ОРИГИНАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ
DOI: https://doi.org/10.17816/KMJ687554 EDN: RAQZKB

Электрокардиографические нарушения у реконвалесцентов COVID-19: одномоментное исследование

А.А. Карасева, А.Д. Афанасьева, Е.В. Гарбузова, А.А. Кузнецов, В.С. Шрамко

Научно-исследовательский институт терапии и профилактической медицины — филиал Федерального исследовательского центра — Института цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук, г. Новосибирск, Россия

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Пациенты с сердечно-сосудистыми заболеваниями подвержены развитию тяжёлого течения острого периода COVID-19, неблагоприятных исходов заболевания и пролонгированных постинфекционных осложнений.

Цель исследования. Изучить электрокардиографические (ЭКГ) нарушения у реконвалесцентов COVID-19 и их ассоциации с основными кардиометаболическими параметрами и биохимическими маркёрами воспаления.

Методы. В анализ включены 225 человек в возрасте 18–84 лет (из них 46,7% мужчин; средний возраст — 50,8±13,2 года). У всех пациентов были выделены мажорные и минорные ЭКГ-нарушения согласно Миннесотскому коду. Всем пациентам проводили стандартное лабораторное обследование, определяли антропометрические параметры, оценивали данные анамнеза. В сыворотке крови методом иммуноферментного анализа устанавливали концентрации метаболических и воспалительных молекул: интерферона альфа, интерлейкина-1β (IL-1β), IL-6, IL-8, моноцитарного хемотаксического фактора-1, инсулина, С-пептида, а также С-реактивного белка, определённого высокочувствительным методом. Данные для категориальных переменных представлены в виде n (%), для непрерывных — в виде Me (25; 75). Для определения отрезных точек проводили ROC-анализ. Ассоциативные связи изучали с помощью многофакторной логистической регрессионной модели. Для сравнения двух независимых выборок использовали непараметрический U-критерий Манна–Уитни, для сравнения долей — критерий χ^2 Пирсона.

Результаты. ЭКГ-нарушения выявлены у 66 (29,3%) реконвалесцентов COVID-19. У 51 пациента отмечены минорные нарушения ЭКГ, у 15 — мажорные. Реконвалесценты COVID-19 с ЭКГ-нарушениями были старше (p=0,020), чаще имели сердечно-сосудистые заболевания до перенесённого COVID-19 (p=0,010), в том числе ишемическую болезнь сердца (p=0,037), а также чаще имели гипергликемию натощак ≥7,0 ммоль/л (p=0,010). У этих пациентов уровни IL-6 и моноцитарного хемотаксического фактора-1 в крови были значимо выше (p=0,009 и p=0,025 соответственно) по сравнению с реконвалесцентами COVID-19 без ЭКГ-нарушений. Уровень IL-6 ≥2,6 пг/мл ассоциирован с мажорными и минорными ЭКГ-нарушениями у реконвалесцентов COVID-19 [Exp(B)=2,180; 95% доверительный интервал (ДИ) 1,171–4,058; p=0,014). По результатам множественного логистического регрессионного анализа наличие ЭКГ-нарушений у реконвалесцентов COVID-19 ассоциировано с мужским полом [Exp(B)=1,986; 95% ДИ 1,069–3,690; p=0,030] и уровнем IL-6 ≥2,6 пг/мл [Exp(B)=2,180; 95% ДИ 1,171–4,058; p=0,014].

Заключение. Наличие ЭКГ-нарушений у реконвалесцентов COVID-19 ассоциировано с мужским полом и уровнем IL-6 ≥2,6 пг/мл независимо от других факторов риска.

Ключевые слова: реконвалесценты COVID-19; электрокардиографические нарушения; миннесотский код; интерлейкин-6.

Как цитировать:
Карасева А.А., Афанасьева А.Д., Гарбузова Е.В., Кузнецов А.А., Шрамко В.С. Электрокардиографические нарушения у реконвалесцентов COVID-19: одномоментное исследование // Казанский медицинский журнал. 2026. Т. 107, № 1. С. 5–14. DOI: 10.17816/KMJ687554 EDN: RAQZKB

Рукопись получена: 15.07.2025 **Рукопись одобрена**: 15.09.2025 **Опубликована online**: 22.01.2026

ЭКО • ВЕКТОР
Статья доступна по лицензии CC BY-NC-ND 4.0 International
© Эко-Вектор, 2026

ORIGINAL STUDY
DOI: https://doi.org/10.17816/KMJ687554 EDN: RAQZKB

Electrocardiographic Abnormalities in COVID-19 Convalescents: A Cross-Sectional Study

Alexandra A. Karaseva, Alena D. Afanaseva, Evgeniia V. Garbuzova, Alexandr A. Kuznetsov, Victoria S. Shramko

Research Institute of Internal and Preventive Medicine — branch of Federal Research Center Institute of Cytology and Genetics of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: Patients with cardiovascular diseases are prone to severe acute COVID-19, adverse outcomes, and long post-infection complications.

AIM: This work aimed to study electrocardiographic (ECG) abnormalities in COVID-19 convalescents and their relationship with key cardiometabolic parameters and biochemical markers of inflammation.

METHODS: The analysis included 225 individuals aged 18–84 years (46.7% males; mean age: 50.8 ± 13.2 years). All patients had major and minor ECG abnormalities (Minnesota Code). All patients had standard laboratory tests; we determined their anthropometric parameters and assessed their history. Serum metabolic and inflammatory molecules were determined by the enzyme-linked immunosorbent assay, including interferon alpha, interleukin-1β (IL-1β), IL-6, IL-8, monocyte chemotactic protein-1, insulin, C-peptide, and C-reactive protein detected by the highly sensitive method. Categorical variables are presented as n (%) and continuous variables are presented as Me (25; 75). ROC analysis was performed to determine cutoff points. The relationships were studied using a multivariate logistic regression model. The Mann–Whitney *U* test was used to compare two independent samples and the Pearson χ^2 test was used to compare proportions.

RESULTS: ECG abnormalities were detected in 66 (29.3%) COVID-19 convalescents. Minor ECG abnormalities were observed in 51 patients and major abnormalities were observed in 15 patients. COVID-19 convalescents with ECG abnormalities were older ($p = 0.020$), had common pre-COVID-19 cardiovascular diseases ($p = 0.010$), including coronary heart disease ($p = 0.037$), and had common fasting hyperglycemia ⩾ 7.0 mmol/L ($p = 0.010$). These patients had much higher blood IL-6 and monocyte chemotactic protein-1 ($p = 0.009$ and $p = 0.025$, respectively**)** compared to COVID-19 convalescents without ECG abnormalities. IL-6 ⩾ 2.6 pg/mL is associated with major and minor ECG abnormalities in COVID-19 convalescents [Exp(B) = 2.180; 95% confidence interval (CI) 1.171–4.058; $p = 0.014$). Multivariate logistic regression analysis showed that ECG abnormalities in COVID-19 convalescents were associated with male sex [Exp(B) = 1.986; 95% CI 1.069–3.690; $p = 0.030$] and IL-6 ⩾ 2.6 pg/mL [Exp(B) = 2.180; 95% CI 1.171–4.058; $p = 0.014$].

CONCLUSION: ECG abnormalities in COVID-19 convalescents are associated with male sex and IL-6 ⩾ 2.6 pg/mL, regardless of other risk factors.

Keywords: COVID-19 convalescents; electrocardiographic abnormalities; Minnesota Code; interleukin-6.

To cite this article:
Karaseva AA, Afanaseva AD, Garbuzova EV, Kuznetsov AA, Shramko VS. Electrocardiographic abnormalities in COVID-19 convalescents: a cross-sectional study. *Kazan Medical Journal.* 2026;107(1):5–14. DOI: 10.17816/KMJ687554 EDN: RAQZKB

Submitted: 15.07.2025 **Accepted**: 15.09.2025 **Published online**: 22.01.2026

ECO•VECTOR
The article can be used under the CC BY-NC-ND 4.0 license
© Eco-Vector, 2026

ОБОСНОВАНИЕ

Всемирная организация здравоохранения 11 марта 2020 г. заявила, что распространённость новой коронавирусной инфекции (Coronavirus Disease 2019 — COVID-19), вызванная коронавирусом тяжёлого острого респираторного синдрома 2-го типа (SARS-CoV-2), носит характер пандемии [1]. Пациенты с сердечно-сосудистыми заболеваниями в условиях пандемии COVID-19 представляют собой особую группу риска развития тяжёлого течения острого периода COVID-19 [2]. Данные свидетельствуют о высоком риске развития неблагоприятных исходов у этой группы пациентов, в частности смертельного исхода [3]. В настоящее время известно, что электрокардиографические (ЭКГ) нарушения у пациентов встречаются как в остром, так и в постинфекционном периоде COVID-19 [4, 5]. Согласно полученным данным в ходе проведённого в 2021 году систематического обзора с включением в анализ 28 исследований (12 499 участников) общая распространённость впервые возникших ЭКГ-нарушений у госпитализированных пациентов с COVID-19 составила 10,3% [6]. В литературе описаны следующие ЭКГ-нарушения у госпитализированных пациентов: фибрилляция предсердий/трепетание предсердий, отрицательные зубцы T, нарушения реполяризации желудочков, аномальная внутрижелудочковая проводимость — блокада правой ножки пучка Гиса, блокада левой ножки пучка Гиса [7]. В работе N. Kassis и соавт. выявлено, что синусовая тахикардия и фибрилляция предсердий на исходной ЭКГ после постановки диагноза COVID-19 достоверно предсказывают долгосрочную смертность от всех причин при COVID-19 [8].

Имеющиеся в анамнезе, а также впервые выявленные нарушения ритма сердца являются независимыми предикторами развития постковидного синдрома [9]. Среди ЭКГ-нарушений у реконвалесцентов COVID-19 в постковидном периоде наиболее часто регистрируется синусовая тахикардия [10]. Механизмы, лежащие в основе развития ЭКГ-нарушений при постковидном синдроме, изучаются до сих пор. Особое место уделяется выраженной воспалительной реакции, возникающей при воздействии вируса SARS-CoV-2, который оказывает существенное влияние на развитие кардиальных нарушений посредством активации провоспалительных цитокинов и медиаторов воспаления, способствующих изменению электрофизиологических свойств сердечной мышцы [11, 12].

Таким образом, учитывая полученные данные о распространённости ЭКГ-нарушений в период пандемии COVID-19, степень влияния указанных изменений на динамику инфекционного процесса и формирование патологических последствий как в острой фазе заболевания, так и в позднем восстановительном периоде, изучение данных вопросов является актуальным.

Цель исследования — изучить ЭКГ-нарушения у реконвалесцентов COVID-19 и выявить их ассоциации с основными кардиометаболическими параметрами и биохимическими маркёрами воспаления.

МЕТОДЫ

Проведено одномоментное исследование на базе НИИТПМ — филиала ИЦГ СО РАН в 2020–2021 гг. Через скрининг-центр прошли 270 реконвалесцентов COVID-19. После исключения лиц с отсутствием данных биохимического и ЭКГ-исследования в окончательный анализ вошли 225 человек в возрасте 18–84 лет.

Критерии включения:

• наличие COVID-19, подтверждённое положительным результатом анализа на РНК коронавируса SARS-CoV-2 методом полимеразной цепной реакции в период заболевания и/или наличие антител IgG к коронавирусу SARS-CoV-2;

• истечение двух месяцев после реконвалесценции.

В ходе исследования учитывали демографические характеристики (пол, возраст), данные анамнеза, наличие хронических и впервые возникших симптомов и заболеваний. Пациентам проводили антропометрию, включающую измерение роста, веса и окружности талии. Индекс массы тела (ИМТ) рассчитывали по формуле: ИМТ = масса тела (кг)/рост^2 (м^2). Абдоминальное ожирение регистрировали на основании измерения окружности талии: у мужчин >94 см, у женщин >80 см [13]. Измерение артериального давления (АД) проводили на правой руке трижды с интервалом в 2 мин в положении сидя с помощью автоматического тонометра Omron (Omron Healthcare Co., Ltd., модель M5-I, Япония) с регистрацией среднего значения.

Биохимическое исследование

У пациентов брали образцы сыворотки крови натощак, после 8–14-часового ночного периода голодания. С использованием наборов Thermo Fisher Scientific (Финляндия) на биохимическом анализаторе Konelab Prime 30i (Thermo Fisher Scientific, Финляндия) определяли концентрации общего холестерина, триглицеридов и холестерина липопротеинов высокой плотности прямыми энзиматическими методами. Уровни холестерина липопротеинов низкой плотности рассчитывали с использованием формулы Фридвальда. В сыворотке крови методом иммуноферментного анализа с использованием наборов АО «Вектор-Бест» (Россия) определяли уровни метаболических и воспалительных молекул — интерферона-α, интерлейкина-1β (IL-1β), IL-6, IL-8, моноцитарного хемотаксического фактора-1 (MCP-1), инсулина, С-пептида, высокочувствительного С-реактивного белка.

Электрокардиографическое исследование

Запись ЭКГ осуществляли в 12 общепринятых отведениях в положении лёжа на спине на 3-канальном электрокардиографе FUKUDA DENSHI (Япония) со скоростью 50 мм/с и амплитудой 10 мм/мВ.

Кодирование ЭКГ проводили с использованием Миннесотского кода (МК) [14]. У всех пациентов выделяли мажорные и минорные нарушения ЭКГ (табл. 1).

Анализ ЭКГ проводили «слепо» по отношению к остальным данным исследования.

Статистический анализ

Статистическую обработку полученных результатов выполняли с использованием пакета программ SPSS. Проверку на нормальность распределения непрерывных признаков проводили методом Колмогорова–Смирнова. В связи с ненормальным распределением большинства изучаемых показателей данные для категориальных переменных представляли в виде абсолютных и относительных значений — n (%), а для непрерывных переменных — в виде Me (25; 75), где Me — медиана, 25 и 75 — 1-й и 3-й квартили соответственно. Для сравнения двух независимых выборок использовали непараметрический U-критерий Манна–Уитни. Для сравнения долей использовали критерий хи-квадрат Пирсона. Для определения отрезных точек проводили ROC-анализ и оценку чувствительности (Se) и специфичности (Sp). Ассоциативные связи изучали с помощью многофакторной логистической регрессионной модели. Результаты представлены как отношение шансов (ОШ) и 95% доверительный интервал (ДИ) для ОШ. За критический уровень значимости при проверке статистических гипотез принимали p <0,05. В каждом конкретном случае указывали фактическую величину достигнутого уровня значимости p для используемого статистического критерия.

РЕЗУЛЬТАТЫ

У 51 реконвалесцента COVID-19 были выявлены минорные нарушения ЭКГ, у 15 — мажорные. Всего ЭКГ-нарушения обнаружены у 66 (29,3%) реконвалесцентов COVID-19. Наиболее часто регистрировали следующие ЭКГ-нарушения: фрагментацию комплекса QRS (n=21; 31,8%), неполную блокаду правой ножки пучка Гиса (n=8; 12,1%) и отклонение электрической оси влево (n=6; 9,0%).

Реконвалесценты COVID-19 с выявленными ЭКГ-нарушениями были старше (p=0,020), чаще имели сердечно-сосудистые заболевания до перенесённого COVID-19 (p=0,010), в том числе ишемическую болезнь сердца (p=0,037), а также у них чаще отмечалась гипергликемия натощак ≥7,0 ммоль/л (p=0,010) по сравнению с реконвалесцентами COVID-19 без ЭКГ-нарушений (табл. 2). Уровень холестерина липопротеинов высокой плотности был ниже у реконвалесцентов COVID-19 с ЭКГ-нарушениями (p=0,025).

Частота ЭКГ-нарушений в зависимости от тяжести острого периода COVID-19 составила: при лёгком течении (n=105) — 29 (27,6%) случаев, из них минорные ЭКГ-нарушения — у 23 пациентов, мажорные — у 6; при среднетяжёлом течении (n=107) — 32 (29,9%) случая, из них минорные ЭКГ-нарушения — у 23 пациентов, мажорные — у 9; при тяжёлом течении (n=13) — 5 (38,5%) случаев, из них минорные ЭКГ-нарушения — у 4 пациентов, мажорные — у 1. Однако статистически значимых различий в частотах ЭКГ-нарушений в зависимости от тяжести острого периода COVID-19 выявлено не было (p=0,336).

При сравнительном анализе концентрации метаболических и воспалительных молекул обнаружено, что у реконвалесцентов COVID-19 с зафиксированными ЭКГ-нарушениями уровень в крови IL-6 был выше в 2,6 раза, уровень в крови MCP-1 выше в 1,2 раза в сравнении с реконвалесцентами COVID-19 без ЭКГ-нарушений (табл. 3).

Для IL-6 и MCP-1 проведён ROC-анализ для выявления отрезных точек, ассоциированных с ЭКГ-нарушениями (рис. 1). Обнаружено, что уровень IL-6 ≥2,6 пг/мл ассоциирован с мажорными и минорными ЭКГ-нарушениями у реконвалесцентов COVID-19 с чувствительностью 65% и специфичностью 56%.

Вышеуказанные показатели были включены в стандартную множественную бинарную логистическую регрессионную модель, где наличие мажорных и минорных ЭКГ-нарушений использовалось в качестве зависимой переменной (рис. 2).

Результаты анализа модели множественной логистической регрессии показали, что наличие мажорных и минорных ЭКГ-нарушений у реконвалесцентов COVID-19 ассоциировано с мужским полом и уровнем IL-6 ≥2,6 пг/мл независимо от других факторов риска, в том числе от тяжести течения острого периода COVID-19.

ОБСУЖДЕНИЕ

Известно, что с возрастом повышается вероятность появления нарушений электрической активности сердца [15]. Кроме того, исследования свидетельствуют о том, что биологический процесс старения организма играет существенную роль в развитии кардиоваскулярной патологии [16, 17]. При этом анализ имеющихся литературных данных отражает вклад COVID-19 в патогенез ЭКГ-нарушений [18], что по логике должно свидетельствовать о совместном вкладе старения и перенесённой коронавирусной инфекции в развитие сердечно-сосудистых заболеваний. В ходе настоящего исследования нами установлено, что возраст не был ассоциирован с ЭКГ-нарушениями у реконвалесцентов COVID-19, что может свидетельствовать о вероятной патогенетической роли самого заболевания COVID-19, характеризующегося системным гипервоспалением, развитием гипоксии, способствующих развитию кардиальных нарушений независимо от возрастных характеристик

Таблица 1. Мажорные и минорные электрокардиографические нарушения согласно Миннесотскому коду
Table 1. Major and minor electrocardiographic abnormalities (Minnesota Code)

Нарушение	Коды нарушений по Миннесотскому коду	Количество выявленных нарушений, n
Мажорные нарушения ЭКГ		
Значительные отклонения зубца Q	МК 1-1, 1-2	3
Незначительные аномалии зубца Q + аномалии ST-T	МК I-3+ МК 4-1 или 4-2 или 5-1 или 5-2	—
Основные изолированные аномалии ST-T	МК 4-1 или 4-2 или 5-1 или 5-2	2
Полная или преходящая блокада левой ножки пучка Гиса	МК 7-1	1
Полная или преходящая блокада правой ножки пучка Гиса	МК 7-2	3
Неспецифическая внутрижелудочковая блокада	МК 7-4	1
Блокада правой ножки пучка Гиса + блокада передней ветви левой ножки пучка Гиса	МК 7-8	3
Паттерн Бругада	МК 7-9	1
Гипертрофия левого желудочка + аномалии ST-T	МК 3-1 + МК 4-1 или 4-2 или 5-1 или 5-2	—
Значительное удлинение интервала QT	QTI ⩾116%	—
Фибрилляция или трепетание предсердий	МК 8-3	2
Значительные нарушения АВ-проводимости		
АВ-блокада 3-й степени	МК 6-1	—
АВ-блокада 2-й степени	МК 6-2	—
WPW-паттерн	МК 6-4	—
Искусственный кардиостимулятор	МК 6-8	—
Фибрилляция желудочков или асистолия	МК 8-2	—
Наджелудочковая тахикардия	МК 8-4-2 или 8-4-1+ЧСС >140 уд. в минуту	—
Минорные нарушения ЭКГ		
Незначительные изолированные зубцы Q/QS	МК 1-3	2
Незначительные аномалии ST/T	МК 4-3, 4-4, 5-3, 5-4	5
Высокие зубцы R (отведения, отражающие потенциал левого желудочка)	МК 3-1, 3-3, 3-4	2
Высокие зубцы R (отведения, отражающие потенциал правого желудочка)	МК 3-2	—
Элевация сегмента ST	МК 9-2	—
Неполная блокада правой ножки пучка Гиса	МК 7-3	8
Неполная блокада левой ножки пучка Гиса	МК 7-6, 7-7	2
Незначительное удлинение интервала QT	QTI ⩾112%	1
Короткий интервал PR	МК 6-5	2
Длинный интервал PR	МК 6-3	3
Отклонение электрической оси влево	МК 2-1	6
Отклонение электрической оси вправо	МК 2-2	—
Наджелудочковая экстрасистолия	МК 8-1-1	3
Желудочковая экстрасистолия	МК 8-1-2	1
Сочетание экстрасистол	МК 8-1-3, 8-1-5	—
Миграция водителя ритма по предсердиям	МК 8-1-4	—
Синусовая тахикардия	МК 8-7	—
Синусовая брадикардия	МК 8-8	4
Наджелудочковый ритм	МК 8-4-1	—
Низковольтажный QRS	МК 9-1	—
Высокая амплитуда зубца P	МК 9-3	—
Увеличение левого предсердия	МК 9-6	—
Фрагментация QRS	МК 7-10	21
Феномен ранней реполяризации желудочков	МК 9-7	1

Примечание. ЭКГ — электрокардиография; МК — Миннесотский код; ЧСС — частота сердечных сокращений.

Таблица 2. Характеристика основных кардиометаболических показателей у реконвалесцентов COVID-19 с выявленными электрокардиографическими нарушениями и без них

Table 2. Key cardiometabolic parameters of COVID-19 convalescents with and without detected electrocardiographic abnormalities

Параметр	Реконвалесценты COVID-19 с выявленными ЭКГ-нарушениями, n=66	Реконвалесценты COVID-19 без ЭКГ-нарушений, n=159	*p*
Возраст, лет	58,50 (46,75; 65,25)	52,00 (41,00; 62,00)	**0,020**
Мужчины, n (%)	37 (56,1)	68 (42,8)	0,069
Курение, n (%)	25 (37,9)	56 (35,2)	0,705
Ожирение, n (%)	33 (50,0)	61 (38,4)	0,095
Абдоминальное ожирение, n (%)	50 (75,8)	124 (78,0)	0,609
ССЗ до COVID-19, n (%)	49 (74,2)	89 (56,0)	**0,010**
ИБС в анамнезе, n (%)	12 (18,2)	14 (8,8)	**0,037**
Глюкоза плазмы натощак, ммоль/л	6,10 (5,68; 7,23)	6,10 (5,60; 6,70)	0,468
Гипергликемия натощак ≥7,0 ммоль/л, n (%)	14 (21,2)	14 (8,8)	**0,010**
САД, мм рт. ст.	122,50 (114,75; 135,00)	126,50 (117,00; 135,00)	0,507
ДАД, мм рт. ст.	80,00 (72,50; 88,13)	80,00 (75,00; 87,50)	0,545
ОТ, см	101,00 (87,50; 114,50)	97,00 (87,00; 108,00)	0,197
ИМТ, кг/м^2	30, 30 (24,14; 34,93)	28,48 (25,10; 32,19)	0,197
ОХС, мг/дл	199,75 (172,13; 228,83)	209,80 (178,20; 241,80)	0,067
ТГ, мг/дл	122,25 (81,95; 173,58)	110,70 (84,30; 178,40)	0,506
ХС ЛНП, мг/дл	122,32 (87,26; 151,18)	132,26 (100,56; 160,73)	0,172
ХС ЛВП, мг/дл	45,65 (36,85; 55,05)	51,50 (41,30; 62,50)	**0,025**

Примечание. ССЗ — сердечно-сосудистые заболевания; ИБС — ишемическая болезнь сердца; САД — систолическое артериальное давление; ДАД — диастолическое артериальное давление; ИМТ — индекс массы тела; ОТ — окружность талии; ОХС — общий холестерин; ТГ — триглицериды; ХС ЛНП — холестерин липопротеинов низкой плотности; ХС ЛВП — холестерин липопротеинов высокой плотности; COVID-19 — Coronavirus Disease 2019; ЭКГ — электрокардиография.

Таблица 3. Вариабельность уровня метаболических и воспалительных молекул у реконвалесцентов COVID-19 с выявленными электрокардиографическими нарушениями и без них

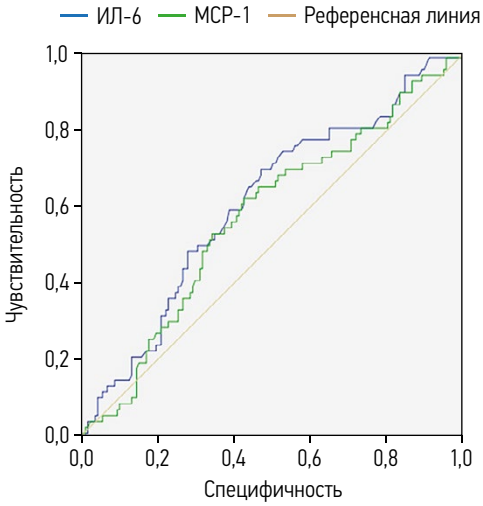
Table 3. Variability of metabolic and inflammatory molecules in COVID-19 convalescents with and without detected electrocardiographic abnormalities

Параметр, Me (Q25; Q75)	Реконвалесценты с выявленными ЭКГ-нарушениями, n=66	Реконвалесценты без ЭКГ-нарушений, n=159	*p*
ИФН-α, пг/мл	1,20 (0,52; 5,49)	1,05 (0,26; 3,95)	0,121
IL-1β, пг/мл	2,37 (1,64; 3,41)	2,32 (1,34; 3,45)	0,859
IL-6, пг/мл	3,12 (2,11; 4,61)	1,20 (0,52; 5,49)	**0,009**
IL-8, пг/мл	8,80 (6,39; 13,89)	8,45 (5,25; 11,86)	0,630
MCP-1, пг/мл	379,15 (262,53; 443,06)	323,61 (250,00; 417,11)	**0,025**
Инсулин, мМЕ/л	5,33 (1,34; 12,21)	3,39 (0,97; 8,56)	0,125
С-пептид, пмоль/л	195,19 (56,69; 591,09)	117,31 (48,94; 273,44)	0,438
вчСРБ, мг/л	3,74 (1,47; 12,42)	3,58 (1,69; 8,42)	0,850

Примечание. ИФН-α — интерферон альфа; IL — интерлейкин; MCP-1 — моноцитарный хемоаттрактантный протеин-1; вчСРБ — высокочувствительный С-реактивный белок; ЭКГ — электрокардиография.

обследованных лиц. Ожидаемо, что у мужчин относительно женщин отмечено преобладание ЭКГ-нарушений, что соответствует мировым данным [19].

Нарушение углеводного обмена выступает значимым этиологическим фактором формирования кардиоваскулярной патологии, проявляющейся развитием различных форм нарушения ритма и проводимости сердца, хронической сердечной недостаточности и острых коронарных событий [20]. Пациенты с диагностированным сахарным диабетом 2-го типа, перенёсшие инфекцию SARS-CoV-2, согласно данным международных исследований, демонстрируют повышенный риск развития сердечно-сосудистых осложнений, что подчёркивает тесную патогенетическую связь между нарушениями углеводного обмена и нарушениями системы кровообращения [21]. В исследованиях A. Bayramoğlu и соавт. [22] и H. Eren и соавт. [23] обнаружено, что частота ЭКГ-нарушений в виде фрагментации комплекса QRS у лиц с сахарным диабетом



Показатели	Площадь под кривой	*p*
ИЛ-6	0,607 (0,527–0,687)	0,012
MCP-1	0,572 (0,490–0,653)	0,091

Рис. 1. ROC-кривая ассоциаций уровней интерлейкина-6 и моноцитарного хемотаксического фактора-1 с выявленными электрокардиографическими нарушениями. ИЛ-6 — интерлейкин-6; MCP-1 — моноцитарный хемоаттрактантный протеин-1.

Fig. 1. ROC curve of relationships between interleukin-6 and monocyte chemotactic protein-1 and the identified electrocardiographic abnormalities. MCP-1, monocyte chemotactic protein-1.

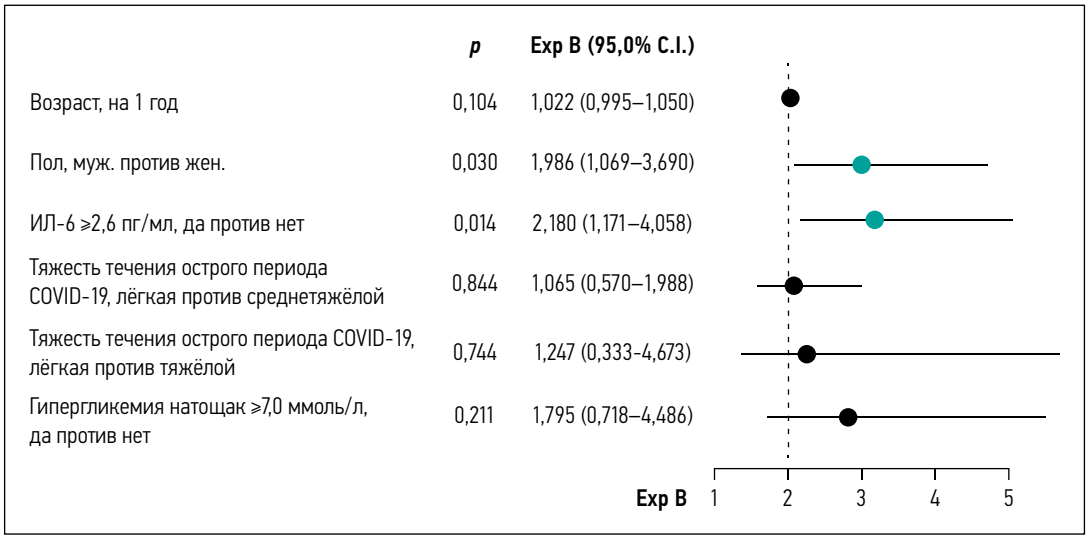


Рис. 2. Модель множественной бинарной логистической регрессии. Ассоциации мажорных и минорных электрокардиографических нарушений с изучаемыми факторами у реконвалесцентов COVID-19. ИЛ-6 — интерлейкин-6.

Fig. 2. Multivariate binary logistic regression model. Relationships between major and minor electrocardiographic abnormalities and the studied factors in COVID-19 convalescents.

составляет 28 и 37,5% соответственно. Согласно нашим данным, гипергликемия чаще встречалась у реконвалесцентов с ЭКГ-нарушениями. При этом наиболее часто среди ЭКГ-нарушений фиксируется фрагментация комплекса QRS.

Роль воспалительных молекул в возникновении и прогрессировании ЭКГ-нарушений, определение возможности их использования в качестве биомаркёров с выявлением диагностической ценности порогового значения изучались в различных исследованиях [24, 25]. Исследрование Z. Lv и соавт. продемонстрировало значимое повышение уровня IL-6 в остром периоде COVID-19 у лиц мужского пола относительно женщин, причём наблюдаемая закономерность была аналогична среди пациентов с различной степенью тяжести острого периода COVID-19 — лица с крайне тяжёлой и тяжёлой степенью тяжести имели более высокие концентрации IL-6 по сравнению с пациентами с лёгкой степенью тяжести [26].

Изучая механизмы, лежащие в основе патогенеза ЭКГ-нарушений при острых инфекционных заболеваниях, в некоторых исследованиях *in vitro*, а также на экспериментальных моделях животных было продемонстрировано существенное пролонгирование потенциала действия кардиомиоцитов и интервала QTc под воздействием некоторых цитокинов, в том числе IL-6. Выявлено, что изучаемые цитокины регулируют экспрессию и функциональную активность различных сердечных ионных каналов, преимущественно калиевых (K^+) [27, 28]. Продемонстрировано наличие удлинения интервала QTc вне зависимости от приёма лекарственных препаратов, обладающих способностью пролонгировать QT [29]. Вместе с тем отмечено,

что нормализация данного показателя сопровождалась постепенным снижением уровня воспалительных биомаркёров [29]. Согласно нашим данным, повышение уровня IL-6 более 2,6 пг/мл ассоциировано с наличием минорных и мажорных ЭКГ-нарушений у реконвалесцентов COVID-19, независимо от других факторов.

К ограничениям настоящей работы стоит отнести ретроспективный характер исследования, а также отсутствие данных о всех препаратах, способных вызывать ЭКГ-нарушения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, сохраняющееся низкоинтенсивное постинфекционное воспаление в виде циркуляции провоспалительных цитокинов оказывает влияние на электрофизиологические характеристики миокарда, увеличивая риск как острых, так и хронических форм ЭКГ-нарушений. Мажорные и минорные ЭКГ-нарушения у реконвалесцентов COVID-19 регистрировались в 29,3% случаев и были ассоциированы с мужским полом и уровнем IL-6 >2,6 пг/мл.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. К.А.А. — проведение исследования, работа с данными, написание черновика; А.А.Д. — пересмотр и редактирование рукописи; Г.Е.В. — пересмотр и редактирование рукописи, К.А.А. — работа с данными; Ш.В.С. — работа с данными. Все авторы одобрили рукопись (версию для публикации), а также согласились нести ответственность за все аспекты работы, гарантируя надлежащее рассмотрение и решение вопросов, связанных с точностью и добросовестностью любой её части.

Этическая экспертиза. Проведение исследования было одобрено локальным этическим комитетом НИИТПМ — филиала ИЦиГ СО РАН г. Новосибирска (протокол № 71 от 10.11.2020). Все пациенты дали своё информированное согласие на участие в исследовании.

Согласие на публикацию. Авторы получили письменное информированное добровольное согласие пациентов перед прохождением лечения об использовании медицинских данных в исследовании. Рукопись не содержит персональных данных.

Источники финансирования. Исследование выполнено в рамках бюджетной темы № FWNR-2024-0002 при поддержке гранта правительства Новосибирской области № 10-2025-034378 от 09.06.2025.

Раскрытие интересов. Авторы заявляют об отсутствии отношений, деятельности и интересов за последние три года, связанных с третьими лицами (коммерческими и некоммерческими), интересы которых могут быть затронуты содержанием статьи.

Оригинальность. При создании настоящей работы авторы не использовали ранее опубликованные сведения (текст, иллюстрации, данные).

Доступ к данным. Редакционная политика в отношении совместного использования данных к настоящей работе неприменима, новые данные не собирали и не создавали.

Генеративный искусственный интеллект. При создании настоящей статьи технологии генеративного искусственного интеллекта не использовали.

Рассмотрение и рецензирование. Настоящая работа подана в журнал в инициативном порядке и рассмотрена по обычной процедуре. В рецензировании участвовали три внешних рецензента, член редакционной коллегии и научный редактор издания.

ADDITIONAL INFORMATION

Author contributions: K.A.A.: investigation, data curation, writing—original draft; A.A.D.: writing—review & editing; G.E.V.: writing—review & editing; K.A.A.: data curation; Sh.V.S.: data curation. All the authors approved the version of the manuscript to be published and agreed to be accountable for all aspects of the work, ensuring that issues related to the accuracy or integrity of any part of the work are appropriately investigated and resolved.

Ethics approval: The study was approved by the Local Ethics Committee of the Research Institute of Internal and Preventive Medicine, Branch of the Institute of Cytology and Genetics, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Novosibirsk (Minutes No. 71 dated November 10, 2020). All participants provided written informed consent to participate in the study.

Consent for publication: Written informed consent was obtained from the patients for the use of medical data in the study. The manuscript does not contain any personal data.

Funding sources: The study was conducted under publicly-funded topic No. FWNR-2024-0002 and funded by grant No. 10-2025-034378 dated June 09, 2025 provided by the Novosibirsk Region Government.

Disclosure of interests: The authors have no relationships, activities, or interests for the last three years related to for-profit or not-for-profit third parties whose interests may be affected by the content of the article.

Statement of originality: No previously obtained or published material (text, images, or data) was used in this study or article.

Data availability statement: The editorial policy regarding data sharing does not apply to this work, as no new data was collected or created.

Generative AI: No generative artificial intelligence technologies were used to prepare this article.

Provenance and peer-review: This paper was submitted unsolicited and reviewed following the standard procedure. The peer-review process involved three external reviewers, a member of the Editorial Board, and the in-house science editor.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | REFERENCES

1. Cucinotta D, Vanelli M. WHO Declares COVID-19 a Pandemic. *Acta Biomed*. 2020;91(1):157–160. doi: 10.23750/abm.v91i1.9397

2. Shi S, Qin M, Shen B, et al. Association of Cardiac Injury With Mortality in Hospitalized Patients With COVID-19 in Wuhan, China. *JAMA Cardiol*. 2020;5(7):802–810. doi: 10.1001/jamacardio.2020.0950 EDN: CEEYYG

3. Gu T, Chu Q, Yu Z, et al. History of coronary heart disease increased the mortality rate of patients with COVID-19: a nested case-control study. *BMJ Open*. 2020;10(9):e038976. doi: 10.1136/bmjopen-2020-038976 EDN: FZEAMB

4. Carubbi F, Alunno A, Carducci A, et al. Electrocardiographic Abnormalities in Hospitalized Patients with COVID-19 and the Associations with Clinical Outcome. *J Clin Med*. 2022;11(17):5248. doi:10.3390/jcm11175248 EDN: WJFEQL

5. Kuzmin EV, Kozyrev OA. Cardiac arrhythmias in postCOVID syndrome. *Vestnik of Smolensk State Medical Academy*. 2023;22(1):147–151. doi 10.37903/vsgma.2023.1.20 EDN: PGNOHM

6. Garcia-Zamora S, Lee S, Haseeb S, et al. Arrhythmias and electrocardiographic findings in Coronavirus disease 2019: A systematic review and meta-analysis. *Pacing Clin Electrophysiol*. 2021;44(6):1062–1074. doi:10.1111/pace.14247 EDN: AXUPYU

7. De Carvalho H, Leonard-Pons L, Segard J, et al. Electrocardiographic abnormalities in COVID-19 patients visiting the emergency department:

a multicenter retrospective study. *BMC Emerg Med*. 2021;21(1):1–7. doi: 10.1186/s12873-021-00539-8 EDN: KEXSUY

8. Kassis N, Kumar A, Gangidi S, et al. Prognostic value of initial electrocardiography in predicting long-term all-cause mortality in COVID-19. *J Electrocardiol*. 2022;75:1–9. doi: 10.1016/j.jelectrocard.2022.10.003 EDN: YISUAS

9. Moreno-Pérez O, Merino E, Leon-Ramirez JM, et al. Post-acute COVID-19 syndrome. Incidence and risk factors: A Mediterranean cohort study. *J Infect.* 2021;82(3):378–383. doi: 10.1016/j.jinf.2021.01.004 EDN: UHCUZE

10. Huseynov A, Akin I, Duerschmied D, Scharf RE. Cardiac Arrhythmias in Post-COVID Syndrome: Prevalence, Pathology, Diagnosis, and Treatment. *Viruses.* 2023;15(2):389. doi: 10.3390/v15020389 EDN: GWXCZY

11. Kaeley N, Mahala P, Walia R, et al. Electrocardiographic abnormalities in patients with COVID-19 pneumonia and raised interleukin-6. *J Family Med Prim Care*. 2022;11(10):5902–5908. doi: 10.4103/jfmpc.jfmpc_135_2

12. Oudit G, Kassiri Z, Jiang C, et al. SARS-coronavirus modulation of myocardial ACE2 expression and inflammation in patients with SARS. *Eur J Clin Invest*. 2009;39(7):618–625. doi: 10.1111/j.1365-2362.2009.02153.x

13. Dedov II, Shestakova MV, Melnichenko GA, et al. Interdisciplinary Clinical Practice Guidelines "Management of obesity and its comorbidities". *Obesity and metabolism.* 2021;18(1):5–99. doi: 10.14341/omet12714 EDN: AHSBSE

14. Prineas RJ, Crow RS, Zhang ZM. *The Minnesota Code Manual of Electrocardiographic Findings*. London: Springer; 2009. doi: 10.1007/978-1-84882-778-3 ISBN: 978-1-84882-777-6

15. Zatonskaya EV, Matyushin GV, Gogolashvili NG, et al. EPIDEMIOLOGY OF ARRHYTHMIAS (LITERATURE REVIEW). Siberian medical review. 2016;3(99):5–16. doi: 10.20333/25000136-2016-3-5-16 EDN: WIOGYP

16. Ma S, Xie X, Yuan R, et al. Vascular Aging and Atherosclerosis: A Perspective on Aging. *Aging Dis.* 2024;16(1):33–48. doi:10.14336/AD.2024.0201-1

17. Liu XK, Jahangir A, Terzic A, et al. Age- and sex-related atrial electrophysiologic and structural changes. *Am J Cardiol.* 2004;94(3):373–375. doi: 10.1016/j.amjcard.2004.04.040

18. Siripanthong B, Nazarian S, Muser D, et al. Recognizing COVID-19-related myocarditis: The possible pathophysiology and proposed guideline for diagnosis and management. *Heart Rhythm.* 2020;17(9):1463–1471. doi:10.1016/j.hrthm.2020.05.001 EDN: FNKKUE

19. De Bacquer D, De Backer G, Kornitzer M. Prevalence of ECG findings in large population based samples of men and women. *Heart.* 2000;84(6):625–633. doi: 10.1136/heart.84.6.625

20. Tatarchenko IP, Pozdniakova NV, Denisova AG, Morozova OI. Cardiovascular complications of impaired glucose metabolism: risk factors in the progression of chronic heart failure. *Russian Journal of Cardiology and Cardiovascular Surgery.* 2017;10(1):17–21. doi: 10.17116/kardio201710117-21 EDN: YFSWUF

21. Abe T, Egbuche O, Igwe J, et al. Cardiovascular complications in COVID-19 patients with or without diabetes mellitus. *Endocrinol Diabetes Metab.* 2021;4(2):e00218. doi: 10.1002/edm2.218 EDN: DCPULO

22. Bayramoğlu A, Taşolar H, Kaya Y, et al. Fragmented QRS complexes are associated with left ventricular dysfunction in patients with type-2 diabetes mellitus: a two-dimensional speckle tracking echocardiography study. *Acta Cardiol*. 2018;73(5):449–456. doi: 10.1080/00015385.2017.1410350

23. Eren H, Kaya Ü, Öcal L, et al. Presence of fragmented QRS may be associated with complex ventricular arrhythmias in patients with type-2 diabetes mellitus. *Acta Cardiol.* 2021;76(1):67–75. doi: 10.1080/00015385.2019.1693117 EDN: LNOKKI

24. Amdur RL, Mukherjee M, Go A, et al. (2016). Interleukin-6 Is a Risk Factor for Atrial Fibrillation in Chronic Kidney Disease: Findings from the CRIC Study. *PLoS One.* 2016;11(2):e0148189. doi: 10.1371/journal.pone.0148189

25. Alí A, Boutjdir M, Aromolaran AS. Cardiolipotoxicity, Inflammation, and Arrhythmias: Role for Interleukin-6 Molecular Mechanisms. *Front. Physiol.* 2019;10(JAN):1866. doi: 10.3389/fphys.2018.01866 EDN: OEAECF

26. Lv Z, Cheng S, Le J, et al. Clinical characteristics and co-infections of 354 hospitalized patients with COVID-19 in Wuhan, China: a retrospective cohort study. *Microbes Infect.* 2020;22(4–5):195–199. doi: 10.1016/j.micinf.2020.05.007 EDN: NMXFZH

27. Lazzerini PE, Capecchi PL, El-Sherif N, et al. Emerging Arrhythmic Risk of Autoimmune and Inflammatory Cardiac Channelopathies. *J Am Heart Assoc.* 2018;7(22):e010595. doi: 10.1161/JAHA.118.010595

28. Lazzerini PE, Laghi-Pasini F, Boutjdir M, et al. Cardioimmunology of Arrhythmias: The Role of Autoimmune and Inflammatory Cardiac Channelopathies. *Nat Rev Immunol.* 2019;19(1):63–64. doi: 10.1038/s41577-018-0098-z

29. Lazzerini PE, Acampa M, Laghi-Pasini F, et al. Cardiac Arrest Risk During Acute Infections: Systemic Inflammation Directly Prolongs QTc Interval via Cytokine-Mediated Effects on Potassium Channel Expression. *Circ Arrhythm Electrophysiol*. 2020;13(8):e008627. doi: 10.1161/CIRCEP.120.008627

ОБ АВТОРАХ

*** Афанасьева Алёна Дмитриевна**, канд. мед. наук, заведующая, лаб. генетических и средовых детерминант жизненного цикла человека;
адрес: Россия, 630089, Новосибирск, ул. Б. Богаткова, д. 175/1;
ORCID: 0000-0001-7875-1566;
eLibrary SPIN: 7446-4732;
e-mail: alena.dmytryevna@yandex.ru

Карасева Александра Александровна, младший научный сотрудник, лаб. генетических и средовых детерминант жизненного цикла человека;
ORCID: 0000-0002-0423-5021;
eLibrary SPIN: 9494-6998;
e-mail: Sas96@bk.ru

Гарбузова Евгения Витальевна, канд. мед. наук, научный сотрудник, лаб. генетических и средовых детерминант жизненного цикла человека;
ORCID: 0000-0001-5316-4664;
eLibrary SPIN: 9177-6439;
e-mail: stryukova.j@mail.ru

Кузнецов Александр Александрович, д-р мед. наук, ведущий научный сотрудник, лаб. молекулярно-генетических исследований терапевтических заболеваний;
ORCID: 0000-0003-3502-7599;
eLibrary SPIN: 8192-3072;
e-mail: kuznetsoviimed@gmail.com

Шрамко Виктория Сергеевна, канд. мед. наук, научный сотрудник, лаб. клинических, биохимических, гормональных исследований терапевтических заболеваний;
ORCID: 0000-0002-0436-2549;
eLibrary SPIN: 7626-9238;
e-mail: nosova@211.ru

AUTHORS INFO

*** Alena D. Afanaseva**, MD, Cand. Sci. (Medicine), Head, Lab. for Genetic and Environmental Determinants of the Human Life Cycle;
address: 175/1 B. Bogatkov st, Novosibirsk, Russia, 630089;
ORCID: 0000-0001-7875-1566;
eLibrary SPIN: 7446-4732;
e-mail: alena.dmytryevna@yandex.ru

Alexandra A. Karaseva, junior research associate, Lab. for Genetic and Environmental Determinants of the Human Life Cycle;
ORCID: 0000-0002-0423-5021;
eLibrary SPIN: 9494-6998;
e-mail: Sas96@bk.ru

Evgeniia V. Garbuzova, MD, Cand. Sci. (Medicine), research associate, Lab. for Genetic and Environmental Determinants of the Human Life Cycle;
ORCID: 0000-0001-5316-4664;
eLibrary SPIN: 9177-6439;
e-mail: stryukova.j@mail.ru

Alexandr A. Kuznetsov, MD, Dr. Sci. (Medicine), leading research associate, Lab. of Molecular Genetic Studies of Therapeutic Diseases;
ORCID: 0000-0003-3502-7599;
eLibrary SPIN: 8192-3072;
e-mail: kuznetsoviimed@gmail.com

Victoria S. Shramko, MD, Cand. Sci. (Medicine), research associate, Lab. of Clinical, Biochemical, Hormonal Studies of Therapeutic Diseases;
ORCID: 0000-0002-0436-2549;
eLibrary SPIN: 7626-9238;
e-mail: nosova@211.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author