

© CC 0 Коллектив авторов, 2023
УДК 616.124.6-007-053.1-089.844
DOI: 10.24884/0042-4625-2023-182-2-20-28

РЕКОНСТРУКЦИЯ ЛЕГОЧНОГО СОСУДИСТОГО РУСЛА НА ЭТАПАХ ГЕМОДИНАМИЧЕСКОЙ КОРРЕКЦИИ У ПАЦИЕНТОВ С ФУНКЦИОНАЛЬНО ЕДИНСТВЕННЫМ ЖЕЛУДОЧКОМ СЕРДЦА

А. А. Авраменко*, Н. А. Свечков, С. М. Хохлунов

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Самарский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения
Российской Федерации, г. Самара, Россия

Поступила в редакцию 15.03.2023 г.; принята к печати 13.09.2023 г.

ЦЕЛЬ. Изучить распространенность и характер врожденных и приобретенных анатомических особенностей легочного сосудистого русла у пациентов с единственным желудочком сердца и оценить их влияние на этапную гемодинамическую коррекцию.

МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ. Исследование представляет собой ретроспективное когортное исследование, реализованное на основании изучения опыта хирургического лечения пациентов с единственным желудочком сердца с 2005 по 2022 г. Критериям включения соответствовали 208 пациентов, из которых 95 были женского пола, 113 – мужского. В зависимости от вида первого этапа коррекции все пациенты были разделены на 3 группы: 1 – пациенты после операции Норвуда (n=84), 2 – пациенты после наложения системно-легочных шунтов (n=74), 3 – пациенты после суживания ствола легочной артерии или не нуждавшиеся в первом этапе хирургического лечения (n=50).

РЕЗУЛЬТАТЫ. Из общего числа пациентов, переживших первый этап (158 пациентов), 47 (30 %) пациентам выполнены 72 реконструктивных вмешательства на легочных артериях: 8 % – до 2 этапа, 46 % – на 2 этапе, 17 % – между 2 и 3 этапами, 11 % – на 3 этапе и 18 % – после 3 этапа. При сравнении свободы от стенозов легочных артерий получены статистически значимые различия между группами пациентов (p=0,005) с наименьшей свободой от стенозов в группе 1 (после операции Норвуда) и наибольшей – в группе 3 (после суживания ствола легочной артерии или без первого этапа коррекции).

ВЫВОДЫ. У пациентов с функционально единственным желудочком сердца имеется риск развития стенозов легочных артерий на протяжении всего времени этапной гемодинамической коррекции и после ее завершения. Выявленные сужения нуждаются в незамедлительной коррекции, в том числе во время отдельно проводимых хирургических вмешательств, поскольку длительно существующее сужение может привести к гипоплазии легочного сосудистого русла и стать препятствием к своевременному выполнению операции Фонтена. Для полной оценки степени выраженности сужений следует шире использовать томографические методы визуализации.

Ключевые слова: *единственный желудочек сердца, синдром гетеротаксии, операция Норвуда, стентирование легочных артерий, операция Фонтена, пластика легочных артерий*

Для цитирования: Авраменко А. А., Свечков Н. А., Хохлунов С. М. Реконструкция легочного сосудистого русла на этапах гемодинамической коррекции у пациентов с функционально единственным желудочком сердца. *Вестник хирургии имени И. И. Грекова.* 2023;182(2):20–28. DOI: 10.24884/0042-4625-2023-182-2-20-28.

Автор для связи: Антон Алексеевич Авраменко, ФГБОУ ВО СамГМУ Минздрава России, 443099, Россия, г. Самара, ул. Чапаевская, д. 89. E-mail: anton.avramenko@gmail.com.

RECONSTRUCTION OF THE PULMONARY VASCULAR BED AT THE STAGES OF HEMODYNAMIC CORRECTION IN PATIENTS WITH FUNCTIONALLY SINGLE VENTRICLE

Anton A. Avramenko*, Nikolay A. Svechkov, Sergey M. Khokhlunov

Samara State Medical University, Samara, Russia

Received 15.03.2023; accepted 13.09.2023

The OBJECTIVE was to study the prevalence and nature of congenital and acquired anatomical features of the pulmonary vascular bed in patients with single ventricle and to evaluate their impact on staged hemodynamic correction. METHODS AND MATERIALS. The study was a retrospective cohort study based on the study of the experience of surgical treatment of patients with a single ventricle from 2005 to 2022. 208 patients, 95 females and 113 males

met the inclusion criteria. Depending on the type of the first stage of correction, all patients were divided into three groups: 1 – patients after the Norwood operation (n=84), 2 – patients after the isolated systemic-to-pulmonary shunts (n=74), 3 – patients after pulmonary artery band or those who did not need the first stage of surgical treatment (n=50). RESULTS. From all patients who survived the Stage-I (158 patients), 47 (30 %) patients underwent 72 reconstructive interventions on the pulmonary arteries: 8 % – before Stage-II, 46 % – at Stage-II, 17 % – between stages II and III, 11 % – at Stage-III and 18 % – after Stage-III. When comparing freedom from stenosis of the pulmonary arteries, statistically significant differences were found between groups of patients (p=0.005), with the least freedom from stenosis in group 1 (after the Norwood operation) and the greatest freedom from stenosis in group 3 (after pulmonary artery band or without first stage of correction).

CONCLUSIONS. Patients with a functionally single ventricle are at risk of developing pulmonary artery stenosis throughout the entire period of staged hemodynamic correction and after its completion. The identified narrowing needs immediate correction, since a long-term existing narrowing can lead to hypoplasia of the pulmonary vascular bed and become an obstacle to the timely Fontan completion. More extensive use of tomographic imaging techniques is recommended in order to fully assess the degree of narrowing.

Keywords: *single ventricle, heterotaxy syndrome, Norwood operation, pulmonary arteries stenting, Fontan operation, pulmonary arteries reconstruction*

For citation: Avramenko A. A., Svechikov N. A., Khokhlunov S. M. Reconstruction of the pulmonary vascular bed at the stages of hemodynamic correction in patients with functionally single ventricle. *Grekov's Bulletin of Surgery*. 2023; 182(2):20–28. (In Russ.). DOI: 10.24884/0042-4625-2023-182-2-20-28.

* **Corresponding author:** Anton A. Avramenko, Samara State Medical University, 89, Chapayevskaya str., Samara, 443099, Russia. E-mail: anton.avramenko@gmail.com.

Введение. Пациенты, имеющие функционально единственный желудочек сердца (ЕЖС), нуждаются в этапной гемодинамической коррекции, состоящей из 2–3 этапов: в течение периода новорожденности (операция Норвуда, наложение системно-легочного шунта, суживание легочной артерии и др.), в возрасте 3–6 месяцев (наложение верхнего двунаправленного кава-пульмонального анастомоза (ВДКПА), в возрасте 3–5 лет (операция Фонтена) [1, 2].

На каждом из этапов коррекции выполняются вмешательства, затрагивающие легочное сосудистое русло, которые в свою очередь провоцируют развитие анатомических изменений. В дальнейшем у пациентов имеется риск развития приобретенных патологических изменений легочных артерий, требующих в некоторых случаях хирургического лечения.

Цель работы – изучить распространенность и характер врожденных и приобретенных анатомических особенностей легочного сосудистого русла у пациентов с единственным желудочком сердца и оценить их влияние на этапную гемодинамическую коррекцию.

Методы и материалы. Работа представляет собой ретроспективное когортное исследование, реализованное на основании изучения опыта хирургического лечения пациентов с функционально единственным желудочком сердца в течение периода с 01.01.2005 г. по 31.12.2022 г. Критерии включения пациентов в исследование: диагноз врожденного порока сердца с единственным желудочком сердца. Критерии исключения пациентов: сопутствующая экстракардиальная патология (в том числе генетическая) с неблагоприятным прогнозом для жизни. Критериями включения соответствовали 208 пациентов. Демографические и морфологические характеристики пациентов представлены в *табл. 1*.

Из общего количества пациентов, переживших первый этап (158 пациентов), 47 (30 %) потребовались реконструктивные вмешательства на легочных артериях.

Всем пациентам выполняли ультразвуковое исследование сердца и магистральных сосудов в двухмерном режиме с при-

менением цветного доплеровского сканирования, импульсной и непрерывной спектральной доплерографии. Перед наложением ВДКПА и выполнением операции Фонтена всем пациентам выполняли ангиокардиографию и манометрию в полостях сердца и магистральных сосудов.

В случае выявления стеноза ветвей легочных артерий непосредственно перед 2 или 3 этапом лечения выполняли их пластику одномоментно с наложением ВДКПА или операцией Фонтена. В случае выявления стеноза легочного кровотока в межэтапном периоде проводили реконструкцию легочных артерий отдельно.

Описание методов статистического анализа. Накопление, корректировка, систематизация исходной информации и визуализация полученных результатов осуществлялись в электронных таблицах Microsoft Office Excel 2019. Статистический анализ проводился с использованием программы IBM SPSS Statistics v.26 (разработчик – IBM Corporation).

Номинальные данные описывались с указанием абсолютных значений и процентных долей. Оценка функции свободы от наступления событий у пациентов проводилась по методу Каплана – Мейера, а оценка значимости различий – с помощью логарифмического рангового критерия Мантеля – Кокса.

Результаты. Реконструкция легочных артерий потребовалась 47 пациентам, которым выполнены 72 оперативных вмешательства. Некоторым пациентам в течение периода наблюдения выполнялось более 1 операции, при этом каждый случай реконструкции учитывался отдельно. Количество случаев реконструкции легочного сосудистого русла на разных этапах гемодинамической коррекции представлено в *табл. 2*.

Перед 2 этапом гемодинамической коррекции 6 пациентам потребовалась пластика легочных артерий. Локализация их поражений представлена в *табл. 3*.

Случай сочетанного поражения правой и левой легочных артерий представлен на *рис. 1*.

Пластику легочных артерий выполняли с использованием заплат из аутоперикарда, легочного аллогraftа, ePTFE или ксеноперикардиальной заплаты Matrix Patch.

Таблица 1

Характеристика пациентов

Table 1

Patients' characteristics

Характеристика	Абсолютные значения	Доля от общего количества, %
<i>Демографические характеристики</i>		
Общее количество	208	100
Женский пол	95	46
Мужской пол	113	54
<i>Морфология единственного желудочка сердца</i>		
Правый	86	41
Левый	90	43
Неопределенный	32	16
<i>Распределение по виду первого этапа коррекции</i>		
Группа 1 Пациенты после операции Норвуда	84	40
Группа 2 Пациенты после наложения системно-легочных шунтов	74	36
Группа 3 Пациенты после суживания ствола легочной артерии или те, которым первый этап коррекции не потребовался	50	24

Таблица 2

Количество случаев реконструкции легочного сосудистого русла на разных этапах гемодинамической коррекции

Table 2

Number of cases of pulmonary vascular bed reconstruction at different stages of hemodynamic correction

Характеристика	Абсолютные значения	Доля от общего количества, %
<i>Пластика легочных артерий</i>		
До 2 этапа	6	8
На 2 этапе	33	46
Между 2 и 3 этапами	12	17
Из них стентирований	5	–
На 3 этапе	8	11
После 3 этапа	13	18
Из них стентирований	6	–
Всего	72	100

Таблица 3

Локализация стенозов легочных артерий у пациентов перед вторым этапом гемодинамической коррекции

Table 3

Localization of stenoses of the pulmonary arteries diagnosed before the second stage of hemodynamic correction

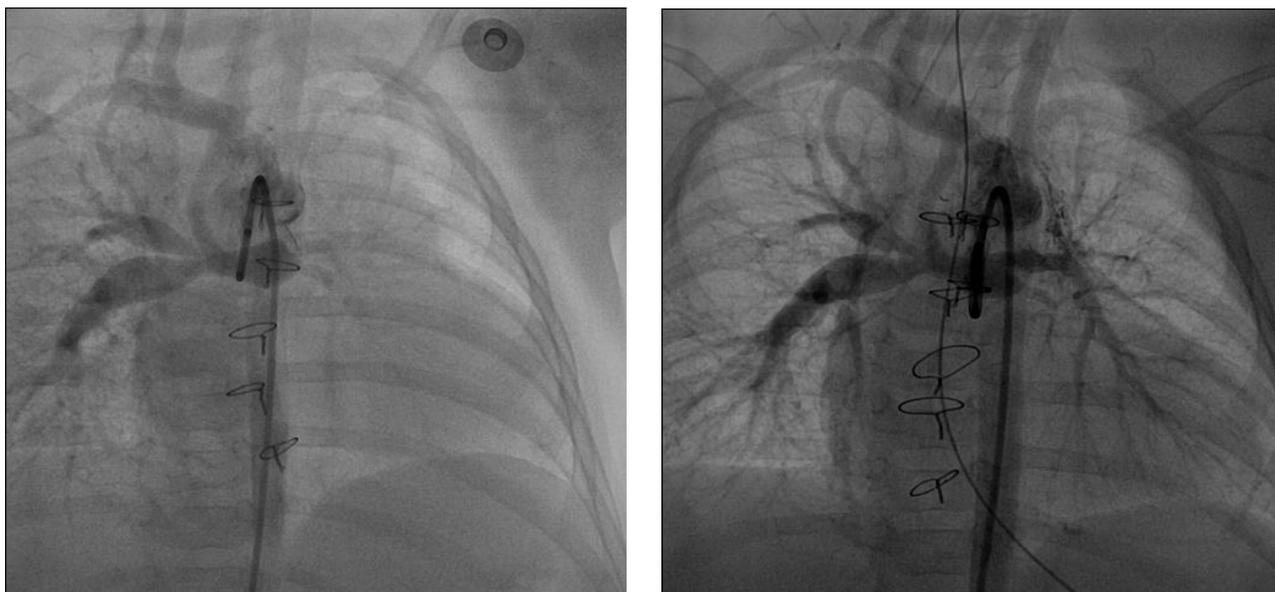
Локализация	Абсолютные значения	Доля от общего количества, %
Изолированный стеноз ЛА в области дистального анастомоза шунта	5	83
Сочетанный дискретный стеноз правой ЛА в области шунта и протяженный стеноз/гипоплазия левой ЛА	1	17
Всего	6	100

Реконструкция легочного сосудистого русла выполнялась и на 2 этапе гемодинамической коррекции. Во время наложения ВДКПА были выполнены 33 пластики легочных артерий. Варианты локализации стенозов представлены в *табл. 4*.

Реконструкцию легочного сосудистого русла выполняли с использованием заплат из аутоперикарда

(при сохранении у пациента пригодных для использования участков перикарда), ксеноперикардальной заплатой Matrix Patch или ePTFE (*рис. 2*).

Реконструкция легочного сосудистого русла выполнялась также между 2 и 3 этапами гемодинамической коррекции. В эти сроки было выполнено 12 вмешательств на легочных артериях (*табл. 5*).



а *б*
 Рис. 1. Сочетанное поражение правой и левой легочных артерий: *а* – до реконструкции; *б* – через 2 месяца после реконструкции
 Fig. 1. Combined right and left pulmonary artery obstruction: *а* – before reconstruction; *б* – 2 months after reconstruction

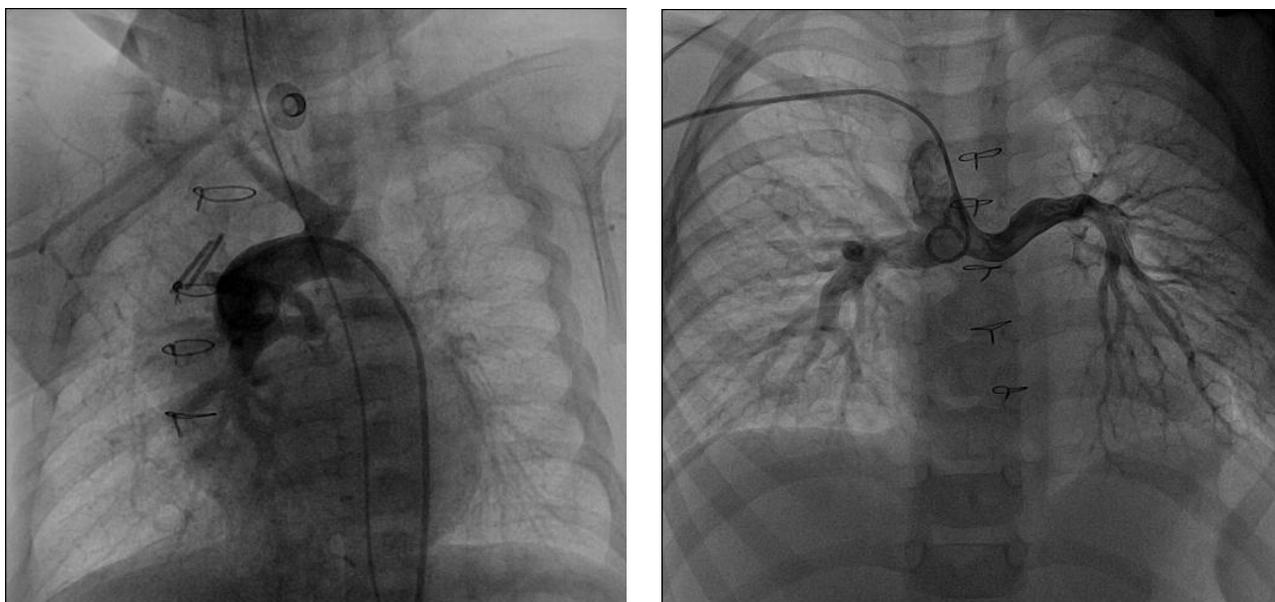
Таблица 4

Локализация стенозов легочных артерий, подвергшихся реконструкции на 2 этапе гемодинамической коррекции

Table 4

Localization of stenoses of the pulmonary arteries that underwent reconstruction at the second stage of hemodynamic correction

Локализация	Абсолютное значение	Доля от общего количества, %
Дискретный стеноз в области дистального анастомоза шунта	22	67
Протяженные стенозы легочных артерий	7	21
Дискретные дистальные стенозы легочных артерий	3	9
Ретроаортальный стеноз левой легочной артерии	1	3
Всего	33	100



а *б*
 Рис. 2. Стеноз левой легочной артерии в области дистального анастомоза у пациента после наложения системно-легочного шунта: *а* – до реконструкции; *б* – через 3 года после реконструкции

Fig. 2. Stenosis of the left pulmonary artery in the area of the distal anastomosis in a patient after systemic-to-pulmonary shunt placement: *а* – before reconstruction; *б* – 3 years after reconstruction

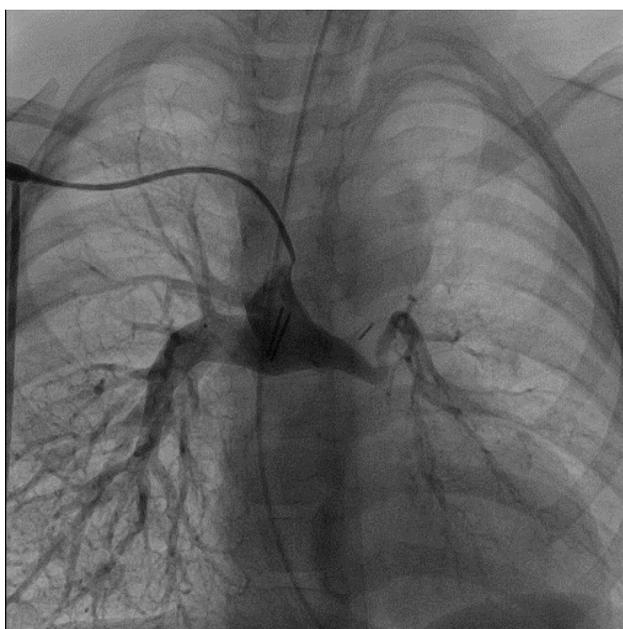
Таблица 5

Локализация стенозов легочных артерий, подвергшихся реконструкции между 2 и 3 этапами гемодинамической коррекции

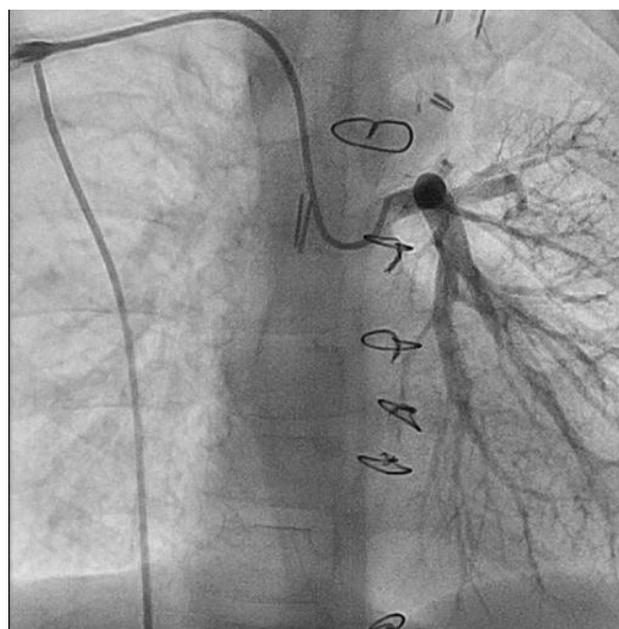
Table 5

Localization of stenoses of the pulmonary arteries that underwent reconstruction between the second and third stages of hemodynamic correction

Локализация	Абсолютное значение	Доля от общего количества, %
Стеноз в области ВДКПА	3	25
Ретроаортальный стеноз левой легочной артерии	3	25
Из них стентирований	3	
Хроническая гипоплазия легочных артерий	2	16,67
Дискретные стенозы легочных артерий	2	16,67
Из них стентирований	2	
В области предшествующей пластики	2	16,67
Всего	12	100



а



б

Рис. 3. Хронический протяженный стеноз левой легочной артерии и гипоплазия сосудистого русла: а – исходное состояние; б – через 2 года после наложения системно-легочного шунта

Fig. 3. Chronic extended stenosis of the left pulmonary artery and hypoplasia of the vascular bed: а – the original state; б – 2 years after systemic-to-pulmonary shunt placement

В 3 случаях выполнена пластика легочной артерии в раннем послеоперационном периоде после наложения ВДКПА в связи со стенозом в области анастомоза.

Стентирование легочных артерий выполнено 5 пациентам, 3 из них – в отдаленном послеоперационном периоде в связи с особенностью неоаорты после операции Норвуда и давлением, которое она оказывает на левую легочную артерию. Стентирование в таких случаях имеет преимущества перед пластикой артерии с помощью заплаты, поскольку жесткий каркас стента позволяет избежать дальнейшего сдавления [3, 4]. 2 пациентам выполнено стентирование по поводу дискретного стеноза левой легочной артерии.

Во время обследования перед операцией Фонтена у 2 пациентов были обнаружены хронические

протяженные стенозы левой легочной артерии, сопровождавшиеся диффузной гипоплазией дистального сосудистого русла соответствующего легкого (рис. 3). Для стимулирования роста дистального русла выполнено наложение подключично-легочного шунта обоим пациентам (рис. 4) [5].

Динамика изменений в легочном сосудистом русле представлена на рис. 3.

На 3 этапе гемодинамической коррекции во время операции Фонтена 8 пациентам потребовалась пластика легочных артерий. Локализация поражений представлена в табл. 6.

В раннем послеоперационном периоде выполнено 7 повторных вмешательств, все они были связаны со стенозами, образовавшимися в области наложения анастомоза между экстракардиальным кондуитом и легочной артерией (рис. 5).

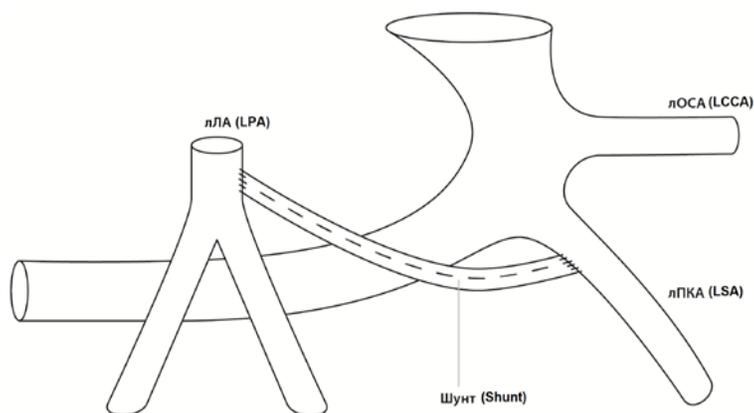


Рис. 4. Схема наложения подключично-легочного шунта при гипоплазии дистального легочного сосудистого русла: лЛА – левая легочная артерия; лОСА – левая общая сонная артерия, лПКА – левая подключичная артерия
 Fig. 4. The scheme of subclavian-pulmonary shunt placement in hypoplasia of the distal pulmonary vascular bed: LPA – left pulmonary artery; LCCA – left common carotid artery; LSA – left subclavian artery

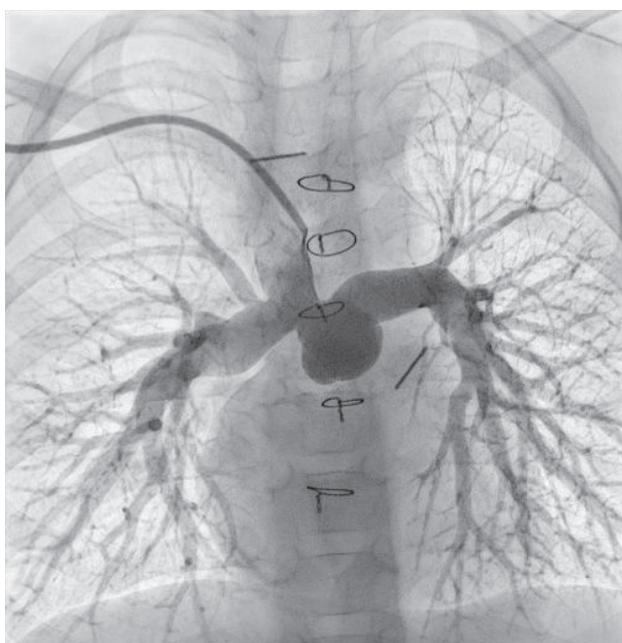
Таблица 6

Локализация стенозов легочных артерий, подвергшихся реконструкции на 3 этапе гемодинамической коррекции

Table 6

Localization of stenoses of the pulmonary arteries that underwent reconstruction at the third stage of hemodynamic correction

Локализация	Абсолютное значение	Доля от общего количества, %
Ретроаортальный стеноз левой легочной артерии	3	37,5
Стеноз в области ВДКПА	1	12,5
Дискретные стенозы легочных артерий	2	25
Хроническая гипоплазия легочных артерий	1	12,5
В области предшествующей пластики	1	12,5
Всего	8	100



а



б

Рис. 5. Стеноз левой легочной артерии в области анастомоза с экстракардиальным кондуктом: а – до реконструкции; б – после реконструкции

Fig. 5. Stenosis of the left pulmonary artery in the area of anastomosis with extracardiac conduit: а – before reconstruction; б – after reconstruction

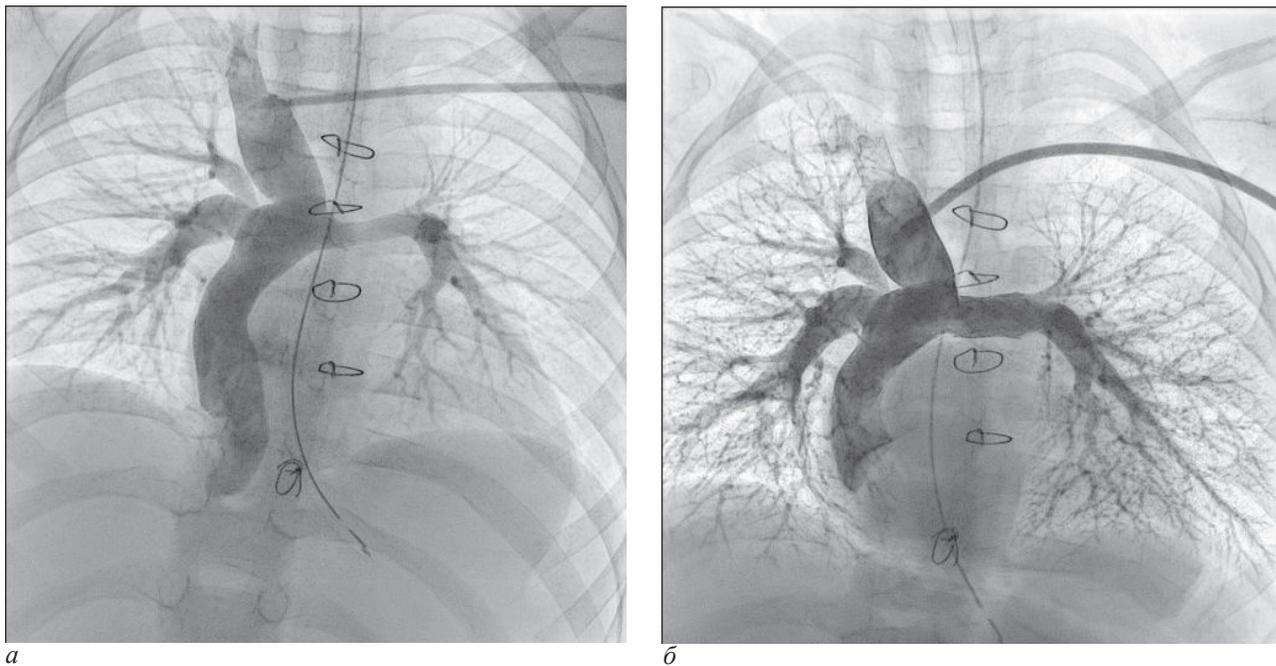


Рис. 6. Ретроаортальный стеноз левой легочной артерии: а – до стентирования; б – после стентирования
 Fig. 6. Retroaortic stenosis of the left pulmonary artery: a – before stenting; б – after stenting

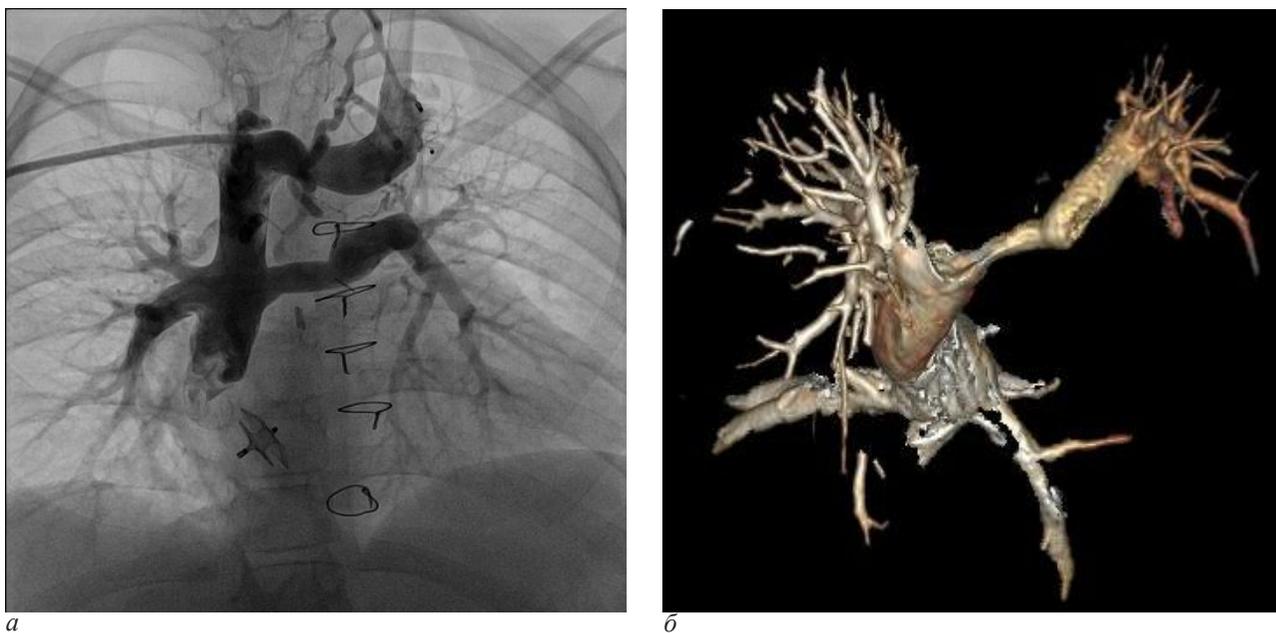


Рис. 7. Размеры ретроаортального сегмента левой легочной артерии: а – по данным ангиографии (в передне-задней проекции); б – по данным трехмерной реконструкции по результатам КТ-ангиографии (в кранио-каудальной проекции)
 Fig. 7. Dimensions of the retroaortic segment of the left pulmonary artery: a – according to angiography (in the anterior-posterior projection); б – according to the data of three-dimensional reconstruction after CT-angiography (in the cranio-caudal projection)

После 3 этапа выполнено 6 стентирований легочных артерий в отдаленном послеоперационном периоде по поводу ретроаортального стеноза у пациентов после операции Норвуда (рис. 6).

Всем пациентам перед стентированием легочных артерий выполнялась компьютерная томография (КТ). Мы согласны с мнением R. M. Edwards et al. о том, что в диагностике компрессионного поражения левой ЛА необходимо выполнение КТ-ангиографии, поскольку именно анализ размеров

легочных артерий в разных сечениях позволяет выявить сужение (рис. 7) [6].

При сравнении свободы от стенозов легочных артерий получены статистически значимые различия между группами пациентов ($p=0,005$), а результаты представлены на рис. 8.

Обсуждение. Наличие приобретенных стенозов легочного сосудистого русла влияет на сроки выполнения основных этапов гемодинамической коррекции, на количество незапланированных вмешательств, а также в конечном итоге на успех

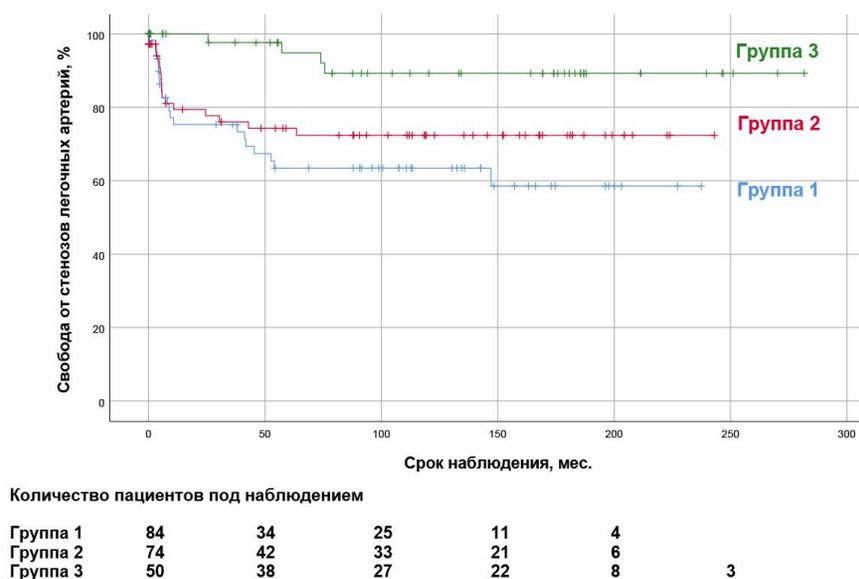


Рис. 8. Графики свободы от стенозов легочных артерий у пациентов
 Fig. 8. Graphs of freedom from stenoses of the pulmonary arteries

коррекции порока сердца [7], поскольку одним из обязательных условий завершения гемодинамической коррекции единственного желудочка сердца является адекватное развитие легочного сосудистого русла без значимых его стенозов [2]. В случае выявления стеноза необходимо быстрое устранение выявленных нарушений, поскольку длительно существующее сужение препятствует адекватному развитию дистального легочного сосудистого русла. При этом необходимо отметить, что рост легочных артерий после наложения ВДКПА замедляется вследствие исчезновения пульсирующего потока крови и пассивного заполнения легочных артерий под низким давлением [10]. В связи с этим особую опасность в долгосрочной перспективе приобретают стенозы ветвей легочных артерий, сформировавшиеся до 2 этапа гемодинамической коррекции и не распознанные своевременно. Стенозы, выявленные на этапе подготовки к очередному этапу, в ряде случаев требуют выполнения межэтапной коррекции или диктуют необходимость выполнения сочетанной операции [8], что также подтверждается нашими наблюдениями.

Периодами, на которые приходится основное количество пластик легочных артерий, являются 2 и 3 этапы [9], при этом, по нашим данным, 46 % реконструкций приходится на этап наложения ВДКПА и еще 11 % – на операцию Фонтена.

Следует отметить, что стенозы легочных артерий зарегистрированы во всех исследованных группах пациентов, при этом наименьшая свобода от стенозов отмечена в группе пациентов после операции Норвуда. Одной из причин сужения легочных артерий у этих пациентов является особенность первого этапа коррекции, во время которого производят расширение восходящего отдела аорты, что в перспективе приводит к сдавлению левой легоч-

ной артерии расширенной аортой и формированию так называемых ретроаортальных стенозов.

Отдельно акцентируем важность своевременного выявления стенозов легочных артерий и ограниченность метода традиционной ангиографии в выявлении этой патологии. Ограничения связаны с тем, что при получении ангиограмм в переднезадней проекции оценивается размер сосуда по расстоянию между краниальным и каудальным его краями, а расстояние между передним и задним краями оценить невозможно, что не позволяет определить истинную величину просвета сосуда. Для преодоления описанных ограничений следует шире использовать методы томографии с изучением поперечных срезов и последующей трехмерной реконструкцией легочных артерий с оценкой их просвета во всех плоскостях. Такой подход признан эффективным и другими исследователями [11].

Вывод. У пациентов с функционально единственным желудочком сердца имеется риск развития стенозов легочных артерий на протяжении всего времени этапной гемодинамической коррекции и после ее завершения. Выявленные сужения нуждаются в незамедлительной коррекции, в том числе во время отдельно проводимых хирургических вмешательств, поскольку длительно существующее сужение может привести к гипоплазии легочного сосудистого русла и стать препятствием к своевременному выполнению операции Фонтена. Для полной оценки степени стеноза сосудов следует шире использовать томографические методы визуализации.

Конфликт интересов

Авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Соответствие нормам этики

Авторы подтверждают, что соблюдены права людей, принимавших участие в исследовании, включая получение информированного согласия в тех случаях, когда оно необходимо, и правила обращения с животными в случаях их использования в работе. Подробная информация содержится в Правилах для авторов.

Compliance with ethical principles

The authors confirm that they respect the rights of the people participated in the study, including obtaining informed consent when it is necessary, and the rules of treatment of animals when they are used in the study. Author Guidelines contains the detailed information.

Ограничения

Представленное исследование является ретроспективным, основанным на изучении малочисленной группы пациентов, оперированных в течение длительного периода времени.

Limitations

The presented research is retrospective, based on the study of the small group of patients operated on for a long period of time.

ЛИТЕРАТУРА

1. Подзолков В. П. Актуальные проблемы хирургического лечения врожденных пороков сердца с одножелудочковой гемодинамикой по методу Фонтана // Бюллетень НЦССХ им. А. Н. Бакулева РАМН. 2018. Т. 19, № 5. С. 625–636. Doi: 10.24022/1810-0694-2018-19-5-625-636.
2. Rao P. S. Single ventricle – a comprehensive review // Children. 2021. Vol. 8, № 6. P. 441. Doi: 10.3390/children8060441.
3. Tatewaki H., Nakano T., Ando Y. et al. Ascending aortic extension to enlarge the retroaortic space in children after the Norwood procedure // Gen Thorac Cardiovasc Surg. 2021. Vol. 69, № 7. P. 1129–1132. Doi: 10.1007/s11748-021-01618-0.
4. Noonan P., Kudumula V., Anderson B. et al. Stenting of the left pulmonary artery after palliation of hypoplastic left heart syndrome // Catheter Cardiovasc Interv. 2016. Vol. 88, № 2. P. 225–32. Doi: 10.1002/ccd.26450.
5. Seaman C. S., d'Udekem Y., Jones B. O. et al. Augmentation of pulmonary arterial growth in single ventricle patients by interim selective shunts // Semin Thorac Cardiovasc Surg. 2021. Vol. 33, № 2. P. 483–489. Doi: 10.1053/j.semtcvs.2020.09.007.
6. Edwards R. M., Reddy G. P., Kicska G. The functional single ventricle: how imaging guides treatment // Clin Imaging. 2016. Vol. 40, № 6. P. 1146–1155. Doi: 10.1016/j.clinimag.2016.08.003.
7. Venna A., Cetta F. Jr., d'Udekem Y. Fontan candidacy, optimizing Fontan circulation, and beyond // JTCVS Open. 2021. Vol. 14, № 9. P. 227–232. Doi: 10.1016/j.xjon.2021.07.042.
8. Rahkonen O., Chaturvedi R. R., Benson L. et al. Pulmonary artery stenosis in hybrid single-ventricle palliation: High incidence of left pulmonary artery intervention // J Thorac Cardiovasc Surg. 2015. Vol. 149, № 4. P. 1102–10e2. Doi: 10.1016/j.jtcvs.2014.11.080.

9. Hauck A., Porta N., Lestrud S., Berger S. The pulmonary circulation in the single ventricle patient // Children. 2017. Vol. 4, № 8, P. 71. Doi: 10.3390/children4080071.
10. Kobayashi Y., Kotani Y., Kuroko Y. et al. Norwood procedure with right ventricle to pulmonary artery conduit: a single-centre 20-year experience // Eur J Cardiothorac Surg. 2020. Vol. 58, № 2. P. 230–236. Doi: 10.1093/ejcts/ezaa041.
11. Sagray E., Cetta F., O'Leary P.W., Qureshi M. Y. How does cross-sectional imaging impact the management of patients with single ventricle after bidirectional cavopulmonary connection? // World J Pediatr Congenit Heart Surg. 2023. Vol. 14, № 2. P. 168–174. Doi: 10.1177/21501351221127900.

REFERENCES

1. Podzolkov V. P. Actual problems of surgical treatment of congenital heart defects with single-ventricle circulation by Fontan principle // Bulletin of the A. N. Bakuleva RAMS. 2018;19(5):625–636. (In Russ.). Doi: 10.24022/1810-0694-2018-19-5-625-636.
2. Rao P. S. Single ventricle – a comprehensive review // Children. 2021;8(6):441. Doi: 10.3390/children8060441.
3. Tatewaki H., Nakano T., Ando Y. et al. Ascending aortic extension to enlarge the retroaortic space in children after the Norwood procedure // Gen Thorac Cardiovasc Surg. 2021 Jul;69(7):1129-1132. Doi: 10.1007/s11748-021-01618-0.
4. Noonan P., Kudumula V., Anderson B. et al. Stenting of the left pulmonary artery after palliation of hypoplastic left heart syndrome // Catheter Cardiovasc Interv. 2016;88(2):225–32. Doi: 10.1002/ccd.26450.
5. Seaman C. S., d'Udekem Y., Jones B. O. et al. Augmentation of Pulmonary Arterial Growth in Single Ventricle Patients by Interim Selective Shunts // Semin Thorac Cardiovasc Surg. 2021;33(2):483–489. Doi: 10.1053/j.semtcvs.2020.09.007.
6. Edwards R. M., Reddy G. P., Kicska G. The functional single ventricle: how imaging guides treatment // Clin Imaging. 2016;40(6):1146–1155. Doi: 10.1016/j.clinimag.2016.08.003.
7. Venna A., Cetta F. Jr., d'Udekem Y. Fontan candidacy, optimizing Fontan circulation, and beyond // JTCVS Open. 2021;14(9):227–232. Doi: 10.1016/j.xjon.2021.07.042.
8. Rahkonen O., Chaturvedi R. R., Benson L. et al. Pulmonary artery stenosis in hybrid single-ventricle palliation: High incidence of left pulmonary artery intervention // J Thorac Cardiovasc Surg. 2015;149(4):1102–10. e2. Doi: 10.1016/j.jtcvs.2014.11.080.
9. Hauck A., Porta N., Lestrud S., Berger S. The Pulmonary Circulation in the Single Ventricle Patient // Children. 2017;4(8):71. Doi: 10.3390/children4080071.
10. Kobayashi Y., Kotani Y., Kuroko Y. et al. Norwood procedure with right ventricle to pulmonary artery conduit: a single-centre 20-year experience // Eur J Cardiothorac Surg. 2020;58(2):230–236. Doi: 10.1093/ejcts/ezaa041.
11. Sagray E., Cetta F., O'Leary P. W., Qureshi M. Y. How does cross-sectional imaging impact the management of patients with single ventricle after bidirectional cavopulmonary connection? // World J Pediatr Congenit Heart Surg. 2023;14(2):168–174. Doi: 10.1177/21501351221127900.

Информация об авторах:

Авраменко Антон Алексеевич, кандидат медицинских наук, доцент кафедры кардиологии и сердечно-сосудистой хирургии ИПО, Самарский государственный медицинский университет (г. Самара, Россия), ORCID: 0000-0002-6284-8387; **Свечков Николай Александрович**, аспирант кафедры кардиологии и сердечно-сосудистой хирургии ИПО, Самарский государственный медицинский университет (г. Самара, Россия), ORCID: 0000-0001-6568-6136; **Хохлунов Сергей Михайлович**, доктор медицинских наук, профессор, зав. кафедрой кардиологии и сердечно-сосудистой хирургии ИПО, Самарский государственный медицинский университет (г. Самара, Россия), ORCID: 0000-0001-6000-620X.

Information about authors:

Avrachenko Anton A., Cand. of Sci. (Med.), Associate Professor of the Department of Cardiology and Cardiovascular Surgery of the Institute of Postgraduate Education, Samara State Medical University (Samara, Russia), ORCID: 0000-0002-6284-8387; **Svechkov Nikolay A.**, Postgraduate Student of the Department of Cardiology and Cardiovascular Surgery of the Institute of Postgraduate Education, Samara State Medical University (Samara, Russia), ORCID: 0000-0001-6568-6136; **Khokhluinov Sergey M.**, Dr. of Sci. (Med.), Professor, Head of the Department of Cardiology and Cardiovascular Surgery of the Institute of Postgraduate Education, Samara State Medical University (Samara, Russia), ORCID: 0000-0001-6000-620X.