

© КОЛЛЕКТИВ АВТОРОВ, 2023

УДК 616.98:578.834.1-036.21]-06:616.12-009.7-053.3/.6

Кожевникова О.В., Блажеевская Т.О., Рахимова А.Н., Ахмедова Э.Э., Абашидзе Э.А.

Электрокардиограмма при COVID-19 у детей

ФГАУ «Национальный медицинский исследовательский центр здоровья детей» Минздрава России, 119991, Москва, Россия

Описаны различные варианты клинических проявлений коронавирусной инфекции, отражающие тяжесть течения заболевания — от лёгких форм до тяжёлого острого респираторного синдрома, развития мультисистемного гипервоспалительного синдрома с высокой вероятностью летального исхода. Появилось понимание того, что, наряду с вирусной инфекцией, COVID-19 является кардиореспираторным заболеванием. При поражении дыхательной системы часто регистрируются нарушения функционирования сердечно-сосудистой системы. Поражения сердца выявляются в 17–75% случаев и связаны с повреждением миокарда вирусом SARS-CoV-2. Информативным и доступным методом обследования при COVID-19 у детей является электрокардиография (ЭКГ), которая применялась в комплексе с телемедицинскими технологиями. Длительно сохраняющиеся изменения структуры и функции сердца в период реконвалесценции требуют индивидуального подхода к реабилитации. В обзоре представлены анализ и интерпретация данных об изменениях ЭКГ у детей, больных COVID-19, обсуждаются закономерности электрофизиологических нарушений при COVID-19 у детей и взрослых.

Заключение. Эффективные методы диагностики поражений сердца у детей не определены, а применяемые ЭКГ и эхокардиография не имеют специфических маркеров для диагностики патологии сердца при COVID-19. Поэтому необходимо использовать имеющиеся знания для оптимизации алгоритмов реабилитации детей в период реконвалесценции.

Ключевые слова: дети; сердце; коронавирусная инфекция; электрокардиография; ранняя диагностика; нарушения ритма сердца

Для цитирования: Кожевникова О.В., Блажеевская Т.О., Рахимова А.Н., Ахмедова Э.Э., Абашидзе Э.А. Электрокардиограмма при COVID-19 у детей. *Российский педиатрический журнал*. 2023; 26(4): 290–295. <https://doi.org/10.46563/1560-9561-2023-26-4-290-295> <https://elibrary.ru/msggk>

Для корреспонденции: Кожевникова Ольга Викторовна, доктор мед. наук, зав. отд-нием инструментальной диагностики, гл. науч. сотр. лаб. лучевой и инструментальной диагностики ФГАУ «НМИЦ здоровья детей» Минздрава России, fd@nczd.ru

Участие авторов: Кожевникова О.В. — концепция и дизайн исследования; Блажеевская Т.О., Рахимова А.Н., Ахмедова Э.Э., Абашидзе Э.А. — сбор и обработка материала; Кожевникова О.В., Блажеевская Т.О. — написание текста; Кожевникова О.В. — редактирование. Все соавторы — утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи.

Финансирование. Исследование не имело финансовой поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила 05.06.2023
Принята к печати 20.06.2023
Опубликована 31.08.2023

Olga V. Kozhevnikova, Tamara O. Blazheevskaya, Anna N. Rakhimova, Elina E. Akhmedova, Eka A. Abashidze

Electrocardiogram in COVID-19 children

National Medical Research Center for Children's Health of the Ministry of Health of Russia, Moscow, 119991, Russian Federation

There are described various variants of the clinical manifestations of coronavirus infection, reflecting the severity of the course of the disease from mild forms to severe acute respiratory syndrome, the development of a multisystem hyperinflammatory syndrome with a high probability of death. There is an understanding that, along with a viral infection, COVID-19 is a cardiorespiratory disease. With the defeat of the respiratory system, violations of the functioning of the cardiovascular system are often recorded. Heart lesions detected in 17–75% of cases are associated with myocardial damage by the SARS-CoV-2 virus. An informative and accessible method of examination for COVID-19 in children is electrocardiography (ECG), used in combination with telemedicine technologies. Long-lasting changes in the structure and function of the heart during convalescence require an individual approach to rehabilitation. The review presents the analysis and interpretation of data on ECG changes in COVID-19 children, discusses the patterns of electrophysiological disorders in COVID-19 children and adults.

Conclusion. Effective methods for diagnosing heart lesions in children have not been defined, and the ECG and echocardiography used do not have specific markers for diagnosing cardiac pathology in COVID-19. Therefore, it is necessary to use the available knowledge to optimize the algorithms for the rehabilitation of children in the period of convalescence.

Keywords: children; heart; coronavirus infection; electrocardiography; early diagnosis; cardiac arrhythmias

For citation: Kozhevnikova O.V., Blazheevskaya T.O., Rakhimova A.N., Akhmedova E.E., Abashidze E.A. Electrocardiogram in COVID-19 children. *Rossiyskiy Pediatricheskiy Zhurnal (Russian Pediatric Journal)*. 2023; 26(4): 290–295. (In Russian). <https://doi.org/10.46563/1560-9561-2023-26-4-290-295> <https://elibrary.ru/msggk>

For correspondence: Olga V. Kozhevnikova, MD, PhD, DSci, Head of the department of instrumental Diagnostics, chief researcher of the Laboratory of radiation and instrumental diagnostics, National Medical Research Center for Children's Health, Moscow, 119991, Russian Federation, fd@nczd.ru

Contribution: Kozhevnikova O.V. — concept and design of the study; Blazheevskaya T.O., Rakhimova A.N., Akhmedova E.E., Abashidze E.A. — collection and processing of the material; Kozhevnikova O.V., Blazheevskaya T.O. — writing the text; Kozhevnikova O.V. — editing the text. All co-authors — approval of the final version of the article, responsibility for the integrity of all parts of the article.

Information about the authors:

Kozhevnikova O.V., <https://orcid.org/0000-0001-8562-6851>
Blazheevskaya T.O., <https://orcid.org/0009-0000-7391-7598>
Abashidse E.A., <https://orcid.org/0000-0002-5366-894X>
Akhmedova E.E., <https://orcid.org/0000-0002-7529-2541>

Acknowledgment. The study had no sponsorship.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Received: June 05, 2023
Accepted: June 20, 2023
Published: August 31, 2023

Введение

Несмотря на объявление Всемирной организацией здравоохранения об окончании пандемии, вирус не ушёл из популяции и продолжает угрожать здоровью населения. В литературе описаны различные варианты клинических проявлений новой коронавирусной инфекции (COVID-19), которые меняются на фоне появления новых штаммов вируса и отражают тяжесть состояния — от лёгких форм острой респираторной инфекции до тяжёлого острого респираторного синдрома, развития мультисистемного гипервоспалительного синдрома (MIS-C) с высокой вероятностью летального исхода [1–3]. Последующие штаммы после варианта дельта SARS-CoV-2 вызывают более лёгкие формы заболевания [4]. С начала пандемии COVID-19 было принято считать, что COVID-19 у детей протекает преимущественно в лёгкой форме. Однако на фоне описанных ранее симптомов поражения дыхательной системы кардиальные поражения отмечали в 17–75% случаев, но эти данные недостаточно надёжны вследствие ограничения применения высокотехнологичной диагностики в «красной зоне» в группах больных высокого риска [5, 6]. Специалисты продолжают бороться за здоровье и жизнь пациентов разного возраста при заболеваниях, ассоциированных с SARS-CoV-2, а отсроченные последствия перенесённой инфекции, даже в лёгкой форме, и реинфекций разными штаммами вируса изучены недостаточно [7, 8].

COVID-19 — кардиореспираторное заболевание

Данные когортного европейского исследования в начале пандемии COVID-19 показали, что 80% пациентов с MIS-C нуждались в госпитализации в отделение реанимации и интенсивной терапии [9, 10]. При этом выявлялись значительные сердечно-сосудистые поражения: шок, аритмии, перикардальный выпот и аневризмы коронарных артерий [11, 12]. Так начал накапливаться опыт диагностики не только лёгочных, но и сердечно-сосудистых нарушений при COVID-19. У детей и взрослых клинические проявления при COVID-19 затрагивали в первую очередь верхние и/или нижние дыхательные пути, на фоне чего в начале пандемии считалось, что сердечно-сосудистая система поражается в меньшей степени. Однако затем было показано, что у взрослых при тяжёлых формах COVID-19 вследствие наличия изменений на электрокардиограмме (ЭКГ) нередко требуется дифференциальная диагностика с инфарктом миокарда и острым коронарным синдромом. В 2019 г. появились данные о неспецифическом повышении уровня тропонина при COVID-19 [13].

Для уточнения диагноза и исключения острого коронарного синдрома указывается на необходимость

проведения ЭКГ [14]. ЭКГ в стандартных отведениях рекомендуется всем пациентам с COVID-19. Это исследование не содержит специфической информации, однако вирусная инфекция и пневмония увеличивают риск развития нарушений ритма и острого коронарного синдрома, своевременное выявление которых значительно влияет на прогноз [15, 16]. Кроме того, определённые изменения на ЭКГ (например, удлинение интервала QT) требуют внимания при оценке кардиотоксичности некоторых антибактериальных препаратов (респираторные фторхинолоны, макролиды) [17]. При прямом повреждении миокарда вирусом и развивающейся затем системной воспалительной реакции, которые увеличивали риск нарушений ритма и острого коронарного синдрома, необходимо его своевременное выявление, что существенно изменяет прогноз болезни.

Патофизиология повреждений миокарда при прямом воздействии SARS-CoV-2 у детей недостаточно изучена, несмотря на возросшую частоту выявления вовлечённости сердца в патологический процесс. Возможные причины нарушений сердечной деятельности при COVID-19 описаны достаточно подробно: гипоксические ишемические повреждения, поражение коронарных микрососудов, острый миокардит, синдром системной воспалительной реакции [18, 19]. При этом выявляются повышенный уровень провоспалительных цитокинов как проявление иммунного воспалительного ответа; инвазия вируса SARS-CoV-2 в кардиомиоциты (ангиотензинпревращающий фермент 2 является рецептором для вируса и выражено экспрессируется в клетках миокарда) [20]. Немаловажное значение в патогенезе этих нарушений имеет лёгочная недостаточность, вызывающая тканевую гипоксию и окислительный стресс. Основные морфологические проявления повреждений миокарда у больных COVID-19: формирование эндотелита, дисплазия и активация эндотелиоцитов, тромбоз интрамуральных артерий, некроз стенки коронарных микрососудов и миокарда [21].

В последние годы сформулирована гипотеза, что SARS-CoV-2 может инициировать новый вид миокардита: с множественными сочетанными механизмами возникновения — прямым вирусным повреждением миокарда, системным воспалением, выраженной гипоксемией и побочными эффектами действия лекарственных средств, используемых против SARS-CoV-2 [22].

Электрокардиография взрослых пациентов в «красной зоне»

Анализ данных 150 ЭКГ 75 больных, госпитализированных с инфекцией SARS-CoV-2, осложнённой внебольничной пневмонией, показал высокую частоту встречаемости у них различных паттернов ЭКГ [23,

24]. Осложнения течения инфекции приводили к доминированию признаков перегрузки правых отделов сердца. При этом к частым ЭКГ-признакам нарушений функционирования правых отделов сердца относятся выявление правопредсердной фазы зубца P (41,3%), неполной блокады правой ножки пучка Гиса (42,6%), ЭКГ типа $S_1Q_{III}T_{III}$ (33,3%), характерного для тромбоэмболических осложнений, и признаков гипертрофии правого желудочка, в основном, в виде увеличения зубца S_{V5-V6} (14,7%). Эти изменения сочетаются с признаками напряжения миокарда правого желудочка (16%) либо выявляются на фоне признаков диффузной гипоксии в виде высоких положительных остроконечных зубцов T в большинстве отведений (28%) [23, 25].

Вместе с тем при анализе данных 42 799 ЭКГ была выявлена высокая частота фибрилляции предсердий, наджелудочковой экстрасистолии, перегрузки правых отделов сердца. У 46 (0,11%) больных этой группы диагностированы явные жизнеугрожающие аритмии (фибрилляция желудочков, синдром Фредерика и др.). Остальные изменения ЭКГ характеризовались значительно меньшей распространённостью, что, однако, не снижает их клинического значения с учётом той опасности, которую они могут представлять для здоровья и качества жизни пациентов [26, 27].

ЭКГ остаётся достаточно удобным методом оценки патологии сердечно-сосудистой патологии у детей с COVID-19, что объясняется её технической и экономической доступностью, а также возможностью удалённого анализа получаемых данных [28, 29]. При этом любая информация об особенностях ЭКГ на фоне этого острого инфекционного заболевания представляется значимой [30]. Так, описан случай изменений ЭКГ в виде появления зубца Осборна (паттерн ранней реполяризации желудочков) на фоне острого течения COVID-19 [31]. Можно полагать, что изменения ЭКГ, сходные с зубцом Осборна, могут быть отражением дисфункции кальциевых каналов кардиомиоцитов на фоне оксидативного стресса. Появление у большой зубца Осборна высотой до 2 мм (на фоне повышения уровня тропонина), альтернация QRS и зубца Осборна в отведении aVF , элевация ST могут быть связаны с нарушением внутрижелудочковой проводимости (на фоне пневмонии и приёма гидроксихлорохина), что повышает риск внезапной сердечной смерти.

Электрокардиография при COVID-19 у детей

В 2020 г. было установлено, что у 16–20% предварительно практически здоровых детей на фоне COVID-19 (штамм дельта) выявлялась клинически значимая аритмия. Дети с тяжёлым течением COVID-19 имели такие нарушения ритма, как наджелудочковая тахикардия, предсердная и желудочковая экстрасистолия, атриовентрикулярная блокада первой степени и неполная блокада правой ветви пучка Гиса [32]. При этом у детей с COVID-19 часто отмечались нарушения процесса реполяризации разной степени выраженности, а также удлинение интервала QTc [33]. Пневмония, осложнённая аритмией сердца, у ребёнка с COVID-19 (штамм омикрон) сопровождалась развитием атриовентрикулярной блокады 1–2 степени с проведением 2 : 1, 3 : 1 с последующим при выздоровлении купированием аритмии, но

сохраняющимся эктопическим ритмом, брадикардией, признаками синдрома слабости синусового узла [34].

У 34% детей, госпитализированных в отделения интенсивной терапии с COVID-19, выявлены признаки сердечной недостаточности. Случаи подтверждённого повреждения миокарда были отмечены во всех возрастных группах, начиная с новорождённых, и, возникнув, часто приводили к внезапной сердечной смерти [35]. Среди 294 детей с клиникой острой инфекции (средний возраст $9,0 \pm 5,9$ года, 60% мальчиков) у 85 (28%) были выявлены различные паттерны сердечных нарушений, начиная от изолированных аномалий на ЭКГ и заканчивая поражением миокарда с выраженной систолической дисфункцией. У 76 (26%) детей зафиксированы отклонения на ЭКГ: у 83% пациентов — нарушения реполяризации желудочков с плоскими или отрицательными зубцами T в нижнелатеральных отведениях (нормальные для возраста изменения в $V1-V3$ не учитывались), у 17% — удлинение интервала QTc и брадикардия, у 3% из них развилась неустойчивая желудочковая тахикардия, у 7% — желудочковые экстрасистолы, у 1% — фибрилляция предсердий. По показаниям 98 (33%) больным была выполнена эхокардиография (ЭхоКГ): у 55% из них были обнаружены нарушения, в том числе у 27 (50%) — систолическая дисфункция левого желудочка, у 42 (78%) — перикардиальный выпот, у 16 (30%) — гиперэхогенность или лёгкая дилатация коронарных артерий [36]. Изменения ЭКГ и/или ЭхоКГ отмечались у детей как с наличием, так и с отсутствием MIS-C. Нарушения ЭКГ и/или ЭхоКГ у больных с отсутствием MIS-C сопровождалось повышением концентраций в крови мозгового натрийуретического пептида (NT-proBNP) и тропонина I (8% и 2% соответственно) [37]. Таким образом, в этой когорте больных была обнаружена высокая распространённость поражения сердца, при этом ранняя диагностика способствовала хорошему эффекту лечения.

По нашим данным, у 124 детей, госпитализированных в стационар с подтверждённой инфекцией COVID-19 (штамм дельта), при анализе категориальных (частота сердечных сокращений, нарушение внутрижелудочкового проведения, изменения уровня сегмента ST , формы зубца T , наличие признаков ранней реполяризации желудочков, волна Осборна [31], электрическая ось сердца; форма и амплитуда зубца P в отведении $V1$) и количественных (продолжительность и амплитуда P , R , S , T , QRS , PQ , индекс Макруза (P /сегмент PQ), QT_{max} (мс), QT_{min} (мс), QTc_{max} (мс), QTc_{min} (мс), ΔQT , ΔQTc , $TrTe$, $TrTe/QTc_{max}$, $TrTe/QT_{max}$) паттернов ЭКГ отмечались значимые различия показателей проводимости и возбудимости миокарда левых отделов сердца на фоне внебольничной пневмонии: при этом были значительно шире P , QRS , выше R в отведении aVL , глубже S в отведении III. При развитии дыхательной недостаточности отмечено присоединение изменений маркеров правых отделов сердца. Показатели ЭКГ, которые относят к проаритмогенным, были значимо изменены при внебольничной пневмонии (ΔQTc , QTc_{min}) и при дыхательной недостаточности ($TrTe/QT_{max}$). Поскольку эти изменения сопровождалось значимой динамикой маркеров воспаления (повышение уровня С-реактивного белка в крови и снижение абсолютного числа лимфоцитов), ав-

торы указывают на вовлечение миокарда в инфекционный воспалительный процесс при среднетяжёлом течении заболевания [38].

Как было отмечено выше, признаками поражения миокарда при данной инфекции являются повышение в сыворотке крови уровня тропонина I и тропонина T, а также повышение уровня С-реактивного белка и NT-proBNP [37]. При этом было установлено, что миокардит, ассоциированный с SARS-CoV-2, имеет более высокие уровни С-реактивного белка и NT-proBNP по сравнению с миокардитами другой этиологии [39].

Для диагностики кардиальных проявлений COVID-19 эффективно используется ЭКГ, по показаниям — ЭхоКГ, магнитно-резонансная и компьютерная томография [40, 41]. Использование компьютерной томографии с ангиографией при MIS-C выявило более чем у 50% больных детей эктазии коронарных артерий [42]. Нужно отметить, что при ЭхоКГ более чем в 50% случаев аневризмы коронарных артерий у этих детей не выявляются. Чувствительность ЭКГ и ЭхоКГ при диагностике патологии миокарда значительно уступает по чувствительности магнитно-резонансной томографии (режимы T1, T2) [41]. Да и не всем пациентам технически возможно проведение ЭхоКГ в острый период. На ЭхоКГ часто определяют признаки дисфункции миокарда — 30–100%, поражения коронарных артерий при MIS-C — 9–75% [43, 44].

В то же время необходимо помнить об ограничениях диагностических возможностей этих методов. При трансторакальной ЭхоКГ установлено, что инфекция SARS-CoV-2 влияла на ремоделирование левого желудочка у 26% детей, несмотря на бессимптомное или лёгкое течение острого инфекционного заболевания [45]. Клинические проявления со стороны сердечно-сосудистой системы при COVID-19 могут не подтверждаться методами ЭКГ и ЭхоКГ у 3,8–80,0% детей [46].

Самыми частыми находками на ЭКГ являются синусовая тахикардия (у подростков часто брадикардия), инверсия зубца T, аномалии сегмента ST, отклонение оси сердца вправо, удлинение корригированного QT, различные аритмии и нарушения проводимости, включая остановку синусового узла [38, 47]. Ретроспективный анализ ЭКГ у 82 не госпитализированных детей в возрасте 1–18 лет, перенёсших бессимптомный, лёгкий или среднетяжёлый COVID-19, показал, что у 21% детей были выявлены изменения на ЭКГ: у 12% — пограничные, у 9% — значимые. В большинстве случаев тяжесть заболевания не коррелировала с изменениями на ЭКГ. У всех больных, кроме 2 (2,4%) детей, изменения ЭКГ купировались при выздоровлении [29]. После выздоровления сохранение нарушений ритма и проводимости сердца отмечалось в 2–4% случаев.

При обследовании 46 детей после перенесённой COVID-19 с впервые возникшими кардиологическими жалобами было установлено, что тяжёлых нарушений ритма и проводимости, а также изменений структуры сердца (по данным ЭхоКГ), как правило, нет, но у 2 (4%) детей при холтеровском мониторинге ЭКГ были зарегистрированы значимые аритмии: у мальчика 14 лет — впервые возникшие короткие пароксизмы предсердной полиморфной тахикардии, трепетания-фибрилляции предсердий днём и ночью; у мальчика 16

лет (спортсмен, впервые отмечалась потеря сознания в бассейне) — резкая брадикардия с признаками синдрома слабости синусового узла (синдром тахи-бради). При этом рутинная ЭКГ и ЭхоКГ у этих детей были без значимых изменений [38].

При определении этапов медицинской реабилитации детей, перенёсших COVID-19, указывается на необходимость внимательного обследования пациентов для планирования индивидуальной программы медицинской реабилитации (ИПМР) и оценки безопасности планируемых реабилитационных мероприятий. Рекомендуемые инструментальные и лабораторные исследования: ЭКГ, по показаниям — суточное мониторирование ЭКГ и ЭхоКГ. При этом ИПМР детей школьного возраста по набору методик реабилитации существенно не отличается от соответствующих ИПМР для взрослых [48, 49].

Заключение

Обзор современных данных показывает, что сердечно-сосудистая система у детей, перенёсших COVID-19, может повреждаться как при лёгком течении заболевания, так и при MIS-C, когда наблюдаются тяжёлые повреждения миокарда и коронарных артерий [50]. Поражения структурных элементов коронарных сосудов отмечены при выраженных гипоксических изменениях: при дыхательной недостаточности с поражением лёгких, с развитием тяжёлого острого диффузного альвеолярного поражения, а также при клеточно-опосредованном иммунном ответе с поражением миокарда. Повреждения сердца часто сопутствуют поражению дыхательной системы и могут способствовать развитию тяжёлого состояния у пациентов, в связи с чем COVID-19 определяют как кардиореспираторное заболевание [38]. Выявляемые нарушения кровообращения не только в острый период заболевания, но и длительно в период восстановления требуют внимательного динамического контроля и индивидуального подхода к реабилитации. ЭКГ и ЭхоКГ не имеют специфических маркеров для диагностики сердечно-сосудистой патологии при COVID-19. Двенадцатиканальная ЭКГ и холтеровское мониторирование ЭКГ в период реабилитации после COVID-19 могут помочь выявить значимые нарушения функции сердца.

Литература

(п.п. 1–22; 24–27; 29; 30; 32–37; 39–50 см. References)

23. Рябыкина Г.В. Изменения электрокардиограммы при инфекции COVID-19. *Кардиология*. 2020; 60(8): 16–22. <https://doi.org/10.18087/cardio.2020.8.n1192> <https://elibrary.ru/hcbqhh>
28. Кожевникова О.В., Смирнов И.Е. Факторы риска сердечно-сосудистой патологии у детей: свойства сосудов и атеросклероз. *Российский педиатрический журнал*. 2015; 18(4): 36–42. <https://elibrary.ru/umbikd>
31. Мусин Т.И., Багманова З.А., Павлов В.Н., Гумеров Р.М., Тюрин А.В., Талипова Х.М. и др. Случай выявления изменений электрокардиограммы в виде зубца Осборна при новой коронавирусной инфекции. *Российский кардиологический журнал*. 2021; 26(S1): 68–73. <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2021-4254> <https://elibrary.ru/vjzsva>
38. Кожевникова О.В., Абашидзе Э.А., Фисенко А.П., Ахмедова Э.Э., Логачева О.С., Балабанов А.С. и др. Особенности электрокардиограммы при COVID-19 у детей школьного возраста. *Российский педиатрический журнал*. 2021; 24(6): 372–80. <https://doi.org/10.46563/1560-9561-2021-24-6-372-380> <https://elibrary.ru/aedgmh>

References

1. Malkova A., Kudlay D., Kudryavtsev I., Starshinova A., Yablonskiy P., Shoenfeld Y. Immunogenetic Predictors of Severe COVID-19. *Vaccines (Basel)*. 2021; 9(3): 211. <https://doi.org/10.3390/vaccines9030211>
2. Ludvigsson J.F. Systematic review of COVID-19 in children shows milder cases and a better prognosis than adults. *Acta Paediatr*. 2020; 109(6): 1088–95. <https://doi.org/10.1111/apa.15270>
3. Vasichkina E., Alekseeva D., Karev V., Podyacheva E., Kudryavtsev I., Glushkova A., et al. Cardiac involvement in children affected by COVID-19: Clinical features and diagnosis. *Diagnostics (Basel)*. 2022; 13(1): 120. <https://doi.org/10.3390/diagnostics13010120>
4. Kurosaki S., Otani A., Senoo S., Hataya H., Horikoshi Yu. A child with the Omicron variant coronavirus disease 2019 pneumonia complicated with arrhythmia. *Pediatr. Int*. 2022; 64(1): e15299. <https://doi.org/10.1111/ped.15299>
5. Rav-Acha M., Orlev A., Itzhaki I., Zimmerman S.F., Fteiha B., Bohm D., et al. Cardiac arrhythmias amongst hospitalised Coronavirus 2019 (COVID-19) patients: Prevalence, characterisation, and clinical algorithm to classify arrhythmic risk. *Int. J. Clin. Pract*. 2021; 75(4): e13788. <https://doi.org/10.1111/ijcp.13788>
6. Kochi A.N., Tagliari A.P., Forleo G.B., Fassini G.M., Tondo C. Cardiac and arrhythmic complications in patients with COVID-19. *J. Cardiovasc. Electrophysiol*. 2020; 31(5): 1003–8. <https://doi.org/10.1111/jce.14479>
7. Pellegrino R., Chiappini E., Licari A., Galli L., Marseglia G.L. Prevalence and clinical presentation of long COVID in children: a systematic review. *Eur. J. Pediatr*. 2022; 181(12): 3995–4009. <https://doi.org/10.1007/s00431-022-04600-x>
8. Pasternack D., Singh R.K., Minocha P.K., Farkas J.S., Ramaswamy P., Better D., et al. Characteristics of cardiac abnormalities in pediatric patients with acute COVID-19. *Cureus*. 2023; 15(3): e36093. <https://doi.org/10.7759/cureus.36093>
9. Feldstein L.R., Rose E.B., Horwitz S.M., Collins J.P., Newhams M.M., Son M.B.F., et al. Multisystem inflammatory syndrome in U.S. children and adolescents. *N. Engl. J. Med*. 2020; 383(4): 334–46. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa2021680>
10. Valverde I., Singh Y., Sanchez-de-Toledo J., Theocharis P., Chikermane A., Di Filippo S., et al. Acute cardiovascular manifestations in 286 children with multisystem inflammatory syndrome associated with COVID-19 infection in Europe. *Circulation*. 2021; 143(1): 21–32. <https://doi.org/10.1161/circulationaha.120.050065>
11. Shehab N., English R.F. Describing our experience with the effects of multisystem inflammatory syndrome in children with COVID-19 on the cardiovascular system. *Cardiol. Young*. 2023; 1–3. <https://doi.org/10.1017/S1047951123000173>
12. Kamel S., Raynor A., Zozor S., Lacape G., Brunel V., Nivet-Antoine V., et al. Myocardial injury in coronavirus disease 19 (Covid-19): main pathophysiological mechanisms and clinical utility of cardiac biomarkers. *Ann. Biol. Clin. (Paris)*. 2021; 79(3): 219–31. <https://doi.org/10.1684/abc.2021.1642>
13. Sandoval Y., Januzzi J.L. Jr., Jaffe A.S. Cardiac troponin for assessment of myocardial injury in COVID-19: JACC review topic of the week. *J. Am. Coll. Cardiol*. 2020; 76(10): 1244–58. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2020.06.068>
14. Gartenberg A.J., White T.J., Dang K., Shah M., Paridon S.M., Elias M.D. Assessing the utility of screening electrocardiograms in paediatric patients following COVID-19. *Cardiol. Young*. 2022; 32(5): 711–7. <https://doi.org/10.1017/S1047951121003012>
15. Long B., Brady W.J., Bridwell R.E., Ramzy M., Montrief T., Singh M., et al. Electrocardiographic manifestations of COVID-19. *Am. J. Emerg. Med*. 2021; 41: 96–103. <https://doi.org/10.1016/j.ajem.2020.12.060>
16. Avcu G., Arslan A., Bal Z.S., Ay O., Levent E., Ozkinay F., et al. Electrocardiographic changes in hospitalised children with COVID-19. *Cardiol. Young*. 2023; 33(4): 525–31. <https://doi.org/10.1017/S1047951123000100>
17. Shmueli H., Shah M., Ebinger J.E., Nguyen L.C., Chernomordik F., Flint N., et al. Left ventricular global longitudinal strain in identifying subclinical myocardial dysfunction among patients hospitalized with COVID-19. *Int. J. Cardiol. Heart Vasc*. 2021; 32: 100719. <https://doi.org/10.1016/j.ijcha.2021.100719>
18. Wiersinga W.J., Rhodes A., Cheng A.C., Peacock S.J., Prescott H.C. Pathophysiology, transmission, diagnosis, and treatment of coronavirus disease 2019 (COVID-19): A review. *JAMA*. 2020; 324(8): 782–93. <https://doi.org/10.1001/jama.2020.12839>
19. Salabei J.K., Asnake Z.T., Ismail Z.H., Charles K., Stanger G.T., Abdullahi A.H., et al. COVID-19 and the cardiovascular system: an update. *Am. J. Med. Sci*. 2022; 364(2): 139–47. <https://doi.org/10.1016/j.amjms.2022.01.022>
20. Gordon J.S., Drazner M.H. Biomarkers of cardiac stress and cytokine release syndrome in COVID-19: A review. *Curr. Heart Fail Rep*. 2021; 18(3): 163–8. <https://doi.org/10.1007/s11897-021-00505-2>
21. Centurión O.A., Scavenius K.E., García L.B., Torales J.M., Miño L.M. Potential mechanisms of cardiac injury and common pathways of inflammation in patients with COVID-19. *Crit. Pathw. Cardiol*. 2021; 20(1): 44–52. <https://doi.org/10.1097/HPC.0000000000000227>
22. Patel T., Kelleman M., West Z., Peter A., Dove M., Butto A., et al. Comparison of multisystem inflammatory syndrome in children-related myocarditis, classic viral myocarditis, and COVID-19 vaccine-related myocarditis in children. *J. Am. Heart Assoc*. 2022; 11(9): e024393. <https://doi.org/10.1161/JAHA.121.024393>
23. Ryabykina G.V. ECG changes in COVID-19. *Kardiologiya*. 2020; 60(8): 16–22. <https://doi.org/10.18087/cardio.2020.8.n1192> <https://elibrary.ru/hcbqhh> (in Russian)
24. Thakkar S., Arora S., Kumar A., Jaswaney R., Faisaluddin M., Ahmad Ud Din M., et al. A systematic review of the cardiovascular manifestations and outcomes in the setting of Coronavirus-19 disease. *Clin. Med. Insights Cardiology*. 2020; 14: 1179546820977196. <https://doi.org/10.1177/1179546820977196>
25. Minocha P.K., Phoon C.K.L., Verma S., Singh R.K. Cardiac findings in pediatric patients with multisystem inflammatory syndrome in children associated with COVID-19. *Clin. Pediatr. (Phila)*. 2021; 60(2): 119–26. <https://doi.org/10.1177/0009922820961771>
26. Kochi A.N., Tagliari A.P., Forleo G.B., Fassini G.M., Tondo C. Cardiac and arrhythmic complications in patients with COVID-19. *J. Cardiovasc. Electrophysiol*. 2020; 31(5): 1003–8. <https://doi.org/10.1111/jce.14479>
27. Rav-Acha M., Orlev A., Itzhaki I., Zimmerman S.F., Fteiha B., Bohm D., et al. Cardiac arrhythmias amongst hospitalised Coronavirus 2019 (COVID-19) patients: Prevalence, characterisation, and clinical algorithm to classify arrhythmic risk. *Int. J. Clin. Pract*. 2021; 75(4): e13788. <https://doi.org/10.1111/ijcp.13788>
28. Kozhevnikova O.V., Smirnov I.E. Risk factors for cardiovascular pathology in children: the properties of blood vessels and atherosclerosis. *Rossiyskiy pediatricheskiy zhurnal*. 2015; 18(4): 36–42. <https://elibrary.ru/umbikd> (in Russian)
29. Heching H.J., Goya A., Harvey B., Malloy-Walton L., Follansbee C., McIntosh A., et al. Electrocardiographic changes in non-hospitalised children with COVID-19. *Cardiol. Young*. 2022; 32(12): 1910–6. <https://doi.org/10.1017/S1047951121005138>
30. Gartenberg A.J., White T.J., Dang K., Shah M., Paridon S.M., Elias M.D. Assessing the utility of screening electrocardiograms in paediatric patients following COVID-19. *Cardiol. Young*. 2022; 32(5): 711–7. <https://doi.org/10.1017/S1047951121003012>
31. Musin T.I., Bagmanova Z.A., Pavlov V.N., Gumerov R.M., Tyurin A.V., Talipova Kh.M., et al. Osborn wave in a patient with COVID-19: a case report. *Rossiyskiy kardiologicheskiy zhurnal*. 2021; 26(S1): 68–73. <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2021-4254> <https://elibrary.ru/vjzva> (in Russian)
32. Joshi K., Kaplan D., Bakar A., Jennings J.F., Hayes D.A., Mahajan S., et al. Cardiac dysfunction and shock in pediatric patients with COVID-19. *JACC Case Res*. 2020; 2(9): 1267–70. <https://doi.org/10.1016/j.jaccas.2020.05.082>
33. Sirico D., Di Chiara C., Costenaro P., Bonfante F., Cozzani S., Plebani M., et al. Left ventricular longitudinal strain alterations in asymptomatic or mildly symptomatic paediatric patients with SARS-CoV-2 infection. *Eur. Heart J. Cardiovasc. Imaging*. 2022; 23(8): 1083–9. <https://doi.org/10.1093/ehjci/jeab127>
34. Shrestha L.B., Foster C., Rawlinson W., Tedla N., Bull R.A. Evolution of the SARS-CoV-2 omicron variants BA.1 to BA.5: Implications for immune escape and transmission. *Rev. Med. Virol*. 2022; 32(5): e2381. <https://doi.org/10.1002/rmv.2381>
35. Rodriguez-Gonzalez M., Castellano-Martinez A., Cascales-Poyatos H.M., Perez-Reviriego A.A. Cardiovascular impact of COVID-19 with a focus on children: A systematic review. *World J. Clin. Cases*. 2020; 8(21): 5250–83. <https://doi.org/10.12998/wjcc.v8.i21.5250>

36. Cantarutti N., Battista V., Adorisio R., Cicienia M., Campanello C., Listo E., et al. Cardiac manifestations in children with SARS-COV-2 infection: 1-year pediatric multicenter experience. *Children*. 2021; 8(8): 717. <https://doi.org/10.3390/children8080717>
37. Ozenen G., Kara A., Kiyemet A., Boncuoglu E., Sahinkaya S., Cem E., et al. The evaluation of Troponin I levels and myocarditis in children with COVID-19: A pediatric single-center experience. *Pediatr. Cardiol.* 2023; 44(4): 873–81. <https://doi.org/10.1007/s00246-022-03017-5>
38. Kozhevnikova O.V., Abashidze E.A., Fisenko A.P., Akhmedova E.E., Logacheva O.S., Balabanov A.C., et al. Features of electrocardiogram in school-age children with COVID-19. *Rossiyskiy pediatricheskiy zhurnal*. 2021; 24(6): 372–80. <https://doi.org/10.46563/1560-9561-2021-24-6-372-380> <https://elibrary.ru/aedgmh> (in Russian)
39. Lara D., Young T., Del Toro K., Chan V., Ianiro C., Hunt K., et al. Acute fulminant myocarditis in a pediatric patient with COVID-19 Infection. *Pediatrics*. 2020; 146(2): e20201509. <https://doi.org/10.1542/peds.2020-1509>
40. Yasuhara J., Watanabe K., Takagi H., Sumitomo N., Kuno T. COVID-19 and multisystem inflammatory syndrome in children: A systematic review and meta-analysis. *Pediatric Pulmonol.* 2021; 56(5): 837–48. <https://doi.org/10.1002/ppul.25245>
41. Kelle S., Bucciarelli-Ducci C., Judd R.M., Kwong R.Y., Simonetti O., Plein S., et al. Society for cardiovascular magnetic resonance (SCMR) recommended CMR protocols for scanning patients with active or convalescent phase COVID-19 infection. *J. Cardiovasc. Magn. Reson.* 2020; 22(1): 61. <https://doi.org/10.1186/s12968-020-00656-6>
42. Petersen S.E., Friedrich M.G., Leiner T., Elias M.D., Ferreira V.M., Fenski M., et al. Cardiovascular magnetic resonance for patients with COVID-19. *JACC Cardiovasc. Imaging*. 2022; 15(4): 685–99. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2021.08.021>
43. Cau R., Bassareo P., Saba L. Cardiac involvement in COVID-19-assessment with echocardiography and cardiac magnetic resonance imaging. *SN Compr. Clin. Med.* 2020; 2(7): 845–51. <https://doi.org/10.1007/s42399-020-00344-7>
44. Marrone A.C., Morrow G., Kelleman M.S., Lipinski J., Border W., Sachdeva R. Impact of the COVID pandemic on quality measures in a pediatric echocardiography lab. *Prog. Pediatr. Cardiol.* 2022; 67: 101549. <https://doi.org/10.1016/j.ppedcard.2022.101549>
45. Das B.B., Akam-Venkata J., Abdulkarim M., Hussain T. Parametric mapping cardiac magnetic resonance imaging for the diagnosis of myocarditis in children in the era of COVID-19 and MIS-C. *Children (Basel)*. 2022; 9(7): 1061. <https://doi.org/10.3390/children9071061>
46. Peck D., Beaton A., Nunes M.C., Ollberding N., Hays A., Hiremath P., et al. Early triage echocardiography to predict outcomes in patients admitted with COVID-19: a multicenter study. *Echocardiography*. 2023; 40(5): 388–96. <https://doi.org/10.1111/echo.15567>
47. Hamedí K.R., Loftus G., Traylor L., Goodwin R., Arce S. Comparison of COVID-19 vaccine-associated myocarditis and viral myocarditis pathology. *Vaccines (Basel)*. 2023; 11(2): 362. <https://doi.org/10.3390/vaccines11020362>
48. Carda S., Invernizzi M., Bavikatte G., Bensmail D., Bianchi F., Deltombe T., et al. The role of physical and rehabilitation medicine in the COVID-19 pandemic: the clinician's view. *Ann. Phys. Rehabil. Med.* 2020; 63(6): 554–6. <https://doi.org/10.1016/j.rehab.2020.04.001>
49. Khan F., Amatya B. Medical rehabilitation in pandemics: towards a new perspective. *J. Rehabil. Med.* 2020; 52(4): jrm00043. <https://doi.org/10.2340/16501977-2676>
50. Madjid M., Safavi-Naeini P., Solomon S.D., Vardeny O. Potential effects of coronaviruses on the cardiovascular system: A Review. *JAMA Cardiol.* 2020; 5(7): 831–40. <https://doi.org/10.1001/jamacardio.2020.1286>

Сведения об авторах:

Кожеевникова Ольга Викторовна, доктор мед. наук, зав. отд-нием инструментальной диагностики, ФГАУ «НМИЦ здоровья детей» Минздрава России; **Блажеевская Тамара Олеговна**, врач-ординатор, отд-ние инструментальной диагностики по специальности функциональная диагностика, ФГАУ «НМИЦ здоровья детей» Минздрава России; **Рахимова Анна Николаевна**, канд. мед. наук, врач-кардиолог, консультативно-диагностический центр, ФГАУ «НМИЦ здоровья детей» Минздрава России; **Ахмедова Элина Эльдаровна**, врач функциональной диагностики, отд-ние инструментальной диагностики, ФГАУ «НМИЦ здоровья детей» Минздрава России; **Абашидзе Эка Амирановна**, канд. мед. наук, ст. науч. сотр., врач функциональной диагностики, отд-ние инструментальной диагностики, ФГАУ «НМИЦ здоровья детей» Минздрава России.