© КУЖЕЛЬ Д. А.

УДК 616.2-008.64-073.43

DOI: 10.20333/2500136-2020-5-12-22

Ультразвук в дифференциальной диагностике причин острой дыхательной недостаточности

Д. А. Кужель^{1,2}

¹ Красноярский государственный медицинский университет имени профессора В.Ф. Войно-Ясенецкого, Красноярск 660022, Российская Федерация

² Красноярская краевая больница №2, Красноярск 660049, Российская Федерация

Резюме. Ультразвуковое исследование легких в течение десятилетий считалось малоинформативным по причине высокого акустического сопротивления между мягкими тканями и воздушными легкими. В последние годы работы в области неотложных состояний показали полезность ультразвуковых технологий, особенно в диагностике острой дыхательной недостаточности. Внедрение ультразвуковых технологий в практику отделений интенсивной терапии позволило существенно изменить «философию» диагностики критических состояний, выдвигая ультразвук как методику первой линии, даже в современную эру широкого применения компьютерной томографии. Наличие портативных аппаратов ультразвуковой диагностики, наряду с общим клиническим осмотром, сделало возможным быструю дифференциальную диагностику таких острых состояний как, кардиогенный шок, острый респираторный дистресс-синдром, пневмоторакс, ателектаз и других поражений легких.

Ключевые слова: ультразвук легких, острая дыхательная недостаточность, отек легких, пневмоторакс, острый респираторный дистресс синдром, пневмония, COVID-19.

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

Для цитирования: Кужель ДА. Ультразвук в дифференциальной диагностике причин острой дыхательной недостаточности. *Сибирское медицинское обозрение*. 2020;(5):12-22. DOI: 10.20333/2500136-2020-5-12-22

The lung ultrasound in differential diagnostic of acute respiratory failure reason

D. A. Kuzhel^{1,2}

¹ Prof. V. F. Voino-Yasensky Krasnoyarsk State Medical University, Krasnoyarsk 660022, Russian Federation

² Krasnoyarsk Regional Hospital №2, Krasnoyarsk 660049, Russian Federation

Abstract. Ultrasound lungs examination has been considered uninformative for decades due to the high acoustic resistance between soft tissues and airy lungs. Recently, the work in emergency conditions has proved the usefulness of ultrasound technologies, especially while diagnosing acute respiratory failures. Introduction of ultrasound technologies into the practice of intensive care units made it possible to change the 'philosophy' of diagnosing critical conditions, promoting ultrasound as primary technique, even in the era of widespread use of computed tomography. Portable ultrasound diagnostic devices, along with general clinical examination, made it possible to differentiate rapidly such acute conditions as cardiogenic shock, acute respiratory distress syndrome, pneumothorax, atelectasis, and other lung lesions.

Key words: lung ultrasound, acute respiratory failure, pulmonary edema, pneumothorax, acute respiratory distress syndrome, pneumonia, COVID-19.

Conflict of interest. The authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest associated with the publication of this article.

Citation: Kuzhel DA. The lung ultrasound in differential diagnostic of acute respiratory failure reason. *Siberian Medical Review*. 2020; (5):12-22. DOI: 10.20333/2500136-2020-5-12-22

В течение многих лет в сообществе пульмонологов, врачей функциональной и ультразвуковой диагностики была принята точка зрения о невозможности исследования легких с помощью ультразвука. Исключением были специфические ситуации, такие как диагностика плеврального экссудата [1]. Подобная точка зрения привела к тому, что технология ультразвукового исследования (УЗИ) легких не получала какого-либо развития [2]. Эта точка зрения начала меняться в течение последних 10-15 лет, благодаря работам, в первую очередь, в области неотложных состояний, в отделениях реанимации, при состояниях связанных с диагностикой острой дыхательной и/или циркуляторной недостаточностью [3, 4].

Ультразвуковое исследование «на месте» стало рутинной процедурой при выполнении инвазивных вмешательств [5]. Внедрение ультразвуковых технологий в практику отделений интенсивной терапии

позволило существенно изменить «философию» диагностики критических состояний, выдвигая ультразвук, как методику первой линии, даже в современную эру широкого применения компьютерной и магнитно-резонансной томографии [6]. Отсутствие потребности в приборах экспертного класса и наличие портативных аппаратов ультразвуковой диагностики, наряду с общим клиническим осмотром и тщательно собранным анамнезом, сделало возможным быструю дифференциальную диагностику таких острых состояний, как кардиогенный шок, острый респираторный дистресс синдром (ОРДС), пневмоторакс и других поражений легких. Такой подход позволил максимально быстро назначать эффективную терапию, без привлечения рентгеновских технологий, связанных с длительным периодом ожидания, либо технически невозможных, непосредственно в отделении интенсивной терапии [7, 8].

Теоретические аспекты использования ультразвука в диагностике легочных заболеваний

Наличие выраженных различий в акустическом сопротивлении между богатыми жидкостью мягкими тканями и воздушными легкими делает невозможным проникновение ультразвука в легочную паренхиму, которая рассеивает ультразвуковые волны. Поэтому ультразвуковая картина исследования легких является производной от артефактов, генерируемых париетальной и висцеральной плеврой. Ультразвуковые артефакты могут возникать при исследовании, как здоровых легких, так и появляться в ходе развития патологии. Присутствие изображения на мониторе при УЗИ паренхимы легких всегда связано с патологией, поскольку означает отсутствие воздушности.

При УЗИ легких можно определить париетальную и висцеральную плевру, толщиной до 2 мм, разделенных межплевральным пространством до 0,4 мм (рис. 1). Плевра в норме должна быть тонкой и ровной. Наличие ребер с плевральной линией между ними производит характерную ультразвуковую картину, называемую признаком «летучей мыши», где ребра формируют «крылья», а плевральная линия между ними – «тело» [6].

Плевральная линия во время акта дыхания совершает синхронные движения, называемые «скольжением легкого», которое считается важным признаком сохраненной функциональной активности легких. В режиме одномерного сканирования (М-режим) в нормальном состоянии «скольжение легких» производит характерный признак «побережья» [9].

Наличие сильного отражения ультразвуковых волн от плевры генерирует так называемые А-линии, которые являются результатом эффекта реверберации, то есть повторного отражения ультразвуковых волн. В этом случае, ультразвуковые волны подобно теннисному мячику между двумя стенками, совершают движения вперед назад между плеврой и поверхностью датчика. На мониторе прибора это выглядит как повторные горизонтальные линии через равные промежутки расстояния между ними. Другим артефактом при УЗИ легких, является наличие вертикальных, гиперэхогенных В-линий. В-линии возникают на фоне «скольжения легких» и смещаются во время акта дыхания. В-линии исходят от плевры, стирают А-линии и продолжают до конца экрана (рис. 2). В здоровом легком В-линий не должно быть вообще, либо не более двух, обычно наблюдаемых в нижних отделах [10].

Консолидация (утрата воздушности) легких может возникать при самых разнообразных патологических процессах. Появление консолидаций приводит к появлению возможности визуализировать паренхиму легких, поскольку содержащая жидкость ткань способна проводить ультразвуковые волны [11]. Обычно консолидации легкого в 98% случаев располагаются субплеврально, в подавляющем большинстве в задних отделах легких [9]. Консолидация может быть нетрансдолевой и трансдолевой (рис 3. А-В). Обе дают достаточно разную ультразвуковую картину. При нетрансдолевых консолида-

Рисунок 1. А. Исследование в режиме двухмерного сканирования. Тонкая верхняя открытая стрелка показывает плевральную линию. Средняя и нижняя тонкие открытые стрелки показывают эффект повторного отражения ультразвука (эффект реверберации), то есть так называемые А-линии. Толстые закрытые стрелки показывают тени ребер. Плевральная линия и тени ребер дают характерную картину признака «летучей мыши». В. Исследование в режиме одномерного сканирования. Признак «побережья».

Figure 1. A. Examination in 2-D scanning mode. Thin upper open arrow shows the pleural line. The middle and bottom thin open arrows show the effect of re-reflection of ultrasound (reverberation effect), that is, so-called, A-lines. Thick closed arrows show the edge shadows. Pleural line and shadows of the ribs give typical 'bat' pattern. B. Examination in 1-D scanning mode. 'Coast' pattern.

циях, которые возникают в большинстве случаев, можно наблюдать неровную, фрагментированную границу между консолидированным и вентилируемым легким. Подобная картина описывается, как признак «лоскута» или «клочка». При трансдолевой консолидации ультразвуковая картина пораженной доли легкого приобретает вид, подобный наблюдаемой при УЗИ печени [6].

Технология ультразвукового исследования.

Оборудование, датчики, доступы

Принимая во внимание основную потребность в УЗИ легких в отделениях реанимации и интенсивной терапии, ультразвуковой прибор, прежде всего, должен быть небольших размеров. В условиях пандемии COVID-19, это особенно важно, так как прибор не должен покидать пределы отделения и своевременно проходить противинфекционную обработку [12]. Для начальной оценки легких пред-

Рисунок 2. А. Сливные В-линии при ОРДС с участками сохранившими нормальную воздушность («сэкономленная область», показана стрелкой).

В. При кардиогенном отеке наблюдаются сплошные, сливные В-линии.

С. Неровная, утолщенная плевральная линия с участками консолидаций при ОРДС (стрелки).

Д. Ровная, тонкая плевральная линия при кардиогенном отеке.

Figure 2. A. Confluent B-lines in ARDS with areas retaining normal airiness ('saved area', indicated by an arrow).

B. Continuous, drainage B-lines are observed in cardiogenic edema.

C. Uneven, thickened pleural line with consolidation areas in ARDS (arrows).

D. Smooth, thin pleural line in cardiogenic edema.

почтительно использовать конвексный или линейный датчик, поскольку эти датчики позволяют просматривать плевру на большой протяженности. Высокочастотный линейный датчик обеспечивает возможность детального анализа состояния плевры. Однако слабая проникающая способность этих датчиков делает невозможным оценку более глубоких структур, потребность в которой возникает в случае развития консолидаций, ателектазов легких, при наличии большого плеврального выпота. В таких случаях более предпочтительным является использование конвексного датчика. В случае комбинированного исследования сердца и легких, а так же в случае чрезвычайно узкого межреберного пространства, считается допустимым использовать кардиологический (секторный фазированный) датчик [8]. Наиболее простые ультразвуковые приборы считаются наиболее подходящими для УЗИ легких. Технологические программы, такие как «вторая гармоника», обеспечивающие подавление артефактов, должны быть отключены [13].

Международная согласительная конференция в 2012 году предложила проводить сканирование

одного легкого исходя из 7 точек доступа. Консенсусное заявление РАСУДМ (Российская ассоциация специалистов ультразвуковой диагностики в медицине) также предлагает проводить ультразвуковую оценку легкого из 7 точек доступа. По две точки спереди и сбоку и три точки сзади [14, 15]. Один из пионеров УЗИ легких в отделениях интенсивной терапии D. Lichtenstein предлагает упрощенный протокол с исследованием легкого из трех точек доступа. Это так называемый BLUE-протокол (The Bedside Lung Ultrasound in Emergency) [16]. Данный протокол подразумевает наличие двух точек в передней части грудной клетки и одной точки сзади - PLAPS (posterolateral alveolar or pleural syndromes). Первые две точки определяются наложением двух рук оператора (примерно одинаковых с руками пациента) на грудную клетку пациента. Верхняя BLUE-точка определяется по центру кисти верхней руки. Нижняя BLUE-точка определяется по центру ладони нижней руки. Задняя (PLAPS) точка определяется, как горизонтальная проекция нижней BLUE-точки на заднюю подмышечную линию.

Рисунок 3. А. Нетрансдоловая консолидация. Неровная, прерывистая плевральная линия (показана стрелкой). На фоне нормальной воздушности легких наблюдается неровный участок слабоэхогенного изображения легкого с неровными контурами (признак «клочка/лоскута»).

В. Трансдоловая консолидация. Потерявшая воздушность ткань легких (Lu) имеет такую же эхогенность, как и ткань внутренних органов (Li - печень), в плевральном пространстве определяется жидкость.

С. Ультразвуковое исследование легких при пневмотораксе показывает наличие А-линий.

Д. Признак «стратосферы/штрихкода» (открытая стрелка). Признак «побережья» (сплошная белая стрелка). «Точка легкого» (черная стрелка), место, где легкое вновь соприкасается с грудной клеткой.

Figure 3. A. Non-translobe consolidation. Rough, discontinuous pleural line (arrow). Uneven area of a weak echogenic lung image with uneven contours is observed on the background of normal lungs airiness ('scraps / flaps' pattern).

B. Translobe consolidation. Lung tissue (Lu), that has lost its airiness, is of the same echogenicity as tissue of internal organs (Li - liver); fluid is detected in pleural space.

C. Ultrasound lungs examination with pneumothorax shows the presence of A-lines.

D. 'Stratosphere / barcode tag' pattern (open white arrow). 'Coast' pattern (solid white arrow). 'Lung point' (black arrow), the place where the lung touches the ribcage.

Во всех зонах сканирование должно проводиться вдоль межреберных промежутков для обеспечения максимального поля зрения [14].

Возможности ультразвука в диагностике острой дыхательной недостаточности

I. Диагностика интерстициально-альвеолярного синдрома.

Наличие трех и более В-линий в точке просмотра указывает на утолщение субплевральных, междольковых перегородок. Данный ультразвуковой артефакт коррелирует с линиями Керли при рентгенографии легких и может быть связан с интерстициальным отеком легких. В-линии могут определяться с помощью ультразвука до появления характерной аускультативной картины, связанной со скоплением жидкости в легких. Такие артефакты имеют характерную картину и называются «хвостами кометы». Пять или более В-линий в точке просмотра иногда называют «ракета-

ми матового стекла», поскольку подобные изменения связаны с картиной «матового стекла», наблюдаемой на компьютерной томографии (КТ) легких. Такая картина обычно наблюдается уже при альвеолярном отеке легких [6, 8]. Присутствие систолической или диастолической дисфункции левого желудочка, а также диффузный характер поражения, указывает на кардиальный генез развившегося отека легких.

Фокальные В-линии могут наблюдаться при поражении плевры, центральной пневмонии, контузии легких, неоплазмах или инфаркте легких. Поэтому диагностика наиболее вероятного заболевания, вызвавшего появление В-линий, должна производиться через интеграцию данных анамнеза, клинического статуса (наличие выраженной одышки), объективного осмотра и эхокардиографии (ЭхоКГ) [17].

Появление выраженной, остро возникшей одышки у пациента с множественными сопутствующими забо-

леваниями, может создавать трудности в диагностике ее причин даже у опытного клинициста. Как известно, причиной кардиогенного отека легких, является высокое давление в левом предсердии, наличие которого, в свою очередь, вызывает увеличение давления заклинивания в легочной артерии и проникновение жидкости в интерстициальное пространство. В случае дальнейшего повышения давления в левом предсердии, лимфатическая система становится неспособной «дренировать» альвеолы, происходит их заполнение жидкостью и развивается альвеолярный отек.

При ОРДС в результате утраты целостности альвеолярной капиллярной мембраны также происходит заполнение альвеол жидкостью, но уже при низком гидростатическом давлении в капиллярах [18]. Согласно Берлинскому определению ОРДС в диагностике этого состояния, необходимо наличие следующих условий. 1. Возникновение в течение 1 недели после известного клинического поражения, или новых, или ухудшающихся респираторных симптомов. 2. Двусторонние затемнения на снимках легких, не полностью объяснимых наличием выпота, коллапса доли, или всего легкого, или наличием узелков. 3. Дыхательная недостаточность не полностью объяснимая наличием сердечной недостаточности или перегрузкой жидкостью. Необходимость проведения объективной оценки (ЭхоКГ), чтобы исключить гидростатический отек, если нет факторов риска. Под снимками легких традиционно понимают выполнение рентгенографии и/или КТ легких [19]. ОРДС может развиваться при сепсисе, аспирации, пневмонии, множественной травме и других более редких причинах.

Дифференциальная диагностика ОРДС и кардиогенного отека легких особенно проблематична у постоперационных пациентов с высокой температурой и одышкой [20]. Рентгенография легких в таких случаях малоинформативна, а выполнение КТ достаточно проблематично, в силу необходимости транспортировки пациента. Анализ натриуретического пептида также не позволяет сделать однозначное заключение [21]. Например, у пациентов с гипоальбуминемией в результате снижения осмотического коллоидного давления, развитие отека легких может быть и при не очень высоких цифрах давления заклинивания в легочной артерии. Неуверенности в точном диагнозе порождают эмпирическое назначение «тройной терапии», то есть мочегонных, антибиотиков и кортикостероидов [22].

Маркером, как ОРДС, так и кардиогенного отека при УЗИ легких, является наличие патологических В-линий, причем ультразвуковая картина имеет достаточно специфические особенности (рис. 2 А-D). По данным R. Corpetti et al., при кардиогенном отеке легких В-линии гомогенно наблюдались в передней и задней части легких и, в меньшей степени, в верхней части [20]. Плевра практически не вовлекается в патологический процесс. Также практически не наблюдаются субплевральные консолидации. При ОРДС гомогенный характер В-линий отсутствовал. Между В-линиями наблюдались участки легкого сохранявшие нормальную воздушность («сэкономленные от поражения области»). В задней части легких наблюдались участки консолидации с

наличием воздушных бронхограмм (см. ниже). Плевра поражалась практически всегда, как неровная, нерегулярная, утолщенная более 2 мм линия с маленькими субплевральными консолидациями. Признак «скольжения легкого» отсутствовал в местах наибольшего поражения и обычно сочетался с признаком «пульса легкого», передачей ударов сердца на паренхиму органа [20]. Таким образом, наличие таких критериев, как «сэкономленные области», участки консолидации легких с поражением плевры, делало ультразвук очень точным инструментом в дифференциальной диагностике ОРДС и кардиогенного отека легких [20, 23].

II. Диагностика пневмоний и ателектазов.

Консолидация легких, как было изложено выше, может развиваться при воспалительных заболеваниях и при развитии ателектазов [9]. УЗИ легких может быть полезным в их дифференциальной диагностике, являясь быстрым и надежным инструментом в отделении интенсивной терапии [2, 24]. Наличие динамической воздушной бронхограммы, на фоне консолидации, подтверждает диагноз пневмонии (рис. 4 С). Динамическая воздушная бронхограмма проявляет себя, как множественные гиперэхогенные белые пятна, линейные или древовидные, согласно анатомическому строению бронха внутри участка консолидации, которые движутся синхронно с актом дыхания [13].

Признаком ателектаза легкого будет отсутствие воздушных бронхограмм в области консолидации и наличие признака «пульса легкого» (рис. 4 А-В). «Пульс легкого» определяется, когда на фоне отсутствия «скольжения легкого», статичная плевральная линия смещается с ударами сердца. Чувствительность и специфичность «пульса легкого» в диагностике полного ателектаза легкого достигает 93% и 100%, соответственно [25, 26].

Ателектаз легких может быть пассивным, то есть в результате развития плеврита, диагностика которого достаточно очевидна при УЗИ легких. Другой причиной развития ателектаза является обтурация бронха, обычно опухолью, реже инородным телом [6].

Ателектаз легких может наблюдаться у 50% постоперационных пациентов в зависимости от типа хирургии [27]. Другим послеоперационным осложнением может быть развитие абсцесса легкого, который определяется, как гипоехогенное образование с анэхогенной центральной частью, с или без перегородок внутри, что также может быть видимым при УЗИ легких у 94% [28].

III. Диагностика пневмоторакса.

Диагностика пневмоторакса может быть построена определением трех признаков. 1. Отсутствие «скольжения легкого». Признак имеет 100% отрицательное прогностическое значение, однако может наблюдаться и при других состояниях (ателектаз, парез диафрагмального нерва, ошибки в интубации и искусственной вентиляции легких) [9]. В режиме одномерного сканирования (М-режим) при пневмотораксе, вместо «признака побережья» будет наблюдаться характерный «признак стратосферы» или «признак штрихкода» (рис. 6 С-D). 2. Отсутствие В-линий и наличие А-линий. При отсутствии «скольжения легкого», наличие этих признаков в передней части легкого

Рисунок 4. А. Ультразвуковое исследование консолидированного легкого. Гомогенная ткань легкого без «воздушных бронхограмм» указывает на ателектаз.

В. Исследование консолидированного легкого в М-режиме. Скольжение плевры отсутствует, наблюдается «пульс легкого» (стрелка).

С. Консолидированное легкое с множественными белыми пятнами, которые смещаются вместе с актом дыхания (воздушные бронхограммы).

Figure 4. A. Consolidated lung ultrasound examination. Homogeneous lung tissue without 'air bronchograms' indicates atelectasis.

B. Examination of consolidated lung in M-mode. There is no pleural sliding, but a 'lung pulse' (arrow).

C. Consolidated lung with multiple white spots that move while breathing (air bronchograms).

в положении пациента лежа на спине, делает диагноз пневмоторакса практически установленным. 3. Наличие «точки легкого». «Точка легкого» представляет собой место, где вновь появляется признак «скольжения легкого». Это связано с касанием легкого грудной клетки. «Точка легкого» может быть выявлена после определения А-линий и отсутствия «скольжения легкого» в передней части груди, посредством смещения датчика по межреберью, пока вновь не появятся «скольжение легкого» и В-линии. В режиме одномерного сканирования в «точке легкого» будет визуализироваться переход от «признака стратосферы» к «признаку побережья». Исходя из локализации «точки легкого» пневмоторакс может быть умеренным, если «точка легкого» определяется спереди или массивным, если «точка легкого» определяется в задних отделах грудной клетки или даже отсутствует. «Точка легкого» является строго специфичным признаком пневмоторакса [6, 9].

Поскольку потеря «скольжения легкого» также может наблюдаться при хронической обструктивной болезни легких (ХОБЛ), плевральных спайках, важно использовать все три признака в правильном порядке, чтобы диагностировать пневмоторакс [2, 29].

IV. Ультразвуковое исследование при искусственной вентиляции легких.

Ультразвуковое исследование легких может быть полезным в титровании режима РЕЕР (Positive End Expiratory Pressure) искусственной вентиляции легких (ИВЛ). Умеренное, выраженное и полное отсутствие вентиляции легкого будет представлено на УЗИ, как множественные В-линии и области консолидации [30]. Конечное экспираторное давление может повы-

шаться до появления ультразвуковой картины нормального легкого. Минимальный РЕЕР, требуемый для предотвращения коллапса легкого - это давление, при котором нормальное изображение меняется до появления В-линий [2, 31]. Респондентами РЕЕР могут быть лица с диффузной потерей аэрации (консолидации затрагивающие передние поля легких) по данным УЗИ легких. Лица, имеющие консолидации только в задних отделах, являются более склонными к перерастяжению легочной паренхимы [32].

УЗИ диафрагмы может быть использовано в решении вопроса о прекращении ИВЛ. В пробных тестах утолщение диафрагмы в конце вдоха более чем на 30%, по сравнению с толщиной в конце выдоха, будет указывать на высокую вероятность успешного прекращения ИВЛ [33]. Также полезной, может быть оценка экскурсии купола диафрагмы, определяемой в режиме одномерного сканирования. В норме движение диафрагмы в покое и при глубоком дыхании составляет 18 ± 3 мм и 70 ± 6 мм у мужчин и 16 ± 3 мм и 57 ± 10 мм – у женщин [34, 35].

Алгоритмы ультразвуковой диагностики при острой дыхательной и циркуляторной недостаточности

I. Острая дыхательная недостаточность:

BLUE протокол.

Примерно 97% случаев развития острой дыхательной недостаточности укладываются в несколько клинических сценариев установить которые можно с использованием УЗИ легких и глубоких вен нижних конечностей. Древо решений в установлении диагнозов этих заболеваний может быть описано с помощью, основанного на 18-летнем опыте работы в отделении интенсивной терапии, алгоритме BLUE-протокола [6].

1. Наличие «скольжения легких» и А-линий во всех точках сканирования (так называемый А-профиль). На фоне острой дыхательной недостаточности возможны обострение ХОБЛ/бронхиальной астмы или тромбоэмболии легочной артерии (ТЭЛА). Выявление тромбоза глубоких вен нижних конечностей позволяет диагностировать ТЭЛА. При УЗИ легких в этом случае, могут наблюдаться консолидации. Отсутствие тромбоза глубоких вен нижних конечностей позволяет сделать заключение об обострении ХОБЛ/бронхиальной астмы.

2. Наличие «скольжения легких» и А-линий в передней части грудной клетке и консолидаций в задних отделах легких (в точке PLAPS) позволяет диагностировать пневмонию (А-V-PLAPS-профиль).

3. Отсутствие «скольжения легкого» и А-линии (А'-профиль). Наличие признака «стратосферы/штрихкода» и «точки легкого» позволяет диагностировать пневмоторакс.

4. Наличие «скольжения легких» и диффузные В-линии с нормальной плеврой (В-профиль) позволяет заключить о кардиальном отеке легких.

5. Наличие, в том числе ослабленного, «скольжения легких», диффузных, неомогенных В-линии со свободными участками («сэкономленные области») с поражением плевры и консолидациями в задних отделах, делает определенным диагноз ОРДС пневмонии. Нужно помнить, что диффузные болезни легких, такие как фиброз, саркоидоз и канцероматоз могут также давать диффузные В-линии с утолщенной плеврой.

6. Наличие фокальных В-линий (А/В-профиль) с участками консолидации и отсутствием «скольжения легкого» в этой области позволяет диагностировать пневмонию.

Нужно заметить, что эффективность BLUE-протокола становится максимальной при тщательно проведенном объективном осмотре и ультразвуковом исследовании сердца [9].

В целом УЗИ легких при острой дыхательной недостаточности можно разбить на несколько шагов. Первый шаг – это оценка «скольжения легких» в передних точках, поскольку наличие такового, исключает пневмоторакс. Второй шаг – это поиск В-линий в передних точках. Их наличие, вместе с сохраненным «скольжением легких», обычно связано с острым кардиогенным отеком легких (97%-ая чувствительность и 95%-ая специфичность). В случае отсутствия «скольжения легких» в передних точках (В'-профиль), либо на одной стороне В-линии, на другой стороне А-линии (А/В-профиль), либо наличие консолидаций (С-профиль) позволяет диагностировать пневмонию (89%-ая чувствительность и 94%-ая специфичность). Наличие А-линий в передних точках легких, на фоне острой дыхательной недостаточности, требует поиска тромбоза глубоких вен нижних конечностей. В случае его наличия определяется диагноз ТЭЛА. Отсутствие тромбоза глубоких вен требует оценки легких в задних точках. Наличие консолидаций в точке PLAPS (А-V-PLAPS-профиль) указывает на диагноз пневмонии. Отсутствие изменений в точке PLAPS указывает на обострение ХОБЛ/бронхиальной астмы (89%-ая чувствительность и 97%-ая специфичность).

Острая дыхательная недостаточность является серьезным клиническим состоянием, требующим быстрой оценки и назначения эффективной терапии. Проведенное с участием 1005 пациентов многоцентровое исследование показало превосходство интегрированного с клинической оценкой УЗИ легких над рентгенографией легких и анализом натриуретического пептида в дифференциальной диагностике кардиальных и некардиальных причин одышки [36].

II. Острая циркуляторная недостаточность: FALLS-протокол.

В случае циркуляторной недостаточности неизвестной этиологии может быть рекомендован FALLS-протокол (fluid administration limited by lung sonography). Первым шагом в его применении является выполнение ЭКГ и ЭхоЭКГ, с целью исключения острых кардиальных состояний, таких как острый инфаркт миокарда, тампонада сердца, ТЭЛА и др. Если нет очевидных кардиальных заболеваний, выполняется УЗИ легких. Отсутствие В-линий исключает кардиогенную природу циркуляторной недостаточности. Улучшение состояния пациента на фоне введения жидкости подтверждает гиповолемический характер шока. Введение жидкости в такой ситуации возможно до появления В-линий. Отсутствие улучшения, на фоне введения жидкости, делает вероятным диагноз септического шока [6].

Ультразвуковое исследование легких при COVID-19

Пандемия COVID-19, которую в настоящее время переживает весь мир, подняла новую волну интереса к УЗИ легких. Полученные в настоящее время данные показывают наибольшую эффективность проводимой терапии данного заболевания в случае поражения легких, если ее назначение происходит в максимально ранние сроки. Исходя из этого, УЗИ легких, могло бы быть максимально полезным во время малосимптомной стадии заболевания, поскольку позволило бы быстро установить вовлечение легких в патологический процесс. В этой связи высказывается мнение о необходимости клинических исследований, позволяющих оценить эффективность ультразвукового мониторингирования легких на разных этапах сопровождения пациента, в том числе при назначении специфической терапии. Необходимость в таких исследованиях может быть подчеркнута еще и тем, что выполнение УЗИ легких, очевидно, приведет к снижению применения дорогостоящих методик, таких как КТ [37, 38].

Высокая чувствительность и специфичность УЗИ легких была показана при пандемии гриппа H1N1, связанного с ОРДС с альвеолярно-интерстициальным поражением легких. Начальные стадии пневмонии COVID-19, с точки зрения гистологии, также характеризуются повреждением альвеол, с развитием их отека. В развернутой стадии поражения легких наблюдаются так называемые гравитационные (то есть по градиенту тяжести) консолидации, сходные с таковыми при ОРДС. Может наблюдаться геморрагический некроз, скопление жидкости в альвеолах и фиброз.

Анализ данных КТ пациентов с пневмонией

COVID-19 показывает обычно двусторонние поражения, которые являются неоднородными и сливными, по типу «матового стекла» или смешанными с элементами консолидаций. У 10% пациентов является признак «булжной мостовой». Поражения легких обычно имеют клиновидную форму с субплевральным основанием. Крупные консолидации могут показывать воздушные бронхограммы, плевральный выпот обычно отсутствует. Наиболее часто вовлекается в патологический процесс нижняя и средняя правая доля, верхняя и нижняя левая доля [39, 40]. Задние отделы легких вовлекаются в процесс в 67% случаев. Принимая во внимание поверхностный характер поражения легких при COVID-19, эти нарушения могут оставаться скрытыми у большого числа пациентов на обычной рентгенографии легких. Тогда как УЗИ легких позволяет с большей точностью выявлять данные нарушения и является более точным в дифференциальной диагностике бактериальной и небактериальной пневмонии. Все вышеперечисленное указывает на высокую информативность УЗИ легких в контексте пандемии COVID-19 [40].

Как известно, наиболее частыми начальными клиническими признаками COVID-19 являются лихорадка, кашель и одышка, с широкой вариативностью проявлений, в зависимости от степени тяжести. Как описано в некоторых обзорных публикациях, около 80% пациентов имеют легкую симптоматику. Примерно у 14% больных наблюдается умеренная и выражен-

ная симптоматика, а у 5% лиц развивается критическое состояние. Указанные 19% пациентов, с умеренной или выраженной симптоматикой, требуют госпитализации. Почти у всех наблюдается характерная клиническая динамика, которая находит отражение в прогрессивных изменениях на КТ и УЗИ легких [39].

Первые проявления вовлечения легких при УЗИ, в случае возникновения заболевания COVID-19, представлены неоднородным распределением В-линий, которые могут быть отдельными и/или сливными с маленькими регионами «белого» легкого. По мере развития заболевания, подобные изменения распространяются на другие регионы поверхности легкого. Дальнейшее развитие представлено появлением локальных, маленьких субплевральных консолидаций, связанных с областями «белого» легкого (рис. 5). Разрастание консолидаций, особенно в гравитационных отделах легких, указывает на развитие фазы дыхательной недостаточности, которая требует агрессивной вентиляционной поддержки (табл.) [37, 38]. Согласно рекомендациям ВОЗ, пациенты с COVID-19, имеющие умеренные или выраженные клинические проявления могут требовать кислородной поддержки и тщательный мониторинг для раннего распознавания ухудшения состояния, чему могут помочь последовательные УЗИ легких. Облегчить и сделать ультразвуковой мониторинг более объективным также помогает разработанная система балльной оценки поражения легких [37-39].

Рисунок 5. Ультразвуковое исследование легких у пациента с COVID-19 конвексным датчиком. Прерывистая, утолщенная плевра. Участки консолидации легочной ткани показаны толстыми стрелками, неоднородное распределение В-линий показано тонкими стрелками.

Figure 5. Ultrasound lungs examination of a patient with a COVID-19 convex probe. Intermittent, thickened pleura. Areas of lung tissue consolidation are shown with thick arrows, heterogeneous distribution of B-lines is shown with thin arrows.

Таблица

Тяжесть заболевания, ультразвуковые признаки и тактика ведения больных при COVID-19

Table

Disease severity, ultrasound signs and management of patients with COVID-19

Клиническая тяжесть при COVID-19	Типичные ультразвуковые признаки	Типичные клинические характеристики
Бесимптомная стадия – умеренные клинические проявления	Появление В-линий, которые начинают увеличиваться в количестве и распространении. Плевральная линия начинает становиться нерегулярной. Области В-линий, смежные с нормальными регионами «скопления легкого» и А-линиями. Наличие «сэкономленных» от поражения областей. Маленькие консолидации (примерно на 1 см).	Одышка > 30/мин. Насыщение кислородом ≤ 93% при дыхании обычным воздухом. Потребность в дополнительном кислороде.
Выраженные клинические проявления	Ткань легкого начинает терять аэрацию. Выраженные В-линии, которые продолжают увеличиваться в количестве и начинают затрагивать верхние и передние отделы легких. В-линии становятся сливными. Маленькие консолидации увеличиваются в количестве и размерах.	Насыщение кислородом ≤ 93% при дыхании кислородной смесью. Клинические признаки ОРДС. Потребность в дополнительном кислороде или дыхательной поддержке. Ткань легкого становится прогрессивно невентилируемой.
Критическая стадия	Обширные сливные В-линии затрагивают верхние и передние отделы легких. Множественные маленькие консолидации в верхних и передних отделах легких. В задних отделах легких выраженный двусторонний альвеоларно-интерстициальный синдром, с прогрессирующими в размерах консолидациями, с или без воздушных бронхограмм. Плевральный выпот является маленьким.	Высоко вероятная или имеющаяся ИВЛ. Потребность в высокой фракции вдыхаемого кислорода. Пораженные сегменты легкого становятся невентилируемыми.

Диагностический потенциал УЗИ легких в этой связи может быть полезным в следующих ситуациях:

- Сортировка (пневмония/не пневмония) симптоматических пациентов на амбулаторном этапе или в приемном отделении.
- Прогностическая стратификация и мониторинг пациентов с пневмонией на основании динамики развития консолидаций в палате интенсивной терапии.
- Ведение пациентов в отделении интенсивной терапии относительно назначения ИВЛ и ее прекращения.
- Контроль эффективности терапевтических мер (антивирусных или других).
- Сокращение медицинского персонала, контактирующего с инфицированными лицами во время стадии стратификации пациентов. Может быть необходим один клиницист, способный выполнить объективный осмотр и УЗИ непосредственно у кровати пациента [37].

Таким образом, УЗИ легких является достаточно чувствительным методом и может быстро и точно оценить степень их вовлечения в патологический процесс. Основное назначение УЗИ легких при COVID-19 в клинической практике в настоящее время представляется как инструмент мониторингирования их состояния. В любом случае, требуется корреляция ультразвуковых данных с клинической картиной. Данные УЗИ никогда не должны быть единственным индикатором тактики введения пациента. Должно быть обязательно гарантировано, что специалист, проводящий исследование, прошел необходимое обучение и имеет доказательства компетентности, идентичные тем, которые применяются для специалистов ультразвуковой диагностики.

Заключение

УЗИ легких обычно играет вспомогательную роль, однако вместе с объективным осмотром, при надлежащей клинической интерпретации, позволяет

быстро и точно определять некоторые, в том числе и неотложные состояния [13]. Применение КТ, как «золотого стандарта» диагностики жизнеугрожаемых заболеваний легких, показало высокую чувствительность и специфичность УЗИ легких в пределах 90-100% [9]. Прикроватное УЗИ легких может быть дополнением к рутинному применению стетоскопа при объективном осмотре пациента [2]. По некоторым данным, в условиях отделения неотложной терапии УЗИ легких может превосходить рентгенографию в диагностике пневмонии [41]. Отсутствие глубокого проникновения лучей ультразвука в легочную паренхиму компенсируется тем, что практически все острые, опасные для жизни поражения легких располагаются субплеврально [6]. С другой стороны, сердечно-легочная система настолько сложна и взаимосвязана, что интегрированный метод (УЗИ легких и ЭхоКГ) является фундаментальным для оценки причин одышки [8]. В этой связи представляется целесообразным внести данную методику в перечень исследований возможных к применению врачами не только ультразвуковой, но и функциональной диагностики. Также УЗИ легких, в сочетании со шкалой аэрации, можно применять в рамках мониторингирования состояния легочной паренхимы, в том числе при ОРДС и ИВЛ [42, 43].

Среди ограничений ультразвука в диагностике легочных поражений можно отнести невозможность диагностировать заболевания, которые не распространяются на субплевральные области. К таким состояниям относят: перибронхиальные массы, туберкулез, аспергиллез, бронхоэктатическую болезнь. К одному из основных ограничений применения ультразвука в диагностике заболеваний легких также можно отнести высокую зависимость от навыков и опыта оператора, выполняющего это исследование. Данное ограничение может быть преодолено адекватным обучением, с последующей сдачей надлежащего сертификационного экзамена на право применять эту технологию

в практике, учитывая сложный контингент пациентов, имеющих критические состояния. В то же время, принимая во внимание прикладной характер исследования, доступный в будущем специалистам любой профессии, можно высказать осторожный оптимизм, относительно применения этой технологии в клинической практике [44, 45]. Это представляется тем более целесообразным, если подобное применение будет сопровождаться снижением общего бремени лучевой нагрузки на пациентов. Увеличение количества специалистов, владеющих этой методикой, позволит более эффективно обмениваться опытом, таким образом, передавая практические навыки и взаимно обучаясь этому интересному методу диагностики.

Литература / References

1. Fauci AS. Harrison's principles of internal medicine. 17th ed. New York: McGraw-Hill, 2008.2958 p.
2. Raheja R, Brahmavar M, Joshi D, Raman D. Application of Lung Ultrasound in Critical Care Setting: A Review. *Cureus*. 2019;11(7):e5233.
3. Xirouchaki N, Kondili E, Prinianakis G, Malliotakis P, Georgopoulos D. Impact of lung ultrasound on clinical decision making in critically ill patients. *Intensive Care Medicine*. 2014;40(1):57-65. DOI: 10.1007/s00134-013-3133-3
4. Brogi E, Bignami E, Sidoti A, Shawar M, Gargani L, Vetrugno L, Volpicelli G, Forfori F. Could the use of bedside lung ultrasound reduce the number of chest x-rays in the intensive care unit? *Cardiovascular Ultrasound*. 2017;(15):23. DOI: 10.1186/s12947-017-0113-8
5. Lamperti M, Bodenham AR, Pittiruti M, Blaivas M, Augoustides JG, Elbarbary M, Pirotte T, Karakitsos D, Ledonne J, Doniger S, Scoppettuolo G, Feller-Kopman D, Schummer W, Biffi R, Desruennes E, Melniker LA, Verghese ST. International evidence-based recommendations on ultrasound-guided vascular access. *Intensive Care Medicine*. 2012;38(7):1105-1117. DOI: 10.1007/s00134-012-2597-x
6. Lichtenstein D. Novel approaches to ultrasonography of the lung and pleural space: where are we now? *Breathe*. 2017; 13(2): 100-111. DOI: 10.1183/20734735.004717
7. Beckmann U, Gillies DM, Berenholtz SM, Wu AW, Pronovost P. Incidents relating to the intra-hospital transfer of critically ill patients. An analysis of the reports submitted to the Australian Incident Monitoring Study in Intensive Care. *Intensive Care Medicine*. 2004;30(8):1579-1585. DOI: 10.1007/s00134-004-2177-9.
8. Liccardo B, Martone F, Trambaiolo P, Severino S, Cibinel GA, D'Andrea A. Incremental value of thoracic ultrasound in intensive care units: Indications, uses, and applications. *World Journal of Radiology*. 2016;8(5): 460-471. DOI: 10.4329/wjr.v8.i5.460.
9. Lichtenstein DA. Lung ultrasound in the critically ill. *Annals of Intensive Care*. 2014;20(3):315-22. DOI: 10.1186/2110-5820-4-1
10. Lichtenstein D, Mézière G, Biderman P, Gepner A, Barré O. The comet-tail artifact. An ultrasound sign of alveolar-interstitial syndrome. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*. 1997;156(6):1640-1646. DOI: 10.1164/ajrccm.156.5.96-07096
11. Yang PC, Luh KT, Chang DB, Yu CJ, Kuo SH, Wu HD. Ultrasonographic evaluation of pulmonary consolidation. *American Review of Respiratory Disease*. 1992;146(3):757-762. DOI: 10.1164/ajrccm/146.3.757
12. Schabrun S, Chipchase L, Rickard H. Are therapeutic ultrasound units a potential vector for nosocomial infection? *Physiotherapy Research International*. 2006;11(2):61-71. DOI: 10.1002/pri.329
13. Mojoli F, Bouhemad B, Mongoli S, Lichtenstein D. Ultrasound for critically ill patients. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*. 2019;199(6):701-714. DOI: 10.1164/rccm.201802-0236CI
14. Митьков ВВ, Сафонов ДВ, Митькова МД, Алехин МН, Катрич АН, Кабин ЮВ, Ветшева НН, Худорожкова ЕД. Консенсусное заявление РАСУДМ об ультразвуковом исследовании легких в условиях COVID-19 (версия 1). *Ультразвуковая и функциональная диагностика*. 2020;(1):24-45. [Mitkov VV, Safonov DV, Mitkova MD, Alekhin MN, Katrich AN, Kabin YuV, Vetsheva NN, Khudorozhkova ED. RASUDM Consensus Statement: lung ultrasound in the context of COVID-19 (version 1). *Ultrasound and Functional Diagnostics*. 2020;(1):24-45. (In Russian)] DOI: 10.24835/1607-0771-2020-1-24-45
15. Volpicelli G, Elbarbary M, Blaivas M, Lichtenstein DA, Mathis G, Kirkpatrick AW, Melniker L, Gargani L, Noble VE, Via G, Dean A, Tsung JW, Soldati G, Copetti R, Bouhemad B, Reissig A, Agricola E, Rouby J-J, Arbelot C, Liteplo A, Sargsyan A, Silva F, Hoppmann R, Breikreutz R, Seibel A, Neri L, Storti E, Petrovic T, International Liaison Committee on Lung Ultrasound (ILC-LUS) for International Consensus Conference on Lung Ultrasound (ICC-LUS). International Liaison Committee on Lung Ultrasound (ILC-LUS) for International Consensus Conference on Lung Ultrasound (ICC-LUS). International evidence-based recommendations for point-of-care lung ultrasound. *Intensive Care Medicine*. 2012;38(4):577-591.
16. Lichtenstein DA, Meziere GA. 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
17. Gargani L. Lung ultrasound: a new tool for the cardiologist. *Cardiovascular Ultrasound*. 2011;(9):6. DOI: 10.1186/1476-7120-9-6
18. Piantadosi CA, Schwartz DA. The Acute Respiratory Distress Syndrome. *Annals of Internal Medicine*. 2004; 141(6):460-470. DOI: 10.7326/0003-4819-141-6-200409210-00012
19. Ranieri VM, Rubenfeld GD, Thompson BT, Ferguson ND, Caldwell E, Fan E, Camporota L, Slutsky AS. Acute respiratory distress syndrome: the Berlin Definition. *JAMA*. 2012;307(23):2526-2533. DOI: 10.1001/jama.2012.5669
20. Copetti R, Soldati G, Copetti P. Chest sonography: a useful tool to differentiate acute cardiogenic pulmonary edema from acute respiratory distress syndrome. *Cardiovascular Ultrasound*. 2008;(6):16. DOI: 10.1186/1476-7120-6-16
21. Lam LL, Cameron PA, Schneider HG, Abramson MJ, Muller C, Krum H. Meta-analysis: effect of B-type natriuretic peptide testing on clinical outcomes in patients with acute dyspnea in the emergency setting. *Annals of Internal Medicine*. 2010;153(11):728-735. DOI: 10.7326/0003-4819-153-11-201012070-00006
22. Arabiat M, Foderaro AE, Levinson AT. Lung Ultrasound for Diagnosing Patients With Severe Dyspnea and Acute Hypoxic Respiratory Failure. *Rhode Island Medical Journal*. 2019;102(10):34-38.
23. Perrone T, Maggi A, Sgarlata C, Palumbo I, Mossolani E, Ferrari S, Melloul A, Mussinelli R, Boldrini M, Raimondi A, Cabassi A, Salinaro F, Perlini S. Lung ultrasound in internal medicine: A bedside help to increase accuracy in the diagnosis of dyspnea. *European Journal of Internal Medicine*. 2017;(46):61-65. DOI: 10.1016/j.ejim.2017.07.034
24. Parlamento S, Copetti R, Di Bartolomeo S. Evaluation of lung ultrasound for the diagnosis of pneumonia in the ED. *The American Journal of Emergency Medicine*. 2009;(27):379-384. DOI: 10.1016/j.ajem.2008.03.009
25. Lichtenstein DA, Lascols N, Prin S, Mézière G: The "lung pulse": an early ultrasound sign of complete atelectasis.

Intensive Care Medicine. 2003;29(12):2187-2192. DOI:10.1007/s00134-003-1930-9

26. Lichtenstein D, Mezière G, Seitz J. The dynamic air bronchogram. A lung ultrasound sign of alveolar consolidation ruling out atelectasis. *Chest*. 2009; 135(6):1421-1425. DOI:10.1378/chest.08-2281

27. Mittal AK, Gupta N. Intraoperative lung ultrasound: a clinic dynamic perspective. *Journal of Anesthesiology Clinical Pharmacology*. 2016;32(3):288-297. DOI:10.4103/0970-9185.188824

28. Yang PC, Luh KT, Lee YC, Chang DB, Yu CJ, Wu HD, Lee LN, Kuo SH. Lung abscesses: US examination and US-guided transthoracic aspiration. *Radiology*. 2018;180(1):30. DOI: 10.1148/radiology.180.1.2052687

29. Slater A, Goodwin M, Anderson KE, Gleeson FV. COPD can mimic the appearance of pneumothorax on thoracic ultrasound. *Chest*. 2006; 129(3):545-550. DOI:10.1378/chest.129.3.545

30. Bouhemad B, Brisson H, Le-Guen M, Arbelot C, Lu Q, Rouby J-J. Bedside ultrasound assessment of positive end-expiratory pressure-induced lung recruitment. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*. 2011;183(3):341-347. DOI:10.1164/rccm.201003-0369OC

31. Tusman G, Acosta CM, Costantini M. Ultrasonography for the assessment of lung recruitment maneuvers. *Critical Ultrasound Journal*. 2016;(8):8. DOI:10.1186/s13089-016-0045-9

32. Constantin JM, Grasso S, Chanques G, Auffer S, Futier E, Sebbane M, Jung B, Gallix B, Bazin JE, Rouby J-J, Jaber S. Lung morphology predicts response to recruitment maneuver in patients with acute respiratory distress syndrome. *Critical Care Medicine*. 2010;38(4):1108-1117. DOI: 10.1097/CCM.0b013e-3181d451ec

33. DiNino E, Gartman EJ, Sethi JM, McCool FD. Diaphragm ultrasound as a predictor of successful extubation from mechanical ventilation. *Thorax*. 2014;69(5):423-427. DOI:10.1136/thoraxjnl-2013-204111

34. Kim WY, Suh HJ, Hong SB, Koh Y, Lim CM. Diaphragm dysfunction assessed by ultrasonography: influence on weaning from mechanical ventilation. *Critical Care Medicine*. 2011;39(12):2627-2630. DOI:10.1097/CCM.0b013e3182266408

35. Boussuges A, Gole Y, Blanc P. Diaphragmatic motion studied by m-mode ultrasonography: methods, reproducibility, and normal values. *Chest*. 2009;135(2):391-400. DOI:10.1378/chest.08-1541

36. Pivetta E, Goffi A, Lupia E, Tizzani M, Porrino G, Ferreri E, Volpicelli G, Balzaretto P, Banderalli A, Iacobucci A, Locatelli S, Casoli G, Stone MB, Maule MM, Baldi I, Merletti F, Cibinel GA. Lung Ultrasound-Implemented Diagnosis of Acute Decompensated Heart Failure in the ED: A SIMEU Multicenter Study. *Chest*. 2015;148(1):202-210. DOI: 10.1378/chest.14-2608

37. Soldati G, Smargiassi A, Inchingolo R, Buonsenso D, Perrone T, Briganti DF, Perlini S, Torri E, Mariani A, Mossolani EE, Tursi F, Mento F, Demi L. Proposal for International Standardization of the Use of Lung Ultrasound for Patients With COVID-19. *Journal Ultrasound Medicine*. 2020;39(7):1413-1419. DOI: 10.1002/jum.15285

38. Soldati G, Smargiassi A, Inchingolo R, Buonsenso D, Perrone T, Briganti DF, Perlini S, Torri E, Mariani A, Mossolani EE, Tursi F, Mento F, Demi L. Is There a Role

for Lung Ultrasound During the COVID-19 Pandemic? *Journal Ultrasound Medicine*. 2020;39(7):1459-1462. DOI: 10.1002/jum.15284

39. Smith MJ, Hayward SA, Innes SM, Miller ASC. Point-of-care lung ultrasound in patients with COVID-19 - a narrative review. *Anaesthesia*. 2020;75(8):1096-1104. DOI: 10.1111/anae.15082

40. Vetrugno L, Bove T, Orso D, Barbariol F, Bassi F, Boero E, Ferrari G, Kong R. Our Italian experience using lung ultrasound for identification, grading and serial follow-up of severity of lung involvement for management of patients with COVID-19. *Echocardiography*. 2020;37(4):625-627. DOI: 10.1111/echo.14664

41. Nazerian P, Volpicelli G, Vanni S. Accuracy of lung ultrasound for the diagnosis of consolidations when compared to chest computed tomography. *The American Journal of Emergency Medicine*. 2015;33(5):620-625. DOI:10.1016/j.ajem.2015.01.035

42. Soummer A, Perbet S, Brisson H, Arbelot C, Constantin JM, Lu Q, Rouby J-J. Lung Ultrasound Study Group. Ultrasound assessment of lung aeration loss during a successful weaning trial predicts postextubation distress. *Critical Care Medicine*. 2012;40(7):2064-2072. DOI: 10.1097/CCM.0b013e31824e68ae

43. Chiumello D, Mongodi S, Algeri I, Vergani GL, Orlando A, Via G, Crimella F, Cressoni M, Mojoli M. Assessment of lung aeration and recruitment by CT scan and ultrasound in acute respiratory distress syndrome patients. *Critical Care Medicine*. 2018;46(11):1761-1768. DOI: 10.1097/CCM.0000000000003340

44. Lichtenstein D, van Hooland S, Elbers P, Malbrain ML. Ten good reasons to practice ultrasound in critical care. *Anaesthesiology Intensive Therapy*. 2014;46(5):323-35. DOI: 10.5603/AIT.2014.0056

45. Arbelot C, Neto FLD, Gao Y, Brisson H, Chunyao W, Lv J, Barbas CSV, Perbet S, Caltabellotta FP, Gay F, Deransy R, Lima EJS, Cebey A, Monsel A, Neves J, Zhang M, Bin D, An Y, Malbouisson L, Constantin J-M, Rouby J-J. Lung Ultrasound in Emergency and Critically Ill Patients: Number of Supervised Exams to Reach Basic Competence. *Anesthesiology*. 2020;132(4):899-907. DOI: 10.1097/ALN.0000000000003096

Сведения об авторах

Кузель Дмитрий Анатольевич, к.м.н., доцент, кафедра кардиологии, функциональной и клинико-лабораторной диагностики ИПО, Красноярский государственный медицинский университет имени профессора В.Ф. Войно-Ясенецкого, заведующий отделением функциональной диагностики Красноярская краевая больница №2; адрес: 660049, г.Красноярск, ул.Карла Маркса, д. 43, тел. 8(391)2026772; e-mail: dakushel@yandex.ru, <http://orcid.org/0000-0002-0264-2686>

Author information

Dmitry A. Kuzhel, Cand. Med. Sci., Associate Professor, department of cardiology, functional and clinical laboratory Diagnostics IPE, Prof. V. F. Voyno-Yasenetsky Krasnoyarsk State Medical University; Address: 43, Karl Marx str, Krasnoyarsk, Russian Federation 660049. Phone: 8(906)9145042, e-mail: dakushel@yandex.ru, <http://orcid.org/0000-0002-0264-2686>

Дата поступления: 16.07.2020

Дата рецензирования: 21.08.2020

Принята к печати: 05.10.2020

Received 16 July 2020

Revision Received 21 August 2020

Accepted 05 October 2020

This work is licensed under the Creative Commons Attribution 4.0 International License. To view a copy of this license, visit <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.