

СОВРЕМЕННАЯ ЛУЧЕВАЯ ДИАГНОСТИКА ВРОЖДЕННЫХ ПОРОКОВ СЕРДЦА У ДЕТЕЙ

Хасанова К.А.^{1,2}, Абрамян М.А.¹

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

2– ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет имени И. М. Сеченова (Сеченовский университет)» МЗ РФ. г. Москва, Россия.

Врожденные пороки сердца (ВПС) – один из распространенных видов врожденных пороков развития (ВПР) и самая частая причина младенческой смертности. Несмотря на тенденцию к более ранней диагностике ВПС у детей, выявляемость врожденных аномалий сердца в России все еще остается на относительно низком уровне, что влечет за собой высокие показатели смертности и инвалидности среди детей всех возрастных групп. Раннее выявление порока, корректная предоперационная диагностика и правильный выбор хирургического пособия являются ключевыми звеньями в показателях низкой послеоперационной летальности и хороших отдаленных результатах лечения.

С развитием кардиохирургической службы требования к уровню диагностики постоянно растут. Основными неинвазивными методиками в морфофункциональной оценке сердца у детей с ВПС остаются эхокардиография (ЭХО-КГ), компьютерная томография (КТ) и магнитно-резонансная томография (МРТ). Все три метода имеют высокие показатели диагностической точности и тем самым высокий риск дублирования получаемой информации. Разработка единого диагностического алгоритма ВПС у детей с учетом сильных и слабых сторон каждого метода для конкретной клинической ситуации остается актуальной, нерешенной задачей.

Ключевые слова: компьютерная томография, КТ-ангиография сердца, магнитно-резонансная томография, МРТ сердца, врожденные пороки сердца, ВПС, эхокардиография, ЭХО-КГ, морфофункциональная оценка.

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

Для цитирования: Хасанова К.А., Абрамян М.А. Современная лучевая диагностика врожденных пороков сердца у детей. REJR 2022; 12(3):6-17. DOI: 10.21569/2222-7415-2022-12-3-6-17.

Статья получена: 10.06.22

Статья принята: 25.08.22

CURRENT RADIOLOGICAL TRENDS IN PEDIATRIC CONGENITAL HEART DISEASE

Khasanova K.A.^{1,2}, Abramyan M.A.¹

1- Morozovskaya Children's City Clinical Hospital.

2- I.M. Sechenov First Moscow State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation (Sechenov University).

Сongenital heart defects are the most common types of congenital malformations and the most common cause of infant mortality. The detection of congenital heart abnormalities in Russia still remains at a relatively low level, which entails high rates of mortality and disability among children of all age groups. Early detection of the defect, correct diagnosis and the surgical aid are the clue to low postoperative mortality and good long-term treatment results. Development of the cardiac surgery service requires high diagnostic level. Echocardiography, computed tomography (CT) and magnetic resonance imaging (MRI) are the main non-invasive techniques in the morphofunctional assessment of the heart in children with CHD. All three methods have high

diagnostic accuracy and thus a high risk of duplication of the information. The development of a unified pediatric CHD diagnostic algorithm, depending on strengths and weaknesses of each method for each clinical situation, still an important and actual theme.

Keywords: computed tomography, magnetic resonance imaging, cardiac MRI, Cardiac CT, congenital heart defects, CHD, echocardiography.

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

For citation: Khasanova K.A., Abramyan M.A. Current radiological trends in pediatric congenital heart disease. REJR 2022; 12(3):6-17. DOI: 10.21569/2222-7415-2022-12-3-6-17.

Received: 10.06.22

Accepted: 25.08.22

Врожденные пороки сердца (ВПС) являются наиболее распространенным типом врожденных пороков развития (ВПР) и составляют 47% (12,2 на 10 тыс. родившихся живыми) всех причин смерти от аномалий развития. Метаанализы, опубликованные в 2011 г. и 2019 г. [1, 2], продемонстрировали глобальное увеличение распространенности ВПС у детей, которое, вероятно, связано с увеличением доступности диагностических технологий. По данным Росстата, в 2019 г. от ВПС умерло 1739 детей в возрасте до 15 лет, среди них 1443 ребенка до года, что среди потерь от ВПР составило 21% [Оперативные демографические показатели за 2019 г., 2020 г.].

За последние 10 лет существует тенденция к более ранней диагностике ВПС в России, однако в сравнении с развитыми странами выявляемость остается недостаточной (среди детей до 14 лет накопленная заболеваемость составляет около 1,1%, а первичная – только 0,3%). Недостаточная выявляемость ведет к повышенному количеству случаев инвалидизации и смертей среди маленьких детей и детей до года. По данным ряда авторов от 15% до 30% новорожденных выписываются из стационара без установленного ВПС, 50% новорожденных, умерших до 7 суток жизни без установленного диагноза, имеет ВПС [3, 4]. При этом в случае своевременного хирургического вмешательства летальность от ВПС могла бы снизиться с 2-3 на 1000 живорожденных до 0,6-0,8 на 1000 живорожденных [5, 6]. Возможность оказания помощи для пациентов с ВПС определяется выявляемостью патологии в первые сутки жизни.

Суммарная летальность при ВПС чрезвычайно высока, и при естественном течении заболевания к концу 1-й недели жизни умирают 29% новорожденных, к 1-му месяцу – 42%, к 1-му году – 87% детей [3]. Основную

группу младенческой смертности от ВПС составляют дети с критическими пороками, для которых характерно быстрое развитие тяжелого состояния за счет резкого дефицита сердечного выброса и, как следствие, быстро прогрессирующей сердечной недостаточности, приводящей к гипоксемии и нарушению функции жизненно важных органов [7]. Критические пороки составляют четверть всех ВПС. До 5 тыс. новорожденных детей рождаются с ВПС, при которых хирургическая коррекция необходима в первые сутки жизни [8].

Среди большого количества различных классификаций ВПС основной остается разделение аномалий по степени критичности и экстренности ситуации в первые 28 дней жизни. К критическим ВПС относятся все пороки, гемодинамика которых, в подавляющем большинстве, зависит от функционирования сосудистых фетальных коммуникаций: дуктус-зависимые – от функционирования открытого артериального протока, форамен-зависимые пороки – от открытого артериального окна [8].

По данным отечественных и зарубежных авторов наиболее распространенными ВПС являются дефект межжелудочковой перегородки (ДМЖП), дефект межпредсердной перегородки (ДМПП) и открытый артериальный проток (ОАП) (легкие пороки), на их долю приходится до 58% от общего числа ВПС [2]. Эти же ВПС являются самой частой группой нелеченых пороков у детей дошкольного и школьного возрастов: ДМЖП 30,3% от общей распространенности некоррегированных пороков, ДМПП – 24,5% от общей распространенности, ОАП – 13,9% [9]. Наиболее распространенными тяжелыми ВПС (на 10 тыс. живорожденных) являются стеноз легочной артерии (СЛА) – 3,27, коарктация аорты (КА) 3,13, тетрада Фалло (ТФ) – 3,01 [2].

Самыми частыми ВПС, приводящими к

развитию критических состояний, являются транспозиция магистральных артерий (ТМА) – частота критических состояний при данном типе порока составляет 100%; синдром гипоплазии левых отделов сердца (СГЛОС) – до 99%, атрезия легочной артерии (АЛА) – до 98% [10].

Благодаря значительному прогрессу диагностики, медикаментозного и хирургического лечения, в последние годы отчетливо наблюдается увеличение числа детей со сложными ВПС, доживающих до совершеннолетнего возраста. Вместе с этим, очевидно, что курс дальнейшего развития кардиологии в области ВПС у детей смещается, в первую очередь, в сторону плода и новорожденного ребенка [8].

Своевременная пренатальная диагностика ВПС дает возможность оказать полноценную помощь (как хирургическую, так и терапевтическую) и оценить риски развития тех или иных осложнений, возникающих на дальнейших этапах лечения ребенка. Своевременная постнатальная диагностика ВПС играет определяющую роль с точки зрения дальнейших показателей ранней неонатальной и младенческой смертности и, безусловно, вносит большой вклад в решение вопросов об объеме и сроках хирургической коррекции ВПС [11]. Очевидно, что успех хирургического лечения ребенка с ВПС зависит от правильной и детальной диагностики анатомии порока, в максимально возможном раннем возрасте.

Применение ультразвукового исследования для диагностики врожденных пороков сердца у детей.

Возможности ультразвукового исследования сердца – эхокардиографии (ЭХО-КГ) – параллельно с развитием кардиохирургии прогрессивно расширялись. Изначально врачами использовался только одномерный режим (М-режим), дающий возможность детально оценить движения клапанов и сердечной мышцы, далее появилась возможность проведения исследования в режиме цветного доплеровского картирования и, наконец, исследование сердца в 3D-режиме (трехмерная ЭХО-КГ) [12 - 15].

До настоящего времени ЭХО-КГ остается инициальным и основным методом диагностики патологии сердца. Доступность, мобильность, неинвазивность и относительная простота данной методики делают ее визуализацией первой линии при подозрении на ВПС в течение последних десятилетий [9]. Кроме того, ЭХО-КГ относится к методам инструментальной диагностики, не сопряженным с ионизирующим излучением (ИИ) и,

как правило, не требующим седации. Метод обеспечивает отличную визуализацию внутрисердечной анатомии, включая клапанный аппарат, а также позволяет оценить функции сердца и основные параметры гемодинамики [12].

Трансторакальная ЭХО-КГ, как правило, является методом выбора, как для скрининга, так и для экспертной оценки анатомии и гемодинамики порока сердца, и последующего динамического наблюдения за детьми с заболеваниями сердца, включая ВПС [16].

Эхокардиография является оператор-зависимым методом и, очевидно, что для корректной оценки тех или иных изменений при проведении ЭХО-КГ необходимо знать обычную анатомию и анатомические варианты ВПС, а также возможные сопутствующие аномалии сердца, которые могут быть ошибочно интерпретированы как самостоятельный иной порок и приводить к неправильно выбранной дальнейшей тактике ведения пациента [14].

Для большинства ВПС ЭХО-КГ остается приоритетным и достаточным методом визуализации порока, оценки его анатомии и гемодинамических нарушений. Так, например, по данным зарубежных коллег ЭХО-КГ демонстрирует 100% диагностическую эффективность в диагностике критического порока – ТМА: в оценке размеров фетальных коммуникаций при данном типе ВПС и морфофункциональных параметров сердца, что позволяет планировать и проводить экстренную оперативную коррекцию порока и снижать младенческую смертность [17]. На этапе планирования хирургического лечения ТМА большое внимание уделяется оценке анатомии коронарных артерий, состоянию дуги аорты и, безусловно, выявлению иных сопутствующих аномалий. Классический вариант отхождения коронарных артерий от аорты не вызывает трудностей в интерпретации при проведении ЭХО-КГ. Однако при наличии каких-либо аномалий коронарных артерий, нетипичных вариантов их отхождения от синусов Вальсавы, перерыве или коарктации дуги аорты диагностическая ценность ЭХО-КГ снижается [18]. Аномалии коронарных артерий являются 3-м по частоте сопутствующим пороком при ТМА («Транспозиция магистральных артерий» Клинические рекомендации Министерства здравоохранения РФ, 2019 г.).

Большое количество исследований демонстрирует высокую диагностическую ценность УЗИ в морфофункциональной оценке сердца при обструктивных поражениях на

уровне притока и оттока левого желудочка, а также при гипоплазии левых отделов сердца у новорожденных [19]. Согласно данным ряда авторов, ЭХО-КГ зарекомендовала себя как метод с высокой диагностической точностью в оценке анатомии и выявлении аномалий легочных вен [20]. Однако чувствительность метода в диагностике смешанной формы тотального аномального дренажа легочных вен (ТАДЛВ) не достигает и 50% [21].

Несмотря на лидирующие позиции в применении и ряд весомых преимуществ, ЭХО-КГ, как и все методы, имеет определенные ограничения. Одним из недостатков метода является объективная зависимость полученных изображений от угла наклона датчика по отношению к той или иной оси сердца, что делает ЭХО-КГ зависимой от проекционных искажений методикой. Прямая зависимость результатов ЭХО-КГ от методики ее проведения и квалификации врача делает метод субъективным и снижает его диагностическую эффективность. Качество и результаты эхокардиографии напрямую зависят от адекватного акустического окна – область грудной клетки, свободная от структур, мешающих прохождению УЗ-луча к сердцу (например, кости, легочная паренхима) и возможных артефактов, которые чаще встречаются у пациентов после проведения хирургической коррекции порока [22].

Так ЭХО-КГ не позволяет достоверно оценить объем и функцию правого желудочка, что особенно важно у детей после хирургической коррекции ВПС, большинство из которых приводит к перегрузке правых отделов сердца и требует детальной оценки [23]. Однако в оценке массы миокарда левого желудочка сравнение результатов трехмерного ЭХО-КГ и МРТ не показали статистически значимой разницы [24]. При этом традиционные методы расчёта массы миокарда в М-режиме значимо отличались от результатов МРТ [23].

Таким образом, эхокардиография не является окончательным определяющим методом, не всегда может дать однозначные ответы и решить все диагностические задачи для ряда ВПС, и потому не для всех аномалий сердца считается «золотым диагностическим стандартом».

Применение рентгеновской компьютерной томографии для диагностики врожденных пороков сердца у детей.

Еще 10 лет назад основная диагностика ВПС базировалась на результатах рентгенографии, эхокардиографии и катетерной ангиокардиографии (АКТ). С появлением мультидетекторных компьютерных томогра-

фов рентгеновская компьютерная томография (РКТ) заняла уверенное место в диагностической цепочке патологии сердца у детей и показала себя высоко информативной, относительно безопасной и мало инвазивной методикой.

КТ-ангиография (КТА) сердца позволяет за короткий промежуток времени получить изотропные изображения как интра-, так и экстракардиальных структур с высоким пространственным разрешением. Сокращение времени сканирования достигается увеличением скорости оборота рентгеновской трубки; сканирование тонкими срезами (до 1 мм на мультиспиральных компьютерных томографах) с тонкой коллимацией (1,00 мм и меньше) повышает пространственное разрешение, что способствует улучшению качества получаемых изображений [25].

Современные мультиспиральные томографы, как правило, оснащены аппаратами электрокардиографии (ЭКГ) для получения еще более четких изображений анатомии сердца и коронарных артерий путем синхронизации с сердечным ритмом. Все описанные функции позволяют проводить диагностическую оценку даже самых мелких сердечно-сосудистых структур в условиях высокой частоты сердечных сокращений (ЧСС), характерной для детской популяции [26].

В КТА сердца используются два основных способа синхронизации с фазами сердечного цикла: ретроспективная и проспективная кардиосинхронизация.

Ретроспективная синхронизация позволяет гарантированно получать изображения сердечных структур хорошего качества независимо от регулярности ритма и ЧСС, т.к. принцип данной методики заключается в непрерывном сканировании всего сердечного цикла с параллельной записью ЭКГ [27]. Описанные параметры дают возможность получать изображения сердца и сосудов в момент их минимальной «подвижности» и выполнять мультипланарные реконструкции (МПП) [28]. Главным недостатком ретроспективной синхронизации остается относительно высокая лучевая нагрузка, что особенно актуально для педиатрической группы пациентов, так как дети наиболее восприимчивы к рентгеновскому облучению. При одинаковой кумулятивной дозе биологический эффект и риск развития тех или иных осложнений для ребенка будет выше, чем для взрослого [26, 29].

При проведении сканирования с проспективной ЭКГ-синхронизацией пусковой маркер (триггер) старта сбора данных устанавливается вручную и должен соответство-

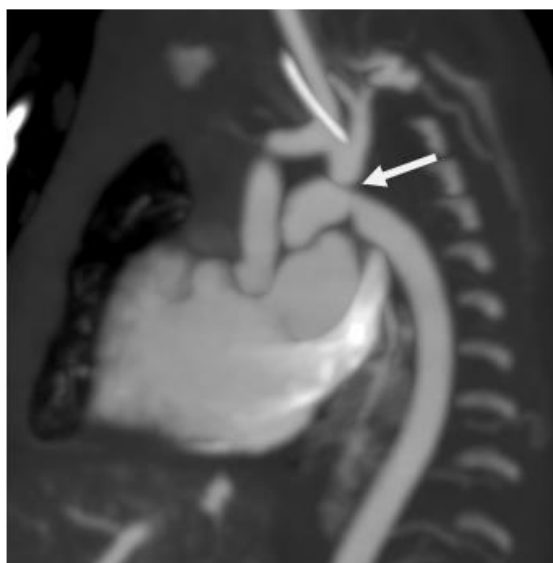


Рис. 1 а (Fig. 1 а)



Рис. 1 б (Fig. 1 б)

Рис. 1. Сопоставление КТ-изображений сердца (мультипланарные реконструкции) и дозовых нагрузок полученных при проведении КТ-ангиографии сердца без- и с ЭКГ-синхронизацией у ребенка 2-х месяцев с критическим врожденным пороком сердца.

На обоих изображениях достоверно визуализируется перерыв дуги аорты (белые стрелки).

а – КТ сердца с болюсным контрастным усилением без ЭКГ-синхронизации в косой плоскости. Эффективная доза 7,7 мЗв.

б – КТ сердца с болюсным контрастным усилением с проспективной ЭКГ-синхронизацией в косой плоскости. Эффективная доза 11,1 мЗв.

Fig. 1. Comparison of cardiac CT images (MPR) and effective doses on non-ECG-gated MSCT angiography and prospective ECG-gated MSCT angiography in a 2-month-old child with a critical congenital heart defect.

In both images the aortic narrowing is seen (orange arrows).

a – an image of non-ECG-gated cardiac CT. The effective dose is 7.7 mSv.

b – an image of prospective-ECG-gated cardiac CT. The effective dose is 11.1 mSv.

вать концу диастолы левого желудочка (ЛЖ). Для получения качественных сканов чаще всего используют 40-80% от общей продолжительности сердечного цикла – интервалу RR на ЭКГ. Преимуществом проспективной ЭКГ-синхронизации является меньшая лучевая нагрузка на пациента, т.к. сбор данных осуществляется только в одну нужную фазу сердечного цикла [26]. Оптимальной ЧСС для проведения КТА сердца с проспективной ЭКГ-синхронизацией считается до 80 ударов в минуту. При значимом увеличении ЧСС и нерегулярном ритме установка оптимального интервала крайне затруднительна и приводит к снижению качества получаемых изображений, что вызывает определенные трудности при проведении КТА с проспективной ЭКГ-синхронизацией новорожденным детям, для которых характерна повышенная ЧСС

даже при отсутствии какой-либо сердечной патологии [30]. Получение сканов детского сердца в диастолу всегда сопряжено с определенными сложностями в определении значений синхронизации [31].

Среди публикаций зарубежных авторов существуют единичные работы по разработке КТ-протоколов сканирования детей с ВПС без ЭКГ-синхронизации, однако все выводы сводятся только к необходимости проведения проспективного строббинга в отношении оценки коронарных артерий [32]. Работ по сравнительному анализу диагностической эффективности и лучевой нагрузки при проведении КТ с проспективной ЭКГ-синхронизацией и без синхронизации в отношении иных ВПС, которые не сопровождаются клинически значимыми аномалиями коронарных артерий (КА) и не требуют их

детальной оценки, на настоящий момент нет. Проведение исследований, сопряженных с ионизирующим излучением (ИИ), осуществляется в рамках существующего принципа ALARA (as low as reasonably achievable – сканирование с использованием максимально возможных низких доз без потери качества и диагностической ценности) и правил радиационной безопасности, одним из которых также является поддержание на возможно низком уровне доз облучения и числа облучаемых лиц. Разработанные принципы направлены на снижение вредного воздействия ИИ и предусматривает достижения максимально низких индивидуальных доз. Достижение низких экспозиционных доз – это всегда поиск «золотой середины» между диагностической ценностью проводимого исследования и дозой облучения. Таким образом, разработка и оптимизация КТ-протоколов для сканирования детей до сих пор остается актуальной и непростой задачей.

Несмотря на имеющиеся сложности, КТА сердца в диагностике ВПС детей обладает рядом бесспорных плюсов: высокая диагностическая ценность и разрешающая способность методики, быстрота, широкий охват оцениваемых анатомических структур [33]. В сравнении с МРТ сердца, применение медикаментозной седации детям при выполнении КТА требуется в разы реже [34].

В литературе количество работ по сравнению диагностической точности ЭХО-КГ и КТА сердца ограничено. Большая часть работ представлена зарубежными авторами. Айин Ли и Zhenpeng Peng в своей работе, посвященной УЗ-методу и КТА сердца, показывают преимущество ЭХО-КГ над кардио-КТ среди детей с ВПС: в их работе диагностическая точность ЭХО-КГ составила 98%, против 96% у КТА сердца [35].

По мнению ряда авторов преимущества КТА сердца достоверно видны только у пациентов с ВПС в возрасте от 1 года, по мере роста ребенка и ухудшения акустического окна, – до этого возраста диагностическая точность КТ статистически значимо не превышала точность эхокардиографии [36]. В противовес этому Chourdakis E. et al. в своей работе обращает внимание на то, что проведение эндопротезирования аортального клапана или клапана легочной артерии невозможно без результатов КТА сердца для пациентов любого возраста: КТ является гораздо более точной методикой в отношении определения диаметра кольца клапана аорты по длинной, короткой осям и по площади окружности в сравнении с эхокардиографией [37].

За несколько лет активного применения в практике КТА сердца, вопрос стандартизации протоколов сканирования, использования разных типов ЭКГ-синхронизации, особенно у детей до 1 года, остается открытым. Учитывая наличие ограничивающих аспектов (лучевая нагрузка, внутривенное введение контрастных препаратов, применение седации для детей младшей возрастной группы), не определен единый алгоритм использования методики и показания, при которых проведение КТА сердца является обязательным, учитывая наличие таких альтернативных методик, как ЭХО-КГ и МРТ.

Применение магнитно-резонансной томографии для диагностики врожденных пороков сердца у детей.

Важным отличием и преимуществом МРТ над КТ и эхокардиографией является получение изображений максимально приближенных к настоящей анатомии и топографии исследуемой области или органа. Истинная полипозиционность методики, а не математическая реконструкция сканов в нужных плоскостях (как при МСКТ) увеличивает достоверность и точность получаемых МР-изображений и, наряду с отсутствием ИИ, делает данную методику такой же востребованной и запрашиваемой в клинической практике, как УЗИ и МСКТ: кардиология и кардиохирургия не являются исключением [38].

Применение МРТ в оценке патологии сердца, включая ВПС, вызывает большой интерес, особенно в тех вопросах, ответы на которые не удастся найти с помощью альтернативных способов визуализации из-за предела диагностических возможностей методик или таких ограничивающих факторов, как ИИ, аллергия на йодсодержащие контрастные вещества, выраженная почечная недостаточность.

В отличие от КТ-ангиографии (КТА) сердца, которая для визуализации внутрисердечных и сосудистых структур требует внутривенного введения контрастного препарата, МРТ, регистрируя сигнал от тока крови, позволяет получать изображения анатомии сердца, сосудов, производить функциональную и волюметрическую оценку всех камер без применения каких-либо контрастных веществ [39, 40]. Появляется все больше сообщений о преимуществах проведения МРТ сердца в динамике, с сохранением исходных параметров сканирования, снижая тем самым влияние «субъективного фактора» на оценку и расчет морфофункциональных показателей [41].

Говоря о большом количестве преимуществ

ществ, важно отметить, что МРТ является дорогой и одновременно сложной методикой, требующей знаний основных физических законов и технических аспектов работы магнитно-резонансного томографа.

МРТ для визуализации патологии детских сердец становится всё более запрашиваемой методикой, особенно для пациентов с корригированными пороками, для оценки функции желудочков в тех случаях, когда информации по ЭХО-КГ недостаточно для определения дальнейшей тактики: преимущественно это касается динамической оценки функции правого желудочка (ПЖ) и выводного тракта ПЖ (ВТПЖ), после коррекции пороков сопряженных с аномалиями (стеноз, гипоплазия) клапана легочной артерии (ЛА), ствола или ветвей ЛА и гипертрофией миокарда ПЖ [42, 43]. К примеру, одним из поздних осложнений тетрады Фалло (ТФ) является развитие недостаточности клапана ЛА или остаточного стеноза ЛА и гипертрофии правого желудочка с функциональным ухудшением ПЖ, при которых предпочтительным методом визуализации и оценки является МРТ сердца [44]. Кардио-МРТ с оценкой функциональных параметров ПЖ используется для стратификации риска для пациентов с ТФ. Выраженная дилатация ПЖ и тенденция к снижению фракции выброса (ФВ) ЛЖ и ПЖ являются основными рисками развития неблагоприятных клинических исходов по результатам исследования A.L. Knauth и соавт. [45].

В большом количестве работ иностранных коллег докладывается об отличных результатах МРТ в оценке сосудистой патологии на до-и послеоперационных этапах, особый акцент делается на визуализации легочного ствола и лёгочных артерий, сосудистых колец и венозной системы [40, 46, 47]. Однако вопрос рутинного применения МРТ в детском стационаре и получения какой-либо дополнительной информации до настоящего времени остается открытым [48, 49].

В педиатрической практике использованием МРТ в оценке морфофункциональных показателей сердца имеет свои ограничения и сложности, которые связаны с необходимостью применения длительной медикаментозной седации у маленьких детей (и, тем самым, отсутствием возможности выполнения команд пациентом во время сканирования) и высокой ЧСС, характерной для детской популяции, которая затрудняет проведение исследования с использованием рутинной ЭКГ-синхронизации, требует поиска и оптимизации протоколов и параметров сканирования, что в свою очередь увеличи-

вает время исследования (и, тем самым, время пребывания ребенка в наркозе), влияет на качество получаемых изображений, количество артефактов и диагностические возможности самого метода.

В настоящее время в России кардио-МРТ у детей не входит в рутинную практику ввиду сложности выполнения методики, труднодоступности, отсутствия стандартизированных протоколов сканирования, а также ограничения проведения исследования у детей младшей возрастной группы из-за необходимости применения анестезиологического пособия.

Выбор МР-протокола сканирования сердца и его длительность определяются в первую очередь целью исследования, видом патологии, тяжестью ребенка и техническими возможностями томографа.

Большое количество работ, отражающих превосходные диагностические возможности МРТ как в морфологической, так и функциональной оценке сердца не проводят прямого сравнения разных методик между собой для исключения их дублирования (ЭХО-КГ, КТА сердца и МРТ) особенно у маленьких детей. Не установлены единые диагностические алгоритмы для каждого ВПС с определением приоритетных методов визуализации.

Заключение.

Прогрессивное развитие неинвазивных методик для морфофункциональной оценки сердца обуславливают повышенный и оправданный интерес со стороны кардиохирургов и

кардиологов. Исходя из данных литературы, все три методики – ЭХО-КГ, КТА сердца и кардио-МРТ – имеют высокие показатели диагностической точности, поэтому во избежание дублирования получаемой информации важную роль играет корректный выбор визуализации для каждого конкретного порока и клинической ситуации.

Выбор метода должен осуществляться с учетом его сильных и слабых сторон в каждом случае, а также клинических задач, при условии обязательного взаимодействия врача-рентгенолога и направляющего специалиста.

Несмотря на длительную историю применения всех трех методов в кардиологии, до настоящего момента не разработано единого диагностического алгоритма, достоверно регламентирующего применение одного из них, либо их комбинацию на разных этапах ведения пациента. Выбор корректной методики позволит улучшить качество диагностики, сократить время на установку корректного

диагноза, что в свою очередь будет влиять на качество оказания медицинской помощи детям с ВПС. Кроме этого, учитывая особенности проведения исследований у детей, вопрос оптимизации протоколов сканирования, как для МСКТ, так и для МРТ, также является все еще не до конца решённой и актуальной задачей.

Список литературы:

1. Van der Linde D., Konings E.E., Slager M.A., Witsenburg M., Helbing W.A., Takkenberg J.J. et al. Birth prevalence of congenital heart disease worldwide: a systematic review and meta-analysis. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2011; 58 (21): 2241-2247. DOI: 10.1016/j.jacc.2011.08.025.
2. Liu Y., Chen S., Zuhlke L., Black G.C., Choy M.K., Li N. et al. Global birth prevalence of congenital heart defects 1970-2017: updated systematic review and meta-analysis of 260 studies. *Int. J. Epidemiol.* 2019; 48 (2): 455-463. DOI: 10.1093/ije/dyz009.
3. Бокерия А.А., Шаталова К.В. и др. Детская кардиохирургия: руководство для врачей. Москва, НЦССХ им. А.Н. Бакулева, 2016. 864 с.
4. Mellander M., Sunnegårdh J. Failure to diagnose critical heart malformations in newborns before discharge--an increasing problem?. *Acta Paediatr.* 2006; 95 (4): 407-413. DOI: 10.1080/08035250500541910. PMID: 16720486.
5. Yee L. Cardiac emergencies in the first year of life. *Emerg Med Clin North Am.* 2017; 25 (4): 981-1008. DOI: 10.1016/j.emc.2007.08.001. PMID: 17950133.
6. Knowles R., Griebisch I., Dezateux C., Brown J., Bull C., Wren C. Newborn screening for congenital heart defects: a systematic review and cost-effectiveness analysis. *Health Technol. Assess.* 2005; 9 (44): 1-152, iii-iv. DOI: 10.3310/hta9440. PMID: 16297355.
7. Шарыкин А.С. Перинатальная кардиология: руководство для педиатров, акушеров, неонатологов. Москва, Волшебный фонарь, 2007. 259 с.
8. Бокерия Е.А. Перинатальная кардиология: настоящее и будущее. Часть I: врожденные пороки сердца. *Рос. вестн. перинатол. и педиатр.* 2019; 64 (3): 5-10. DOI: 10.21508/1027-4065-2019-64-3-5-10.
9. Liu Y., Chen S., Zühlke L., Babu-Narayan S.V., Black G.C., Choy M.K., Li N., Keavney B.D. Global prevalence of congenital heart disease in school-age children: a meta-analysis and systematic review. *BMC Cardiovasc Disord.* 2020; 20 (1): 488. DOI: 10.1186/s12872-020-01781-x.
10. Саперова Е.В., Вахлова И.В. Врожденные пороки сердца у детей: распространенность, факторы риска, смертность. *Вопросы современной педиатрии.* 2017; 16 (2): 126-133. DOI: 10.15690/vsp.v16i2.1713.
11. Бокерия А.А., Нефёдова И.Е., Адкин Д.В., Астахова В.В., Баринштейн Д.Б., Саркисян А.С., Шарипов Р.А., Тагаев А.Э. Оптимизация динамического наблюдения пациентов после операции артериального переключения. *Бюллетень НЦССХ им. А.Н. Бакулева РАМН.* 2019; 20 (11-12): 970-977. DOI: 10.24022/1810-0694-2019-20-1112-970-977.
12. Lai W.W., Geva T., Shiralil G.S., Frommelt P.C., Humes

Источник финансирования и конфликт интересов.

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

- R.A., Brook M.M., Pignatelli R.H., Rychik J. Guidelines and standards for performance of a pediatric echocardiogram: a report from the Task Force of the Pediatric Council of the American Society of Echocardiography. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2006; 19 (12): 1413-1430. DOI: 10.1016/j.echo.2006.09.001. PMID: 17138024.
13. Nagueh S.F., Quinones M.A. Important Advances In Technology: Echocardiography. *Methodist Debaquey Cardiovasc J.* 2014; 10 (3): 146-151. DOI: 10.14797/mdcj-10-3-146.
14. Карев Е.А., Вербило С.А., Малев Э.Г. и др. Количественная ультразвуковая оценка показателей деформации миокарда: от теории к практике. *Трансляционная медицина.* 2020; 7 (6): 16-28. DOI: 10.18705/2311-4495-2020-7-6-16-28.
15. Мухаметгареева А.В., Капиталан В.В., Молчанов А.Н. и др. Возможности использования ультразвуковой оценки деформации миокарда левого желудочка в кардиологии. *Ульяновский медико-биологический журнал.* 2020; 3: 28-43. DOI: 10.34014/2227-1848-2020-3-28-43.
16. Opfer E., Shah S. Advances in Pediatric Cardiovascular Imaging. *Mo Med.* 2018; 115 (4): 354-360. Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/pmc6140247> (accessed 7 July 2022).
17. Ali S., Bushari T. Validation of the accuracy of handheld echocardiography for diagnosis of congenital heart disease. *Ann Pediatr Cardiol.* 2018; 11 (3): 250-254. DOI: 10.4103/apc.APC_159_17.
18. Agarwal P.P., Dennie C., Pena E. et al. Anomalous coronary arteries that need intervention: review of pre- and post-operative imaging appearances. *RadioGraphics.* 2017; 37: 740-757. DOI: 10.1148/rq.2017160124.
19. Chung M.L., Lee B.S., Kim E.A., Kim K.S., Pi S.Y., Oh Y.M., Park I.S., Seo D.M., Won H.S. Impact of fetal echocardiography on trends in disease patterns and outcomes of congenital heart disease in a neonatal intensive care unit. *Neonatology.* 2010; 98 (1): 41-46. DOI: 10.1159/000264673.
20. Mooij C.F., de Wit C.J., Graham D.A. et al. Reproducibility of MRI measurements of right ventricular size and function in patients with normal and dilated ventricles. *J. Magn. Reson. Imaging.* 2008; 28: 67-73.
21. Njem J.M., Edwin F., Tettey M. Comparison of preoperative trans-thoracic echocardiography with intraoperative findings in patients with congenital heart disease undergoing surgery: a prospective observational study. *J. Cardiothorac. Surg.* 2021; 16 (1): 332. DOI: 10.1186/s13019-021-01711-8.
22. Prakash A., Powell A.J., Geva T. Multimodality noninvasive imaging for assessment of congenital heart disease. *Circ. Cardiovasc. Imaging.* 2014; 3: 112-125. DOI: 10.1161/circimaging.109.875021.

23. Senior R., Becher H., Monaghan M., Agati L., Zamorano J., Vanoverschelde J.L., Nihoyannopoulos P., Edvardsen T., Lancellotti P. *Clinical practice of contrast echocardiography: recommendation by the European Association of Cardiovascular Imaging (EACVI) 2017*. *Eur. Heart J. Cardiovasc. Imaging*. 2017; 18 (11):1 205-1205af. DOI: 10.1093/ehjci/jex182.
24. Бокерия Л.А., Косарева Т.И., Куц Э.В. и др. Оценка ремоделирования полостей сердца при патологии митрального клапана методами эхокардиографии и магнитно-резонансной томографии. *Бюллетень НЦССХ им. А.Н. Бакулева РАМН*. 2013; 14 (3): 19-26.
25. Han B.K., Rigsby C.K., Leipsic J. et al. *Society of Cardiovascular Computed Tomography; Society of Pediatric Radiology; North American Society of Cardiac Imaging. Computed tomography imaging in patients with congenital heart disease. Part 2. Technical recommendations: an expert consensus document of the Society of Cardiovascular Computed Tomography (SCCT) – endorsed by the Society of Pediatric Radiology (SPR) and the North American Society of Cardiac Imaging (NASCI)*. *J. Cardiovasc. Comput. Tomogr.* 2015b; 9: 493-513. DOI: 10.1016/j.jcct.2015.07.007.
26. Han B.K., Rigsby C.K., Hlavacek A. et al. *Society of Cardiovascular Computed Tomography; Society of Pediatric Radiology; North American Society of Cardiac Imaging. Computed tomography imaging in patients with congenital heart disease. Part I. Rationale and utility: an expert consensus document of the Society of Cardiovascular Computed Tomography (SCCT) – endorsed by the Society of Pediatric Radiology (SPR) and the North American Society of Cardiac Imaging (NASCI)*. *J. Cardiovasc. Comput. Tomogr.* 2015a; 9: 475-492. DOI: 10.1016/j.jcct.2015.07.004.
27. Abbara S., Blanke P., Maroules C.D. et al. *SCCT guidelines for the performance and acquisition of coronary computed tomographic angiography: a report of the Society of Cardiovascular Computed Tomography Guidelines Committee – endorsed by the North American Society for Cardiovascular Imaging (NASCI)*. *J. Cardiovasc. Comput. Tomogr.* 2016; 10: 435-449. DOI: 10.1016/j.jcct.2016.10.002.
28. Sharma A., Einstein A.J., Vallakati A., Arbab-Zadeh A., Mukherjee D., Lichstein E. *Meta-analysis of global left ventricular function comparing multidetector computed tomography with cardiac magnetic resonance imaging*. *Am. J. Cardiol.* 2014; 113: 731-738. DOI: 10.1016/j.amjcard.2013.11.016.
29. Krille L., Zeeb H., Jahnen A. et al. *Computed tomographies and cancer risk in children: a literature overview of CT practices, risk estimations and an epidemiologic cohort study proposal*. *Radiat. Environ. Biophys.* 2016; 51: 103-111. DOI: 10.1007/s00411-012-0405-1.
30. Kalisz K., Bueth J., Saboo S.S., Abbara S., Halliburton S., Rajiah P. *Artifacts at cardiac CT: physics and solutions*. *RadioGraphics*. 2016; 36: 2064-2083. DOI: 10.1148/rg.2016160079.
31. Scholtz J.E., Ghoshhajra B. *Advances in cardiac CT contrast injection and acquisition protocols*. *Cardiovasc. Diagn. Ther.* 2017; 7: 439-451. DOI: 10.21037/cdt.2017.06.07.
32. Shiraishi I., Kajiyama Y., Yamagishi M., Hamaoka K., Yagihara T. *The applications of non-ECG-gated MSCT angiography in children with congenital heart disease*. *Int. J. Cardiol.* 2016; 156 (3): 309-314. DOI: 10.1016/j.ijcard.2010.11.009.
33. Eijvoogel N.G., Hendriks B.M.F., Park H.B., Altintas S., Muhl C., Horehledova B., Kietselaer B.L.J.H., Crijs H.J.G.M., Wildberger J.E., Das M. *The role of standard non-ECG gated chest CT in cardiac assessment: design and rationale of the Cardiac Pathologies in standard chest CT (CaPaCT) study*. *Eur. Radiol. Exp.* 2018; 2 (1): 9. DOI: 10.1186/s41747-018-0039-4.
34. Sena L., Krishnamurthy R., Chung T. *Pediatric Cardiac CT*. In J. Lucaya, Strife, J.L. (eds.). *Pediatric Chest Imaging namurthy, and Taylor Chung Pediatric Cardiac*. Springer, Berlin, Heidelberg, 2008. DOI: 10.1007/978-3-540-32676-2-16.
35. Li A., Peng Z., Zhang C. *Comparison of Echocardiography and 64-Multislice Spiral Computed Tomography for the Diagnosis of Pediatric Congenital Heart Disease*. *Med. Sci. Monit.* 2017; 23: 2258-2266. DOI: 10.12659/msm.901546.
36. Beier U.H., Jelmin V., Jain S., Ruiz C.E. *Cardiac computed tomography compared to transthoracic echocardiography in the management of congenital heart disease*. *Catheter Cardiovasc Interv.* 2006; 68 (3): 441-449. DOI: 10.1002/ccd.20817. PMID: 16897779.
37. Chourdakis E., Koniari I., Kounis N.G., Velissaris D., Koutsogiannis N., Tsigkas G, Hauptmann K.E., Sontag B., Hahalis G. *The role of echocardiography and CT angiography in transcatheter aortic valve implantation patients*. *J. Geriatr. Cardiol.* 2018; 15 (1): 86-94. DOI: 10.11909/j.issn.1671-5411.2018.01.006. PMID: 29434630. PMCID: PMC5803542.
38. DiGeorge N.W., El-Ali A.M., White A.M., Harris M.A., Biko D.M. *Pediatric Cardiac CT and MRI: Considerations for the General Radiologist*. *AJR Am. J. Roentgenol.* 2020; 215 (6): 1464-1473. DOI: 10.2214/AJR.19.22745.
39. Helbing W.A., Ouhlous M. *Cardiac magnetic resonance imaging in children*. *Pediatr. Radiol.* 2015; 45: 20-26. DOI: 10.1007/s00247-014-3175-x.
40. Driessen M.M.P., BrEur J.M.P.J., Budde R.P.J. et al. *Advances in cardiac magnetic resonance imaging of congenital heart disease*. *Pediatr. Radiol.* 2015; 45: 5-19. DOI: 10.1007/s00247-014-3067-0.
41. Schulz-Menger J., Bluemke D.A., Bremerich J. et al. *Standardized image interpretation and post-processing in cardiovascular magnetic resonance: 2020 update. Society for Cardiovascular Magnetic Resonance (SCMR): Board of Trustees Task Force on Standardized Post-Processing*. *J. Cardiovasc. Magn. Reson.* 2020; 22: 19. DOI: 10.1186/s12968-020-00610-6.
42. Vasanawala S.S., Hanneman K., Alley M.T., Hsiao A. *Congenital heart disease assessment with 4D flow MRI*. *J. Magn. Reson. Imaging.* 2015; 42: 870-886. DOI: 10.1002/jmri.24856.
43. Nguyen K.L., Han F., Zhou Z. et al. *4D MUSIC CMR: value-based imaging of neonates and infants with congenital heart disease*. *J. Cardiovasc. Magn. Reson.* 2017; 19 (1). DOI: 10.1186/s12968-017-0352-8.
44. Gaca A.M., Jagers J.J., Dudley L.T., Bisset G.S. *3rd. Repair of congenital heart disease: a primer. Part 2*. *Radiology*. 2008a; 248: 44-60. DOI: 10.1148/radiol.2481070166.
45. Knauth A.L., Gauvreau K., Powell A.J. et al. *Ventricular*

size and function assessed by cardiac MRI predict major adverse clinical outcomes late after tetralogy of Fallot repair. *Heart*. 2008; 94: 211-216. DOI: 10.1136/hrt.2006.104745.

46. Ferreira V.M., Schulz-Menger J., Holmwang G. et al. Cardiovascular magnetic resonance in nonischemic myocardial inflammation: expert recommendations. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2018; 72: 3158-3176. DOI: 10.1016/j.jacc.2018.09.072.

47. Luetkens J.A., Faron A., Isaak A. et al. Comparison of original and 2018 Lake Louise criteria for diagnosis of acute myocarditis: results of a validation cohort. *Radiol. Cardiothorac. Imaging*. 2019; 1(3): e190010. DOI: 10.1148/ryct.2019190010.

References:

1. Van der Linde D., Konings E.E., Slager M.A., Witsenburg M., Helbing W.A., Takkenberg J.J. et al. Birth prevalence of congenital heart disease worldwide: a systematic review and meta-analysis. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2011; 58 (21): 2241-2247. DOI: 10.1016/j.jacc.2011.08.025.

2. Liu Y., Chen S., Zuhlke L., Black G.C., Choy M.K., Li N. et al. Global birth prevalence of congenital heart defects 1970-2017: updated systematic review and meta-analysis of 260 studies. *Int. J. Epidemiol.* 2019; 48 (2): 455-463. DOI: 10.1093/ije/dyz009.

3. Bokeria L.A., Shatalov K.V. et al. *Pediatric cardiac surgery: a guide for doctors*. Moscow, A.N. Bakulev NCSSH, 2016. 864 p.

4. Mellander M., Sunnegårdh J. Failure to diagnose critical heart malformations in newborns before discharge--an increasing problem? *Acta Paediatr.* 2006 April; 95 (4): 407-413. DOI: 10.1080/08035250500541910. PMID: 16720486.

5. Yee L. Cardiac emergencies in the first year of life. *Emerg Med Clin North Am.* 2017 November; 25 (4): 981-1008. DOI: 10.1016/j.emc.2007.08.001. PMID: 17950133.

6. Knowles R., Griebisch I., Dezateux C., Brown J., Bull C., Wren C. Newborn screening for congenital heart defects: a systematic review and cost-effectiveness analysis. *Health Technol. Assess.* 2005; 9 (44): 1-152, iii-iv. DOI: 10.3310/hta9440. PMID: 16297355.

7. Sharykin A.S. *Perinatal cardiology: a guide for pediatricians, obstetricians, neonatologists*. Moscow, Magic Lantern, 2007. 259 p.

8. Bokeria E.L. *Perinatal cardiology: present and future. Part I: congenital heart defects*. *Ros. vestn. perinatol. and a pediatrician.* 2019; 64 (3): 5-10. DOI: 10.21508/1027-4065-2019-64-3-5-10.

9. Liu Y., Chen S., Zühlke L., Babu-Narayan S.V., Black G.C., Choy M.K., Li N., Keavney B.D. Global prevalence of congenital heart disease in school-age children: a meta-analysis and systematic review. *BMC Cardiovasc Disord.* 2020; 20 (1): 488. DOI: 10.1186/s12872-020-01781-x.

10. Saperova E.V., Vakhlova I.V. Congenital heart defects in children: prevalence, risk factors, mortality. *Issues of modern pediatrics.* 2017; 16 (2): 126-133. DOI: 10.15690/vsp.v16i2.1713.

11. Bokeria L.A., Nefedova I.E., Adkin D.V., Astakhova V.V., Barinstein D.B., Sarkisyan A.S., Sharipov R.A., Tagaev A.E. Optimization of dynamic observation of patients after arterial switching surgery. *Bulletin of the A.N. Bakulev National Agricultural Academy of the Russian Academy of Medical Sciences.* 2019; 20 (11-12): 970-977. DOI: 10.24022/1810-0694-

2019-20-1112-970-977.

12. Lai W.W., Geva T., Shirali G.S., Frommelt P.C., Humes R.A., Brook M.M., Pignatelli R.H., Rychik J. Guidelines and standards for performance of a pediatric echocardiogram: a report from the Task Force of the Pediatric Council of the American Society of Echocardiography. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2006; 19 (12): 1413-1430. DOI: 10.1016/j.echo.2006.09.001. PMID: 17138024.

13. Nagueh S.F., Quinones M.A. Important Advances In Technology: Echocardiography. *Methodist Debaquey Cardiovasc J.* 2014; 10 (3): 146-151. DOI: 10.14797/mdcj-10-3-146.

14. Karev E.A., Verbilo S.L., Malev E.G. et al. Quantitative ultrasound evaluation of myocardial deformation indicators: from theory to practice. *Translational medicine.* 2020; 7 (6): 16-28. DOI: 10.18705/2311-4495-2020-7-6-16-28.

15. Mukhametgareeva A.V., Kashtalov V.V., Molchanov A.N. et al. Possibilities of using ultrasound assessment of left ventricular myocardial deformity in cardiology. *Ulyanovsk Medical and Biological Journal.* 2020; 3: 28-43. DOI: 10.34014/2227-1848-2020-3-28-43.

16. Opfer E., Shah S. Advances in Pediatric Cardiovascular Imaging. *Mo Med.* 2018 July-August; 115 (4): 354-360. Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/pmc6140247> (accessed 7 July 2022).

17. Ali S., Bushari T. Validation of the accuracy of handheld echocardiography for diagnosis of congenital heart disease. *Ann Pediatr Cardiol.* 2018; 11 (3): 250-254. DOI: 10.4103/apc.APC_159_17.

18. Agarwal P.P., Dennie C., Pena E. et al. Anomalous coronary arteries that need intervention: review of pre- and post-operative imaging appearances. *RadioGraphics.* 2017; 37: 740-757. DOI: 10.1148/rg.2017160124.

19. Chung M.L., Lee B.S., Kim E.A., Kim K.S., Pi S.Y., Oh Y.M., Park I.S., Seo D.M., Won H.S. Impact of fetal echocardiography on trends in disease patterns and outcomes of congenital heart disease in a neonatal intensive care unit. *Neonatology.* 2010; 98 (1): 41-46. DOI: 10.1159/000264673.

20. Mooij C.F., de Wit C.J., Graham D.A. et al. Reproducibility of MRI measurements of right ventricular size and function in patients with normal and dilated ventricles. *J. Magn. Reson. Imaging.* 2008; 28: 67-73.

21. Njem J.M., Edwin F., Tettey M. Comparison of preoperative trans-thoracic echocardiography with intraoperative findings in patients with congenital heart disease undergoing surgery: a prospective observational study. *J. Cardiothorac. Surg.* 2021; 16 (1): 332. DOI: 10.1186/s13019-021-01711-8.

22. Prakash A., Powell A.J., Geva T. Multimodality noninvasive imaging for assessment of congenital heart disease. *Circ. Cardiovasc. Imaging.* 2014; 3: 112-125. DOI: 10.1161/circimaging.109.875021.
23. Senior R., Becher H., Monaghan M., Agati L., Zamorano J., Vanoverschelde J.L., Nihoyannopoulos P., Edvardsen T., Lancellotti P. Clinical practice of contrast echocardiography: recommendation by the European Association of Cardiovascular Imaging (EACVI) 2017. *Eur. Heart J. Cardiovasc. Imaging.* 2017; 18 (11):1 205-1205af. DOI: 10.1093/ehjci/jex182.
24. Bokeria L.A., Kosareva T.I., Kutz E.V. et al. Assessment of remodeling of the heart cavities in mitral valve pathology by echocardiography and magnetic resonance imaging. *Bulletin of the A.N. Bakulev National Agricultural Academy of the Russian Academy of Medical Sciences.* 2013; 14 (3): 19-26.
25. Han B.K., Rigsby C.K., Leipsic J. et al. Society of Cardiovascular Computed Tomography; Society of Pediatric Radiology; North American Society of Cardiac Imaging. Computed tomography imaging in patients with congenital heart disease. Part 2. Technical recommendations: an expert consensus document of the Society of Cardiovascular Computed Tomography (SCCT) –endorsed by the Society of Pediatric Radiology (SPR) and the North American Society of Cardiac Imaging (NASCI). *J. Cardiovasc. Comput. Tomogr.* 2015b; 9: 493-513. DOI: 10.1016/j.jcct.2015.07.007.
26. Han B.K., Rigsby C.K., Hlavacek A. et al. Society of Cardiovascular Computed Tomography; Society of Pediatric Radiology; North American Society of Cardiac Imaging. Computed tomography imaging in patients with congenital heart disease. Part I. Rationale and utility: an expert consensus document of the Society of Cardiovascular Computed Tomography (SCCT) – endorsed by the Society of Pediatric Radiology (SPR) and the North American Society of Cardiac Imaging (NASCI). *J. Cardiovasc. Comput. Tomogr.* 2015a; 9: 475-492. DOI: 10.1016/j.jcct.2015.07.004.
27. Abbara S., Blanke P., Maroules C.D. et al. SCCT guidelines for the performance and acquisition of coronary computed tomographic angiography: a report of the Society of Cardiovascular Computed Tomography Guidelines Committee – endorsed by the North American Society for Cardiovascular Imaging (NASCI). *J. Cardiovasc. Comput. Tomogr.* 2016; 10: 435-449. DOI: 10.1016/j.jcct.2016.10.002.
28. Sharma A., Einstein A.J., Vallakati A., Arbab-Zadeh A., Mukherjee D., Lichstein E. Meta-analysis of global left ventricular function comparing multidetector computed tomography with cardiac magnetic resonance imaging. *Am. J. Cardiol.* 2014; 113: 731-738. DOI: 10.1016/j.amjcard.2013.11.016.
29. Krille L., Zeeb H., Jahnen A. et al. Computed tomographies and cancer risk in children: a literature overview of CT practices, risk estimations and an epidemiologic cohort study proposal. *Radiat. Environ. Biophys.* 2016; 51: 103-111. DOI: 10.1007/s00411-012-0405-1.
30. Kalisz K., Buethel J., Saboo S.S., Abbara S., Halliburton S., Rajiah P. Artifacts at cardiac CT: physics and solutions. *RadioGraphics.* 2016; 36: 2064-2083. DOI: 10.1148/rg.2016160079.
31. Scholtz J.E., Ghoshhajra B. Advances in cardiac CT contrast injection and acquisition protocols. *Cardiovasc. Diagn. Ther.* 2017; 7: 439-451. DOI: 10.21037/cdt.2017.06.07.
32. Shiraishi I., Kajiyama Y., Yamagishi M., Hamaoka K., Yagihara T. The applications of non-ECG-gated MSCT angiography in children with congenital heart disease. *Int. J. Cardiol.* 2016; 156 (3): 309-314. DOI: 10.1016/j.ijcard.2010.11.009.
33. Eijvoogel N.G., Hendriks B.M.F., Park H.B., Altintas S., Muhl C., Horehledova B., Kietselaer B.L.J.H., Crijns H.J.G.M., Wildberger J.E., Das M. The role of standard non-ECG gated chest CT in cardiac assessment: design and rationale of the Cardiac Pathologies in standard chest CT (CaPaCT) study. *Eur. Radiol. Exp.* 2018; 2 (1): 9. DOI: 10.1186/s41747-018-0039-4.
34. Sena L., Krishnamurthy R., Chung T. Pediatric Cardiac CT. In J. Lucaya, Strife, J.L. (eds.). *Pediatric Chest Imaging namurthy, and Taylor Chung Pediatric Cardiac.* Springer, Berlin, Heidelberg, 2008. DOI: 10.1007/978-3-540-32676-2-16.
35. Li A., Peng Z., Zhang C. Comparison of Echocardiography and 64-Multislice Spiral Computed Tomography for the Diagnosis of Pediatric Congenital Heart Disease. *Med. Sci. Monit.* 2017; 23: 2258-2266. DOI: 10.12659/msm.901546.
36. Beier U.H., Jehlin V., Jain S., Ruiz C.E. Cardiac computed tomography compared to transthoracic echocardiography in the management of congenital heart disease. *Catheter Cardiovasc. Interv.* 2006; 68 (3): 441-449. DOI: 10.1002/ccd.20817. PMID: 16897779.
37. Chourdakis E., Koniari I., Kounis N.G., Velissaris D., Koutsogiannis N., Tsigkas G, Hauptmann K.E., Sontag B., Hahalis G. The role of echocardiography and CT angiography in transcatheter aortic valve implantation patients. *J. Geriatr. Cardiol.* 2018; 15 (1): 86-94. DOI: 10.11909/j.issn.1671-5411.2018.01.006. PMID: 29434630. PMCID: PMC5803542.
38. DiGeorge N.W., El-Ali A.M., White A.M., Harris M.A., Biko D.M. Pediatric Cardiac CT and MRI: Considerations for the General Radiologist. *AJR Am. J. Roentgenol.* 2020; 215 (6): 1464-1473. DOI: 10.2214/AJR.19.22745.
39. Helbing W.A., Ouhlous M. Cardiac magnetic resonance imaging in children. *Pediatr. Radiol.* 2015; 45: 20-26. DOI: 10.1007/s00247-014-3175-x.
40. Driessen M.M.P., BrEur J.M.P.J., Budde R.P.J. et al. Advances in cardiac magnetic resonance imaging of congenital heart disease. *Pediatr. Radiol.* 2015; 45: 5-19. DOI: 10.1007/s00247-014-3067-0.
41. Schulz-Menger J., Bluemke D.A., Bremerich J. et al. Standardized image interpretation and post-processing in cardiovascular magnetic resonance: 2020 update. Society for Cardiovascular Magnetic Resonance (SCMR): Board of Trustees Task Force on Standardized Post-Processing. *J. Cardiovasc. Magn. Reson.* 2020; 22: 19. DOI: 10.1186/s12968-020-00610-6.
42. Vasanawala S.S., Hanneman K., Alley M.T., Hsiao A. Congenital heart disease assessment with 4D flow MRI. *J. Magn. Reson. Imaging.* 2015; 42: 870-886. DOI: 10.1002/jmri.24856.
43. Nguyen K.L., Han F., Zhou Z. et al. 4D MUSIC CMR: value-based imaging of neonates and infants with congenital heart disease. *J. Cardiovasc. Magn. Reson.* 2017; 19 (1). DOI: 10.1186/s12968-017-0352-8.

44. Gaca A.M., Jaggars J.J., Dudley L.T., Bisset G.S. 3rd. *Repair of congenital heart disease: a primer. Part 2. Radiology.* 2008a; 248: 44-60. DOI: 10.1148/radiol.2481070166.
45. Knauth A.L., Gauvreau K., Powell A.J. et al. *Ventricular size and function assessed by cardiac MRI predict major adverse clinical outcomes late after tetralogy of Fallot repair.* *Heart.* 2008; 94: 211-216. DOI: 10.1136/hrt.2006.104745.
46. Ferreira V.M., Schulz-Menger J., Holmvang G. et al. *Cardiovascular magnetic resonance in nonischemic myocardial inflammation: expert recommendations.* *J. Am. Coll. Cardiol.* 2018; 72: 3158-3176. DOI: 10.1016/j.jacc.2018.09.072.
47. Luetkens J.A., Faron A., Isaak A. et al. *Comparison of original and 2018 Lake Louise criteria for diagnosis of acute myocarditis: results of a validation cohort.* *Radiol. Cardiothorac. Imaging.* 2019; 1 (3): e190010. DOI: 10.1148/ryct.2019190010.
48. Chai P.J., Jacobs J.P., Quintessenza J.A. *Modern surgical management of patients with tetralogy of Fallot.* *Cardiol. Young.* 2013; 23: 905-909. DOI: 10.1017/s1047951113001716.
49. Sivakumar K., Bhagyavathy A., Coelho R. et al. *Longevity of neonatal ductal stenting for congenital heart diseases with duct-dependent pulmonary circulation.* *Congenit. Heart Dis.* 2012; 7: 526-533. DOI: 10.1111/j.1747-0803.2012.00657.