

Возможности ультразвукового исследования в комплексной диагностике заболеваний легких в неонатальном периоде

И.Е.Колтунов¹, М.В.Дегтярева², А.П.Мазаев¹,
О.Ф.Выхристюк^{1,2}, А.В.Горбунов^{1,2},
А.В.Ерохина¹

¹Морозовская детская городская
клиническая больница, Москва
²РНИМУ им. Н.И.Пирогова, Москва

В обзоре литературы показаны возможности ультразвукового исследования в диагностике таких заболеваний легких, как пневмония, ателектаз, пневмоторакс, отек легких. Описана методика УЗИ легких, преимущества и ограничения данного метода визуализации.

Ключевые слова: ультразвуковое исследование легких, новорожденные дети, пневмония, пневмоторакс, отек легких, гидроторакс, ателектаз.

The Possibilities of Ultrasound Imaging in Complex Diagnostics of Neonatal Lung Diseases

I.E.Koltunov¹, M.V.Degtyareva², A.P.Mazaev¹,
O.F.Vykhristyuk^{1,2}, A.V.Gorbunov^{1,2},
A.V.Erokhina¹

¹Morozov Children's City Clinical Hospital,
Moscow, Russia
²Pirogov Russian National Research Medical
University, Moscow, Russia

The purpose of the literature review is to update the knowledge on lung ultrasound related to the most common respiratory diseases, such as pneumonia, atelectasis, pneumothorax, and pulmonary edema. This paper describes the technique of lung ultrasound examination, the normal ultrasound appearance of the lung, advantages and limitations of the method.

Keywords: lung ultrasound, neonate, pneumonia, pneumothorax, pulmonary edema, hydrothorax, atelectasis.

Для диагностики заболеваний органов грудной клетки и особенно легких ультразвуковой метод исследования (УЗИ) использовался крайне редко, так как воздух и костные структуры традиционно считались помехой для прохождения ультразвуковой

волны, поскольку ультразвуковая волна не проходит через воздух и отражается от границы раздела сред, и при сканировании воздушного легкого не видна структура органа, а вместо нее видны специфические артефакты. Однако недавние исследования [1–7] показали, что эти артефакты также несут информацию о состоянии легких.

После того как УЗИ стали использовать для определения наличия выпота в плевральной полости, его роль в визуализации легких существенно возросла. Улучшение качества датчиков сделало УЗИ важным инструментом для определения структурных изменений легких, плевры и средостения, существенно дополняющим рентгенографию. Очаги уплотнения легочной ткани, тесно прилежащие к линии плевры, прекрасно визуализируются при эхографии [8, 10, 12, 14, 18, 21, 24, 26, 28, 30, 32, 34, 36, 43, 44, 46, 52].

У ультразвукового метода имеются важные преимущества, которые побуждают более внимательно изучать его возможности в диагностике заболеваний легких:

1. Это метод диагностики, лишенный ионизирующего излучения, что является его важным достоинством, особенно в неонатологии.
2. Широкое распространение УЗ-сканеров делает его очень доступным.
3. Возможно проведение исследования у постели больного при минимальном изменении положения тела.
4. Врач УЗИ получает результаты сканирования в режиме реального времени и может определять не только структурные изменения органов, но и оценивать динамически изменяющиеся параметры, например, интенсивность экскурсии грудной клетки и ее симметричность.

Однако метод УЗИ обладает рядом особенностей, которые ограничивают и затрудняют его использование:

1. Диагностика заболеваний легких строится не только на анализе структурных изменений, но и на анализе артефактов, что является непривычным.
2. Невозможность визуализации участков уплотнения паренхимы легкого, не прилежащих к линии плевры.
3. С помощью УЗИ затруднительно получить целостное представление о состоянии легких, поэтому данный метод всегда является дополнительным к рентгенографии грудной клетки.
4. УЗИ – это метод исследования, при котором точность диагностики (визуализации и интерпретации выявленных изменений) значительно зависит от опыта и квалификации специалиста.

УЗИ легких может использоваться в качестве ценного дополнения рентгенологического метода. По сравнению с рентгенографией УЗИ позволяет получить принципиально иное изображение патологического процесса, основанное на другом физическом явлении – сканировании области исследования ультразвуковыми волнами с последующей обработкой отраженных эхосигналов и формированием на экране двухмерной картины объектов с разным акустическим сопротивлением в пределах серой шкалы. Для повышения эффективности лучевой диагностики важно не противопоставлять эти два метода друг другу, а оптимально сочетать их между собой.

Важным этапом в совершенствовании ультразвукового метода исследования легких стал 2012 г., когда Международный объединенный комитет по изучению УЗИ легких составил рекомендации, основанные на доказательной медицине. В составлении

Определение уровней доказательности			
Уровень	Баллы	Качество	Объяснение
A	≥4	Высокое	Очень маловероятно, что дальнейшие исследования поменяют представление об эффективности или точности метода
B	3	Среднее	Дальнейшие исследования могут внести изменения в наши представления об эффективности и точности метода
C	≤2	Низкое	Крайне вероятно, что дальнейшие исследования внесут важный вклад в наше понимание об эффективности и точности метода. Любая оценка эффективности и точности очень низкая

Рис. 1. Ультразвуковая методика исследования легких: предпочтительно преимущественно продольное расположение линейного датчика



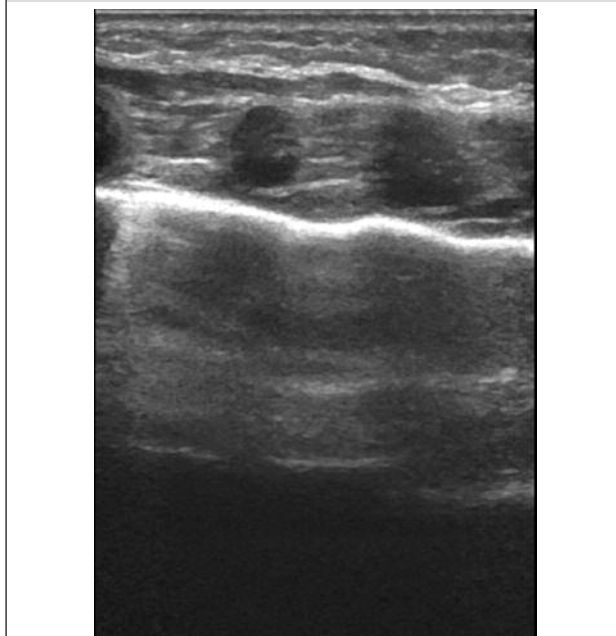
этих рекомендаций участвовали более 30 специалистов из США, Италии, Канады, Австрии, Франции и Германии. В этих рекомендациях убедительно показано, что УЗИ при сравнении с рентгенографией обладает большей чувствительностью в диагностике пневмоторакса, отека легких, очагов уплотнения легочной ткани и выпота в плевральной полости [38].

Методика УЗИ легких. Для диагностики заболеваний легких у новорожденных детей достаточно использования базового прибора с датчиком частотой 7–15 мГц, возможно использование как микроконвексного, так и линейного датчиков, однако предпочтительно использовать высокочастотный линейный датчик, т.к. он обладает большим пространственным разрешением, а его размер позволяет при расположении датчика перпендикулярно ребрам одновременно визуализировать как верхние, так и нижние поля легких недоношенного новорожденного ребенка (рис. 1). В отделении реанимации исследование проводится при положении пациента на спине, на боку или на животе.

Для стандартизации методики необходимо использование единого протокола исследования в одном учреждении. В настоящее время в разных лечебных учреждениях используют различные протоколы проведения УЗИ легких. Так, основоположник этого метода, D.A.Lichtenstein, предлагает в условиях отделения реанимации, когда важна быстрота диагностики, сканировать каждое легкое только в 4 стандартных точках [6, 7]. Большое количество научных работ этого ученого убедительно доказывает высокие диагностические возможности быстрого алгоритма сканирования легких для исключения пневмоторакса, отека легких, выпота в плевральную полость и пневмонии [9, 20, 37, 41, 45].

Методика D.A.Lichtenstein заключается в следующем: если две кисти больного поместить на переднюю стенку грудной клетки ниже ключицы, то нижний палец нижней руки будет располагаться на уровне нижней границы легкого – диафрагмальной линии. Верхняя точка сканирования расположена

Рис. 2. Ультразвуковая картина поверхностного отдела легких в норме

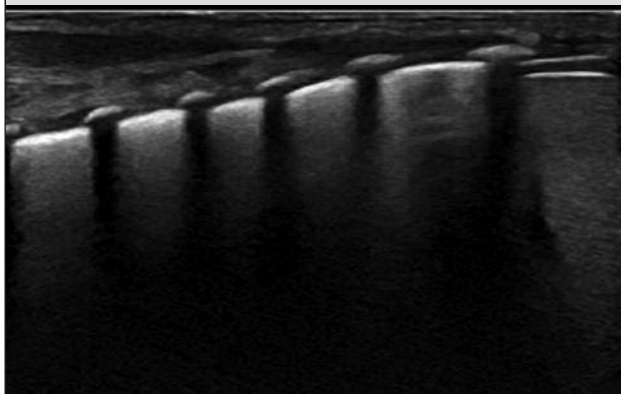


между безымянным и средним пальцем верхней руки, на уровне пястно-фалангового сочленения. Нижняя точка сканирования располагается на уровне середины ладони нижней руки. Диафрагмальная точка располагается на пересечении диафрагмальной линии и средней подмышечной линии. Задняя точка является продолжением нижней точки назад до задней подмышечной линии, или, если это возможно, еще более дорзально. Такое расположение задней точки позволит обследовать больший объем задних отделов нижней доли легкого. При отсутствии патологических изменений в задней точке желательно повторить сканирование, опустившись ниже на одно или два межреберья. Автор настаивает на преимущественно продольном расположении датчика (по ходу ребер).

При использовании такой методики D.A.Lichtenstein определил, что сканирование в верхней и нижней точках позволяет диагностировать пневмоторакс и интерстициальные изменения. При сканировании в задней точке в большинстве случаев удается обнаружить выпот в плевральной полости (даже небольшого объема) и 90% пневмоний. Выпот большого объема или обширная пневмония выявляются при сканировании в диафрагмальной точке. Кроме того, при сканировании в диафрагмальной точке можно определить одностороннюю интубацию, парез или иные патологические состояния диафрагмы. Анатомическая локализация точек следующая: в верхней точке происходит сканирование верхней доли, в нижней точке – средней доли или язычковых сегментов, в задней точке – нижней доли.

Наиболее широко употребляемым и более предпочтительным является развернутый алгоритм сканирования легких. При продольном расположении

Рис. 3. УЗИ легких пациента с интерстициальным отеком легких. От линии плевры отходят множественные вертикальные артефакты по типу «хвост кометы» – В-линии



датчика параллельно срединной линии тела производят сканирование по парастернальной, среднеключичной, передней подмышечной, средней подмышечной, задней подмышечной, лопаточной и паравертбральной линиям. Такое сканирование позволяет быстро визуализировать все отделы легких, прилежащие к грудной стенке. Затем датчик располагают вдоль межреберий и производят дополнительное сканирование переднего и заднего отделов грудной клетки. Таким образом осуществляется поиск возможных очагов и основных патологических ультразвуковых признаков. При выявлении очага осуществляется полипозиционное сканирование. Для диагностики выпота в плевральную полость дополнительно используется эпигастральный доступ сканирования.

Нормальная ультразвуковая картина легких

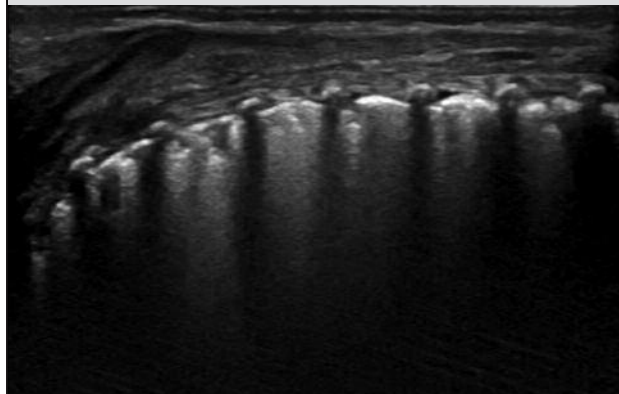
На эхограммах грудной клетки у всех пациентов независимо от возраста непосредственно под кожей располагается гипоэхогенная зона, соответствующая подкожной жировой клетчатке. Под ней прослеживаются наружные и межреберные мышцы. Глубже визуализируются 2 гиперэхогенные полосы толщиной 1–2 мм. Они расположены параллельно грудной стенке и соответствуют линиям висцеральной и париетальной плевры. В норме эти полосы движутся относительно друг друга синхронно с фазами дыхания. Ниже плевральной линии через равные промежутки прослеживаются параллельные ей повторяющиеся линии с аналогичными ультразвуковыми характеристиками – это линии реверберации или А-линии – основной артефакт, говорящий о сохраненной воздушности легочной ткани (рис. 2).

В основанных на доказательной медицине международных рекомендациях по УЗИ легких произведена детальная оценка возможностей УЗИ и с помощью критериев, представленных в таблице, определен уровень доказательности для каждого ультразвукового симптома [38].

Ультразвуковые признаки поражения легких

1. В-линии, или артефакты по типу «хвоста кометы» (B-lines в англоязычной литературе) – это основной признак **интерстициальных изменений легких** (уровень доказательности А). В-линии возникают от плевры, представляют собой хорошо различимые гиперэхогенные линейные структуры, проходящие от плевры без уменьшения эхогенности к нижнему краю экрана. При этом В-линии наслаиваются на А-линии и препятствуют визуализации последних. В норме при продольном расположении датчика в межреберье возможно на-

Рис. 4. УЗИ легких пациента с бронхолегочной дисплазией. Линия плевры прерывистая, под ней выявляются множественные мелкие гипоэхогенные очаги и В-линии



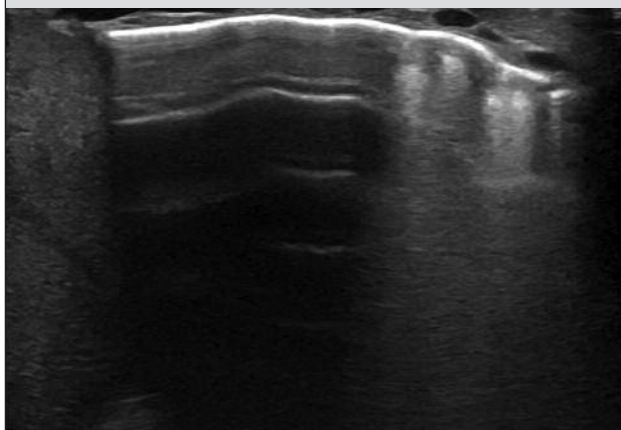
личие 1–2 В-линий в верхних отделах легких и 3–4 В-линий в наддиафрагмальном отделе. При интерстициальном заболевании количество В-линий увеличивается. Чем выраженнее изменения в легких, тем больше В-линий. В настоящее время до конца не объяснена причина возникновения В-линий и не определены анатомические структуры, лежащие в их основе.

К интерстициальным изменениям относятся отек легких, пневмония с интерстициальным типом инфильтрации, респираторный дистресс-синдром (РДС), фиброзные изменения в легких (в том числе при БЛД). Согласно данным литературы, визуализация множественных В-линий в нескольких точках сканирования всегда говорит о наличии интерстициальных изменений [5, 9, 11, 13, 15, 16]. Так, при отеке легких появляются множественные В-линии по всей поверхности легочных полей; они расположены равномерно и, чаще, симметрично с обеих сторон (рис. 3). Появление данных артефактов обусловлено утолщением междольковых перегородок за счет накопления в них жидкости. Количество В-линий напрямую коррелирует с количеством внесосудистой жидкости в легких. При фиброзных изменениях локализация В-линий соответствует локализации фиброзных тяжей, ультразвуковая картина всегда асимметрична, данным изменениям сопутствует утолщение, прерывистость линии плевры и наличие мелких субплевральных гипоэхогенных очагов (уровень доказательности В) (рис. 4). Для респираторного дистресс-синдрома взрослого типа характерны следующие признаки: расположение В-линий негомогенно по всем легочным полям, утолщение и прерывистость линии плевры, наличие очагов консолидации, расположенных по передней поверхности грудной клетки, отсутствие или значительное снижение движения плевры (уровень доказательности В). Рентгенография органов грудной клетки является недостаточно точной методикой в определении отека легких, по некоторым данным, чувствительность составляет 18–45%. Чувствительность УЗИ в диагностике отека легких при сравнении с «золотым стандартом» – компьютерной томографией – составляет 94%, специфичность – 92% [17].

На основании УЗ-данных Rodriguez предлагает следующим образом разделять отек легких на степени тяжести у новорожденных детей [19]:

- норма – полное отсутствие В-линий;
- слабовыраженный отек легких – визуализация менее 3 В-линий в одном межреберье;
- средний отек легких – визуализация от 3 до 7 В-линий в одном межреберье;

Рис. 5. УЗИ легких пациента с пневмотораксом. Над зоной пневмоторакса полностью отсутствуют В-линии. Четко видна точка легкого - граница между зоной с А-линиями, соответствующей пневмотораксу, и зоной с множественными сливающимися между собой В-линиями



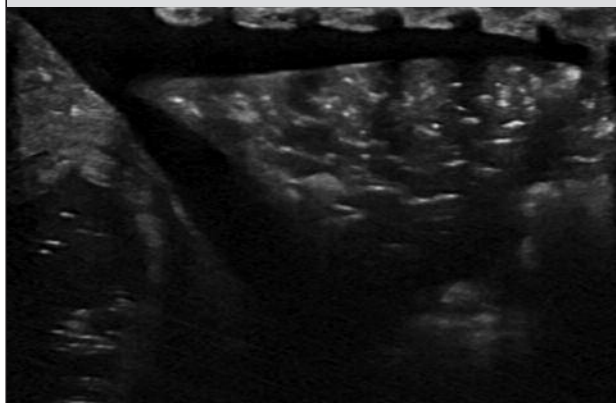
- тяжелый отек легких – сливающиеся между собой В-линии или их количество больше 7 в одном межреберье.

Для пневмонии с интерстициальным типом инфильтрации характерно наличие множественных В-линий в сочетании со сниженной экскурсией грудной клетки, в то время как при отеке легких экскурсия грудной клетки сохранена.

Локальное расположение множественных В-линии не является специфичным признаком и наблюдается при пневмонии, ателектазе, ушибе легкого, патологии плевры и опухолях (уровень доказательности В).

2. УЗИ позволяет с большой точностью диагностировать **пневмоторакс** [3, 20, 22, 23]. Сканирование производят по передней и боковым поверхностям грудной клетки с использованием межреберного доступа. При пневмотораксе воздух скапливается в плевральной полости и, соответственно, исчезает скопление линии плевры относительно грудной стенки. Над зоной пневмоторакса полностью отсутствуют В-линии и передаточная пульсация легкого. При УЗИ выявляется патогномичный признак пневмоторакса, который в англоязычной литературе получил название Lung point – точка легкого (рис. 5). Характеристика этого признака заключается в следующем: при положении датчика над зоной, где частично коллабированное легкое во время вдоха соприкасается с грудной стенкой, на экране визуализируется зона с отсутствующей экскурсией и наличием А-линий и граничащая с ней зона с сохраненной экскурсией и В-линиями. По расположению этой точки можно косвенно судить об объеме пневмоторакса [25]. При обследовании пациентов, находящихся в положении лежа, вначале сканируют медиальные отделы грудной клетки, постепенно продвигаясь к латеральным отделам. По сравнению с рентгенографией УЗИ является более точной методикой в диагностике пневмоторакса; так, чувствительность УЗИ составляет 79% (68–98% по данным разных исследований), а чувствительность рентгенографии составляет 40% (29–50% по данным разных исследований) [56]. Согласно международным рекомендациям, УЗИ легких следует проводить во всех случаях, когда в дифференциально-диагностический ряд входит пневмоторакс. Согласно этим же рекомендациям, УЗИ легких является более точным по сравнению с рентгенографией в супинационной укладке методом, исклю-

Рис. 6. УЗИ легких. Признаки нижнедолевой плевропневмонии: участок консолидации легкого имеет среднюю эхогенность, сопоставимую с эхогенностью паренхимы печени. В структуре консолидата выявляются множественные «воздушные бронхограммы», в реберно-диафрагмальном синусе – накопление анэхогенной жидкости



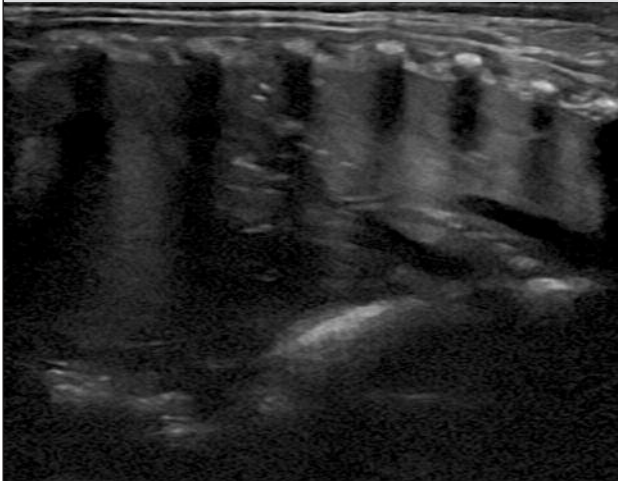
чающим пневмоторакс (уровень доказательности А) и более точным методом, подтверждающим пневмоторакс (уровень доказательности В) [38].

3. Доказана высокая эффективность эхографии в выявлении **плеврального выпота** [27, 29, 31, 33, 35]. На рентгенограмме трудно определить гидроторакс минимального объема, особенно при исследовании в супинационной укладке. При значительном количестве жидкости в плевральной полости бывает трудно дифференцировать гидроторакс с тотальным ателектазом легкого или обширной пневмонической консолидацией. При УЗИ грудной клетки воздушная легочная ткань не препятствует визуализации содержимого плевральной полости, и его можно детально осмотреть из межреберий. Хорошие акустические свойства жидкости и возможность сканирования на всю ее глубину создают отличные условия для изучения эхоструктуры (анэхогенный, мелкодисперсный, изоэхогенный или гиперэхогенный, с наличием крупной взвеси (при пиотораксе), с наличием линейных тяжистых включений (при фибриотораксе)) и пространственной конфигурации плевральных выпотов, а также позволяют оценить состояние легкого, расположенного под слоем жидкости (рис. 6). Для выявления гидроторакса используют эпигастральный и межреберный (на уровне задней подмышечной линии) доступы сканирования.

При положении больного лежа на спине жидкость скапливается по задней поверхности легкого, чем объясняется рациональность использования заднего межреберного доступа (рекомендуется сканирование в продольной плоскости). При этом выпот визуализируется в виде патологического субстрата, часто с горизонтальными верхней и нижней границами – горизонтальные уровни жидкости. Основным динамический признак, выявляемый в М-режиме – это синусоида – движение легкого относительно париетальной плевры. При организации выпота, появлении в нем фиброзных тяжей признак синусоиды исчезает, т.к. исчезает движение легкого относительно плевры. Точность диагностики гидроторакса при ультразвуковом исследовании сопоставима с компьютерной томографией.

4. С помощью УЗИ возможна диагностика **ателектазов**, при этом как компрессионный, так и обструктивный ателектазы имеют особенности УЗ-картины [37, 39, 40, 42]. Компрессионный ателектаз представляет собой форму треугольника с вогну-

Рис. 7. УЗИ легких пациента с тотальным ателектазом легкого: легкое имеет однородную изоэхогенную структуру, воздушные бронхограммы отсутствуют

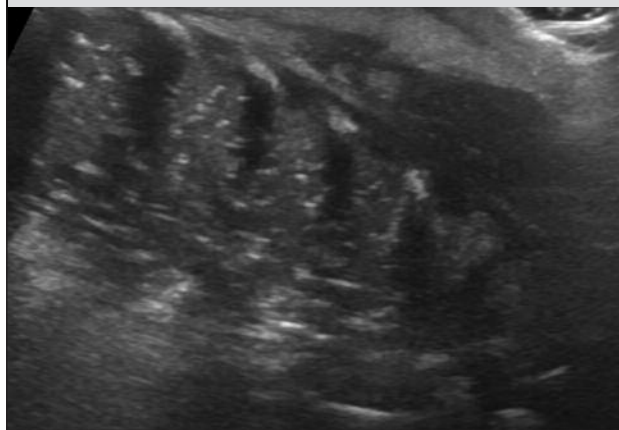


тыми краями, имеет среднюю эхогенность, четкие, ровные контуры, сохраненный сосудистый рисунок, движется в такт с дыханием и сердцебиением, окружен значительным количеством жидкости в плевральной полости. Обструктивный ателектаз (рис. 7) также имеет среднюю эхогенность, однако форма его может быть разнообразной, выпот в плевральную полость отсутствует или имеется в небольшом объеме. Форма ателектазированного участка не изменяется при дыхании и сердцебиении. При обширном ателектазе может быть видна пульсация легкого в такт сердцебиению. Бронхограммы не визуализируются или заполнены жидкостью и представляют собой трубчатые или округлые анэхогенные структуры.

5. Одним из основных показаний для проведения УЗИ легких в неонатологии является диагностика **пневмоний** [43, 44, 46–51]. Ультразвуковая волна хорошо проходит через жидкости и мягкие ткани. При пневмонии альвеолы заполнены патологическим субстратом, межальвеолярные перегородки утолщены, соответственно ткань легкого по плотности приближается к ткани паренхиматозного органа. В том случае, когда очаг консолидации легочной ткани прилежит к плевре (большинство пневмоний, за исключением прикорневых), его можно увидеть с помощью УЗИ. Согласно международным рекомендациям по УЗИ легких, в педиатрии УЗИ легких обладает такой же точностью в диагностике пневмонии, как и рентгенография (уровень доказательности А) [38]. Ультразвуковая картина пневмонии включает следующие признаки (рис. 8):

- Структура очага воспалительной инфильтрации похожа на паренхиматозный орган, например, печень, средней эхогенности, размер очага не изменяется при дыхании. В составе этой ткани часто видны скопления воздуха.
- Верхний край участка консолидации прилежит к линии плевры или располагается под выпотом в плевральную полость, при его наличии, нижний край консолидации, как правило, неровный.
- В структуре консолидации часто прослеживаются точечные или ветвящиеся линейные гиперэхогенные включения – это воздушные бронхограммы, наличие которых говорит о сохраненной бронхиальной проходимости и является благоприятным прогностическим фактором. При наличии инфильтрации возможно определение характера кровотока в пораженном участке легкого. Так, в

Рис. 8. УЗИ легких пациента с долевой пневмонией: в структуре очага воспалительной инфильтрации визуализируются множественные гиперэхогенные точечные и ветвящиеся включения – воздушные бронхограммы. Верхний край очага прилежит к линии плевры, нижний край неровный.



пневмоническом очаге в цветовом доплеровском режиме хорошо визуализируются сосуды, при этом их наличие во всех участках пораженного отдела легкого свидетельствует о благоприятном прогнозе. Возможна диагностика абсцесса, он выглядит в виде гипоэхогенной однородной структуры в составе очага консолидации.

Чувствительность УЗИ в выявлении воспалительной инфильтрации у детей составляет 96%, а специфичность 93% [57].

Кроме того, имеется информация об использовании УЗИ в диагностике респираторного дистресс-синдрома новорожденных, при этом возможности УЗИ сопоставимы с возможностями рентгенографии [52–54]. Точность диагностики транзиторного тахипноэ новорожденных с помощью УЗИ даже превосходит рентгенографию [55]. Ультразвуковая картина транзиторного тахипноэ новорожденных очень специфична, характеризуется наличием множественных В-линий в нижних отделах и их отсутствием в верхних отделах легких, в то время как рентгенографическая картина этого заболевания неспецифична, часто неотличима от отека легких и пневмонии.

Таким образом, УЗИ легких является информативным и безопасным методом диагностики широкого спектра заболеваний дыхательной системы, который может и должен использоваться в качестве дополнения к рентгенологическому методу. Для повышения качества диагностики необходимо не противопоставлять эти методы друг другу, а оптимально сочетать их между собой. Наш опыт работы показал широкие возможности УЗИ в диагностике легочной патологии у новорожденных детей различного гестационного возраста и безопасной оценке динамики патологических изменений. Конечно, эхография не может стать базовым методом исследования легких и заменить рентгенографию. Ограничения данного метода не позволяют во всех случаях поставить точный диагноз и ответить на все диагностические вопросы, однако включение УЗИ в алгоритм обследования новорожденных детей позволит не только повысить качество диагностики, но и значимо снизить уровень лучевой нагрузки на пациентов.

Литература

1. Dietrich C.F. et al. Ultrasound of the Pleurae and Lungs. *Ultrasound in Medicine and Biology*. 2015; 41: 2: 351–365.
2. Gargani L. Lung ultrasound: a new tool for the cardiologist. *Cardio-vasc Ultrasound*. 2011; 9: 6.

3. Gillman L.M., Alkadi A., Kirkpatrick A.W. The "pseudo-lung point" sign: all focal respiratory coupled alternating pleural patterns are not diagnostic of a pneumothorax. *J Trauma*. 2009; 67: 3: 672–673.
4. Gillman L.M., Kirkpatrick A.W. Portable bedside ultrasound: the visual stethoscope of the 21st century. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med*. 2012; 20: 18.
5. Jambrik Z. et al. Usefulness of ultrasound lung comets as a nonradiologic sign of extravascular lung water. *Am. J. Cardiol*. 2004; 93: 10: 1265–1270.
6. Lichtenstein D.A., Mauriat P. Lung Ultrasound in the Critically Ill Neonate. *Curr Pediatr Rev*. 2012; 8: 3: 217–223.
7. Lichtenstein D.A., MeziPre G.A. Relevance of lung ultrasound in the diagnosis of acute respiratory failure: the BLUE protocol. *Chest*. 2008; 134: 1: 117–125.
8. Brian D. C. Chest Sonography in Children: Current Indications, Techniques, and Imaging Findings. *Radiologic Clinics of North America*. 2011; 49: 5: 825–846.
9. Lichtenstein D.A. et al. The Comet-tail Artifact . An Ultrasound Sign of Alveolar-Interstitial Syndrome. *Am. J. Respir. Crit. Care Med*. 1997; 156: 5: 1640–1646.
10. Cattarossi L., Copetti R., Poskurica B. Radiation Exposure Early in Life Can Be Reduced by Lung Ultrasound. *Chest*. 2011; 139: 3: 730–731.
11. Copetti R., Soldati G., Copetti P. Chest sonography: a useful tool to differentiate acute cardiogenic pulmonary edema from acute respiratory distress syndrome. *Cardiovasc Ultrasound*. 2008; 6: 16.
12. Cleveland R.H. A radiologic update on medical diseases of the newborn chest. *Pediatr Radiol*. 1995; 25: 8: 631–637.
13. Soldati G., Copetti R., Sher S. Sonographic interstitial syndrome: the sound of lung water. *J Ultrasound Med*. 2009; 28: 2: 163–174.
14. Coley B.D. Pediatric chest ultrasound. *Radiol. Clin. North Am*. 2005; 43: 2: 405–418.
15. Volpicelli G. et al. Detection of sonographic B-lines in patients with normal lung or radiographic alveolar consolidation. *Med. Sci. Monit*. 2008; 14: 3: CR122–128.
16. Volpicelli G. et al. Usefulness of lung ultrasound in the bedside distinction between pulmonary edema and exacerbation of COPD. *Emerg Radiol*. 2008; 15: 3: 145–151.
17. Al Deeb M. et al. Point-of-care Ultrasonography for the Diagnosis of Acute Cardiogenic Pulmonary Edema in Patients Presenting With Acute Dyspnea: A Systematic Review and Meta-analysis. *Acad Emerg Med*. 2014; 21: 8: 843–852.
18. Lichtenstein D.A. Ultrasound examination of the lungs in the intensive care unit. *Pediatr Crit Care Med*. 2009; 10: 6: 693–698.
19. Rodríguez-Fanjul J. et al. Usefulness of Lung Ultrasound in Neonatal Congenital Heart Disease (LUSNEHD): Lung Ultrasound to Assess Pulmonary Overflow in Neonatal Congenital Heart Disease. *Pediatr Cardiol*. 2016; 37: 8: 1482–1487.
20. Lichtenstein D.A., Menu Y. A bedside ultrasound sign ruling out pneumothorax in the critically ill. *Lung sliding*. *Chest*. 1995; 108: 5: 1345–1348.
21. Дворяковский И.В. Эхография легких у детей. Тезисы XI Съезда педиатров Эстонской ССР. Таллин. 1980; 150–153. / Dvorjakovskij I.V. Jehografija legkih u detej. Tezisy XI S#ezda pediatrov Jestonskoj SSR. Tallin. 1980; 150–153. [in Russian]
22. Blaivas M., Lyon M., Duggal S. A prospective comparison of supine chest radiography and bedside ultrasound for the diagnosis of traumatic pneumothorax. *Acad Emerg Med*. 2005; 12: 9: 844–849.
23. Soldati G. et al. Occult traumatic pneumothorax: diagnostic accuracy of lung ultrasonography in the emergency department. *Chest*. 2008; 133: 1: 204–211.
24. Дворяковский И.В., Яцык Г.В. Ультразвуковая диагностика в неонатологии. М.: Атмосфера, 2009; 168. / Dvorjakovskij I.V., Jacyk G.V. Ul'trazvukovaja diagnostika v neonatologii. M.: Atmosfera, 2009; 168. [in Russian]
25. Volpicelli G. et al. Semi-quantification of pneumothorax volume by lung ultrasound. *Intensive Care Med*. 2014; 40: 10: 1460–1467.
26. Дворяковский И.В., Одинаева Н.Д., Потехина Т.В. Эхография легких у новорожденных детей. Ультразвуковая и функциональная диагностика. 2010; 6: 41–49. / Dvorjakovskij I.V., Oдинаева N.D., Potehina T.V. Jehografija legkih u novorozhdennyh detej. Ul'trazvukovaja i funkcional'naja diagnostika. 2010; 6: 41–49. [in Russian]
27. Quantitative assessment of pleural effusion in critically ill... : Critical Care Medicine [Электронный ресурс]. URL: http://journals.lww.com/ccmjournal/Fulltext/2005/08000/Quantitative_assessment_of_pleural_effusion_in.13.aspx (дата обращения: 12.03.2017).
28. Пыков М.И., Дорофеева Е.И., Миронова А.К., Филиппова Е.А. Возможности ультразвукового исследования в диагностике секвестров легочной ткани у новорожденных. Ультразвуковая и функциональная диагностика. 2012; 5: 79–86. / Pykov M.I., Dorofeeva E.I., Mironova A.K., Filippova E.A. Vozmozhnosti ul'trazvukovogo issledovaniya v diagnostike sekvestrov legochnoj tkani u novorozhdennyh. Ul'trazvukovaja i funkcional'naja diagnostika. 2012; 5: 79–86. [in Russian]
29. Sajadieh H. et al. Ultrasound as an alternative to aspiration for determining the nature of pleural effusion, especially in older people. *Ann. N. Y. Acad. Sci*. 2004; 1019: 585–592.
30. Пыков М.И., Дорофеева Е.И., Миронова А.К., Филиппова Е.А.. Ранняя диагностика кистозных аденоматозидных мальформаций легких у новорожденных детей с использованием ультразвукового метода исследования. Российский вестник перинатологии и педиатрии. 2014; 1. / Pykov M.I., Dorofeeva E.I., Mironova A.K., Filippova E.A.. Rannaja diagnostika kistoznyh adenomatoidnyh mal'formacij legkih u novorozhdennyh detej s ispol'zovaniem ul'trazvukovogo metoda issledovaniya. Rossijskij vestnik perinatologii i pediatrii. 2014; 1. [in Russian]
31. Yang P.C. et al. Value of sonography in determining the nature of pleural effusion: analysis of 320 cases. *American Journal of Roentgenology*. 1992; 159: 1: 29–33.
32. Сафонов Д.В., Шахов Б.Е. Ультразвуковая диагностика воспалительных заболеваний легких. Учебное пособие. М.: ВИДАР, 2011; 120. / Safonov D.V., Shahov B.E. Ul'trazvukovaja diagnostika vospalitel'nyh zabolevanij legkih. Uchebnoe posobie. M.: VIDAR, 2011; 120. [in Russian]
33. Ультразвуковое исследование органов грудной клетки. Ультразвуковая диагностика в неотложной детской практике / под ред. Васильев А.Ю., Ольхова Е.Б. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2010; 88–143. / Ul'trazvukovoe issledovanie organov grudnoj kletki. Ul'trazvukovaja diagnostika v neotlozhnoj detskoj praktike / pod red. Vasil'ev A.Ju., Ol'hova E.B. M.: GJeOTAR-Media, 2010; 88–143. [in Russian]
34. Степанова О.А., Сафина А.И. Ультразвуковая диагностика в отделения реанимации и интенсивной терапии новорожденных. Вестник современной клинической медицины. 2014; 7: 6. / Stepanova O.A., Safina A.I. Ul'trazvukovaja diagnostika v otdelenija reanimacii i intensivnoj terapii novorozhdennyh. Vestnik sovremennoj klinicheskoj mediciny. 2014; 7: 6. [in Russian]
35. Ультразвуковая диагностика в неонатологии / под ред. Под ред. Дворяковского И.В., Яцык Г.В. М.: Атмосфера, 2009; 168. / Ul'trazvukovaja diagnostika v neonatologii / pod red. Pod red. Dvorjakovskogo I.V., Jacyk G.V. M.: Atmosfera, 2009; 168. [in Russian]
36. Шамшурова Е.С., Тухбатуллин М.Г., Валиев Р.В. Ультразвуковой метод исследования в диагностике специфических заболеваний легких и плевры. Российский электронный журнал лучевой диагностики. 2014; 4: 2: 53–54. / Shamshurova E.S., Tuhbatullin M.G., Valiev R.V. Ul'trazvukovoj metod issledovaniya v diagnostike specificheskikh zabolevanij legkih i plevry. Rossijskij jelektronnyj zhurnal luchevoj diagnostiki. 2014; 4: 2: 53–54. [in Russian]
37. Lichtenstein D.A. et al. The "lung pulse": an early ultrasound sign of complete atelectasis. *Intensive Care Med*. 2003; 29: 12: 2187–2192.
38. Volpicelli G. et al. International evidence-based recommendations for point-of-care lung ultrasound. *Intensive Care Med*. 2012; 38: 4: 577–591.
39. Caiulo V.A. et al. Usefulness of lung ultrasound in a newborn with pulmonary atelectasis. *Pediatr Med Chir*. 2011; 33: 5–6: 253–255.
40. Liu J. et al. The Diagnosis of Neonatal Pulmonary Atelectasis Using Lung Ultrasound. *Chest*. 2014.
41. Lichtenstein D. et al. Comparative diagnostic performances of auscultation, chest radiography, and lung ultrasonography in acute respiratory distress syndrome. *Anesthesiology*. 2004; 100: 1: 9–15.

42. Lichtenstein D.A. Whole-body ultrasound in the ICU. A visual approach to the critically ill. *Bull. Acad. Natl. Med.* 2007; 191: 3: 495–516; discussion 516–517.
43. Iuri D., De Candia A., Bazzocchi M. Evaluation of the lung in children with suspected pneumonia: usefulness of ultrasonography. *Radiol Med.* 2009; 114: 2: 321–330.
44. Богин Ю.И., Шутина Е.С., Богданов А.В. Ультразвуковая диагностика пневмоний. *Клиническая медицина.* 1970; 6: 123–128. / Bogin Ju.I., Shutina E.S., Bogdanov A.V. Ul'trazvukovaja diagnostika pnevmonij. *Klinicheskaja medicina.* 1970; 6: 123–128. [in Russian]
45. Lichtenstein D. Fluid administration limited by lung sonography: the place of lung ultrasound in assessment of acute circulatory failure (the FALLS-protocol). *Expert Rev Respir Med.* 2012; 6: 2: 155–162.
46. Дворяковский И.В., Абдрахманов К.Б. Эхография легких при острой пневмонии у детей. *Вопросы охраны материнства и детства.* 1987; 5: 30–33. / Dvorjakovskij I.V., Abdrahmanov K.B. Jehografija legkih pri ostroj pnevmonii u detej. *Voprosy ohrany materinstva i detstva.* 1987; 5: 30–33. [in Russian]
47. Caiulo V.A. и др. Lung ultrasound characteristics of community-acquired pneumonia in hospitalized children. *Pediatr. Pulmonol.* 2012.
48. Copetti R., Cattarossi L. Ultrasound diagnosis of pneumonia in children. *Radiol Med.* 2008; 113: 2: 190–198.
49. Parlamento S., Copetti R., Di Bartolomeo S. Evaluation of lung ultrasound for the diagnosis of pneumonia in the ED. *Am J Emerg Med.* 2009; 27: 4: 379–384.
50. 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: 2: 1–7.
51. Сафонов Д.В. и др. Рентген-ультразвуковые сопоставления и динамический эхографический контроль при пневмониях у детей. *Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета.* 2014; 104. / Safonov D.V. i dr. Rentgen-ul'trazvukovye sopostavlenija i dinamicheskij jehograficheskij kontrol' pri pnevmonijah u detej. *Politematicheskij setevoj jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta.* 2014; 104. [in Russian]
52. Copetti R., Cattarossi L. Lung Ultrasound in Newborns, Infants, and Children. *Chest Sonography* / под ред. G. Mathis. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2011; 241–245.
53. Copetti R. и др. Lung ultrasound in respiratory distress syndrome: a useful tool for early diagnosis. *Neonatology.* 2008; 94: 1: 52–59.
54. Federici M. и др. Pulmonary ultrasonography in the follow-up of respiratory distress syndrome on preterm newborns. Reduction of X-ray exposure. *J Ultrasound.* 2011; 14: 2: 78–83.
55. Copetti R., Cattarossi L. The "double lung point": an ultrasound sign diagnostic of transient tachypnea of the newborn. *Neonatology.* 2007; 91: 3: 203–209.
56. Alrajab S. и др. Pleural ultrasonography versus chest radiography for the diagnosis of pneumothorax: review of the literature and meta-analysis. *Critical Care.* 2013; 17: R208.
57. Pereda M.A. и др. Lung ultrasound for the diagnosis of pneumonia in children: a meta-analysis. *Pediatrics.* 2015; 135: 4: 714–722.

Сведения об авторах:

Колтунов Игорь Ефимович – д.м.н., профессор, заслуженный врач РФ, главный врач ГБУЗ «Морозовская детская городская клиническая больница Департамента здравоохранения города Москвы» (ГБУЗ МДГКБ ДЗМ), главный внештатный специалист-педиатр Департамента здравоохранения города Москвы, Москва

Детярева Марина Васильевна – д.м.н., профессор, заведующая кафедрой неонатологии РНИМУ им. Н.И. Пирогова, Москва

Мазаев Александр Павлович – д.м.н., руководитель службы лучевой диагностики ГБУЗ МДГКБ ДЗМ, Москва

Выхристюк Ольга Филипповна – д.м.н., заслуженный врач РФ, профессор кафедры детских болезней РНИМУ им. Н.И. Пирогова, Москва

Горбунов Александр Валерьевич – д.м.н., заведующий отделением экстренной и неотложной лучевой диагностики ГБУЗ МДГКБ ДЗМ, профессор кафедры неонатологии РНИМУ им. Н.И. Пирогова, Москва

Ерохина Анастасия Валерьевна – врач отделения экстренной и неотложной лучевой диагностики ГБУЗ МДГКБ ДЗМ, Москва