

РОЛЬ ТРАНСТОРАКАЛЬНОЙ ЭХО-КГ, КТ И МРТ СЕРДЦА В ОЦЕНКЕ ЛЕГОЧНЫХ АРТЕРИЙ У ДЕТЕЙ С ТЕТРАДОЙ ФАЛЛО

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

1 - ГБУЗ г. Москвы «Морозовская детская городская клиническая больница ДЗМ». г. Москва, Россия.

2 - ФGAOY BO Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова МЗ РФ. г. Москва, Россия.

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

4 - ФGAOY BO «Российский университет дружбы народов». г. Москва, Россия.

Цель исследования. Сравнить возможности трансторакальной ЭХО-КГ, КТ и МРТ сердца в определении и оценке степени выраженности гипоплазии системы легочной артерии у детей с тетрадой Фалло в рамках предоперационного планирования.

Материалы и методы. В исследование включено 72 ребенка с входящим клиническим диагнозом – тетрада Фалло (ТФ). Средний возраст пациентов составил 8,5 (3.5; 8.5) месяцев. Всем детям проведена трансторакальная ЭХО-КГ, 64 – КТ сердца, 30 – МРТ сердца, 43 – прямая ангиография (диагностическая или в рамках выполнения эндоваскулярного этапа коррекции порока). При проведении всех диагностических методик проводилась морфометрия ствола легочной артерии (ЛА), правой и левой легочных артерий в проксимальных и дистальных отделах, осуществлялся расчет параметра z-score для каждого сосуда, индексов Nakata и McGoop. Все результаты сопоставлялись с данными прямой ангиографии и/или интраоперационными показателями. Интервал между трансторакальной ЭХО-КГ, КТ и/или МРТ сердца и проведенной АГ, либо открытым хирургическим вмешательством был менее 10 дней. Критерием гипоплазии ЛА и ее ветвей считалось отклонение z-score от нормальных значений менее (-2). Противопоказанием к проведению радикальной коррекции считались показатели индекса Nakata менее 150 мм²/м², индекса McGoop – менее 1,8.

Результаты. При сравнении возможностей методик ЭХО-КГ, КТ и МРТ сердца с прямой ангиографией/интраоперационными данными в проведении морфометрии системы ЛА (ствол ЛА и проксимальных отделов правой и левой ЛА), а также при расчете z-score показателей статистически значимой разницы получено не было ($p > 0,05$): была продемонстрирована высокая информативность всех используемых методик. Результаты измерений дистальных отделов легочных артерий по ЭХО-КГ статистически значимо отличались от показателей КТ, МРТ и прямой АГ/интраоперационными данными с достоверным занижением диаметров сосудов ($p < 0,05$). Статистически значимых различий между КТ, МРТ и прямой АГ/интраоперационными данными в оценке диаметров дистальных ветвей ЛА зафиксировано не было. Оба метода не значимо занижали диаметр сосудов. При оценке индексированных показателей (индексы McGoop и Nakata) по ЭХО-КГ были определены статистически значимые различия в сравнении с прямой АГ в виде занижения значений ($p < 0,05$). Сравнение измерений индекса McGoop методами ЭХО-КГ и КТ сердца также определило статистически значимое занижение индекса методом ЭХО-КГ ($p < 0,05$). Рассчитанный индекс McGoop при проведении КТ сердца значимо не отличался от данных прямой АГ. Сравнение измерений индекса Nakata между методами ЭХО-КГ и кардио-МРТ зафиксировало статистически значимое занижение индекса методом ЭХО-КГ ($p < 0,05$). Рассчитанный индекс Nakata при проведении КТ и МРТ сердца значимо не отличался от данных прямой АГ и между собой.

Обсуждение. Высокая точность неинвазивных диагностических методов в оценке развития системы легочной артерии у детей с ТФ определяют актуальность изучения и сравнения их возможностей в предоперационной подготовке этой группы пациентов. Существует тенденция к недооценке легочно-артериального русла методами кардиовизуализации, что может сужать показания и ограничивать возможность проведения одномоментной радикальной коррекции. Результаты проведенных исследований по оценке возможностей неинвазивных методик в предоперационной оценке легочно-артериального русла у детей с ТФ неоднозначны. В настоящем исследовании на достаточном количестве материала впервые проведена оценка

возможностей всех трех неинвазивных методов кардиовизуализации в определении развития системы легочной артерии у детей с ТФ в сравнении с прямой ангиографией/интраоперационными данными и попарно между собой.

Заключение. Трансторакальная ЭХО-КГ не может считаться окончательным методом предоперационной оценки развития системы ЛА у детей с ТФ ввиду ограничения возможностей визуализации дистальных отделов правой и левой легочных артерий и значимым занижением диаметров и индексированных показателей последних. КТ и МРТ сердца в проведении морфометрии системы ЛА показали себя равнозначно, как высоко эффективные и альтернативные прямой ангиографии методики. Выбор между предоперационной КТ и МРТ сердца для ребенка с ТФ должен проводиться в каждом конкретном случае отдельно с учетом общего состояния пациента, наличия противопоказаний к более длительному пребыванию в наркозе при проведении МРТ, и/или введению рентгеноконтрастных препаратов при проведении КТ сердца.

Ключевые слова: тетрада Фалло, ТФ, КТ сердца, ЭХО-КГ, МРТ сердца, дети, врожденные пороки сердца, ВПС, катетеризация полостей сердца, прямая ангиография, АГ, легочная артерия, ЛА, индекс Nakata, индекс McGoon.

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

Для цитирования: Хасанова К.А., Терновой С.К., Абрамян М.А. Роль трансторакальной ЭХО-КГ, КТ и МРТ сердца в оценке легочных артерий у детей с тетрадой Фалло. REJR 2023; 13(3):39-50. DOI: 10.21569/2222-7415-2023-13-3-39-50.

Статья получена: 31.08.23

Статья принята: 25.09.23

TRANSTHORACIC ECHOCARDIOGRAPHY, CARDIAC CT AND MRI IN PULMONARY ARTERIES ASSESSMENT IN CHILDREN WITH TETRALOGY OF FALLOT

Khasanova K.A.^{1,2}, Temovoy S.K.^{2,3}, Abramyan M.A.^{1,4}

1 - Morozovskaya Children's City Clinical Hospital.

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

3 - A.L. Myasnikov Institute of Clinical Cardiology, NMIC of Cardiology

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

Purpose. To compare the capabilities of preoperative transthoracic echocardiography, CT, and cardiac MRI in determining and assessing the degree of the pulmonary artery system hypoplasia in children with Tetralogy of Fallot.

Materials and Methods. The study comprised 72 children with Tetralogy of Fallot (TOF). The mean age of the patients was 8.5 (3.5; 8.5) months. All children underwent transthoracic echocardiography (TTE), 64 underwent cardiac CT, 30 underwent cardiac MRI, and 43 underwent conventional angiography. Morphometry of the main pulmonary artery, right and left pulmonary arteries in proximal and distal segments, calculation of z-score, Nakata and McGoon indices were performed on all diagnostic techniques. All results were compared with conventional angiography or intraoperative data. The interval between transthoracic echocardiography, CT and/or cardiac MRI and angiography or open surgery was less than 10 days. Hypoplasia of the left pulmonary artery and its branches was defined as a z-score deviation from normal values of less than (-2). An index value of Nakata less than 150 mm²/m² and McGoon ratio less than 1.8 were considered contraindications for radical correction.

Results. No statistically significant differences were found between the TTE, CT, and cardiac MRI with conventional angiography in morphometry of the main pulmonary artery and proximal segments of right and left pulmonary arteries, as well as z-score values ($p > 0,05$). Significant differences were observed in the measurements of distal segments of left and right pulmonary arteries using TTE compared to CT, MRI, conventional angiography, and intraoperative data, with a significant underestimation of vessel diameters ($p < 0,05$). No significant differences were found between CT, MRI, and conventional angiography or intraoperative data in assessing the diameters of distal branches of the left pulmonary artery. Both methods statistically insignificantly underestimated ves-

sel diameters. Evaluating indexed parameters (McGoon and Nakata indices) using TTE results, statistically significant differences were identified compared to conventional angiography in the form of underestimated values ($p < 0,05$). Comparison of McGoon ratio measurements between TTE and cardiac CT also revealed a statistically significant underestimation of the index by TTE ($p < 0,05$). The calculated McGoon ratio from cardiac CT did not significantly differ from direct angiography data. The comparison of Nakata index measurements between TTE and cardiac MRI indicated a statistically significant underestimation of the index by TTE. The calculated Nakata index from cardiac CT and MRI did not significantly differ from direct angiography data or from each other.

Discussing. High accuracy of non-invasive diagnostic methods in the development of the pulmonary artery system in children with TOF determines the relevance of the study and compares their capabilities in the preoperative preparation in this group of patients. There is a tendency to underestimate the pulmonary arteries using cardioimaging methods, which can narrow the circumstances and limit the possibility of performing radical correction. The results of studies conducted to assess the possibilities of non-invasive methods in the preoperative assessment of the pulmonary arterial bed in children with TF are ambiguous. In the present study, for the first time, the capabilities of all three non-invasive cardioimaging methods in determining the development of the pulmonary artery system in children with TOF were evaluated in comparison with conventional angiography/intraoperative data and in pairs with each other.

Conclusion. TTE cannot be considered the definitive method for preoperative assessment of pulmonary artery development in children with TOF due to its limitations in visualizing distal segments of the right and left pulmonary arteries and significant underestimation of their diameters and indexed parameters. Cardiac CT and MRI, in performing morphometry of the pulmonary artery system, demonstrated equal effectiveness and served as alternative methods to direct angiography. The choice between preoperative cardiac CT and MRI for a child with TOF should be made on a case-by-case basis, considering the patient's overall condition, the presence of contraindications for prolonged anesthesia on MRI or administration of contrast agents during cardiac CT.

Keywords: tetralogy of Fallot, TOF, cardiac CT, ECHO-CG, cardiac MRI, children, congenital heart disease, conventional angiography, pulmonary artery, Nakata index, McGoon ratio.

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

For citation: Khasanova K.A., Ternovoy S.K., Abramyan M.A. Transthoracic echocardiography, cardiac CT and MRI in pulmonary arteries assessment in children with tetralogy of fallot. REJR 2023; 13(3):39-50. DOI: 10.21569/2222-7415-2023-13-3-39-50.

Received: 31.08.23

Accepted: 25.09.23

Тетрада Фалло (ТФ) относится к группе пороков конотрункуса, составляет 10% от всех врожденных сердечных аномалий и до 80% от всех цианотических врожденных пороков сердца (ВПС) с частотой встречаемости 2,5-3,5 на 1000 живорожденных детей [1]. Классический вариант ТФ представлен следующими анатомическими признаками: подаортальный дефект межжелудочковой перегородки (ДМЖП), сужение выводного отдела правого желудочка (ВОПЖ) и/или легочной артерии (ЛА), гипертрофия правого желудочка (ПЖ) и декстрапозиция аорты. Клинические проявления ТФ и прогноз заболевания напрямую зависят от исходной выраженности степени сужения ЛА [2]. Уровень развития легочно-артериального русла и особенности ее анатомии являются одними из важнейших факторов, определяющими тактику хирургическо-

го ведения этой группы пациентов и возможность выполнения одномоментной радикальной коррекции [3].

Одной из основных задач методов кардиовизуализации у детей с ТФ на дооперационном этапе является определение степени выраженности гипоплазии системы легочной артерии, которая традиционно оценивается с помощью легочно-артериального индекса (Nakata index), индекса McGoon и показателя z-score. Индекс Nakata более 150 мм²/м² относится к критериям возможного проведения радикальной коррекции ТФ. Индекс McGoon менее 1,8 является одним из показателей к проведению паллиативного этапа коррекции ТФ и невозможности проведения одномоментной коррекции порока [4, 5].

До недавнего времени диагностический алгоритм ведения детей с ТФ на дооперационном этапе включал в себя рутинное прове-

дение трансторакальной ЭХО-КГ и катетеризацию камер сердца с выполнением прямой ангиографии (АГ), которая считается «золотым стандартом» предоперационного планирования коррекции ТФ и выполняется для морфометрии системы ЛА с последующим расчётом z-score, индексов Nakata и McGoop [6, 7].

ЭХО-КГ, будучи широкодоступной надёжной неинвазивной методикой оценки хирургических рисков и морфометрии крупных сосудов сердца при многих ВПС у детей до года и младшей возрастной группы, заявляется рядом авторов, как полноценный и окончательный диагностический инструмент в предоперационной оценке степени выраженности гипоплазии системы ЛА у детей с ТФ, не имеющий статистически значимой разницы с КТ-сердца и прямой АГ [7, 8]. Последние 5 лет существует тенденция выбора тактики хирургического ведения детей с ТФ, основанной только на ЭХО-КГ-оценке анатомии порока, морфометрии ЛА и расчетов индексов [9]. Наравне с этим метод ЭХО-КГ не всегда дает исчерпывающие ответы на вопросы, имеющие решающее значение в определении тактики ведения детей с ТФ из-за наличия ограничений в акустическом окне, визуализации правых отделов сердца и дистальных отделов ЛА. По полученным данным в исследованиях ряда авторов результаты морфометрии системы ЛА (ствол ЛА и устья правой ЛА и левой ЛА) по ЭХО-КГ имеют тенденцию к занижению показателей и отличаются от измерений, полученных при проведении КТ-сердца, прямой АГ и интраоперационно, тем самым ограничивая возможность проведения радикальной коррекции ТФ у детей с потенциальной возможностью ее выполнения [10, 11].

Прямая АГ представляет собой инвазивную методику, имеет ряд ограничений и недостатков, связанных с относительно высокой дозой ионизирующего излучения, риском развития кровотечения, травматизации и окклюзии сосуда, используемого для доступа [12]. В связи с этим, в последнее время появляется все больше работ по изучению возможностей современных неинвазивных методов кардио-визуализации (КТ и МРТ сердца с внутривенным контрастированием) для предоперационного планирования и оценки развития системы ЛА у детей с ТФ.

Отсутствие единого диагностического алгоритма в оценке наличия и степени выраженности гипоплазии системы ЛА, доступность широкого спектра современных высокоинформативных методов кардиовизуализации и, следовательно, возможный риск

дублирования получаемых результатов определяют актуальность проведения сравнительного анализа возможностей трансторакальной ЭХО-КГ, КТ и МРТ сердца с интраоперационными и ангиографическими результатами в оценке состояния ЛА у детей с ТФ до года и младшей возрастной группы.

Цель исследования.

Сравнить возможности трансторакальной ЭХО-КГ, КТ и МРТ сердца в определении и оценке степени выраженности гипоплазии системы легочной артерии у детей с тетрадой Фалло в рамках предоперационного планирования.

Материалы и методы.

В исследование включено 72 ребенка с входящим клиническим диагнозом – тетрада Фалло (ТФ), которые поступили в «ГБУЗ Морозовская ДГКБ ДЗМ» в период с 2019 по 2023 гг. Средний возраст пациентов составил 8,5 (3.5; 8.5) месяцев (72% детей грудного возраста, 21% – младшей возрастной группы (от года до 5 лет), 7% – новорожденных). Все дети до выполнения КТ и/или МРТ сердца и прямой ангиографии (АГ) 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 ЭКГ, ЭХО-КГ и рентгенографии органов грудной клетки. В рамках предоперационного планирования для уточнения морфологических особенностей порока и оценки развития системы ЛА 64 пациентам была выполнена КТ сердца с болюсным контрастным усилением (КУ), 30 – МРТ сердца, 9 – диагностическая катетеризация полостей сердца с прямой АГ. 34 пациентам прямая АГ была проведена в рамках паллиативного эндоваскулярного этапа коррекции порока. КТ и МРТ сердца были выполнены 22 пациентам.

ЭХО-КГ 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 эхокардиографии, доплерографии и цветного доплеровского картирования (ЦДК).

КТ сердца была проведена у 64 из 72 пациентов, исследование выполнялось на фоне общей медикаментозной седации. КТ сердца проводили на 256-срезовом компьютерном томографе Philips Brilliance iCT, с шириной детектора – 8 см, с и без ретроспективной ЭГК-синхронизацией. Использовали толщину реконструируемых срезов 0,625 и 1,5 мм. В качестве контрастного вещества применяли неионный низкоосмоляр-

ный контрастный препарат – Ультравист-350, внутривенное введение осуществляли с помощью двухколбового шприца-инжектора в объёме 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 общей медикаментозной седации. 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 системы ЛА использовались импульсные последовательности на основе «градиент-эхо» с проспективной синхронизацией по сигналу ЭКГ (балансированное градиентное ЭХО с инверсией – ВТФЕ-последовательность) и синхронизацией с дыханием. Для проведения морфометрии ствола ЛА, пЛА и лЛА и для оценки морфологии и функции сердца срезы ориентировали в трех стандартных плоскостях и в плоскостях, аналогичных эхографическим проекциям: двух- и четырехкамерным. Все исследования проводились без использования внутривенного контрастного усиления.

Катетеризация полостей сердца с АГ (диагностическая и в рамках паллиативного эндоваскулярного этапа коррекции порока) была выполнена 43 детям на фоне общей медикаментозной седации на ангиографическом комплексе Philips Allura Centron.

Морфометрия системы легочной артерии.

При проведении Эхо-КГ, КТ и МРТ сердца осуществлялась морфометрия сегментов ЛА на уровнях: ствола ЛА, устья правой ЛА, устья левой ЛА.

Морфометрия на дистальных уровнях правой ЛА и левой ЛА по ЭХО-КГ осуществлялась только при условии возможности выведения этих сегментов сосудов – n=37 (при хорошем акустическом окне), при проведении КТ и МРТ сердца – у всех пациентов. На основании полученных данных был произведен расчет:

- показателей z-score для ствола ЛА, правой ЛА (пЛА) и левой ЛА (лЛА). Показатель z-score определялся на основе весоростовых характеристик, по шкалам z-score калькулятора.

- индекса McGoop по формуле отношения суммы диаметров пЛА и лЛА (измеренных перед отхождением верхнедолевой ветви) к диаметру нисходящей аорты на уровне диафрагмы.

- индекса Nakata по формуле отношения суммы диаметров пЛА и лЛА (измеренных перед отхождением верхнедолевой ветви) к площади поверхности тела.

Индекс McGoop рассчитывался только для тех детей, у которых была проведена диагностическая катетеризация полостей сердца с АГ, либо паллиативная коррекция порока с проведением прямой АГ для возможности сопоставления полученных измерений диаметра нисходящей аорты. Индекс McGoop рассчитывался и сравнивался с прямой АГ только для ЭХО-КГ и КТ-методик, из-за ограниченной выборки пациентов с наличием и кардио-МРТ, и прямой АГ (n=8), ввиду рисков пребывания детей с гиповолемией малого круга кровообращения в длительном наркозе, наличие которого предполагают обе эти процедуры. Также для расчета индекса McGoop проводилась морфометрия нисходящего отдела аорты (на уровне диафрагмы).

Полученные измерения сопоставлялись с ангиометрическими результатами прямой АГ, интраоперационными данными и данными аутопсии (при ее наличии). Интервал между трансторакальной ЭХО-КГ, КТ и/или МРТ сердца и проведенной АГ, либо открытым хирургическим вмешательством был менее 10 дней.

Критерием гипоплазии ЛА и ее ветвей считалось отклонение Z-score от нормальных значений менее (-2). Противопоказанием к проведению радикальной коррекции считались показатели индекса Nakata менее 150 мм²/м², индекса McGoop – менее 1,8 [4, 5].

Результаты.

Оценка диаметров и рассчитанных показателей z-score легочного ствола, пЛА и лЛА на уровне устьев методами ЭХО-КГ, КТ и МРТ сердца.

При проведении ЭХО-КГ оценка диаметров ствола, пЛА и лЛА на уровне проксимальных отделов проводилась у всех пациентов и не представляла технических сложностей (рис. 1 а). При сравнении возможностей методик ЭХО-КГ, КТ и МРТ сердца с прямой АГ/интраоперационными данными в проведении морфометрии ствола ЛА и проксимальных отделов пЛА и лЛА статистически значимой разницы диаметров получено не было: была продемонстрирована высокая информативность всех используемых методик. Также по рассчитанным показателям z-score при определении наличия гипоплазии легочно-артериального русла статистически значимой разницы между методами и ин-

Таблица №1. Сравнительный анализ возможностей ЭХО-КГ, КТ и МРТ сердца в оценке показателей гипоплазии системы легочной артерии у детей с тетрадой Фалло.

Параметр	ЭХО-КГ	КТ сердца	МРТ сердца	Прямая АГ/интраоперационные данные	p-критерий
Диаметр легочного ствола (мм)	6,81 (4,8; 7)	7,1 (4,5; 6,9)	6,75 (4,7; 7,1)	7,12(4,4; 7,35)	ЭХО-КГ vs. АГ = 0,06 ЭХО-КГ vs. КТ = 0,07 ЭХО-КГ vs. МРТ = 0,1 КТ vs. АГ = 0,3 МРТ vs. АГ = 0,41
Диаметр лЛА на уровне устья (мм)	5,97 (4,4; 7)	6 (4,4; 7,1)	5,9 (5,15; 7,35)	6 (4,5; 7)	ЭХО-КГ vs. АГ = 0,05 ЭХО-КГ vs. КТ = 0,06 КТ vs. АГ = 0,40 МРТ vs. АГ = 0,70
Диаметр лЛА на дистальном уровне (мм)	7 (3,9; 6,5)	7,45 (4,05; 7)	7,41 (4,1; 6,9)	7,65(4,23; 7,2)	<u>ЭХО-КГ vs. АГ = 0,001</u> <u>ЭХО-КГ vs. КТ = 0,008</u> <u>ЭХО-КГ vs. МРТ = 0,01</u> КТ vs. АГ = 0,73 МРТ vs. АГ = 0,22
Диаметр лЛА на уровне устья (мм)	5,84 (4,9; 6,1)	5,93 (5,1; 6,0)	5,89 (4,96; 6,21)	6,1 (4,6; 6,01)	ЭХО-КГ vs. АГ = 0,06 ЭХО-КГ vs. КТ = 0,1 КТ vs. АГ = 0,73 МРТ vs. АГ = 0,22
Диаметр лЛА на дистальном уровне (мм)	7,25 (2,8; 5,9)	7,87(3,1; 5,24)	7,95 (3,3; 5,9)	8,12 (2,96; 5,1)	<u>ЭХО-КГ vs. АГ = 0,003</u> <u>ЭХО-КГ vs. КТ = 0,006</u> <u>ЭХО-КГ vs. МРТ = 0,04</u> КТ vs. АГ = 0,19 МРТ vs. АГ = 0,09
Наkata индекс (мм ² /м ²)	151 (83,9; 195)	177 (101,9; 221,2)	171 (102,6; + 197,7)	179(105; 227)	<u>ЭХО-КГ vs. АГ < 0,001</u> <u>ЭХО-КГ vs. КТ = 0,003</u> <u>ЭХО-КГ vs. МРТ = 0,04</u> КТ vs. АГ = 0,19 МРТ vs. АГ = 0,09
McGoon индекс	1,56 (1,17; 1,74)	1,76 (1,1; 2)	-	1,78(1,2; 1,96)	<u>ЭХО-КГ vs. АГ = 0,010</u> <u>ЭХО-КГ vs. КТ = 0,04</u> КТ vs. АГ = 0,46
Нисходящая аорта (на уровне диафрагмы)	8,56 (2,98; 4,2)	8,8 (2,1; 3,98)	-	9 (2,1; 3,6)	ЭХО-КГ vs. АГ = 0,12 ЭХО-КГ vs. КТ = 0,07 КТ vs. АГ = 0,3

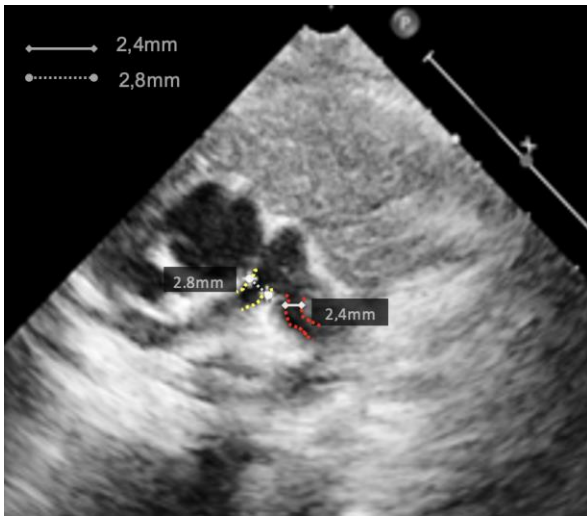


Рис. 1 а (Fig. 1 а)

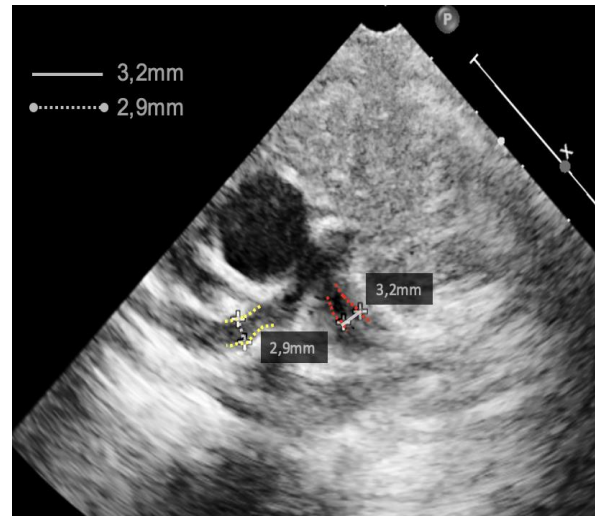


Рис. 1 б (Fig. 1 б)

Рис. 1. Пациент А., 5 месяцев (BSA 0,14 м2), тетрада Фалло. Предоперационная морфометрия системы легочной артерии методом трансторакальной ЭХО-КГ.

а – Парастеральная позиция, короткая ось. Определение диаметров правой легочной артерии (желтая пунктирная линия) и левой легочной артерии (красная пунктирная линия) на уровне проксимальных отделов для расчета z-score показателей.

б – Парастеральная позиция, короткая ось. Определение диаметров правой легочной артерии (желтая пунктирная линия) и левой легочной артерии (красная пунктирная линия) на уровне дистальных отделов для расчета индексов Nakata и McGoon.

По результатам морфометрии системы ЛА методом ЭХО-КГ: z-score пЛА = -2,04, z-z-score лЛА = -2,63 (гипоплазия системы ЛА), индекс Nakata -112 мм²/м², индекс McGoon 1,8. На основании ЭХО-КГ пациенту показано проведение паллиативного этапа коррекции порока. В рамках предоперационного планирования для уточнения состояния дистальных отделов правой и левой ЛА, степени выраженности гипоплазии системы легочной артерии, а также оценки объёмов и функции правого желудочка пациенту выполнены КТ и МРТ сердца. Временной промежуток между исследованиями – 6 дней.

Fig. 1. Patient A., 5 months old (BSA 0.14 m²), Tetralogy of Fallot. Preoperative morphometry of the pulmonary artery system using transthoracic echocardiography.

а – Parasternal view, short-axis. Determination of the diameters of the right pulmonary artery (yellow dashed line) and left pulmonary artery (red dashed line) at the level of proximal segments for calculating z-score values.

б – Parasternal view, short-axis. Determination of the diameters of the right pulmonary artery (yellow dashed line) and left pulmonary artery (red dashed line) at the level of distal segments for calculating Nakata and McGoon indices.

Based on echocardiography morphometry of the pulmonary artery system: z-score for right PA = -2.04, z-score for left PA = -2.63 (hypoplasia of the PA system), Nakata index -112 mm²/m², McGoon index 1.8. Based on the echocardiography findings, the patient was recommended for a palliative operation. As part of preoperative planning to further assess the condition of the distal segments of the right and left PAs, the severity of PA hypoplasia, and the evaluation of right ventricular volumes and function, the patient underwent cardiac CT and MRI. The time interval between the examinations was 6 days.

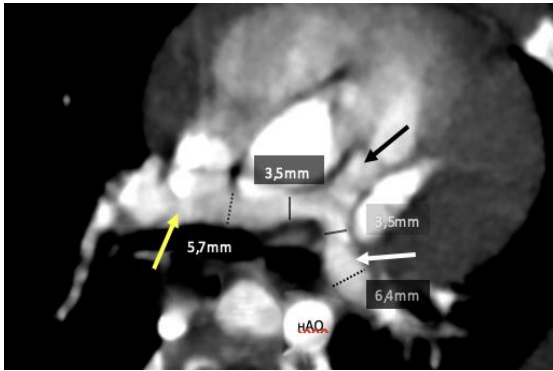


Рис. 2 а (Fig. 2 а)

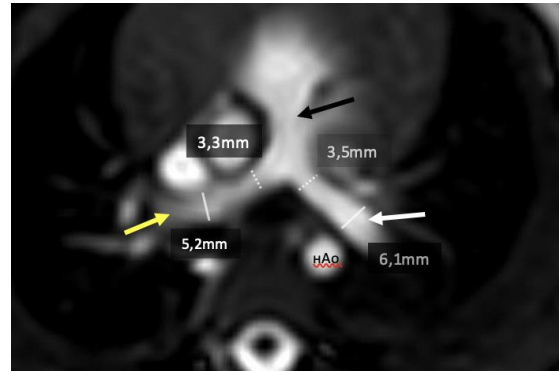


Рис. 2 б (Fig. 2 б)

Рис. 2. Тот же пациент, что и на рис. 1. Предоперационная морфометрия системы легочной артерии методами КТ и МРТ.

а – КТ сердца в условиях медикаментозной седации, с болюсным контрастным усилением, без ЭКГ-синхронизации. Венозная фаза, аксиальная плоскость.

Определены легочный ствол (черная стрелка), правая легочная артерия (желтая стрелка), левая легочная артерия (белая стрелка) на всем протяжении. Проведена морфометрия правой и левой легочных артерий на проксимальном уровне (пунктирные линии) для расчёта z-score показателя и на дистальном уровне (сплошные белые линии) для расчёта индексированных показателей Nakata и McGoon. По результатам морфометрии системы ЛА методом КТ: z-score пЛА = -0,9, z-score лЛА = - 1,01 (невыраженная гипоплазия системы ЛА), индекс Nakata -159 мм²/м², индекс McGoon 2,2. На основании КТ сердца у пациента отсутствуют противопоказания к выполнению радикальной коррекции порока.

б – МРТ сердца в условиях медикаментозной седации с ЭКГ-синхронизацией и синхронизацией по дыханию, аксиальная плоскость, режим ВТФЕ.

Определены легочный ствол (черная стрелка), правая легочная артерия (желтая стрелка), левая легочная артерия (белая стрелка) на всем протяжении. Проведена морфометрия правой и левой легочных артерий на проксимальном уровне (пунктирные линии) для расчёта z-score показателя и на дистальном уровне (сплошные белые линии) для расчёта индексированных показателей Nakata и McGoon. По результатам морфометрии системы ЛА по МРТ: z-score пЛА = -1,9, z-score лЛА = - 1,01 (невыраженная гипоплазия системы ЛА), индекс Nakata -157 мм²/м², индекс McGoon 2,1. На основании кардио-МРТ сердца у пациента отсутствуют противопоказания к выполнению радикальной коррекции порока. Было принято решение о проведении радикальной коррекции тетрады Фалло с пластикой выводного отдела правого желудочка, кольца и ствола легочной артерии в условиях искусственного кровообращения и гипотермии. Интраоперационно показатели z-score пЛА = -0,7, z-score лЛА = -0,9 (невыраженная гипоплазия системы ЛА), индекс Nakata -167 мм²/м², индекс McGoon 2,4.

Fig. 2. The same patient as in figure 1. Preoperative morphometry of the pulmonary artery system using CT and MRI methods.

а – Cardiac CT (medical sedation), contrast enhancement. Venous phase, axial plane, MIP.

The main pulmonary artery (black arrow), right pulmonary artery (yellow arrow), and left pulmonary artery (white arrow) are identified throughout their extent. morphometry of the right and left pulmonary arteries is performed at the proximal level (dashed lines) for calculating z-score values and at the distal level (solid white lines) for calculating indexed Nakata and McGoon values. Based on echocardiography morphometry of the PA system: z-score = -1.9 (PA system hypoplasia), Nakata index -159 mm²/m², McGoon index 2.4. Based on cardiac CT findings, the patient has no contraindications for radical defect correction.

б – Cardiac MRI (medical sedation) with ECG-gated and respiratory-gated, axial plane, BTFE mode.

The main pulmonary artery (black arrow), right pulmonary artery (yellow arrow), and left pulmonary artery (white arrow) are identified throughout their extent. Morphometry of the right and left pulmonary arteries is performed at the proximal level (dashed lines) for calculating z-score values and at the distal level (solid white lines) for calculating indexed Nakata and McGoon values. Based on MRI morphometry of the PA system: z-score for right PA = -1.9, z-score for left PA = -1.01 (mild PA system hypoplasia), Nakata index -159 mm²/m², McGoon index 2.4. Based on cardiac MRI findings, the patient has no contraindications for radical defect correction. Radical surgery of tetralogy of Fallot with right ventricular outflow tract and pulmonary artery reconstruction with cardiopulmonary bypass and hypothermia. Intraoperatively: z-score pLA = -0.7, z-score lPA = -0.9 (unexpressed hypoplasia of the PA system), Nakata index -167 mm²/m², McGoon index 2.4.

траперационными/АГ-результатами получено не было (рис. 2).

Оценка диаметров пЛА и лЛА на уровне дистальных отделов и индексированных показателей (индексы Nakata и Mcgoon) методами ЭХО-КГ, КТ и МРТ сердца.

Возможность измерения диаметров дистальных отделов пЛА и лЛА и расчет индексов Nakata и McGoon по ЭХО-КГ были у 37 пациентов из 72 (51,3%) из-за ограничений в акустическом окне и объективными сложностями визуализации пЛА и лЛА на уровне их деления на долевые ветви особенно в случаях выраженной гипоплазии легочно-артериального русла (рис. 1 б). Полученные результаты измерений дистальных отделов пЛА и лЛА у 37 пациентов по ЭХО-КГ статистически значимо отличались от показателей КТ, МРТ, прямой АГ и интраоперационными данными с достоверным занижением диаметров сосудов. Результаты измерений дистальных отделов ЛА по КТ и МРТ в сравнении с прямой АГ/интраоперационными статистически значимо не отличались (рис. 2). Оба метода не значимо занижали диаметр сосудов. Также не было получено значимых различий при сравнении КТ и МРТ в оценке диаметров дистальных отделов легочно-артериального русла.

Индекс McGoon рассчитывался у 43 пациентов, которым была проведена диагностическая катетеризация с прямой АГ, либо паллиативная коррекция, в рамках которой была проведена прямая АГ и в ходе которой рассчитывался диаметр нисходящей аорты (на уровне диафрагмы). Сравнение измерений индекса McGoon методом ЭХО-КГ и данными прямой АГ было проведено у детей с возможностью оценки дистальных отделов ЛА по ЭХО-КГ (n=37). Анализ определил значимое занижение индексов по ЭХО-КГ в сравнении с прямой АГ и КТ сердца. Рассчитанный индекс McGoon при проведении КТ сердца значимо не отличался от данных прямой АГ.

Индекс Nakata по ЭХО-КГ также рассчитывался у детей с технической возможностью оценки диаметров ЛА на дистальном уровне (n=37). По КТ и МРТ индекс Nakata рассчитывался у всех детей, включенных в исследование. Сравнение измерений индекса Nakata методом ЭХО-КГ и данными прямой АГ выявило статистически значимые различия: были зафиксированы пониженные значения индекса по ЭХО-КГ. Сравнение измерений индекса Nakata между методами ЭХО-КГ и КТ сердца и ЭХО-КГ и кардио-МРТ зафиксировало статистически значимое занижение индекса методом ЭХО-КГ в сравнении

с КТ и МРТ. Рассчитанный индекс Nakata при проведении КТ и МРТ сердца значимо не отличался от данных прямой АГ и между собой. Сравнение всех морфометрических параметров и индексированных показателей представлено в таблице №1.

Радикальная коррекция была проведена на 38 пациентам, 34 – паллиативная операция: у 11 пациентов на основании данных дообследования (КТ, МРТ сердца) тактика хирургического ведения была изменена с паллиативного подхода на радикальный (рис. 1 и рис. 2).

Based on echocardiography morphometry of the pulmonary artery system: z-score for right PA = -2.04, z-score for left PA = -2.63 (hypoplasia of the PA system), Nakata index -112 mm²/m², McGoon index 1.8. Based on the echocardiography findings, the patient was recommended for a palliative operation. As part of preoperative planning to further assess the condition of the distal segments of the right and left PAs, the severity of PA hypoplasia, and the evaluation of right ventricular volumes and function, the patient underwent cardiac CT and MRI. The time interval between the examinations was 6 days.

Обсуждение.

Возможность оказания помощи и прогноз заболевания у детей с ТФ в первую очередь определяются степенью выраженности гипоплазии системы ЛА и наличием сочетанных интра- и экстракардиальных аномалий [2, 3]. Оценка развития системы ЛА у детей возможна с помощью широкого спектра визуализационных методов: ЭХО-КГ, КТ сердца и кардио-МРТ, однако при классической форме ТФ с гипоплазией системы ЛА в условиях ограниченного легочного кровотока существует тенденция к недооценке легочно-артериального русла методами кардиовизуализации, что может сужать показания и ограничивать возможность проведения одномоментной радикальной коррекции порока [10].

«Золотым стандартом» в предоперационной оценке анатомии ЛА и степени выраженности ее гипоплазии остается диагностическая катетеризация полостей сердца с проведением прямой АГ [5, 6].

Прогрессивное развитие неинвазивных методик для морфофункциональной оценки сердца в разных патологических аспектах обуславливает повышенный и оправданный интерес к КТ и МРТ со стороны кардиологов и кардиохирургов [13]. В настоящее время в условиях доступности и высокой точности современных неинвазивных инструментов визуализации сердца вопрос целесообразно-

сти и необходимости рутинного применения прямой АГ у детей с ТФ остается открытым [14]. В последнее время существует тенденция к проведению того или иного типа оперативной коррекции пороков, только на основании данных полученных по ЭХО-КГ [9].

В проведенном нами исследовании были определены возможности неинвазивных методов кардиовизуализации (ЭХО-КГ, КТ и МРТ сердца) в оценке диаметров и индексированных показателей легочно-артериальной системы на дооперационном этапе у детей с ТФ. Полученные в ходе ЭХО-КГ, КТ и МРТ сердца измерения сопоставлялись с результатами прямой АГ и/или интраоперационными данными.

Трансторакальная ЭХО-КГ, как инициальный метод неинвазивной диагностики сложных ВПС с гиповолемией малого круга кровообращения, играет важную роль в оценке ЛА у детей с ТФ, однако имеет ограничения оценки диаметров пЛА и лЛА на протяжении и на уровне отхождения верхнедолевой ветви, особенно у детей старше 6 месяцев, по мере роста грудной клетки и ухудшения акустического окна [14]. Сужение просвета пЛА и лЛА в устье и в проксимальных отделах при условии отсутствия выраженной гипоплазии на уровне бифуркации на долевые ветви не является противопоказанием к проведению радикальной коррекции [15]. Описанные ограничения метода в оценке ЛА на протяжении и в дистальных отделах коррелируют с полученными в ходе нашего исследования результатами: из 72 детей с ТФ по ЭХО-КГ была возможность оценки диаметров пЛА и лЛА на дистальном уровне только у 37 пациентов (51,3%). При этом во всех случаях четкая визуализация была затруднена: были получены результаты значимого занижения диаметров и индексированных показателей (индекс McGoon и индекс Nakata) по ЭХО-КГ, как в сравнении с прямой АГ/интраоперационными данными, так и в сравнении с методами КТ и МРТ сердца. У 11 пациентов после ЭХО-КГ в ходе дообследования в виде проведения КТ, МРТ сердца или прямой АГ тактика ведения была изменена с паллиативной на радикальную коррекцию.

Таким образом, трансторакальная ЭХО-КГ не может быть окончательным методом предоперационной оценки диаметров и индексированных показателей системы ЛА у детей с ТФ, и даже при условии технической возможности проведения измерений и оценки диаметров дистальных отделов пЛА и лЛА во всех случаях должна дополняться более информативными визуализационными мето-

дами.

Широкое развитие томографических методик (КТ и МРТ сердца), возможность всесторонней оценки патологии сердца и сосудов и меньшие, по сравнению с прямой АГ риски, определяют актуальность изучения возможностей данных методик в предоперационной оценке системы ЛА у детей с гиповолемией малого круга кровообращения. По данным ряда авторов КТ и МРТ методики также, как и ЭХО-КГ, имеют тенденцию к недооценке системы ЛА: сообщается о статистически значимом занижении диаметров пЛА, лЛА и индекса Nakata при проведении КТ сердца у детей [16].

Вместе с этим существует ряд работ иностранных коллег, доказывающих высокие диагностические возможности КТ и МРТ методики в предоперационной оценке системы ЛА, измерении диаметров и индексированных показателей пЛА и лЛА на всем их протяжении [16, 17]. В настоящем исследовании результаты оценки развития системы ЛА по КТ и МРТ сердца (z-score, индексы McGoon и Nakata) сопоставимы и статистически значимо не отличаются от прямой АГ, что позволяет сделать важный вывод о возможности использования неинвазивных томографических методик, как полноценную альтернативу катетеризации полостей сердца с проведением прямой АГ. При проведении попарного сравнения возможностей КТ и МРТ методики в оценке развития ЛА статистически значимых различий также получено не было.

Заключение.

Основным методом лечения пациентов со сложными ВПС, включая ТФ, является хирургическая коррекция порока. Одним из ключевых критериев, влияющих на выбор метода коррекции ТФ у детей является степень выраженности гипоплазии системы ЛА.

Трансторакальная ЭХО-КГ не может считаться окончательным методом предоперационной оценки развития системы ЛА у детей с ТФ ввиду ограничения возможностей визуализации дистальных отделов правой и левой легочных артерий и значимым занижением диаметров и индексированных показателей последних.

КТ и МРТ сердца в проведении морфометрии системы ЛА показали себя равнозначно, как высокоэффективные и альтернативные прямой ангиографии методики.

Выбор между предоперационной КТ и МРТ сердца для ребенка с ТФ должен проводиться в каждом конкретном случае отдельно с учетом общего состояния пациента, наличия противопоказаний к более длительному пребыванию в наркозе при проведении

МРТ, и/или введению рентгеноконтрастных препаратов при проведении КТ сердца.

Источник финансирования и конфликт 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. Бокерия А. А., Подзолков В. П., Глянцев С. П., Кокшениев И. В., Логинова С. В.. История хирургии тетрады Фалло. Часть 1. описание и диагностика порока. подходы к оперативному лечению и начало разработки методов паллиативных операций. Детские болезни сердца и сосудов. 2005.
3. Пурсанов М.Г. Современные паллиативные методы лечения новорожденных и грудных детей с тетрадой Фалло. Часть 1. Хирургическое лечение. Детские болезни сердца и сосудов. 2017; 14 (3): 133-138. DOI: 10.24022/1810-0686-2017-14-3-133-138
4. Nakata S, Imai Y, Takanashi Y, Kurosawa H, Tezuka K, Nakazawa M, Ando M, Takao A. A new method for the quantitative standardization of cross-sectional areas of the pulmonary arteries in congenital heart diseases with decreased pulmonary blood flow. J Thorac Cardiovasc Surg. 1984; 88 (4): 610-9. PMID: 6482493.
5. Piehler JM, Danielson GK, McGoon DC, Wallace RB, Fulton RE, Mair DD. Management of pulmonary atresia with ventricular septal defect and hypoplastic pulmonary arteries by right ventricular outflow construction. J Thorac Cardiovasc Surg. 1980; 80 (4): 552-567
6. Клинические рекомендации Министерства здравоохранения Российской Федерации «Тетрада Фалло», 2022.
7. Khan SM, Drury NE, Stickley J, Barron DJ, Brawn WJ, Jones TJ, Anderson RH, Crucean A. Tetralogy of Fallot: morphological variations and implications for surgical repair. Eur J Cardiothorac Surg. 2019; 56 (1): 101-109. doi: 10.1093/ejcts/ezy474. PMID: 30657877; PMCID: PMC6580293
8. Sánchez Ramírez CJ, Pérez de Isla L. Tetralogy of Fallot: cardiac imaging evaluation. Ann Transl Med. 2020; 8 (15): 966. doi: 10.21037/atm.2020.02.18. PMID: 32953766; PMCID: PMC7475417.
9. Apostolopoulou SC, Manginas A, Kelekis NL, Noutsias M. Cardiovascular imaging approach in pre and postoperative tetralogy of Fallot. BMC Cardiovasc Disord. 2019; 19 (1): 7. doi: 10.1186/s12872-018-0996-9. PMID: 30616556; PMCID: PMC6323806.
10. Kumar A, Sahu AK, Goel PK, Jain N, Garg N, Khanna R,

- Kumar S, Tewari S, Kapoor A. Comparison of non-invasive assessment for pulmonary vascular indices by two-dimensional echocardiography and cardiac computed tomography angiography with conventional catheter angiography in unrepaired Tetralogy of Fallot physiology patients weighing more than 10 kg: a retrospective analysis. Eur Heart J Cardiovasc Imaging. 2023; 24 (3): 383-391. doi: 10.1093/ehjci/jeac078. PMID: 35511585.
11. Козырев И.А., Морозов А.А., Латыпов А.К., Василец А.В., Котин Н.А., Гордеев М.А., Грехов Е.В. Оценка легочных артерий у пациентов с тетрадой Фалло. Патология кровообращения и кардиохирургия. 2018; 22 (4): 48-53. <http://dx.doi.org/10.21688/1681-3472-2018-4-48-53>
12. Yang JC, Lin MT, Jaw FS, Chen SJ, Wang JK, Shih TT, Wu MH, Li YW. Trends in the utilization of computed tomography and cardiac catheterization among children with congenital heart disease. J Formos Med Assoc. 2015; 114 (11): 1061-8. doi: 10.1016/j.jfma.2014.08.004. Epub 2014 Sep 18. PMID: 25241602; PMCID: PMC7126232.
13. Жамбеев А.А., Гаспарян А.Ж., Стукалова О.В., Шлевков Н.Б. Возможности магнитно-резонансной томографии с контрастированием для оценки риска внезапной сердечной смерти у различных категорий кардиологических пациентов. REJR. 2017; 7 (4): 130-139. DOI:10.21569/2222-7415-2017-7-4-130-139.
14. Swamy P, Bharadwaj A, Varadarajan P, Pai RG. Echocardiographic evaluation of tetralogy of Fallot. Echocardiography. 2015; 32 Suppl 2: S148-56. doi: 10.1111/echo.12437. Epub 2014 May 29. PMID: 24888422.
15. Krieger EV, Valente AM. Tetralogy of Fallot. Cardiol Clin. 2020; 38 (3): 365-377. doi: 10.1016/j.ccl.2020.04.009. Epub 2020 Jun 10. PMID: 32622491.
16. Garg N, Walia R, Neyaz Z, Kumar S. Computed tomographic versus catheterization angiography in tetralogy of Fallot. Asian Cardiovasc Thorac Ann. 2015; 23 (2): 164-75. doi: 10.1177/0218492314538844. Epub 2014 Jun 9. PMID: 24912609.
17. Lapierre C, et al. Tetralogy of Fallot: Preoperative assessment with MR and CT imaging. Diagnostic and Interventional Imaging (2016) <http://dx.doi.org/10.1016/j.diii.2016.01.009>.

References:

1. Podzolkov V.P., Shvedunova V.N. Congenital heart defects. breast cancer. 2001; 10: 430 (in Russian).
2. Bockeria L. A., Podzolkov V. P., Glyantsev S. P., Kokshenev I. V., Loginova S. V. History of surgery of Fallot's tetralogy. Part 1. description and diagnosis of the defect. approaches to surgical treatment and the beginning of the development of methods for palliative operations. Children's diseases of the heart and blood vessels. 2005 (in Russian).
3. Pursanov M.G. Modern palliative methods of treatment of

- newborns and infants with Fallot's tetralogy. Part 1. Surgical treatment. Children's diseases of the heart and blood vessels. 2017; 14 (3): 133-138. DOI: 10.24022/1810-0686-2017-14-3-133-138 (in Russian).
4. Nakata S, Imai Y, Takanashi Y, Kurosawa H, Tezuka K, Nakazawa M, Ando M, Takao A. A new method for the quantitative standardization of cross-sectional areas of the pulmonary arteries in congenital heart diseases with decreased pulmonary blood flow. J Thorac Cardiovasc Surg. 1984; 88

- (4): 610-9. PMID: 6482493.
5. Piehler JM, Danielson GK, McGoon DC, Wallace RB, Fulton RE, Mair DD. Management of pulmonary atresia with ventricular septal defect and hypoplastic pulmonary arteries by right ventricular outflow construction. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 1980; 80 (4): 552-567
6. Clinical recommendations of the Ministry of Health of the Russian Federation "Tetrada of Fallot", 2022 (in Russian).
7. Khan SM, Drury NE, Stickley J, Barron DJ, Braun WJ, Jones TJ, Anderson RH, Crucean A. Tetralogy of Fallot: morphological variations and implications for surgical repair. *Eur J Cardiothorac Surg.* 2019; 56 (1): 101-109. doi: 10.1093/ejcts/ezy474. PMID: 30657877; PMCID: PMC6580293
8. Sánchez Ramírez CJ, Pérez de Isla L. Tetralogy of Fallot: cardiac imaging evaluation. *Ann Transl Med.* 2020; 8 (15): 966. doi: 10.21037/atm.2020.02.18. PMID: 32953766; PMCID: PMC7475417.
9. Apostolopoulou SC, Manginas A, Kelekis NL, Noutsias M. Cardiovascular imaging approach in pre and postoperative tetralogy of Fallot. *BMC Cardiovasc Disord.* 2019; 19 (1): 7. doi: 10.1186/s12872-018-0996-9. PMID: 30616556; PMCID: PMC6323806.
10. Kumar A, Sahu AK, Goel PK, Jain N, Garg N, Khanna R, Kumar S, Tewari S, Kapoor A. Comparison of non-invasive assessment for pulmonary vascular indices by two-dimensional echocardiography and cardiac computed tomography angiography with conventional catheter angiography in unrepaired Tetralogy of Fallot physiology patients weighing more than 10 kg: a retrospective analysis. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging.* 2023; 24 (3): 383-391. doi: 10.1093/ehjci/jeac078. PMID: 35511585.
11. Kozyrev I.A., Morozov A.A., Latypov A.K., Vasilets A.V., Kotin N.A., Gordeev M.L., Grekhov E.V. Evaluation of the pulmonary arteries in patients with tetralogy of Fallot. *Circulatory pathology and cardiac surgery.* 2018; 22 (4): 48-53. <http://dx.doi.org/10.21688/1681-3472-2018-4-48-53> (in Russian).
12. Yang JC, Lin MT, Jaw FS, Chen SJ, Wang JK, Shih TT, Wu MH, Li YW. Trends in the utilization of computed tomography and cardiac catheterization among children with congenital heart disease. *J Formos Med Assoc.* 2015; 114 (11): 1061-8. doi: 10.1016/j.jfma.2014.08.004. Epub 2014 Sep 18. PMID: 25241602; PMCID: PMC7126232.
13. Zhambeev A.A., Gasparyan A.Zh., Stukalova O.V., Shlevkov N.B. Possibilities of contrast-enhanced magnetic resonance imaging for evaluation risk of sudden cardiac death in various categories of cardiac patients. *REJR.* 2017; 7 (4): 130-139. DOI: 10.21569/2222-7415-2017-7-4-130-139 (in Russian).
14. Swamy P, Bharadwaj A, Varadarajan P, Pai RG. Echocardiographic evaluation of tetralogy of Fallot. *Echocardiography.* 2015; 32 Suppl 2: S148-56. doi: 10.1111/echo.12437. Epub 2014 May 29. PMID: 24888422.
15. Krieger EV, Valente AM. Tetralogy of Fallot. *Cardiol Clin.* 2020; 38 (3): 365-377. doi: 10.1016/j.ccl.2020.04.009. Epub 2020 Jun 10. PMID: 32622491.
16. Garg N, Walia R, Neyaz Z, Kumar S. Computed tomographic versus catheterization angiography in tetralogy of Fallot. *Asian Cardiovasc Thorac Ann.* 2015; 23 (2): 164-75. doi: 10.1177/0218492314538844. Epub 2014 Jun 9. PMID: 24912609.
17. Lapierre C, et al. Tetralogy of Fallot: Preoperative assessment with MR and CT imaging. *Diagnostic and Interventional Imaging.* 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.diii.2016.01.009>.