

© КОЛЛЕКТИВ АВТОРОВ, 2015

УДК 616.124-007.2-089.86-07

Ершова Н.В., Янулевич О.С., Павличев Г.В., Соколов А.А., Кривошеков Е.В., Варваренко В.И.

ВЛИЯНИЕ ДВУНАПРАВЛЕННОГО КАВОПУЛЬМОНАЛЬНОГО СОЕДИНЕНИЯ НА СОСТОЯНИЕ СЕРДЕЧНО-ЛЕГОЧНОЙ ГЕМОДИНАМИКИ У ПАЦИЕНТОВ С ФУНКЦИОНАЛЬНО ЕДИНСТВЕННЫМ ЖЕЛУДОЧКОМ СЕРДЦА

«Научно-исследовательский институт кардиологии Сибирского отделения РАН», 634012, г. Томск, ул. Киевская, 111а

Представлены результаты оценки влияния двунаправленного кавопульмонального соединения на состояние сосудов малого круга кровообращения и функцию единственного желудочка сердца, определены наиболее важные показатели легочной гемодинамики, необходимые для выполнения двунаправленного кавопульмонального соединения. В исследование включено 89 пациентов, которым проведена эхокардиография и катетеризация сердца до и после двунаправленного кавопульмонального соединения. Показано, что снижение контрактильности единственного желудочка сердца после двунаправленного кавопульмонального соединения происходит при сохранении нормальной насосной функции и нормальной механической функции предсердий. Самым значимым показателем легочной гемодинамики при оценке операбельности пациентов с функционально единственным желудочком сердца и высоким давлением в легочной артерии является уровень легочного сосудистого сопротивления менее 2 Ед. Wood/м². У 52 пациентов оценено влияние двунаправленного кавопульмонального соединения на состояние сосудов малого круга кровообращения. Установлено, что двунаправленное кавопульмональное соединение снижает давление в легочной артерии, легочное сопротивление и конечное диастолическое давление в желудочке. Верхнее кавопульмональное соединение способствует асимметричному развитию ветвей легочной артерии, поэтому не может оставаться окончательным вариантом гемодинамической коррекции.

Ключевые слова: двунаправленное кавопульмональное соединение; единственный желудочек сердца; легочная гемодинамика; сердечная гемодинамика.

Для цитирования: Российский педиатрический журнал. 2015; 18 (3): 21–27.

Ershova N. V., Yanulevich O. S., Pavlichev G. V., Sokolov A. A., Krivoshchekov E. V., Varvarenko V. I.

EFFECTS OF CAVOPULMONARY ANASTOMOSIS SURGERY ON CARDIOPULMONARY HEMODYNAMICS IN PATIENTS WITH THE FUNCTIONAL SINGLE VENTRICLE

Research Institute for Cardiology, 111a, Kievskaya Str., Tomsk, 634012

The article presents the evaluation of the effects of bidirectional cavopulmonary anastomosis surgery on the state of pulmonary circulation blood vessels and the function of the single ventricle; the most important indices of pulmonary hemodynamics essential for achieving the bidirectional cavopulmonary anastomosis are identified. The study included 89 patients, they were examined by echocardiography and cardiac catheterization before and after the bidirectional cavopulmonary anastomosis surgery. Data showed that the decrease in the single ventricle contractility after bidirectional cavopulmonary anastomosis surgery occurs in the presence of the normal pumping and the normal atrial mechanical function. For the evaluation of operability in patients with the functional single ventricle and high pressure in the pulmonary artery, the most important index of the state of pulmonary hemodynamics is shown to be the value of the pulmonary vascular resistance lower than 2 Wood units/m². The effects of bidirectional cavopulmonary anastomosis on the pulmonary circulation blood vessels were determined in 52 patients. The results showed that the bidirectional cavopulmonary anastomosis surgery decreased pulmonary artery pressure, pulmonary resistance, and ventricular end diastolic pressure. Upper cavopulmonary anastomosis contributed to the asymmetric development of pulmonary artery. Therefore, other options of hemodynamic correction should be considered further.

Key words: bidirectional cavopulmonary anastomosis, single functional ventricle, pulmonary hemodynamics, cardiac hemodynamics.

Citation: Rossiiskii Pediatricheskii Zhurnal. 2015; 18(3): 21–27. (In Russ.)

Единственный желудочек сердца – это врожденная аномалия, которая охватывает большой спектр анатомических нарушений и требует последовательных стадий гемодинамической коррекции. При этом истинно единственный желудочек сердца встречается крайне редко, чаще всего присутствует рудиментарная часть одного из желудочков, поэтому корректнее говорить о функционально единственном желудочке сердца (ФЕЖС), который обеспечивает как системное, так и легочное крово-

обращение [1]. В основе гемодинамической коррекции лежит этапное хирургическое лечение, направленное на адаптацию сердечно-сосудистой системы к обходу правого сердца [2]. Промежуточным этапом для гемодинамической коррекции является двунаправленное кавопульмональное соединение (ДКПС), или иначе операция двунаправленного шунта Гленна [3]. Однако не существует однозначного мнения относительно того, что является оптимальными критериями для выполнения верхнего кавопульмонального соединения [4–7]. Большинство авторов придерживаются мнения, что оптимальным является давление в легочной артерии не выше 15 мм рт.ст. и легочное сопротивление ниже 2 Ед. Wood/м². До настоящего

Для корреспонденции: Соколов Александр Анатольевич, e-mail: falcol16@rambler.ru

времени ведутся споры о необходимости дополнительного источника легочного кровотока при ДКПС, объясняя это недостаточным ростом легочных артерий и формированием артериовенозных мальформаций в легких при изолированном двунаправленном шунте Гленна [8, 9].

После операции ДКПС легочный кровоток обеспечивается пассивным венозным возвратом из системы верхней полой вены, что приводит к уменьшению преднагрузки и изменению геометрии желудочка сердца [10,11]. Перестройка гемодинамики после двунаправленного шунта Гленна может влиять на систолическую и диастолическую функции ФЕЖС, которые до настоящего времени полностью не изучены [12, 13].

Целью нашего исследования были определение оптимальных критериев легочной гемодинамики для выполнения операции ДКПС, оценка влияния двунаправленного шунта Гленна без дополнительного источника легочного кровотока на функцию единственного желудочка сердца и состояние сосудов малого круга кровообращения.

Материалы и методы

Для оценки внутрисердечной и легочной гемодинамики в исследование включены 89 больных с ФЕЖС до и после наложения ДКПС. У 8 пациентов диагностирован синдром гетеротаксии, из них 6 детей с левосторонним изомеризмом и 2 ребенка с правосторонним изомеризмом. Возраст детей перед ДКПС был от 0,16 до 13 лет, Ме = 0,64 (IQR: 0,5–1,2), масса тела от 3,4 до 47 кг, Ме = 8,1 (IQR: 6,9–9,3), по данным пульсоксиметрии сатурация кислорода от 50 до 98%, Ме = 74 (IQR: 65,3–78). Для изучения влияния ДКПС на состояние малого круга кровообращения обследованы 52 пациента, которым было выполнено тотальное кавопульмональное соединение (ТКПС). На этапе ТКПС возраст пациентов от 1,56 до 14 лет, Ме = 3,0 (IQR: 3,17–3,27), масса тела от 10,3 до 49 кг, Ме = 15 (IQR: 13,7–16,9), сатурация кислорода от 62 до 86%, Ме = 80 (IQR: 75,25–82).

Наиболее часто встречались следующие анатомические варианты врожденных пороков сердца: двуприточный левый желудочек – 23 (25,84%); атрезия трикуспидального клапана – 17 (19,1%); несбалансированная форма атриовентрикулярной коммуникации – 14 (15,73%); синдром гипоплазии левых отделов сердца – 13 (14,6%). Реже наблюдались атрезия легочной артерии с интактной межжелудочковой перегородкой – 2 (2,24%); двуприточный правый желудочек – 4 (4,49%); атрезия митрального клапана – 8 (8,98%); аномалия Эбштейна – 2 (2,24%); двойное отхождение сосудов от правого желудочка с некоммитированным дефектом межжелудочковой перегородки – 3 (3,37%), множественные дефекты межжелудочковой перегородки – 3 (3,37%).

Для оптимизации легочного кровотока и устранения обструкции системного кровотока в периоде новорожденности 63 (70,8%) детям выполнены следующие хирургические вмешательства: суживание легочной артерии ($n=30$), модифицированный

Блелока–Тауссиг шунт ($n=20$), операция Норвуда с системно-легочным шунтом ($n=13$). У 26 (29,2%) пациентов первым этапом коррекции порока сердца было ДКПС. Всем пациентам ДКПС выполнялось по методике, принятой в НИИ кардиологии (патент на изобретение № 2405465, зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 10.12.10), прямой поток в легочную артерию перекрывался заплатой с иссечением створок клапана легочной артерии. После ДКПС констатировано 3 (3,4%) летальных исхода, причинами которых стали хроническая сердечная недостаточность и венозный тромбоз.

На этапе ДКПС проводились дополнительные хирургические вмешательства по устранению обструкции системного кровотока: расширение дефекта межжелудочковой перегородки ($n=6$), процедура Дамуса–Кея–Стенсела ($n=2$) и пластика дуги аорты по поводу рекоарктации аорты ($n=2$), коррекция тотального аномального дренажа легочных вен ($n=1$), иссечение межпредсердной перегородки ($n=42$), пластика атриовентрикулярного клапана ($n=3$).

Всем детям для изучения внутрисердечной гемодинамики проводилась двухмерная эхокардиография (ЭхоКГ). Эхокардиографические исследования выполнены на ультразвуковых системах экспертного класса IE-33 и IE-33 x-Matrix фирмы Philips. Использовались фазированные секторные датчики с частотами сканирования 7–12 и 3–8 МГц. Визуальная информация сохранялась на цифровых носителях для последующего анализа и обработки, цифровые данные – в автоматизированной базе данных [14]. В связи с возрастной и антропометрической неоднородностью пациентов показатели ЭхоКГ: объем камер, линейные размеры сосудов индексировались к площади поверхности тела, рассчитанной по формуле Дюбуа [15]. Оценивался объем функционально единственного желудочка сердца и массы миокарды [14, 16, 17], оценивались механическая активность левого предсердия, насосная функция ЕЖС и его диастолические свойства.

Контрольную группу для сравнения некоторых показателей внутрисердечной гемодинамики составили 248 детей в возрасте от 1 года до 3 лет ($1,66 \pm 0,81$), не имеющих заболеваний сердечно-сосудистой системы.

У 52 больных была исследована легочная гемодинамика с оценкой состояния легочного русла по данным катетеризации сердца. Минутный объем кровообращения определялся методом Фика на основании артериовенозной разницы по кислороду [18]. Для расчета легочного сосудистого сопротивления во время исследования измерялись насыщение гемоглобина кислородом в легочной артерии и легочных венах, среднее давление в легочной артерии и легочных венах [19,20]. При среднем давлении в легочной артерии выше 15 мм рт.ст. выполнялась проба с ингаляцией 100% кислородом. Проводилась ангиопульмонография для оценки архитектоники легочного сосудистого русла и индексов развития легочных артерий: Nakata index, McGoon ratio и Reddy index [21–23].

По данным ангиопульмонографии перед ТКПС у

Таблица 1

Результаты теста с кислородом, n=25 (Me (25%Q – 75%Q))

Показатель	Исходно	После ингаляции O ₂	p
Среднее давление в легочной артерии, мм рт.ст.	20 (17–26)	19 (17,5–27)	0,009
Легочный кровоток, л/м ² в минуту	4,56 (3,2–5,94)	11,6 (9,61–15,8)	0,001
Индекс легочного сопротивления, Ед. Wood/м ²	2,36 (1,9–3,07)	1,37 (0,77–1,81)	0,0014

двух больных выявлена артериовенозная мальформация сосудов легких, у одного из них диагностирован синдром гетеротаксии – левосторонний изомеризм.

Статистическая обработка результатов выполнена с помощью программы Statistica 8.0 for Windows. Количественные показатели представлены в виде Me (25%Q – 75%Q), где Me – медианное значение показателя, а (25%Q – 75%Q) – интерквартильный разброс. При нормальном распределении данные представлены $M \pm SD$, где M – среднее, а SD – стандартное квадратичное отклонение. Распределение пациентов отличалось от нормального по возрасту и массе тела, а также некоторым количественным признакам, отражающим функциональное состояние сердца, поэтому данные были обработаны непараметрическим способом. Для сравнения данных, которые подчинялись закону нормального распределения, использовали t -критерий Стьюдента. Изменения показателей до и после ДКПС оценивали методом сопряженных пар с применением t -критерия Стьюдента. Различия считались статистически значимыми при $p < 0,05$.

Результаты и обсуждение

До ДКПС по данным катетеризации сердца 64 (72%) пациентам, у которых зарегистрировано давление в легочной артерии ниже 15 мм рт.ст. и нормальное легочное сопротивление, не потребовалось дополнительных обследований. 25 (28%) больным, у

которых среднее давление в легочной артерии превышало 15 мм рт. ст., был выполнен тест с ингаляцией 100% кислородом. Результаты теста с кислородом представлены в табл. 1.

На фоне ингаляции кислородом отмечалось достоверное увеличение объема легочного кровотока из-за снижения легочного сопротивления, среднее давление в легочной артерии незначительно, снижалось, причиной этого являлась гиперволемиа малого круга кровообращения. Всем пациентам, у которых до ДКПС среднее давление в легочной артерии было выше 15 мм рт.ст., после операции назначался ингибитор фосфодиэстеразы 5-го типа (силденафил).

В раннем послеоперационном периоде у всех пациентов проводилась прямая манометрия давления в легочной артерии: через сутки после операции среднее давление в легочной артерии составило от 3 до 21 мм рт.ст., в среднем 12,5 мм рт.ст. У детей с давлением выше 17 мм рт.ст. прямая манометрия была продлена на несколько дней до нормализации показателей давления в легочной артерии.

По мнению некоторых авторов, двунаправленный шунт Гленна без дополнительного источника легочного кровотока уменьшает преднагрузку объемом ФЕЖС, при этом увеличивает эффективный легочный кровоток и улучшает насыщение кислородом крови в аорте [24, 25]. По результатам нашего исследования, после ДКПС по сравнению с исходными значениями незначительно, ($p = 0,05$)

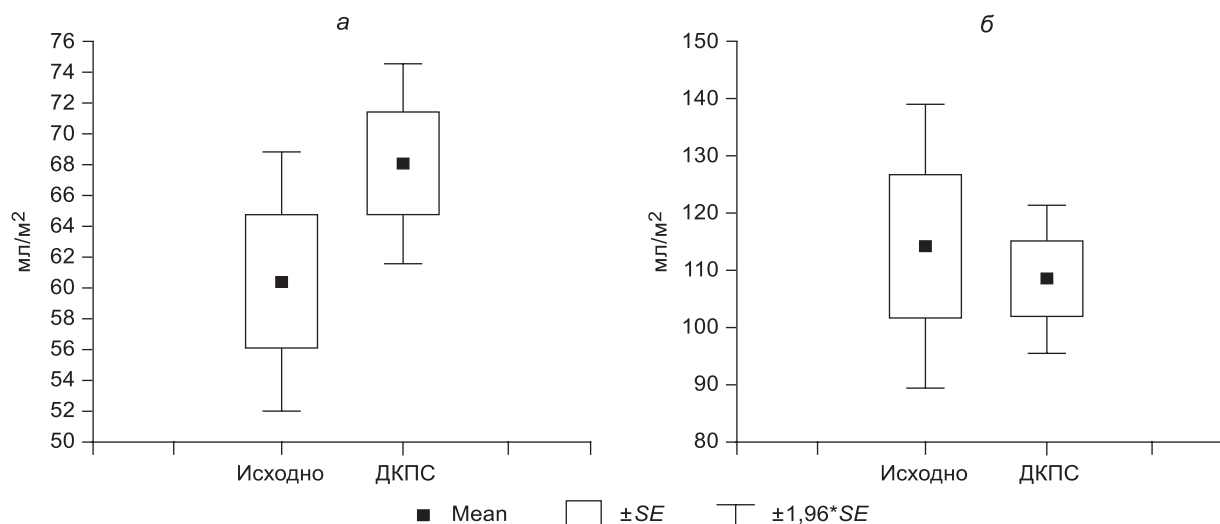


Рис. 1. Изменение индексированного диастолического объема (а) и массы миокарда (б) ЕЖС до и после ДКПС.

Результаты катетеризации сердца до и после ДКПС, $n=52$ (Ме (25%Q – 75%Q))

Показатель	До ДКПС	После ДКПС	p
Конечное диастолическое давление, мм рт.ст.	8 (7–10)	6,5 (5–8)	0,003
Среднее давление в легочной артерии, мм рт.ст.	13 (10,25–16,75)	8 (6,75–9)	0,001
Легочный кровоток, л/м ² в минуту	4,33 (2,8–5,18)	2,69 (2,25–3,2)	0,001
Индекс легочного сопротивления, Ед. Wood/м ²	1,69 (1,25–2,4)	1,11 (0,85–1,49)	0,034

увеличился индексированный диастолический объем общего желудочка сердца (рис. 1, *а*), при этом индексированная масса миокарда ФЕЖС не изменилась ($p=0,65$) (рис. 1, *б*).

Необходимо отметить, что по результатам катетеризации сердца, проведенной до ДКПС и перед ТКПС, отмечалось уменьшение объема легочного кровотока, что приводило к снижению легочного сопротивления и среднего давления в легочной артерии, а также наблюдалось уменьшение легочного венозного возврата в сердце и снижение конечного диастолического давления в ФЕЖС. Результаты катетеризации сердца представлены в табл. 2.

При этом давление наполнения левого желудочка, определенное как отношение E/a доплеровских скоростей потока наполнения (E) и скорости движения фиброзного кольца атриовентрикулярного клапана (a), определенное по тканевой доплерографии [26], не изменилось ($p = 0,91$).

Диастолические свойства желудочка сердца по данным соотношения скоростей наполнения в исходном состоянии и после ДКПС были умеренно нарушены, так E/a у детей с ФЕЖС составило $1,04 \pm 0,51$ (норма $1,84 \pm 0,21$), $p = 0,031$.

Тем не менее скорость наполнения ФЕЖС в фазу активной аспирации желудочков (E – быстрое наполнение) снизилась $p=0,006$ (рис. 2, *а*).

Значения величины скорости быстрого наполнения левого желудочка у детей контрольной группы были $115,5 \pm 19,2$ см/с, а скорость быстрого расслабления миокарда, по данным тканевой доплерографии – $12,9 \pm 2,81$ см/с. Эти показатели у детей с ФЕЖС до ДКПС не отличались от нормы.

Учитывая, что давление наполнения ФЕЖС оставалось прежним, изменение скорости быстрого наполнения, вероятно, было обусловлено переменной свойств миокарда, на что указывало уменьшение тканевой скорости расслабления (рис. 2, *б*) при отсутствии увеличения массы миокарда [27].

Механическая активность предсердий не менялась: так, скорость тканевого движения фиброзного кольца атриовентрикулярного клапана в систолу предсердий (см. рис. 2, *а*) осталась практически прежней ($8,98 \pm 3,0$ до операции и после $7,64 \pm 2,11$ см/с; $p=0,12$). У детей контрольной группы показатель составил $8,36 \pm 4,21$ см/с. Это указывало на сохранность механической функции предсердий после ДКПС [28].

Миокардиальный индекс Тея у детей с ФЕЖС был исходно увеличен ($0,72 \pm 0,2$) по сравнению с нормой ($0,395 \pm 0,09$), $p=0,003$, что указывало на наличие систолодиастолических расстройств ФЕЖС [17]. После ДКПС показатель составил $0,71 \pm 0,16$, что не отличалось от исходных значений ($p=0,84$).

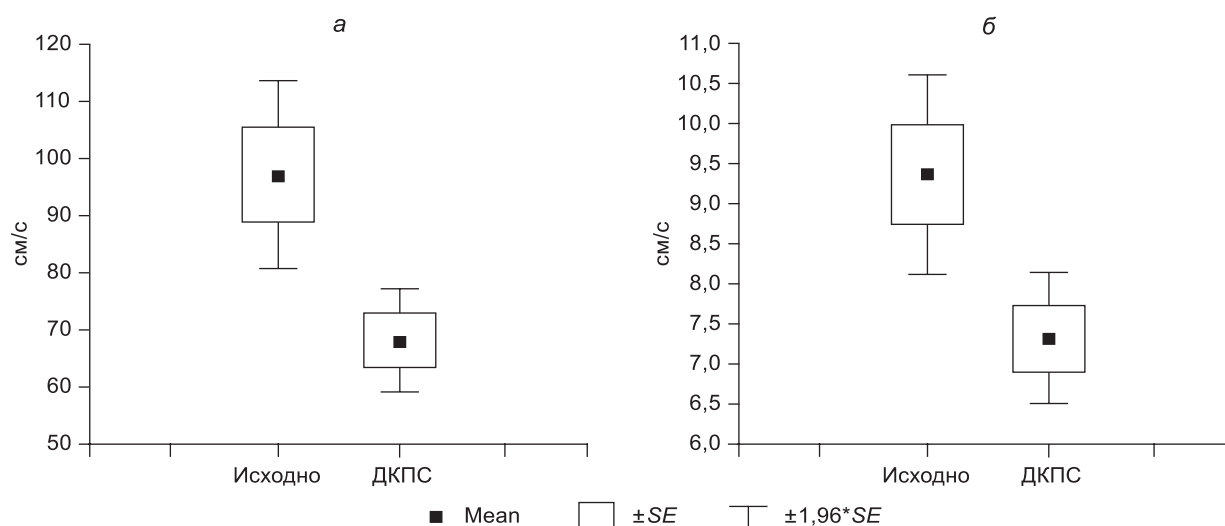


Рис. 2. Скорость быстрого наполнения (*а*) ЕЖС и скорость активного расслабления миокарда ЕЖС (*б*) до и после ДКПС.

Таблица 3
Морфометрия сосудов легочного русла перед ДКПС и ТКПС, n=52 (Ме (25%Q - 75%Q))

Показатель	Перед ДКПС	Перед ТКПС	p
Nakata index, мм ² /м ²	322,5 (251,7–380,5)	369 (272,5–438,5)	0,6
Reddy index, мм ² /м ²	244 (187,75–297,5)	240 (192,5–290)	0,8
McGoon ratio	1,8 (1,72–2,03)	2,08 (1,9–2,2)	0,01

Фракция выброса ФЕЖС снизилась после ДКПС (рис. 3, б), по сравнению с исходным состоянием, что связано с повышением общего системного сопротивления. Исходно системное сосудистое сопротивление было Ме=8,05 (5,2–11,8), после ДКПС Ме=10,34 (6,69–14,2). Сохранившаяся удовлетворительная контрактильность и достаточный объем ФЕЖС обеспечивали адекватные значения сердечного выброса (рис. 3, а), которые были даже выше, чем у лиц контрольной группы (3,27±0,69 л/м² в минуту).

После операции ДКПС на ангиопульмографии было отмечено различие диаметров правой и левой легочной артерии (p=0,005) и их нижнедолевых ветвей (p=0,009). При этом диаметр правой легочной артерии был в пределах 8,8–18,8 мм, Ме=12(10,55–14,1), левой – от 8,3 до 15,2 мм, Ме=11,5 (9,57–12,6). Диаметры нижнедолевых ветвей легочной артерии правой от 8,3 до 15,1 мм, Ме=11,5 (9,64–12,6), и левой от 6,3 до 14 мм Ме = 9,5 мм (8,4–10,8). Данный факт связан с особенностью гемодинамики на этапе ДКПС, при котором ток крови направлен преимущественно в правую легочную артерию.

В нашем исследовании было также оценено влия-

ние редуцированного легочного кровотока на развитие ветвей легочных артерий и периферического легочного русла с помощью индексов Nakata и Reddy, отношения McGoon (табл. 3).

Как видно из табл. 3, перед ТКПС не зарегистрировано изменений индексов Nakata и Reddy по сравнению со значениями до ДКПС (p>0,5), эти показатели соответствовали нормативным значениям. Отношение McGoon также имело значимую разницу до и после ДКПС (p=0,01). Это может свидетельствовать о достаточном росте ветвей легочной артерии после ДКПС без дополнительного источника легочного кровотока.

Выводы

1. Среднее давление в легочной артерии выше 15 мм рт.ст. не является противопоказанием для ДКПС. Для определения операбельности необходимо проводить тест с кислородом для оценки легочного сосудистого сопротивления, которое не должно превышать 2,2 Ед. Wood/м².
2. Функционирование ДКПС у детей с ФЕЖС в течение 1–3 лет приводит к умеренному, снижению контрактильности ЕЖС при сохранении нормальной насосной функции.
3. Снижение контрактильности единственного желудочка после ДКПС происходило при сохранной механической функции предсердий на фоне умеренного нарушения податливости миокарда единственного желудочка.
4. Двунправленное кавопульмональное соединение без дополнительного источника легочного кровотока снижает давление в легочной артерии, легочное сосудистое сопротивление и конечное диастолическое давление и тем самым создает оптимальные условия для выполнения тотального кавопульмонального соединения.
5. При отсутствии противопоказаний к созданию тотального кавопульмонального соединения неже-

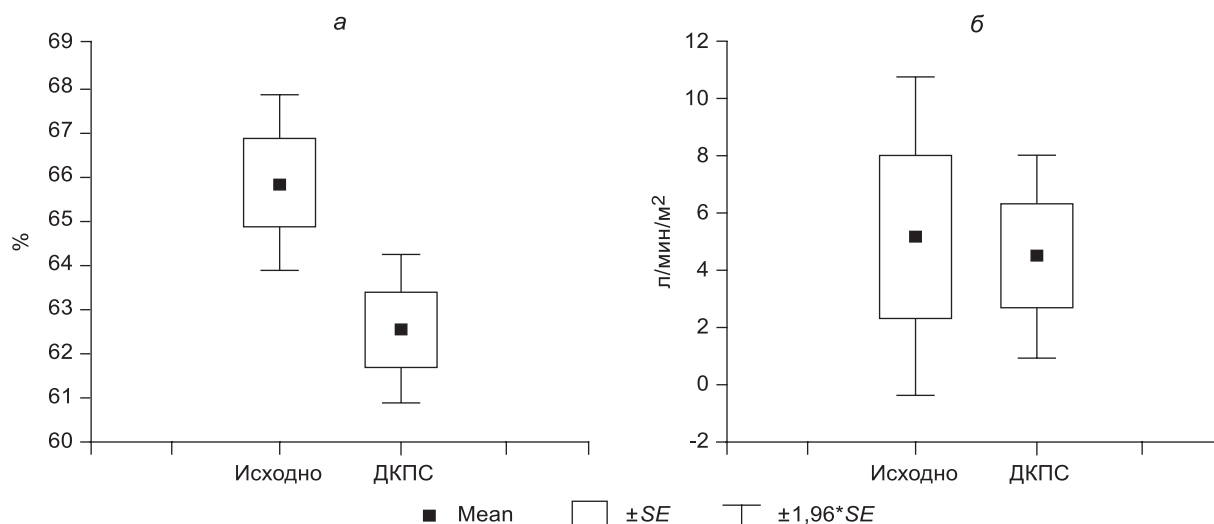


Рис. 3. Изменение контрактильности (а) и насосной функции (б) у детей с ЕЖС до и после ДКПС.

лательно длительное наблюдение за пациентами с ДКПС, поскольку данная гемодинамика приводит к асимметричному развитию ветвей легочной артерии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Горбатьх Ю.Н., Хапаев Т.С., Наберухин Ю.Л. и др. Этапный подход в хирургическом лечении врожденных пороков сердца с унивентрикулярной гемодинамикой. *Сибирский медицинский журнал*. 2007; 22 (2): 93–7.
2. Lee J.R., Choi J.S., Kang C.H. et al. Surgical results of patients with a functional single ventricle. *Eur. J. Cardiothorac. Surg.* 2003; 24: 716–22.
3. Calvaruso D.F., Rubino A., Ocello S. et al. Bidirectional Glenn and antegrade pulmonary blood flow: temporary or definitive palliation? *Ann. Thorac. Surg.* 2008; 85: 1389–96.
4. Hopkins R.A., Armstrong B.E., Serwer G.A., Peterson R.J., Oldham H.N. Physiological rationale for a bidirectional cavopulmonary shunt. *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.* 1985; 90: 391–8.
5. Bridges N.D., Jonas R.A., Mayer J.E., Flanagan M.F., Keane J.F. et al. Bidirectional cavopulmonary anastomosis as interim palliation for high-risk Fontan candidates. Early results. *Circulation*. 1990; 82 (Suppl. 4): 170–6.
6. Mainwaring R.D., Lamberti J.J., Moore J.W. The bidirectional Glenn and Fontan procedures – integrated management of the patient with functionally single ventricle. *Cardiol. Young.* 1996; 6: 198–207.
7. Van Arsdell G.S., Williams W.G., Maser C.M. et al. Superior vena cava to pulmonary artery anastomosis: an adjunct to biventricular repair. *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.* 1996; 112: 1143–9.
8. Berdat P.A., Belli E., Lacour-Gayet F., Planché Cl., Serraf A. Additional pulmonary blood flow has no adverse effect on outcome after bidirectional cavopulmonary anastomosis. *Ann. Thorac. Surg.* 2005; 79: 29–37.
9. Bernstein H.S., Brook M.M., Silverman N.H., Bristow J. Development of pulmonary arteriovenous fistulae in children after cavopulmonary shunt. *Circulation*. 1995; 92 (Suppl. II): 309–14.
10. Schwartz S.M., Dent C.L., Musa N.L., Nelson D.P. Single-ventricle physiology. *Crit. Care Clin.* 2003; 19: 393–411.
11. Hsiao S.H., Huang W.C., Sy C.L. et al. Doppler tissue imaging and color M-mode flow propagation velocity: are they really preload independent? *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2005; 18: 1277–84.
12. Selamet Tierney E.S., Glickstein J.S., Altmann K., Solowiejczyk D.E., Mosca R.S., Quaegebeur J.M. et al. Bidirectional cavopulmonary anastomosis: Impact on diastolic ventricular function indices. *Pediat. Cardiol.* 2007; 28: 372–8.
13. Forbes T.J., Gajarski R., Johnson G.L. et al. Influence of age on the effect of bidirectional cavopulmonary anastomosis on left ventricular volume, mass and ejection fraction. *J. Am. Coll. Cardiol.* 1996; 28: 1301–7.
14. Марцинкевич Г.И., Соколов А.А. Эхокардиография у детей: антропометрические и возрастные нормы. *Российский педиатрический журнал*. 2012. 2: 17–21.
15. Марцинкевич Г.И., Соколов А.А. Эхокардиография у детей, антропометрические и возрастные нормы, сравнительные возможности трехмерной эхокардиографии. *Сибирский медицинский журнал*. 2010; 25 [4, вып. 1]: 67–72.
16. Соколов А.А. Марцинкевич Г.И. Кривошеков Е.В. Ультразвуковая оценка функции единственного желудочка на этапах коррекции, проблемы и решения. *Кардиология в Беларуси*. 2011; 5: 397–8.
17. Ichihashi K., Sato A., Shiraiishi H., Momi M. Tissue Doppler combined with pulsed-wave Doppler echocardiography for evaluating ventricular diastolic function in normal children. *Echocardiography*. 2011; 28: 93–9.
18. Ройтберг Г.Е., Струтынский А.В. *Лабораторная и инструментальная диагностика заболеваний внутренних органов*. М.: БИНОМ; 2003.
19. Wilkerson J.L. Congenital heart disease: Haemodynamic calculations in the catheter laboratory. *Heart*. 2001; 85: 113–20.
20. Laitinen P. Evaluation of Cardiovascular Management in Children Undergoing Open-heart Surgery, with Special Reference to Oxygen Consumption and Vasoactive Support. *Academic Dissertation*. Helsinki; 2001.
21. Pridjian A.K., Mendelsohn A.M., Lupinetti F.M. et al. Usefulness of the bidirectional Glenn procedure as staged reconstruction for the functional single ventricle. *Am. J. Cardiol.* 1993; 71: 959–62.
22. Timothy M., Lee B.A., Ranjit Aiyagari. Risk factor analysis for second-stage palliation of single ventricle anatomy. *Ann. Thorac. Surg.* 2012; 93: 614–9.
23. Reddy V.M., McElhinney D.B., Moore P., Petrossian E., Hanley F.L. Pulmonary artery growth after bidirectional cavopulmonary shunt: is there a cause for concern? *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.* 1996; 112: 1180–92.
24. Mainwaring R.D., Lamberti J.J., Moore J.W. The bidirectional Glenn and Fontan procedures – integrated management of the patient with functionally single ventricle. *Cardiol. Young.* 1996; 6: 198–207.
25. Van Arsdell G.S., Williams W.G., Maser C.M. et al. Superior vena cava to pulmonary artery anastomosis: an adjunct to biventricular repair. *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.* 1996; 112: 1143–9.
26. Jae-Hyeong Park, Marwick Th.H. Use and limitations of E/e' to assess left ventricular filling pressure by echocardiography. *J. Cardiovasc. Ultrasound*. 2011; 19(4): 169–73.
27. Koyama J., Ray-Sequin P.A., Falk R.H. Longitudinal myocardial function assessed by tissue velocity, strain, and strain rate tissue Doppler echocardiography in patients with AL (primary) cardiac amyloidosis. *Circulation*. 2003; 107: 2446–52.
28. Kiani A., Kocharian A., Shabani R. et al. Left atrial ejection force in healthy newborn infants. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2008; 21(6): 725–72.

Поступила 05.03.15

REFERENCES

1. Gorbatykh Yu.N., Khapaev T.S., Naberukhin Yu.L. et al. Step approach in the surgical treatment of congenital heart disease with uni-ventricular hemodynamics. *Sibirskiy meditsinskiy zhurnal*. 2007; 22 (2): 93–7. (in Russian)
1. Горбатьх Ю.Н., Хапаев Т.С., Наберухин Ю.Л. и др. Этапный подход в хирургическом лечении врожденных пороков сердца с унивентрикулярной гемодинамикой. *Сибирский медицинский журнал*. 2007; 22 (2): 93–7.
2. Lee J.R., Choi J.S., Kang C.H. et al. Surgical results of patients with a functional single ventricle. *Eur. J. Cardiothorac. Surg.* 2003; 24: 716–22.
3. Calvaruso D.F., Rubino A., Ocello S. et al. Bidirectional Glenn and antegrade pulmonary blood flow: temporary or definitive palliation? *Ann. Thorac. Surg.* 2008; 85: 1389–96.
4. Hopkins R.A., Armstrong B.E., Serwer G.A., Peterson R.J., Oldham H.N. Physiological rationale for a bidirectional cavopulmonary shunt. *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.* 1985; 90: 391–8.
5. Bridges N.D., Jonas R.A., Mayer J.E., Flanagan M.F., Keane J.F. et al. Bidirectional cavopulmonary anastomosis as interim palliation for high-risk Fontan candidates. *Early results. Circulation*. 1990; 82 (Suppl. 4): 170–6.
6. Mainwaring R.D., Lamberti J.J., Moore J.W. The bidirectional Glenn and Fontan procedures – integrated management of the patient with functionally single ventricle. *Cardiol. Young.* 1996; 6: 198–207.
7. Van Arsdell G.S., Williams W.G., Maser C.M. et al. Superior vena cava to pulmonary artery anastomosis: an adjunct to biventricular repair. *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.* 1996; 112: 1143–9.
8. Berdat P.A., Belli E., Lacour-Gayet F., Planché Cl., Serraf A. Additional pulmonary blood flow has no adverse effect on outcome after bidirectional cavopulmonary anastomosis. *Ann. Thorac. Surg.* 2005; 79: 29–37.
9. Bernstein H.S., Brook M.M., Silverman N.H., Bristow J. Development of pulmonary arteriovenous fistulae in children after cavopulmonary shunt. *Circulation*. 1995; 92 (Suppl. II): 309–14.
10. Schwartz S.M., Dent C.L., Musa N.L., Nelson D.P. Single-ventricle physiology. *Crit. Care Clin.* 2003; 19: 393–411.

11. Hsiao S.H., Huang W.C., Sy C.L. et al. Doppler tissue imaging and color M-mode flow propagation velocity: are they really preload independent? *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2005; 18: 1277–84.
12. Selamat Tierney E.S., Glickstein J.S., Altmann K., Solowiejczyk D.E., Mosca R.S., Quaegebeur J.M. et al. Bidirectional cavopulmonary anastomosis: Impact on diastolic ventricular function indices. *Pediat. Cardiol.* 2007; 28: 372–8.
13. Forbes T.J., Gajarski R., Johnson G.L. et al. Influence of age on the effect of bidirectional cavopulmonary anastomosis on left ventricular volume, mass and ejection fraction. *J. Am. Coll. Cardiol.* 1996; 28: 1301–7.
14. Martsinkevich G.I., Sokolov A.A. Features echocardiography in children anthropometric and age norm. *Rossiyskiy pediatricheskiy zhurnal.* 2012; 2: 17–21. (in Russian).
15. Martsinkevich G.I., Sokolov A.A. Pediatric echocardiography, anthropometric and age norms, comparative possibilities dimensional echocardiography. *Sibirskiy meditsinskiy zhurnal.* 2010; 25 [4, vyp. 1]: 67–72. (in Russian)
16. Sokolov A.A., Martsinkevich G.I., Krivoshekov E.V. Ultrasound assessment of ventricular function only on the stages of correction, problems and solutions. *Kardiologiya v Belarusi.* 2011; 5: 397–8. (in Russian)
17. Ichihashi K., Sato A., Shiraishi H., Momoi M. Tissue Doppler combined with pulsed-wave Doppler echocardiography for evaluating ventricular diastolic function in normal children. *Echocardiography.* 2011; 28: 93–9.
18. Roytberg G.E., Strutynskiy A.V. *Laboratory and Instrumental Diagnosis of Diseases of the Internal Organs. [Laboratornaya i instrumentalnaya diagnostika zabolevaniy vnutrennikh organov].* Moscow: Binom; 2003. (in Russian)
19. Wilkerson J.L. Congenital heart disease: Haemodynamic calculations in the catheter laboratory. *Heart.* 2001; 85: 113–20.
20. Laitinen P. Evaluation of Cardiovascular Management in Children Undergoing Open-heart Surgery, with Special Reference to Oxygen Consumption and Vasoactive Support. *Academic Dissertation.* Helsinki; 2001.
21. Pridjian A.K., Mendelsohn A.M., Lupinetti F.M. et al. Usefulness of the bidirectional Glenn procedure as staged reconstruction for the functional single ventricle. *Am. J. Cardiol.* 1993; 71: 959–62.
22. Timothy M., Lee B.A., Ranjit Aiyagari. Risk factor analysis for second-stage palliation of single ventricle anatomy. *Ann. Thorac. Surg.* 2012; 93: 614–9.
23. Reddy V.M., McElhinney D.B., Moore P., Petrossian E., Hanley F.L. Pulmonary artery growth after bidirectional cavopulmonary shunt: is there a cause for concern? *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.* 1996; 112: 1180–92.
24. Mainwaring R.D., Lamberti J.J., Moore J.W. The bidirectional Glenn and Fontan procedures – integrated management of the patient with functionally single ventricle. *Cardiol. Young.* 1996; 6: 198–207.
25. Van Arsdell G.S., Williams W.G., Maser C.M. et al. Superior vena cava to pulmonary artery anastomosis: an adjunct to biventricular repair. *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.* 1996; 112: 1143–9.
26. Jae-Hyeong Park, Marwick Th.H. Use and limitations of E/e' to assess left ventricular filling pressure by echocardiography. *J. Cardiovasc. Ultrasound.* 2011; 19(4): 169–73.
27. Koyama J., Ray-Sequin P.A., Falk R.H. Longitudinal myocardial function assessed by tissue velocity, strain, and strain rate tissue Doppler echocardiography in patients with AL (primary) cardiac amyloidosis. *Circulation.* 2003; 107: 2446–52.
28. Kiani A., Kocharian A., Shabanian R. et al. Left atrial ejection force in healthy newborn infants. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2008; 21(6): 725–72.

Received 05.03.15

Сведения об авторах:

Ершова Надежда Викторовна, аспирант отд-ния детской кардиологии Федерального государственного бюджетного учреждения «НИИ кардиологии» СО РАН; **Янулевич Ольга Сергеевна**, к.м.н., врач детский-кардиолог кардиохирургического отд-ния №2 ФГБУ «НИИ кардиологии» СО РАН; **Павличев Глеб Викторович**, аспирант отделения сердечно-сосудистой хирургии Федерального государственного бюджетного учреждения «НИИ кардиологии» СО РАН; **Кривошеков Евгений Владимирович**, д.м.н., вед. науч. сотр. отд-ния сердечно-сосудистой хирургии, зав. кардиохирургическим отд-нием №2 ФГБУ «НИИ кардиологии» СО РАН; **Варваренко Виктор Иванович**, к.м.н., ст. науч. сотр. отд-ния рентгенхирургических методов диагностики и лечения ФГБУ «НИИ кардиологии» СО РАН.