

УДК 616.98:578.834.1]-06:616.24-008.4-037
<https://doi.org/10.20538/1682-0363-2025-1-69-76>

Влияние критерия патологического отклонения показателя DLco на прогнозирование нарушения диффузионной способности легких после перенесенной инфекции SARS-CoV-2

Савушкина О.И.^{1,2}, Муравьева Е.С.³, Давыдов Д.В.¹, Крюков Е.В.⁴

¹ Главный военный клинический госпиталь (ГВКГ) им. акад. Н.Н. Бурденко
Россия, 105229, г. Москва, Гостеприимная пл., 3

² Научно-исследовательский институт (НИИ) пульмонологии
Россия, 115682, г. Москва, Ореховый бульвар, 28

³ Российский национальный исследовательский медицинский университет (РНИМУ) им. Н.И. Пирогова
Россия, 117997, г. Москва, ул. Островитянова, 1

⁴ Военно-медицинская академия (ВМедА) им. С.М. Кирова
Россия, 194044, г. Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, 6

РЕЗЮМЕ

Цель. Прогнозирование нарушения диффузионной способности легких после перенесенной инфекции SARS-CoV-2 в зависимости от выбранного критерия патологического отклонения показателя DLco (трансфер-фактора монооксида углерода).

Материалы и методы. В ретроспективное исследование включен 341 пациент (медиана возраста 48 лет, 76,8% мужчин) после перенесенного SARS-CoV-2-ассоциированного поражения легких. Медиана объема поражения легочной ткани в острый период заболевания составила 50%. Всем пациентам был выполнен диффузионный тест. Анализ DLco проведен с помощью описательной статистики и логистического регрессионного анализа с учетом полученной ранее модели прогнозирования снижения DLco [11], в которой за нижнюю границу нормы DLco было принято фиксированное значение 80% от должного значения (%долж.). В настоящем исследовании на той же выборке пациентов проведен сравнительный анализ качества моделей прогнозирования снижения DLco в зависимости от критериев его патологического отклонения (критерий 1: DLco < 80%долж.; критерий 2: DLco < должное – 1,645SD, SD – стандартное квадратичное отклонение от среднего). Для оценки качества моделей бинарного классификатора использовался ROC-анализ.

Результаты. На обучающей выборке получены коэффициенты уравнений логистической регрессии с учетом выбранных критериев патологического отклонения DLco. Процедура ROC-анализа показала, что при применении критерия 1 значение AUC (площадь под кривой) составило 0,776; $p < 0,001$ (95%-й доверительный интервал (ДИ) 0,707–0,824), чувствительность и специфичность обучающей модели – 81 и 66% соответственно, при применении критерия 2 значение AUC составило 0,759; $p < 0,001$ (95%-й ДИ 0,701–0,817), чувствительность и специфичность обучающей модели – 83,4 и 59% соответственно.

Заключение. Выбор критерия определения нижней границы нормы показателя DLco не оказывает существенного влияния на качество модели прогнозирования нарушения диффузионной способности легких после перенесенного SARS-CoV-2-ассоциированного поражения легких. Целесообразно отдавать предпочтение методу, который проще применять на практике.

Ключевые слова: критерии патологического отклонения DLco, модель бинарного классификатора, инфекция SARS-CoV-2

✉ Савушкина Ольга Игоревна, olga-savushkina@yandex.ru

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Источник финансирования. Исследование выполнено без участия спонсоров.

Соответствие принципам этики. Все пациенты подписали добровольное информированное согласие на участие в исследовании. Исследование одобрено независимым этическим комитетом ФГБУ «ГВКГ им. Н.Н. Бурденко» Минобороны РФ (протокол № 254 от 20.04.2022).

Для цитирования: Савушкина О.И., Муравьева Е.С., Давыдов Д.В., Крюков Е.В. Влияние критерия патологического отклонения показателя DLco на прогнозирование нарушения диффузионной способности легких после перенесенной инфекции SARS-CoV-2. *Бюллетень сибирской медицины*. 2025;24(1):69–76. <https://doi.org/10.20538/1682-0363-2025-1-69-76>.

The influence of the criterion of abnormal DLco value on the prediction of impaired lung diffusion capacity after SARS-CoV-2 infection

Savushkina O.I.^{1,2}, Muraveva E.S.³, Davydov D.V.¹, Kryukov E.V.⁴

¹Main Military Clinical Hospital named after academician N.N. Burdenko of the Russian Defense Ministry 3, Gospitalnaya Sq., Moscow, 105229, Russian Federation

²Pulmonology Scientific Research Institute under Federal Medical and Biological Agency of Russian Federation 28, Orekhovy Blvd., Moscow, 115682, Russian Federation

³Pirogov Russian National Research Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation 1, Ostrovityanova Str., Moscow, 117997, Russian Federation

⁴Military Medical Academy named after S. M. Kirov 6, Akademika Lebedeva Str., Saint Petersburg, 194044, Russian Federation

ABSTRACT

Aim. To predict impaired lung diffusion capacity after SARS-CoV-2 infection depending on the criteria of pathological deviation of DLco value (carbon monoxide transfer factor).

Methods. The retrospective study included 341 patients (median age was 48 years, 76.8% of the participants were men) after SARS-CoV-2-associated lung injury. The median volume of lung injury during the acute phase of COVID-19 was 50%. All patients underwent a diffusion test. Descriptive statistics, logistic regression analysis were applied, taking into account the previously obtained model for prognosis of abnormal DLco (<80% of the predicted value (%pred.)) [11]. In the present study on the same sample of patients, the prognosis of abnormal DLco was studied depending on the *criterion 1*: DLco < 80%pred. or *criterion 2*: DLco < predicted – 1.645SD (SD — standard deviation). ROC analysis was used to assess the quality of the binary classifier models.

Results. The coefficients of the logistic regression equations were obtained on the training sample with regard to the chosen criterion of pathological deviation of DLco. The ROC analysis procedure showed that, when applying *criterion 1*, area under curve (AUC) was 0.776, $p < 0.001$ (0.707–0.824 95% confidence interval (CI)), sensitivity and specificity of the training model were 81% and 66%, respectively. When applying *criterion 2*, AUC was 0.759, $p < 0.001$ (0.701–0.817 95% CI), sensitivity and specificity of the training model were 83.4% and 59%, respectively.

Conclusions. The criterion for determining the lower limit of normal DLco (LLN_{DLco}) does not significantly affect the quality of the model for impaired lung diffusion capacity prognosis after SARS-CoV-2-associated lung injury. It is advisable to give preference to a method that is easier to apply in practice.

Keywords: criteria for abnormal DLco, binary classifier model, SARS-CoV-2 infection.

Conflict of interest. The authors declare the absence of obvious or potential conflict of interest related to the publication of this article.

Funding Sources. The authors state that they received no funding for the study.

Conformity with the Principles of Ethics. All participants signed an informed consent to participate in the study. The study was approved by the Independent Ethics Committee of the Main Military Clinical Hospital named after academician N. N. Burdenko of the Russian Defense Ministry (Protocol No. 04-22 of April 20, 2022).

For citation: Savushkina O.I., Muraveva E.S., Davydov D.V., Kryukov E.V. The influence of the criterion of abnormal DLco value on the prediction of impaired lung diffusion capacity after SARS-CoV-2 infection. *Bulletin of Siberian Medicine*. 2025;24(1):69–76. <https://doi.org/10.20538/1682-0363-2025-1-69-76>.

ВВЕДЕНИЕ

Легочные функциональные тесты отражают физиологические свойства легких и используются для диагностики бронхолегочных заболеваний, выяснения причины одышки, мониторинга прогрессирования заболевания и реакции на лечение. Ключевым аспектом интерпретации технически приемлемых результатов легочных функциональных тестов является классификация наблюдаемых значений: находятся в пределах нормы или выходят за ее пределы по отношению к популяции здоровых людей. Ранее было установлено, что величина показателей легочных функциональных тестов зависит от возраста, роста и пола пациента [1]. В настоящее время считают важным также учитывать расовую принадлежность пациента [2, 3]. С учетом вышеперечисленных факторов были созданы референсные уравнения, позволяющие рассчитать средние должные значения изучаемых функциональных показателей системы дыхания у конкретного пациента. Таким образом, критерием оценки показателей легочных функциональных тестов является сопоставление фактически полученной величины с ее должным значением.

Вместе с тем в популяции здоровых лиц существует диапазон нормы, нижняя граница которого определяется либо как фиксированное значение, равное 80% от должного (80%долж.) [2, 4], либо как разница между должным значением и значением 1,654SD (SD – стандартное квадратичное отклонение от среднего) [3, 5]. Первоначально было принято выделять границы нормальных значений функциональных показателей системы дыхания в пределах 95%-го доверительного интервала (ДИ). Однако А.О. Навакатилян [6] принял во внимание односторонность патологических изменений функцио-

нальных показателей системы дыхания и рекомендовал использовать односторонний критерий оценки границ нормы. Таким образом, показатели, величины которых отличаются от среднего должного значения более чем на 1,645SD, было предложено рассматривать как проявление патологии. Данная концепция в дальнейшем была принята другими отечественными специалистами [1].

Применительно к не так давно завершившейся пандемии коронавирусной инфекции 2019 г. (от англ. corona virus disease 2019, COVID-19), обусловленной вирусом SARS-CoV-2 (severe acute respiratory syndrome-related corona virus 2), следует сказать, что оценка функционального состояния системы дыхания у пациентов, перенесших SARS-CoV-2-ассоциированное поражение легких, играет важную роль в составлении индивидуальных программ медицинской реабилитации после выписки из инфекционного стационара. Кроме того, восстановление до нормы показателей легочных функциональных тестов является одним из критериев выздоровления.

Наиболее частое и длительно сохраняющееся функциональное отклонение системы дыхания после перенесенного SARS-CoV-2-ассоциированного поражения легких – нарушение диффузионной способности легких, что было показано как в отечественных, так и зарубежных работах [7–9]. Критерием нарушения диффузионной способности легких является снижение показателя DLco (трансфер-фактора монооксида углерода) [10].

В нашем предыдущем исследовании с помощью многофакторного логистического регрессионного анализа было получено решающее правило для прогнозирования снижения показателя DLco с использованием фиксированного значения нижней границы нормы 80% долж. [11]*. Однако убедительных дока-

* БСМ 2024;23(3):91–98: формулу (3) читать как: $Z = -1,916 + 0,047 \times x$; формулу (4) читать как $OШ = e^{-1,916} e^{0,047x}$; таблицу 6 читать как:

Показатель	DL _{co} ≥ 80%долж., n (прогнозируемые)	DL _{co} < 80%долж., n (прогнозируемые)	Правильно отнесенные, %
DL _{co} ≥ 80%долж., n	64	34	65,3
DL _{co} < 80%долж., n	28	126	81,8
Всего			75,4

зательств преимущества какого-то из предложенных критериев для оценки патологического отклонения показателя DLco в доступной нам литературе не найдено.

Цель настоящего исследования – сравнение моделей прогнозирования нарушения диффузионной способности легких после перенесенного SARS-CoV-2-ассоциированного поражения легких в зависимости от выбранного критерия патологического отклонения показателя DLco.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Были проанализированы данные компьютерной томографии (КТ) отдела грудной клетки в острый период COVID-19 (КТ_{макс}) и показатель DLco 341 пациента после перенесенного SARS-CoV-2-ассоциированного поражения легких. Медиана возраста пациентов составила 48 (41,5–57) лет, медиана КТ_{макс} – 50 (31–75)%. Большинство обследованных – мужчины (76,8% (262/341)). Диффузионный тест (измерение DLco) был выполнен с соблюдением стандартов его проведения [12]. В период до 90 сут были обследованы 64,8% (221/341) пациентов, 23,5% (80/341) – в период 90–180 сут, 11,7% (40/341) пациентов – в период более 180 сут от начала COVID-19.

Патологическое отклонение нижней границы нормы (НГН) показателя DLco оценивалось с помощью следующих критериев:

- критерий 1: НГН_{DLco} = 80%долж. (фиксированное значение НГН) [2, 4];
- критерий 2: НГН_{DLco} = должное – 1,645SD (индивидуальное значение НГН) [3, 5].

Должное значение показателя DLco определялось с помощью референсного уравнения Европейского общества угля и стали (ECCS, 1993) [5].

Статистический анализ был проведен с использованием пакетов программ SPSS и Microsoft Excel. Результаты были проанализированы с помощью описательной статистики и логистического регрессионного анализа.

Количественные данные, распределение которых отличалось от нормального закона, описывались с

использованием медианы и межквартильного размаха $Me (Q_1-Q_3)$, где Q_1 и Q_3 – нижний и верхний квартили. Для сравнения трех независимых выборок применялся критерий Краскела – Уоллиса и критерий Манна – Уитни с поправкой Бонферрони для множественных сравнений. Различия считались статистически значимыми при $p < 0,05$ (p – достигнутый уровень значимости).

В нашей предыдущей работе [11] при построении модели бинарного классификатора для прогнозирования снижения показателя DLco был использован многофакторный логистический регрессионный анализ. Решающее правило было построено на обучающей выборке. Для этого с помощью генератора случайных чисел общая выборка была разделена в соотношении 3 : 1 на обучающую и тестовую (валидационную). На обучающей выборке были получены коэффициенты уравнения логистической регрессии Z :

$$Z = \alpha_0 + \alpha_1 x_1 + \dots + \alpha_n x_n,$$

$\alpha_0, \alpha_1, \dots, \alpha_n$ – параметры модели (коэффициенты), x_1, \dots, x_n – предикторы.

P – вероятность снижения DLco, где $P = \frac{1}{1 + e^{-Z}}$.

Логистическая регрессия прогнозировала снижение DLco при значении Z больше или равном 0 и сохранение DLco в пределах нормы, если значение $Z < 0$.

Применяя вышеописанный алгоритм, было найдено решающее правило для прогнозирования снижения показателя DLco после перенесенного SARS-CoV-2-ассоциированного поражения у пациентов без бронхолегочной патологии в анамнезе. Уравнение логистической регрессии включало единственный предиктор КТ_{макс} [11]:

$$Z = \alpha_0 + \alpha_1 \times x_1, \quad (1)$$

где Z – уравнение регрессии, α_0, α_1 – параметры модели (коэффициенты), x_1 – предиктор КТ_{макс}.

Полученное решающее правило, описанное уравнением (1), было использовано в настоящем исследовании для сравнения результатов работы модели бинарного классификатора в зависимости от выбранного критерия НГН показателя DLco.

Таблица 1

Показатель DLco в разные сроки от начала COVID-19, осложненного вирус-ассоциированным поражением легких, у пациентов без бронхолегочной патологии в анамнезе, $Me (Q_1-Q_3)$					
Параметр	Общая группа, $n = 341$	Группа 1 <90 сут ($n = 221$; 64,8%)	Группа 2 90–180 сут ($n = 80$; 23,5%)	Группа 3 >180 сут ($n = 40$; 11,7%)	$\frac{p_{total}/p_{1-2}}{p_{1-3}/p_{2-3}}$
DLco, %долж.	75 (61,7–88,3)	72 (54–84)	81 (67–93,5)	83 (75–95,5)	$<0,001^1 / <0,001^2 / <0,001^2 / 0,45^2$

Примечание. Достигнутый уровень значимости различий между группами 1–3 – p_{total} , группами 1 и 2 – p_{1-2} , между группами 2 и 3 – p_{2-3} , между группами 1 и 3 – p_{1-3} . ¹ критерий Краскела – Уоллиса, ² критерий Манна – Уитни с поправкой Бонферрони для множественных сравнений.

Для оценки качества модели бинарного классификатора и нахождения оптимального порога разделения объектов на классы была проведена процедура ROC-анализа. Критерием выбора порога отсечения было требование максимальной суммы чувствительности и специфичности. Способность созданной модели распознавать наличие или отсутствие патологического отклонения DLco оценивали по величине AUC (an area under a curve – площадь под кривой) и отличию ROC-кривой от диагональной опорной линии.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Анализ показателя DLco в исследуемой группе пациентов представлен в табл. 1.

Из табл. 1 следует, что в целом по группе медиана показателя DLco была снижена. В зависимости от срока между началом COVID-19 и проведением диффузионного теста медиана DLco имела тенденцию к увеличению. При проведении попарного сравнения были выявлены статистически значимые различия между группами 1 и 2, а также группами 1 и 3, тогда как между группами 2 и 3 статистически значимых различий медиан DLco не выявлено.

Для сравнения критериев 1 и 2 определения патологического отклонения показателя DLco общая выборка, на которой было получено решающее правило в предыдущем исследовании [11], была заново разделена с помощью генератора случайных чисел на обучающую ($n = 262$) и валидационную ($n = 79$). Дальнейшее исследование было проведено в два этапа.

Этап 1. Построение модели бинарного классификатора, если НГН DLco = 80%долж.

Используя уравнение (1) на обучающей выборке, были получены коэффициенты уравнения логистической регрессии:

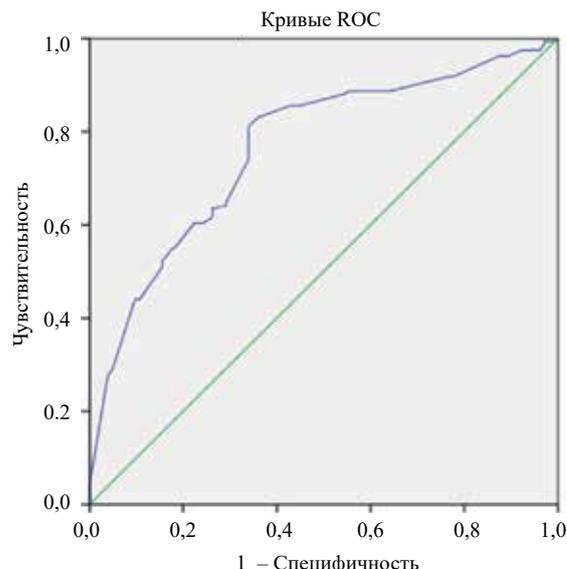
$$Z = -1,793 + 0,044 \times x_1 \quad (2)$$

Результаты классификации представлены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты классификации показателя DLco на обучающей выборке (предиктор KT_{\max})			
Показатель	DL _{co} ≥ 80%долж. (прогнозируемые)	DL _{co} < 80%долж. (прогнозируемые)	Правильно отнесенные, %
DL _{co} ≥ 80%долж., n	66	37	64,1
DL _{co} < 80%долж., n	27	132	83,0
Всего			75,6

Из табл. 2 следует, что чувствительность, специфичность и точность для обучающей выборки при



Диагональные сегменты формируются совпадениями

Рис. 1. ROC-кривая обучающей выборки (предиктор KT_{\max}) для прогнозирования снижения DLco (<80%долж.), AUC 0,776 (95%-й ДИ 707–0,824; $p < 0,001$). Точка отсечения = 0,165

использовании уравнения (2) составили 83, 64,1 и 75,6% соответственно.

Качество построенной модели, описанной уравнением (2), было проверено с помощью процедуры ROC-анализа. ROC-кривая для обучающей выборки представлена на рис. 1.

При прогнозировании снижения показателя DLco (<80%долж.) значение AUC составило 0,776; $p < 0,001$ (95%-й ДИ 0,707–0,824), чувствительность и специфичность (при найденной точке отсечения) – 81 и 66% соответственно. При тестировании полученной на данном этапе модели бинарного классификатора на валидационной выборке чувствительность и специфичность составили 76,6 и 78% соответственно.

Этап 2. Построение модели бинарного классификатора, если НГН DLco = должное –1,645SD.

Аналогично этапу 1, используя уравнение (1), на обучающей выборке были получены коэффициенты уравнения логистической регрессии:

$$Z = -1,997 + 0,043 \times x_1 \quad (3)$$

Результаты классификации представлены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты классификации показателя DLco на обучающей выборке (предиктор KT_{\max})			
Показатель	DL _{co} ≥ НГН, n (прогнозируемые)	DL _{co} < НГН, n (прогнозируемые)	Правильно отнесенные, %
DL _{co} ≥ НГН, n	73	44	62,4

Окончание табл. 3

Показатель	DL _{co} ≥ НГН, n (прогнозируемые)	DL _{co} < НГН, n (прогнозируемые)	Правильно отнесенные, %
DL _{co} < НГН, n	34	111	76,6
Всего			70,2

Примечание. НГН – нижняя граница нормы, равная должное $-1,645SD$, где SD – стандартное квадратичное отклонение от среднего.

Из табл. 3 следует, что чувствительность, специфичность и точность для обучающей выборки при использовании уравнения (3) составили 76,6; 62,4 и 70,2% соответственно.

Качество построенной модели было проверено с помощью процедуры ROC-анализа. ROC-кривая для обучающей выборки представлена на рис. 2.

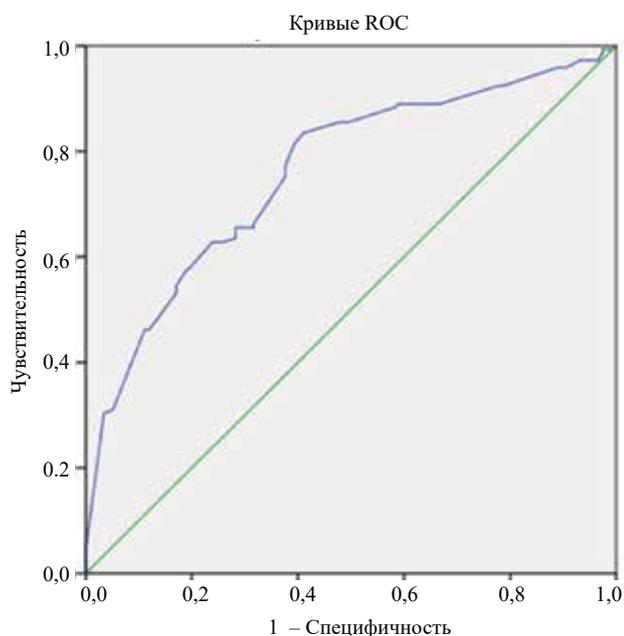


Рис. 2. ROC-кривая обучающей выборки (предиктор КТ_{макс}) для прогнозирования снижения DL_{co} (<долж. $-1,645SD$), AUC 0,759 (95% ДИ 0,701–0,817, $p < 0,001$). Точка отсечения = $-0,191$

При прогнозировании снижения DL_{co} (<должное $-1,645SD$) значение AUC составило 0,759; $p < 0,001$ (95%-й ДИ 0,701–0,817), чувствительность и специфичность (при найденной точке отсечения) – 83,4 и 59% соответственно. При тестировании полученной на данном этапе модели бинарного классификатора на валидационной выборке чувствительность и специфичность составили 76,2 и 67,6% соответственно.

По данным литературы известно, что функциональные нарушения системы дыхания были выявляе-

ны у более чем 50% пациентов во время последующего наблюдения после госпитализации по поводу COVID-19, и нарушение диффузионной способности легких является наиболее частым осложнением [13]. М. Bellan и соавт. показали, что DL_{co} был снижен (<80%долж.) у 51,6% (113/219) пациентов и был менее 60% от должного у 15,5% (34/219) пациентов после тяжелой формы COVID-19 [14].

В настоящем исследовании также было продемонстрировано снижение показателя DL_{co} в период до 90 сут от начала COVID-19 и его тенденция к восстановлению по мере увеличения срока от начала заболевания, что соответствует данным, полученным на других популяциях пациентов [15, 16]. Вопрос динамики функциональных показателей системы дыхания сохраняет свою актуальность в настоящее время и исследуется как в случаях легкого или среднетяжелого, так и тяжелого или крайне тяжелого течения COVID-19 [17, 18].

Во многих опубликованных работах, посвященных изучению функционального состояния системы дыхания после перенесенной инфекции SARS-CoV-2, был применен фиксированный критерий патологического отклонения показателя DL_{co}, равный 80% долж. [19–21]. Вместе с тем в 2022 г. Американским торакальным и Европейским респираторным обществами было рекомендовано в качестве НГН использовать 5-й перцентиль или показатель 1,645 SD от должного значения (z -score = $-1,645$) для всех функциональных показателей системы дыхания [3]. Сама по себе эта идея не новая, так как была предложена и поддержана нашими соотечественниками еще в 1960–1980-х гг. [1, 6]. Однако отсутствие на тот момент соответствующего программного обеспечения не позволило широко внедрить этот подход в клиническую практику. Предложенный Американским торакальным обществом [2] подход – использовать в качестве НГН функциональных показателей системы дыхания фиксированное значение 80% долж. – был прост в применении и хорошо себя зарекомендовал в клинической практике.

Следует отметить, что в единичных работах, посвященных изучению функционального состояния системы дыхания после перенесенного COVID-19, за НГН изучаемых показателей принималось значение z -score, равное $-1,96$ [22]. Вместе с тем в доступной нам литературе не найдено обоснования преимущества какого-то из предложенных критериев снижения показателя DL_{co} и его влияния на точность диагностики нарушения диффузионной способности легких.

В настоящем исследовании при использовании модели бинарного классификатора, включающей единственный предиктор КТ_{макс}, было проанализи-

ровано влияние критерия снижения DLco на прогнозирование нарушения диффузионной способности легких в обследованной группе пациентов. Изучение данного вопроса было проведено на выборке пациентов без хронической бронхолегочной патологии в анамнезе, перенесших SARS-CoV-2-ассоциированного поражения легких. Аналогичных работ в доступной нам литературе не найдено.

Анализ результатов классификации полученных моделей в настоящем исследовании не продемонстрировал значимых различий прогнозирования нарушения диффузионной способности легких при применении предложенных критериев для определения НГН показателя DLco. Так, точность полученных моделей составила 75,6 и 70,2% для критериев 1 (НГН_{DLco} = 80% долж.) и критерия 2 (НГН_{DLco} = должное – 1,645SD) соответственно. При проведении процедуры ROC-анализа на обучающей выборке чувствительность модели была несколько выше при использовании критерия 2 и составила 83,4%, критерия 1 – 81%. Однако специфичность была выше при использовании критерия 1 и составила 66%, тогда как критерия 2 – 59%. На валидационной выборке чувствительность моделей была практически одинаковой (76,6 против 76,2% для критериев 1 и 2 соответственно), тогда как специфичность была выше при использовании критерия 1 (78 против 67,6% для критериев 1 и 2 соответственно).

Ограничением данного исследования является недостаточное количество наблюдений в период от 6 мес до 1 года от начала COVID-19. Кроме того, для определения должного значения показателя DLco была использована система референсных значений ECCS 1993, тогда как в клиническую практику широко внедряется новая система GLI (Global Lung Function Initiative) [3]. Однако эффективность применения системы GLI в клинической практике, ее согласованность с системой ECCS 1993, а также соответствие величины показателя DLco, должное значение которого рассчитывается по системе GLI, клиническим и рентгенологическим данным, в настоящее время на отечественной популяции не изучены.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для пациентов без бронхолегочных заболеваний в анамнезе показано, что выбор критерия оценки патологического отклонения показателя DLco не оказывает существенного влияния на чувствительность модели прогнозирования его снижения после перенесенного SARS-CoV-2-ассоциированного поражения легких, тогда как специфичность модели прогнозирования была выше в случае использования фиксированного значения нижней границы нормы

показателя DLco, равного 80% от должного. В связи с этим авторы не видят преимуществ определения нижней границы нормы показателя DLco по какому-либо из рассмотренных критериев. В таких случаях целесообразно отдавать предпочтение методу, который проще применять на практике.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Канаев Н.Н., Шик Л.Л., Кузнецова В.К. Руководство по клинической физиологии дыхания; под ред. Л.Л. Шика, Н.Н. Канаева. Л.: Медицина, 1980:375.
2. American Thoracic Society. Evaluation of impairment/disability secondary to respiratory disorders. *Am. Rev. Respir. Dis.* 1986;133(6):1205–1209. DOI: 10.1164/arrd.1986.133.6.1205.
3. Stanojevic S., Kaminsky D.A., Miller M.R., Thompson B., Aliverti A., Barjaktarevic I. et al. ERS/ATS technical standard on interpretive strategies for routine lung function tests. *Eur. Respir. J.* 2022;60(1):2101499. DOI: 10.1183/13993003.01499-2021.
4. Скэнлон П.Д., Хайатт Р.Е. Интерпретация результатов легочных функциональных тестов; пер. с англ. под ред. О.И. Савушкиной, А.В. Черняка. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2023:312. DOI: 10.33029/9704-7249-1-PFT-2023-1-312.
5. Pellegrino R., Viegi G., Brusasco V., Crapo R.O., Burgos F., Casaburi R. et al. Interpretative strategies for lung function tests. *Eur. Respir. J.* 2005;26(5):948–968. DOI: 10.1183/09031936.05.00035205.
6. Навакатилян А.О. Некоторые пути повышения информативности функциональных исследований дыхания. *Терапевтический архив.* 1974;46(5):109–115.
7. Савушкина О.И., Муравьева Е.С., Авдеев С.Н., Кулагина И.Ц., Малашенко М.М., Зайцев А.А. Анализ функциональных показателей респираторной системы в разные сроки после перенесенной COVID-19. *Туберкулез и болезни легких.* 2023;101(6):42–49. DOI: 10.58838/2075-1230-2023-101-6-42-49.
8. Черняк А.В., Карчевская Н.А., Савушкина О.И., Мустафина М.Х., Синецын Е.А., Калманова Е.Н. и др. Функциональные изменения системы дыхания у пациентов, перенесших COVID-19-ассоциированное поражение легких. *Пульмонология.* 2022;32(4):558–567. DOI: 10.18093/0869-0189-2022-32-4-558-567.
9. Sanchez-Ramirez D.C., Normand K., Zhaoyun Y., Torres-Castro R. Long-Term Impact of COVID-19: A Systematic Review of the Literature and Meta-Analysis. *Biomedicines.* 2021;9(8):900. DOI: 10.3390/biomedicines9080900.
10. Савушкина О.И., Зайцев А.А., Черняк А.В., Малашенко М.М., Кулагина И.Ц., Крюков Е.В. Диффузионная способность лёгких при обследовании пациентов, перенесших COVID-19. *Практическая пульмонология.* 2020;(4):34–37.
11. Савушкина О.И., Муравьева Е.С., Житарева И.В., Давыдов Д.В., Крюков Е.В. Решающее правило для выявления пациентов с высоким риском нарушения диффузионной способности легких после перенесенного COVID-19. *Бюллетень сибирской медицины.* 2024;23(3):91–98. DOI: 10.20538/1682-0363-2024-3-91-98.

12. Graham B.L., Brusasco V., Burgos F., Cooper B.G., Jensen R., Kendrick A. et al. 2017 ERS/ATS Standards for single-breath carbon monoxide uptake in the lung. *Eur. Respir. J.* 2017;49(1):1600016. DOI: 10.1183/13993003.00016-2016.
13. Lai C.C., Hsu C.K., Yen M.Y., Lee P.I., Ko W.C., Hsueh P.R. Long COVID: An inevitable sequela of SARS-CoV-2 infection. *J. Microbiol. Immunol. Infect.* 2023;56(1):1–9. DOI: 10.1016/j.jmii.2022.10.003.
14. Bellan M., Soddu D., Balbo P.E., Baricich A., Zeppegno P., Avanzi G.C. et al. Respiratory and psychophysical sequelae among patients with COVID-19 four months after hospital discharge. *JAMA Netw. Open.* 2021;4(1):e2036142. DOI: 10.1001/jamanetworkopen.2020.36142.
15. Карчевская Н.А., Скоробогач И.М., Черняк А.В., Мигунова Е.В., Лещинская О.В., Калманова Е.Н. и др. Результаты отдаленного обследования пациентов после COVID-19. *Терапевтический архив.* 2022;94(3):378–388. DOI: 10.26442/00403660.2022.03.201399.
16. Wu X., Liu X., Zhou Y., Yu H., Li R., Zhan Q. et al. 3-month, 6-month, 9-month, and 12-month respiratory outcomes in patients following COVID-19-related hospitalisation: a prospective study. *Lancet Respir. Med.* 2021;9(7):747–754. DOI: 10.26442/00403660.2022.03.201399.
17. Kattainen S., Pitkänen H., Reijula J., Hästbacka J. Complete blood count, coagulation biomarkers, and lung function 6 months after critical COVID-19. *Acta Anaesthesiol. Scand.* 2024;68(7):940–948. DOI: 10.1111/aas.14437.
18. Chamley R.R., Holland J.L., Collins J., Pierce K., Watson W.D., Green P.G. et al. Exercise capacity following SARS-CoV-2 infection is related to changes in cardiovascular and lung function in military personnel. *Int. J. Cardiol.* 2024;395:131594. DOI: 10.1016/j.ijcard.2023.131594.
19. Han X., Chen L., Guo L., Wu L., Alwalid O., Liu J. et al. Long-term radiological and pulmonary function abnormalities at 3-year post COVID-19 hospitalization: a longitudinal cohort study. *Eur. Respir. J.* 2024;64(1):2301612. DOI: 10.1183/13993003.01612-2023.
20. Iversen K.K., Ronit A., Ahlström M.G., Nordestgaard B.G., Afzal S., Benfield T. Lung function trajectories in mild COVID-19 with two-year follow-up. *J. Infect. Dis.* 2024;229(6):1750–1758. DOI: 10.1093/infdis/jiae037.
21. Faverio P., Paciocco G., Tassistro E., Rebora P., Rossi E., Monzani A. et al. Two-year cardio-pulmonary follow-up after severe COVID-19: a prospective study. *Intern. Emerg. Med.* 2024;19(1):183–190. DOI: 10.1007/s11739-023-03400-x.
22. Kjellberg S., Holm A., Berguerand N., Sandén H., Schiöler L., Olsén M.F. et al. Impaired function in the lung periphery following COVID-19 is associated with lingering breathing difficulties. *Physiol. Rep.* 2024;12(2):e15918. DOI: 10.14814/phy2.15918.

Благодарности

Авторы выражают благодарность инженеру ЗАО «Медицинские системы» М.Р. Зайтову за техническую поддержку.

Вклад авторов

Савушкина О.И. – разработка концепции и дизайна, подбор и обследование пациентов, анализ и интерпретация данных, проверка критически важного интеллектуального содержания, написание текста статьи. Муравьева Е.С. – анализ и статистическая обработка данных, графическое представление данных, написание текста статьи. Давыдов Д.В. – проверка критически важного интеллектуального содержания. Крюков Е.В. – окончательное утверждение рукописи для публикации, проверка критически важного интеллектуального содержания.

Информация об авторах

Савушкина Ольга Игоревна – канд. биол. наук, зав. отделением исследований функции внешнего дыхания центра функционально-диагностических исследований, ГВКГ им. акад. Н.Н. Бурденко; ст. науч. сотрудник, лаборатория функциональных и ультразвуковых методов исследования, НИИ пульмонологии ФМБА, г. Москва, olga-savushkina@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7486-4990>

Муравьева Елена Степановна – канд. биол. наук, доцент, РНИМУ им. Н.И. Пирогова, г. Москва, esmuraviova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5442-6937>

Давыдов Денис Владимирович – д-р мед. наук, профессор, начальник ГВКГ им. акад. Н.Н. Бурденко, г. Москва, dvdavydov@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5449-9394>

Крюков Евгений Владимирович – д-р мед. наук, профессор, академик РАН, начальник ВМедА им. С.М. Кирова, г. Санкт-Петербург, evgeniy.md@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8396-1936>

✉ Савушкина Ольга Игоревна, olga-savushkina@yandex.ru

Поступила в редакцию 22.05.2024;
одобрена после рецензирования 15.07.2024;
принята к публикации 12.09.2024