

УДК 616.24:[616.98:578.834.1-036.21]-022.14-073.432.1
<https://doi.org/10.20538/1682-0363-2022-4-150-159>

Ультразвуковая диагностика COVID-19-ассоциированных пневмоний

Балабанова А.А., Куражов А.П., Завадовская В.Д.

*Сибирский государственный медицинский университет (СибГМУ)
Россия, 634050, г. Томск, Московский тракт, 2*

РЕЗЮМЕ

В течение последних десятилетий ультразвуковая диагностика заболеваний легких получила широкое распространение. Ультразвуковое исследование (УЗИ) имеет ряд преимуществ: отсутствие лучевой нагрузки, получение изображения в режиме реального времени, отчетливая визуализация субплевральных отделов легких и реберно-диафрагмальных синусов, которые дают возможность использовать ультразвук для динамики пневмонии у детей и беременных женщин. В условиях пандемии COVID-19 УЗИ легких получило широкое применение в связи с высокой диагностической эффективностью, сопоставимой по ряду показателей с классической рентгенографией и рентгеновской компьютерной томографией.

Излагается методика УЗИ легких, ультразвуковая картина COVID-19-ассоциированных пневмоний. Предоставлен обзор литературы, согласно которой выявлены степени тяжести пневмонии в зависимости от ультразвуковой картины и необходимость использования УЗИ легких.

Указано, что недостаточно изучены информация об оценке ультразвуковой картины легких в динамике при различных вариантах течения коронавирусной инфекции, а также многие вопросы методического характера, включая периодичность и частоту динамического УЗИ легких.

Ключевые слова: ультразвуковое исследование, пневмония, COVID-19, интерстициальный синдром, белое легкое, консолидация, В-линии, плевральная линия

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии финансирования при проведении исследования.

Для цитирования: Балабанова А.А., Куражов А.П., Завадовская В.Д. Ультразвуковая диагностика COVID-19-ассоциированных пневмоний. *Бюллетень сибирской медицины*. 2022;21(4):150–159. <https://doi.org/10.20538/1682-0363-2022-4-150-159>.

Lung ultrasound in the diagnosis of COVID-19-associated pneumonia

Balabanova A.A., Kurazhov A.P., Zavadovskaya V.D.

*Siberian State Medical University
2, Moscow Trakt, Tomsk, 634050, Russian Federation*

ABSTRACT

Over the past decades, lung ultrasound in the diagnosis of lung diseases has become widespread. Ultrasound examination has a number of advantages (no radiation exposure, real-time imaging, clear visualization of

✉ Куражов Алексей Петрович, kurazhovap@mail.ru

the subpleural lung regions and costophrenic angles), which make it possible to use ultrasound to monitor the dynamics of pneumonia in children and pregnant women. Currently, in the context of the COVID-19 pandemic, lung ultrasound is widely used due to its high diagnostic efficiency, which is comparable with classical radiography and X-ray computed tomography (CT) by a number of parameters.

The article describes the method of lung ultrasound and the radiographic pattern of COVID-19-associated pneumonia. It also provides a review of the literature, according to which the severity of pneumonia was determined, depending on the radiographic pattern, and the need for a lung ultrasound was identified.

The article indicates that information on assessment of the radiographic pattern of the lungs at runtime in different variants of the course of coronavirus infection, as well as many methodological issues, including the frequency of second-look lung ultrasound, has not been sufficiently studied.

Keywords: ultrasound, pneumonia, COVID-19, interstitial syndrome, white lung, consolidation, B-lines, pleural line

Conflict of interest. The authors declare the absence of obvious or potential conflicts of interest related to the publication of this article.

Source of financing. The authors state that they received no funding for the study.

For citation: Balabanova A.A., Kurazhov A.P., Zavadovskaya V.D. Lung ultrasound in the diagnosis of COVID-19-associated pneumonia. *Bulletin of Siberian Medicine*. 2022;21(4):150–159. <https://doi.org/10.20538/1682-0363-2022-4-150-159>.

ВВЕДЕНИЕ

Коронавирусная инфекция (COVID-19) 2019-nCoV [1–3] – потенциально тяжелая острая респираторная инфекция, вызываемая коронавирусом SARS-CoV-2 (2019-nCoV) [4]. Представляет собой опасное заболевание [3], которое может протекать как в форме острой респираторной вирусной инфекции легкого течения [5, 6], так и в тяжелой форме [7]. Наиболее частым осложнением заболевания является вирусная пневмония, способная приводить к острому респираторному дистресс-синдрому и последующей острой дыхательной недостаточности, при которых чаще всего необходимы кислородная терапия и респираторная поддержка [8].

Для выявления COVID-19-ассоциированных пневмоний, их осложнений, дифференциальной диагностики с другими заболеваниями легких, а также для определения степени их выраженности, течения в динамике и оценки эффективности проводимой терапии применяются методы медицинской визуализации [6]. К основным методам лучевой диагностики патологии органов грудной клетки (ОГК) пациентов с предполагаемой или установленной COVID-19-ассоциированной пневмонией относят рентгеновскую компьютерную томографию (КТ) легких, обзорную рентгенографию органов грудной клетки (РОГК), ультразвуковое исследование (УЗИ) легких и плевральных полостей.

Золотым стандартом лучевой диагностики при исследовании пациентов с предполагаемой или

подтвержденной пневмонией при COVID-19 является КТ. Так, установлено, что специфичность КТ в отличие от УЗИ и РОГК в определенных выборках пациентов может достигать 100% [9]. Вместе с тем следует учитывать, что специфичность КТ в диагностике COVID-19-ассоциированных поражений легких могут снижать многие заболевания инфекционной и неинфекционной природы, такие как ВИЧ-ассоциированные поражения легких различной этиологии и интерстициальные болезни легких [10, 11]. Типичными изменениями легких, по данным КТ, при COVID-19-ассоциированных пневмониях являются двусторонние рассеянные участки уплотнения легочной ткани по типу матового стекла, расположенные субплеврально, или участки ее консолидации неправильной, иногда округлой формы с преимущественно периферическим характером их распределения в легких, которые появляются при присоединении бактериальной флоры [12].

В Российской Федерации, согласно Временным методическим рекомендациям Российского общества рентгенологов и радиологов и Российской ассоциации специалистов по ультразвуковой диагностике в медицине, в условиях большого потока пациентов с COVID-19 для быстрой оценки патологических изменений в легких, выявляемых на КТ, рекомендована так называемая эмпирическая визуальная шкала. Она основана на визуальной оценке примерного объема уплотненной легочной ткани и характере ее изменений [13]. Данная шкала имеет пять градаций (табл. 1).

Таблица 1

Визуальная шкала степени поражения легких, выявляемых на КТ	
Степень поражения легких	Характеристика
КТ-0	Норма и отсутствие КТ-признаков вирусной пневмонии на фоне типичной клинической картины и релевантного эпидемиологического анамнеза
КТ-1	Легкая степень – зоны уплотнения по типу матового стекла. Вовлечение паренхимы легкого $\leq 25\%$
КТ-2	Среднетяжелая степень – зоны уплотнения по типу матового стекла. Вовлечение паренхимы легкого 25–50%
КТ-3	Тяжелая степень – зоны уплотнения по типу матового стекла, зоны консолидации. Вовлечение паренхимы легкого 50–75%
КТ-4	Критическая степень – диффузное уплотнение легочной ткани по типу матового стекла и консолидации в сочетании с ретикулярными изменениями. Гидроторакс. Вовлечение паренхимы легкого $\geq 75\%$

На сегодняшний день данная шкала является основой для установления степени выраженности морфологических изменений легких у пациентов с COVID-19-ассоциированными пневмониями, а ее высокая эффективность доказана широким использованием в клинической практике. Единственным ограничивающим фактором проведения КТ является невозможность ее использования у пациентов, находящихся в палатах интенсивной терапии на аппаратах искусственной вентиляции легких (ИВЛ).

Другим часто используемым методом лучевой диагностики в выявлении COVID-19-ассоциированных пневмоний является рутинная РОГК [14]. Данный метод обладает меньшей диагностической эффективностью, но в виду большей доступности и меньшей себестоимости нашел широкое распространение во время пандемии COVID-19 [15]. Типичными изменениями на РОГК при COVID-19 являются множественные сливающиеся друг с другом диффузные периферические бесформенные или округлой формы затемнения, локализованные преимущественно в нижних долях обоих легких [16].

В течение последних десятилетий одним из актуальных вопросов ультразвуковой диагностики является оценка диагностической информативности УЗИ при заболеваниях легких [17–20]. Установлено, что данная модальность может иметь высокую диагностическую ценность в оценке некоторых заболеваний легких и в определенных клинических ситуациях по чувствительности и специфичности превосходить рентгенологическое исследование органов грудной клетки [21]. Например, результаты

работ российских исследователей свидетельствуют о большей точности УЗИ по сравнению с рентгенографией легких в диагностике пневмоний у детей, и эти же авторы приводят данные о том, что в некоторых случаях УЗИ может конкурировать с КТ, например в диагностике абсцесса легкого [22]. Кроме этого, УЗИ легких получило достаточно широкое применение в мониторингировании патологических процессов, связанных с легочной тканью, включая кардиогенный отек, пневмоторакс, плевральный выпот, ателектаз, пневмонии и периферические объемные образования [23–27]. Ряд других публикаций также свидетельствует о том, что в последние десятилетия УЗИ широко востребовано в диагностике различных заболеваний легких, включающих, помимо вышеперечисленных, эмфизему и заболевания плевры [17–19, 28–30].

Считается, что УЗИ легких у пациентов с предполагаемой или известной COVID-19-ассоциированной пневмонией является дополнительным методом визуализации, который не заменяет и не исключает проведение РОГК и КТ как традиционных лучевых модальностей, обладающих высокой информативностью, доказанной многолетней клинической практикой. В связи с этим УЗИ легких не включено в клинические рекомендации и стандарты оказания медицинской помощи по диагностике и лечению внебольничной пневмонии [5, 13]. Отчасти это обусловлено тем, что результативность УЗИ в значительной степени зависит от имеющегося опыта и квалификации врача, проводящего исследование.

Многие исследователи приводят данные о том, что в диагностике COVID-19-ассоциированных пневмоний УЗИ может конкурировать по точности с КТ [31, 32] и в некоторых аспектах превосходить классическую рентгенографию [33]. Так, согласно исследованию R. Gibbons и соавт. [33], чувствительность УЗИ в выявлении внутрилегочных изменений при COVID-19 составила 97,6%, а классической рентгенографии ОГК – только 69,9%. Однако при этом УЗИ легких оказалось менее специфичным, чем РОГК (33,3 и 44,4% соответственно). Данная работа основывалась на результатах исследования 143 пациентов в возрасте от 18 лет и старше с симптомами COVID-19 (все зарегистрированные пациенты имели температуру тела 38 °C или выше, частота сердечных сокращений 100 уд./мин или выше, частота дыхательных движений 16 или больше, SpO₂ менее 94% в сочетании с кашлем, одышкой, миалгией, недомоганием, агевзией и аносмией).

Также ранее установлено, что с помощью УЗИ легких можно контролировать течение пневмонии непосредственно у постели больного, в том числе

находящегося на ИВЛ [34]. Дополнительным преимуществом УЗИ легких в виду отсутствия лучевой нагрузки является возможность его использования при обследовании беременных женщин [35], у которых COVID-19-ассоциированные пневмонии могут протекать более тяжело [28, 36, 37]. При помощи УЗИ можно выявлять начальные признаки поражения легких, вызванного SARS-CoV-2, что особенно актуально при сортировке пациентов в приемных отделениях лечебных учреждений различных профилей. Нарастание интенсивности интерстициальных изменений в легочной ткани вплоть до появления ультразвуковой картины «белого легкого» может быть предиктором необходимости в интубации и переводе пациентов на принудительную ИВЛ [31]. В таких случаях УЗИ легких может активно влиять на лечебную тактику, позволяя сокращать время принятия соответствующих решений, что весьма важно, учитывая возможность стремительного ухудшения состояния пациентов с COVID-19 [34].

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ЛЕГКИХ

Стандартное УЗИ легких выполняется в В-режиме микроконвексным датчиком с частотой 5 МГц. Вместе с тем допустимо использованием линейного или конвексного датчика в частотных диапазонах 5–15 МГц и 3–5 МГц соответственно [17, 38]. Линейный датчик применяется для детализации и лучшей визуализации скопления висцеральной плевры и поиска альвеолярной консолидации [18]. В зависимости от тяжести состояния пациента исследование может быть проведено в вертикальном положении, в положении сидя или лежа. Считается, что если пациент находится на ИВЛ или в положении на животе (в прон-позиции), то необходимо сканировать доступные участки грудной клетки и отметить эту особенность проведения ультразвукового исследования в его протоколе [39].

На сегодняшний день разработана и активно используется стандартная методика УЗИ легких [40]. В 2008 г. D. Lichtenstein разработал так называемый BLUE-протокол, представляющий собой алгоритмический подход к исследованию легких при острой респираторной патологии [18]. Его ценность заключается в том, что он позволяет получить основную диагностическую информацию при максимальной простоте выполнения исследования за короткий промежуток времени. Основным принцип BLUE-протокола – простая сонографическая оценка легких. При подозрении на тромбоэмболию ветвей легочных артерий (ТЭЛА) данный протокол может

быть расширен за счет упрощенного исследования вен нижних конечностей и эхокардиографии, проводимых с целью нахождения тромбов внелегочной локализации как возможных источников ТЭЛА. Исследование только передних зон позволяет в течение нескольких секунд подтвердить или исключить такие состояния, как пневмоторакс и отек легких. При отсутствии ультразвуковых признаков пневмоторакса и отека легких далее, согласно диагностическому алгоритму, исследуются вены нижних конечностей, латеральные и задние зоны легких для диагностики возможной инфаркт-пневмонии и плеврального выпота [18]. Сонографическими признаками ТЭЛА могут являться консолидация легочной ткани, преимущественно клиновидной или округлой формы, наличие жидкости, расположенной непосредственно над субплеврально пораженной легочной тканью, и локальные интерстициальные изменения [41].

Согласно BLUE-протоколу [18], при проведении стандартного УЗИ легких с целью диагностики внутрилегочных поражений грудная клетка условно делится на 12 зон. Справа и слева поверхность грудной клетки разделяется на переднюю, боковую и заднюю, каждая из которых в свою очередь – на верхнюю и нижнюю области (табл. 2). Затем датчик ультразвукового аппарата устанавливается перпендикулярно ребрам или параллельно в межреберные промежутки и сканируются все зоны, доступные для осмотра [18].

Таблица 2

Зоны и анатомические ориентиры при УЗИ легких			
Поверхность	Вертикальные границы	Зона	Горизонтальные границы
Передняя	От парастернальной до передней подмышечной линии	Верхняя	От надключичной области до IV ребра
		Нижняя	От IV ребра до диафрагмального синуса
Боковая	От передней подмышечной до задней подмышечной линии	Верхняя	От подмышечной ямки до IV ребра
		Нижняя	От IV ребра до диафрагмального синуса
Задняя	От задней подмышечной до паравerteбральной линии	Верхняя	От II ребра до нижнего угла лопатки
		Нижняя	От нижнего угла лопатки до диафрагмального синуса

Для минимизации риска заражения коронавирусом COVID-19 медицинского персонала, УЗИ легких предпочтительно выполнять непосредственно в палате больного быстро и по

предварительно выверенному протоколу, используя портативный аппарат. При исследовании пациентов с легкой или средней степенью тяжести заболевания для уменьшения затрат времени УЗИ легких выполняется в вертикальном положении с запрокинутыми за голову руками.

УЛЬТРАЗВУКОВАЯ КАРТИНА ЛЕГКИХ В НОРМЕ

В норме легочная ткань визуализируется в межреберных промежутках и на диагностических изображениях представлена множественными параллельным гиперэхогенными линиями (называемыми А-линиями), ассоциированными со скольжением легкого и обусловленными движениями висцеральной плевры [18]. А-линии располагаются непосредственно под плевральной линией, которая, в свою очередь, в норме имеет вид тонкой гиперэхогенной полоски (рис. 1). Также в норме при ультразвуковом осмотре могут выявляться единичные В-линии (не более трех в одном межреберном промежутке), представляющие собой гиперэхогенные линейные вертикальные артефакты типа «хвоста кометы», идущие от плевральной линии [17, 18] (рис. 2).

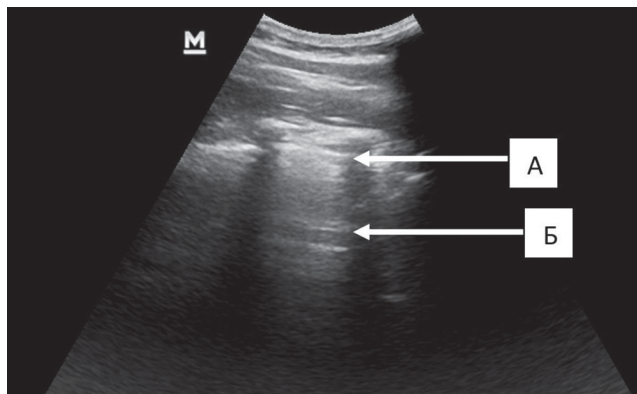


Рис. 1. УЗ-картина неизменной легочной ткани: А – плевральная линия, Б – множественные параллельные белые А-линии

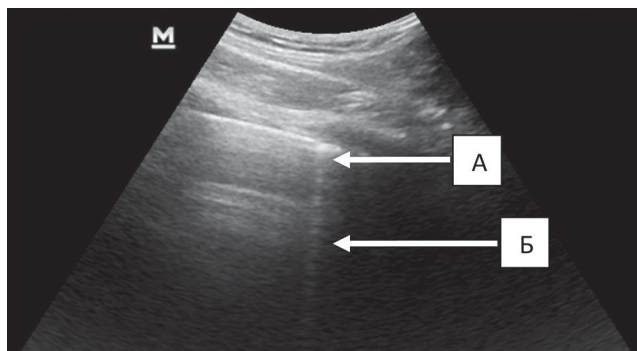


Рис. 2. УЗ-картина неизменной легочной ткани с единичной вертикальной В-линией: А – плевральная линия, Б – единичная В-линия

В-линии возникают вследствие реверберации между висцеральной плеврой и воздухом в поверхностных альвеолах легкого и в результате отека субплевральных междолевых перегородок (*subpleural interlobular septa*) [18].

УЛЬТРАЗВУКОВАЯ СЕМИОТИКА ИЗМЕНЕНИЙ ЛЕГКИХ У ПАЦИЕНТОВ С COVID-19-АССОЦИИРОВАННЫМИ ПНЕВМОНИЯМИ

Впервые ультразвуковая семиотика поражения легких при COVID-19 была описана учеными из Китая [42]. Согласно их результатам, основными ультразвуковыми признаками поражения легких при COVID-19-ассоциированных пневмониях явились: 1) утолщение, неравномерность костальной плевры; 2) различные варианты В-паттернов в виде фокусных, сливных или мультифокальных В-линий; 3) консолидации легочной ткани – субплевральные, лобарные, возможно, с аэробронхограммами (яркими гиперэхогенными элементами, представляющими собой включения воздуха в бронхиолах); 4) небольшой редко встречающийся плевральный выпот [42].

На сегодняшний день считается, что качественными ультразвуковыми признаками поражения легочной ткани при COVID-19-ассоциированных пневмониях являются: 1) интерстициальный синдром; 2) синдром «белого легкого» и 3) консолидация легочной ткани [43, 44] (рис. 3–5).

Ультразвуковая картина интерстициального синдрома включает в себя визуализацию более трех вертикальных В-линий в одном межреберном промежутке. Считается, что интерстициальный синдром является следствием инфекционно-воспалительного процесса, поражающего интерстиций [45]. При этом В-линии обычно более выражены в нижних зонах с одинаковым распределением с обеих сторон, а передние и верхние боковые зоны легких поражаются в меньшей степени. Также в рамках интерстициального синдрома, помимо появления множественных В-линий, при УЗИ легких определяется утолщение плевральной линии (рис. 3) [18]. Этот синдром возникает из-за локальных изменений акустических свойств легкого, вызванных изменениями плотности и появлением отека субплевральной легочной ткани [46–48].

Под ультразвуковой картиной синдрома «белого легкого» принято понимать визуализацию мультифокальных сливных В-линий, поскольку установлено, что увеличение их числа отражает повышение количества внесосудистой жидкости в легких. Это наблюдается при интерстициальном отеке [49, 50].

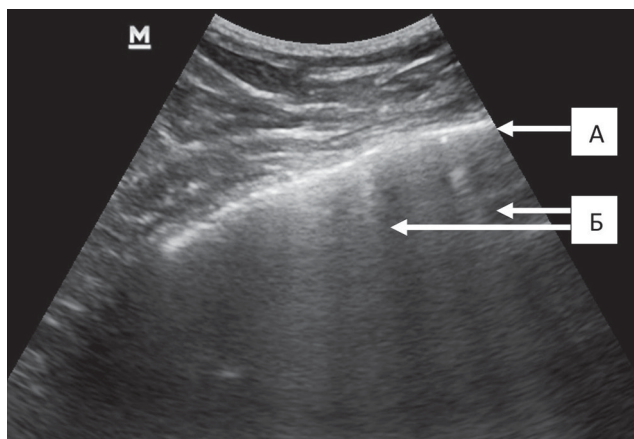


Рис. 3. УЗ-картина интерстициального синдрома у пациента с COVID-19-ассоциированной пневмонией: А – утолщенная плевральная линия с неровными контурами, Б – множественные вертикальные В-линии

Диффузное «белое легкое» характеризуется альвеолярно-интерстициальным синдромом, т.е. наличием как альвеолярного, так и интерстициального отека легких [18] (рис. 4).

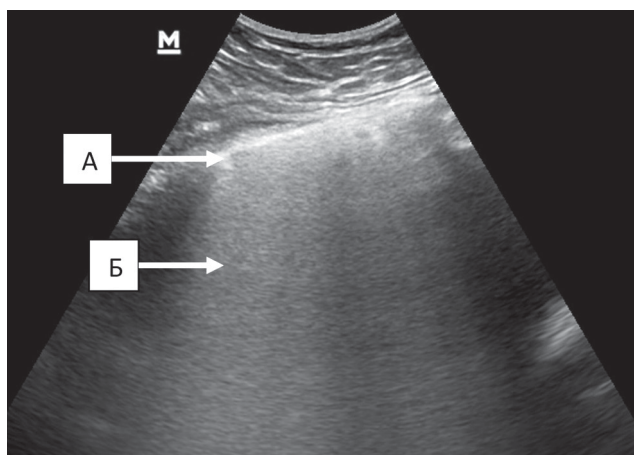


Рис. 4. УЗ-картина синдрома «белого легкого» у пациента с COVID-19-ассоциированной пневмонией: А – утолщенная плевральная линия, Б – множественные сливающиеся вертикальные В-линии

Альвеолярно-интерстициальный синдром не имеет физического эквивалента и хорошо выявляется при КТ, а также при УЗИ легких [51–53]. Альвеолярно-интерстициальный синдром возникает при многих патологических состояниях, включая кардиогенный отек легких, инфекционную, вирусную и грибковую пневмонию, хронические интерстициальные заболевания легких в период обострения [21, 51, 53].

Помимо визуализации мультифокальных сливных В-линий при УЗИ легких может выявляться неровная утолщенная прерывистая плевральная ли-

ния. При этом также не исключается визуализация единичных гипозоногенных участков в субплевральных отделах легких, соответствующих альвеолам, totally заполненным жидкостью [46–48].

Синдром консолидации легочной ткани возникает при распространении воспалительного процесса на субплевральные области легких и сонографически проявляется неравномерным утолщением, прерывистостью костальной плевры. При этом в субплевральных отделах легких появляются гипозоногенные участки, образующиеся вследствие заполнения альвеол жидкостным субстратом (рис. 5). Появление данных гипозоногенных участков свидетельствует о потере воздушности легочной ткани, и их акустические свойства становятся такими же, как у мягких тканей, значительно отличаясь от легких, содержащих воздух [46–48].

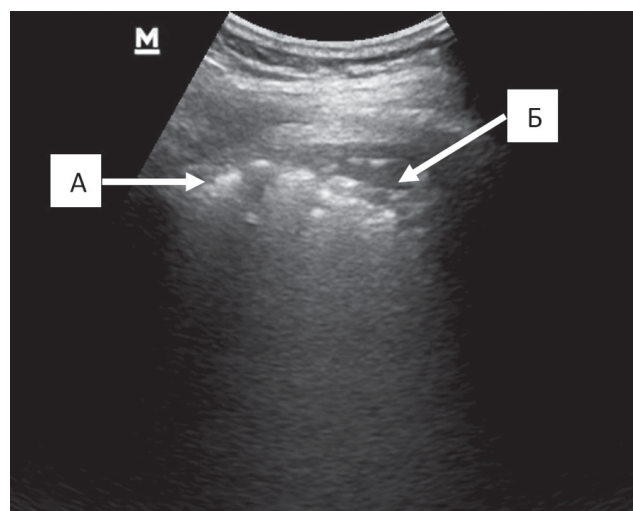


Рис. 5. УЗ-картина синдрома консолидации легочной ткани у пациента с COVID-19-ассоциированной пневмонией: А – утолщенная прерывистая плевральная линия, Б – гипозоногенные участки в субплевральных отделах легких

В исследовании китайских ученых [54] показано, что у пациентов с подтвержденной инфекцией SARS-CoV-2, протекающей в тяжелой форме, в 25,5% случаев присоединяется бактериальная флора, а в 10,9% случаев – грибковая. В исследованиях итальянских ученых [55] обнаружено, что у 16 654 пациентов, умерших от COVID-19, в 11% случаев имела место бактериальная и грибковая коинфекция.

При присоединении бактериальной флоры типичными ультразвуковыми признаками пневмонии являются консолидация легочной ткани, картина «воздушной бронхограммы», плевральный выпот, субплевральные очаги деструкции, компрессионный ателектаз в сочетании с плевральным выпотом [56–58] (рис. 6).

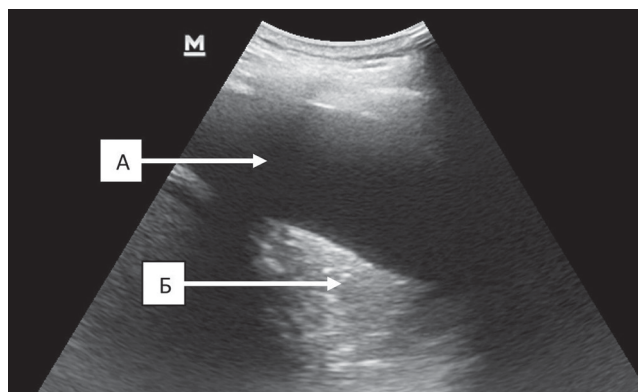


Рис. 6. УЗ-картина компрессионного ателектаза легочной ткани в нижних отделах легкого в сочетании с плевральным выпотом у пациента с COVID-19-ассоциированной пневмонией, осложненной присоединением бактериального поражения легочной ткани: А – плевральный выпот, Б – участок компрессионного ателектаза легочной ткани

Другое направление исследований в области ультразвуковой диагностики COVID-19-ассоциированных пневмоний посвящено разработке ультразвуковой семиотики поражения легочной ткани в зависимости от стадии данного заболевания. Так, Q.Y. Peng и соавт. [42] выявили определенные связи ультразвуковой картины со стадиями пневмоний, вызванных SARS-CoV-2 (табл. 3).

Таблица 3

Ультразвуковая картина поражения легочной ткани при COVID-19-ассоциированных пневмониях в зависимости от их стадии по Q.Y. Peng и соавт. [42]	
Стадия пневмонии	Ультразвуковая картина
Начальная стадия или легкая форма	Визуализируются неравномерно распределенные фокусные В-линии и неравномерно утолщенная плевральная линия
Стадия прогрессирования или средняя степень	Возрастает число В-линий в пораженных участках легких, в первую очередь в базальных, а затем распространяется в другие области легких. Количество В-линий возрастает, что приводит к их сливанию
Тяжелая форма	Визуализируются участки консолидации легочной ткани. Происходит «гепатизация» легочной ткани, в плевральных полостях появляется выпот
Стадия разрешения	Уменьшение количества В-линий, появление А-линий в зоне поражения

Также помимо выделения качественных ультразвуковых признаков поражения легочной ткани при COVID-19 предприняты попытки полуколичественной оценки патологических изменений в легких при данном заболевании. Так, G. Soldati и соавт. предложили балльную шкалу оценки тяжести пневмонии, вызванной SARS-CoV-2, по данным УЗИ легких [58]. В соответствии с данной шкалой степень пора-

жения легких можно оценивать полуколичественно в баллах (от 0 до 3) для каждой из 12 исследованных областей (табл. 4) [58].

Таблица 4

Ультразвуковая картина поражения легочной ткани при COVID-19-ассоциированных пневмониях в зависимости от степени по G. Soldati G. и соавт. [58]	
Степень поражения легких	Ультразвуковая картина
0	Норма, плевральная линия ровная, непрерывная, визуализируются А-линии
1	Плевральная линия «зубчатая», под измененной плевральной линией визуализируются три и более вертикальные В-линии в одной области
2	Плевральная линия прерывистая, под измененной плевральной линией визуализируются консолидированные участки легочной ткани разных размеров, под ними определяются множественные «сливные» В-линии («белое легкое»)
3	В области сканирования определяется усиление УЗ-картины «белого легкого» с более крупными областями консолидации или без них

В данной работе [58] средняя величина баллов, подсчитанных по предложенной авторами методике, составила $20,4 \pm 8,5$ у пациентов без ухудшения клинического состояния и $29,2 \pm 7,3$ с его ухудшением. В итоге при проведении однофакторного и многофакторного анализов установлено, что общий балл, вычисленный по результатам УЗИ, имеет непосредственную связь с вероятным ухудшением состояния пациента. Более того, общий средний балл по УЗИ выше 24 был связан с почти 6-кратным увеличением вероятности ухудшения состояния пациента.

В другом зарубежном исследовании [39] показано, что УЗИ легких у пациентов с COVID-19 может использоваться в качестве предиктора течения и исхода заболевания. В данной работе [39] УЗИ легких проводилось только в шести зонах (передней, переднебоковой и заднебоковой с обеих сторон), так как обследуемые пациенты находились в отделении интенсивной терапии, а для интерпретации результатов ультразвукового исследования также была предложена балльная оценка степени поражения легочной ткани (табл. 5).

В данном исследовании [39] медианы баллов у пациентов с легкой, средней и тяжелой степенью тяжести составили 12, 19 и 23 соответственно. В итоге авторами исследования была получена кривая выживаемости больных COVID-19-ассоциированными пневмониями, на основании которой пациенты с баллом более 18 имели риск смертности в 2,6 раза больший по сравнению со смертностью пациентов с меньшей величиной баллов [39].

Таблица 5

Ультразвуковая картина поражения легочной ткани при COVID-19-ассоциированных пневмониях в зависимости от их степени по Y. Lichter и соавт. [39]	
Степень поражения легких	Ультразвуковая картина
0	Норма, визуализируются А-линии, соответствующие нормальной аэрации легких
1	Визуализируются три и более вертикальные В-линии в одной области, соответствующие умеренной потере аэрации легких; плевральная линия изменена
2	Визуализируются множественные «сливные» В-линии, соответствующие тяжелой потере аэрации легких; плевральная линия изменена
3	Визуализируются участки консолидации легочной ткани; плевральная линия изменена

В свою очередь, в другом исследовании [59] установлено, что УЗИ легких в диагностике COVID-19-ассоциированных пневмоний по чувствительности сравнимо с КТ органов грудной клетки и составляет 93–94%. Однако учитывая, что УЗИ легких способно оценивать только периферические отделы легких [60], этот метод исследования оказался низко специфичен (специфичность менее 50%). Кроме того, УЗИ легких ограничено при использовании у пациентов с ожирением [61] и зависит от опыта и навыков оператора [62].

Вместе с тем плохо изученным полем использования ультразвукового исследования легких при COVID-19-ассоциированных пневмониях является оценка сонографической картины легких в динамике при различных вариантах течения коронавирусной инфекции, а также многие вопросы методического характера, включая частоту контрольного ультразвукового исследования легких и его кратность.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в условиях пандемии COVID-19 УЗИ легких играет одну из важных ролей в диагностике COVID-19-ассоциированных поражений легких, вызванных SARS-CoV-2, в связи с относительно высокой диагностической эффективностью, сопоставимой по ряду показателей с классической рентгенографией и рентгеновской компьютерной томографией, а также возможностью исследования нетранспортабельных и маломобильных пациентов (включая беременных женщин) в условиях их пребывания в специализированных лечебных учреждениях при отсутствии лучевой нагрузки. Ультразвуковое исследование легких также может быть использовано в качестве предиктора течения и исхода COVID-19-ассоциированных пневмоний. Вместе с тем ультразвуковая семиотика поражения легких при данном заболевании, как и прикладные аспекты ульт-

развукового исследования методического характера, требует более углубленного изучения и уточнения.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Khachfe H.H., Chahrour M., Sammour J., Salhab H.A. An epidemiological study on COVID-19: a rapidly spreading disease. *Cureus*. 2020;12(3):e7313. DOI: 10.7759/cureus.7313.
2. Zhu N., Zhang D., Wang W., Li X., Yang B., Song J. et al. *N. Engl. J. Med.* 2020;38(8):727–733. DOI: 10.1056/NEJ-Moa2001017.
3. Coronaviridae Study Group of the International Committee on Taxonomy of Viruses. The species Severe acute respiratory syndrome-related coronavirus: classifying 2019-nCoV and naming it SARS-CoV-2. *Nat. Microbiol.* 2020;5(4):536–544. DOI: 10.1038/s41564-020-0695-z.
4. Heymann D.L., Shindo N. COVID-19: what is next for public health? *The Lancet*. 2020;395(10224):542–545. DOI: 10.1016/S0140-6736(20)30374-3.
5. Профилактика, диагностика и лечение новой коронавирусной инфекции (COVID-19). Временные методические рекомендации. Министерство здравоохранения Российской Федерации (3 сентября 2020). 2020:227.
6. Li K., Fang Y., Li W., Pan C., Qin P., Zhong Y. et al. CT image visual quantitative evaluation and clinical classification of coronavirus disease (COVID-19). *Eur. Radiol.* 2020;30(8):4407–4416. DOI: 10.1007/s00330-020-06817-6.
7. Авдеев С.Н., Царева Н.А., Мерзоева С.Н., Трушенко Н.В., Ярошецкий А.И. Практические рекомендации по кислородотерапии и респираторной поддержке пациентов с COVID-19 на доресанимационном этапе. *Пульмонология*. 2020;30(2):151–163. DOI: 10.18093/0869-0189-2020-30-2-151-163.
8. Salehi S., Abedi A., Balakrishnan S., Gholamrezanezhad A. Coronavirus Disease 2019 (COVID-19): A systematic review of imaging findings in 919 patients. *AJR Am. J. Roentgenol.* 2020;215(1):87–93. DOI: 10.2214/AJR.20.23034.
9. Rongrong Y., Xien G., Yongxi Z., Yong X., Shicheng G., Hengning K. Clinical characteristics of COVID-19 patients with HIV coinfection in Wuhan, China. *Expert Review of Respiratory Medicine*. 2021;15(3):403–409. DOI: 10.1080/17476348.2021.1836965.
10. Chen J., Cheng X., Wang R., Zeng X. Computed tomography imaging of an HIV-infected patient with coronavirus disease 2019. *J. Med. Virol.* 2020;92(10):1774–1776. DOI: 10.1002/JMV.25879.
11. Chung M., Bernheim A., Mei X., Zhang N., Huang M., Zeng X. et al. CT Imaging Features of 2019 Novel Coronavirus (2019-nCoV). *Radiology*. 2020;295(1):202–207. DOI: 10.1148/radiol.2020200230.
12. Torres P., Irion K., Marchiori E. COVID-19: chest X-rays to predict clinical outcomes. *J. Bras. Pneumol.* 2020;46(5):e20200464. DOI: 10.36416/1806-3756/E20200464.
13. Синицын В.Е., Тюрин И.Е., Митьков В.В. Временные согласительные методические рекомендации Российского общества рентгенологов и радиологов (РОПР) и Российской ассоциации специалистов ультразвуковой диагностики в медицине (РАСУДМ) «Методы лучевой диагностики пневмонии при новой коронавирусной инфекции COVID-19» (версия 2). *Вестник рентгенологии и ради-*

- логии. 2020;101(2):72–89. DOI: 10.20862/0042-4676-2020-101-2-72-89.
14. Osterwalder J. COVID-19 – more lung pocus and sparing use of stethoscope, chest X-ray and lung CT. *Praxis (Bern 1994)*. 2020;109(8):583–591. DOI: 10.1024/1661-8157/a003512.
15. Jacobi A., Chung M., Bernheim A., Eber C. Portable chest X-ray in coronavirus disease-19 (COVID-19): A pictorial review. *Clin. Imaging*. 2020;64:35–42. DOI: 10.1016/j.clinimag.2020.04.001.
16. Kunze G., Kovacicova E., Haller H., Kumle B. Lungenultraschall bei Patienten mit SARS-CoV-2-Infektion. *Notf. Rett. Med.* 2020;7:1–9. DOI: 10.1007/S10049-020-00767-8.
17. Reissig A., Copetti R., Kroegel C. Current role of emergency ultrasound of the chest. *Critical Care Medicine*. 2011;39(4):839–845. DOI: 10.1097/CCM.0b013e318206d6b8.
18. Lichtenstein D.A. BLUE-protocol and FALLS-protocol: two applications of lung ultrasound in the critically ill. *Chest*. 2015;147(6):1659–1670. DOI: 10.1378/chest.14-1313.
19. Шахов Б.Е., Сафонов Д.В. Диагностические возможности трансторакального ультразвукового исследования легких. *Международный журнал экспериментального образования*. 2008;3–8.
20. Харнас С.С. Новые технологии в диагностике и лечении больных хирургическими заболеваниями легких и плевры. М.: Медицина, 2005:96.
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. DOI: 10.1164/rccm.201802-0236CI.
22. Сафонов Д.В., Дианова Т.И., Родионов В.А., Герасимова Л.А. Рентген-ультразвуковые сопоставления и динамический эхографический контроль при пневмониях у детей. *Научный журнал КубГАУ*. 2014;104(10):1591–1605.
23. Husain L.F., Hagopian L., Wayman D., Baker W.E., Carmody K.A. Sonographic diagnosis of pneumothorax. *J. Emerg. Trauma Shock*. 2012;5(1):76–81. DOI: 10.4103/0974-2700.93116.
24. Wang G., Ji X., Xu Y., Xiang X. Lung ultrasound: a promising tool to monitor ventilator-associated pneumonia in critically ill patients. *Crit. Care*. 2016;20(1):320. DOI: 10.1186/s13054-016-1487-y.
25. Cortellaro F., Colombo S., Coen D., Duca P.G. Lung ultrasound is an accurate diagnostic tool for the diagnosis of pneumonia in the emergency department. *Emerg. Med. J.* 2012;29(1):19–23. DOI: 10.1136/emj.2010.101584.
26. Cardinale L., Ardisson F., Garetto L., Marci V., Volpicelli G., Solitro F. et al. Imaging of benign solitary fibrous tumor of the pleura: a pictorial essay. *Rare Tumors*. 2010;2(1): e1. DOI: 10.4081/rt.2010.e1.
27. Gargani L., Frassi F., Soldati G., Tesorio P., Gheorghiade M., Picano E. Ultrasound lung comets for the differential diagnosis of acute cardiogenic dyspnoea: a comparison with natriuretic peptides. *Eur. J. Heart Fail.* 2008;10(1):70–77. DOI: 10.1016/j.ejheart.2007.10.009.
28. 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. DOI: 10.1378/chest.07-2800.
29. Репик В.И. Ультразвуковое исследование в диагностике плеврального выпота. *Ультразвуковая диагностика*. 1996;3:62.
30. Trezzi M., Torzillo D., Ceriani E., Costantino G., Caruso S., Damavandi P.T. et al. Lung ultrasonography for the assessment of rapid extravascular water variation: evidence from hemodialysis patients. *Intensive Care Med.* 2013;8(5):409–415. DOI: 10.1007/s11739-011-0625-4.
31. Perrone T., Soldati G., Padovini L., Fiengo A., Lettieri G., Sabatini U. et al. A new lung ultrasound protocol able to predict worsening in patients affected by severe acute respiratory syndrome Coronavirus 2 pneumonia. *J. Ultrasound Med.* 2021;40(8):1627–1635. DOI: 10.1002/jum.15548.
32. Wang M., Luo X., Wang L., Estill J., Lv M., Zhu Y. et al. A Comparison of Lung Ultrasound and Computed Tomography in the Diagnosis of Patients with COVID-19: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Diagnostics (Basel)*. 2021;11(8):1351. DOI: 10.3390/diagnostics11081351.
33. Gibbons R.C., Magee M., Goett H., Murrett J., Genninger J., Mendez K. et al. Lung Ultrasound vs. Chest X-Ray Study for the Radiographic Diagnosis of COVID-19 Pneumonia in a High-Prevalence Population. *J. Emerg. Med.* 2021;60(5):615–625. DOI: 10.1016/j.jemermed.2021.01.041.
34. Moro F., Buonsenso D., Moruzzi M.C., Inchigolo R., Smargiasi A., Demi L. et al. How to perform lung ultrasound in pregnant women with suspected COVID-19infection. *Ultrasound Obstet. Gynecol.* 2020;55(5):593–598. DOI: 10.1002/uog.22028.
35. Yee J., Kim W., Han J.M., Lee N., Lee K.E., Gwak H.S. Clinical manifestations and perinatal outcomes of pregnant women with COVID-19: a systematic review and meta-analysis. *Sci. Rep.* 2020;10(1):18126. DOI: 10.1038/s41598-020-75096-4.
36. Zaigham M., Andersson O. Maternal and perinatal outcomes with COVID-19: A systematic review of 108 pregnancies. *Acta Obstet. Gynecol. Scand.* 2020;99(7):823–829. DOI: 10.1111/aogs.13867.
37. Moghadam S.A., Dini P., Nassiri S., Motavaselian M., Hajibaba M., Sohrabi M. Clinical features of pregnant women in Iran who died due to COVID-19. *Int. J. Gynaecol. Obstet.* 2021;152(2):215–219. DOI: 10.1002/ijgo.13461.
38. Lichtenstein D., Mézière G., Biderman P., Gepner A., Barré O. The comet-tail artifact an ultrasound sign of alveolar-interstitial syndrome. *Am. J. Respir. Crit. Care Med.* 1997;156(5):1640–1646. DOI: 10.1164/AJRCCM.156.5.96-07096.
39. Lichter Y., Topilsky Y., Taieb P., Banai A., Hochstadt A., Merdler I. et al. Lung ultrasound predicts clinical course and outcomes in COVID-19 patients. *Intensive Care Med.* 2020;46(10):1873–1883. DOI: 10.1007/s00134-020-06212-1.
40. Gargani L., Volpicelli G. How I do it: Lung ultrasound. *Cardiovasc. Ultrasound*. 2014;12:25. DOI: 10.1186/1476-7120-12-25.
41. Buda N., Kosiak W., Welnicki M., Skoczylas A., Olszewski R., Piotrkowski J. et al. Recommendations for lung ultrasound in internal medicine. *Diagnostics (Basel)*. 2020;10(8):597. DOI: 10.3390/diagnostics10080597.
42. Peng Q.Y., Wang X.T., Zhang L.N., Chinese Critical Care Ultrasound Study Group (CCUSG). Findings of lung ultrasonography of novel corona virus pneumonia during the 2019–2020 epidemic. *Intensive Care Med.* 2020;46(5):849–850. DOI: 10.1007/s00134-020-05996-6.
43. Volpicelli G., Elbarbary M., Blaivas M., Lichtenstein D.A., Mathis G., Kirkpatrick A.W. et al. International evidence-based recommendations for point-of-care lung ultra-

- sound. *Intensive Care Medicine*. 2012;38(4):577–591. DOI: 10.1007/s00134-012-2513-4.
44. Poggiali E., Dacrema A., Bastoni D., Tinelli V., Demichele E., Ramos P.M. et al. Can lung US help critical care clinicians in the early diagnosis of novel Coronavirus (COVID-19) pneumonia? *Radiology*. 2020;295(3):e6. DOI: 10.1148/radiol.2020200847.
 45. Soldati G., Demi M., Smargiassi A., Inchingolo R., Demi L. The role of ultrasound lung artifacts in the diagnosis of respiratory diseases. *Expert Rev. Respir. Med.* 2019;13(2):163–172. DOI: 10.1080/17476348.2019.1565997.
 46. Demi M., Prediletto R., Soldati G., Demi L. Physical mechanisms providing clinical information from ultrasound lung images: hypotheses and early confirmations. *IEEE Trans. Ultrason. Ferroelectr. Freq. Control*. 2020;67(3):612–623. DOI: 10.1109/TUFFC.2019.2949597.
 47. Soldati G., Demi M., Inchingolo R., Smargiassi A., Demi L. On the physical basis of pulmonary sonographic interstitial syndrome. *J. Ultrasound Med.* 2016;35(10):2075–2086. DOI: 10.7863/ultra.15.08023.
 48. Bradley B., Branley H.M., Egan J.J., Greaves M.S., Hansell D.M., Harrison N.K. et al. British Thoracic Society Interstitial Lung Disease Guideline Group, British Thoracic Society Standards of Care Committee, Thoracic Society of Australia, New Zealand Thoracic Society, Irish Thoracic Society. Interstitial lung disease guideline: the British Thoracic Society in collaboration with the Thoracic Society of Australia and New Zealand and the Irish Thoracic Society. *Thorax*. 2008;63. Suppl.5:v1–58. DOI: 10.1136/thx.2008.101691.
 49. Tsung J.W., Kessler D.O., Shah V.P. Prospective application of clinician-performed lung ultrasonography during the 2009 H1N1 influenza A pandemic: distinguishing viral from bacterial pneumonia. *Crit. Ultrasound J.* 2012;4(1):16. DOI: 10.1186/2036-7902-4-16.
 50. Zhao Z., Jiang L., Xi X., Jiang Q., Zhu B., Wang M. et al. Prognostic value of extravascular lung water assessed with lung ultrasound score by chest sonography in patients with acute respiratory distress syndrome. *BMC Pulm. Med.* 2015;15:98. DOI: 10.1186/s12890-015-0091-2.
 51. Khosla R. Lung Sonography. Sonography. K. Thoirs (ed.). University Campus STeP Ri Slavka Krautzeka, 2012:111–130. DOI: 10.5772/27400.
 52. Lichtenstein D., Mezière G. A lung ultrasound sign allowing bedside distinction between pulmonary edema and COPD: the comet-tail artifact. *Intensive Care Med.* 1998;24(12):1331–1334. DOI: 10.1007/s001340050771.
 53. Акилов Х.А., Аминов У.С., Амирова З.Ф. Ультразвуковая семиотика бактериальной деструкции легких у детей. *Вестник экстренной медицины*. 2017;10(2):55–60.
 54. Zhang G., Hu C., Luo L., Fang F., Chen Y., Li J. et al. Clinical features and short-term outcomes of 221 patients with COVID-19 in Wuhan, China. *J. Clin. Virol.* 2020;127:104364. DOI: 10.1016/j.jcv.2020.104364.
 55. Huttner B., Catho G., Pano-Pardo J.R., Pulcini C., Schouten J. COVID-19: don't neglect antimicrobial stewardship principles! *Clin. Microbiol. Infect.* 2020;26(7):808–810. DOI: 10.1016/j.cmi.2020.04.024.
 56. Чуяшенко Е.В., Завадовская В.Д., Агеева Т.С., Просекина Н.М., Перова Т.Б. Ультразвуковое исследование легких при пневмонии. *Бюллетень сибирской медицины*. 2017;16(2):47–59. DOI: 10.20538/1682-0363-2017-2-47-59.
 57. Чуяшенко Е.В., Завадовская В.Д., Агеева Т.С., Зоркальцев М.А., Федорова Е.И., Букреева Е.Б. и др. Возможности ультразвукового исследования в диагностике воспалительной инфильтрации легких. *Лучевая диагностика и терапия*. 2020;11(2):107–115. DOI: 10.22328/2079-5343-2020-11-2-107-115.
 58. Soldati G., Smargiassi A., Inchingolo R., Buonsenso D., Perrone T., Briganti D.F. et al. Proposal for international standardization of the use of lung ultrasound for COVID-19 patients; a simple, quantitative, reproducible method. *J. Ultrasound Med.* 2020;39(7):1413–1419. DOI: 10.1002/jum.15285.
 59. Colombi D., Petrini M., Maffi G., Villani G.D., Bodini F.C., Morelli N. et al. Comparison of admission chest computed tomography and lung ultrasound performance for diagnosis of COVID-19 pneumonia in populations with different disease prevalence. *Eur. J. Radiol.* 2020;133:109344. DOI: 10.1016/j.ejrad.2020.109344.
 60. Sperandio M., Tinti M.G., Rea G. Chest ultrasound versus chest X-rays for detecting pneumonia in children: Why compare them each other if together can improve the diagnosis? *Eur. J. Radiol.* 2017;93:291–292. DOI: 10.1016/j.ejrad.2017.05.038.
 61. Serafino M.D., Notaro M., Rea G., Iacobellis F., Paoli V.D., Acampora C. et al. The lung ultrasound: facts or artifacts? In the era of COVID-19 outbreak. *Radiol. Med.* 2020;125(8):738–753. DOI: 10.1007/s11547-020-01236-5.
 62. Mozzini C., Pasini A.M.F., Garbin U., Cominacini L. Lung ultrasound in internal medicine: training and clinical practice. *Crit. Ultrasound J.* 2016;8(1):10. DOI: 10.1186/s13089-016-0048-6.

Информация об авторах

Балабанова Александра Анатольевна – врач ультразвуковой диагностики, клиники СибГМУ, г. Томск, balasasha@icloud.com, <http://orcid.org/0000-0003-0974-9213>

Куражов Алексей Петрович – д-р мед. наук, профессор, зав. отделением лучевой диагностики, клиники СибГМУ, г. Томск, kurazhovap@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0003-1316-5421>

Завадовская Вера Дмитриевна – д-р мед. наук, профессор, и. о. зав. кафедрой лучевой диагностики и лучевой терапии, СибГМУ, г. Томск, WDZav@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0001-6231-7650>

✉ **Куражов Алексей Петрович**, kurazhovap@mail.ru

Поступила в редакцию 20.10.2020;
одобрена после рецензирования 22.09.2021;
принята к публикации 05.10.2021