

Непосредственные результаты хирургического лечения сосудистых колец у младенцев и детей раннего возраста: ретроспективное когортное исследование

А.В. Бедин¹, Ю.Н. Шамрин¹, М.А. Абрамян^{1,2}, Е.С. Корочкина¹, К.А. Хасанова^{1,3}, М.М. Курако¹, А.Ю. Гоцкина¹, В.П. Мирошниченко^{1,2}, Д.Ю. Овсянников²

Для корреспонденции: Алексей Владимирович Бедин, alekseybedin@gmail.com

Поступила в редакцию 17 февраля 2026 г.
Исправлена 20 мая 2026 г. Принята к печати 23 июня 2026 г.

Цитировать: Бедин А.В., Шамрин Ю.Н., Абрамян М.А., Корочкина Е.С., Хасанова К.А., Курако М.М., Гоцкина А.Ю., Мирошниченко В.П., Овсянников Д.Ю. Непосредственные результаты хирургического лечения сосудистых колец у младенцев и детей раннего возраста: ретроспективное когортное исследование. *Патология кровообращения и кардиохирургия*. 2026;30(3):36-48.
<https://doi.org/10.21688/1681-3472-2026-3-36-48>

Информированное согласие

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

Финансирование

Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Этические утверждения

Данное ретроспективное исследование одобрено локальным этическим комитетом ГБУЗ «Морозовская ДГКБ ДЗМ» (протокол № 7 от 10.12.2025). Исследование проводилось в соответствии с этическими принципами Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации (обновления от октября 2024 г.). Согласие пациентов было получено по телефону. Данные пациентов были анонимизированы перед анализом.

Вклад авторов

Концепция и дизайн работы: А.В. Бедин
Сбор и анализ данных: А.В. Бедин, Ю.Н. Шамрин
Статистическая обработка данных: А.В. Бедин
Написание статьи: А.В. Бедин, Ю.Н. Шамрин, А.Ю. Гоцкина, Е.С. Корочкина
Исправление статьи: М.М. Курако, М.А. Абрамян, К.А. Хасанова
Утверждение окончательного варианта статьи: все авторы

ORCID

А.В. Бедин,
<https://orcid.org/0000-0001-8489-6438>
Ю.Н. Шамрин,
<https://orcid.org/0000-0002-2260-9533>
М.А. Абрамян,
<https://orcid.org/0000-0003-4018-6287>
Е.С. Корочкина,
<https://orcid.org/0000-0003-3537-6262>

¹ Государственное бюджетное учреждение здравоохранения города Москвы «Морозовская детская городская клиническая больница Департамента здравоохранения города Москвы», Москва, Российская Федерация

² Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы», Москва, Российская Федерация

³ Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова Министерства здравоохранения Российской Федерации (Сеченовский Университет), Москва, Российская Федерация

Аннотация

Актуальность. Сосудистая компрессия трахеобронхиального дерева (ТБД) и пищевода возникает при врожденных аномалиях развития дуги аорты, ее ветвей и легочных артерий. Несмотря на то, что симптомы наблюдаются у подавляющего большинства пациентов с этой патологией, диагноз сосудистой компрессии зачастую не подтверждается своевременно. Клиническая картина патологии обусловлена сдавлением трахеи и/или пищевода, и, таким образом, ведущими симптомами будут диспноэ (стридорозное дыхание, кашель, одышка) и/или дисфагия (поперхивание, затруднение глотания, срыгивание). Актуальными остаются подходы к диагностике порока и способам хирургического лечения. Вопросы сроков и показаний к хирургической коррекции данной патологии остаются дискуссионными, а результаты представлены единичными публикациями.

Цель. Оценить эффект хирургического лечения сосудистых колец на регресс симптоматики в раннем послеоперационном периоде у младенцев и детей раннего возраста. Определить показания к проведению хирургического лечения сосудистых колец. Представить частоту применения аортопексии для профилактики резидуальных симптомов в зависимости от типа сосудистых колец. Оценить частоту развития хилоторакса и зависимость от анатомического типа сосудистых колец.

Методы. Выполнено ретроспективное когортное нерандомизированное исследование, основанное на анализе 58 историй болезни пациентов детского возраста, оперированных по поводу врожденного порока сердца, представленного изолированным сосудистым кольцом с компрессией ТБД и пищевода, в одном центре за период с января 2018 г. по июль 2024 г. В зависимости от анатомического типа порока пациенты были разделены на четыре группы: двойная дуга аорты ($n = 16$; 27,6 %), правая дуга аорты с левой артериальной связкой ($n = 34$; 58,6%), левая дуга аорты с правой артериальной связкой ($n = 4$; 6,9 %) и слинг легочной артерии ($n = 4$; 6,9 %). Всем пациентам выполнялась мультиспиральная компьютерная томография с контрастным усилением для верификации диагноза и планирования операции. Оценивались непосредственная эффективность операции в отношении устранения симптоматики, технические аспекты хирургической коррекции, длительность послеоперационного периода и анализ осложнений коррекции.

Результаты. Медиана возраста на момент операции составила 7 месяцев (Q1–Q3: 4–25 месяцев). Симптомы (диспноэ и/или дисфагия) наблюдались у 84,5 % пациентов до операции. Статистически значимых различий по антропометрическим данным, возрасту и наличию симптомов между группами не выявлено ($p > 0,05$). Полный регресс симптоматики к моменту выписки достигнут у 83,7 % симптомных пациентов. Выявлены статистические различия в продолжительности госпитализации между исследуемыми группами ($p = 0,028$) с наибольшей медианой в группе слинга легочной артерии ($Me = 18$ койко-дней), что связано с необходимостью применения искусственного кровообращения во время операции и более тяжелым исходным статусом. Наиболее частым осложнением явился хилоторакс, развившийся у 13 (22,4 %) па-

К.А. Хасанова,
<https://orcid.org/0000-0001-6926-3165>
М.М. Курако,
<https://orcid.org/0000-0002-1100-1506>
А.Ю. Гоцкина,
<https://orcid.org/0009-0004-8635-3663>
В.П. Мирошниченко,
<https://orcid.org/0000-0003-4140-8777>
Д.Ю. Овсянников,
<https://orcid.org/0000-0002-4961-384X>

© Бедин А.В., Шамрин Ю.Н., Абрамян М.А.,
Корошкина Е.С., Хасанова К.А., Курако М.М.,
Гоцкина А.Ю., Мирошниченко В.П.,
Овсянников Д.Ю., 2026



циентов и чаще регистрировавшийся при двойной дуге аорты (43,8 %). Аортопексия чаще выполнялась при правой дуге аорты с левой артериальной связкой (70,6 %; $p = 0,001$). Летальных исходов не было.

Заключение. Хирургическая коррекция сосудистых колец у младенцев и детей раннего возраста продемонстрировала в раннем послеоперационном периоде высокую эффективность (полное устранение симптомов у 83,7 % пациентов) и отсутствие летальности, что подтверждает безопасность вмешательства при условии мультидисциплинарного подхода и ранней диагностики. По нашему мнению, при сосудистом кольце, представленном правой дугой аорты с левой артериальной связкой, аортопексия в дополнение к пересечению связки артериального протока способствует визуальному устранению резидуальной компрессии пищевода. Отдаленный клинический эффект этого метода требует дальнейшей оценки. Основной клинической проблемой остается значительная частота послеоперационного хилоторакса (22,4%), определяющая необходимость дальнейшего совершенствования хирургической техники и протоколов ведения и определения причин его развития.

Ключевые слова: дивертикул Коммереля; дыхательные расстройства; компрессия пищевода; компрессия трахеи; сосудистое кольцо; трахеобронхомаляция; хирургическое лечение сосудистых колец

Early outcomes of surgical repair of vascular rings in infants and young children: a retrospective cohort study

Aleksey V. Bedin¹, Yuriy N. Shamrin¹, Mikhail A. Abramyan^{1,2}, Evgenia S. Korochkina¹, Ksenia A. Khasanova^{1,3}, Maria M. Kurako¹, Anastasiya Yu. Gotskina¹, Vladimir P. Miroshnichenko^{1,2}, Dmitriy Yu. Ovsyannikov²

Corresponding author: Aleksey V. Bedin,
alekseybedin@gmail.com

Received 17 February 2026. Revised 20 May 2026.
Accepted 23 June 2026.

How to cite: Bedin A.V., Shamrin Yu.N., Abramyan M.A., Korochkina E.S., Khasanova K.A., Kurako M.M., Gotskina A.Yu., Miroshnichenko V.P., Ovsyannikov D.Yu. Early outcomes of surgical repair of vascular rings in infants and young children: a retrospective cohort study. *Patologiya krovoobrashcheniya i kardiokhirurgiya = Circulation Pathology and Cardiac Surgery*. 2026;30(3):36-48. (In Russ.)
<https://doi.org/10.21688/1681-3472-2026-3-36-48>

Informed consent

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

Funding

The study did not have sponsorship.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Ethics approval

This retrospective study was approved by the local ethics committee of Morozov Children's City Clinical Hospital (Protocol No. 7 dated December 10, 2025). The study was conducted in accordance with the ethical principles of the World Medical Association Declaration of Helsinki, as amended in October 2024. Consent was obtained from the patients' legal representatives by telephone. Patient data were anonymized before analysis.

Contribution of the authors

Concept and study design: A.V. Bedin

¹ Morozov Children's City Clinical Hospital, Moscow, Russian Federation

² Patrice Lumumba Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russian Federation

³ Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Moscow, Russian Federation

Abstract

Introduction: Vascular compression of the tracheobronchial tree (TBT) and esophagus occurs in congenital anomalies of the aortic arch, its branches, and the pulmonary arteries. Although the vast majority of patients with this condition are symptomatic, vascular compression is often not diagnosed promptly. The clinical presentation results from compression of the trachea and/or esophagus; therefore, the predominant manifestations are dyspnea (stridor, cough, and shortness of breath) and/or dysphagia (choking, difficulty swallowing, and regurgitation). Diagnostic approaches and methods of surgical treatment remain clinically relevant. The timing of and indications for surgical correction remain controversial, and outcome data are limited to a small number of publications.

Objective: To evaluate the effect of surgical treatment of vascular rings on symptom resolution during the early postoperative period in infants and young children; to define indications for surgical treatment; to report the frequency of aortopexy used to prevent residual symptoms according to vascular ring anatomy; and to assess the incidence of chylothorax and its association with the anatomical type of vascular ring.

Methods: This retrospective, nonrandomized cohort study included 58 pediatric patients who underwent surgery for an isolated congenital vascular ring causing compression of the TBT and esophagus at a single center between January 2018 and July 2024. Patients were divided into four groups according to vascular ring anatomy: double aortic arch ($n = 16$; 27.6%), right aortic arch with a left ligamentum arteriosum ($n = 34$; 58.6%), left aortic arch with a right ligamentum arteriosum ($n = 4$; 6.9%), and pulmonary artery sling ($n = 4$; 6.9%). All patients underwent contrast-enhanced multidetector computed tomography for diagnostic confirmation and surgical planning. Early symptom resolution, technical aspects of surgical correction, postoperative length of stay, and postoperative complications were assessed.

Results: The median age at surgery was 7 months (Q1–Q3, 4–25 months). Preoperative symptoms (dyspnea and/or dysphagia) were present in 84.5% of patients. There were no statistically significant between-group differences in anthropometric characteristics,

Data collection and analysis: A.V. Bedin, Yu.N. Shamrin

Statistical analysis: A.V. Bedin

Drafting the article: A.V. Bedin, Yu.N. Shamrin,

A.Yu. Gotskina, E.S. Korochkina

Critical revision of the article: M.M. Kurako,

M.A. Abramyan, K.A. Khasanova

Final approval of the version to be published:
all authors

ORCID

A.V. Bedin, <https://orcid.org/0000-0001-8489-6438>

Yu.N. Shamrin, <https://orcid.org/0000-0002-2260-9533>

M.A. Abramyan, <https://orcid.org/0000-0003-4018-6287>

E.S. Korochkina, <https://orcid.org/0000-0003-3537-6262>

K.A. Khasanova, <https://orcid.org/0000-0001-6926-3165>

M.M. Kurako, <https://orcid.org/0000-0002-1100-1506>

A.Yu. Gotskina, <https://orcid.org/0009-0004-8635-3663>

V.P. Miroshnichenko,

<https://orcid.org/0000-0003-4140-8777>

D.Yu. Ovsyannikov, <https://orcid.org/0000-0002-4961-384X>

© 2026 Bedin et al.



Введение

Сосудистая компрессия трахеобронхиального дерева (ТБД) и пищевода возникает при врожденных аномалиях развития дуги аорты, ее ветвей и легочных артерий. Встречается эта патология достаточно редко – 0,5–1,0 % от числа всех врожденных пороков сердечно-сосудистой системы [1; 2]. Первое описание данной сосудистой патологии представил Hommel в 1737 г., а термин «сосудистое кольцо» был впервые введен R. Gross в 1945 г. при хирургической коррекции двойной дуги аорты [3]. По анатомическому типу сосудистые кольца подразделяют на полные и неполные. Полные кольца образованы двойной дугой аорты; правосторонней дугой аорты с левосторонним открытым артериальным протоком (ОАП) или артериальной связкой; правосторонней дугой аорты с aberrантной правой подключичной артерией и левосторонним ОАП. Неполные сосудистые кольца (сосудистые петли) формируются aberrантно отходящей правой подключичной артерией (*a. lusoria*) либо левой легочной артерией, аномально отходящей от правой легочной артерии (слинг легочной артерии) [4; 5].

Клиническая картина патологии обусловлена сдавлением трахеи и/или пищевода, вследствие чего ведущими симптомами становятся диспноэ (стридорозное дыхание, кашель, одышка) и/или дисфагия (поперхивание, затруднение глотания, срыгивание). Указанные симптомы абсолютно неспеци-

фичны, поэтому всегда требуется дифференциальная диагностика с заболеваниями органов верхних дыхательных путей, бронхолегочной патологией и патологией желудочно-кишечного тракта [6; 7]. Кроме клинических проявлений порока, существует высокий риск развития трахеобронхомалации, которая может протекать бессимптомно [8]. Важно отметить, что отсутствие симптомов не исключает значительной компрессии трахеи. Анатомическое воздействие сосудистого кольца недооценивается, если при принятии решений ориентируются только на симптомы компрессии трахеи. Такие рутинные методы исследования, как рентгенография органов грудной клетки, эхокардиография (ЭХОКГ), не всегда позволяют выявить данную патологию, однако ЭХОКГ является высокоспецифичным методом при пренатальной диагностике. Гастроскопия, бронхоскопия, рентгеноскопия пищевода с пассажем контрастного вещества помогают установить патологию без верификации ее причины. Наиболее точным диагностическим методом является мультиспиральная компьютерная томография (МСКТ) с контрастным усилением, которая дает возможность достоверно определить анатомический тип порока, зону и степень компрессии ТБД [9].

Conclusion: Surgical correction of vascular rings in infants and young children was highly effective in the early postoperative period, with complete symptom resolution in 83.7% of symptomatic patients and no mortality. These findings support the safety of surgery when combined with early diagnosis and a multidisciplinary approach. In our opinion, for a vascular ring formed by a right aortic arch and left ligamentum arteriosum, adding aortopexy to division of the ligamentum arteriosum may visibly eliminate residual esophageal compression. The long-term clinical benefit of this approach requires further evaluation. The principal clinical concern is the substantial incidence of postoperative chylothorax (22.4%), underscoring the need to improve surgical techniques and management protocols and to identify the underlying causes.

Keywords: aortopexy; chylothorax; esophageal compression; Kommerell diverticulum; respiratory disorders; surgical treatment; tracheal compression; tracheobronchomalacia; vascular ring

При своевременно выполненном оперативном лечении у большинства пациентов происходит полный регресс клинической симптоматики и улучшение качества жизни [10; 11].

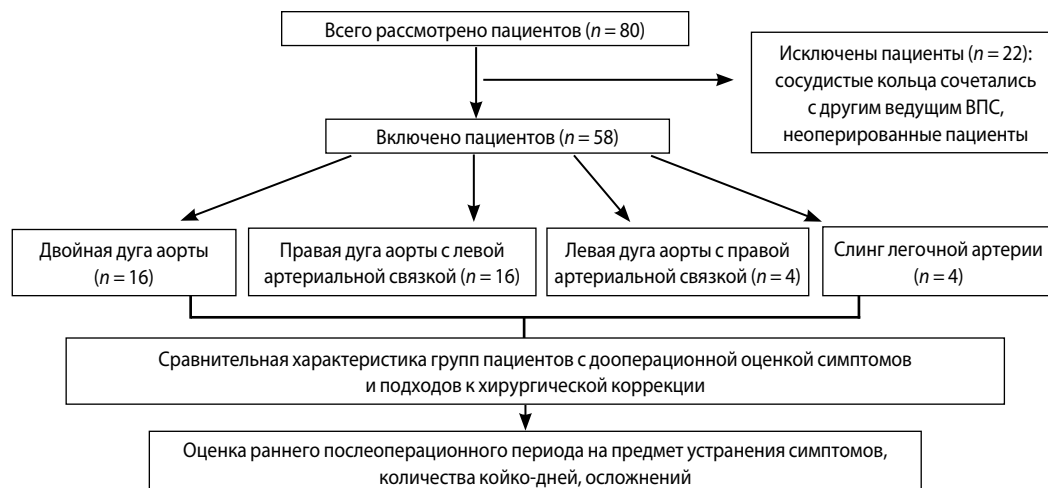


Рис. 1. Дизайн исследования

Примечание. ВПС – врожденный порок сердца.

В отечественной литературе научных исследований, посвященных порокам, представленным сосудистой патологией, приводящей к компрессии ТБД и пищевода, крайне мало. Имеющиеся публикации в основном ограничиваются описанием малых выборок, клиническими случаями или опытом торакальных хирургов. В представленной работе обобщен опыт одной клиники по комплексному подходу к диагностике, хирургическому лечению и послеоперационному ведению пациентов с редкой патологией, которой ранее не уделялось должного внимания.

Цели исследования: оценить эффект хирургического лечения сосудистых колец на регресс симптоматики в раннем послеоперационном периоде у младенцев и детей раннего возраста; определить показания к проведению хирургического лечения сосудистых колец; оценить частоту применения аортопексии для профилактики резидуальных симптомов в зависимости от типа сосудистых колец; оценить частоту развития хилоторакса и его зависимость от анатомического типа сосудистых колец.

Методы

Тип исследования

Было выполнено ретроспективное когортное нерандомизированное исследование. Всего исследовано 80 медицинских карт пациентов с сосудистой патологией, приводящей к компрессии трахеи и пищевода.

Критерии включения

В исследование включено 58 последовательно оперированных в одном стационаре в период с января 2018 г. по июль 2024 г. пациентов детского возраста, которым выполнена коррекция четырех анатомических типов сосудистых колец: двойная дуга аорты, правая дуга аорты с левой артериальной связкой (далее – правая дуга аорты с левой связкой), левая дуга аорты с правой артериальной связкой (далее – левая дуга с правой связкой), слинг легочной артерии.

Критерии исключения

Пациенты с выявленным сосудистым кольцом, не оперированные. Сочетание сосудистых колец с другими врожденными пороками сердца, требующими коррекции; аномалии расположения/отхождения брахиоцефальных сосудов, приводящие к компрессии ТБД и пищевода (*a. lusoria*); изолированный кроссинг ветвей легочной артерии, приводящий к компрессии трахеи (рис. 1).

Гипотеза исследования

Хирургическая коррекция врожденной патологии магистральных сосудов, обуславливающей создание сосудистого кольца с компрессией расположенных в нем внутригрудных структур (ТБД и пищевода), позволяет полностью устранить симптомы со стороны дыхательной и пищеварительной систем. У бессимптомных пациентов с подтвержденной по данным МСКТ-ангиографии компрессией хирургическое лечение дает возможность предотвратить развитие трахеобронхомаляции.

Конечными точками исследования, определенными до анализа данных, являются количество пациентов, у которых устранены симптомы со стороны дыхательной и пищеварительной систем; число ранних операционных осложнений и их влияние на длительность госпитализации.

Алгоритм диагностики порока включал сбор анамнеза и жалоб у родителей пациентов для выявления частоты и выраженности респираторных расстройств (диспноэ) – стридорозного дыхания, кашля, наличия в анамнезе острых респираторных вирусных инфекций, бронхитов или пневмоний, а также нарушений глотания (дисфагии). На основании этих данных пациентов распределяли на симптомных и бессимптомных. Первым методом диагностики служила ЭХОКГ, по данным которой определяли доминантную дугу аорты и порядок отхождения плечеголовных сосудов. При выявлении эхокардиографических признаков, позволяющих заподозрить наличие сосудистого кольца, всем пациентам выполняли МСКТ с 3D-реконструкцией для оценки пространственного взаиморасположения сосудов и органов грудной клетки (трахея, бронхи, зона прохождения пищевода). К симптомным относили пациентов, у которых в разделах истории болезни «Жалобы» и «Анамнез заболевания» были зафиксированы характерные для дыхательных расстройств проявления (кашель, поперхивание, стридорозное дыхание) и/или симптомы со стороны пищеварительной системы (нарушение глотания грубой пищи, срыгивания). При инструментальном подтверждении сосудистого кольца и после исключения профильными специалистами первичной патологии указанных систем данные симптомы расценивались как показания к хирургическому вмешательству. У бессимптомных пациентов основанием для операции служило наличие сосудистого кольца в сочетании с визуализированной девиацией трахеи (искривлением хода) или стенозом трахеи и/или главного бронха (сужение просвета на 20 % и более). У симптомных больных подобные анатомические изменения также рассматривались как дополнительное показание к уже имеющимся клиническим проявлениям. У 8 (14 %) пациентов по данным МСКТ визуального сужения трахеи или бронха не отмечалось, однако имелась выраженная симптоматика в виде дисфагии. Им была выполнена рентгеноскопия пищевода в двух проекциях с пассажем водорастворимого йодсодержащего контрастного препарата. При выявлении выраженного (более 50 %) сужения пищевода выставлялись показания к операции.

Техники выполнения хирургической коррекции при различных типах анатомии

Слинг легочной артерии. В случае сосудистого кольца, представленного slingом легочной артерии, коррекция выполнялась по стандартной методике из срединного доступа в условиях нормотермического искусственного кровообращения [12]. Выделялся и пересекался открытый артериальный проток; аномально расположенная левая легочная артерия мобилизовалась на всем протяжении, пересекалась, выводилась из-под трахеи и имплантировалась в ортотопическую позицию ствола легочной артерии.

Двойная дуга аорты. При двойной дуге аорты доступ выполнялся посредством торакотомии по третьему – четвертому межреберью: в случае доминантной правой дуги – левосторонней, а в случае доминантной левой дуги – правосторонней торакотомии. Выделялась рудиментарная дуга, пережималась в зоне, свободной от отхождения брахиоцефальных сосудов, пересекалась, и обе культы прошивались двурядным швом полипропиленовой нитью. Тем самым кольцо разобщалось с освобождением ТБД и пищевода. При коррекции двойной дуги аорты, как правило, проведения аортопексии не требовалось ввиду отсутствия дивертикула Коммереля.

Правая дуга аорты с левосторонней артериальной связкой и левая дуга аорты с правосторонней артериальной связкой. При коррекции данного типа сосудистых колец в доступной зоне выделялись нисходящая аорта, связка артериального протока с дивертикулом Коммереля и отходящей от него левой подключичной артерией. Артериальная связка пересекалась и прошивалась с двух сторон. При значимых размерах дивертикула, который вызывал компрессию пищевода, а также представлял риск аневризматического расширения в будущем, он резецировался и прошивался максимально близко к нисходящей аорте с последующей реимплантацией левой подключичной артерии в левую общую сонную артерию.

В 50 % случаев ($n = 29$) коррекция дополнялась задней аортопексией к основанию внутренней поверхности III ребра монофиламентными нитями П-образными швами на прокладках из политетрафторэтилена. Аортопексия выполнялась при визуальном контроле, при котором определялось резидуальное сдавление пищевода дивертикулом Коммереля, либо при размерах дивертикула, более чем в 1,5 раза превышающих диаметр нисходящей аорты, исходно определенных по данным компьютерной томографии. При левой дуге аорты с правой арте-

Табл. 1. Анализ пациентов по типу сосудистых колец

Группа	n	%	95 % ДИ
1. Двойная дуга аорты	16	27,6	16,7–40,9
2. Правая дуга аорты с левой артериальной связкой	34	58,6	44,9–71,4
3. Левая дуга аорты с правой артериальной связкой	4	6,9	1,9–16,7
4. Слинг легочной артерии	4	6,9	1,9–16,7

риальной связкой использовалась правосторонняя торакотомия, в одном случае – стернотомия.

У пациентов с верифицированными до операции стенозами терминального отдела трахеи и/или бронхов операция выполнялась при интраоперационном сопровождении бронхоскопией ($n = 46$; 79,3 %).

Статистический анализ

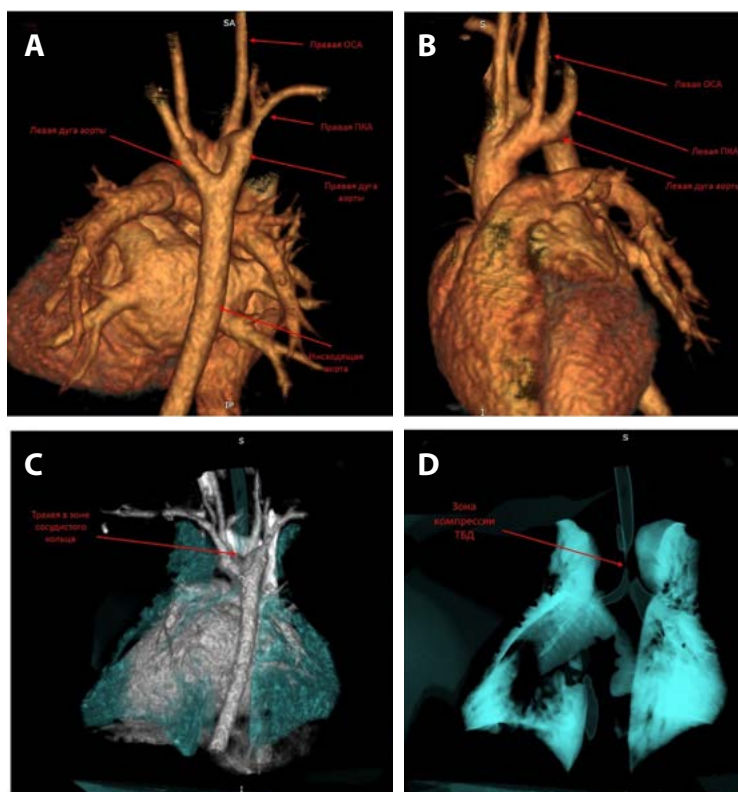
Статистический анализ проводился с использованием программы StatTech v. 4.6.1 (разработчик – ООО «Статтех», Россия). Количественные показатели оценивались на предмет соответствия нормальному распределению с помощью критерия Шапиро – Уилка. В случае отсутствия нормального распределения количественные данные описывались с помощью медианы (Me) и нижнего и верхнего квартилей (Q_1 – Q_3).

Сравнение четырех групп по количественному показателю, распределение которого отличалось от нормального, выполнялось с помощью критерия Краскела – Уоллиса, апостериорные сравнения – с помощью критерия Данна с поправкой Холма. Сравнение процентных долей при анализе четырехпольных таблиц сопряженности выполнялось с помощью точного критерия Фишера (при значениях ожидаемого явления менее 10). Различия считались статистически значимыми при $p < 0,05$. С учетом малого количества пациентов в 3-й и 4-й подгруппах следует признать малую статистическую мощность в межгрупповом сравнительном анализе данных. Расчет выборки не проводился, так как исследование ретроспективное, включающее последовательно оперированных пациентов за указанный период времени.

Рис. 2. 3D-реконструкция двойной дуги аорты (стрелками обозначены анатомические ориентиры):

A – фронтальная позиция, вид сзади (обозначены правая и левая дуги аорты, нисходящая аорта, правая ОСА и правая ПКА);
B – фронтальная позиция, вид спереди (обозначены левая дуга аорты, левая ПКА и левая ОСА);
C – фронтальная позиция, вид сзади, с визуализацией сосудов и фрагментов легочной паренхимы (стрелкой указана трахея в зоне сосудистого кольца);
D – фронтальная позиция, вид сзади, с визуализацией трахеобронхиального дерева и легочной паренхимы (стрелкой обозначена зона воздействия сосудистого кольца на трахею)

Примечание. ОСА – общая сонная артерия;
ПКА – подключичная артерия;
ТБД – трахеобронхиальное дерево.



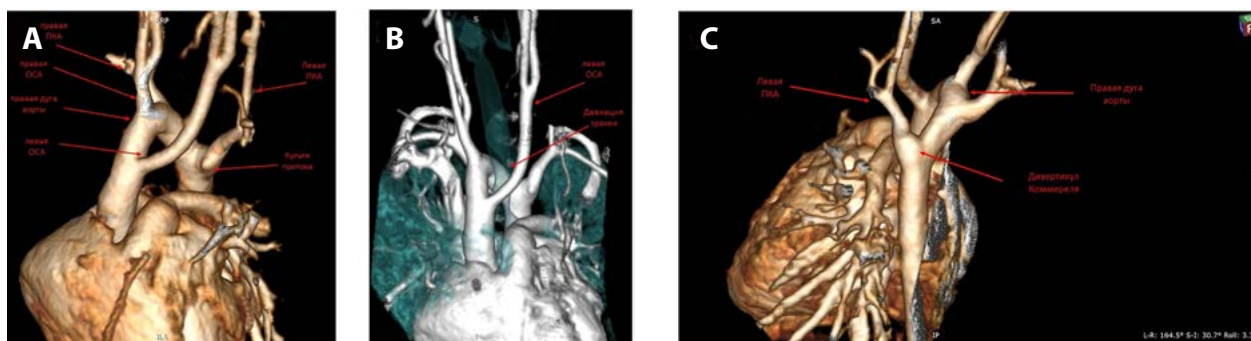


Рис. 3. 3D-реконструкция сосудистого кольца, представленного правой дугой аорты и связкой артериального протока (стрелками обозначены анатомические ориентиры): А – фронтальная позиция, вид спереди (обозначены правая дуга, правые ОСА и ПКА, левые ОСА и ПКА, культя артериального протока); В – фронтальная позиция, вид спереди, с визуализацией сосудов и фрагментов легочной паренхимы (обозначены девиация трахеи и левая ОСА); С – фронтальная позиция, вид сзади (обозначены правая дуга аорты, левая ПКА, дивертикул Коммереля)

Примечание. ОСА – общая сонная артерия; ПКА – подключичная артерия.

Результаты

У всех 58 пациентов окончательный клинический диагноз выставлялся по результатам МСКТ. В зависимости от типа анатомии порока пациенты были разделены на четыре группы. Распределение пациентов на группы по типу сосудистых колец представлено в табл. 1. Большинство пациентов (58,6 %) имели анатомию сосудистого кольца, представленную правой дугой аорты с левой связкой артериального протока (или ОАП) (см. табл. 1).

На рис. 2–4 представлены снимки 3D-реконструкции вариантов сосудистых колец по данным МСКТ в

виде изолированной анатомии сосудистого кольца и с зоной воздействия на ТБД и пищевод. Все изображения реконструированы из исходных DICOM-файлов пациентов в программе Radiant DICOM Viewer 2025.1 (Польша).

Проведен сравнительный анализ полученных групп по антропометрическим данным и возрасту (табл. 2).

Медиана возраста составила 7 месяцев (Q_1 – Q_3 : 4–25). Среди пациентов было 37 (63,8 %) мальчиков и 21 (36,2 %) девочка.

Группы были сопоставимы по росту-массовым показателям и не имели статистически значимых

Рис. 4. Слинг левой легочной артерии:

А – 3D-реконструкция сердца и магистральных сосудов, фронтальная позиция, вид сзади (стрелкой указаны зона отхождения aberrантной левой ЛА и зонд в пищеводе);

В – аксиальная проекция (стрелками указана зона компрессии пищевода и трахеи левой легочной артерией);

С – фронтальная позиция, вид спереди, с визуализацией сосудов и фрагментов легочной паренхимы (стрелками указаны трахея, пищевод с установленным зондом, aberrантная левая ЛА);

Д – фронтальная позиция, вид сзади, с визуализацией трахеобронхиального дерева и легочной паренхимы (стрелкой указана зона компрессии)

Примечание. ЛА – легочная артерия; ТБД – трахеобронхиальное дерево.

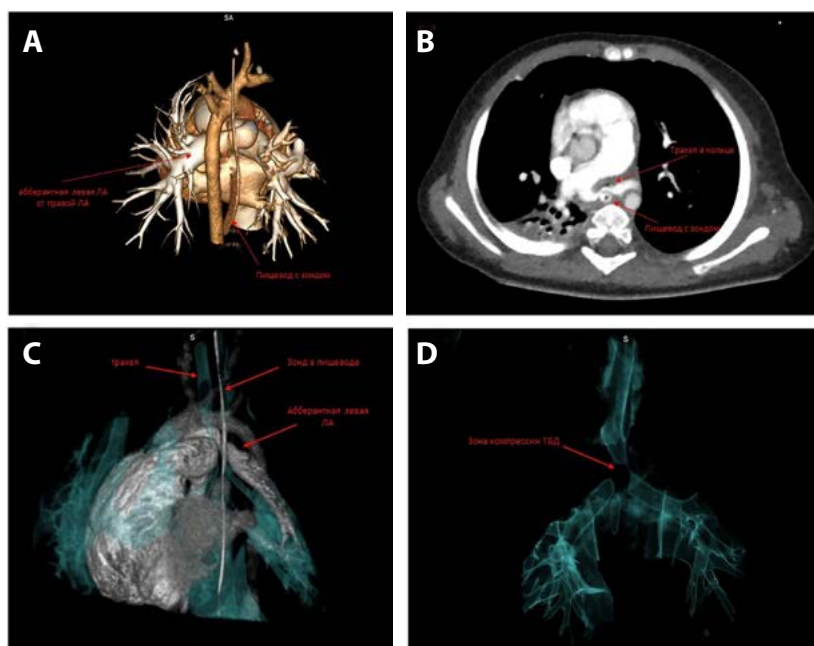


Табл. 2. Анализ антропометрических данных в зависимости от типа сосудистого кольца

Показатель	Категория	Тип сосудистого кольца			p
		Me	Q ₁ –Q ₃	n	
Масса, кг	Двойная дуга аорты	7,03	5,60 – 11,82	16	0,459
	Правая дуга аорты с левой артериальной связкой	7,47	6,54 – 12,38	34	
	Левая дуга аорты с правой артериальной связкой	11,00	6,99 – 16,25	4	
	Слинг легочной артерии	6,03	4,33 – 8,11	4	
Рост, см	Двойная дуга аорты	62,50	59,25 – 89,75	16	0,253
	Правая дуга аорты с левой артериальной связкой	66,50	62,00 – 85,50	34	
	Левая дуга аорты с правой артериальной связкой	67,00	65,50 – 88,50	4	
	Слинг легочной артерии	59,50	55,25 – 63,75	4	
Площадь поверхности тела, м ²	Двойная дуга аорты	0,33	0,30 – 0,57	16	0,447
	Правая дуга аорты с левой артериальной связкой	0,38	0,33 – 0,55	34	
	Левая дуга аорты с правой артериальной связкой	0,37	0,36 – 0,57	4	
	Слинг легочной артерии	0,32	0,26 – 0,38	4	
Возраст на момент операции, мес.	Двойная дуга аорты	6	4 – 30	16	0,430
	Правая дуга аорты с левой артериальной связкой	7	4 – 20	34	
	Левая дуга аорты с правой артериальной связкой	23	9 – 45	4	
	Слинг легочной артерии	5	2 – 7	4	

различий по площади тела и возрасту ($p = 0,447$ и $p = 0,430$ соответственно).

В качестве первичного исхода хирургической коррекции сосудистых колец рассматривали устранение симптомов, ассоциированных с компрессией ТБД и пищевода.

На дооперационном этапе у большинства (49 пациентов, 84,5 %) (95 % ДИ: 72,6 – 92,7) имелись клинические проявления болезни, однако различий между группами по наличию симптомов до операции не выявлено ($p = 0,634$). При этом в группах «левая дуга аорты с правой артериальной связкой» и «слинг легочной артерии» симптомными были все пациенты, а в группах «двойная дуга аорты» и «правая дуга аорты с левой артериальной связкой» симптомные пациенты преобладали над бессимптомными, причем доли симптомных в этих группах были сопоставимы (табл. 3).

По типу симптомов до операции в каждой из групп превалировали дыхательные расстройства над

нарушением глотания. Распределение по наличию и отсутствию симптомов представлено в табл. 4.

По результатам лечения полное устранение симптоматики к моменту выписки из стационара отмечено у 41 (83,7 %) симптомного пациента. Положительный эффект в раннем послеоперационном периоде без полного устранения симптомов был достигнут у 2 детей с двойной дугой аорты (у одного сохранялись явления стридорозного дыхания, у другого – одышка при физической нагрузке) и у 2 пациентов с кольцом, образованным правой дугой аорты с левой артериальной связкой: у одного – тахипноэ со снижением толерантности к физической нагрузке, у другого пациента – исходно носителя трахеостомы – в раннем послеоперационном периоде деканюляция трахеи не выполнялась. У всех пациентов со слингом легочной артерии ($n = 4$) в связи с исходно более выраженными нарушениями со стороны ТБД в раннем послеоперационном периоде

Табл. 3. Анализ наличия предоперационных симптомов в зависимости от типа сосудистого кольца

Показатель	Тип сосудистого кольца, n (%)				p
	Двойная дуга аорты	Правая дуга аорты с левой артериальной связкой	Левая дуга аорты с правой артериальной связкой	Слинг легочной артерии	
Симптомны	13 (81,2)	28 (82,4)	4 (100,0)	4 (100,0)	0,634
Асимптомны	3 (18,8)	6 (17,6)	0 (0,0)	0 (0,0)	

Табл. 4. Анализ симптомов в зависимости от типа сосудистого кольца

Симптом	Категория	Тип сосудистого кольца, n (%)				p
		Двойная дуга аорты	Правая дуга аорты с левой артериальной связкой	Левая дуга аорты с правой артериальной связкой	Слинг легочной артерии	
Дисфагия	Наличие	7 (43,8)	14 (41,2)	2 (50,0)	1 (25,0)	0,896
	Отсутствие	9 (56,2)	20 (58,8)	2 (50,0)	3 (75,0)	
Диспноэ	Наличие	11 (68,8)	20 (58,8)	4 (100,0)	4 (100,0)	0,171
	Отсутствие	5 (31,2)	14 (41,2)	0 (0,0)	0 (0,0)	

зарегистрировано улучшение без полного регресса дыхательной недостаточности: трое пациентов после коррекции порока были экстубированы, а одному в раннем послеоперационном периоде потребовалась скользящая трахеопластика для восстановления нормальной проходимости дыхательных путей.

Летальных исходов не отмечено ни в одной из групп. На рис. 5 представлено сопоставление типов сосудистых колец по продолжительности госпитализации в стационаре (койко-дни). Наибольшая медиана (Me = 18 койко-дней) зафиксирована в группе слинга ЛА, что связано с более тяжелым исходным состоянием по дыхательной недостаточности у этих пациентов и проведением операции в условиях искусственного кровообращения. Выявлены статистические различия в длительности койко-дней между исследуемыми группами ($p = 0,028$). При

проведении анализа *post hoc* статистически значимых попарных различий между группами не получено.

Для интраоперационной оценки необходимости проведения аортопексии на начальном этапе (2018–2022 гг.) всем пациентам проводили интраоперационную трахеоскопию и гастроскопию. В дальнейшем аортопексию выполняли при наличии значимых размеров дивертикула Коммереля (более чем 1,5 размера от нисходящей аорты), который продолжал компрометировать пищевод и ТБД даже после разобщения артериальной связки. По частоте выполнения аортопексии при разных типах сосудистых колец установлены статистические различия ($p = 0,001$). При левой дуге аорты с правой артериальной связкой, а также при слинге легочной артерии аортопексия не проводилась. Чаще всего данный метод использовали при анатомии сосудистого кольца, представленного правой дугой аорты с левой

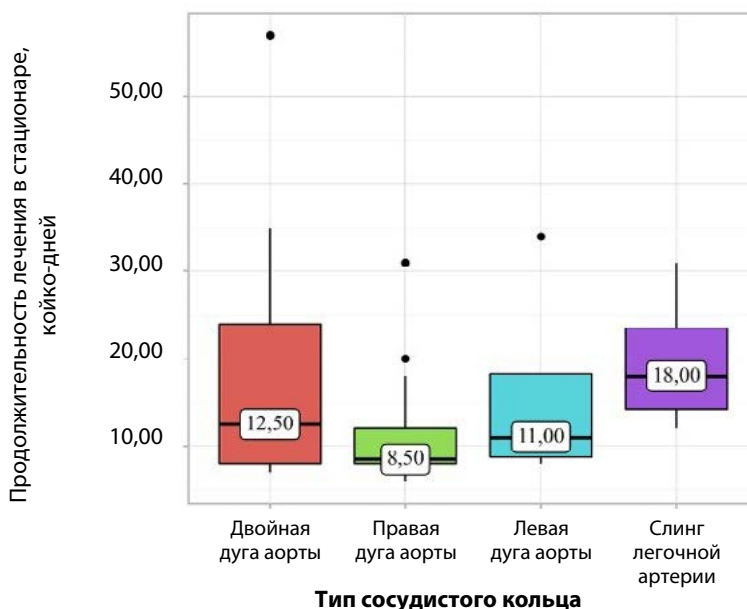


Рис. 5. Продолжительность лечения в стационаре, койко-дней. Используемый метод: критерий Краскела – Уоллиса ($p = 0,028$)

Табл. 5. Анализ аортопексии в зависимости от типа сосудистого кольца

Аортопексия	Тип сосудистого кольца, n (%)				p
	Двойная дуга аорты	Правая дуга аорты с левой артериальной связкой	Левая дуга аорты с правой артериальной связкой	Слинг легочной артерии	
Не выполнялась	11 (68,8)	10 (29,4)	4 (100,0)	4 (100,0)	0,001*
Выполнялась	5 (31,2)	24 (70,6)	0 (0,0)	0 (0,0)	

* Различия показателей статистически значимы ($p < 0,05$).

артериальной связкой, – у 24 (70,6 %) пациентов, что обусловлено особенностями анатомии дивертикула в этой группе (табл. 5).

В раннем послеоперационном периоде зарегистрирована высокая частота характерного для коррекции этого порока осложнения – хилоторакса, проявляющегося со вторых суток в виде хилезного поступления по дренажам. Данное осложнение требовало длительного консервативного лечения (инфузия октреотида, энтеральная пауза), что значительно увеличивало продолжительность пребывания пациентов в стационаре. Среди всех оперированных хилоторакс в послеоперационном периоде выявлен у 13 (22,4 %) пациентов (95 % ДИ: 10,0 – 31,9). Медиана возраста пациентов с хилотораксом составила 16 (Q_1 – Q_3 : 5–39) месяцев, медиана массы – 8,6 кг (Q_1 – Q_3 : 7,00–15,00). Наиболее часто данное осложнение встречалось при сосудистом кольце, представленном двойной дугой аорты ($n = 7$; 43,8 %). Несмотря на это, при сопоставлении частоты развития хилоторакса в зависимости от типа сосудистого кольца статистически значимых различий выявить не удалось ($p = 0,089$) в связи с различиями в численности групп (табл. 6).

Медиана длительности госпитализации при консервативном лечении хилоторакса у 10 пациентов составила 16 дней (Q_1 – Q_3 : 12,0–16,5). Тогда как у 3 пациентов, которым в дополнение к консервативной терапии потребовалось торакоскопическое клипирование грудного лимфатического протока, медиана длительности госпитализации была значимо выше – 46 дней (Q_1 – Q_3 : 38,0–55,5).

Применение интраоперационной аортопексии не влияло на частоту развития хилоторакса в послеоперационном периоде ($p = 1,000$). Также не выявлено зависимости данного осложнения от оперирующего хирурга и различий в подходах к коррекции.

Обсуждение

Сосудистое кольцо – это редкая группа врожденных аномалий магистральных сосудов грудной клетки, обуславливающая компрессию трахеобронхиального дерева и пищевода. Развитие современных методов диагностики привело к более точному и раннему выявлению сосудистой компрессии ТБД [1; 13]. Повышение осведомленности пульмонологов и гастроэнтерологов о возможном сосудистом генезе диспноэ и дисфагии способствует более раннему выявлению сосудистых колец и своевременному выполнению хирургической коррекции. Так, в нашей детской многопрофильной больнице рост выявляемости пациентов с данной патологией был обусловлен вовлечением в диагностический процесс детских пульмонологов, оториноларингологов и торакальных хирургов и созданием алгоритма междисциплинарного подхода. Большинство пациентов направлялись этими специалистами на диагностику инструментальными методами для исключения сосудистой компрессии ТБД и последующую консультацию сердечно-сосудистого хирурга, который подтверждал диагноз и формулировал показания к коррекции.

Табл. 6. Анализ хилоторакса в зависимости от типа сосудистого кольца

Хилоторакс	Тип сосудистого кольца, n (%)				p
	Двойная дуга аорты	Правая дуга аорты с левой артериальной связкой	Левая дуга аорты с правой артериальной связкой	Слинг легочной артерии	
Отсутствие	9 (56,2)	29 (85,3)	3 (75,0)	4 (100,0)	0,089
Наличие	7 (43,8)	5 (14,7)	1 (25,0)	0 (0,0)	

Хирургическое лечение сосудистого кольца направлено на полное устранение компрессии ТБД и пищевода и профилактику респираторных и интерстициальных заболеваний в будущем. В ряде случаев симптомы дыхательной недостаточности в виде диспноэ, пневмоний, ателектазов могут полностью не регрессировать из-за сформировавшейся трахеобронхомаляции. Как правило, это обусловлено несвоевременным оперативным лечением [4; 11; 14].

Широкое внедрение в практику современных инструментальных исследований и мультидисциплинарный подход к диагностике и лечению сосудистых колец, ранее считавшихся редкой врожденной патологией, позволили нам представить накопленный за относительно короткий срок опыт лечения 58 пациентов. Полученные результаты свидетельствуют о том, что при оптимальной тактике хирургического лечения, основанной на своевременной и поликомпонентной диагностике, а также дооперационной оценке факторов риска, коррекция представленной патологии, приводящей к компрессии ТБД и пищевода, эффективна и относительно безопасна.

При анализе литературы, посвященной хирургическому лечению сосудистых колец, мы не обнаружили четких рекомендаций относительно оптимального возраста для выполнения коррекции. В среднем возраст пациентов на момент операции составлял 11–15 месяцев [15; 16]. По нашему мнению, хирургическую коррекцию всех типов сосудистых колец следует выполнять у пациентов в возрасте до 1 года, что обеспечивает более простое техническое исполнение, своевременную профилактику симптомов и снижение риска развития трахеобронхомаляции. На первом году жизни симптомы легко подтверждаются, изменения со стороны ТБД вследствие компрессии обратимы, а риск развития периоперационных осложнений (включая хилоторакс) ниже, чем у детей старшего возраста. Тем не менее при выраженной симптоматике и значимой компрессии ТБД, подтвержденной данными инструментальных методов, коррекция должна выполняться сразу после выявления порока. При слинге легочной артерии коррекция показана в наиболее ранние сроки с учетом того, что при этом анатомическом варианте у всех пациентов исходно имеется выраженный стеноз трахеи, часто ассоциированный со слинг-ринг комплексом [17]. Влияние возраста на полный регресс симптоматики требует дальнейшего изучения данной проблемы. На представленной нами ограниченной выборке пациентов не удалось достигнуть статистически

достоверных результатов по влиянию возраста пациента на регресс симптоматики. Соответственно данный анализ не был включен в результаты исследования.

Показания и сроки хирургического лечения различных форм сосудистых колец при бессимптомном течении заболевания до сих пор остаются дискуссионными, что требует дальнейшего изучения. Ряд авторов придерживается выжидательной тактики у бессимптомных пациентов. Другие, такие как Oakley С. и соавт., а также Sahu А., Мое Т.Г. доказывают наличие значимой компрессии трахеи при отсутствии жалоб [13; 18]. В нашем центре у бессимптомных пациентов мы определяем показания к операции на основании подтвержденных инструментальными методами (МСКТ, бронхоскопия, рентгеноскопия пищевода) структурных нарушений ТБД либо значимого сдавления пищевода.

Целесообразность выполнения аортопексии и ее влияние на свободу от рецидивов симптоматики в отдаленном периоде представляют интерес и требуют более тщательного изучения. Ряд авторов у всех пациентов дополнительно к пересечению артериальной связки предлагают выполнять аортопексию [19]. Другие авторы предлагают при наличии дивертикула выполнять его резекцию с реимплантацией левой подключичной артерии в левую общую сонную артерию у всех пациентов [20; 21]. В нашем исследовании представлена группа пациентов, которым не выполнялись реимплантация левой подключичной артерии и резекция дивертикула; аортопексия применялась при визуально крупном дивертикуле (в 1,5 раза и более превышающем диаметр нисходящей аорты) либо визуально сдавливающим пищевод после пересечения артериальной связки. Изучение отдаленных результатов у оперированных пациентов со сбором жалоб и диагностическим контролем позволит получить дополнительные данные о влиянии различных подходов.

Несмотря на отсутствие летальности и высокую общую эффективность, обращает на себя внимание высокая частота хилоторакса (22,4 %) в послеоперационном периоде. По данным литературы, частота послеоперационного хилоторакса после вмешательств на органах грудной клетки варьирует от 0,59 до 6,00 % [22]. Однако появляются свежие данные, свидетельствующие о более высокой частоте этого осложнения именно после хирургии сосудистых колец. Так, по результатам мультицентрового когортного исследования частота хилоторакса после разобщения сосудистых колец составила 13,2 %, тогда как после всех кардиохирургических вмешательств, включая

пациентов после операции Фонтена, – 4,5 % [23]. В нашем ретроспективном анализе мы не выявили предикторов данного осложнения, что диктует необходимость дальнейшего поиска причин развития хилоторакса при этой патологии и совершенствования техники операций и протоколов послеоперационного ведения.

Выводы

1. Хирургическая коррекция сосудистых колец в исследуемых группах у младенцев и детей раннего возраста привела к полному регрессу симптомов у 83,7 % симптомных пациентов в ближайшем послеоперационном периоде.
2. Комплексный инструментальный подход в диагностике сосудистых колец позволяет своевременно выявить сужения трахеи, бронхов и/или пищевода у бессимптомных пациентов и сформулировать показания к хирургическому лечению сосудистых колец.
3. Аортопексия чаще всего выполнялась у пациентов с правой дугой аорты и левой артериальной связкой для устранения

резидуальной компрессии пищевода. Выполнение этой процедуры не влияло на частоту развития хилоторакса.

4. Хилоторакс в раннем послеоперационном периоде встречался у 22,4 % пациентов, наиболее часто – при двойной дуге аорты, что увеличивало сроки госпитализации при отсутствии статистически значимых межгрупповых различий.

Ограничения исследования

Данное исследование является ретроспективным одноцентровым с относительно малой выборкой и дисбалансом размеров групп. Мы изучали эффект от проведенного хирургического лечения, оцененный по наличию симптомов в раннем послеоперационном периоде и развитию хирургических осложнений. Мы не проводили сравнение с группой контроля (неоперированные дети). Отдаленные результаты, касающиеся резидуальных или рецидивирующих симптомов, и стандартизированная оценка качества жизни также требуют дальнейшего изучения.

Список литературы / References

1. Young A.A., Hornberger L.K., Haberer K., Fruitman D., Mills L., Noga M., Tham E., McBrien A. Prenatal Detection, Comorbidities, and Management of Vascular Rings. *Am J Cardiol.* 2019;123(10):1703-1708. PMID: 30876659. <https://doi.org/10.1016/j.amjcard.2019.02.030>
2. Backer C.L., Mavroudis C. Vascular rings and pulmonary artery sling. *Pediatric Cardiac Surgery*. Mavroudis C., Backer C.L., editors. Chapter 13. P. 234-255. Philadelphia: Mosby; 2003. <https://doi.org/10.1002/9781118320754.ch13>
3. Gross R.E. Surgical relief for tracheal obstruction from a vascular ring. *N Engl J Med.* 1945;233:586-90. PMID: 21003928. <https://doi.org/10.1056/nejm194511152332003>
4. Backer C.L., Mongé M.C., Popescu A.R., Eltayeb O.M., Rastatter J.C., Rigsby C.K. Vascular rings. *Semin Pediatr Surg.* 2016;25(3):165-75. PMID: 27301603. <https://doi.org/10.1053/j.sempedsurg.2016.02.009>
5. Bertolini A., Pelizza A., Panizzon G., Moretti R., Bava C.L., Calza G., Tacchino A. Vascular rings and slings. Diagnosis and surgical treatment of 49 patients. *J Cardiovasc Surg (Torino)*. 1987;28(3):301-12. PMID: 3294850.
6. Hanneman K., Newman B., Chan F. Congenital Variants and Anomalies of the Aortic Arch. *Radiographics*. 2017;37(1):32-51. PMID: 27860551. <https://doi.org/10.1148/rq.2017160033>
7. Козлов Б.Н., Панфилов Д.С., Пряхин А.С., Саушкин В.В., Суходоло И.В., Дзюман А.Н., Гутор С.С., Шарыш Д.В., Шипулин В.М. Сосудистое кольцо как причина дыхательных расстройств у взрослой пациентки. *Кардиология и сердечно-сосудистая хирургия*. 2017;10(1):7981. <https://doi.org/10.17116/kardio201710179-81>
8. Kozlov B.N., Panfilov D.S., Pryakhin A.S., Saushkin V.V., Sukhodolo I.V., Dzyuman A.N., Gutor S.S., Sharysh D.V., Shipulin V.M. Vascular ring as a cause of respiratory disorders in adult patient. *Russian Journal of Cardiology and Cardiovascular Surgery*. 2017;10(1):7981. (In Russ.) <https://doi.org/10.17116/kardio201710179-81>
9. Loomba R.S. Natural History of Asymptomatic and Unrepaired Vascular Rings: Is Watchful Waiting a Viable Option? A New Case and Review of Previously Reported Cases. *Children (Basel)*. 2016;3(4):44. PMID: 28009833; PMCID: PMC5184819. <https://doi.org/10.3390/children3040044>
10. Muller C.O., Derycke L., Kheniche A., Garcia G., Bernard S., Teissier N., Bonnard A. Routine multi detector computed tomography evaluation of tracheal impairment compared to laryngo-tracheal endoscopy in children with vascular ring. *Pediatr Surg Int.* 2018;34(8):879-884. PMID: 29961107. <https://doi.org/10.1007/s00383-018-4279-4>
11. François K., Panzer J., De Groote K., Vandekerckhove K., De Wolf D., De Wilde H., Marchau F., De Caluwe W., Benatar A., Bové T. Early and late outcomes after surgical management of congenital vascular rings. *Eur J Pediatr.* 2017;176(3):371-377. PMID: 28091779. <https://doi.org/10.1007/s00431-017-2850-y>
12. Callahan C.P., Merritt T.C., Canter M.W., Egtesady P., Manning P.B., Abarbanell A.M. Symptom persistence after vascular ring repair in children. *J Pediatr Surg.* 2020;55(11):2317-2321. PMID: 32005503. <https://doi.org/10.1016/j.jpedsurg.2019.12.022>
13. Backer C.L., Mavroudis C., Dunham M.E., Holinger L.D. Pulmonary artery sling: results with median sternotomy, cardiopulmonary bypass, and reimplantation. *Ann Thorac Surg.* 1999;67(6):1738-44. discussion 1744-5. PMID: 10391284. [https://doi.org/10.1016/s0003-4975\(99\)00364-1](https://doi.org/10.1016/s0003-4975(99)00364-1)

13. Oakley C., Hurn A., Suckling C., Moriarty G., Simpson J.M., Turcu S., Heraghty J., Zidere V., Nyman A., Vigneswaran T.V. Impact on the trachea in children with prenatally diagnosed vascular ring formed by a right aortic arch. *Pediatr Pulmonol.* 2023;58(8):2275-2282. PMID: 37212498. <https://doi.org/10.1002/ppul.26463>
14. Naimo P.S., Fricke T.A., Donald J.S., Sawan E., d'Udekem Y., Brizard C.P., Konstantinov I.E. Long-term outcomes of complete vascular ring division in children: a 36-year experience from a single institution. *Interact Cardiovasc Thorac Surg.* 2017;24(2):234-239. PMID: 27798062. <https://doi.org/10.1093/icvts/ivw344>
15. Evans W.N., Acherman R.J., Ciccolo M.L., Carrillo S.A., Mayman G.A., Luna C.F., Rollins R.C., Castillo W.J., Restrepo H. Vascular Ring Diagnosis and Management: Notable Trends Over 25 Years. *World J Pediatr Congenit Heart Surg.* 2016;7(6):717-720. PMID: 27834764. <https://doi.org/10.1177/2150135116661279>
16. Vigneswaran T.V., Kapravelou E., Bell A.J., Nyman A., Pushparajah K., Simpson J.M., Durward A., Zidere V. Correlation of Symptoms with Bronchoscopic Findings in Children with a Prenatal Diagnosis of a Right Aortic Arch and Left Arterial Duct. *Pediatr Cardiol.* 2018;39(4):665-673. PMID: 29307026. <https://doi.org/10.1007/s00246-017-1804-5>
17. Backer C.L., Russell H.M., Kaushal S., Rastatter J.C., Rigsby C.K., Holinger L.D. Pulmonary artery sling: current results with cardiopulmonary bypass. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2012;143(1):144-51. PMID: 22050985. <https://doi.org/10.1016/j.jtcvs.2011.09.038>
18. Sahu A., Moe T.G. Identification and Management of Vascular Rings and Slings. *JACC Case Rep.* 2024;29(8):102316. PMID: 38774803; PMCID: PMC11103602. <https://doi.org/10.1016/j.jaccas.2024.102316>
19. Perkins A.A., Tomescu A.L., Knott-Craig C.J., Boston U., Spentzas T., Ramakrishnan K.V. Aortopexy With Plication of Kommerell Diverticulum Is an Effective Alternative to Diverticulum Resection and Reimplantation of the Aberrant Left Subclavian Artery for Surgical Management of Vascular Rings in Children. *World J Pediatr Congenit Heart Surg.* 2025;16(4):446-449. PMID: 40208045; PMCID: PMC12146880. <https://doi.org/10.1177/21501351251329912>
20. Backer C.L., Hillman N., Mavroudis C., Holinger L.D. Resection of Kommerell's diverticulum and left subclavian artery transfer for recurrent symptoms after vascular ring division. *Eur J Cardiothorac Surg.* 2002;22(1):64-9. PMID: 12103375. [https://doi.org/10.1016/s1010-7940\(02\)00213-0](https://doi.org/10.1016/s1010-7940(02)00213-0)
21. Luciano D., Mitchell J., Fraisse A., Lepidi H., Kreitmann B., Ovaert C. Kommerell Diverticulum Should Be Removed in Children With Vascular Ring and Aberrant Left Subclavian Artery. *Ann Thorac Surg.* 2015;100(6):2293-7. PMID: 26428693. <https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2015.06.093>
22. Егунев О.А., Подоксенов А.Ю., Лежнев А.А., Янулевич О.С., Ершова Н.В., Кривошеков Е.В. Лечение хилоторакса после билатерального двунаправленного кавопульмонального анастомоза. *Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова.* 2018;(1):6870. <https://doi.org/10.17116/hirurgia2018168-70>
 Egunov O.A., Podoksenov A.Yu., Lezhnev A.A., Yanulevich O.S., Ershova N.V., Krivoshchekov E.V. Chylothorax management after bilateral bi-directional cavopulmonary anastomosis. *Pirogov Russian Journal of Surgery.* 2018;(1):6870. (In Russ.) <https://doi.org/10.17116/hirurgia2018168-70>
23. Schwartz S.P., Winder M.M., Bautista A.N., Fundora M.P., Calamaro J., Puente B.R.N., Plummer S.T., Greiten L.E., Bertrand R.A., Szyner-Taub N.R., Matiassek M.J., Norbistrath K.S., Milroy R., Lay A., Reeder R.W., Furlong-Dillard J.M., Prodhan P., Bailly D.K. Management Options for Chylothorax After Vascular Ring Repair: Retrospective, Multicenter Cohort in the United States, 2021-2023. *Pediatr Crit Care Med.* 2026;27(1):42-51. PMID: 41196121. <https://doi.org/10.1097/PCC.0000000000003855>