



УДК 519.6, 14.01.24

DOI 10.17802/2306-1278-2024-13-1-67-76

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОНДУИТОВ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ПУТИ ОТТОКА В ЛЕГОЧНУЮ АРТЕРИЮ

И.А. Соинов¹, К.А. Рзаева¹, А.В. Горбатов², А.В. Войтов¹, А.Н. Архипов¹, Н.Р. Ничай^{1,3},
Ю.Ю. Кулябин¹, С.Н. Манукян¹, А.В. Богачев-Прокофьев¹

¹ Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный медицинский исследовательский центр имени академика Е.Н. Мешалкина» Министерства здравоохранения Российской Федерации, ул. Речкуновская, 15, Новосибирск, Российская Федерация, 630055; ² Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный медицинский исследовательский центр имени В. А. Алмазова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, ул. Аккуратова, 2, Санкт-Петербург, Российская Федерация, 197341; ³ Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Красный проспект, 52, Новосибирск, Российская Федерация, 630091

Основные положения

- Впервые выполнена оценка упруго-эластических свойств разного типа кондуитов в отдаленном периоде с использованием трансторакальной ЭхоКГ. Оценка эластических свойств позволит прогнозировать дегенеративные изменения кондуита и выбрать оптимальный протез.

Цель

Оценить изменения ригидности и растяжимости кондуитов у пациентов после формирования пути оттока в легочную артерию в сравнении с контрольной группой здоровых детей.

Материалы и методы

В двухцентровое проспективное нерандомизированное исследование включены 58 человек с дисфункцией правого желудочка, которым была выполнена первичная имплантация кондуита в возрасте от 3 до 15 лет. Для оценки эластических свойств легочной артерии введена контрольная группа из 25 пациентов (здоровые дети, которые дали согласие на исследование). Исследование выполнено в ФГБУ «НМИЦ им. ак. Е.Н. Мешалкина» и ФГБУ «НМИЦ им. В.А. Алмазова». Все пациенты были разделены на четыре группы: здоровые дети (n = 25) и больные с формированием пути оттока из правого желудочка легочным гомографтом (n = 28), ксенокондуитом Contegra (n = 19), ксеноперикардальным кондуитом (n = 11).

Результаты

Единственными отличиями между исследуемыми группами детей были индексы конечного диастолического и систолического объема правого желудочка, фракционное измерение площади правого желудочка, а также выраженная легочная и трикуспидальная регургитация. В отдаленном периоде (через 12 и 24 мес.) зарегистрирована значимая разница как по показателю ригидности, так и эластичности. Через 12 мес. только степень трикуспидальной регургитации была статистически значимо ниже в контрольной группе. Через 24 мес. отличались пиковый градиент между правым желудочком и легочной артерией, который был статистически значимо выше в группе ксеноперикардиальных кондуитов, и степень легочной регургитации, которая была статистически значимо ниже в контрольной группе.

Заключение

Кондуиты в отдаленном периоде имеют более высокую жесткость в сравнении с нормальной легочной артерией, что может влиять на будущую функцию кондуитов.

Ключевые слова

Растяжимость • Ригидность • Кондуит • Дисфункция правого желудочка

Поступила в редакцию: 11.11.2023; поступила после доработки: 04.12.2023; принята к печати: 03.01.2024

Для корреспонденции: Илья Александрович Соинов, i_soinov@mail.ru; адрес: ул. Речкуновская, 15, Новосибирск, Российская Федерация, 630055

Corresponding author: Ilya A. Soynov, i_soinov@mail.ru; address: 15, Rechkunovskaya St., Novosibirsk, Russian Federation, 630055

PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF CONDUITS DURING THE FORMATION OF THE OUTFLOW TRACT INTO THE PULMONARY ARTERY

I.A. Soynov¹, K.A. Rzaeva¹, A.V. Gorbatykh², A.V. Voitov¹, A.V. Arkhipov¹, N.R. Nichay^{1,3},
Yu.Yu. Kulyabin¹, S.N. Manukyan¹, A.V. Bogachev-Prokophiev¹

¹ Federal State Budgetary Institution “National Medical Research Center named after academician E.N. Meshalkin” of the Ministry of Health of the Russian Federation, 15, Rechkunovskaya St., Novosibirsk, Russian Federation, 630055; ² Federal State Budgetary Institution “V. A. Almazov National Medical Research Center” of the Ministry of Health of the Russian Federation, 2, Akkuratova St., St. Petersburg, Russian Federation, 197341; ³ Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Novosibirsk State Medical University” of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, 52, Krasniy Prospekt, Novosibirsk, Russian Federation, 630091

Highlights

- We have evaluated the rigidity and distensibility of conduits in the long-term period using transthoracic echocardiography. The assessment of elastic properties will make it possible to predict degenerative changes in the conduit and choose the optimal prosthesis.

Aim	To evaluate changes in the rigidity and distensibility of conduits in patients after the formation of an outflow tract into the pulmonary artery in comparison with the control group of “healthy” children.
Methods	The prospective non-randomized two-center study included 58 people with right ventricular dysfunction who underwent primary conduit implantation between the ages of 3 and 15 years. To assess the elastic properties of the pulmonary artery, a control group of 25 patients (healthy children who agreed to participate in the study) was introduced. The study was carried out at the Meshalkin National Medical Research Center and the Almazov National Medical Research Centre. All patients were divided into 4 groups: healthy children (n = 25), formation of the outflow tract with a pulmonary homograft (n = 28), and formation of the outflow tract with Contegra conduit (n = 19), formation with a xenopericardial conduit (n = 11).
Results	The only differences between the groups were the RV EDV index, RV CVD index, RV FIP, severe pulmonary regurgitation, and tricuspid regurgitation. There is a significant difference between the groups in the long-term period (after 12 and 24 months), both in terms of rigidity and elasticity. The only difference in the long-term period after 12 months was the degree of tricuspid regurgitation, which was significantly lower in the control group. After 24 months, the peak gradient between the right ventricle and the pulmonary artery was different, which was significantly higher in the group of xenopericardial conduits and the degree of pulmonary regurgitation, which was significantly lower in the control group.
Conclusion	The conduits show higher stiffness in the long-term period in contrast to the normal pulmonary artery, which may affect the durability of the conduits.
Keywords	Rigidity • Distensibility • Pulmonary homograft • Right ventricular dysfunction

Received: 11.11.2023; received in revised form: 04.12.2023; accepted: 03.01.2024

Введение

Реконструктивные операции на выходном отделе правого желудочка и стволе легочной артерии позволяют успешно корригировать сложные врожденные пороки сердца, такие как тетрада Фалло, атрезия легочной артерии с дефектом межжелудочковой перегородки/интактной межжелудочковой перегородкой, двойное отхождение магистральных сосудов от правого желудочка, сложные формы транспозиции магистральных артерий и общий артериальный ствол [1]. Однако по-прежнему остаются проблемы, связанные со стенозом или недостаточностью клапана легочной артерии, кото-

рые приводят к дисфункции правого желудочка [2]. Решением данной задачи может быть реконструктивная операция по формированию клапаносодержащего кондуита [3]. Несмотря на значительные достижения в кардиохирургии, до сих пор нет идеального кондуита для реконструкции выходного тракта правого желудочка [2, 4]. В результате усиленного кальциевого обмена в организме ребенка кондуиты теряют исходные функции, что приводит к их кальцификации и нарушению растяжимости тканей, особенно у клапаносодержащих трубчатых протезов малого диаметра [2, 4]. Впервые неинвазивная оценка физико-механических свойств маги-

стральных артерий с помощью эхокардиографии использована как прогностический фактор для легочной и системной гипертензии [6, 7]. В последующем неинвазивную оценку ригидности и растяжимости легочной артерии стали применять для прогноза дегенеративных процессов в кондуите для оптимизации выбора трубчатого протеза [5, 8].

Цель исследования – оценить изменения ригидности и растяжимости кондуитов у пациентов после формирования пути оттока в легочную артерию в сравнении с контрольной группой здоровых детей.

Материалы и методы

Дизайн исследования

В настоящее двухцентровое проспективное нерандомизированное исследование включены 58 человек с дисфункцией правого желудочка, которым была выполнена первичная имплантация кондуита в возрасте от 3 до 15 лет. Для оценки ригидности и растяжимости легочной артерии была введена контрольная группа из 25 пациентов (здоровые дети, родители (законные представители) которых дали согласие на исследование). Исследование выполнено в двух крупных центрах: ФГБУ «НМИЦ им. ак. Е.Н. Мешалкина» и ФГБУ «НМИЦ им. В.А. Алмазова».

Согласно дизайну исследования, все пациенты были разделены на четыре группы (рисунки): здоровые дети ($n = 25$) и пациенты с формированием пути оттока из правого желудочка легочным гомографтом ($n = 28$) (ООО «Кардиостар», Санкт-Петербург, Россия), ксенокондуитом Contegra ($n = 19$) (Medtronic, США), ксеноперикардальным кондуитом ($n = 11$) («БиоЛАБ-КК/Б», ФГБУ «НМИЦ ССХ им. А.Н. Бакулева» Минздрава России, Москва, Россия). Выбор имплантированного протеза зависел от предпочтений оперирующего хирурга.

Конечные точки исследования: первичная конечная точка: изменения физико-механических свойств кондуитов в позиции легочной артерии; вторичная конечная точка: ремоделирование пра-

вого желудочка (индекс конечного диастолического объема правого желудочка, фракционное изменение площади правого желудочка).

Критерии включения: пациенты с легочной регургитацией и дисфункцией правого желудочка, которым была выполнена первичная имплантация кондуита в возрасте от 3 до 15 лет

Критерии исключения: пациенты с периферическими стенозами легочных артерий, пациенты с легочной гипертензией, пациенты с пневмонией.

Исследование проведено в соответствии с принципами Хельсинкской декларации ВМА пересмотра 2013 г. и одобрено локальным этическим комитетом ФГБУ «НМИЦ им. ак. Е.Н. Мешалкина» Минздрава России (протокол № 10 от 15.10.2019). Родители (законные представители) подписывали информированное согласие на участие в исследовании.

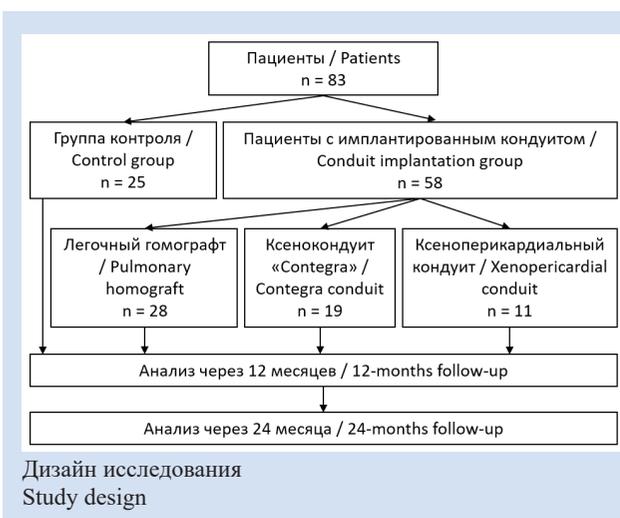
Методы исследования

Трансторакальная эхокардиография выполнена всем пациентам по стандартной методике в положении на спине или на левом боку. Исследование проведено на ультразвуковых системах Philips Ultrasound (США), Vivid iq (GE HealthCare, США) секторными датчиком с диапазоном частот от 3,5 до 8 МГц, а также матричным датчиком 3V и включало одно-, двух- и трехмерное сканирование с применением доплерографии в импульсном и постоянно-волновом режимах, а также цветное доплеровское картирование кровотока. Измерены следующие показатели: конечный диастолический объем правого желудочка, фракционное изменение площади правого желудочка, конечный систолический объем правого желудочка, легочная регургитация, трикуспидальная регургитация, градиенты давления на легочной артерии или кондуитах. Все индексы рассчитаны по отношению к площади поверхности тела.

Эластические свойства легочной артерии оценены в М режиме на уровне бифуркации – на 5 мм проксимальнее от бифуркации легочных артерий. Курсор был установлен строго перпендикулярно центральной линии легочного ствола. Произведены измерения максимальных и минимальных размеров легочного ствола с ЭКГ синхронизацией. Максимальный размер брался в конечной систоле (определяемой как начало зубца Т на ЭКГ), а минимальный – в конце диастолы (определяемой как начало QRS на ЭКГ) для установления конечного систолического размера (A_s) и конечного диастолического размера (A_d) соответственно. Диаметры сосудов в конце систолы (D_s) и конце диастолы (D_d) были получены из уравнения: $D = 2 \times \sqrt{(A / \pi)}$.

Индекс растяжимости = $\frac{(A_s - A_d) \times 100}{\text{импульсное давление} \times A_d} (10^{-3} \text{ кПа}^{-1})$

Индекс ригидности = $\frac{\ln(SPAP/DPAP)}{(D_s - D_d)/D_d} (10^{-3} \text{ кПа}^{-1})$



Катетеризация сердца выполнена для тизиометрии в правом желудочке и легочной артерии перед операцией.

Статистический анализ

Статистическую обработку полученных данных проводили с использованием пакета прикладных программ Stata 14 (StataCorp LLC, США). Оценивали нормальность распределения признака с критерия Шапиро – Уилка. Количественные переменные представлены в виде медианы и 25-го и 75-го перцентилей (Me (25%; 75%)), если не указаны другие. Качественные переменные представлены в виде абсолютных значений (n) и долей (%). При сравнении трех независимых групп по одному ко-

личественному признаку использованы методы непараметрической статистики (ранговый анализ вариаций по Краскелу – Уоллису). При выявлении статистически значимых различий в группах проведено парное сравнение групп с использованием непараметрического теста Манна – Уитни с поправкой Бонферрони для преодоления проблем множественных сравнений. Различия при $p \leq 0,05$ считали статистически значимыми.

Результаты

Основные клинико-демографические характеристики пациентов исследуемых групп представлены в табл. 1.

Единственными отличиями между группа-

Таблица 1. Клинико-демографическая характеристика исследуемых групп пациентов
Table 1. Baseline and demographic characteristics

Показатель / Parameter	Легочный гомографт / Pulmonary homograft, n = 28	Ксеноконduit Contegra / Contegra conduit, n = 19	Ксеноперикардиальный конduit / Xenopericardial conduit, n = 11	Контрольная группа / Control group, n = 25	ANOVA
Возраст, лет / Age, years, Me (25%; 75%)	10 (8; 11)	9 (7; 10)	10 (8; 13)	9,5 (8; 12)	0,09
Вес, кг / Weight, kg, Me (25%; 75%)	34 (28; 41)	32 (25; 39)	35 (27; 44)	33,5 (27; 42)	0,15
ППТ, м ² / BSA, m ² , Me (25%; 75%)	1,2 (1,05; 1,32)	1,15 (1,01; 1,32)	1,22 (1,04; 1,35)	1,18 (1,05; 1,33)	0,22
Пол (муж.) / Sex (male), n (%)	15 (53,5)	10 (52,6)	5 (45,5)	12 (48)	0,73
Первичный диагноз / Primary diagnosis n (%):					
– ТФ / TF	10 (35,7)	8 (42,1)	5 (45,5)	–	0,71
– АЛА с ДМЖП / PA with VSD	2 (7,15)	0 (0)	0 (0)	–	> 0,99
– ДОМС ПЖ / DORV	2 (7,15)	0 (0)	0 (0)	–	> 0,99
– АЛА с ИМЖП / PA without VSD	1 (3,6)	1 (5,3)	0 (0)	–	> 0,99
– Сложные ТМС / Complex TGV	1 (3,6)	0 (0)	0 (0)	–	> 0,99
– КСЛА/PS	12 (42,8)	10 (52,6)	6 (54,5)	–	0,72
иКДО ПЖ, мл/м ² / EDVI RV, mL/m ² , Me (25%; 75%)	142 (126; 155)	144 (131; 160)	140 (122; 151)	52 (47; 66)	<0,01
иКСО ПЖ, мл/м ² / ESVI RV, mL/m ² , Me (25%; 75%)	67 (55; 71)	62 (51; 68)	63 (54; 69)	22 (18; 27)	<0,01
ФИП ПЖ / FAC RV, %, Me (25%; 75%)	28 (25; 30)	30 (27; 32)	30 (26; 34)	45 (40; 48)	< 0,01
Выраженная ЛР / Pronounced PR, n (%)	28 (100)	19 (100)	11 (100)	0 (0)	< 0,01
ТР / TR, n (%):					
0 ст.	0 (0)	0 (0)	0 (0)	22 (88)	< 0,01
I ст.	0 (0)	1 (5,3)	0 (0)	3 (12)	0,23
II ст.	16 (57,2)	12 (63,1)	8 (72,7)	0 (0)	< 0,01
III ст.	12 (42,8)	6 (31,6)	3 (27,3)	0 (0)	< 0,01
Аритмии / Arrhythmias, n (%)	2 (7,15)	1 (5,3)	0 (0)	0 (0)	0,49

Примечание: АЛА с ДМЖП – атрезия легочной артерии с дефектом межжелудочковой перегородки; АЛА с ИМЖП – атрезия легочной артерии с интактной межжелудочковой перегородкой; ДОМС ПЖ – двойное отхождение магистральных сосудов от правого желудочка; иКДО ПЖ – индекс конечного диастолического объема правого желудочка; иКСО ПЖ – индекс конечного систолического объема правого желудочка; КСЛА – клапанный стеноз легочной артерии; ЛР – легочная регургитация; ППТ – площадь поверхности тела; ТМС – транспозиция магистральных сосудов; ТР – трикуспидальная регургитация; ТФ – тетрада Фалло; ФИП ПЖ – фракционное изменение площади правого желудочка.

Note: BSA – body surface area; DORV – double deviation of main vessels from right ventricle; EDVI RV – end-diastolic volume index of right ventricle; ESVI RV – end-systolic volume index of right ventricle; FAC RV – fractional area change of right ventricle; PA with VSD – pulmonary atresia with ventricular septal defect; PA without VSD – pulmonary atresia without ventricular septal defect; PR – pulmonary regurgitation; PS – pulmonary valve stenosis; TF – tetralogy of Fallot; TGV – transposition of the great vessels; TR – tricuspid regurgitation.

ми были индексы конечного диастолического и систолического объема правого желудочка, фракционное измерение площади правого желудочка, а также выраженная легочная и трикуспидальная регургитация.

Оценка ригидности и растяжимости легочной артерии и кондуитов представлена в табл. 2. Между группами в отдаленном периоде (через 12 и 24 мес.) отмечена значимая разница как по показателю ригидности, так и растяжимости.

Отдаленные результаты функции правого желудочка представлены в табл. 3.

Так, единственным различием между исследуемыми через 12 мес. стала степень трикуспидальной регургитации, которая была статистически значимо ниже в контрольной группе. Через 24 мес. различались пиковый градиент между правым желудочком и легочной артерией, который был статистически значимо выше в группе ксеноперикардальных кондуитов, и степень легочной регургитации, которая была статистически значимо ниже в группе здоровых детей.

Обсуждение

Несмотря на значительные достижения в кардиохирургии, у нас до сих пор нет идеального кондуита для реконструкции выходного тракта правого желудочка [2]. В результате усиленного кальциевого обмена в организме ребенка кондуиты теряют исходные функции, что приводит к их кальцификации и нарушению физико-механических свойств, особенно у клапаносодержащих трубчатых про-

тезов малого диаметра (≤ 16 мм), используемых у младенцев и детей раннего возраста [2, 4].

Легочная артерия играет важную роль в переходе от пульсирующего кровотока в правом желудочке к почти постоянному кровотоку на капиллярном уровне с минимальными затратами энергии [9]. Сохранение связи «правый желудочек – легочная артерия» имеет основополагающее значение для поддержания гемодинамики в правых отделах сердца и дистальных отделах легочной артерии [10]. Растяжимость легочной артерии является важным фактором, определяющим эту взаимосвязь, при этом повышенная жесткость приводит к увеличению пульсирующей нагрузки на правый желудочек, снижению сократительной способности и усилению передачи энергии в более мелкие легочные сосуды [9]. Повышенная жесткость в легочной артерии может служить как признаком периферических стенозов, так и кальциноза сосудистые стенки [5, 11]. Независимо от основной причины можно предположить, что механические изменения играют патофизиологическую роль в клиническом прогрессировании заболевания [11]. Эта концепция подтверждается предварительными данными, свидетельствующими о том, что снижение растяжимости связано с ухудшением прогноза жизни [12].

В нашем исследовании мы решили сравнить физико-механические свойства различных типов графтов с нативной легочной артерией. Все пациенты после имплантации легочного кондуита (легочный гомографт, ксеновенозный кондуит Contegra, ксе-

Таблица 2. Растяжимость и ригидность легочной артерии и кондуитов в исследуемых группах
Table 2. Extensibility and rigidity of the pulmonary artery and conduits

Показатель / Parameter	Легочный гомографт / Pulmonary homograft, n = 28	Ксенокондуит Contegra / Contegra conduit, n = 19	Ксеноперикардальный кондуит / Xenopericardial conduit, n = 11	Контрольная группа / Control group, n = 25	ANOVA
Индекс растяжимости / Index extensibility (10^{-3} кПа$^{-1}$)					
Ранний послеоперационный период / Early postoperative period, Me (25%; 75%)	129 (113; 144)	120 (104; 132)	124 (108; 137)	132 (111; 149)	0,08
12 мес. после операции / 12 months after operation, Me (25%; 75%)	118 (100; 135)	100 (92; 109)	91 (82; 100)	130 (109; 149)	< 0,01
24 мес. после операции / 24 months after operation, Me (25%; 75%)	106,8 (89; 122)	82 (70; 98)	67 (54; 77)	129 (118; 145)	< 0,01
Индекс ригидности / Index rigidity (10^{-3} кПа$^{-1}$)					
Ранний послеоперационный период / Early postoperative period, Me (25%; 75%)	1,88 (1,72; 2)	2,05 (1,9; 2,19)	1,99 (1,8; 2,1)	1,78 (1,61; 1,92)	0,221
12 мес. после операции / 12 months after operation, Me (25%; 75%)	1,99 (1,9; 2,18)	2,2 (2; 2,4)	2,25 (2,1; 2,4)	1,85 (1,66; 2)	< 0,01
24 мес. после операции / 24 months after operation, Me (25%; 75%)	2,2 (1,95; 2,4)	2,55 (2,3; 2,7)	3,1 (2,9; 3,5)	1,9 (1,73; 2,05)	< 0,01

ноперикардиальный конduit) имели высокие показатели растяжимости, достоверно не отличающиеся от детей с нормальной тканью легочной артерии. Однако хочется отметить более низкие показатели растяжимости ксеновенозного кондуита Contegra в отличие от других графтов. Возможно, это связано с консервацией глутаровым альдегидом, который может влиять на ригидность тканей [13, 14]. В отдаленном периоде растяжимость и ригидность кондуитов значительно отличались от нативной ткани легочной артерии. Наибольшую жесткость показал ксеноперикардиальный конduit. Данный тип кондуита имеет естественную биологическую структуру с низкой тромбогенностью и отличается невысокой

стоимостью, однако широкое применение ксеноперикардиальных графтов в хирургии врожденных пороков сердца показало главный минус – быстрое кальцинирование стенки и клапана трубчатого протеза относительно других типов кондуитов [5, 8, 12].

Наилучшими показателями растяжимости обладал легочный гомографт. По данным многих авторов, легочный гомографт имеет ряд особенностей, среди которых высокая эластичность стенки и низкая частота кальциноза кондуита в раннем и среднесрочном периоде наблюдения [2, 12, 15]. Однако, по данным Т. Копита и коллег, увеличение антител в крови может приводить к фиброзу или кальцинозу кондуита в отдаленном периоде [16]. Возможно,

Таблица 3. Отдаленные результаты функции правого желудочка в исследуемых группах
Table 3. Long-term results of the function of the right ventricle

Показатель / Parameter	Легочный гомографт / Pulmonary homograft, n = 28	Ксеноконduit Contegra / Contegra conduit, n = 19	Ксеноперикардиальный конduit / Xenopericardial conduit, n = 11	Контрольная группа / Control group, n = 25	ANOVA
12 мес. наблюдения / 12-months follow-up					
иКДО ПЖ, мл/м ² / EDVI RV, mL/m ² , Ме (25%; 75%)	52 (45; 64)	51 (47;66)	56 (44; 68)	48(44; 58)	0,38
иКСО ПЖ, мл/м ² / ESVI RV, mL/m ² , Ме (25%; 75%)	26 (25; 30)	28 (26; 31)	28 (25; 30)	20 (18; 24)	0,12
ФИП ПЖ / FAC RV, %, Ме (25%; 75%)	42 (40; 45)	39 (36; 41)	38 (36; 42)	47 (41; 50)	0,44
Пиковый градиент давления ПЖ/ЛА / RV/PA peak gradient, Ме (25%; 75%)	7 (6; 9)	15 (10; 18)	21 (16; 25)	8 (7; 10)	0,54
Выраженная ЛР / Pronounced PR, n (%)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	> 0,99
ТР / TR, n (%):					
0 ст.	8 (28,6)	5 (26,3)	3 (27,6)	22 (88)	< 0,01
I ст.	19 (67,8)	14 (73,7)	7 (63,3)	3 (12)	< 0,01
II ст.	1 (3,6)	0 (0)	1 (9,1)	0 (0)	0,30
III ст.	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	> 0,99
Аритмии / Arrhythmias, n (%)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	> 0,99
24 мес. наблюдения / 24-months follow-up					
иКДО ПЖ, мл/м ² / EDVI RV, mL/m ² , Ме (25%; 75%)	54 (48; 63)	54 (49; 67)	61 (52; 71)	50 (47; 58)	0,101
иКСО ПЖ, мл/м ² / ESVI RV, mL/m ² , Ме (25%; 75%)	27 (25; 30)	29 (27; 33)	30 (27; 35)	21 (18; 25)	0,091
ФИП ПЖ / FAC RV, %, Ме (25%; 75%)	40 (38; 43)	39 (35; 41)	37 (33; 39)	45 (40; 49)	0,128
Пиковый градиент давления ПЖ/ЛА / RV/PA peak gradient, Ме (25%; 75%)	10 (8; 14)	21 (17; 27)	35 (26; 41)	9 (8; 11)	0,046
Выраженная ЛР / Pronounced PR, n (%)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	> 0,99
ТР / TR, n (%):					
0 ст.	7 (25)	2 (10,5)	0 (0)	22 (88)	< 0,01
I ст.	20 (71,4)	15 (79)	8 (72,7)	3 (12)	< 0,01
II ст.	1 (3,6)	2 (10,5)	3 (27,3)	0 (0)	0,023
III ст.	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	> 0,99
Аритмии / Arrhythmias, n (%)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	> 0,99

Примечание: иКДО ПЖ – индекс конечного диастолического объема правого желудочка; иКСО ПЖ – индекс конечного систолического объема правого желудочка; ЛА – легочная артерия; ЛР – легочная регургитация; ТР – трикуспидальная регургитация; ФИП ПЖ – фракционное изменение площади правого желудочка.

Note: EDVI RV – end-diastolic volume index of right ventricle; ESVI RV – end-systolic volume index of right ventricle; FAC RV – fractional area change of right ventricle; PH – pulmonary homograft; PR – pulmonary regurgitation; TR – tricuspid regurgitation; XPC – xenopericardial conduit.

иммунная реакция способствовала значимым различиям ригидности и растяжимости между тканями легочного гомографта и «нативной» тканью легочной артерии.

Ксеновенозный кондуит Contegra имел большую ригидность относительно легочного гомографта или нативной легочной артерии, но продемонстрировал более эффективные физико-механические свойства относительно ксеноперикардального кондуита. Несмотря на ряд преимуществ ксенографта Contegra (широкий размерный ряд, анатомическая непрерывность кондуита и клапана, протяженная длина приточной и выводной трубчатых частей протеза), основным недостатком данного типа кондуита является иммунная воспалительная реакция, которая часто приводит к отдаленному кальцинозу стенки кондуита и стенозу дистального анастомоза за счет пролиферации неоинтимы [2, 13, 14]. Иммунная реакция вызывает гистопатологические изменения в кондуите и устьях легочных артерий, такие как диффузное утолщение стенки, отложение коллагена и внеклеточного матрикса, повышение сосудистого тонуса, что может менять жесткость ксенографта [17].

Несмотря на изменения растяжимости и ригидности различных кондуитов в сравнении с «нативной» легочной артерией, функция правого желудочка не менялась в отдаленном периоде. Однако дальнейшее увеличение жесткости за счет кальциноза стенки и клапана может приводить к дисфункции правого желудочка, как это описано в других работах [17].

Ограничение исследования

Представленное исследование нерандомизированное – по результатам рандомизированного исследования должны быть получены качественно новые данные. Ультразвуковое исследование выполнено двумя специалистами, что также могло повлиять на результаты. Увеличение контрольной

точки до 5 лет может позволить получить новые данные относительно эластических свойств кондуитов.

Заключение

Кондуиты в отдаленном периоде имеют более высокую жесткость в отличие от нормальной легочной артерии, что может влиять на будущую функцию кондуитов. Наиболее оптимальными показателями ригидности и эластичности среди кондуитов в отдаленном периоде обладал легочный гомографт, в то время как ксеноперикардальный кондуит показал наибольшую жесткость среди кондуитов.

Конфликт интересов

И.А. Соинов заявляет об отсутствии конфликта интересов. К.А. Рзаева заявляет об отсутствии конфликта интересов. А.В. Горбатов заявляет об отсутствии конфликта интересов. А.В. Войтов заявляет об отсутствии конфликта интересов. А.Н. Архипов заявляет об отсутствии конфликта интересов. Н.Р. Ничай заявляет об отсутствии конфликта интересов. Ю.Ю. Кулябин заявляет об отсутствии конфликта интересов. С.Н. Манукян заявляет об отсутствии конфликта интересов. А.В. Богачев-Прокофьев заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование

Статья поддержана грантом 21-75-10041 Российского научного фонда (по мероприятию «Проведение исследований научными группами под руководством молодых ученых» президентской программы исследовательских проектов, реализуемых ведущими учеными, в т. ч. молодыми) и проектом № 22-25-20102 (соглашение № 22-25-20102 от 22.03.2022 с Российским научным фондом и соглашением № р-29 от 13.03.2023 с министерством науки и инновационной политики Новосибирской области).

Информация об авторах

Соинов Илья Александрович, кандидат медицинских наук врач – сердечно-сосудистый хирург кардиохирургического отделения врожденных пороков сердца, старший научный сотрудник центра новых хирургических технологий федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный медицинский исследовательский центр имени академика Е.Н. Мешалкина» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Новосибирск, Российская Федерация; **ORCID** 0000-0003-3691-2848

Рзаева Ксения Асифовна, аспирант центра новых хирургических технологий федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный медицинский исследовательский центр имени В. А. Алмазова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург, Российская Федерация; **ORCID** 0000-0001-7254-0733

Author Information Form

Soynov Ilya A., PhD, Cardiovascular Surgeon at the Department of Cardiac Surgery for Congenital Heart Defects, Senior Researcher at the Center for New Surgical Technologies, Federal State Budgetary Institution “National Medical Research Center named after Academician E.N. Meshalkin” of the Ministry of Health of the Russian Federation, Novosibirsk, Russian Federation; **ORCID** 0000-0003-3691-2848

Rzaeva Ksenia A., Postgraduate Student, Center for New Surgical Technologies, Federal State Budgetary Institution “V. A. Almazov National Medical Research Center” of the Ministry of Health of the Russian Federation, St. Petersburg, Russian Federation; **ORCID** 0000-0001-7254-0733

Горбатов Артем Викторович, кандидат медицинских наук заведующий научно-исследовательской лабораторией интервенционной хирургии, врач по рентгенэндоваскулярным диагностике и лечению отделения рентгенохирургических методов диагностики и лечения, врач – сердечно-сосудистый хирург федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный медицинский исследовательский центр имени В. А. Алмазова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург, Российская Федерация; **ORCID** 0000-0003-4017-4198

Войтов Алексей Викторович, врач – сердечно-сосудистый хирург кардиохирургического отделения врожденных пороков сердца федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный медицинский исследовательский центр имени академика Е.Н. Мешалкина» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Новосибирск, Российская Федерация; **ORCID** 0000-0003-3797-4899

Архипов Алексей Николаевич, кандидат медицинских наук врач – сердечно-сосудистый хирург, заведующий отделением врожденных пороков сердца, старший научный сотрудник центра новых хирургических технологий федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный медицинский исследовательский центр имени академика Е.Н. Мешалкина» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Новосибирск, Российская Федерация; **ORCID** 0000-0003-3234-5436

Ничай Наталья Романовна, кандидат медицинских наук врач – сердечно-сосудистый хирург кардиохирургического отделения врожденных пороков сердца федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный медицинский исследовательский центр имени академика Е.Н. Мешалкина» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Новосибирск, Российская Федерация; ассистент кафедры сердечно-сосудистой хирургии федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Новосибирск, Российская Федерация; **ORCID** 0000-0002-1763-9535

Кулябин Юрий Юрьевич, кандидат медицинских наук врач – сердечно-сосудистый хирург кардиохирургического отделения врожденных пороков сердца, младший научный сотрудник центра новых хирургических технологий федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный медицинский исследовательский центр имени академика Е.Н. Мешалкина» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Новосибирск, Российская Федерация; **ORCID** 0000-0002-2361-5847

Манукян Сержа Нерсесович, ординатор по рентгенэндоваскулярным диагностике и лечению федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный медицинский исследовательский центр имени академика Е.Н. Мешалкина» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Новосибирск, Российская Федерация; **ORCID** 0000-0002-7083-2297

Богачев-Прокофьев Александр Владимирович, доктор медицинских наук директор института патологии кровообращения, врач – сердечно-сосудистый хирург федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный медицинский исследовательский центр имени академика Е.Н. Мешалкина» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Новосибирск, Российская Федерация; **ORCID** 0000-0003-4625-4631

Gorbatykh Artyom V., PhD, Head of the Research Laboratory of Interventional Surgery, Endovascular Image-guided Diagnostics and Treatment Specialist, Department of Image-guided Surgical Methods of Diagnosis and Treatment, Cardiovascular Surgeon at the Federal State Budgetary Institution “National Medical Research Center named after V. A. Almazov” of the Ministry of Health of the Russian Federation, St. Petersburg, Russian Federation; **ORCID** 0000-0003-4017-4198

Voitov Alexey V., Cardiovascular Surgeon at the Department of Cardiac Surgery for Congenital Heart Defects, Federal State Budgetary Institution “National Medical Research Center named after Academician E.N. Meshalkin” of the Ministry of Health of the Russian Federation, Novosibirsk, Russian Federation; **ORCID** 0000-0003-3797-4899

Arkipov Alexey N., PhD, Cardiovascular Surgeon, Head of the Department of Congenital Heart Defects, Senior Researcher at the Center for New Surgical Technologies, Federal State Budgetary Institution “National Medical Research Center named after Academician E.N. Meshalkin” of the Ministry of Health of the Russian Federation, Novosibirsk, Russian Federation; **ORCID** 0000-0003-3234-5436

Nichay Natalya R., PhD, Cardiovascular Surgeon at the Department of Cardiac Surgery for Congenital Heart Defects, Federal State Budgetary Institution “National Medical Research Center named after Academician E.N. Meshalkin” of the Ministry of Health of the Russian Federation, Novosibirsk, Russian Federation; Assistant at the Department of Cardiovascular Surgery, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Novosibirsk State Medical University” of the Ministry of Health of the Russian Federation, Novosibirsk, Russian Federation; **ORCID** 0000-0002-1763-9535

Kulyabin Yuri Y., PhD, Cardiovascular Surgeon at the Department of Cardiac Surgery for Congenital Heart Defects, Junior Researcher at the Center for New Surgical Technologies, Federal State Budgetary Institution “National Medical Research Center named after Academician E.N. Meshalkin” of the Ministry of Health of the Russian Federation, Novosibirsk, Russian Federation; **ORCID** 0000-0002-2361-5847

Manukyan Sergei N., Resident, Endovascular Image-guided Diagnostics and Treatment Specialist, Federal State Budgetary Institution “National Medical Research Center named after Academician E.N. Meshalkin” of the Ministry of Health of the Russian Federation, Novosibirsk, Russian Federation; **ORCID** 0000-0002-7083-2297

Bogachev-Prokophiev Alexander V., PhD, Director of the Institute of Circulatory Pathology, Cardiovascular Surgeon at the Federal State Budgetary Institution “National Medical Research Center named after Academician E.N. Meshalkin” of the Ministry of Health of the Russian Federation, Novosibirsk, Russian Federation; **ORCID** 0000-0003-4625-4631

Вклад авторов в статью

СИА – вклад в концепцию и дизайн исследования, получение и анализ данных исследования, написание статьи, утверждение окончательной версии для публикации, полная ответственность за содержание

РКА – вклад в концепцию и дизайн исследования, получение и анализ данных исследования, корректировка статьи, утверждение окончательной версии для публикации, полная ответственность за содержание

ГАВ – вклад в концепцию и дизайн исследования, корректировка статьи, утверждение окончательной версии для публикации, полная ответственность за содержание

ВАВ – интерпретация данных исследования, корректировка статьи, утверждение окончательной версии для публикации, полная ответственность за содержание

ААН – интерпретация данных исследования, корректировка статьи, утверждение окончательной версии для публикации, полная ответственность за содержание

ННР – интерпретация данных исследования, написание и корректировка статьи, утверждение окончательной версии для публикации, полная ответственность за содержание

КЮЮ – интерпретация данных исследования, написание и корректировка статьи, утверждение окончательной версии для публикации, полная ответственность за содержание

МСН – получение и анализ данных исследования, корректировка статьи, утверждение окончательной версии для публикации, полная ответственность за содержание

БАВ – интерпретация данных исследования, корректировка статьи, утверждение окончательной версии для публикации, полная ответственность за содержание

Author Contribution Statement

SIA – contribution to the concept and design of the study, data collection and analysis, manuscript writing, approval of the final version, fully responsible for the content

RKA – contribution to the concept and design of the study, data collection and analysis, editing, approval of the final version, fully responsible for the content

GAV – contribution to the concept and design of the study, editing, approval of the final version, fully responsible for the content

VAV – data interpretation, editing, approval of the final version, fully responsible for the content

AAN – data interpretation, editing, approval of the final version, fully responsible for the content

NNR – data interpretation, manuscript writing, editing, approval of the final version, fully responsible for the content

KYuYu – data interpretation, manuscript writing, editing, approval of the final version, fully responsible for the content

MSN – data collection and analysis, editing, approval of the final version, fully responsible for the content

BAV – data interpretation, editing, approval of the final version, fully responsible for the content

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Nichay N.R., Zhuravleva I.Y., Kulyabin Y.Y., Timchenko T.P., Voitov A.V., Kuznetsova E.V., Soynov I.A., Zubritskiy A.V., Bogachev-Prokophiev A.V., Karaskov A.M. In search of the best xenogeneic material for a paediatric conduit: an analysis of clinical data. *Interact Cardiovasc Thorac Surg.* 2018;27(1):34-41. doi: 10.1093/icvts/ivy029.
- Соинов И.А., Журавлева И.Ю., Кулябин Ю.Ю., Ничай Н.Р., Афанасьев А.В., Алешкевич Н.П., Богачев-Прокофьев А.В., Караськов А.М. Клапаносодержащие кондуиты в детской кардиохирургии. *Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова.* 2018;(1):75-81. doi:10.17116/hirurgia2018175-81.
- Омельченко А.Ю., Соинов И.А., Горбатов Ю.Н., Кулябин Ю.Ю., Горбатов А.В., Ничай Н.Р., Войтов А.В., Богачев-прокофьев А.В. Дисфункция правого желудочка у пациентов после коррекции тетрады Фалло: все ли вопросы решены? *Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова.* 2017;(6):84-90. doi: 10.17116/hirurgia2017684-90
- Qian T., Yuan H., Chen C., Liu Y., Lu T., Huang C., Wu Z. Conduits for Right Ventricular Outflow Tract Reconstruction in Infants and Young Children. *Front Surg.* 2021;8:719840. doi: 10.3389/fsurg.2021.719840.
- Costa F.D.A.D. Conduits for Right Ventricular Outflow Tract Reconstruction in Children: Are We Improving? *World J Pediatr Congenit Heart Surg.* 2020;11(2):148-149. doi: 10.1177/2150135119892935.
- Magoń W., Stepieniewski J., Waligóra M., Jonas K., Podolec P., Kopeć G. Pulmonary Artery Elastic Properties After Balloon Pulmonary Angioplasty in Patients With Inoperable Chronic Thromboembolic Pulmonary Hypertension. *Can J Cardiol.* 2019;35(4):422-429. doi: 10.1016/j.cjca.2019.01.016.
- Soynov I., Sinelnikov Y., Gorbatykh Y., Omelchenko A., Kornilov I., Nichay N., Bogachev-Prokophiev A., Karaskov A. Modified reverse aortoplasty versus extended anastomosis in patients with coarctation of the aorta and distal arch hypoplasia. *Eur J Cardiothorac Surg.* 2018;53(1):254-261. doi: 10.1093/ejcts/ezx249.
- Vitanova K, Cleuziou J, Hörer J, Kasnar-Samprec J, Vogt M, Schreiber C, Lange R. Which type of conduit to choose for right ventricular outflow tract reconstruction in patients below 1 year of age?†. *Eur J Cardiothorac Surg.* 2014;46(6):961-6; discussion 966. doi: 10.1093/ejcts/ezu080.
- Jeffery T.K., Wanstall J.C. Pulmonary vascular remodeling: a target for therapeutic intervention in pulmonary hypertension. *Pharmacol Ther.* 2001;92(1):1-20. doi: 10.1016/s0163-7258(01)00157-7.
- O'Rourke M.F., Yaginuma T., Avolio A.P. Physiological and pathophysiological implications of ventricular/vascular coupling. *Ann Biomed Eng.* 1984;12(2):119-34. doi: 10.1007/BF02584226.
- Sanz J., Kariisa M., Dellegrottaglie S., Prat-González S., Garcia M.J., Fuster V., Rajagopalan S. Evaluation of pulmonary artery stiffness in pulmonary hypertension with cardiac magnetic resonance. *JACC Cardiovasc Imaging.* 2009;2(3):286-95. doi: 10.1016/j.jcmg.2008.08.007.
- Murala J.S., Vela R.J., Geoffrion T., Chopra S., Guhathakurtha S., Pezzella T., Cherian K.M. Right ventricular outflow tract obstruction: a quest for ideal management. *Asian Cardiovasc Thorac Ann.* 2018;26(6):451-460. doi: 10.1177/0218492318779963.
- Yong M.S., Yim D., d'Udekem Y., Brizard C.P., Robertson T., Galati J.C., Konstantinov I.E. Medium-term outcomes of bovine jugular vein graft and homograft conduits in children. *ANZ J Surg.* 2015;85(5):381-5. doi: 10.1111/ans.13018.
- Patel P.M., Herrmann J.L., Rodefeld M.D., Turrentine M.W., Brown J.W. Bovine jugular vein conduit versus

pulmonary homograft in the Ross operation. *Cardiol Young*. 2020;30(3):323-327. doi: 10.1017/S1047951119003007.

15. Соинов И.А., Манукян С.Н., Рзаева К.А., Войтов А.В., Тимченко Т.П., Кобелев Е., Архипов А.Н., Ничай Н.Р., Кулябин Ю.Ю., Журавлева И.Ю., Богачев-Прокофьев А.В. Варианты дисфункций пути оттока из правого желудочка. *Кардиология и сердечно-сосудистая хирургия*. 2023;16(4):351–357. doi:10.17116/kardio202316041351

16. Konuma T., Devaney E.J., Bove E.L., Gelehrter S.,

Hirsch J.C., Tavakkol Z., Ohye R.G. Performance of Cryo Valve SG decellularized pulmonary allografts compared with standard cryopreserved allografts. *Ann Thorac Surg*. 2009;88(3):849-54; discussion 554-5. doi: 10.1016/j.athoracsur.2009.06.003.

17. Shen J.Y., Cai Z.Y., Sun L.Y., Yang C.D., He B. The Application of Intravascular Ultrasound to Evaluate Pulmonary Vascular Properties and Mortality in Patients with Pulmonary Arterial Hypertension. *J Am Soc Echocardiogr*. 2016;29(2):103-11. doi: 10.1016/j.echo.2015.08.018.

REFERENCES

1. Nichay N.R., Zhuravleva I.Y., Kulyabin Y.Y., Timchenko T.P., Voitov A.V., Kuznetsova E.V., Soynov I.A., Zubritskiy A.V., Bogachev-Prokophiev A.V., Karaskov A.M. In search of the best xenogeneic material for a paediatric conduit: an analysis of clinical data. *Interact Cardiovasc Thorac Surg*. 2018;27(1):34-41. doi: 10.1093/icvts/ivy029.

2. Soynov I.A., Zhuravleva I.Iu., Kulyabin Yu.Yu., Nichay N.R., Afanas'ev A.V., Aleshkevich N.P., Bogachev-Prokofev A.V., Karas'kov A.M. Valved conduits in pediatric cardiac surgery. *Pirogov Russian Journal of Khirurgiya. Zurnal im. N.I. Pirogova*. 2018;(1):75-81. doi:10.17116/hirurgia2018175-81. (In Russian)

3. Omel'chenko A.Iu., Soynov I.A., Gorbatykh Iu.N., Kulyabin Yu.Yu., Gorbatykh A.V., Nichay N.R., Voitov A.V., Bogochev-prokophiev A.V. Right ventricular dysfunction after tetralogy of Fallot repair: are all questions resolved? *Pirogov Russian Journal of Khirurgiya. Zurnal im. N.I. Pirogova*. 2017;(6):84-90. doi: 10.17116/hirurgia2017684-90 (In Russian)

4. Qian T., Yuan H., Chen C., Liu Y., Lu T., Huang C., Wu Z. Conduits for Right Ventricular Outflow Tract Reconstruction in Infants and Young Children. *Front Surg*. 2021;8:719840. doi: 10.3389/fsurg.2021.719840.

5. Costa F.D.A.D. Conduits for Right Ventricular Outflow Tract Reconstruction in Children: Are We Improving? *World J Pediatr Congenit Heart Surg*. 2020;11(2):148-149. doi: 10.1177/2150135119892935.

6. Magoń W., Sępniewski J., Waligóra M., Jonas K., Podolec P., Kopeć G. Pulmonary Artery Elastic Properties After Balloon Pulmonary Angioplasty in Patients With Inoperable Chronic Thromboembolic Pulmonary Hypertension. *Can J Cardiol*. 2019;35(4):422-429. doi: 10.1016/j.cjca.2019.01.016.

7. Soynov I., Sinelnikov Y., Gorbatykh Y., Omelchenko A., Kornilov I., Nichay N., Bogachev-Prokophiev A., Karaskov A. Modified reverse aortoplasty versus extended anastomosis in patients with coarctation of the aorta and distal arch hypoplasia. *Eur J Cardiothorac Surg*. 2018;53(1):254-261. doi: 10.1093/ejcts/ezx249.

8. Vitanova K, Cleuziou J, Hörer J, Kasnar-Samprec J, Vogt M, Schreiber C, Lange R. Which type of conduit to choose for right ventricular outflow tract reconstruction in patients below 1 year of age?†. *Eur J Cardiothorac Surg*. 2014;46(6):961-6; discussion 966. doi: 10.1093/ejcts/ezu080.

9. Jeffery T.K., Wanstall J.C. Pulmonary vascular remodeling: a target for therapeutic intervention in pulmonary hypertension. *Pharmacol Ther*. 2001;92(1):1-20. doi: 10.1016/s0163-7258(01)00157-7.

10. O'Rourke M.F., Yaginuma T., Avolio A.P. Physiological and pathophysiological implications of ventricular/vascular coupling. *Ann Biomed Eng*. 1984;12(2):119-34. doi: 10.1007/BF02584226.

11. Sanz J., Kariisa M., Dellegrottaglie S., Prat-González S., Garcia M.J., Fuster V., Rajagopalan S. Evaluation of pulmonary artery stiffness in pulmonary hypertension with cardiac magnetic resonance. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2009;2(3):286-95. doi: 10.1016/j.jcmg.2008.08.007.

12. Murala J.S., Vela R.J., Geoffrion T., Chopra S., Guhathakurtha S., Pezzella T., Cherian K.M. Right ventricular outflow tract obstruction: a quest for ideal management. *Asian Cardiovasc Thorac Ann*. 2018;26(6):451-460. doi: 10.1177/0218492318779963.

13. Yong M.S., Yim D., d'Udekem Y., Brizard C.P., Robertson T., Galati J.C., Konstantinov I.E. Medium-term outcomes of bovine jugular vein graft and homograft conduits in children. *ANZ J Surg*. 2015;85(5):381-5. doi: 10.1111/ans.13018.

14. Patel P.M., Herrmann J.L., Rodefeld M.D., Turrentine M.W., Brown J.W. Bovine jugular vein conduit versus pulmonary homograft in the Ross operation. *Cardiol Young*. 2020;30(3):323-327. doi: 10.1017/S1047951119003007.

15. Soynov I.A., Manukyan S.N., Rzaeva K.A., Voitov A.V., Timchenko T.P., Koblelev E., Arkhipov A.N., Nichay N.R., Kulyabin Yu.Yu., Zhuravleva I.Yu., Bogachev-Prokofiev A.V. Dysfunctions of right ventricular outflow tract. *Russ. Jour. of Card. and Cardiovasc. Surg*. 2023;16(4):351–357. doi:10.17116/kardio202316041351 (In Russian)

16. Konuma T., Devaney E.J., Bove E.L., Gelehrter S., Hirsch J.C., Tavakkol Z., Ohye R.G. Performance of Cryo Valve SG decellularized pulmonary allografts compared with standard cryopreserved allografts. *Ann Thorac Surg*. 2009;88(3):849-54; discussion 554-5. doi: 10.1016/j.athoracsur.2009.06.003.

17. Shen J.Y., Cai Z.Y., Sun L.Y., Yang C.D., He B. The Application of Intravascular Ultrasound to Evaluate Pulmonary Vascular Properties and Mortality in Patients with Pulmonary Arterial Hypertension. *J Am Soc Echocardiogr*. 2016;29(2):103-11. doi: 10.1016/j.echo.2015.08.018.

Для цитирования: Соинов И.А., Рзаева К.А., Горбатовых А.В., Войтов А.В., Архипов А.Н., Ничай Н.Р., Кулябин Ю.Ю., Манукян С.Н., Богачев-Прокофьев А.В. Физико-механические свойства кондуитов при формировании пути оттока в легочную артерию. *Комплексные проблемы сердечно-сосудистых заболеваний*. 2024;13(1): 67-76. DOI: 10.17802/2306-1278-2024-13-1-67-76

To cite: Soynov I.A., Rzaeva K.A., Gorbatykh A.V., Voitov A.V., Arkhipov A.V., Nichay N.R., Kulyabin Yu.Yu., Bogachev-Prokophiev A.V. Physical and mechanical properties of conduits during the formation of the outflow tract into the pulmonary artery. *Complex Issues of Cardiovascular Diseases*. 2024;13(1): 67-76. DOI: 10.17802/2306-1278-2024-13-1-67-76