

ДИАГНОСТИЧЕСКАЯ ИНФОРМАТИВНОСТЬ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ ВИЗУАЛИЗАЦИИ В ДИАГНОСТИКЕ КОАРКТАЦИИ АОРТЫ У ДЕТЕЙ

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

1 – ГБУЗ г. Москвы «Морозовская детская городская клиническая больница Департамента здравоохранения города Москвы». г. Москва, Россия.

2 – ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И. М. Сеченова МЗ РФ (Сеченовский Университет). г. Москва, Россия.

3 – Институт клинической кардиологии им. А.Л. Мясникова, ФГБУ «НМИЦ кардиологии» МЗ РФ. г. Москва, Россия.

4 – ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов» Минобрнауки. г. Москва, Россия.

Цель исследования. Оценить информативность эхокардиографии (ЭхоКГ), мультиспиральной компьютерной томографии (МСКТ) и магнитно-резонансной томографии (МРТ) сердца в выявлении и хирургическом планировании коррекции коарктации аорты (КоАо) у детей.

Материалы и методы. В исследование включено 119 пациентов в возрасте от 0 до 18 лет. Всем детям проведена ЭхоКГ, 101 пациенту – МСКТ сердца, 41 – МРТ сердца. При проведении ЭхоКГ, МСКТ и МРТ сердца осуществлялся анализ и морфометрия всех отделов аорты, интра- и экстракардиальных структур, важных для хирургического планирования.

Результаты. Диагностическая точность ЭхоКГ, МСКТ и МРТ сердца составили 88.2%, 96,3%, 90,2% соответственно. Точность ЭхоКГ в предоперационном планировании уступала методам КТ в определении патологии брахиоцефальных сосудов (БЦС), aberrантной правой подключичной артерии и сосудистых коллатералей: 36%, 7%, 13% соответственно. МСКТ сердца показала себя как более точная методика в определении экстракардиальных аномалий по сравнению с ЭхоКГ. Точность МСКТ в определении патологии БЦС, aberrантной правой подключичной артерии и сосудистых коллатералей составила: 100%, 100% и 87% соответственно. В определении септальных дефектов ЭхоКГ была более эффективной в сравнении с МСКТ, точность методики составила 96% против результата МСКТ в 87%. Точность кардио-МРТ в определении патологии БЦС, aberrантной правой подключичной артерии и сосудистых коллатералей составила: 98,1%, 96,4% и 84% соответственно; в определении септальных дефектов – 93%.

Заключение. ЭхоКГ как скрининговый метод имеет высокую диагностическую ценность в определении КоАо, однако не может считаться окончательным и предпочтительным в предхирургическом планировании ввиду ограниченной визуализации экстракардиальных аномалий. Методы КТ сердца являются высокоэффективными как в определении патологии дуги аорты, так и в выявлении сопутствующих аномалий, важных в предоперационном планировании. Учитывая технические ограничения и сложности в проведении МРТ сердца у детей младшей возрастной группы, отсутствие дополнительной диагностически значимой информации в сравнении с МСКТ сердца, кардио-МРТ не является методом выбора в диагностике КоАо у маленьких детей. Для детей старшей возрастной группы кардио-МРТ является альтернативой МСКТ сердца в диагностике и предоперационном планировании КоАо.

Ключевые слова: КТ сердца, кардио-МРТ, МСКТ, ЭхоКГ, коарктация аорты, дети, врожденные пороки сердца.

Контактный автор: Хасанова К.А., e-mail KHasanova@morozdgb.ru

Для цитирования: Хасанова К.А., Терновой С.К., Абрамян М.А., Бедин А.В. Диагностическая информативность современных методов визуализации в диагностике коарктации аорты у детей. REJR 2022; 12(4):74-84. DOI: 10.21569/2222-7415-2022-12-4-74-84.

Статья получена: 16.10.22

Статья принята: 02.12.22

DIAGNOSTIC VALUE OF RADIOLOGY METHODS IN AORTIC COARCTATION IN CHILDREN

Khasanova K.A.^{1,2}, Ternovoy S.K.^{2,3}, Abramyan M.A.^{1,4}, Bedin A.V.¹

1 - Morozovskaya Children's City Clinical Hospital. Moscow, Russia.

2 - I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University). Moscow, Russia.

3 - A.L. Myasnikov Institute of Clinical Cardiology. Moscow, Russia.

4 - Peoples' Friendship University of Russia. Moscow, Russia.

Purpose. To assess the role of trans-thoracic echocardiography (TTE), CT-angiography (CTA) and cardio-MRI in the routine evaluation of aortic coarctation (CoAo) and preoperative planning in children.

Materials and methods. The study comprised 119 patients -all of them underwent TTE, 101 - CTA, 41 - underwent cardio-MRI. On TTE, CTA and cardio-MRI aorta morphometry was performed. All important intra- and extracardiac findings were assessed.

Results. The diagnostic accuracy of the TTE, CTA and cardio-MRI was 88.2%, 96.3% and 90.2% respectively. The preoperative accuracy of TTE was inferior to CT methods in determining the pathology of brachiocephalic vessels, aberrant right subclavian artery and vascular collaterals: 36%, 7%, 13%, respectively. CTA is more accurate in determining extracardiac anomalies compared to TTE. The diagnostic accuracy of CTA in determining the pathology of brachiocephalic vessels, aberrant right subclavian artery and vascular collaterals was: 100%, 100% and 87% respectively. In determining septal defects, TTE was more effective in comparison with CTA, the diagnostic accuracy of the technique was 96% against the result of CTA in 87%.

Conclusion. TTE is a screening method and has a high diagnostic value in determining aortic coarctation, however, it cannot be final and preferable in pre-surgical planning due to limited visualization of extracardiac anomalies. CT methods are highly effective both in determining the pathology of the aortic arch and in identifying concomitant anomalies. Because of the technical limitations and difficulties in conducting MRI of the heart in younger children, the lack of additional significant information in comparison with CTA of the heart, cardio-MRI is not the method of choice in the diagnosis of CoAo in young children. For older children, cardio-MRI is an alternative to CTA in the diagnosis and preoperative planning of CoAo.

Keywords: trans-thoracic echocardiography, TTE, CT-angiography, CTA, cardio-MRI, aortic coarctation, children, congenital heart diseases.

Corresponding author: Khasanova K.A., e-mail KHasanova@morozdgb.ru

For citation: Khasanova K.A., Ternovoy S.K., Abramyan M.A., Bedin A.V. Diagnostic value of radiology methods in aortic coarctation in children. REJR 2022; 12(4):74-84. DOI: 10.21569/2222-7415-2022-12-4-74-84.

Received: 16.10.22

Accepted: 02.12.22

Коарктация аорты (КоАо) – врожденное сегментарное сужение просвета аорты, как правило, локализованное на уровне перешейка – участок от левой подключичной артерии до открытого артериального протока (ОАП) (преддуктальный тип) или сразу дистальнее ОАП (постдуктальный тип). КоАо является самым часто встречаемым ВПС из группы обструктивных поражений левого сердца и составляет 6 - 8% от всех врожденных пороков, с частотой от 3 до 5 случаев на 10 000 живорожденных детей [1]. КоАо у новорожденных относится к группе критических пороков с высокой смертностью в результате быстрого развития полиорганной недостаточности. У детей старшего возраста КоАо по мере работы компенсаторных механизмов обуславливает формирование необратимых изменений, как в самом сердце, так и в остальных органах и системах организма, и без своевременно проведенной хирургической коррекции стеноза в конечном итоге приводит к декомпенсации и летальному исходу [2].

В современной кардиологической и кардиохирургической практике применяется широкий спектр методов лучевой диагностики, направленный не только на выявление КоАо, но и на предоперационную детализированную оценку сердечных и сосудистых структур, морфофункционального состояния сердца, факторов риска развития осложнений и повторных хирургических вмешательств. Точное представление анатомии порока предоставляет возможность прогнозирования технической реализации того или иного вида хирургической коррекции и снижает частоту интраоперационных осложнений.

Тренд последних десятилетий в диагностике и динамическом наблюдении детей с КоАо, как и другими пороками, направлен, в первую очередь, на применение высокоточных, неинвазивных и безопасных методов. Трансторакальная ЭхоКГ остаётся инициальным и не инвазивным методом диагностики КоАо, который позволяет оценить как морфологические аспекты, так и функциональное состояние сердца [2, 3]. Метод ЭхоКГ, при условии проведения исследования опытным врачом, заявлен рядом зарубежных авторов как «золотой стандарт» диагностики и предоперационного планирования коррекции КоАо у детей, не требующий каких-либо дополнительных инструментов визуализации [4, 5, 6].

Наравне с этим широкое применение методов томографии (МРТ и МСКТ сердца),

возможности современной постобработки и реконструкции изображений обуславливают их активное использование в кардиохирургических стационарах для планирования коррекции КоАо у детей [7]. МСКТ сердца с болюсным контрастированием в настоящее время используется чаще, чем кардио-МРТ ввиду высокой доступности метода, более простых протоколов сканирования и возможности проведения исследования у детей в критическом состоянии. Учитывая высокие диагностические возможности и широкое распространение ЭхоКГ, высказываются различные точки зрения по поводу целесообразности выполнения МСКТ или МРТ сердца у детей с КоАо [5, 6].

Цель исследования.

Оценить информативность ЭхоКГ, МСКТ и МРТ сердца в выявлении и хирургическом планировании коррекции коарктации аорты у детей.

Материалы и методы.

В исследование включено 119 пациентов в возрасте от 0 до 18 лет с входящим клиническим диагнозом – коарктация аорты. Все пациенты были разделены на 3 возрастные группы: дети до года (новорожденные и младенцы), пациенты младшей возрастной группы (от года до 5 лет), пациенты средней и старшей возрастной групп (от 5 до 18 лет).

Все дети с клиническим диагнозом – КоАо – до выполнения КТ-исследований были обследованы по общеклинической схеме, принятой в «ГБУЗ Морозовская ДГКБ ДЗМ» 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 109 детям была выполнена МСКТ сердца, 41-му пациенту была проведена кардио-МРТ. Введение контрастного препарата при проведении МРТ выполнялось только 3-м пациентам с сомнительными результатами на нативных МР-сериях. Ограничением в проведении МРТ новорожденным и детям до года с дуктус-зависимой гемодинамикой и критическим сужением диаметра сосуда была тяжесть общего состояния и большие риски при более длительном пребывании в наркозе. Количество проведенных исследований в каждой возрастной группе представлено в таблице №1.

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 протоколы двухмерной

Таблица №1. Количество проведенных исследований методами ЭхоКГ, МСКТ и МРТ сердца.

Метод визуализации	Возрастная группа (0-1 год)	Возрастная группа (1-5 лет)	Возрастная группа (5-18 лет)
ЭхоКГ	75	20	24
МСКТ сердца	73	17	20
МРТ сердца	2	15	24

эхокардиографии, доплерографии и цветное доплеровское картирование (ЦДК).

МСКТ сердца была проведена у 110 из 119 пациентов. У детей до года и младшей возрастной группы исследование в большинстве случаев выполнялось на фоне седации.

МСКТ сердца проводили на 256-срезовом компьютерном томографе Philips Brilliance iCT, с шириной детектора 8 см, по протоколам с кардиосинхронизацией и без таковой. 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 автоматического двухколбового шприца-инжектора в объёме 1,5-2 мл/кг со скоростью 0,4-1,5 мл/с. Пост-процессорная обработка выполнялась на мультимедийных рабочих станциях с построением трехмерных реконструкций.

МРТ сердца была проведена 41 пациенту, у детей до года и младшей возрастной группы исследование выполнялось на фоне анестезиологического пособия. Исследование проводили на высокопольном МР-томографе Philips Ingenia базовой комплектации с напряженностью магнитного поля 1,5 Тесла 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 проспективной синхронизацией по сигналу ЭКГ (балансированное градиентное ЭХО с инверсией – ВТФЕ-последовательность), у детей не способных выполнять команды по задержке дыхания применялась синхронизация с дыханием. Планирование геометрии плоскости исследования проводилось по трём 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 эхо-

графическим проекциям: двух- и четырехкамерным. Для дополнительной оценки грудной аорты, при получении неоднозначных результатов 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 объёме 0,05-0,2 ммоль/кг, со скоростью 2-4 мл/с.

При проведении ЭхоКГ, МСКТ и МРТ сердца осуществлялся анализ и морфометрия всех отделов аорты, анатомических структур сердца и его магистральных сосудов. Проводилась оценка наличия сочетанных внутрисердечных и сосудистых аномалий, влияющих на тактику хирургического лечения. Анализировалась способность каждой методики выявлять сопутствующий септальный дефект, aberrантную правую ПКЛА, аномалии БЦС и наличие артериальных коллатералей к нисходящей аорте, требующих интраоперационного пересечения.

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

Для каждого из методов (МСКТ, ЭхоКГ и МРТ) были рассчитаны погрешности измерений: в виде разности интраоперационного измерения и измерения при проведении исследования. Были высчитаны средние погрешности для каждого диагностического метода.

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

Результаты.

При сравнении измерений различных сегментов аорты (восходящая аорта, проксимальная и дистальная часть дуги, перешеек аорты, нисходящая аорта) по ЭхоКГ, МСКТ и МРТ сердца статистически значи-

Таблица №2. Показатели эффективности ЭхоКГ, МСКТ и МРТ сердца.			
	Чувствительность	Специфичность	Точность
ЭхоКГ	90,6 %	69,2%	88,2%
МСКТ сердца	96,9%	90,9%	96,3%
МРТ сердца	91,4 %	83,3%	90,2%

мых различий выявлено не было. В оценке погрешности в измерениях при проведении ЭхоКГ, МСКТ и МРТ было определено достоверное завышение диаметра всеми методами. Медиана для ЭхоКГ, МСКТ и МРТ составила 0,50 (квантили 25%; 75% [0.20; 0.975]), 0,20 (квантили 25%; 75% [0.00; 0.50]) и 0,30 (квантили 25%; 75% [0.10; 0.40]) соответственно.

В оценке диагностической эффективности все три метода ЭхоКГ, МСКТ и МРТ показали себя как высокоточные в выявлении КоАо у детей всех возрастных групп (табл. №2).

В корректной постановке диагноза КоАо ЭхоКГ была эффективна у 105 пациентов из 119 (рис. 1). Диагностическая точность метода составила 88.2%, чувствительность и специфичность 90.6%, 69.2% соответственно, значение AUC = 0.799. Ложноотрицательные (ЛО) результаты у детей до года были в 3-х случаях: у двух детей из-за врожденной деформации дуги аорты (удлиненная, деформированная дуга) и у 1-го пациента ввиду неадекватного акустического окна за счет врожденной лобарной эмфиземы. В остальном ЛО результаты были у детей более старшего возраста из-за ограничений в акустическом окне. Случаи гипердиагностики по

ЭхоКГ были у трех новорожденных детей с физиологической гипоплазией дуги, морфометрические показатели которой, при закрытии ОАП, восстанавливались до нормальных значений. Один ЛП результат был у ребенка с кинкингом дуги аорты.

МСКТ сердца показала себя как высокоточный метод в определении КоАо у 106 пациентов из 110 (рис. 1 в, г). Диагностическая точность, чувствительность и специфичность метода составили 96,3%, 96,9% и 91,6% соответственно, значение AUC = 0.776. ЛО результаты были у троих пациентов (в группе новорожденных): у одного ребенка с выраженными дыхательными и пульсационными артефактами, у двух пациентов КоАо была принята за полный перерыв дуги аорты из-за диаметра сужения сосуда менее 1 мм. Ложноположительный (ЛП) результат по данным МСКТ сердца был только у 1 ребенка с кинкингом дуги аорты.

Кардио-МРТ была эффективна в визуализации КоАо у 37 детей из 41 (рис. 2 в, г). Диагностическая точность метода составила 90,2%. При этом чувствительность метода равна 91.4%, специфичность – 83,3%, AUC 0.874. Все три ЛО результата были у детей с диаметром сужения сосуда менее 2 мм и по МРТ сердца были трактованы как истинный

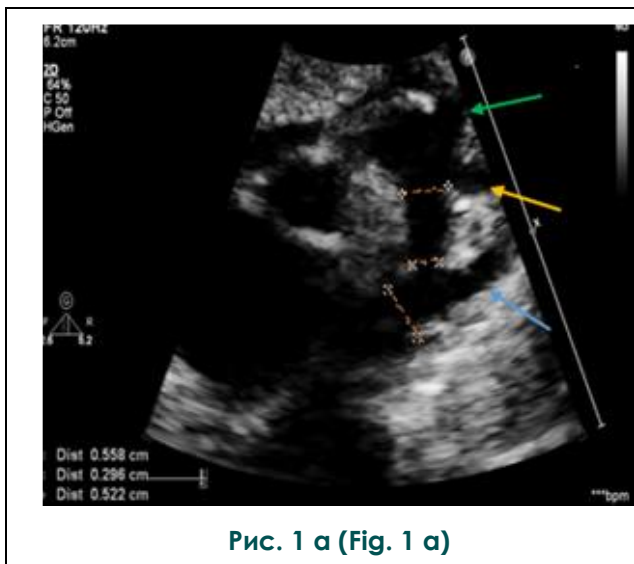


Рис. 1 а (Fig. 1 а)

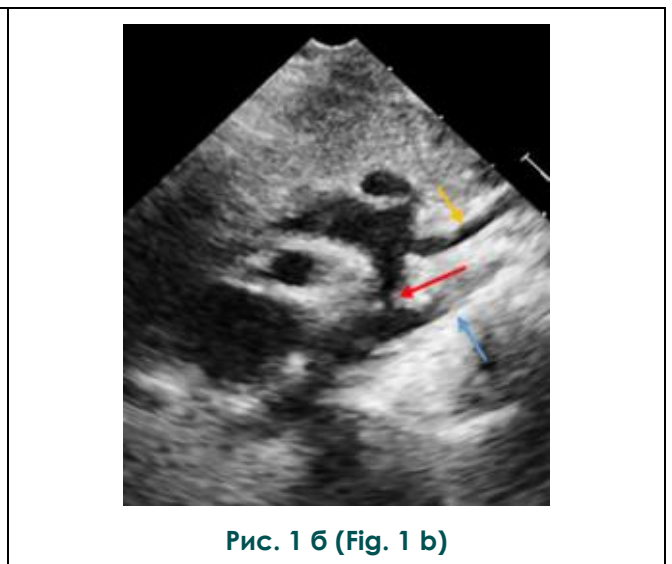


Рис. 1 б (Fig. 1 б)



Рис. 1 в (Fig. 1 c)



Рис. 1 г (Fig. 1 d)

Рис. 1. Визуализация коарктации аорты методами ЭХО-КГ (а, б) и МСКТ (в, г).

а, б) Пациент А., 7 дней. Жалобы на слабость, умеренную одышку. При плановом осмотре выслушан сердечный шум. При проведении ЭхоКГ из супрастернальной позиции выведена дуга аорты, выполнена морфометрия всех её отделов и визуализированы БЦС (брахиоцефальный ствол (зеленая стрелка), левая общая сонная артерия (желтая стрелка) и левая подключичная артерия (синяя стрелка)). Определена КоАо (красная стрелка), локализованная перед отхождением левой подключичной артерии. Диаметр аорты на уровне сужения до 3 мм (Z-score -3,91). В рамках предоперационного планирования выполнено МСКТ сердца.

в, г) Тот же пациент. Возраст 8 дней. МСКТ сердца в условиях медикаментозной седации, с болюсным контрастированием, без ЭКГ-синхронизации, артериальная фаза, косо-сагиттальная плоскость, режимы MIP и 3D-реконструкции. По данным МСКТ КоАо (красная стрелка) локализована после отхождения левой подключичной артерии (синяя стрелка). Диаметр аорты на уровне сужения 1,7 мм (Z-score -4,87).

Fig. 1. Visualization of aortic coarctation by TTE (a, b) and CTA (c, d).

a, b) Patient A., 7 days. Complaints of weakness, moderate shortness of breath. On routine examination, a heart murmur was heard. On TTE, the aortic arch was seen from the suprasternal position, morphometry of all its aortic arch was performed, and the brachiocephalic vessels was visualized (brachiocephalic trunk (green arrow), left common carotid artery (yellow arrow) and left subclavian artery (blue arrow)). Defined CoAo (red arrow), localized before the departure of the left subclavian artery. Aortic diameter at the narrowing level up to 3 mm (Z-score -3.91). CTA of the heart was performed as part of preoperative planning.

c, d) The same patient. Age – 8 days. CTA of the heart with bolus contrast, without ECG synchronization, arterial phase, oblique-sagittal plane, MIP and 3D reconstruction modes. According to CTA data, CoAo (red arrow) is localized after the left subclavian artery (blue arrow). The aortic diameter at the level of constriction was 1.7 mm (Z-score -4.87).

перерыв дуги аорты. Внутривенное введение контрастного препарата не позволило провести дифференцировку КоАо от перерыва дуги аорты. ЛП результат по данным кардио-МРТ, аналогично МСКТ, был у одного ребенка с кинкингом дуги аорты.

Диагностическая точность МСКТ и МРТ сердца в постановке диагноза КоАо была выше, чем у ЭхоКГ, однако сравнение точности методов в выявлении КоАо между собой не выявило статистически значимых разли-

чий ($p > ,05$).

При сравнении возможностей методов в разных возрастных группах была получена значимая разница в младшей и старшей возрастных группах: диагностическая точность МСКТ была выше, чем у ЭхоКГ в младшей (1-5 лет) и старшей (5-18 лет) возрастных группах. В группе детей до года МРТ выполнялась только у двух пациентов, ложных результатов получено не было (табл. №3).

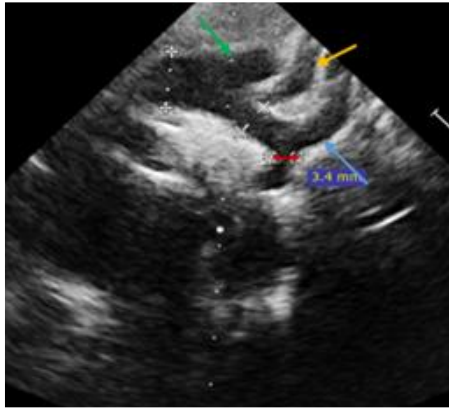


Рис. 2 а (Fig. 2 a)

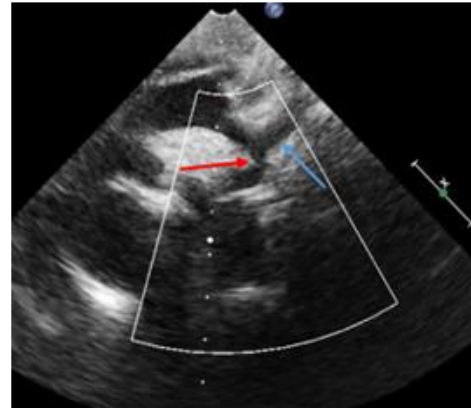


Рис. 2 б (Fig. 2 b)

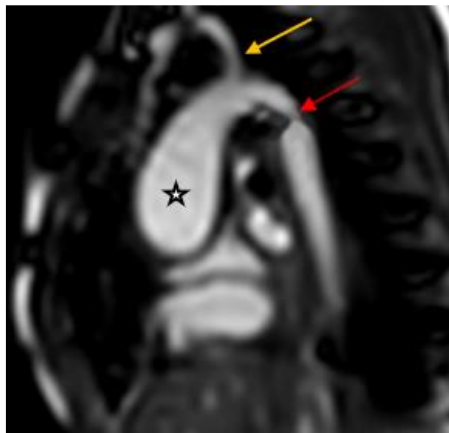


Рис. 2 в (Fig. 2 c)



Рис. 2 г (Fig. 2 d)

Рис. 2. Визуализация коарктации аорты методами ЭхоКГ(а, б) и МРТ (в, г).

а, б) Пациент Д., 3 года. Жалоб не предъявляет. При плановом осмотре выслушан сердечный шум. При проведении ЭхоКГ из супрастернальной позиции выведена дуга аорты, выполнена морфометрия всех её отделов, визуализированы БЦС (брахиоцефальный ствол (зеленая стрелка), левая общая сонная артерия (желтая стрелка) и левая подключичная артерия (синяя стрелка)). Определено сегментарное сужение аорты до 3,4 мм (красная стрелка) Z-score -5,12, локализованное после отхождения левой подключичной артерии. Учитывая стабильное состояние ребенка, в рамках предоперационного планирования выполнено кардио-МРТ.

в, г) Тот же пациент. Кардио-МРТ в условиях медикаментозной седации, с болюсным контрастированием, с ЭКГ-синхронизацией и синхронизацией по дыханию, косо-сагиттальная плоскость, режим ВТФЕ и 3D-реконструкция. По данным кардио-МРТ КоАо (красная стрелка) локализована после отхождения левой подключичной артерии (синяя стрелка). Диаметр аорты на уровне сужения 3,0 мм (Z-score -5,32). Также отмечается расширение восходящего отдела аорты до 7,8 мм (звездочка).

Fig. 2. Visualization of aortic coarctation by TTE (a) and MRI (b).

а, b) Patient D., 3 years old. No complaints. On routine examination, a heart murmur was heard. On TTE, the aortic arch was seen from the suprasternal position, morphometry of all its part was performed, the brachiocephalic vessels were visualized (brachiocephalic trunk (green arrow), left common carotid artery (yellow arrow) and left subclavian artery (blue arrow)). Segmental narrowing of the aorta up to 3.4 mm (red arrow) Z-score -5.12, was localized after the left subclavian artery. Given the stable condition of the child, cardio-MRI was performed as part of preoperative planning.

с, d) The same patient. Cardio-MRI under medical sedation, with bolus contrast, with ECG synchronization and respiratory synchronization, oblique-sagittal plane, BTFE modes and 3D reconstruction. According to cardio-MRI data, CoAo (red arrow) is localized after the left subclavian artery (blue arrow). The diameter of the aorta at the narrowing level was 3.0 mm (Z-score -5.32). There is also an expansion of the ascending aorta up to 7.8 mm (asterisk).

В определении сочетанных сосудистых и интракардиальных аномалий методы ЭхоКГ и КТ играют разную роль. Эффективность методик оценивалась только по тем сочетанным аномалиям, которые подтвердились ангиографически или интраоперационно.

возможной ранней диагностики и оперативной коррекции порока [1, 8].

В современном мире в условиях высокой доступности методов визуализации все чаще встает вопрос о целесообразности использования того или иного метода лучевой диагностики на разных этапах ведения де-

Таблица №3. Диагностическая точность ЭхоКГ, МСКТ сердца и МРТ в возрастных группах.

Диагностические методы визуализации КоАо	Показатели диагностической точности в возрастных группах		
	0-1 год	1-5 лет	5-18 лет
ЭхоКГ	92%	80%	83,1%
МСКТ сердца	94,7%	97%	98,4%
МРТ сердца	-	80%	91,6%

Снижение общей предхирургической ценности ЭхоКГ было за счет невысоких показателей диагностической точности методики в определении патологии брахиоцефальных сосудов (БЦС), aberrантной правой подключичной артерии и сосудистых коллатералей: 36%, 7%, 13% соответственно. МСКТ показала себя, как более точная методика в определении экстракардиальных аномалий по сравнению с ЭхоКГ ($p < 0,001$). Диагностическая точность МСКТ в определении патологии БЦС, aberrантной правой подключичной артерии и сосудистых коллатералей составила: 100%, 100% и 87% соответственно. ЛО результаты в определении наличия артериальных коллатералей были только в случаях их диаметра менее 1 мм. В определении септальных дефектов ЭхоКГ была более эффективной сравнении с МСКТ ($p > 0,005$), диагностическая точность методики равна 96% против результата МСКТ в 87%. ЛО результаты в определении септальных дефектов по КТ были только в отношении небольших, гемодинамически незначимых дефектов. МРТ сердца в определении сочетанных экстракардиальных аномалий, наравне с МСКТ показала себя, как высокоточный диагностический метод. Точность кардио-МРТ в определении патологии БЦС, aberrантной правой подключичной артерии и сосудистых коллатералей составила: 98,1%, 96,4% и 84% соответственно, в определении септальных дефектов – 93%.

Обсуждение.

Высокая частота встречаемости КоАо у детей и риски неблагоприятного исхода при несвоевременно оказанной хирургической помощи определяют алгоритм ведения таких пациентов в виде максимально воз-

можной ранней диагностики и оперативной коррекции порока [5, 6, 9].

Основным методом лечения КоАо является хирургическая или эндоваскулярная коррекция порока. В связи с этим, на этапе предоперационного планирования КоАо критически важную для кардиохирурга роль играет не только выявление локального сужения сосуда, но и корректное определение наиболее часто встречающихся сочетанных экстра- и интракардиальных аномалий: гемодинамически значимых септальных дефектов, aberrантных подключичных артерий, добавочных полых вен, артериальных коллатералей, требующих интраоперационного пересечения и патологии БЦС [13]. В проведенном исследовании для более детального понимания возможностей ЭхоКГ, МСКТ и МРТ сердца была проведена оценка диагностической точности каждого метода в определении сочетанных аномалий, важных для предоперационного планирования.

ЭхоКГ, будучи широкодоступным, скрининговым методом диагностики патологии сердечно-сосудистой системы у детей имеет свои ограничения, к которым, в первую очередь, относят влияние субъективного фактора на оценку морфофункциональных показателей [10, 11]. Кроме этого, качество и результаты ЭхоКГ напрямую зависят от адекватного акустического окна, которое ухудшается по мере роста грудной клетки ребенка и при наличии тех или иных патологических процессов в легких [12]. Описанные ограничения метода коррелируют с полученными в ходе исследования результатами, где наибольшее число случаев гиподиагностики КоАо было у детей старше года.

Нами получены высокие показатели

эффективности метода ЭхоКГ в диагностике КоАо. У 12% пациентов результаты ЭхоКГ были сомнительными преимущественно за счет гипердиагностики КоАо у детей до года (с истинной гипоплазией дуги) и гиподиагностики у детей старшей возрастной группы (из-за неадекватного акустического окна). Рассчитанные параметры диагностической ценности ЭхоКГ в визуализации сегментарного сужения аорты были ниже, чем у МСКТ и МРТ сердца, но полученная разница не была диагностически значимой. Отсутствие диагностически значимой разницы в определении наличия КоАо между ЭхоКГ и МСКТ сердца у детей подтверждается результатами исследования иностранных коллег [13, 14]. Высокая точность ЭхоКГ в определении наличия КоАо объясняет инициальность применения данного метода, как скринингового у всех новорожденных детей.

Информативность ЭхоКГ в предоперационном планировании статистически значимо уступала МСКТ и МРТ сердца, преимущественно за счет ошибочных результатов в визуализации аберрантной подключичной артерии, в выявлении артериальных коллатералей и в определении аномалий БЦС. Наличие аберрантной 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 патологии БЦС (отхождения брахиоцефального ствола и левой общей сонной артерии одним стволом) является показанием к проведению резекции КоАо с анастомозом «конец в бок», которая проводится из другого хирургического доступа [4].

МСКТ сердца позволяет получать изображения всех отделов грудной аорты, экстра- и интракардиальных структур с высоким пространственным разрешением за короткое время. Главными недостатками методики, ограничивающими её широкое и частое использование, являются необходимость внутривенного введения йодсодержащих рентгеноконтрастных препаратов и анестезиологическое пособие, применяемое у детей до года и младшей возрастной группы [15, 16]. Несмотря на ограничения, МСКТ сердца является высокоэффективным инструментом, как в выявлении сегментарного сужения аорты, так и в предоперационном планировании. По результатам нашего исследования МСКТ не значимо уступала ЭхоКГ и кардио-МРТ в определении септальных дефектов небольших размеров (до 3 мм), кото-

рые не требовали хирургической коррекции.

Кардио-МРТ в диагностике и хирургическом планировании КоАо у детей всё ещё остается редкой методикой [17]. Преимуществом МРТ над всеми иными методами визуализации является истинная полипозиционность. Ограничения в использовании кардио-МРТ связаны со сложностью проведения исследования у детей и его длительностью. Обоснованность и целесообразность проведения кардио-МРТ детям с ВПС, требующим обеспечения более длительного, по сравнению с МСКТ, анестезиологического пособия остается предметом дискуссий [18].

Полученные нами результаты показали высокую диагностическую эффективность кардио-МРТ как в определении КоАо, так и в предхирургической оценке, и значительно не отличались от МСКТ сердца, что позволяет сделать вывод о целесообразности проведения кардио-МРТ детям в стабильном состоянии, не нуждающимся в седации (дети средней и старшей возрастных групп).

Информативность ЭхоКГ, МСКТ и МРТ сердца в разных возрастных группах отличалась: МСКТ у детей младшей возрастной группы была более точной в сравнении с ЭхоКГ и МРТ сердца. В старшей возрастной группе (дети от 5 лет) МСКТ и МРТ были одинаково более эффективны в сравнении с ЭхоКГ, что объясняется случаями гиподиагностики КоАо по ЭхоКГ у детей более старшего возраста, ввиду ограничений в доступе.

Заключение.

ЭхоКГ, будучи скрининговым методом, имеет высокую диагностическую ценность в определении наличия КоАо, однако не может считаться окончательным и предпочтительным в предоперационном планировании её коррекции ввиду ограниченной визуализации экстракардиальных аномалий. МСКТ и МРТ сердца являются высокоэффективными методиками, как в определении КоАо, так и в выявлении сопутствующих аномалий, важных для планирования хирургической коррекции порока. Учитывая технические ограничения и сложности в проведении МРТ у детей до года и младшей возрастной группы, отсутствие дополнительной диагностически значимой информации в сравнении с МСКТ сердца, кардио-МРТ не является методом выбора в диагностике КоАо у маленьких детей, требующих использования анестезиологического пособия на время сканирования.

Для детей старшей возрастной группы в стабильном состоянии кардио-МРТ является альтернативой МСКТ сердца в диагностике и предоперационном планировании КоАо.

Источник финансирования и кон-

фликт интересов.

Авторы данной статьи подтвердили отсутствие финансовой поддержки исследования и конфликта интересов, о которых необходимо сообщить.

Список литературы:

1. Подзолков В.П., Шведунова В.Н. Врожденные пороки сердца. РМЖ. 2001; 10: 430.
2. Перинатальная кардиология: настоящее и будущее. Часть I: врожденные пороки сердца Е.А. Бокерия ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр акушерства, гинекологии и перинатологии имени академика В.И. Кулакова» Минздрава России. Москва, Россия.
3. Клинические рекомендации министерства здравоохранения РФ. «Коарктация аорты»
4. Рогова Т.В., Плахова В.В., Юрпольская Л.А. . Визуализация в современном мире детской кардиологии. Детские болезни сердца и сосудов. 2021; 4 (18): 157-167. DOI: 10.24022/1810-0686-2021-18-3-157-16
5. Sun Z, Cheng TO, Li L, Zhang L, Wang X, Dong N, Lv Q, Li K, Yuan L, Wang J, Xie M. Diagnostic Value of Transthoracic Echocardiography in Patients with Coarctation of Aorta: The Chinese Experience in 53 Patients Studied between 2008 and 2012 in One Major Medical Center. PLoS One. 2015; 10 (6): e0127399. doi: 10.1371/journal.pone.0127399. PMID: 26030197; PMCID: PMC4451082.
6. Karaosmanoglu AD, Khawaja RD, Onur MR, Kalra MK. CT and MRI of aortic coarctation: pre- and postsurgical findings. AJR Am J Roentgenol. 2015; 204 (3): W224-33. doi: 10.2214/AJR.14.12529. PMID: 25714305.
7. Li HO, Wang XM, Nie P, Ji XP, Cheng ZP, Chen JH, Xu ZD. Diagnostic Value of Prospective Electrocardiogram-triggered Dual-source Computed Tomography Angiography for Infants and Children with Interrupted Aortic Arch. Chin Med J (Engl). 2015; 128 (9): 1184-9. doi: 10.4103/0366-6999.156109. PMID: 25947401; PMCID: PMC4831545.
8. Левченко Е.Г., Свободов А.А., Туманян М.Р., Андерсон А.Г. Алгоритм своевременной диагностики критической коарктации аорты у новорожденных. Детские болезни сердца и сосудов. 2021; 3 (17): 198-204. DOI: 10.24022/1810-0686-2020-17-3-198-204
9. Zhao Q, Wang J, Yang ZG, Shi K, Diao KY, Huang S, Shen MT, Guo YK. Assessment of intracardiac and extracardiac anomalies associated with coarctation of aorta and interrupted aortic arch using dual-source computed tomography. Sci Rep. 2019; 9 (1): 11656. doi: 10.1038/s41598-019-47136-1. PMID: 31406129; PMCID: PMC6690938.
10. Helmut Baumgartner, (chair), Judy Hung, (co-chair), Javier Bermejo, John B. Chambers, Thor Edvardsen, Steven Goldstein, Patrizio Lancellotti, Melissa LeFevre, Fletcher Miller, Jr, Catherine M. Otto, Recommendations on the echocar-

diographic assessment of aortic valve stenosis: a focused update from the European Association of Cardiovascular Imaging and the American Society of Echocardiography, European Heart Journal - Cardiovascular Imaging. 2017; 18 (3): 254-275.

12. Koestenberger M. Transthoracic echocardiography in children and young adults with congenital heart disease. ISRN Pediatr. 2012;2012:753481. doi: 10.5402/2012/753481. Epub 2012; 13. PMID: 22778987; PMCID: PMC3384910.

13. Huang F, Chen Q, Huang WH, Wu H, Li WC, Lai QQ. Diagnosis of Congenital Coarctation of the Aorta and Accompany Malformations in Infants by Multi-Detector Computed Tomography Angiography and Transthoracic Echocardiography: A Chinese Clinical Study. Med Sci Monit. 2017; 16 (23): 2308-2314. doi: 10.12659/msm.901928. PMID: 28510540; PMCID: PMC5441492.

14. Juffermans, J.F., Nederend, I., van den Boogaard, P.J. et al. The effects of age at correction of aortic coarctation and recurrent obstruction on adolescent patients: MRI evaluation of wall shear stress and pulse wave velocity. Eur Radiol Exp. 2019; 3 (24). https://doi.org/10.1186/s41747-019-0102-9

15. Xu J, Zhao H, Wang X, Bai Y, Liu L, Liu Y, Wei M, Li J, Zheng M. Accuracy, image quality, and radiation dose of prospectively ECG-triggered high-pitch dual-source CT angiography in infants and children with complex coarctation of the aorta. Acad Radiol. 2014; 21 (10): 1248-54. doi: 10.1016/j.acra.2014.04.019. Epub 2014 Aug 2. PMID: 25097011.

16. Soleimantabar H, Sabouri S, Khedmat L, Salajeghe S, Memari B, Heshmat Ghahderijani B. Assessment of CT angiographic findings in comparison with echocardiography findings of chest among patients with aortic arch anomalies. Monaldi Arch Chest Dis. 2019; 89 (3). doi: 10.4081/monaldi.2019.1120. PMID: 31577111.

17. Karaosmanoglu AD, Khawaja RD, Onur MR, Kalra MK. CT and MRI of aortic coarctation: pre- and postsurgical findings. AJR Am J Roentgenol. 2015; 204 (3): W224-33. doi: 10.2214/AJR.14.12529. PMID: 25714305.

18. Gach P, Dabadie A, Sorensen C, Quarello E, Bonello B, Pico H, Hugues N, Petit P, Gorincour G. Multimodality imaging of aortic coarctation: From the fetus to the adolescent. Diagn Interv Imaging. 2016; 97 (5): 581-90. doi: 10.1016/j.diii.2016.03.006. Epub 2016 Apr 25. PMID: 27132712.

References:

1. Podzolkov V.P., Shvedunova V.N. Congenital heart defects. RMZH. 2001; 10: 430 (in Russian).
2. Perinatal cardiology: present and future. Part I: Congenital heart defects E.L. Bokeria Federal State Budgetary Institution "National Medical Research Center of Obstetrics, Gynecology and Perinatology named after Academician V.I. Kulakov" Ministry of Health of Russia. Moscow, Russia (in Russian).

3. Clinical recommendations of the Ministry of Health of the Russian Federation "Aortic coarctation" (in Russian).

4. Rogova T.V., Plakhova V.V., Yurpolskaya L.A. Visualization in the modern world of pediatric cardiology. Children's heart and vascular diseases. 2021; 4 (18): 157-167. DOI: 10.24022/1810-0686-2021-18-3-157-16 (in Russian).

5. Sun Tzu, Cheng TO, Li L, Zhang L, Wang H, Dong N, Lv Q,

- Li K, Yuan L, Wang J, Xie M. Diagnostic value of transthoracic echocardiography in patients with aortic coarctation: Chinese experience in 53 patients studied in the period from 2008 to 2012 in one Large Medical Center. *PLoS One*. 2015; 10 (6): e0127399. doi: 10.1371/journal.pone.0127399. PMID: 26030197; PMCID: PMC4451082.
6. Karaosmanoglu AD, Khawaja RD, Onur MR, Kalra MK. CT and MRI of aortic coarctation: results of pre- and postoperative examination. *AJR Am J X-ray*. 2015; 204 (3): W224-33. doi: 10.2214/AJR.14.12529. PMID: 25714305.
7. Li HO, Wang XM, Ne P, Ji XP, Chen ZP, Chen JH, Xu ZD. Diagnostic value of prospective computed tomographic angiography with a double source, triggered by an electrocardiogram, for infants and children with an interrupted aortic arch. *Chin Med Jay (English)*. 2015; 128 (9): 1184-9. doi: 10.4103/0366-6999.156109. PMID: 25947401; PMCID: PMC4831545.
8. Levchenko E.G., Svobodov A.A., Tumanyan M.R., Anderson A.G. Algorithm for timely diagnosis of critical aortic coarctation in newborns. *Children's heart and vascular diseases*. 2021; 3 (17): 198-204. DOI: 10.24022/1810-0686-2020-17-3-198-204 (in Russian).
9. Zhao Q, Wang J, Yang ZG, Shi K, Diao KY, Huang S, Shen MT, Guo YK. Assessment of intracardiac and extra-cardiac anomalies associated with aortic coarctation and interrupted aortic arch using computed tomography with two sources. *Sci. Representative*. 2019; 9 (1): 11656. doi: 10.1038/s41598-019-47136-1 . PMID: 31406129; PMCID: PMC6690938.
10. Helmut Baumgartner (Chair), Judy Hung (Co-Chair), Javier Bermejo, John B. Chambers, Thor Edwardsen, Steven Goldstein, Patrizio Lancelotti, Melissa Lefevre, Fletcher Miller Jr., Catherine M. Otto, Recommendations for Echocardiographic Assessment of Aortic Valve Stenosis: Targeted updated information from the European Association of Cardiovascular Imaging and the American Society of Echocardiography, *European Heart Journal - Cardiovascular Imaging*. 2017; 18 (3): 254-275.
12. Kestenberger M. Transthoracic echocardiography in children and young people with congenital heart defects. *ISRN Pediatr*. 2012; 2012: 753481. doi: 10.5402/2012/753481 . Epub 2012 June 13. PMID: 22778987; PMCID: PMC3384910.
13. Huang F, Chen Q, Huang VH, Wu X, Li VC, Lai QC. Diagnosis of congenital aortic coarctation and concomitant malformations in infants using multidetector computed tomographic angiography and transthoracic echocardiography: A Chinese clinical study. *Med Sci Monit*. 2017; 23: 2308-2314. doi: 10.12659/msm.901928. PMID: 28510540; PMCID: PMC5441492.
14. Juffermans J.F., Nederend I., van den Boogaard P.J. et al. The effect of age on the correction of aortic coarctation and recurrent obstruction in adolescent patients: MRI assessment of wall shear stress and pulse wave velocity. *Eur Radiol Exp*. 2019; 3 (24). <https://doi.org/10.1186/s41747-019-0102-9>
15. Xu J, Zhao X, Wang X, Bai Wu, Liu L, Liu Wu, Wei M, Li J, Zheng M. Accuracy, image quality and radiation dose in prospective CT angiography with two sources, triggered by ECG, in infants and children with complex aortic coarctation. *Academy of Radiology*. 2014; 21 (10): 1248-54. doi: 10.1016/j.acra.2014.04.019. Epub 2014 August 2. PMID: 25097011.
16. Soleimantabar H., Saburi S., Khedmat L., Salajege S., Memari B., Heshmat Gahderijani B. Evaluation of CT angiography results in comparison with the results of chest echocardiography in patients with aortic arch anomalies. *Monaldi Arched Chest Dis*. 2019; 89 (3). doi: 10.4081/monaldi.2019.1120. Identification number: 31577111.
17. Karaosmanoglu AD, Khawaja RD, Onur MR, Kalra MK. CT and MRI of aortic coarctation: results of pre- and postoperative examination. *AJR Am J X-ray*. 2015; 204 (3): W224-33. doi: 10.2214/AJR.14.12529. Identification number: 25714305.
18. Gach P., Dabadi A, Sorensen S, Quarello E, Bonello B, Pico N, Hughes N, Petit P, Gorincourt G. Multimodal visualization of aortic coarctation: from fetus to adolescent. *Diagnostic imaging*. 2016; 97 (5): 581-90. doi: 10.1016/j.diii.2016.03.006. Epub 2016 April 25. PMID: 27132712.