

Ранние и отдаленные результаты коррекции коарктации аорты: проспективное рандомизированное двухцентровое исследование

П.В. Теплов¹, А.Ю. Миллер¹, Е.М. Гвоздь¹, Ю.Н. Полякова¹, В.А. Сакович¹, Е.Н. Амансахатова², И.А. Сойнов²

Для корреспонденции: Павел Викторович Теплов, teplovpv@gmail.com

Поступила в редакцию 19 января 2026 г. Исправлена 26 января 2026 г. Принята к печати 28 января 2026 г.

Цитировать: Теплов П.В., Миллер А.Ю., Гвоздь Е.М., Полякова Ю.Н., Сакович В.А., Амансахатова Е.Н., Сойнов И.А. Ранние и отдаленные результаты коррекции коарктации аорты: проспективное рандомизированное двухцентровое исследование. *Патология кровообращения и кардиохирургия*. 2026;30(1):26-39. <https://doi.org/10.21688/1681-3472-2026-1-26-39>

Информированное согласие

Получено информированное согласие официальных представителей пациентов на использование медицинских данных в научных целях.

Финансирование

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства здравоохранения Российской Федерации (№ 124022500251-0).

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов

Концепция и дизайн работы: П.В. Теплов, Е.Н. Амансахатова, И.А. Сойнов
Сбор и анализ данных: П.В. Теплов, А.Ю. Миллер, Е.М. Гвоздь
Статистическая обработка данных: Е.М. Гвоздь, Ю.Н. Полякова, И.А. Сойнов
Написание статьи: П.В. Теплов, Е.Н. Амансахатова, И.А. Сойнов
Исправление статьи: В.А. Сакович, И.А. Сойнов
Утверждение окончательного варианта статьи: все авторы

ORCID

П.В. Теплов, <https://orcid.org/0000-0002-8798-4975>
А.Ю. Миллер, <https://orcid.org/0000-0003-4969-4640>
Е.М. Гвоздь, <https://orcid.org/0009-0005-6817-6584>
Ю.Н. Полякова, <https://orcid.org/0009-0005-8102-4577>
В.А. Сакович, <https://orcid.org/0000-0001-7743-8770>
Е.Н. Амансахатова, <https://orcid.org/0009-0008-3193-4160>
И.А. Сойнов, <https://orcid.org/0000-0003-3691-2848>

© Теплов П.В., Миллер А.Ю., Гвоздь Е.М., Полякова Ю.Н., Сакович В.А., Амансахатова Е.Н., Сойнов И.А., 2026



¹ Федеральное государственное бюджетное учреждение «Федеральный центр сердечно-сосудистой хирургии» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Красноярск, Российская Федерация

² Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный медицинский исследовательский центр имени академика Е.Н. Мешалкина» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Новосибирск, Российская Федерация

Аннотация

Актуальность. Рекоарктация аорты, артериальная гипертензия и компрессия главного бронха остаются основными осложнениями после хирургической коррекции коарктации аорты и гипоплазии дуги аорты, несмотря на низкую летальность и высокую эффективность у большинства пациентов.

Цель. Оценить ранние и отдаленные результаты хирургического лечения новорожденных пациентов с коарктацией аорты с использованием пластических операций нативными тканями в сравнении с аортопластикой заплатными методами.

Методы. В представленном многоцентровом проспективном рандомизированном исследовании выполнен анализ результатов хирургической коррекции коарктации с гипоплазией дуги аорты у педиатрической когорты пациентов, в исследование было включено 105 новорожденных. Согласно дизайну исследования в зависимости от способа хирургической коррекции все пациенты разделены на две группы: пластика дуги аорты с использованием заплаты (70 пациентов) и аортопластика с помощью косоугольного расширенного анастомоза (35 пациентов).

Результаты. Госпитальная летальность в группе пластики с применением заплаты составила 5 (7,1 %) пациентов, в то время как в группе пластики нативными тканями – 3 (8,6 %) пациента, $p > 0,999$. Единственным фактором риска летального исхода, независимо от применяемой хирургической методики, являлась продолжительность искусственного кровообращения (95 % ДИ [1,374; 45,242]; $p = 0,016$). Единственным предиктором развития рекоарктации аорты в отдаленном послеоперационном периоде является пиковый градиент давления на перешейке более 14 мм рт. ст. (OR = 3,75; $p < 0,001$). Использование хирургической тактики с использованием заплаты снижает риск развития артериальной гипертензии (ОШ = 0,385; $p = 0,046$).

Заключение. Обе распространенные хирургические стратегии демонстрируют сопоставимую эффективность в лечении коарктации и гипоплазии дуги аорты у детей раннего возраста. Вне зависимости от стратегии хирургической коррекции основное внимание следует уделять индивидуальным анатомическим особенностям дуги аорты, состоянию пациента и сопутствующим врожденным порокам сердца. Однако у всех пациентов необходимо полностью резецировать дуктальную ткань для предотвращения развития рекоарктации аорты и резидуальной артериальной гипертензии.

Ключевые слова: аортопластика; врожденный порок сердца; гипоплазия дуги аорты; детская кардиология; коарктация аорты; легочный гомографт

Early and long-term outcomes of aortic coarctation repair: a prospective two-center study

Pavel V. Teplov¹, Alexander Yu. Miller¹, Egor M. Gvozd¹, Yulia N. Polyakova¹, Valery A. Sakovich¹, Ekaterina N. Amansakhatova², Ilya A. Soynov²

Corresponding author: Pavel V. Teplov, teplovpv@gmail.com
Received 19 January 2026. Revised 26 January 2026.
Accepted 28 January 2026.

How to cite: Teplov P.V., Miller A.Yu., Gvozd E.M., Polyakova Yu.N., Sakovich V.A., Amansakhatova E.N., Soynov I.A. Early and long-term outcomes of aortic coarctation repair: a prospective two-center study. *Patologiya krovoobrashcheniya i kardiokhirurgiya = Circulation Pathology and Cardiac Surgery*. 2026;30(1):26-39. (In Russ.) <https://doi.org/10.21688/1681-3472-2026-1-26-39>

Informed consent

The patient's official representative has provided informed consent for the use of the recordings for medical purposes.

Funding

The research was carried out within the state assignment of Ministry of Health of Russian Federation (No. 124022500251-0).

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Contribution of the authors

Conception and study design: P.V. Teplov, E.N. Amansakhatova, I.A. Soynov

Data collection and analysis: P.V. Teplov, A.Yu. Miller, E.M. Gvozd

Statistical analysis: E.M. Gvozd, Yu.N. Polyakova, I.A. Soynov

Drafting the article: P.V. Teplov, E.N. Amansakhatova, I.A. Soynov

Critical revision of the article: V.A. Sakovich, I.A. Soynov

Final approval of the version to be published: all authors

ORCID

P.V. Teplov, <https://orcid.org/0000-0002-8798-4975>

A.Yu. Miller, <https://orcid.org/0000-0003-4969-4640>

E.M. Gvozd, <https://orcid.org/0009-0005-6817-6584>

Yu.N. Polyakova, <https://orcid.org/0009-0005-8102-4577>

V.A. Sakovich, <https://orcid.org/0000-0001-7743-8770>

E.N. Amansakhatova, <https://orcid.org/0009-0008-3193-4160>

I.A. Soynov, <https://orcid.org/0000-0003-3691-2848>

© 2026 Teplov et al.



¹ Federal Center for Cardiovascular Surgery, Krasnoyarsk, Russian Federation
² Meshalkin National Medical Research Center, Novosibirsk, Russian Federation

Abstract

Introduction. Recoarctation of the aorta, arterial hypertension and main bronchus compression remain the major complications following surgical correction of aortic coarctation and aortic arch hypoplasia, despite high effectiveness and low mortality in most patients.

Objective. To evaluate early and long-term outcomes of surgical treatment in neonatal patients with aortic coarctation, comparing native tissue repair (such as extended end-to-end anastomosis) to patch aortoplasty techniques.

Methods. This two-center, prospective, randomized study analyzed the outcomes of surgical repair for aortic coarctation with arch hypoplasia in a pediatric patient cohort, which included 105 neonates. According to the study design, all patients were divided into two groups based on the surgical technique used: patch aortoplasty (70 patients) and repair with an extended end-to-end anastomosis (35 patients).

Results. In-hospital mortality in the patch repair group was 5 (7.1 %) patients, compared to 3 (8.6 %) patients in the native tissue repair group, $p > 0.999$. The only independent risk factor for mortality, regardless of the surgical technique performed, was the duration of cardiopulmonary bypass (OR with 95 % CI 1.374 to 45.242, $p = 0.016$). The sole predictor for the development of aortic recoarctation in the long-term postoperative period was a peak gradient across the isthmus exceeding 14 mm Hg (HR = 3.75; $p < 0.001$). The use of the patch repair surgical strategy was associated with a reduced risk of developing arterial hypertension (HR = 0.385, $p = 0.046$).

Conclusion. Both common surgical strategies demonstrate comparable efficacy in treating coarctation and hypoplasia of the aortic arch in newborns. Regardless of the surgical approach, primary attention should be paid to the individual anatomical features of the aortic arch, patient condition, and associated congenital heart defects. However, in all patients, complete resection of ductal tissue is mandatory to prevent the development of aortic recoarctation and residual arterial hypertension.

Keywords: aortic arch hypoplasia; aortic coarctation, aortoplasty; congenital heart disease; pediatric cardiology; pulmonary homograft

Введение

Коарктация аорты (КА) – один из наиболее распространенных врожденных пороков сердца, составляющий 5–8 % в структуре всех врожденных пороков сердца [1; 2]. Данная патология имеет особую клиническую значимость в неонатальном периоде из-за высокого риска развития тяжелых осложнений и летальности при отсутствии своевременного

лечения [2]. КА является одной из ведущих причин критических состояний у новорожденных, что диктует необходимость ранней диагностики и неотложной хирургической коррекции [2; 3].

Согласно современным клиническим подходам не менее 90 % пациентов подлежат оперативному лечению в период новорожденности. Такая тактика направлена на предотвращение необратимых поражений

органов-мишеней [4]. В Российской Федерации организована система специализированной помощи, обеспечивающая направление таких пациентов в профильные кардиохирургические центры.

Несмотря на достигнутый прогресс, выбор оптимального метода коррекции КА остается предметом дискуссий. Основными подходами являются резекция коарктации с наложением расширенного анастомоза «конец в конец» (пластика нативными тканями) и различные виды аортопластики с использованием заплат [5; 6].

Ключевой нерешенной проблемой остается высокая частота рекоарктации (до 20–30 %) и сохранение послеоперационной артериальной гипертензии [7; 8]. Современные рекомендации подчеркивают важность индивидуализированного подхода к выбору метода с учетом анатомических особенностей и операционных рисков [4]. Хотя эндоваскулярные методики активно развиваются, открытое хирургическое вмешательство не утратило своей актуальности, особенно в неонатальном периоде [2; 3].

Цель исследования – оценить ранние и отдаленные результаты хирургического лечения новорожденных пациентов с коарктацией аорты с использованием пластических операций нативными тканями в сравнении с аортопластикой заплатными методами.

Методы

За период с 2020 по 2023 г. на базе детского отделения ФЦССХ г. Красноярск и НМИЦ им. ак. Е.Н. Мешалкина было обследовано 238 пациентов с коарктацией аорты и сопутствующими врожденными пороками сердца. Исследование одобрено локальным этическим комитетом (протокол № 2 от 24 марта 2020 г.).

В двухцентровое проспективное рандомизированное исследование было включено 105 новорожденных с коарктацией и гипоплазией дуги аорты, подходящих под критерии включения. Рандомизация была выполнена с помощью генератора случайных чисел.

Расчет необходимого размера выборки был выполнен на этапе планирования с помощью Stata 14. Было определено, что включение 35 пациентов в каждую группу является достаточным для детекции статистически значимых различий в частоте рекоарктации (0 и 0,30 в группах), основанных на данных литературы [5].

Критерии включения и исключения

Критерии включения: новорожденные пациенты с диагнозом «коарктация аорты» и гипоплазией

дуги аорты, которым показана коррекция порока в условиях искусственного кровообращения.

Критерии исключения:

- перерыв дуги аорты;
- критические состояния, связанные с КА;
- инфекционные осложнения (сепсис, пневмония);
- тяжелые экстракардиальные или генетические аномалии, несовместимые с жизнью;
- глубокая недоношенность, масса тела менее 1,5 кг;
- пациенты с унивентрикулярной (одножелудочковой) гемодинамикой;
- отказ от участия в исследовании на любом из его этапов.

Рандомизация и группы лечения

Пациенты были рандомизированы на две группы в соответствии с тактикой хирургического лечения.

Группа I ($n = 70$) – пациенты, которым выполнялась пластика дуги аорты с использованием заплаты.

Группа II (контрольная, $n = 35$) – пациенты, которым выполнялась пластика дуги аорты методом «агрессивного» косоугольного расширенного анастомоза (пластика нативными тканями).

Конечные точки исследования

Первичная конечная точка: развитие рекоарктации аорты (реКА) в отдаленном периоде, определяемое при наличии одного из следующих признаков:

- прямой систолический градиент давления > 20 мм рт. ст. между верхними и нижними конечностями;
- Z-score перешейка аорты < -2 по данным мультиспиральной компьютерной томографии.

Вторичные конечные точки:

- развитие артериальной гипертензии;
- пропорциональность роста дуги аорты;
- компрессия левого главного бронха;
- летальность (госпитальная и в отдаленном периоде).

Дизайн исследования представлен на рис. 1.

Диагностические критерии и методы оценки

Верификация диагноза КА – диагноз устанавливался на основании комплекса данных:

- клинически: разница систолического артериального давления между верхними и нижними конечностями > 20 мм рт. ст.;
- эхокардиографически (ЭхоКГ): пиковый доплеровский градиент давления > 20 мм рт. ст.

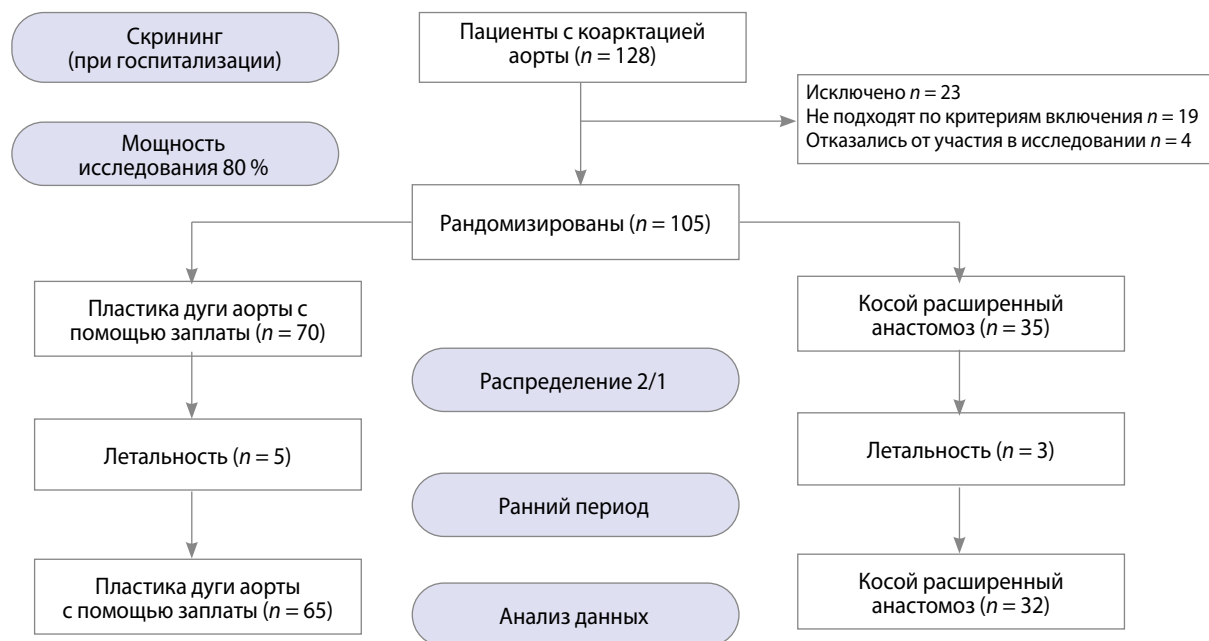


Рис. 1. Дизайн исследования

и/или локальное сужение перешейка аорты от нормативного диаметра (Z-score < -2) [4]. Гипоплазия дуги аорты оценивалась как значение Z-score < -2 для проксимального и/или дистального участка дуги аорты. Z-score рассчитывали с помощью веб-ресурса Parameter(Z) Echo Z-Score Calculators, основанного на исследовании Pettersen M.D. и соавт. [9].

Трансторакальная ЭхоКГ проводилась по стандартному протоколу. Оценивалась систолическая функция левого желудочка (ЛЖ) по методу Тейхольца (фракция выброса, фракция укорочения). Измерялись следующие параметры: конечный диастолический размер (КДР), конечный диастолический объем (КДО), толщина межжелудочковой перегородки и толщина задней стенки ЛЖ. Масса миокарда ЛЖ вычислялась по формуле Devereux R. и индексировалась к площади поверхности тела. Гипертрофия ЛЖ диагностировалась при индексе массы миокарда > 95-го перцентиля [9].

Госпитальная летальность: летальный исход в течение 30 дней после операции или до выписки из стационара.

Полиорганная недостаточность: острое поражение двух и более органов.

Повреждение возвратного нерва: парез голосовой связки, подтвержденный бронхоскопией.

Артериальная гипертензия: диагностировалась при повышении средних значений систолического

и/или диастолического артериального давления (АД) > 95-го перцентиля по данным суточного мониторинга артериального давления, после предварительного трехкратного измерения АД на приеме у кардиолога [8].

Аневризма дуги аорты: расширение любого отдела аорты со значением Z-score > +3.

Хирургическая техника

Предоперационная подготовка больных и интраоперационный мониторинг проводились в соответствии со стандартами, принятыми для кардиохирургических операций у новорожденных. Хирургический доступ во всех случаях обеспечивался посредством срединной стернотомии. Операции выполнялись в условиях искусственного кровообращения (ИК) с применением антеградной церебральной перфузии на фоне умеренной гипотермии – до 28 °С.

Аппарат ИК подключали по стандартной методике: канюлировали аорту и полые вены, дренирование левых отделов сердца осуществляли через правую легочную вену. После начала искусственного кровообращения пациента постепенно охлаждали до целевой температуры. Процесс охлаждения контролировали по показаниям пищевого и ректального датчиков для оценки равномерности гипотермии верхних и нижних отделов тела.

Табл. 1. Характеристика пациентов до операции

Показатель	Общие данные (n = 105)	Пластика с приме- нением заплат (n = 70)	Пластика натив- ными тканями (n = 35)	p
Возраст, дней	14,00 [8,00; 22,00]	14,00 [8,00; 22,75]	13,00 [7,00; 21,00]	0,749
Рост, см	51,00 [49,00; 54,00]	51,00 [49,00; 53,75]	53,00 [50,00; 54,50]	0,339
Вес, кг	3,10 [2,70; 3,70]	3,00 [2,60; 3,50]	3,30 [3,00; 3,85]	0,054
Площадь поверхности тела, м ²	0,20 [0,19; 0,23]	0,20 [0,19; 0,23]	0,21 [0,20; 0,24]	0,162
Пол (женский), n (%)	70 (66,7)	46 (65,7)	24 (68,6)	0,942
ФВ ЛЖ до операции, %	70,00 [65,00; 75,00]	70,00 [64,25; 75,00]	70,00 [65,00; 74,50]	0,965
иКДО ЛЖ до операции, мл/м ²	35,00 [23,90; 43,40]	35,00 [22,05; 40,98]	39,10 [30,75; 44,50]	0,065
иКДР ЛЖ до операции, см/м ²	7,36 [5,78; 8,47]	7,36 [5,83; 8,44]	7,36 [5,81; 8,56]	0,793
иКСО до операции, см/м ²	3,74 [3,40; 4,40]	3,72 [3,36; 4,23]	3,77 [3,47; 4,45]	0,154
Толщина межжелудочковой перегородки до операции, см	1,84 [1,51; 2,26]	1,86 [1,52; 2,24]	1,81 [1,46; 2,36]	0,731
Толщина задней стенки ЛЖ до операции, см	2,12 [1,74; 2,50]	2,12 [1,72; 2,51]	2,12 [1,85; 2,49]	0,841
Индекс массы миокарда ЛЖ до операции, г/м ²	40,18 [28,59; 55,12]	40,18 [25,89; 54,33]	40,18 [31,87; 56,60]	0,681
Z-score восходящего отдела аорты до операции	0,01 [-0,69; 0,82]	0,18 [-0,67; 0,85]	-0,08 [-0,78; 0,68]	0,711
Z-score проксимального сегмента дуги аорты до операции	0,85 [-0,04; 1,47]	0,54 [-0,91; 1,46]	1,01 [0,60; 1,50]	0,031
Z-score дистального сегмента дуги аорты до операции	-3,02 [-3,53; -2,49]	-3,13 [-3,61; -2,46]	-2,87 [-3,35; -2,63]	0,263
Z-score перешейка аорты до опера- ции	-5,93 [-7,28; -4,35]	-6,06 [-7,13; -4,73]	-5,04 [-7,37; -3,95]	0,362

Примечание. иКДО – индексированный конечный диастолический объем; иКДР – индексированный конечный диастолический размер; иКСО – индексированный конечный систолический объем; ЛЖ – левый желудочек; ФВ – фракция выброса.

У пациентов, включенных в группу I, основной хирургический этап представлял собой пластику дуги аорты. Либо она выполнялась по модифицированной методике Norwood с использованием заплаты для расширения восходящей аорты без резекции дуктальной ткани, либо осуществлялась пластика дуги аорты с иссечением дуктальной ткани и применением заплаты из легочного аллографта (производства ООО «КАРДИОСТАР», г. Санкт-Петербург, Россия).

В группе II основным вмешательством была резекция суженного участка аорты с последующим формированием расширенного косого анастомоза «конец в конец» без использования пластического материала.

После завершения основного этапа операции проводилось согревание пациента до нормотермии, ушивание операционной раны и последующий перевод в отделение реанимации и интенсивной терапии.

Статистический анализ

Статистический анализ данных был проведен с использованием программного обеспечения R в среде разработки RStudio и Stata 14 (StataCorp LP, College Station, США), а также языка программирования Python версии 3.14. Нормальность распределения количественных переменных оценивалась с применением критерия Шапиро – Уилка. Количественные показатели представлены медианой и межквартильным интервалом, Me (Q1; Q3), категориальные показатели описываются абсолютными (n) и относительными (%) частотами, n (%). Сравнение количественных показателей в двух независимых группах выполнено по критерию Манна – Уитни. Для выявления статистически значимых предикторов ранних и поздних послеоперационных осложнений строились однофакторные и многофакторные модели логистической регрессии. Для сравнения категориальных показателей

Табл. 2. Интраоперационные данные

Показатель	Общие данные (n = 105)	Пластика с применением заплат (n = 70)	Пластика нативными тканями (n = 35)	p
Окклюзия аорты, мин	53,00 [29,00; 64,00]	55,00 [53,00; 68,00]	22,00 [18,50; 31,00]	<0,001
Кровопотеря интраоперационно, мл	15,00 [11,00; 19,00]	14,00 [11,00; 19,00]	16,00 [12,00; 18,00]	0,804
Ректальная температура интраоперационно, °С	36,10 [28,00; 36,40]	28,10 [27,92; 36,10]	36,30 [36,15; 36,50]	<0,001
Диурез интраоперационно, мл	41,00 [31,00; 47,00]	41,50 [31,00; 46,75]	40,00 [29,00; 48,50]	0,688

Табл. 3. Однофакторный и многофакторный анализ госпитальной летальности

Показатель	Однофакторный анализ, ОШ (95 % ДИ)	p	Многофакторный анализ, ОШ (95 % ДИ)	p
Продолжительность искусственного кровообращения	1,035 [1,002; 1,070]	0,039	2,240 [1,163; 4,314]	0,016
Рост	0,405 [0,170; 0,964]	0,041	3,281 [0,741; 5,210]	0,362
Применение инотропных препаратов до операции	4,787 [1,056; 21,702]	0,042	7,884 [1,374; 45,242]	0,021
Вес	0,385 [0,140; 1,061]	0,065	1,021 [0,830; 4,832]	0,743
Площадь поверхности тела	0,436 [0,173; 1,102]	0,079	0,843 [0,031; 3,955]	0,384
Тотальный аномальный дренаж легочных вен	12,867 [0,729; 227,075]	0,081	10,323 [0,032; 412,377]	0,991

Табл. 4. Ранние послеоперационные результаты

Показатель	Пластика с применением заплат (n = 62)	Пластика нативными тканями (n = 31)	p
Неврологические осложнения, n (%)	9 (14,5)	1 (3,2)	0,156
Почечные осложнения, n (%)	5 (8,1)	5 (16,1)	0,292
Парадоксальная артериальная гипертензия, n (%)	11 (17,7)	6 (19,4)	0,850
Тромбоз бедренных артерий, n (%)	6 (9,7)	2 (6,5)	0,714
Хилоторакс, n (%)	2 (3,2)	0 (0,0)	0,551
Компрессия левого бронха, n (%)	9 (14,5)	11 (35,5)	0,020
Повреждение возвратного нерва, n (%)	5 (8,1)	4 (12,9)	0,475
Повреждение диафрагмального нерва, n (%)	3 (4,8)	0 (0,0)	0,548
Пиковый градиент давления на перешейке, мм рт. ст.	13 [11; 16,5]	9 [7; 12,5]	0,002
ФВ ЛЖ, %	66,66 [63,42; 70,61]	65,31 [60,34; 69,37]	0,191
иКДО ЛЖ, мл/м ²	44,06 [37,74; 57,35]	45,51 [30,62; 56,79]	0,675
иКДР ЛЖ, мм/м ²	9,28 [7,59; 10,56]	8,95 [6,64; 10,69]	0,634
иКСР ЛЖ, мм/м ²	4,68 [4,19; 5,29]	5,07 [4,33; 5,57]	0,139
Толщина межжелудочковой перегородки, мм	2,38 [1,88; 2,77]	2,18 [1,79; 2,82]	0,436
Толщина задней стенки левого желудочка, мм	2,60 [2,15; 3,17]	2,78 [2,13; 3,14]	0,971
Индекс массы миокарда, г/м ²	49,43 [31,75; 66,43]	50,01 [35,37; 72,26]	0,538

Примечание. иКДО – индексированный конечный диастолический объем; иКДР – индексированный конечный диастолический размер; иКСР – индексированный конечный систолический размер; ЛЖ – левый желудочек; ФВ – фракция выброса.

в независимых группах использовался χ^2 -критерий Пирсона или точный критерий Фишера. Анализ выживаемости в зависимости от свободы от рекоарктации и артериальной гипертензии выполнялся с использованием метода Каплана – Мейера. Однофакторный и многофакторный логистический регрессионный анализ проводился для выявления факторов риска, связанных с бинарными исходами. Временной фактор развития нежелательных явлений анализировался с помощью регрессии пропорциональных рисков Кокса для определения взаимосвязей с исследуемыми переменными. Критическое значение уровня статистической значимости при проверке гипотез составляло 0,05.

Результаты

Базовые характеристики групп представлены в табл. 1. Как видно по данным табл. 1, единственным различием по базовым характеристикам между группами исследования был «Z-score проксимального сегмента дуги аорты до операции», который был значимо выше в группе пластики нативными тканями.

Интраоперационные данные представлены в табл. 2.

Как видно по данным табл. 2, единственными различиями были окклюзия аорты, которая была значимо меньше в группе пластики нативными тканями, и ректальная температура, которая была значимо ниже в группе пластики с использованием заплат.

Частота госпитальной летальности в группе пластики с применением заплат составила 5 (7,1 %) пациентов, в то время как в группе пластики нативными тканями – 3 (8,6 %) пациента, $p > 0,999$. Однофакторный и многофакторный анализ госпитальной летальности представлен в табл. 3.

Таким образом, применение инотропных препаратов до операции (ОШ = 7,884; $p = 0,021$) и продолжительность искусственного кровообращения (ОШ = 2,240; $p = 0,016$) являются независимыми предикторами летального исхода на госпитальном этапе.

Ранние послеоперационные результаты и осложнения представлены в табл. 4.

Как видно по данным табл. 4, значимыми различиями были градиент давления на перешейке аорты, который был выше в группе аортопластики заплатным методом, и компрессия левого главного бронха, которая была выше в группе аортопластики нативными тканями.

Отдаленные результаты

Средний период наблюдения составил 34 (27; 40) месяца. Полнота наблюдения в отдаленном периоде времени составила 96,8 %. Результаты и осложнения отдаленного послеоперационного периода представлены в табл. 5.

Как видно по данным табл. 5, различиями между группами были артериальная гипертензия, пиковый градиент давления на перешейке аорты, которые

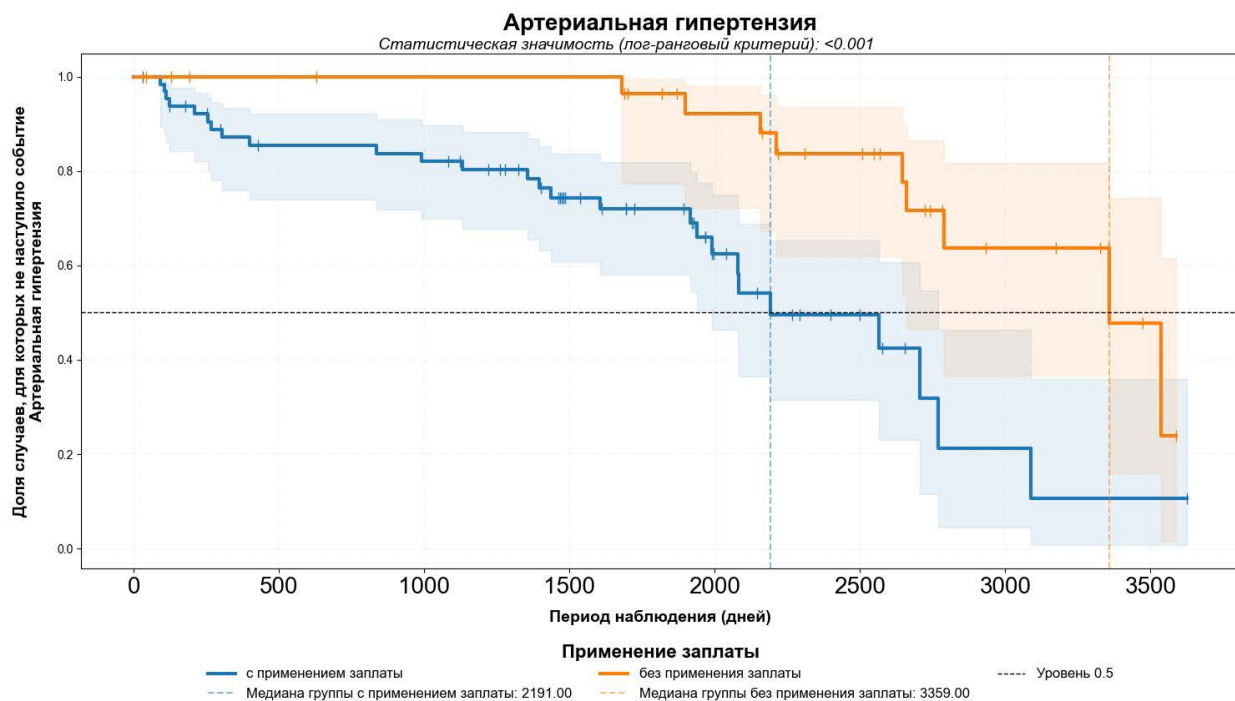


Рис. 2. Кривые Каплана – Мейера для артериальной гипертензии

Табл. 5. Результаты и осложнения отдаленного послеоперационного периода

Показатель	Общие данные (n = 90)	Пластика с при- менением заплат (n = 59)	Без применения заплат (n = 31)	P
Артериальная гипертензия, n (%)	36 (40,0)	28 (47,5)	8 (25,8)	0,046
Рекоарктация аорты с необходимостью реоперации, n (%)	21 (23,3)	17 (28,8)	4 (12,9)	0,090
Стеноз ПКА, n (%)	1 (1,1)	1 (1,7)	0 (0,0)	>0,999
Аневризма нисходящей аорты, n (%)	1 (1,1)	1 (1,7)	0 (0,0)	>0,999
Стеноз сонной артерии или БЦА, n (%)	1 (1,1)	1 (1,7)	0 (0,0)	>0,999
Скорость роста проксимальной дуги аорты, мкм/сут	5,95 [4,39; 7,39]	6,19 [5,24; 8,59]	5,79 [4,05; 7,15]	0,121
Скорость роста дистальной дуги аорты, мкм/сут	7,21 [5,94; 9,15]	6,82 [6,31; 8,29]	7,22 [5,67; 9,22]	0,504
Скорость прироста Z-score анастомоза, тысячных ед./сут	33,72 [26,27; 41,12]	33,31 [25,41; 40,14]	34,10 [28,47; 41,72]	0,214
ФВ ЛЖ, %	67,46 [64,03; 72,66]	69,29 [64,78; 73,08]	66,45 [61,32; 70,45]	0,063
иКДО ЛЖ, мл/м ²	45,78 [34,10; 57,02]	46,15 [35,05; 55,82]	44,10 [32,25; 57,23]	0,492
иКДР ЛЖ, мм/м ²	11,06 [8,48; 12,63]	10,92 [8,89; 12,62]	11,07 [7,93; 12,53]	0,786
иКСР ЛЖ, мм/м ²	5,75 [5,16; 6,45]	5,66 [5,11; 6,54]	5,85 [5,31; 6,41]	0,382
Толщина межжелудочковой перегородки, мм	2,76 [2,18; 3,36]	2,84 [2,18; 3,44]	2,58 [2,12; 3,29]	0,262
Толщина задней стенки ЛЖ, мм	3,05 [2,49; 3,73]	2,95 [2,50; 3,72]	3,41 [2,50; 3,78]	0,747
Индекс массы миокарда ЛЖ, г/м ²	58,78 [37,86; 83,16]	58,70 [36,80; 82,99]	59,05 [43,18; 83,10]	0,535
Пиковый градиент давления на перешейке, мм рт. ст.	21 [18; 24]	24 [19; 27]	18 [17; 22]	0,001
Z-score проксимального сегмента дуги аорты	0,80 [0,13; 1,16]	0,82 [0,15; 1,2]	0,75 [0,1; 1,12]	0,165
Z-score дистального сегмента дуги аорты	0,64 [0,07; 1,45]	0,7 [0,1; 1,5]	0,61 [0; 1,37]	0,091
Z-score перешейка аорты	0,26 [0,00; 1,09]	0,1 [-0,2; 0,8]	0,43 [0,15; 1,3]	0,048

Примечание. БЦА – брахиоцефальная артерия; иКДО – индексированный конечный диастолический объем; иКДР – индексированный конечный диастолический размер; иКСР – индексированный конечный систолический размер; ЛЖ – левый желудочек; ПКА – подключичная артерия; ФВ – фракция выброса.

были значимо ниже в группе аортопластики с использованием нативных тканей, в то время как Z-score перешейка аорты был значимо ниже в группе аортопластики с использованием заплат.

На рис. 2 представлены две кривые Каплана – Мейера, соответствующие группам пациентов с аортопластикой с применением заплат и с аортопластикой нативными тканями. Вертикальная ось отражает долю пациентов без наступления события (артериальной гипертензии), горизонтальная – длительность периода наблюдения в днях. Значение логрангового критерия составляет $p < 0,001$, что свидетельствует о статистически значимых различиях между исследуемыми группами.

Регрессионный анализ Кокса для артериальной гипертензии представлен в табл. 6.

Единственным предиктором артериальной гипертензии был пиковый градиент давления на перешейке перед выпиской, который увеличивал риск в 4,7 раза при увеличении на 1 мм рт. ст.

На рис. 3 представлены две кривые Каплана – Мейера, соответствующие группам пациентов с применением заплат и аортопластики нативными тканями. Значение логрангового критерия составляет $p = 0,147$, что указывает на отсутствие статистически значимых различий между исследуемыми группами.

Регрессионный анализ Кокса для рекоарктации аорты представлен в табл. 7.

Как видно по данным табл. 7, значимым фактором риска наступления рекоарктации аорты были пиковый градиент давления перед выпиской (увеличивающий риск рекоарктации аорты в 3,44 раза). Иссечение

Табл. 6. Регрессионный анализ Кокса для артериальной гипертензии

Показатель	Однофакторный анализ			Многофакторный анализ		
	Коэффициент	ОР (95 % ДИ)	p	Коэффициент	ОР (95 % ДИ)	p
Возраст, дней	-0,49	0,61 [0,37; 1,02]	0,061	-	-	-
Материал заплаты (заплата из гомографта)	0,93	2,53 [1,30; 4,92]	0,006	0,68	1,98 [0,89; 4,41]	0,096
Пиковый градиент давления на перешейке после операции, мм рт. ст.	-0,56	0,57 [0,30; 1,07]	0,082	-	-	-
Пиковый градиент давления на перешейке перед выпиской, мм рт. ст.	1,54	4,68 [2,69; 8,14]	0,000	1,49	4,42 [2,50; 7,84]	0,000
иКДО ЛЖ до операции, мл/м ²	-0,37	0,69 [0,43; 1,10]	0,117	-	-	-
ФВ ЛЖ после операции, %	0,38	1,46 [0,88; 2,44]	0,148	-	-	-
Z-score митрального клапана до операции	-0,54	0,58 [0,37; 0,91]	0,017	-0,18	0,83 [0,49; 1,41]	0,498
Z-score аортального клапана до операции	-0,63	0,53 [0,31; 0,92]	0,025	-0,32	0,73 [0,41; 1,30]	0,284
Z-score дистального сегмента дуги аорты до операции, мм	-0,39	0,68 [0,42; 1,10]	0,119	-	-	-

Примечание. иКДО – индексированный конечный диастолический объем; ЛЖ – левый желудочек; ФВ – фракция выброса.

дуктальной ткани уменьшало в 3,7 раза риск наступления рекоарктации аорты.

На рис. 4 представлен анализ времени до развития рекоарктации аорты с использованием метода Каплана – Мейера в зависимости от величины пикового градиента давления на перешейке перед

выпиской. Выборка разделена на две группы согласно оптимальной точке отсечения показателя (≤ 14 мм рт. ст. и > 14 мм рт. ст.), определенной на основе статистического критерия.

При анализе Каплана – Мейера показано, что пациенты с пиковым градиентом давления $\leq 14,0$ мм

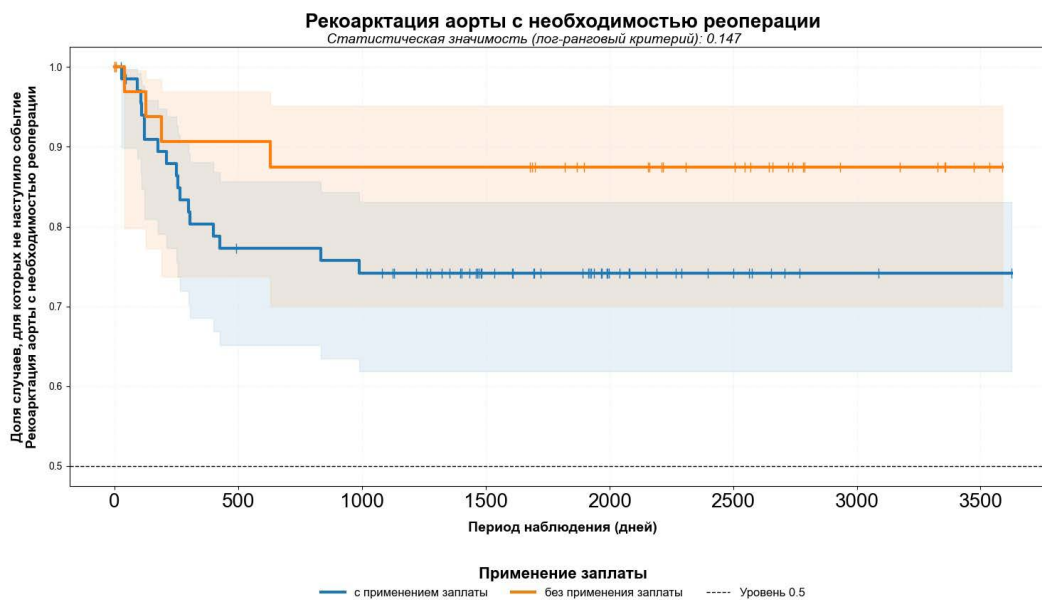


Рис. 3. Межгрупповой анализ Каплана – Мейера рекоарктации аорты с необходимостью выполнения повторной операции

Табл. 7. Регрессионный анализ Кокса для рекоарктации аорты

Показатель	Однофакторный анализ			Многофакторный анализ		
	Коэффициент	ОР (95 % ДИ)	p	Коэффициент	ОР (95 % ДИ)	p
Пиковый градиент давления на перешейке перед выпиской, мм рт. ст.	1,24	3,44 [1,84; 6,42]	0,000	1,13	3,11 [1,59; 6,08]	0,001
Иссечение дуктальной ткани	-1,32	0,27 [0,11; 0,65]	0,003	-0,80	0,45 [0,16; 0,75]	0,012
Z-score проксимального сегмента дуги аорты до операции, мм	-0,41	0,66 [0,47; 0,94]	0,021	-0,26	0,77 [0,52; 1,14]	0,193
Фракция выброса левого желудочка до операции, %	0,67	1,96 [1,00; 3,81]	0,048	0,73	2,08 [0,98; 4,41]	0,057
Z-score аортального клапана до операции	-0,50	0,60 [0,33; 1,12]	0,110	-	-	-
Индекс массы миокарда до операции, г/м ²	-0,61	0,55 [0,25; 1,18]	0,125	-	-	-

рт. ст. (синяя кривая) имеют достоверно более высокую долю случаев без наступления неблагоприятного события (рекоарктация аорты с необходимостью реоперации) в течение всего периода наблюдения по сравнению с пациентами, у которых пиковый градиент давления превышал 14,0 мм рт. ст. (оранжевая кривая).

Обсуждение

Проблема коарктации аорты у новорожденных сохраняет свою актуальность в детской кардио-

хирургии [9]. Несмотря на значительный прогресс в хирургическом лечении, данная патология продолжает оставаться причиной серьезных осложнений и высокой летальности в раннем детском возрасте [10]. «Золотым стандартом» лечения коарктации аорты у детей остается косой расширенный анастомоз, однако многие центры для эффективного расширения дуги аорты применяют аортопластику с помощью заплат [8–12].

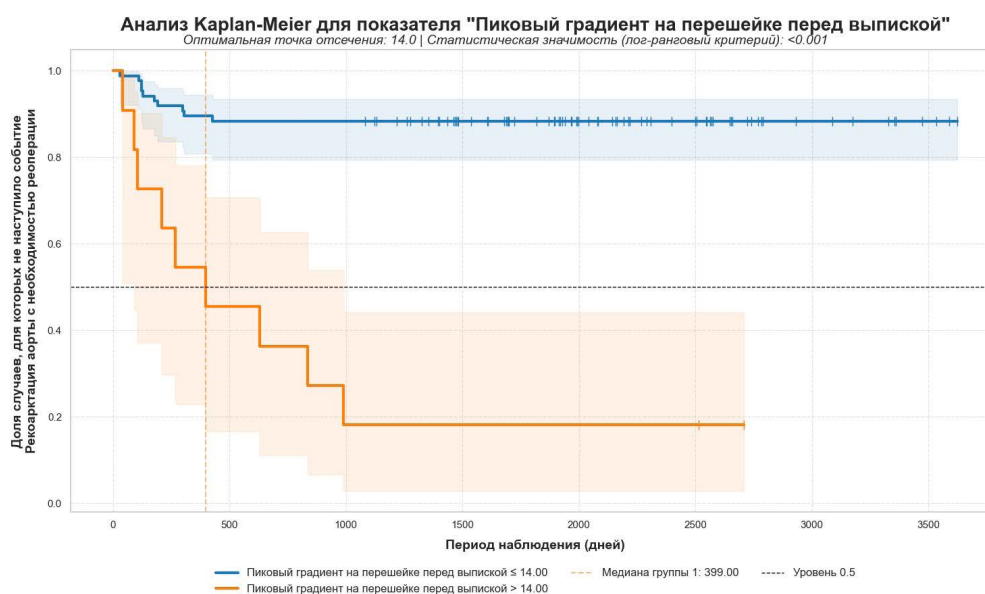


Рис. 4. Межгрупповой анализ Каплана – Мейера рекоарктации аорты с необходимостью повторной операции по критерию пикового градиента давления на перешейке перед выпиской

Вместе с тем в научном сообществе отсутствует единая точка зрения относительно выбора оптимальной хирургической методики для коррекции КА. Этим обусловлено проведение многочисленных исследований, направленных на сравнение исходов различных способов хирургической коррекции с целью определения наиболее эффективной стратегии лечения данного заболевания [12–24].

Ключевым показателем, отражающим эффективность хирургического лечения, служит пиковый градиент давления на перешейке аорты. Хирургическая коррекция приводит к его существенному снижению, что, в свою очередь, уменьшает артериальное давление в верхней половине тела и постнагрузку на левый желудочек [6]. В послеоперационном периоде сохранение остаточного градиента давления после пластики дуги аорты встречается не так редко, что может являться причиной тяжелых осложнений как в раннем послеоперационном периоде (например, острая сердечная недостаточность, острое повреждение почек, некротический энтероколит), так и в отдаленном (артериальная гипертензия, аневризмы аорты, ранняя стенокардия, цереброваскулярные аневризмы) [1; 6; 14]. В ряде исследований было показано, что устранение градиента давления на дуге аорты хирургическим путем, независимо от возраста пациентов, ассоциируется с благоприятными долгосрочными результатами, низкой частотой осложнений и отдаленной летальности [15–18]. В нашем исследовании было установлено, что снижение градиента давления сопровождалось значительным улучшением клинического состояния в раннем послеоперационном периоде. При этом сравнение двух хирургических методик не выявило существенных различий между ними. Аналогичные выводы были получены в других работах, где также не обнаружено статистически значимых различий между результатами хирургических методов коррекции коарктации аорты [12; 17]. Это позволяет предположить, что решающее влияние на снижение градиента давления оказывает сам факт успешного хирургического вмешательства, а не конкретная техническая модификация операции.

Госпитальная летальность после хирургической коррекции коарктации аорты встречается примерно в 10 % случаев [5]. По данным литературы, основными факторами риска летальных исходов в раннем послеоперационном периоде являются коморбидные состояния пациентов, маловесность и недоношенность пациентов, прогрессирующая сердечная недостаточность у детей, острое повреждение почек, различные инфекционные

заболевания (в том числе врожденная пневмония, энтероколит), тяжелая неврологическая симптоматика [5; 7; 25]. Кроме того, у новорожденных для поддержания функционирования открытого артериального протока в предоперационном периоде проводится непрерывная инфузия простагландинов E. Длительные инфузии простагландинов могут приводить к развитию энтероколита, который осложняется сепсисом [26; 27]. По данным исследования Соинова И.А. и соавт., при анализе применения метода хирургической коррекции «косой анастомоз» и пластики дуги аорты с использованием заплаты не было отмечено госпитальной летальности [5]. В нашем исследовании госпитальная летальность не имела достоверных различий между группами и имела равную частоту возникновения (8,6 % против 7,1 %, $p = 0,999$). Единственным фактором риска летального исхода, независимо от применяемой хирургической методики, являлась продолжительность искусственного кровообращения (95 % ДИ [1,374; 45,242], $p = 0,016$).

В раннем послеоперационном периоде после хирургической коррекции коарктации аорты в 0,7–2,2 % случаев встречается компрессия бронхов дугой аорты, которая приводит к развитию острой дыхательной недостаточности [22]. В исследовании Hui С. и соавт. формирование компрессии левого главного бронха встречается у 22 % пациентов при пластике дуги аорты косым расширенным анастомозом, а у 12 % – при использовании заплаты [22]. Результаты нашего исследования были сопоставимы, компрессия бронхов чаще встречается в группе с использованием метода пластики дуги аорты с косым расширенным анастомозом (35,5 % против 14,5 %, $p = 0,020$) в раннем послеоперационном периоде.

Формирование рекоарктации аорты в отдаленном послеоперационном периоде после первичной хирургической коррекции является значимым осложнением, частота которого в различных исследованиях достигает 44 % [23]. Гемодинамическим маркером, подтверждающим развитие значимой обструкции, является градиент давления между проксимальным и дистальным отделами дуги аорты, превышающий 20 мм рт. ст. [24]. В нашем исследовании единственным предиктором развития рекоарктации аорты в отдаленном послеоперационном периоде является пиковый градиент давления на перешейке более 14 мм рт. ст. (ОР = 3,75; $p < 0,001$). Полное удаление дуктальной ткани выступало значимым предиктором (ОР = 0,33; $p = 0,017$), снижающим риск рекоарктации за счет предотвращения фиброза ($p < 0,001$).

Полученные данные согласуются с результатами предыдущих исследований и подтверждают, что хирургическое лечение эффективно снижает пиковый градиент давления на перешейке аорты. Отсутствие статистически значимых различий между сравниваемыми группами подчеркивает необходимость дальнейших изысканий для выявления факторов, способных влиять на отдаленные исходы. Анализ результатов через 6 и 12 месяцев, а также при отсроченном наблюдении позволяет предположить, что различия в эффективности применяемых методик хирургической коррекции коарктации аорты у новорожденных могут проявиться в более длительном, например 5-летнем, периоде наблюдения.

Обобщая все полученные результаты, включая анализ влияния сторонних факторов, можно сделать вывод о том, что исходы операций, выполненных с использованием заплаты и без нее, статистически значимо не различались, в то время как критически важное значение имело полное удаление дуктальной ткани.

Таким образом, обе распространенные хирургические стратегии демонстрируют сопоставимую эффективность в лечении коарктации и гипоплазии дуги аорты у детей раннего возраста. Вне зависимости от стратегии хирургической коррекции основное внимание следует уделять индивидуальным анатомическим особенностям дуги аорты, состоянию пациента и сопутствующим врожденным порокам сердца. Однако у всех пациентов необходимо полностью резецировать всю дуктальную ткань для предотвращения развития рекоарктации аорты и резидуальной артериальной гипертензии.

Ограничения исследования

Наше исследование имеет ряд ограничений, которые необходимо учитывать при интерпретации полученных результатов. Во-первых, несмотря на проспективный рандомизированный дизайн, размер выборки был относительно небольшим (105 пациентов), что могло ограничить статистическую мощность анализа в отношении редких послеоперационных осложнений. Во-вторых, медиана периода наблюдения составила 34 месяца, что позволяет оценить ранние и среднесрочные, но не отдаленные результаты. Для окончательного суждения о рисках формирования аневризм в зоне реконструкции или развития резистентной артериальной гипертензии во взрослом возрасте требуется более длительный период мониторинга (10 и более лет). В-третьих, исследование проводилось на базе двух кардиохирургических центров. Хотя хирургические протоколы и критерии отбора были стандартизированы,

нельзя полностью исключить влияние индивидуального опыта хирургов и различий в тактике периоперационного ведения на исходы лечения. Наконец, критерии исключения (масса тела менее 1,5 кг, критическое предоперационное состояние, сепсис) ограничивают экстраполяцию полученных данных на когорту наиболее тяжелых пациентов и недоношенных детей с экстремально низкой массой тела.

Выводы

Единственным предиктором развития рекоарктации аорты в отдаленном послеоперационном периоде является пиковый градиент давления на перешейке более 14 мм рт. ст. ($OR = 3,75; p < 0,001$). Полное удаление дуктальной ткани выступало значимым предиктором ($OR = 0,33; p = 0,017$), снижающим риск рекоарктации за счет предотвращения фиброза ($p < 0,001$).

Госпитальная летальность не имела достоверных различий между группами и имеет равную частоту возникновения (8,6 % против 7,1 %; $p = 0,999$). Единственным фактором риска летального исхода, независимо от выполняемой хирургической методики, являлась продолжительность искусственного кровообращения (95 % ДИ [1,374; 45,242]; $p = 0,016$).

Компрессия бронхов чаще встречается в группе с использованием метода пластики дуги аорты с косым расширенным анастомозом (35,5 % против 14,5 %; $p = 0,020$) в раннем послеоперационном периоде.

Артериальная гипертензия относится к наиболее распространенному осложнению (23,7 %; $p = 0,001$). Ключевым фактором снижения риска развития артериальной гипертензии в отдаленном послеоперационном периоде является применяемая хирургическая тактика пластики дуги аорты. Предиктором развития артериальной гипертензии является отсутствие полного иссечения дуктальной ткани (63,3 % против 31,0 %; $OR = 3,838; p = 0,013$). Использование хирургической тактики с использованием заплаты снижает риск развития артериальной гипертензии ($OR = 0,385; p = 0,046$). Пластика дуги аорты без использования заплаты снижает частоту развития рекоарктации в отдаленном послеоперационном периоде в 2 раза по сравнению с группой с использованием заплаты (12,9 % против 25,4 %), однако данная разница не показала статистической значимости ($p = 0,266$).

Пропорциональность роста анастомоза не зависит от используемой хирургической техники пластики дуги аорты. Полное удаление дуктальной ткани способствует пропорциональному росту анастомоза, снижая риск рестеноза в раннем послеоперационном периоде.

Список литературы / References

- Kim Y.Y., Andrade L., Cook S.C. Aortic Coarctation. *Cardiol Clin.* 2020;38(3):337-351. PMID: 32622489. <https://doi.org/10.1016/j.ccl.2020.04.003>
- Румянцева А.А., Шушпанников П.А., Тарасов Р.С. Современные возможности стентирования коарктации аорты у взрослых: анализ клинических наблюдений. *Патология кровообращения и кардиохирургия.* 2025;29(3):58-68. <https://doi.org/10.21688/1681-3472-2025-3-58-68>
Rumiantseva A.A., Shushpannikov P.A., Tarasov R.S. Modern possibilities of stenting aortic coarctation in adults: analysis of clinical observations. *Patologiya krovoobrashcheniya i kardiokhirurgiya = Circulation Pathology and Cardiac Surgery.* 2025;29(3):58-68. (In Russ.) <https://doi.org/10.21688/1681-3472-2025-3-58-68>
- Рзаева К.А., Сойнов И.А., Горбатов А.В., Кулябин Ю.Ю., Войтов А.В., Иванцов С.М., Горбатов Ю.Н., Богачев-Прокофьев А.В. Критическая коарктация аорты. Возможности диагностики и методов хирургической коррекции коарктации аорты у новорожденных. *Патология кровообращения и кардиохирургия.* 2020;24(2):46-62. <http://dx.doi.org/10.21688/1681-3472-2020-2-46-62>
Rzaeva K.A., Soynov I.A., Gorbatykh A.V., Kulyabin Yu.Yu., Voitov A.V., Ivantsov S.M., Gorbatykh Yu.N., Bogachev-Prokofiev A.V. Critical coarctation of the aorta: diagnostic capabilities and methods of surgical treatment of aortic coarctation in newborns. *Patologiya krovoobrashcheniya i kardiokhirurgiya = Circulation Pathology and Cardiac Surgery.* 2020;24(2):46-62. (In Russ.) <http://dx.doi.org/10.21688/1681-3472-2020-2-46-62>
- Stephens E.H., Feins E.N., Karamlou T., Anderson B.R., Alsoufi B., Bleiweis M.S., d'Udekem Y., Nelson J.S., Ashfaq A., Marino B.S., St Louis J.D., Najm H.K., Turek J.W., Ahmad D., Dearani J.A., Jacobs J.P. The Society of Thoracic Surgeons Clinical Practice Guidelines on the Management of Neonates and Infants With Coarctation. *Ann Thorac Surg.* 2024;118(3):527-544. PMID: 38904587. <https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2024.04.012>
- Сойнов И.А., Горбатов Ю.Н., Рзаева К.А., Кулябин Ю.Ю., Ничай Н.Р., Войтов А.В., Велюханов И.А., Архипов А.Н., Богачев-Прокофьев А.В., Чернявский А.М. Анализ результатов коррекции коарктации с гипоплазией дуги аорты: «ascending sliding» против пластики дуги аорты заплатой из легочного гомографта. *Сибирский журнал клинической и экспериментальной медицины.* 2024;39(2):122-132. <https://doi.org/10.29001/2073-8552-2022-625>
Soynov I.A., Gorbatykh Yu.N., Rzaeva K.A., Kulyabin Yu.Y., Nichay N.R., Voitov A.V., Velyukhanov I.A., Arkhipov A.N., Bogachev-Prokofiev A.V., Chernyavsky A.M. Results of correction of coarctation with hypoplasia of the aortic arch: "ascending sliding" against plasty of the aortic arch with a patch from the pulmonary homograph. *Siberian Journal of Clinical and Experimental Medicine.* 2024;39(2):122-132. (In Russ.) <https://doi.org/10.29001/2073-8552-2022-625>
- Soynov I., Sinelnikov Y., Gorbatykh Y., Omelchenko A., Kornilov I., Nichay N., Bogachev-Prokofiev A., Karasov 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. PMID: 28977406. <https://doi.org/10.1093/ejcts/ezx249>
- Dias M.Q., Barros A., Leite-Moreira A., Miranda J.O. Risk Factors for Recoarctation and Mortality in Infants Submitted to Aortic Coarctation Repair: A Systematic Review. *Pediatr Cardiol.* 2020;41(3):561-575. PMID: 32107586. <https://doi.org/10.1007/s00246-020-02319-w>
- Сойнов И.А., Архипов А.Н., Кулябин Ю.Ю., Горбатов Ю.Н., Корнилов И.А., Омельченко А.Ю., Богачев-Прокофьев А.В. Артериальная гипертензия у детей после коррекции коарктации аорты: проблемы диагностики и лечения. *Патология кровообращения и кардиохирургия.* 2018;22(4):21-34. <http://dx.doi.org/10.21688/1681-3472-2018-4-21-34>
Soynov I.A., Arhipov A.N., Kulyabin Yu.Yu., Gorbatykh Yu.N., Kornilov I.A., Omelychenko A.Yu., Bogachev-Prokofyev A.V. Arterial hypertension in children after aortic coarctation repair: current challenges for diagnostics and treatment. *Patologiya krovoobrashcheniya i kardiokhirurgiya = Circulation Pathology and Cardiac Surgery.* 2018;22(4):21-34. (In Russ.) <http://dx.doi.org/10.21688/1681-3472-2018-4-21-34>
- Petersen M.D., Du W., Skeens M.E., Humes R.A. Regression equations for calculation of z scores of cardiac structures in a large cohort of healthy infants, children, and adolescents: an echocardiographic study. *J Am Soc Echocardiogr.* 2008;21(8):922-34. PMID: 18406572. <https://doi.org/10.1016/j.echo.2008.02.006>
- Сойнов И.А., Рзаева К.А., Горбатов Ю.Н., Кулябин Ю.Ю., Горбатов А.В., Велюханов И.А., Ничай Н.Р., Архипов А.Н. Пятнадцатилетний опыт лечения коарктации аорты. *Детские болезни сердца и сосудов.* 2023;20(2):126-140. <https://doi.org/10.24022/1810-0686-2023-20-2-126-140>
Soynov I.A., Rzaeva K.A., Gorbatykh Yu.N., Kulyabin Yu.Yu., Gorbatykh A.V., Velyukhanov I.A., Nichay N.R., Arkhipov A.N. Fifteen years of experience in the treatment of aortic coarctation. *Children's Heart and Vascular Diseases.* 2023;20(2):126-140. (In Russ.) <https://doi.org/10.24022/1810-0686-2023-20-2-126-140>
- Горбатов А.В., Сойнов И.А., Ничай Н.Р., Иванцов С.М., Войтов А.В., Кулябин Ю.Ю., Горбатов Ю.Н., Богачев-Прокофьев А.В. Факторы риска развития рекоарктации аорты у детей. *Педиатрия. Журнал им. Г.Н. Сперанского.* 2017;96(3):118-24. <https://doi.org/10.24110/0031-403X-2017-96-3-118-124>
Gorbatykh A.V., Soynov I.A., Nichay N.R., Ivantsov S.M., Voitov A.V., Kulyabin Y.Y., Gorbatykh Y.N., Bogachev-Prokofiev A.V. Risk factors for aortic recoarctation development in young children. *Pediatrics n.a. G.N. Speransky = Pediatrics.* 2017;96(3):118-24. (In Russ.) <https://doi.org/10.24110/0031-403X-2017-96-3-118-124>
- Seo D.M., Park J., Goo H.W., Kim Y.H., Ko J.K., Jhang W.K. Surgical modification for preventing a gothic arch after aortic arch repair without the use of foreign material. *Interact Cardiovasc Thorac Sur.* 2015;20(4):504-9. PMID: 25583648. <https://doi.org/10.1093/icvts/ivu442>
- Raza S., Aggarwal S., Jenkins P., Kharabish A., Anwer S., Cullington D., Jones J., Dua J., Papaioannou V., Ashrafi R., Moharem-Elgamal S. Coarctation of the Aorta: Diagnosis and Management. *Diagnostics (Basel).* 2023;13(13):2189. PMID: 37443581; PMCID: PMC10340190. <https://doi.org/10.3390/diagnostics13132189>
- Andresen J.H., Saugstad O.D. 50 Years Ago in The Journal of Pediatrics: Recoarctation of the Aorta. *J Pediatr.* 2022;244:91. PMID: 35534166. <https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2022.02.024>

15. Egunov O.A., Krivoshchekov E.V., Cetta F., Sokolov A.A., Sviazov E.A., Shipulin V.V. Surgery for aortic recoarctation in children less than 10 years old: A single-center experience in Siberia, Russia. *J Card Surg.* 2022;37(6):1627-1632. PMID: 35315136. <https://doi.org/10.1111/jocs.16435>
16. Теплов П.В., Миллер А.Ю., Гвоздь Е.М., Полякова Ю.Н., Сакович В.А., Соинов И.А. Отдаленные результаты хирургической коррекции коарктации аорты у новорожденных: пилотное проспективное двухцентровое исследование. *Сибирский журнал клинической и экспериментальной медицины.* 2025;40(1):95-102. <https://doi.org/10.29001/2073-8552-2025-40-1-95-102>
Teplov P.V., Miller A.Yu., Gvozd Ye.M., Polyakova Yu.N., Sakovich V.A., Soynov I.A. Long-term outcomes of surgical correction of aortic coarctation in newborns: a pilot prospective two-center study. *Siberian Journal of Clinical and Experimental Medicine.* 2025;40(1):95-102. (In Russ.) <https://doi.org/10.29001/2073-8552-2025-40-1-95-102>
17. Sames-Dolzer E., Gierlinger G., Kreuzer M., Mair R., Gitter R., Prandstetter C., Tulzer G., Mair R. Aortic arch reconstruction in the Norwood procedure using a curved polytetrafluoroethylene patch. *Eur J Cardiothorac Surg.* 2022;61(2):329-335. PMID: 34662383. <https://doi.org/10.1093/ejcts/ezab433>
18. Minotti C., Scioni M., Castaldi B., Guariento A., Biffanti R., Di Salvo G., Vida V., Padalino M.A. Effectiveness of Repair of Aortic Coarctation in Neonates: A Long-Term experience. *Pediatr Cardiol.* 2022;43(1):17-26. PMID: 34341850; PMCID: PMC8766375. <https://doi.org/10.1007/s00246-021-02685-z>
19. Schäfer M., Morgan G.J., Mitchell M.B., Ross M., Barker A.J., Hunter K.S., Fonseca B., DiMaria M., Vargas D., Ivy D.D., Wilson N., Browne L.P. Impact of different coarctation therapies on aortic stiffness: phase-contrast MRI study. *Int J Cardiovasc Imaging.* 2018;34(9):1459-1469. PMID: 29667078. <https://doi.org/10.1007/s10554-018-1357-6>
20. Lin H., Chang Y., Qian X., Yu C., Sun X. Outcomes of one-staged procedures to treat aortic coarctation complicated by cardiac anomalies. *BMC Cardiovasc Disord.* 2022;22(1):302. PMID: 35786318; PMCID: PMC9250724. <https://doi.org/10.1186/s12872-022-02739-x>
21. Choi K.H., Kim H., Sung S.C., Lee H.D., Ko H., Byun J.H., Kim T., Chung C. Outcomes of surgery for coarctation of the aorta based on a new classification system. *Cardiol Young.* 2023;33(12):2644-2648. PMID: 37127753. <https://doi.org/10.1017/S104795112300104X>
22. Le Picault B., Pavy C., Maminirina P., Benbrik N., Baron O. Medium-term follow-up of autologous pericardial patches for pediatric aortic arch reconstruction. *J Card Surg.* 2022;37(10):3232-3242. PMID: 35946386. <https://doi.org/10.1111/jocs.16827>
23. Hui C., Ren Q., Zhuang J., Chen J., Li X., Cui H., Cen J., Xu G., Wen S. Bronchus compression is a predictor for reobstruction in coarctation with hypoplastic arch repair. *Interdiscip Cardiovasc Thorac Surg.* 2023;37(5):ivad186. PMID: 37991842; PMCID: PMC10681811. <https://doi.org/10.1093/icvts/ivad186>
24. Амансахатова Е.Н., Магбулова С.А., Кулябин Ю.Ю., Соинов И.А. Диагностика и лечение коарктации аорты у взрослых и подростков: все ли вопросы решены? *Кардиология и сердечно-сосудистая хирургия.* 2025;18(4):384-391. <https://doi.org/10.17116/kardio202518041384>
Amansakhatova E.N., Magbulova S.A., Kulyabin Yu.Yu., Soynov I.A. Diagnosis and treatment of aortic coarctation in adults and adolescents: are all the issues resolved? *Russian Journal of Cardiology and Cardiovascular Surgery.* 2025;18(4):384-391. (In Russ.) <https://doi.org/10.17116/kardio202518041384>
25. Vasile C.M., Laforest G., Bulescu C., Jalal Z., Thambo J.B., Iriart X. From Crafoord's End-to-End Anastomosis Approach to Percutaneous Interventions: Coarctation of the Aorta Management Strategies and Reinterventions. *J Clin Med.* 2023;12(23):7350. PMID: 38068402; PMCID: PMC10707478. <https://doi.org/10.3390/jcm12237350>
26. Krylova A., Svobodov A., Tumanyan M., Levchenko E., Kotov S., Butrim Y., Shvartz V. Results of Aortic Coarctation Repair in Low- and Normal Birth-Weight Neonates: A Propensity Score-Matched Analysis. *Life (Basel).* 2023;13(12):2282. PMID: 38137882; PMCID: PMC10744862. <https://doi.org/10.3390/life13122282>
27. Ofek Shlomai N., Lazarovitz G., Koplewitz B., Eventov Friedman S. Cumulative Dose of Prostaglandin E1 Determines Gastrointestinal Adverse Effects in Term and Near-Term Neonates Awaiting Cardiac Surgery: A Retrospective Cohort Study. *Children (Basel).* 2023;10(9):1572. PMID: 37761532; PMCID: PMC10528554. <https://doi.org/10.3390/children10091572>