

Возможности контурного анализа электрокардиограммы в прогнозировании тяжелого течения новой коронавирусной инфекции

Ряднова Е. О., Кицышин В. П.

ФГБВОУ ВПО "Военно-медицинская академия им. С. М. Кирова" Министерства обороны Российской Федерации.
Санкт-Петербург, Россия

Цель. Изучить прогностическую ценность показателей контурного анализа электрокардиограммы (ЭКГ) у пациентов с новой коронавирусной инфекцией (COroNaVirus Disease 2019, COVID-19).

Материал и методы. В исследование было включено в общей сложности 110 человек с диагнозом новая коронавирусная инфекция. В качестве возможных предикторов тяжести заболевания COVID-19 изучались данные лабораторно-инструментальных исследований. Особое внимание уделялось характеристикам площади зубца Р, комплекса QRS и зубца Т в различных отведениях ЭКГ, оценённым при поступлении больных в стационар. Статистический анализ проводился с использованием программ Statistica 12, StatTech v. 4.7.1. Статистически значимыми считались различия при $p < 0,05$.

Результаты. Разработана прогностическая модель для определения вероятности тяжелого течения новой коронавирусной инфекции. Параметрами, вошедшими в модель, стали: площадь комплекса QRS в отведении III, площадь комплекса QRS в отведении AVF и уровень С-реактивного белка при поступлении в стационар. Чувствительность и специфичность полученной прогностической модели составили 71,4 и 94,7%, соответственно.

Заключение. Для оценки динамического изменения ЭКГ целесообразно наряду с качественным, полуколичественным и количе-

ственными методами оценки параметров использовать новую технологию — контурный анализ.

Ключевые слова: коронавирусная инфекция, реполяризация, тяжесть заболевания, контурный анализ электрокардиограммы, электрокардиограмма.

Отношения и деятельность: нет.

Поступила 05/03-2025

Рецензия получена 31/03-2025

Принята к публикации 20/05-2025



Для цитирования: Ряднова Е. О., Кицышин В. П. Возможности контурного анализа электрокардиограммы в прогнозировании тяжелого течения новой коронавирусной инфекции. *Кардиоваскулярная терапия и профилактика*. 2025;24(7):4376. doi: 10.15829/1728-8800-2025-4376. EDN: TYAQW

Potential of electrocardiogram contour analysis in predicting severe coronavirus disease 2019

Ryadnova E. O., Kitsyshin V. P.

S. M. Kirov Military Medical Academy. Saint Petersburg, Russia

Aim. To study the prognostic value of electrocardiogram (ECG) contour analysis parameters in patients with novel coronavirus infection (COroNaVirus Disease 2019, COVID-19).

Material and methods. A total of 110 people diagnosed with coronavirus disease 2019 (COVID-19) were included in the study. Paraclinical research data were studied as possible predictors of COVID-19 severity. Particular attention was paid to the characteristics of the P wave, QRS complex, and T wave areas in various ECG leads assessed upon admission of patients to the hospital. Statistical analysis was performed using Statistica 12, StatTech v. 4.7.1. Differences were considered significant at $p < 0,05$.

Results. A prognostic model was developed to determine the probability of severe COVID-19. The following parameters were included in the model: QRS complex area in lead III, QRS complex area in lead AVF and the level of C-reactive protein upon admission to the hospital. The

sensitivity and specificity of the resulting prognostic model were 71,4 and 94,7%, respectively.

Conclusion. To assess the ECG changes, a new technology should be used — contour analysis along with qualitative, semi-quantitative and quantitative methods for assessing the parameters.

Keywords: coronavirus infection, repolarization, disease severity, contour electrocardiogram analysis, electrocardiogram.

Relationships and Activities: none.

Ryadnova E. O.* ORCID: 0000-0001-8890-0414, Kitsyshin V. P. ORCID: 0000-0002-7797-5952.

*Corresponding author:
kate_31_96@mail.ru

*Автор, ответственный за переписку (Corresponding author):

e-mail: kate_31_96@mail.ru

[Ряднова Е. О.* — внешний соискатель, ORCID: 0000-0001-8890-0414, Кицышин В. П. — д.м.н., профессор 1-й кафедры и клиники терапии усовершенствования врачей им. Н. С. Молчанова, ORCID: 0000-0002-7797-5952].

Received: 05/03-2025
 Revision Received: 31/03-2025
 Accepted: 20/05-2025

Cardiovascular Therapy and Prevention. 2025;24(7):4376. doi: 10.15829/1728-8800-2025-4376. EDN: TYAQW

For citation: Ryadnova E.O., Kitsyshin V.P. Potential of electrocardiogram contour analysis in predicting severe coronavirus disease 2019.

ИМТ — индекс массы тела, КФК — креатинфосфокиназа, КТ ОГК — компьютерная томография органов грудной клетки, CCC — сердечно-сосудистая система, СРБ — С-реактивный белок, ЧСС — частота сердечных сокращений, ЭКГ — электрокардиограмма, ЭОС — электрическая ось сердца, AOR — adjusted odds ratio (скорректированное отношение шансов), COVID-19 — COroNaVIrus Disease 2019 (новая коронавирусная инфекция), COR — crude odds ratio (нескорректированное отношение шансов).

Ключевые моменты

Что известно о предмете исследования?

- С начала пандемии новой коронавирусной инфекции (COVID-19 — COroNaVIrus Disease 2019) встречаемость нарушений реполяризации у лиц >20 лет выросла с 8,2% до 71%.
- Изменения параметров электрокардиографии у лиц с тяжёлым течением COVID-19 встречаются чаще, чем у пациентов с лёгким течением.

Что добавляют результаты исследования?

- Параметры контурного анализа значимо различаются в зависимости от тяжести заболевания COVID-19.
- Площади комплекса QRS в отведениях III и aVF и уровень С-реактивного белка могут войти в модель прогнозирования тяжести течения новой коронавирусной инфекции.

Key messages

What is already known about the subject?

- Since the beginning of coronavirus disease 2019 (COVID-19) pandemic, the incidence of repolarization disorders in individuals >20 years of age has increased from 8,2% to 71%.
- Changes in ECG parameters in individuals with severe COVID-19 are more common than in patients with mild cases.

What might this study add?

- Contour analysis parameters vary significantly depending on the severity of COVID-19.
- QRS complex areas in leads III and aVF and C-reactive protein levels can be included in a model for predicting COVID-19 severity.

Введение

Несмотря на окончание пандемии новой коронавирусной инфекции COVID-19 (COroNaVIrus Disease 2019), исследование изменений функционального состояния организма на фоне заболевания остаётся актуальным. Инфекция SARS-CoV-2 (Severe Acute Respiratory Syndrome CoronaVirus 2, коронавирус 2, вызывающий тяжёлый острый респираторный дистресс-синдром) перешла в разряд сезонных простудных заболеваний, а статистические данные свидетельствуют о достаточно высоком уровне заболеваемости новой коронавирусной инфекцией наравне с гриппом, респираторно-синцитиальным вирусом и риновирусом [1, 2].

Влияние инфекционных процессов на работу сердечно-сосудистой системы (ССС) — известный факт, о чем свидетельствует ряд публикаций [3, 4]. Однако пандемия COVID-19 внесла коррективы в глубинное понимание происходящих патологических процессов. В рамках пандемии было зафиксировано появление новых паттернов на электрокардиограмме (ЭКГ) у пациентов без сопутствующих заболеваний CCC и вновь возникших острых состояний [5, 6]. Это свидетельствует о том, что такие изменения могут быть проявлением трансформации электрических процессов сердца под действи-

ем одного или нескольких патологических звеньев COVID-19. Согласно этому можно предположить, что изменение электрических процессов сердца на фоне заболевания является отражением тяжести инфекции [7]. Предполагается, что параметры, характеризующие изменения ЭКГ, могут быть включены в модель прогнозирования тяжести течения новой коронавирусной инфекции.

Для построения модели прогнозирования тяжести инфекции COVID-19 на основании данных ЭКГ представляется целесообразной оценка как стандартных параметров (ЧСС, угол α , длительность и амплитуда зубцов), так и новых переменных, таких как площадь зубцов, сегментов и комплексов ЭКГ, рассчитанных с помощью контурного анализа [8]. Контурный анализ представляет собой оценку площадей зубцов, сегментов и комплексов ЭКГ. Данная методика реализуется с помощью компьютерной постобработки данных программой GeoGebra Classic 6.0. После соотнесения миллиметровых сеток ЭКГ и программы проводится изолиния и перпендикуляры к ней для обозначения начала и конца зубцов и сегментов. Далее строятся неправильные фигуры для каждого параметра ЭКГ. Данный метод трудоёмок для внедрения его в клиническую практику. Однако производитель RScript

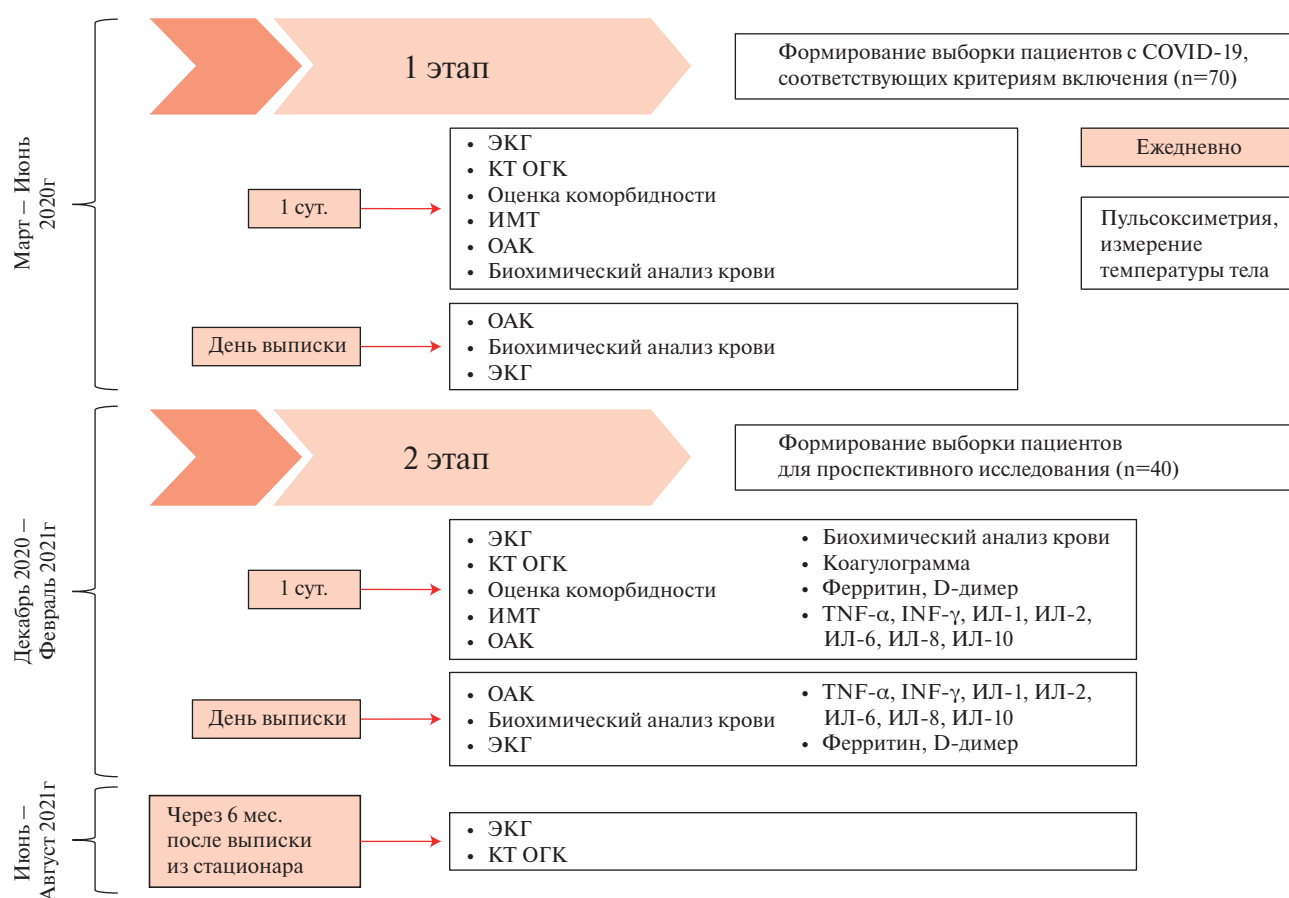


Рис. 1 Дизайн исследования.

Примечание: ИЛ — интерлейкин, ИМТ — индекс массы тела, КТ ОГК — компьютерная томография органов грудной клетки, ОАК — общий анализ крови, ЭКГ — электрокардиограмма, COVID-19 — COroNaVirus Disease 2019 (новая коронавирусная инфекция), INF-γ — interferon gamma (интерферон гамма), TNF-α — tumor necrosis factor-alpha (фактор некроза опухоли-альфа).

(ELI), MORTARA Instrument уже использует контурный анализ, но только как качественный метод оценки параметров ЭКГ. При доработке программного обеспечения отечественных или зарубежных электрокардиографов видится возможным в ближайшем будущем оценка данных параметров без дополнительного использования математических программ и возможности необременительного использования для медицинских работников.

Представляется необходимым изучение опыта пандемии COVID-19 и построение прогностических моделей для изучения влияния многофакторных процессов на функциональное состояние CCC [9–11]. Из литературных данных известно, что те или иные изменения ЭКГ на фоне заболевания COVID-19 фиксировались в 19,9–81,8% случаев. Такой большой разброс обусловлен методикой оценки изменений де- и реполяризации, а также характеристиками исследуемой группы пациентов. Среди стандартных параметров описаны изменения электрической оси сердца (ЭОС). Они наблюдались у 12–19,3% пациентов, в 2/3 случаев имело место отклонение ЭОС влево и в 1/3 — отклонение вправо [12, 13]. На ранних этапах пандемии в 11,1–

23% случаев наблюдалось увеличение интервалов QT и QTc. Также имеется множество работ, в которых показано уменьшение амплитуды QRS в начале заболевания и постепенное увеличение на 10–20 сут. после поступления в стационар [4, 14]. Много исследователей описывают уменьшение амплитуды зубца Т либо его инверсию [5, 11]. В отечественных работах описано уменьшение амплитуды зубца Т в грудных отведениях, а в работах зарубежных исследователей указано, что изменения имеются в отведениях II, III, aVF, V1–V4 [14, 15]. Исследований, описывающих площади элементов ЭКГ у пациентов, в доступной литературе на данный момент нет.

Генез данных изменений, вероятнее всего, обусловлен патогенетическими звеньями COVID-19, влияющими на состояние электрических функций сердца. К ним можно отнести процессы системного воспаления, состояния коагуляции, тканевого повреждения, по всей видимости, системно нарушающие функциональные свойства кардиомиоцитов и состояние межклеточных взаимодействий в миокарде.

Опыт применения контурного анализа ЭКГ может быть использован в случае возникновения

новых пандемий, а также при диагностике других заболеваний, связанных с прямым воздействием на кардиомиоциты, повышением их метаболических потребностей, системным воспалением [15–17].

Цель исследования — изучить прогностическую ценность показателей контурного анализа ЭКГ у пациентов с COVID-19.

Материал и методы

В исследование было включено 110 человек с диагнозом COVID-19. Исследование проходило в два этапа: на первом этапе оценивали параметры в рамках наблюдения и лечения в условиях стационара, на втором этапе дополнительно проводили проспективную оценку через 6 мес. после выписки из стационара. Пациенты находились на лечении в 1-ой клинике (терапии усовершенствования врачей) им. Н. С. Молчанова в период с мая по июнь 2020г и с декабря 2020г по февраль 2021г. Проспективную оценку параметров проводили в июне–августе 2021г. Дизайн проспективного наблюдательного исследования представлен на рисунке 1.

Тяжесть заболевания COVID-19 оценивалась согласно актуальным клиническим рекомендациям на момент поступления пациентов в стационар^{1,2}.

Критерии включения в исследование: установленный диагноз, подтверждённый наличием положительного анализа полимеразной цепной реакции мазков из носа или глотки у пациентов с клиническими проявлениями SARS-CoV-2; наличие минимум двух ЭКГ, записанных с помощью электрокардиографа RSCRIBE (ELI), MORTARA Instrument. Критерии невключения: сопутствующая манифестная патология CCC, наличие нарушений ритма и проводимости сердца, наличие декомпенсированных заболеваний.

В рамках стационарного обследования проводилась лабораторная диагностика: общий и биохимический анализ крови, коагулограмма, выполнены исследования уровня тропонина Т, прокальцитонина и интерлейкинов крови. Из инструментальных методов обследования кроме обязательной ЭКГ всем пациентам была проведена компьютерная томография.

Особенностью оценки параметров ЭКГ являлась её компьютерная постобработка, включающая построение площадей комплексов, зубцов и сегментов. Площадь оценивалась контурным методом при помощи использования математической программы GeoGebra Classic 6.0.

В качестве возможных предикторов тяжести COVID-19 изучались данные лабораторно-инструментальных исследований. Особое внимание уделялось характеристикам площадей зубца Р, комплекса QRS и зубца Т начальной ЭКГ (при поступлении больного в стационар).

Статистическая обработка данных выполнялась с помощью описательных методов статистического анализа и выявления достоверных различий в программном пакете Statistica 12 и с использованием программы StatTech v. 4.7.1 (разработчик — ООО "Статтех", Россия). Данные считались статистически значимыми при $p < 0,05$. При описании полученных данных использовались следующие обозначения. Для номинальных и порядковых данных указывались абсолютные значения с их процентной долей — n (%). Количественные показатели, имеющие нормальное распределение, представлены в виде среднего и стандартного отклонения ($M \pm SD$). При распределении, отличном от нормального, данные представлены в виде медианы (Me) и интерквартильного размаха ($Q25$; $Q75$).

Исследование одобрено независимым этическим комитетом при Военно-медицинской академии им. С. М. Кирова. Выписка из протокола № 297 от 17.12.2024.

Результаты

Клинико-анамнестическая характеристика пациентов исследуемых групп представлена в таблице 1. При разработке прогностической модели оценивались как стандартные показатели, исследуемые в рамках рутинной ЭКГ, так и параметры, оценённые с помощью контурного анализа ЭКГ. Данные представлены в таблице 2. Стоит отметить, что среди описанных параметров статистически значимо различались площади зубца Т в отведениях I, II и aVF. При отборе предикторов прогнозирования тяжести заболевания среди стандартных показателей ЭКГ статистически значимых связей обнаружено не было. Полученные регрессионные модели с точки зрения соответствия прогнозируемых значений, наблюдаемых при включении предикторов, по сравнению с моделью без предикторов, не были статистически значимыми. Характеристики связи стандартных показателей оценки ЭКГ с шансами выявления тяжелого течения COVID-19 представлены в таблице 3.

При включении в отбор предикторов показателей контурного анализа была разработана модель прогнозирования тяжелого течения COVID-19, построенная методом бинарной логистической регрессии. В модель вошли показатели: площадь комплекса QRS в отведении III, площадь комплекса QRS в отведении aVF и уровень

С-реактивного белка (СРБ) при поступлении в стационар. На рисунке 2 представлены результаты оценки отношения шансов (OR — odds ratio) с 95% доверительным интервалом (ДИ) для изучаемых предикторов. Наблюдаемая зависимость описывается уравнением:

$$P = 1 / (1 + e^{-z}) \times 100\%,$$

$z = 0,149 + 0,742X_{QRS\ III} - 1,489X_{QRS\ aVF} + 0,039X_{СРБ}$, где P — вероятность тяжелого течения COVID-19, z — значение вспомогательной функции, $X_{QRS\ III}$ — площадь комплекса QRS в отведении III, $X_{QRS\ aVF}$ — площадь комплекса QRS в отведении aVF, $X_{СРБ}$ — уровень СРБ при поступлении в стационар.

¹ Временные методические рекомендации "Профилактика, диагностика и лечение новой коронавирусной инфекции (COVID-19). Версия 7" (утв. Министерством здравоохранения РФ 3 июня 2020г) | ГАРАНТ [Электронный ресурс]. — URL: <https://base.garant.ru/74212510/?ysclid=lqyyim185ov262488521>.

² Временные методические рекомендации "Профилактика, диагностика и лечение новой коронавирусной инфекции (COVID-19). Версия 9" (утв. Министерством здравоохранения РФ 26 октября 2020г) | ГАРАНТ [Электронный ресурс]. — URL: <https://base.garant.ru/74810808/?ysclid=lqyyin5shxm429730800>.

Таблица 1

Клинико-анамнестическая характеристика пациентов исследуемых групп

Показатель	Всего, n=110	Тяжелое течение COVID-19		p
		Да, n=23	Нет, n=87	
Возраст, лет, Ме (Q25; Q75)	49,5 (39-60)	52 (46-61)	48 (37-59)	0,157
Женщины, n (%)	27 (24,5)	7 (30,4)	20 (69,6)	0,587
Мужчины, n (%)	83 (75,5)	16 (23)	67 (77)	0,587
ИМТ, кг/м ² , Ме (Q25; Q75)	29,08 (25,95; 33,17)	31,44 (28,95; 34,17)	29,05 (25,76; 32,88)	0,1
Количество сут. в стационаре, Ме (Q25; Q75)	15,0 (13; 22)	16 (14; 23)	15 (12; 18)	0,720
Сахарный диабет 2 типа, n (%)	15 (13,6)	4 (17,3)	11 (12,64)	0,74
Ожирение, n (%)	38 (34,54)	10 (43,5)	28 (32,1)	0,46
Гипертоническая болезнь, n (%)	42 (38,1)	13 (56,5)	29 (33,3)	0,157
Степень поражения легких по данным КТ ОГК, %, М±SD	44,38±16,32	52,39±13,83	40,58±16,18	0,01*
Лейкоциты, 10 ⁹ /л, Ме (Q25; Q75)	4,80 (3,88; 6,90)	4,76 (4,20; 6,15)	4,92 (3,88; 6,90)	0,651
Тромбоциты, 10 ⁹ /л, Ме (Q25; Q75)	200,06 (182,71; 217,41)	182,00 (150,00; 231,50)	194,00 (143,00; 254,00)	0,838
Лимфоциты, 10 ⁹ /л, Ме (Q25; Q75)	1,01 (0,80; 1,30)	0,80 (0,74; 1,00)	1,13 (0,90; 1,32)	0,045*
Моноциты, 10 ⁹ /л, Ме (Q25; Q75)	0,40 (0,80; 1,30)	0,29 (0,13; 0,42)	0,44 (0,27; 0,79)	0,123
СОЭ, мм/ч, М±SD	24,56±15,04	26,59±19,19	23,80±13,33	0,587
Фибриноген, г/л, Ме (Q25; Q75)	5,66 (4,51; 6,65)	6,55 (4,81; 7,32)	5,23 (4,45; 6,53)	0,084
D-димер, нг/мл, Ме (Q25; Q75)	353,00 (238,00; 510,50)	453,00 (393,00; 533,75)	265,50 (231,75; 428,50)	0,014*
СРБ, мг/л, Ме (Q25; Q75)	24,75 (7,72; 53,75)	72,60 (46,33; 96,58)	22,50 (5,87; 38,61)	0,001*
Ферритин, мкг/л, Ме (Q25; Q75)	399,00 (199,15; 698,05)	731,51 (217,80; 1074,10)	352,50 (183,70; 548,00)	0,026*
Прокальцитонин, нг/мл, Ме (Q25; Q75)	0,05 (0,05; 0,07)	0,06 (0,05; 0,09)	0,05 (0,05; 0,06)	0,033*
Тропонин Т, нг/л, Ме (Q25; Q75)	0,01 (0,01; 8,81)	7,46 (4,20; 9,90)	0,01 (0,01; 5,69)	0,083
K ⁺ , ммоль/л, Ме (Q25; Q75)	3,92 (3,70; 4,41)	3,93 (3,73; 4,41)	3,90 (3,59; 4,45)	0,628
Na ⁺ , ммоль/л, Ме (Q25; Q75)	140,85 (138,65; 143,80)	140,40 (138,60; 143,00)	141,00 (138,80; 144,00)	0,526
ФНО-α, пг/мл, Ме (Q25; Q75)	2,21 (1,72; 2,71)	1,94 (1,89; 2,08)	2,15 (1,58; 2,86)	0,855
ИЛ-1, пг/мл, М±SD	2,04±1,71	2,62±1,91	1,69±1,61	0,350
ИЛ-6, пг/мл, М±SD	9,07±7,68	11,12±7,42	8,38±7,95	0,555
ИЛ-10, пг/мл, М±SD	6,43±3,71	5,53±1,77	6,73±4,18	0,591

Примечание: * — статистическая значимость $p \leq 0,05$. ИМТ — индекс массы тела, ИЛ — интерлейкин, КТ ОГК — компьютерная томография органов грудной клетки, СРБ — С-реактивный белок, СОЭ — скорость оседания эритроцитов, ФНО-α — фактор некроза опухоли-α, COVID-19 — COroNaVIrus Disease 2019 (новая коронавирусная инфекция), Ме (Q25; Q75) — медиана (интерквартильный размах), М±SD — среднее±стандартное отклонение.

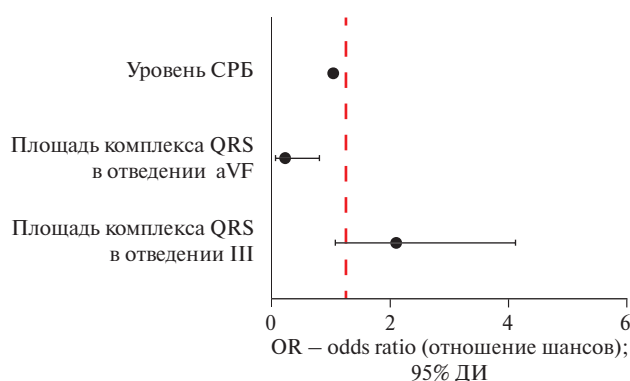


Рис. 2 Оценка OR с 95% ДИ для изучаемых предикторов.

Примечание: ДИ — доверительный интервал, СРБ — С-реактивный белок, OR — odds ratio (отношение шансов).

Полученная регрессионная модель по сравнению с моделью без предикторов является статистически значимой ($p < 0,001$). Псевдо- R^2 Найджелкера составил 58,4%.

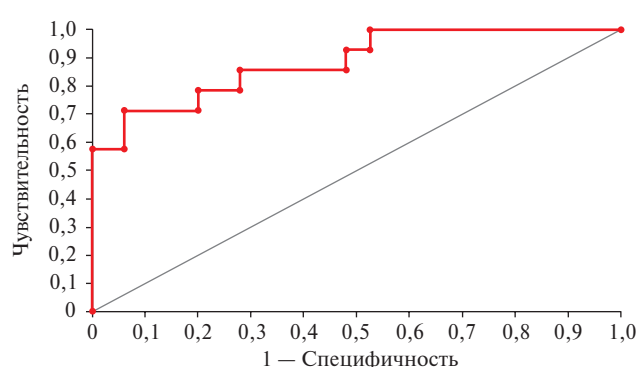


Рис. 3 ROC-кривая проверки качества модели.

Интересно, что при увеличении площади комплекса QRS в III стандартном отведении на 1 мм² шансы тяжелого течения COVID-19 увеличивались в 2,1 раза, а при увеличении площади комплекса

Таблица 2

Динамическая оценка параметров ЭКГ

Показатель	В начале заболевания	При выписке из стационара	Через 6 мес. после выписки из стационара	P
ЧСС, уд./мин, Ме (Q25; Q75)	72,0 (65,0; 82,0)	68,0 (62,0; 76,0)	66,0 (63,0; 72,0)	0,221
Угол α (комплекс QRS), °, М±SD	36,06±34,73	35,52±31,72	27,0±30,8	0,095
Продолжительность интервала QT, мс, М±SD	381,00±31,96	384,31±30,77	385,9±22,9	0,501
Продолжительность интервала QTc, мс, М±SD	403,89±21,29	405,18±19,68	402,2±19,7	0,741
Площадь комплекса QRS в отведении I, мм ² , Ме (Q25; Q75)	4,98 (3,46; 6,67)	4,72 (3,52; 6,79)	5,53 (3,56; 7,5)	0,229
Площадь комплекса QRS в отведении II, мм ² , М±SD	5,71±2,41	6,10±2,32	5,9±1,85	0,388
Площадь комплекса QRS в отведении III, мм ² , Ме (Q25; Q75)	3,69 (2,89; 4,86)	3,59 (2,75; 4,69)	3,6 (2,82; 4,57)	0,97
Площадь комплекса QRS в отведении aVF, мм ² , Ме (Q25; Q75)	3,22 (2,64; 4,75)	3,92 (2,27; 4,68)	3,98 (2,25; 4,82)	0,085
Площадь зубца Т в отведении I, мм ² , Ме (Q25; Q75)	5,15 (3,16; 7,21)	5,40 (3,21; 6,95)	6,7 (4,5; 8,9)	0,001*
Площадь зубца Т в отведении II, мм ² , Ме (Q25; Q75)	4,23 (3,15; 6,24)	4,40 (2,85; 7,04)	6,07 (3,65; 8,47)	0,002*
Площадь зубца Т в отведении III, мм ² , Ме (Q25; Q75)	0,00 (-1,80; 1,47)	0,41 (-1,68; 1,72)	0,18 (-1,7; 1,62)	0,411
Площадь зубца Т в отведении aVF, мм ² , М±SD	2,29±2,59	2,87±2,69	3,54±2,06	0,025*

Примечание: * — статистическая значимость $p \leq 0,05$. ЧСС — частота сердечных сокращений, ЭКГ — электрокардиограмма, Ме (Q25; Q75) — медиана (интерквартильный размах), М±SD — среднее±стандартное отклонение.

Таблица 3

Характеристики связи стандартных показателей оценки ЭКГ с шансами выявления тяжелого течения COVID-19

Показатель	Однофакторный анализ		Многофакторный анализ	
	COR; 95% ДИ	p	AOR; 95% ДИ	p
ЧСС, уд./мин	1,004; 0,952-1,059	0,886	1,327; 0,958-1,837	0,088
Угол α (зубец Р), °	1,006; 0,969-1,046	0,747	0,992; 0,948-1,038	0,730
Угол α (комплекс QRS), °	1,008; 0,987-1,029	0,457	1,018; 0,989-1,049	0,222
Угол α (зубец Т), °	0,990; 0,960-1,020	0,500	0,994; 0,963-1,025	0,687
Продолжительность интервала QT, мс	0,998; 0,975-1,020	0,846	1,191; 0,965-1,471	0,104

Примечание: ДИ — доверительный интервал, ЭКГ — электрокардиограмма, ЧСС — частота сердечных сокращений, AOR — adjusted odds ratio (скорректированное отношение шансов), COR — crude odds ratio (нескорректированное отношение шансов), COVID-19 — COroNaVIrus Disease 2019 (новая коронавирусная инфекция).

Таблица 4

Характеристики связи предикторов модели с шансами выявления тяжелого течения COVID-19

Показатель	Однофакторный анализ		Многофакторный анализ	
	COR; 95% ДИ	p	AOR; 95% ДИ	p
Площадь комплекса QRS в отведении III, мм ²	1,251; 0,862-1,817	0,239	2,101; 1,075-4,108	0,030
Площадь комплекса QRS в отведении aVF, мм ²	0,694; 0,406-1,186	0,182	0,226; 0,063-0,803	0,022
Уровень С-реактивного белка, мг/л	1,027; 1,002-1,052	0,033	1,040; 1,005-1,076	0,025

Примечание: ДИ — доверительный интервал, AOR — adjusted odds ratio (скорректированное отношение шансов), COR — crude odds ratio (нескорректированное отношение шансов), COVID-19 — COroNaVIrus Disease 2019 (новая коронавирусная инфекция).

QRS в отведении aVF на 1 мм², наоборот, уменьшались в 4,4 раза. Несмотря на большое клиническое значение такого маркера, как СРБ, повышение его уровня в начале заболевания на 1 мг/л приводило к увеличению шансов тяжелого течения всего в 1,04 раза (таблица 4).

Для оценки качества полученной модели была построена ROC-кривая (рисунок 3). Площадь под кривой (AUC, Area under curve) равна 0,88 (95% ДИ: 0,76-1,0), что свидетельствует о хорошем качестве модели. Исходя из представленной ROC-кривой,

оптимальной точке отсечения соответствует показатель чувствительности 71,4% и показатель специфичности 94,7%. При оценке таблицы координат ROC-кривой значение точки отсечения было равно 0,595. Тяжелое течение COVID-19 прогнозировалось при значении Р выше данной величины или равном ей.

Так, значение Ме (Q25; Q75) площадей комплекса QRS в отведении III составило 3,78 (3,35; 4,89) мм² у пациентов с нетяжелым течением и 3,67 (2,21; 4,87) мм² — у пациентов с тяжелым ($p > 0,05$).

Значение Me площадей комплекса QRS в отведении aVF было равно 4,17 (2,72; 5,12) и 3,08 (2,64; 3,58) мм², соответственно, $p < 0,05$. Из описанного выше логично предположить, что уменьшение площади комплекса QRS в отведении aVF может служить предиктором тяжелого течения заболевания.

Обсуждение

В настоящем исследовании представлена модель оценки тяжести заболевания новой коронавирусной инфекцией без использования высокотехнологичного оборудования. Полученные данные противоречивы, т.к. при уменьшении площади комплекса QRS в отведении aVF риск тяжелого течения был выше, а при уменьшении площади комплекса QRS в отведении III — ниже. Эти результаты, вероятно, можно объяснить следующим. В начале заболевания COVID-19 площади комплексов QRS и зубцов T в отведениях I, II, aVF были меньше, чем на остальных этапах исследования (таблица 2). Данная зависимость была более выражена у тяжелобольных пациентов. Площадь комплекса QRS в отведении aVF у пациентов с тяжелым течением была меньше, чем у пациентов с легким течением инфекции. Однако при отклонении ЭОС вправо площадь комплекса QRS в отведении III увеличивалась, а морфологическая основа, которая обуславливала данное отклонение, способствовала утяжелению COVID-19. В опубликованных ранее работах описано, что увеличение угла α комплекса QRS $>90^\circ$ является независимым фактором неблагоприятного течения COVID-19 [12, 14, 18]. Подтвердить данную гипотезу на исследуемой группе не представляется возможным, ввиду отсутствия статистически достаточной подгруппы пациентов с отклонением ЭОС вправо при поступлении в стационар.

В исследовании Братиловой Е. С. и др. (2024) описывается построение модели оценки тяжести COVID-19 с помощью следующих предикторов: нарушение процессов реполяризации, угол α , уровень лейкоцитов и креатинфосфокиназы МВ [14].

Предполагалось, что нарушение процессов реполяризации, оцененное количественно, будет одним из ключевых факторов построения модели. Это заключение было основано на том, что на протяжении полугодового наблюдения наиболее динамично изменялись именно площади зубца T (таблица 2). Ранее были опубликованы результаты

работы³, показавшие корреляционные взаимосвязи данных изменений с маркерами патогенетических звеньев COVID-19. Однако в настоящем исследовании этих зависимостей получить не удалось.

В литературе отсутствуют случаи описания оценки параметров ЭКГ с помощью контурного анализа у пациентов с COVID-19. Оценить клиническую значимость данного метода только предстоит. Однако уже сейчас отмечается хорошая предиктивная способность параметров контурного анализа в сравнении со стандартными параметрами ЭКГ.

Ограничения исследования. Малая выборка пациентов с тяжелым течением COVID-19. Размер выборки был ограничен спецификой параметров для включения в исследование и объемом работы при проведении контурного анализа ЭКГ. Полученные данные требуют подтверждения на независимой выборке. Необходимым условием, при проведении контурного анализа ЭКГ является использование специальной математической программы для расчёта значений площадей.

Заключение

Для оценки динамического изменения ЭКГ целесообразно наряду с качественным, полуколичественным и количественным методами оценки параметров использовать новую технологию — контурный анализ. Результаты исследования показали, что именно показатели площади комплекса QRS ЭКГ наиболее значимо различались при разной тяжести течения COVID-19. При включении в состав предикторов параметров контурного анализа, таких как площади комплекса QRS в отведениях III и aVF, существенно повышалась точность модели. При оценке предиктивного потенциала других факторов, в т.ч. ЧСС, параметров ЭОС, продолжительности QT и QTc, качество модели не улучшалось. Таким образом, параметры контурного анализа ЭКГ обладают более высокой диагностической чувствительностью и специфичностью в отношении прогнозирования тяжести заболевания новой коронавирусной инфекции.

Отношения и деятельность: все авторы заявляют об отсутствии потенциального конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

³ Ряднова Е. О., Салухов В. В., Кицышин В. П. Корреляция изменений электрокардиографических параметров с лабораторными данными у пациентов с COVID-19. Российский кардиологический журнал. 2022;27-S7:45-46.

Литература/References

1. Townsend JP, Hassler HB, Lamb AD, et al. Seasonality of endemic COVID-19. *mBio* 2023; 14:e0142623. doi:10.1128/mbio.01426-23.
2. Marchenko MD, Bezchastnova GS, Novikova YR. Assessment of the epidemiological situation and incidence of COVID-19 for the spring quarter of 2024 using the example of the regional perinatal center of the city of Vladivostok. *Symbol of Science*. 2025;103-7. (In Russ.)

Марченко М. Д., Безчастнова Г. С., Новикова Ю. Р. Оценка эпидемиологической обстановки и заболеваемости COVID-19 за весенний квартал 2024 года на примере краевого перинатального центра города Владивостока. *Символ Науки*. 2025;103-7.

3. Kutelev GG, Mirzoev NT, Ivanov VV, et al. Clinical case of the Novel Coronavirus Infection with the development of cardiovascular

- complications against the background of comorbid pathology. DoctorRu. 2022;21(6):25-8. (In Russ.) Кутелев Г.Г., Мирзоев Н.Т., Иванов В.В. и др. Клиническое наблюдение новой коронавирусной инфекции с развитием сердечно-сосудистых осложнений на фоне коморбидной патологии. ДокторПу. 2022;21(6):25-8. doi:10.31550/1727-2378-2022-21-6-25-28.
4. Mirzoev NT, Kutelev GG, Ivanov VV, et al. Changes of the electrical axis of the heart and dyslipidemia as possible markers of cardiovascular damage in patients after COVID-19. DoctorRu. 2023;22(2):15-20. (In Russ.) Мирзоев Н.Т., Кутелев Г.Г., Иванов В.В. и др. Изменения электрической оси сердца и нарушения липидного обмена как возможные маркеры поражения сердечно-сосудистой системы у пациентов, перенесших COVID-19. ДокторПу. 2023;22(2):15-20. doi:10.31550/1727-2378-2023-22-2-15-20.
5. Ryabykina GV. ECG Changes in COVID-19 Infection. Kardiologiya. 2020;60(8):16-22. (In Russ.) Рябыкина Г.В. Изменения электрокардиограммы при инфекции COVID-19. Кардиология. 2020; 60(8):16-22. doi:10.18087/cardio.2020.8.n1192.
6. Sugraliyev AB. Cardiac Involvement in COVID-19. Kardiologiya. 2021;61(4):15-23. (In Russ.) Сугралиев А.Б. Поражения сердца у больных COVID-19. Кардиология. 2021;61(4):15-23. doi:10.18087/cardio.2021.4.n1408.
7. Podzolkov VI, Ishina TI, Medvedev ID, et al. Pulmonary hypertension and right ventricular dysfunction as predictors of severe coronavirus infection. Russian Journal of Cardiology. 2023;28(7): 5481. (In Russ.) Подзолков В.И., Ишина Т.И., Медведев И.Д. и др. Легочная гипертензия и дисфункция правого желудочка — предикторы тяжелого течения коронавирусной инфекции. Российский кардиологический журнал. 2023;28(7):5481. doi:10.15829/1560-4071-2023-5481.
8. Haarmark C, Graff C, Andersen MP, et al. Reference values of electrocardiogram repolarization variables in a healthy population. J Electrocardiol. 2010;43:31-9. doi:10.1016/j.jelectrocard. 2009.08.001.
9. Druzhilov MA, Kuznetsova TY. Epicardial adiposity as a predictor of COVID-19 severity in overweight and obese patients. Russian Journal of Cardiology. 2022;27(3):4850. (In Russ.) Дружилов М.А., Кузнецова Т.Ю. Эпикардальное висцеральное ожирение как предиктор тяжести течения COVID-19 у пациентов с избыточным весом и ожирением. Российский Кардиологический Журнал 2022;27(3):4850. doi:10.15829/1560-4071-2022-4850.
10. Elias P, Poterucha TJ, Jain SS, et al. The Prognostic Value of Electrocardiogram at Presentation to Emergency Department in Patients With COVID-19. Mayo Clin Proc. 2020;95:2099-109. doi:10.1016/j.mayocp.2020.07.028.
11. Sivri F, Özdemir B, Çelik MM, et al. Prognostic Value of T-wave Positivity in Lead aVR in COVID-19 Pneumonia. Rev Assoc Medica Bras. 19922022;68:882-7. doi:10.1590/1806-9282.20211096.
12. Romero J, Gabr M, Diaz JC, et al. Electrocardiographic Features of Patients with COVID-19: An Updated Review. Card Electrophysiol Clin. 2022;14:63-70. doi:10.1016/j.ccep.2021.10.006.
13. Long B, Brady WJ, Bridwell RE, et al. Electrocardiographic manifestations of COVID-19. Am J Emerg Med 2021;41:96-103. doi:10.1016/j.ajem.2020.12.060.
14. Bratilova ES, Kachnov VA, Tyrenko VV. Electrocardiographic sings of cardiovascular system dysfunction in the context of various courses of COVID-19 in young and middle ages individuals. Herald of the Northwestern state medical university n.a. I.I. Mechnikov 2024;16(1):41-50. (In Russ.) Братилова Е.С., Качнов В.А., Тыренко В.В. Электрокардиографические признаки нарушения деятельности сердечно-сосудистой системы на фоне разных вариантов течения COVID-19 у лиц молодого и среднего возраста. Вестник Северо-Западного государственного медицинского университета им. И.И. Мечникова. 2024;16(1): 41-50. doi:10.17816/mechnikov625789.
15. Barman HA, Atici A, Alici G, et al. The effect of the severity COVID-19 infection on electrocardiography. Am J Emerg Med. 2021;46:317-22. doi:10.1016/j.ajem.2020.10.005.
16. Berns SA, Leontyeva MS, Tavlyeva EV, et al. Features of the Course of Arterial Hypertension in the Era of the COVID-19 Pandemic: Common Pathogenetic Links Between Hypertension and SARS-CoV-2. Kardiologiya. 2024;64(4):72-8. (In Russ.) Бернс С.А., Леонтьева М.С., Тавлюева Е.В. и др. Особенности артериальной гипертензии в эру пандемии COVID-19: общность патогенетических звеньев АГ и SARS-CoV-2. Кардиология. 2024; 64(4):72-8. doi:10.18087/cardio.2024.4.n2525.
17. Alareedh M, Nafakhi H, Shaghee F, et al. Electrocardiographic markers of increased risk of sudden cardiac death in patients with COVID-19 pneumonia. Ann Noninvasive Electrocardiol J Int Soc Holter Noninvasive Electrocardiol Inc. 2021;26:e12824. doi:10.1111/anec.12824.
18. Koc S, Bozkaya VO, Yikilgan AB. Electrocardiographic QRS axis shift, rotation and COVID-19. Niger J Clin Pract. 2022;25:415-24. doi:10.4103/njcp.njcp_9_21.