

ВОЗМОЖНОСТИ КТ СЕРДЦА БЕЗ ЭКГ-СИНХРОНИЗАЦИИ В ДИАГНОСТИКЕ И ПРЕДОПЕРАЦИОННОМ ПЛАНИРОВАНИИ КОРРЕКЦИИ ВРОЖДЕННЫХ ПОРОКОВ СЕРДЦА У ДЕТЕЙ

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

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

г. Москва, Россия.

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

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

Существуют разные стратегии снижения эффективной дозы при выполнении КТ сердца у детей, большинство из которых направлены на изменения технических параметров протокола томографии. Альтернативным и доступным вариантом снижения дозовой нагрузки при проведении КТ сердца у детей является проведение исследования без ЭКГ-синхронизации. До настоящего времени имеется все еще незначительное количество публикаций о возможностях и ограничениях метода КТ сердца без ЭКГ-синхронизации у детей с врожденными пороками сердца.

Цель исследования. Оценить возможности КТ сердца без ЭКГ-синхронизации в диагностике и предоперационном планировании коррекции врожденных пороков сердца у детей.

Материалы и методы. В исследование включено 338 детей до 3-х лет с входящим клиническим диагнозом – врожденный порок сердца. В группу пациентов, которые проходили КТ сердца без ЭКГ-синхронизации, вошел 201 ребенок (59,6%), с ретроспективной ЭКГ-синхронизацией – 137 детей (41%). Для всех исследований проводился расчет эффективных доз, а также сравнение возможностей КТ-протоколов (с и без ЭКГ-синхронизации) в диагностике ВПС и определении сопутствующих аномалий, играющих важную роль в планировании тактики ведения пациентов. Все полученные данные КТ сопоставлялись с результатами прямой ангиографии и интраоперационными данными.

Результаты. В диагностике всех групп врожденных пороков сердца и большинства клинически значимых сопутствующих интра- и экстракардиальных аномалий протокол КТ сердца без ЭКГ-синхронизации показал себя высоко точным инструментом без статистически значимой разницы в эффективности в сравнении с синхронизированным КТ-протоколом ($p > 0,05$). Достоверное ($p < 0,05$) снижение возможностей несинхронизированного протокола в сравнении с КТ с ретроспективной ЭКГ-синхронизацией в нашем исследовании было в определении сопутствующих аномалий коронарных артерий (КА) (чувствительность 33,3%, специфичность 97,12%, точность 93,2%) и оценке функционального состояния больших аорто-легочных коллатеральных артерий (точность 73,6%). Протокол КТ с ретроспективной ЭКГ-синхронизацией в определении стенозов больших аорто-легочных коллатеральных артерий и аномалий коронарного русла был более точным, чем КТ сердца без ЭКГ-синхронизации ($p < 0,05$), точность 93,2% и 98,1% соответственно. Эффективная доза в группе пациентов, которым проводилась КТ сердца без ЭКГ-синхронизации была ниже, чем в группе с синхронизированным протоколом и составила $2,17 \pm 0,687$ мЗв, с ретроспективной ЭКГ-синхронизацией – $4,1 \pm 1,24$ мЗв ($p < 0,01$).

Обсуждение. Полученные нами результаты демонстрируют высокую эффективность и достоверное снижение дозовой нагрузки на пациента при использовании протокола КТ сердца без синхронизации по сигналу ЭКГ, как в диагностике врожденных пороков сердца, так и в оценке большинства сопутствующих интра- и экстракардиальных аномалий. Метод имеет ограниченные диагностические возможности в оценке хирургических рисков, связанных с наличием аномалий коронарных артерий и стенозов альтернативных источников легочного кровоснабжения.

Заключение. Детям с патологией дуги аорты, общим артериальным стволом, аномалиями системного и легочного венозного возврата при планировании хирургической или эндоваскулярной коррекции рекомендовано проведение КТ сердца без ЭКГ-синхронизации. В иных

случаях: при наличии гипоплазии системы легочной артерии и потенциальным наличием аортолегочных коллатералей, а также перед проведением реимплантации коронарных артерий и инфундибулотомии выводного отдела правого желудочка (при пороках конотрункуса) КТ сердца должна проводиться с использованием ЭКГ-синхронизации.

Ключевые слова: ВПС, КТ, ЭКГ-синхронизация, врожденные пороки сердца, коронарные артерии, КА.

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

Для цитирования: Хасанова К.А., Терновой С.К. Возможности КТ сердца без ЭКГ-синхронизации в диагностике и предоперационном планировании коррекции врожденных пороков сердца у детей. REJR 2024; 14(3):45-57. DOI: 10.21569/2222-7415-2024-14-3-45-57.

Статья получена: 01.05.24

Статья принята: 11.09.24

NON-ECG-GATED CARDIAC CT IN CHILDREN WITH CONGENITAL HEART DISEASE

Khasanova K.A.^{1,2}, Ternovoy S.K.^{2,3}

1 - Morozov Children's City Clinical Hospital.

2 - Sechenov University.

3 - A.L. Myasnikova National Medical Research Center of Cardiology. Moscow, Russia.

There are different strategies for reducing the effective dose when performing cardiac CT in children, most of them are aimed for changing the technical parameters of the CT protocol and depend on the specification of the CT scanner. An alternative and affordable option for reducing the dose during cardiac CT in children is non-ECG-gated cardiac CT scanning. There are still a small number of publications on the possibilities and limitations of non-ECG-gated cardiac CT in children with congenital heart defects (CHD).

Purpose. To evaluate the possibilities of non-ECG-gated cardiac CT in the diagnosis and preoperative planning of CHD in children.

Materials and methods. The study included 338 children with an incoming clinical diagnosis of congenital heart disease. The group of patients who underwent non-ECG-gated cardiac CT included 201 children (59.6%), 137 children underwent CT with retrospective ECG synchronization (41%). For all studies, effective doses were calculated, as well as a comparison of the capabilities of CT protocols (with and without ECG synchronization) in the diagnosis of CHD and the identification of concomitant anomalies that play an important role in planning patient management tactics. All the CT data obtained were compared with the results of direct angiography and intraoperative data.

Results. In the diagnosis of all groups of CHD and most clinically significant concomitant intra- and extracardiac abnormalities, the non-ECG-gated cardiac CT proved to be a highly accurate tool without a statistically significant difference in effectiveness compared with the synchronized CT protocol ($p > 0.05$). A significant ($p < 0.05$) decrease in the capabilities of the unsynchronized protocol in comparison with CT with retrospective ECG synchronization in our study was the determination of concomitant anomalies of the coronary arteries (CA) (sensitivity 33.3%, specificity 97.12%, accuracy 93.2%) and the assessment of the functional state of the large aortopulmonary collateral arteries (accuracy 73.6%). The CT protocol with retrospective ECG synchronization in determining stenoses of the large aortopulmonary collateral arteries and anomalies of the coronary bed was more accurate than non-ECG-gated cardiac CT ($p < 0.05$), accuracy 93.2% and 98.1%, respectively. Effective dose in group of patients who underwent non-ECG-gated cardiac CT was significantly lower than in the group with a synchronized protocol and amounted to 2.17 ± 0.687 , with retrospective ECG synchronization - 4.1 ± 1.24 mSv ($p < 0.01$).

Discussion. Our results demonstrate the high efficiency of non-ECG-gated cardiac CT in determining the type of CHD, however, the method has limited diagnostic capabilities in assessing surgical risks associated with CA abnormalities and the presence of stenoses of alternative sources of pulmonary blood supply.

Conclusion. In patients with pathology of the aortic arch, common arterial trunk, anomalies

of systemic and pulmonary venous return, when planning surgical or endovascular correction, the use of a non-ECG-gated cardiac CT when planning surgical or endovascular correction of CHD is an acceptable tool to reduce the dose burden on a child. In all other cases: before performing a coronary artery reimplantation or infundibulotomy of the excretory part of the right ventricle (conotruncus anomalies), as well as for patients with cardiac abnormalities associated with hypoplasia of the pulmonary artery system and the potential presence of aortopulmonary collaterals, a CT scan of the heart should be performed using ECG synchronization.

Keywords: CHD, CT, non-ECG-gated cardiac CT, congenital heart defects, coronary arteries, CA.

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

For citation: Khasanova K.A., Ternovoy S.K. Non-ECG-gated cardiac CT in children with congenital heart disease. REJR 2024; 14(3):45-57. DOI: 10.21569/2222-7415-2024-14-3-45-57.

Received: 01.05.24

Accepted: 11.09.24

Высокая доступность мультиспиральных компьютерных томографов в настоящее время позволяет рутинно использовать метод компьютерной томографии (КТ) в комплексной диагностике ВПС и сопутствующих интра- и экстракардиальных аномалий у детей всех возрастных групп как на до-, так и на послеоперационном этапах [1]. В то же время, несмотря на высокие показатели диагностической эффективности метода КТ в определении анатомических особенностей врожденных сердечных аномалий, основным ограничением рутинного использования данного метода визуализации является недостаточное количество информации о его безопасности [2].

Главными ограничениями применения КТ у детей с ВПС является необходимость использования анестезиологического пособия, наличие йодной нагрузки, повышающей риск развития острых почечных нарушений, особенно у новорожденных и детей раннего возраста, и лучевой нагрузки, которая связана с потенциальным риском возникновения отдаленных побочных эффектов от воздействия ионизирующего излучения [2, 3].

Среди детей проблема лучевой нагрузки является особенно актуальной, так как для них характерна более высокая продолжительность жизни и, следовательно, показатели смертности от вторичных онкологических заболеваний выше, чем у взрослых. Вопросы радиационной безопасности в педиатрии требуют особого внимания, так как дети наиболее восприимчивы к рентгеновскому облучению и при одинаковой кумулятивной дозе биологический эффект и риск для жизни ребенка будет выше, чем для

взрослого [2].

Существующий принцип ALARA (As Low As Reasonably Achievable – снижение дозовой нагрузки настолько, насколько это возможно при условии сохранения диагностической ценности метода) разработан и применяется с целью снижения вредного воздействия ионизирующего облучения, и предусматривает достижение максимально возможной низких индивидуальных эффективных доз [4]. За последние годы появляется и внедряется в практику большое количество новых алгоритмов по снижению дозы облучения при проведении КТ сердца у детей [3, 5].

Основными и наиболее часто используемыми стратегиями снижения эффективной дозы облучения при выполнении КТ сердца у детей являются:

1. модуляция силы тока рентгеновской трубки с учетом анатомических и антропометрических параметров,
2. модуляция силы тока в зависимости от фазы сердечного цикла (под контролем ЭКГ),
3. снижение напряжения на трубке,
4. проведение исследования с проспективной ЭКГ-синхронизацией,
5. использование различных алгоритмов автоматического контроля экспозиции (АКЭ).

Наименьшие показатели дозовой нагрузки при проведении КТ сердца достигаются при использовании проспективной синхронизации по сигналу ЭКГ, однако данный протокол сканирования имеет объективные сложности и низкие показатели эффективности у пациентов с высокими показателями ЧСС (> 90 уд/мин) и потому редко

применяется у новорожденных и детей младшей возрастной группы [2].

КТ сердца с ретроспективной ЭКГ-синхронизацией – наиболее часто используемый метод в диагностике и предоперационном планировании коррекции всех типов ВПС у детей до года и младшей возрастной группы, который позволяет выбрать и реконструировать наиболее информативную серию изображений для комплексной оценки всех интра- и экстракардиальных структур [6]. Несмотря на все используемые алгоритмы, направленные на снижение дозовой нагрузки, все еще главным недостатком проведения КТ сердца с ретроспективной ЭКГ-синхронизацией является относительно высокая лучевая нагрузка: по докладом McCollough С.Н. и Schueler В.А показатель эффективной дозы у детей до года при проведении исследования с ретроспективной ЭКГ-синхронизацией на мультиспиральных компьютерных томографах (ЧСС 90-150 уд/мин) составляет 5,8-9,6 мЗв, а от года до 6 лет 6,1 (2,5-10,6) мЗв [7].

Помимо изменения технических параметров сканирования при выполнении исследований с синхронизацией по сигналу ЭКГ, зачастую рассматривается возможность проведения КТ сердца у детей без ЭКГ-синхронизации, которая несет меньшую лучевую нагрузку в сравнении с ретроспективно синхронизированным по сигналу ЭКГ КТ-исследованием. По данным авторов эффективная доза при проведении КТ сердца без ЭКГ-синхронизации у детей до 2-х лет составила 2,1 (1,1-10,1) мЗв [8]. Вопрос эффективности КТ сердца у детей без ЭКГ-синхронизации все еще остается дискуссионным: сообщается о снижении диагностической точности КТ на 30-40% при проведении несинхронизированных исследований [2]. Альтернативно этому ряд авторов заявляет о равнозначных возможностях КТ сердца с и без ЭКГ-синхронизации в определении аномалий экстракардиальных структур (аорты, легочных артерий, системных и легочных вен) и коронарных артерий (КА) [9, 10]. Однако количество работ о диагностической эффективности КТ сердца (как с, так и без ЭКГ-синхронизации) в определении сочетанных аномалий интра- и экстракардиальных структур, в том числе, аномалий КА ограничено.

Высокая доступность КТ, широкий парк диагностического оборудования и спецификаций компьютерных томографов (и, следовательно, алгоритмов снижения дозовой нагрузки), отсутствие унифицированных протоколов проведения КТ сердца, основан-

ных на их диагностических возможностях, определяют актуальность проведения анализа эффективности КТ сердца без ЭКГ-синхронизации с определением его сильных и слабых сторон.

Цель.

Оценить возможности КТ сердца без ЭКГ синхронизации в диагностике и предоперационном планировании коррекции врожденных пороков сердца у детей.

Материалы и методы.

В исследование включено 338 детей в возрасте до 3-х лет, направленных на обследование и лечение в отделения неотложной и экстренной кардиохирургии и кардиореанимации в ГБУЗ «Морозовская ДГКБ ДЗМ» с входящим клиническим диагнозом – врожденный порок сердца, в период с января 2020 года по июнь 2024 года. Все дети были обследованы по общеклинической схеме, принятой в «ГБУЗ Мордовская ДГКБ ДЗМ» для ведения пациентов с ВПС, которая из инструментальных методов диагностики включает в себя проведение ЭхоКГ и рентгенографию органов грудной клетки. Всем пациентам (n=338) в рамках предоперационного планирования, для уточнения морфологических особенностей ВПС, диагностики интра- и экстракардиальных аномалий была проведена КТ сердца.

В группу пациентов, которые проходили КТ сердца без ЭКГ синхронизации, вошел 201 ребенок (59,6%), с ретроспективной ЭКГ-синхронизацией – 137 детей (41%). Спектр ВПС, с которыми пациенты были направлены на проведение КТ с- и без ЭКГ-синхронизации отражен в таблице №1.

Всем детям КТ сердца проводилась на фоне общей медикаментозной седации, на 256-срезовом компьютерном томографе Philips Brilliance iCT, с шириной детектора – 8 см, напряжение на трубке – 80 kV. Толщина реконструируемых срезов 0,625 и 1,5 мм. Для всех пациентов использовалась автоматическая модуляция силы тока рентгеновской трубки с учетом анатомических и антропометрических параметров и автоматический контроль экспозиции (АКЭ) – Dose right index (DRI). В качестве контрастного вещества применяли неионный низкоосмолярный контрастный препарат (КП) – Ультравист-350, внутривенное введение осуществляли с помощью двухколбового шприца-инжектора в объеме 2 мл/кг со скоростью 0,3-2,5 мл/с. После контрастной фазы во всех случаях осуществляли болюсное введение физиологического раствора в объеме 10-20 мл с идентичной КП скоростью. Скорость введения контрастного препарата зависела

Таблица №1. Спектр врожденных пороков сердца, с которыми пациенты были направлены на проведение КТ сердца.			
	КТ сердца с ретроспективной ЭКГ-синхронизацией	КТ сердца без ЭКГ-синхронизации	всего
Всего пациентов	137	201	338
Основные клинические группы ВПС			
Коарктация аорты (КоАо)	35	91	126
Перерыв дуги аорты	5	4	9
Тетрада Фалло (АЛА)	31	39	70
Атрезия легочной артерии (АЛА)	22	13	35
Транспозиция магистральных артерий (ТМА)	16	10	26
Двойное отхождение сосудов от ПЖ (ДОСПЖ)	18	13	31
Аномалия Тауссиг-Бинга	3	7	10
Общий артериальный ствол (ОАС)	5	2	7
Частичный аномальный дренаж легочных вен (ЧАДЛВ)	7	15	22
Тотальный аномальный дренаж легочных вен (ТАДЛВ)	4	8	12
Сопутствующие клинически значимые интра- и экстракардиальные аномалии			
Гипоплазия дуги Ао	11	16	27
Аберрантная подключичная артерия	7	9	16
Открытый артериальный проток (ОАП)	37	52	89
Праволежащая дуга Ао	16	12	28
Аномалии брахиоцефальных артерий	12	17	29
Большие аорто-легочные коллатеральные артерии (БАЛКА)	33	19	52
Стенозы БАЛКА	10	8	18
ДМЖП	37	26	63
ДМПП	13	17	30
Аномалии коронарных артерий (КА)	12	9	21
Аномалии легочных артерий (ЛА)	15	11	26
Добавочная ВПВ	14	19	33
Всего аномалий в выборке	363	417	780

от диаметра установленной канюли, от времени задержки и продолжительности сканирования, таким образом, чтобы исследование проводилось в конце введения контрастного препарата или во время введения физиологического раствора. В обоих протоколах КТ контрастирование проводили с помощью методики автоматического отслеживания болюса (мониторинг и величина порогового значения устанавливалась в зависимости от анатомии ВПС и диагностических задач). Постпроцессорная обработка выполнялась на мультимодальных рабочих станциях с построением трехмерных реконструкций.

Всем пациентам проводился расчет эффективной дозы согласно Методическим Указаниям (МУ) 2.6.1.3584-19 «Изменения в МУ 2.6.1.2944-11 «Контроль эффективных доз облучения пациентов при проведении медицинских рентгенологических исследований», в которых определены значения дозовых коэффициентов в зависимости от области исследования и возраста пациента (табл. №2).

ла $2,17 \pm 0,687$, с ретроспективной ЭКГ-синхронизацией – $4,1 \pm 1,24$ мЗв ($p < 0,01$).

При сравнении возможностей двух протоколов КТ сердца в определении типа ВПС достоверной разницы в эффективности получено не было ни в одной из клинических групп.

КТ сердца с и без-ЭКГ синхронизации в диагностике аномалий дуги аорты (КоАо и перерыв дуги Ао) – 145 пациентов.

В группе пациентов с КоАо при сравнении результатов предхирургической ангиометрии Ао (восходящий отдел, проксимальная и дистальная часть дуги, перешеек Ао, нисходящий отдел) между двумя протоколами КТ статистически значимых различий выявлено не было ($p = 0,843$).

В определении КоАо при проведении КТ сердца случаев гиподиагностики получено не было (чувствительность – 100%), 2 ложноположительных (ЛП) результата были у детей с удлинённой и деформированной дугой Ао (кинкинг дуги Ао) как при проведении синхронизированного КТ исследования, так

Таблица №2. Значение дозового коэффициента $e(DLP)$ в зависимости от области исследования для детей.					
Область исследования	Возраст пациента, годы				
	До 6 месяцев	От 6 мес. до 2-х лет	2-7 лет	7-12 лет	12-17 лет
грудная клетка	0,026	0,020	0,014	0,011	0,0069

Расчет ЭД (E) от каждой фазы сканирования для всех детей выполнялся нами по следующей формуле:

$$E = \text{SUM DLP} \times e_{(DLP)}, \text{ где}$$

DLP – произведение дозы на длину за проведенное сканирование (мГр x см);

$e_{(DLP)}$ – дозовый коэффициент для исследуемой анатомической области (мЗв/(мГр x см)) и возраста.

Диагностические возможности КТ сердца с и без ЭКГ-синхронизации оценивались и сравнивались для основных групп ВПС, а также для сочетанных клинически значимых интра- и экстракардиальных аномалий (табл. №1). Полученные результаты сопоставлялись с интраоперационными результатами или данными прямой АГ, в случае летального исхода – с данными аутопсии.

Результаты.

Эффективная доза в группе пациентов, которым проводилась КТ сердца без ЭКГ-синхронизации была ниже чем в группе с синхронизированным протоколом и состави-

и без ЭКГ-синхронизации. Точность КТ сердца с ЭКГ-синхронизацией и без неё в диагностике КоАо составила 99,5% и 99,8% соответственно: достоверной разницы в показателях диагностической эффективности между двумя протоколами КТ в определении локального сужения перешейка Ао определено не было ($p = 0,893$).

В определении наличия и локализации перерыва дуги Ао разницы в эффективности двух протоколов сканирования не было (межгрупповое сравнение не проводилось из-за отсутствия вариаций в группах: ошибочных результатов получено не было) – точность метода 100%.

КТ сердца с и без ЭКГ-синхронизации в диагностике пороков конотрункуса: АЛА с ДМЖП, ТФ, ДОСПЖ, аномалия Тауссиг-Бинга, ТМА, ОАС – 194 пациента.

При сравнении результатов морфометрии системы легочной артерии (ЛА) при использовании КТ с и без ЭКГ-синхронизации у пациентов с конотрункальными пороками

достоверной разницы в измерениях получено не было ($p=0,472$).

В части касающейся определения типа ВПС при использовании обоих КТ протоколов были расхождения диагнозов: у одного пациента со значительно выраженной гипоплазией системы ЛА при использовании КТ протокола без ЭКГ-синхронизации был выставлен диагноз АЛА 1 тип (ангиографически – ТФ на грани атрезии ЛА); ошибочные результаты в двух КТ-протоколах были в трактовке наличия или отсутствия аорто-митрального контакта и в определении степени выраженности декстропозиции аорты, в связи с чем, было получено 3 ложноотрицательных (ЛО) результата в диагностике ТФ (3 ЛП результата ДОСПЖ) и 1 ЛП результат в определении ТФ (ангиографически – ДОСПЖ).

Все расхождения не влияли на тактику ведения пациентов и алгоритм хирургической коррекции пороков, а потому не считались клинически значимыми. При сравнении возможностей двух протоколов КТ сердца в диагностике пороков конотрункуса ни в одной из групп пороков не было получено статистически значимой разницы: КТ сердца с и без ЭКГ-синхронизации показали себя одинаково высоко точными методиками ($p>0,05$). В определении АЛА с ДМЖП, ТФ и ДОСПЖ точность протокола КТ без ЭКГ-синхронизации составила 99,5%, 98% и 98,1% соответственно.

В диагностике ОАС, ТМА и аномалии Тауссиг-Бинга ошибочных результатов в двух группах получено не было (межгрупповое сравнение не проводилось из-за отсутствия вариаций результатов) – точность метода 100%.

КТ сердца с и без-ЭКГ синхронизации в диагностике аномалий венозного возврата: ЧАДЛВ и ТАДЛВ – 34 пациента.

В определении ЧАДЛВ и ТАДЛВ расхождений в диагнозах при использовании двух КТ-протоколов не было. Также у всех пациентов было корректно определено место впадения легочных вен, как при частичном, так и при тотальном АДЛВ (корректное определение типа АДЛВ). Межгрупповое сравнение для АДЛВ не проводилось из-за отсутствия вариаций в группах: ошибочных результатов получено не было – точность метода 100%.

Межгрупповое сравнение возможностей КТ сердца с и без ЭКГ-синхронизации в диагностике экстракардиальных аномалий проводилось при условии наличия вариаций в полученных результатах: сравнивались возможности методов в определении ОАП, БАЛКА (и их стенозов) и наличия сопутству-

ющих аномалий КА.

КТ сердца с и без ЭКГ-синхронизации в диагностике ОАП.

Определение ОАП у пациентов с ВПС при проведении КТ сердца (независимо от выбранного протокола сканирования) не представляло трудностей – оба протокола были высоко эффективны. Все случаи гипердиагностики ОАП по КТ учитывались только при условии проведения прямой АГ или хирургического вмешательства не позднее чем через 3 дня после проведения исследования (ЛП результатов при проведении КТ получено не было). Точность КТ сердца с ЭКГ-синхронизацией в определении ОАП составила 97%, без ЭКГ синхронизации – 96%. Статистически значимой разницы в возможностях двух протоколов КТ сердца в определении ОАП получено не было ($p=0,604$).

КТ сердца с и без ЭКГ-синхронизации в диагностике больших аорто-легочных коллатеральных артерий.

Важным аспектом планирования тактики ведения детей с ВПС, сопровождающимися гипоплазией системы ЛА (ТФ, АЛА), является определение наличия, хода и возможных участков сужения БАЛКА, которые в данной группе сердечных аномалий являются альтернативным и часто единственным источником легочного кровоснабжения.

По данным прямой АГ и/или интраоперационно было диагностировано 52 источника альтернативного легочного кровоснабжения в виде БАЛКА (39 коллатералей шли к главным или долевым ветвям ЛА, 13 – кровоснабжали непосредственно паренхиму легких). Из 52 БАЛКА с помощью КТ сердца было диагностировано 49 (94,2%); 2 ЛО результата было получено при использовании КТ протокола без ЭКГ-синхронизации (чувствительность 89,5%, точность 99%), 1 – с ретроспективной ЭКГ синхронизацией (чувствительность 97%, точность 99,2%). Во всех трех случаях сложности в определении количества БАЛКА были связаны с наличием сетки субмиллиметровых коллатералей, затрудняющих объективную оценку их количества (рис. 1). Достоверной разницы между двумя протоколами КТ в определении наличия БАЛКА получено не было ($p=0,497$).

КТ сердца с и без ЭКГ-синхронизации в оценке функционального состояния больших аорто-легочных коллатеральных артерий (наличие устьевых или дистальных стенозов).

Среди 52 БАЛКА при проведении прямой АГ было определено 18 стенозов: 14 устьевых и 4 – на уровне конfluence БАЛКА с ЛА. В диагностике стенозов БАЛКА при ис-

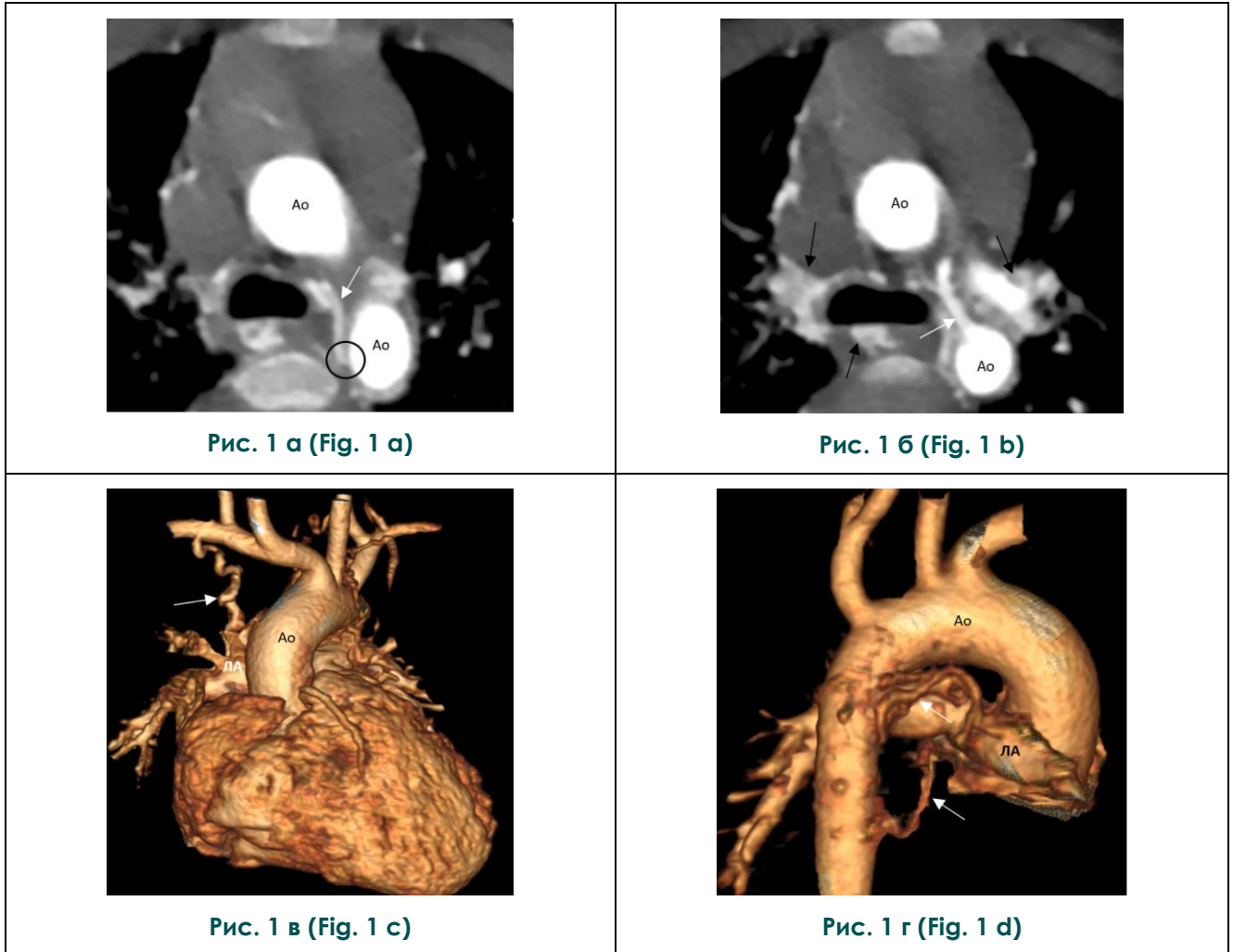


Рис. 1. КТ сердца с внутривенным контрастным усилением, артериальная фаза, ретроспективная ЭКГ-синхронизация (медикаментозная седация). Пациент А., 1 год. Тетрада Фалло.

а – Аксиальная плоскость, MIP-реконструкция. Большая аорто-легочная коллатеральная артерия (стрелка). Локальный участок сужения в устье аорто-легочной коллатеральной артерии (круг) – ложноположительный результат.

б – Аксиальная плоскость, MIP-реконструкция. ОАП (черная стрелка), развитая сеть множественных аорто-легочных коллатеральных артерий.

в – 3D-реконструкция, вид спереди и сбоку. Большая коллатеральная артерия (стрелка), которая исходит из правой подключичной артерии и соединяется с долевой ветвью правой легочной артерии.

г – 3D-реконструкция, вид сзади. Множественные большие аорто-легочные коллатеральные артерии (стрелки).

Fig. 1. CT, cardiac, with contrast enhancement, arterial phase, retrospective ECG-gating. Patient, 1-year-old. Tetralogy of Fallot.

a – Axial plane, MIP reconstruction. Major Aortopulmonary Collateral Artery (arrow). A local narrowing site at the origin of the aortopulmonary collateral artery (circle) is a false positive result.

b – Axial plane, MIP reconstruction. PDA (black arrow), a developed network of multiple aortopulmonary collateral arteries.

c – 3D reconstruction, front and side view. Major collateral artery (arrow) which originates from the right subclavian artery and connects to the lobar branch of the right pulmonary artery.

d – 3D reconstruction, rear view. Multiple major aortopulmonary collateral arteries (arrows).

пользовании КТ-протокола с ретроспективной ЭКГ-синхронизацией был получен один ЛП результат при оценке устья коллатерали диаметром до 2 мм: точность 96,9% (рис. 1).

5 ошибочных результатов (2 АО и 3 ЛП) в определении стенозов БАЛКА были получены при использовании протокола без ЭКГ-синхронизации в оценке коллатералей диаметром менее 2 мм (чувствительность метода – 89,4%, точность – 73,6%). Протокол КТ с ретроспективной ЭКГ-синхронизацией в определении стенозов БАЛКА был более точным, чем КТ сердца без ЭКГ-синхронизации ($p=0,001$) (табл. №3).

ЭКГ-синхронизации: 81% и 98,2% соответственно (точность 96%); в определении ДМПП точность КТ сердца с и без ЭКГ-синхронизации составила 98,5% и 98% соответственно. Статистически значимой разницы между КТ-протоколами в диагностике ДМЖП, ДМПП и в общей группе септальных дефектов получено не было ($p>0,05$).

КТ сердца с и без ЭКГ-синхронизации в определении сопутствующих аномалий коронарных артерий.

В большинстве случаев (64%) аномалии КА в виде нетипичного расположения устьев встречались у пациентов с нарушением вен-

Таблица №3. Диагностическая эффективность двух протоколов КТ сердца в определении стенозов больших артолегочных коллатеральных артерий.

Показатель	без ЭКГ синхронизации (n=19)	с ЭКГ-синхронизацией (n=33)
	Стенозы арто-легочных коллатеральный артерий	
чувствительность	62,5%	100%
специфичность	81,8%	89%
точность	73,6%	96,9%
Межгрупповое сравнение	0,0011	

Таблица №4. Спектр аномалий коронарного русла в выборке пациентов.

Аномалия КА	без ЭКГ синхронизации	с ЭКГ-синхронизацией	всего
Пересечение пКА ВОПЖ	3	1	4
Единственная лКА	1	2	3
Единственная пКА	0	1	1
ОА отходит отдельным устьем	1	2	4
Ретроартериальный ход ОА	0	1	1
ОА, отходящая от пКА	2	1	3
Врожденный стеноз устья пКА	1	1	2
Врожденный стеноз устья лКА	1	1	2
всего	9	12	21

КТ сердца с и без ЭКГ-синхронизации в оценке септальных дефектов (ДМЖП и ДМПП).

Сравнение возможностей двух КТ-протоколов в определении сопутствующих ДМЖП и ДМПП проводилось только для тех пациентов, у которых наличие септальных дефектов подтверждалось при проведении прямой АГ, интраоперационно или результатами аутопсии.

В определении септальных дефектов КТ сердца с ЭКГ-синхронизацией была более эффективной методикой: в диагностике ДМЖП чувствительность – 92%, специфичность – 99% (точность 97%), против результатов при проведении исследования сердца без

трикуло-артериального соединения (n=7). У пациентов с ТФ был определен аномальный ход КА – пересечение ВОПЖ (n=3) и единственная левая коронарная артерия (лКА), пересекающая ВОПЖ (n=2). У детей с подозрением на КоАо были диагностированы: единственная правая коронарная артерия (пКА), пересекающая ВОПЖ с ретроартериальным ходом огибающей артерии, стеноз устья пКА и лКА (табл. №4).

При проведении оценки и сравнения возможностей протоколов КТ сердца в диагностике аномалий КА исключались пациенты с недиагностическим качеством изображений всех КА, таким образом для группы с ретроспективной ЭКГ-синхронизацией оцен-

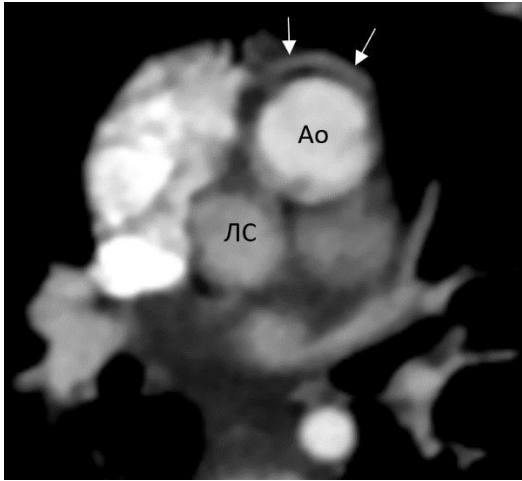


Рис. 2 а (Fig. 2 а)

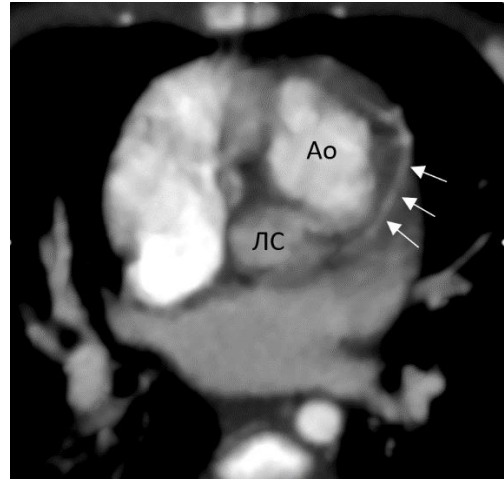


Рис. 2 б (Fig. 2 б)

Рис. 2. КТ сердца с внутривенным контрастным усилением, артериальная фаза, без ЭКГ-синхронизации (медикаментозная седация). Пациент X., 14 дней. Транспозиция магистральных артерий (0-ТМА). Пример ошибочной интерпретация анатомии коронарного русла.

а – Аксиальная плоскость, МIP-реконструкция. Транспозиционное расположение магистральных артерий: аорта спереди, легочная артерия сзади. Коронарная артерия (стрелка), трактована как правая коронарная артерия.

б – Аксиальная плоскость, МIP-реконструкция. Коронарная артерия (стрелка), трактована как передняя межжелудочковая коронарная артерия.

Интраоперационно: от правого коронарного синуса единственным устьем отходит короткий ствол коронарной артерии, делящийся на правую и левую коронарные артерии, левая коронарная артерия проходит задней петлей позади легочной артерии.

Fig. 2. CT, cardiac, with contrast enhancement, arterial phase, non-ECG-gated (medicamentation). Patient Kh., 14 days. Transposition of the main arteries (0-TMA). An example of an erroneous interpretation of the coronary arteries anatomy.

a – Axial plane, MIP reconstruction. The transpositional arrangement of the main arteries: the aorta in front, the pulmonary artery in the back. Coronary artery (arrow) interpreted as the right coronary artery.

b – Axial plane, MIP reconstruction. The coronary artery (arrow) is interpreted as the anterior interventricular coronary artery.

Surgery conclusion: a short trunk of the coronary artery departs from the right coronary sinus with a single mouth, dividing into the right and left coronary arteries, the left coronary artery passes through a posterior loop behind the pulmonary artery.

ка возможностей метода проводилась у 126 пациентов (92,7%), для группы без ЭКГ-синхронизации – у 148 пациентов (73,2%).

При использовании протокола без ЭКГ-синхронизации в определении сопутствующих аномалий КА было получено 10 ошибочных результатов (ЛО – 6, ЛП – 4) (рис. 2). Основные сложности были в определении групп аномалий пКА (как аномалии отхождения, так и аномалии следования) и огибающей артерии (ОА), при отхождении ее от коронарного синуса отдельным устьем. В случае определения единственной лКА при использовании протокола без синхронизации было затруднительно дифференцировать ис-

тинную атрезию пКА от отсутствия ее визуализации из-за пульсационных артефактов на фоне высокой ЧСС. Показатели диагностической эффективности в определении аномалий КА для протокола КТ без ЭКГ-синхронизации: чувствительность – 33,3%, специфичность – 97,12%, точность – 93,2%.

Протокол КТ сердца с ретроспективной ЭКГ-синхронизацией диагностировал сопутствующие аномалии КА в 10 случаях: 2 ЛО результата были в определении отдельного устья ОА и в диагностике пересечения пКА выводного отдела правого желудочка (ВОПЖ), ЛП результатов получено не было. Чувствительность метода составила 83,3%,

Таблица №5. Возможности двух протоколов КТ сердца в диагностике сопутствующих аномалий коронарных артерий.		
Результат	без ЭКГ синхронизации	с ЭКГ-синхронизацией
Аномалии коронарных артерий		
Чувствительность	33,3%	83,3%
Специфичность	97,2%	100%
Точность	83,3%	98,1%
Межгрупповое сравнение	0,037	

точность – 98,1%.

В определении сопутствующих аномалий КА у детей с ВПС протокол КТ сердца с ретроспективной ЭКГ-синхронизацией был достоверно более эффективным в сравнении с протоколом без ЭКГ-синхронизации (табл. №5).

КТ сердца с и без ЭКГ-синхронизации в оценке сочетанных экстракардиальных аномалий.

Сравнение методов КТ в определении наличия гипоплазии дуги Ао, праволежащей дуги Ао, aberrантной подключичной артерии, аномалий БЦА и ЛА, добавочной ВПВ – не проводилось из-за отсутствия вариаций результатов в группах: для обоих КТ-протоколов точность составила 100%.

Обсуждение.

КТ сердца в детской сердечно-сосудистой хирургии в настоящее время является основным методом оценки морфологии ВПС и анатомии интра- и экстракардиальных структур. Высокое пространственное и временное разрешение при одновременно высокой скорости сбора данных сделало метод КТ одним из ключевых инструментов в мультимодальном подходе к оценке ВПС у детей, наряду с трансторакальной ЭхоКГ.

С целью повышения безопасности использования КТ в педиатрической практике продолжается поиск оптимальных протоколов выполнения исследования, позволяющих максимально снизить лучевую нагрузку на пациента при условии сохранения диагностической ценности методики. Существуют разные точки зрения на проведение несинхронизированных с ЭКГ КТ-исследований сердца у детей ввиду ограниченных данных об эффективности данного диагностического инструмента. Современные мультidetекторные компьютерные томографы с широкими детекторами и высокой скоростью вращения гентри позволяют в значительной степени уменьшить степень выраженности двига-

тельных и пульсационных артефактов, что дает возможность получать диагностические изображения всех интра- и экстракардиальных структур при проведении КТ сердца без ЭКГ-синхронизации на свободном дыхании [9].

В настоящем исследовании на большой выборке пациентов в возрасте от 0 до 3-х лет были продемонстрированы высокие диагностические возможности КТ сердца без ЭКГ-синхронизации в определении всех основных типов ВПС: группа патологии дуги Ао, аномалии ЛА, пороки системного и легочного венозного возврата (точность метода составила более 95%).

Сравнение возможностей двух КТ-протоколов не показало достоверной разницы в их эффективности в диагностике типа ВПС у детей. Аналогичные результаты получены в исследовании Kanza R.E и Allard C. в оценке и сравнении возможностей несинхронизированной КТ в определении некоронарной патологии сердца у взрослых пациентов [12]. Mortensen K.H и Tann O. докладывают об успешном использовании КТ сердца без ЭКГ-синхронизации при оценке анатомии экстракардиальных структур на этапе планирования этапных и/или радикальных коррекций ВПС у детей [13]. Достоверное (p<0,05) снижение возможностей несинхронизированного протокола в сравнении с КТ с ретроспективной ЭКГ-синхронизацией в нашем исследовании было только в определении сопутствующих аномалий КА и оценке функционального состояния БАЛКА (табл. №3, табл. №5).

Сложности в диагностике аномалий КА при проведении КТ сердца без ЭКГ синхронизации были как в выявлении патологии устьев КА, так и в определении нетипичного их следования. Важно отметить, что все ошибочные результаты в определении аномалий КА были у пациентов с вентрикуло-артериальной дискордантностью, проявляющейся патологической ротацией тункуса

(ДОСПЖ и ТМА) и, как следствие, корня аорты.

Согласно мнению ряда авторов, преимущество ЭКГ-синхронизированной КТ сердца в отношении определения аномалий КА достаточно условно, так как метод все еще не имеет широкого применения в определении аномалий коронарного русла у детей. Практически всегда, при подозрении на наличие патологии КА, предпочтение отдается методу прямой АГ, как «золотому стандарту» диагностики аномалий коронарного русла [10, 12]. В нашем исследовании КТ сердца без ЭКГ-синхронизации имела относительно невысокие возможности в диагностике патологии КА, в то время как точность КТ с ретроспективной ЭКГ-синхронизацией составила 96,9%.

Заключение.

Выбор протокола КТ сердца у детей с ВПС должен определяться клиническими задачами и планируемым этапом хирургической коррекции порока.

Детям с патологией дуги аорты, общим артериальным стволом, аномалиями системного и легочного венозного возврата при планировании хирургической или эндоваскулярной коррекции рекомендовано проведение КТ сердца без ЭКГ-синхронизации. В иных случаях: при наличии гипоплазии системы легочной артерии и потенциальным наличием аортолегочных коллатералей, а также перед проведением реимплантации коронарных артерий или инфундибулотомии выводного отдела правого желудочка (при пороках конотрункуса) КТ сердца должна проводиться с использованием ЭКГ-синхронизации.

Источник финансирования и конфликт интересов.

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

Список литературы:

1. Festa P, Lovato L, Bianco F, Alaimo A, Angeli E, Baccano G, et al. Recommendations for cardiovascular magnetic resonance and computed tomography in congenital heart disease: a consensus paper from the CMR/CCT Working Group of the Italian Society of Pediatric Cardiology and the Italian College of Cardiac Radiology endorsed by the Italian Society of Medical and Interventional Radiology (Part II). *J Cardiovasc Med (Hagerstown)*. 2024;25(7):473-487. doi: 10.2459/JCM.0000000000001628. Epub 2024 May 31. PMID: 38829936.
2. Francone M, Gimelli A, Budde RPJ, Caro-Dominguez P, Einstein AJ, Gutberlet M, et al. Radiation safety for cardiovascular computed tomography imaging in paediatric cardiology: a joint expert consensus document of the EACVI, ESCR, AEPC, and ESPR. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*. 2022;23(8):e279-e289. doi: 10.1093/ehjci/jeac048.
3. Хасанова К.А., Тюрин И.Е., Рыжов С.А., Кушаев Е.В. Снижение дозовой нагрузки при проведении компьютерной томографии у детей. *Медицинская радиология и радиационная безопасность* 2019; 64 (1): 38-44. https://doi.org/10.12737/article_5c55fb466d7532.24221014
4. Sodhi KS, Krishna S, Saxena AK, Sinha A, Khandelwal N, Lee EY. Clinical application of 'Justification' and 'Optimization' principle of ALARA in pediatric CT imaging: "How many children can be protected from unnecessary radiation?". *Eur J Radiol*. 2015;84(9):1752-7. doi: 10.1016/j.ejrad.2015.05.030. Epub 2015 May 27. PMID: 26072096.
5. Маткевич Е.И., Синицын В.Е., Зеликман М.И., Кручинин С.А., Иванов И.В. Основные направления снижения дозы облучения пациентов при компьютерной томографии. *REJR*. 2018; 8(3):60-73. DOI:10.21569/2222-7415-2018-8-3-60-73.
6. Kulkarni A, Hsu HH, Ou P, Kutty S. Computed Tomography in Congenital Heart Disease: Clinical Applications and Technical Considerations. *Echocardiography*. 2016;33(4):629-40. doi: 10.1111/echo.13147. Epub 2015 Dec 16. PMID: 26670095.
7. McCollough CH, Schueler BA. Calculation of effective dose. *Med Phys*. 2000;27(5):828-37. doi: 10.1118/1.598948. PMID: 10841384.
8. Han BK, Lindberg J, Grant K, et al. Accuracy and safety of high pitch computed tomography imaging in young children with complex congenital heart disease. *The American journal of cardiology*. 2011;107:1541-1546. [PubMed] [Google Scholar]
9. 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*. 2012;156(3):309-14. doi: 10.1016/j.ijcard.2010.11.009. Epub 2010 Dec 15. PMID: 21163542.
10. Goo HW, Park IS, Ko JK, Kim YH, Seo DM, Yun TJ, Park JJ. Visibility of the origin and proximal course of coronary arteries on non-ECG-gated heart CT in patients with congenital heart disease. *Pediatr Radiol*. 2005;35(8):792-8. doi: 10.1007/s00247-005-1482-y. Epub 2005 May 11. PMID: 15886981.
11. Методические Указания 2.6.1.3584-19. Изменения в МУ 2.6.1.2944-11. Контроль эффективных доз облучения пациентов при проведении медицинских рентгенологических исследований.
12. Kanza R.E., Allard C., Berube M. Cardiac findings on non-gated chest computed tomography: A clinical and pictorial review. *Eur J Radiol*. 2016;85(2):435-51. doi: 10.1016/j.ejrad.2015.11.042. Epub 2015 Dec 3. PMID: 26072096.

References:

1. Festa P, Lovato L, Bianco F, Alaimo A, Angeli E, Baccano G, et al. Recommendations for cardiovascular magnetic resonance and computed tomography in congenital heart disease: a consensus paper from the CMR/CCT Working Group of the Italian Society of Pediatric Cardiology and the Italian College of Cardiac Radiology endorsed by the Italian Society of Medical and Interventional Radiology (Part II). *J Cardiovasc Med (Hagerstown)*. 2024;25(7):473-487. doi: 10.2459/JCM.0000000000001628. Epub 2024 May 31. PMID: 38829936.
2. Francone M, Gimelli A, Budde RPJ, Caro-Dominguez P, Einstein AJ, Gutberlet M, et al. Radiation safety for cardiovascular computed tomography imaging in paediatric cardiology: a joint expert consensus document of the EACVI, ESCR, AEPIC, and ESPR. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*. 2022;23(8):e279-e289. doi: 10.1093/ehjci/jeac048.
3. Khasanova K.A., Tyurin I.E., Ryzhov S.A., Kizhaev E.V. Radiation dose reduction in pediatric computed tomography. *Medical Radiology and Radiation Safety*. 2019; 64(1): 38-44. DOI: https://doi.org/10.12737/article_5c55fb466d7532.24221014
4. Sodhi KS, Krishna S, Saxena AK, Sinha A, Khandelwal N, Lee EY. Clinical application of 'Justification' and 'Optimization' principle of ALARA in pediatric CT imaging: "How many children can be protected from unnecessary radiation?". *Eur J Radiol*. 2015;84(9):1752-7. doi: 10.1016/j.ejrad.2015.05.030. Epub 2015 May 27. PMID: 26072096.
5. Matkevich E.I., Sinitsyn V.E., Zelikman M.I., Kruchinin S.A., Ivanov I.V. Main directions of reducing patient irradiation doses in computed tomography. *REJR*. 2018; 8 (3):60-73. DOI:10.21569/2222-7415-2018-8-3-60-73 (in Russian).
6. Kulkarni A, Hsu HH, Ou P, Kutty S. Computed Tomography in Congenital Heart Disease: Clinical Applications and Technical Considerations. *Echocardiography*. 2016;33(4):629-40. doi: 10.1111/echo.13147. Epub 2015 Dec 16. PMID: 26670095.
7. McCollough CH, Schueler BA. Calculation of effective dose. *Med Phys*. 2000;27(5):828-37. doi: 10.1118/1.598948. PMID: 10841384.
8. Han BK, Lindberg J, Grant K, et al. Accuracy and safety of high pitch computed tomography imaging in young children with complex congenital heart disease. *The American journal of cardiology*. 2011;107:1541-1546. [PubMed] [Google Scholar]
9. 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*. 2012;156(3):309-14. doi: 10.1016/j.ijcard.2010.11.009. Epub 2010 Dec 15. PMID: 21163542.
10. Goo HW, Park IS, Ko JK, Kim YH, Seo DM, Yun TJ, Park JJ. Visibility of the origin and proximal course of coronary arteries on non-ECG-gated heart CT in patients with congenital heart disease. *Pediatr Radiol*. 2005;35(8):792-8. doi: 10.1007/s00247-005-1482-y. Epub 2005 May 11. PMID: 15886981.
11. Guidelines 2.6.1.3584-19. Changes in MU 2.6.1.2944-11. Control of effective doses of radiation to patients during medical X-ray examinations (in Russian).
12. Kanza R.E., Allard C., Berube M. Cardiac findings on non-gated chest computed tomography: A clinical and pictorial review. *Eur J Radiol*. 2016;85(2):435-51. doi: 10.1016/j.ejrad.2015.11.042. Epub 2015 Dec 3. PMID: 26781150.