



Специфичность и чувствительность ультразвукового исследования легких у пациентов с пневмонией, вызванной COVID-19

Р. Е. ЛАХИН¹, Е. А. ЖИРНОВА², А. В. ЩЕГОЛЕВ¹, И. С. ЖЕЛЕЗНЯК¹, И. А. МЕНЬКОВ¹, А. А. ЧУГУНОВ¹

¹Военно-медицинская академия им. С. М. Нирова, Санкт-Петербург, РФ

²Клиника высоких медицинских технологий им. Н. И. Пирогова Санкт-Петербургского государственного университета, Санкт-Петербург, РФ

РЕЗЮМЕ

Коронавирусная инфекция (COVID-19) характеризуется высокой частотой развития пневмонии. Большая площадь повреждения, высокая летальность при COVID-19 ставят задачу быстрой прикроватной диагностики и динамического мониторинга объема и характера повреждения легочной ткани. Таким инструментом стало ультразвуковое исследование (УЗИ) легких.

Цель: сопоставление признаков, выявляемых при компьютерной томографии (КТ) и УЗИ легких, и оценка чувствительности и специфичности УЗИ в диагностике пневмонии при COVID-19.

Материал и методы. В обсервационное проспективное клиническое исследование включено 388 пациентов в возрасте 18–75 лет с подтвержденным диагнозом пневмонии, вызванной COVID-19, или подозрением на COVID-19. УЗИ легких выполняли в течение 24 ч после проведения КТ органов грудной клетки. При КТ определяли патологические признаки инфильтрации и консолидации легких, которые регистрировали по сегментам легких. УЗИ легких проводили по «русскому протоколу», ультразвуковые признаки В-линий и консолидации также регистрировали на основании проекции сегментов легких на грудную стенку. Выполнен анализ для описания и обобщения распределений переменных. Оценку чувствительности, специфичности ультразвуковых методов проводили на основании ROC-анализа по золотому стандарту КТ.

Результаты. Двустороннее вовлечение обнаружено в 100% случаев. Характерными признаками для пневмонии, вызванной коронавирусной инфекцией, на КТ стали уплотнение легочной паренхимы по типу «матового стекла», утолщенная плевра, консолидация, ретикулярные уплотнения интерстиция, симптом «бульжной мостовой». При УЗИ легких и плевры выявляемые признаки соответствовали признакам КТ. Наиболее часто при УЗИ встречались В-линии (мультифокальные, дискретные или сливающиеся) и консолидация различного объема легочной ткани. Признак консолидации выявляли реже, чем признак инфильтрации ($p < 0,001$). Чувствительность УЗИ легких в диагностике поражения легких составила 95,3%, а специфичность – 85,4%, площадь под кривой составила 0,976 с доверительным интервалом 0,961–0,991 ($p < 0,001$).

Заключение. Использование УЗИ легких во время пандемии COVID-19 позволяет выявить и оценить объем и характер повреждения легочной ткани. УЗИ легких продемонстрировало точность, сравнимую с КТ органов грудной клетки, при выявлении пневмонии у пациентов с COVID-19.

Ключевые слова: коронавирусная инфекция, COVID-19, УЗИ легких, компьютерная томография, УЗИ, пневмония

Для цитирования: Лахин Р. Е., Жирнова Е. А., Щеголев А. В., Железняк И. С., Меньков И. А., Чугунов А. А. Специфичность и чувствительность ультразвукового исследования легких у пациентов с пневмонией, вызванной COVID-19 // Вестник анестезиологии и реаниматологии. – 2022. – Т. 19, № 3. – С. 7-14. DOI: 10.21292/2078-5658-2022-19-3-7-14

Specificity and Sensitivity of Lung Ultrasound Examination in Patients with COVID-19 Induced Pneumonia

R. E. LAKHIN¹, E. A. ZHIRNOVA², A. V. SHCHEGOLEV¹, I. S. ZHELEZNYAK¹, I. A. MENKOV¹, A. A. CHUGUNOV¹

¹S. M. Kirov Military Medical Academy, St. Petersburg, Russia

²St. Petersburg University's N. I. Pirogov Clinic of High Medical Technologies, St. Petersburg, Russia

ABSTRACT

The coronavirus infection (COVID-19) is characterized by a high incidence of pneumonia. Extensive damage, high mortality associated with COVID-19 make the rapid bedside diagnosis and dynamic monitoring of the volume and nature of lung tissue damage a challenge. Lung ultrasound examination can be used as a tool to answer it.

The objective: to compare the signs detected by lung computed tomography and ultrasound and to assess the sensitivity and specificity of ultrasound in the diagnosis of pneumonia induced by COVID-19.

Subjects and Methods. The observational prospective clinical study included 388 patients aged 18–75 years old; they had a confirmed diagnosis of pneumonia caused by COVID-19 or suspected COVID-19.

Lung ultrasound was performed within 24 hours after computed tomography (CT) of the chest organs. During CT, pathological signs, infiltration and consolidation of the lungs were visualized which were documented by lung segments. Lung ultrasound was performed according to the Russian Protocol, ultrasound signs of B-lines and consolidation were also documented based on the projection of lung segments on the chest wall. The distributions of variables was analyzed, described and summarized. The sensitivity and specificity of ultrasound methods were evaluated on the basis of ROC analysis according to CT gold standard.

Results. Bilateral involvement was found in 100% of cases. Typical CT signs of pneumonia caused by coronavirus infection were ground-glass opacity of the pulmonary parenchyma, thickened pleura, consolidation, interstitium, reticular induration, and cobblestone appearance. With ultrasound examination of the lungs and pleura, the detected signs corresponded to CT signs. B lines (multifocal, discrete or merging) and consolidation of various volumes of lung tissue were most common during ultrasound. The sign of consolidation was detected less frequently versus infiltration ($p < 0.001$). The sensitivity of lung ultrasound in the diagnosis of lung lesions was 95.3%, and the specificity was 85.4%, the area under the curve was 0.976 with a confidence interval of 0.961–0.991 ($p < 0.001$).

Conclusion. The use of lung ultrasound during the COVID-19 pandemic makes it possible to identify, assess the volume and nature of lung damage. Lung ultrasound demonstrated accuracy comparable to CT of the chest organs in detecting pneumonia in patients with COVID-19.

Key words: coronavirus disease, COVID-19, lung ultrasonography, computed tomography, ultrasound, pneumonia

For citations: Lakhin R. E., Zhirnova E. A., Shchegolev A. V., Zheleznyak I. S., Menkov I. A., Chugunov A. A. Specificity and sensitivity of lung ultrasound examination in patients with COVID-19 induced pneumonia. *Messenger of Anesthesiology and Resuscitation*, 2022, Vol. 19, no. 3, P. 7-14. (In Russ.) DOI: 10.21292/2078-5658-2022-19-3-7-14

Для корреспонденции:

Лахин Роман Евгеньевич
E-mail: doctor-lahin@yandex.ru

Correspondence:

Roman E. Lakhin
Email: doctor-lahin@yandex.ru

Интерес к ультразвуковому исследованию (УЗИ) легких растет год от года, особенно в периоды вспышек эпидемий вирусной инфекции. Так было и при свином, птичьим гриппе и в настоящее время при новой коронавирусной инфекции [7, 11, 19].

Появление новой угрозы поставило перед специалистами задачи, в первую очередь связанные с быстрой диагностикой инфекции и заболевания. Наиболее тяжелой клинической формой стала пневмония, которая при коронавирусной инфекции (COVID-19) чаще всего становилась причиной летальных исходов [4]. В ряде исследований было показано, что ранняя диагностика пневмонии с помощью компьютерной томографии (КТ), УЗИ, еще до получения результатов полимеразной цепной реакции, может ускорить назначение лечения и способствовать своевременной изоляции пациента [10, 20]. Роль УЗИ легких возрастает, если проведение пациентам радиологических методов исследования (КТ, рентгенография) нежелательно (к примеру, беременным женщинам) [5]. В этом случае УЗИ легких может стать приоритетным инструментом, с помощью которого можно получить информацию об объеме и характере поражения легочной ткани [10].

Особенностью ультразвука является способность определять изменения, влияющие на соотношение между тканью и воздухом в легочной ткани. В норме под плеврой находятся альвеолы, заполненные воздухом, поэтому ультразвуковые волны полностью отражаются, создавая специфический реверберационный артефакт горизонтальных линий, который получил название А-линии. Когда соотношение между воздухом, тканью, жидкостью или другими биологическими компонентами уменьшается, то легкое перестает практически полностью отражать ультразвуковую волну и проникающий между воздушными альвеолами ультразвук приводит к появлению вертикальных артефактов, которые были названы В-линиями. Субплевральная плотность ткани, близкая к значению 1 г/мл, выглядит как уплотнение, в которых воздушная среда отсутствует и ультразвук проникает в эти участки беспрепятственно, формируя артефакт, который получил название консолидации, или тканевого признака [2, 14, 17, 18, 27, 22].

При прогрессировании пневмонии при COVID-19 изменения в паренхиме легких начинаются в дистальных отделах легкого и прогрессируют проксимально. На ранних стадиях заболевания наблюдаются изменения в виде помутнения «матового стекла» и «булыжной мостовой», наблюдаемые при

КТ, а позже – более крупные уплотнения в базальных или зависимых отделах легких [8, 18, 21]. Таким образом, патофизиологические изменения в легких, развивающиеся при пневмонии COVID-19, хорошо подходят для такого метода визуализации, как УЗИ легких. Однако подходы к ультразвуковой визуализации у разных исследователей различаются, как разнятся и методики оценки обнаруженных изменений [8, 20, 27, 16, 24]. Цель: сравнение данных, получаемых при КТ и УЗИ легких у пациентов с пневмонией, вызванной COVID-19.

Методы

Обсервационное проспективное клиническое исследование проводили в ФГБВОУ ВО «Военно-медицинская академия им. С. М. Кирова» МО РФ. Проведение исследования было одобрено независимым этическим комитетом (протокол № 236 от 21.05.2020 г.).

Критериями включения в исследование были: возраст пациентов 18–75 лет; развитие внебольничной пневмонии; период между проведением КТ легких и УЗИ не более 24 ч; подтверждение COVID-19 или подозрение на COVID-19. Критерии невключения: наличие пневмоторакса; травма грудной клетки или операция на легких в анамнезе; фоновые специфические заболевания (туберкулез, саркоидоз).

Всего в исследовании приняло участие 388 пациентов. Общая характеристика пациентов при поступлении представлена в табл. 1.

КТ проводили на аппарате Philips Ingenuity. При КТ органов грудной полости определяли патологические признаки, которые регистрировали по сегментам легких.

Прикроватное УЗИ выполняли с помощью портативного ультразвукового аппарата Mindray M7, Китай, конвексным датчиком C5-2s (2,5–5,0 МГц). Процедура получения изображения была стандартизирована с использованием пресета абдоминального исследования, максимальная глубина 18 см, фокусировка на плевральной линии. Усиление регулировалось для получения наилучшего изображения плевры, вертикальных артефактов и субплевральных консолидаций с воздушными бронхограммами или без них. Все гармоника и программное обеспечение для снижения артефактов были отключены. Грудную клетку исследовали в положении пациента лежа или полусидя, в зависимости от его состояния. При проведении УЗИ определяли патологические признаки, признаки

Таблица 1. Характеристика пациентов, включенных в исследование

Table 1. Characteristics of the patients enrolled in the study

Показатель	Значение	
Возраст, лет	52,6 ± 10,5	
Пол (мужчины/женщины), %	267/121	
Рост, см	173,4 ± 12,4	
Масса тела, кг	94,2 ± 17,0	
Индекс массы тела, кг/м ²	31,2 ± 4,7	
День болезни при поступлении, n	5,4 ± 2,0	
Среднетяжелая/тяжелая форма пневмонии, n	184/204	
Доля пациентов с исходно сниженной (< 94%) сатурацией при дыхании атмосферным воздухом, n (%)	252 (64,9%)	
Степень повреждения при КТ	2	207 (53,4)
	3	156 (40,2)
	4	25 (6,4)
Сопутствующие заболевания	Сахарный диабет, n (%)	78 (20,1)
	Ожирение, n (%)	193 (49,7)
	Гипертоническая болезнь, n (%)	252 (64,9)
	Ишемическая болезнь сердца, n (%)	95 (24,5)
	Хроническая сердечная недостаточность, n (%)	20 (24,5)

инфильтрации и консолидации легких регистрировали по сегментам легких.

УЗИ легких выполняли в течение 24 ч после КТ согласно 16-зонному «русскому протоколу» (восемь зон справа и слева) (рационализаторское предложение № 15165, протокол ВМедА № 4 от 15.12.2020 г.) (рис. 1) [1].

Статистическая обработка

Анализ данных проводили с помощью программы SPSS-26 для Windows (Statistical Package for Social Science, SPSS Inc. Chicago IL, USA). Переменные были исследованы с помощью визуальных (гистограммы, вероятностный график) и аналитических методов (критерий Колмогорова – Смирнова / Шапиро – Уилка) для определения нормальности распределения. При нормальном распределении данные были представлены средним значением и стандартным отклонением M (SD); количественные данные, не подчиняющиеся закону нормального распределения, представляли в виде медианы и 25-го и 75-го перцентилей – Me (Q1; Q3). Был проведен анализ для описания и обобщения распре-

делений переменных. Описание частот значения в исследуемой выборке представлено с обязательным указанием на приводимую характеристику выборки (n, %). Межгрупповые сравнения в отношении номинальных данных проводили с использованием U-критерия Манна – Уитни. Оценку чувствительности (Se), специфичности (Sp) ультразвуковых методов проводили на основании ROC-анализа по золотому стандарту КТ. Выполняли визуальную оценку ROC-кривых, рассчитывали показатели чувствительности и специфичности, а также определяли площадь под ROC-кривой и ее координатные точки. Статистически значимыми считали тесты при p < 0,05.

Результаты

В исследование включено 388 пациентов (267 мужчин, 121 женщина; средний возраст 52,6 ± 10,5 года). Наиболее частыми симптомами при поступлении были лихорадка (372 – 95,9%), кашель (114 – 80,9%) и одышка (147 – 37,9%). Длитель-



Рис. 1. Схема зон «русского протокола» ультразвукового осмотра в положении лежа

Fig. 1. Zone of the Russian Protocol. Ultrasound examination in the supine position

ность симптомов перед поступлением в стационар составила в среднем $5,4 \pm 2,0$ дня. Кислородная терапия требовалась 252 (64,9%) пациентам. Наиболее частыми сопутствующими заболеваниями стали гипертоническая болезнь (252 – 64,9%), ожирение (193 – 49,7%), сахарный диабет (78 – 20,1%), ишемическая болезнь сердца и хроническая сердечная недостаточность (95 – 24,5%). Клинические характеристики на момент включения пациентов в исследование представлены в табл. 1.

В результате КТ по степени повреждения легких пациенты распределились: КТ2 – 207 (53,4%); КТ3 – 156 (40,2%); КТ4 – 25 (6,4%) (табл. 1). Двустороннее вовлечение обнаружено в 100% случаев. Характерными признаками для пневмонии, вызванной коронавирусной инфекцией, на КТ стали уплотнение легочной паренхимы по типу «матового стекла», утолщенная плевра, консолидация, ретикулярные уплотнения интерстиция, симптом «булыжной мостовой». При УЗИ легких и плевры выявляемые признаки соответствовали признакам КТ. Если при КТ обнаруживали утолщение плевры, то при УЗИ тоже визуализировали утолщенную плевральную линию. Наиболее часто при КТ встречалось уплотнение легочной паренхимы по типу «матового стекла», которому при УЗИ соответствовали В-линии (мультифокальные, дискретные или сливающиеся). Если ретикулярные уплотнения интерстиция достигали плевры или зоны консолидации, то при УЗИ они определялись как В-линии (чаще дискретные).

Консолидации легких при КТ соответствовал ультразвуковой признак консолидации при УЗИ легких. Если при КТ на фоне признака консолидации определялись воздушные бронхи, то при УЗИ внутри зон консолидации визуализировали признак воздушной бронхограммы, который, как правило, носил динамический характер. Симптом «булыжной мостовой» при КТ обусловлен сочетанием признака «матового стекла» с утолщенными междольковыми перегородками, эта комбинация при УЗИ легких характеризовалась комбинацией В-линий, перемежающихся с небольшой субплевральной консолидацией в местах утолщения перегородок и поражения альвеол. Свободная

жидкость в плевральной полости выявлялась редко и была связана с тяжелым, длительным заболеванием, присоединением бактериальной микрофлоры и декомпенсированной сердечной недостаточностью. Соответствие признаков, выявляемых при КТ и УЗИ плевры и легких, представлено в табл. 2.

Консолидацию легочной ткани при КТ определяли как в субплевральной зоне, так и в виде центральных зон консолидации, а также небольших центральных зон консолидации внутри участка уплотнения легочной паренхимы по типу «матового стекла». Для визуализации в ходе УЗИ легких и плевры доступны те зоны консолидации, которые прилегают к плевре, а центрально расположенная консолидация будет закрыта ультразвуковым артефактом воздушного (А-линии) или инфильтрированного (В-линии) легкого.

Для определения диагностических возможностей УЗИ легких, оценки чувствительности и специфичности по сравнению с КТ органов грудной клетки проведена оценка частоты повреждения сегментов легких признаками инфильтрации и консолидации. Признак уплотнения легочной паренхимы по типу «матового стекла» при КТ встретился у 100% исследуемых пациентов. Пневмония, вызванная COVID-19, носила полисегментарный характер с наиболее частым развитием в заднебазальных отделах легких и билатеральным повреждением. Признак консолидации встречался реже и был не у всех пациентов. Частота выявления признака консолидации была статистически значимо меньше, чем признака инфильтрации ($U = 35255,0$; $Z = -12,950$; $p < 0,001$).

Для оценки диагностической возможности УЗИ в верификации поражения легких выполнен ROC-анализ по золотому стандарту КТ с построением ROC-кривой и расчетом координатных точек. Площадь под кривой составила 0,976 с доверительным интервалом 0,961–0,991 ($p < 0,001$). Точка отсечения продемонстрировала, что при выявлении изменений уже в одном сегменте при КТ чувствительность ультразвукового метода исследования составила 95,3%, а специфичность – 85,4% (рис. 2). Координатные точки представлены в табл. 3.

Таблица 2. Сопоставление признаков, выявляемых при КТ и УЗИ легких и плевры

Table 2. Comparison CT signs and ultrasound findings in the lungs and pleura

КТ легких	УЗИ легких
Утолщенная плевра	Утолщенная плевральная линия
Уплотнение легочной паренхимы по типу «матового стекла»	В-линии (мультифокальные, дискретные или сливающиеся)
Ретикулярные уплотнения интерстиция	В-линии (мультифокальные, дискретные)
Субплевральная консолидация	Субплевральная консолидация
Сегментарная (долевая) консолидация	Сегментарная (долевая) консолидация
Воздушные бронхи на фоне признака консолидации	Признак воздушной бронхограммы
Симптом «булыжной мостовой»	В-линии (мультифокальные, дискретные или сливающиеся), сочетающиеся с субплевральной консолидацией
Свободная жидкость в плевральной полости	Свободная жидкость в плевральной полости

Обсуждение

Прикроватные фокусированные УЗИ используют в различных клинических ситуациях, связанных с возникновением дыхательной, сердечно-сосудистой недостаточности и других осложнений COVID-19 [2, 3, 7, 12, 15]. В этом исследовании УЗИ легких продемонстрировало высокую диагностическую точность, сравнимую с КТ легких, как для выявления легочных паттернов, так и для описания распределения заболевания в различных областях легких у пациентов с пневмонией, вызванной COVID-19.

Одной из первых работ, показывающих корреляцию между КТ и УЗИ, было исследование A. Nouvenne et al. (2020), которое продемонстрировало значимость использования на ранних стадиях заболевания [17]. Последовавшие за ним сравнительные исследования в различных странах также отметили высокую степень сопоставимости ультразвуковых данных и результатов КТ [13, 18, 26]. G. Soldati et al. (2020) в своем исследовании предложили использовать УЗИ для сортировки пациентов с симптомами вызванной COVID-19 пневмонии на догоспитальном этапе, что значительно упростит работу в условиях пандемии [23, 25].

У пациентов с альвеоларно-интерстициальной пневмонией, вызванной COVID-19, выявляемые

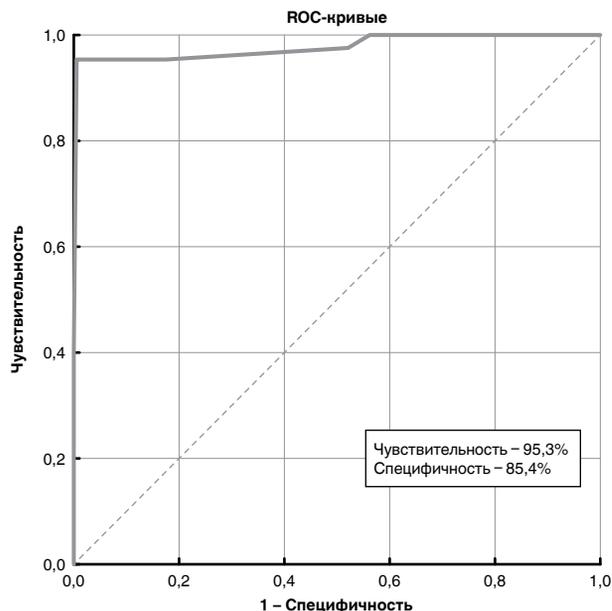


Рис. 2. Чувствительность и специфичность ультразвука легких в выявлении патологических изменений по сравнению с данными КТ

Fig. 2. Sensitivity and specificity of lung ultrasound in detecting pathological changes versus CT

ультразвуковые признаки были ассоциированы с изменениями КТ органов грудной клетки. В нашем

Таблица 3. Координатные точки ROC-кривой

Table 3. Coordinate points of the ROC curve

Количество сегментов	Координаты кривой	
	Чувствительность	1 – Специфичность
0	0,000	0,000
0,5	0,012	0,002
1,0	0,953	0,146
2,0	0,953	0,172
3,0	0,959	0,267
4,0	0,965	0,343
5,0	0,971	0,447
6,0	0,976	0,523
7,0	1,000	0,559
8,0	1,000	0,616
9,0	1,000	0,657
10,0	1,000	0,687
11,0	1,000	0,717
12,0	1,000	0,761
13,0	1,000	0,781
14,0	1,000	0,802
15,0	1,000	0,833
16,0	1,000	0,859
17,0	1,000	0,881
18,0	1,000	1,000

Примечание: жирным шрифтом выделена оптимальная точка отсечения по индексу Юдена (чувствительность + специфичность – 1)

исследовании наиболее частыми ультразвуковыми признаками были очаговые участки интерстициального синдрома (отдельные и сливные В-линии) с возможным наличием мелких множественных субплевральных уплотнений и изменений плевральной линии, которые отражали изменения на КТ в виде уплотнения легочной паренхимы по типу «матового стекла», утолщенной плевры. На втором месте по частоте развития стоял ультразвуковой признак консолидации с воздушными бронхограммами, которому на КТ соответствовал также признак консолидации легочной ткани, в то время как плевральный выпот присутствовал лишь в нескольких случаях. В исследовании A. Nouvenne et al. наиболее типичными ультразвуковыми признаками были различные по площади зоны интерстициального синдрома (сливные или дискретные В-линии) с возможным наличием мелких или крупных субплевральных консолидаций и изменений плевральной линии, плевральный выпот в этом исследовании также обнаруживали редко [17]. В исследовании K. Ökmen et al. (2021) признаки повреждения легких при COVID-19 присутствовали у 72,5% пациентов при КТ и у 78,4% пациентов при УЗИ [18]. Так же как и в нашем исследовании, наиболее часто выявляемыми признаками были инфильтрация и консолидация. Что касается частоты встречаемости пораженных зон легких, то при COVID-19 чаще всего, так же как и в нашем исследовании, это заднебазальные отделы и билатеральное поражение. Исследование M. Chung et al. (2020) показало, что в правом легком верхняя доля поражается в 67%, средняя доля – в 57%, нижняя доля – в 76% случаев. В левом легком верхняя доля вовлечена в патологический процесс в 67% случаев,

нижняя доля – также в 67% случаев. Билатеральное поражение легочной паренхимы было выявлено в 76% случаев, а одностороннее (преимущественно справа) наблюдалось у 10% пациентов [6].

Полученные в нашем исследовании результаты согласуются с исследованиями, экспертными заключениями и сериями случаев, ранее опубликованными в литературе [7, 9, 18, 24]. Значимая связь между показателями УЗИ и КТ позволяет сделать шаг вперед в определении роли ультразвука легких в диагностике и оценке пневмонии, вызванной COVID-19.

Заключение

Использование УЗИ легких во время пандемии COVID-19 позволяет выявить и оценить объем и характер повреждения легочной ткани с высокой степенью чувствительности и специфичности. УЗИ легких является хорошим прикроватным вспомогательным методом, но при его должном применении подготовленным персоналом, особенно для соблюдения методики исследования и уверенной проекции сегментов легких на грудную стенку. По мере накопления опыта как в других, так и в нашем исследовании верифицированы основные ультразвуковые признаки патологических изменений, такие как В-линии и консолидация, которые были ассоциированы с аналогичными изменениями на КТ. Чувствительность УЗИ легких в диагностике поражения легких составила 95,3%, а специфичность – 85,4%. Таким образом, УЗИ легких продемонстрировало точность, сравнимую с КТ органов грудной клетки, при выявлении пневмонии у пациентов с COVID-19.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии у них конфликта интересов.

Conflict of Interests. The authors state that they have no conflict of interests.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лакхин Р. Е., Жирнова Е. А. Способ фокусированного ультразвукового исследования легких (Русский протокол) / Усовершенствование способов и аппаратуры, применяемых в учебном процессе, медико-биологических исследованиях и клинической практике / под общей ред. проф. Котива Б. Н. – СПб: ВМедА, 2021. – С. 58-59.
2. Старостин Д. О., Кузовлев А. Н. Роль ультразвукового исследования легких в условиях пандемии COVID-19 // Вестник анестезиологии и реаниматологии. – 2020. – Т. 17, № 4. – С. 23-31.
3. Alharthy A., Faqih F., Abuhamdah M. et al. Prospective longitudinal evaluation of point-of-care lung ultrasound in critically ill patients with severe COVID-19 Pneumonia // J. Ultrasound Med. – 2021. – Vol. 40. – P. 443-456. doi.org/10.1002/jum.15417.
4. Bertsimas D., Lukin G., Mingardi L. et al. COVID-19 mortality risk assessment: An international multi-center study // PLoS One. – 2020. – Vol. 15. – e0243262. doi.org/10.1371/journal.pone.0243262.
5. Buonsenso D., Raffaelli F., Tamburrini E. et al. Clinical role of lung ultrasound for diagnosis and monitoring of COVID-19 pneumonia in pregnant women // Ultrasound Obstet Gynecol. – 2020. – Vol. 56. – P. 106-109. doi.org/10.1002/uog.22055.

REFERENCES

1. Lakhin R.E., Zhirnova E.A. *Sposob fokusirovannogo ultrazvukovogo issledovaniya legkikh (Russkiy protokol). Usovershenstvovaniye sposobov i apparatury, primenyayemykh v uchebnom protsesse, mediko-biologicheskikh issledovaniyakh i klinicheskoy praktike.* [The method of focused ultrasound examination of the lungs (Russian protocol). Improvement of methods and equipment used in the educational process, biomedical research and clinical practice]. Kotiva B.N., eds., St. Petersburg, VMedA Publ., 2021, pp. 58-59.
2. Starostin D.O., Kuzovlev A.N. The role of lung ultrasound in the COVID-19. *Messenger of Anesthesiology and Resuscitation*, 2020, vol. 17, no. 4, pp. 23-31. (In Russ.)
3. Alharthy A., Faqih F., Abuhamdah M. et al. Prospective longitudinal evaluation of point-of-care lung ultrasound in critically ill patients with severe COVID-19 Pneumonia. *J. Ultrasound Med.*, 2021, vol. 40, pp. 443-456. doi.org/10.1002/jum.15417.
4. Bertsimas D., Lukin G., Mingardi L. et al. COVID-19 mortality risk assessment: An international multi-center study. *PLoS One*, 2020, vol. 15, e0243262. doi.org/10.1371/journal.pone.0243262.
5. Buonsenso D., Raffaelli F., Tamburrini E. et al. Clinical role of lung ultrasound for diagnosis and monitoring of COVID-19 pneumonia in pregnant women. *Ultrasound Obstet Gynecol.*, 2020, vol. 56, pp. 106-109. doi.org/10.1002/uog.22055.

6. Chung M., Bernheim A., Mei X. et al. CT imaging features of 2019 novel coronavirus (2019-NCov) // *Radiology*. – 2020. – Vol. 295. – P. 202–207. doi.org/10.1148/radiol.2020020230.
7. Convissar D. L., Gibson L. E., Berra L. et al. Application of lung ultrasound during the COVID-19 pandemic: a narrative review // *Anesth. Analg.* – 2020. – Vol. 131, № 2. – P. 345–350. doi.org/10.1213/ANE.0000000000004929.
8. Dargent A., Chatelain E., Kreitmann L. et al. Lung ultrasound score to monitor COVID-19 pneumonia progression in patients with ARDS // *PLoS One*. – 2020. – Vol. 15. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0236312.
9. Gargani L., Soliman-Aboumarie H., Volpicelli G. et al. Why, when, and how to use lung ultrasound during the COVID-19 pandemic: Enthusiasm and caution // *Eur. Heart J. Cardiovasc. Imaging*. – 2020. – Vol. 21. – P. 941–948. doi.org/10.1093/ehjci/jeaa163.
10. Giannini A., Mantovani A., Vezzoli C. et al. Lung ultrasound for pregnant women admitted to ICU for COVID-19 pneumonia // *Minerva Anesthesiol.* – 2020. – Vol. 86. – P. 1248–1249. doi.org/10.23736/S0375-9393.20.14726-6.
11. Hu Z., Liu Z., Dong Y. et al. Evaluation of lung involvement in COVID-19 pneumonia based on ultrasound images // *Biomed. Eng. Online* 2021. – Vol. 20. – P. 27. doi.org/10.1186/s12938-021-00863-x.
12. Hussain A., Via G., Melniker L. et al. Multi-organ point-of-care ultrasound for COVID-19 (PoCUS4COVID): international expert consensus // *Crit. Care*. – 2020. – Vol. 24, № 1. – P. 702. doi.org/10.1186/s13054-020-03369-5.
13. Karacaer C., Karabay O., Gunduz Y. et al. Correlation of lung ultrasound and computed tomography findings in COVID-19 pneumonia // *J. Coll. Physicians Surg. Pakistan*. – 2021. – Vol. 30. – P. 147–152. doi.org/10.29271/jcpsp.2020.Supp2.S147.
14. Kumar A., Weng Y., Duanmu Y. et al. Lung ultrasound findings in patients hospitalized with COVID-19 // *J. Ultrasound Med.* – 2021. – Vol. 41, № 1. – P. 89–96. https://doi.org/10.1002/jum.15683.
15. Manivel V., Lesniewski A., Shamim S. et al. CLUE: COVID-19 lung ultrasound in emergency department // *EMA – Emerg. Med. Australas.* – 2020. – Vol. 32. – P. 694–696. doi.org/10.1111/1742-6723.13546.
16. McDermott C., Łącki M., Sainsbury B. et al. Sonographic diagnosis of COVID-19: a review of image processing for lung ultrasound // *Front Big Data*. – 2021. – Vol. 4. – doi.org/10.3389/fdata.2021.612561.
17. Nouvenne A., Zani M. D., Milanese G. et al. Lung ultrasound in COVID-19 pneumonia: correlations with chest ct on hospital admission // *Respiration*. – 2020. – Vol. 99. – P. 617–624. doi.org/10.1159/000509223.
18. Ökmen K., Yıldız D. K., Soyaslan E. Comparison of lung ultrasonography findings with chest computed tomography results in coronavirus (COVID-19) pneumonia // *J. Med. Ultrason.* – 2021. – doi.org/10.1007/s10396-021-01081-7.
19. Peris A., Zagli G., Barbani F. et al. The value of lung ultrasound monitoring in H1N1 acute respiratory distress syndrome // *Anaesthesia*. – 2010. – Vol. 65. – P. 294–297. doi.org/10.1111/j.1365-2044.2009.06210.x.
20. Ramos Hernández C., Botana Rial M., Pazos Area L. A. et al. Lung ultrasound to predict unfavorable progress in patients hospitalized for COVID-19 // *Arch. Bronconeumol.* – 2021. – Vol. 57. – P. 47–54. doi.org/10.1016/j.arbres.2020.07.043.
21. Rizzetto F., Perillo N., Artioli D. et al. Correlation between lung ultrasound and chest CT patterns with estimation of pulmonary burden in COVID-19 patients // *Eur. J. Radiol.* – 2021. – Vol. 138. – doi.org/10.1016/j.ejrad.2021.109650.
22. Smith M. J., Hayward S. A., Innes S. M. et al. Point-of-care lung ultrasound in patients with COVID-19 – a narrative review // *Anaesthesia*. – 2020. – Vol. 75. – P. 1096–1104. doi.org/10.1111/anae.15082.
23. Soldati G., Smargiassi A., Inchingolo R. et al. Is There a role for lung ultrasound during the COVID-19 pandemic? // *J. Ultrasound Med.* – 2020. – Vol. 39. – P. 1459–1462. doi.org/10.1002/jum.15284.
24. Soldati G., Smargiassi A., Inchingolo R. et al. Proposal for international standardization of the use of lung ultrasound for patients with COVID-19 // *J. Ultrasound Med.* – 2020. – Vol. 39. – P. 1413–1419. doi.org/10.1002/jum.15285.
25. Soldati G., Smargiassi A., Inchingolo R. et al. On Lung Ultrasound Patterns Specificity in the Management of COVID-19 Patients // *J. Ultrasound Med.* – 2020. – Vol. 39. – P. 2283–2284. doi.org/10.1002/jum.15326.
26. Tung-Chen Y., Martí de Gracia M., Díez-Tascón A. et al. Correlation between chest computed tomography and lung ultrasonography in patients with coronavirus disease 2019 (COVID-19) // *Ultrasound Med. Biol.* – 2020. – Vol. 46. – P. 2918–2926. doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2020.07.003.
27. Volpicelli G., Gargani L., Perlini S. et al. Lung ultrasound for the early diagnosis of COVID-19 pneumonia: an international multicenter study on behalf of the International Multicenter Study Group on LUS in COVID-19 // *Int. Care Med.* 2021. – Vol. 47, № 4. – P. 444–454. doi.org/10.1007/s00134-021-06373-7.
6. Chung M., Bernheim A., Mei X. et al. CT imaging features of 2019 novel coronavirus (2019-NCov). *Radiology*, 2020, vol. 295, pp. 202–207. doi.org/10.1148/radiol.2020020230.
7. Convissar D.L., Gibson L.E., Berra L. et al. Application of lung ultrasound during the COVID-19 pandemic: a narrative review. *Anesth. Analg.*, 2020, vol. 131, no. 2, pp. 345–350. doi.org/10.1213/ANE.0000000000004929.
8. Dargent A., Chatelain E., Kreitmann L. et al. Lung ultrasound score to monitor COVID-19 pneumonia progression in patients with ARDS. *PLoS One*, 2020, vol. 15. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0236312.
9. Gargani L., Soliman-Aboumarie H., Hunninghake G.W. et al. Why, when, and how to use lung ultrasound during the COVID-19 pandemic: Enthusiasm and caution. *Eur. Heart J. Cardiovasc. Imaging*, 2020, vol. 21, pp. 941–948. doi.org/10.1093/ehjci/jeaa163.
10. Giannini A., Mantovani A., Vezzoli C. et al. Lung ultrasound for pregnant women admitted to ICU for COVID-19 pneumonia. *Minerva Anesthesiol.*, 2020, vol. 86, pp. 1248–1249. doi.org/10.23736/S0375-9393.20.14726-6.
11. Hu Z., Liu Z., Dong Y. et al. Evaluation of lung involvement in COVID-19 pneumonia based on ultrasound images. *Biomed. Eng. Online*, 2021, vol. 20, pp. 27. doi.org/10.1186/s12938-021-00863-x.
12. Hussain A., Via G., Melniker L. et al. Multi-organ point-of-care ultrasound for COVID-19 (PoCUS4COVID): international expert consensus. *Crit. Care*, 2020, vol. 24, no. 1, pp. 702. doi.org/10.1186/s13054-020-03369-5.
13. Karacaer C., Karabay O., Gunduz Y. et al. Correlation of lung ultrasound and computed tomography findings in COVID-19 pneumonia. *J. Coll. Physicians Surg. Pakistan*, 2021, vol. 30, pp. 147–152. doi.org/10.29271/jcpsp.2020.Supp2.S147.
14. Kumar A., Weng Y., Duanmu Y. et al. Lung ultrasound findings in patients hospitalized with COVID-19. *J. Ultrasound Med.*, 2021, vol. 41, no. 1, pp. 89–96. https://doi.org/10.1002/jum.15683.
15. Manivel V., Lesniewski A., Shamim S. et al. CLUE: COVID-19 lung ultrasound in emergency department. *EMA – Emerg. Med. Australas*, 2020, vol. 32, pp. 694–696. doi.org/10.1111/1742-6723.13546.
16. McDermott C., Łącki M., Sainsbury B. et al. Sonographic diagnosis of COVID-19: a review of image processing for lung ultrasound. *Front Big Data*, 2021, vol. 4. doi.org/10.3389/fdata.2021.612561.
17. Nouvenne A., Zani M.D., Milanese G. et al. Lung ultrasound in COVID-19 pneumonia: correlations with chest CT on hospital admission. *Respiration*, 2020, vol. 99, pp. 617–624. doi.org/10.1159/000509223.
18. Ökmen K., Yıldız D.K., Soyaslan E. Comparison of lung ultrasonography findings with chest computed tomography results in coronavirus (COVID-19) pneumonia. *J. Med. Ultrason.*, 2021, doi.org/10.1007/s10396-021-01081-7.
19. Peris A., Zagli G., Barbani F. et al. The value of lung ultrasound monitoring in H1N1 acute respiratory distress syndrome. *Anaesthesia*, 2010, vol. 65, pp. 294–297. doi.org/10.1111/j.1365-2044.2009.06210.x.
20. Ramos Hernández C., Botana Rial M., Pazos Area L. A. et al. Lung ultrasound to predict unfavorable progress in patients hospitalized for COVID-19. *Arch. Bronconeumol.*, 2021, vol. 57, pp. 47–54. doi.org/10.1016/j.arbres.2020.07.043.
21. Rizzetto F., Perillo N., Artioli D. et al. Correlation between lung ultrasound and chest CT patterns with estimation of pulmonary burden in COVID-19 patients. *Eur. J. Radiol.*, 2021, vol. 138. doi.org/10.1016/j.ejrad.2021.109650.
22. Smith M.J., Hayward S.A., Innes S.M. et al. Point-of-care lung ultrasound in patients with COVID-19 – a narrative review. *Anaesthesia*, 2020, vol. 75, pp. 1096–1104. doi.org/10.1111/anae.15082.
23. Soldati G., Smargiassi A., Inchingolo R. et al. Is There a role for lung ultrasound during the COVID-19 pandemic? *J. Ultrasound Med.*, 2020, vol. 39, pp. 1459–1462. doi.org/10.1002/jum.15284.
24. Soldati G., Smargiassi A., Inchingolo R. et al. Proposal for international standardization of the use of lung ultrasound for patients with COVID-19. *J. Ultrasound Med.*, 2020, vol. 39, pp. 1413–1419. doi.org/10.1002/jum.15285.
25. Soldati G., Smargiassi A., Inchingolo R. et al. On Lung Ultrasound Patterns Specificity in the Management of COVID-19 Patients. *J. Ultrasound Med.*, 2020, vol. 39, pp. 2283–2284. doi.org/10.1002/jum.15326.
26. Tung-Chen Y., Martí de Gracia M., Díez-Tascón A. et al. Correlation between chest computed tomography and lung ultrasonography in patients with coronavirus disease 2019 (COVID-19). *Ultrasound Med. Biol.*, 2020, vol. 46, pp. 2918–2926. doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2020.07.003.
27. Volpicelli G., Gargani L., Perlini S. et al. Lung ultrasound for the early diagnosis of COVID-19 pneumonia: an international multicenter study on behalf of the International Multicenter Study Group on LUS in COVID-19. *Int. Care Med.*, 2021, vol. 47, no. 4, pp. 444–454. doi.org/10.1007/s00134-021-06373-7.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ:

ФГБВОУ ВО «Военно-медицинская академия
им. С. М. Кирова»
МО РФ, 194044, Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, д. 6.
Тел.: +7 (812) 292–33–47.

Лакхин Роман Евгеньевич

доктор медицинских наук, доцент, профессор кафедры
военной анестезиологии и реаниматологии.
E-mail: doctor-lahin@yandex.ru
ORCID 0000-0001-6819-9691

Щеголев Алексей Валерианович

доктор медицинских наук, профессор,
начальник кафедры (начальник клиники) военной
анестезиологии и реаниматологии.
E-mail: alekseischegolev@gmail.com
ORCID 0000-0001-6431-439 X

Железняк Игорь Сергеевич

доктор медицинских наук, доцент,
начальник кафедры рентгенологии и радиологии с курсом
ультразвуковой диагностики.
E-mail: igzh@bk.ru
ORCID 0000-0001-7383-512X

Меньков Игорь Анатольевич

кандидат медицинских наук, врач-рентгенолог,
заведующий отделением лучевой диагностики клиники
рентгенорадиологии и ультразвуковой диагностики.
E-mail: i.menkov@gmail.com
ORCID 0000-0002-1569-2180

Чугунов Александр Алексеевич

преподаватель кафедры и клиники (терапии
усовершенствования врачей) им. акад. Н. С. Молчанова.
E-mail: alexandrchugun@yandex.ru
ORCID: 0000-0002-2532-6133

Жирнова Екатерина Александровна

Клиника высоких медицинских технологий
им. Н. И. Пирогова Санкт-Петербургского
государственного университета,
врач – анестезиолог-реаниматолог.
190103, Санкт-Петербург, набережная р. Фонтанки, д. 154.
Тел.: +7 (812) 676–25–25.
E-mail: kate-embrace@mail.ru
ORCID 0000-0003-1865-3838

INFORMATION ABOUT AUTHORS:

S.M. Kirov Military Medical Academy,
6, Academician Lebedev St.,
St. Petersburg, 194044.
Phone: +7 (812) 292–33–47.

Roman E. Lakhin

Doctor of Medical Sciences, Associate Professor of Military
Anesthesiology and Intensive Care Department.
Email: doctor-lahin@yandex.ru
ORCID 0000-0001-6819-9691

Aleksey V. Shchegolev

Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of Military
Anesthesiology and Intensive Care Department
(Head of the Clinic).
Email: alekseischegolev@gmail.com
ORCID 0000-0001-6431-439 X

Igor S. Zheleznyak

Doctor of Medical Sciences, Associate Professor, Head of the
Department of Rontgenology and Radiology with a Training
Course of Ultrasound Diagnostics.
Email: igzh@bk.ru
ORCID 0000-0001-7383-512X

Igor A. Menkov

Candidate of Medical Sciences, Roentgenologist,
Head of X-ray Diagnostics Department,
Clinic of X-Ray and Ultrasound Diagnostics.
Email: i.menkov@gmail.com
ORCID 0000-0002-1569-2180

Aleksandr A. Chugunov

Lecturer of the Department and Clinic (Medical Professional
Development) Named after Acad. N. S. Molchanov.
Email: alexandrchugun@yandex.ru
ORCID: 0000-0002-2532-6133

Ekaterina A. Zhirnova

St. Petersburg University's N.I. Pirogov
Clinic of High Medical Technologies,
Anesthesiologist and Emergency Physician.
154, Nab. Reki Fontanki,
St. Petersburg, 190103.
Phone: +7 (812) 676–25–25.
Email: kate-embrace@mail.ru
ORCID 0000-0003-1865-3838