



ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА У БОЛЬНЫХ С НОВОЙ КОРОНАВИРУСНОЙ ИНФЕКЦИЕЙ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТЕЧЕНИЯ ЗАБОЛЕВАНИЯ В УСЛОВИЯХ ИНФЕКЦИОННОГО СТАЦИОНАРА

Т.Л. Каронова¹, И.Н. Корсаков¹, А.А. Михайлова¹, Д.И. Лагутина¹, А.Т. Черникова¹, М.А. Вашукова^{1,2}, М.В. Смольникова¹, Д.А. Гусев^{1,2}, А.О. Конради¹, Е.В. Шляхто¹

¹Национальный медицинский исследовательский центр им. В.А. Алмазова, Санкт-Петербург, Россия

²Клиническая инфекционная больница им. С.П. Боткина, Санкт-Петербург, Россия

An artificial intelligence approach for prognosis of COVID-19 course in hospitalized patients

T.L. Karonova¹, I.N. Korsakov¹, A.A. Mikhailova¹, D.I. Lagutina¹, A.T. Chernikova¹, M.A. Washukova^{1,2}, M.A. Smolnikova¹, D.A. Gusev^{1,2}, A.O. Konradi¹, E.V. Shlyakhto¹

¹ National Medical Research Centre named after V.A. Almazov, Saint-Petersburg, Russia

² Clinical Infectious Hospital named after S.P. Botkin, Saint-Petersburg, Russia

Резюме

Цель: создать алгоритм и разработать калькулятор расчета риска летального исхода у больных COVID-19 со средней и тяжелой степенью, госпитализированных в инфекционный стационар.

Материалы и методы: на основании данных пациентов с подтвержденным диагнозом COVID-19, госпитализированных в Национальный медицинский исследовательский центр им. В.А. Алмазова в период с 05.2020 г. по 08.2021 г. (n=4071), создан калькулятор прогнозирования риска летального исхода с применением технологии машинного обучения.

Результаты: разработанный алгоритм, включающий 11 значимых признаков, был применен для расчета риска летального исхода в Клинической инфекционной больнице им. С.П. Боткина в период с 05.09.2022 г. по 01.03.2023 г. Учитывая, что факторы «Мочевина» и «Общий белок» не входили в стандарт обследования госпитализированных больных, в качестве новых доступных для большинства инфекционных стационаров признаков с применением машинного обучения (n=2876) были выбраны факторы «Пол» и «ИМТ». Такая модификация позволила адаптировать настоящий алгоритм к применению в клинической практике, сохранив высокую чувствительность и специфичность модели.

Заключение: данный калькулятор позволяет с высокой долей вероятности прогнозировать исход госпитализации, в том числе при различных штаммах вируса SARS-CoV-2. Применение такого алгоритма поддержки принятия клинических решений может рассматриваться как вспомогательный инструмент стратификации риска и дальнейшей корректной маршрутизации пациента в условиях избыточной нагрузки на систему здравоохранения.

Ключевые слова: COVID-19, машинное обучение, математическая модель, система поддержки принятия решений, SARS-CoV-2.

Abstract

Aim. To create algorithm and risk calculator for predicting the lethal outcome in patients with COVID-19.

Materials and methods. Based on machine learning approach mortality risk calculator was developed in Almazov National Medical Research Centre using data of the hospitalised patients with an established diagnosis of COVID-19 (n=4071).

Results. This mathematical model, which includes 11 significant features, has been proposed for estimation of fatal outcomes in the Clinical Infectious Hospital named after S.P. Botkin. Some key features were not assessed in most hospitals according to accepted standards of care for COVID-19. So systematic analysis of factors affecting the course of disease in patients (n=2876) were conducted and «urea» and «total protein» were replaced with «sex» and «BMI». Modified algorithm demonstrated high sensitivity and specificity. *Conclusion.* This calculator is able to predict hospitalisation outcome with high accuracy in patients infected with different strains of SARS-CoV-2. This decision support system may be used for risk stratification and following correct patients routing.

Key words: COVID-19, machine learning, mathematical model, decision support system, SARS-CoV-2.

Введение

Пандемия COVID-19 стала значимым фактором, негативно влияющим на демографическую ситуацию в стране. С момента начала пандемии по настоящее время, согласно официальным данным, зарегистрировано более 22 млн случаев заражения вирусом SARS-CoV-2 [1]. COVID-19 характеризовался не только быстрыми темпами распространения, но и высокой летальностью. Так, при оценке данных Росстата на начало пандемии, было выявлено, что избыточная смертность составила почти 15%, при этом доля смертности, связанной с COVID-19, была равна 2,7%. Несмотря на то, что показатель избыточной смертности к концу 2022 г. снизился в 5 раз, вопрос организации медицинской помощи для больных новой коронавирусной инфекцией остается актуальным [2, 3]. Внедрение медицинских изделий и технологий представляется как один из ключевых факторов устойчивости системы здравоохранения по данным Haldane V. et al., обобщивших опыт 28 стран в период пандемии COVID-19 в ранее опубликованном систематическом обзоре [4].

Важным примером технологий, в разработке которых применяются методы машинного обучения, являются прогностические шкалы и калькуляторы. С момента начала пандемии было разработано множество подобных инструментов, предназначенных для использования как пациентами, так и медицинскими работниками.

В условиях социальной изоляции, избытка противоречивой информации и низкой доступности медицинской помощи калькуляторы позволяли пациентам объективную оценку риска и последствий заражения новой коронавирусной инфекцией. Таким калькулятором стал Fight COVID MKE COVID Risk Assessment Calculator [5].

Помимо этого, можно найти ресурсы, которые не только содержат полезную и научно обоснованную информацию о профилактике COVID-19, но и наглядно показывают важность применения средств индивидуальной защиты во время пандемии для снижения темпов ее распространения. Например, демонстрация данных, полученных путем расчета вероятности заражения новых лиц при отказе от использования масок позволяет в наиболее доступной форме донести до пациентов важность их постоянного ношения в общественных местах в условиях пандемии [6].

Отдельно можно рассмотреть инструменты, разработанные для использования медицинскими работниками. Так, для оптимизации работы врачей первичного звена и определения вероятности ухудшения течения заболевания у амбулаторных пациентов была предложена модель и созданный на ее основе калькулятор расчета ри-

ска госпитализации больных COVID-19 (США). Jehi L. et al. выделили основные факторы риска, вносящие вклад в ухудшение течения заболевания, к которым относились пол, возраст, расовая и этническая принадлежность пациентов, а также коморбидность, факт курения и наличие симптомов, вызванных новой коронавирусной инфекцией [7]. Однако калькуляторы такого типа не позволяют оценить прогноз течения заболевания и риск летального исхода у больных со среднетяжелой и тяжелой формой COVID-19, что уменьшает возможность их использования в работе стационаров. В этой связи для снижения нагрузки на систему здравоохранения на стационарном уровне было предложено использование известных шкал, включая NEWS (National Early Warning Score) [8, 9] и NEWS2 (National Early Warning Score 2) [10] для оценки тяжести течения заболевания и оптимизации маршрутизации пациентов. Важно отметить, что данные шкалы не были разработаны для оценки состояния больных с новой коронавирусной инфекцией, а также не учитывали лабораторные показатели, отражающие как поражение органов и систем, так и развитие цитокинового шторма при тяжелом течении COVID-19.

Таким образом, отсутствие специализированных комплексных валидированных шкал для оценки тяжести течения COVID-19 послужило предпосылкой для создания алгоритма и калькулятора расчета риска летального исхода по результатам машинного обучения на основании данных больных COVID-19, госпитализированных в инфекционный стационар Национального медицинского исследовательского центра (НМИЦ) им. В.А. Алмазова.

Цель исследования – создать алгоритм и разработать калькулятор расчета риска летального исхода у больных COVID-19 со средней и тяжелой степенью, госпитализированных в инфекционный стационар.

Материалы и методы исследования

В первичный анализ были включены данные пациентов с подтвержденным методом RT-PCR диагнозом COVID-19, госпитализированных в НМИЦ им. В.А. Алмазова в период с 13 мая 2020 г. по конец августа 2021 г. (n = 4071). У всех пациентов было подписано информированное согласие на обработку персональных данных в рамках госпитализации. Все данные о пациентах хранились в соответствии с Федеральным законом «О персональных данных» и были автоматически извлечены из электронных медицинских карт.

Для создания алгоритма машинного обучения и расчета риска летального исхода оценивались значения клинико-лабораторных показателей,

полученные в течение первых 72 ч наблюдения за пациентами после поступления в инфекционный стационар. В качестве целевой переменной, которая использована при обучении модели, применено понятие «Исход заболевания». В разработанный алгоритм вошли 11 наиболее значимых признаков (рис. 1), отобранных посредством алгоритмов Boruta и Portable Instant Mining Platform (PIMP). Модель машинного обучения создана с использованием библиотеки PyCaret. С учетом проведенных тестов наиболее точным алгоритмом для задачи прогнозирования летального исхода при COVID-19 выбран Random Forest Classifier.

Подробная методология и результаты внутреннего тестирования алгоритма были изложены в ранее опубликованной работе [11].

Для разработки модифицированного алгоритма были повторно проанализированы данные 2876 пациентов НМИЦ им. В.А. Алмазова, включая больных Клинической инфекционной больницы им. С.П. Боткина. Из включенных в исследование больных 1515 (52,4%) составляли женщины и 1375 (47,6%) мужчины. У 1407 (48,7%) человек анамнез был отягощен сердечно-сосудистыми заболеваниями. У 170 (5,9%) больных, вошедших в анализ, госпитализация завершилась летальным исходом. Лишь 124 человека до момента госпитализации были вакцинированы. Характеристика больных представлена в таблице.

В дальнейшем разработанный алгоритм и калькулятор были применены для расчета риска летального исхода в Клинической инфекционной больнице им. С.П. Боткина.

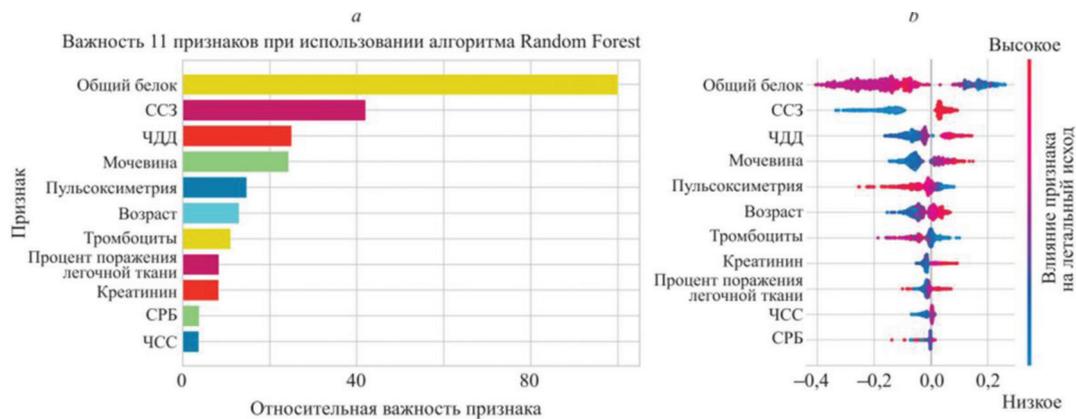


Рис. 1. Наиболее значимые признаки, вошедшие в алгоритм. Важность признаков (а), библиотека SHAP: влияние признаков на результат модели (б). ССЗ – сердечно-сосудистые заболевания; ЧДД – частота дыхательных движений; СРБ – С-реактивный белок; ЧСС – частота сердечных сокращений

Таблица

Характеристика больных, включенных в разработанный алгоритм

Параметр	Медиана	25 перцентиль	75 перцентиль
Возраст, лет	63,0	53,0	72,0
ИМТ, кг/м ²	28,69	25,47	32,37
САД, мм рт. ст.	125,0	115,0	133,0
ДАД, мм рт. ст.	77,0	70,0	81,0
Пульсоксиметрия, %	97,0	96,0	98,0
Температура тела, °С	36,8	36,6	36,8
ЧДД, 1/мин	19,0	18,0	20,0
ЧСС, 1/мин	75,0	67,0	84,0
Тромбоциты, 10 ⁹ 1/л	189,0	146,25	248,0
Креатинин, мкмоль/л	82,84	69,0	100,0
Мочевина, ммоль/л	5,3	4,1	7,1425
Общий белок, г/л	68,74	68,74	68,75
СРБ, мг/л	73,67	38,13	73,67
Процент поражения легочной ткани, %	35,0	20,0	48,0

ИМТ – индекс массы тела; САД – систолическое артериальное давление; ДАД – диастолическое артериальное давление; ЧДД – частота дыхательных движений; ЧСС – частота сердечных сокращений; СРБ – С-реактивный белок.

Результаты исследования

Для упрощения клинической интерпретации риска исхода была предложена категорийная модель: значение от 0 до 0,2 соответствует низкому риску, от 0,2 до 0,5 характеризует средний риск, а от 0,5 до 1,0 – высокий (рис. 2).

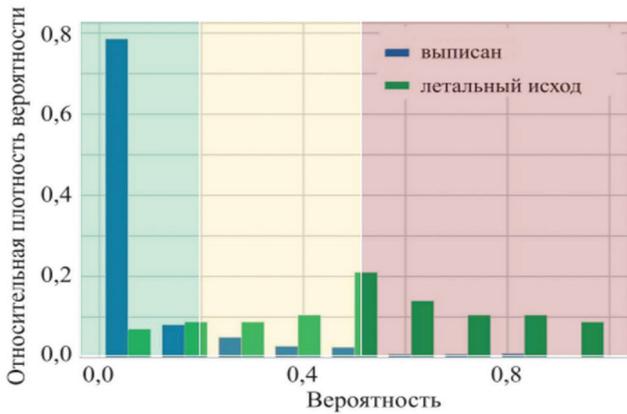


Рис. 2. Распределение вероятности летального исхода (нормированное)

Разработанный алгоритм показал высокую чувствительность (0,816) и специфичность (0,865), значения которых превосходили широко используемую шкалу оценки NEWS2. Пример внутреннего тестирования калькулятора на больных, проходивших лечение в НМИЦ им. В.А. Алмазова, с различными вариантами исходов приведен на рисунке 3.

Принимая во внимание известный вклад пола пациента и значения ИМТ в степени тяжести COVID-19 и риски развития летального исхода, данные показатели были выбраны в качестве новых факторов, доступных для большинства инфекционных стационаров. Внешнее тестирование адаптированной версии калькулятора выполнено в Клинической инфекционной больни-

це им. С.П. Боткина в период с 05.09.2022 г. по 01.03.2023 г. Необходимо отметить, что все госпитализированные в этот период больные имели COVID-19, вызванный омикрон-вариантами SARS-CoV-2, в то время как основная версия калькулятора создавалась на основании данных, полученных в НМИЦ им. В.А. Алмазова, когда основным являлся уханьский штамм SARS-CoV-2 [12].

Для анализа и отбора вводных данных был также применен алгоритм Борута [13]. Для каждого признака были оценены важность для прогнозирования течения заболевания (рис. 4а) и его влияние на тяжесть течения COVID-19 (рис. 4б).

На этапе обучения была использована библиотека PYCARET, которая позволила проверить эффективность применения сразу 15 алгоритмов на анализируемых данных.

Так же, как и в случае с исходной версией калькулятора, алгоритм Random Forest Classifier показал более высокие значения чувствительности (0,613) и специфичности (0,847) по сравнению с другими используемыми алгоритмами.

Обсуждение

Оценка степени тяжести состояния и исходов у больных COVID-19 остается до конца не решенной проблемой, что в ряде случаев может приводить к принятию неверных клинических решений, и диктует необходимость разработки и внедрения вспомогательных инструментов прогнозирования течения COVID-19.

В настоящей статье описан калькулятор, разработанный в период пандемии COVID-19 на большом массиве клиничко-лабораторно-инструментальных данных пациентов (n = 4071), госпитализированных в НМИЦ им. В.А. Алмазова. Особенностью данного калькулятора является комплексная оценка факторов, влияющих на исход заболевания, что обеспечивает высокую чувствительность и специфичность данной модели. В ходе

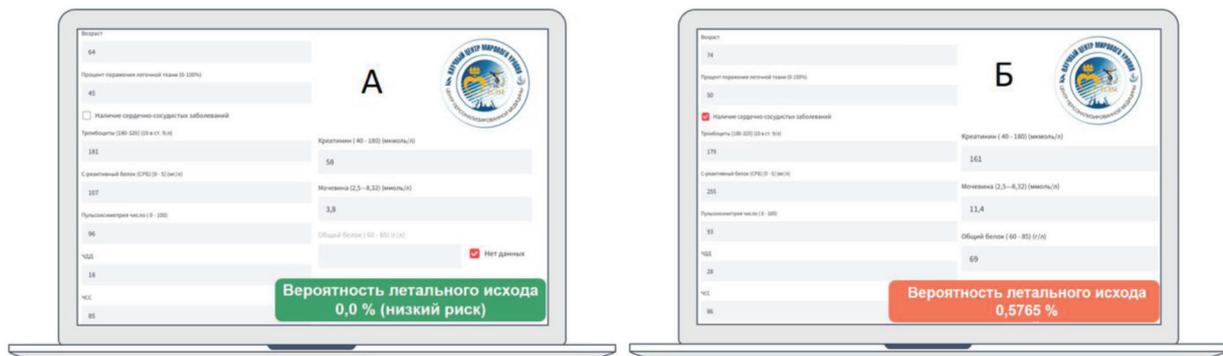


Рис. 3. Пример внутреннего тестирования калькулятора на больных, проходивших лечение в НМИЦ им. В.А. Алмазова: А – пациент с низким риском летального исхода (0,0%), проходивший лечение в инфекционном отделении, выписан на амбулаторный этап; Б – пациент с высоким риском летального исхода (0, 5765%), проходивший лечение в условиях ОРИТ, выписан на амбулаторный этап

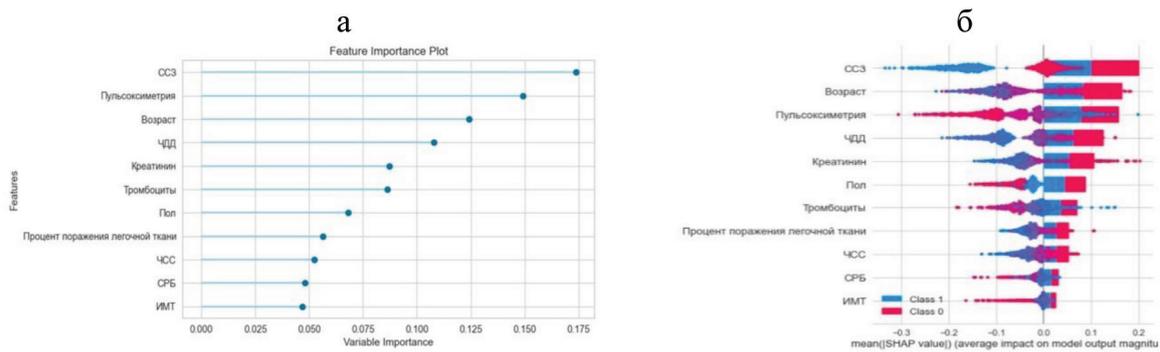


Рис. 4. Оценка важности каждого признака для прогнозирования. Важность признаков (а) и влияние признаков на исход COVID-19 (б); ССЗ — сердечно-сосудистые заболевания; ЧДД — частота дыхательных движений; СРБ — С-реактивный белок; ЧСС — частота сердечных сокращений; ИМТ — индекс массы тела

анализа при помощи искусственного интеллекта были отобраны 11 наиболее значимых факторов по мнению алгоритма, влияющих на выживаемость пациентов. При внешней валидации оказалось, что некоторые параметры, выбранные алгоритмом, не входят в стандарт обследования госпитализированных больных, в связи с чем алгоритм был адаптирован, и в качестве новых доступных для большинства инфекционных стационаров факторов были предложены такие параметры, как «Пол» и «ИМТ». Такая модификация позволила адаптировать настоящий алгоритм к применению в клинической практике, сохранив высокую чувствительность и специфичность модели.

Говоря о доступных инструментах для прогнозирования летального исхода у пациентов с COVID-19, важно отметить шкалу Quick COVID-19 Severity Index Score (q-COVID), разработанную в Великобритании [14]. Для расчета риска летального исхода в данный алгоритм были включены сопутствующие заболевания и степень их компенсации, иммуносупрессивная терапия в анамнезе, а также ряд социальных факторов. Данный калькулятор позволяет строить прогноз в первые 24 ч заболевания и по эффективности сопоставим со шкалой NEWS2. Чувствительность при определении необходимости перевода на отделение интенсивной терапии составила 78,1% и 75,9%, специфичность 56,3% и 61,8% для шкал NEWS2 и q-COVID соответственно ($p > 0,05$) [14]. Несмотря на высокую результативность шкалы q-COVID, необходимо учитывать, что для ее применения требуется подробный сбор данных анамнеза, что может ограничивать ее использование у некоторых групп населения, а также в условиях большой нагрузки на инфекционный стационар. Помимо этого, применение данной шкалы на популяции пациентов, отличной от британской, может показать меньшую чувствительность и специфичность. При сравнении данной шкалы с пред-

ложенным нами калькулятором следует отметить, что представленный в настоящей работе алгоритм может быть адаптирован для эффективного применения и построения прогноза даже в условиях недостатка анамнестических и клинико-лабораторных данных, а также был создан для применения в российской популяции.

В России также были разработаны и предложены к применению в клинической практике другие алгоритмы прогнозирования течения новой коронавирусной инфекции. Так, на базе Первого Санкт-Петербургского государственного медицинского университета им. академика И.П. Павлова была разработана шкала для оценки тяжести состояния при COVID-19 [15]. Для создания данной шкалы на основании данных литературы были отобраны лабораторные данные, охватывающие различные звенья патогенеза при инфицировании SARS-CoV-2, которые включали показатели системы гемостаза, клинического анализа крови, уровень СРБ, мочевины и общего белка. При тестировании модель показала высокую чувствительность и специфичность (более 90%), что свидетельствует о высокой точности оценки тяжести течения COVID-19. Однако описанный алгоритм имеет ряд ограничений: не учитывает возраст пациента, степень дыхательной недостаточности, а также наличие сопутствующих заболеваний, которые могут негативно влиять на исходы заболевания [15]. Европейская ассоциация терапевтов предложила свою версию калькулятора прогноза исходов COVID-19, которая была разработана на основании данных регистров «Актив-1» и «Актив-2». В качестве ограничений данной модели авторы выделили отсутствие внешней валидации, а также учета нелинейных взаимодействий между факторами, включенными в калькулятор [16].

Говоря об описанном в данной публикации калькуляторе расчете риска летального исхода у больных COVID-19, к его основным ограниче-

ниям можно отнести отсутствие включения в выборку амбулаторных пациентов с легкой степенью тяжести, небольшое число пациентов молодого возраста, что не позволяет рекомендовать его использование в амбулаторной практике. С целью усовершенствования необходимо проведение дальнейших исследований с расширением базы данных пациентов.

Заключение

Калькулятор, описанный в настоящей работе, позволяет с высокой долей вероятности прогнозировать исход госпитализации, в том числе на различных штаммах вируса. Применение настоящего алгоритма поддержки принятия клинических решений может рассматриваться как дополнительный инструмент стратификации риска и дальнейшей корректной маршрутизации пациента в условиях избыточной нагрузки на систему здравоохранения.

Источник финансирования

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (Соглашение № 075-15-2022-301 от 20.04.2022 г.).

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Литература

1. Стопкоронавирус: Официальная информация о коронавирусе в России: [Электронный ресурс]. URL: <https://stopkoronavirus.pf/information>. (Дата обращения: 26.04.2023).
2. Смирнов, А.Ю. Анализ смертности от коронавирусной инфекции в России / А.Ю. Смирнов // Народонаселение. — 2021 — Т. 24, № 2 — С. 76–86.
3. Естественное движение населения в разрезе субъектов Российской Федерации за апрель 2023 года: [Электронный ресурс] // Росстат. URL: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/EDN_04-2023.html. (Дата обращения: 26.04.2023).
4. Haldane V. et al. Health systems resilience in managing the COVID-19 pandemic: lessons from 28 countries // *Nature Medicine*. — 2021. — Т. 27. — №. 6. — С. 964-980.
5. Parra P.N.B, Atanasov V.A., Meurer J., et al. Data and Methodology Documentation for a COVID-19 Risk Calculator: Mortality Rates and Loss of Life Expectancy. *SSRN*; 2021; doi: 10.2139/ssrn.3795802.
6. Michałowska J., Czernia D. Mask vs. No Mask Calculator [Электронный ресурс]// Omni Calculator. URL: <https://www.omnicalculator.com/health/mask-vs-no-mask>. (Дата обращения: 06.06. 2023).
7. Jehi L. et al. Development and validation of a model for individualized prediction of hospitalization risk in 4,536 patients with COVID-19 // *PloS one*. — 2020. — Т. 15. — №. 8. — С. e0237419.
8. Методические рекомендации ФАР «Анестезиолого-реанимационное обеспечение пациентов с новой коронавирусной инфекцией COVID-19», 2020.

10. Clinical management of COVID-19: interim guidance, 2020. [Электронный ресурс]// World Health Organization. URL: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/332196>. (Дата обращения: 06.06.2023)

11. Попова, К.Н. Шкала NEWS2 в практике работы инфекционного госпиталя для больных COVID-19. Внедрение и результаты / К.Н. Попова [и др.] // *Вестник анестезиологии и реаниматологии*. — 2021. — Т. 18, № 1. — С. 7–16. doi: 10.21292/2078-5658-2021-18-1-7-16

12. Корсаков, И.Н. Прогнозирование летального исхода у пациентов с установленным диагнозом COVID-19 / И.Н. Корсаков [и др.] // *Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики*. — 2022. — Т. 22, № 5. — С. 970–981. doi:10.17586/2226-1494-2022-22-5-970-981

13. Komissarov A. B. et al. Genomic epidemiology of the early stages of the SARS-CoV-2 outbreak in Russia // *Nature communications*. — 2021. — Т. 12. — №. 1. — С. 649.

14. Kurka M. B., Rudnicki W. R. Feature selection with the Boruta package // *Journal of statistical software*. — 2010. — Т. 36. — С. 1-13.

15. Veldhuis L. et al. Early warning scores to assess the probability of critical illness in patients with COVID-19 // *Emergency Medicine Journal*. — 2021. — Т. 38. — №. 12. — С. 901-905.

16. Bakin E. A. et al. A precise score for the regular monitoring of COVID-19 patients condition validated within the first two waves of the pandemic // *medRxiv*. — 2021. — С. 2021.02.09.21249859.

17. Калькулятор «Прогноз исходов острого периода COVID-19». Результаты международного регистра «Анализ динамики коморбидных заболеваний у пациентов, перенесших инфицирование SARS-CoV-2 (АКТИВ SARS-CoV-2)» [Электронный ресурс]// Евразийская ассоциация терапевтов. — URL : <https://euat.ru/calc/calc2022>. (Дата обращения: 06.06.2023).

References

1. Stopkoronavirus: Oficial'naya informaciya o koronavirusе v Rossii: [Elektronnyj resurs]. URL: <https://stopkoronavirus.rf/information>. (Data obrashcheniya: 26.04.2023).
2. Smirnov A.YU. Analiz smertnosti ot koronavirusnoj infekcii v Rossii // *Narodonaselenie*. — 2021 — Т. 24 — № 2 — С. 76-86.
3. Estestvennoe dvizhenie naseleniya v razreze sub'ektov Rossijskoj Federacii za aprel' 2023 goda: [Elektronnyj resurs] // Rosstat. URL: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/EDN_04-2023.html. (Data obrashcheniya: 26.04.2023).
4. Haldane V. et al. Health systems resilience in managing the COVID-19 pandemic: lessons from 28 countries // *Nature Medicine*. — 2021. — Т. 27. — №. 6. — С. 964-980.
5. Parra P.N.B, Atanasov V.A., Meurer J., et al. Data and Methodology Documentation for a COVID-19 Risk Calculator: Mortality Rates and Loss of Life Expectancy. *SSRN*; 2021; doi: 10.2139/ssrn.3795802.
6. Michałowska J., Czernia D. Mask vs. No Mask Calculator [Электронный ресурс]// Omni Calculator. URL: <https://www.omnicalculator.com/health/mask-vs-no-mask>. (Дата обращения: 06.06. 2023).
7. Jehi L. et al. Development and validation of a model for individualized prediction of hospitalization risk in 4,536 patients with COVID-19 // *PloS one*. — 2020. — Т. 15. — №. 8. — С. e0237419.
8. Metodicheskie rekomendacii FAR «Anesteziologo-reanimacionnoe obespechenie pacientov s novoj koronavirusnoj infekciej COVID-19», 2020.

9. Clinical management of COVID-19: interim guidance, 2020. [Электронный ресурс]// World Health Organization. URL: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/332196>. (Дата обращения: 06.06.2023)
10. Popova K. N., Zhukov A. A., Zykina I. L., Troshchanskij D. V., Tyurin I. N., Prochenko D. N. SHkala NEWS2 v praktike raboty infekcionnogo gospiytalya dlya bol'nyh COVID-19. Vnedrenie i rezul'taty // Vestnik anesteziologii i reanimatologii. — 2021. — Т. 18, No 1. — С. 7-16. doi: 10.21292/2078-5658-2021-18-1-7-16
11. Korsakov I.N., Karonova T.L., Konradi A.O., Rubin A.D., Kurapeev D.I., Chernikova A.T., Mihajlova A.A., Shlyakhto E.V. Prognozirovanie letalnogo iskhoda u pacientov s ustanovlennym diagnozom COVID-19 // Nauchno-tekhnicheskij vestnik informacionnyh tekhnologij, mekhaniki i optiki. — 2022. — Т. 22, No 5. — С.970–981. doi:10.17586/2226-1494-2022-22-5-970-981
12. Komissarov A. B. et al. Genomic epidemiology of the early stages of the SARS-CoV-2 outbreak in Russia // Nature communications. — 2021. — Т. 12. — №. 1. — С. 649.
13. Kursa M. B., Rudnicki W. R. Feature selection with the Boruta package // Journal of statistical software. — 2010. — Т. 36. — С. 1-13.
14. Veldhuis L. et al. Early warning scores to assess the probability of critical illness in patients with COVID-19 // Emergency Medicine Journal. — 2021. — Т. 38. — №. 12. — С. 901-905.
15. Bakin E. A. et al. A precise score for the regular monitoring of COVID-19 patients condition validated within the first two waves of the pandemic // medRxiv. — 2021. — С. 2021.02.09.21249859.
16. Kal'kulyator «Prognoz iskhodov ostrogo perioda COVID-19». Rezul'taty mezhdunarodnogo registra «Analiz dinamiki komorbidnyh zabolevanij u pacientov, perenesshih inficirovanie SARS-CoV-2 (AKTIV SARS-CoV-2)» [Elektronnyj resurs]// Evrazijskaya asociaciya terapevtov. URL: <https://euat.ru/calc/calc2022>. (Data obrashcheniya: 06.06.2023).

Авторский коллектив:

Каронова Татьяна Леонидовна — профессор кафедры эндокринологии Института медицинского образования, заведующий НИЛ новой коронавирусной инфекции и постковидного синдрома Центра персонализированной медицины, главный научный сотрудник НИЛ клинической эндокринологии Института эндокринологии Национального медицинского исследовательского центра им. В.А. Алмазова, д.м.н.; e-mail: karonova@mail.ru

Корсаков Игорь Николаевич — специалист по информационному обеспечению Национального медицинского исследовательского центра им. В.А. Алмазова, к.ф.м.н.; e-mail: korsakov_in@almazovcentre.ru

Михайлова Арина Алексеевна — ординатор кафедры эндокринологии Института медицинского образования, младший научный сотрудник НИЛ новой коронавирусной инфекции и постковидного синдрома, Центра персонализированной медицины Национального медицинского исследовательского центра им. В.А. Алмазова; e-mail: armikhaylova@yandex.ru

Лагутина Дарья Ивановна — ординатор кафедры эндокринологии Института медицинского образования, лаборант НИЛ новой коронавирусной инфекции и постковидного синдрома Центра персонализированной медицины Национального медицинского исследовательского центра им. В.А. Алмазова; e-mail: daria.lagutina.i@yandex.ru

Черникова Алёна Тимуровна — младший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории клинической эндокринологии Института эндокринологии Национального медицинского исследовательского центра им. В.А. Алмазова; e-mail: arabicaa@gmail.com

Вашукова Мария Александровна — ассистент кафедры инфекционных болезней и микробиологии Национального медицинского исследовательского центра им. В.А. Алмазова, заместитель главного врача по развитию медицинской помощи Клинической инфекционной больницы им. С. П. Боткина, к.м.н., e-mail: mavashukova@yahoo.com

Смольникова Мария Васильевна — ординатор кафедры инфекционных болезней и микробиологии Национального медицинского исследовательского центра им. В.А. Алмазова, e-mail: smolnikova-mariya@mail.ru

Гусев Денис Александрович — заведующий кафедрой инфекционных болезней и микробиологии Национального медицинского исследовательского центра им. В.А. Алмазова; главный врач Клинической инфекционной больницы им. С.П. Боткина, д.м.н., профессор; e-mail: gusevden-70@mail.ru

Конради Александра Олеговна — заместитель генерального директора по научной работе Национального медицинского исследовательского центра им. В.А. Алмазова, д.м.н., академик РАН; e-mail: ao@almazovcenter.ru

Шлякхо Евгений Владимирович — генеральный директор Национального медицинского исследовательского центра им. В.А. Алмазова, д.м.н., академик РАН; e-mail: e.shlyakhto@almazovcentre.ru