

УДК 616.24-002-073.43

DOI 10.20538/1682-0363-2017-2-47–59

Для цитирования: 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

## Ультразвуковое исследование легких при пневмонии

Чуяшенко Е.В., Завадовская В.Д., Агеева Т.С., Просекина Н.М., Перова Т.Б.

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

### РЕЗЮМЕ

В последние десятилетия широко обсуждается диагностическая информативность ультразвука при многочисленном спектре заболеваний органов грудной клетки (пневмония, периферические объемные образования, заболевания плевры, пневмоторакс). Преимущества ультразвукового исследования – отсутствие лучевой нагрузки, получение изображения в реальном времени, отчетливая визуализация субплевральных отделов легких и реберно-диафрагмальных синусов – дают возможность использовать ультразвук в педиатрической практике для частого мониторинга динамики пневмонии. Применение ультразвукового исследования в диагностическом алгоритме у пациентов взрослого контингента с пневмонией в отечественной клинической практике широко не используется.

В статье подробно излагаются методика ультразвукового исследования органов грудной клетки, ультразвуковая анатомия, ультразвуковая картина в зависимости от морфологического субстрата патологического образования, его локализации, протяженности.

Представлен обзор библиографических данных об ультразвуковой семиотике пневмоний в зависимости от типа воспалительного инфильтрата (гипо- и гиперэхогенные структуры различной формы, протяженности, артефакты, А-линии, В-линии). Обоснована необходимость использования ультразвука для мониторинга течения пневмонии с целью оценки эффективности терапии.

Указано, что до настоящего времени не раскрыты полностью возможности ультразвукового исследования в зависимости от морфологической формы воспаления, нет данных о сопоставлении ультразвукового исследования, рентгенографии и компьютерной томографии. Не установлена периодичность ультразвукового мониторинга воспалительных заболеваний легких.

Ввиду безопасности и широкой доступности метода в сочетании с использованием режима цветного доплеровского картирования ультразвуковое исследование может занять надлежащее место в алгоритме лучевой диагностики у больных воспалительными заболеваниями легких.

**Ключевые слова:** ультразвуковое исследование, пневмония, мониторинг динамики воспаления, доплерография легких, консолидация, гипоехогенный участок, артефакты, А-линии, В-линии.

### ВВЕДЕНИЕ

В течение последних десятилетий одним из широко изучаемых вопросов ультразвуковой диагностики является оценка диагностической информативности ультразвука при заболеваниях легких [1–4]. Подтверждением этому служит BLUE про-

токол – ургентная сонография легких при острой респираторной недостаточности, разработанный в Германии D. Lichtenstein в 2008 г. [1, 2]. О востребованности ультразвукового исследования (УЗИ) в диагностике различных заболеваний легких, таких как пневмоторакс, отек легких, пневмония, эмфизема, периферические объемные образования, заболевания плевры, свидетельствуют многочисленные публикации последних десятилетий [1, 3, 5–8].

✉ Чуяшенко Елена Васильевна, e-mail: chuyashenko.lena@mail.ru.

Данные нозологические формы требуют в критической ситуации экстренной диагностики, которая возможна при ультразвуке легких [9–13].

Одним из основных преимуществ данного метода является отсутствие лучевой нагрузки. Несмотря на то что за рубежом компьютерная томография считается «золотым стандартом» для выявления пневмонии и других легочных поражений у взрослых [14–16], Goran Roic (2016) полагает, что она не может быть использована в первую очередь в стандартах оказания медицинской помощи педиатрическому контингенту больных с подозрением на пневмонию из-за высокой дозы облучения [6, 17, 18].

В публикациях Д.В. Сафонова и соавт. (2014) отмечается преобладание точности УЗИ легких по сравнению с рентгенографией легких при пневмонии у детей [19]. Авторы также приводят данные о том, что УЗИ может конкурировать в некоторых случаях с точностью компьютерной томографии, например в диагностике абсцесса легкого. В связи с этим ультразвуковое исследование используется в педиатрической практике для частого мониторинга динамики пневмонии [17–20].

За рубежом ультразвук используется не только в педиатрической практике, но и у взрослых пациентов [17, 21–24]. Так, достаточно широко применяется ультразвуковое мониторирование патологических процессов в легких, включая кардиогенный отек, пневмоторакс, плевральный выпот, пневмонии, периферические объемные образования, ателектаз [7, 9, 25–29]. Применение же ультразвукового исследования в диагностическом алгоритме у пациентов с пневмонией в отечественной клинической практике не нашло должного применения.

Несмотря на эффективность использования ультразвука для диагностики пневмонии, в литературе нет единой точки зрения о диагностической информативности данного метода лучевой диагностики при воспалительных процессах в легких, а многие вопросы остаются нераскрытыми и являются предметом дискуссии [30]. Так, Т.И. Дианова, Д.В. Сафонов (2015), L. Gargani и соавт. (2013), M. Trezzi и соавт. (2013), F. Cortellaro и соавт. (2016) столкнулись с проблемой интерпретации причины артефакта В-линий (признак уплотнения интерстициальной стромы легких), поскольку данные артефакты обнаружены авторами не только при пневмонии, но и в случае фиброзных изменений интерстиция при пневмосклерозе, бронхолегочной дисплазии или легочно-венозной гипертензии в легких при сердечной недостаточности [10, 31–33].

По мнению Е.Б. Ольховой, Д.В. Хаспекова, Г.С. Буваевой (2004), помимо пневмонии, безвоздушным фрагментом легочной ткани может быть ателектаз на фоне аспирации инородных тел, который визуализируется аналогичным образом [34]. Поэтому эхографически дифференцировать безвоздушные участки легочной паренхимы по этиологическому признаку затруднительно. W. Guyi, J. Xiaoying (2016), С. Gwrg и соавт. (2013), P. Nazerian и соавт. (2013) предложили критерии дифференцировки ателектаза, пневмонии и легочной эмболии с помощью доплерографии на основании различий в васкуляризации легочной ткани. Авторы считают, что сосудистые показатели, такие как индекс пульсации, соотношение между начальной и пиковой систолической скоростью кровотока, могут быть полезными для дифференциальной диагностики между уплотнениями в легких различной этиологии. Степень реактивной вазоконстрикции оценивалась на основе анализа спектрального сигнала кровотока в сегментных ветвях легочной артерии с учетом сопротивления средней величины нескольких сосудов [9, 14, 35, 36].

Так, при ателектазе легких, вызванном нарушением бронхиальной проходимости, сохраняется кровоток с высоким сопротивлением [36]. Плевропневмония как участок воспалительной инфильтрации имеет кровоток умеренного импеданса [9]. Легочная эмболия с учетом отсутствия какого-либо кровотока является аваскулярным участком по данным доплерографии [14]. С учетом этих данных гемодинамические изменения, наблюдаемые в региональной легочной артерии при пневмонии, могут быть объяснены реактивной вазоконстрикцией вследствие локальной гипоксии.

Симптом воздушной бронхографии является специфическим признаком для диагностики пневмонии, означающий, что в результате реактивной вазоконстрикции риск возникновения гипоксии меньше, потому что воздух все еще может частично заполнить альвеолы во время вдоха. При ателектазе легких, вызванном механической обструкцией, полная обструкция дыхательных путей приводит к региональной гипоксии и тяжелой реактивной вазоконстрикции. Неоваскуляризация является характерным признаком консолидации опухоли, на долю которого приходится поток крови с низким сопротивлением [28, 35, 37].

Существуют различные трактовки феномена «воздушной бронхографии» при ультразвуковом исследовании легких [15, 20, 34, 38, 39]. Г.С. Буваева и соавт. (2004) при проведении ультразвуково-

вого исследования выделили феномен «воздушной бронхограммы» у 51,1% больных в острой фазе заболевания, наличие которого считает положительным прогностическим признаком, свидетельствующим о тенденции к восстановлению воздушности легочной ткани. Однако данная точка зрения остается дискуссионной, так как при проведении рентгенологического исследования органов грудной клетки симптом «воздушной бронхографии» свидетельствует о явно выраженном воспалительном субстрате.

S. Mongodi, G. Via (2016) охарактеризовали данный феномен как динамические гиперэхогенные линейные (древовидные) воздушные бронхограммы, представленные бронхами, наполненными воздухом и выделениями [40]. S.A. Alzahrani и соавт. (2017) утверждают, что обнаружение ультразвуком динамического воздуха (симптом бронхографии) является полезным для дифференциации диагностики обструктивного ателектаза от пневмонии [15]. Но эти результаты весьма сомнительны с учетом интерпретации рентгенограмм, где симптом воздушной бронхографии также является дифференциальным критерием данных нозологических форм. В целом авторы мета-анализа едины во мнении, что использование ультразвука легких может значительно уменьшить лучевую нагрузку и позволит получать более точную диагностическую информацию по сравнению с рентгенограммами у реанимационных пациентов с легочной консолидацией [15].

В современных литературных источниках приводятся данные о сопоставлении ультразвукового исследования, рентгенографии и компьютерной томографии при исследовании пневмонии. На основании мета-анализа данных лучевых методов диагностики у пациентов с дыхательной недостаточностью M.A. Chavez и соавт. (2014) установили, что при диагностике пневмонии чувствительность ультразвукового исследования составляет 97%, а специфичность 94%. Признавая роль компьютерной томографии как «золотого стандарта», авторы в то же время подчеркивают определенные проблемы при использовании данного метода (транспортировка тяжелых пациентов, диагностика у беременных женщин и детей, частое мониторирование динамики) и утверждают, что ультразвуковое исследование в опытных руках является высокоточным диагностическим инструментом [41].

Параллельно в Китае Q.J. Hu, Y.C. Shen (2014) опубликовали результаты аналогичного исследования, во многом совпадающие с данными M.A. Chavez и соавт. (2014). Авторы утверждают,

что хотя компьютерная томография является диагностическим инструментом с высокой чувствительностью и специфичностью, но не всегда доступна в узкопрофильных больницах, а с учетом высокой дозы облучения недопустима для диагностики у беременных и детей.

В последние десятилетия ультразвук показал высокую диагностическую эффективность в оценке патологических состояний легких. Данный метод облегчает диагностику и мониторинг воспалительного инфильтрата непосредственно у постели больного, что делает его альтернативным рентгенографии в условиях отделения реанимации. Ультразвуковое исследование, по данным Q.J. Hu и соавт. (2014), является удобным, недорогим, неинвазивным и надежным методом диагностики легочных заболеваний [18].

Более низкие показатели диагностической эффективности сопоставления данных компьютерной томографии, рентгенографии и ультразвука легких в феврале 2017 г. представили S.A. Alzahrani и соавт. – чувствительность 85% и специфичность 93%, что ниже от ранее представленных данных M.A. Chavez и соавт. (2014). Полученные результаты авторы связывают с сомнительными данными при обнаружении глубоких альвеолярных поражений, а также наложения анатомических структур, хотя при использовании доплерографии и правильной интерпретации сонографической картины открывается возможность оценки региональной васкуляризации воспалительного инфильтрата, что полезно в дифференциальной диагностике и невозможно при рутинной рентгенографии. A. Reissig и соавт. (2012) в своих исследованиях пневмонии предложили следующие рамки мониторинга динамики: 1-е, 5-, 8-, 13-, 16-е сут лечения, что, по мнению авторов, позволяет более точно диагностировать положительную или отрицательную динамику [39].

Наряду с противоречивыми данными о результативности ультразвукового исследования пневмонии не раскрыты полностью возможности УЗИ в зависимости от морфологической формы воспаления, локализации процесса. Также требуют уточнения контрольные точки мониторинга динамики воспалительного инфильтрата. В то же время ввиду безопасности и широкой доступности метода в сочетании с использованием режима цветового доплеровского картирования (ЦДК) ультразвуковое исследование может занять надлежащее место в алгоритме лучевой диагностики у больных воспалительными заболеваниями легких.

На сегодняшний день достаточно полно разработана методика ультразвукового исследования органов грудной клетки. Для исследования легких наиболее часто применяются датчики конвексного типа с частотой 4 МГц и линейного типа с частотой 8 МГц [41]. Однако при использовании линейных датчиков возникают трудности с получением изображения в межреберных промежутках за счет существенного ограничения площади обследования. Тем не менее плевра и поверхностно расположенные изменения в легких видны значительно лучше, чем при рентгенологическом исследовании. У взрослого пациента глубина исследуемого поля, как правило, составляет 16–18 см [30].

Сканирование чаще всего проводится полипозиционно из субкостального, межреберного, парастернального, паравerteбрального и надключичного доступов в положении пациента сидя и лежа. Выбор доступа сканирования, положение больного, используемый датчик и частоты определяются индивидуально [20, 24, 38] (рис. 1).

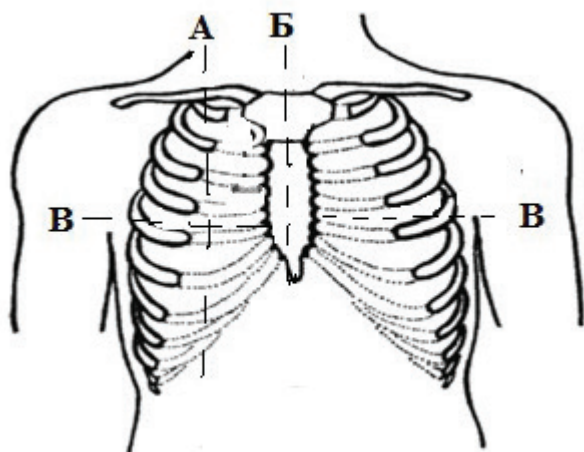


Рис. 1. Линии ультразвукового сканирования при исследовании легких: А – среднеключичная линия; Б – стеральная линия; В – межреберная линия

В норме при ультразвуковом исследовании легких визуализируются следующие структуры: гипоэхогенный слой подкожной жировой клетчатки, ребра, которые из-за плотной костной структуры отражают ультразвуковые волны и создают акустические тени. Сразу под ребрами плевральная линия, которая является границей между мягкими тканями грудной стенки и легким (париетальная и висцеральная плевры), затем собственно воздушная легочная ткань, которая представлена реверберационными артефактами (А-линиями и единичными В-линиями) (рис. 2) [10, 24, 42].

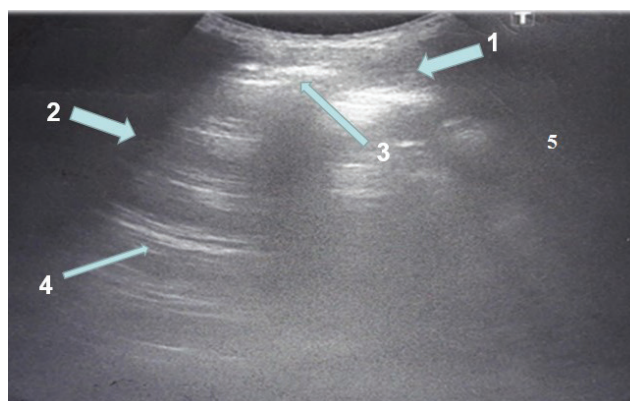


Рис. 2. Ультразвуковое исследование легких у здорового пациента: 1 – подкожная жировая клетчатка; 2 – акустическая тень ребра; 3 – гиперэхогенная линия плевры; 4 – гиперэхогенные А-линии – феномен отражения ультразвукового луча от воздуха в альвеолах; 5 – единичные В-линии, реверберационные ультразвуковые сигналы вертикально направленные

До настоящего времени предметом дискуссии является причина визуализации гиперэхогенной линии – это собственно плевра или артефакт ультразвукового изображения из-за феномена отражения ультразвукового луча от воздуха в альвеолах и мягкими тканями грудной стенки [6, 12, 28, 43]. Несмотря на эти дебаты, визуализация плевральной линии с успехом используется в оценке состояния органов дыхания. Наличие этой линии является одним из признаков отсутствия пневмоторакса. Плевральная линия движется синхронно с дыханием, и эти движения получили название скольжение легких. Наряду с плевральной линией обычно наблюдается несколько гиперэхогенных горизонтальных линий на равных промежутках от плевральной линии и друг от друга, которые являются результатом реверберации. Эти линии называют А-линии (см. рис. 2). В совокупности со скольжением легких эти реверберационные артефакты представляют собой картину нормального или избыточного содержания воздуха в альвеолах [7, 12, 25, 26].

При уменьшении воздушности легочной паренхимы вследствие накопления жидкостного субстрата в альвеолах или развития фиброза разница в акустическом импедансе между измененной легочной паренхимой и окружающими тканями уменьшается, что позволяет ультразвуковому лучу частично проникать в легочную паренхиму в зоне междольковых перегородок с формированием реверберационных ультразвуковых вертикально направленных сигналов, которые получили название В-линии (рис. 3) [10, 44, 45]. В литературе встречаются различные термины для обозначения В-линии при исследовании легких: ультразвуковые артефакты по типу хвоста коме-

ты, артефакт хвоста кометы, артефакт, легочные ракеты [6, 43, 46], ультразвуковое изображение хвоста кометы [47], хвост кометы, изображение хвоста кометы [46, 48].

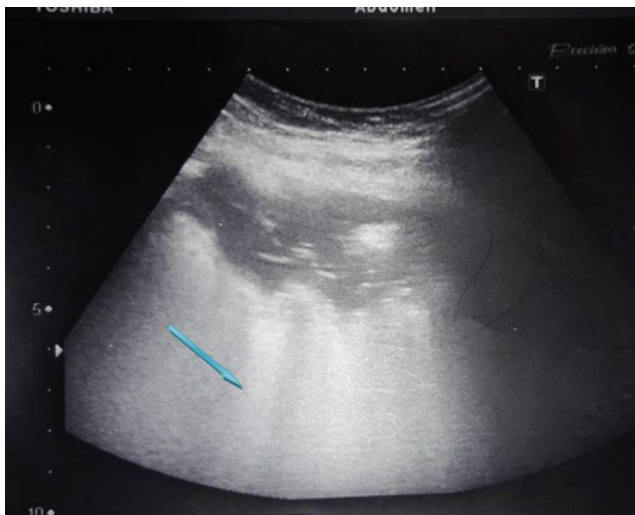


Рис. 3. Множественные вертикальные артефакты, представляющие собой В-линии (хвост кометы)

Множественные В-линии считаются ультразвуковым признаком уплотнения интерстициальной стромы легких, и их количество увеличивается по мере уменьшения аэрации легких и увеличения плотности легочной ткани [29, 43]. Если аэрация легких продолжает уменьшаться, то это может привести к консолидации (уплотнению) легочной ткани, что сопровождается появлением возможности ультразвуковой визуализации собственно легочной паренхимы.

Механизмы формирования В-линий при исследовании легких до конца не выяснены. В соответствии с современными представлениями о природе В-линий они образуются от множества мелких субплеврально расположенных реверберационных поверхностей на границе между воздушными альвеолами и содержащими интерстициальную жидкость междольковыми перегородками [29, 33, 42]. Воздух и жидкость представляют собой элементы с очень высоким градиентом акустического сопротивления. В результате попадания ультразвука на границу между заполненными жидкостью междольковыми промежутками и воздушными альвеолами возникают множественные реверберации, которые визуализируются на экране в виде вертикальных линейных артефактов. Таким образом, основным физическим элементом для формирования В-линий выступает утолщенная междольковая перегородка [33, 42]. Однако в практике могут наблюдаться не только обозначенные выше, но и другие структур-

ные изменения, которые способны генерировать В-линии. Таковыми являются увеличение содержания жидкости в паренхиме легких (отек легких, пневмония) [29, 33, 42], увеличение тканевого компонента легочной паренхимы (опухолевый компонент), снижение вентиляции и воздушности легких (ателектаз, воспалительная инфильтрация) [6, 27].

В-линии могут наблюдаться и в норме, особенно в нижнелатеральных и наддиафрагмальных отделах легких. Частота их выявления в норме 14–28% [49]. При выполнении компьютерной томографии на данных участках определялось локальное уплотнение междольковых перегородок за счет компрессии печенью извне. Поэтому количество ультразвуковых артефактов легких по типу «хвоста кометы» менее пяти считается клинически незначимым. Таким образом, В-линии встречаются как при различных патологических состояниях в легких, так и в норме, представляя собой неспецифический признак. Поэтому данный артефакт требует целенаправленного исследования с обязательным учетом всего комплекса клинико-инструментальных и лабораторных данных [29, 42].

При ультразвуковой оценке паренхимы легкого у больных пневмонией дифференцируются его безвоздушные участки, оцениваются края данных участков, наличие деструктивных очагов в легочной паренхиме, феномен «воздушной бронхограммы» [6, 39]. Воздушная бронхограмма (рис. 4) визуализируется в виде линейных гиперэхогенных сигналов, представляющих собой отражение ультразвука от воздуха в бронхах и радиально расходящихся от корня к периферии.

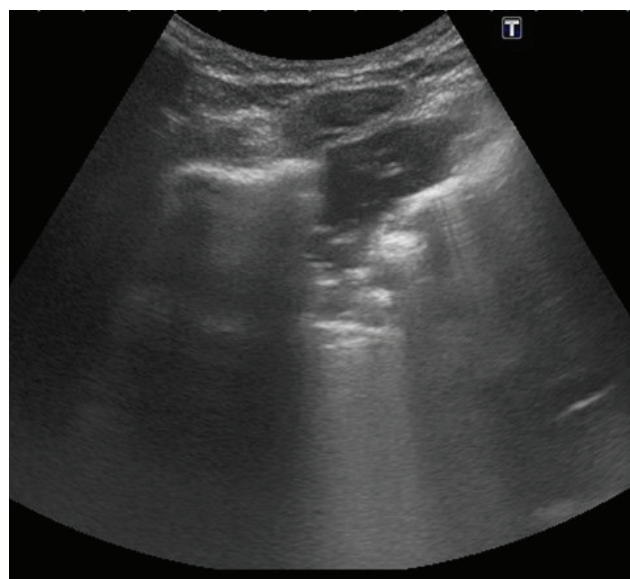


Рис. 4. Симптом воздушной бронхограммы

Количество и распределение элементов воздушной бронхограммы зависит от степени тяжести пневмонии и служит одним из важных критериев ее обратного развития. Чувствительность ультразвуковой визуализации пневмонии в В-режиме при наличии синдрома воздушной бронхографии составляет около 90% [39, 40, 50].

Как показано в публикациях V.A. Caiulo и соавт. (2013), воздушная бронхография доказывает бронхиальную проходимость и исключает ателектаз. По результатам исследования данных авторов наличие указанного симптома выявлено у 78% больных [24].

Помимо безвоздушного участка и синдрома воздушной бронхографии встречаются такие артефакты, как хвост кометы, которые, как упоминалось выше, служат ультразвуковым признаком интерстициальных изменений в легких различной этиологии, в том числе воспалительной [29, 33].

При цветовом доплеровском картировании в пораженном фрагменте в острую инфильтративную стадию воспаления проявления гиперемии визуализируются в виде цветowych локусов, которые прослеживаются на фоне снижения воздушности легочной ткани и уплотнения легочной паренхимы [28, 35, 51]. В литературе обсуждаются варианты ультразвуковой картины в зависимости от морфологического субстрата воспаления [18, 39, 52].

Так, паренхиматозная пневмония, а именно плевропневмония (долевая, сегментарная, полисегментарная), по данным Michael Blaivas (2012), Т.И. Диановой, Д.В. Сафонова (2015), встречается в 98% исследуемых случаях пациентов. L. Long и соавт. (2017) описывают ультразвуковую картину плевропневмонии как безвоздушную зону треугольной формы, занимающую объем от сегмента до доли, с нечеткими контурами и симптомом воздушной эхобронхограммы (рис. 5) [31, 38, 50]. У 30% больных при долевых поражениях выявляются утолщение плевральных листков и выпот в плевральной полости [5, 17].

В литературе имеется ограниченное количество источников с описанием ультразвуковой картины очаговой пневмонии. Данный вид воспалительной инфильтрации описан как субплевральный воспалительный субстрат с однородной либо неоднородной гипоехогенной структурой не более 20 мм (рис. 6) [19].

По данным V.P. Shah и соавт. (2013), участки консолидации до 1 см с симптомом бронхографии расцениваются как уплотнения легких в рамках очаговой пневмонии. В то же время авторы считают, что ультразвуковое исследование обладает малой чувствительностью при воспалитель-

ном инфильтрате с небольшой протяженностью и компьютерная томография грудной клетки может быть более точным эталоном, особенно при очень малых консолидациях легких [20]. V.A. Caiulo и соавт. (2013) интерпретировали очаговую пневмонию как участок с несколькими сливающимися В-линиями [24].

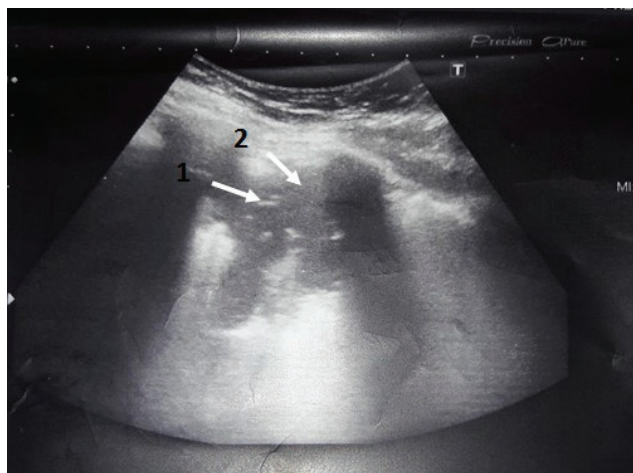


Рис. 5. Эхограмма сегментарной пневмонии с элементами воздушной бронхограммы (1) в гипоехогенном воспалительном инфильтрате (2)

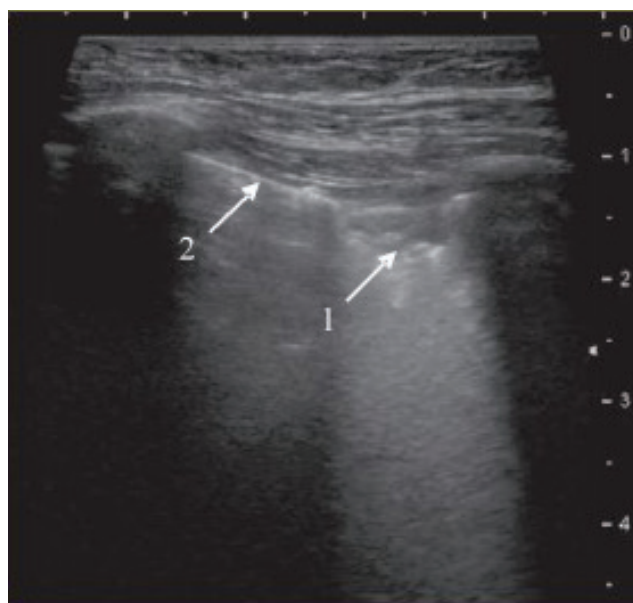


Рис. 6. Эхограмма очаговой пневмонии в виде мелкого однородного гипоехогенного очага (1) с неровным контуром, окруженного воздушной легочной тканью (2) [31]

Интерстициальная пневмония, в отличие от паренхиматозной, проявляется развитием острого воспаления в интерстициальной ткани, включая альвеолярную стенку, без первичной экссудации в респираторных отделах. Воздушность альвеол сохраняется, и воспалительный инфильтрат не фор-

мируется, поэтому ультразвук не проникает вглубь сохранившего воздушность легкого. Соответственно, пристеночная гиперэхогенная линия от его поверхности не исчезает, а только видоизменяется, что и является основным ультразвуковым критерием этой формы пневмонии. Поверхность легкого в зоне интерстициального воспаления выглядит как более широкая и менее четкая пристеночная гиперэхогенная линия без типичных артефактов «повторного эха», но со множественными артефактами хвоста кометы (рис. 7) [10].

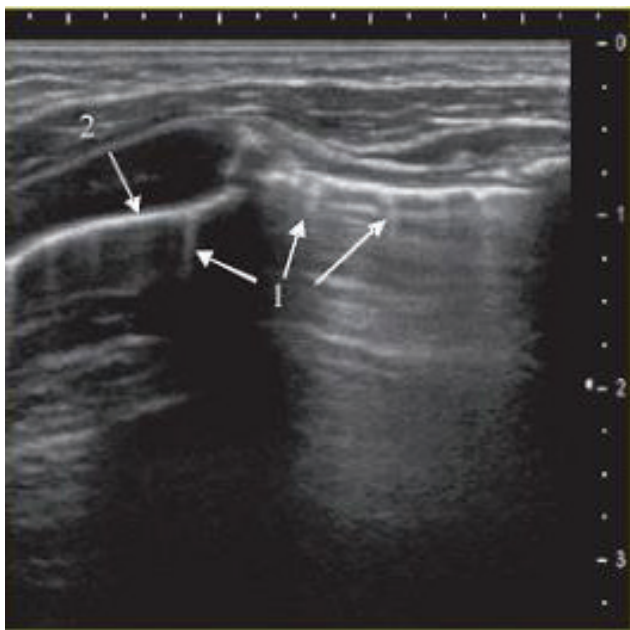


Рис. 7. Эхограмма интерстициальной пневмонии: множественные артефакты хвоста кометы (1) позади пристеночной гиперэхогенной линии воздушного легкого (2) [31]

По мере уменьшения отека интерстиция интенсивность артефактов снижается, и картина хвоста кометы исчезает [29, 42]. Пристеночная гиперэхогенная линия становится более ровной, а при окончательном восстановлении нормальной воздушности легкого вновь появляются артефакты повторного эха, при этом ультразвуковой луч отражается от воздуха в легких, возвращается к датчику. Датчик регистрирует отраженный сигнал, а ультразвуковое изображение регистрируется в виде эхоположительной линии. Затем отраженный сигнал вновь возвращается к датчику, отразившись от воздуха в легких. Таким образом, сигнал дважды проходит расстояние и дважды отражается, а ультразвуковой прибор фиксирует этот процесс как усиление первого сигнала. В результате постоянно повторяющегося процесса на сонограмме видны концентрические линии, получившие название «повторного эха». С уче-

том восстановления воздушности легочной ткани в исследуемой области визуализация более глубоких отделов легких становится невозможной [23, 31, 38, 53].

Помимо уплотнения легочной ткани, артефактов по типу «хвоста кометы», феномена «воздушной бронхографии» ультразвуковой метод позволяет визуализировать очаги деструкции – в безвоздушном участке определяется неправильной формы зона пониженной эхогенности, иногда с гиперэхогенными сигналами в центре. Е.Б. Ольхова и соавт. [34] выделяют мелкие и крупные очаги деструкции с формированием абсцессов, визуализируемые при помощи УЗИ. Мелкие очаги деструкции диаметром 8–14 мм прослеживаются у 75% больных с деструкцией в субплевральных отделах легочной паренхимы, у 25% пациентов наблюдаются мультифокальные очаги деструкции диаметром до 2 см. Диаметр крупных очагов может составлять 5–8 см. При цветовом доплеровском картировании сосудистый рисунок и феномен «воздушной бронхограммы» в данных участках не определяются [4, 15].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, на сегодняшний день достаточно четко определены как положительные, так и дискуссионные аспекты ультразвукового исследования легких у больных пневмонией. Если говорить о преимуществах метода, можно выделить такие основные аспекты, как проведение исследования непосредственно у постели пациента, отсутствие лучевой нагрузки, многократное мониторирование в динамике воспалительного инфильтрата. Но, несмотря на это, данный метод имеет много методических и интерпретационных проблем: недоступность визуализации легких у пациентов с ожирением, невозможность визуализации центральных отделов легких, экранирование воспалительного инфильтрата анатомическими структурами (ключица и лопатка). Кроме того, возможность визуализации зависит от интенсивности и протяженности воспалительного субстрата – очаги менее 20 мм недоступны для визуализации. Поэтому выполнение ультразвукового исследования должно сочетаться с полным комплексом анамнестических и клинико-лабораторных данных.

Как упоминалось ранее, при ультразвуковом исследовании патологии легких встречается большое количество различных артефактов, с учетом которых и формируется соответствующая ультразвуковая картина. Однако отдельные нозологические формы – очаговая и интерсти-

циальная пневмонии – требуют более детального изучения и точной интерпретации. Открытым остается вопрос трактовки понятия «воздушной бронхографии», поскольку в отдельных публикациях он расценивается как признак положительной динамики, хотя с учетом рентгенологической картины данный признак свидетельствует о выраженном воспалительном процессе.

Наряду с противоречивыми данными о результативности ультразвукового исследования пневмонии, не раскрыты полностью возможности УЗИ в зависимости от морфологической формы воспаления, локализации процесса. Продолжает представлять интерес сопоставление результатов компьютерной томографии, рентгенографии и ультразвуковых данных. Не установлена периодичность ультразвукового мониторинга воспалительных заболеваний легких. Ввиду безопасности и широкой доступности метода в сочетании с использованием режима ЦДК ультразвуковое исследование по мере решения существующих проблем может занять надлежащее место в алгоритме лучевой диагностики у больных воспалительными заболеваниями легких.

## КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ И ВКЛАД АВТОРОВ

Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи, и сообщают о вкладе авторов. Чуяшенко Е.В. – разработка дизайна и интерпретация данных. Завадовская В.Д. – проверка критически важного интеллектуального содержания, окончательное утверждение рукописи для публикации. Агеева Т.С. – проверка критически важного интеллектуального содержания. Просекина Н.М., Перова Т.Б. – разработка дизайна и интерпретация данных.

## ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Авторы заявляют об отсутствии финансирования при проведении исследования.

## ЛИТЕРАТУРА

- Lichtenstein D.A. Ultrasound examination of the lungs in the intensive care unit // *Pediatr. Crit. Care Med.* 2009; 10: 693–698.
- Lichtenstein D.A. BLUE-protocol and FALLS-protocol: two applications of lung ultrasound in the critically ill // *Chest.* 2015; 147: 1659–1670.
- Шахов Б.Е., Сафонов Д.В. Диагностические возможности трансторакального ультразвукового исследования легких // *Международный журнал экспериментального образования.* 2008; 3–8.
- Харнас С.С. Новые технологии в диагностике и лечении больных хирургическими заболеваниями легких и плевры. М.: Медицина, 2005: 96.
- Репик В.И. Ультразвуковое исследование в диагностике плеврального выпота // *Ультразвуковая диагностика.* 1996; 3: 62.
- Volpicelli G. Lung Sonography // *Ultrasound Med.* 2013; 32: 165–171.
- Volpicelli G. Sonographic diagnosis of pneumothorax // *Intensive Care Med.* 2011; 37: 224–232.
- Trezzi M., Torzillo D., Ceriani E., Costantino G., Caruso S., Damavandi P.T., Genderini A., Cicardi M., Montano N., Cogliati C. Lung ultrasonography for the assessment of rapid extravascular water variation: evidence from hemodialysis patients // *Intern. Emerg. Med.* 2013; 8: 409–415.
- Guyi W., Xiaoying J. Lung ultrasound: a promising tool to monitor ventilator-associated pneumonia in critically ill patients // *Critical Care.* 2016; 13054–016.
- Cortellaro F., Ceriani E., Spinelli M., Campanella C., Bossi I., Coen D., Casazza G., Cogliati C. Lung ultrasound for monitoring cardiogenic pulmonary edema // *Intern. Emerg. Med.* 2016; 1–7.
- 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 (6).
- Lichtenstein D.A. Ultrasound examination of the lungs in the intensive care unit // *Pediatr. Crit. Care Med.* 2009; 10: 693–698.
- Xirouchaki N., Magkanas E., Vaporidi K., Kondili E., Plataki M., Patrianakos A., Akoumianaki E., Georgopoulos D. Lung ultrasound in critically ill patients: comparison with bedside chest radiography // *Intensive Care Med.* 2011; 37: 1488–1493.
- Nazerian P., Vanni S., Volpicelli G., Gigli C., Zanobetti M., Bartolucci M., Ciavattone A., Lamorte A., Veltri A., Fabbri A., Grifoni S. Accuracy of point-of-care multi-organ ultrasonography for the diagnosis of pulmonary embolism // *Chest.* 2013.
- Alzahrani S.A., Al-Salamah M.A., Al-Madani W.H., Elbarbary M.A. Systematic review and meta-analysis for the use of ultrasound versus radiology in diagnosing of pneumonia // *Crit. Ultrasound J.* 2017; 9 (1): 6.
- Unluer E., Karagoz A., Senturk G., Karaman M., Olow K., Bayata S. Bedside lung ultrasonography for diagnosis of pneumonia // *Hong Kong Am. J. Emerg. Med.* 2013; 20 (2): 98.
- Goran R. Lung ultrasound in the diagnosis of pediatric pneumonia // *Acta Academica.* 2016; 82–83.
- Hu Q.J., Shen Y.C., Jia L.Q., Guo S.J., Long H.Y., Pang C.S., Yang T., Wen F.Q. Diagnostic performance of lung ultrasound in the diagnosis of pneumonia: a bivariate meta-analysis // *Int. J. Clin. Exp. Med.* 2014; 7 (1): 115–121.
- Сафонов Д.В., Дианова Т.И., Родионов В.А., Герасимова Л.А. Рентген-ультразвуковые сопоставления и



- динамический эхографический контроль при пневмонии у детей // *Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета*. 2014; 1591–1605.
20. Shah V.P., Tunik M.G., Tsung J.W. Prospective evaluation of point-of-care ultrasonography for the diagnosis of pneumonia in children and young adults // *JAMA Pediatr.* 2013; 167: 119–125.
  21. Copetti R., Cattarossi L. Ultrasound diagnosis of pneumonia in children // *Radiol. Med.* 2008; 113: 190–198.
  22. Yilmaz H.L., Wzkaya A.K., Sari Gwkay S., Tolu Kendir W., Genol H. Point-of-care lung ultrasound in children with community acquired pneumonia // *Am. J. Emerg. Med.* 2017; 0735-6757(17)30085-2.
  23. Boursiani C., Tsolia M., Koumanidou C., Malagari A., Vakaki M., Karapostolakis G., Mazioti A., Alexopoulou E. Lung ultrasound as first-line examination for the diagnosis of community-acquired pneumonia in children // *Pediatr. Emerg. Care.* 2017; 33 (1): 62–66.
  24. Caiulo V.A., Gargani L., Caiulo S., Fiscaro A., Moramarco F., Latini G., Picano E., Mele G. Lung ultrasound characteristics of community-acquired pneumonia in hospitalized children // *Pediatr. Pulmonol.* 2013; 48 (3): 280–287.
  25. Parlamento S., Copetti R. Evaluation of lung ultrasound for the diagnosis of pneumonia in the ED // *Am. J. Emerg. Med.* 2009; 27: 379–384.
  26. 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.* 2012; 29: 19–23.
  27. Smargiassi A., Inchingolo R., Soldati G. et al. // *Multi-discip. Respir. Med.* 2013; 8 (1): 55.
  28. Cardinale L., Ardisson F., Garetto I., Marci V., Volpicelli G., Solitro F., Fava C. Imaging of benign solitary fibrous tumor of the pleura: a pictorial essay // *Rare Tumors.* 2010; 2: e1.
  29. Gargani L., Frassi F., Soldati G., Tesorio P., Gheorghiadu M., Picano E. Ultrasound lung comets for the differential diagnosis of acute cardiogenic dyspnoea: a comparison with natriuretic peptides // *Heart Fail.* 2008; 10: 70.
  30. Interrigi M.C., Trovato F.M., Catalano D., Trovato G.M. Emergency thoracic ultrasound and clinical risk management // *Ther. Clin. Risk Manag.* 2017; 13: 151–160.
  31. Дианова Т.И., Сафонов Д.В. Ультразвуковой мониторинг и возрастные эхографические особенности внебольничных пневмоний у детей // *Современные технологии в медицине*. 2015; 7 (2): 113–119.
  32. Gargani L., Picano E., Caramella D., Abramo A., Giunta F., Forfori F., Baldi G., D'Errico L. Lung water assessment by lung ultrasonography in intensive care: a pilot study // *Intensive Care Med.* 2013; 39: 74–84.
  33. Miglioranza M.H., Gargani L., Sant'anna R.T., Rover M.M., Martins V.M., Mantovani A., Weber C., Moraes M.A., Feldman C.J., Kalil RAK., Sicari R., Picano E., Leiria T.L. Lung ultrasound for the evaluation of pulmonary congestion in outpatients: a comparison with clinical assessment, natriuretic peptides, and echocardiography // *JACC Cardiovasc. Imaging.* 2013.
  34. Ольхова Е.Б., Хаспеков Д.В., Буваева Г.С. Диагностическая ценность ультразвукового исследования легких и плевральных полостей при неотложных состояниях у детей // *Медицинская визуализация*. 2004; 4: 95–101.
  35. Gwrg C., Seifart U., Konrad Gwrg G.Z. Color doppler sonographic mapping of pulmonary lesions // *Ultrasound Med.* 2013; 22: 1033–1039.
  36. Lichtenstein D., Lascols N., Prin S., Meziure G. The “lung pulse”: an early ultrasound sign of complete atelectasis // *Intensive Care Med.* 2003; 29: 2187–2192.
  37. Казакевич В.И., Сафонов Д.В. Методологические аспекты ультразвукового исследования при опухолевой патологии легких // *Российский онкологический журнал*. 2011; 5: 52–57.
  38. Long L., Zhao H.T., Zhang Z.Y., Wang G.Y., Zhao H.L. Lung ultrasound for the diagnosis of pneumonia in adults: A meta-analysis // *Medicine (Baltimore)*. 2017; 96 (3): e5713.
  39. Reissig A., Copetti R., Mathis G., Mempel C., Schuler A., Zechner P., Aliberti S., Neumann R., Kroegel C., Hoyer H. Lung ultrasound in the diagnosis and follow-up of community-acquired pneumonia: a prospective, multi-center, diagnostic accuracy study // *Chest.* 2012; 142 (4): 965–972.
  40. Mongodi S., Via G., Girard M., Rouquette I., Misset B., Braschi A., Mojoli F., Bouhemad B. Lung ultrasound for early diagnosis of ventilator-associated pneumonia // *Chest.* 2016; 149 (4): 969–980.
  41. Chavez M.A., Shams N., Ellington L.E., Naithani N., Gilman R.H., Steinhoff M.C., Santosham M., Black R.E., Price C., Gross M., Checkley W. Lung ultrasound for the diagnosis of pneumonia in adults: a systematic review and meta-analysis // *Respir. Res.* 2014; 15: 50.
  42. Noble V.E., Murray A.F., Capp R., Sylvia-Reardon M.H., Steele D.J.R., Liteplo A. Ultrasound assessment for extravascular lung water in patients undergoing hemodialysis. Time course for resolution // *Chest.* 2009; 135: 1433–1439.
  43. Gargani L., Volpicelli G. How I do it: lung ultrasound // *Cardiovasc. Ultrasound.* 2014; 4 (12): 25.
  44. Jambrik Z., Monti S., Coppola V. et al. Usefulness of ultrasound lung comets as a nonradiologic sign of extravascular lung water // *Am. J. Cardiol.* 2004; 10: 1265–1270.
  45. Soldati G., Copetti R., Sher S. Sonographic interstitial syndrome: the sound of lung water // *Ultrasound Med.* 2009; 28: 163–174.
  46. Bedetti G., Gargani L., Corbisiero A. et al. Evaluation of ultrasound lung comets by hand-held echocardiography // *Cardiovasc. Ultrasound.* 2006; 4: 34.
  47. Agricola E., Bove T., Oppizzi M. et al. Ultrasound comet-tail images: a marker of pulmonary edema. A comparative study with wedge pressure and extravascular lung water // *Chest.* 2005; 127(5): 11690–1695.

48. Алехин М.Н. Ультразвуковое исследование легких для диагностики внесосудистой жидкости // *Креативная кардиология*. 2015; 1: 27–37.
49. Reissig A., Kroegel C. Transthoracic sonography of diffuse parenchymal lung disease: the role of comet tail artifacts // *Ultrasound Med.* 2003; 22: 173–180.
50. Michael Blaivas. Lung ultrasound in evaluation of pneumonia // *Ultrasound in Medicine*. 2012; 6: 823–826.
51. Забылина Е.В., Перовошикова Н.К., Смирнова А.А. Ультразвуковая биолокация: от промышленных целей до пульмонологии // *Мать и дитя в Кузбассе*. 2009; 1: 3–8.
52. Сафонов Д.В., Шахов Б.Е. Ультразвуковая диагностика воспалительных заболеваний легких. М: Видар-М, 2011: 120.
53. Vignon P., Chastagner C., Berkane V., Chardac E., Francois B., Normand S., Bonnivard M., Clavel M., Pichon N., Preux P-M., Maubon A., Gastinne H. Quantitative assessment of pleural effusion in critically ill patients by means of ultrasonography // *Crit. Care Med.* 2005; 33: 1757–1763.

Поступила в редакцию 20.03.2017

Утверждена к печати 10.05.2017

Чуяшенко Елена Васильевна, аспирант, СибГМУ, г. Томск.

Завадовская Вера Дмитриевна, д-р мед. наук, профессор, зав. кафедрой лучевой диагностики и лучевой терапии, СибГМУ, г. Томск.

Агеева Татьяна Сергеевна, д-р мед. наук, профессор, зав. кафедрой госпитальной терапии, СибГМУ, г. Томск.

Просекина Наталия Михайловна, канд. мед. наук, врач-высшей категории ультразвуковой диагностики, СибГМУ, г. Томск.

Перова Татьяна Борисовна, канд. мед. наук, доцент кафедры лучевой диагностики и лучевой терапии, СибГМУ, г. Томск.

(✉) Чуяшенко Елена Васильевна, e-mail: chuyashenko.lena@mail.ru.

УДК 616.24-002-073.43

DOI 10.20538/1682-0363-2017-2-47-59

For citation: Chuyashenko E.V., Zavadovskaya V.D., Ageeva T.S., Prosekina N.M., Perova T.B. Ultrasound examination of pneumonia-infected lungs. *Bulletin of Siberian Medicine*. 2017; 16 (2): 47–59

## Ultrasound examination of pneumonia-infected lungs

Chuyashenko E.V., Zavadovskaya V.D., Ageeva T.S., Prosekina N.M., Perova T.B.

Siberian State Medical University (SSMU)

2, Moscow Tract, 634050, Tomsk, Russian Federation

### ABSTRACT

In the last few decades the content of diagnostic information provided by ultrasound examination of the chest in a wide spectrum of diseases (pneumonia, peripheral tumors, pleural diseases, pneumothorax) has been widely discussed. The advantages of ultrasound examination (the lack of radiation exposure, image in real time, the distinct visualization of pulmonary subpleural portions and costal diaphragmatic sinuses) provide the possibility to use ultrasound in pediatric practice for frequent monitoring of pneumonia dynamics. The use of ultrasound examination in the diagnostic algorithm in adult patients with pneumonia is not widely used in Russian clinical practice.

The article gives the details about the technique of ultrasound examination of the chest, ultrasound anatomy, the impact of the morphological substrate of the pathological formation on the ultrasound picture, and its localization and length. The review of bibliography data about ultrasound semiotics of pneumonia depending on the type of inflammatory infiltrate (hypo and hyperechoic structure of various shapes, length, artifacts, A-line, -line). The necessity of ultrasound use for monitoring pneumonia in order to assess the therapy efficacy has been proven (this is a very strong statement, I would say it “has been supported”).

It is indicated that the possibility of ultrasound examination depending on morphological forms of inflammation has not been disclosed and there are no data about the comparison of ultrasound, X-ray and computed

tomography. The recommended frequency of the ultrasound monitoring of different inflammatory lung diseases has not yet been determined (this makes it sound like there are no results).

This article indicates that ultrasound examination can take its important place as an option in the diagnosis in patients with inflammatory lung diseases due to the safety and wide availability of this method in combination with the CDK.

**Key words:** ultrasonography, pneumonia, monitoring the dynamics of inflammation, Doppler pulmonary consolidation, hypoechoic portion, artifacts, A-line, B-line.

## REFERENCES

- Lichtenstein D.A. Ultrasound examination of the lungs in the intensive care unit // *Pediatr. Crit. Care Med.* 2009; 10: 693–698.
- Lichtenstein D.A. BLUE-protocol and FALLS-protocol: two applications of lung ultrasound in the critically ill // *Chest.* 2015; 147: 1659–1670.
- Shakhov B.E., Safonov D.V. Diagnosticheskie vozmozhnosti transtorakal'nogo ul'trazvukovogo issledovaniya legkih [Diagnostic capabilities of transthoracic ultrasound examination of the lungs] // *Mezhdunarodnyj zbornik nauchnykh i obrazovatelnykh rabot – International Journal of Experimental Education.* 2008; 3–8 (in Russian).
- Kharnas S.S. Novye tekhnologii v diagnostike i lechenii bol'nyh hirurgicheskimi zabolevaniyami legkih i plevry [New technologies in the diagnosis and treatment of patients with surgical diseases of the lungs and pleura]. M.: Medicina Publ., 2005: 96 (in Russian).
- Repik V.I. Ul'trazvukovoe issledovanie v diagnostike plevral'nogo vypota [Ultrasound in the diagnosis of pleural effusion] // *Ul'trazvukovaya diagnostika – Ultrasound Diagnostics.* 1996; 3: 62 (in Russian).
- Volpicelli G. Lung Sonography // *Ultrasound Med.* 2013; 32: 165–171.
- Volpicelli G. Sonographic diagnosis of pneumothorax // *Intensive Care Med.* 2011; 37: 224–232.
- Trezzi M., Torzillo D., Ceriani E., Costantino G., Caruso S., Damavandi P.T., Genderini A., Cicardi M., Montano N., Cogliati C. Lung ultrasonography for the assessment of rapid extravascular water variation: evidence from hemodialysis patients // *Intern. Emerg. Med.* 2013; 8: 409–415.
- Guyi W., Xiaoying J. Lung ultrasound: a promising tool to monitor ventilator-associated pneumonia in critically ill patients // *Critical Care.* 2016; 13054–016.
- Cortellaro F., Ceriani E., Spinelli M., Campanella C., Bossi I., Coen D., Casazza G., Cogliati C. Lung ultrasound for monitoring cardiogenic pulmonary edema // *Intern. Emerg. Med.* 2016; 1–7.
- 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 (6).
- Lichtenstein D.A. Ultrasound examination of the lungs in the intensive care unit // *Pediatr. Crit. Care Med.* 2009; 10: 693–698.
- Xirouchaki N., Magkanas E., Vaporidi K., Kondili E., Plataki M., Patrianakos A., Akoumianaki E., Georgopoulos D. Lung ultrasound in critically ill patients: comparison with bedside chest radiography // *Intensive Care Med.* 2011; 37: 1488–1493.
- Nazerian P., Vanni S., Volpicelli G., Gigli C., Zanobetti M., Bartolucci M., Ciavattone A., Lamorte A., Veltri A., Fabbri A., Grifoni S. Accuracy of point-of-care multi-organ ultrasonography for the diagnosis of pulmonary embolism // *Chest.* 2013.
- Alzahrani S.A., Al-Salamah M.A., Al-Madani W.H., Elbarbary M.A. Systematic review and meta-analysis for the use of ultrasound versus radiology in diagnosing of pneumonia // *Crit Ultrasound J.* 2017; 9 (1): 6.
- Unluer E., Karagoz A., Senturk G., Karaman M., Olow K., Bayata S. Bedside lung ultrasonography for diagnosis of pneumonia // *Hong Kong Am. J. Emerg. Med.* 2013; 20 (2): 98.
- Goran R. Lung ultrasound in the diagnosis of pediatric pneumonia // *Acta Academica.* 2016; 82–83.
- Hu Q.J., Shen Y.C., Jia L.Q., Guo S.J., Long H.Y., Pang C.S., Yang T., Wen F.Q. Diagnostic performance of lung ultrasound in the diagnosis of pneumonia: a bivariate meta-analysis // *Int. J. Clin. Exp. Med.* 2014; 7 (1): 115–121.
- Safonov D.V., Dianova T.I., Rodionov V.A., Gerasimova L.A. Rentgen-ul'trazvukovye sopostavleniya i dinamicheskij ehkhograficheskij kontrol' pri pnevmonii u detej [X-ray ultrasound comparison and dynamic echographic control for pneumonia in children] // *Politematicheskij setevoj ehlektronnyj nauchnyj zbornik Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta – Polytechnical Network Electronic Scientific Journal of the Kuban State Agrarian University.* 2014; 1591–1605 (in Russian).
- Shah V.P., Tunik M.G., Tsung J.W. Prospective evaluation of point-of-care ultrasonography for the diagnosis of pneumonia in children and young adults // *JAMA Pediatr.* 2013; 167: 119–125.
- Copetti R., Cattarossi L. Ultrasound diagnosis of pneumonia in children // *Radiol. Med.* 2008; 113: 190–198.
- Yilmaz H.L., Wzkaya A.K., Sari Gwkay S., Tolu Kendir W., Genol H. Point-of-care lung ultrasound in children with community acquired pneumonia // *Am. J. Emerg. Med.* 2017; 0735-6757(17)30085-2.
- Boursiani C., Tsolia M., Koumanidou C., Malagari A., Vakaki M., Karapostolakis G., Mazioti A., Alexopoulou E.

- Lung ultrasound as first-line examination for the diagnosis of community-acquired pneumonia in children // *Pediatr. Emerg. Care*. 2017; 33 (1): 62–66.
24. Caiulo V.A., Gargani L., Caiulo S., Fiscaro A., Moramarco F., Latini G., Picano E., Mele G. Lung ultrasound characteristics of community-acquired pneumonia in hospitalized children // *Pediatr. Pulmonol.* 2013; 48 (3): 280–287.
  25. Parlamento S., Copetti R. Evaluation of lung ultrasound for the diagnosis of pneumonia in the ED // *Am. J. Emerg. Med.* 2009; 27: 379–384.
  26. 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.* 2012; 29: 19–23.
  27. Smargiassi A., Inchingolo R., Soldati G. et al. // *Multidiscip. Respir. Med.* 2013; 8 (1): 55.
  28. Cardinale L., Ardisson F., Garetto I., Marci V., Volpicelli G., Solitro F., Fava C. Imaging of benign solitary fibrous tumor of the pleura: a pictorial essay // *Rare Tumors*. 2010; 2: e1.
  29. Gargani L., Frassi F., Soldati G., Tesorio P., Gheorghide M., Picano E. Ultrasound lung comets for the differential diagnosis of acute cardiogenic dyspnoea: a comparison with natriuretic peptides // *Heart Fail.* 2008; 10: 70.
  30. Interrigi M.C., Trovato F.M., Catalano D., Trovato G.M. Emergency thoracic ultrasound and clinical risk management // *Ther. Clin. Risk Manag.* 2017; 13: 151–160.
  31. Dianova T.I., Safonov D.V. Ul'trazvukovoj monitoring i vozrastnye ehkhograficheskie osobennosti vnebol'nichnyh pnevmonij u detej [Ultrasonic monitoring and age-related echographic features of community-acquired pneumonia in children] // *Sovremennye tekhnologii v medicine – Modern Technologies in Medicine*. 2015; 7 (2): 113–119 (in Russian).
  32. Gargani L., Picano E., Caramella D., Abramo A., Giunta F., Forfori F., Baldi G., D'Errico L. Lung water assessment by lung ultrasonography in intensive care: a pilot study // *Intensive Care Med.* 2013; 39: 74–84.
  33. Miglioranza M.H., Gargani L., Sant'anna R.T., Rover M.M., Martins V.M., Mantovani A., Weber C., Moraes M.A., Feldman C.J., Kalil RAK., Sicari R., Picano E., Leiria T.L. Lung ultrasound for the evaluation of pulmonary congestion in outpatients: a comparison with clinical assessment, natriuretic peptides, and echocardiography // *JACC Cardiovasc. Imaging*. 2013.
  34. Ol'khova E.B., Khaspekov D.V., Buvaeva G.S. Diagnosticheskaya cennost' ul'trazvukovogo issledovaniya legkih i plevral'nyh polostej pri neotlozhnyh sostoyaniyah u detej [Diagnostic value of ultrasound examination of the lungs and pleural cavities in urgent conditions in children] // *Medicinskaya vizualizaciya – Medical Visualization*. 2004; 4: 95–101 (in Russian).
  35. Gwrg C., Seifart U., Konrad Gwrg G.Z. Color doppler sonographic mapping of pulmonary lesions // *Ultrasound Med.* 2013; 22: 1033–1039.
  36. Lichtenstein D., Lascols N., Prin S., Meziure G. The “lung pulse”: an early ultrasound sign of complete atelectasis // *Intensive Care Med.* 2003; 29: 2187–2192.
  37. Kazakevich V.I., Safonov D.V. Metodologicheskie aspekty ul'trazvukovogo issledovaniya pri opuholevoj patologii legkih [Methodological aspects of ultrasound investigation in tumor pathology of the lungs] // *Rossijskij onkologicheskij zbornik – Russian Cancer Journal*. 2011; 5: 52–57 (in Russian).
  38. Long L., Zhao H.T., Zhang Z.Y., Wang G.Y., Zhao H.L. Lung ultrasound for the diagnosis of pneumonia in adults: A meta-analysis // *Medicine (Baltimore)*. 2017; 96 (3): e5713.
  39. Reissig A., Copetti R., Mathis G., Mempel C., Schuler A., Zechner P., Aliberti S., Neumann R., Kroegel C., Hoyer H. Lung ultrasound in the diagnosis and follow-up of community-acquired pneumonia: a prospective, multicenter, diagnostic accuracy study // *Chest*. 2012; 142 (4): 965–972.
  40. Mongodi S., Via G., Girard M., Rouquette I., Misset B., Braschi A., Mojoli F., Bouhemad B. Lung ultrasound for early diagnosis of ventilator-associated pneumonia // *Chest*. 2016; 149 (4): 969–980.
  41. Chavez M.A., Shams N., Ellington L.E., Naithani N., Gilman R.H., Steinhoff M.C., Santosham M., Black R.E., Price C., Gross M., Checkley W. Lung ultrasound for the diagnosis of pneumonia in adults: a systematic review and meta-analysis // *Respir. Res.* 2014; 15: 50.
  42. Noble V.E., Murray A.F., Capp R., Sylvia-Reardon M.H., Steele DJ.R., Liteplo A. Ultrasound assessment for extravascular lung water in patients undergoing hemodialysis. Time course for resolution // *Chest*. 2009; 135: 1433–1439.
  43. Gargani L., Volpicelli G. How I do it: lung ultrasound // *Cardiovasc. Ultrasound*. 2014; 4 (12): 25.
  44. Jambrik Z., Monti S., Coppola V. et al. Usefulness of ultrasound lung comets as a nonradiologic sign of extravascular lung water // *Am. J. Cardiol.* 2004; 10: 1265–1270.
  45. Soldati G., Copetti R., Sher S. Sonographic interstitial syndrome: the sound of lung water // *Ultrasound Med.* 2009; 28: 163–174.
  46. Bedetti G., Gargani L., Corbisiero A. et al. Evaluation of ultrasound lung comets by hand-held echocardiography // *Cardiovasc. Ultrasound*. 2006; 4: 34.
  47. Agricola E., Bove T., Oppizzi M. et al. Ultrasound comet-tail images: a marker of pulmonary edema. A comparative study with wedge pressure and extravascular lung water // *Chest*. 2005; 127(5): 11690–11695.
  48. Alekhin M.N. Ul'trazvukovoe issledovanie legkih dlya diagnostiki vnesosudistoj zhidkosti [Ultrasonic lung examination for the diagnosis of extravascular fluid] // *Kreativnaya kardiologiya – Creative Cardiology*. 2015; 1: 27–37 (in Russian).
  49. Reissig A., Kroegel C. Transthoracic sonography of diffuse parenchymal lung disease: the role of comet tail artifacts // *Ultrasound Med.* 2003; 22: 173–180.
  50. Michael Blaivas Lung Ultrasound in Evaluation of Pneumonia // *Ultrasound in Medicine*. 2012; 6: 823–826.

51. Zabylina E. V., Perevoshchikov N.K., Smirnova A.A. Ul'trazvukovaya biolokaciya: ot promyshlennyh celej do pul'monologii [Ultrasonic dowsing: from industrial purposes to pulmonology] // *Mat' i ditya – Mother and Child in Kuzbass*. 2009; 1: 3–8 (in Russian).
52. Safonov D.V., Shakhov B.E. Ul'trazvukovaya diagnostika vospalitel'nyh zabojevanij legkih [Ultrasonic Diagnosis of Inflammatory Lung Diseases]. M: Vidar-M Publ., 2011: 120 (in Russian).
53. Vignon P., Chastagner C., Berkane V., Chardac E., Francois B., Normand S., Bonnivard M., Clavel M., Pichon N., Preux P-M., Maubon A., Gastinne H. Quantitative assessment of pleural effusion in critically ill patients by means of ultrasonography // *Crit. Care Med*. 2005; 33: 1757–1763.

Received March 20.2017

Accepted May 10.2017

**Chuyashenko Elena V.**, Postgraduate Student, SSMU, Tomsk, Russian Federation.

**Zavadovskaya Vera D.**, DM, Professor, Head of the Department of Radiation Diagnostics and Radiation Therapy, SSMU, Tomsk, Russian Federation.

**Ageeva Tatyana S.**, DM, Professor, Head of the Department of Hospital Therapy, SSMU, Tomsk, Russian Federation.

**Prosekina Nataliya M.**, PhD, Higher Doctor of Ultrasound Diagnosis, SSMU, Tomsk, Russian Federation.

**Perova Tatyana B.**, PhD, Associate Professor, Department of the Radiation Diagnostics and Radiation Therapy, SSMU, Tomsk, Russian Federation.

(✉) **Chuyashenko Elena V.**, e-mail: chuyashenko.lena@mail.ru.