

Эволюция методики и новые протоколы ультразвукового исследования легких при COVID-19 пневмониях

И. С. Щепарев^{1*}, Б. А. Теплых¹, Г. С. Киреева¹, Д. Н. Проценко^{2,3},
Д. В. Коцюбинский¹, О. Ю. Броннов¹, Э. А. Баланык^{2,3}

¹ Национальный Медико-Хирургический центр им. Н. И. Пирогова,
Россия, 105203 г. Москва, ул. Нижняя Первомайская, д. 70

² Городская клиническая больница № 40 Департамента здравоохранения г. Москвы,
Россия, 129301, г. Москва, ул. Касаткина, д. 7

³ Московский многопрофильный клинический центр «Коммунарка» Департамента здравоохранения г. Москвы,
Россия, 108814, п. Коммунарка, ул. Сосенский Стан, д. 8

Для цитирования: И. С. Щепарев, Б. А. Теплых, Г. С. Киреева, Д. Н. Проценко, Д. В. Коцюбинский, О. Ю. Броннов, Э. А. Баланык. Эволюция методики и новые протоколы ультразвукового исследования легких при COVID-19 пневмониях. *Общая реаниматология*. 2023; 19 (6): 39–47. <https://doi.org/10.15360/1813-9779-2023-6-39-47> [На русск. и англ.]

*Адрес для корреспонденции: Иван Сергеевич Щепарев, is22@list.ru

Резюме

Сортировка пациентов с COVID-19 пневмонией — очень зависимая от времени задача, которая позволяет эффективно распределить ресурсы больницы, что в конечном итоге может привести к спасению жизни пациента.

Проблемы использования компьютерной томографии в перегруженной системе здравоохранения требуют поиска дополнительных методов дифференцировки тяжести пневмонии, вызванной COVID-19.

Цель исследования — разработка протоколов ультразвукового исследования легких (Lung Ultra-Sound — LUS) с высокими диагностическими характеристиками для определения тяжести пневмонии, вызванной COVID-19, которые можно использовать вместо КТ во время сортировки в условиях неотложной помощи.

Материалы и методы. Провели ретроспективный анализ данных о 161 госпитализированном пациенте с подтвержденной пневмонией, вызванной COVID-19, которым в течение 24 ч после госпитализации выполнили как КТ, так и LUS. Три последовательных протокола LUS, в том числе два, разработанные авторами LUS NMHC (National Medical-Surgical Center), тестировали, чтобы выбрать из них наиболее надежный для определения выраженности повреждения легких при пневмонии, вызванной COVID-19 (исходя из корреляции с результатами КТ грудной клетки). Проверили также применимость LUS для построения прогноза заболевания.

Результаты. С помощью как 16-зонного, так и 12-зонного LUS NMHC протокола можно различать умеренное (<50% по КТ) и тяжелое (>50% по КТ) повреждение легких. AUC для кривых ROC была почти идентична: 0,83 (95% СИ, 0,75–0,90) и 0,81 (95% СИ 0,73–0,88) для 16-зонного и 12-зонного LUS NMHC протоколов, соответственно. 16-зонный LUS NMHC имел оптимальный порог 20 баллов с чувствительностью 67% и специфичностью 82%, в то время как 12-зонный LUS NMHC обеспечивал оптимальный порог 15 баллов с той же чувствительностью, но более низкой специфичностью — только 73%. Ни по 16-зонному, ни по 12-зонному LUS-протоколам NMHC нельзя было прогнозировать исход.

Заключение. Недавно разработанные 16- и 12-зонные протоколы LUS NMHC для пациентов с пневмонией, вызванной COVID-19, оказались просто выполнимыми и имели сильную корреляцию с результатами КТ. 16-зонный протокол LUS NMHC вероятно более применим для сортировки пациентов, у которых по КТ имеется более 50% объема повреждения легких. Оба протокола могут быть полезны в условиях неотложной помощи и в медицинских учреждениях с ограниченным или отсутствующим доступом к КТ.

Ключевые слова: УЗИ легких; LUS score, COVID-19; пневмония

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Evolution of Techniques and New Protocols for Lung Ultrasound Examination in COVID-19 Pneumonia Patients

Ivan.S. Shcheparev^{1*}, Boris A. Teplykh¹, Galina S. Kireeva¹, Denis N. Protsenko^{2,3},
Denis V. Kotsyubinsky¹, Oleg Yu. Bronov¹, Eleonora A. Balanyuk^{2,3}

¹ N. I. Pirogov National Medical Surgical Center, Ministry of Health of Russia,
70 Nizhnyaya Pervomayskaya Str., 105203 Moscow, Russia

² City Clinical Hospital № 40, Moscow City Health Department,
7 Kasatkina Str., 107014 Moscow, Russia

³ Moscow Multispecialized Clinical Center «Kommunarka», Moscow City Health Department,
8 Sosensky Stan Str., Kommunarka settlement, 108814 Russia

Summary

Competent triage of patients with COVID-19 pneumonia is not only about efficient allocation of hospital resources, but also about making timely decisions that can ultimately save the patient's life. When healthcare facility is overloaded, computed tomography to assess the severity of COVID-19-associated pneumonia in each individual case is not always possible. Alternative solutions, however, are opted.

The aim of the study was to develop Lung UltraSound (LUS) protocols with high diagnostic potential for assessing the severity of pneumonia caused by COVID-19, which can be reliably used instead of CT during triage in an emergency setting.

Materials and methods. We conducted a retrospective analysis of data on 161 hospitalized patients with confirmed pneumonia caused by COVID-19, subjected to both CT and LUS within 24 hours after hospitalization. Three consecutive LUS protocols, including two LUS developed by the NMHC (National Medical Surgical Center) authors, were tested to choose the most reliable protocol for assessing the severity of lung damage in pneumonia caused by COVID-19 (based on correlation with chest CT results). We also checked the applicability of LUS for the prognosis of the disease.

Results. Moderate (<50% CT) and severe (>50% CT) lung damage can be distinguished when using both the 16-zone and 12-zone LUS NMHC scanning protocols. The AUC for the ROC curves was almost identical: 0.83 (95% CI: 0.75–0.90 and 0.81 (95% CI: 0.73–0.88) for the 16-zone and 12-zone LUS NMHC protocols, respectively. The 16-zone LUS NMHC had an optimal threshold of 20 scores with a sensitivity of 67% and a specificity of 82%, while the 12-zone LUS NMHC provided an optimal threshold of 15 scores with the same sensitivity but lower specificity — only 73%. Neither the 16-zone nor the 12-zone NMHC LUS protocols could predict the outcome.

Conclusion. The newly developed 16- and 12-zone LUS NMHC scanning protocols for patients with pneumonia caused by COVID-19 proved to be easy to implement, demonstrating a strong correlation with CT results. The 16-zone LUS NMHC protocol is probably more relevant for triage of patients with more than 50% of pulmonary tissue involvement based on CT data. Both protocols can be useful in emergency settings and in medical institutions with limited or no access to CT.

Keywords: lung ultrasound; LUS score; COVID-19; pneumonia

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Read the full-text English version at www.reanimatology.com

Введение

После первых нескольких месяцев пандемии COVID-19 стало ясно, что системам здравоохранения приходится заниматься распределением ограниченных ресурсов во время беспрецедентного всплеска случаев госпитализаций [1]. Сортировка и идентификация пациентов, нуждающихся в госпитализации, остается одной из самых сложных задач. В то время как ПЦР-тест остается «золотым стандартом» для диагностики SARS-CoV-2, КТ органов грудной полости является рекомендуемым диагностическим методом для определения тяжести заболевания в подтвержденных случаях [2, 3]. Несколько исследований представили доказательства диагностической ценности КТ у бессимптомных инфицированных пациентов [4, 5]. В то же время ограниченные ресурсы рентгенологической службы и строгие протоколы обеззараживания после обследования пациентов с COVID-19 поставили под угрозу широкую доступность и эффективность КТ [6–8].

Вариантом диагностики пневмонии COVID-19 является ультразвуковое исследование легких (LUS — Lung UltraSound) — просто выполнимое и недорогое [9, 10], оно и было предложено в качестве эффективного диагностического инструмента [11, 12]. В конце концов, LUS нашло широкое клиническое применение, несмотря на спорную диагностическую ценность [13, 14]. Вариабельность используемых протоколов LUS и отсутствие точной воспроиз-

водимости для разных операторов [2] влияют на обоснованность внедрения LUS в сортировку пациентов с пневмонией COVID-19.

Еще одна проблема при LUS связана с отсутствием согласованных систем отчетности и интерпретации результатов [15]. В начале пандемии в Национальном Медико-Хирургическом центре им. Н. И. Пирогова обнаружили, что стандартный описательный протокол LUS имеет умеренную или низкую диагностическую ценность и занимает неприемлемо много времени при сортировке пациентов с COVID-19.

Таким образом, цель состояла в том, чтобы предложить новые протоколы LUS с высокими диагностическими характеристиками для определения выраженности повреждения легких при пневмонии COVID-19, которые можно было бы использовать вместо компьютерной томографии во время сортировки пациентов в условиях неотложной помощи.

Кроме того, в исследовании впервые, насколько нам известно, сообщается о результатах применения различных протоколов LUS, проведенных у одних и тех же пациентов с подтвержденным COVID-19.

Материал и методы

Выполнили ретроспективное исследование, в котором использовали данные УЗИ легких, проведенного у 161 пациента с COVID-19, госпитализированных с марта по май 2021 г.

Исследование было одобрено Локальным этическим комитетом Национального медико-хирургического центра им. Н. И. Пирогова (протокол № 11 от 26 октября 2021 г.) и проведено в соответствии с Хельсинкской декларацией. Поскольку данные собирали ретроспективно и обрабатывали анонимно, информированное согласие было отозвано Локальным этическим комитетом Национального медико-хирургического центра им. Н. И. Пирогова.

Первоначально пациентов госпитализировали в отделение интенсивной терапии (ОИТ) и выполняли как КТ грудной клетки, так и LUS в течение 24 ч после поступления.

Диагноз COVID-19 обосновывали либо положительным ПЦР-тестом на SARS-CoV-2, либо клиническими проявлениями с рентгенологическими признаками инфекции даже при отрицательном ПЦР-тесте при поступлении.

Критерии исключения: заподозренная по лабораторным или рентгенологическим данным бактериальная инфекция, развившаяся на догоспитальном этапе.

Оценка КТ грудной клетки. Всем пациентам, включенным в исследование, выполняли КТ грудной клетки в рамках рутинного локального протокола при подозрении на пневмонию COVID-19. Применяли 64-канальный сканер Brilliance CT (Philips Healthcare, Cleveland OH) или GE Revolution Evo. Использовали параметры на трубке — 120 кВ, 90 мА ($\pm 25\%$). Толщина среза при реконструкции легкого составила 1,25 мм. Фильтр: легкие. Степень повреждения легких оце-

нивали с использованием системы баллов КТ (табл. 1), основанной на количестве и качестве повреждения ткани легких (помутнения по типу матового стекла и/или консолидации) [16]:

- СТ-0 — нет патологических изменений
- СТ-1 — повреждение ткани легких <25%
- СТ-2 — повреждение ткани легких 25–50%
- СТ-3 — повреждение ткани легких 50–75%
- СТ-4 — повреждение ткани легких >75%

Шкалы Lung UltraSound и их интерпретация.

Использовали ультразвуковые аппараты Sonosite Edge II (Fujifilm Sonosite, USA) и Logiq E (GE HealthCare, China), для исследования применяли конвексный датчик. Базовый режим — абдоминальный, глубина сканирования — 11–13 см.

Для поиска наиболее надежного (с точки зрения корреляции с КТ грудной клетки) протокола оценки пневмонии COVID-19 последовательно тестировали три протокола LUS.

1. 16-зонный LUS. Этот протокол основан на местном стандартном методе LUS для диагностики и оценки пневмонии, отличной от COVID-19 [17]. Описательные данные (количество А- и В-линий, утолщенная плевра или неправильная плевральная линия, консолидации и т. д.) сначала группируются в определенный профиль легкого, а затем каждый профиль оценивается в соответствии со шкалой, представленной в табл. 1.

2. 16-зонный LUS NMHC (National Medical-Surgical Center) модифицированный. В этом протоколе баллы основаны на оценке самих данных, а не на

Таблица 1. Протоколы подсчета баллов для определения тяжести повреждения легких при пневмонии, вызванной COVID-19, согласно результатам LUS.

Балл	Критерии протокола		
	16-зонный LUS	16-зонный LUS NMHC	12-зонный LUS NMHC
0	Нормальный легочный профиль без плевральных деформаций. Допустимы одиночные (< 3) В-линии	А-линии занимают 100% исследуемой зоны, допустимо до 2 В-линий в поле зрения. В-линии не могут быть сливными или яркими, на их фоне должны быть хорошо видны А-линии.	А-линии занимают 100% исследуемой зоны, допустимо до 2 В-линий в поле зрения. В-линии не могут быть сливными или яркими, на их фоне должны быть хорошо видны А-линии.
1	Умеренный интерстициальный синдром, до 5 В-линий в поле зрения. Деформированная плевральная линия.	А-линии занимают >50% межреберных промежутков в поле зрения. Или А-линии занимают 100% исследуемой зоны с множественными В-линиями, которые хорошо видны на фоне А-линий	А-линии занимают >50% межреберных промежутков в поле зрения Или А-линии занимают 100% исследуемой зоны с множественными В-линиями, которые хорошо видны на фоне А-линий
2	Значительный интерстициальный синдром, субплевральные консолидации менее 15 мм*	А-линии занимают <50% межреберных промежутков в поле зрения. Или Соотношение В-линий и А-линий — 1:1 с наличием субплевральной консолидации менее 15 мм	А-линии занимают <50% межреберных промежутков в поле зрения. Или Соотношение В-линий и А-линий — 1:1 с наличием субплевральной консолидации менее 15 мм
3	Большая консолидация более 15 мм*	Большая консолидация более 15 мм с наличием плеврального выпота или без него	Большая консолидация более 15 мм с наличием плеврального выпота или без него

Примечание.* — Пороговое значение 15 мм приняли для разграничения субплевральных и больших консолидаций [18], которые обнаруживали во время ультразвукового осмотра.

их переводе в «профиль» легких, что делает его более выполнимым в условиях неотложной помощи (рис. 1, а, табл. 1).

3. 12-зонный LUS NMHC. Данные получили путем выполнения 16-зонного LUS NMHC, а затем повторной оценки (пересчета) с использованием 12-зонной схемы легкого (рис. 1, б). Ту же шкалу оценки применяли для определения тяжести повреждения легких (табл. 1).

Статистический анализ проводили с использованием SPSS IBM версии 22 (SPSS Inc., Чикаго, Иллинойс, США). Демографические, клинические и конечные переменные представили в виде средних значений и стандартных отклонений (\pm SD), медиан и межквартильного диапазона [IQR] или чисел (в процентах), когда это было уместно.

Для определения распределения данных использовали критерий Shapiro–Wilk. Для проведения сравнительного анализа — *U*-критерии ANOVA или Mann–Whitney и Kruskal Wallis, в зависимости от нормальности распределений.

Корреляцию между данными, полученными по протоколам LUS и КТ органов грудной клетки (а также между разными протоколами LUS), оценивали с помощью коэффициента корреляции Spearman.

Возможность с помощью LUS различать тяжесть повреждения легких, обнаруженную на КТ, а также прогнозировать исходы измеряли путем сравнения ROC-кривых.

Для определения оптимального порога использовали индекс Youden. Многопараметрическую логистическую регрессию использовали при оценке возможности использования индексов LUSI и CTSI для индивидуального прогноза.

Доступность данных и материалов. Данные не являются общедоступными из-за того, что содержат конфиденциальную информацию об участниках исследования. Обезличенные данные, подтверждающие результаты этого исследования, можно получить по запросу у автора, И. С. Щепарева.

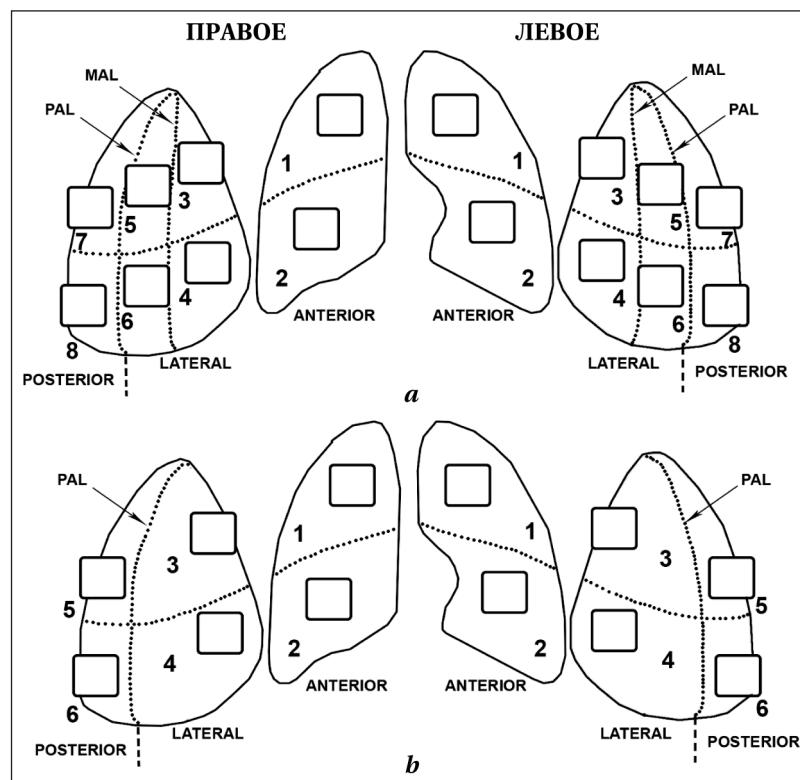


Рис. 1. Схема легких для 16-зонных протоколов LUS и LUS NMHC (а) и 12-зонного протокола LUS NMHC (б).

Примечание. MAL — middle axillary line (средняя подмышечная линия); PAL — posterior axillary line (задняя подмышечная линия). Рисунок авторов.

ная вентиляция легких, а 7 (4,3%) — неинвазивная искусственная вентиляция легких. Всего 137 пациентов (85%) провели не менее 1 дня в отделении интенсивной терапии со средней продолжительностью пребывания 5 дней (IQR, 3–10). Медиана нахождения в стационаре составила 8 дней (IQR, 3–15).

Пример парного изображения LUS и КТ пациента с пневмонией COVID-19, использованных для оценки, представили на рис. 2.

В мае 2020 г. 16-зонный протокол LUS вместе с КТ грудной клетки выполнили у 18 пациентов (11,1%), в то время как 16-зонный LUS NMHC и 12-зонный LUS NMHC протоколы последовательно выполнили у остальных 143 пациентов (88,8%) в течение марта–мая 2021 г. Причиной

Таблица 2. Исходные характеристики госпитализированных пациентов с COVID-19.

Показатели	Значение показателя, n=161
Мужчины, n (%)	67 (41,6)
Женщины, n (%)	94 (58,4)
Возраст, годы	69,2 \pm 14,6
SpO ₂ , %	85,0 \pm 12,6
Время от возникновения симптомов до госпитализации, дни	10 [3–10]
C-реактивный белок, мг/л (n=154)	97,5 [42,3; 158,5]
Шкала NEWS, баллы (n=137)	4,8 \pm 2,9
Использованы протоколы LUS, n (%)	161 (100)
16-зонный LUS, n (%)	18 (11,1)
16-зонный LUS NMHC, n (%)	143 (88,8)
12-зонный LUS NMHC, n (%)	143 (88,8)

Результаты

В исследование включили 161 пациента с COVID-19, которым при госпитализации провели как КТ грудной клетки, так и LUS. Их демографические и клинические данные представили в табл. 2. Средняя продолжительность симптомов от их возникновения до момента госпитализации составляла 10 дней (IQR, 3–10).

Из 161 поступившего пациента 59 (36,6%) в итоге потребовалась инвазивная искусствен-

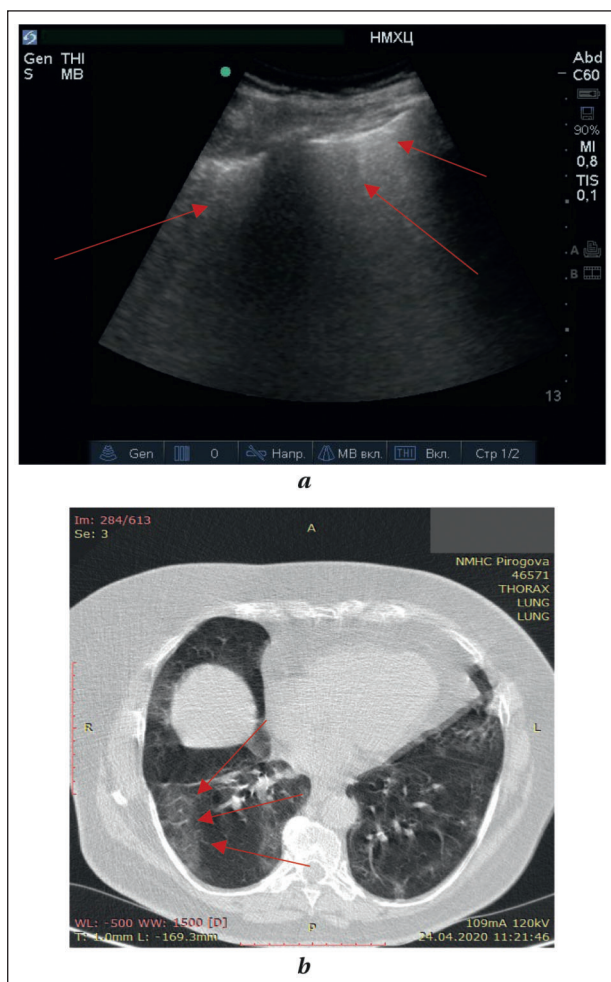


Рис. 2. Пример парного изображения LUS и КТ.

Примечание. На УЗ-изображении (а) видны множественные сливные В-линии без четко видимых А-линий («соответствует 2 баллам»); на КТ-изображении (b) видна большая область затенения по типу «матового стекла».

небольшого числа пациентов, обследованных разработанным первоначально описательным 16-зонным LUS, было несколько «подводных камней» протокола, которые обнаружили в ходе клинического применения:

1. Высокая гетерогенность повреждения легких, наблюдаемая с помощью ультразвукового датчика, затрудняла подсчет точного количества В-линий.

2. Наличие участков с интактной легочной тканью одновременно с большими сливными В-линиями не позволяло достоверно и четко дифференцировать соответствие 1 или 2 баллам.

3. Средства индивидуальной защиты, включая очки, их частая смена, способствовали ослаблению внимания, что мешало точной оценке результата УЗИ.

Баллы LUS, измеренные с использованием протоколов LUS NMHC с 16 зонами или LUS NMHC с 12 зонами у пациентов с различной выраженностью повреждения легких по шкале КТ, значительно различались ($p < 0,001$) (табл. 3, рис. 3), причем медиана LUS-балла для 12-зонного протокола, как правило, была на несколько баллов ниже для всех пациентов, ранжированных в соответствии с результатами КТ.

Выявили сильную положительную корреляцию между результатами 16-зонного LUS NMHC и выраженностью (%) повреждения легких по данным КТ (коэффициент корреляции Spearman $r = 0,79$, $p < 0,001$) (рис. 3, а), а также — 12-зонного LUS и выраженностью повреждения легких по данным КТ, $r = 0,78$, $p < 0,001$) (рис. 3, с).

Как 16-зонный, так и 12-зонный протокол LUS NMHC показал хорошую способность выделять умеренное (менее 50% объема легочной ткани на КТ) и тяжелое повреждение легких (>50%) (рис. 4). AUC кривых ROC была почти идентична: 0,83 (95% ДИ, 0,75–0,90) и 0,81 (95% ДИ 0,73–0,88) для 16-зонного протокола LUS NMHC и 12-зонного LUS NMHC, соответственно. 16-зонный LUS NMHC имел оптимальный порог 20 баллов с чувствительностью 67% и специфичностью 82%, в то время как 12-зонный LUS NMHC — 15 баллов с той же чувствительностью, но более низкой специфичностью — только 73%.

Умерло 76 пациентов, 74 (97%) — до 30 дня, 2 пациента (3%) — после 30 дня лечения, выписали 64 пациентов, данные об исходах у 3 пациентов отсутствовали. AUC кривых ROC для 16-зонного LUS NMHC (0,67, 95% ДИ 0,58–0,76) и 12-зонного LUS (0,68, 95% ДИ 0,59–0,77) протоколов продемонстрировали умеренную способность прогнозировать исход, как и AUC для КТ (0,65,

Таблица 3. Соответствие баллов, полученных при КТ грудной клетки, и оценке LUS по используемым протоколам.

Шкала КТ, баллы	Шкала LUS, баллы				
	Число пациентов и варианты протокола				
	n	16-зонный LUS	n	16-зонный LUS NMHC	12-зонный LUS NMHC
0	5	4 (0–0,4)	54	6 (5,7–8,1)	5 (5,0–7,0)
1	4	11 (4,3–15,7)	21	14 (10,4–15,9)	11 (8,7–12,9)
2	1	—	38	21,5 (20,0–23,0)	17,5 (16,0–18,3)
3	8	26,5 (21,7–31,3)	29	23 (21,0–24,5)	18 (16,3–19,1)
4	0	—	1	—	—
0–2*	10	9 (3,0–10,8)	113	12 (11,5–14,5)	10 (9,5–11,8)
3–4**	8	27 (22,6–31,1)	30	22,5 (20,7–24,2)	18 (16,1–18,9)

Примечание. * — <50% повреждения легких; ** — >50% повреждения легких. Данные представили в виде медианы (межквартильный размах).

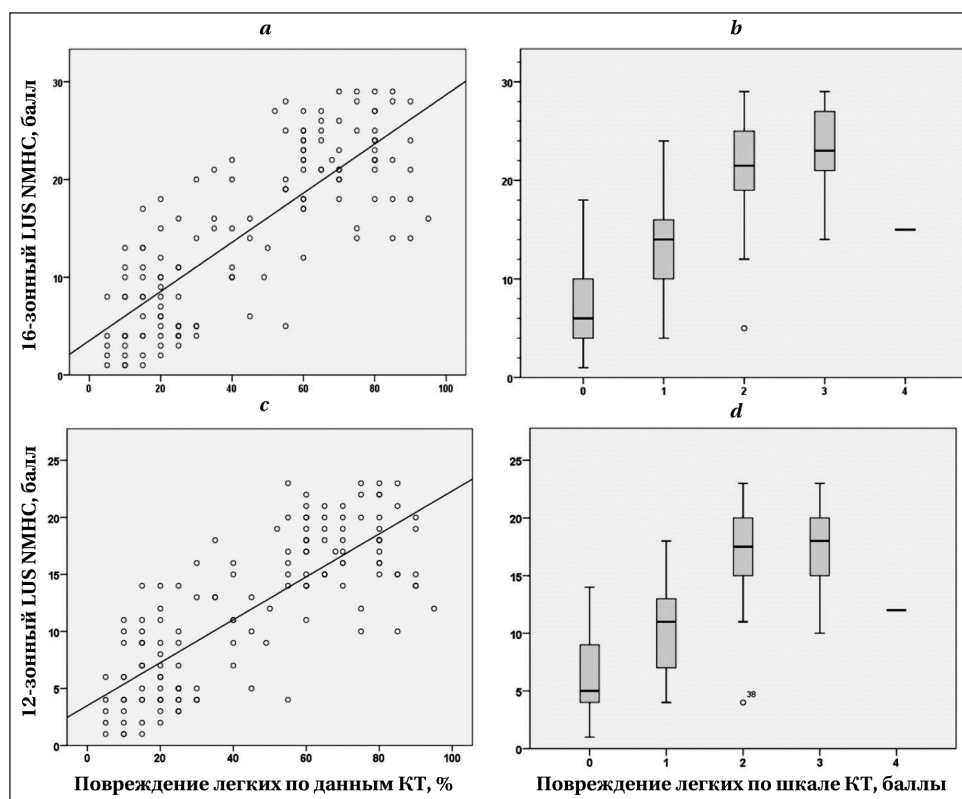


Рис. 3. Корреляция выраженности повреждения легких (%) по данным КТ с результатами 16-зонного (а), 12-зонного (с) LUS NMHC; соответствие выраженности повреждения легких по шкале КТ (баллы) и результатов 16-зонного (b), 12-зонного (d) LUS NMHC.

95% ДИ 0,56–0,74) (рис. 5). Оптимальный порог для 16-зонного LUS NMHC и 12-зонного LUS NMHC составил 12 и 10 баллов, соответственно, с неприемлемой специфичностью 53 и 55%.

Мужской пол, пожилой возраст и больший процент повреждения легких, обнаруженные на КТ при поступлении пациентов, были предикторами неблагоприятного прогноза (табл. 4).

Обсуждение

Хотя LUS нельзя рассматривать как вариант диагностического выбора для пациентов с пневмонией COVID-19, было доказано, что оно является надежным инструментом для сортировки пациентов при массовых госпитализациях и ограниченных возможностях КТ [19, 20]. LUS относительно просто в использовании [21] и выполняется у постели больного, что сводит к минимуму количество медицинских работников, контактирующих с пациентом. Однако могут возникнуть сложности при

легких при COVID-19 высока [5]. Качество исследованных доказательств было сочтено низким, но LUS имело большой потенциал в качестве альтернативы КТ в условиях неотложной помощи или интенсивной терапии.

Разработали и протестировали три протокола оценки LUS у пациентов с подтвержденным COVID-19. Первый, 16-зонный протокол LUS, был основан на подсчете В-линий, степени интерстициальных изменений и размерах субплевральных консолидаций. Два других протокола — модифицированный 16-зонный LUS NMHC и 12-зонный LUS NMHC — на оценках А-линий, а В-линии имели второстепенное значение. Установили, что первый протокол LUS обусловил несколько технических проблем, связанных с оценкой полученных результатов, поэтому его реализация не обеспечила надежной оценки и удобства выполнения. Этот протокол использовали у 18 пациентов, и в этой ограниченной выборке отметили увеличение количества баллов наряду

его интерпретации, оценке тяжести повреждения легких и, следовательно, выбора наилучшей тактики лечения. Надежные протоколы оценки LUS могут иметь большое значение в качестве диагностического инструмента, особенно в условиях неотложной помощи и медицинских учреждениях с ограниченным доступом к компьютерной томографии. Единственный систематический обзор с мета-анализом по этой теме приводит к выводу, что диагностическая согласованность между LUS и КТ в диагностике повреждения

Таблица 4. Анализ предикторов летального исхода пациентов с COVID-19.

Показатели	Значение отношения шансов (95% CI)	p
Принадлежность к мужскому полу	2,13(1,25–3,62)	0,005
Возраст	1,05 (1,02–1,08)	0,002
Дни до госпитализации	1,03 (0,96–1,11)	0,36
SpO ₂ при поступлении	0,98 (0,95–1,02)	0,38
Процент повреждения легких по КТ	0,98 (0,96–0,99)	0,04

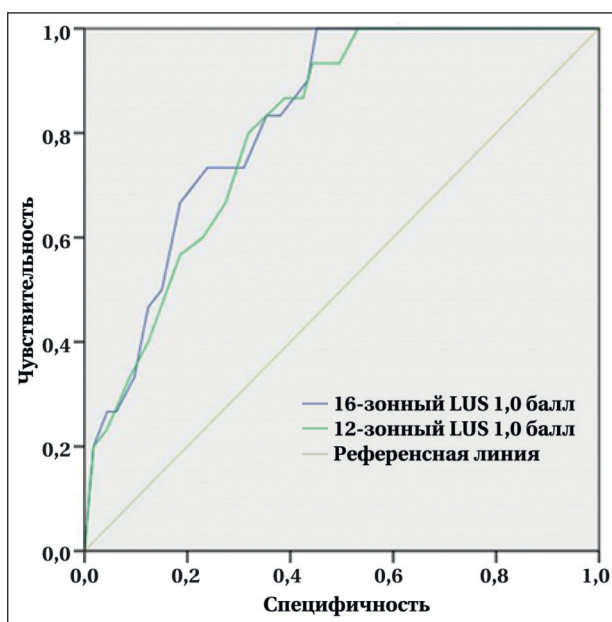


Рис. 4. Сравнение ROC-кривых для 16-зонного и 12-зонного LUS NMHC протоколов у пациентов с повреждением >50% объема легких по данным КТ.

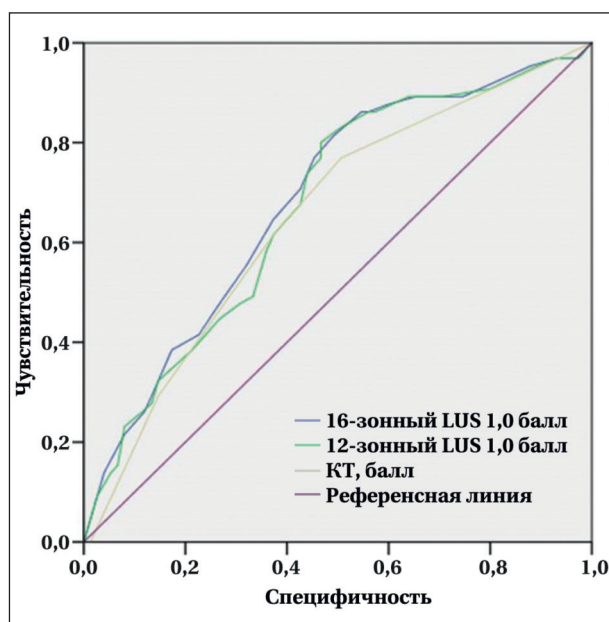


Рис. 5. Сравнение ROC-кривых для 16-зонного, 12-зонного LUS NMHC и КТ протоколов у пациентов с повреждением >50% объема легких по данным КТ.

с увеличением балла тяжести КТ, что согласовывалось с результатами двух других протоколов, протестированных у 143 пациентов позже.

Протоколы LUS NMHC с 16 зонами и LUS NMHC с 12 зонами предложили, как более осуществимые и надежные системы оценки. Подобные протоколы LUS были описаны в нескольких исследованиях [22, 23], в которых, однако, использовалось соотношение вертикальных и горизонтальных артефактов, а не оценки А-линий. В литературе видимые А-линии наряду с В-линиями в поле зрения ультразвукового датчика не описываются в виде отдельного признака. При этом мы предполагаем, что появление А-линий перед В-линиями возможно только при наличии определенного объема неповрежденной легочной ткани, и трактовка таких изображений не соответствует каким-либо известным руководствам или протоколам оценки.

Таким образом, наша гипотеза заключалась в том, что оценка А-линий вместо соотношения вертикальных и горизонтальных артефактов будет диагностически значимой и более простой в выполнении, чем описанные ранее протоколы [22, 23].

Согласно известным данным, многие авторы склонны использовать 12-зонный протокол LUS [23–29]. Однако, в настоящем исследовании продемонстрировали, что модифицированный протокол 16-зонного LUS NMHC был «несколько лучше», чем 12-зонный LUS NMHC. Показатели протоколов LUS NMHC с 16 зонами и NMHC с 12 зонами имели сильную корреля-

цию с тяжестью повреждения легких по КТ, что дополняет аналогичные результаты других исследований [5, 24, 25, 30–32]. При этом LUS NMHC с 16 зонами был более точным в разграничении менее / более 50% повреждения легких. Это может быть аргументом в пользу использования 16-зонного протокола LUS NMHC в условиях неотложной помощи для определения прогноза и необходимости госпитализации в отделение интенсивной терапии.

Оба протокола обладали умеренной прогностической способностью со специфичностью 53% для 16-зонного LUS NMHC и 55% для 12-зонного LUS NMHC. По поводу прогностической ценности метода LUS имеются противоречивые данные. В двух наблюдательных исследованиях [26, 28] более высокий балл LUS по 12-зонному протоколу не был предиктором летальности. Напротив, M. L. A. Heldeweg и соавт. [27] продемонстрировали, что больший балл LUS по протоколу с 12 зонами имел сильную связь с летальностью и сроками пребывания в отделении интенсивной терапии более 30 дней.

В выполненном исследовании баллы 12-зонного протокола LUS NMHC пересчитали из данных 16-зонного протокола LUS NMHC, что не позволяет провести прямое сравнение данных с результатами исследований, проведенных ранее.

Основным ограничением исследования был его ретроспективный характер и тот факт, что оно не было предназначено для проверки гипотезы о клинической эквивалентности LUS и КТ, скорее цель была в проверке корреляции этих методик.

Еще одна трудность заключалась в первоначальном использовании протокола LUS с 16 зонами, который «произошел» от локального описательного протокола LUS для пневмонии, не связанной с COVID-19, от дальнейшего использования которого отказались из-за ряда технических проблем, что и обусловило малочисленность выборки пациентов. С другой стороны, общий размер выборки (161 пациент) оказался большим, чем в большинстве опубликованных работ, а два разработанных протокола оценки LUS тестировали у одних и тех же пациентов.

Литература

- Conti S., Ferrara P., Fornari C., Harari S., Madotto F., Silenzi A., Zucchi A., et al. Estimates of the initial impact of the COVID-19 epidemic on overall mortality: evidence from Italy. *ERJ Open Res.* 2020; 6 (2): 00179–2020. DOI: 10.1183/23120541.00179-2020. PMID: 32613013.
- Rubin G.D., Ryerson C.J., Haramati L.B., Sverzellati N., Kanne J.P., Raoof S., Schluger N.W., et al. The role of chest imaging in patient management during the COVID-19 pandemic: a multinational Consensus Statement from the Fleischner Society. *Chest.* 2020; 158 (1): 106–116. DOI: 10.1016/j.chest.2020.04.003. PMID: 32275978.
- ACR. ACR Recommendations for the use of chest radiography and computed tomography (CT) for suspected COVID-19 infection. American College of Radiology. Available at <https://www.acr.org/Advocacy-and-Economics/ACR-Position-Statements/Recommendations-for-Chest-Radiography-and-CT-for-Suspected-COVID19-Infection>. March 22, 2020; Accessed: April 2, 2020.
- Hu Z., Song C., Xu C., Jin G., Chen Y., Xu X., Ma H., et al. Clinical characteristics of 24 asymptomatic infections with COVID-19 screened among close contacts in Nanjing, China. *Sci China Life Sci.* 2020; 63 (5): 706–711. DOI: 10.1007/s11427-020-1661-4. PMID: 32146694.
- Wang Y., Liu Y., Liu L., Wang X., Luo N., Ling L. Clinical outcome in 55 patients with severe acute respiratory syndrome Coronavirus 2 who were asymptomatic at hospital admission in Shenzhen, China. *J Infect Dis.* 2020; 221 (11): 1770–1774. DOI: 10.1093/infdis/jiaa119. PMID: 32179910.
- Yan C., Lin J., Xu Y. Recommendations for coronavirus disease 2019 (COVID-19) prevention and infection control in the radiology department: Chinese experience. *Clin Imaging.* 2021; 69: 33–36. DOI: 10.1016/j.clinimag.2020.06.044. PMID: 32652455.
- Qu J., Yang W., Yang Y., Qin L., Yan F. Infection control for CT equipment and radiographers' personal protection during the Coronavirus disease (COVID-19) outbreak in China. *AJR Am J Roentgenol.* 2020; 215 (4): 940–944. DOI: 10.2214/AJR.20.23112. PMID: 32352309.
- Stogiannos N., Fotopoulos D., Woznitza N., Malamateniou C. COVID-19 in the radiology department: what radiographers need to know. *Radiography (Lond)* 2020; 26 (3): 254–263. DOI: 10.1016/j.radi.2020.05.012. PMID: 32532596.
- Mayo P.H., Copetti R., Feller-Kopman D., Mathis G., Maury E., Mongodi S., Mojoli F. et al. Thoracic ultrasonography: a narrative review. *Intensive Care Med.* 2019; 45 (9): 1200–1211. DOI: 10.1007/s00134-019-05725-8. PMID: 31418060.
- Buonsenso D., Pata D., Chiaretti A. COVID-19 outbreak: less stethoscope, more ultrasound. *Lancet Respir Med.* 2020; 8 (5): e27. DOI: 10.1016/S2213-2600(20)30120-X. PMID: 32203708.
- Cheung J.C.-H., Lam K.N. POCUS in COVID-19: pearls and pitfalls. *Lancet Respir Med.* 2020; 8 (5): e34. DOI: 10.1016/S2213-2600(20)30166-1. PMID: 32275856.

Разработанные протоколы LUS NMHC с 16 зонами и с 12 зонами для пациентов с пневмонией, вызванной COVID-19, оказались просто выполнимыми и имели сильную корреляцию с результатами КТ. Результаты 16-зонного и 12-зонного протоколов LUS NMHC не позволяли прогнозировать исход. Оба протокола, вероятно, могут быть адаптированы для сортировки пациентов с подтвержденным COVID-19, особенно в условиях неотложной помощи и в медицинских учреждениях с ограниченным или отсутствующим доступом к КТ.

- Soldati G., Smargiassi A., Inchingolo R., Buonsenso D., Perrone T., Briganti D.F., Perlino S., et al. Is there a role for lung ultrasound during the COVID-19 pandemic? *J Ultrasound Med.* 2020; 39 (7): 1459–1462. DOI: 10.1002/jum.15284. PMID: 32198775.
- Volpicelli G., Lamorte A., Villén T. What's new in lung ultrasound during the COVID-19 pandemic. *Intensive Care Med.* 2020; 46 (7): 1445–1448. DOI: 10.1007/s00134-020-06048-9. PMID: 32367169.
- Peixoto A.O., Costa R.M., Uzun R., Fraga A.M.A., Ribeiro J.D., Marson F.A.L. Applicability of lung ultrasound in COVID-19 diagnosis and evaluation of the disease progression: a systematic review. *Pulmonology.* 2021; 27 (6): 529–562. DOI: 10.1016/j.pulmoe.2021.02.004. PMID: 33931378.
- Schultz M.J., Sivakorn C., Dondorp A.M. Challenges and opportunities for lung ultrasound in novel Coronavirus disease (COVID-19). *Am J Trop Med Hyg.* 2020; 102 (6): 1162–1163. DOI: 10.4269/ajtmh.20-0323. PMID: 32333546.
- Inui S., Fujikawa A., Jitsu M., Kunishima N., Watanabe S., Suzuki Y., Umeda S., et al. Chest CT findings in cases from the cruise ship *Diamond Princess* with Coronavirus disease (COVID-19). *Radiol Cardiothorac Imaging.* 2020; 2 (2): e200110. DOI: 10.1148/ryct.2020200110. PMID: 33778566.
- Лакхин Р.Е., Журнова Е.А., Щеголев А.В., Йованикич О., Меньков И.А., Салухов В.В., Чугунов А.А. Ультразвук легких у пациентов с пневмонией, вызванной COVID-19: сравнение с данными компьютерной томографии. Обсервационное проспективное клиническое исследование. *Вестник интенсивной терапии имени А.И. Салтанова.* 2021; 2: 82–93. [Lakhin R.E., Zhirnova E.A., Shchegolev A.V., Jovanikič O., Zheleznyak I.S., Menkov I.A., Salukhov V.V., Chugunov A.A. Lung ultrasound in COVID-19 pneumonia: comparison with computed tomography. An observation prospective clinical trial. *Ann Crit Care (Vestnik Intensivnoy Terapii im AI Saltanova).* 2021; 2: 82–93. (in Russ.)]. DOI: 10.21320/1818-474X-2021-2-82-93.
- Dargent A., Chatelain E., Kreitmam L., Quenot J.-P., Cour M., Argaud L. COVID-LUS study group. Lung ultrasound score to monitor COVID-19 pneumonia progression in patients with ARDS. *PLoS One.* 2020; 15 (7): e0236312. DOI: 10.1371/journal.pone.0236312. PMID: 32692769.
- Smith M.J., Hayward S.A., Innes S.M., Miller A.S.C. Point-of-care lung ultrasound in patients with COVID-19 — a narrative review. *Anaesthesia.* 2020; 75 (8): 1096–1104. DOI: 10.1111/anae.15082. PMID: 32275766.
- Lichter Y., Topilsky Y., Taieb P., Banai A., Hochstadt A., Merdler I., Oz A.G., et al. Lung ultrasound predicts clinical course and outcomes in COVID-19 patients. *Intensive Care Med.* 2020; 46 (10): 1873–1883. DOI: 10.1007/s00134-020-06212-1. PMID: 32860069.
- Arbelot C., Neto F.L.D., Gao Y., Brisson H., Chunyao W., Lv J., Barbas C.S.V., et al; APECHO Study Group. Lung ultrasound in emergency and critically ill patients: number of supervised exams to reach basic competence. *Anesthesiology.* 2020;

- 132 (4): 899–907. DOI: 10.1097/ALN.0000000000003096. PMID: 31917702.
22. Bitar Z.I., Shamsah M., Maadarani O.S., Bamasood O.M., Bitar A.Z., Alfoudri H. Lung ultrasound and sonographic subpleural consolidation in COVID-19 pneumonia correlate with disease severity. *Crit Care Res Pract.* 2021; 6695033. DOI: 10.1155/2021/6695033. PMID: 33425386.
 23. Ökmen K., Yıldıız D.K., Soyaslan E. Comparison of lung ultrasonography findings with chest computed tomography results in coronavirus (COVID-19) pneumonia. *J Med Ultrason* (2001). 2021; 48 (2): 245–252. DOI: 10.1007/s10396-021-01081-7. PMID: 33638057.
 24. Wang M., Luo X., Wang L., Estill J., Lv M., Zhu Y., Wang Q., et al. A Comparison of lung ultrasound and computed tomography in the diagnosis of patients with COVID-19: a systematic review and meta-analysis. *Diagnostics (Basel)*. 2021; 11 (8): 1351. DOI: 10.3390/diagnostics11081351. PMID: 34441286.
 25. Ottaviani S., Franc M., Ebstein E., Demaria L., Lheure C., Debray M.P., Khalil A., et al. Lung ultrasonography in patients with COVID-19: comparison with CT. *Clin Radiol.* 2020; 75 (11): 877.e1-877.e6. DOI: 10.1016/j.crad.2020.07.024. PMID: 32854921.
 26. Persona P., Valeri I., Zarantonello F., Forin E., Sella N., Andreatta G., Correale C., et al. Patients in intensive care unit for COVID-19 pneumonia: the lung ultrasound patterns at admission and discharge. An observational pilot study. *Ultrasound J.* 2021; 13 (1): 10. DOI: 10.1186/s13089-021-00213-x. PMID: 33624222.
 27. Heldeweg M.L.A., Lopez Matta J.E., Haaksma M.E., Smit J.M., Elzo Kraemer C.V., de Groot H.-J., de Jonge E., et al. Lung ultrasound and computed tomography to monitor COVID-19 pneumonia in critically ill patients: a two-center prospective cohort study. *Intensive Care Med Exp.* 2021; 9 (1): 1. DOI: 10.1186/s40635-020-00367-3. PMID: 33491147.
 28. Bosso G., Allegorico E., Pagano A., Porta G., Serra C., Minerva V., Mercurio M., et al. Lung ultrasound as diagnostic tool for SARS-CoV-2 infection. *Intern Emerg Med.* 2021; 16 (2): 471–476. DOI: 10.1007/s11739-020-02512-y. PMID: 33011929.
 29. Zieleskiewicz L., Markarian T., Lopez A., Taguet C., Mohammedi N., Boucekine M., Baumstarck K., et al.; AZUREA Network. Comparative study of lung ultrasound and chest computed tomography scan in the assessment of severity of confirmed COVID-19 pneumonia. *Intensive Care Med.* 2020; 46 (9): 1707–1713. DOI: 10.1007/s00134-020-06186-0. PMID: 32728966.
 30. Deng Q., Zhang Y., Wang H., Chen L., Yang Z., Peng Z., Liu Y., et al. Semiquantitative lung ultrasound scores in the evaluation and follow-up of critically ill patients with COVID-19: a single-center study. *Acad Radiol.* 2020; 27 (10): 1363–1372. DOI: 10.1016/j.acra.2020.07.002. PMID: 32713715.
 31. Rizzetto F., Perillo N., Artioli D., Travaglini F., Cuccia A., Zannoni S., Tombini V., et al.; Niguarda COVID-19 Working Group. Correlation between lung ultrasound and chest CT patterns with estimation of pulmonary burden in COVID-19 patients. *Eur J Radiol.* 2021; 138: 109650. DOI: 10.1016/j.ejrad.2021.109650. PMID: 33743491.
 32. Tung-Chen Y., Martí de Gracia M., Díez-Tascón A., Alonso-González R., Agudo-Fernández S., Parra-Gordo M.L., Ossaba-Vélez S., et al. Correlation between chest computed tomography and lung ultrasonography in patients with coronavirus disease 2019 (COVID-19). *Ultrasound Med Biol.* 2020; 46 (11): 2918–2926. DOI: 10.1016/j.ultrasmedbio.2020.07.003. PMID: 32771222.

Поступила 28.01.2023
Принята 24.11.2023