Кардиология и сердечно-сосудистая хирургия
2025, Т. 18, №4, с. 384–391
https://doi.org/10.17116/kardio202518041384

Russian Journal of Cardiology and Cardiovascular Surgery
2025, vol. 18, No. 4, pp. 384–391
https://doi.org/10.17116/kardio202518041384

Диагностика и лечение коарктации аорты у взрослых и подростков: все ли вопросы решены?

© Е.Н. АМАНСАХАТОВА[1, 2], С.А. МАГБУЛОВА[1], Ю.Ю. КУЛЯБИН[1], И.А. СОЙНОВ[1]

[1]ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр имени академика Е.Н. Мешалкина», Новосибирск, Россия;
[2]ФГАОУ ВО «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет», Новосибирск, Россия

Резюме

Коарктация аорты — это врожденный порок сердца (ВПС), который характеризуется сужением в проксимальной части нисходящего отдела грудной аорты. На долю коарктации приходится 6—8% всех ВПС. Учитывая теории эмбрионального развития обструкции аорты, клиническое течение может протекать бессимптомно длительное время. Как правило, у таких пациентов коарктацию аорты диагностируют в подростковом возрасте и у взрослых, когда развиваются артериальная гипертензия на верхних конечностях и артериальная гипотензия на нижних. Несмотря на развитие интервенционных технологий и вариабельность хирургических методик коррекции коарктации аорты, возникает необходимость в выборе оптимальной стратегии лечения. В данном обзоре рассмотрены варианты хирургической коррекции коарктации аорты у детей старшего возраста и взрослых, а также представлены возможные варианты осложнений, которые могут встретиться как в раннем, так и в позднем послеоперационном периоде, а также способы их предотвращения на интраоперационном этапе.

Ключевые слова: *коарктация аорты, врожденные пороки сердца, гипоплазия дуги аорты.*

Информация об авторах:
Амансахатова Е.Н. — https://orcid.org/0009-0008-3193-4160
Магбулова С.А. — https://orcid.org/0000-0001-8935-4216
Кулябин Ю.Ю. — https://orcid.org/0000-0002-2361-5847
Сойнов И.А. — https://orcid.org/0000-0003-3691-2848
Автор, ответственный за переписку: Амансахатова Е.Н. — e-mail: e.amansakhatova@g.nsu.ru

Как цитировать:
Амансахатова Е.Н., Магбулова С.А., Кулябин Ю.Ю., Сойнов 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

Diagnosis and treatment of aortic coarctation in adults and adolescents: are all the issues resolved?

© E.N. AMANSAKHATOVA[1, 2], S.A. MAGBULOVA[1], YU.YU. KULYABIN[1], I.A. SOYNOV[1]

[1]Meshalkin National Medical Research Center, Novosibirsk, Russia;
[2]Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia

Abstract

Coarctation of the aorta is a congenital heart disease (CHD) characterized by proximal narrowing of descending thoracic aorta. Coarctation of the aorta accounts for 6—8% of all CHDs. Considering the theory of embryonic development of aortic obstruction, this disease may be asymptomatic for a long time. As a rule, aortic coarctation is diagnosed in adolescence and adults, when arterial hypertension occurs in the upper extremities and arterial hypotension in the lower ones. Despite modern interventional technologies and variable surgical techniques for correction of aortic coarctation, there is a need to choose optimal treatment strategy. This review examines options for surgical correction for coarctation of the aorta in adolescents and adults. The authors present possible complications in early and late postoperative period, as well as their intraoperative prevention.

Keywords: *coarctation of the aorta, congenital heart disease, aortic arch hypoplasia.*

Information about the authors:
Amansakhatova E.N. — https://orcid.org/0009-0008-3193-4160
Magbulova S.A. — https://orcid.org/0000-0001-8935-4216
Kulyabin Yu.Yu. — https://orcid.org/0000-0002-2361-5847
Soynov I.A. — https://orcid.org/0000-0003-3691-2848
Corresponding author: Amansakhatova E.N. — e-mail: e.amansakhatova@g.nsu.ru

To cite this article:
Amansakhatova EN, Magbulova SA, Kulyabin YuYu, Soynov IA. 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

Введение

Относительно распространенной аномалией развития среди врожденных пороков сердца (ВПС) является коарктация аорты, которая представляет собой локальное и протяженное сужение перешейка или дуги аорты [1]. Распространенность данного порока составляет 3—4 случая на 10 000 родившихся, частота среди всех ВПС — 6—8 % [1, 2].

Наиболее часто коарктация аорты встречается с другими ВПС, такими как дефект межжелудочковой перегородки, двустворчатый аортальный клапан, аортальный и митральный стенозы, синдром гипоплазии левых отделов сердца. Несмотря на то что изолированная коарктация аорты встречается реже (приблизительно 1 случай на 2500 родившихся), показатели летальности при естественном течении могут достигать 50% [3, 4].

Коарктация аорты формируется в эмбриональном периоде и является результатом нарушения развития аорты и ее ветвей, которые формируются из шести пар глоточных дуг и ее артериальной системы с 3-й недели беременности до 8-й недели внутриутробной жизни плода [5]. Точный механизм эмбриологического развития коарктации аорты остается неизвестным, однако существуют три теории внутриутробного формирования обструкции аорты. Первая теория подразумевает развитие коарктации аорты вследствие наличия части ткани открытого артериального протока (ОАП) в стенке аорты в месте перехода дуги в нисходящий отдел грудной аорты. В постнатальном периоде ОАП подвержен сужению, дуктальная ткань в области перешейка аорты натягивается и вызывает обструкцию аорты. Второй вариант развивается вследствие изменения гемодинамики плода, которое возникает из-за формирования аномального угла аорты, что приводит к увеличению кровотока справа налево через ОАП и уменьшает поток крови в восходящей аорте и ее дуге. Третья теория развития коарктации аорты предполагает патологическую инволюцию части сегмента левой дорсальной аорты, которая вместе с левой подключичной артерией способна перемещаться краниально, способствуя формированию коарктации аорты в области перешейка [6, 7].

В настоящее время для пациентов с диагнозом изолированной коарктации доступны несколько вариантов оперативного вмешательства. К ним относятся различные методики открытой хирургии, такие как резекция стеноза с анастомозом конец в конец, аортопластика с заплатой, расширенный анастомоз конец в конец и др., а также эндоваскулярные варианты коррекции порока, которые направлены на восстановление нативной аорты в виде баллонной ангиопластики и имплантации стента [1]. Несмотря на разнообразие методов коррекции, независимо от выбора стратегии лечения, главная задача заключается в обеспечении системного кровообращения и предотвращении перепадов давления в месте коррекции аорты [1, 4, 8—10].

Несмотря на развитие эндоваскулярной хирургии, не все коарктации аорты подвержены чрескожной коррекции, так как данная методика ограничивается анатомическим вариантом поражения, сопутствующей патологией и клиническим состоянием пациента [11]. Даже при «удачной анатомии» дуги аорты результаты эндоваскулярного лечения нельзя назвать удовлетворительными. Проведенные клинические исследования COAST и COAST II имели субоптимальные результаты: у 44% пациентов была артериальная гипертензия, требующая медикаментозного лечения, 21,3% — требовалось повторное транскатетерное вмешательство, у 5% — были аневризмы грудной аорты, у 24,4% — перелом стента [12]. Вероятно, частота аневризм была значительно занижена, учитывая, что только 16% исходной группы имели возможность визуализации перекрестного исследования на момент наблюдения. Отдаленные последствия перелома стента и образования аневризмы неизвестны.

R. Holzer и соавт. [12] показали относительно большую частоту переломов баллон-расширяемых стентов. Ранее о таких осложнениях сообщалось в 0,01—0,08% случаев [13]. По данным G. Cabrelle и соавт. [13], основными причинами перелома баллон-расширяемых стентов являются перегрузка давлением, превышающая порог эластичности материала, и пульсирующее напряжение, оказываемое потоком крови на стенки стента в условиях анатомических особенностей, таких как кинкинг аорты.

Открытая хирургия

Несмотря на то что данный ВПС был описан довольно рано, только через несколько веков (в 1944 г.) Blalock и соавт. [14] предложили использовать в качестве гемодинамической коррекции данного порока аортоподключичное шунтирование. Однако первая успешная реконструкции аорты по устранению коарктационного сегмента была проведена Crafoord и Gross в 1945 г. при помощи резекции аномального сегмента грудной аорты через заднебоковую торакотомию слева. Несмотря на успехи в коррекции коарктации аорты, данная методика сопровождалась высоким (до 51%) риском рецидива коарктации, особенно у новорожденных [1, 15]. Альтернативу «прямому» анастомозу предложил Vosschulte для коррекции коарктации с гипоплазией дуги аорты. Метод заключался в расширении дуги аорты с помощью дакронового трансплантата [15]. Несмотря на то что дакроновые протезы имеют низкий риск пролиферации неоинтимы, частота рекоарктации достигала 40%, а риск аневризм грудной аорты — 18—20% [15]. Методика Vosschulte перестала использоваться даже после перехода с заплаты из дакронового протеза на трансплантат из политетрафторэтилена, поскольку развивалась обратная ситуация (снизилась частота рекоарктаций аорты до 7%, но увеличи-

лась частота аневризм аорты до 25%) [9]. Через несколько лет, в 1951 г., Gross была описана методика резекции коарктационного сегмента с установкой интерпозиционного трансплантата, применение которой было рекомендовано взрослым из-за отсутствия роста вместе с пациентом, что повышало риски рекоарктации. Также стратегии Gross отдавалось предпочтение при протяженной обструкции грудной аорты, однако данный подход сопровождается более длительным временем обструкции дуги аорты, а также дилатацией трансплантата. Однако в краткосрочных исследованиях данный подход не только сопровождается отсутствием послеоперационной смертности, также не наблюдается развития рекоарктации в отдаленном послеоперационном периоде [1]. В 1966 г. Waldhausen и соавт. предложили альтернативную методику хирургической коррекции коарктации аорты при аортопластике подключичным лоскутом. Данная стратегия довольно редко приводила к повторной обструкции дуги аорты (0—3%). Именно поэтому данная стратегия является методом выбора у детей старшего возраста, поскольку у новорожденных частота рекоарктаций достигает 23% [9]. В 1977 г. Amato был описан подход расширенного анастомоза конец в конец, который применяется в настоящее время. Данная методика предполагает использование части левой подключичной артерии в качестве лоскута для расширения коарктационного сегмента с его предварительной резекцией. По данным литературы, эта методика сопровождается низкой частотой рекоарктаций и послеоперационной смертности [16]. Все вышеуказанные методики применяют при изолированной коарктации аорты, однако при сочетании коарктации с интракардиальными ВПС во многих случаях отдают предпочтение экстракардиальному шунтированию, которое представляет собой технически сложную методику. При данном подходе системный кровоток обеспечивается за счет установки кондуита от восходящей аорты к дистальному отделу нисходящей грудной аорты, при этом стенотический участок дуги аорты не затрагивается [1].

Показаниями к хирургическому лечению у подростков и взрослых с коарктацией аорты являются неинвазивная разница артериального давления >20 мм рт.ст. между верхними и нижними конечностями; разница градиента >20 мм рт.ст. при катетеризации сердца или >10 мм рт.ст. при катетеризации сердца на фоне снижения систолической функции ЛЖ или значительного коллатерального кровотока; средний градиент >20 мм рт.ст. по данным допплеровской эхокардиографии или средний градиент >10 мм рт.ст. по данным допплеровской эхокардиографии на фоне снижения систолической функции ЛЖ или значительного коллатерального кровотока [17].

Несмотря на большое разнообразие хирургических подходов в коррекции коарктации аорты у детей и взрослых, при выборе методики для начала необходимо оценить прогностическую пользу в конкретном случае, а также возрастные риски по развитию наиболее частых осложнений, таких как рекоарктация и гипертензия в отдаленном послеоперационном периоде [1].

Большое разнообразие подходов в хирургической коррекции обструкции сегмента грудной аорты у детей и взрослых среди кардиохирургических центров вызывает разногласие в выборе оптимального метода коррекции. Это способствовало созданию новой хирургической классификации коарктаций аорты с рекомендациями в применении конкретных хирургических стратегий. Данная классификация основывается на анатомических особенностях дуги аорты и морфологии перешейка аорты и включает следующие варианты. Тип Ia характеризуется небольшой аортой с близко расположенными сосудами головы и коротким коарктационным сегментом перешейка аорты, поэтому для данного типа рекомендуется расширенный анастомоз конец в конец для предотвращения натяжения места анастомоза. Тип Ib имеет протяженную область коарктации, и в качестве метода выбора предпочтительно использовать анастомоз конец в бок. При II типе левая подключичная артерия отдалена от безымянной и левой общей сонной артерий, при этом подтип a характеризуется коротким перешейком, b — длинным. Тип III предполагает отдаленные друг от друга сосуды дуги аорты (подтипы a и b аналогичны типам I и II). При гипоплазированной проксимальной части дуги аорты коррекцию проводят с помощью расширения при использовании заплаты из гомотрансплантата. Кроме того, анастомоз конец в бок может быть применен при гипоплазии дистального отдела дуги аорты. По данным литературы, новая классификация способствует выбору более безопасного подхода, сопровождающегося низким риском с более благоприятными ранними и отдаленными результатами [18].

Интервенционная хирургия

В 1944 г. доктором Crawford и Nylin была проведена первая хирургическая коррекция коарктации аорты. Несмотря на множественные хирургические модификации и значительное улучшение лечения изолированной коарктации аорты как у детей старшего возраста, так и у взрослых за последние 50 лет, в 1982 г. в качестве альтернативы хирургическому подходу для первичной коррекции данного порока была предложена баллонная ангиопластика [26]. Главная задача транскатетерной баллонной ангиопластики состояла в обеспечении растяжения интимального слоя за счет чрезмерного растяжения суженного сегмента аорты, что в дальнейшем способствует ремоделированию стенки пораженного сегмента грудной аорты [4].

Транскатетерная баллонная ангиопластика применяется для коррекции коарктации аорты у детей старшего возраста и молодых пациентов с рекоарктацией. Кроме того, существуют ограничения в использовании данной стратегии у пожилых, так как эта группа больных имеет дегенеративные заболевания, в том числе кальциноз аорты, что в значительной степени способствует ослаблению артериальной стенки. Так как недостаточное растяжение коарктационного сегмента аорты может вызвать остаточный стеноз, то перерастяжение сосудистой стенки может способствовать расслоению, разрыву или образованию аневризмы [4, 11, 20—22].

Транскатетерная имплантация стента для коррекции коарктации аорты получила признание только в начале 1990-х гг. Данная методика представляет собой технически более сложную процедуру по сравнению с баллонной аортопластикой, так как требует более крупного сосуда для обеспечения доступа, поэтому предпочтительнее в лечении коарктации у детей старше 2 лет, а также у подростков

и взрослых [4]. Эндоваскулярное стентирование не только обеспечивает увеличение просвета аорты, но и способствует сохранению минимального остаточного градиента давления, что приводит к более устойчивой гемодинамике по сравнению с баллонной аортопластикой. Во время установки стента его каркас обеспечивает фиксацию интимы к стенке аорты, что способствует не только заживлению стенки, но и снижению рисков развития аневризм, последующих разрывов и расслоений [1].

Эндоваскулярные вмешательства проводят под общей анестезией или седацией в условиях рентгеноперационной [11]. На сегодняшний день наиболее часто имплантируют стент ретроградно. Для начала обеспечивают доступ к бедренной артерии, в которую устанавливают интродьюсер соответствующего размера. Затем проводят аортографию для определения не только уровня поражения аорты, но и размера необходимого баллона, диаметр которого, как правило, соответствует диаметру нисходящей аорты на уровне диафрагмы. После установки стента в суженный участок аорты проводят контроль гемодинамических показателей, основным из которых является градиент давления. Целевое значение последнего после восстановления аорты не должно превышать 10 мм рт.ст. [26, 27].

Транскатетерная имплантация стента у детей возможна в тех случаях, когда масса тела превышает 30 кг, а также у детей старше 6 лет, так как пациентам с более низким весом, как правило, требуются повторные вмешательства в отдаленном послеоперационном периоде из-за роста ребенка, что увеличивает риск повреждения бедренных артерий при обеспечении сосудистого доступа. Поэтому у таких пациентов предпочтительна баллонная аортопластика [1, 26]. По данным литературы, у детей весом <30 кг при стентировании возникают технические ограничения, связанные с недостаточным диаметром бедренной артерии (размеры стента могут достигать 18 мм). Несоответствие размеров стента способствует развитию таких острых осложнений, как обструкция бедренной артерии в интраоперационном периоде, а также повреждение сосудистой стенки с образованием гематомы. Поэтому у детей для снижения риска ранних и поздних осложнений следует отдавать предпочтение покрытым баллон-расширяемым эндопротезам, которые можно расширить до размеров взрослого человека [13].

Эндоваскулярный подход в лечении коарктации аорты у детей и взрослых способствовал уменьшению инвазивности по сравнению с традиционной хирургической коррекцией, но не до конца избавил от послеоперационных осложнений, которые могут возникнуть вследствие как баллонной ангиопластики, так и стентирования. Считается, что наиболее опасным осложнением после баллонной ангиопластики является разрыв аорты, который, по данным литературы, возникает в 1,6% случаев [12]. Также отмечается, что в 5—9% случаев эндоваскулярное вмешательство способствует развитию аневризмы аорты вследствие перерастяжения сосудистой стенки из-за баллонной дилатации, а также травмы эндотелия сосудистым стентом [12]. Это способствует увеличению содержания коллагеновых и снижению количества эластических волокон в сосудистой стенке. Поэтому в настоящее время во многих кардиохирургических центрах наблюдается тенденция к использованию покрытых стентов, чтобы минимизировать частоту аневризм аорты и их последующих разрывов [28].

Кроме того, стентирование места обструкции аорты может осложняться миграцией стента или эмболизации дистальных сосудов. Миграция стента развивается в 5% случаев, при этом у взрослых она связана с неверным подбором размера баллона для дилатации перед установкой стента. У детей миграция стента в отдаленном послеоперационном периоде чаще связана с ростом нативных тканей аорты [13]. Нередким осложнением при баллонной ангиопластике является рекоарктация (13—50%) [19]. При стентировании прослеживается заметное снижение рисков рекоарктации — до 2,7%, которая возникает вследствие неоинтимальной пролиферации стента [29, 30].

Эндоваскулярная коррекция может применяться в лечении такого редкого заболевания у взрослых, как коарктация аорты по типу «кораллового рифа», которая характеризуется сужением просвета дуги аорты за счет выступающих кальциевых масс [30]. У таких пациентов хирургическая коррекция в виде тромбэндартерэктомии, установки стент-графта, а также экстраанатомического шунтирования затруднительна, поскольку данные вмешательства сопровождаются высокой частотой осложнений и высоким риском интраоперационной и послеоперационной летальности [9]. Наиболее часто осложнения включают острую ишемию нижних конечностей, плевральный выпот, кровотечение, инфаркт головного мозга и миокарда, разрыв селезенки, терминальную стадию почечной недостаточности, панкреонекроз и ишемию толстой кишки. Для предотвращения данных событий рекомендуется отдавать предпочтение стентированию с применением баллон-расширяемого стента [31].

Таким образом, по данным литературы, при сравнении двух интервенционных подходов в лечении изолированной коарктации аорты у детей и взрослых в большинстве случаев отдают предпочтение транскатетерному стентированию, так как данный подход сопровождается низкой частотой осложнений и повторных вмешательств, обеспечивает более стабильную гемодинамику в послеоперационном периоде, а в отдельных случаях способствует ликвидации артериальной гипертензии в отдаленном послеоперационном периоде под действием комбинированной антигипертензивной терапии [31].

Послеоперационная артериальная гипертензия (АГ)

Наиболее часто как в раннем, так и в позднем послеоперационном периоде одним из ведущих осложнений остается АГ, она же парадоксальная АГ, которая встречается практически в 100% случаев [24, 25, 32].

Механизмы развития послеоперационной АГ разнообразны. Так, после восстановления аорты снижается чувствительность барорецепторов, вследствие чего повышается концентрация медиаторов симпатической нервной системы, которые способствуют ее активации [33]. Другой механизм, участвующий в развитии АГ, ассоциирован с повышенной активностью ренин-ангиотензин-альдостероновой системы (РААС). Вследствие увеличения концентрации ренина в плазме крови образуется ангиотензин I, который, трансформируясь в ангиотензин II, способствует вазоконстрикции и повышенной секреции альдостерона с парадоксальной АГ [13]. Кроме того, парадоксальная АГ может быть вызвана неадекватной постнагрузкой лево-

го желудочка, которая увеличивается вследствие остаточной обструкции дуги аорты и снижения эластичности стенки аорты из-за дисбаланса ее клеточного состава [23, 34].

В большинстве случаев основным методом лечения при парадоксальной АГ после лечения коарктации аорты является медикаментозная терапия, которая направлена на различные механизмы ее развития, а именно на блокаду симпатической нервной системы и РААС. Наиболее часто в терапевтической практике используют нитропруссид натрия, бета-блокаторы (эсмолол, лабетолол), ингибиторы АПФ (каптоприл, эналаприл), блокаторы кальциевых каналов (амлодипин) и диуретики (фуросемид). Несмотря на то что бета-блокаторы способны воздействовать на два механизма АГ в послеоперационном периоде, по данным литературы, >50% пациентов нуждаются в комбинированной терапии для контроля парадоксальной АГ, так как монотерапия недостаточна для достижения целевых значений артериального давления. Кроме того, применение консервативной терапии способствует не только контролю АД в послеоперационном периоде, но и предотвращению осложнений (кровотечение, мезентериальный артериит), к которым может приводить парадоксальная АГ [13, 35].

Поскольку парадоксальная АГ является симпатически-ассоциированной, чтобы предотвратить ее развитие, в раннем послеоперационном периоде рекомендуется отказаться от регионарной анестезии во время хирургического лечения коарктации аорты у детей и отдать предпочтение эпидуральной анестезии [35]. Последняя непосредственно блокирует симпатическую активацию. По данным литературы, эпидуральная анестезия снижает потребность в антигипертензивных препаратах в раннем послеоперационном периоде, а также благодаря висцеральной вазодилатации способствует облегчению посткоарктэктомического синдрома, который характеризуется абдоминальной болью и вздутием живота [36—39].

В отдаленном периоде даже при успешной коррекции коарктации аорты без остаточного сужения не гарантировано отсутствие АГ. По данным литературы, частота АГ может достигать 7—90%. АГ после коррекции коарктации аорты, вероятно, является многофакторным процессом и может быть связана с изменением коллаген-эластического каркаса стенки аорты, изменением морфологии дуги аорты, иммуновоспалительными нарушениями, изменениями в структуре сердца, связанными с длительной обструкцией системного кровотока, изменениями в регуляции ренин-ангиотензиновых и барорецепторных систем.

Рекоарктация

Не менее редким осложнением первичной реконструкции дуги аорты является рекоарктация, которая возникает в 5—44% случаев [19]. Рекоарктация аорты представляет собой вторичное сужение аорты в зоне первичного хирургически или эндоваскулярно восстановленного участка аорты. Кроме того, важным гемодинамическим критерием повторной обструкции аорты является показатель градиента давления >20 мм рт.ст. [15].

Развитию рекоарктации аорты может способствовать сохранение остаточной обструкции после первичного восстановления, как хирургического, так и транскатетерного. Данный механизм может реализоваться не только у детей старшего возраста, но и у взрослых. Кроме того, рецидивирующая коарктация аорты у детей старшего возраста может возникать вследствие интенсивного соматического роста [18, 19]. Также важно, что выбор используемой техники хирургической коррекции влияет на геометрию дуги аорты, поскольку возникшие ангуляции дуги аорты увеличивают напряжение ее стенки, способствуя развитию фиброза, препятствующего росту сосудистой стенки [40].

Рецидив обструкции дуги аорты связан с методом первичной коррекции. Так, при первичном хирургическом лечении рецидивирующая обструкция возникает у 15,9% больных, при баллонной ангиопластике — у 25%, при стентировании — у 38,4% [41].

В качестве одного из вариантов интервенционных методик для коррекции как коарктации, так и рекоарктации аорты применяют транскатетерную баллонную ангиопластику. Данная методика вызывает множество разногласий, поскольку имеет высокие риски повторных вмешательств в отдаленном периоде. Однако прогресс в развитии интервенционных технологий способствовал проведению эндоваскулярного стентирования с использованием стентов с лекарственным покрытием в качестве метода коррекции коарктации аорты [42].

При сложных коарктациях аорты в качестве первичной реконструкции рекомендуется отдавать предпочтение техникам с использованием нативных тканей, поскольку в отдаленном периоде у данных методов ниже риск рецидивирующей обструкции [41, 43].

Сердечно-сосудистые осложнения

В отдаленном послеоперационном периоде после реконструкции дуги аорты у детей старшего возраста и взрослых, кроме АГ и рекоарктации, наблюдается высокий риск сердечно-сосудистых осложнений [44]. Наиболее часто формируется аневризма грудного отдела аорты в зоне коррекции или в восходящем отделе, что увеличивает частоту повторных вмешательств и повышает риск смерти. По данным литературы, послеоперационная аневризма не относится к редким осложнениям (9—38%) [45, 46]. Аневризма может сформироваться через 12 лет после первичной реконструкции дуги аорты. Кроме того, естественное течение аневризмы аорты может потребовать повторного вмешательства, связанного с разрывом аневризмы, при этом смертность достигает 7% [46].

Предрасполагающим фактором в формировании послеоперационной аневризмы аорты является вариант коррекции порока. Несмотря на вариабельность методик в хирургической коррекции дуги аорты, в настоящее время для предотвращения аневризм в месте коррекции дуги аорты многие кардиохирургические центры отошли от аугментации заплатами, поскольку данная техника сопровождалась высоким риском аневризмы аорты [7]. Несмотря на развитие эндоваскулярных вмешательств, транскатетерные методики коррекции коарктации аорты также могут способствовать формированию аневризмы аорты в отдаленном послеоперационном периоде. Методика баллонной ангиопластики предполагает растяжение стенки аорты

в зоне коарктационного сегмента. Чрезмерное растяжение последней приводит к разрыву интимы, что в последующем может сопровождаться расслоением стенки аорты, формируя аневризматическое расширение, особенно у пациентов с дегенеративными заболеваниями [1, 11]. Поэтому при выборе эндоваскулярной методики следует отдавать предпочтение стентированию ввиду низкой частоты аневризм аорты [1]. Другое исследование показывает, что метод выбора коррекции не является значимым фактом риска аневризм, поэтому, следуя американским и европейским рекомендациям, необходимо ежегодно наблюдать данных пациентов и контролировать различные сердечно-сосудистые факторы риска [47].

Кроме того, после реконструкции дуги аорты часто формируется преждевременная ишемическая болезнь сердца (ИБС), которая сопровождается высокой ранней смертностью [7]. Несмотря на активную дискуссию в отношении ИБС у данной группы больных, существуют достоверные данные о более широкой распространенности ИБС в отдаленном послеоперационном периоде у пациентов, возраст которых на момент реконструкции дуги аорты был более 10 лет [7, 47].

Заключение

Таким образом, коарктация аорты относится к простым ВПС, однако при отсутствии лечения сокращает продолжительность жизни. Несмотря на существование различных вариантов коррекции коарктации аорты, хирургическое лечение данного порока все еще остается «золотым стандартом», поскольку показатели послеоперационной смертности не превышают 2,6% и в основном зависят от возраста на момент оперативного вмешательства и наличия сопутствующих ВПС, независимо от методики хирургической коррекции. Однако во многих кардиохирургических центрах с развитием интервенционных технологий для многих детей среднего возраста и взрослых транскатетерный подход стал альтернативной стратегией в лечении коарктации аорты.

Финансирование: данная работа выполнена в рамках государственного задания Минздрава России №124022500251-0.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare no conflicts of interest.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Agasthi P, Pujari SH, Tseng A, Graziano JN, Marcotte F, Majdalany D, Mookadam F, Hagler DJ, Arsanjani R. Management of adults with coarctation of aorta. *World Journal of Cardiology*. 2020;12(5):167-191. https://doi.org/10.4330/wjc.v12.i5.167
2. Сойнов И.А., Рзаева К.А., Горбатых Ю.Н., Кулябин Ю.Ю., Горбатых 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.
Soynov IA, Rzaeva KA, Gorbatykh YuN, Kulyabin YuYu, Gorbatykh AV, Velyukhanov IA, Nichay NR, Arkhipov AN. 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
3. Bhatt AB, Lantin-Hermoso MR, Daniels CJ, Jaquiss R, Landis BJ, Marino BS, Rathod RH, Vincent RN, Keller BB, Villafane J. Isolated Coarctation of the Aorta: Current Concepts and Perspectives. *Frontiers in cardiovascular medicine*. 2022;9:817866. https://doi.org/10.3389/fcvm.2022.817866
4. Рзаева К.А., Сойнов И.А., Горбатых А.В., Кулябин Ю.Ю., Войтов А.В., Иванцов С.М., Горбатых 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.
Rzaeva KA, Soynov IA, Gorbatykh AV, Kulyabin YY, Voitov AV, Ivantsov SM, Gorbatykh YN, Bogachev-Prokophiev AV. Critical coarctation of the aorta: diagnostic capabilities and methods of surgical treatment of aortic coarctation in newborns. *Patologiya Krovoobrashcheniya I Kardiokhirurgiya*. 2020;24(2):46-62. (In Russ.). https://doi.org/10.21688/1681-3472-2020-2-46-62
5. Heider A, Gordon D, Coleman DM, Eliason JL, Ganesh SK, Stanley JC. Histologic and morphologic character of pediatric abdominal aortic developmental coarctation and hypoplasia. *Journal of vascular surgery*. 2022;76(2):556-563.e4. https://doi.org/10.1016/j.jvs.2022.01.121
6. Mantri SS, Raju B, Jumah F, Rallo MS, Nagaraj A, Khandelwal P, Roychowdhury S, Kung D, Nanda A, Gupta G. Aortic arch anomalies, embryology and their relevance in neuro-interventional surgery and stroke: A review. *Interventional Neuroradiology*. 2022;28(4):489-498. https://doi.org/10.1177/15910199211039924
7. 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*. 2023;13(13):2189. https://doi.org/10.3390/diagnostics13132189
8. Сойнов И.А., Рзаева К.А., Горбатых Ю.Н. и др. Влияет ли хирургический доступ на результаты лечения коарктации аорты? *Кардиология и сердечно-сосудистая хирургия*. 2024;17(4):370-380.
Soynov IA, Rzaeva KA, Gorbatykh YuN, et al. Does surgical access affect postoperative outcomes in patients with aortic coarctation? *Russian Journal of Cardiology and Cardiovascular Surgery*. 2024;17(4):370-380. (In Russ.). https://doi.org/10.17116/kardio202417041370
9. Wei L, Hu S, Gong X, Ahemaiti Y, Zhao T. Diagnosis of covert coarctation of the aorta in adolescents. *Frontiers in pediatrics*. 2023;11:1101607. https://doi.org/10.3389/fped.2023.1101607
10. Qin K, Yang J, Tang M, Iroegbu CD, Hu S, Fan C. Delayed Therapy of Descending Aortic Coarctation Results in Anterior Cerebral Rupture: A Case Report. *Frontiers in pediatrics*. 2021;9:654705. https://doi.org/10.3389/fped.2021.654705
11. Velayudhan BV, Idhrees AM. Coarctation of aorta in adults: a narrative review of surgical and endovascular management. *Journal Of Visualized Surgery*. 2021;7:17. https://doi.org/10.21037/jovs-19-196
12. Holzer RJ, Gauvreau K, McEnaney K, Watanabe H, Ringel R. Long-Term Outcomes of the Coarctation of the Aorta Stent Trials. *Circulation. Cardiovascular interventions*. 2021;14(6):e010308. https://doi.org/10.1161/CIRCINTERVENTIONS.120.010308

13. Cabrelle G, Milanesi O, Castaldi B. A case of AndraStent fracture in a patient with aortic coarctation: a review of the literature. *Cardiology in the young*. 2020;30(7):1035-1038. https://doi.org/10.1017/S1047951120001304
14. Kulyabin YY, Gorbatykh YN, Soynov IA, Nichay NR, Zubritskiy AV, Bogachev-Prokophiev AV. Double Arterial Cannulation in the Critical Management of Neonatal Aortic Arch Obstruction With Closed Ductus Arteriosus. *World J Pediatr Congenit Heart Surg*. 2019;10(1):105-108. https://doi.org/10.1177/2150135118790944
15. Vasile CM, 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. *Journal of Clinical Medicine*. 2023; 12(23):7350. https://doi.org/10.3390/jcm12237350
16. Сойнов И.А., Хапаев Т.С., Кулябин Ю.Ю., Войтов А.В. Атрезия дуги аорты у 11-летнего пациента. *Кардиология и сердечно-сосудистая хирургия*. 2020;13(3):258-261. Soynov IA, Khapaev TS, Kulyabin YuYu, Voitov AV. Aortic arch atresia in an 11-year-old patient. *Russian Journal of Cardiology and Cardiovascular Surgery*. 2020;13(3):258-261. (In Russ.). https://doi.org/10.17116/kardio202013031258
17. Isselbacher EM, Preventza O, Hamilton Black J 3rd, Augoustides JG, Beck AW, Bolen MA, Braverman AC, Bray BE, Brown-Zimmerman MM, Chen EP, Collins TJ, DeAnda A Jr, Fanola CL, Girardi LN, Hicks CW, Hui DS, Schuyler Jones W, Kalahasti V, Kim KM, Milewicz DM, Oderich GS, Ogbechie L, Promes SB, Gyang Ross E, Schermerhorn ML, Singleton Times S, Tseng EE, Wang GJ, Woo YJ; Peer Review Committee Members. 2022 ACC/AHA Guideline for the Diagnosis and Management of Aortic Disease: A Report of the American Heart Association/American College of Cardiology Joint Committee on Clinical Practice Guidelines. *Circulation*. 2022;146(24):e334-e482. https://doi.org/10.1161/CIR.0000000000001106
18. Choi KH, Kim H, Sung SC, Lee HD, Ko H, Byun J-H, Kim T, Chung C. Outcomes of surgery for coarctation of the aorta based on a new classification system. *Cardiology in the Young*. 2023; 33(12):2644-2648. https://doi.org/10.1017/S104795112300104X
19. Dias MQ, Barros A, Leite-Moreira A, Miranda JO. Risk Factors for Recoarctation and Mortality in Infants Submitted to Aortic Coarctation Repair: A Systematic Review. *Pediatric cardiology*. 2020;41(3):561-575. https://doi.org/10.1007/s00246-020-02319-w
20. Al-Dairy A. Long-term outcomes of surgical repair of isolated coarctation of the aorta in different age groups. *BMC Surgery*. 2023;23(1):120. https://doi.org/10.1186/s12893-023-02031-5
21. Olayiwola A, Hara N, Yates M, Lopez-Marco A. Case series: surgery for complications following aortic coarctation repair. *Journal Of Visualized Surgery*. 2023;9:50. https://doi.org/10.21037/jovs-23-12
22. Rajbanshi BG, Joshi D, Pradhan S, Gautam NC, Timala R, Shakya U, Sharma A, Biswakarma G, Sharma J. Primary surgical repair of coarctation of the aorta in adolescents and adults: intermediate results and consequences of hypertension. *European Journal of Cardio-Thoracic Surgery*. 2019;55(2):323-330. https://doi.org/10.1093/ejcts/ezy228
23. Panzer J, Bové T, Vandekerckhove K, De Wolf D. Hypertension after coarctation repair-a systematic review. *Translation Pediatrics*. 2022;11(2):270-279. https://doi.org/10.21037/tp-21-418
24. Ylinen MK, Pihkala JI, Salminen JT, Sarkola T. Predictors of blood pressure and hypertension long-term after treatment of isolated coarctation of the aorta in children-a population-based study. *Interactive CardioVascular and Thoracic Surgery*. 2022;35(3):ivac212. https://doi.org/10.1093/icvts/ivac212
25. Soynov I, Sinelnikov Y, Gorbatykh Y, Omelchenko A, Kornilov I, Nichay N, Bogachev-Prokophiev A, Karaskov A. Modified reverse aortoplasty versus extended anastomosis in patients with coarctation of the aorta and distal arch hypoplasia. *European journal of cardio-thoracic surgery: official journal of the European Association for Cardio-thoracic Surgery*. 2018;53(1):254-261. https://doi.org/10.1093/ejcts/ezx249
26. Sandoval JP, Kang SL, Lee KJ, Benson L, Asoh K. Chaturvedi RR. Balloon Angioplasty for Native Aortic Coarctation in 3- to 12-Month-Old Infants. Circulation. *Cardiovascular interventions*. 2020;13(11):e008938. https://doi.org/10.1161/CIRCINTERVENTIONS.120.008938
27. Boe BA, Armstrong AK, Janse SA, Loccoh EC, Stockmaster K, Holzer RJ, Cheatham SL, Cheatham JP, Berman DP. Percutaneous Implantation of Adult Sized Stents for Coarctation of the Aorta in Children⩽20 kg: A 12-Year Experience. Circulation. *Cardiovascular interventions*. 2021;14(2):e009399. https://doi.org/10.1161/CIRCINTERVENTIONS.120.009399
28. Colle A, Enciso SK, Brunee L, Sluysmans T, Kefer J, Astarci P, Lacroix V, Elens M. Aortic Coarctation Stenting in Adolescents and Adults: A Single-Center Experience. *Vascular and endovascular surgery*. 2023;57(8):863-868. https://doi.org/10.1177/15385744231183476
29. Pieper T, Latus H, Schranz D, Kreuder J, Reich B, Gummel K, Hudel H, Voges I. Aortic elasticity after aortic coarctation relief: comparison of surgical and interventional therapy by cardiovascular magnetic resonance imaging. *BMC Cardiovascular Disorders*. 2019;19(1):286. https://doi.org/10.1186/s12872-019-01270-w
30. Yılmazer MM, Vuran G, Meşe T, Güven B, Zihni C, Gerçeker E, Doğan E, Murat M, Karahan C, Karagöz U, Karaçelik M. Endovascular treatment of aortic coarctation with a novel BeGraft aortic stent in children and young adults: a single-centre experience with short-term follow-up results. *Cardiology in the young*. 2022;32(3):451-458. https://doi.org/10.1017/S1047951121002389
31. Barış VÖ, Poyraz F, Kaya EE. Novel Technique to Percutaneous Stent Implantation for Coarctation of the Aorta: Safari Wire Pacing. *Anatolian journal of cardiology*. 2024;28(1):E3-E5. https://doi.org/10.14744/AnatolJCardiol.2023.3786
32. Sonawane BS, Pavithran S, Sivakumar K. Endovascular treatment of acquired atheromatous postsubclavian aortic coarctation. *Texas Heart Institute Journal*. 2021;48(5):e207270. https://doi.org/10.14503/THIJ-20-7270
33. Сойнов И.А., Архипов А.Н., Кулябин Ю.Ю., Горбатых 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. Soynov IA, Arhipov AN, Kulyabin YuYu, Gorbatyh YuN, Kornilov IA, Omelychenko AYu, Bogachev-Prokofyev AV. Arterial hypertension in children after aortic coarctation repair: current challenges for diagnostics and treatment. *Patologiya krovoobrashcheniya i kardiokhirurgiya*. 2018;22(4):21-34. (In Russ.). https://doi.org/10.21688/1681-3472-2018-4-21-34
34. Siersma C, Brouwer CNM, Sojak V, Ten Harkel ADJ, Roeleveld PP. Treatment of Post-Coarctectomy Hypertension With Labetalol—A 9-Year Single-Center Experience. *World Journal for Pediatric and Congenital Heart Surgery*. 2022;13(6):701-706. https://doi.org/10.1177/21501351221111797
35. Ağbaş A, Gökalp S, Canpolat N, Çalışkan S, Öztunç F. Is the burden of late hypertension and cardiovascular target organ damage

in children and adolescents with coarctation of the aorta after early successful repair different to healthy controls? *Cardiology in the Young*. 2020;30(9):1305-1312. https://doi.org/10.1017/S104795112000205X

36. Zhang W, Schneider M, Zartner P. Follow-up of hypertension after aortic coarctation stent implantation based on safe and effective re-intervention: a retrospective cohort study. *Journal of thoracic disease*. 2022;14(10):3924-3933. https://doi.org/10.21037/jtd-22-1134
37. Kynes JM, Shotwell MS, Walters CB, Bichell DP, Christensen JT, Hays SR. Epidurals for Coarctation Repair in Children Are Associated with Decreased Postoperative Anti-Hypertensive Infusion Requirement as Measured by a Novel Parameter. The Anti-Hypertensive Dosing Index. *Children*. 2019;6(10):112. https://doi.org/10.3390/children6100112
38. Kasar T, Erkut O, Tanidir IC, Şahin M, Topkarci MA, Guzeltas A. Balloon-expandable stents for native coarctation of the aorta in children and adolescents. *Medicine*. 2022;101(51):e32332. https://doi.org/10.1097/MD.0000000000032332
39. Sadeghipour P, Mohebbi B, Firouzi A, Khajali Z, Saedi S, Shafe O, Pouraliakbar HR, Alemzadeh-Ansari MJ, Shahdi S, Samiei N, Sadeghpour A, Babaei M, Ghadrdoost B, Afrooghe A, Rokni M, Dabbagh Ohadi MA, Hosseini Z, Abdi S, Maleki M, Bassiri HA, Haulon S, Moosavi J. Balloon-Expandable Cheatham-Platinum Stents Versus Self-Expandable Nitinol Stents in Coarctation of Aorta: A Randomized Controlled Trial. *JACC: Cardiovascular Interventions*. 2022;15(3):308-317. https://doi.org/10.1016/j.jcin.2021.11.025
40. Goodarzi Ardakani V, Goordoyal H, Ordonez MV, Sophocleous F, Curtis S, Bedair R, Caputo M, Gambaruto A, Biglino G. Isolating the Effect of Arch Architecture on Aortic Hemodynamics Late After Coarctation Repair: A Computational Study. *Frontiers in cardiovascular medicine*. 2022;9:855118. https://doi.org/10.3389/fcvm.2022.855118
41. Сойнов И.А., Горбатых 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. Soynov IA, Gorbatykh YuN, Rzaeva KA, Kulyabin YuYu, Nichay NR, Voitov AV, Velyukhanov IA, Arkhipov AN, Bogachev-Prokophiev AV, Chernyavsky AM. 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
42. Ylinen MK, Pihkala JI, Salminen JT, Sarkola T. Predictors of blood pressure and hypertension long-term after treatment of isolated coarctation of the aorta in children-a population-based study. *Interactive cardiovascular and thoracic surgery*. 2022;35(3):ivac212. https://doi.org/10.1093/icvts/ivac212
43. Jata B, Jahollari A, Kojqiqi A, Huti G. Coarctation of Aorta and Post-Stenotic Dissecting Aortic Aneurysm Successfully Treated with Endovascular Stent. *International medical case reports journal*. 2020;13:367-370. https://doi.org/10.2147/IMCRJ.S267692
44. De León LE, McKenzie ED. Aortic Arch Advancement and Ascending Sliding Arch Aortoplasty for Repair of Complex Primary and Recurrent Aortic Arch Obstruction. Seminars in thoracic and cardiovascular surgery. *Pediatric cardiac surgery annual*. 2017;20:63-66. https://doi.org/10.1053/j.pcsu.2016.09.007
45. Meijs TA, Minderhoud SCS, Muller SA, de Winter RJ, Mulder BJM, van Melle JP, Hoendermis ES, van Dijk APJ, Zuithoff NPA, Krings GJ, Doevendans PA, Witsenburg M, Roos-Hesselink JW, van den Bosch AE, Bouma BJ, Voskuil M. Cardiovascular Morbidity and Mortality in Adult Patients With Repaired Aortic Coarctation. *Journal of the American Heart Association*. 2021;10(22):e023199. https://doi.org/10.1161/JAHA.121.023199
46. Somers T, Nies HMJM, van Kimmenade RRJ, Bosboom DGH, Geuzebroek GSC, Morshuis WJ. Necessity of life-long follow-up after surgery for coarctation of the aorta: a case series of very late false aneurysm formation. *European heart journal. Case reports*. 2022;6(2):ytac073. https://doi.org/10.1093/ehjcr/ytac073
47. Alkashkari W, Al-Husayni F, Alfouti M, Alsofyani R, Alfawaz S. Endovascular Treatment for Pseudoaneurysms After the Surgical Repair of Aortic Coarctation. *Cureus*. 2020;12(7):e8978. https://doi.org/10.7759/cureus.8978

Поступила/Received 13.06.2024
Принята к печати/Accepted 17.10.2024