





## ДИАГНОСТИКА И ИНТЕНСИВНАЯ ТЕРАПИЯ ДЫХАТЕЛЬНОЙ НЕДОСТАТОЧНОСТИ

## DIAGNOSTICS AND INTENSIVE CARE IN RESPIRATORY FAILURE

<https://doi.org/10.21320/1818-474X-2024-4-73-83>

### Ультразвуковой мониторинг легких при COVID-19 пневмониях в ОРИТ: межэкспертная повторяемость при выполнении врачами анестезиологами-реаниматологами: ретроспективное двухцентровое когортное исследование

И.С. Щепарев <sup>1,\*</sup>, Б.А. Теплых <sup>1</sup>, Д.Н. Проценко <sup>2</sup>, А.Н. Кузовлев <sup>3</sup>

<sup>1</sup> ФГБУ «Национальный медико-хирургический Центр им. Н.И. Пирогова» Минздрава России, Москва, Россия





<sup>2</sup> ГБУЗ «Московский многопрофильный клинический центр «Коммунарка»» Департамента здравоохранения города Москвы, Москва, Россия

<sup>3</sup> ФГБНУ «Федеральный научно-клинический центр реаниматологии и реабилитологии» Минобрнауки России, Москва, Россия

#### Реферат

**АКТУАЛЬНОСТЬ:** Субъективность ультразвукового исследования (УЗИ) — известное ограничение методики. Данная проблема также стоит перед специалистами с разным опытом при проведении рутинного ежедневного ультразвукового мониторинга пациентов отделения реанимации и интенсивной терапии (ОРИТ) с коронавирусной (COVID-19) пневмонией. Для достижения оптимальной межэкспертной повторяемости необходимо понимание, какой протокол и шкала УЗИ легких будут лучше всего соответствовать этой цели. **ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ:** Изучить межэкспертную повторяемость результатов 16-зонного протокола при использовании полуколичественных шкал LUS (Lung ultrasound) и LUS NMHC (National Medical-Surgical Center) у реанимационных пациентов с коронавирусной инфекцией при выполнении ультразвукового мониторинга легких экспертом и начинающим специалистом. **МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ:** Проведен ретроспективный анализ данных о 161 госпитализированном пациенте с подтвержденной пневмонией, вызванной COVID-19, которым в течение 24 ч после госпитализации выполнили как компьютерную томографию (КТ), так и УЗИ легких. Изображения УЗИ

### Lung ultrasound monitoring in patients with COVID-19 pneumonia admitted to ICU: interrater agreement among anesthesiologists and intensivists: a two-center retrospective cohort study

I.S. Shcheparev <sup>1,\*</sup>, B.A. Teplykh <sup>1</sup>, D.N. Protsenko <sup>2</sup>, A.N. Kuzovlev <sup>3</sup>

<sup>1</sup> Pirogov National Medical and Surgical Center, Moscow, Russia

<sup>2</sup> Moscow Multidisciplinary Clinical Center "Kommunarka", Moscow, Russia

<sup>3</sup> Federal Research and Clinical Center of Intensive Care Medicine and Rehabilitology, Moscow, Russia

#### Abstract

**INTRODUCTION:** The subjectivity of ultrasound is a well-recognized limitation of the technique. This issue is particularly relevant for specialists with varying levels of experience performing routine ultrasound monitoring of intensive care unit patients with coronavirus (COVID-19) pneumonia. To achieve optimal interrater agreement, it is essential to determine which protocol and lung ultrasound (LUS) scale are most effective. **OBJECTIVE:** To investigate the interrater agreement of a 16-zone protocol using semiquantitative lung ultrasound (LUS) and the LUS NMHC (National Medical-Surgical Center) scales in intensive care unit patients with COVID-19, with assessments performed by both an expert and a novice specialist. **MATERIALS AND METHODS:** A retrospective analysis was performed on data from 161 hospitalized patients with confirmed COVID-19 pneumonia who underwent both computed tomography and lung ultrasound within 24 hours of admission. Lung ultrasound images were recorded as cine loops and scored by both an expert and a novice reader. The 16-zone protocol was tested using two types of scales, including the original LUS NMHC, to determine which provided the most reliable agreement between specialists with different levels of experience. **RESULTS:** The 16-zone proto-

легких были записаны в виде кинопетель, которые оценивали эксперт и начинающий специалист. Тестировали 16-зонный протокол с двумя видами шкал, разработанными авторами LUS NMHC, чтобы выбрать из них наиболее надежную с точки зрения повторяемости результатов для специалистов с разным опытом. **РЕЗУЛЬТАТЫ:** 16-зонный протокол независимо от типа используемой шкалы — LUS или LUS NMHC — обладает высокой межэкспертной повторяемостью с корреляцией результатов между операторами  $> 0,9$  ( $p > 0,001$ ). При этом значение корреляции  $> 0,9$  ( $p > 0,001$ ) сохраняется независимо от времени, через которое были пересмотрены кинопетли как экспертом, так и начинающим специалистом. **ВЫВОДЫ:** Разработанный 16-зонный протокол со шкалой LUS NMHC для пациентов с пневмонией, вызванной COVID-19, имеет высокую межэкспертную повторяемость для врачей анестезиологов-реаниматологов с различным опытом в УЗИ легких.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** ультразвуковое исследование легких, COVID-19, пневмония, отделение реанимации и интенсивной терапии

\* *Для корреспонденции:* Щепарев Иван Сергеевич — врач анестезиолог-реаниматолог, ФГБУ «Национальный медико-хирургический Центр им. Н.И. Пирогова» Минздрава России, Москва, Россия; e-mail: is22@list.ru

☑ *Для цитирования:* Щепарев И.С., Теплых Б.А., Проценко Д.Н., Кузовлев А.Н. Ультразвуковой мониторинг легких при COVID-19 пневмониях в ОРИТ: межэкспертная повторяемость при выполнении врачами анестезиологами-реаниматологами: ретроспективное двухцентровое когортное исследование. Вестник интенсивной терапии им. А.И. Салтанова. 2024;4:73–83. <https://doi.org/10.21320/1818-474X-2024-4-73-83>

📅 *Поступила:* 15.05.2024

📅 *Принята к печати:* 04.09.2024

📅 *Дата онлайн-публикации:* 31.10.2024

col demonstrated high interrater agreement regardless of the scale used (LUS or LUS NMHC), with a correlation of scores between operators greater than 0.9 ( $p > 0.001$ ). This strong correlation ( $R > 0.9$ ,  $p > 0.001$ ) was consistent regardless of the time elapsed before the cine loops were reviewed by both experts and novices. **CONCLUSION:** The developed 16-zone protocol with the LUS NMHC score for patients with COVID-19 pneumonia shows high interrater agreement among anesthesiologists and intensivists with varying levels of ultrasound experience.

**KEYWORDS:** lung ultrasonography, COVID-19, pneumonia, Intensive Care Units

\* *For correspondence:* Ivan S. Shcheparev — Researcher, Pirogov National Medical and Surgical Center, Moscow, Russia; e-mail: is22@list.ru

☑ *For citation:* Shcheparev I.S., Teplykh B.A., Protsenko D.N., Kuzovlev A.N. Lung ultrasound monitoring in patients with COVID-19 pneumonia admitted to ICU: interrater agreement among anesthesiologists and intensivists: a two-center retrospective cohort study. Annals of Critical Care. 2024; 4:73–83. <https://doi.org/10.21320/1818-474X-2024-4-73-83>

📅 *Received:* 15.05.2024

📅 *Accepted:* 04.09.2024

📅 *Published online:* 31.10.2024

DOI: 10.21320/1818-474X-2024-4-73-83

## Введение

В 2019 г. мир столкнулся с пандемией, вызванной новым коронавирусом SARS-CoV-2 [1, 2]. Вследствие массового поступления пациентов с новой коронавирусной инфекцией (COVID-19) и высокой нагрузки на кабинеты КТ [3] сонографическое исследование [4, 5], выполненное непосредственно у койки больного, продемонстрировало свою значимость как важный диагностический инструмент в арсенале клиницистов [5, 6]. Однако, как

и в других областях применения ультразвука, описание, количественная оценка и интерпретация конкретных результатов в ультразвуковом исследовании (УЗИ) легких субъективны и зависят от опыта конкретного исследователя [7]. Тем не менее все авторы [8, 9, 10] показывают хорошие результаты в повторяемости результатов между специалистами УЗИ легких разного уровня. Так, например, De Molo C. et al. [11] показали, что коэффициент внутрикласовой корреляции (ICC) имеет отличное соответствие между экспертом и начинающим оператором (ICC — 0,975; 0,962–0,983).

Вопрос, какие нужны объемы знаний и навыков для начинающего специалиста в УЗИ легких, чтобы не только правильно получать изображения, но и верно их интерпретировать, оставался открытым. Так, Lerchbaumer M.H. et al. [8] пришли к выводу, что для оценки результатов не требуется специальной подготовки, даже несмотря на то что в качестве требования часто указывается проверка экспертом. Rouby J. J. et al. [12] показали, что ординаторы с минимальным опытом смогли быстро обучиться оценке LUS (ультразвука легких) у пациентов в критическом состоянии благодаря короткой и легко реализуемой учебной программе под руководством опытного врача, специализирующегося на УЗИ легких у постели больного.

Оценка выраженности синдрома инфильтрации являлась основной проблемой [8, 13] для межэкспертной повторяемости, и Russell F.M. et al. [10] оценил именно этот критерий на предмет обучения начинающих специалистов. Количество сканированных зон, необходимых для достижения профессионального уровня, равнялось 11 и существенно не отличалось между учащимися без предшествующего опыта УЗИ по сравнению с более чем 25 предыдущими сканированиями пациентов ( $p = 0,64$ ). Однако Baker K. et al. [14] говорят о том, что для достижения хороших результатов межэкспертной повторяемости необходим вводный курс УЗИ легких в количестве 4 ч, что не соответствует выводам предыдущих авторов. Millington S.J. et al. [9] также дают данные о том, что предварительно обученные специалисты для исследования должны были выполнить не менее 50 исследований УЗИ легких. Таким образом, мы получили несколько разнородные данные исследователей в плане предварительного опыта.

Все авторы сошлись во мнении, что оптимально использование протокола с достаточно большим количеством зон [4]. Так, Mento F. et al. [15], Rouby J.J. et al. [12] показали, что оптимально использование не менее 10-, а лучше 12-зонного протокола. Smargiassi A. использовали анализ 14 зон [16]. Подход с использованием 12-зонного протокола мы наблюдаем и у De Molo C. et al. [11], Kumar A. et al. [17], в то время как Millington S.J. et al. [9] используют 8-зонный протокол, а Gullett J. et al. [18] — 10-зонный. В исследовании Tung-Chen Y. [19], где сравнивались протоколы с разной зональностью, наилучший коэффициент межклассовой корреляции был у 12-зонного протокола.

Отмечалась неоднородность и в используемых шкалах оценки LUS. Так, Lerchbaumer M.H. et al. [8], De Molo C. et al. [11], Fatima N. et al. [13] использовали полуколичественную шкалу с баллами в каждой зоне от 0 до 3, Baker K. [14], Kumar A. et al. [17], Millington S.J. et al. [9] — качественную описательную шкалу по выявленным признакам, [18], Russell F.M. et al. [10] — количественную шкалу с подсчетом общего количества В-линий.

Таким образом, все авторы отметили хорошую межэкспертную повторяемость различных протоколов УЗИ легких. Однако нет единого мнения, какой протокол и шкала УЗИ легких будут оптимальны как для опытного, так и для начинающего оператора УЗИ легких. Для преодоления проблемы субъективной оценки патологических артефактов УЗИ легких (В-линий) была разработана шкала LUS NMHC, основанная на оценке процента поля зрения, занимаемого артефактами А-линиями, характеризующими воздушное легкое [20]. Полное описание протокола сделано в публикации авторов [20].

## Цель исследования

Изучить межэкспертную повторяемость результатов 16-зонного протокола при использовании полуколичественной шкалы LUS и авторской LUS NMHC у реанимационных пациентов с коронавирусной инфекцией (COVID-19) при выполнении ультразвукового мониторинга легких экспертом и начинающим специалистом. Мы выдвигаем гипотезу, что 16-зонный протокол с полуколичественными шкалами LUS и LUS NMHC демонстрирует высокую межэкспертную повторяемость среди врачей анестезиологов-реаниматологов с различным уровнем опыта в УЗИ легких.

## Материалы и методы

Проведено двухцентровое ретроспективное когортное исследование результатов межэкспертной повторяемости протоколов УЗИ легких у пациентов реанимационного профиля, проходивших лечение от новой коронавирусной инфекции (COVID-19) с 6 марта 2020 г. по 22 декабря 2021 г. в ФГБУ «Национальный медико-хирургический Центр им. Н.И. Пирогова» Минздрава России и ГБУЗ «Московский многопрофильный клинический центр «Коммунарка»».

Пациенты были разделены на 2 когорты. В первой когорте (18 пациентов) исследование проводили 2 специалиста: обученный УЗИ легких начинающий специалист и эксперт, исследование выполняли совместно. В случае разногласий в процессе исследования проводили детальный пересмотр и достигали общего мнения. Предварительно начинающий специалист прошел обучение по методике УЗИ легких и самостоятельно выполнил протокол у 10 пациентов. Оба исследователя являются врачами анестезиологами-реаниматологами. Эксперт имеет сертификат по ультразвуковой диагностике и опыт в УЗИ легких более 5 лет.

Каждого пациента заносили в память УЗ-аппарата, для каждой зоны легких проводили одну запись кинопетли. Через 30 дней эксперт и начинающий специалист проводили пересмотр кинопетель независимо друг от друга, заполняли протоколы согласно 16-зонному

протоколу по шкале LUS. Через 6 месяцев экспертом и начинающим специалистом независимо друг от друга кинопетли были пересмотрены и оценены согласно 16-зонному протоколу по шкале LUS NMHC.

Во второй когорте пациентов (143 пациента) исследование проводили независимо друг от друга эксперт и начинающие специалисты на одних и тех же пациентах согласно 16-зонному протоколу с авторской шкалой LUS NMHC. Сравнивались результаты протоколов.

В это исследование были включены пациенты с COVID-19, которые первоначально были госпитализированы в отделение реанимации и интенсивной терапии (ОРИТ) и которым было проведено как КТ грудной клетки, так и LUS в течение 24 ч после поступления. Диагноз COVID-19 был основан либо на положительном ПЦР-тесте на SARS-CoV-2, либо на клинических проявлениях с рентгенологическими признаками инфекции даже при отрицательном ПЦР-тесте при поступлении [21].

Критерии включения:

- 1) пациенты, поступавшие в приемное отделение (шоковый зал) с признаками дыхательной недостаточности и подозрением на коронавирусную пневмонию, в дальнейшем подтвержденную лабораторно или рентгенологически;
- 2) пациенты, находившиеся на лечении в ОРИТ с диагнозами «COVID-19, вирус идентифицирован» (U07.1); «предполагается COVID-19, вирус не идентифицирован» (U07.2).

Критерии исключения:

- возраст пациента моложе 18 лет;
- пациенты, поступившие в ОРИТ в состоянии клинической смерти;
- пациенты с бактериальным компонентом пневмонии, выявленным по данным КТ.

### Протоколы и шкалы Lung ultrasound

Использовались ультразвуковые аппараты Sonosite Edge II (Fujifilm Sonosite, USA) и Logiq E (GE HealthCare, China). Для проведения исследования выбран конвексный датчик. Базовый режим: абдоминальный, глубина сканирования — 11–13 см.

Чтобы сравнить отличия разных типов шкал УЗИ легких с точки зрения межэкспертной повторяемости, был протестирован 16-зонный [22, 23] протокол с двумя видами шкал: LUS и LUS NMHC:

16-зонный LUS — этот тип шкалы был основан на выставлении балла по ведущему ультразвуковому признаку (количество В-линий, утолщенная плевра или неправильная плевральная линия, консолидации и т. д.) и хорошо описан в литературе [24–27].

16-зонный LUS NMHC — авторский протокол, в котором баллы основаны на оценке соотношения процента поля зрения, занимаемого артефактами от воздушного легкого А-линиями к общему полю зрения (рис. 1, табл. 1).

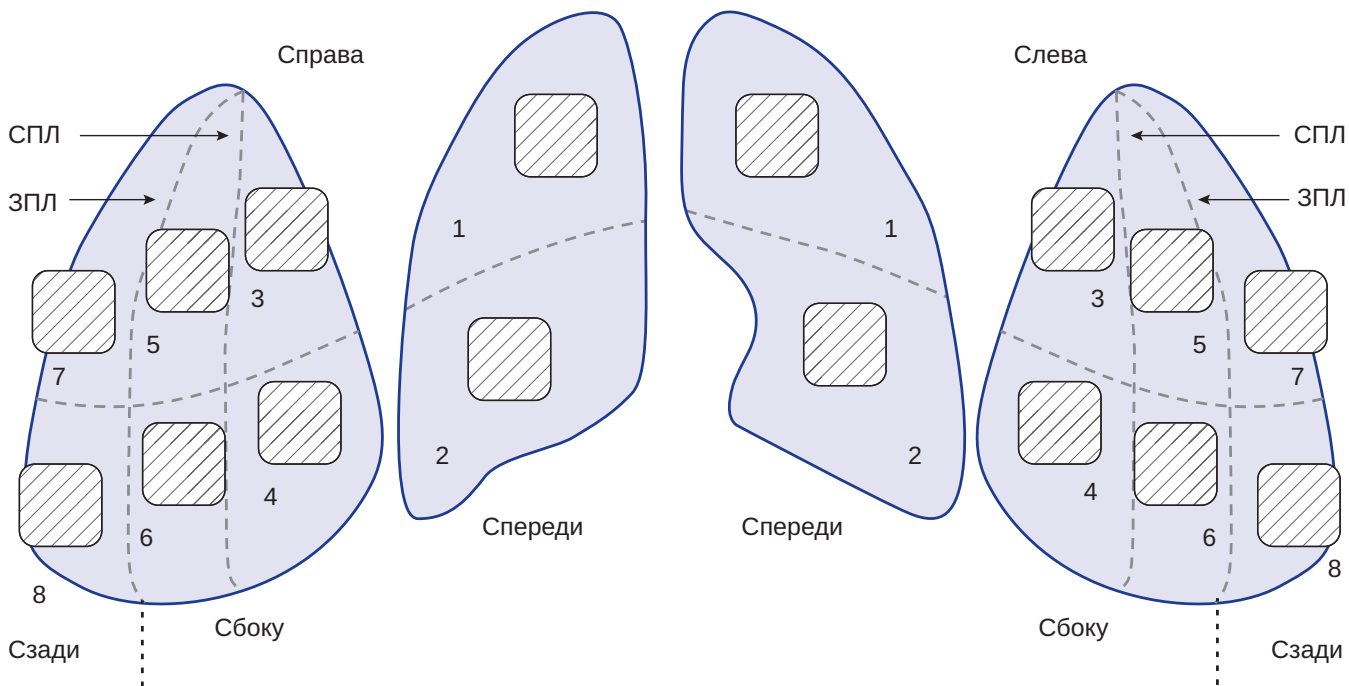


Рис. 1. Схема легкого для 16-зонного LUS и 16-зонного LUS протокола NMHC (СПЛ — средняя подмышечная линия, ЗПЛ — задняя подмышечная линия)

Fig. 1. Lung Diagram for the 16-Zone LUS and 16-Zone LUS NMHC Protocols (СПЛ — middle axillary line, ЗПЛ — posterior axillary line)

**Таблица 1.** Протоколы подсчета баллов для определения тяжести пневмонии, вызванной COVID-19, согласно результатам УЗИ легких**Table 1.** Scoring Protocols for Assessing the Severity of COVID-19 Pneumonia Based on Lung Ultrasound Results

Балл	Шкала LUS	Шкала LUS NMHC
0	Нормальный легочный профиль без плевральных деформаций. Возможны 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
1	Умеренный интерстициальный синдром, до 5 В-линий в поле зрения. Деформированная плевральная линия	А-линии занимают > 50 % межреберных промежутков в поле зрения <b>или</b> А-линии занимают 100 % исследуемой зоны с множественными В-линиями, которые хорошо видны на фоне А-линий
2	Значительный интерстициальный синдром, субплевральные консолидации менее 10 мм	А-линии занимают < 50 % межреберных промежутков в поле зрения <b>или</b> соотношение В-линий и А-линий 1 : 1 с наличием субплевральной консолидации менее 15 мм*
3	Большая консолидация более 10 мм	Большая консолидация более 15 мм с наличием плеврального выпота или без него

\* Пороговое значение 15 мм было принято для разграничения субплевральных и больших консолидаций, которые были обнаружены во время ультразвукового осмотра.  
\* A threshold of 15 mm was used to differentiate between subpleural and large consolidations seen on ultrasound.

### Статистический анализ

Накопление и первичный анализ данных проводили с использованием Microsoft Office Excel 2019. Описательная статистика количественных данных представлена в формате Me (Q1; Q3), где Me — медианное значение, Q1 — первый квартиль (25-й процентиль), Q3 — третий квартиль (75-й процентиль). Частотные данные представлены в формате  $N$  (%), где  $N$  — абсолютное количество наблюдений в группе, а % — процент числа наблюдений в группе.

С целью оценки соответствия распределения полученных данных нормальному закону применялся критерий Шапиро—Уилка. По причине того, что распределения данных большей части анализируемых параметров значительно отличались от нормального, сравнительный межгрупповой анализ для количественных не связанных переменных был выполнен с использованием непараметрического  $U$ -критерия Манна—Уитни, а для связанных переменных — с использованием критерия знаковых рангов Вилкоксона. При сравнительном анализе 3 или более зависимых выборок с количественными данными использовался двухфакторный ранговый дисперсионный анализ Фридмана для связанных выборок. Для частотных переменных сравнение несвязанных групп проводилось с помощью критерия Хи-квадрат либо же точного теста Фишера (в случаях, когда частота исхода была менее 10 %). Для определения силы взаимосвязи между параметрами использовался ранговый коэффициент корреляции Спирмена. Для определения наличия или отсутствия статистически значимых различий между двумя корреляционными связями использовался  $Z$ -тест Стейгера. Критический уровень значимости  $p$  был установлен на уровне 0,05 (двусторонний).

С целью определения прогностического качества количественных предикторов был применен ROC-анализ с построением графика специфичность-чувствительность и дальнейшим расчетом параметра AUC (площадь под кривой) и его 95%-й доверительный интервал (ДИ). Вычисление оптимальной точки отсечения (cut-off/индекса Юдена), а также значений специфичности ( $Sp$ ) и чувствительности ( $Sr$ ) было выполнено с помощью программного обеспечения MedCalc 20.305.

Статистический анализ данных, полученных в ходе исследования, проводился с помощью программного обеспечения SPSS Statistics (IBM SPSS Statistics for Windows, Version 27.0.1 Armonk, NY: IBM Corp). Для создания визуализаций и табличного представления результатов был использован Microsoft Office Excel 2019.

### Результаты исследования

Всего в исследование был включен 161 госпитализированный пациент с COVID-19, которым при поступлении была проведена как КТ грудной клетки, так и УЗИ легких. Их демографические и клинические данные представлены в табл. 2. Средний возраст составил  $69,2 \pm 14,6$  года, при этом 67 пациентов (41,6 %) были мужчинами.

С целью определения однородности результатов УЗИ была набрана первая когорта пациентов из 18 человек и был выполнен двухфакторный ранговый дисперсионный анализ Фридмана и анализ ANOVA для связанных выборок, чтобы определить будут ли в данном случае результаты разных операторов УЗИ расходиться для двух типов протоколов (16-зонного LUS и 16-зонно-

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

**Table 2.** Baseline Characteristics of Hospitalized COVID-19 Patients

Критерий	Всего (n = 161)
Мужчины, n (%)	67 (41,6)
Возраст, годы, M ± sd	69,2 ± 14,6
16-зонный LUS, n (%)	18 (11,1)
16-зонный LUS NMHC, n (%)	143 (88,8)

го LUS NMHC). Критерий Шапиро—Уилка показывает, что данные получены от нормально распределенной совокупности. Как итог, было выявлено что данные УЗИ разных операторов также статистически значимо не отличаются (для 16-зонного LUS по методу ANOVA  $p = 0,982$ , по методу Фридмана  $p = 0,220$ , для 16-зонного LUS NMHC по методу ANOVA  $p = 0,988$ , по методу Фридмана  $p = 0,058$ ) и могут считаться однородными (табл. 3).

С целью определения силы взаимосвязи результатов УЗИ, полученных от исходного исследования и пересмотра операторами с разным опытом, был выполнен корреляционный анализ по методу Пирсона. В результа-

**Таблица 3.** Результаты проверки на нормальность и дисперсионного анализа по методу ANOVA и методу Фридмана баллов УЗИ (16-зонные протоколы LUS и LUS NMHC) от разных операторов для пациентов первой когорты

**Table 3.** Results of Normality Testing and ANOVA and Friedman Analysis of Ultrasound Scores (16-Zone LUS and LUS NMHC Protocols) from Different Operators for the First Cohort of Patients

Параметр	M ± sd	M (Q1; Q3)	Критерий Шапиро—Уилка (проверка на нормальность)	Метод ANOVA	Метод Фридмана
Эксперт: пересмотр LUS	16,7 ± 2,5	15 (8; 28)	0,436	0,982	0,220
Начинающий оператор: пересмотр LUS	17,1 ± 2,5	17 (7; 27)	0,171		
Исходно: эксперт + начинающий оператор LUS	17,4 ± 2,5	17 (9; 29)	0,443		
Эксперт: пересмотр LUS NMHC	15,2 ± 2,4	12 (7; 26)	0,199	0,988	0,058
Начинающий оператор: пересмотр LUS NMHC	15,7 ± 2,4	13 (7; 24)	0,329		
Исходно: эксперт + начинающий оператор LUS NMHC	15,4 ± 2,4	12 (7; 27)	0,276		

**Таблица 4.** Результаты корреляционного анализа баллов УЗИ (16-зонные протоколы LUS и LUS NMHC) между разными операторами пациентов первой когорты по методу Пирсона — уровни  $p$

**Table 4.** Results of Pearson correlation analysis of ultrasound scores (16-Zone LUS and LUS NMHC Protocols) between different operators for the first cohort of patients —  $p$ -value

Параметр	Корреляция Пирсона. Эксперт: оператор 1, $p$ ; R (95% ДИ)	Корреляция Пирсона. Эксперт: исходно $p$ ; R (95% ДИ)	Корреляция Пирсона. Оператор 1: исходно $p$ ; R (95% ДИ)	Корреляция Пирсона с результатами КТ $p$ ; R (95% ДИ)
Эксперт: пересмотр LUS				$p < 0,001$ ; R = 0,915 (0,783; 0,968)
Начинающий оператор: пересмотр LUS	$p < 0,001$ ; R = 0,975 (0,935; 0,991)	$p < 0,001$ ; R = 0,995 (0,986; 0,998)	$p < 0,001$ ; R = 0,983 (0,954; 0,993)	$p < 0,001$ ; R = 0,935 (0,832; 0,976)
Исходно: эксперт + начинающий оператор LUS				$p < 0,001$ ; R = 0,915 (0,782; 0,968)
Эксперт: пересмотр LUS NMHC				$p < 0,001$ ; R = 0,925 (0,807; 0,972)
Начинающий оператор: пересмотр LUS NMHC	$p < 0,001$ ; R = 0,995 (0,986; 0,998)	$p < 0,001$ ; R = 0,997 (0,992; 0,999)	$p < 0,001$ ; R = 0,992 (0,978; 0,997)	$p < 0,001$ ; R = 0,938 (0,838; 0,977)
Исходно: эксперт + начинающий оператор LUS NMHC				$p < 0,001$ ; R = 0,928 (0,812; 0,973)

те все корреляции оказались статистически значимыми с уровнями  $p < 0,001$  и сильными — коэффициенты корреляции  $R > 0,9$  (табл. 4) независимо от типа используемого протокола (16-зонный LUS и LUS NMHC).

Также с целью определения силы взаимосвязи результатов УЗИ от исходного исследования и пересмотров от операторов с разным опытом при использовании 16-зонных протоколов LUS и LUS NMHC с процентом повреждения легких по КТ выполнен корреляционный анализ по методу Пирсона. В результате все корреляции оказались статистически значимыми с уровнями  $p < 0,001$  (табл. 4) и сильными — коэффициенты корреляции  $R > 0,9$ .

С целью сопоставления результатов УЗИ, полученных при использовании 16-зонных протоколов LUS и LUS NMHC, сравнение медиан групп проводилось при помощи критерия Уилкоксона и критерия парных выборок (табл. 5). Только для группы, где протоколы выполнял при пересмотре начинающий оператор, не было обнаружено статистически значимых различий в медианах 16-зонных протоколов LUS и LUS NMHC. Для исходного исследования (эксперт вместе с начинающим специалистом) и пересмотра экспертом получены значения о статистически значимой разнице в результатах при использовании протоколов LUS и LUS NMHC.

Для определения наличия или отсутствия статистически значимых различий между двумя корреляционными связями использовался Z-тест Стейгера. Поскольку  $p$

для корреляций с КТ 16-зонных протоколов LUS и LUS NMHC оказался более 0,05, можно заключить, что нет статистически значимой разницы в межэкспертной повторяемости для этих типов протоколов (табл. 6).

У пациентов второй когорты также был выполнен корреляционный анализ по методу Спирмена между результатами УЗИ (16-зонный протокол LUS), полученными разными операторами, а также процентом повреждения легочной ткани по КТ. В итоге все корреляции оказались статистически значимыми с уровнями  $p < 0,001$  (табл. 7) и с коэффициентами корреляции  $R > 0,9$ , что говорит о сильно положительной связи с параметром (табл. 8).

С целью определения однородности результатов УЗИ во второй когорте (16-зонный протокол LUS NMHC) между различными операторами был проведен двухфакторный ранговый дисперсионный анализ Фридмана для связанных выборок. В итоге было выявлено, что результаты УЗИ трех операторов, работавших по 16-зонному протоколу, статистически значимо не отличались ( $p = 0,181$ ) (табл. 9).

С целью определения силы взаимосвязи результатов УЗИ, полученных от разных операторов, был выполнен корреляционный анализ по методу Спирмена. В результате все корреляции оказались статистически значимыми с уровнями  $p$  менее 0,001 и сильными — коэффициенты корреляции  $R > 0,9$ .

**Таблица 5.** Результаты анализа баллов УЗИ (16-зонные протоколы LUS и LUS NMHC) от разных операторов пациентов первой когорты с применением критерия Уилкоксона и критерия парных выборок

**Table 5.** Results of Wilcoxon and Paired Sample Test Analysis of Ultrasound Scores (16-Zone LUS and LUS NMHC Protocols) from Different Operators for the First Cohort of Patients

Параметр	LUS, Me (Q1; Q3)	LUS NMHC, Me (Q1; Q3)	Критерий знаковых рангов Уилкоксона для связанных выборок	Критерий парных выборок	Корреляция Пирсона ( $p$ -value; коэффициент корреляции $R$ ) LUS-LUS NMHC
Эксперт: пересмотр	15 (8; 28)	12 (7; 26)	0,021	0,016	$p < 0,001$ ; $R = 0,971 (0,925; 0,989)$
Начинающий оператор: пересмотр	17 (7; 27)	13 (7; 24)	0,189	0,133	$p < 0,001$ ; $R = 0,939 (0,845; 0,977)$
Исходно: эксперт + начинающий оператор	17 (9; 29)	12 (7; 27)	0,008	0,007	$p < 0,001$ ; $R = 0,966 (0,911; 0,987)$

**Таблица 6.** Результаты Z-теста Стейгера корреляций данных УЗИ (16-зонные протоколы LUS и LUS NMHC) с данными КТ пациентов первой когорты

**Table 6.** Results of Steiger's Z-Test for Correlations Between Ultrasound Data (16-Zone LUS and LUS NMHC Protocols) and CT Data for the First Cohort of Patients

Параметр	Отличия корреляции LUS с КТ и корреляции LUS NMHC с КТ ( $p$ -value; $z$ )
Эксперт: пересмотр	0,658; 0,442
Начинающий оператор: пересмотр	0,912; 0,111
Исходно: эксперт + начинающий оператор	0,463; 0,734

**Таблица 7.** Результаты корреляционного анализа баллов УЗИ (16-зонный протокол) пациентов первой когорты по методу Спирмена — уровни *p*

**Table 7.** Results of Spearman correlation analysis of ultrasound scores (16-Zone Protocol) for the first cohort of patients — *p*-value

Параметр	Процент повреждения по КТ	16-зонный протокол LUS. Исходно	16-зонный протокол LUS. Эксперт	16-зонный протокол LUS. Начинаящий оператор
Процент повреждения по КТ	NA	< 0,001*	< 0,001*	< 0,001*
16-зонный протокол LUS. Исходно	< 0,001*	NA	< 0,001*	< 0,001*
16-зонный протокол LUS. Эксперт	< 0,001*	< 0,001*	NA	< 0,001*
16-зонный протокол LUS. Начинаящий оператор	< 0,001*	< 0,001*	< 0,001*	NA

\* Различия статистически значимы.  
 NA — вычисление уровня *p* невозможно/не применимо.  
 \* Differences are statistically significant.  
 NA — *p*-value calculation not applicable/possible.

**Таблица 8.** Результаты корреляционного анализа баллов УЗИ (16-зонный протокол LUS) пациентов первой когорты по методу Спирмена — коэффициенты корреляции *R*

**Table 8.** Results of Spearman Correlation Analysis of Ultrasound Scores (16-Zone LUS Protocol) for the First Cohort of Patients — Correlation Coefficients *R*

Параметр	Процент повреждения по КТ	16-зонный протокол LUS. Исходно	16-зонный протокол LUS. Эксперт	16-зонный протокол LUS. Начинаящий оператор
Процент повреждения по КТ	NA	0,901	0,903	0,932
16-зонный протокол LUS. Исходно	0,901	NA	0,995	0,977
16-зонный протокол LUS. Эксперт	0,903	0,995	NA	0,972
16-зонный протокол LUS. Начинаящий оператор	0,932	0,977	0,972	NA

NA — вычисление коэффициента *R* невозможно/не применимо.  
 NA — *R* coefficient calculation not applicable/possible.

**Таблица 9.** Сравнительный анализ результатов УЗИ пациентов второй когорты, полученных от разных операторов

**Table 9.** Comparative Analysis of Ultrasound Results Obtained from Different Operators for the Second Cohort of Patients

LUS оператор	Me (Q1; Q3)	Количество наблюдений	<i>p</i> для критерия Фридмана
LUS 16-зонный эксперт	12 (5; 21)	142	0,181
LUS 16-зонный оператор 2	8,5 (6; 16)	26	
LUS 16-зонный оператор 3	9,5 (4; 17)	6	

## Обсуждение

Несмотря на то, что большинство авторов подчеркивает хорошую межэкспертную повторяемость в УЗИ легких между операторами с разным опытом [8, 11, 17],

до сих пор нет единого мнения, какой протокол и какую шкалу LUS считать оптимальной.

Все исследователи сходятся во мнении, что нужно использовать протокол с достаточно большим количеством зон, по всей вероятности, не менее 12 [11, 17, 19].



Мы использовали 16-зонный протокол с двумя видами шкал: LUS и LUS NMHC.

Изначально в первой когорте пациентов нами был проведен анализ на повторяемость результатов с записью кинопетель для каждой зоны легких. Первое исследование проводили совместно эксперт и начинающий оператор, балл выставлялся консенсусно. При этом для преодоления проблемы записи некачественных кинопетель техническую сторону УЗИ легких выполнял эксперт [8, 9]. В дальнейшем кинопетли пересматривали независимо друг от друга эксперт и начинающий оператор и выставляли баллы по шкале LUS.

Вторая шкала, которая была исследована совместно с 16-зонным протоколом — LUS NMHC. Те же самые кинопетли просматривались экспертом и начинающим оператором, а спустя 6 месяцев оценивали по LUS NMHC.

В результате корреляционного анализа исходные результаты и результаты пересмотра экспертом и начинающим оператором оказались статистически значимыми с уровнями  $p < 0,001$  и сильными (коэффициенты корреляции  $R > 0,9$ ) независимо от типа шкалы (LUS и LUS NMHC). Такие же показатели были получены при определении корреляции результатов эксперта и начинающего оператора с процентом повреждения легких по КТ.

При сравнении медиан шкал LUS и LUS NMHC при помощи критерия Уилкоксона и критерия парных выборок для групп, где протоколы выполнялись вдвоем экспертом и начинающим оператором, а также для групп пересмотра экспертом получены значения о статистически значимой разнице в результатах при использовании протоколов LUS и LUS NMHC. На основании этих данных мы полагаем, что эти 2 шкалы не могут быть взаимозаменяемы, даже несмотря на общее сходство в количестве баллов и критерии их выставления. Для групп пересмотра начинающим оператором не было получено статистически значимой разницы независимо от используемой шкалы. Вероятно, меньший опыт оператора оказывает влияние на результат. Z-тест Стейгера использовался для сравнения корреляций с данными КТ шкал LUS и LUS NMHC для исходного исследования, а также пересмотра экспертом и начинающим оператором. Показатель  $p$  оказался более 0,05, поэтому можно заключить, что нет статистически значимой разницы в межэкспертной повторяемости для этих типов шкал. Как 16-зонный протокол, основанный на шкале LUS, так и основанный на авторской LUS NMHC, обладают высокой межэкспертной повторяемостью.

Для подтверждения эффективности 16-зонного протокола LUS NMHC у пациентов второй когорты также были выполнены корреляционный и дисперсионный анализы между результатами УЗИ, полученными разными операторами, а также процентом повреждения легочной ткани по данным КТ. В итоге

все корреляции оказались статистически значимыми с уровнями  $p < 0,001$  и с коэффициентами корреляции  $R > 0,9$ . Кроме того, дисперсионный анализ показал, что результаты операторов статистически значимо не отличались ( $p = 0,181$ ).

Создание шкалы LUS NMHC было связано с известной проблемой [8, 13, 14] в трудности дифференцировки баллов 1 и 2, которые отражают выраженность синдрома инфильтрации. Мы предположили, что подсчет процента поля зрения, занятого А-линиями, поможет более точному выставлению балла операторами с разным опытом по сравнению с системами шкал, основанными на подсчете патологических артефактов. Кроме того, именно учет А-линий мог помочь разграничить выраженность синдрома инфильтрации, при котором на фоне В-линий видны либо не видны В-линии. Описание данной ситуации по ее принадлежности к баллу 1 или 2 не встречается в литературе.

Остается открытым вопрос, какие нужны объемы знаний и навыков для начинающего оператора в УЗИ легких. В нашем исследовании начинающий специалист получил предварительное обучение в пределах 1,5 ч, после чего под контролем эксперта выполнил 10 протоколов УЗИ легких. Этого оказалось достаточно для получения хороших результатов в межэкспертной повторяемости. К схожему мнению пришли и другие авторы [8, 12, 10].

Результаты нашего исследования подтвердили гипотезу о том, что 16-зонный протокол с полуколичественными шкалами LUS и LUS NMHC демонстрирует высокую межэкспертную повторяемость среди врачей анестезиологов-реаниматологов с различным уровнем опыта в УЗИ легких. Мы обнаружили, что независимо от типа используемой шкалы корреляция между результатами операторов была выше 0,9 ( $p > 0,001$ ), что подтверждает нашу гипотезу о высокой межэкспертной повторяемости.

## Заключение

Результаты проведенного исследования подтверждают высокую межэкспертную повторяемость как описанной в литературе полуколичественной шкалы LUS, так и разработанной нами шкалы LUS NMHC. Это дает основание полагать, что полуколичественные шкалы УЗИ легких по сравнению с количественными шкалами, основанными на непосредственном подсчете количества артефактов в поле зрения, могут быть эффективно использованы для динамического мониторинга пациентов врачами-реаниматологами с разным опытом в проведении УЗИ легких. Кроме того, полученные нами данные говорят об эффективности короткого обучения начинающего специалиста УЗИ легких, что позволяет получать повторяемые результаты мониторинга пациентов при выполнении разными специалистами.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Disclosure.** The authors declare no competing interests.

**Вклад авторов.** Все авторы в равной степени участвовали в разработке концепции статьи, получении и анализе фактических данных, написании и редактировании текста статьи, проверке и утверждении текста статьи.

**Author contribution.** All authors according to the ICMJE criteria participated in the development of the concept of the article, obtaining and analyzing factual data, writing and editing the text of the article, checking and approving the text of the article.

**Этическое утверждение.** Проведение исследования было одобрено локальным этическим комитетом ФГБУ «Национальный медико-хирургический Центр им. Н.И. Пирогова» Минздрава России, Москва, Россия (протокол № 11 от 26.10.2021).

**Ethics approval.** This study was approved by the local Ethical Committee of Pirogov National Medical and

Surgical Center, Moscow, Russia (reference number: 11-26.10.2021).

**Информация о финансировании.** Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

**Funding source.** This study was not supported by any external sources of funding.

**Декларация о наличии данных.** Данные, подтверждающие результаты этого исследования, можно получить по запросу у корреспондирующего автора. Данные не являются общедоступными, так как они содержат информацию, которая может поставить под угрозу конфиденциальность участников исследования.

**Data Availability Statement.** Data supporting the findings of this study are available from the corresponding author, upon reasonable request. The data are not publicly available due to privacy concerns and the potential risk of compromising participant confidentiality.

#### ORCID авторов:

Щепарев И.С. — 0000-0002-0432-135X

Теплых Б.А. — 0000-0002-1784-9540

Проценко Д.Н. — 0000-0002-5166-3280

Кузовлев А.Н. — 0000-0002-5930-0118

## Литература/References

- [1] Берестень Н.Ф., Какорина Е.П. Состояние инструментальной и функциональной диагностики в условиях пандемии COVID-19 в 2020 году. Медицинский алфавит. 2021; (28):32–35. DOI: 10.33667/2078-5631-2021-28-32-35 [Beresten N.F., Kakorina E.P. The state of instrumental and functional diagnostics in the conditions of the COVID-19 pandemic in 2020. Medical alphabet. 2021; (28):32–35. DOI: 10.33667/2078-5631-2021-28-32-35 (In Russ)]
- [2] Матюшков Н.С., Тюрин И.Н., Авдейкин С.Н. Респираторная поддержка у пациентов с COVID-19. Опыт инфекционного госпиталя в Коммунарке: одноцентровое ретроспективное исследование. Вестник интенсивной терапии имени А.И. Салтанова. 2021; (3):47–60. DOI: 10.21320/1818-474X-2021-3-47-60. [Matiushkov N.S., Tyurin I.N., Avdeikin S.N. Respiratory support in COVID-19 patients in Kommunarka hospital: a single-centered, retrospective study. Annals of Critical Care. 2021; 3:47–60. DOI: 10.21320/1818-474X-2021-3-47-60 (In Russ)]
- [3] Черкашин М.А., Березин Н.С., Березина Н.А. Первичная медицинская сортировка пациентов с COVID-19 на догоспитальном этапе. Медицина экстремальных ситуаций. 2022; (2): 22–32. DOI: 10.47183/mes.2022.015 [Cherkashin M.A., Berezin N.S., Berezina N.A. Primary pre-hospital triage of patients with COVID-19. Extreme Medicine. 2022; (2): 20–8. DOI: 10.47183/mes.2022.015 (In Russ)]
- [4] Лакхин Р.Е., Жирнова Е.А., Щеголев А.В. Сопоставление ультразвуковых признаков, данных компьютерной томографии и морфологического исследования легких у пациентов с коронавирусной инфекцией: post hoc анализ. Вестник интенсивной терапии имени А.И. Салтанова. 2023; (3):82–96. DOI: 10.21320/1818-474X-2023-3-82-96. [Lakhin R.E., Zhirnova E.A., Shchegolev A.V. Comparison of ultrasound signs, computed tomography data and morphological examination of the lungs in patients with coronavirus infection: post hoc analysis. Annals of Critical Care. 2023; 3:82–96. DOI: 10.21320/1818-474X-2023-3-82-96 (In Russ)]
- [5] Лакхин Р.Е., Жирнова Е.А., Щеголев А.В. Ультразвуковой индекс поражения легких как предиктор исходов лечения: когортное исследование 388 пациентов с коронавирусной инфекцией. Вестник интенсивной терапии имени А.И. Салтанова. 2022; (3):45–56. DOI: 10.21320/1818-474X-2022-3-45-56. [Lakhin R.E., Zhirnova E.A., Shchegolev A.V. Ultrasound-guided lung lesion index as a predictor of treatment outcomes: cohort study of 388 patients with coronavirus infection. Annals of Critical Care. 2022; 3:45–56. DOI: 10.21320/1818-474X-2022-3-45-56 (In Russ)]
- [6] Петриков С.С., Попова И.Е., Абучина В.М. Диагностические возможности ультразвуковой диагностики изменений легких по сравнению с компьютерной томографией при COVID-19. Сеченовский вестник. 2020; 11(2): 5–18. DOI: 10.47093/2218-7332.2020.11.2.5-18 [Petrikov S.S., Popova I.E., Abuchina V.M. Diagnostic value of lung ultrasound versus chest CT in COVID-19. Sechenov Medical Journal. 2020; 11(2): 5–18. DOI: 10.47093/2218-7332.2020.11.2.5-18 (In Russ)]

- [7] *Smith M.J., Hayward S.A., Innes S.M.* Point-of-care lung ultrasound in patients with COVID-19 — a narrative review. *Anaesthesia*. 2020; 75(8):1096–1104. DOI: 10.1111/anae.15082
- [8] *Lerchbaumer M.H., Lauryn J.H., Bachmann U.* Point-of-care lung ultrasound in COVID-19 patients: inter- and intra-observer agreement in a prospective observational study. *Sci Rep*. 2021; 11(1):10678. Published 2021 May 21. DOI: 10.1038/s41598-021-90153-2
- [9] *Millington S.J., Arntfield R.T., Guo R.J.* Expert Agreement in the Interpretation of Lung Ultrasound Studies Performed on Mechanically Ventilated Patients. *J. Ultrasound Med*. 2018; 37(11):2659–2665. DOI: 10.1002/jum.14627
- [10] *Russell F.M., Ferre R., Ehrman R.R.* What are the minimum requirements to establish proficiency in lung ultrasound training for quantifying B-lines? *ESC Heart Fail*. 2020; 7(5):2941–2947. DOI: 10.1002/ehf2.12907
- [11] *De Molo C., Consolini S., Salvatore V.* Interoperator Reliability of Lung Ultrasound during the COVID-19 Pandemic. Inter-Operator-Reliabilität des Lungenultraschalls in der COVID-19-Pandemie. *Ultraschall Med*. 2023; 44(1):75–80. DOI: 10.1055/a-1452-8379
- [12] *Rouby J.J., Arbelot C., Gao Y.* Training for Lung Ultrasound Score Measurement in Critically Ill Patients. *Am J. Respir. Crit. Care Med*. 2018; 198(3):398–401. DOI: 10.1164/rccm.201802-0227LE
- [13] *Fatima N., Mento F., Zanforlin A.* Human-to-AI Interrater Agreement for Lung Ultrasound Scoring in COVID-19 Patients. *J. Ultrasound Med*. 2023; 42(4):843–851. DOI: 10.1002/jum.16052
- [14] *Baker K., Mitchell G., Stieler G.* Limited lung ultrasound protocol in elderly patients with breathlessness; agreement between bedside interpretation and stored images as acquired by experienced and inexperienced sonologists. *Australas J. Ultrasound Med*. 2013; 16(2):86–92. DOI: 10.1002/j.2205-0140.2013.tb00170.x
- [15] *Mento F., Perrone T., Macioce V.N.* On the Impact of Different Lung Ultrasound Imaging Protocols in the Evaluation of Patients Affected by Coronavirus Disease 2019: How Many Acquisitions Are Needed? *J. Ultrasound Med*. 2021; 40(10):2235–2238. DOI: 10.1002/jum.15580
- [16] *Smargiassi A., Soldati G., Torri E.* Lung Ultrasound for COVID-19 Patchy Pneumonia: Extended or Limited Evaluations? *J. Ultrasound Med*. 2021; 40(3):521–528. DOI: 10.1002/jum.15428
- [17] *Kumar A., Weng Y., Graglia S.* Interobserver Agreement of Lung Ultrasound Findings of COVID-19. *J. Ultrasound Med*. 2021; 40(11):2369–2376. DOI: 10.1002/jum.15620
- [18] *Gullett J., Donnelly J.P., Sinert R.* Interobserver agreement in the evaluation of B-lines using bedside ultrasound. *J. Crit Care*. 2015; 30(6):1395–1399. DOI: 10.1016/j.jccr.2015.08.021
- [19] *Tung-Chen Y., Ossaba-Vélez S., Acosta Velásquez K.S.* The Impact of Different Lung Ultrasound Protocols in the Assessment of Lung Lesions in COVID-19 Patients: Is There an Ideal Lung Ultrasound Protocol? *J. Ultrasound*. 2022; 25(3):483–491. DOI: 10.1007/s40477-021-00610-x
- [20] *Щепарев И.С., Теплых Б.А., Проценко Д.Н.* Эволюция методики и новые протоколы ультразвукового исследования легких при COVID-19 пневмониях. *Общая реаниматология*. 2023; 19 (6): 39–47. DOI: 10.15360/1813-9779-2023-6-39-47 [*Shcheparev I.S., Teplykh B.A., Protsenko D.N.* Evolution of Techniques and New Protocols for Lung Ultrasound Examination in COVID-19 Pneumonia Patients. *Obshchaya Reanimatologiya = General Reanimatology*. 2023; 19 (6): 39–47. DOI: 10.15360/1813-9779-2023-6-39-47 (In Russ)]
- [21] *Заболотских И.Б., Киров М.Ю., Лебединский К.М.* Анестезиолого-реанимационное обеспечение пациентов с новой коронавирусной инфекцией COVID-19. Методические рекомендации Общероссийской общественной организации «Федерация анестезиологов и реаниматологов». *Вестник интенсивной терапии им. А.И. Салтанова*. 2020; S1: 9–120. DOI: 10.21320/1818-474X-2020-S1-9-120 [*Zabolotskikh I.B., Kirov M. Yu., Lebedinskii K.M.* Anesthesia and intensive care for patients with COVID-19. Russian Federation of anesthesiologists and reanimatologists guidelines. *Annals of Critical Care*. 2020; S1: 9–120. DOI: 10.21320/1818-474X-2020-S1-9-120 (In Russ)]
- [22] *Лакхин Р.Е., Журнова Е.А., Щеголев А.В.* 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. DOI: 10.21320/1818-474X-2021-2-82-93. [*Lakhin R.E., Zhirnova E.A., Shchegolev A.V.* Lung ultrasound in COVID-19 pneumonia: comparison with computed tomography. An observation prospective clinical trial. *Annals of Critical Care*. 2021; 2:82–93 DOI: 10.21320/1818-474X-2021-2-82-93 (In Russ)]
- [23] *Лакхин Р.Е., Журнова Е.А.* Способ фокусированного ультразвукового исследования легких (Русский протокол). В кн.: Усовершенствование способов и аппаратуры, применяемых в учебном процессе, медико-биологических исследованиях и клинической практике. SPb: VMedA, 2021. С. 58–9. [*Lakhin R.E., Zhirnova E.A.* Method of focused ultrasound examination of the lungs (Russian protocol). In the book: Improvement of methods and equipment used in the educational process, biomedical research and clinical practice. SPb: VMedA. P. 58–9. (In Russ)]
- [24] *Dargent A., Chatelain E., Kreitmann L.* Lung ultrasound score to monitor COVID-19 pneumonia progression in patients with ARDS. *PLoS One*. 2020; 15(7):e0236312. Published 2020 Jul 21. DOI: 10.1371/journal.pone.0236312
- [25] *Espersen C., Platz E., Skaarup K.G.* Lung Ultrasound Findings Associated With COVID-19 ARDS, ICU Admission, and All-Cause Mortality. *Respir Care*. 2022; 67(1):66–75. DOI: 10.4187/respcare.09108
- [26] *Lopes A.J., Mafort T.T., da Costa C.H.* Comparison Between Lung Ultrasound and Computed Tomographic Findings in Patients With COVID-19 Pneumonia. *J. Ultrasound Med*. 2021; 40(7):1391–1399. DOI: 10.1002/jum.15521
- [27] *Levy Adatto N., Preisler Y., Shetrit A.* Rapid 8-Zone Lung Ultrasound Protocol is Comparable to a Full 12-Zone Protocol for Outcome Prediction in Hospitalized COVID-19 Patients. *J. Ultrasound Med*. 2022; 41(7):1677–1687. DOI: 10.1002/jum.15849