

ВОЗМОЖНОСТИ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ КАРДИОВИЗУАЛИЗАЦИИ В ДИАГНОСТИКЕ И ПРЕДОПЕРАЦИОННОМ ПЛАНИРОВАНИИ ТРАНСПОЗИЦИИ МАГИСТРАЛЬНЫХ АРТЕРИЙ У ДЕТЕЙ: ПРОСПЕКТИВНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

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

¹Морозовская детская городская клиническая больница, Москва, Россия

²Первый Московский государственный медицинский университет имени И. М. Сеченова, Москва, Россия

³Институт клинической кардиологии имени А. Л. Мясникова, Москва, Россия

⁴Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы, Москва, Россия

ВВЕДЕНИЕ: Транспозиция магистральных артерий (ТМА) — наиболее тяжелая форма цианотических врожденных пороков сердца у детей. Прогноз и возможность проведения одномоментной коррекции ТМА основываются на морфофункциональных особенностях самого порока и возможном наличии сочетанных интра- и экстракардиальных аномалий, которые должны быть определены с помощью кардиовизуализационных методик на дооперационном этапе.

ЦЕЛЬ: Оценить возможности трансторакальной ЭхоКГ и КТ-сердца в диагностике и хирургическом планировании коррекции ТМА у детей.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ: В исследование включено 29 детей с входящим клиническим диагнозом — транспозиция магистральных артерий. Средний возраст пациентов составил 31 (14,5; 67) день. Всем детям выполнялась трансторакальная ЭхоКГ, 21 — КТ сердца с внутривенным контрастным усилением, 6 — катетеризация полостей сердца с прямой ангиографией. Кардио-МРТ не выполнялась ввиду тяжелого и нестабильного общего состояния всех пациентов и существенных рисков от более длительного пребывания в наркозе. При проведении ЭхоКГ и КТ сердца проводилась оценка и сравнение возможностей методик в определении сочетанных интра- и экстракардиальных аномалий. Все данные ЭхоКГ и КТ сердца сопоставлялись с результатами прямой ангиографии и интраоперационными данными. Интервал между трансторакальной ЭхоКГ, КТ сердца и проведенной ангиографией, либо открытым хирургическим вмешательством был менее 10 дней.

РЕЗУЛЬТАТЫ: Точность трансторакальной ЭхоКГ и КТ сердца в диагностике ТМА и определении ее типа составила 100% у обоих методов, однако в отношении определения сочетанных интра- и экстракардиальных аномалий методы играют разную роль: точность КТ сердца в определении сочетанных интракардиальных аномалий у пациентов с ТМА составила 87,7% (AUC 89,3%), для трансторакальной ЭхоКГ — 97,1% (AUC 97,3%). При сравнении возможностей методик в определении интракардиальных аномалий статистически значимой разницы получено не было ($p=0,092$). Диагностическая точность КТ сердца в определении сопутствующих аномалий магистральных сосудов и экстракардиальной патологии составила 98% (AUC=98,9%). Чувствительность и специфичность ЭхоКГ в комплексной оценке сопутствующих экстракардиальных аномалий составили 58% и 98% соответственно (точность 89,1%), AUC 81,1%. При сравнении возможностей методик в определении интракардиальных аномалий КТ сердца показала себя более точным инструментом в сравнении с ЭхоКГ ($p=0,041$).

ОБСУЖДЕНИЕ: Полученные нами результаты демонстрируют высокую эффективность трансторакальной ЭхоКГ в определении показаний для проведения экстренной паллиативной коррекции транспозиции магистральных артерий, однако метод имеет ограниченные диагностические возможности в оценке хирургических рисков при планировании радикальной коррекции порока. КТ сердца показала себя высокоточным инструментом как в постановке диагноза, так и в определении сочетанных интра- и экстракардиальных аномалий, играющих определяющую роль при планировании открытой хирургической коррекции транспозиции магистральных артерий у детей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ: У пациентов с транспозицией магистральных артерий с критической гипоксией трансторакальная ЭхоКГ является окончательным диагностическим инструментом для планирования эндоваскулярной коррекции. При планировании открытого хирургического вмешательства, трансторакальная ЭхоКГ должна дополняться КТ сердца с ЭКГ-синхронизацией для оценки анатомии коронарного русла и возможных сопутствующих экстракардиальных аномалий.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: транспозиция магистральных артерий, ТМА, ВПС, врожденные пороки сердца, КТ, МРТ, ЭхоКГ, дети, ангиография

*Для корреспонденции: Хасанова Ксения Андреевна, e-mail: khasanova@morozdgkb.ru.

Для цитирования: Хасанова К.А., Терновой С.К., Абрамян М.А. Возможности современных методов кардиовизуализации в диагностике и предоперационном планировании транспозиции магистральных артерий у детей: проспективное исследование // *Лучевая диагностика и терапия*. 2024. Т. 15, № 1. С. 78–86, doi: <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2024-15-1-78-86>.

POSSIBILITIES OF MODERN METHODS OF CARDIAC IMAGING IN THE DIAGNOSIS AND PREOPERATIVE PLANNING OF TRANSPOSITION OF THE GREAT ARTERIES IN CHILDREN: A PROSPECTIVE STUDY

^{1,2}Kseniya A. Khasanova[✉], ^{2,3}Sergey K. Ternovoy[✉], ^{1,4}Mikhail A. Abramyan[✉]

¹Morozov Children's City Clinical Hospital, Moscow, Russia

²First Moscow State Medical University named after I. M. Sechenov, Moscow, Russia

³Institute of Clinical Cardiology named after A. L. Myasnikova, Moscow, Russia

⁴Russian Peoples' Friendship University, Moscow, Russia

INTRODUCTION: Transposition of the great arteries (TGA) is the classic, most common and severe form of cyanotic congenital heart defects in children, which is characterized by a variety of anatomical and hemodynamic variants, combined with other cardiac anomalies and high infant mortality rates. The surgical treatment and the possibility of performing simultaneous correction of TGA depend on the anatomical and hemodynamic features of the TGA and the presence of combined intra- and extracardiac anomalies, which must be determined using cardiac imaging techniques on the preoperative stage.

OBJECTIVE: To evaluate the capabilities of TTE and cardiac CT in the diagnosis and surgical planning of TGA in children.

MATERIALS AND METHODS: The study included 29 children with an incoming diagnosis of transposition of the great arteries. The average age of the patients was 31 (14.5; 67) days. All children underwent TTE, 21 — cardiac CT with intravenous contrast enhancement, 6 — catheterization of the cardiac cavities with conventional angiography. Cardiac MRI was not performed due to the severe and unstable general condition of all patients and the significant risks from a longer stay in anesthesia. Capabilities of TTE and cardiac CT in determining combined intra- and extracardiac anomalies were assessed and compared. All data from TTE and cardiac CT were compared with the results of conventional angiography and intraoperative data. The interval between TTE, cardiac CT and angiography or surgery was less than 10 days.

RESULTS: The accuracy of TTE and cardiac CT in TGA diagnosis and determining its type was 100% for both methods, however, with regard to determining combined intra- and extracardiac anomalies, the methods play a different role: the accuracy of cardiac CT in determining combined intracardiac anomalies in patients with TGA was 87.7% (AUC 89.3%), for TTE — 97.1% (AUC 97.3%). Comparing the capabilities of the techniques in determining intracardiac anomalies, no statistically significant difference was obtained ($p=0.092$). The diagnostic accuracy of cardiac CT in determining concomitant anomalies of the great vessels and extracardiac pathology was 98% (AUC=98.9%). The sensitivity and specificity of TTE in the comprehensive assessment of concomitant extracardiac anomalies were 58% and 98%, respectively (accuracy 89.1%), AUC 81.1%. Comparing the capabilities of techniques in determining intracardiac anomalies, cardiac CT showed to be a more accurate tool in comparison with TTE ($p=0.041$).

DISCUSSION: Results of our study demonstrate the high efficiency of TTE in determining indications for emergency palliative correction of transposition of the great arteries, however, the method has limited diagnostic capabilities in assessing surgical risks when planning radical correction of the defect. Cardiac CT has proven to be a highly accurate tool both in making a diagnosis and in identifying combined intra- and extracardiac anomalies, which play a decisive role in planning open surgical correction of transposition of the great arteries in children.

CONCLUSION: For patients with TMA and critical hypoxia, transthoracic echocardiography is the definitive diagnostic tool for planning endovascular repair. When planning open surgery, transthoracic echocardiography should be complemented by cardiac CT with ECG gating to assess the anatomy of the coronary arteries and possible associated extracardiac anomalies.

KEYWORDS: transposition of the great arteries, TGA, CHD, congenital heart defects, CT, MRI, TTE, children, angiography

*For correspondence: Kseniya A. Khasanova, e-mail: khasanova@morozdgkb.ru.

For citation: Khasanova K.A., Ternovoy S.K., Abramyan M.A. Possibilities of modern methods of cardiac imaging in the diagnosis and preoperative planning of transposition of the great arteries in children: a prospective study // *Diagnostic radiology and radiotherapy*. 2024. Vol. 15, No. 1. P. 78–86, doi: <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2024-15-1-78-86>.

Введение. Транспозиция магистральных артерий (ТМА) — классическая и наиболее тяжелая форма цианотических врожденных пороков сердца (ВПС), для которой характерно разнообразие анатомо-гемодинамических вариантов, сочетание с другими

сердечными аномалиями и высокие показатели младенческой смертности: при естественном течении порока на первом году жизни погибает до 90% детей [1]. Частота ТМА составляет 4,5–7% от всех ВПС [2].

Основным анатомическим паттерном ТМА является конкордантное предсердно-желудочковое и дискордантное желудочково-артериальное соединение: аорта исходит из правого желудочка (ПЖ), а легочный ствол из левого желудочка (ЛЖ). Основным гемодинамическим паттерном ТМА является разобщение большого и малого кругов кровообращения (БКК и МКК). Если в нормально сформированном сердце кровообращение в большом и малом кругах осуществляется последовательно, то при ТМА круги кровообращения разделены и функционируют параллельно. Смешение крови осуществляется только при условии наличия сообщений между БКК и МКК на различных уровнях: между камерами сердца (наличие открытого овального окна — ООО и/или дефекта межжелудочковой перегородки — ДМЖП, между аортой и системой легочной артерии — ЛА) (наличие открытого артериального протока — ОАП и/или коллатеральных, бронхиальных артерий) [2].

Тяжесть расстройств гемодинамики при ТМА и прогноз заболевания зависят от степени выраженности артериальной гипоксемии и объема смешивания системного и легочного кровотоков, которые в свою очередь зависят от уровня функционирования и размера фетальных коммуникаций [3].

Различают две клинические группы пациентов с ТМА: с интактной межжелудочковой перегородкой (ИМЖП) — простая ТМА (до 60 % всех случаев) и с наличием ДМЖП [1].

Для детей с простой ТМА смешивание системного и легочного кровотоков возможно только на предсердном уровне — за счет ООО и на уровне магистральных сосудов — за счет ОАП. Сразу после рождения, по мере закрытия ОАП, возникает угроза жизни пациента из-за критической гипоксемии и нарушений кислотно-основного баланса. Детям с ТМА с ИМЖП в первые сутки жизни, для увеличения объема смешиваемой крови и стабилизации состояния показано проведение операции, увеличивающей межпредсердное сообщение — баллонной атриосептостомии (процедура Рашкинда) [2–4].

У пациентов второй клинической группы (ТМА с ДМЖП) смешивание венозной и артериальной крови осуществляется за счет ООО и ДМЖП, в дополнение к функционирующему ОАП [3, 4]. Пациентам обеих клинических групп при наличии технической возможности в неонатальном периоде показано проведение радикальной коррекции ТМА — операции артериального переключения, в результате которой восстанавливается перекрестное направление системного и легочного кровотоков при сохранении естественной роли ПЖ и ЛЖ [4].

Тактика хирургического лечения и возможность проведения одномоментной коррекции ТМА у детей основывается на анатомо-гемодинамических особенностях самого порока и возможном наличии

сочетанных интра- и экстракардиальных аномалий [3, 5].

Важнейшим аспектом при планировании хирургической коррекции ТМА является тщательное изучение анатомии коронарных артерий (КА), определение аномалий расположения их устьев и хода. Вариантная анатомия КА влияет на планирование тактики артериального переключения из-за возможных технических сложностей перемещения устьев артерий в неоаорту [6, 7]. Помимо изучения анатомии КА, основными задачами кардиовизуализационных методов у детей с ТМА на дооперационном этапе является диагностика сужения выводного отдела ЛЖ (ВОЛЖ), возможных сочетанных интра- и экстракардиальных аномалий, аорто-легочных коллатеральных артерий [2].

Также при хирургическом планировании артериального переключения, для топографической оценки аортальных синусов необходимо понимание пространственного взаиморасположения аорты и легочного ствола: расположение аорты справа и кпереди от легочного ствола является наиболее распространенным (D-ТМА), реже аорта расположена кпереди от легочного ствола и крайне редким анатомическим вариантом является локализация аорты слева и спереди от легочного ствола (L-ТМА или расположение «бок о бок»). Последний вариант ТМА — L-ТМА, как правило, связан с инверсией желудочков из-за загиба сердечной трубки эмбриона влево, что приводит к состоянию, известному как корригированная ТМА [8].

На сегодняшний день трансторакальная ЭхоКТ является методом выбора диагностики ТМА. В мировой практике существуют разные точки зрения о возможности использования ЭхоКТ как единственной и окончательной методики в планировании тактики ведения детей с ТМА и хирургическом планировании [4]. Активное развитие томографических методик обуславливают интерес кардиологов и кардиохирургов к пониманию диагностических возможностей КТ и МРТ сердца в оценке хирургических рисков у детей с ТМА на первичном дооперационном этапе. Проведение кардио-МРТ у новорожденных и детей до года в критическом и тяжелом состоянии технически затруднительно ввиду относительно длительного времени сканирования и, как следствие, продолжительного пребывания ребенка в наркозе, что резко ограничено у пациентов с критическими пороками сердца и с кардиореспираторными нарушениями. Кроме этого, за счет ограничений в пространственном разрешении, невозможности выполнения пациентом команд по задержке дыхания и высокой ЧСС оценка устьев и хода КА у новорожденных и детей до года с ТМА по данным кардио-МРТ резко затруднена [9].

Высокое временное и пространственное разрешение КТ позволяет комплексно оценить анатомические особенности всех органов грудной клетки,

включая интра- и экстракардиальные структуры. КТ сердца за последние годы признана ведущим методом обследования при различных сердечных аномалиях, особенно сложных ВПС [10, 11]. Однако исследования по оценке диагностических возможностей КТ в предоперационном анализе сопутствующих интра- и экстракардиальных аномалий при ТМА в настоящее время ограничены. Учитывая широкую доступность, безопасности и высокие диагностические возможности трансторакальной ЭхоКГ в диагностике ТМА и оценке хирургических рисков, роль КТ сердца у этой группы пациентов на этапе первичного хирургического планирования до конца не определена.

Цель. Оценить возможности ЭхоКГ и КТ-сердца в диагностике и хирургическом планировании коррекции ТМА.

Материалы и методы. Исследование одобрено локальным Комитетом по этике исследований ГБУЗ «Морозовская ДГКБ ДЗМ», протокол № 4 от 15.06.2021. Информированное согласие получено от каждого законного представителя. В исследование включено 29 детей с входящим клиническим диагнозом — транспозиция магистральных артерий. Средний возраст пациентов составил 31 (14,5; 67) день, из них 69% — новорожденные, 27% — пациенты грудного возраста, 4% — младшей возрастной группы.

Все дети были обследованы по общеклинической схеме, принятой в ГБУЗ «Морозовская ДГКБ ДЗМ» для ведения пациентов с ВПС, которая из инструментальных методов диагностики включает в себя проведение ЭхоКГ и рентгенографии органов грудной клетки. В рамках предоперационного планирования, для уточнения морфологических особенностей порока, анатомии и взаиморасположения магистральных сосудов, оценки устьев и хода коронарных артерий 21 пациенту была проведена КТ сердца с внутривенным контрастным усилением, 6 — катетеризация полостей сердца с прямой ангиографией (АГ). Кардио-МРТ не выполнялась ввиду тяжелого и нестабильного общего состояния всех пациентов и существенных рисков от более длительного пребывания в наркозе.

ЭхоКГ выполняли на ультразвуковом аппарате фирмы GE ViVid E95 и Philips iE33 xMatrix с использованием секторных поличастотных датчиков с частотой 3–8 МГц. Исследование включало протоколы двухмерной эхокардиографии, доплерографии и цветового доплеровского картирования (ЦДК).

КТ сердца была проведена у 21 из 29 пациентов (72%), исследование выполнялось на фоне общей медикаментозной седации. КТ сердца проводили на 256-срезовом компьютерном томографе Philips Brilliance iCT, с шириной детектора — 8 см, с ретроспективной ЭКГ-синхронизацией и без нее. Выбор в пользу проведения исследования без ЭКГ-синхронизации был сделан у детей в критическом состоя-

нии с ЧСС более 130 уд. в минуту. Использовали толщину реконструируемых срезов 0,625 и 1,5 мм. В качестве контрастного вещества применяли неионный низкоосмолярный контрастный препарат — Ультравист-350, внутривенное введение осуществляли с помощью двухколбового шприца-инжектора в объеме 1,5–2 мл/кг со скоростью 0,4–1,5 мл/с. Постпроцессорная обработка выполнялась на мультимодальных рабочих станциях с построением трехмерных реконструкций.

Катетеризация полостей сердца с прямой АГ была проведена у 8 детей, исследование проводилось на ангиографическом комплексе Philips Allura Centron под общей анестезией с выполнением ретроградной катетеризацией аорты, аортографии и коронарографии.

При проведении ЭхоКГ и КТ сердца проводилась оценка и сравнение возможностей методик в определении внутрисердечных аномалий (ДМЖП и ДМПП), сочетанных пороков магистральных сосудов и коронарных артерий, аномалий клапанов (аортального и легочного) и диагностике аортолегочных коллатеральных артерий (АЛКА).

Все данные ЭхоКГ и КТ сердца были сопоставлены с результатами АГ или интраоперационными данными. Интервал между трансторакальной ЭхоКГ, КТ сердца и проведенной АГ либо открытым хирургическим вмешательством был менее 10 дней.

Результаты. 18 пациентов (19/29, 65,5%) имели D-ТМА, у 6 (6/29, 21%) аорта располагалась перед от легочного ствола и у 4 пациентов (4/29, 13,5%) аорта и легочный ствол располагались бок о бок (рис. 1).

Точность трансторакальной ЭхоКГ и КТ сердца в диагностике ТМА и определении ее типа составила 100% у обоих методов (рис. 2).

На основании интраоперационных данных у 29 пациентов с ТМА было выявлено в общей сложности 80 сопутствующих интра- и экстракардиальных аномалий (табл. 1). Чувствительность и специфичность КТ сердца в определении сочетанных интракардиальных аномалий у пациентов с ТМА составили 84% и 100% соответственно (точность 87,7%) AUC 89,3%, для трансторакальной ЭхоКГ 96,2% и 95,1% соответственно (точность 97,1%) AUC 97,3% (табл. 2). При проведении КТ сердца были пропущены 4 ДМПП (4/15), 4 ОАП (4/19) и у 4 пациентов — двустворчатый клапан легочной артерии (4/6). Результаты всех оцениваемых анатомических параметров для каждого метода представлены в табл. 1.

Диагностическая точность КТ сердца в комплексном определении сопутствующих аномалий магистральных сосудов, коронарных артерий и экстракардиальной патологии составила 98% (AUC=98,9%). Чувствительность и специфичность ЭхоКГ в комплексной оценке сопутствующих экстракардиальных аномалий составили 57% и 96% соответственно (точность 95%), AUC 81,1%. Трансторакальная

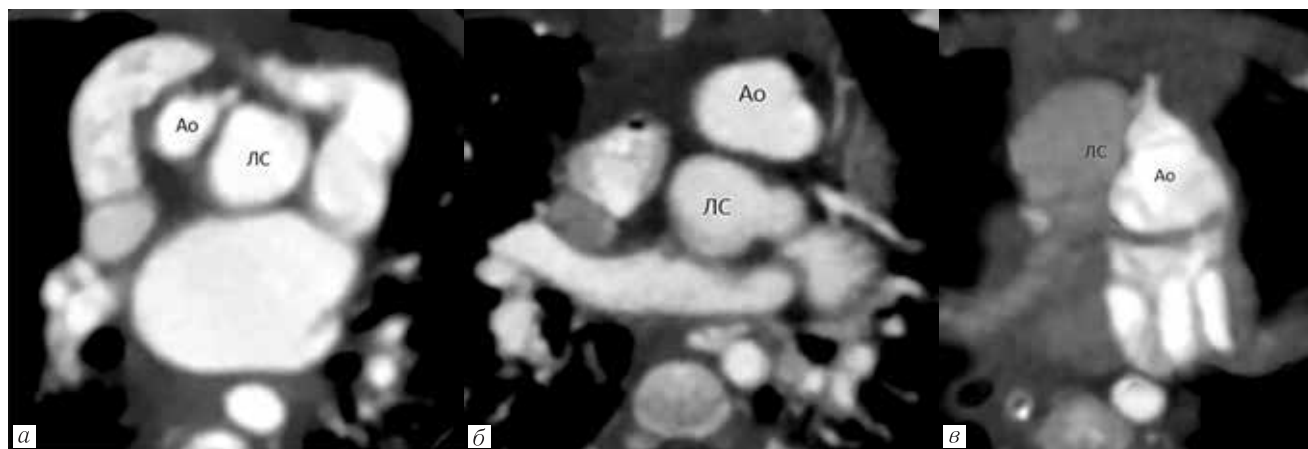


Рис. 1. Варианты взаиморасположения аорты и легочного ствола у пациентов с транспозицией магистральных артерий. КТ сердца с внутривенным контрастным усилением в условиях медикаментозной седации. Артериальная фаза, аксиальная плоскость: *а* — D-TMA — расположение аорты справа и кпереди от легочного ствола; *б* — O-TMA — расположение аорты кпереди от легочного ствола; *в* — L-TMA — расположение аорты слева от легочного ствола («бок о бок»)

Fig. 1. Variants of the spatial relationship of the aorta and pulmonary trunk in patients with transposition of the great arteries. Cardiac CT with intravenous contrast enhancement (general sedation). Arterial phase, axial plane: *a* — D-TMA — location of the aorta to the right and anterior to the pulmonary trunk; *б* — O-TMA — location of the aorta anterior to the pulmonary trunk; *в* — L-TMA — location of the aorta to the left of the pulmonary trunk (“side-by-side”)

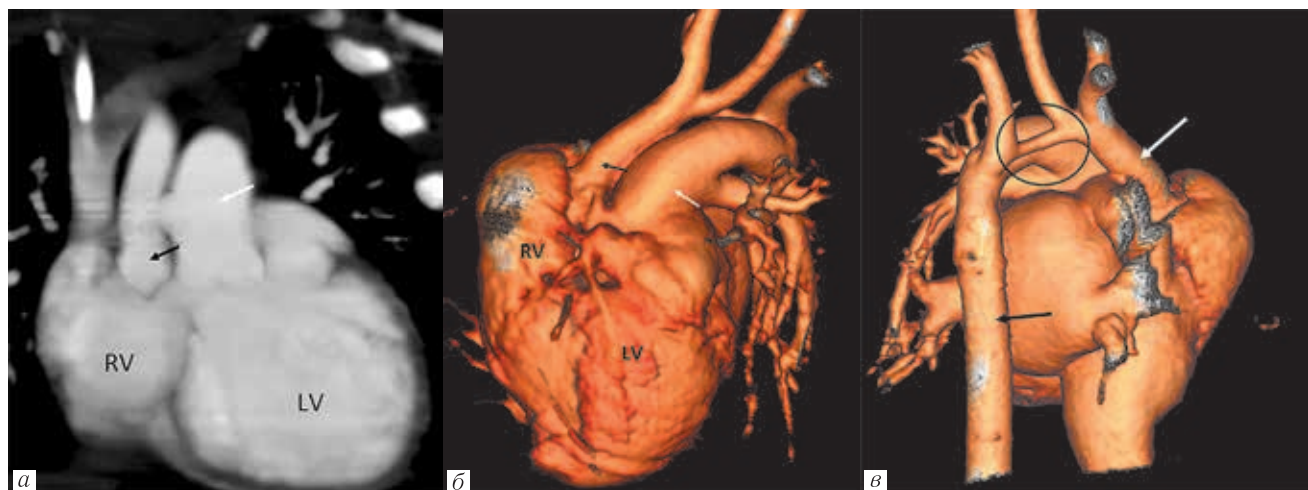


Рис. 2. Пациент Б., 2 дня. Транспозиция магистральных артерий. КТ-ангиография сердца с ретроспективной ЭКГ-синхронизацией (медикаментозная седация): *а* — косо-коронарная плоскость, режим МIP. Желудочково-артериальная дискордантность: из правого желудочка выходит аорта (черная стрелка), из левого желудочка — легочный ствол (белая стрелка). Гипоплазия правого желудочка; *б* — режим 3D-реконструкции, вид спереди. Желудочково-артериальная дискордантность: из правого желудочка выходит аорта (черная стрелка), из левого желудочка — легочный ствол (белая стрелка); *в* — режим 3D-реконструкции, вид сзади. Восходящая аорта (белая стрелка) — нормального диаметра, сопутствующая гипоплазия дуги и коарктация аорты на уровне перешейка (круг), нисходящая аорта (черная стрелка)

Fig. 2. Patient B., 2 days. Transposition of the great arteries. CT angiography of the heart with retrospective ECG gating (medical sedation): *a* — oblique coronal plane, MIP mode. Ventricular-arterial discordance: the aorta arises from the right ventricle (black arrow), and the pulmonary trunk arises from the left ventricle (white arrow). Right ventricle hypoplasia; *б* — 3D reconstruction mode, anterior view. Ventricular-arterial discordance: the aorta arises from the right ventricle (black arrow), and the pulmonary trunk arises from the left ventricle (white arrow); *в* — 3D reconstruction mode, posterior view. The normal diameter of the ascending aorta (white arrow), concomitant hypoplasia of the arch and coarctation of the aorta isthmus (circle), descending aorta (black arrow)

ЭхоКТ не выявила аномалии дуги аорты у 2 пациентов (2/5), легочной артерии в одном случае (1/1), аномалии легочной вены в одном случае (1/2),

аортолегочные коллатеральные сосуды в 5 случаях (5/11), ОАП в двух случаях (2/19). У одного ребенка с сочетанной атрезией легочной артерии (АЛА) I

Таблица 1
Выявленные сопутствующие аномалии у пациентов с транспозицией магистральных артерий методами
трансторакальной ЭхоКГ и КТ сердца

Table 1

Identified concomitant anomalies in patients with transposition of the great arteries on TTE and cardiac CT

Сочетанные аномалии	Интраоперационные данные (n=29), абс. (%)	Результаты КТ сердца (n=21)				Результаты трансторакальной ЭхоКГ (n=29)			
		ИП	ИО	ЛП	ЛО	ИП	ИО	ЛП	ЛО
ДМЖП	14 (48)	14	7	0	0	14	15	0	0
ДМПП	15 (51)	11	6	0	4	15	14	0	0
ОАП	19 (72)	15	2	0	4	17	9	1	2
Двустворчатый клапан легоч- ной артерии	6 (21)	2	15	0	4	6	23	0	0
Добавочная ВПВ	3 (10)	3	18	0	0	3	18	0	0
АЛА	1 (3)	1	20	0	0	0	20	0	1
Аномалии дуги аорты	5 (17)	5	16	0	0	3	24	0	2
Аортолегочные коллатераль- ные артерии	11 (41)	11	20	0	0	6	16	2	5
Аномалии легочных вен	2 (7)	2	19	0	0	1	27	0	1
		n=16				n=24			
Аномалии коронарных артерий	4 (14)	4	11	1	0	2	20	1	1

типа аортолегочная коллатеральная артерия по ЭхоКГ была принята за ОАП. При попарном сравнении возможностей двух методик КТ сердца статистически значимо показала себя более точным инструментом в определении сопутствующих экстракардиальных аномалий. Результаты сравнения диагностической эффективности для КТ сердца и трансторакальной ЭхоКГ представлены в табл. 2.

от одного синуса (одним устьем), один — наличие отдельного устья огибающей артерии). Все аномалии коронарного русла были корректно диагностированы по данным КТ; был получен один ложноположительный результат (ЛП) — заподозрен интрамуральный ход КА, который не подтвердился при проведении прямой АГ. По данным ЭхоКГ было получено два ложноотрицательных результата (ЛО).

Таблица 2
Сравнение показателей диагностической эффективности КТ сердца и трансторакальной ЭхоКГ в определении
сопутствующих аномалий у пациентов с транспозицией магистральных артерий

Table 2

Comparison of diagnostic efficiency of cardiac CT and transthoracic echocardiography in determining concomitant anomalies in patients with transposition of the great arteries

Группа сочетанных аномалий при ТМА	ЭхоКГ, %			КТ сердца, %			p-критерий попарного сравнения точности
	чувствительность	специфичность	AUC	чувствительность	специфичность	AUC	
Интракардиальные	96,2	95,1	97,3	84	100	89,3	p=0,092
Экстракардиальные	57	96	81,1	100	97,2	98,9	p=0,041

Оценка диагностической точности ЭхоКГ и КТ в оценке анатомии и аномалий КА проводилась у пациентов с технической возможностью их анализа: при проведении КТ у 16 из 21 пациентов, по ЭхоКГ у 24 детей из 29. Для описания анатомии коронарного русла использовали общепринятую «лейденскую классификацию». У одного ребенка при проведении КТ исследования (с ретроспективной ЭКГ синхронизацией) изображения дистального хода КА были субоптимального качества за счет высокой ЧСС (139 в минуту). Для оценки анатомии коронарного русла пациенту была выполнена прямая АГ, которая подтвердила отсутствие аномалий. У четырех пациентов интраоперационно были определены аномалии коронарных артерий (два случая отхождения огибающей артерии от правой КА, один — отхождение КА

Обсуждение. ТМА является самым распространенным конотрункальным ВПС, сопровождающимся наличием сочетанных интра- и экстракардиальных аномалий, а также анатомических особенностей коронарного русла [2]. Основными диагностическими этапами в определении тактики ведения пациентов с ТМА остаются рутинное проведение трансторакальной ЭхоКГ для оценки функциональных показателей и интракардиальной анатомии, и прямой АГ — для уточнения анатомии магистральных сосудов и коронарных артерий [4, 9].

Широкого применения КТ сердца у детей с ТМА на дооперационном этапе в отечественной кардиохирургической практике не имеет. Предпочтение отдается методу прямой АГ, как «золотому стандарту» диагностики аномалий КА и сопутствующей интра-

и экстракардиальной патологии [2]. Несмотря на объективные преимущества прямой АГ, как инструмента комплексной морфофункциональной оценки сердца и магистральных сосудов, метод имеет ряд значимых недостатков, имеющих принципиальное значение у новорожденных и младенцев: инвазивность, высокая эффективная дозовая нагрузка и относительно большой объем используемых рентгеноконтрастных препаратов [10].

ЭхоКГ как метод первой линии диагностики патологии сердечно-сосудистой системы не может быть окончательным инструментом предоперационного планирования коррекции групп ВПС, при которых анатомия коронарного русла и магистральных артерий играет определяющую роль [12]. В проведенном нами исследовании ЭхоКГ показала высокую диагностическую эффективность в определении сочетанных интракардиальных аномалий (AUC 97,3%), однако в оценке экстракардиальных особенностей точность метода снижалась за счет невысоких показателей чувствительности (58%). Часть ошибочных результатов по ЭхоКГ были диагностически значимыми: АЛА I типа, аномальный ход коронарных артерий и аномальный дренаж одной из легочных вен. Ограничение диагностических возможностей ЭхоКГ в оценке экстракардиальных аномалий также освещено в ряде работ иностранных коллег [13]. В оценке интракардиальных сочетанных аномалий диагностическая эффективность трансторакальной ЭхоКГ была выше, чем у КТ, ввиду ограниченных возможностей метода КТ в оценке клапанного аппарата и небольших септальных дефектов у новорожденных и детей до года.

Принципиальное значение для кардиохирурга при планировании операции артериального переключения с реимплантацией КА имеют возможные аномалии коронарного русла [7]. Учитывая ограничения интраоперационной визуализации ряда сопутствующих аномалий КА, диагностические результаты о наличии особенностей анатомии коронарного русла должны быть исчерпывающими на дооперационном этапе. Наиболее типичной коронарной анатомией при ТМА является отхождение левой КА (передней нисходящей и огибающей коронарных артерий) от синуса № 1 (анатомически левый), а правой КА от синуса № 2 (анатомически правый) [12]. Аналогично в нашем исследовании 86% детей имели типичное строение коронарного русла. У 4

человек (14%) были выявлены редкие варианты анатомии коронарных артерий. По ЭхоКГ были допущены две диагностические неточности в оценке анатомии КА, которые подтверждены при проведении прямой АГ. ЭхоКГ должна дополняться кардиовизуализационными инструментами, позволяющими дать точную информацию о морфологии коронарного русла ввиду высоких рисков травматизации КА при проведении реимплантации [13].

Согласно данным ряда авторов, КТ сердца с проведением ЭКГ-синхронизации является альтернативным прямой АГ инструментом в оценке анатомии коронарного русла и значимо не уступает ей в показателях диагностической эффективности [13, 14]. В противовес этому работы иностранных коллег демонстрируют ограничение возможностей КТ в оценке коронарных артерий у новорожденных и детей до года ввиду высокой ЧСС и отсутствия задержки дыхания при проведении исследования, что чревато наличием артефактов и снижением качества изображений [15]. В нашем исследовании при проведении КТ сердца как с ЭКГ-синхронизацией, так и без нее были корректно определены все типы анатомического строения коронарного русла, 4 из которых имели аномальный тип. У 5 пациентов полученные изображения дистального хода коронарных артерий были субоптимального качества. Ввиду высокого пространственного разрешения и возможностей постпроцессинговой обработки изображений КТ является предпочтительным инструментом для оценки коронарных артерий и магистральных сосудов у детей с ТМА.

Заключение. ЭхоКГ, будучи инициальным инструментом диагностики всех видов ВПС у детей, имеет высокую диагностическую ценность в постановке диагноза и определении типа транспозиции магистральных артерий. Для пациентов с транспозицией магистральных артерий с критической гипоксией (большинство пациентов) трансторакальная ЭхоКГ является окончательным инструментом в планировании эндоваскулярной паллиативной коррекции порока.

Для пациентов, направляющихся на радикальную коррекцию ТМА, трансторакальная ЭхоКГ должна дополняться КТ сердца с ЭКГ-синхронизацией для оценки анатомии коронарного русла и возможных сопутствующих аномалий дуги аорты, легочной артерии и вен.

Сведения об авторах:

Хасанова Ксения Андреевна — кандидат медицинских наук, доцент кафедры лучевой диагностики и лучевой терапии Института клинической медицины имени Н. В. Склифосовского федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Первый Московский государственный медицинский университет имени И. М. Сеченова» Министерства здравоохранения Российской Федерации (Сеченовский Университет); 119021, Москва, ул. Россолимо, д. 11, стр. 2; заведующая отделением лучевой диагностики государственного бюджетного учреждения здравоохранения города Москвы «Морозовская детская городская клиническая больница Департамента здравоохранения города Москвы»; 119049, Москва, 4-й Добрынинский пер., д. 1/9; e-mail: khasanova@morozdgbk.ru ORCID 0000-0001-6926-3165;

Абрамян Михаил Арамович — доктор медицинских наук, профессор, профессор кафедры педиатрии факультета непрерывного медицинского образования «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы», заведующий отделением экстренной кардиохирургии и интервенционной кардиологии государственного бюджетного учреждения здравоохранения города Москвы «Морозовская детская городская клиническая больница Департамента здравоохранения города Москвы»; 119049, Москва, 4-й Добрынинский пер., д. 1/9; ORCID 0000-0003-4018-6287; e-mail: mdgkb@zdrav.mos.ru;

Терновой Сергей Константинович — доктор медицинских наук, профессор, академик РАН, заведующий кафедрой лучевой диагностики и лучевой терапии Института клинической медицины имени Н. В. Склифосовского федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образова-

ния «Первый Московский государственный медицинский университет имени И. М. Сеченова» Министерства здравоохранения Российской Федерации (Сеченовский Университет); 119021, Москва, ул. Россолимо, д. 11, стр. 2; руководитель отдела томографии Института клинической кардиологии им. А. Л. Мясникова федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный медицинский исследовательский центр кардиологии» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 121552, Москва, ул. Академика Чазова, д. 15а; ORCID 0000–0003–4374–1063.

Information about the authors:

Kseniya A. Khasanova — Cand. of Sci. (Med.), Associate Professor of the Department of Radiation Diagnostics and Radiation Therapy of the N. V. Sklifosovsky Institute of Clinical Medicine of Sechenov University of the Ministry of Health of the Russian Federation (Sechenov University), Head of the Department of Radiation Diagnostics of the Morozovskaya Children's City Clinical Hospital, ORCID 0000–0001–6926–3165;

Mikhail A. Abramyan — Dr. of Sci. (Med.), Professor of the Department of Pediatrics, Faculty of Continuing Medical Education, RUDN University: Peoples' Friendship University of Russia, Head of the Department of Emergency Cardiac Surgery and Interventional Cardiology of the Morozovskaya Children's City Clinical Hospital, ORCID 0000–0003–4018–6287;

Sergey K. Ternovoy — Academician of the Russian Academy of Sciences, Dr. of Sci. (Med.), Professor, Head of the Department of Radiation Diagnostics and Therapy of the N. V. Sklifosovsky ICM of the I. M. Sechenov First Moscow State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation (Sechenov University), Head of the Tomography Department of the A. L. Myasnikova Institute of Clinical Cardiology of the Ministry of Health of the Russian Federation, ORCID 0000–0003–4374–1063.

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства, согласно международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией). Наибольший вклад распределен следующим образом: концепция и дизайн исследования, обзор публикаций по теме, статистическая обработка данных, написание текста, создание опубликованной работы — *К. А. Хасанова*; участие в научном дизайне, ответственность за целостность всех частей статьи — *К. А. Хасанова, С. К. Терновой, М. А. Абрамян*.

Authors' contributions. All authors met the ICMJE authorship criteria. Special contribution: *AGZ, PAS* aided in the concept and plan of the study; *DSZ* provided collection and mathematical analysis of data.

Потенциальный конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Disclosure. The authors declare that they have no competing interests.

Соответствие принципам этики: Исследование одобрено локальным Комитетом по этике исследований ГБУЗ «Морозовская ДГКБ ДЗМ», протокол № 4 от 15.06.2021. Информированное согласие получено от каждого законного представителя.

Adherence to ethical standards: The study was approved by the local Committee on Research Ethics of GBUZ "Morozovskaya DGKB DZM", Protocol No. 4 dated 06/15/2021. Informed consent has been obtained from each legal representative.

Поступила/Received: 27.12.2023.

Принята к печати/Accepted: 29.02.2024.

Опубликована/Published: 29.03.2024.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

- Подзолков В.П., Шведунова В.Н. Врожденные пороки сердца // *Российский медицинский журнал*. 2001. № 10. 430 с. [Podzolkov V.P., Shvedunova V.N. Congenital heart defects. *Russian medical journal*, 2001, No. 10, 430 p. (In Russ.)].
- Frommelt P., Lopez L., Dimas V.V., Eidem B., Han B.K., Ko H.H., Lorber R., Nii M., Printz B., Srivastava S., Valente A.M., Cohen M.S. Recommendations for Multimodality Assessment of Congenital Coronary Anomalies: A Guide from the American Society of Echocardiography: Developed in Collaboration with the Society for Cardiovascular Angiography and Interventions, Japanese Society of Echocardiography, and Society for Cardiovascular Magnetic Resonance // *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2020. Vol. 33, № 3. P. 259–294. doi: 10.1016/j.echo.2019.10.011. PMID: 32143778.
- Базылев В.В., Черногров А.Е. Хирургическое лечение транспозиции магистральных артерий // *Детские болезни сердца и сосудов*. 2016. Т. 13, № 1. С. 33–41. [Bazylev V.V., Chernogrov A.E. Surgical treatment of transposition of the great arteries, *Children's heart and vascular diseases*, 2016, Vol. 13, No. 1, pp. 33–41 (In Russ.)].
- Cohen M.S., Mertens L.L. Educational series in congenital heart: Echocardiographic assessment of transposition of the great arteries and congenitally corrected transposition of the great arteries // *Echo Res. Pract.* 2019. Dec 1; Vol. 6, No. 4. R107–R119. doi: 10.1530/ERP-19-0047. PMID: 31729212; PMCID: PMC6865365.
- Files M.D., Arya B. Preoperative Physiology, Imaging, and Management of Transposition of the Great Arteries // *Semin. Cardiothorac. Vasc. Anesth.* 2015 Sep; Vol. 19, No. 3. P. 210–222. doi: 10.1177/1089253215581851. Epub 2015 Apr 21. PMID: 25900899.
- Angelini P., de la Cruz M.V., Valencia A.M., Sánchez-Gómez C., Kearney D.L., Sadowinski S., Real G.R. Coronary arteries in transposition of the great arteries // *Am. J. Cardiol.* 1994. Nov 15; Vol. 74, No. 10. P. 1037–1041. doi: 10.1016/0002-9149(94)90855-9. PMID: 7977043.
- Ефимочкин Г.А., Борисков М.В., Барбухатти К.О., Кандинский М.Л., Порханов В.А. Влияние анатомии коронарных артерий при транспозиции магистральных артерий на выбор метода реимплантации — возможно ли упростить стандартные классификации? // *Сибирский журнал клинической и экспериментальной медицины*. 2016. Т. 31, № 4. С. 48–55. [Efimochkin G.A., Boriskov M.V., Barbukhatti K.O., Kandinskiy M.I., Porkhanov V.A. Influence of coronary artery anatomy during transposition of great arteries on reimplantation technique — is it possible to simplify standard classification? *The Siberian Journal of Clinical and Experimental Medicine*, 2016, Vol. 31, No. 4, pp. 48–55 (In Russ.)]. <https://doi.org/10.29001/2073-8552-2016-31-4-48-55>.
- Martins P., Castela E. Transposition of the great arteries // *Orphanet J. Rare Dis.* 2008. Oct 13; Vol. 3. P. 27. doi: 10.1186/1750–1172–3-27. PMID: 18851735; PMCID: PMC2577629.
- Canan A., Ashwath R., Agarwal P.P., François C., Rajiah P. Multimodality Imaging of Transposition of the Great Arteries // *Radiographics*. 2021. Mar-Apr; Vol. 41, No. 2. P. 338–360. doi: 10.1148/rg.2021200069. Epub 2021 Jan 22. PMID: 33481689.
- Xie L.J., Jiang L., Yang Z.G., Shi K., Xu H.Y., Li R., Diao K.Y., Guo Y.K. Assessment of transposition of the great arteries associated with multiple malformations using dual-source computed tomography // *PLoS One*. 2017. Nov 20; Vol. 12, No. 11. e0187578. doi: 10.1371/journal.pone.0187578. PMID: 29155835; PMCID: PMC5695805.
- Хасанова К.А., Терновой С.К., Абрамян М.А. Роль трансторакальной ЭхоКГ, КТ и МРТ сердца в оценке легочных артерий у детей с тетрадой Фалло // *REJR*. 2023. Т. 13, № 3. С. 39–50. [Khasanova K.A., Ternovoy S.K., Abramyan M.A. Transthoracic echocardiography, cardiac CT and MRI in pulmonary arteries assessment in children with tetralogy of fallot. *REJR*, 2023, Vol. 13, No. 3, pp. 39–50 (In Russ.)]. doi: 10.21569/2222-7415-2023-13-3-39-50.

12. Schidlow D.N., Jenkins K.J., Gauvreau K., Croti U.A., Giang D.T.C., Konda R.K., Novick W.M., Sandoval N.F., Castañeda A. Transposition of the Great Arteries in the Developing World: Surgery and Outcomes // *J. Am. Coll. Cardiol.* 2017. Jan 3; Vol. 69, No. 1. P. 43–51. doi: 10.1016/j.jacc.2016.10.051. PMID: 28057249; PMCID: PMC7144419.
13. Odawara Y., Kawamura N., Yamasaki Y., Hashimoto J., Ishikawa S., Honda H. Evaluation of coronary artery variations using dual-source coronary computed tomography angiography in neonates with transposition of the great arteries // *Jpn J. Radiol.* 2019. Apr; Vol. 37, No. 4. P. 308–314. doi: 10.1007/s11604-018-00807-x. Epub 2019 Jan 2. PMID: 30603834.
14. Шабанова М.С. Сопоставление результатов измерения степени стенозирования просвета коронарных артерий при компьютерной томографии, внутрисосудистом ультразвуковом исследовании и коронарной ангиографии // *REJR.* 2016. Т. 6, № 3. С. 38–47. [Shabanova M.S. Comparison of the results of measuring the degree of stenosis of the lumen of the coronary arteries during computed tomography, intravascular ultrasound treatment and coronary angiography. *REJR.* 2016, Vol. 6, No. 3, pp. 38–47 (In Russ.).] doi: 10.21569/2222-7415-2016-6-3-38-47.
15. Swanson S.K., Sayyoub M.M., Bardo D.M.E., Ghadimi Mahani M., Lu J.C., Dorfman A.L., Agarwal P.P. Interpretation and Reporting of Coronary Arteries in Transposition of the Great Arteries: Cross-sectional Imaging Perspective // *J. Thorac. Imaging.* 2018. Jul; Vol. 33, No. 4. W14-W21. doi: 10.1097/RTI.0000000000000333. PMID: 29927871.



Авторы:

Н. А. Беляков, Т. Н. Трофимова, Е. Н. Кулагина, Д. В. Митюрин,
А. К. Тучапский, В. В. Фирсов, Ю. Б. Шелаев, Е. П. Шелаева

В издании собраны и изложены в исторической последовательности материалы, относящиеся к эпидемиям и пандемиям наиболее опасных для человечества заболеваний. Показано, какое влияние оказывали они на общий ход истории и различные стороны человеческого бытия, на развитие науки, прежде всего медицины, техники, производства, как отразились в искусстве и литературе. Представлена целая галерея ученых, внесших весомый вклад в борьбу со смертоносными инфекциями. В книгу вошло около 430 иллюстраций. Издание рассчитано на медицинских работников и широкий круг читателей.

**ПРИБРЕСТИ КНИГУ ВЫ МОЖЕТЕ НА САЙТЕ
БАЛТИЙСКОГО МЕДИЦИНСКОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ЦЕНТРА
<https://bmoc-spb.ru/izdat/>, тел.: (812) 956-92-55**