



Сердце и сосуды | Heart and vessels

ISSN 1607-0763 (Print); ISSN 2408-9516 (Online)

<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1325>

Возможности современных методов лучевой диагностики в определении и предоперационном планировании коарктации аорты у детей до года и младшей возрастной группы

© Хасанова К.А.^{1, 2*}, Терновой С.К.^{2, 3}, Абрамян М.А.^{1, 4}

¹ ГБУЗ города Москвы "Морозовская детская городская клиническая больница ДЗ города Москвы"; 119049 Москва, 4-й Добрынинский пер., д. 1/9, Российская Федерация

² ФГАОУ ВО Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет); 119991 Москва, ул. Трубецкая, д. 8, стр. 2, Российская Федерация

³ ФГБУ "НМИЦ кардиологии имени академика Е.И. Чазова" Минздрава России; 121552 Москва, ул. Академика Чазова, д. 15а, Российская Федерация

⁴ ФГАОУ ВО "Российский университет дружбы народов" Минобрнауки России; 117198 Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6, Российская Федерация

Цель исследования: оценить диагностическую эффективность современных методов диагностики: ЭхоКГ, КТ и МРТ сердца в выявлении и хирургическом планировании коррекции коарктации аорты (КоАо) у детей до года и младшей возрастной группы.

Материал и методы. В исследование включен 101 ребенок в возрасте от 0 до 5 лет. Всем детям проведено ЭхоКГ, 98 пациентам – КТ сердца, 30 – МРТ сердца. При интерпретации результатов ЭхоКГ, КТ и МРТ сердца осуществлялись анализ и морфометрия всех отделов аорты, проводилась оценка наличия сопутствующих аномалий: aberrantная правая подключичная артерия, септальные дефекты, открытый артериальный проток, патология брахиоцефальных сосудов (БЦС) и сопутствующая гипоплазия дуги аорты.

Результаты. Диагностическая точность ЭхоКГ, КТ и МРТ сердца в определении КоАо у детей до года и младшей возрастной группы составили 89,1, 95,9, 86,7% соответственно. В определении патологии БЦС, aberrantной правой подключичной артерии и гипоплазии дуги точность ЭхоКГ составила 84, 93 и 85,3% соответственно. Информативность КТ в определении патологии БЦС, aberrantной правой подключичной артерии и гипоплазии дуги составила 100, 100 и 98% соответственно. Точность кардио-МРТ в определении патологии БЦС, aberrantной правой подключичной артерии и гипоплазии дуги составила 97,1, 98,4 и 96,8% соответственно.

Заключение. ЭхоКГ, будучи широкодоступным и безопасным методом, имеет высокую диагностическую ценность в диагностике КоАо, однако ввиду ограничений в визуализации всех отделов дуги аорты и выявления сопутствующих экстракардиальных аномалий не может быть окончательным при планировании коррекции КоАо у маленьких детей. КТ и МРТ сердца наравне с ЭхоКГ являются эффективными методами в диагностике локального сужения аорты, однако в оценке экстракардиальных аномалий одинаково показывают достоверно более точный результат.

Проведение МРТ сердца у детей до года и младшей возрастной группы сопряжено с техническими сложностями и необходимостью более длительного пребывания в наркозе. Учитывая отсутствие дополнительной диагностически значимой информации в сравнении с КТ сердца, кардио-МРТ не является методом выбора в первичной диагностике и предоперационном планировании коррекции КоАо у детей до года и младшей возрастной группы, требующих применения анестезиологического пособия на время сканирования.

Ключевые слова: врожденные пороки сердца, ВПС, ЭхоКГ, КТ сердца, кардио-МРТ, МРТ сердца, новорожденные, дети, младшая возрастная группа, коарктация аорты, КоАо

Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.

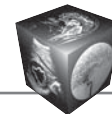
Для цитирования: Хасанова К.А., Терновой С.К., Абрамян М.А. Возможности современных методов лучевой диагностики в определении и предоперационном планировании коарктации аорты у детей до года и младшей возрастной группы. *Медицинская визуализация*. 2023; 27 (4): 56–67.

<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1325>

Поступила в редакцию: 25.01.2023.

Принята к печати: 08.03.2023.

Опубликована online: 30.09.2023.



The possibilities of modern radiological modalities in aortic coarctation diagnosis and preoperative planning in infants and young age group children

© Ksenia A. Khasanova^{1, 2*}, Sergey K. Ternovoy^{2, 3}, Mikhail A. Abramyan^{1, 4}

¹ Morozov Children's Clinical Hospital; 1/9, 4 Dobryninsky per., Moscow 119049, Russian Federation

² I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University); 8, bld. 2, Trubetskaya str., Moscow 119991, Russian Federation

³ National medical research centre of cardiology named after academician E.I. Chazov of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation; 15a, Academician Chazov str., Moscow 121552, Russian Federation

⁴ The Peoples' Friendship University of Russia; 6, Miklukho-Maklay str., Moscow 117198, Russian Federation

Objective. Evaluation of diagnostic value of modern imaging modalities: trans-thoracic echocardiography (TTE), CT-angiography (CTA) and cardio-MRI in diagnosis and preoperative planning of aortic coarctation correction (CoA) in infants and young age group children.

Materials and methods. 101 pediatric patients (aged 0 to 5 years) with CoA underwent TTE, 98 of them underwent CT, 30 – cardio MRI. On TTE, CTA and cardio-MRI aorta morphometry was performed. The most common anomalies associated with CoA (ventricular septal defect (VSD), patent ductus arteriosus (PDA), aberrant right subclavian artery (ARSA), hypoplastic arch and brachiocephalic vessels anomalies) were assessed.

Results. The overall diagnostic accuracy of TTE, CT and cardiac-MRI in diagnosis of CoA were 89.1%, 95.9%, 86.7% respectively. There was no significant difference in the accuracy in detecting CoA between TTE, CT and MRI ($p > 0.05$). The accuracy of TTE in determining the brachiocephalic vessels anomalies, ARSA and arch hypoplasia was 84%, 93% and 85.3%, respectively. The accuracy of CT in determining the brachiocephalic vessels anomalies, ARSA and arch hypoplasia was 100%, 100% and 98% and cardio-MRI: 97.1%, 98.4% and 96.8%, respectively.

Conclusion. TTE is a widely available and safe method, it has a high diagnostic value in determining CoA. Due to limitations in visualization of all parts of the aortic arch and the detection of concomitant anomalies, TTE cannot be the final method in planning the CoA correction. CT and MRI of the heart, as a TTE, are effective methods in the diagnosis of CoA, however, in the assessment of extracardiac anomalies, they equally show a significantly more accurate result.

Taking into account the difficulties in conducting MRI of the heart in children under one year and younger age group, the need for a longer stay in anesthesia, the lack of additional diagnostically significant information in comparison with CT of the heart, cardio-MRI is not the method of choice in the primary diagnosis and preoperative planning of correction of CoA in children under one year and younger age group requiring the use of an anesthetic aid for the duration of the scan. Cardio-MRI may be the method of choice in preoperative planning of CoA in small children with absolute contraindications to the radiocontrast agent.

Keywords: trans-thoracic echocardiography, TTE, cardio-CT, cardio-MRI, aortic coarctation, CoA, children, congenital heart diseases., newborns, younger age group, aortic coarctation

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest. The study had no sponsorship.

For citation: Khasanova K.A., Ternovoy S.K., Abramyan M.A. The possibilities of modern radiological modalities in aortic coarctation diagnosis and preoperative planning in infants and young age group children. *Medical Visualization*. 2023; 27 (4): 56–67. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1325>

Received: 25.01.2023.

Accepted for publication: 08.03.2023.

Published online: 30.09.2023.

Введение

Коарктация аорты (КоАо) – локальное сужение просвета нисходящей части грудной аорты. У новорожденных и детей младшего возраста КоАо, как правило, локализована на границе дуги и нисходящего отдела аорты в области открытого артериального протока (ОАП) – юктадуктальный тип или до ОАП – предуктальный тип. Локальное сегментарное сужение аорты дистальнее ОАП (пост-

дуктальный тип) у новорожденных и детей младшего возраста встречается редко [1]. КоАо встречается в 2–5 случаях на 10 000 живорожденных детей и является второй по частоте (после стеноза аортального клапана) обструктивной аномалией левых отделов сердца [2, 3].

У новорожденных детей КоАо в большинстве случаев является критическим пороком с дуктус-зависимой (зависящей от функционирования



ОАП) гемодинамикой и высокой смертностью. По мере закрытия ОАП дуктусзависимая гемодинамика в первую очередь характеризуется дефицитом кровотока в бассейне нисходящей аорты, первостепенно влияющим на функцию почек и желудочно-кишечного тракта с последующим развитием полиорганной недостаточности [4].

Тяжесть состояния детей с КоАо с системной гемодинамикой, не зависящей от функционирования ОАП, определяется признаками сердечной недостаточности. Данный вид КоАо в большей степени характерен для детей более старшего возраста, и в группе новорожденных детей встречается реже [4].

В современной практике ведения детей с КоАо используется широкий спектр методов визуализации, направленный как на выявление сегментарного сужения аорты, так и на детализированную оценку интра- и экстракардиальных структур и наличия сопутствующих аномалий, определяющих возможность выбора технической реализации вида хирургической коррекции.

Основными требованиями к методам визуализации в диагностике врожденных пороков сердца (ВПС) у детей являются безопасность, неинвазивность и высокая точность.

Эхокардиография (ЭхоКГ) является наиболее широко используемым и инициальным методом диагностики ВПС у детей до года и младшей возрастной группы за счет высокой диагностической эффективности, безопасности и доступности методики. При условии проведения исследования опытным врачом ЭхоКГ заявляется рядом зарубежных авторов как “золотой стандарт” диагностики и предоперационного планирования коррекции КоАо у маленьких детей, не требующий каких-либо дополнительных инструментов визуализации [5, 6].

Несмотря на высокую точность ЭхоКГ, развитие томографических методик – КТ и МРТ сердца с современными возможностями реконструкции изображений обуславливает их активное использование на этапе предоперационного планирования у детей всех возрастных групп с КоАо.

Основными ограничениями широкого использования томографических методик у детей до года и младшей возрастной группы являются необходимость применения анестезиологического пособия во время исследования, отсутствие стандартизированных протоколов сканирования маленьких детей в условиях пребывания в медикаментозной седации, сопровождающейся высокой частотой сердечных сокращений (ЧСС) и частым поверхностным дыханием, и потребность

в использовании контрастных веществ при проведении КТ сердца.

В настоящее время у новорожденных, младенцев и детей младшей возрастной группы КТ сердца с болюсным контрастированием используется чаще, чем кардио-МРТ, ввиду более высокой доступности методики, менее длительного времени сканирования и пребывания в наркозе, что определяет возможность проведения исследования у детей в критическом состоянии [6, 7].

Учитывая высокие диагностические возможности и широкую доступность ЭхоКГ, наличие ограничений и относительные технические сложности в проведении томографических методов визуализации, высказываются различные точки зрения по поводу целесообразности и показаний к проведению КТ и МРТ сердца у детей с КоАо до года и младшей возрастной группы на этапе предхирургического планирования [7, 8].

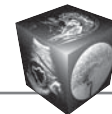
Цель исследования: определить диагностические возможности ЭхоКГ, КТ и МРТ сердца в выявлении и хирургическом планировании коррекции КоАо у детей до года и младшей возрастной группы.

Материал и методы

В исследование включен 101 пациент в возрасте от 0 до 5 лет с входящим клиническим диагнозом: коарктация аорты.

Все дети с клиническим диагнозом КоАо до выполнения КТ и МРТ сердца были обследованы по общеклинической схеме, принятой в ГБУЗ “Морозовская ДГКБ ДЗ города Москвы” для ведения пациентов с ВПС, которая из инструментальных методов диагностики включает в себя проведение ЭхоКГ и рентгенографии органов грудной клетки. В рамках предоперационного планирования для уточнения морфологических особенностей порока и анатомии интра- и экстракардиальных структур 98 детям была выполнена КТ сердца с внутривенным контрастным усилением, 30 пациентам была проведена МРТ сердца. Введение контрастного препарата при проведении МРТ выполнялось только 2 пациентам с сомнительными результатами на нативных МР-сериях. Ограничением в проведении МРТ новорожденным и детям до года с дуктусзависимой гемодинамикой и критическим сужением аорты была тяжесть общего состояния и большие риски при более длительном пребывании в наркозе.

ЭхоКГ выполняли на ультразвуковом аппарате фирмы GE ViVid E95 и Philips iE33 xMatrix с использованием секторных поличастотных датчиков с частотой 3–8 МГц. Исследование включало про-



токолы двухмерной ЭхоКГ, доплерографии и цветное доплеровское картирование (ЦДК).

КТ сердца была проведена у 98 из 101 пациента, исследование выполнялось на фоне общей медикаментозной седации.

КТ сердца проводили на 256-срезовом компьютерном томографе Philips Brilliance iCT с шириной детектора 8 см, по протоколам с и без кардиосинхронизации. Использовали толщину реконструируемых срезов 0,625 и 1,5 мм. В качестве контрастного вещества применяли неионный низкоосмолярный контрастный препарат Ультравист-350, внутривенное введение осуществляли с помощью двухколбового шприца-инжектора в объеме 1,5–2 мл/кг со скоростью 0,4–1,5 мл/с. Постпроцессорная обработка выполнялась на мультимодальных рабочих станциях с построением трехмерных реконструкций.

МРТ сердца была проведена 30 пациентам, исследование выполнялось на фоне анестезиологического пособия. МР-сканирование проводили на высокопольном МР-томографе Philips Ingenia базовой комплектации с напряженностью магнитного поля 1,5 Тл с использованием кардиопакета для сканирования и дальнейшей обработки данных. Для морфометрии грудной аорты и оценки ее анатомии использовались импульсные последовательности на основе градиент-эхо с синхронизацией по сигналу ЭКГ (балансированное градиентное эхо с инверсией – BTFE-последовательность) и синхронизацией с дыханием. Планирование геометрии плоскости исследования проводилось по трем точкам с размещением их над аортальным клапаном, в центре дуги аорты и на нисходящем отделе грудной аорты. При необходимости оценки морфологии и функции сердца срезы ориентировали в трех стандартных плоскостях и в плоскостях, аналогичных эхографическим проекциям: двух- и четырехкамерным. При клинической необходимости для оценки структуры миокарда и при получении неоднозначных результатов в оценке анатомии дуги аорты на нативных сериях использовали болюсное внутривенное контрастирование. В качестве контрастного препарата применяли парамагнитный контрастный препарат на основе гадолиния Гадовист, введение осуществляли с помощью автоматического двухколбового шприца-инжектора в объеме 0,05–0,2 ммоль/кг со скоростью до 0,5–2 мл/с.

При проведении ЭхоКГ, КТ и МРТ сердца осуществлялись и морфометрия всех отделов аорты, анализ анатомических структур сердца и его магистральных сосудов. Проводилась оценка наличия сочетанных внутрисердечных и сосудистых аномалий, влияющих на тактику хирургического лече-

ния. Анализировалась способность каждой методики выявлять сопутствующую гипоплазию дуги аорты, aberrантную правую подключичную артерию, аномалии брахиоцефальных сосудов (БЦС), септальные дефекты (дефекты межжелудочковой и межпредсердной перегородок) и наличие ОАП.

В определении КоАо значимым сужением считали уменьшение диаметра перешейка аорты по шкалам Z-scores калькулятора [9]. За КоАо принималось отклонение от нормальных значений –2,5 и ниже.

В определении сопутствующей гипоплазии дуги аорты считали уменьшение диаметра проксимальной и/или дистальной части дуги аорты по шкалам Z-scores калькулятора: за гипоплазию дуги принималось отклонение в диапазоне от –2,0 до –2,5.

Все данные ЭхоКГ, КТ и МРТ сердца были сопоставлены с результатами ангиографии или интраоперационными данными.

Результаты

В оценке диагностической эффективности все три метода ЭхоКГ, КТ и МРТ имели высокие показатели диагностической точности в определении наличия сегментарного сужения аорты.

Из 101 пациента ЭхоКГ показала корректный диагностический результат у 90 детей, из них истинно положительный результат – у 81 ребенка (рис. 1а, 2а), истинно отрицательный – у 9. Диагностическая точность метода составила 89,1%, чувствительность и специфичность – 92,0, 69,2% соответственно, значение AUC = 80,67%. Ложноотрицательные (ЛО) результаты были у 4 детей до года: у 2 детей из-за врожденной деформации дуги аорты (удлиненная, деформированная дуга) и у 2 пациентов ввиду неадекватного акустического окна за счет врожденной лобарной эмфиземы и кистозной аденоматозной трансформации легкого. У детей старше года было 3 ошибочно диагностированных КоАо из-за ограничений в акустическом окне. Случаи гипердиагностики по ЭхоКГ были у 3 новорожденных детей с физиологической гипоплазией дуги, морфометрические показатели которой при закрытии ОАП восстанавливались до нормальных значений и один ложноположительный (ЛП) результат был у ребенка 4 лет с кинкингом дуги аорты (рис. 3а).

КТ сердца показала себя как эффективный метод в корректной постановке диагноза у детей с подозрением на КоАо в 94 из 98 случаев (рис. 1б). Диагностической разницы КТ протоколов с и без ЭКГ-синхронизации в определении КоАо не было. Диагностическая точность, чувствительность и специфичность метода составили 95,9, 97,6 и 84,6%

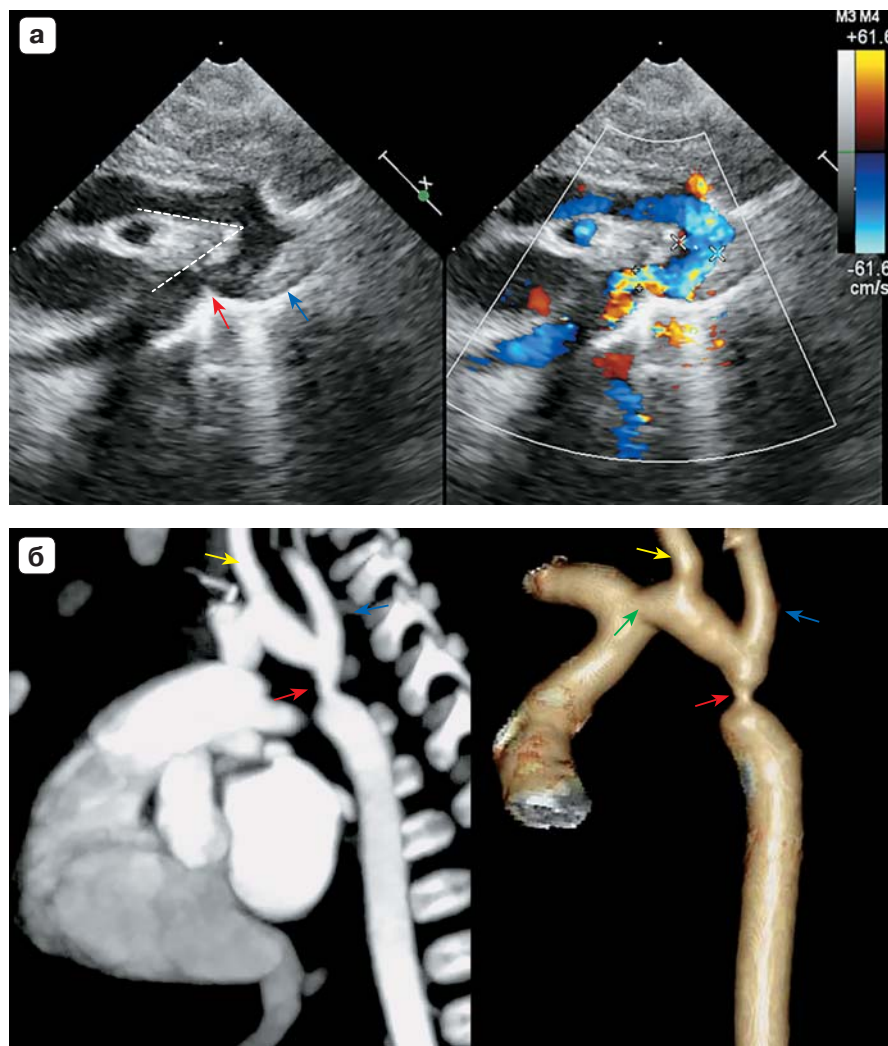


Рис. 1. Визуализация готической дуги аорты с предуктальной коарктацией методами ЭхоКГ с ЦДК (а) и КТ сердца (б). а – пациент А., 11 дней. При проведении ЭхоКГ из супрастеральной позиции выведена дуга аорты, выполнена морфометрия всех ее отделов, визуализирована деформация дуги с формированием острого угла между восходящей и нисходящей аортой – готическая дуга (белая пунктирная линия), визуализирована левая подключичная артерия (синяя стрелка). Определена КоАо (красная стрелка), локализованная после отхождения левой подключичной артерии. Диаметр аорты на уровне сужения до 2 мм (Z-score –4,83). При проведении ЦДК отмечается ускорение кровотока на уровне сужения. В рамках предоперационного планирования ребенку выполнено КТ сердца; б – тот же пациент. КТ сердца в условиях медикаментозной седации с болюсным контрастированием, без ЭКГ-синхронизации, артериальная фаза, кососагиттальная плоскость, режимы MIP и 3D-реконструкции. По данным КТ КоАо (красная стрелка) локализована после отхождения левой подключичной артерии (синяя стрелка). Диаметр аорты на уровне сужения 1,7 мм (Z-score –4,87). Также визуализированы брахиоцефальный ствол (зеленая стрелка), левая общая сонная артерия (желтая стрелка) и левая подключичная артерия (синяя стрелка).

Fig. 1. Visualization of the gothic aortic arch with preductal coarctation using TTE with color Doppler (a) and CT of the heart (b). a – patient A., 11 days old. On TTR, the aortic arch was viewed from the suprasternal position, morphometry of all its parts was performed, deformation of the arch was visualized with the formation of an acute angle between the ascending and descending parts – the gothic arch (white dotted line), the left subclavian artery was visualized (blue arrow). Defined CoA (red arrow), localized after the left subclavian artery. Aortic diameter at the narrowing level was up to 2 mm (Z-score –4.83). On color Doppler an acceleration of blood flow at the level of constriction is noted. As part of preoperative planning, the child underwent cardiac CT; b – the same patient. Age 12 days. Cardiac CT under general anesthesia, with bolus contrast enhancement, non-ECG gated, arterial phase, oblique-sagittal plane, MIP and 3D reconstruction modes. According to CT, CoA (red arrow) is localized after the left subclavian artery originated (blue arrow). The aortic diameter at the level of constriction was 1.7 mm (Z-score –4.87). The brachiocephalic trunk (green arrow), left common carotid artery (yellow arrow), and left subclavian artery (blue arrow) are also visualized.

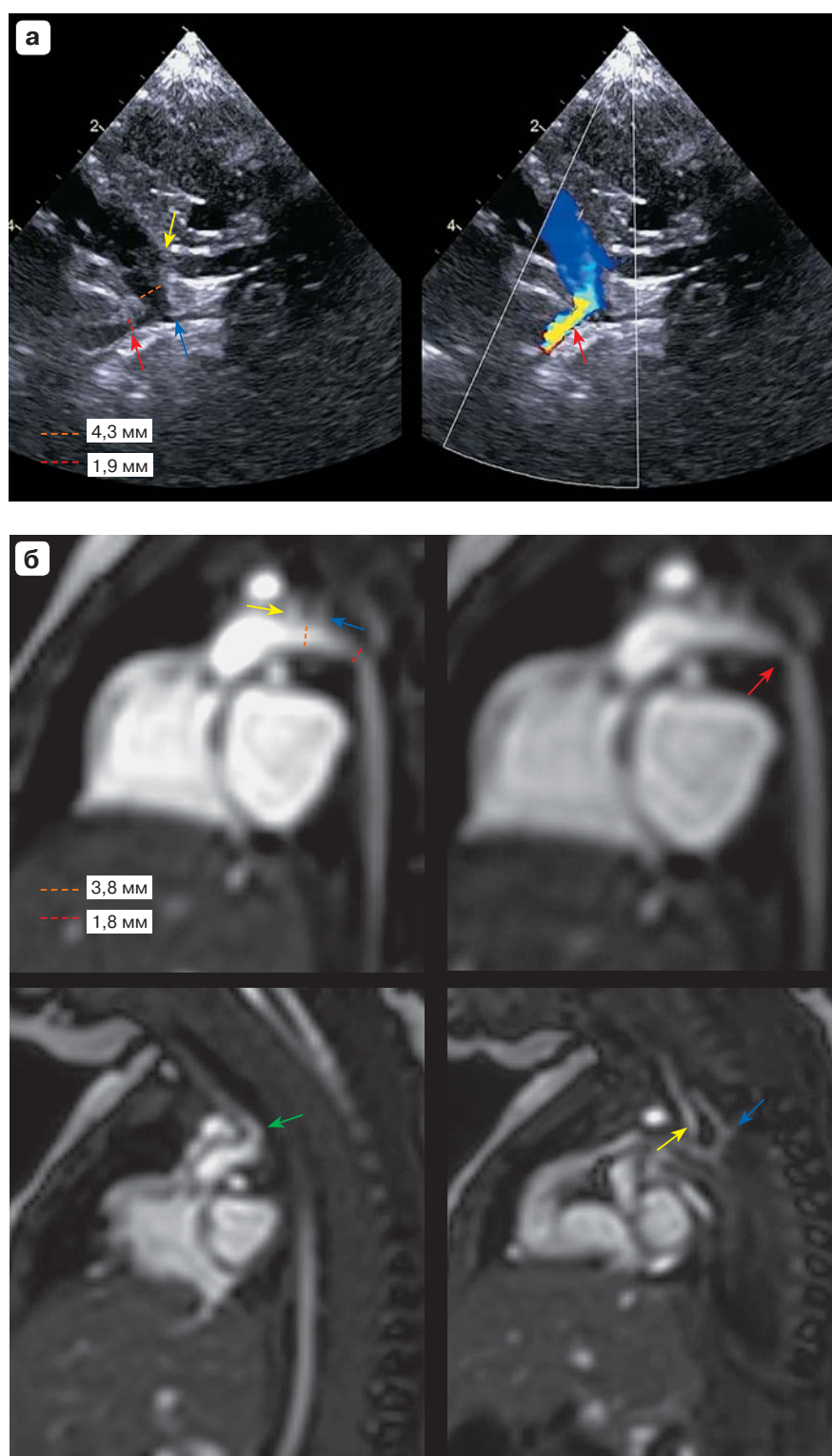
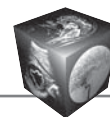


Рис. 2. Визуализация коарктации аорты и гипоплазии дуги методами ЭхоКГ с ЦДК (а) и МРТ (б).

Fig. 2. Visualization of aortic coarctation and arch hypoplasia by TTE with color Doppler mapping (a) and MRI (б).



Рис. 2. Визуализация коарктации аорты и гипоплазии дуги методами ЭхоКГ с ЦДК (а) и МРТ (б).

а – пациент Д., 15 дней. При плановом проведении ЭхоКГ из супрастеральной позиции выведена дуга аорты, выполнена морфометрия всех ее отделов (диаметр дистальной части дуги до 4,3 мм, Z score –1,92), визуализированы левая общая сонная артерия (желтая стрелка) и левая подключичная артерия (синяя стрелка). Определено локальное сегментарное сужение аорты до 1,5 мм (красная стрелка), Z-score –5,92, локализованное после отхождения левой подключичной артерии. В рамках предоперационного планирования выполнена кардио-МРТ; **б** – тот же пациент. Кардио-МРТ в условиях медикаментозной седации с ЭКГ-синхронизацией и синхронизацией по дыханию, кососагиттальная плоскость, режим BTFE. Визуализированы брахиоцефальный ствол (зеленая стрелка), левая общая сонная артерия (желтая стрелка) и левая подключичная артерия (синяя стрелка). По данным кардио-МРТ определена сопутствующая гипоплазия дуги аорты (диаметр дистальной части дуги аорты до 3,8 мм, Z-score –2,73). КоАо (красная стрелка) локализована дистальнее отхождения левой подключичной артерии (синяя стрелка). Диаметр аорты на уровне сужения до 1,8 мм, Z-score –5,97.

Fig. 2. Visualization of aortic coarctation and arch hypoplasia by TTE with color Doppler mapping (a) and MRI (б).

а – patient D., 15 days old. On the TTE, the aortic arch was viewed from the suprasternal position, morphometry of all its part was performed (the diameter of the distal part of the arch was up to 4.3 mm, Z score –1.92), the left common carotid artery (yellow arrow) and the left subclavian artery were visualized (blue arrow). Local segmental narrowing of the aorta localized after the left subclavian artery was determined (red arrow) – diameter was up to 1.5 mm, Z-score –5.92. As part of preoperative planning, cardio-MRI was performed;

б – the same patient. Cardio-MRI under medical sedation, with ECG and respiratory gating, oblique-sagittal plane, BTFE mode. Visualized brachiocephalic trunk (green arrow), left common carotid artery (yellow arrow) and left subclavian artery (blue arrow). Cardio-MRI revealed concomitant hypoplasia of the aortic arch (diameter of the distal aortic arch up to 3.8 mm, Z score –2.73). CoAo (red arrow) is located distal to the origin of the left subclavian artery (blue arrow). Aortic diameter at the narrowing level up to 1.8 mm, Z-score –5.97.

Рис. 3. Кинкинг (псевдокоарктация) дуги аорты у ребенка 4 лет.

а – пациент Д., 4 года. Жалоб не предъявляет. С двух лет наблюдается по поводу ВПС – КоАо. Обратился в стационар для решения вопроса об оперативном лечении. При проведении ЭхоКГ из супрастеральной позиции выведена дуга аорты, выполнена морфометрия всех ее отделов. Определены гипоплазия дуги и перешейка, удлинение дуги аорты и извитость перешейка – кинкинг дуги аорты (белая пунктирная линия), на границе дуги и перешейка просвет аорты до 5,9 мм, Z-score – 2,59, пиковый градиент давления на перешейке до 11 мм рт.ст. – заподозрена КоАо. Визуализированы БЦС (брахиоцефальный ствол (зеленая стрелка), левая общая сонная артерия (желтая стрелка) и левая подключичная артерия (синяя стрелка)). Для решения вопроса о дальнейшей тактике ведения была выполнена КТ сердца;

б – тот же пациент, 4 года. КТ сердца в условиях медикаментозной седации с болюсным контрастированием, без ЭКГ-синхронизации, артериальная фаза, кососагиттальная плоскость, режимы MIP и 3D-реконструкции. По данным КТ выявлена протяженная гипоплазия и извитость перешейка аорты с минимальным диаметром аорты на уровне перешейка до 6,0 мм, Z-score –2,32 (красная стрелка) – трактована как КоАо. Также визуализированы брахиоцефальный ствол (зеленая стрелка), левая общая сонная артерия (желтая стрелка) и левая подключичная артерия (синяя стрелка). По данным прямой ангиографии была выявлена псевдокоарктация (кинкинг) дуги аорты с пиковым градиентом давления не более 13 мм рт.ст. Пациенту рекомендовано амбулаторное динамическое наблюдение у кардиолога для исключения развития коарктационного синдрома.

Fig. 3. Kinking (pseudocoarctation) of the aortic arch in a 4-year-old child.

а – patient D., 4 years old. Makes no complaints. From the 2 y.o. has been observed for congenital heart disease – CoA. On the TTE the aortic arch was removed from the suprasternal position, morphometry of all its part was performed. Hypoplasia of the arch and isthmus, elongation of the aortic arch and tortuosity of the isthmus were determined – kinking of the aortic arch (white dotted line), at the border of the arch and isthmus, the aortic lumen was up to 5.9 mm, Z-score – 2.59, the peak pressure gradient on the isthmus was up to 11 mm mmHg. CoA was suspected. Brachiocephalic vessels are visualized (brachiocephalic trunk (green arrow), left common carotid artery (yellow arrow) and left subclavian artery (blue arrow)). Cardiac CT scan was performed to decide on further management tactics;

б – the same patient, 4 years old. Cardiac CT under general anesthesia, with bolus contrast enhancement, without ECG gating, arterial phase, oblique-sagittal plane, MIP and 3D reconstruction modes. CT revealed extended hypoplasia and tortuosity of the isthmus of the aorta with a minimum diameter of the aorta at the level of the isthmus up to 6.0 mm, Z-score –2.32 (red arrow), interpreted as CoA. The brachiocephalic trunk (green arrow), left common carotid artery (yellow arrow), and left subclavian artery (blue arrow) are also visualized. Conventional angiography revealed pseudocoarctation (kinking) of the aortic arch with a peak pressure gradient less than 13 mm Hg. The patient is recommended for outpatient follow-up by a cardiologist to exclude the development of coarctation syndrome.

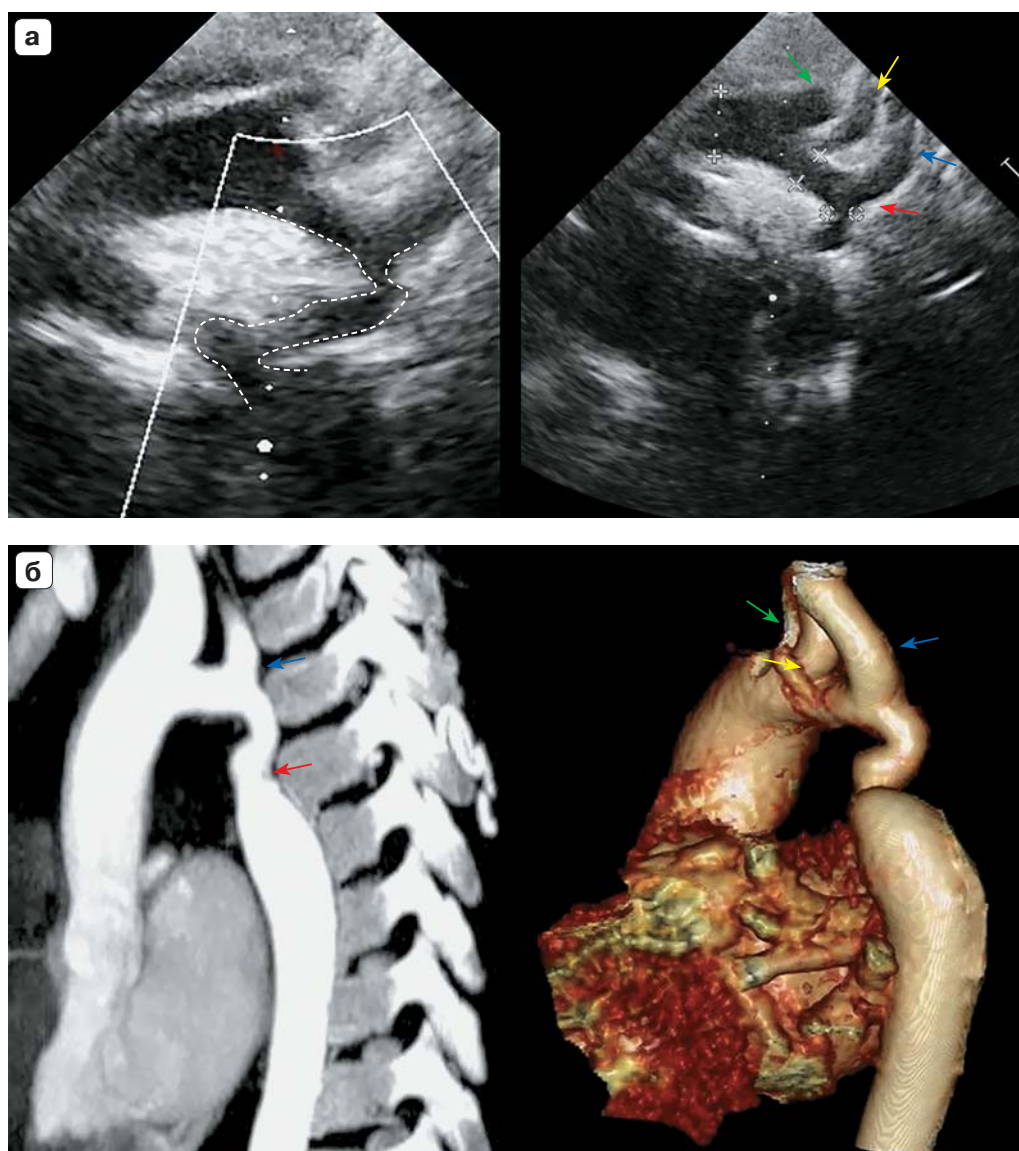
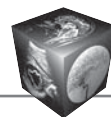


Рис. 3. Кинкинг (псевдокоарктация) дуги аорты у ребенка 4 лет.

Fig. 3. Kinking (pseudocoarctation) of the aortic arch in a 4-year-old child.



соответственно, значение $AUC = 91,13\%$. ЛО-результаты были у 3 пациентов (до года) из-за выраженных дыхательных и пульсационных артефактов. ЛП-результат по данным КТ сердца был у 1 ребенка с кинкингом дуги аорты (рис. 3б).

МРТ сердца была эффективна у 26 детей из 30 с подозрением на КоАо (рис. 2б). Диагностическая точность метода составила 86,7%. При этом чувствительность метода равна 89%, специфичность – 80,0%, $AUC 89,49\%$. Четыре ложных результата (3 ЛО и 1 ЛП) были у детей до года и ошибочно трактовались как гипоплазия дуги аорты за счет сниженного качества изображений по причине высокой ЧСС.

Наибольшую диагностическую точность в постановке диагноза КоАо продемонстрировал метод КТ сердца – 95,9%. Однако при попарном сравнении точности всех методик в выявлении локального сужения аорты статистически значимых различий получено не было ($p > 0,05$).

В предоперационном планировании и визуализации сочетанных интра- и экстракардиальных аномалий КТ, МРТ сердца и ЭхоКГ играют разную роль. Эффективность методик оценивалась только по тем сочетанным аномалиям, которые подтверждались ангиографически или интраоперационно.

Снижение диагностической ценности ЭхоКГ относительно томографических методов в предхирургическом планировании коррекции КоАо было за счет значимой разницы в показателях точности методик в определении аберрантной правой подключичной артерии, патологии БЦС и гипоплазии дуги аорты. Точность ЭхоКГ в выявлении сопутствующей гипоплазии дуги аорты, аберрантной правой подключичной артерии и патологии БЦС составила 85,3, 84 и 93% соответственно. КТ сердца показала себя как более точная методика в определении экстракардиальных аномалий по сравнению с ЭхоКГ ($p < 0,05$). Показатели диагностической точности КТ сердца у детей до года и младшей возрастной группы в определении гипоплазии дуги аорты, аберрантной правой подключичной артерии и патологии БЦС составили 98, 100 и 100% соответственно. МРТ-сердца в определении сочетанных экстракардиальных аномалий наравне с КТ показала себя как высокоточный диагностический метод. Точность кардио-МРТ в определении гипоплазии дуги аорты, аберрантной правой подключичной артерии и патологии БЦС составила 96,8, 98,4, 97,1%.

В определении септальных дефектов и ОАП протока все три методики показали себя как высокоточные, без статистически значимой разницы в полученных результатах: диагностическая точ-

ность ЭхоКГ, КТ и МРТ сердца в выявлении септальных дефектов составила 99, 94, 96% соответственно, в определении ОАП – 94, 97, 96% соответственно. Все ложные результаты были клинически незначимыми и не влияли на хирургическую тактику.

Обсуждение

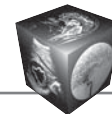
Возможность оказания помощи детям с КоАо определяется выявляемостью сегментарного сужения аорты в максимально раннем возрасте и корректным предхирургическим планированием. Очевидно, что успех хирургического лечения ребенка напрямую зависит от правильной и детальной диагностики анатомии самого порока, а также сопутствующих интра- и экстракардиальных аномалий [10].

В условиях высокой доступности различных визуализационных методов, учитывая, что большинство маленьких детей с КоАо находятся в критическом или тяжелом состоянии, вопрос о выборе наиболее оптимальной диагностической методики на разных этапах ведения пациента остается актуальным.

Единственным методом лечения КоАо у детей до года и младшей возрастной группы является хирургическая (преимущественно у детей до года) или эндоваскулярная коррекция порока (у детей от года). Для успешного хирургического лечения КоАо, помимо определения наличия и локализации суженного участка аорты, в диагностические задачи входит оценка параметров, влияющих на хирургические риски и интраоперационную тактику [11].

В связи с этим на этапе предоперационного планирования коррекции КоАо у детей важную для кардиохирурга роль играет корректное определение наиболее часто встречающихся сочетанных экстра- и интракардиальных аномалий, в части случаев требующих одномоментной коррекции или влияющих на выбор метода лечения порока и интраоперационную тактику. Наиболее часто встречающиеся сопутствующие аномалии при КоАо: гипоплазия дуги аорты, ОАП, гемодинамически значимые ДМЖП и ДМПП, наличие аберрантных подключичных артерий и патология БЦС [12].

В настоящем исследовании для определения места каждой методики в алгоритме ведения детей с КоАо до года и младшей возрастной группы была проведена оценка показателей диагностической эффективности ЭхоКГ, КТ и МРТ сердца в выявлении сегментарного сужения аорты и в корректном определении сочетанных интра- и экстракардиальных аномалий.



ЭхоКГ, будучи широкодоступным методом первой линии в диагностике патологии сердца у детей, имеет свои ограничения, к которым, помимо операторозависимости, относят влияние акустического окна, которое ухудшается по мере роста грудной клетки ребенка и при наличии тех или иных патологических процессов в легких [8]. Описанные ограничения метода коррелируют с полученными в ходе проведенного исследования данными, где большинство ошибочных результатов в визуализации КоАо были из-за ограничений в акустическом окне.

Рассчитанные параметры диагностической ценности ЭхоКГ в визуализации сегментарного сужения аорты были ниже, чем у КТ сердца, но полученная разница не была значимой ($p > 0,05$). Отсутствие диагностически значимой разницы в определении наличия КоАо между ЭхоКГ и КТ у детей до года и младшей возрастной группы подтверждается результатами исследования зарубежных коллег [13]. Высокая точность, безопасность и доступность ЭхоКГ объясняет ее применение как метода первой линии у детей с клиническим диагнозом КоАо.

В предоперационном планировании и оценке сопутствующих экстракардиальных аномалий информативность ЭхоКГ статистически значимо уступала КТ и МРТ сердца, преимущественно за счет невысокой чувствительности методики в определении гипоплазии дуги аорты – 74,4% и аномалий БЦС – 50% и низкого показателя чувствительности ЭхоКГ в выявлении aberrантной подключичной артерии – 14,3%. Выявление aberrантной подключичной артерии играет важную роль в хирургическом планировании КоАо, являясь единственным фактором операционного риска и риска развития рекоарктации при проведении резекции КоАо с расширенным анастомозом “конец в конец”. Выявление протяженной гипоплазии дуги аорты и/или патологии БЦС (отхождения брахиоцефального ствола и левой общей сонной артерии одним стволом) являются показаниями к проведению резекции КоАо с анастомозом “конец в бок”, которая требует срединной торакотомии и подключения искусственного кровообращения [12].

Преимуществом КТ сердца является получение изображений всех отделов грудной аорты, экстра- и интракардиальных структур с высоким пространственным разрешением за короткое время. Главными недостатками методики, ограничивающими ее широкое и частое использование, являются наличие лучевой нагрузки, необходимость внутривенного введения йодсодержащих рентгеноконтрастных препаратов и анестезиологичес-

кое пособие, применяемое у детей до года и младшей возрастной группы [7, 13]. Несмотря на ограничения, КТ сердца является высокоэффективным инструментом как в выявлении сегментарного сужения аорты, так и в предоперационном планировании. По результатам настоящего исследования КТ незначимо уступала ЭхоКГ и кардио-МРТ в определении септальных дефектов небольших размеров (до 3 мм), которые не требовали хирургической коррекции, но показала значимо более эффективные результаты в определении сопутствующей гипоплазии дуги, aberrантной подключичной артерии и патологии БЦС.

Кардио-МРТ в диагностике и хирургическом планировании КоАо у детей все еще остается редкой методикой. Преимуществом МРТ перед всеми иными методами визуализации является истинная полипозиционность, а не математическая реконструкция сканов в нужных плоскостях [14]. Помимо этого, МРТ не сопровождается ионизирующим излучением и, получая сигнал от тока крови, не требует внутривенного введения контрастного препарата для визуализации сосудов. Ограничения в использовании кардио-МРТ при инициальной диагностике ВПС связаны со сложностью проведения исследования у маленьких детей и его длительностью. Обоснованность и целесообразность проведения кардио-МРТ детям с ВПС, требующим обеспечения более длительного, по сравнению с КТ, анестезиологического пособия, в условиях общего тяжелого состояния ребенка остается предметом дискуссий [7].

Полученные нами результаты показали высокую диагностическую эффективность кардио-МРТ в определении КоАо, однако в сравнении с ЭхоКГ и КТ сердца информативность метода была незначимо ниже ($p > 0,05$), преимущественно за счет ошибочных результатов у детей до года с высокой ЧСС. В оценке параметров, важных для предоперационного планирования, эффективность МРТ сердца значимо не отличалась от КТ сердца, что позволяет сделать вывод об отсутствии целесообразности проведения кардио-МРТ детям с КоАо до года и младшей возрастной группы, требующей применения анестезиологического пособия во время сканирования.

Заключение

ЭхоКГ, будучи широкодоступным и безопасным методом, имеет высокую диагностическую ценность в определении наличия ВПС – КоАо, однако ввиду ограничений в детальной визуализации всех отделов дуги аорты и выявления сопутствующих экстракардиальных аномалий не может быть окончательным и предпочтительным при планирова-



нии коррекции КоАо. КТ и МРТ сердца являются высокоэффективными методиками, как в диагностике локального сужения аорты, так и в оценке анатомии дуги аорты. Учитывая сложности в проведении МРТ сердца у детей до года и младшей возрастной группы, необходимость более длительного пребывания в наркозе, отсутствие дополнительной диагностически значимой информации в сравнении с КТ сердца, кардио-МРТ при условии отсутствия абсолютных противопоказаний к использованию рентгеноконтрастных препаратов не является методом выбора в первичной диагностике и предоперационном планировании КоАо у маленьких детей, требующих использования анестезиологического пособия на время сканирования.

Участие авторов

Хасанова К.А. – концепция и дизайн исследования, проведение исследования, сбор и обработка данных, обзор публикаций по теме статьи, статистическая обработка данных, анализ и интерпретация полученных данных, написание текста, подготовка и редактирование текста, подготовка, создание опубликованной работы, ответственность за целостность всех частей статьи.

Терновой С.К. – участие в научном дизайне, утверждение окончательного варианта статьи.

Абрамян М.А. – участие в научном дизайне, утверждение окончательного варианта статьи.

Authors' participation

Khasanova K.A. – concept and design of the study, conducting research, collection and analysis of data, review of publications, statistical analysis, analysis and interpretation of the obtained data, writing text, text preparation and editing, preparation and creation of the published work, responsibility for the integrity of all parts of the article.

Ternovoy S.K. – participation in scientific design, approval of the final version of the article.

Abramyan M.A. – participation in scientific design, approval of the final version of the article.

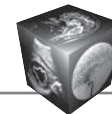
Список литературы

1. Аракелян В.С., Тутов Е.Г., Дадаев А.Я. Коарктация аорты: краткий исторический очерк. Клиника, диагностика и хирургическое лечение. *Бюллетень НЦССХ им. А.Н. Бакулева РАМН*. 2005; 6 (1): 5–15.
2. Саперова Е.В., Вахлова И.В. Врожденные пороки сердца у детей: распространенность, факторы риска, смертность. *Вопросы современной педиатрии*. 2017; 16 (2): 126–133. <https://doi.org/10.15690/vsp.v16i2.1713>
3. Scott M., Neal A.E. Congenital Heart Disease. *Prim Care*. 2021; 48 (3): 351–366. <https://doi.org/10.1016/j.pop.2021.04.005>

4. Doshi A.R, Chikkabyrappa S. Coarctation of Aorta in Children. *Cureus*. 2018; 10 (12): <https://doi.org/10.7759/cureus.3690>
5. Tsang V., Haapanen H., Neijenhuis R. Aortic Coarctation/ Arch Hypoplasia Repair: How Small Is Too Small. *Semin. Thorac. Cardiovasc. Surg. Pediatr. Card. Surg. Annu.* 2019; 22: 10–13. <https://doi.org/10.1053/j.pcsu.2019.02.011>
6. Chetan D., Mertens L.L. Challenges in diagnosis and management of coarctation of the aorta. *Curr. Opin. Cardiol.* 2022; 37 (1): 115–122. <https://doi.org/10.1097/hco.0000000000000934>
7. Ramirez-Suarez K.I., Tierradentro-García L.O., Otero H.J. et al. Optimizing neonatal cardiac imaging (magnetic resonance/computed tomography). *Pediatr. Radiol.* 2022; 52 (4): 661–675. <https://doi.org/10.1007/s00247-021-05201-w>
8. Ciancarella P., Ciliberti P., Santangelo T.P. et al. Noninvasive imaging of congenital cardiovascular defects. *Radiol. Med.* 2020; 125 (11): 1167–1185. <https://doi.org/10.1007/s11547-020-01284-x>
9. Бокерия Е.Л. Перинатальная кардиология: настоящее и будущее. Часть I: врожденные пороки сердца. *Российский вестник перинатологии и педиатрии*. 2019; 64 (3): 5–10. <https://doi.org/10.21508/1027-4065-2019-64-3-5-10>
10. Ganigara M., Doshi A., Naimi I. et al. Preoperative Physiology, Imaging, and Management of Coarctation of Aorta in Children. *Semin. Cardiothorac. Vasc. Anesth.* 2019; 23 (4): 379–386. <https://doi.org/10.1177/1089253219873004>
11. Ассоциация сердечно-сосудистых хирургов. Ассоциация детских кардиологов России. Клинические рекомендации Министерства здравоохранения Российской Федерации “Коарктация аорты”, 2020. 44 с. <http://rkdb.ru/wp-content/uploads/2021/08/Koarktaciya-aorty.pdf>
12. Masuda T., Funama Y., Nakaura T. et al. Influence of contrast enhancement at the contrast injection location for the arm or leg in neonatal and infant patients during cardiac computed tomography. *Radiologia (Engl. Ed.)*. 2022; 64 (6): 525–532. <https://doi.org/10.1016/j.rxeng.2021.10.001>
13. DiGeorge N.W. et al. Pediatric Cardiac CT and MRI: Considerations for the General Radiologist. *Am. J. Roentgenol.* 2020; 215 (6): 1464–1473. <https://doi.org/10.2214/ajr.19.22745>
14. <https://parameterz.blogspot.com/2008/09/z-scores-of-cardiac-structures.html>

References

1. Arakelyan V.S., Tutov E.G., Dadaev A.Ya. Coarctation of the aorta: a brief historical essay. Clinic, diagnosis and surgical treatment. *Byulleten' NTSSSKH im. A.N. Bakuleva RAMN*. 2005; 6 (1): 5–15. (In Russian)
2. Saperova E.V., Vahlova I.V. Congenital Heart Diseases in Children: Incidence, Risk Factors, Mortality. *Current Pediatrics*. 2017; 16 (2): 126–133. (In Russian)
3. Scott M., Neal A.E. Congenital Heart Disease. *Prim Care*. 2021; 48 (3): 351–366. <https://doi.org/10.1016/j.pop.2021.04.005>
4. Doshi A.R, Chikkabyrappa S. Coarctation of Aorta in Children. *Cureus*. 2018; 10 (12): <https://doi.org/10.7759/cureus.3690>
5. Tsang V., Haapanen H., Neijenhuis R. Aortic Coarctation/ Arch Hypoplasia Repair: How Small Is Too Small. *Semin.*



- Thorac. Cardiovasc. Surg. Pediatr. Card. Surg. Annu.* 2019; 22: 10–13. <https://doi.org/10.1053/j.pcsu.2019.02.011>
6. Chetan D., Mertens L.L. Challenges in diagnosis and management of coarctation of the aorta. *Curr. Opin. Cardiol.* 2022; 37 (1): 115–122. <https://doi.org/10.1097/hco.0000000000000934>
 7. Ramirez-Suarez K.I., Tierradentro-García L.O., Otero H.J. et al. Optimizing neonatal cardiac imaging (magnetic resonance/computed tomography). *Pediatr. Radiol.* 2022; 52 (4): 661–675. <https://doi.org/10.1007/s00247-021-05201-w>
 8. Ciancarella P., Ciliberti P., Santangelo T.P. et al. Noninvasive imaging of congenital cardiovascular defects. *Radiol. Med.* 2020; 125 (11): 1167–1185. <https://doi.org/10.1007/s11547-020-01284-x>
 9. <https://parameterz.blogspot.com/2008/09/z-scores-of-cardiac-structures.html>
 10. Bokerija E.L. Perinatal cardiology: the present and the future. Part I: congenital heart disease. *Rossiyskiy Vestnik Perinatologii i Pediatrii = Russian Bulletin of Perinatology and Pediatrics.* 2019; 64 (3): 5–10. <https://doi.org/10.21508/1027-4065-2019-64-3-5-10> (In Russian)
 11. Ganigara M., Doshi A., Naimi I. et al. Preoperative Physiology, Imaging, and Management of Coarctation of Aorta in Children. *Semin. Cardiothorac. Vasc. Anesth.* 2019; 23 (4): 379–386. <https://doi.org/10.1177/1089253219873004>
 12. Association of Cardiovascular Surgeons. Association of Pediatric Cardiologists of Russia. Clinical recommendations of the Ministry of Health of the Russian Federation “Coarctation of the aorta”, 2020. 44 p. <http://rkdb.ru/wp-content/uploads/2021/08/Koarktaciya-aorty.pdf> (In Russian)
 13. Masuda T., Funama Y., Nakaura T. et al. Influence of contrast enhancement at the contrast injection location for the arm or leg in neonatal and infant patients during cardiac computed tomography. *Radiologia (Engl. Ed.).* 2022; 64 (6): 525–532. <https://doi.org/10.1016/j.rxeng.2021.10.001>
 14. DiGeorge N.W. et al. Pediatric Cardiac CT and MRI: Considerations for the General Radiologist. *Am. J. Roentgenol.* 2020; 215 (6): 1464–1473. <https://doi.org/10.2214/ajr.19.22745>

Для корреспонденции*: Хасанова Ксения Андреевна – e-mail: KHasanova@morozdgb.ru

Хасанова Ксения Андреевна – канд. мед. наук, заведующая отделением лучевой диагностики ГБУЗ города Москвы “Морозовская детская городская клиническая больница ДЗ города Москвы”; ассистент кафедры лучевой диагностики и терапии Института клинической медицины им. Н.В. Склифосовского ФГАОУ ВО Первый МГМУ имени И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), Москва. <https://orcid.org/0000-0001-6926-3165>

Терновой Сергей Константинович – академик РАН, доктор мед. наук, профессор, руководитель отдела томографии, главный научный сотрудник Института клинической кардиологии им. А.Л. Мясникова, ФГБУ “НМИЦ кардиологии им. академика Е.И. Чазова” Минздрава России; заведующий кафедрой лучевой диагностики и лучевой терапии Института клинической медицины им. Н.В. Склифосовского ФГАОУ ВО Первый МГМУ имени И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), Москва. <https://orcid.org/0000-0003-4374-1063>

Абрамян Михаил Арамович – доктор мед. наук, профессор, заведующий отделением экстренной кардиохирургии и интервенционной кардиологии ГБУЗ города Москвы “Морозовская детская городская клиническая больница ДЗ города Москвы”; профессор ФГАОУ ВО “Российский университет дружбы народов” Минобрнауки России, Москва. <https://orcid.org/0000-0003-4018-6287>

Contact*: Ksenia A. Khasanova – e-mail: KHasanova@morozdgb.ru

Ksenia A. Khasanova – Cand. of Sci. (Med.), Head of the radiology department, Morozov Children’s Clinical Hospital of Moscow Healthcare Department; assistant of the department of radiology and radiation therapy, Sklifosovsky Institute for Clinical Medicine, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Moscow. <https://orcid.org/0000-0001-6926-3165>

Sergey K. Ternovoy – Academician of the Russian Academy of Sciences, Doct of Sci. (Med.), Professor, Chief Researcher, A.L. Myasnikov Institute of Clinical Cardiology, National Medical Research Centre of Cardiology named after Academician E.I. Chazov; Head of the department of radiology and radiation therapy, Sklifosovsky Institute for Clinical Medicine, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Moscow. <https://orcid.org/0000-0003-4374-1063>

Mikhail A. Abramyan – Doct of Sci. (Med.), Professor, Head of the cardiovascular and interventional cardiology department, Morozov Children’s Clinical Hospital of Moscow Healthcare Department; professor of the Peoples’ Friendship University of Russia, Moscow. <https://orcid.org/0000-0003-4018-6287>