



<https://doi.org/10.34883/PI.2022.11.2.008>
УДК 616.24-002-07



Марцинкевич Д.Н.✉, Прилуцкий П.С., Дзядзько А.М.

Минский научно-практический центр хирургии, трансплантологии и гематологии,
Минск, Беларусь

Ультразвуковое исследование легких в отделении интенсивной терапии у пациентов с пневмонией COVID-19

Конфликт интересов: не заявлен.

Вклад авторов: Дзядзько А.М. – планирование исследования, концепция и дизайн исследования, редактирование; Марцинкевич Д.Н. – выполнение диагностических манипуляций, сбор материалов и анализ, статистическая обработка, написание статьи; Прилуцкий П.С. – концепция и дизайн исследования, редактирование.

Подана: 25.03.2022

Принята: 23.05.2022

Контакты: marcinch-denis@mail.ru

Резюме

Цель. Оценить возможность диагностики изменений легких у пациентов с пневмонией COVID-19 при помощи ультразвука в условиях отделения интенсивной терапии, а также определить диагностическую значимость метода УЗИ легких.

Материалы и методы. Проведено ретроспективное исследование 40 пациентов. Все пациенты имели пневмонию, ассоциированную с COVID-19, различной степени тяжести по данным компьютерной томографии. Из них 27 имели выраженную дыхательную недостаточность, что требовало применения искусственной вентиляции легких (ИВЛ), 2 пациентам оксигенация обеспечивалась работой аппарата экстракорпоральной мембранной оксигенации (ЭКМО), 9 человек находились на респираторной поддержке при помощи высокопоточных назальных канюль Hi Flow (HFNC), 2 пациента получали инсuffляцию увлажненного кислорода при помощи носовых канюль.

Результаты. Нами было установлено, что у 24 пациентов (60%) по данным КТ патологические изменения определялись в обоих легких и имели преимущественно субплевральную локализацию. У двух пациентов (5%) наблюдалось тотальное 100%-ное поражение легких по результатам КТ с синдромом опеченения легочной ткани по УЗИ. Выявленные при КТ изменения легкого по типу субплеврального «матового стекла» в 38 (97,5%) случаях при УЗИ определялись в виде субплевральных консолидаций. У одного и того же пациента в разных областях легких возможно одновременное определение различных УЗ-признаков в зависимости от степени вовлечения ткани легкого в патологический процесс. У 12 пациентов при УЗИ достоверно точно определялся пневмоторакс, у 28 – гидроторакс. Чувствительность метода составила 89–94%. Специфичность УЗИ варьировала от 58,3% до 91,3%.

Выводы. Полученные нами данные позволяют отнести УЗИ к альтернативному скрининговому методу диагностики пневмонии при невозможности выполнить КТ. Сонография легких может использоваться для диагностики ряда неотложных состояний у пациентов с тяжелой патологией легких, а также для динамической оценки

состояния легких у пациентов реанимационного профиля. Необходимо внедрение метода в широкую клиническую практику.

Ключевые слова: ультразвуковое исследование легких, пневмония COVID-19, дыхательная недостаточность, консолидация, пневмоторакс, отек легких, интенсивная терапия, urgentные состояния

Martcinkevich D.✉, Prylutsky P., Dzyadsko A.

Minsk Scientific and Practical Center for Surgery, Transplantology and Hematology,
Minsk, Belarus

Lung Ultrasound for Patients with COVID-19 Pneumonia in the Intensive Care Unit

Conflict of interest: nothing to declare.

Authors' contribution: Dzyadsko A. – study planning, study concept and design, editing; Martcinkevich D. – performance of diagnostic procedures, collection of samples, statistical processing, writing an article; Prylutsky P. – research concept and design, editing.

Submitted: 25.03.2022

Accepted: 23.05.2022

Contacts: marcinch-denis@mail.ru

Abstract

Purpose. To assess the possibility of diagnosing lung changes in patients with Covid-19 pneumonia using ultrasound in the intensive care unit, as well as to determine the diagnostic significance of lung ultrasound.

Materials and methods. A retrospective study of 40 patients was carried out. All patients had pneumonia associated with Covid-19, of varying severity according to computed tomography. Of these, 27 had severe respiratory failure, which required the use of mechanical ventilation (lung ventilation), 2 patients were oxygenated by the operation of the ECMO (extracorporeal membrane oxygenation) machine, 9 people were on respiratory support using high-flow nasal cannulas Hi Flow (HFNC), 2 patients received humidified oxygen insufflation with nasal cannulas.

Results. We found that in 24 patients (60%), according to CT data, pathological changes were determined in both lungs and had predominantly subpleural localization. Two patients (5%) had a total 100% lesion of the lungs according to the results of CT, with a syndrome of hepatization of the lung tissue according to ultrasound. Changes in the lung as subpleural "frosted glass" detected by CT, in 38 (97.5%) cases, were determined by ultrasound as subpleural consolidations. In the same patient in different areas of the lungs, it is possible to simultaneously determine various ultrasound signs, depending on the degree of involvement of the lung tissue in the pathological process. In 12 patients with ultrasound diagnostics, pneumothorax was reliably and accurately determined, in 28 – hydrothorax. The sensitivity of the method was 89–94%. The specificity of ultrasound varied from 58.3% to 91.3%.

Conclusions. Our sensitivity and specificity results of LUS show the high possibilities of ultrasound diagnostics of inflammatory respiratory diseases caused by the SARS-CoV-2



virus. This allows us to attribute ultrasound to an alternative screening procedure for evaluating pneumonia. Lung sonography can be used to diagnose a number of emergency conditions in patients with severe lung pathology, as well as to dynamically assess the state of the lungs in intensive care patients. It is necessary to introduce the method into wide clinical practice.

Keywords: pulmonary ultrasound, COVID-19 pneumonia, respiratory failure, consolidation, pneumothorax, pulmonary edema, intensive care, urgent conditions

■ ВВЕДЕНИЕ

Во время пандемии COVID-19 (англ. coronavirus disease 2019, коронавирусная инфекция 2019) повышенное внимание привлекло ультразвуковое исследование (УЗИ) легких. Ультразвуковой метод исследования в полной мере отвечает всем современным требованиям диагностических процедур, поскольку является информативным, безопасным, его применение практически не зависит от состояния пациента [1, 3, 9, 14, 25, 31]. С каждым годом возможность применения данного метода в клинической практике растет. На сегодняшний день ультразвук начали применять и для оценки заболеваний легких. Однако применение этого метода, с одной стороны, полностью ограничено наличием воздуха в паренхиме легкого и полным его отражением от поверхности плевры. С другой стороны, при заболеваниях легких происходит потеря воздушности легочной паренхимы, что дает возможность проникновения ультразвуковых волн в поврежденные участки легких с регистрацией тех или иных ультразвуковых артефактов, при анализе которых мы и можем диагностировать различные заболевания легочной ткани [5, 8, 12, 18, 23, 39]. Отсутствие лучевой нагрузки, отсутствие противопоказаний, простота в использовании являются неоспоримыми преимуществами ультразвукового исследования, которые обеспечивают возможность быстрой, прикроватной диагностики urgentной патологии легких. Однако использование данного метода в практике интенсивной терапии в нашей стране не распространено. В условиях пандемии коронавирусной инфекции с высокой долей тяжелых форм заболевания возрос интерес к изучению возможностей использования ультразвуковой диагностики патологии легких у пациентов отделений реанимации и интенсивной терапии (ОАР).

■ ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Оценить возможность диагностики изменений легких у пациентов с пневмонией COVID-19 при помощи ультразвука в условиях отделения интенсивной терапии, а также определить диагностическую значимость метода УЗИ легких.

■ МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Проведено ретроспективное исследование 40 пациентов, среди которых было 16 мужчин и 24 женщины в возрасте от 19 до 90 лет, средний возраст $70,05 \pm 10,2$ года. Все пациенты имели пневмонию, ассоциированную с COVID-19, различной степени тяжести по данным компьютерной томографии. Из них 27 имели выраженную дыхательную недостаточность, что требовало применения искусственной вентиляции

легких (ИВЛ), 2 пациентам оксигенация обеспечивалась работой аппарата экстракорпоральной мембранной оксигенации (ЭКМО), 9 человек находились на респираторной поддержке при помощи высокопоточных назальных канюль Hi Flow (HFNC), 2 пациента получали инсуффляцию увлажненного кислорода при помощи носовых канюль.

Исследование выполнено на базе отделения анестезиологии и реанимации № 2 (перепрофилированного для оказания помощи пациентам с инфекцией COVID-19) ГУ «Минский научно-практический центр хирургии, трансплантологии и гематологии» за период с 02.11.20 по 16.01.22.

Всем пациентам, соответствующим критериям отбора, выполнялись компьютерная томография органов грудной клетки (КТ ОГК) как основной метод, а также УЗИ легких и плевральных полостей как дополнительный метод диагностики.

КТ грудной клетки проводилась на томографах экспертного класса Canon (Toshiba) Aquillon ONE 640 и Siemens Emotion 6. УЗИ выполняли на приборах высокого класса BK Medical (Дания) и GE Logiq (General Electric, США).

Для оценки глуболежащих отделов легкого использовали конвексный датчик с частотой ультразвука 2,5–5,0 МГц, для более детального исследования субплевральных изменений легкого использовали линейный датчик с частотой 7–10 МГц. Исследование проводили в положении пациентов лежа на спине, сидя и лежа на животе (прон-позиция). УЗИ легких выполнялось согласно методике Bedside Lung Ultrasound in Emergency, COVID-19 Lung Ultrasound in Emergency Department, с регистрацией результатов в протокол исследования [2].

Данные, полученные двумя методами (КТ и УЗИ), сравнивались между собой по распространенности процесса и характеру структурных изменений легочной ткани. Также всем пациентам для возможности оценки динамики течения процесса по УЗИ сонография легких проводилась повторно через трое суток от первого исследования.

В результате определена диагностическая точность, чувствительность и специфичность УЗИ по сравнению с результатами КТ, а также показана возможность оценки изменений в легких при помощи ультразвука у пациентов с тяжелыми формами коронавирусной инфекции.

Статистический анализ данных проводился при помощи программы Statistica 11.0. Критериями включения пациентов в исследование являлись:

1. Наличие у пациента положительного результата теста на SARS-CoV-2 (англ. severe acute respiratory syndrome coronavirus 2, коронавирус второго типа, вызывающий тяжелый острый респираторный синдром), определенное путем диагностики методом полимеразной цепной реакции (ПЦР), или наличие положительного результата теста на определение назофарингеального антигена SARS-CoV-2.
2. Выполненная КТ органов грудной клетки при поступлении в отделение реанимации.
3. Наличие данных УЗИ легких и плевральных полостей, выполненного не позднее 24 часов от КТ, а также наличие исследования через трое суток от первичного УЗИ легких.

Критериями исключения из исследования были следующие:

1. Наличие у пациентов подкожной эмфиземы в проекции очага поражения легочной ткани, поскольку наличие данного состояния затрудняет визуализацию нижележащих структур при помощи УЗИ ввиду рассеивания ультразвуковых волн от пузырьков воздуха.



2. Конституциональные особенности пациентов, затрудняющие визуализацию, такие как индекс массы тела (ИМТ) более 30, с толщиной подкожно-жировой клетчатки более 10 см, ввиду поглощения и затухания УЗ-волн, что ведет к снижению возможности достоверно оценить пораженные участки легких.
3. Наличие нарушения целостности кожного покрова в областях исследования, что препятствовало визуализации всех областей легких, а также представляло угрозу распространения микробной флоры в пораженные участки кожи с высоким риском появления инфекционных осложнений.

■ РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

По результатам обработки полученных данных нами было установлено, что у 24 пациентов (60%) по данным КТ патологические изменения определялись в обоих легких и имели преимущественно субплевральную локализацию (рис. 1).

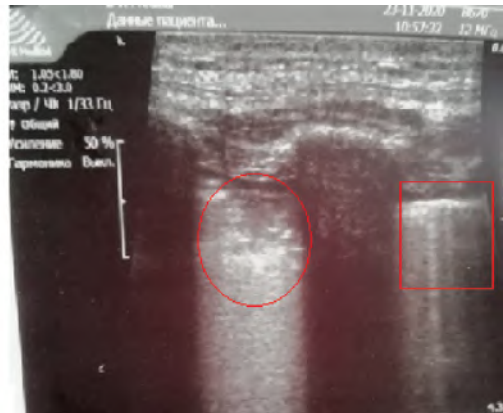
Поражение глуболежащих участков и базальных отделов было зарегистрировано у 16 (40%) пациентов.

У двух пациентов (5%) наблюдалось тотальное 100%-ное поражение легких по результатам КТ, с синдромом опеченения легочной ткани по УЗИ (рис. 2).

Выявленные при КТ изменения легкого по типу субплеврального «матового стекла» в 38 (97,5%) случаях при УЗИ определялись в виде субплевральных консолидаций, т. е. участков пониженной эхогенности, чаще неправильной формы, размерами до 4,0 см, на фоне наличия либо отсутствия других сонографических признаков



А



В

Рис. 1. Компьютерная томограмма и эхограмма пациента с пневмонией COVID-19:

А – двусторонняя полисегментарная пневмония, изменение легочной ткани по типу «матового стекла», класс тяжести 2, по результатам выполнения компьютерной томографии легких;

В – эхограмма (УЗ-датчик расположен по linea axilaris posterior dextra в 7–8-м межреберьях), видна субплевральная консолидация и утолщенная линия плевры с тяжелым В-профилем
Fig. 1. CAT scan and echogram of a patient with COVID-19 pneumonia: A – double polysegmental pneumonia, ‘frosted glass’ changes of lung tissue, severity class 2, based on the results of lung computed tomography; B – echogram (ultrasound sensor is located along linea axilaris posterior dextra in 7–8 intercostal spaces) shows subpleural consolidation and a thickened pleural line with a heavy B-profile

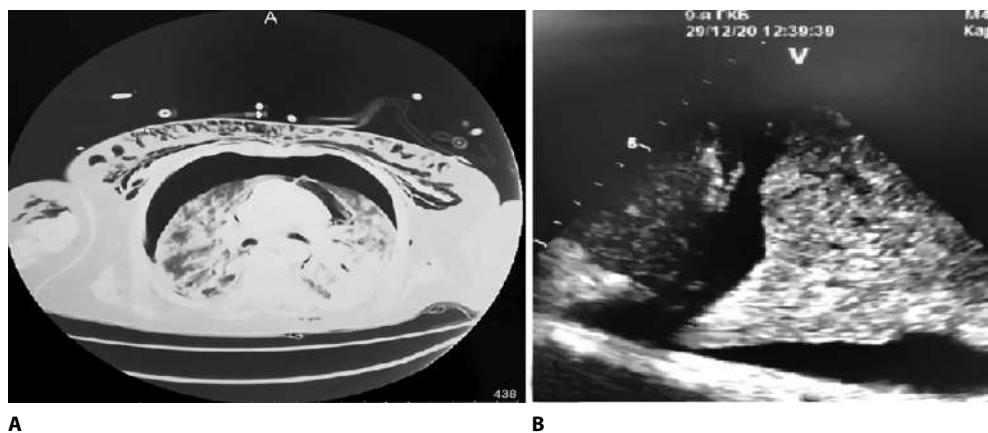


Рис. 2. Фото скана КТ и эхограммы легких пациента с тотальным поражением легочной ткани при COVID-19: А – двусторонняя полисегментарная пневмония, класс тяжести 4 по результатам компьютерной томографии; В – синдром опеченения легочной паренхимы в результате тотального поражения легкого по результатам сонографии (УЗ-датчик расположен по linea axilaris media dextra в 8-м межреберье)
Fig. 2. Photo of a CT scan and an echogram of the patient's lungs with an overall affection of the lung tissue as a result of COVID-19: A – double polysegmental pneumonia, severity class 4 according to the results of computed tomography; B – syndrome of the lung parenchyma hepatization as a result of an overall affection of the lung, according to the results of sonography (the ultrasound sensor is located along the linea axilaris media dextra in the 8th intercostal space)

наличия воспалительного процесса в ткани легкого, таких как множественные В-линии, измененная линия плевры.

Артефакты, определенные при помощи УЗИ, полностью соответствовали локализации изменений легочной ткани по данным КТ во всех 40 случаях (100%), однако при УЗИ максимальная глубина выявляемых очагов поражения была отмечена до 7 см в 21 случае (52,5%), а при КТ-исследовании участки поражения легкого определялись и на глубине более 10 см в 31 случае (77,5%).

Также нами установлено, что у одного и того же пациента в разных областях легких возможно одновременное определение различных УЗ-признаков в зависимости от степени вовлечения ткани легкого в патологический процесс. Например, у пациента А. по результатам УЗИ были обнаружены следующие артефакты: по linea axilaris anterior dextra в 5-м межреберье множественные В-линии, по linea axilaris media dextra в 5-м межреберье субплевральная консолидация, по linea axilaris media dextra в 7-м межреберье утолщенная линия плевры, без консолидации, а по linea clavicularis dextra в 3-м межреберье неизмененная легочная паренхима с А-линиями.

Всем пациентам проводилось ультразвуковое исследование легких в динамике, на третий день от первичного УЗИ. Была прослежена четкая взаимосвязь появления новых либо исчезновения уже имеющихся УЗ-признаков воспалительного процесса ткани легкого, а также прослежена четкая динамика пневмо- и гидроторакса. Так, у 14 пациентов (35%) при УЗИ прослеживались признаки увеличения интерстициального отека легких в виде увеличения количества В-линий, увеличение размеров и количества консолидаций, вплоть до тотального поражения доли либо легкого целиком. В свою очередь, у 25 пациентов (62,5%) обнаружено уменьшение размеров



консолидаций либо вовсе исчезновение малых субплевральных очагов деструкции ткани легкого.

У 12 пациентов при УЗИ достоверно точно определялся пневмоторакс, у 28 – гидроторакс, которые в последующем были подтверждены другими методами исследования.

Проводя ROC-анализ (рис. 3), мы получили данные, схожие с исследованием [5] и других авторов.

Количественная интерпретация TPR-FPR в случае применения УЗИ при отеке легкого (модель 1, кривая TPR-FPR № 1 на графике), выраженная в AUC (aria under curve), равна 0,734. При этом параметр sen. (чувствительность) составил 89%, spe. (специфичность) – 94%.

Для модели 2 (кривая TPR-FPR № 2 на графике) в случае применения УЗИ для выявления легочной консолидации AUC равна 0,751. Параметр sen. – 87%, spe. – 95%.

При применении УЗИ для диагностики пневмоторакса легкого (модель 3, кривая TPR-FPR № 3 на графике) AUC составила 0,567, sen. – 85%, spe. – 91%.

Анализируя полученные результаты, видим, что итоговые значения AUC 1 – AUC 3 не выходят за пределы отрезка [0,5–1,0] для вышеописанных моделей, а значит, данные моделей являются качественными и обладают достаточной диагностической ценностью.

На сегодняшний день компьютерная томография считается «золотым стандартом» в диагностике воспалительных изменений легких. Однако возможности применения этого метода ограничены в случаях его применения у пациентов реанимационного профиля, находящихся в крайне тяжелом нестабильном состоянии, ввиду

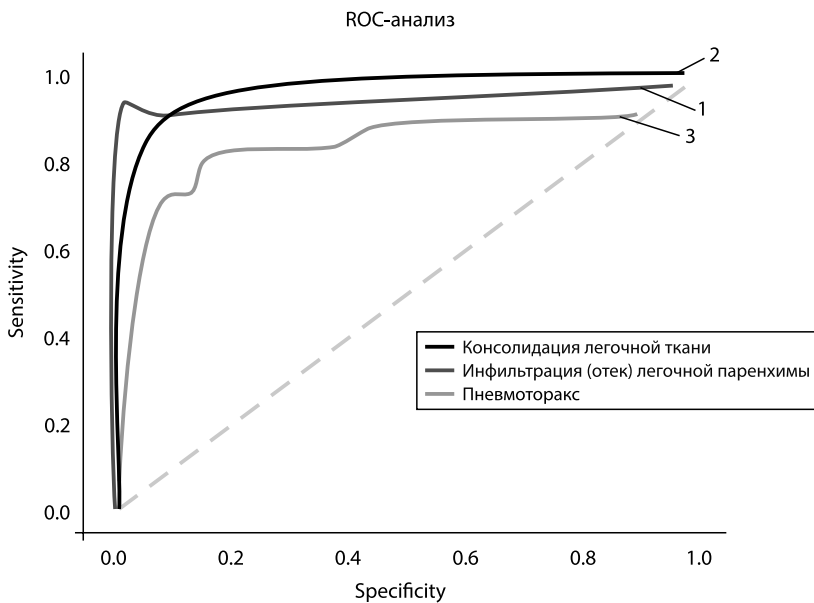


Рис. 3. Receiver operating characteristic: представлена TPR-FPR (true positive rate-false positive rate) зависимости

Fig. 3. Receiver operating characteristic: TPR-FPR (true positive rate-false positive rate) dependencies

опасности транспортировки, а также у беременных женщин и детей по причине высокой лучевой нагрузки.

В таких случаях УЗИ более приемлемо, поскольку является безопасным, в том числе из-за отсутствия ионизирующего излучения с его негативными влияниями на плод. Кроме того, ультразвуковой метод имеет ряд преимуществ перед компьютерной томографией, таких как меньшая стоимость, простота методики и возможность использования прямо у постели пациента в отделении реанимации в тех случаях, когда транспортировка пациента затруднена или невозможна из-за тяжелого состояния.

Однако следует выделить ряд ограничений при использовании УЗИ, затрудняющих проведение исследования. В первую очередь это конституционные особенности пациентов с ИМТ более 30, затрудняющие УЗ-визуализацию. У таких пациентов толщина подкожно-жирового слоя приводит к затуханию УЗ-волны в толще жировой ткани и в итоге ведет к снижению возможности достоверно оценить пораженные участки легких. Кроме того, наличие костных структур, таких как грудина и ребра, не дает возможности исследовать всю поверхность легких, это не позволяет оценить распространение патологического процесса в ткани легкого на 100%. Также нами показано, что УЗИ не дает возможности достоверно диагностировать глубоко лежащие консолидации, располагающиеся более чем на 7 см, что, в свою очередь, не позволяет досконально исследовать всю легочную паренхиму.

Проведенный статистический анализ полученных нами данных показал достаточно высокую диагностическую ценность метода УЗ-визуализации патологии легких у пациентов с тяжелыми формами инфекции COVID-19. Чувствительность метода составила 89–94%. Наибольшая чувствительность определена для малых консолидаций, что соответствовало симптому «матового стекла» по данным КТ. Специфичность УЗИ зависела от характера изменений и варьировала от 58,3% до 91,3%. Следует отметить, что полученные результаты соответствуют данным других авторов [12, 15, 18, 25, 33].

Таким образом, интенсивная терапия пациентов с тяжелыми формами инфекции COVID-19, находящихся в критическом состоянии, требует наличия быстрого и эффективного метода динамической оценки состояния легких.

■ ВЫВОДЫ

1. Полученные нами данные показывают высокие диагностические возможности УЗИ при проведении интенсивной терапии воспалительных заболеваний легких, вызванных вирусом SARS-CoV-2. Это позволяет отнести УЗИ к альтернативному скрининговому методу диагностики пневмонии при невозможности выполнить КТ.
2. Сонография легких может использоваться для диагностики ряда неотложных состояний у пациентов с тяжелой патологией легких, а также для динамической оценки состояния легких у пациентов реанимационного профиля, в том числе у пациентов, которые находятся на ИВЛ и вспомогательном кровообращении (ЭКМО).
3. Использование ультразвукового исследования может изменить рутинные подходы инструментальной оценки легочной патологии и ее динамического контроля в отделениях реанимации. Необходимо внедрение метода в широкую клиническую практику.



■ ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

- Lichtenstein D.A. BLUE-protocol and FALLS-protocol: two applications of lung ultrasound in the critically ill. *Chest*. 2015;147:1659–1670.
- Lichtenstein D.A., Meziere G.A. Relevance of lung ultrasound in the diagnosis of acute respiratory failure: the BLUE protocol. *Chest*. 2008;134:117–25.
- Singh Y., Tissot C., Fraga M.V. International evidence-based guidelines on point of care ultrasound (POCUS) for critically ill neonates and children issued by the POCUS Working Group of the European Society of Paediatric and Neonatal Intensive Care (ESPNIC). *Crit Care*. 2020;24:65.
- Ultrasound guidelines: emergency, point-of-care and clinical ultrasound guidelines in medicine. *Ann Emerg Med*. 2017;69:e27–e54.
- Mayo P.H., Copetti R., Feller-Kopman D. Thoracic ultrasonography: a narrative review. *Intensive Care Med*. 2019;45:1200–11.
- World Federation for Ultrasound in Medicine and Biology Safety Committee, Abramowicz J.S., Basseal J.M. World Federation for ultrasound in medicine and biology position statement: how to perform a safe ultrasound examination and clean Equipment in the context of COVID-19. *Ultrasound Med Biol*. 2020;46:1821–26.
- Marin J.R., Abo A.M., Arroyo A.C. Pediatric emergency medicine point-of-care ultrasound: summary of the evidence. *Crit Ultrasound J*. 2016;8:16.
- Pradhan S., Shrestha P.S., Shrestha G.S. Clinical impact of lung ultrasound monitoring for diagnosis of ventilator associated pneumonia: a diagnostic randomized controlled trial. *J Crit Care*. 2020;58:65–71.
- Toru Kameda, Yoshihiro Mizuma, Hayato Taniguchi, Yokohama City University Medical Center, Jichi Medical University, Higashi Kobe Hospital, Japan. *Journal of Medical Ultrasonics*. 2021;48:31–43.
- Frankel H.L., Kirkpatrick A.W., Elbarbary M. Guidelines for the appropriate use of bedside general and cardiac ultrasonography in the evaluation of critically ill patients-part I: general ultrasonography. *Crit Care Med*. 2015;43:2479–502.
- Kameda T., Taniguchi N. Overview of point-of-care abdominal ultrasonography in emergency and critical care. *J Intensive Care*. 2016;15:53.
- Volpicelli G., Elbarbary M., Blaivas M. International evidence-based recommendations for point-of-care lung ultrasound. *Intensive Care Med*. 2012;38:577–91.
- Tsou P.Y., Chen K.P., Wang Y.H. Diagnostic accuracy of lung ultrasound performed by novice versus advanced sonographers for pneumonia in children: a systematic review and meta-analysis. *Acad Emerg Med*. 2019;26:1074–88.
- Gallard E., Redonnet J.P., Bourcier J.E. Diagnostic performance of cardiopulmonary ultrasound performed by the emergency physician in the management of acute dyspnea. *Am J Emerg Med*. 2015;33:352–8.
- Mantuani D., Frazee B.W., Fahimi J. Point-of-care multi-organ ultrasound improves diagnostic accuracy in adults presenting to the emergency department with acute dyspnea. *West J Emerg Med*. 2016;17:46–53.
- Fiala M.J. Ultrasound in COVID-19: a timeline of ultrasound findings in relation to CT. *Clin Radiol*. 2020;75:553–4.
- Soldati G., Smargiassi A., Inchigolo R. Is there a role for lung ultrasound during the COVID-19 pandemic. *J Ultrasound Med*. 2020;39:1459–62.
- Blaivas M. Lung ultrasound in evaluation of pneumonia. *Journal of Ultrasound in Medicine*. 2012;31:823–6.
- Nekludova G., Avdeev S. Lung ultrasound: the possibilities of diagnosing of lung damage associated with the new coronavirus infection COVID-19. *Pulmonologiya*. 2020;30:577–586.
- Volpicelli G., Elbarbary M., Blaivas M. International evidence based recommendations for point of care ultrasound. *Intensive Care Med*. 2012;38:577–91.
- Petrikov S., Popugaev K., Khamidova L., Rybalko N., Abuchina V., Alexsechkin O. First experience of lung ultrasound application in patients with acute viral infection caused by SARS-CoV-2. *Medical Visualization*. 2020;24:50–62.
- Ye X., Xiao H., Chen B., Zhang S. Accuracy of Lung Ultrasonography versus Chest Radiography for the Diagnosis of Adult Community-Acquired Pneumonia: Review of the Literature and Meta-Analysis. *PLoS One*. 2015;10.
- Coronavirus disease (COVID-19) outbreak: rights, roles and responsibilities of health workers, including key considerations for occupational safety and health: Interim guidance Available at: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/331510/WHO-2019-nCoV-HCWadvice-2020-2-eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Volpicelli G., Elbarbary M., Blaivas M., Lichtenstein D.A., Mathis G., Kirkpatrick A.W., Melniker L., Gargani L., Noble V.E., Via G., Dean A., Tsung J.W., Soldati G., Copetti R., Bouhemad B., Reissig A., Agricola E., Rouby J.J., Arbelot C., Liteplo A., Sargsyan A., Silva F., Hoppmann R., Breitkreutz R., Seibel A., Neri L., Storti E., Petrovic T.; International Liaison Committee on Lung Ultrasound (ILC-LUS) for International Consensus Conference on Lung Ultrasound (ICCLUS). International evidence-based recommendations for point-of-care lung ultrasound. *Intensive Care Medicine*. 2012;38:577–91.
- Petrov A., Safarova A., Rachina S., Kobalava Zh., Safarova N., Tesakov I., Lukina O., Zorya O., Ezhova L. *Ultrasound Examination of Lungs: Procedure and Role in Diagnosis of Nosocomial Pneumonia*. 2018;10.
- Starostin D., Kuzovlev A. The role of lung ultrasound in the COVID-19. *Messenger of anesthesiology and resuscitations*. 2020;17:23–30.
- 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.
- Soni N.J., Schnobrich D., Mathews B.K. Point-of-care ultrasound for hospitalists: a position statement of the Society of Hospital Medicine. *J Hosp Med*. 2019;14:1–6.
- Ultrasound guidelines: emergency, point-of-care and clinical ultrasound guidelines in medicine. *Ann Emerg Med*. 2017;69:27–54.
- Mathis G. (ed.) *Chest sonography*. 4th ed. Switzerland: Springer; 2017.
- Pivetta E., Gof A., Lupia E. Lung ultrasound implemented diagnosis of acute decompensated heart failure in the ED: a SIMEU multicenter study. *Chest*. 2015;148:202–10.
- Kulkarni S., Down B., Jha S. Point-of-care (POC) lung ultrasound in intensive care during the COVID-19 pandemic. *Clin Radiol*. 2020;75:710.e1–4.
- Dietrich C.F., Mathis G., Blaivas M. Lung B-line artefacts and their use. *J Thorac Dis*. 2016;8:1356–65.
- Interrigi M.C., Trovato F.M., Catalano D. Emergency thoracic ultrasound and clinical risk management. *Ther Clin Risk Manag*. 2017;13:151–60.
- Bao C., Liu X., Zhang H. Coronavirus disease 2019 (COVID19) CT findings: a systematic review and meta-analysis. *J Am Coll Radiol*. 2020;17:701–9.
- Bouhemad B., Liu Z.H., Arbelot C. Ultrasound assessment of antibiotic-induced pulmonary reabsorption in ventilator-associated pneumonia. *Crit Care Med*. 2010;38:84–92.
- Corradi F., Brusasco C., Garlaschi A. Quantitative analysis of lung ultrasonography for the detection of community acquired pneumonia: a pilot study. *Biomed Res Int*. 2015;2015:868707.
- Mohamed M.F.H., Al-Shokri S., Yousaf Z. Frequency of abnormalities detected by point-of-care lung ultrasound in symptomatic COVID-19 patients: systematic review and meta-analysis. *Am J Trop Med Hyg*. 2020;103:815–21.
- Liu X.L., Lian R., Tao Y.K. Lung ultrasonography: an effective way to diagnose community-acquired pneumonia. *Emerg Med J*. 2015;32:433–8.
- Via G., Hussain A., Wells M. International evidence-based recommendations for focused cardiac ultrasound. *J Am Soc Echocardiogr*. 2014;27:683.e1.
- Picano E., Pellikka P.A. Ultrasound of extravascular lung water: a new standard for pulmonary congestion. *Eur Heart J*. 2016;37:2097–104.