



COVID-19

ISSN 1607-0763 (Print); ISSN 2408-9516 (Online)
<https://doi.org/10.24835/1607-0763-2020-2-50-62>

Первый опыт применения ультразвукового исследования легких у пациентов с острой вирусной инфекцией, вызванной SARS-CoV-2

© Петриков С.С.^{1,2}, Попугаев К.А.¹, Хамидова Л.Т.^{1*},
Рыбалко Н.В.¹, Абучина В.М.¹, Алексеечкина О.А.¹

¹ ГБУЗ города Москвы “Научно-исследовательский институт скорой помощи имени Н.В. Склифосовского ДЗ города Москвы”; 129090 Москва, Большая Сухаревская площадь, д. 3, Российская Федерация

² ФГБОУ ВО “Московский государственный медико-стоматологический университет имени А.И. Евдокимова” Минздрава России, Москва; 127473 Москва, ул. Делегатская, д. 20, стр. 1, Российская Федерация

Своевременная диагностика и лечение новой коронавирусной инфекции являются приоритетным направлением медицины во всем мире.

Цель исследования: оценка особенностей проведения ультразвукового исследования легких у пациентов с новой вирусной инфекцией COVID-19 в условиях инфекционного отделения.

Материал и методы. В исследовании принимали участие 52 пациента с установленной коронавирусной инфекцией, вызванной вирусом COVID-19, находившихся на лечении в инфекционном корпусе НИИ СП имени Н.В. Склифосовского, из них 29 мужчин и 23 женщины, средний возраст $51,2 \pm 3,4$ года. Тяжесть клинического состояния пациентов при поступлении в стационар оценивали по шкале NEWS. Всем пациентам при поступлении выполняли ультразвуковое исследование легких на аппарате ESAOTE MyLab 70 (Италия) конвексным датчиком частотой 3–5 МГц. При выполнении ультразвукового исследования ткани легкого сканирование выполняли по основным топографическим линиям (среднеключичной, передней, средней и задней подмышечной, лопаточной линиям в продольной и поперечной плоскости).

Результаты. Определены следующие патологические эхографические признаки ткани легкого у пациентов с COVID-19. Множественные В-линии были выявлены у всех пациентов (100%): из них в 34 случаях отмечались сливающиеся В-линии, в 18 случаях – рассеянные В-линии. Изменение структуры плевральной линии визуализировали у всех пациентов: из них утолщение более 2 мм – в 33 случаях, прерывистые контуры – в 25 случаях. Жидкость в плевральной полости определяли в 39 (75%) случаях, краевые зоны консолидации легкого – у всех пациентов (100%): из них в 38 (73,0%) случаях отмечались гомогенные консолидации; в 14 (26%) случаях – гетерогенные консолидации.

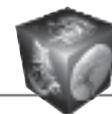
Выводы. Ультразвуковое сканирование ткани легкого является вспомогательным методом диагностики вирусной пневмонии, вызванной новым коронавирусом COVID-19. Метод может применяться в клинических ситуациях, при которых наблюдается легкое течение болезни, при невозможности проведения исследования и для мониторинга пациентов, находящихся на ИВЛ. К преимуществам метода можно отнести возможность получения динамичного изображения в режиме online, возможность проведения исследования у постели пациента. Кроме того, ультразвуковое сканирование ткани легкого, в отличие от КТ легких, обладает преимуществом в распознавании интерстициальных поражений и отображает распределения кровотока в тканях с оценкой степени ангиогенеза при воспалительных вирусных поражениях легких.

Ключевые слова: новая вирусная инфекция COVID-19, ультразвуковое исследование легких

Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.

Для цитирования: Петриков С.С., Попугаев К.А., Хамидова Л.Т., Рыбалко Н.В., Абучина В.М., Алексеечкина О.А. Первый опыт применения ультразвукового исследования легких у пациентов с острой вирусной инфекцией, вызванной SARS-CoV-2. *Медицинская визуализация*. 2020; 24 (2): 50–62.
<https://doi.org/10.24835/1607-0763-2020-2-50-62>

Поступила в редакцию: 08.05.2020. **Принята к печати:** 20.05.2020. **Опубликована online:** 19.06.2020.



First experience of lung ultrasound application in patients with acute viral infection caused by SARS-CoV-2

© Sergey S. Petrikov^{1,2}, Konstantin A. Popugaev¹, Layla T. Khamidova^{1*}, Natalia V. Rybalko¹, Vera M. Abuchina¹, Olga A. Alekseechkina¹

¹ N.V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine of Health Department of Moscow; 3, Bolshaya Suharevskaya pl., 129090, Moscow, Russian Federation

² A.I. Evdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry, Moscow; 20/1, Delegatskaya str., 127473, Moscow, Russian Federation

The purpose of the study was the estimation of lung ultrasound examination characteristic in patients with a new COVID-19 virus infection in the infectious Department.

Materials and methods. 52 patients (male 29, middle age 51.2 ± 3.4) with an established coronavirus infection caused by the COVID-19 virus were participated in the research. The severity of the patients' clinical condition was assessed by the NEWS scale. An ultrasound lungs examination was performed on the 1st day an ESAOTE MyLab 70 (Italy) device with S 3–5 MHz Probe. Ultrasound scanning was performed along the main topographic lines (mid-thoracic, anterior, middle and posterior axillary, scapular lines in the longitudinal and transverse planes).

Results. Pathological ultrasound signs of lung tissue damage were determined in COVID-19 patients. Multiple B-lines were detected in all patients (100%): in 34 cases – merging B-lines, in 18 cases – scattered B-lines. Changes of the pleural line structure were visualized in all cases: thickening of more than 2 mm – in 33 cases, and discontinuous contours – in 25 cases. Hydrothorax was determined in 39 cases (75%); marginal zones of lung consolidation – in all patients (100%); homogeneous consolidations were observed in 38 cases (73.0%); heterogeneous consolidations (26%) – in 14 cases.

Conclusions. Ultrasound lung scanning is an assistive method viral pneumonia diagnosing caused by the new COVID-19 coronavirus. The method can be applied in clinical situations where there is a mild course of the disease, if it is impossible to perform the research and to monitor patients who are on a ventilator. The advantages of the method include the ability to obtain a dynamic image in online mode, the ability to conduct research in the patient's bed. In addition, ultrasound scanning of lung tissue, in contrast to CT of the lungs, has an advantage in recognizing interstitial lesions and displays the distribution of blood flow in tissues with an assessment of the degree of angiogenesis in inflammatory viral lung lesions.

Keywords: the COVID-19 pandemic, lung ultrasound

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest. The study had no sponsorship.

For citation: Petrikov S.S., Popugaev K.A., Khamidova L.T., Rybalko N.V., Abuchina V.M., Alekseechkina O.A. First experience of lung ultrasound application in patients with acute viral infection caused by SARS-CoV-2. *Medical Visualization*. 2020; 24 (2): 50–62. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-2020-2-50-62>

Received: 08.05.2020.

Accepted for publication: 20.05.2020.

Published online: 19.06.2020.

Введение

11 марта 2020 г. Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) официально объявила вспышку инфекции, вызванной SARS-CoV-2, также известную как COVID-19, пандемией [1]. Стремительное распространение этого вируса по планете привело к глобальным перестройкам системы здравоохранения и изменениям условий работы врачей всех специальностей [2–4].

“Золотым стандартом” в диагностике вирусной пневмонии, ассоциированной с вирусом SARS-CoV-2, является КТ грудной клетки [5, 6]. Ультразвуковое сканирование ткани легкого может быть дополнительным методом диагностики вирусной пневмонии [7, 8] и применяться в качестве скри-

нингового метода, для быстрого неинвазивного мониторинга состояния пациента, а также в клинических ситуациях, когда не доступно выполнение КТ грудной клетки (беременные женщины, тяжелое состояние пациента, отсутствие технических возможностей и средств защиты для транспортировки пациента к КТ-аппарату) [9].

Проведенные ранее исследования [7–10] свидетельствуют о значимой роли ультразвука легких для диагностики интерстициального отека [11], острого респираторного дистресс-синдрома [12], патологии плевры и воспалительных изменений легких любой этиологии [13]. Новые российские и международные руководства, методические рекомендации и собственные исследования пока-

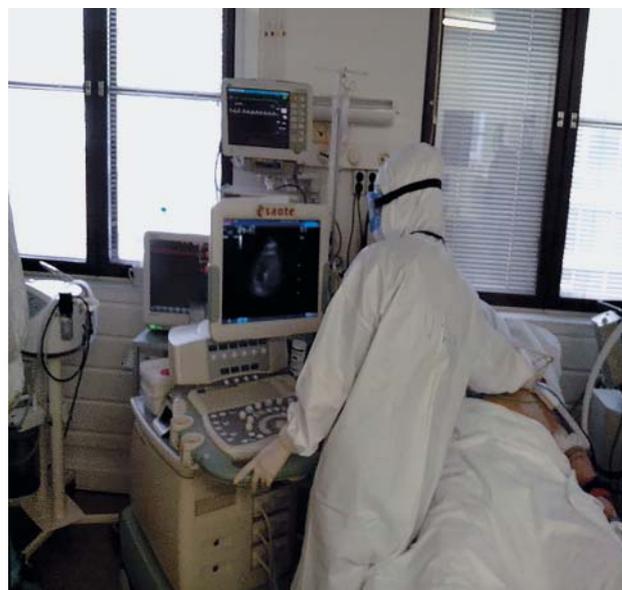


Рис. 1. Врач ультразвуковой диагностики в средствах индивидуальной защиты выполняет исследование у постели пациента с COVID-19.

Fig. 1. Ultrasound imaging doctor performs bedside ultrasound of COVID-19 patient in personal protective equipment.

зывают эффективность применения ультразвука легких для диагностики и мониторинга пневмонии, ассоциированной с инфекцией COVID-19 [9, 12].

Ультразвуковое исследование является безопасным и необходимым инструментом для диагностики различных заболеваний и оказания медицинской помощи пациентам. Тем не менее ультразвуковой аппарат может потенциально участвовать в передаче инфекции, и предыдущие исследования [13, 14] показали пробелы в знаниях основных мер профилактики инфекции при использовании ультразвуковой диагностики. Учитывая высокую контагиозность COVID-19 [1] и необходимость контакта пациента и врача при выполнении ультразвукового исследования, следует принять все меры предосторожности в ежедневной клинической практике.

Материал и методы

Для реализации программы по борьбе с новой инфекцией COVID-19 в НИИ СП имени Н.В. Склифосовского был выделен и переоборудован отдельный корпус. Инфекционный корпус оборудован на 107 коек, из которых 37 приходится на реанимационные. Ультразвуковые методы диагностики являются обязательными для пациентов с COVID-19. Организована посменная работа врачей ультразвуковой диагностики. Два врача ультразвуковой диагностики в течение суток при-

креплены к инфекционному корпусу, в их обязанности входит проведение всего спектра ультразвуковых исследований в соответствии с клиническими показаниями. При работе с пациентами пользовались принципом “исследование у постели пациента”, что позволяло предотвращать перемещение больных и проводить профилактику распространения инфекции в пределах корпуса (рис. 1). Механизм проведения ультразвуковых исследований у постели пациента (“Bedside Ultrasound”) внедрен в условиях приемного отделения НИИ СП имени Н.В. Склифосовского с 2018 г.

Для профилактики передачи инфекции все врачи, выполняющие ультразвуковые исследования, были снабжены средствами индивидуальной защиты: хирургический костюм, “противочумный костюм”, две пары перчаток, шапочка, респиратор, бахилы, очки. Порядок одевания средств индивидуальной защиты представлен на рис. 2.

Для определения возможностей ультразвуковой диагностики при поражении легких выполняли сканирование ткани легкого 52 пациентам с подтвержденной новой инфекцией COVID-19, из них 29 мужчин и 23 женщины, средний возраст $51,2 \pm 3,4$ года. Большинство пациентов ($n = 35$) поступило в стационар на 9–14-е сутки от момента начала заболевания, 12 пациентов – на 5–7-е сутки; 3 пациента – на 3-и сутки; 2 пациента – на 2-е сутки заболевания.

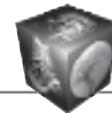


Рис. 2. Алгоритм выполнения диагностических мероприятий пациентам инфекционного корпуса.

Fig. 2. Algorithm for diagnostic ultrasound performing in the covid-19 infectious department.

Тяжесть клинического состояния пациентов при поступлении в стационар оценивалась по шкале NEWS [15]. У 22 пациентов сумма баллов по шкале NEWS была равна или более 7, состояние этих пациентов оценивалось как крайне тяжелое с необходимым проведением искусственной вентиляции легких (ИВЛ). У 18 пациентов сумма баллов по шкале NEWS находилась в интервале от 5 до 6, состояние оценивалось как средней степени тяжести. У 12 пациентов сумма баллов составляла менее 4, состояние оценивалось как нетяжелое [16].

Ультразвуковое исследование легких выполняли всем пациентам при поступлении. Кроме того, пациентам в крайне тяжелом состоянии (более 7 баллов по шкале NEWS) проводили повторные исследования на 3, 5 и 10-е сутки от поступления в стационар.

Ультразвуковые исследования выполняли на аппарате среднего класса ESAOTE My Lab 70 конвексным датчиком частотой 3,5 и 5,0 МГц. Ультразвуковой сканер располагался постоянно в "красной зоне" инфекционного корпуса. После выполнения исследования ультразвуковые датчики очищались и дезинфицировались в соответствии с рекомендациями с использованием средств низкого или промежуточного уровня дезинфекции, которые уничтожают большинство бактерий, некоторые грибы и некоторые вирусы, такие как COVID-19, грипп А и вирус иммунодефицита человека [14].

Пациентам инфекционного отделения ультразвуковое исследование легких проводили в положении пациента сидя. Датчик устанавливали последовательно справа и слева по паравертебральной линии в третье–четвертое межреберье, лопаточной линии у нижнего угла лопатки в пятое–шестое межреберье и седьмое–восьмое межреберье по средней и задней подмышечной линии в положении датчика в продольной и поперечной плоскости сканирования. При оценке верхних отделов легких датчик устанавливали на уровне третьего–четвертого межреберья по среднеключичной и передней подмышечной линиям в продольной и поперечной плоскости сканирования (рис. 3).

Тяжелым пациентам, находящимся на ИВЛ, ультразвуковое исследование легких выполняли в положении пациента лежа на спине. Датчик устанавливали по среднеключичной и передней подмышечной линиям на уровне третьего–четвертого межреберья в продольной и поперечной плоскости сканирования (оценка верхних отделов легких), на уровне пятого–шестого межреберья, затем седьмого–восьмого межреберья по средней и задней подмышечным линиям в продольной и поперечной плоскости (оценка задних и нижних отделов легких) (см. рис. 3).

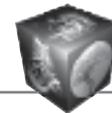
При возможности поворота пациента на бок датчик устанавливали по паравертебральной линии, у нижнего угла лопатки и перемещали от пятого–шестого межреберья до уровня синуса в продольной и поперечной плоскости сканирования.

На эхограммах оценивали разобщение листков плевры с четкой дифференцировкой плевральных листков, толщину висцерального листка плевры, скольжение легкого по смещению висцерального листка плевры относительно париетального. Оценивали состояние легкого по наличию артефактов в виде А- и В-линий, участков безвоздушного легкого (уплотнение, "гепатизация" легочной ткани), глубине уплотнения легкого.



Рис. 3. Методика сканирования легких и плевральных полостей при проведении ультразвукового исследования у пациента с COVID-19 в условиях инфекционного отделения. Среднеключичная линия в продольном сканировании (а); в поперечном сканировании (б). Передняя подмышечная линия в продольном сканировании (в); в поперечном сканировании (г). Средняя подмышечная линия в продольном сканировании (д); в поперечном сканировании (е). Лопаточная линия в поперечном сканировании верхние отделы (ж); нижние отделы (з).

Fig. 3. Lungs and pleural cavities ultrasound scanning in infection department. The midclavicular line in the longitudinal scan (а); in the transverse scan (б). Anterior axillary line in the longitudinal scan (в); in the transverse scan (г). The middle axillary line in the longitudinal scan (д); in the transverse scan (е). The Scapular line in the transverse scan upper regions (ж); lower regions (з).



Результаты

Ультразвуковые изображения ткани легких у пациентов с COVID-19 значительно отличались от эхограмм ткани легкого у пациентов с бактериальной пневмонией, туберкулезом, обструктивным ателектазом, кардиогенным отеком легких.

Выявлены следующие патологические эхографические признаки ткани легкого у пациентов COVID-19 (см. таблицу):

1. Множественные В-линии (рассеянные или сливающиеся)

Отмечались у всех пациентов (см. таблицу). У 24 пациентов изменения легочной ткани были выявлены в верхних и нижних отделах легких (полисегментарное поражение). В 34 случаях отмечались сливающиеся В-линии, в 18 случаях – рассеянные В-линии. По сравнению с В-линиями, вызванными кардиогенным отеком легких, В-линии у пациентов с COVID-19 имели четкие границы и выраженную эхогенность. На рис. 4 представлены эхограммы легкого пациентов с пневмонией, вызванной COVID-19 с выявленными интерстициальными изменениями легочной ткани, лоцируется утолщенная плевральная линия (белые стрелки), от которой отходят множественные В-линии (черные стрелки), сливающиеся между собой (“белое легкое”).

2. Изменение структуры плевральной линии

В норме на эхограммах плевральная линия представлена тонкой ровной линейной гиперэхогенной структурой толщиной 1–2 мм. У всех пациентов с пневмонией, ассоциированной с COVID-19, отмечались эхографические изменения плевральной линии в виде: утолщения более 2 мм (рис. 5 слева), неровные прерывистые контуры (рис. 5 справа). Данные изменения обусловлены снижением газосодержания в субплевральных альвеолах при интерстициальных поражениях и усилением отражения звуковой волны.

3. Жидкость в плевральной полости

В 39 (75%) случаях при тяжелом течении пневмонии, ассоциированной с инфекцией COVID-19, отмечалось наличие минимального гидроторакса толщиной до 7–14 мм (рис. 6), скопление незначительного количества жидкости в плевральной полости. Данные эхографические признаки ассоциируются с реактивными изменениями, полиорганной недостаточностью и вовлечением в процесс париетальной и висцеральной плевры.

4. Краевые зоны консолидации легкого

Зоны локального поражения (консолидации) были выявлены у всех пациентов (100%): из них долевыми консолидациями обнаружено не было; сегментарные консолидации выявлены у 10 (19,2%) пациентов, очаговые – у 42 (80,2%) пациентов

Таблица. Эхографические признаки патологии легочной ткани у пациентов с COVID-19

Table. Ultrasound signs of lung tissue damage in COVID-19 patients

Ультразвуковой признак	Число пациентов	%
1. Изменение структуры плевральной линии	52	100,0
2. Наличие А-линии:		
одностороннее	30	57,6
двустороннее	22	42,3
3. Наличие В-линий:		
рассеянные	18	34,6
сливающиеся	34	65,3
4. Участки консолидации:		
очаговые	42	80,7
сегментарные	10	19,2
долевые	0	0,0
5. Структура консолидации:		
гомогенная	38	73,07
гетерогенная	14	26,9
6. Наличие воздушной:		
бронхограммы		
в зоне консолидации		
прослеживается	18	34,6
не прослеживается	34	65,4
7. Наличие при ЦДК признаков кровотока:		
регистрируется	20	38,4
не регистрируется	32	61,5
8. Наличие плеврального выпота	39	75,0

(см. таблицу) и локализовались преимущественно в задних и нижних отделах легких. При выполнении ультразвукового сканирования на фоне В-линий в структуре легочной ткани лоцировались краевые зоны консолидации в виде локальных безвоздушных участков (рис. 7). На эхограммах рис. 8 на фоне представленных интерстициальных изменений легочной ткани в нижних и задних отделах субплеврально лоцируются участки безвоздушного легкого в виде зон сниженной эхогенности без воздушной бронхограммы (“печеночной плотности”).

В нашем исследовании очаговые консолидации гомогенного характера были выявлены у 9 пациентов (рис. 9 справа) и гетерогенного характера – у 33 пациентов (рис. 9 слева). Во всех случаях хорошо прослеживалась воздушная бронхограмма.

Гетерогенность локального процесса в легких (консолидации) ассоциируется с прогрессированием заболевания, при котором в процесс вовлекаются несколько сегментов или доля легкого. Патологический процесс формируется за счет интерстициального воспаления и отека тканей, формируя участок безвоздушного легкого (при-

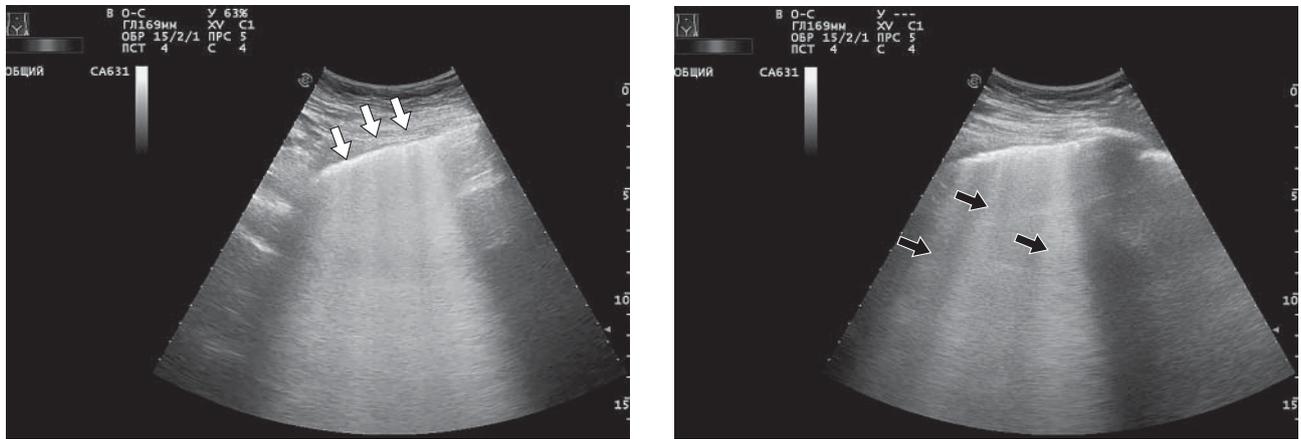


Рис. 4. Эхограммы легкого у пациента с вирусной пневмонией, вызванной COVID-19, с интерстициальными изменениями.

Fig. 4. Lung ultrasound images of COVID-19 patient (multiple B-lines).

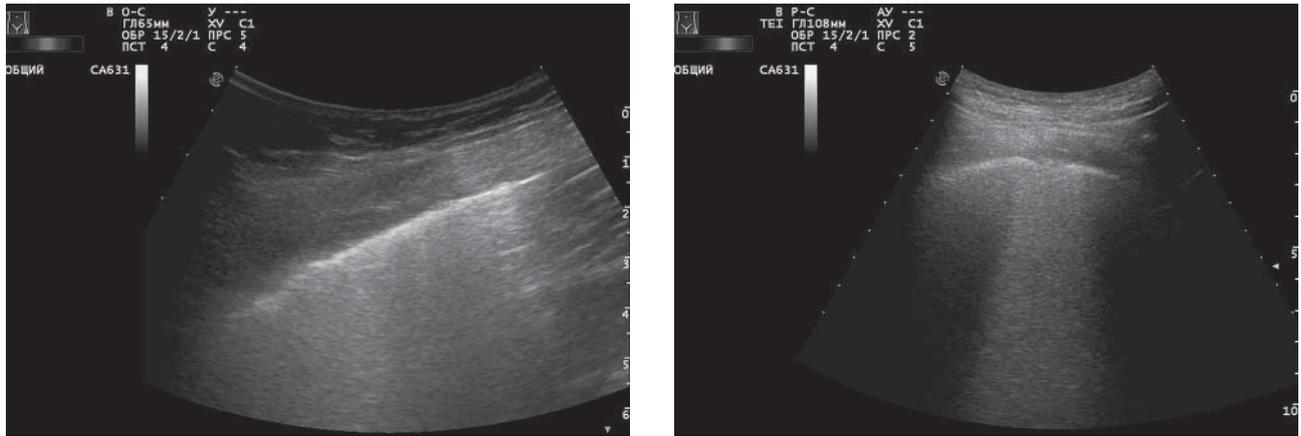


Рис. 5. Эхограммы легкого у пациента с COVID-19. Слева – утолщенная и неровная плевральная линия; справа – прерывистость плевральной линии.

Fig. 5. Lung ultrasound images of COVID-19 patient. Left – thickened and uneven pleural line; right-discontinuity of the pleural line.

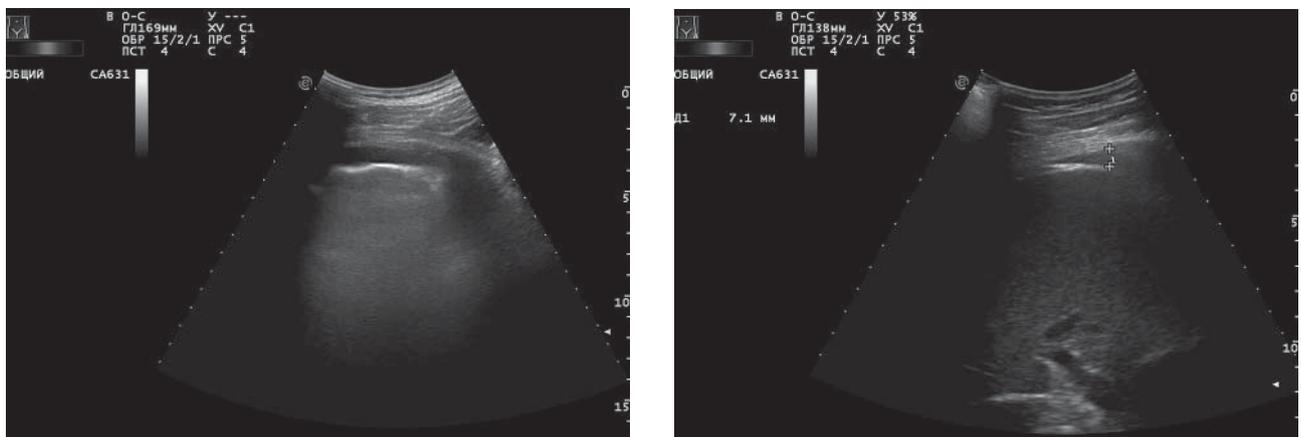


Рис. 6. Эхограммы легкого у пациента с COVID-19 с минимальным гидротораксом. Сканирование по лопаточной линии на уровне синуса.

Fig. 6. Lung ultrasound images of COVID-19 patient (minor hydrothorax). Scapular line scanning at the sinus level.

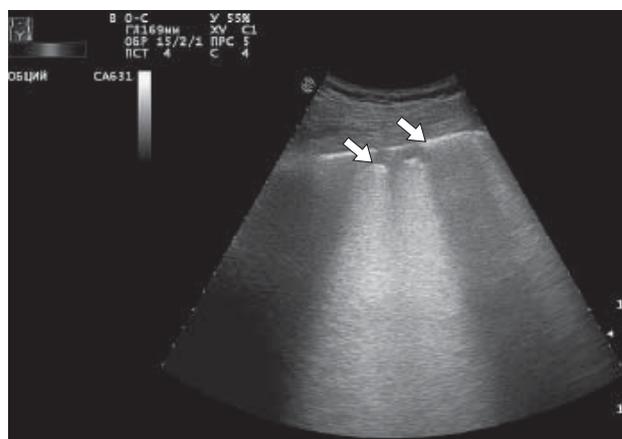
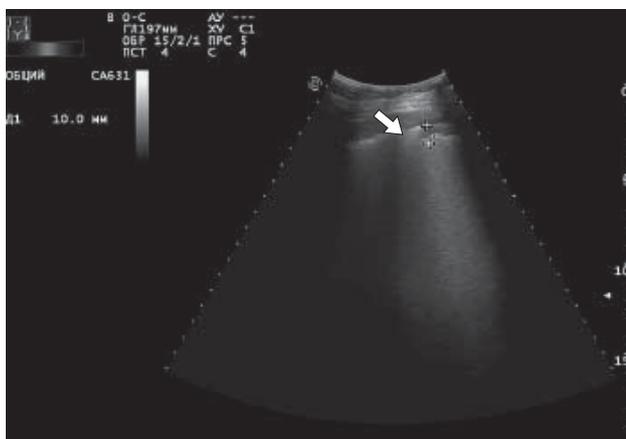
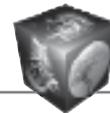


Рис. 7. Эхограммы легкого у пациента с COVID-19 (стрелки – зоны консолидации).

Fig. 7. Lung ultrasound images of COVID-19 patient (arrows – consolidation zones).

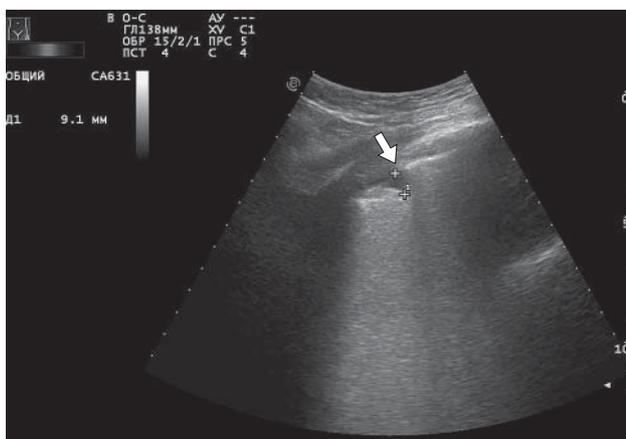


Рис. 8. Эхограммы легкого у пациента с COVID-19. Слева – очаговая консолидация в субплевральной области, справа – распространенные консолидации (стрелки – зоны консолидации).

Fig. 8. Lung ultrasound images of COVID-19 patient (left – focal consolidation in the subpleural area, right – widespread consolidations) (arrows – consolidation zones).



Рис. 9. Эхограммы легкого у пациента с COVID-19. Слева – гомогенные консолидации в субплевральных областях, справа – гетерогенные консолидации в субплевральных областях (стрелки – зоны консолидации).

Fig. 9. Lung ultrasound images of COVID-19 patient (left – subpleural regions homogenic consolidations, right – subpleural regions heterogenic consolidation) (arrows – consolidation zones).

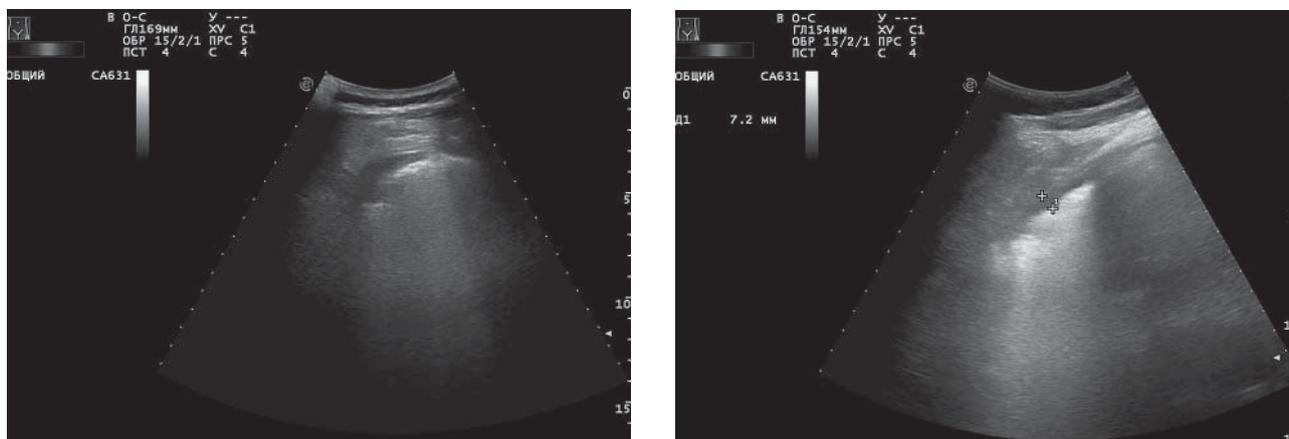
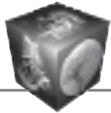


Рис. 10. Эхограммы легкого у пациента с COVID-19 (локальное минимальное скопление жидкости в проекции субплевральной консолидации).

Fig. 10. Lung ultrasound images of COVID-19 patient (local fluid in subpleural consolidation region).

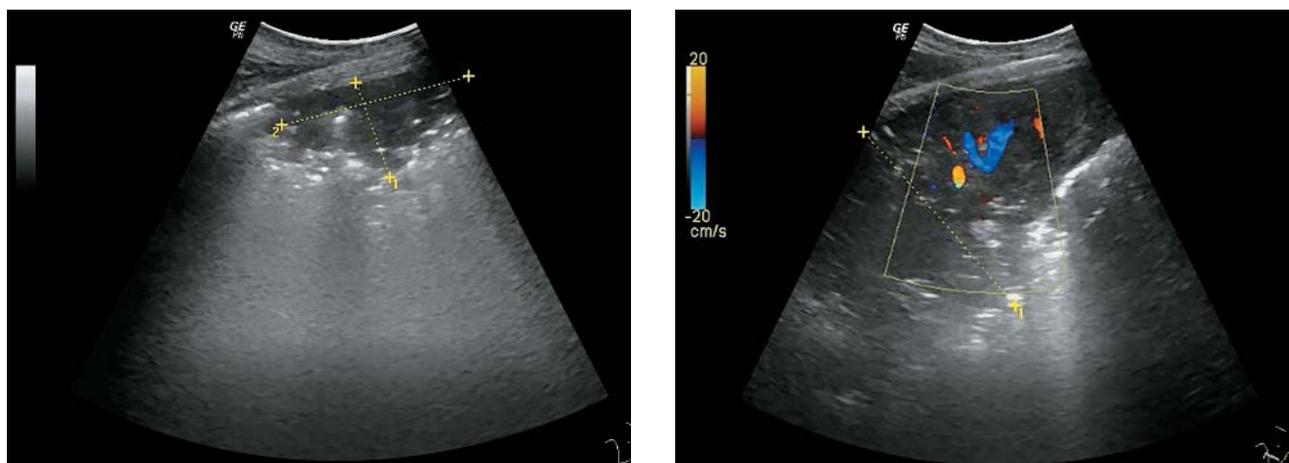


Рис. 11. Эхограммы легкого у пациента с COVID-19. Слева – консолидация в субплевральных областях в В-режиме, справа – в режиме ЦДК.

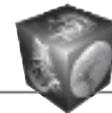
Fig. 11. Lung ultrasound images of COVID-19 patient (left – subpleural consolidation – B-mode scanning; right – subpleural consolidation scanning – color doppler scanning).

знак гепатизации легочной ткани). На эхограмме вышеописанные изменения представлены гипоэхогенной структурой (см. рис. 9 справа). Главные бронхи и часть альвеол остаются интактными, формируя аэробронхограмму, которая представлена на рис. 9 справа гиперэхогенными линейными включениями.

У 20 (38%) пациентов при выполнении ультразвукового исследования легких были выявлены очаговые консолидации с наличием минимального количества жидкости в плевральной полости 2–4 мм (реактивный выпот) в проекции субплевральной зоны консолидации (рис. 10).

Ультразвуковое сканирование легких в режиме ЦДК позволило выявить признаки выраженного кровотока в субплевральных консолидациях у 17 (48,5%) пациентов (рис. 11). Все пациенты

с наличием кровотока в зонах консолидации были классифицированы как тяжелые или средней степени тяжести по шкале NEWS. Определение кровотока в участках поражения было доступно только при использовании аппаратов экспертного класса (в нашем исследовании Acuson Siemens 2000) и высокочастотного сканирующего датчика (L9–14 МГц). Механизм формирования усиленного кровотока в зонах консолидации связан с прогрессированием процесса воспаления и усилением васкуляризации пораженной ткани. В проведенных ранее исследованиях особое внимание уделяется данному эхографическому признаку при обследовании пациентов с вирусными пневмониями [17–19], поскольку усиленный кровоток у пациентов с вирусной пневмонией ассоциируется с неблагоприятным прогнозом заболевания.



Из 17 пациентов с выявленным кровотоком в области консолидации легочной ткани был зарегистрирован один летальный исход, в 10 случаях – ухудшение состояния и перевод пациента на ИВЛ.

Обсуждение

С декабря 2019 г. началось распространение эпидемии новой коронавирусной инфекции (COVID-19). С этого момента случаи CoV-19 были выявлены в 68 разных странах по всему миру, зарегистрировано 87 470 случаев заболевших и 2 990 умерших [1]. Проведенные ранее исследования китайских и итальянских авторов выявили значимую роль ультразвукового сканирования легких в диагностике пневмонии у пациентов с новой вирусной инфекцией CoV-19 [20–23].

Впервые в России мы предоставили ультразвуковое описание ткани легкого у пациентов с вирусной пневмонией, вызванной CoV-19. Выполнение ультразвукового сканирования легких позволяет выявить признаки, характерные для интерстициально-альвеолярного поражения: билатеральные диффузные изменения плевральной линии, субплевральные консолидации, артефакты в виде множественных рассеянных или сливающихся В-линий (“белое легкое”), наличие или отсутствие А-линий, жидкость в плевральной полости.

Уставлено, что протяженные гетерогенные сегментарные консолидации легкого ассоциируются с прогрессирующим заболеванием, при котором в процесс вовлекаются несколько сегментов или доля легкого. Исследования, посвященные особенностям диагностики вирусных пневмоний, свидетельствуют о том, что патологический процесс формируется за счет интерстициального воспаления и отека тканей, формируя участок безвоздушного легкого [17–19]. Воспалительный процесс в легких – это сложный механизм, который задействует ряд механизмов, направленных на защиту и репарацию ткани. Во время воспаления активируется множество клеток, формируется иммунный ответ на внедрение в организм чужеродного агента. Одним из механизмов, реализующих активность воспалительных элементов – является усиление кровотока в зоне поражения [19].

Установлено, что цветовой доплеровский ультразвук обладает возможностью эффективно выявлять зоны кровоснабжения в участках консолидации легкого. При выполнении КТ грудной клетки эти изменения соответствовали распространенным полисегментарным поражениям легочной ткани. Таким образом, ультразвуковое исследование легких может применяться для прогнозирования исхода заболевания и мониторинга состояния пациента.

Выводы

1. Преимуществами ультразвукового исследования легких являются быстрота, доступность, сравнительно низкая стоимость исследования, возможность выполнения при наличии противопоказаний или технических сложностей к проведению КТ-рентгенографии, отсутствие воздействия ионизирующего излучения, что особенно важно для определенных категорий пациентов, например беременных.

2. Имеющиеся к настоящему времени данные свидетельствуют о том, что ультразвуковое исследование легких является перспективным методом диагностики вирусных пневмоний и может применяться для обследования и динамического контроля за пациентами с новой вирусной инфекцией COVID-19. Однако для уточнения места ультразвукового исследования легких в алгоритме диагностики пневмонии (различных по этиологии, в том числе COVID) необходимы дальнейшие сравнительные клинико-диагностические исследования, включающие пациентов различных групп.

Участие авторов

Петриков С.С. – концепция и дизайн исследования.
Попугаев К.А. – участие в научном дизайне.
Хамидова Л.Т. – подготовка, создание опубликованной работы.
Рыбалко Н.В. – ответственность за целостность всех частей статьи.
Абучина В.М. – подготовка и редактирование текста.
Алексеечкина О.А. – анализ и интерпретация полученных данных.

Authors' participation

Petrikov S.S. – concept and design of the study.
Popugaev K.A. – participation in scientific design.
Khamidova L.T. – preparation and creation of the published work.
Rybalko N.V. – responsibility for the integrity of all parts of the article.
Abuchina V.M. – text preparation and editing.
Alexseechkina O.A. – analysis and interpretation of the obtained data.

Список литературы

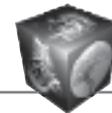
1. Khachfe H.H., Chahrour M., Sammouri J., Salhab H., Makki B.E., Fares M. An Epidemiological Study on COVID-19: A Rapidly Spreading Disease. *Cureus*. 2020; 12 (3): e7313. <https://doi.org/10.7759/cureus.7313>
2. Приказ № 435 Правительства Москвы Департамента здравоохранения города Москвы от 22.04.2020 “О медицинской эвакуации пациентов с новой коронавирусной инфекцией COVID-19”. Москва, 2020.
3. Приказ № 389 Правительства Москвы Департамента здравоохранения города Москвы от 11.04.2020 “О медицинской эвакуации пациентов с новой коронавирусной инфекцией COVID-19”. Москва, 2020.



4. Fang Y., Zhang H., Xie J., Lin M., Ying L., Pang P., Ji W. Sensitivity of chest CT for COVID-19: comparison to RT-PCR. *Radiology*. 2020 Feb 19: 200432. <https://doi.org/10.1148/radiol.2020200432>. [Epub ahead of print]
5. Xiong Y., Sun D., Liu Y., Fan Y., Zhao L., Li X., Zhu W. Clinical and High-Resolution CT Features of the COVID-19 Infection: Comparison of the Initial and Follow-up Changes. *Invest Radiol*. 2020; 55 (6): 332–339. <https://doi.org/10.1097/RLI.0000000000000674>
6. Ye Z., Zhang Y., Wang Y., Huang Z., Song B. Chest CT manifestations of new coronavirus disease 2019 (COVID-19): a pictorial review. *Eur. Radiol*. 2020 Mar 19. <https://doi.org/10.1007/s00330-020-06801-0> [Epub ahead of print]
7. Yi Huang, Sihan Wang, Yue Liu, Yaohui Zhang, Chuyun Zheng, Yu Zheng, Chaoyang Zhang, Weili Min, Ming Yu, Mingjun Hu. A preliminary study on the ultrasonic manifestations of peripulmonary lesions of non-critical novel coronavirus pneumonia (COVID-19). Available at: <https://www.researchsquare.com/article/rs-14928/v1> [Accessed May 7, 2020] <https://doi.org/10.21203/rs.2.24369/v1>
8. Buonsenso D., Piano A., Raffaelli F., Bonadia N., de Gaetano Donati K., Franceschi F. Point-of-Care Lung Ultrasound findings in novel coronavirus disease-19 pneumonia: a case report and potential applications during COVID-19 outbreak. *Eur. Rev. Med. Pharmacol. Sci*. 2020; 24 (5): 2776–2780. https://doi.org/10.26355/eurrev_202003_20549
9. Гельфанд Б.Р. (ред.) Нозокомиальная пневмония у взрослых. Российские национальные рекомендации. 2-е изд., перераб. и доп. М.: МИА, 2016.
10. Touw H.R., Tuinman P.R., Gelissen H.P., Lust E., Elbers P.W. Lung ultrasound: routine practice for the next generation of internists. *Neth. J. Med*. 2015; 73 (3): 100–107.
11. Pierce C.W. Clarifying the role of lung ultrasonography in COVID-19 respiratory disease. *CMAJ*. 2020; 192 (16): E436. <https://doi.org/10.1503/cmaj.75311>
12. Zou T., Yin W., Diddams M., Kang Y. The Global and Regional Lung Ultrasound Score Can Accurately Evaluate the Severity of Lung Disease in Critically Ill Patients. Chinese Critical Ultrasound Study Group. *J. Ultrasound Med*. 2020 Apr 17. <https://doi.org/10.1002/jum.15278> [Epub ahead of print]
13. Петров А.А., Сафарова А.Ф., Рачина С.А., Кобалава Ж.Д., Сафарова Н.Б., Тесаков И.П., Лукина О.И., Зоря О.Т., Ежова Л.Г. Ультразвуковое исследование легких: методика выполнения и перспективы в диагностике нозокомиальной пневмонии. *Практическая пульмонология*. 2018; (3): 38–45.
14. Abramowicz J.S., Basseal J. Заявление о позиции WFUMB: как безопасно проводить ультразвуковое исследование и обеззараживать ультразвуковое оборудование в условиях COVID 19 (перевод на русский язык). *Ультразвуковая и функциональная диагностика*. 2020; 1: 12–23. <https://doi.org/10.24835/1607-0771-2020-1-12-23>
15. National Early Warning Score (NEWS) 2 Available at: <https://www.mdcalc.com/national-early-warning-score-news-2> [Accessed May 7, 2020]
16. Zhu N., Zhang D., Wang W., Li X., Yang B., Song J., Zhao X., Huang B., Shi W., Lu R., Niu P., Zhan F., Ma X., Wang D., Xu W., Wu G., Gao G.F., Tan W. China Novel Coronavirus Investigating and Research Team. A novel coronavirus from patients with pneumonia in China, 2019. *N. Engl. J. Med*. 2020; 382 (8): 727–733. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa2001017>
17. Moldoveanu B., Otmishi P., Jani P., Walker J., Sarmiento X., Guardiola J., Saad M., Yu J. Inflammatory mechanisms in the lung. *J. Inflamm. Res*. 2009; 2: 1–11.
18. Lichtenstein D.A., Mezière G.A. Relevance of lung ultrasound in the diagnosis of acute respiratory failure: the BLUE protocol. *Chest*. 2008; 134 (1): 117–125. <https://doi.org/10.1378/chest.07-2800>
19. Saraogi A. Lung ultrasound: Present and future. *Lung India*. 2015; 32 (3): 250–257. <https://doi.org/10.4103/0970-2113.156245>
20. Guan W.J., Ni Z.Y., Hu Y., Liang W.H., Ou C.Q., He J.X., Liu L., Shan H., Lei C.L., Hui D.S.C., Du B., Li L.J., Zeng G., Yuen K.Y., Chen R.C., Tang C.L., Wang T., Chen P.Y., Xiang J., Li S.Y., Wang J.L., Liang Z.J., Peng Y.X., Wei L., Liu Y., Hu Y.H., Peng P., Wang J.M., Liu J.Y., Chen Z., Li G., Zheng Z.J., Qiu S.Q., Luo J., Ye C.J., Zhu S.Y., Zhong N.S.; China Medical Treatment Expert Group for Covid-19. Clinical characteristics of coronavirus disease 2019 in China. *N. Engl. J. Med*. 2020; 382 (18): 1708–1720. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa2002032>
21. Mojoli F., Bouhemad B., Mongodi S., Lichtenstein D. Lung ultrasound for critically ill patients. *Am. J. Respir. Crit. Care Med*. 2019; 199 (6): 701–714. <https://doi.org/10.1164/rccm.201802-0236CI>
22. Bernheim A., Mei X., Huang M., Yang Y., Fayad Z.A., Zhang N., Diao K., Lin B., Zhu X., Li K., Li S., Shan H., Jacobi A., Chung M. Chest CT findings in coronavirus disease-19 (COVID-19): relationship to duration of infection. *Radiology*. 2020 Feb 20:200463. <https://doi.org/10.1148/radiol.2020200463> [Epub ahead of print].
23. Coronavirus disease (COVID-19) outbreak: rights, roles and responsibilities of health workers, including key considerations for occupational safety and health. Available at: https://www.who.int/docs/default-source/coronaviruse/who-rights-roles-respon-hw-covid-19.pdf?sfvrsn=bcabd401_0 [Accessed May 7, 2020].

References

1. Khachfe H.H., Chahrour M., Sammour J., Salhab H., Makki B.E., Fares M. An Epidemiological Study on COVID-19: A Rapidly Spreading Disease. *Cureus*. 2020; 12 (3): e7313. <https://doi.org/10.7759/cureus.7313>
2. Prikaz № 435 Pravitel'stva Moskvyy Departamenta Zdravoohranenija goroda Moskvyy ot 22.04.2020 "About medical evacuation of patients with a new coronavirus infection COVID-19". Moskva, 2020. (In Russian)
3. Prikaz № 389 Pravitel'stva Moskvyy Departamenta Zdravoohranenija goroda Moskvyy ot 11.04.2020 "About medical evacuation of patients with a new coronavirus infection COVID-19". Moskva, 2020. (In Russian)
4. Fang Y., Zhang H., Xie J., Lin M., Ying L., Pang P., Ji W. Sensitivity of chest CT for COVID-19: comparison to RT-PCR. *Radiology*. 2020 Feb 19: 200432. <https://doi.org/10.1148/radiol.2020200432>. [Epub ahead of print]
5. Xiong Y., Sun D., Liu Y., Fan Y., Zhao L., Li X., Zhu W. Clinical and High-Resolution CT Features of the COVID-19 Infection: Comparison of the Initial and Follow-up Changes. *Invest Radiol*. 2020; 55 (6): 332–339. <https://doi.org/10.1097/RLI.0000000000000674>
6. Ye Z., Zhang Y., Wang Y., Huang Z., Song B. Chest CT manifestations of new coronavirus disease 2019 (COVID-19): a pictorial review. *Eur. Radiol*. 2020 Mar 19. <https://doi.org/10.1007/s00330-020-06801-0> [Epub ahead of print]



7. Yi Huang, Sihan Wang, Yue Liu, Yaohui Zhang, Chuyun Zheng, Yu Zheng, Chaoyang Zhang, Weili Min, Ming Yu, Mingjun Hu. A preliminary study on the ultrasonic manifestations of peripulmonary lesions of non-critical novel coronavirus pneumonia (COVID-19). Available at: <https://www.researchsquare.com/article/rs-14928/v1> [Accessed May 7, 2020] <https://doi.org/10.21203/rs.2.24369/v1>
8. Buonsenso D., Piano A., Raffaelli F., Bonadia N., de Gaetano Donati K., Franceschi F. Point-of-Care Lung Ultrasound findings in novel coronavirus disease-19 pneumoniae: a case report and potential applications during COVID-19 outbreak. *Eur. Rev. Med. Pharmacol. Sci.* 2020; 24 (5): 2776–2780. https://doi.org/10.26355/eurrev_202003_20549
9. Gelfand B.R. (ed.) *Nosocomial pneumonia in adults. Russian national recommendations*. 2nd ed. Moscow: MIA Publ, 2016. (In Russian)
10. Touw H.R., Tuinman P.R., Gelissen H.P., Lust E., Elbers P.W. Lung ultrasound: routine practice for the next generation of internists. *Neth. J. Med.* 2015; 73 (3): 100–107.
11. Pierce C.W. Clarifying the role of lung ultrasonography in COVID-19 respiratory disease. *CMAJ.* 2020; 192 (16): E436. <https://doi.org/10.1503/cmaj.75311>
12. Zou T., Yin W., Diddams M., Kang Y. The Global and Regional Lung Ultrasound Score Can Accurately Evaluate the Severity of Lung Disease in Critically Ill Patients. Chinese Critical Ultrasound Study Group. *J. Ultrasound Med.* 2020 Apr 17. <https://doi.org/10.1002/jum.15278> [Epub ahead of print]
13. Petrov A.A., Safarova A.F., Rachina S.A., Kobalava Zh.D., Safarova N.B., Tesakov I.P., Lukina O.I., Zorja O.T., Ezhova L.G. Ultrasound examination of the lungs: methodology and prospects in the diagnosis of nosocomial pneumonia. *Prakticheskaja pul'monologija.* 2018; (3): 38–45. (In Russian)
14. Abramowicz J.S., Basseal J. WFUMB Position Statement: How to perform a safe ultrasound examination and clean equipment in the context of COVID-19 (translation into Russian) *Ultrasound and Functional Diagnostics.* 2020; 1: 12–23. <https://doi.org/10.24835/1607-0771-2020-1-12-23> (In Russian)
15. National Early Warning Score (NEWS) 2 Available at: <https://www.mdcalc.com/national-early-warning-score-news-2> [Accessed May 7, 2020]
16. Zhu N., Zhang D., Wang W., Li X., Yang B., Song J., Zhao X., Huang B., Shi W., Lu R., Niu P., Zhan F., Ma X., Wang D., Xu W., Wu G., Gao G.F., Tan W. China Novel Coronavirus Investigating and Research Team. A novel coronavirus from patients with pneumonia in China, 2019. *N. Engl. J. Med.* 2020; 382 (8): 727–733. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa2001017>
17. Moldoveanu B., Otmishi P., Jani P., Walker J., Sarmiento X., Guardiola J., Saad M., Yu J. Inflammatory mechanisms in the lung. *J. Inflamm. Res.* 2009; 2: 1–11.
18. Lichtenstein D.A., Mezière G.A. Relevance of lung ultrasound in the diagnosis of acute respiratory failure: the BLUE protocol. *Chest.* 2008; 134 (1): 117–125. <https://doi.org/10.1378/chest.07-2800>
19. Saraogi A. Lung ultrasound: Present and future. *Lung India.* 2015; 32 (3): 250–257. <https://doi.org/10.4103/0970-2113.156245>
20. Guan W.J., Ni Z.Y., Hu Y., Liang W.H., Ou C.Q., He J.X., Liu L., Shan H., Lei C.L., Hui D.S.C., Du B., Li L.J., Zeng G., Yuen K.Y., Chen R.C., Tang C.L., Wang T., Chen P.Y., Xiang J., Li S.Y., Wang J.L., Liang Z.J., Peng Y.X., Wei L., Liu Y., Hu Y.H., Peng P., Wang J.M., Liu J.Y., Chen Z., Li G., Zheng Z.J., Qiu S.Q., Luo J., Ye C.J., Zhu S.Y., Zhong N.S.; China Medical Treatment Expert Group for Covid-19. Clinical characteristics of coronavirus disease 2019 in China. *N. Engl. J. Med.* 2020; 382 (18): 1708–1720. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa2002032>
21. Mojoli F., Bouhemad B., Mongodi S., Lichtenstein D. Lung ultrasound for critically ill patients. *Am. J. Respir. Crit. Care Med.* 2019; 199 (6): 701–714. <https://doi.org/10.1164/rccm.201802-0236CI>
22. Bernheim A., Mei X., Huang M., Yang Y., Fayad Z.A., Zhang N., Diao K., Lin B., Zhu X., Li K., Li S., Shan H., Jacobi A., Chung M. Chest CT findings in coronavirus disease-19 (COVID-19): relationship to duration of infection. *Radiology.* 2020 Feb 20:200463. <https://doi.org/10.1148/radiol.2020200463> [Epub ahead of print].
23. Coronavirus disease (COVID-19) outbreak: rights, roles and responsibilities of health workers, including key considerations for occupational safety and health. Available at: https://www.who.int/docs/default-source/coronaviruse/who-rights-roles-respon-hw-covid-19.pdf?sfvrsn=bcabd401_0 [Accessed May 7, 2020].

Для корреспонденции*: Хамидова Лайла Тимарбековна – 129090 Москва, Большая Сухаревская пл., 3. Тел.: +7-926-019-00-95. E-mail: layla72@mail.ru

Петриков Сергей Сергеевич – член-корр. РАН, доктор мед. наук, профессор, директор ГБУЗ “НИИ скорой помощи имени Н.В. Склифосовского”; заведующий кафедрой анестезиологии, реаниматологии и неотложной медицины МГМСУ имени А.И. Евдокимова, Москва. <https://orcid.org/0000-0003-3292-8789>

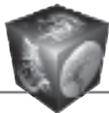
Попугаев Константин Александрович – доктор мед. наук, профессор, заместитель директора, руководитель регионального сосудистого центра ГБУЗ “НИИ скорой помощи имени Н.В. Склифосовского”, Москва. <https://orcid.org/0000-0003-1945-323X>

Хамидова Лайла Тимарбековна – канд. мед. наук, руководитель отделения ультразвуковой и функциональной диагностики ГБУЗ “НИИ скорой помощи имени Н.В. Склифосовского”, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-9669-9164>

Рыбалко Наталья Владимировна – доктор мед. наук, ведущий научный сотрудник отделения ультразвуковой и функциональной диагностики ГБУЗ “НИИ скорой помощи имени Н.В. Склифосовского”, Москва. <https://orcid.org/0000-0001-6973-4430>

Абучина Вера Михайловна – врач отделения ультразвуковой диагностики ГБУЗ “НИИ скорой помощи имени Н.В. Склифосовского”, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-5207-3194>

Алексеечкина Ольга Анатольевна – канд. мед. наук, старший научный сотрудник отделения ультразвуковой и функциональной диагностики ГБУЗ “НИИ скорой помощи имени Н.В. Склифосовского”, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-1265-8032>



Contact*: Laila T. Khamidova – 129090 Moscow, Bolshaya Sukharevskaya Square, 3. Phone: +7-926-019-00-95. E-mail: layla72@mail.ru

Sergey S. Petrikov – Corresponding member of the Russian Academy of Sciences, Doct. of Sci. (Med.), Director of the N.V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine, Department of anesthesiology, intensive care and emergency medicine chair Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “A.I. Evdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry” of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Moscow. <https://orcid.org/0000-0003-3292-8789>

Konstantin A. Popugaev – Doct. of Sci. (Med.), associate Director, head of the regional vascular center of the N.V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine, Moscow. <https://orcid.org/0000-0003-1945-323X>

Layla T. Khamidova – Cand. of Sci. (Med.), Head of the Department of Ultrasound and Functional Diagnostics of N.V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-9669-9164>

Natalia V. Rybalko – Doct. of Sci. (Med.), leading researcher of the Department of Ultrasound and Functional Diagnostics in N.V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine, Moscow. <https://orcid.org/0000-0001-6973-4430>

Vera M. Abuchina – doctor of ultrasonic diagnostics Department of Ultrasound N.V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-5207-3194>

Olga A. Alekseechkina – Cand. of Sci. (Med.), senior researcher Department of Ultrasound and Functional Diagnostics in N.V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-1265-8032>