

Оценка вероятности летального исхода при COVID-19-ассоциированном поражении легких: роль нового воспалительно-тромботического индекса (CITI)

А.С. Кенц¹, И.Е. Тюрин^{2,3,4}

¹Федеральный Сибирский научно-клинический центр Федерального медико-биологического агентства, Красноярск

²Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования, Москва

³Национальный медицинский исследовательский центр онкологии имени Н.Н. Блохина, Москва

⁴Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт фтизиопульмонологии

Estimating the probability of a lethal outcome in COVID-19-associated lung injury: the role of a new Inflammatory-Thrombotic Index (CITI)

A. Kents¹, I. Tyurin^{2,3,4}

¹Federal Siberian Research Clinical Centre, Krasnoyarsk

²Russian Medical Academy of Postgraduate Education, Moscow

³N.N. Blokhin National Medical Research Center of Oncology, Moscow

⁴St. Petersburg Research Institute of Phthisiopulmonology

© Коллектив авторов, 2026 г.

Резюме

Цель. Разработка и валидация прогностической шкалы летального исхода у пациентов с COVID-19-ассоциированным поражением легких на основе нового воспалительно-тромботического индекса (CITI — Composite Inflammatory — Thrombotic Index) и данных компьютерной томографии (КТ) грудной клетки. **Материалы и методы.** Ретроспективный анализ данных 95 пациентов с подтвержденным поражением легких при вирусной инфекции, ассоциированной с COVID-19. В работе оценивались: визуальный объем поражения легких по КТ (в %), максимальные значения Д-димера и интерлейкина-6, минимальное абсолютное количество лимфоцитов. Индекс CITI рассчитывался по

формуле: (Д-димер × ИЛ-6) / лимфоциты. Данный индекс объединяет три ключевых патофизиологических компонента тяжелого системного воспаления. Д-димер как маркер фибринолиза и тромбообразования, который повышается при тромбозах, ДВС-синдроме, прогнозирует смерть при сепсисе и COVID-19 [1–3]. Интерлейкин-6 является центральным цитокином «цитокинового шторма» и повышается при гипервоспалении, повреждении эндотелия, остром респираторном дистресс-синдроме [1–3]. Лимфопения — показатель иммуносупрессии и неблагоприятного прогностического исхода [3]. На основе этих показателей создано автономное настольное приложение для врачей и клиницистов, предназначенное для быстрого расчета

тромбовоспалительного индекса (CITI). Проведено сравнение CITI с традиционными воспалительными индексами (NLR, SII), ROC-анализ, логистическая регрессия. **Результаты.** Летальный исход зарегистрирован у 40 (47,3%) пациентов. Медиана CITI у умерших составила 1 240 000, у выживших — 68 000 ($p < 0,0001$). AUC для CITI составила 0,98 (95% ДИ 0,95–1,00), что превосходило NLR (0,92) и SII (0,93). Комбинация CITI > 500 000 и поражения легких по КТ > 70% ассоциировалась с 95% летальностью. **Заключение.** Предложенная рентгено-лабораторная шкала на основе индекса CITI обладает высокой прогностической точностью и может быть использована для ранней стратификации риска летального исхода у пациентов с COVID-19-ассоциированным поражением легких.

Ключевые слова: COVID-19, компьютерная томография легких, Д-димер, интерлейкин-6, воспалительно-тромботический индекс (CITI), прогностическая модель

Summary

Objective. Development and validation of a prognostic scale for mortality in patients with COVID-19-associated lung disease based on a new Composite Inflammatory-Thrombotic Index (CITI) and chest computed tomography (CT) data. **Material and methods.** Retrospective analysis of data from 95 patients with confirmed lung injury due to viral infection associated with COVID-19. The study assessed the visual lung lesion volume (in %) on CT, maximum D-dimer and interleukin-6 levels, and the

minimum absolute lymphocyte count. The CITI index was calculated using the formula: (D-dimer $\times$ IL-6) / lymphocytes. This index combines three key pathophysiological components of severe systemic inflammation. D-dimer, as a marker of fibrinolysis and thrombus formation, which increases in thrombosis and disseminated intravascular coagulation (DIC), predicts death in sepsis and COVID-19 [1–3]. Interleukin-6 is a central cytokine of the «cytokine storm» and increases in hyperinflammation, endothelial damage, and ARDS [1–3]. Lymphopenia is an indicator of immunosuppression and an unfavorable prognostic outcome [3]. Based on these indicators, a standalone desktop application for physicians and clinicians was created to quickly calculate the CITI. CITI was compared with traditional inflammatory indices (NLR, SII), and ROC analysis and logistic regression were performed. **Results.** Mortality was recorded in 40 patients (47.3%). The median CITI in deaths was 1,240,000, compared to 68,000 in survivors ($p < 0.0001$). The AUC for CITI was 0.98 (95% CI 0.95 — 1.00), exceeding the NLR (0.92) and SII (0.93). The combination of CITI > 500,000 and CT lung involvement > 70% was associated with a 95% mortality rate. **Conclusion.** The proposed CITI-based radiological laboratory scale has high prognostic accuracy and can be used for early stratification of the risk of death in patients with COVID-19-associated lung disease.

Keywords: COVID-19, computed tomography of the lungs, D-dimer, interleukin-6, inflammatory-thrombotic index (CITI), prognostic model

Введение

Компьютерная томография (КТ) органов грудной клетки зарекомендовала себя как ключевой метод визуализации при COVID-19-ассоциированном поражении легких, позволяющий не только подтвердить диагноз, но и оценить объем вовлечения легочной ткани — важный прогностический фактор [4, 5]. Тем не менее морфологическая оценка по КТ, даже при использовании стандартизированных шкал (CO-RADS, CTSS), не учитывает системных патофизиологических процессов, таких как «цитокиновый шторм», гиперкоагуляция и лимфопения, которые играют решающую роль в исходе заболевания [6–8].

Несмотря на наличие отдельных лабораторных и КТ-предикторов, в настоящее время отсутствуют простые интегративные модели, одновременно отражающие ключевые системные механизмы поражения легких при вирусной инфекции. Это ограничивает раннюю стратификацию риска летального исхода у пациентов с клинически гетерогенным течением заболевания.

Существует ряд прогностических индексов, включающих соотношение нейтрофилов и лимфоцитов (NLR), системный иммуновоспалительный индекс (SII) и другие, однако они не отражают напрямую состояние системы гемостаза и уровня ключевых провоспалительных цитокинов [9, 10]. Между тем, именно сочетание трех компонентов — тромбовоспаления (Д-димер), «цитокинового шторма» (интерлейкин-6) и клеточного иммунодефицита (лимфопения) — формирует «фатальную триаду», характерную для пациентов с необратимым ухудшением состояния.

Цель исследования

Разработка трехкомпонентного воспалительно-тромботического индекса (Composite Inflammatory-Thrombotic Index, CITI), рассчитываемом по формуле: (Д-димер $\times$ ИЛ-6) / лимфоциты, предназначенного для прогностической оценки исхода COVID-19-ассоциированного поражения легких на основе ретроспективного анализа данных пациентов в период пандемии.

Материалы и методы исследования

Расчет воспалительно-тромботического индекса (CITI)

При тяжелом течении поражения легких при вирусной инфекции, ассоциированной с SARS-CoV-2, ключевую роль в формировании неблагоприятного исхода играют три взаимосвязанных патофизиологических процесса: системное гипервоспаление («цитокиновый шторм»), активация коагуляционного каскада (тромбовоспаление), лимфоцитопения, отражающая глубокую иммуносупрессию и истощение клеточного звена иммунитета.

Эти три компонента были выделены в многочисленных исследованиях как независимые предикторы летальности при COVID-19, сепсисе и других критических состояниях [2, 11]. В связи с этим возникла необходимость в создании интегративного показателя, способного одновременно отражать все три механизма.

На основе анализа литературы и собственных данных мы предложили оригинальный воспалительно-тромботический индекс (CITI — Composite Inflammatory–Thrombotic Index), основанный, исключительно на патофизиологическом обосновании и клинической интерпретации ключевых биомаркеров, рассчитываемый по следующей формуле:

$$\text{CITI} = \frac{\text{Д-димер max} \times \text{ИЛ-6 max}}{\text{limphocytes 6 min}}$$

Формула CITI построена таким образом, чтобы числитель отражал степень системного повреждения: произведение двух прогностически неблагоприятных маркеров (Д-димер и ИЛ-6). Чем выше их значения, тем выше числитель. Знаменатель отражал состояние иммунной защиты: чем ниже количество лимфоцитов, тем меньше знаменатель и, соответственно, выше итоговое значение индекса. Индекс CITI количественно отражает дисбаланс между системным тромбовоспалительным повреждением и ослабленной клеточной иммунной защитой, что лежит в основе развития летального исхода при тяжелых инфекциях.

В нашей лаборатории показатель Д-димера измеряется в нг/мл (нанogramмы на миллилитр), показатели нормы <500 нг/мл. Показатель интерлейкина-6 измеряется в пг/мл (пикogramмы на миллилитр), показатели нормы <7 пг/мл. Данные лимфоцитов получены в абсолютных значениях $10^9/\text{л}$, норма от $1,2\text{--}4,0 \times 10^9/\text{л}$.

Компьютерная томография

КТ-исследования проводились на многосрезовых компьютерных томографах (Siemens Somatom Emotion 16, GE Healthcare, Германия) в режиме стандартного протокола для оценки легких (толщина среза 1 мм).

Объем поражения легочной ткани (%) оценивался по «эмпирической» визуальной шкале (КТ0-КТ4) врачом-рентгенологом (стаж > 5 лет) [2, 12–14].

Дизайн исследования и когорты пациентов

Для обоснования индекса была выбрана когорта пациентов из общей базы данных, формировавшаяся в период пандемии (2022–2023). Критерии включения — наличие как минимум двух лабораторных измерений Д-димера, интерлейкина-6 (ИЛ-6) и абсолютного количества лимфоцитов в динамике болезни; выполнение как минимум двух КТ-исследований органов грудной клетки; известный исход (выписка или летальный исход), а также отсутствие онкологических заболеваний.

Статистический анализ

Статистический анализ выполнен с использованием программного обеспечения Microsoft Excel 2019. Нормальность распределения количественных признаков оценивалась с помощью теста Шапиро–Уилка, данные представлены в виде медианы и интерквартильного размаха (25–75-й перцентили).

Для сравнения независимых групп (умершие vs выжившие) использован непараметрический U-критерий Манна–Уитни. Связь между количественными переменными оценивалась по коэффициенту ранговой корреляции Спирмена (ρ). Прогностическая способность показателей определена с помощью ROC-анализа с расчетом площади под кривой (AUC) и 95% доверительного интервала. Оптимальные пороговые значения выявлены по максимальному значению индекса Юдена (чувствительность + специфичность — 1). Уровень статистической значимости принят за $p < 0,05$.

Результаты

Рентгено-лабораторные различия между группами

Расчетная группа составила 95 человек, из них мужчин 46 человек (48,4%), женщин 49 человек (51,6%), средний возраст пациентов 65,1 год, степень тяжести заболевания большей части пациентов рассматривалась как среднетяжелая. С учетом исхода заболевания пациенты были разбиты на две группы. Первая группа включала пациентов с летальным исходом у 40 пациентов (42,1%), из них 25 человек женского пола (62,5%) и 15 человек мужского (37,5%). Вторая группа — это 55 пациентов с клиническим выздоровлением.

Анализ выявил статистически значимые различия между группами умерших и выживших по всем ключевым параметрам (табл. 1). У пациентов с летальным исходом отмечались более выраженная гиперкоагуляция (Д-димер max 698 vs 443 нг/мл, $p < 0,001$),

«цитокиновый шторм» (ИЛ-6 max 1213 vs 215 пг/мл, $p < 0,001$), глубокая лимфопения (лимфоциты min 0,4 vs $1,3 \times 10^9/\text{л}$, $p < 0,001$) и массивное поражение легких по КТ (80% vs 45%, $p < 0,001$). Сводные показатели отражены в табл. 1.

Данные расчетов тромбовоспалительного индекса (CIT_I)

В нашем исследовании мы разработали трехуровневую модель интерпретации CIT_I, основанную на двух ключевых принципах: статистической оптимизации с помощью ROC-анализа и эмпирическом распределении летальных исходов в когорте пациентов.

В табл. 2 представлены медианы и интерквартильные размахи ключевых показателей по всей когорте. Статистический анализ выявил достоверные различия по всем указанным параметрам ($p < 0,001$), что подчеркивает их прогностическую значимость в оценке тяжести состояния и риска летального исхода.

При расчетах индекса максимальное значение индекса Юдена ($J = \text{чувствительность} + \text{специфичность} - 1$) для CIT_I достигнуто при пороге 100 000 ($J = 0,853$), что обосновывает его как оптимальную границу между «низким» и «повышенным» риском смерти. Этот показатель отражает наилучший баланс между способностью выявить всех пациентов с неблагоприятным исходом (чувствительность) и избежать ложноположительных прогнозов у выживших (специфичность). Соответственно, значение CIT_I $< 100\,000$ было определено как граница «низкого риска», в этой группе летальный исход зарегистрирован только у 2 из 40 пациентов (5%).

Помимо статистически оптимального порога, мы также выделили клинически значимый порог «максимального риска» — 500 000. Это значение не было

получено через ROC-анализ, а эмпирически выведено из распределения исходов: среди пациентов с CIT_I $> 500\,000$ летальный исход зафиксирован у 28 из 40 (70%), что свидетельствует о крайне тяжелом течении заболевания и высокой вероятности фатального исхода.

Значения CIT_I в диапазоне от 100 001 до 500 000 составляют зону «умеренного риска». В этой группе ($n = 40$) смертность составила 10 из 40 (25%), что указывает на неоднозначный прогноз и необходимость динамического наблюдения.

Общая прогностическая сила индекса CIT_I подтверждена высоким значением площади под ROC-кривой ($AUC = 0,973$), что свидетельствует о его высокой дискриминативной способности. Такой уровень AUC позволяет рассматривать CIT_I как надежный инструмент ранней стратификации риска, сравнимый по точности с комплексными шкалами тяжести, но значительно более простой в применении (рис. 1).

Интегративная модель: CIT_I + КТ

В модели многофакторной логистической регрессии объединен индекс CIT_I и максимальный объем поражения легких по КТ (КТmax), продемонстрировали независимый, но взаимодополняющий вклад в прогноз летального исхода: увеличение CIT_I на каждые 100 000 единиц ассоциировано с 1,28-кратным ростом шансов смерти (95% ДИ 1,15–1,42; $p < 0,001$); рост КТmax на каждые 10% — с 2,14-кратным увеличением риска (95% ДИ 1,67–2,74; $p < 0,001$).

Хотя компьютерная томография органов грудной клетки действительно обладает высокой чувствительностью для выявления поражения легких при COVID-19, ее прогностическая ценность в отношении летального исхода ограничена. Как показали Zhang и соавт. (2020),

Таблица 1

Рентгено-лабораторные характеристики пациентов в зависимости от исхода

Параметр	Вся когорта (n=95)	Умершие (n=40)	Выжившие (n=55)	p
Возраст, лет	65 [49; 86]	73 [65; 86]	61 [49; 74]	$< 0,001$
Д-димер, нг/мл	587 [412; 701]	698 [598; 720]	443 [330; 559]	$< 0,001$
ИЛ-6, пг/мл	500 [215; 1391]	1213 [500; 1624]	215 [60; 337]	$< 0,001$
Лимфоциты, $\times 10^9/\text{л}$	0,7 [0,4; 1,4]	0,4 [0,2; 0,6]	1,3 [0,9; 2,1]	$< 0,001$
КТ, %	70 [45; 80]	80 [75; 85]	45 [30; 60]	$< 0,001$
Летальный исход, n (%)	40 (47,3)	—	—	—

Таблица 2

Лабораторные и КТ-маркеры, их прогностическая ценность

Маркер	Норма	Выжившие (медиана)	Умершие (медиана)	Порог (чувствительность/специфичность)
ИЛ-6	< 7	~30–70	~200–500	$> 100 \rightarrow$ высокий риск летального исхода
Д-димер	< 500	~300–400	~800–1600	$> 600\text{--}800 \rightarrow$ неблагоприятный прогноз
КТ (макс. % поражения)	$< 25\%$ (КТ1)	~45% (КТ2)	~80% (КТ4)	$> 70\% \rightarrow$ высокий риск летального исхода
Лимфоциты	1,2–4,0	~0,8–1,2	~0,3–0,6	$< 0,5 \rightarrow$ риск летального исхода

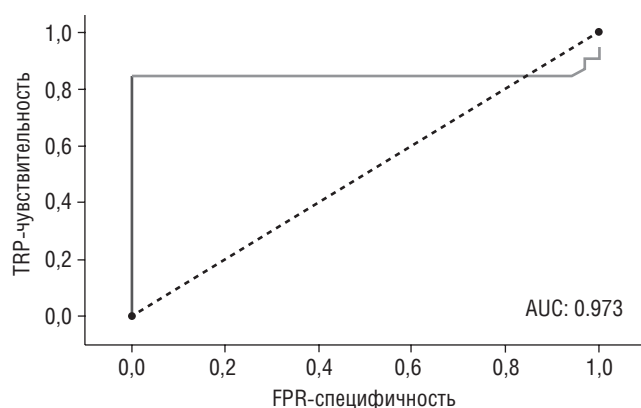


Рис. 1. Кривая ROC-анализа специфичности и чувствительности индекса CITI

у 15–20% пациентов с тяжелым COVID-19 наблюдается несоответствие между клинической картиной и результатами КТ. Комбинация индекса CITI с данными КТ_{max} формируют интегративную картину тяжести болезни с более точными прогностическими данными.

Комбинация CITI >100 000 и КТ_{max} >70% имела чувствительность 93,8% и специфичность 97,4% (AUC=0,989), что позволяет рассматривать данную пару как высокоточную рентгено-лабораторную шкалу прогноза смерти. Такое усиление возможно только тогда, когда маркеры отражают разные аспекты патогенеза — локальный и системный.

Сравнение прогностической силы CITI, NLR и SII

Воспалительно-тромботический индекс (CITI) был сопоставлен с общепринятыми лабораторными прогностическими шкалами — нейтрофильно-лимфоцитарным соотношением (NLR) и системным иммуновоспалительным индексом (SII). Оба этих индекса широко используются в клинической практике благодаря простоте расчета и доказанной прогностической ценности при инфекционных, онкологических и аутоиммунных заболеваниях [15, 16].

Рассчитаны традиционные воспалительные индексы: NLR (нейтрофилы/лимфоциты): медиана 12,8 у умерших vs 4,1 у выживших ($p < 0,001$); SII (тромбоциты × нейтрофилы / лимфоциты): медиана 1840 у умерших vs 620 у выживших ($p < 0,001$).

Однако CITI демонстрировал наибольшую дифференцирующую способность: медиана 1 240 000 у умерших vs 68 000 у выживших ($p < 0,001$).

Эти данные подтверждают, что как NLR, так и SII отражают степень системного воспаления и коррелируют с неблагоприятным исходом. Однако ни один из них напрямую не учитывает ключевые патофизиологические компоненты тяжелого течения COVID-19 ассоциированного поражения легких — активацию коагуляционного каскада и гиперпродукцию провоспалительных цитокинов.

Напротив, CITI, объединяющий маркеры тромбо-воспаления (Д-димер), «цитокинового шторма» (ИЛ-6) и клеточного иммунодефицита (лимфопения), продемонстрировал значительно более выраженную дифференцирующую способность.

Для количественной оценки прогностической точности всех показателей был проведен сравнительный ROC-анализ (табл. 3).

Наибольшая прогностическая точность была достигнута при интеграции CITI с данными КТ: комбинация CITI >100 000 и КТ-поражение >70% позволила достичь AUC=0,989, чувствительности 93,8% и специфичности 97,4%. Это подтверждает гипотезу о том, что локальное повреждение паренхимы (КТ) и системная дисрегуляция (CITI) являются независимыми, но взаимодополняющими предикторами, и их совместное использование создает наиболее надежную основу для ранней стратификации риска.

Таким образом, хотя традиционные индексы (NLR, SII) остаются полезными инструментами скрининга, CITI демонстрирует превосходство за счет патофизиологической целостности, отражая «фатальную триаду» тяжелых инфекций: тромбовоспаление + «цитокиновый шторм» + иммуносупрессия.

Обсуждение результатов

Настоящее исследование подтверждает, что интеграция рентгенологических и лабораторных данных существенно повышает прогностическую точность по сравнению с использованием изолированных параметров. Несмотря на то что КТ позволяет визуализировать изменения в легких при COVID-19 [17], она отражает лишь локальное повреждение легочной ткани и не учитывает системных механизмов, определяющих исход заболевания [18]. Между тем, как показали наши данные, пациенты с умеренным поражением по КТ, но

Таблица 3

Сравнительный анализ прогностической точности показателей

Показатель	AUC (95% ДИ)	Оптимальный порог	Чувствительность, %	Специфичность, %
CITI	0,982 (0,954–1,000)	100 000	90,6	94,7
NLR	0,921 (0,858–0,984)	8,5	87,5	84,2
SII	0,934 (0,874–0,994)	1200	84,4	89,5
CITI + КТ	0,989 (0,912–1,000)	100 000/70%	93,8	97,4

высоким СІТІ, имеют значительный риск смерти, тогда как некоторые с КТ >70%, но низким СІТІ, могут выживать при своевременной коррекции.

При сравнительной характеристике СІТІ с традиционными воспалительными индексами существует ряд преимуществ данного показателя. Например, нейтрофильно-лимфоцитарное соотношение (NLR) имеет существенные ограничения: он не учитывает активацию системы гемостаза и уровень ключевых цитокинов, что снижает его специфичность в условиях тромбовоспаления, характерного для тяжелого COVID-19. ROC-анализ подтвердил умеренную прогностическую силу NLR (см. табл. 3).

Системный иммуновоспалительный индекс (SII) расширяет концепцию NLR за счет включения тромбоцитов — клеток, участвующих в воспалении и коагуляции. Несмотря на это, SII также остается непрямым маркером, не отражающим ни уровень ИЛ-6, ни степень гиперкоагуляции. Его AUC составил 0,934, что лишь незначительно превосходит NLR.

Предложенный индекс СІТІ принципиально отличается от традиционных воспалительных шкал (NLR, SII) тем, что напрямую включает ключевые патофизиологические компоненты тяжелого течения инфекции: Д-димер как маркер тромбовоспаления; ИЛ-6 как центральный регулятор «цитокинового шторма»; лимфоциты как индикатор клеточного иммунитета.

Это позволяет СІТІ достоверно отражать «фатальную триаду», описанную при тяжелом течении COVID-19 [19, 20]. В наших данных индекс СІТІ превосходил NLR и SII по AUC (0,982 против 0,921 и 0,934 соответственно), что согласуется с гипотезой о том, что механизм-специфичные биомаркеры обладают большей прогностической силой, чем общие воспалительные индексы.

Наиболее важным результатом стало выявление синергетического эффекта при комбинированном использовании СІТІ и КТmax. Совместный критерий $\text{СІТІ} > 100\,000 + \text{КТmax} > 70\%$ обеспечил чувствительность 93,8%, специфичность 97,4% и $\text{AUC} = 0,989$, что превосходит любой маркер по отдельности. Это подтверждает, что локальное повреждение (КТ) и системная дисрегуляция (СІТІ) являются независимыми, но взаимодополняющими предикторами, и их интеграция создает наиболее надежную основу для ранней стратификации риска.

Таким образом, хотя NLR, SII и КТmax остаются полезными инструментами, СІТІ демонстрирует принципиальное преимущество за счет патофизиологической обоснованности и высокой прогностической точности, а его комбинация с КТmax формирует высокоточную рентгено-лабораторную шкалу прогноза смерти.

Ограничения предлагаемой методики

Несмотря на высокую прогностическую точность, предложенная методика имеет ряд существенных

ограничений, которые необходимо учитывать при интерпретации результатов и планировании дальнейших исследований.

Зависимость от доступности специфических лабораторных анализов, так как расчет СІТІ требует определения интерлейкина-6, который не входит в стандартные лабораторные панели. В таких случаях более практичными остаются индексы NLR или SII.

Ретроспективный характер и одноцентровый дизайн исследования. Данные получены в одном лечебном учреждении в период пандемии COVID-19, характеризовавшейся высокой смертностью и отсутствием эффективной специфической терапии. Это может привести к завышению прогностической силы СІТІ по сравнению с ситуациями, когда применяются современные противовирусные антикоагулянты и иммуномодуляторы.

Отсутствие валидации на независимой когорте. Для клинического внедрения необходима внешняя валидация на многоцентровой когорте с разнообразным демографическим и клиническим профилем.

Отсутствие динамической оценки. В работе использованы экстремальные значения (максимум/минимум), но не анализировалась скорость нарастания СІТІ, которая может быть еще более чувствительным предиктором ухудшения.

Отсутствие учета терапии. В анализ не включены данные о проводимом лечении (глюкокортикостероиды, антикоагулянты, иммуномодуляторы, противовирусные препараты), которые могли существенно влиять как на лабораторные показатели, так и на исход заболевания.

Ограниченная характеристика клинического статуса пациентов. В модели не учитывались сопутствующие заболевания, функциональный статус, показатели дыхательной недостаточности и необходимость респираторной поддержки, которые являются важными прогностическими факторами.

Визуальная оценка объема поражения легких по КТ. Объем поражения легких оценивался визуально одним врачом-рентгенологом. Это ограничивает воспроизводимость метода и не позволяет оценить межнаблюдательское согласие.

Несмотря на перечисленные ограничения, СІТІ остается патофизиологически обоснованным и высокоинформативным инструментом для прогноза исхода у пациентов с поражением легких при COVID-19 в условиях, где доступны необходимые лабораторные тесты.

Перспективы исследования

В будущем планируется разработка адаптированной версии шкалы с заменой ИЛ-6 на более доступные маркеры (например, С-реактивный белок) без существенной потери прогностической силы. Также

возможна проверка данного индекса на ряде других заболеваний, например, аутоиммунного характера, сепсисе и т.д. В перспективе планируется интеграция модели в систему поддержки клинических решений (CDSS) с возможностью автоматического расчета данных.

Заключение

В настоящем исследовании разработана рентгено-лабораторная прогностическая модель летального исхода при тяжелом COVID-19-ассоциированном поражении легких, основанная на новом воспалительно-тромботическом индексе CITI, интегрирующем маркеры системного воспаления, коагуляционной активности и клеточного иммунитета.

Показано, что индекс CITI обладает высокой дискриминативной способностью и превосходит традиционные воспалительные показатели (NLR, SII) в прогнозировании летального исхода. Использование CITI в сочетании с оценкой объема поражения легких по данным компьютерной томографии позволяет существенно повысить прогностическую точность за счет

одновременного учета системной дисрегуляции и локального повреждения легочной паренхимы.

Полученные результаты свидетельствуют о перспективности интегративного подхода, объединяющего лабораторные и КТ-маркеры, для ранней стратификации риска у пациентов с COVID-19-ассоциированным поражением легких. Предложенная шкала может рассматриваться как основа для дальнейших многоцентровых исследований и внешней валидации прогностической модели.

Вклад авторов

Кенц А.С. — концепция и дизайн исследования, обзор публикаций по теме исследований, проведение исследования, сбор и обработка данных, анализ и интерпретация полученных результатов, подготовка текста статьи.

Тюрин И.Е. — концепция и дизайн исследования, постановка задачи исследования, утверждение окончательного варианта статьи.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Список литературы

1. Терновой С.К., Серова Н.С., Беляев А.С., Беляева К.А. COVID-19: первые результаты лучевой диагностики в ответе на новый вызов. REJR 2020; 10 (1): 8–15. [Ternovoy S.K., Serova N.S., Belyaev A.S., Belyaeva K.A. COVID-19: first results of radiology in response to a new challenge. REJR 2020; 10 (1): 8–15 (In Russ.)]. doi: 10.21569/2222-7415-2020-10-1-8-15.
2. Синицын В.Е., Тюрин И.Е., Митьков В.В. Временные согласительные методические рекомендации Российского общества рентгенологов и радиологов (РОПР) и Российской ассоциации специалистов ультразвуковой диагностики в медицине (РАСУДМ) «Методы лучевой диагностики пневмонии при новой коронавирусной инфекции COVID-19» (версия 2). BPP. 2020; 101 (2): 72–89. [Sinityn V.E., Tyurin I.E., Mitkov V.V. Consensus Guidelines of Russian Society of Radiology (RSR) and Russian Association of Specialists in Ultrasound Diagnostics in Medicine (RASUDM) «Role of Imaging (X-ray, CT and US) in Diagnosis of COVID-19 Pneumonia» (version 2). Journal of radiology and nuclear medicine 2020; 101 (2): 72–89 (In Russ.)].
3. Морозов С.П., Проценко Д.Н., Сметанина С.В. и др. Временные методические рекомендации профилактики, диагностики и лечения новой коронавирусной. М., 2021: 81 [Morozov S.P., Procenko D.N., Smetanina S.V. et al. Radiological Imaging of COVID19: organization, methodology and interpretation. Moscow: The Department of Health of Moscow, 2020: 81 (In Russ.)].
4. Христенко Е.А., фон Стакельберг О., Кауцор Х.-У., Лайер Г., Ридэн Т.В. КТ-паттерны при COVID-19-ассоциированных пневмониях — стандартизация описаний исследований на основе глоссария общества Флейшнера. REJR 2020; 10 (1): 16–26. [Khristenko E., von Stackelberg O., Kauczor H.-U., Layer G., Rieden T. Ctpatterns in COVID-19 associated pneumonia — unification of radiological reports based on glossary of Fleischner society. REJR 2020; 10 (1): 16–26 (In Russ.)]. doi: 10.21569/2222-7415-2020-10-1-16-26.
5. Кармазановский Г.Г., Замятина К.А., Сташкив В.И., Шантаревич М.Ю., Кондратьев Е.В., Семенов Ф.М., Кузнецова С.Ю., Козлова А.В., Плотников Г.П., Попов В.А., Чупин А.В., Грицкевич А.А., Чилилов А.М., Печетов А.А., Курочкина А.И., Хохлов В.А., Калинин Д.В. Компьютерно-томографическая диагностика и мониторинг течения вирусной пневмонии, обусловленной вирусом SARS-CoV-2, при работе «Госпиталя COVID-19» на базе Федерального специализированного медицинского научного центра. Медицинская визуализация 2020; 24 (2): 11–36. [Karmazanovsky G.G., Zamyatina K.A., Stashkiv V.I., Shantarovich M.Yu., Kondratyev E.V., Semenov F.M., Kuznetsova S.Yu., Kozlova A.V., Plotnikov G.P., Popov V.A., Chupin A.V., Gritskovich A.A., Chililov A.M., Pechetov A.A., Kurochkina A.I., Khokhlov V.A., Kalinin D.V. CT diagnostics and monitoring of the course of viral pneumonia caused by the SARS-CoV-2 virus during the work of the “COVID-19 Hospital”, based on the Federal Specialized Medical Scientific Center. Medicinskaya vizualizatsiya 2020; 24 (2): 11–36 (In Russ.)]. https://doi.org/10.24835/1607-0763-2020-2-11-36.
6. Сперанская А.А., Осипов Н.П., Лыскова Ю.А., Амосова О.В. КТ-диагностика последствий COVID-19 поражения легких. Лучевая диагностика и терапия 2021; 12 (4): 58–64. [Speranskaya A.A., Osipov N.P., Lyskova Yu.A., Amosova O.V. CT patterns of residual changes in COVID-19 lung lesions. Luchevaya diagnostika i terapiya 2021; 12 (4): 58–64 (In Russ.)]. https://doi.org/10.22328/2079-5343-2021-12-4-58-64.
7. Чушкин М.И., Кирюхина Л.Д., Шергина Е.А., Алекперов Р.И., Тихонская А.Н., Макарьянц Н.Н., Карпина Н.Л. Изменения параметров функции легких у пациентов с хроническими заболеваниями легких: наблюдение до и после COVID-19. Медицинский альянс 2024; 12 (3): 30–36. [Chushkin M., Kiryukhina L., Shergina E., Alekperov R., Tikhonskaya A., Makaryants N., Karpina N. The changes of pulmonary function parameters due to COVID-19 in patients with chronic pulmonary diseases: follow-up after COVID-19. Medicinskij al'jans 2024; 12 (3): 30–36 (In Russ.)]. doi: 10.36422/23076348-2024-12-3-30-36. EDN KQOQMT.

8. Вдоушкина Е.С., Бородулина Е.А., Курдюкова Е.А., Зубакина С.А. Факторы риска летальных исходов при вирус-ассоциированных поражениях легочной ткани. Медицинский альянс 2024; 12 (4): 19–24. [Vdoushkina E., Borodulina E., Kurdyukova E., Zubakina S. Risk factors for fatal outcomes in virus-associated lung tissue lesions. Medicinskij al'jans 2024; 12 (4): 19–24 (In Russ.)]. doi: 10.36422/23076348-2024-12-4-19-24. EDN FBYSNK.
9. Templeton A.J., McNamara M.G., Šeruga B., Vera-Badillo F.E., Aneja P., Osaña A., Leibowitz-Amit R., Sonpavde G., Knox J.J., Tran B., Tannock I.F., Amir E. Prognostic role of neutrophil-to-lymphocyte ratio in solid tumors: a systematic review and meta-analysis. J. Natl. Cancer Inst. 2014 May 29; 106 (6): dju124. doi: 10.1093/jnci/dju124. PMID: 24875653.
10. Lolli C., Basso U., Derosa L., Scarpi E., Sava T., Santoni M., Crabb S.J., Massari F., Aieta M., Conteduca V., Maruzzo M., La Russa F., Wheeler M., Berardi R., Galli L., De Giorgi U. Systemic immune-inflammation index predicts the clinical outcome in patients with metastatic renal cell cancer treated with sunitinib. Oncotarget. 2016 Aug 23; (34): 54564–54571. doi: 10.18632/oncotarget.10515. PMID: 27409344; PMCID: PMC5342364.
11. Тюрин И.Е., Струтинская А.Д. Визуализация изменений в легких при коронавирусной инфекции (обзор литературы и собственные данные). Пульмонология 2020; 30 (5): 658–670. [Tyurin I.E., Strutynskaya A.D. Imaging of lung pathology in COVID-19 (literature review and own data). Pul'monologiya. 2020; 30 (5): 658–670. doi: 10.18093/0869-0189-2020-30-5-658-670.
12. Kents A.S., Hamad Y.A., Simonov K.V., Zotin A.G. Methods and models for texture analysis of lung pathological changes based on computed tomography for COVID-19 diagnosis. Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci. 2021; XLIV-2/W1-2021: 99–105. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLIV-2-W1-2021-99-2021>.
13. Zotin A.G. Fast algorithm of image enhancement based on multi-scale retinex. Int. J. Reasoning-based Intelligent Systems 2018; 12 (2): 106–116. doi: 10.1016/j.procs.2018.04.179.
14. Kents A., Hamad Y., Simonov K. et al. Geometric analysis of pathological changes in the lungs using CT images for COVID-19 diagnosis. CEUR Workshop Proceedings. 2020; 2727: 43–50. <http://api.semanticscholar.org>.
15. Карнаушкина М.А., Тополянская С.В., Антонова Е.В. и др. Биомаркеры клинической и рентгенологической тяжести новой коронавирусной инфекции, вызванной вирусом SARS-CoV-2, и их ассоциация с тяжелым вариантом ее течения. Бюллетень сибирской медицины 2021; 20 (1): 50–58. [Karnaushkina M.A., Topolyanskaya S.V., Antonova E.V. et al. Biomarkers of clinical and radiological severity of a new coronavirus infection caused by SARS-CoV-2 virus, and their association with a severe variant of its course. Bjulleten' sibirskoj mediciny 2021; 20 (1): 50–58 (In Russ.)]. <http://doi.org/10.20538/1682-0363-2021-1-50-58>.
16. Ревизишвили А.Ш., Кармазановский Г.Г., Плотников Г.П. и др. Динамика легочного повреждения и экстракорпоральные методы гемокоррекции у пациентов с Sars-Cov-2. Медицинская визуализация 2020; 24 (3): 12–25. [Revishvili A.Sh., Karmazanovsky G.G., Plotnikov G.P. et al. Dynamics of pulmonary injury and extracorporeal methods of hemocorrection in patients with SarsCoV-2. Medicinskaja vizualizacija 2020; 24 (3): 12–25]. <http://doi.org/10.24835/1607-0763-2020-3-12-25>.
17. Kents A., Zotin A., Simonov K. Comparative Analysis of Laboratory and Radiation Methods of Studies with the Degree of Severity of Patients with COVID-19. 25th International Conference on Digital Signal Processing and its Applications (DSPA), Moscow, Russian Federation, 2023, pp. 1–5, doi: 10.1109/DSPA57594.2023.10113394.
18. Черняев А.Л., Самсонова М.В. Этиология, патогенез и патологическая анатомия диффузного альвеолярного повреждения. Общая реаниматология 2005; 1 (5): 13–16. [Chernyaev A.L., Samsonova M.V. The Etiology, Pathogenesis, and Pathological Anatomy of Diffuse Alveolar Lesion. Obshhaja reanimatologija 2005; 1 (5): 13–16 (In Russ.)]. <https://doi.org/10.15360/1813-9779-2005-5-13-16>.
19. Zhou F., Yu T., Du R. et al. Clinical course and risk factors for mortality of adult inpatients with COVID-19 in Wuhan, China: a retrospective cohort study. Lancet 2020; 395 (10229): 1054–1062. doi: 10.1016/S0140-6736(20)30566-332171076.
20. Первушкин С.С., Зельтер П.М., Крамм Е.К., Сартакова Е.А. Сравнение уровня экспертного согласия в оценке объема поражения при COVID-19-ассоциированной пневмонии на компьютерной томографии грудной клетки. Вестник РАМН 2022; 77 (2): 97–106. [Pervushkin S.S., Zelter P.M., Kramm E.K. et al. Comparison of Intra- and Inter-Observer Consistency (Intra-Expert Reliability, Inter-Expert Reliability) in Assessing the Extent of COVID-19 Pneumonia Lesions on Chest Computed Tomography. Annals of the Russian Academy of Medical Sciences 2022; 77 (2): 97–106 (In Russ.)]. doi: <http://doi.org/10.15690/vramn1644>.

Поступила в редакцию: 23.02.2026 г.

Сведения об авторах:

Кенц Анжелика Станиславовна — врач-рентгенолог ФГБУ «Федеральный сибирский научно-клинический центр» Федерального медико-биологического агентства; 660037, Красноярск, Коломенская ул., д. 26; ORCID 0000-0003-4804-8268;

Тюрин Игорь Евгеньевич — доктор медицинских наук, профессор ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Минздрава России; 125993, Россия, Москва, ул. Баррикадная, 2 / 1, стр. 1; заведующий кафедрой рентгенологии и радиологии Научно-исследовательского института клинической и экспериментальной радиологии ФГБУ «Научный медицинский исследовательский центр онкологии им. Н.Н. Блохина» Минздрава России; 115522, Москва, Каширское шоссе, д. 23; заместитель директора по научной работе, ведущий научный сотрудник ФГБУ «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт фтизиопульмонологии» Минздрава России; 191036, Санкт-Петербург, Лиговский пр., д. 2–4; ORCID 0000-0003-3931-1431.