $p = 0,01$), ЧСС и УИ ($R_s = -0,44$; $p = 0,04$), СИ и продольной деформации СЖ ($R_s = 0,46$; $p = 0,01$), ФВ СЖ и МРІ СЖ ($R_s = 0,38$; $p = 0,04$). Определялась связь морфологии СЖ и УИ (УИ СЖ с морфологией левого $28,5 \pm 10,8$ мл/м², УИ СЖ с морфологией правого $21,01 \pm 8$ мл/м², УИ СЖ с морфологией «общего» $24,4 \pm 4,9$ мл/м², $p_1-p_2 = 0,04$, $p_1-p_3 = 0,04$, $p_2-p_3 = 0,56$), морфологии СЖ и СВ (СВ СЖ с морфологией левого $2,6 \pm 1,55$ л/мин, СВ СЖ с морфологией правого $1,6 \pm 0,6$ л/мин, СВ СЖ с морфологией «общего» $2,4 \pm 0,4$ л/мин, $p_1-p_2 = 0,03$, $p_1-p_3 = 0,2$, $p_2-p_3 = 0,03$), морфологии СЖ и СИ (СИ СЖ с морфологией левого $2,7 \pm 1,3$ л/мин/м², СИ СЖ с морфологией правого $1,8 \pm 0,6$ л/мин/м², СИ СЖ с морфологией «общего» $2,4 \pm 0,4$ л/мин/м², $p_1-p_2 = 0,01$, $p_1-p_3 = 0,26$, $p_2-p_3 = 0,019$).

При оценке традиционных ЭхоКГ-показателей, используемых для характеристики диастолической функции желудочка, не было пациентов с нормативными параметрами Е/А, ДТ, Е/е' (табл. 2). При группировке данных для отнесения их к какому-либо типу диастолической дисфункции было выявлено, что параметры 15 пациентов (51,7 %) соответствуют II типу (Е/А $1,46 \pm 0,33$; ДТ $122,2 \pm 11,8$ мс, Е/е' $11,6 \pm 1,34$), показатели 4 (13,8 %) больных – III типу (Е/А $2,08 \pm 0,11$; ДТ $72 \pm 18,3$ мс, Е/е' $18,4 \pm 0,96$), показатели 10 (34,5 %) больных не могли быть отнесены по сочетанию трех параметров к какому-либо типу

дисфункции (E/A $1,4 \pm 0,21$; DT $189,3 \pm 9,9$ мс, E/e' $10,8 \pm 2,2$). Выявлена существенная корреляция между ЭхоКГ-показателями диастолической функции СЖ и гемодина-

мическими МСКТ данными СЖ (УИ, СИ, СВ), ИММ СЖ и ЧСС, тогда как с ФВ СЖ статистически значимой связи не выявлено (табл. 3).

Таблица 2

Эхокардиографические показатели для оценки диастолической функции системного желудочка

Показатель, единицы измерения, метод	$M \pm SD$	Me	$LQ; UQ$
E/A	$1,54 \pm 0,38$	1,55	1; 2,2
DT , мс	$115,3 \pm 21,6$	120	53; 139
E/e'	$12,5 \pm 2,7$	12	10; 19,1
$SR E$, c^{-1}	$0,84 \pm 0,32$	0,89	0,33; 1,34
$SR A$, c^{-1}	$0,58 \pm 0,34$	0,51	0,12; 1,2
$SR E/SR A$	$1,71 \pm 0,51$	1,63	1,08; 2,75
Индекс жесткости предсердия, $\%/c^{-1}$	$0,45 \pm 0,4$	0,29	0,1; 1,6
$AScd$, %	$-11,7 \pm 4,0$	-12,8	-16,7; -2
ASr , %	$27,2 \pm 7,7$	29	11,5; 39
$ASct$, %	$-5,9 \pm 2,4$	-5,8	-11; -1,08

Примечание: M – среднее значение показателя, SD – стандартное отклонение, Me – медиана, $LQ; UQ$ – нижний и верхний квартили; E/A – соотношение скоростей пиков кровотока через атриовентрикулярный клапан системного желудочка в раннюю и позднюю фазы его наполнения; DT – время замедления кровотока через атриовентрикулярный клапан системного желудочка в раннюю диастолу; E/e' – соотношение пиков максимальной скорости кровотока через системный атриовентрикулярный клапан системного желудочка во время раннего диастолического наполнения к ранней диастолической скорости движения латеральной части фиброзного кольца атриовентрикулярного клапана системного желудочка; $SR E$ – скорость продольной деформации в фазу раннего быстрого наполнения системного желудочка; $SR A$ – скорость продольной деформации в фазу позднего диастолического наполнения системного желудочка; $SR E/SR A$ – соотношение скоростей продольной деформации в раннюю и позднюю диастолические фазы системного желудочка; $AScd$ – продольная деформация функционально общего предсердия в кондуктивную фазу; ASr – продольная деформация функционально общего предсердия в контрактильную фазу; $ASct$ – продольная деформация функционально общего предсердия в резервуарную фазу.

Изучены параметры диастолической скорости продольной деформации СЖ (табл. 2). Скорость деформации в фазу раннего диастолического наполнения ($0,84 \pm 0,32$ c^{-1}) коррелировала с E/e' ($R_s = -0,8$; $p = 0,001$), с УИ ($R_s = 0,72$; $p = 0,0001$), СВ ($R_s = 0,7$; $p = 0,00001$) и СИ ($R_s = 0,65$; $p = 0,0001$), ИММ СЖ ($R_s = -0,53$; $p = 0,02$), продольной деформацией СЖ ($R_s = -0,63$; $p = 0,001$). Скорость продольной деформации СЖ в фазу позднего наполнения ($0,58 \pm 0,34$ c^{-1}) коррелировала

с E/e' ($R_s = -0,79$; $p = 0,003$), УИ ($R_s = 0,83$; $p = 0,0001$), СВ ($R_s = 0,5$; $p = 0,001$) и СИ ($R_s = 0,44$; $p = 0,002$), МРП СЖ ($R_s = 0,43$; $p = 0,001$). Соотношение пиков скорости продольной деформации в раннюю и позднюю фазы диастолы СЖ ($SR E/SR A$) составило $1,71 \pm 0,51$, коррелировало с E/e' ($R_s = 0,8$; $p = 0,0001$), УИ ($R_s = -0,75$; $p = 0,0001$), СВ ($R_s = -0,71$; $p = 0,0001$) и СИ ($R_s = -0,61$; $p = 0,001$), ИММ СЖ ($R_s = 0,52$; $p = 0,0001$), ФИП СЖ ($R_s = 0,41$; $p = 0,02$). Отмечена связь

морфологии СЖ и SR E/SR A (SR E/SR A СЖ с морфологией левого ($1,49 \pm 0,33$), SR E/SR A СЖ с морфологией правого ($1,92 \pm 0,6$), SR E/SR A СЖ с морфологией «общего» ($1,6 \pm 0,35, p_1-p_2 = 0,03, p_1-p_3 = 0,7, p_2-p_3 = 0,23$). Не было выявлено статистически значимых связей показателей диастолической скорости деформации СЖ и возраста, пола, ФВ СЖ, E/A, DT, ЧСС. Таким образом, показатели скорости продольной диастолической деформации в раннюю диастолическую фазу (SR E) и в фазу позднего диастолического наполнения СЖ продемонстрировали пря-

мую связь с параметрами насосной функции СЖ (чем меньше УИ, СИ, СВ, тем ниже SR E и SR A), и обратную связь с ЭхоКГ-показателем, отражающим давление наполнения в СЖ (E/e'). Чем выше регистрировалось соотношение скоростей продольной деформации в раннюю и позднюю фазы диастолы СЖ, тем больше было давление наполнения СЖ (E/e') и тем ниже значения УИ, СВ, СИ СЖ. Параметры диастолической скорости деформации СЖ были существенно ниже у пациентов с СЖ с морфологией правого.

Таблица 3

Корреляционная связь параметров диастолической функции системного желудочка с показателями систолической функции

Параметр	R_s	p	Параметр	R_s	P	Параметр	R_s	P
УИ-Е/А	-0,42	0,001*	УИ-DТ	0,45	0,002	УИ-Е/е'	-0,6	0,0001*
СВ-Е/А	-0,45	0,002*	СВ-DТ	0,43	0,014*	СВ-Е/е'	-0,49	0,006*
СИ-Е/А	-0,49	0,001*	СИ-DТ	0,46	0,003*	СИ-Е/е'	-0,58	0,001*
ФВ-Е/А	-0,15	0,43	ФВ-DТ	0,11	0,5	ФВ-Е/е'	-1	0,6
ИММ-Е/А	0,4	0,023*	ИММ-DТ	-0,43	0,018*	ИММ-Е/е'	0,4	0,029*
ЧСС-Е/А	0,55	0,002*	ЧСС-DТ	-0,4	0,03*	ЧСС-Е/е'	0,5	0,005

Примечание: R_s – коэффициент ранговой корреляции Спирмена, * – статистическая значимость коэффициента корреляции, E/A – соотношение скоростей пиков кровотока через атриовентрикулярный клапан системного желудочка в раннюю и позднюю фазы его наполнения; DT – время замедления кровотока через атриовентрикулярный клапан системного желудочка в раннюю диастолу; E/e' – соотношение пиков максимальной скорости кровотока через атриовентрикулярный клапан системного желудочка во время раннего диастолического наполнения к ранней диастолической скорости движения латеральной части фиброзного кольца атриовентрикулярного клапана системного желудочка; УИ – ударный индекс системного желудочка, СВ – сердечный выброс системного желудочка, СИ – сердечный индекс системного желудочка, ФВ – фракция выброса системного желудочка, ИММ – индекс массы миокарда системного желудочка.

Поскольку среди обследованных нами детей не было выявлено пациентов с ЭхоКГ-показателями, соответствующими I типу диастолической дисфункции, как и больных без признаков диастолической дисфункции, а также пациентов, показатели которых нельзя было отнести ни к одному из традиционно выделяемых типов дисфункции, для выделения

пациентов с признаками выраженного рестриктивного наполнения СЖ мы использовали дихотомическое разделение данных по параметру давления наполнения СЖ E/e' : признаки значительно повышенного давления наполнения отсутствуют ($E/e' < 14$) или присутствуют ($E/e' > 14$). При проведении дисперсионного анализа было выявлено, что у детей с

$E/e' < 14$ и > 14 есть статистически существенные различия в дисперсии показателей ранней (SR E) и поздней (SR A) диастолической скорости продольной деформации и

их соотношения (SR E/SR A). Чем больше были значения E/e' , тем выше определялись показатели SR E/SR A, и тем меньше величины SR E и SR A (рис. 2., табл. 4).

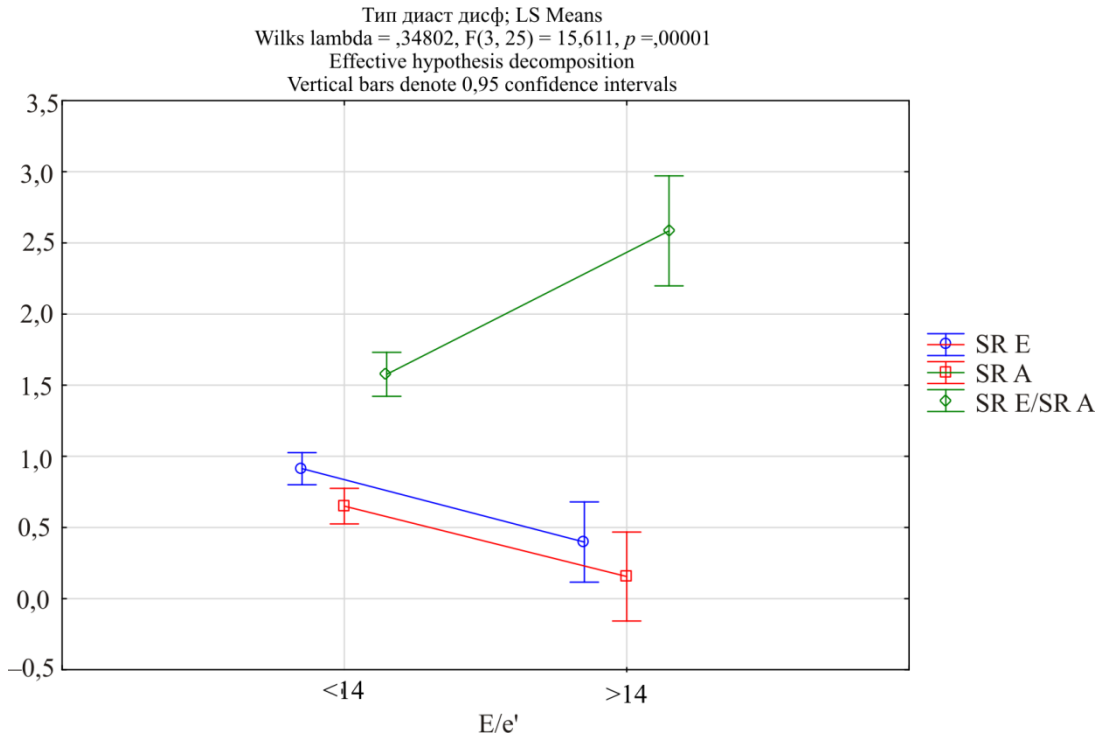


Рис. 2. Графики распределения дисперсий параметров диастолической скорости продольной деформации и ЭхоКГ-показателей давления наполнения системного желудочка. Ось абсцисс: E/e' (соотношение пиков максимальной скорости кровотока через атриовентрикулярный клапан системного желудочка во время раннего диастолического наполнения к ранней диастолической скорости движения латеральной части фиброзного кольца атриовентрикулярного клапана системного желудочка). Ось ординат: диастолическая скорость продольной деформации системного желудочка: SR E (синий график) – скорость продольной деформации в фазу раннего быстрого наполнения системного желудочка; SR A (красный график) – скорость продольной деформации в фазу позднего диастолического наполнения системного желудочка; SR E/SR A (зеленый график) – соотношение скоростей продольной деформации в раннюю и позднюю диастолические фазы системного желудочка

При оценке показателей, характеризующих кондуитную продольную деформацию функционально единого предсердия, выявлено, что она была ниже нормативных данных ($-1,7 \pm 4,2$ %; Me $-12,8$; LQ $-16,7$ – UQ $-2,8$), коррелировала с E/e' ($R_s = 0,8$; $p = 0,0001$), SR E ($R_s = -0,74$; $p = 0,0001$),

SR E/SR A ($R_s = 0,76$; $p = 0,0001$), УИ ($R_s = -0,79$; $p = 0,00001$) и СИ ($R_s = -0,6$; $p = 0,001$). Кон-трактильная деформация предсердия была снижена ($-5,9 \pm 2,4$ %, Me $-5,8$; LQ -11 – UQ $-1,08$), статистически значимо коррелировала с УИ ($R_s = -0,64$; $p = 0,001$), СВ ($R_s = -0,42$; $p = 0,021$), СИ ($R_s = -0,51$; $p = 0,005$) E/e'

($R_s = 0,51$; $p = 0,002$), SR A ($R_s = -0,68$; $p = 0,0001$), SR E/SR A ($R_s = 0,61$; $p = 0,001$). Резервуарная продольная деформация функционально единого предсердия была также существенно снижена ($27,2 \pm 7,72$ %; Me 29; LQ 11,5 – UQ 39), коррелировала с E/e' ($R_s = -0,82$; $p = 0,001$), SR E ($R_s = 0,7$; $p = 0,001$), ИММ СЖ ($R_s = -0,45$; $p = 0,01$), СВ ($R_s = 0,6$; $p = 0,001$), индексом производительности миокарда ($R_s = 0,63$; $p = 0,001$), с деформацией СЖ в продольном направлении ($R_s = -0,54$; $p = 0,003$). ЭхоКГ-показатель, отражающий жесткость предсердия, оказался значительно повышенным ($0,45 \pm 0,41$; Me 0,29; LQ 0,1 – UQ 1,16), коррелировал с E/e' ($R_s = 0,88$; $p = 0,0001$), SR E/SR A ($R_s = 0,74$; $p = 0,0001$), СВ ($R_s = -0,7$;

$p = 0,0001$), УИ ($R_s = -0,69$; $p = 0,01$), ИММ СЖ ($R_s = 0,48$; $p = 0,002$), возрастом ($R_s = 0,42$; $p = 0,004$). Не было выявлено статистически значимой связи показателей продольной функции предсердия во все фазы и его жесткости с полом, ЧСС, ППТ, морфологией СЖ. Таким образом, показатели продольной механики функционально общего предсердия были значительно снижены и обнаружили статистически значимую связь с насосной и диастолической функцией СЖ. Чем более сниженными были параметры резервуарной, кондуктивной и контрактильной деформации предсердия, тем выше была жесткость предсердия и тем выше давление наполнения СЖ (E/e' , см. табл. 4).

Таблица 4

Параметры продольной диастолической скорости деформации системного желудочка и функции единого предсердия в зависимости от ЭхоКГ-показателей давления наполнения системного желудочка

Показатель	$E/e' < 14$	$E/e' > 14$	F-критерий	p
SR E, c^{-1}	$0,91 \pm 0,29$ (95 % ДИ 0,79–1,03)	$0,39 \pm 0,1$ (95 % ДИ 0,32–0,47)	10,57	0,001*
SR A, c^{-1}	$0,65 \pm 0,32$ (95 % ДИ 0,51–0,1)	$0,2 \pm 0,1$ (95 % ДИ 0,11–0,21)	24	0,0005*
SR E/SR A	$1,57 \pm 0,39$ (95 % ДИ 1,41–1,7)	$2,58 \pm 0,2$ (95 % ДИ 2,29–2,87)	59	0,0001*
Индекс жесткости предсердия, %/ c^{-1}	$0,3 \pm 0,19$ (95 % ДИ 0,23–0,38)	$1,35 \pm 0,17$ (95 % ДИ 1,08–1,62)	105,2	0,000001*
A S cd, %	$-13,1 \pm 2,6$ (95 % ДИ -14,2...-12,01)	$-3,3 \pm 0,55$ (95 % ДИ -4,2...-2,5)	53	0,00001*
A S ct, %	$-6,5 \pm 2$ (95 % ДИ -7,4...-5,7)	$-1,3 \pm 0,4$ (95 % ДИ -3,4...-0,8)	16,9	0,0003*
A S r, %	$29,4 \pm 5,8$ (95 % ДИ 27–31,8)	$13,5 \pm 2,0$ (95 % ДИ 10,2–16,7)	29,2	0,0001*

Примечание: E/e' – соотношение пиков максимальной скорости кровотока через атриовентрикулярный клапан системного желудочка во время раннего диастолического наполнения к ранней диастолической скорости движения латеральной части фиброзного кольца атриовентрикулярного клапана системного желудочка; SR E – скорость продольной деформации в фазу раннего быстрого наполнения системного желудочка; SR A – скорость продольной деформации в фазу позднего диастолического наполнения системного желудочка; SR E/SR A – соотношение скоростей продольной деформации в раннюю и позднюю диастолические фазы системного желудочка; A S cd – продольная деформация функционально общего предсердия в кондуктивную фазу; A S ct – продольная деформация функционально общего предсердия в контрактильную фазу; A S r – продольная деформация функционально общего предсердия в резервуарную фазу.

Полученные данные о том, что у клинически стабильных детей после операции Фонтена в обследованной нами возрастной группе сохранена ФВ СЖ, но уже присутствует диастолическая дисфункция, согласуются с результатами других исследований [4, 13, 14]. Нарушения диастолической функции считаются закономерной составляющей глобальной дисфункции СЖ, развивающейся у пациентов после тотального cavoпульмонального соединения [15]. В работе K. Averin et al. [16] показано, что по данным инвазивной оценки через 10,8 г. после операции Фонтена 35 % пациентов имели значительную диастолическую дисфункцию. Диагностические возможности традиционно используемых ЭхоКГ-параметров для оценки диастолической функции СЖ у пациентов после операции тотального cavoпульмонального соединения изучены в ряде исследований [3, 4, 5, 13, 15, 16, 17]. В работе W.R. Miranda et al. [15] показана значимая корреляция давления заклинивания в легочной артерии по данным катетеризации сердца и конвенциональных ЭхоКГ-параметров импульсно-волновой (E/A, DT, IVRT) и тканевой (E/e') доплерографии. Однако для при значениях давления заклинивания легочной артерии более 12 мм рт ст связь с ЭхоКГ-диастолическими показателями существенно снижалась. Отсутствие значимой корреляции между параметрами на основе трансклапанного кровотока (E/A и E/e') и давлением заклинивания легочной артерии может быть связано с переменным диаметром притока в СЖ: при одинаковом градиенте давления между предсердием и желудочком скорость кровотока через атриовентрикулярный клапан большего диаметра будет ниже. Кроме того, соотношение E/e' имеет

значительную «серую зону» (неопределенные результаты наличия дисфункции) у больных с сохраненной ФВ СЖ [4, 15]. Среди пациентов с рестриктивным вариантом диастолического наполнения СЖ показатели с использованием тканевого доплера (соотношение E'/A') выявили наилучшую корреляцию с конечно-диастолическим давлением в СЖ ($r = 0,81$; $p < 0,001$) [4]. В работе E.K. Davis et al. [17] в мультивариантном анализе продемонстрирована предикторная связь E/e' и осложнениями послеоперационного периода операции Фонтена. Согласно литературным данным, использование ЭхоКГ с технологией отслеживания пятен (STE) в оценке диастолических нарушений СЖ в настоящее время вызывает пристальный интерес исследователей [3, 5, 18]. Показано, что показатели скорости диастолической деформации ассоциированы с послеоперационной выживаемостью [5, 17, 18, 19, 20]. SR E более тесно коррелирует с Tau (постоянная времени релаксации миокарда, определяемая по данным катетеризации сердца), чем E/e'. Это связано с тем, что SR E отражает скорость диастолической деформации миокарда, происходящей в период раннего диастолического наполнения СЖ. Следовательно, на величину скорости SR E влияет как давление в предсердии к концу его резервуарной фазы, так и собственно диастолические свойства миокарда («пассивная» миокардиальная диастолическая жесткость СЖ, зависящая от его комплаенса, ИММ, структурных характеристик кардиомиоцитов и внеклеточного матрикса). Именно наличием измененных свойств самого миокарда СЖ объясняется повышенное соотношение E/e' в обследованной нами группе детей. Этот ЭхоКГ-параметр, отражающий давление на-

полнения СЖ (E/e'), был повышен во всех случаях, что косвенно отражает увеличенное конечное диастолическое давление в желудочке, поэтому скорости диастолической деформации СЖ в раннюю диастолу и позднюю диастолические фазы снижены обратно пропорционально увеличению E/e' .

В настоящее время для кардиологов, наблюдающих детей после операции Фонтена на амбулаторном этапе, ЭхоКГ-параметры диастолической функции носят малоинформативный характер для принятия тактических решений, прежде всего в связи с отсутствием четких критериев определения тяжести дисфункции и возможностей медикаментозной коррекции. Параметры ЭхоКГ-оценки диастолической функции были разработаны для бивентрикулярной гемодинамики у взрослых. Традиционное разделение на ЭхоКГ стадии диастолических нарушений, вероятно, не универсально и не может быть экстраполировано на пациентов педиатрической группы с СЖ после операции Фонтена. У пациентов с двухжелудочковой гемодинамикой диастолические нарушения сопровождаются как повышением давления в предсердии, так и возрастанием конечного диастолического давления в желудочке, тогда как у пациентов с гемодинамикой Фонтена отмечается низкое давление в предсердии и повышенное конечное диастолическое давление в желудочке [21, 22]. У обследованных нами детей после операции тотального кавопульмонального соединения выявлены особенности диастолических нарушений СЖ. Резервуарная, кондуктивная и насосная функции предсердия были значительно снижены, а предсердная жесткость – повышена. Низкий объем заполнения предсердия ограничивал его растяжимость, что привело

к снижению пассивного раннего диастолического вклада в наполнение СЖ. В свою очередь низкий диастолический предсердный вклад оказал негативное влияние на УИ, СВ, СИ. О нарушенных свойствах миокарда СЖ свидетельствовали нарушенные показатели продольной деформации СЖ, индекс производительности миокарда и ФИП СЖ. Снижение насосной функции СЖ, вероятно, является одной из причин формирования диастолических нарушений у детей после выполнения тотального кавопульмонального соединения и определяет ее специфику [21, 22]. Как и в других исследованиях, данные нашей работы показали, что особенности гемодинамики после операции Фонтена ассоциированы со сниженными УИ, СВ и СИ СЖ, что, в свою очередь, уменьшает венозный возврат, обуславливает низкую резервуарную деформацию предсердия, повышенную жесткость предсердия, низкую кондуктивную и контрактильную деформации. Поскольку параметры насосной функции СЖ, диастолической скорости деформации СЖ и деформации предсердия во все фазы были статистически значимо связаны у обследованных нами пациентов, можно заключить, что диастолические нарушения СЖ определяются его структурно-функциональными характеристиками, влияющими как на процессы диастолического наполнения, так и на насосную функцию. К диастолической способности СЖ после операции Фонтена «предъявляются» особые требования: в условиях повышенного системного венозного давления и низкого давления в предсердии желудочек должен не только принять кровь из функционально единого предсердия со сниженной функцией в фазу раннего диастолического наполнения, но и в позднюю диа-

столу при повышенном конечно-диастолическом давлении в СЖ [21]. Известно, что данная гемодинамическая ситуация со временем может привести к вазоконстрикции легочных сосудов, увеличить легочно-сосудистое сопротивление, повысить давление в предсердии и в легочных венах, уменьшить транспульмональный поток, что приведет к еще большему снижению гемодинамических параметров СЖ [6, 7]. Выявленные изменения показателей продольной деформации могут сигнализировать о латентной дисфункции СЖ, которая не обнаруживается традиционными ЭхоКГ-параметрами [13]. Таким образом, использование показателей диастолической механики у детей после операции Фонтена может помочь при динамическом наблюдении получить дополнительную информацию об особенностях диастолических нарушений СЖ. Необходимы дальнейшие исследования не только для оптимизации неинвазивных методов изучения диастолической функции с одновременной оценкой данных ЭхоКГ и катетеризации сердца у пациентов с СЖ, но и для усовершенствования методов коррекции диастолической дисфункции.

Выводы

1. Эхокардиографические показатели продольной скорости диастолической деформации могут быть использованы для выявления признаков диастолической дисфункции системного желудочка у детей после операции Фонтена.

2. Гемодинамические параметры системного желудочка (ударный индекс, сердечный выброс, сердечный индекс) определяют показатели его диастолической механики.

3. Резервуарная, кондуктивная и контрактильная функции предсердия у пациентов с тотальным кавапульмональным соединением связаны как со скоростными характеристиками диастолической продольной деформации, так с гемодинамическими параметрами системного желудочка.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Jacobs J.P., Maruszewski B.* Functionally Univentricular Heart and the Fontan Operation: Lessons Learned About Patterns of Practice and Outcomes From the Congenital Heart Surgery Databases of the European Association for Cardio-Thoracic Surgery and the Society of Thoracic Surgeons. *World J Pediatr Congenit Heart Surg* 2013; 4 (4): 349–355. PMID: 24327626. DOI: 10.1177/2150135113494228

2. *Pundi K.N., Johnson J.N., Dearani J.A., Pundi K.N., Li Z., Hinck C.A., Dabl S.H., Cannon B.C., O'Leary P.W., Driscoll D.J., Cetta F.* 40-Year Follow-Up After the Fontan Operation: Long-Term Outcomes of 1,052 Patients. *J Am Coll Cardiol* 2015; 66 (15): 1700–1710. PMID: 26449141 DOI: 10.1016/j.jacc.2015.07.065

3. *Dragulescu A., Mertens L., Friedberg M.K.* Interpretation of Left Ventricular Diastolic Dysfunction in Children With Cardiomyopathy by Echocardiography: Problems and Limitations. *Circ Cardiovasc Imaging* 2013; 6 (2): 254–261. PMID: 23343514 DOI: 10.1161/CIRCIMAGING.112.000175

4. *Margossian R., Sleeper L.A., Pearson G.D., Barker P.C., Mertens L., Quartermain M.D., Su J.T., Shirali G., Chen S., Colan S.D.* Assessment of Diastolic Function in Single Ventricle Patients Following the Fontan Procedure. *J Am Soc Echocardiogr* 2016; 29 (11): 1066–1073. PMID: 27624592. PMCID: PMC5302850 DOI: 10.1016/j.echo.2016.07.016

5. *Park P.W., Atz A.M., Taylor C.L., Chowdbury S.M.* Speckle-tracking Echocardiography Improves Pre-Operative Risk Stratification Prior to the Total Cavopulmonary Connection. *J Am Soc Echocardiogr* 2017; 30 (5): 478-484. PMID: 28274715 PMID: PMC5420476. DOI: 10.1016/j.echo.2017.01.008
6. *Tissot C., Singh Y., Sekarski N.* Echocardiographic Evaluation of Ventricular Function – For the Neonatologist and Pediatric Intensivist. *Front. Pediatr.* 2018 6: 79. DOI: 10.3389/fped.2018.00079
7. *Nagueh S.F., Smiseth O.A., Appleton C.P., Byrd B.F., Dokainish H., Edvardsen T., Flachskampf G., Gillebert T.C., Klein A.L., Lancellotti P., Marino F.A., Oh J.K., Popescu B.A., Waggoner A.D.* Recommendations for the Evaluation of Left Ventricular Diastolic Function by Echocardiography: An Update from the American Society of Echocardiography and the European Association of Cardiovascular Imaging. *J Am Soc Echocardiogr.* 2016; 29 (4): 277–314. PMID: 27037982. DOI: 10.1016/j.echo.2016.01.011
8. *Jashari H., Rydberg A., Ibrabimi P., Bajraktari G., Kryeziu L., Jashari F., Henein N.Y.* Normal ranges of left ventricular strain in children: a meta-analysis. *Cardiovasc Ultrasound* 2015; 13: 37. DOI: 10.1186/s12947-015-0029-0
9. *Kasner M., Gaub R., Sinning D., Westermann D., Steendijk P., Hoffmann W., Schultheiss H.P., Tschöpe C.* Global strain rate imaging for the estimation of diastolic function in HFNEF compared with pressure–volume loop analysis. *Eur J Echocardiogr* 2010; 11 (9): 743–751. PMID: 20484335 DOI: 10.1093/ejehocardi/jeq060
10. *Hope K.D., Wang Y., Banerjee M.M., Montero A.E., Pandian N.G., Banerjee A.* Left atrial mechanics in children: insights from new applications of strain imaging. *Int J Cardiovasc Imaging* 2018; 35 (1): 57–65. PMID: 30116926 DOI: 10.1007/s10554-018-1429-7
11. *Badano L.P., Koliaas T.J., Muraru D., Abraham T.P., Aurigemma G., Edvardsen T., D'Hooge J., Donal E., Fraser A.G., Marwick T., Mertens L., Popescu B.A., Sengupta P.P., Lancellotti P., Thomas J.D., Voigt J.-U.* Standardization of left atrial, right ventricular, and right atrial deformation imaging using two-dimensional speckle tracking echocardiography: a consensus document of the EACVI/ASE/ Industry Task Force to standardize deformation imaging. *European Heart Journal – Cardiovascular Imaging* 2018; 19 (6): 591–600. PMID: 29757384. DOI: 10.1093/ehjci/jej071
12. *Cantinotti M., Scalese M., Giordano R., Franchi E., Assanta N., Molinaro S., Iervasi G., Santoro G., Koestenberger M., Kutty S.* Left and Right Atrial Strain in Healthy Caucasian Children by Two-Dimensional Speckle-Tracking Echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr* 2019; 32 (1): 165–168. PMID: 30459121. DOI: 10.1016/j.echo.2018.10.002
13. *Michel M., Logoteta J., Entenmann A., Hansen J.H., Voges I., Kramer H., Petko C.* Decline of Systolic and Diastolic 2D Strain Rate During Follow-Up of HLHS Patients After Fontan Palliation. *Pediatr Cardiol* 2016; 37 (7): 1250–1257.
14. *Бокерия Л.А., Зеленикин М.М., Свободов А.А.* Пороки с одножелудочковой гемодинамикой. Операции обхода правого сердца. Бокерия Л.А., Шаталов К.В. Детская кардиохирургия: руководство для врачей. Под ред. Л.А. Бокерия, К.В. Шаталова. М.: ФГБУ «НЦССХ им. А.Н. Бакулева» МЗ РФ 2016; 663.
15. *Miranda W.R., Warnes C.A., Connolly H.M., Taggart N.W., O'Leary P.W., Oh J.K., Egbe A.C.* Echo-Doppler Assessment of Ventricular Filling Pressures in Adult Fontan Patients. *Int J Cardiol*

2019; 284: 28–32. PMID: 30503185. DOI: 10.1016/j.ijcard.2018.10.077

16. *Averin K., Hirsch R., Seckeler M.D., Whiteside W., Beekman R.H., Goldstein B.H.* Diagnosis of occult diastolic dysfunction late after the Fontan procedure using a rapid volume expansion technique. *Heart* 2016; 102 (14): 1109–1114. PMID: 26917538 DOI: 10.1136/heartjnl-2015-309042

17. *Davis E.K., Ginde S., Stelter J., Frommelt P., Hill G.D.* Echocardiographic Assessment of Single-Ventricle Diastolic Function and Its Correlation to Short-Term Outcomes After the Fontan Operation. *Congenit Heart Dis* 2019; 14 (5): 720–725. PMID: 31231979. DOI: 10.1111/chd.12814

18. *Choudbury A., Magoon R., Malik V., Kapoor P.M., Ramakrishnan S.* Studying Diastology with Speckle Tracking Echocardiography: The Essentials. *Ann Card Anaesth* 2017; 20 (1): S57–S60. PMID: 28074824. PMCID: PMC5299830. DOI: 10.4103/0971-9784.197800

19. *Dahl J.S., Barros-Gomes S., Videbæk L., Poulsen M.K., Issa I.F., Carter-Storch R., Christensen N.L., Kumme A., Pellikka P.A., Møller J.* Early Diastolic Strain Rate in Relation to Systolic and Diastolic Function and Prognosis in Aortic Stenosis. *JACC Cardiovasc Imaging* 2016; 9 (5): 519–528. PMID: 27085434. DOI: 10.1016/j.jcmg.2015.06.029

20. *Rychik J., Atz A.M., Celermajer D.S., Deal B.J., Gatzoulis M.A., Gewillig M.H., Hsia T-Y, Hsu D.T., Kovacs A.H., McCrindle B.W., Newburger J.W., Pike N.A., Rodefeld M., Rosenthal D.N., Schumacher K.R., Marino B.S., Stout K., Veldtman G., Younoszai A.K., d'Udekem Y.* Evaluation and Management of the Child and Adult With Fontan Circulation: A Scientific Statement From the American Heart Association. *Circulation* 2019; 140: e234–e284, available at: <https://doi.org/10.1161/CIR.0000000000000696>

21. *Gewillig M., Brown S.C.* The Fontan circulation after 45 years: update in physiology. *Heart* 2016; 102: 1081–1086, available at: <http://dx.doi.org/10.1136/heartjnl-2015-307467>

22. *La Gerche A., Gewillig M.* What limits cardiac performance during exercise in normal subjects and in healthy Fontan patients? *Int J Pediatr* 2010; pii: 791291. DOI: 10.1155/2010/791291

REFERENCES

1. *Jacobs J.P., Maruszewski B.* Functionally Univentricular Heart and the Fontan Operation: Lessons Learned About Patterns of Practice and Outcomes From the Congenital Heart Surgery Databases of the European Association for Cardio-Thoracic Surgery and the Society of Thoracic Surgeons. *World J Pediatr Congenit Heart Surg* 2013; 4 (4): 349–355. PMID: 24327626 DOI: 10.1177/2150135113494228

2. *Pundi K.N., Johnson J.N., Dearani J.A., Pundi K.N., Li Z., Hinck C.A., Dahl S.H., Cannon B.C., O'Leary P.W., Driscoll D.J., Cetta F.* 40-Year Follow-Up After the Fontan Operation: Long-Term Outcomes of 1,052 Patients. *J Am Coll Cardiol* 2015; 66 (15): 1700–1710. PMID: 26449141. DOI: 10.1016/j.jacc.2015.07.065

3. *Dragulescu A., Mertens L., Friedberg M.K.* Interpretation of Left Ventricular Diastolic Dysfunction in Children With Cardiomyopathy by Echocardiography: Problems and Limitations. *Circ Cardiovasc Imaging* 2013; 6 (2): 254–261. PMID: 23343514. DOI: 10.1161/CIRCIMAGING.112.000175

4. *Margossian R., Sleeper L.A., Pearson G.D., Barker P.C., Mertens L., Quartermain M.D., Su J.T., Shirali G., Chen S., Colan S.D.* Assessment of Diastolic Function in Single Ventricle Patients Following the Fontan Procedure. *J Am Soc Echocardiogr* 2016; 29 (11): 1066–1073.

PMID: 27624592. PMCID: PMC5302850. DOI: 10.1016/j.echo.2016.07.016.

5. *Park P.W., Atz A.M., Taylor C.L., Chowdbury S.M.* Speckle-tracking Echocardiography Improves Pre-Operative Risk Stratification Prior to the Total Cavopulmonary Connection. *J Am Soc Echocardiogr* 2017; 30 (5): 478–484. PMID: 28274715. PMCID: PMC5420476. DOI: 10.1016/j.echo.2017.01.008

6. *Tissot C., Singh Y., Sekarski N.* Echocardiographic Evaluation of Ventricular Function—For the Neonatologist and Pediatric Intensivist. *Front Pediatr* 2018; 6: 79. DOI: 10.3389/fped.2018.00079

7. *Nagueb S.F., Smiseth O.A., Appleton C.P., Byrd B.F., Dokainish H., Edvardsen T., Flachskampf G., Gillebert T.C., Klein A.L., Lancellotti P., Marino F.A., Oh J.K., Popescu B.A., Waggoner A.D.* Recommendations for the Evaluation of Left Ventricular Diastolic Function by Echocardiography: An Update from the American Society of Echocardiography and the European Association of Cardiovascular Imaging. *J Am Soc Echocardiogr* 2016; 29 (4): 277–314. PMID: 27037982. DOI: 10.1016/j.echo.2016.01.011

8. *Jasbani H., Rydberg A., Ibrahim P., Bajraktari G., Kryeziu L., Jasbani F., Henein N.Y.* Normal ranges of left ventricular strain in children: a meta-analysis. *Cardiovasc Ultrasound* 2015; 13: 37. DOI: 10.1186/s12947-015-0029-0

9. *Kasner M., Gaub R., Sinning D., Westermann D., Steendijk P., Hoffmann W., Schultheiss H.P., Tschöpe C.* Global strain rate imaging for the estimation of diastolic function in HFNEF compared with pressure–volume loop analysis. *Eur J Echocardiogr* 2010; 11 (9): 743–751. PMID: 20484335 DOI: 10.1093/ejehocardiogr/jeq060

10. *Hope K.D., Wang Y., Banerjee M.M., Montero A.E., Pandian N.G., Banerjee A.* Left

atrial mechanics in children: insights from new applications of strain imaging. *Int J Cardiovasc Imaging* 2018; 35 (1): 57–65. PMID: 30116926 DOI: 10.1007/s10554-018-1429-7

11. *Badano L.P., Kolas T.J., Muraru D., Abraham T.P., Aurigemma G., Edvardsen T., D'Hooge J., Donal E., Fraser A.G., Marwick T., Mertens L., Popescu B.A., Sengupta P.P., Lancellotti P., Thomas J.D., Voigt J.-U.* Standardization of left atrial, right ventricular, and right atrial deformation imaging using two-dimensional speckle tracking echocardiography: a consensus document of the EACVI/ASE/ Industry Task Force to standardize deformation imaging. *European Heart Journal – Cardiovascular Imaging* 2018; 19 (6): 591–600. PMID: 29757384. DOI: 10.1093/ehjci/jev071

12. *Cantinotti M., Scalese M., Giordano R., Franchi E., Assanta N., Molinaro S., Iervasi G., Santoro G., Koestenberger M., Kutty S.* Left and Right Atrial Strain in Healthy Caucasian Children by Two-Dimensional Speckle-Tracking Echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr* 2019; 32 (1): 165–168. PMID: 30459121. DOI: 10.1016/j.echo.2018.10.002

13. *Michel M., Logoteta J., Entenmann A., Hansen J.H., Voges I., Kramer H., Petko C.* Decline of Systolic and Diastolic 2D Strain Rate During Follow-Up of HLHS Patients After Fontan Palliation. *Pediatr Cardiol* 2016; 37 (7): 1250–1257

14. *Bokeria L.A., Zelenikin M.M., Svobodov A.A.* Defects with single ventricular hemodynamics. Right heart bypass operations. Ed. L.A. Bokeria, K.V. Shatalov. *Pediatric Cardiac Surgery. A guide for doctors.* Moscow: FSBI NTSSSH them. A.N. Bakuleva "Ministry of Health of the Russian Federation 2016; 663 (in Russian).

15. *Miranda W.R., Warnes C.A., Connolly H.M., Taggart N.W., O'Leary P.W., Oh J.K., Egbe A.C.*

Echo-Doppler Assessment of Ventricular Filling Pressures in Adult Fontan Patients. *Int J Cardiol* 2019; 284: 28–32. PMID: 30503185. DOI: 10.1016/j.ijcard.2018.10.077

16. *Averin K., Hirsch R., Seckeler M.D., Whiteside W., Beekman R.H., Goldstein B.H.* Diagnosis of occult diastolic dysfunction late after the Fontan procedure using a rapid volume expansion technique. *Heart* 2016; 102 (14): 1109–1114. PMID: 26917538. DOI: 10.1136/heartjnl-2015-309042

17. *Davis E.K., Ginde S., Stelter J., Frommelt P., Hill G.D.* Echocardiographic Assessment of Single-Ventricle Diastolic Function and Its Correlation to Short-Term Outcomes After the Fontan Operation. *Congenit Heart Dis*. 2019; 14 (5): 720–725. PMID: 31231979. DOI: 10.1111/chd.12814

18. *Choudbury A., Magoon R., Malik V., Kapoor P.M., Ramakrishnan S.* Studying Diastology with Speckle Tracking Echocardiography: The Essentials. *Ann Card Anaesth* 2017; 20 (1): S57–S60. PMID: 28074824. PMCID: PMC5299830. DOI: 10.4103/0971-9784.197800

19. *Dahl J.S., Barros-Gomes S., Videbaek L., Poulsen M.K., Issa I.F., Carter-Storch R., Christensen N.L., Kumme A., Pellikka P.A., Møller J.* Early Diastolic Strain Rate in Relation to Systolic and Diastolic Function and Prognosis in Aortic Stenosis. *JACC Cardiovasc Imaging* 2016; 9 (5):

519–528. PMID: 27085434. DOI: 10.1016/j.jcmg.2015.06.029

20. *Rychik J., Atz A.M., Celermajer D.S., Deal B.J., Gatzoulis M.A., Gewillig M.H., Hsia T-Y, Hsu D.T., Kovacs A.H., McCrindle B.W., Newburger J.W., Pike N.A., Rodefeld M., Rosenthal D.N., Schumacher K.R., Marino B.S., Stout K., Veldtman G., Younoszai A.K., d'Udekem Y.* Evaluation and Management of the Child and Adult With Fontan Circulation: A Scientific Statement From the American Heart Association. *Circulation* 2019; 140: e234–e284, available at: <https://doi.org/10.1161/CIR.0000000000000696>

21. *Gewillig M., Brown S.C.* The Fontan circulation after 45 years: update in physiology. *Heart* 2016; 102: 1081–1086, available at: <http://dx.doi.org/10.1136/heartjnl-2015-307467>

22. *La Gerche A., Gewillig M.* What limits cardiac performance during exercise in normal subjects and in healthy Fontan patients? *Int J Pediatr* 2010. pii: 791291. DOI: 10.1155/2010/79129115

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Материал поступил в редакцию 25.01.2020