

<https://doi.org/10.24835/1607-0771-2020-4-43-77>

# Ультразвуковая диагностика внебольничных пневмоний

Д.В. Сафонов

ФГБОУ ВО «Приволжский исследовательский медицинский университет»  
Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Нижний Новгород

В статье показана технология проведения ультразвукового исследования легких и описана их нормальная эхографическая картина. Представлена эхографическая семиотика пневмоний в зависимости от их патоморфологической основы, в соответствии с которой выделены интерстициальная, очаговая, кортикальная и обширная ультразвуковые формы (типы) воспалительного процесса в легких. Для каждого ультразвукового типа изложена подробная характеристика ультразвуковой картины патологических изменений и рассмотрены вопросы дифференциальной диагностики. Приведена авторская гипотеза, объясняющая возникновение ревербераций типа хвоста кометы (В-линий) при

интерстициальных изменениях в легких. Раскрыты эхографические признаки абсцедирующих пневмоний. Проведены сопоставления с BLUE-протоколом, дана критическая оценка некоторых его положений.

**Ключевые слова:** ультразвуковое исследование легких, внебольничная пневмония, консолидация, интерстициальные изменения, воздушная эхобронхограмма, плевральный выпот.

**Цитирование:** Сафонов Д.В. Ультразвуковая диагностика внебольничных пневмоний. Ультразвуковая и функциональная диагностика. 2020; 4: 43–77. <https://doi.org/10.24835/1607-0771-2020-4-43-77>

Цель лекции – обучение врачей ультразвуковому исследованию легких для диагностики различных эхографических форм пневмонии. В данный момент основным обследуемым контингентом являются пациенты с подозрением на пневмонию при коронавирусной инфекции. Однотипные патоморфологические изменения, происходящие при воспалительном процессе в легком независимо от этиологии возбудителя, позволяют использовать накопленные знания ультразвуковой семиотики для диагностики любых пневмоний, сделав акцент на пневмонии при COVID-19 с учетом новейших литературных данных. Коронавирус-

ная пандемия пройдет, но пневмонии другой этиологии останутся, и знание их эхографической картины понадобится для диагностики и мониторинга. Лекция включает в себя материалы Консенсусного заявления Российской ассоциации специалистов ультразвуковой диагностики в медицине (РАСУДМ) об ультразвуковом исследовании легких в условиях COVID-19 [1, 2] в качестве базового уровня диагностической информации и расширена за счет углубленного изложения ультразвукового изображения пневмоний на основании современного мирового опыта и собственной многолетней клинической практики.

Д.В. Сафонов – д.м.н., профессор, заведующий кафедрой лучевой диагностики ФДПО ФГБОУ ВО «Приволжский исследовательский медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Нижний Новгород. <https://orcid.org/0000-0002-7481-4002>

**Контактная информация:** 603005 г. Нижний Новгород, пл. Минина и Пожарского, д. 10/1, кафедра лучевой диагностики ФДПО ФГБОУ ВО «ПИМУ» Минздрава России. Сафонов Дмитрий Владимирович.  
Тел.: +7 (831) 439-09-43. E-mail: [safonovdv@inbox.ru](mailto:safonovdv@inbox.ru)

## 1. Ультразвуковое оборудование

Проведение ультразвукового исследования легких возможно на любом ультразвуковом аппарате, в том числе переносном. В условиях пандемии COVID-19 обязательно строгое соблюдение всех правил безопасности работы персонала и дезинфекции помещений и оборудования [3]. Предпочтительно использовать конвексный датчик, работающий в стандартном частотном диапазоне, в режиме абдоминального сканирования (за исключением ситуаций, когда программное обеспечение ультразвукового прибора включает специальные режимы для оценки легких), что позволяет получить качественное изображение не только поверхности легкого, но и безвоздушной легочной ткани на всю глубину исследования при выявлении зоны консолидации. Для детальной визуализации поверхности легкого и изменений в субплевральном слое применяется высокочастотный линейный или микроконвексный датчик на программе поверхностных органов, но они имеют ограничение по глубине сканирования. Также возможно использование секторных фазированных датчиков, поскольку ультразвуковое исследование легких может сопровождать ультразвуковое исследование сердца, особенно в условиях реанимации [1, 2]. Изображение будет более контрастным, с меньшим количеством полутонов, но это не мешает визуализировать основные проявления патологических изменений в легком.

## 2. Технология проведения ультразвукового исследования легких

При проведении ультразвукового исследования легких необходимо учитывать ряд факторов, существенно ограничивающих возможности метода в диагностике патологии легких [2].

1. Воздушная легочная ткань между грудной стенкой и патологическим процессом, при этом ее толщина не имеет значения, поскольку полное отражение ультразвуковых волн происходит уже от воздуха в субплевральных альвеолах.

2. Костные структуры (грудина, позвоночник, отчасти костные отделы ребер) при условии, что исключены (1) возможность визуализации патологического процесса за

счет смещения самих костных структур (например, смещение лопатки при отведении плеча вперед, смещение ребер при поднятии руки вверх), (2) возможность смещения объекта исследования относительно костных структур (например, при дыхании) или (3) возможность использования другого доступа для ультразвукового сканирования (например, субкостальный трансабдоминальный доступ).

3. Эмфизема мягких тканей грудной стенки.

4. Пневмоторакс в проекции патологического процесса на грудную стенку.

5. Избыточная толщина и анатомические особенности строения подкожно-жировой клетчатки, влияющие на ее отражающую способность и приводящие к значительному поглощению и рассеиванию ультразвуковых волн и, как следствие, сильному затуханию их в мягких тканях грудной стенки.

Таким образом, визуализация анатомических структур, перекрытых воздухом, невозможна независимо от его расположения в мягких тканях грудной стенки, плевральной полости или субплевральном слое легочной ткани. При этом толщина предлежащего воздушного слоя не имеет значения, важна только его площадь, превышающая размеры объекта исследования. Костная ткань полностью отражает ультразвуковые волны, поэтому ультразвуковое исследование легких выполняется через межреберные промежутки, верхнюю или нижнюю апертуру грудной клетки [4].

В условиях пандемии COVID-19 при увеличении потока больных и значительном ограничении по времени возникла необходимость использования ускоренной методики обследования, но без потери качества и диагностической информации. Для этого было разработано Консенсусное заявление РАСУДМ, в котором рекомендована стандартизированная технология ультразвукового исследования легких в условиях COVID-19 [1, 2], основанная на 14-зонном протоколе G. Soldati et al. [5]. По данным китайских коллег, проводивших ультразвуковое исследование легких у пациентов с COVID-19 по разработанной авторами сокращенной методике, среднее время обследования составило 5–8 мин [6].

Представленная далее технология ультразвукового исследования легких предназначена для применения в обычных условиях без лимита времени. Она разработана нами более 20 лет назад и успешно зарекомендовала себя на практике в условиях специализированного стационара торакальной хирургии [7]. Технология позволяет подробно осмотреть всю реберную поверхность легкого и прилежащие к ней отделы плевры и плевральной полости сзади, сбоку и спереди, частично базальную поверхность правого легкого, а также доступные для визуализации области средостения, в первую очередь передний верхний отдел и кардио-диафрагмальные углы. Междолевые и медиастинальные поверхности легкого не доступны осмотру из-за полного отражения ультразвуковых волн от воздушной реберной поверхности легкого [8].

Ультразвуковое исследование легких выполняется в вертикальном положении пациента (стоя или сидя), начиная со стороны спины на свободном дыхании, при необходимости – с задержкой на глубоком вдохе или выдохе. Дыхательную подвижность объекта оценивают, прослеживая его положение относительно близлежащего ребра или его акустической тени при нескольких глубоких вдохах. Лежачих больных, если их состояние позволяет, предпочтительно исследовать в положении сидя, посадив в кровати с помощью персонала и обеспечив свободный доступ к спине. Исследование в горизонтальном положении проводится при невозможности осмотра сидя: передние и боковые отделы – в положении лежа на спине, поднимая руку пациента за голову при осмотре сбоку, задние отделы – повернув пациента на бок. При положении пациента исключительно на спине оценку задних отделов легкого и плевральной полости производят с боковой поверхности грудной стенки, сместив датчик максимально дорсально и направляя плоскость сканирования к позвоночнику [9].

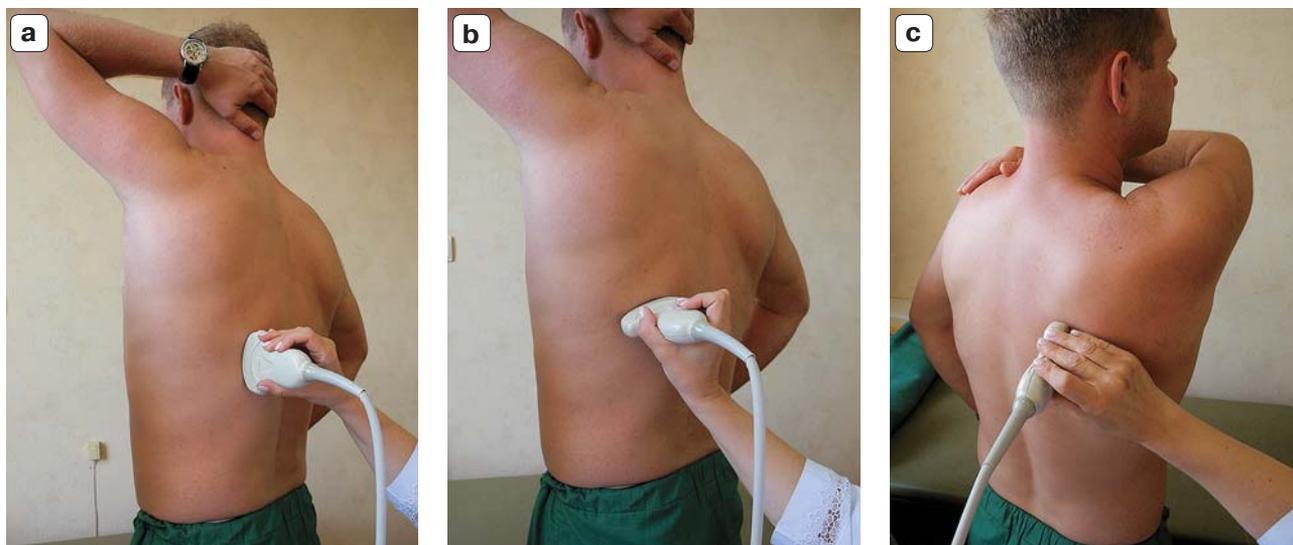
Технология ультразвукового исследования легких принципиально одинакова независимо от положения пациента. Осмотр производится из межреберий с установкой датчика в продольной плоскости сканирования (перпендикулярно к межреберному промежутку, поперек него) или поперечной (параллельно межреберному промежутку,

вдоль него). В дальнейшем во избежание путаницы с определением положения датчика будем употреблять упрощенные термины “поперек межреберья” и “вдоль межреберья”. Продольными ориентирами для описания положения датчика служат стандартные анатомо-топографические линии тела, поперечными – межреберья или условные линии, проведенные горизонтально на уровне хорошо определяемых анатомических структур, например, реберного угла, нижнего края или ости лопатки, линии между подмышечными впадинами.

Исследование начинают со сканирования поперек X межреберья сзади по паравертебральной линии, что в данной плоскости соответствует нижней границе легкого. Руку пациент кладет за голову, при этом межреберные промежутки несколько расширяются (рис. 1а). На экране между акустическими тенями от ребер позади внутренней поверхности межреберных мышц находят гиперэхогенную линию поверхности легкого, так называемую плевральную линию. Нижний край этой линии соответствует нижней границе легкого. При дыхании оценивают его подвижность при свободном и глубоком дыхании. Осматривают задний реберно-диафрагмальный синус, который занимает пространство между внутренней поверхностью грудной стенки и мышечной частью диафрагмы, куда смещается нижний край легкого на вдохе. Физиологическое количество жидкости не визуализируется, поэтому в норме там не должно быть анэхогенного содержимого.

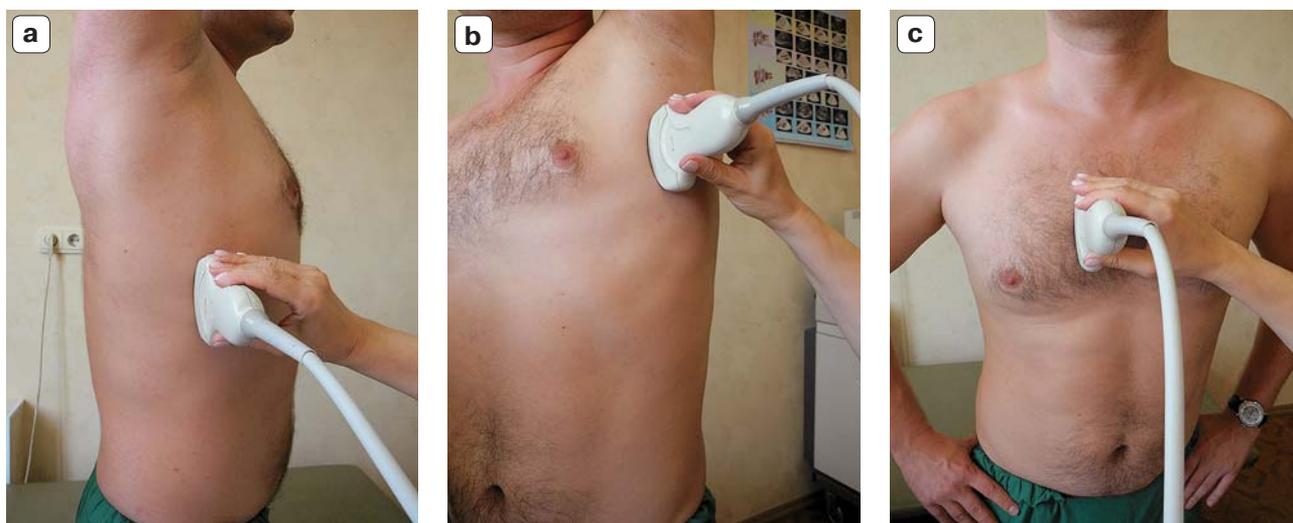
Затем, установив датчик на межреберный промежуток выше, плавно перемещают его латерально до задней подмышечной линии, при необходимости поворачивая вдоль межреберья, что увеличивает зону визуализации, так как тени от ребер не попадают в плоскость сканирования и не мешают осмотру (рис. 1б). Последовательно переставляя датчик по межреберьям снизу вверх, подобным образом планомерно исследуют нижние отделы задней поверхности легкого. При осмотре верхних и средних отделов пациент кладет руку на противоположное плечо, по возможности максимально отводя лопатку вперед и латерально для увеличения зоны осмотра (рис. 1с).

Мы предпочитаем поперечное положение датчика в качестве основного при движении



**Рис. 1.** Сканирование нижних отделов задней поверхности грудной клетки поперек (а) и вдоль (b) межреберья и верхних отделов задней поверхности с отведением лопатки (с).

**Fig. 1.** Probe positions for lung ultrasound. Posterior basal areas in transverse (a) and longitudinal (b) planes in intercostal space. c – posterior area in longitudinal plane with abducting scapula.



**Рис. 2.** Сканирование боковой поверхности (а) и аксиллярной области (b) с поднятой за голову рукой и передней поверхности грудной клетки (с).

**Fig. 2.** Probe positions for lung ultrasound. Lateral surface (a) and axillary area (b) with hand placed above the head. c – anterior surface of the chest.

по межреберному промежутку, чтобы были видны ограничивающие его акустические тени от ребер, но, если врачу удобнее смотреть вдоль межреберья, то так проводить сканирование тоже возможно. Перемещение датчика производится медленно и сопровождается плавным покачиванием для максимального обзора плевральной полости и поверхности легкого.

После осмотра задней поверхности легкого пациент поворачивается к врачу боком и поднимает руку на голову. Производится межреберное сканирование боковой поверхности от задней подмышечной линии к передней и от нижних отделов к верхним (рис. 2а). В аксиллярной области исследование производится в продольной и поперечной плоскостях сканирования с незна-

чительным движением датчика по коже из-за ограниченности пространства для его перемещения (рис. 2b). Осмотрев одну половину грудной клетки, аналогичным образом исследуют другую.

Заканчивают исследование осмотром передней поверхности легкого, при этом пациент стоит лицом к врачу с опущенными руками (рис. 2c). Датчик перемещается от передней аксиллярной линии к парастернальной и от нижних межреберий к верхним. Лучше сначала обследовать правое легкое, которое занимает большую площадь в проекции на грудную стенку, потом – левое.

При необходимости визуализации базальных отделов правого легкого и плевральной полости применяется субкостальный доступ с использованием в качестве акустического окна печени. Датчик устанавливают спереди субкостально с наклоном оси сканирования вверх и перемещают вдоль всей реберной дуги [9].

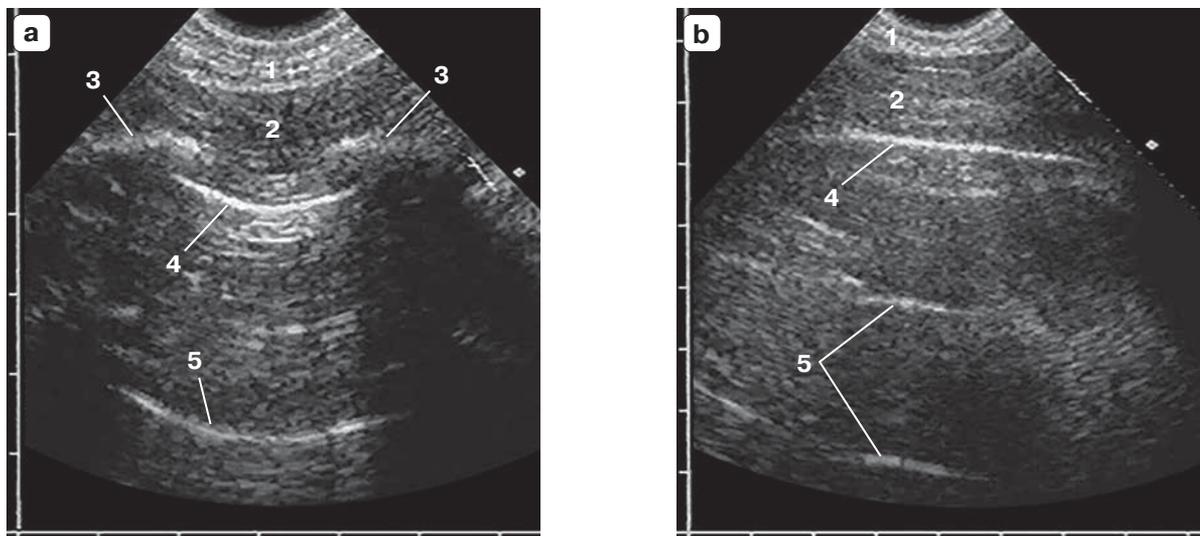
### 3. Нормальная ультразвуковая картина легких

Для всей поверхности грудной клетки, за исключением проекции сердца, характерно одинаковое ультразвуковое изображение структур грудной стенки, плевры и легких. Позади эхогенного слоя подкожно-жировой клетчатки определяется четко отграниченный гипоэхогенный мышечный слой с тонкими линейными сигналами от фасциальных оболочек. Межреберные промежутки представлены типичной структурой межреберных мышц. Для диагностики заболеваний легких детальная эхографическая структура поверхностных тканей не имеет большого значения, поэтому их можно объединить под термином “мягкие ткани грудной стенки” [9].

При сканировании поперек межреберья в глубине мышечного слоя четко определяются костные отделы ребер в виде дугообразных гиперэхогенных сигналов с акустической тенью. Хрящевая часть ребра поперек лоцируется как однородное гипоэхогенное овальное образование, а вдоль – как гипоэхогенная полоса толщиной до 10–15 мм с ровной эхогенной линией надхрящницы по краям и четким переходом в костную часть в месте появления гиперэхогенной линии с акустической тенью.

Вплотную к внутренней поверхности межреберных мышц определяется тонкая, четкая и ровная пристеночная гиперэхогенная линия, подвижная при дыхании. Она возникает при отражении ультразвука на границе с воздухом в субплевральных альвеолах и является ультразвуковым изображением поверхности воздушного легкого [9, 10]. В иностранной литературе пристеночная гиперэхогенная линия называется “плевральной линией” [11, 12]. Однако эхосигнал от тонкой висцеральной плевры, плотно прилежащей к поверхности воздушного легкого, значительно ниже по мощности, чем тотальное отражение ультразвука от воздуха, и не определяется на его фоне, к тому же видимая гиперэхогенная линия по толщине значительно превышает висцеральную плевру [13, 14]. Зная анатомическую основу изображения, в соответствии с международной терминологией мы будем использовать понятие “плевральная линия” для обозначения линейного гиперэхогенного сигнала от поверхности воздушного легкого. При сканировании вдоль межреберья плевральная линия видна на всем протяжении, а при сканировании поперек него перекрывается акустическими тенями от костной части выше и ниже расположенных ребер (рис. 3). В литературе смещение плевральной линии при дыхании называется скольжением легкого [12–14]. Таким образом, используемый нами ранее термин “пристеночная гиперэхогенная линия” и “плевральная линия” являются синонимами для обозначения тотального отражения ультразвуковых волн от воздуха в субплевральных альвеолах.

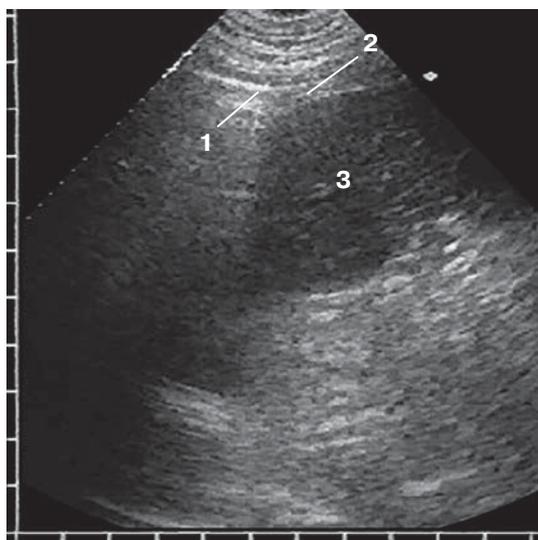
При использовании низкочастотных конвексных датчиков париетальная и висцеральная плевра и щелевидная плевральная полость между ними в норме не дифференцируются отдельно от плевральной линии. О отдельном изображении листков плевры и щелевидной плевральной полости высокочастотными линейными датчиками среди ведущих мировых авторов нет единого мнения. Одни подтверждают возможность их визуализации [11, 15, 16], другие отрицают, приводя в качестве примера анэхогенное пространство толщиной 0,8 мм уже как признак крайне незначительного выпота при тромбозии мелких ветвей легочной артерии [13]. Визуализация париетальной



**Рис. 3.** Нормальное ультразвуковое изображение при сканировании низкочастотным датчиком поперек (a) и вдоль (b) межреберного промежутка: 1 – подкожно-жировая клетчатка, 2 – мышцы, 3 – костные части ребер с акустическими тенями, 4 – плевральная линия, 5 – А-линии.

**Fig. 3.** Normal lung ultrasound images in transverse (a) and longitudinal (b) planes in intercostal space: 1 – subcutaneous fat, 2 – muscles, 3 – ribs with acoustic shadows, 4 – pleural line, 5 – A-lines.

плевры возможна при наличии плеврального выпота как тонкой неподвижной при дыхании эхогенной линии вдоль внутренней поверхности межреберья. Висцеральная плевра видна в виде аналогичной линии по поверхности безвоздушного легкого.



**Рис. 4.** Нижний край левого легкого в фазе выдоха. Окончание плевральной линии (1), область реберно-диафрагмального синуса плевры (2), селезенка (3).

**Fig. 4.** Lower edge of the left lung in exhale. 1 – edge of pleural line, 2 – area of costodiaphragmatic recess, 3 – spleen.

Изображение позади плевральной линии представляет собой сочетание различных артефактов, в первую очередь ревербераций типа повторного эха от поверхности нормального легкого (см. рис. 3). В литературе они называются А-линиями и имеют вид тонких горизонтальных полос, расположенных позади плевральной линии на равном расстоянии одна от другой и убывающих по интенсивности с увеличением расстояния от датчика. Первая А-линия (самая близкая к плевральной линии) определяется на том же расстоянии от плевральной линии, что и кожа от плевральной линии. А-линии возникают из-за многократного переотражения ультразвуковой волны между поверхностями датчика и воздушными легкого и являются важным критерием нормального состояния субплевральных отделов легкого и висцеральной плевры. Визуализация воздушной легочной ткани на глубину невозможна, так как ультразвук диагностических частот распространяется в воздухе на незначительное расстояние.

Окончание плевральной линии в нижних отделах грудной клетки соответствует нижнему краю воздушного легкого (рис. 4). При сканировании поперек межреберья хорошо определяется дыхательная подвижность плевральной линии, особенно заметная на уровне ее нижнего края. На вдохе он

смещается вниз на несколько сантиметров, проникая в реберно-диафрагмальный синус плевры и перекрывая глубже лежащую печень или селезенку подобно закрытию занавеса [13].

По мнению ряда авторов [11, 12], еще одним элементом нормальной эхографической картины легкого считаются единичные В-линии, не более 3 в одном межреберном промежутке. Они представляют собой реверберации типа хвоста кометы, которые отходят непосредственно от плевральной линии в виде вертикально расположенных гиперэхогенных полос и распространяются до конца изображения без затухания, а при дыхании движутся вместе с плевральной линией. По нашему опыту, а также по данным литературных источников [13, 14], в норме В-линии не наблюдаются и должны расцениваться как проявление интерстициальных изменений в легком, учитывая физическую природу их возникновения при утолщении внутриволькового и междолькового интерстиция. Следует помнить, что В-линии – это артефакт, и различные режимы постобработки эхосигналов для улучшения качества изображения могут его подавлять, поэтому для сохранения их визуализации следует использовать только необходимые базовые настройки прибора.

Упомянутые в литературе Z-линии (вертикальные линии, по эхографической картине аналогичные В-линиям, но короткие и не достигающие до первой А-линии [17]) по своему виду и физической сущности являются теми же реверберациями типа хвоста кометы, только меньшей интенсивности, которые нет необходимости выделять в отдельный ультразвуковой критерий. Учитывая физическую основу, их также можно отнести к проявлениям интерстициальных изменений, только менее выраженных. В принципе, такие единичные линии возможно отнести к нормальной возрастной эхографической картине легких у людей старшего возраста.

Независимо от буквенного обозначения в литературе, для понимания источника ревербераций хвоста кометы принципиально важен уровень возникновения (в мягких тканях, непосредственно на плевральной линии или позади нее), поскольку от этого зависит их диагностическая трактовка. Реверберации, возникающие в мягких тка-

нях грудной стенки, появляются после отдельных незначительных включений воздуха при эмфиземе, которые из-за малой площади распространения еще не приводят к картине тотального рассеивания ультразвука. Реверберации, которые появляются на поверхности плевральной линии, могут быть обусловлены минимальными наложениями фибрина на висцеральной плевре в результате перенесенного плеврита. В-линиями называются только те артефакты, которые возникают позади плевральной линии, и именно они являются достоверным ультразвуковым маркером интерстициальных изменений в легком [18].

#### **4. Ультразвуковая диагностика воспалительных изменений в легком**

##### *4.1. Краткие анатомические и патоморфологические основы*

Воспалительные изменения в легком развиваются как в респираторных отделах, так и в интерстициальной ткани. Респираторные отделы осуществляет функцию газообмена и состоят из ацинусов, которые образуют легочную дольку. Она окружена неполными междольковыми соединительнотканскими перегородками и имеет форму полигональной в поперечном сечении пирамиды с основанием к поверхности легкого. Размер дольки в основании от менее 1 до более 2 см [19]. Через вершину в нее входят внутривольковая артерия и терминальная бронхиола, которая ветвится на респираторные бронхиолы, дающие начало легочным ацинусам. Легочные ацинусы также имеют форму пирамид, обращенных основанием наружу. Ацинусы разделены тонкими прослойками соединительной ткани и имеют размеры примерно 6–10 мм, все их структурные элементы участвуют в газообмене [20].

В ацинусе респираторная бронхиола делится на более мелкие респираторные бронхиолы, от которых отходят альвеолярные ходы, переходящие в альвеолярные мешочки – скопления альвеол на дистальном конце альвеолярного хода. Альвеолы также открываются в просвет респираторных бронхиол и альвеолярных ходов. Они представляют собой мешковидные пустоты с тонкими межальвеолярными перегородками, выстланными изнутри однослойным

эпителием с тонким слоем сурфактанта. Перегородки содержат капилляры, заключенные в сеть эластических волокон, окружающих альвеолы и образующих структурный каркас альвеолярной стенки. В межальвеолярных перегородках имеются небольшие отверстия – альвеолярные поры (поры Кона), которые обеспечивают воздухообмен между альвеолами [19].

Интерстиций легкого состоит из соединительной ткани, и в зависимости от расположения в легочной дольке выделяют три его вида: перибронховаскулярный (центральный), периферический (субплевральный и междольковый) и внутривольковый (паренхиматозный, ацинарный) [20]. Центральный интерстиций в виде футляров окружает и поддерживает бронхи, артерии и вены от корня легкого до уровня дыхательных бронхиол. Субплевральный интерстиций расположен под висцеральной плеврой и образует своеобразный соединительнотканый мешок, в который заключена легочная ткань. От него вглубь легкого распространяются относительно толстые волокна соединительной ткани, формирующие междольковые перегородки. Внутривольковый интерстиций представляет собой тонкую сеть эластических волокон в межальвеолярных и межацинарных перегородках. Он поддерживает нормальную форму альвеол для осуществления полноценного газообмена и объединяет центральный и периферический интерстиций в единый соединительнотканый каркас легочной паренхимы [19].

Пневмонии – группа различных по этиологии, патогенезу, морфологической характеристике острых инфекционных (преимущественно бактериальных) заболеваний, характеризующихся очаговым поражением респираторных отделов легких с обязательным наличием внутриальвеолярной экссудации [21]. Наиболее важный с клинической точки зрения принцип предусматривает подразделение пневмонии на внебольничную и нозокомиальную. Внебольничной считают пневмонию, развившуюся вне стационара либо диагностированную в первые 48 ч с момента госпитализации.

Инструментальная диагностика при внебольничной пневмонии включает лучевые методы исследования (рентгенография грудной клетки, компьютерная томография (КТ)

органов грудной полости), пульсоксиметрию, ультразвуковые исследования, фибробронхоскопию, электрокардиографическое исследование. Рентгенологическая картина внебольничной пневмонии определяется типом инфильтрации легочной ткани и стадией воспалительного процесса [21].

Интерстициальный тип инфильтрации (матовое стекло) наблюдается при заполнении воспалительным экссудатом межальвеолярных пространств. При рентгенологическом исследовании характеризуется низкой (малой) интенсивностью тени уплотненного участка [22]. Такие пневмонические инфильтраты обычно определяются как интерстициальные. Экссудации в респираторные отделы нет, субплевральная легочная ткань остается воздушной, поэтому плевральная линия сохраняется на поверхности всей зоны воспаления. Она может быть не изменена или утолщена, но обязательно со множественными реверберациями типа хвоста кометы (В-линии), перекрывающимися реверберации типа повторного эха (А-линии) или приводящими к их полному исчезновению.

Альвеолярный тип инфильтрации (консолидация) при пневмонии наблюдается при заполнении воспалительным экссудатом всех структурных элементов ацинусов: воздухосодержащих альвеол, альвеолярных мешков, альвеолярных ходов и респираторных бронхиол. В результате часть легочной ткани становится безвоздушной – образуется участок консолидации. Отличительной особенностью является средняя интенсивность тени уплотненного участка легкого, тканевая плотность при КТ, а также видимость в зоне уплотнения воздушных просветов бронхов (симптом воздушной бронхографии) [22]. Такой тип изменений определяется как плевропневмония.

Для плевропневмонии характерно наличие прилежащего к висцеральной плевре участка консолидации в пределах одного или нескольких бронхолегочных сегментов, вплоть до доли легкого. Объем безвоздушной зоны зависит от распространенности и выраженности альвеолярной экссудации. Наиболее точно процесс вытеснения воздуха из респираторных отделов легких в результате постепенного накопления в них воспалительного экссудата выражает

термин “инфильтрация легочной ткани” (лат. *infiltratio* – заполнение).

Потеря воздушности создает условия для проникновения ультразвука на всю глубину воспалительного инфильтрата до границы с нормальной легочной тканью. Поэтому принципиальным отличием консолидаций от интерстициальных изменений является отсутствие на их поверхности плевральной линии. Воздушность сохраняют только более крупные субсегментарные и сегментарные бронхи. Они не препятствуют распространению ультразвуковых волн, но вызывают интенсивное отражение от воздуха в просвете с формированием картины воздушной эхобронхограммы (аэробронхограммы).

Очаговый тип инфильтрации отличается неоднородной структурой, состоящей из многочисленных полиморфных центрилобулярных очагов с нечеткими контурами, размером от милиарных (1–2 мм) до крупных (8–10 мм), часто сливающихся друг с другом [22]. В основе данного типа инфильтрации лежит переход воспалительного процесса из мелких внутридольковых бронхов в окружающую их легочную ткань. Такие изменения определяются как бронхопневмония. Если они располагаются в толще легкого и не достигают висцеральной плевры, то не видны при ультразвуковом исследовании. При субплевральной локализации участок бронхопневмонии визуализируется как однородная гипеохогенная зона с четкими контурами, овальной или треугольной формы (с вершиной вглубь легкого), размером до 1 см вдоль поверхности легкого с исчезновением плевральной линии в месте своего существования.

Взяв за основу представленные выше типы инфильтрации легочной ткани с учетом распространения зоны консолидации в легком, мы выделили четыре ультразвуковые формы (паттерна) пневмонии:

- 1) интерстициальная,
- 2) очаговая,
- 3) кортикальная,
- 4) обширная, которую в зависимости от размера и анатомической проекции на грудную стенку можно подразделить на сегментарную и долеую.

Они представляют собой относительно стабильные во времени ультразвуковые проявления патологических изменений с характерной семиотикой и отображают их

изменение в динамике и пространстве легочной ткани. Переход между ними происходит постепенно с сочетанием отдельных признаков, присущих каждой из сменяющих одна другую форм.

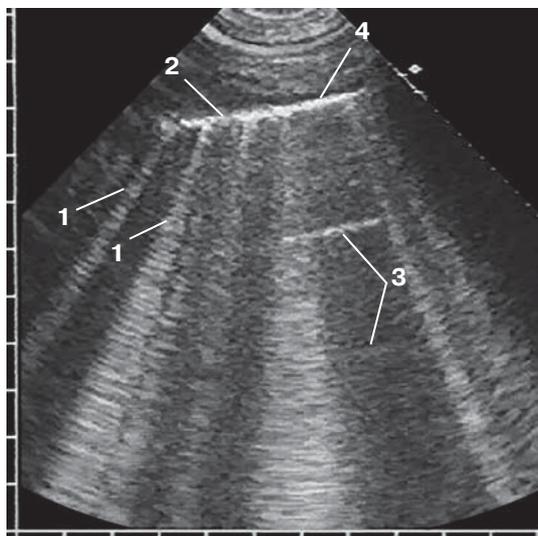
При выявлении в легких ультразвуковых признаков интерстициальных изменений следует помнить, что подобная эхографическая картина характерна не только для пневмонии, но и для других заболеваний и патологических состояний, протекающих с изменениями в легочном интерстиции. Основными патогенетическими причинами их возникновения являются:

- интерстициальная пневмония инфекционной этиологии, в том числе COVID-19;
- кардиогенный отек легкого;
- острый респираторный дистресс-синдром;
- интерстициальные фиброзные изменения в легком;
- интерстициальные изменения при гиповентиляции [9].

В связи с этим ультразвуковое заключение “интерстициальная пневмония” в условиях нормальной эпидемиологической обстановки возможно сделать только при уже доказанном диагнозе “пневмония”. Для обозначения интерстициального поражения легких при других заболеваниях как установленной, так и неустановленной этиологии и при отсутствии доказанного диагноза “пневмония” следует употреблять термин “интерстициальные изменения в легком”, имеющий более широкую патоморфологическую основу. Для определения причины интерстициальных изменений при ультразвуковом исследовании легких необходимо обязательно учитывать клинико-анамнестические данные пациента. Для дальнейшей точной диагностики требуется КТ органов грудной полости.

В условиях пандемии COVID-19 при наличии лабораторного или рентгенологического подтверждения диагноза на первое место выходит подозрение на специфическую пневмонию, что и должен иметь в виду врач ультразвуковой диагностики, несмотря на вероятность ложно-положительного результата [1, 2].

В литературе для определения участка безвоздушной легочной ткани часто используется термин “консолидация”. Это обобщающее понятие, обозначающее различ-



**Рис. 5.** Умеренно выраженные неравномерные интерстициальные изменения. Датчик расположен вдоль межреберного промежутка. Множественные В-линии (1) позади неровной плевральной линии (2), сохранившиеся А-линии (3) позади участка неизменной плевральной линии (4).

**Fig. 5.** Moderate interstitial changes. The longitudinal plane. Multiple B-lines (1) behind the irregular pleural line (2). A-lines (3) behind the area of the unchanged pleural line (4).

ных размеров участок безвоздушной легочной ткани независимо от причины его возникновения, который может быть как однородно безвоздушным, так и с наличием воздушных бронхов и/или сохранивших воздушность мелких участков легочной ткани. Безвоздушность респираторных отделов дает возможность ультразвуковым волнам распространяться на всю глубину зоны консолидации с визуализацией ее эхографической структуры. Использование термина “консолидация” допустимо только в двух вариантах: когда невозможно или нет необходимости определить точную причину потери воздушности или когда из контекста однозначно следует, о какой причине потери воздушности идет речь. В остальных случаях следует использовать соответствующий термин, означающий конкретный патогенез потери воздушности.

Основными причинами консолидации легочной ткани являются [1, 2]:

- воспалительная экссудация с заполнением респираторных отделов;
- обтурационный ателектаз при полной обтурации долевого бронха опухолью;

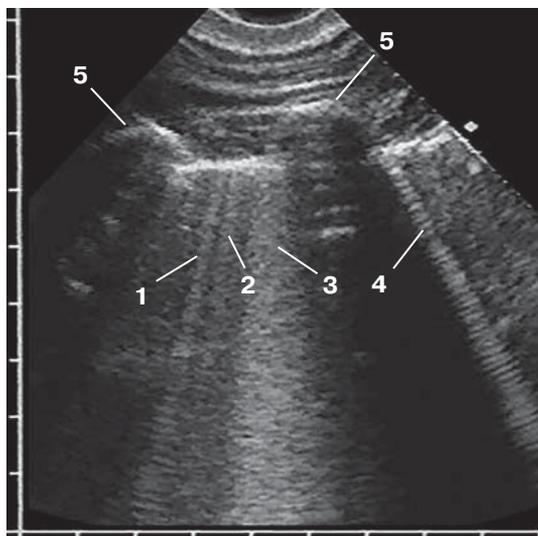
- компрессионный ателектаз при сдавлении массивным плевральным выпотом;
- функциональный ателектаз при отсутствии полноценных дыхательных движений;
- инфаркт легкого при тромбоэмболии мелких ветвей легочной артерии;
- очаговый субплевральный фиброз различного происхождения.

Необходимо отметить, что понятие “консолидация” не является синонимом понятия “инфильтрация”, оно гораздо шире и подразумевает весь спектр патогенетических причин полной потери воздушности, в связи с чем необходимо правильно употреблять эти термины в протоколах ультразвукового исследования. Термин не применим к состоянию гиповентиляции, поскольку при ней происходит только частичное нарушение аэрации определенного объема легкого без формирования безвоздушного участка, что эхографически проявляется в виде синдрома интерстициальных изменений.

Заболевания, протекающие с формированием в легком участка консолидации, мы объединили в синдром безвоздушной легочной ткани. Субплевральные объемные образования различной этиологии (абсцессы, злокачественные и доброкачественные опухоли, туберкуломы, паразитарные кисты, пороки развития и др.) объединены в синдром пристеночного образования [9]. По совокупности ультразвуковых признаков и с учетом клинико-анамнестических данных возможно с высокой степенью вероятности установить патогенетическую причину потери воздушности.

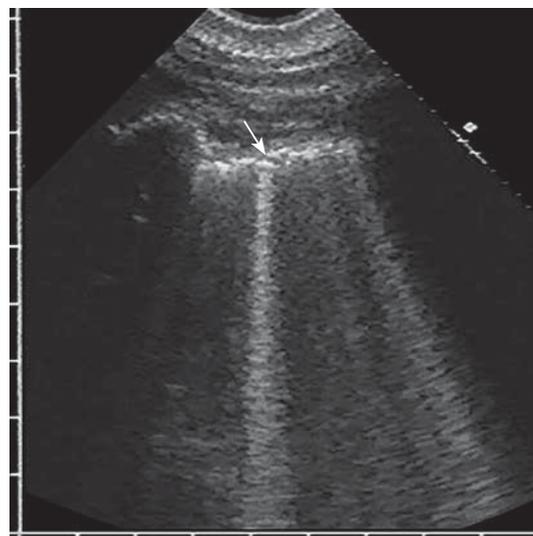
#### 4.2. Ультразвуковая картина интерстициальных изменений в легких

Достоверным ультразвуковым признаком интерстициальных изменений в субплевральном слое легкого является возникновение позади плевральной линии 3 и более В-линий в сочетании с полным или частичным исчезновением А-линий [17, 18, 23], которые могут оставаться на участках с нормальным интерстицием при выраженной неоднородности воспалительного процесса (рис. 5). В таких случаях у одного и того же пациента наблюдаются разные варианты В-линий: множественные узкие, узкие и широкие в различных сочетаниях или широкие сливающиеся вплоть до сплош-



**Рис. 6.** Умеренно выраженные интерстициальные изменения. Датчик расположен поперек межреберного промежутка. Разные варианты В-линий: тонкая на всю глубину экрана (1), тонкая короткая (“Z-линия”) (2), широкая (3), интенсивная “полосатая” с выраженной штриховой структурой (4); костные части ребер с акустическими тенями (5).

**Fig. 6.** Moderate interstitial changes. The transverse plane. Different types of B-lines: thin, reached to the end of the screen (1), thin short (“Z-line”) (2), wide (3), intense “striped” (4). 5 – ribs with acoustic shadows.



**Рис. 7.** Умеренно выраженные интерстициальные изменения. Датчик расположен поперек межреберного промежутка. Утолщение, неровность и прерывистость плевральной линии за счет мелких гипоехогенных включений в ее структуре (стрелка).

**Fig. 7.** Moderate interstitial changes. The transverse plane. Thickening, irregularity, and discontinuity of the pleural line due to small hypoechoic inclusions in it (arrow).

ного эхогенного фона, на котором могут выделяться относительно более или менее эхогенные полосы за счет иной интенсивности артефактов в данном месте (рис. 6). Основной причиной возникновения В-линий считается накопление интерстициальной жидкости в легких [12, 22, 24]. Плевральная линия сохраняется, но ее изображение, как и эхографическая картина В-линий, меняется в зависимости от выраженности интерстициальных изменений. Их ультразвуковыми критериями у плевральной линии являются утолщение, неровность и прерывистость (рис. 7), а у В-линий – количество, сливающийся характер и распространенность вдоль поверхности грудной клетки.

Мы предлагаем следующую гипотезу, объясняющую природу возникновения В-линий вследствие интерстициальных изменений в легком, которая отличается от предложенной D.A. Lichtenstein, G.A. Meziere [17] не по физическому механизму, а по патоморфологическому источнику их возникновения. Известно, что

физической основой В-линий как ревербераций типа хвоста кометы является многократное переотражение ультразвуковых волн в очень мелком объекте с высоким коэффициентом отражения на границах. D.A. Lichtenstein et al. [25] считают, что В-линии возникают на границе между воздушными альвеолами и субплевральными концами патологически утолщенных междольковых перегородок. Там ультразвуковой луч неопределенно долго переотражается, в результате чего возникает артефакт, состоящий из всех этих переотражений, каждое из которых отображается на экране позади предыдущего на расстоянии около 1 мм. В итоге формируются видимые В-линии, расположенные на расстоянии около 7 мм одна от другой, что соответствует расположению междольковых перегородок при КТ у тех же исследованных пациентов [17, 25]. У данной теории существует ряд противоречий и несоответствий, на которых мы не будем здесь останавливаться.

На наш взгляд, процесс переотражения происходит между другими анатомическими структурами. Ультразвуковая волна, проходя через тонкий серозный листок висцеральной плевры с минимальным слоем субплеврального интерстиция, встречается с воздухом в субплевральных альвеолах. Ультразвук диагностических частот не распространяется в воздухе, но все же проникает внутрь воздушной альвеолы на минимальное расстояние, что и формирует мощный отраженный сигнал в виде так называемой плевральной линии. В здоровом легком с нормальными альвеолами и интерстицием, в первую очередь внутридольковым с тончайшими межальвеолярными перегородками, плевральная линия имеет вид тонкой и ровной гиперэхогенной линии с несколькими последующими реверберациями типа повторного эха (А-линии), вызванными переотражением ультразвуковой волны между воздухом в субплевральных альвеолах и поверхностью датчика. Тончайшие межальвеолярные перегородки толщиной 2–8 мкм при нормальных размерах альвеол 120–140 мкм (0,12–0,14 мм [26], 0,20 мм [27]) никак не влияют на отражение ультразвука. Таким образом, здоровое легкое можно сравнить с воздушным шариком в виде единого пространства, заполненного газом.

При интерстициальных изменениях происходит увеличение толщины всех соединительнотканых структур легочной долики с достаточным утолщением, в первую очередь межальвеолярных перегородок, до тех критических значений, при которых они становятся значимым препятствием на пути ультразвуковых волн, проникших вглубь субплевральных альвеол. Ультразвуковая волна отражается не только от поверхностной границы субплевральной соединительной ткани и воздуха в альвеоле, но и от дальней от датчика утолщенной стенки альвеолы. При интерстициальных изменениях утолщение межальвеолярных перегородок сопровождается некоторым уменьшением размера самих альвеол, что позволяет ультразвуковым волнам достигать этой внутренней стенки и, отразившись от нее, опять возвращаться к субплевральной границе. Для наглядности такое легкое можно сравнить с мелкопористой губкой.

В результате ультразвуковая волна многократно переотражается между ними с образованием интенсивных ревербераций типа хвоста кометы в виде тех самых В-линий. Причем интенсивность этих ревербераций не одинакова – одни, яркие гиперэхогенные, достигают дальнего края экрана, другие, менее светлые, проецируются вглубь легкого на меньшую глубину, что связано с различной энергией переотразившейся ультразвуковой волны как следствие разной степени утолщения межальвеолярных перегородок и размера самих альвеол. Поэтому упоминаемые D.A. Lichtenstein et al. [25] Z-линии являются просто менее эхогенным вариантом В-линий (см. рис. 6).

При умеренных интерстициальных изменениях происходит неравномерное утолщение межальвеолярных перегородок на коротких участках, поэтому реверберации в виде узких В-линий возникают только в отдельных местах с достаточной для их возникновения толщиной. При выраженных интерстициальных изменениях утолщение захватывает все альвеолы и в большей степени, поэтому реверберации возникают по всей поверхности легкого и сливаются между собой в единый высокоэхогенный фон так называемого белого легкого.

Утолщение субплеврального интерстиция приводит не только к внутриальвеолярному переотражению ультразвуковых волн, но и к их выраженному рассеиванию от поверхности легкого, что проявляется в визуальном утолщении и нечеткости плевральной линии (см. рис. 7). Неровность и прерывистость ее структуры за счет мелких гипоэхогенных включений можно объяснить отражением ультразвука от скоплений безвоздушных альвеол или утолщенных междольковых перегородок.

В-линии не являются статичным объектом, их изображение постоянно меняется по количеству, интенсивности, ширине и глубине распространения: две тонкие соседние линии могут слиться в одну, опять раздвоиться или совсем исчезнуть. Во-первых, это связано с дыхательной подвижностью легкого, когда в поле зрения попадают разные участки его поверхности с разной степенью выраженности интерстициальных изменений. Во-вторых, даже при задержке дыхания изображение нескольких соседних В-линий непостоянно, поскольку это ревер-

берации типа хвоста кометы и малейшие изменения в размерах или положении отражающих структур (то есть неравномерно утолщенного внутридолькового интерстиция) приводят к видоизменению артефактов.

В литературе предложены различные количественные критерии для оценки выраженности интерстициальных изменений, такие как подсчет числа В-линий с измерением расстояния между ними [9] или процентное соотношение протяженности плевральной линии с В-линиями ко всей длине плевральной линии в одном скане (менее или более 50%) [28]. На наш взгляд, нет необходимости использовать разные абсолютные или относительные количественные показатели В-линий для определения выраженности интерстициальных изменений в легком из-за вариабельности их изображения и высокого субъективизма оценки. Более объективным и воспроизводимым критерием является сам факт множественности этих артефактов и их сливающийся характер в эхографическую картину “белого легкого”.

При оценке интерстициальных изменений и зон консолидации следует помнить, что при ультразвуковом исследовании выявляются только те изменения, которые непосредственно соприкасаются с висцеральной плеврой. В противном случае они экранируются воздушной легочной тканью и не видны эхографически. Поэтому выявленные при КТ изменения по типу “матового стекла” или зоны консолидации, не достигающие поверхности легкого, не визуализируются при ультразвуковом исследовании. В связи с этим необходимо понимать, что клинически состояние пациента невозможно определять только по ультразвуковым проявлениям воспалительного процесса в легких. Эхографическая картина не обязательно должна коррелировать со степенью тяжести пациента, она оценивается комплексно на основании клинко-лабораторных данных и результатов КТ органов грудной полости.

Однако эхографически интерстициальные изменения возможно разделить *по степени выраженности* на умеренные и выраженные, а *по распространенности* – на локальные, распространенные и диффузные. Это необходимо для определения наи-

более вероятной причины их возникновения и динамического наблюдения. Здесь мы намеренно не употребляем понятие “степень тяжести”, заменив его термином “выраженность”, чтобы не ассоциировать с клиническим определением степени тяжести пациента.

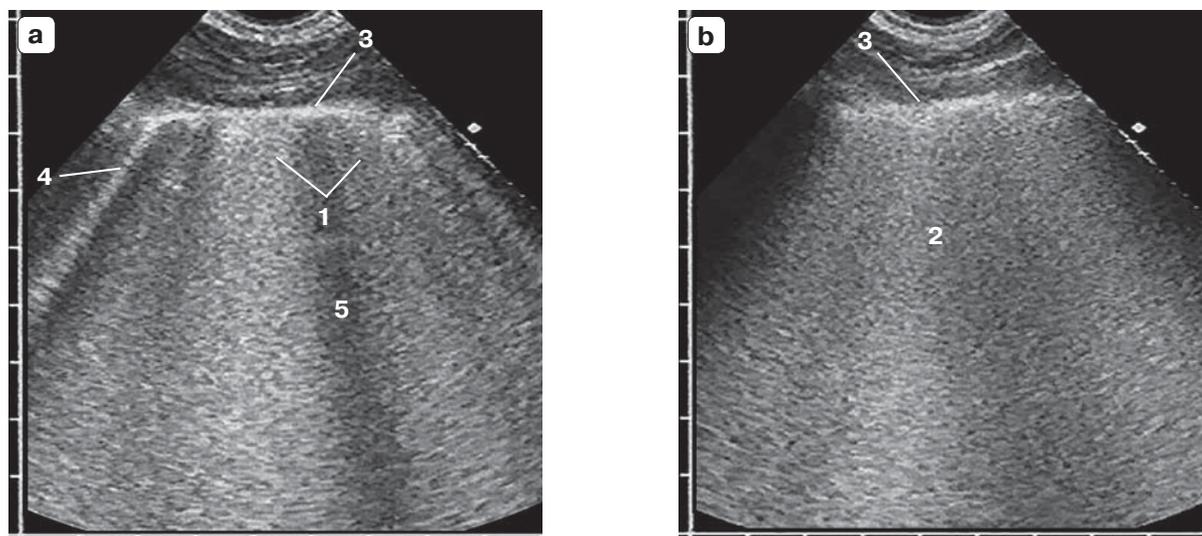
При оценке выраженности воспалительных изменений в легком следует учитывать следующие компоненты ультразвукового изображения:

- распространение и выраженность интерстициальных изменений;
- объем консолидации и выраженность воздушной эхобронхограммы;
- наличие деструкции, ее размер и характер содержимого в полости распада;
- наличие плеврального выпота, его характер, структуру и объем.

*Умеренными* считаются интерстициальные изменения, при которых неизменная или утолщенная неровная плевральная линия сочетается со множественными тонкими В-линиями (см. рис. 5–7). В соответствии с градацией ультразвуковых изменений в легких, предложенной в Консенсусном заявлении РАСУДМ, это градация 1а – умеренные интерстициальные изменения [1, 2].

*Выраженными* считаются интерстициальные изменения, при которых утолщенная неровная плевральная линия сочетается со сливающимися широкими В-линиями вплоть до образования сплошного эхогенного фона за плевральной линией. Подобная эхографическая картина получила название “белое легкое”. Но следует помнить, что это не изображение патологически измененной легочной ткани, а сплошной фон высокоэхогенных ревербераций типа хвоста кометы, в какой-то степени имитирующий легочную паренхиму. Не нужно путать с понятием «белое легкое» при КТ. Эта градация обозначена как 1б – выраженные интерстициальные изменения. Наличие на таком фоне отдельных тонких В-линий или узких относительно гипоехогенных полос не противоречит заключению “белое легкое”, а лишь отображает неравномерность воспалительного процесса в интерстиции (рис. 8).

При оценке распространенности для *локального типа* интерстициальных изменений характерно наличие единичного или нескольких локальных скоплений В-линий



**Рис. 8.** Выраженные интерстициальные изменения в виде сливающихся широких В-линий (а) или сплошного эхогенного фона – “белое легкое” (б). Широкие сливающиеся В-линии (1) или сплошной эхогенный фон (2) позади утолщенной неровной плевральной линии (3), отдельная тонкая В-линия (4) и гипозоногенная полоса (5) как проявление неравномерности воспалительного процесса в интерстиции.

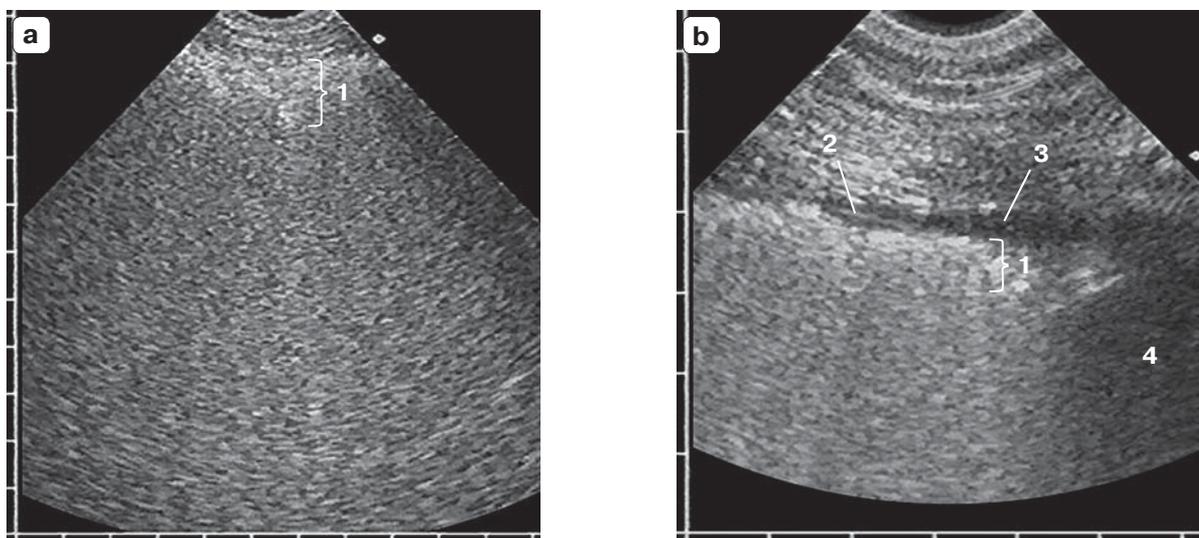
**Fig. 8.** Severe interstitial changes with wide confluent B-lines (a) or the continuous hyperechoic background (white lung) (b). Wide confluent B-lines (1) or the continuous hyperechoic background (2) behind the thickened irregular pleural line (3). One thin B-line (4) and hypoechoic line (5) as a manifestation of the heterogeneity of the inflammatory process in interstitium.

в проекции не более одной доли в одном легком. При *распространенном типе* В-линии определяются в виде локальных скоплений или сплошного распространения в проекции более одной доли в одном легком или в обоих легких, но не более одной доли с каждой стороны. При *диффузном типе* В-линии определяются в виде локальных скоплений или сплошного распространения в обоих легких в проекции более одной доли с каждой стороны или по всем легким.

Ультразвуковое изображение В-линий неспецифично. Ультразвуковое исследование – высокочувствительный метод выявления интерстициальных изменений в легких, но низкоспецифичный при определении причины их появления и неинформативный в оценке степени распространения процесса вглубь легкого [13]. Тем не менее при комплексном анализе эхографической картины легких вместе с простейшей оценкой сократимости левого желудочка и диаметра нижней полой вены с учетом клинико-анамнестических данных возможно достаточно точно определить причину изменений в интерстиции. Задача значительно усложняется при сочетании нескольких патогенетических механизмов их возникновения.

*Интерстициальная пневмония инфекционной этиологии* высоко вероятна, если в легком есть локальные интерстициальные изменения. При этом вероятность пневмонии возрастает с увеличением их выраженности и при распространенном типе с поражением задних или заднебоковых отделов нижних долей, особенно при сочетании с мелкими участками локальной кортикальной консолидации. Такой ультразвуковой вариант заболевания характерен для пневмоний при COVID-19, особенно при клинике воспалительного процесса в легких.

*Кардиогенный отек легких* более вероятен при распространенных умеренных или выраженных интерстициальных изменениях, особенно в сочетании с двусторонним анэхогенным плевральным выпотом различного объема. В соответствии с гравитационным принципом выраженность интерстициальных изменений при преимущественно вертикальном положении пациента уменьшается от нижних легочных полей к верхним, при горизонтальном положении на спине – от задних отделов к передним. Данное заключение подтверждает расширение и отсутствие дыхательного спадения



**Рис. 9.** Переходный вариант от интерстициальной к кортикальной ультразвуковой форме пневмонии (а, б). Значительное расширение плевральной линии (1) с неоднородной структурой и нечеткой границей, тонкая эхогенная линия висцеральной плевры на поверхности минимального участка гипоэхогенной субплевральной консолидации (2), незначительный плевральный выпот в реберно-диафрагмальном плевральном синусе (3), печень (4).

**Fig. 9.** Transient type of pneumonia, from interstitial to cortical ultrasound type (a, b). Significant thickening of the pleural line (1) with a heterogeneous structure and poorly defined border. A thin hyperechoic line of visceral pleura on the surface of the minimal area of hypoechoic subpleural consolidation (2). A minor pleural effusion in the costodiaphragmatic recess (3). 4 – liver.

нижней полой вены в сочетании с кардиологическим анамнезом.

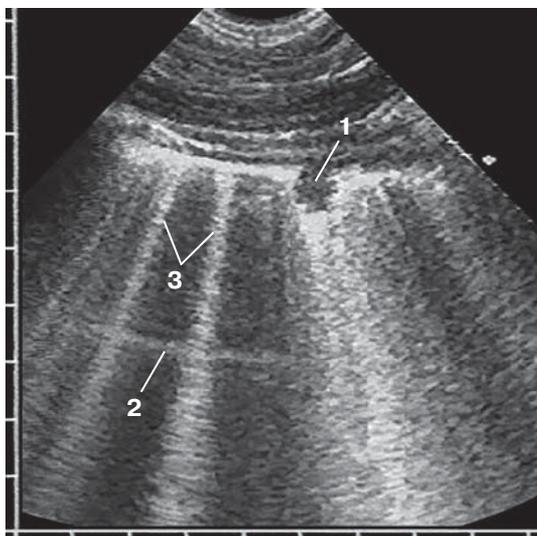
*Интерстициальные фиброзные изменения в легком* вероятны при диффузных интерстициальных изменениях различной степени выраженности, особенно при обширных участках “белого легкого”, без признаков гравитационного влияния на их распределение.

*Интерстициальные изменения при гиповентиляции* чаще являются следствием недостаточной вентиляции респираторных отделов из-за болевого синдрома при переломах ребер или в послеоперационном периоде. В таких случаях анамнез будет главным фактором в определении причины изменений в интерстиции. Сложнее всего дифференцировать гиповентиляцию и интерстициальную пневмонию у лежачих пациентов с тяжелой сопутствующей патологией, когда в легких наблюдаются распространенные интерстициальные изменения различной выраженности в сочетании с мелкими участками кортикальной консолидации. Важно учитывать анамнез и состояние больного, а также симптомы воспалительного процесса в бронхолегочной системе.

Переход от выраженных интерстициальных изменений к начинающейся потере воздушности с формированием зоны консолидации происходит плавно и сопровождается характерными изменениями в эхографической картине, связанными с нарастающей альвеолярной экссудацией. Этот переходный вариант от интерстициальной к кортикальной ультразвуковой форме пневмонии проявляется в значительном расширении плевральной линии и снижении четкости ее границы со сплошным эхогенным фоном “белого легкого”. Граница как бы размывается вплоть до полного исчезновения. Гиперэхогенная плевральная линия превращается в менее эхогенную широкую полосу с диффузно неоднородной структурой за счет крупнозернистых гипоэхогенных включений, которая глубже без четкой границы переходит в сплошные реверберации (рис. 9).

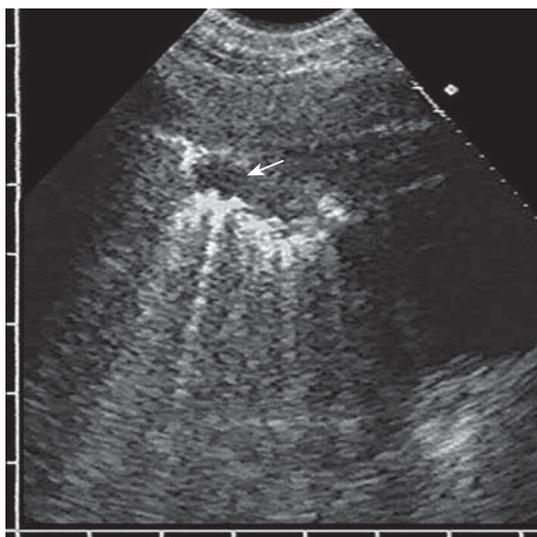
#### 4.3. Ультразвуковая картина очаговой пневмонии

Во многих публикациях, посвященных ультразвуковой диагностике пневмоний при COVID-19 [5, 29–31], приводятся данные о выявлении на фоне интерстициальных



**Рис. 10.** Умеренные интерстициальные изменения с очаговой пневмонией в виде мелкой (до 1 см) гипоэхогенной консолидации округлой формы с четкими неровными контурами (1). А-линия (2), перекрытая В-линиями (3).

**Fig. 10.** Moderate interstitial changes with focal pneumonia as a small (up to 1 cm) round-shaped hypoechoic consolidation with well-defined irregular borders (1). A-line (2) covered by B-lines (3).



**Рис. 11.** Очаговая пневмония (стрелка) протяженностью более 1 см вдоль поверхности легкого.

**Fig. 11.** Focal pneumonia more than 1 cm (arrow).

изменений еще и мелких субплевральных безвоздушных участков по ходу плевральной линии, которые авторы называют по-разному: мелкие консолидации, субплевральные альтерации и др. Мы внимательно

проанализировали представленные изображения и составили их обобщенный ультразвуковой образ, назвав его очаговой ультразвуковой формой пневмонии. Это однородные гипоэхогенные зоны с четкими неровными контурами, овальной или треугольной формы, с вершиной вглубь легкого, не превышающие 1 см вдоль поверхности легкого (рис. 10). В месте визуализации данных зон плевральная линия прерывается и исчезает, а позади них возникают В-линии.

Скорее всего, такие безвоздушные участки представляют собой минимальные зоны альвеолярной экссудации в пределах ацинуса, поэтому их можно расценивать как проявление очагового типа инфильтрации в виде мелких консолидаций на фоне умеренных или выраженных интерстициальных изменений и обязательно отмечать в протоколе как дополнительный ультразвуковой признак, более полно характеризующий воспалительный процесс в легком. Для этого к соответствующей градации интерстициальных изменений прибавляется знак «+», то есть 1a+ и 1b+, что подразумевает возможность увеличения этих мелких инфильтратов при прогрессировании альвеолярной экссудации.

К очаговой форме пневмонии можно отнести и консолидации, превышающие 1 см вдоль поверхности легкого, но также с однородной гипоэхогенной структурой и четкими неровными контурами. Видимо, они представляют собой более крупные субплевральные очаги бронхопневмонии с распространением альвеолярной экссудации на несколько соседних ацинусов (рис. 11). Хотя они имеют однородную гипоэхогенную структуру, но из-за более крупных размеров, как при локальном варианте кортикальной пневмонии, вошли в градацию 2 Консенсусного заявления РАСУДМ (версия 2) [2]. В нем очаговая пневмония не выделена в отдельную градацию, а разделена между градациями 1 и 2 в зависимости от размера зоны консолидации. Это сделано намеренно для облегчения ультразвуковой оценки изменений в легком и экономии времени при исследовании пациентов с COVID-19. В обычных условиях выделение очаговой пневмонии в самостоятельный раздел, особенно в педиатрической практике, обосновано как характерными особенностями эхографической картины,

так и необходимостью единого с врачами-рентгенологами классификационного подхода в визуальной оценке воспалительного процесса в легких.

#### 4.4. Ультразвуковая картина кортикальной пневмонии

Общими ультразвуковыми признаками консолидаций при плевропневмонии независимо от размера и этиологии являются:

- появление позади внутренней границы межреберных мышц гипоэхогенного участка безвоздушной легочной ткани;

- исчезновение плевральной линии по всей поверхности безвоздушного участка;

- неоднородная эхографическая структура за счет гиперэхогенных сигналов, в том числе в виде воздушной эхобронхограммы, от сохранивших воздушность анатомических объектов (bronхи, дольки, ацинусы) на фоне гипоэхогенной мелкозернистой структуры безвоздушных респираторных отделов;

- неровные нечеткие внутрилегочные границы с окружающей воздушной паренхимой в виде гиперэхогенных полиморфных сигналов вокруг безвоздушной зоны, часто с широкими В-линиями, в том числе сливающимися в единую эхогенную зону, как при “белом легком”;

- равномерная сосудистая архитектоника при исследовании в режиме цветового или энергетического доплеровского картирования;

- дыхательная подвижность участков кортикальной консолидации;

- визуализация висцеральной плевры по поверхности зоны консолидации. Во избежание терминологической путаницы с плевральной линией от поверхности воздушного легкого, ее следует называть соответственно анатомической основе, то есть “висцеральная плевра”.

Под кортикальной (плащевой) зоной легкого анатомически понимается субплевральный слой легочной паренхимы толщиной 1,0–1,5 см вглубь от висцеральной плевры (реберной, диафрагмальной, медиастинальной, междолевой). Он состоит только из легочных долек с терминальными и респираторными бронхиолами и не содержит более крупных бронхиальных и сосудистых элементов, что отображается в определенных особенностях ультразвуковой

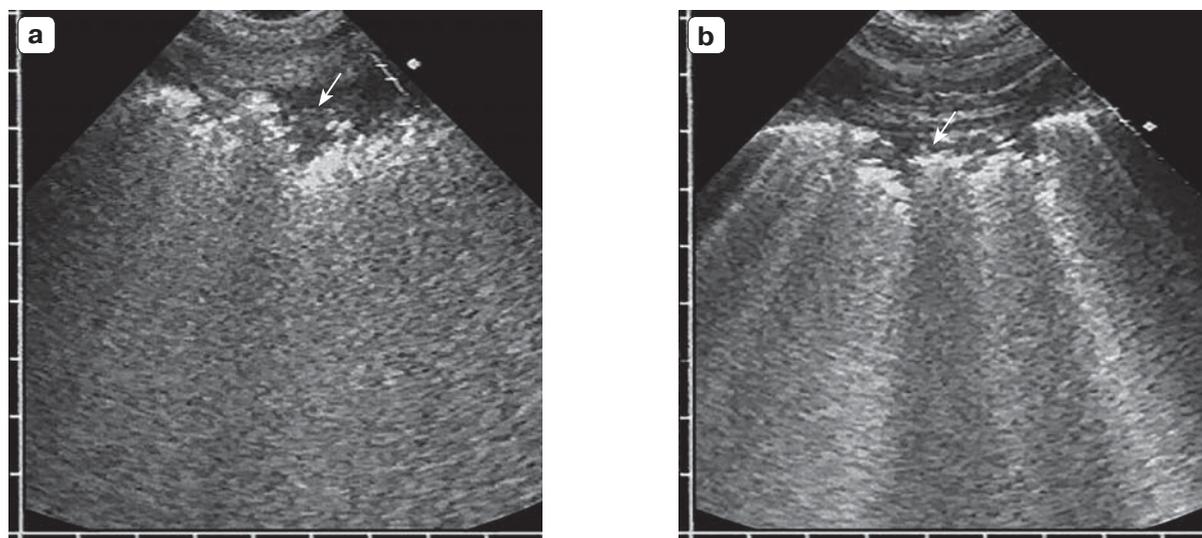
картины таких поверхностных консолидаций. Рентгенологически кортикальная (плащевая) зона представляет собой самый периферический краевой отдел легочных полей, на котором не прослеживается нормальный легочный рисунок.

Выделение этой зоны достаточно условно, но обосновано с позиций ультразвуковой диагностики, поскольку сканирование осуществляется из межреберий и этот субплевральный слой легочной ткани первым встречается на пути ультразвуковых волн. Происходящие в нем изменения находятся непосредственно за грудной стенкой и детальнее визуализируются высокочастотным датчиком. Кроме того, воспалительный процесс может затрагивать только этот периферический слой и не распространяться глубже в легкое, что с учетом особенностей эхографической картины требует его выделения в отдельную ультразвуковую форму.

При кортикальной ультразвуковой форме пневмонии воспалительные изменения локализуются поверхностно, глубже легочная ткань сохраняет воздушность и не доступна визуализации. Альвеолярная экссудация носит неравномерный характер без полного вытеснения воздуха из респираторных отделов, в зоне консолидации остаются сохранившие воздушность мелкие участки. Поэтому основными ультразвуковыми признаками кортикальной пневмонии являются: поверхностное расположение зоны консолидации, размер более 1 см вдоль поверхности легкого при небольшой глубине (до 1,0–1,5 см) и неоднородная эхографическая структура за счет отдельных мелких гиперэхогенных округлых или коротких линейных эхосигналов на гипоэхогенном фоне. В Консенсусном заявлении РАСУДМ [1, 2] она обозначена как градация 2.

В зависимости от протяженности вдоль поверхности легкого, степени однородности эхографической структуры и четкости контуров можно достаточно условно выделить два варианта ультразвукового изображения кортикальной пневмонии, которые мы назвали локальным и распространенным.

При локальном варианте безвоздушный участок имеет небольшой размер и, как правило, полностью убирается в одну плоскость сканирования конвексным датчи-



**Рис. 12.** Локальный вариант кортикальной пневмонии (а, b). Неоднородная зона консолидации (стрелка) с небольшим количеством гиперэхогенных включений и достаточно четкими неровными границами, окруженная выраженными интерстициальными изменениями в виде “белого легкого”.

**Fig. 12.** Local type of cortical pneumonia (a, b). Heterogeneous consolidation (arrow) with a small quantity of hyperechoic inclusions and well-defined irregular borders, surrounded by severe interstitial changes (white lung).

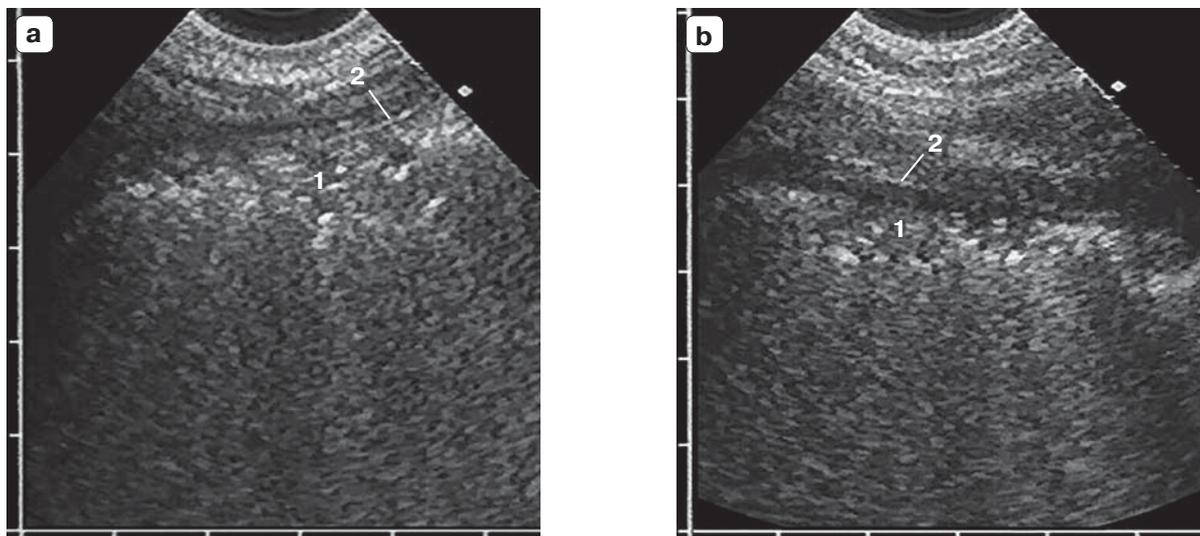
ком вдоль межреберья над центральной частью консолидации. При сканировании поперек межреберья определить протяженность консолидации часто невозможно из-за перекрывания акустическими тенями от ребер, что значительно затрудняет оценку границ и размеров инфильтрата. Эхографическая структура в целом неоднородная, но количество гиперэхогенных включений относительно невелико, а границы достаточно четкие и имеют неровный, местами прерывистый характер (рис. 12). Небольшой размер консолидации позволяет оценить прилежащую воздушную легочную ткань (сбоку от консолидации). При выявлении в ней ультразвуковых признаков выраженных интерстициальных изменений в виде “белого легкого” в протоколе к градации 2 добавляется знак «+», то есть градация 2+.

Это уточнение необходимо, поскольку отображает оба компонента воспаления – альвеолярную экссудацию, которая имеет небольшой объем и не влияет на состояние пациента, но как более тяжелая степень поражения легкого подразумевает возможность прогрессирования, и выраженные интерстициальные изменения, которые на данный момент доминируют в клинической картине.

При распространенном варианте консолидации имеет большие размеры и выходит за пределы одного скана, что хорошо видно при смещении датчика. Эхографическая структура более неоднородная за счет множественных мелких гиперэхогенных включений, диффузно распределенных по всей глубине инфильтрата, что придает ему крупнозернистый “пестрый” вид. Они вызывают сильное рассеивание ультразвука, поэтому внутренняя граница прослеживается нечетко или не определяется (рис. 13).

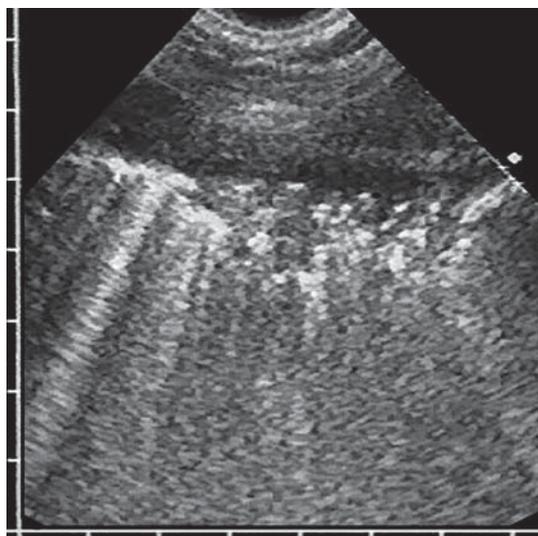
При локальном варианте кортикальной пневмонии выраженность альвеолярной экссудации преобладает над ее распространенностью, в результате получается небольшой и достаточно четко отграниченный участок с большей степенью потери воздушности, чем при распространенном типе. При нем размеры консолидации больше, но альвеолярная экссудация выражена меньше и очень неравномерная, поэтому переход в окружающую воздушную паренхиму прослеживается нечетко. Конечно, существует некий “средний” вариант, сочетающий в себе черты двух представленных изображений (рис. 14).

Размеры кортикальной консолидации оценивают по ее глубине и протяженности вдоль межреберья. Глубина измеряется от



**Рис. 13.** Распространенный вариант кортикальной пневмонии (а, б). Неоднородная зона консолидации (1) с большим количеством гиперэхогенных включений и очень нечеткими границами, неподвижная при дыхании тонкая эхогенная линия париетальной плевры (2).

**Fig. 13.** Diffuse type of cortical pneumonia (a, b). Heterogeneous consolidation (1) with a large number of hyperechoic inclusions and poorly defined boundaries. 2 – breath-immobile thin hyperechoic line of parietal pleura.



**Рис. 14.** Небольшой участок кортикальной пневмонии с выраженной неоднородностью эхографической структуры.

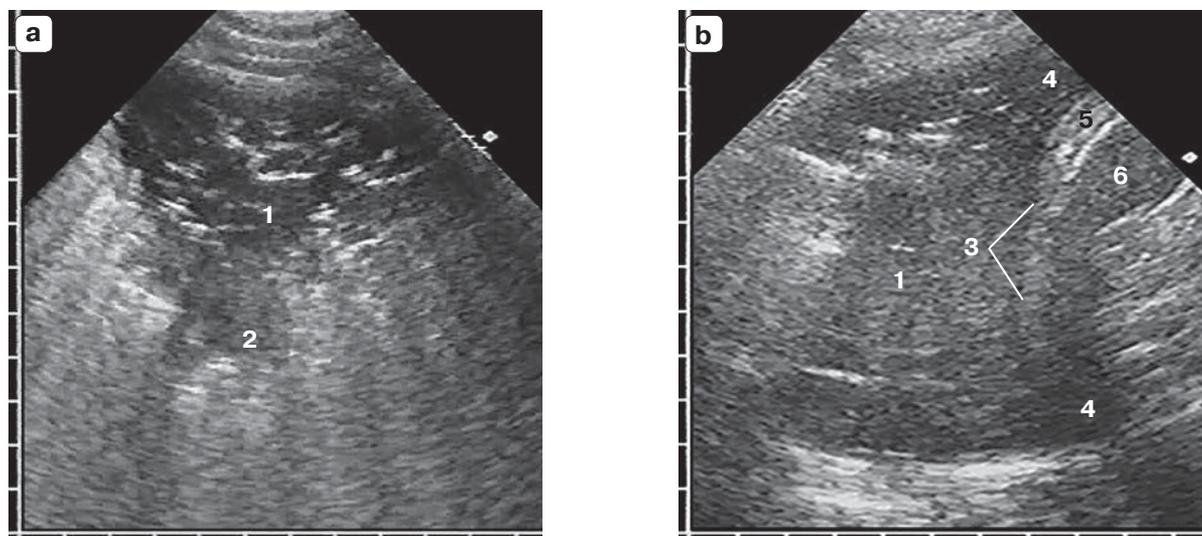
**Fig. 14.** Small area of cortical pneumonia with significant heterogeneity.

поверхности легкого до наиболее удаленной точки на границе гипозоногенной безвоздушной зоны с гиперэхогенной воздушной паренхимой. При локальном варианте консолидации протяженность вдоль межреберья измеряется между наиболее четкими краями гиперэхогенной плевральной ли-

нии на границе с консолидацией. При распространенном варианте воспроизводимость измерения значительно ниже вследствие нечеткости самих границ и субъективности их измерения при смещении датчика вдоль межреберного промежутка. Дополнительно можно указать, сколько межреберий консолидация занимает в вертикальном распространении по поверхности грудной стенки. Эти критерии в большинстве случаев позволяют правильно оценить размеры участка кортикальной пневмонии.

#### 4.5. Ультразвуковая картина обширной пневмонии

Ультразвуковая семиотика сегментарной и долевого пневмонии как проявление обширной воспалительной консолидации во многом схожа, поэтому здесь оба варианта изложены в одном разделе, а в Консенсусном заявлении РАСУДМ [1, 2] объединены в одну градацию 3. Различие только в размере, форме и выраженности воздушной эхобронхограммы. Локализация и объем безвоздушного участка определяются по его проекции на поверхность грудной клетки, но деление легких на сегменты и доли при ультразвуковом исследовании достаточно условно, поскольку никаких визуальных границ между ними не суще-



**Рис. 15.** Формы воспалительного инфильтрата (1). Сегментарный (а) с вершиной вглубь легкого (2). Долевой (b) с вогнутой диафрагмальной поверхностью (3) и остроконечными нижними краями (4). 5 – диафрагма, 6 – селезенка.

**Fig. 15.** Inflammatory infiltration (1). Segmental (a) with the apex into the lung (2). Lobar (b) with concave diaphragm surface (3) and sharp pointed lower edges (4). 5 – diaphragm, 6 – spleen.

ствуует. Мы не видим тех анатомических ориентиров долевого и сегментарного строения легкого, которые видны при КТ, а просто используем рентгенологическую топографию для определения пораженного отдела. Естественно, на нее влияют разные факторы: конституция и положение пациента, изменение объема легочной ткани, уровень диафрагмы и др.

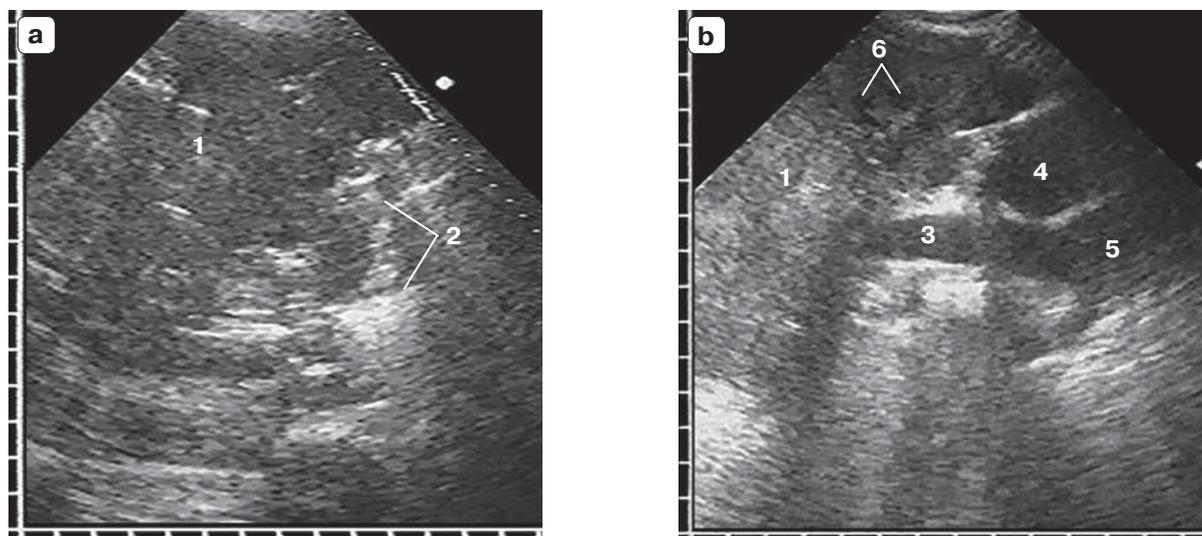
При обширной пневмонии размеры консолидации значительно больше, чем при кортикальной, – от сегмента до доли легкого. Правила измерения аналогичны: если сегментарный инфильтрат убирается в один скан вдоль межреберья, то производится измерение не только глубины, но и протяженности вдоль поверхности легкого. При долевой пневмонии точно определить протяженность безвоздушной зоны затруднительно, поэтому измеряется только ее глубина. Кроме количественных критериев необходимо оценивать и качественные, отображающие тяжесть воспалительной экссудации по выраженности воздушной эхобронхограммы или зоны деструкции.

Зона консолидации сохраняет свою анатомическую форму независимо от причины потери воздушности, поэтому данный критерий не имеет диагностического значения. Для сегментарной пневмонии характерна близкая к треугольной форма с вершиной

вглубь легкого и основанием к его поверхности (рис. 15а). При консолидации заднего и латерального сегментов пирамиды нижней доли вершиной может служить направленный вниз нижний край легкого, а у язычковых – его медиальный край. Форма полисегментарного и долевого инфильтрата при сканировании вдоль межреберья неправильно овальная или трапециевидная со сглаженными углами. При нижнедолевой пневмонии в продольной плоскости сканирования хорошо видны остроконечные нижние края и вогнутая диафрагмальная поверхность (рис. 15b).

Участок консолидации заканчивается на различной глубине в толще легкого, но даже при массивной долевой пневмонии прикорневые отделы остаются воздушными и не позволяют визуализировать сосуды корня (рис. 16). Это важный критерий дифференциальной диагностики верхнедолевой пневмонии и обтурационного ателектаза, при котором через безвоздушную паренхиму хорошо видна легочная артерия и ее ветви.

Контуры инфильтрата в толще доли неровные, местами нечеткие, “рваные”, поскольку не связаны с разграничительными анатомическими структурами. Граница с соседней воздушной долей по ходу междолевой плевры четкая и ровная, причем сама



**Рис. 16.** Обширная консолидация верхней доли правого легкого (1) при пневмонии (а) с сохранением воздушности легочной ткани в прикорневой зоне (2) и при обтурационном ателектазе (б) с визуализацией правой легочной артерии (3) и восходящей аорты (4). Также визуализируются легочный ствол (5) и мелкие участки деструкции (6).

**Fig. 16.** Extensive consolidation of the right upper lobe (1) in pneumonia (a) with air in the lung tissue near the lung root area (2) and in obstructive atelectasis (b) with imaging of the right pulmonary artery (3) and ascending aorta (4). 5 – pulmonary trunk, 6 – small destruction areas.

плевра не видна на фоне гиперэхогенного сигнала от воздуха в здоровой доле, как и висцеральная плевра на костальной поверхности легкого (рис. 17).

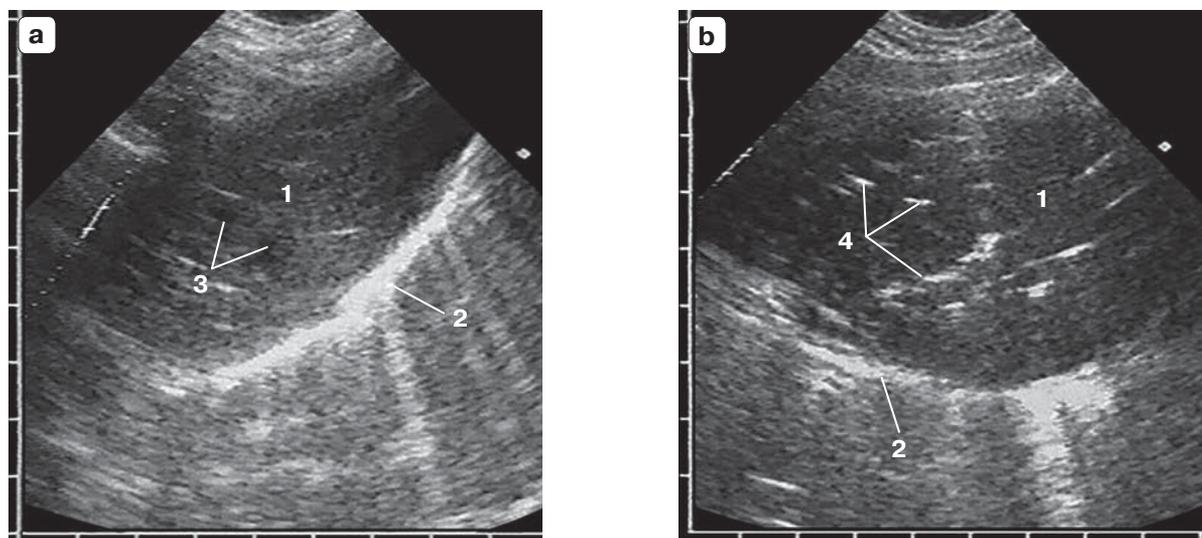
Основным признаком обширной пневмонии является неоднородная структура с воздушной эхобронхограммой. Она возникает при отражении ультразвука от воздуха в бронхах и представляет собой линейные гиперэхогенные сигналы различной длины, радиально расходящиеся к периферии и ветвящиеся под острым углом (рис. 18). На большом протяжении они видны, если попадают в плоскость сканирования продольно, а в косых срезах они определяются как более короткие отрезки. Чтобы лучше визуализировать воздушную эхобронхограмму, необходимо слегка покачивать датчик, прослеживая ход воздушных бронхов. Она может иметь прерывистую структуру в виде гиперэхогенных коротких штрихов или пунктирных сигналов по ходу бронхов. Такая картина возникает при перемешивании воздуха с экссудатом, заполняющим местами весь бронхиальный просвет (рис. 19).

При интенсивном дыхании в бронхе может наблюдаться ритмичное смещение гиперэхогенных воздушных включений или слияние их между собой после откашливания с

восстановлением непрерывного линейного изображения эхобронхограммы. Подобную картину мы наблюдали как в нормальных бронхах, так и в умеренно расширенных при хроническом деформирующем бронхите. Протяженная ветвистая эхобронхограмма с неравномерно широкими гиперэхогенными элементами или ее прерывистый характер со значительным смещением содержимого при дыхании должны настораживать в плане возможных цилиндрических бронхоэктазов и требуют дальнейшего обследования.

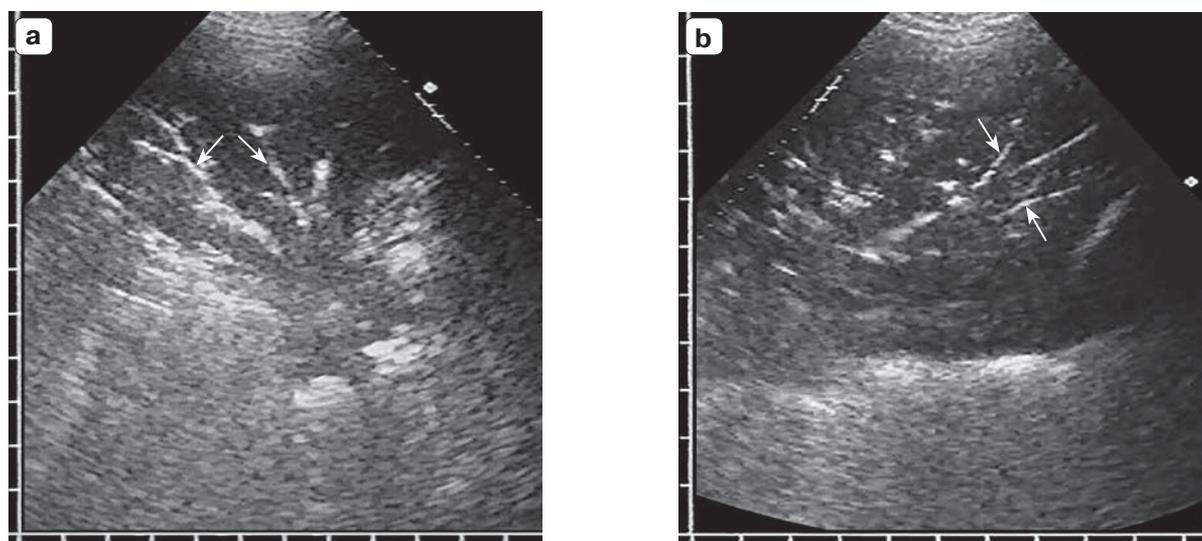
Следуя терминологии BLUE-протокола (Bedside Lung Ultrasound in Emergency) [17, 25], аэробронхограмма разделяется на динамическую, со смещением гиперэхогенных сигналов в бронхах при дыхании, и статическую – без такового. По мнению авторов, динамическая аэробронхограмма высокоспецифична для пневмоний и позволяет исключить обструктивный ателектаз, а статическая имеет высокую чувствительность для диагностики ателектазов (94%), но низкую специфичность, и при пневмонии встречается в 40% случаев [17, 25].

Мы не проводим подобного деления воздушной эхобронхограммы. Во-первых, смещение гиперэхогенных сигналов от воздуха чаще не определяется, даже при рас-



**Рис. 17.** Воспалительный инфильтрат (1) в верхней доле правого легкого (а – продольное, b – поперечное сканирование) имеет четкую и ровную гиперэхогенную границу (2) с воздушной нижней долей по ходу междолевой плевры. Определяются мелкие анэхогенные полости деструкции (3) и элементы воздушной эхобронхограммы (4) в толще инфильтрата.

**Fig. 17.** Inflammatory infiltration (1) in the right upper lobe (a – longitudinal, b – transverse plane) has a well-defined and regular hyperechoic border (2) with an air in the lower lobe below the interlobar pleura. Small anechoic destruction cavities (3) and air bronchogram (4) in the infiltration.



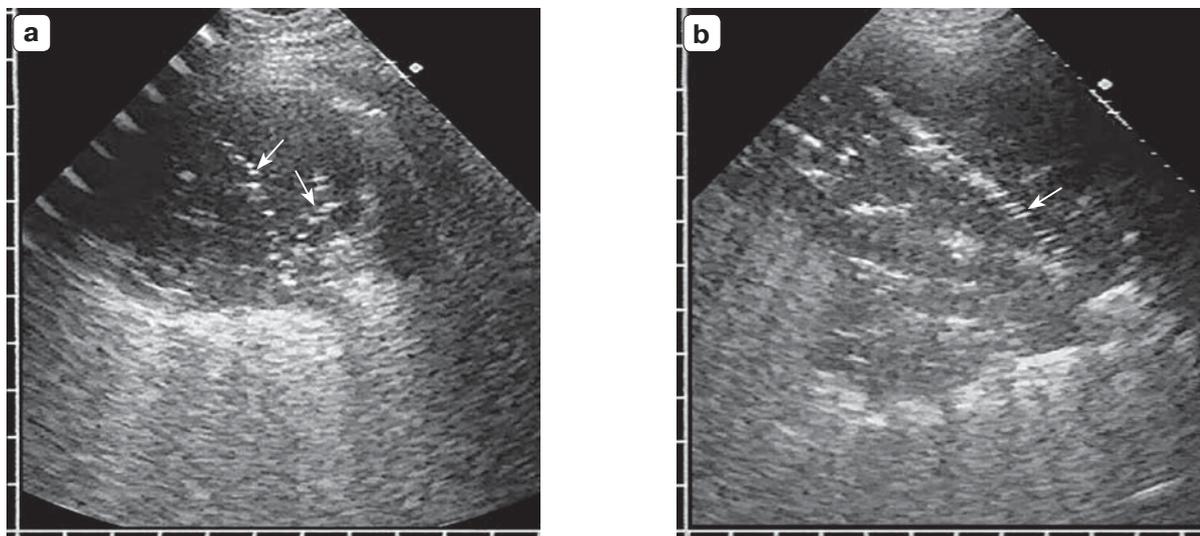
**Рис. 18.** Воздушная эхобронхограмма (а, b) в виде протяженных, ветвящихся под острым углом линейных гиперэхогенных сигналов (стрелки).

**Fig. 18.** Air bronchogram (a, b) in the form of extended with acute angle branching linear hyperechoic structures (arrows).

пространенной воздушной эхобронхограмме. Во-вторых, обтурационный ателектаз, как правило, имеет однородную гипозэхогенную структуру вообще без гиперэхогенных сигналов от воздушных бронхов (рис. 20). Это является его главным ультразвуковым отличием от долевой пневмонии, при кото-

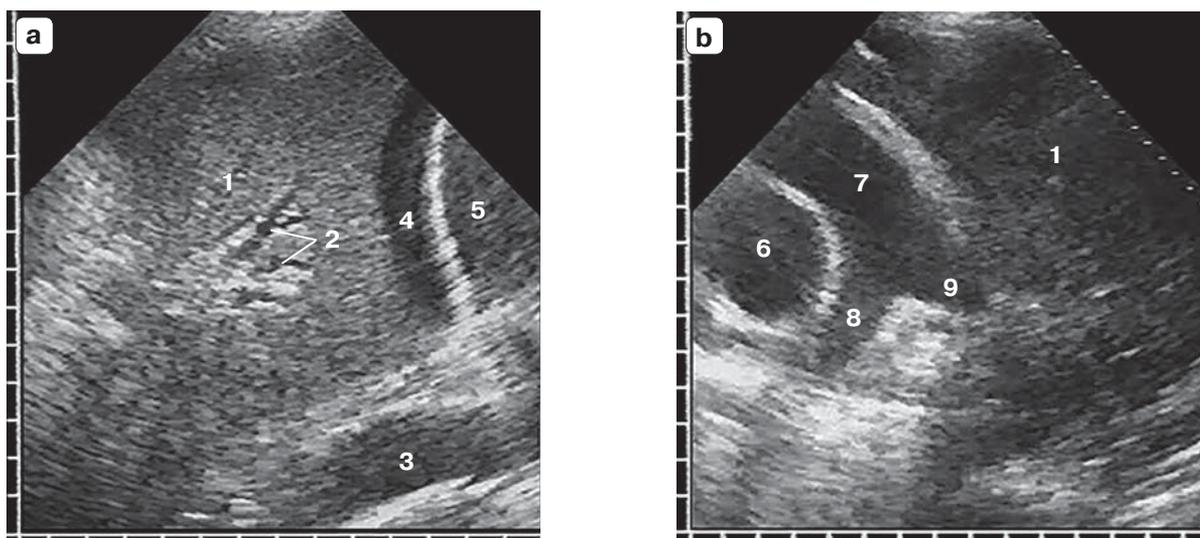
рой наличие воздушной эхобронхограммы в большинстве случаев свидетельствует о сохраненной бронхиальной проходимости независимо от движения воздуха [32].

При неполной резорбции воздух действительно может остаться в прикорневых отделах сегментарных бронхов, вызывая



**Рис. 19.** Воздушная эхобронхограмма прерывистой структуры в виде радиально расходящихся к периферии пунктирных сигналов (а) или гиперэхогенных штрихов (b) (стрелки).

**Fig. 19.** Air bronchogram in the form of dashed structures (a) ore hyperechogenic strokes (b) (arrows).

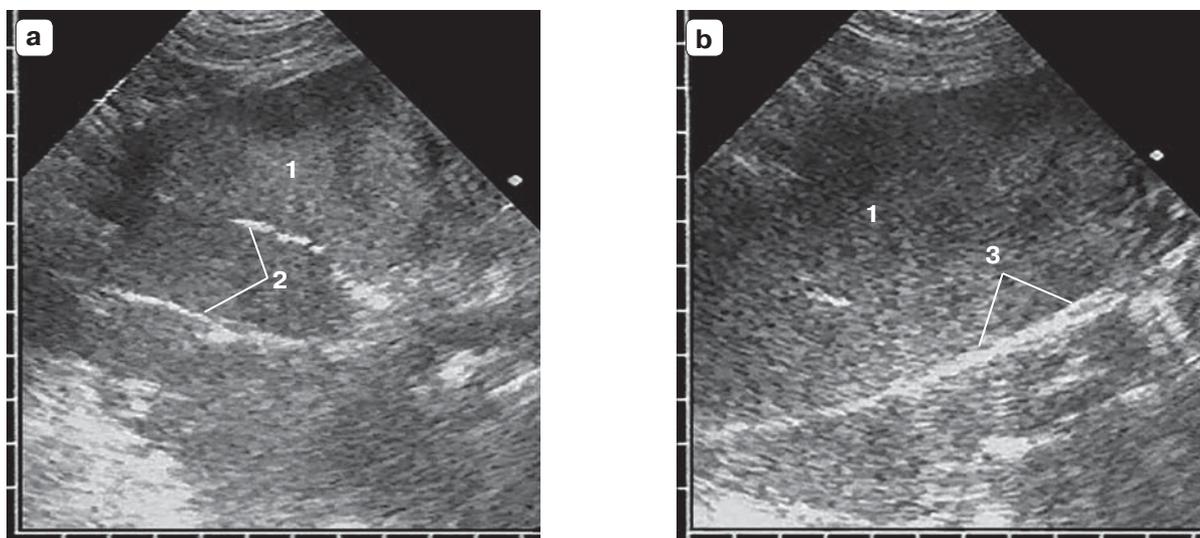


**Рис. 20.** Однородная гипозоногенная структура обтурационного ателектаза (1) нижней доли левого легкого в продольном сечении (а) и верхней доли в поперечном сечении (b): ветви нижнедолевой легочной артерии (2), нисходящая аорта продольно (3), субпульмональный плевральный выпот (4), селезенка (5), восходящая аорта поперечно (6), легочный ствол (7) с бирфуркацией на правую (8) и левую (9) легочные артерии.

**Fig. 20.** Homogeneous hypoechoic structure of left lower lobe obstructive atelectasis (1) in longitudinal plane (a) and upper lobe in transverse plane (b): branches of inferior pulmonary artery (2), descending aorta longitudinally (3), subpulmonary pleural effusion (4), spleen (5), ascending aorta transversely (6), pulmonary trunk (7) bifurcated into the right (8) and left (9) pulmonary arteries.

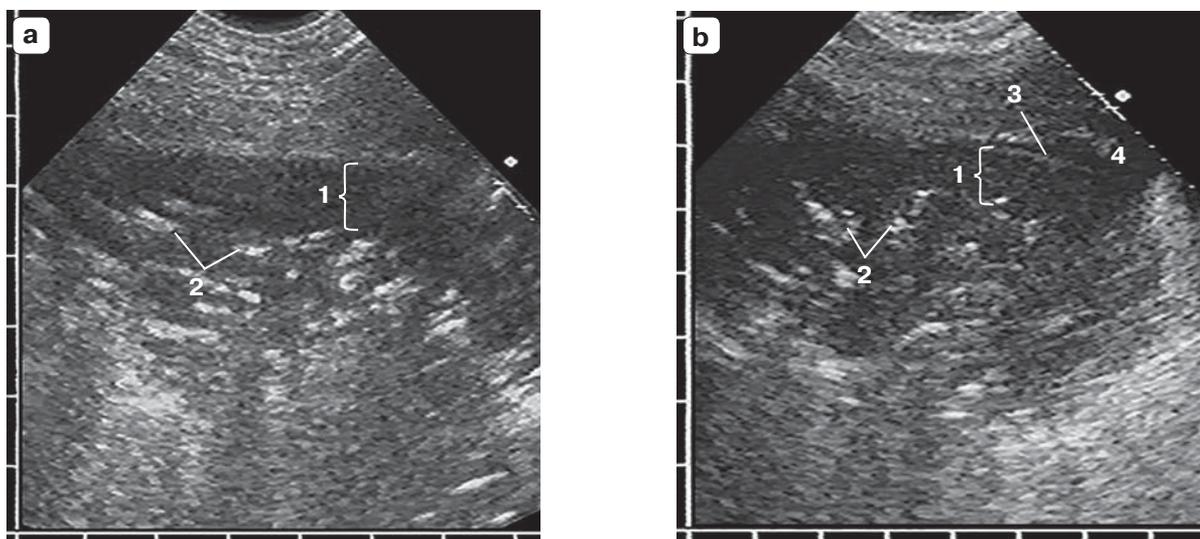
в обтурационном ателектазе появление элементов воздушной эхобронхограммы ближе к корню легкого. Но центральные и периферические отделы ателектазированной доли полностью безвоздушны, что является важным диагностическим признаком (рис. 21). В сомнительных случаях для

определения проходимости крупных бронхов необходима КТ или бронхоскопия. При отсутствии такой возможности проводится динамическое наблюдение с оценкой изменения воздушной эхобронхограммы через 5–7 дней на фоне антибактериального лечения. Отсутствие динамики эхографической



**Рис. 21.** Обтурационный ателектаз верхней доли правого легкого (1) с элементами воздушной эхобронхограммы (2) в прикорневой зоне (а) при полностью безвоздушной структуре в остальных отделах (b), четкая и ровная гиперэхогенная граница с воздушной нижней долей (3).

**Fig. 21.** Obstructive atelectasis of the right lung upper lobe (1) with air bronchogram (2) in the pulmonary root area (a) with completely airless structure in the remaining areas (b), a well-defined and regular hyperechoic border with the air lower lobe (3).



**Рис. 22.** Сегментарная пневмония (а, b) с однородным гипоехогенным кортикальным слоем (1), элементами воздушной эхобронхограммы (2), тонкой эхогенной линией висцеральной плевры (3) и минимальным анэхогенным плевральным выпотом (4).

**Fig. 22.** Segmental pneumonia (a, b) with homogenic hypoechoic cortical layer (1), with air bronchogram (2), thin hyperechoic line of visceral pleura (3) and minimal anechoic pleural effusion (4).

картины характерно для обтурации, но не позволяет полностью исключить инфильтративный туберкулез.

Воздушная эхобронхограмма при обширной пневмонии никогда не достигает висцеральной плевры. Кортикальный слой легкого имеет однородную гипоехогенную струк-

туру без гиперэхогенных сигналов, что обусловлено его анатомическим строением. Он состоит только из легочных долек и при обширной альвеолярной экссудации полностью теряет воздушность, поскольку не содержит бронхов с достаточным диаметром, в просвете которых мог бы остаться воздух (рис. 22).

Выраженность воспалительной инфильтрации можно оценить не только по размерам зоны консолидации, но и по количеству и распределению в ней гиперэхогенных элементов воздушной эхобронхограммы. Чем их меньше, тем сильнее альвеолярная экссудация, поскольку экссудат заполняет не только респираторные отделы и мелкие бронхи, но и более крупные – субсегментарные и частично сегментарные. При тяжелой долевого пневмонии элементов воздушной эхобронхограммы мало, и они неравномерно распределены в структуре инфильтрата. Их больше в прикорневой зоне, но единичные линейные эхосигналы до 10–15 мм длиной видны и на периферии на фоне обширных гипоэхогенных участков безвоздушной паренхимы. При менее выраженной инфильтрации воздушных включений больше, и они более равномерно распределены в зоне консолидации. При сегментарной пневмонии кроме линейных элементов воздушной эхобронхограммы могут определяться мелкоочаговые сигналы от воздушных ацинусов.

По нашим данным, тотальная потеря воздушности совсем без гиперэхогенных сигналов маловероятна при долевого пневмонии, но подобные случаи отмечены в литературе и связаны с закупоркой долевого бронха вязким секретом с нарушением бронхиальной проходимости. При однородной эхографической структуре безвоздушной доли в первую очередь следует подозревать обтурационный ателектаз при центральном раке легкого и рекомендовать проведение КТ.

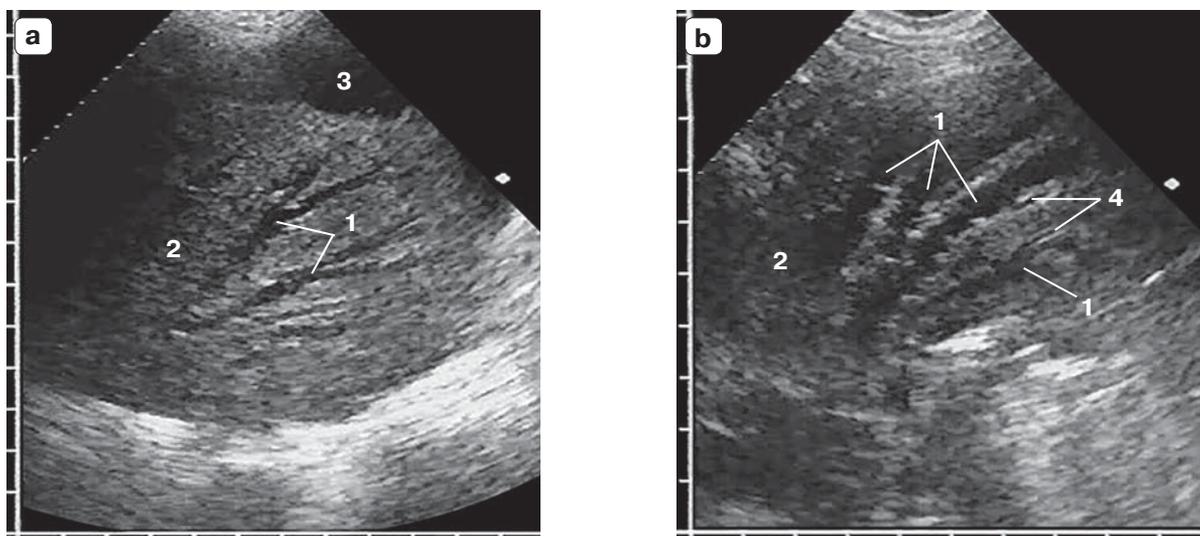
В BLUE-протоколе приводится еще один признак пневмонической консолидации – жидкостная бронхограмма, которая, по данным авторов, тоже встречается, но значительно реже, чем аэробронхограмма [17, 25]. Необходимо особо отметить, что мы никогда не наблюдали жидкостную эхобронхограмму при пневмонии. Наоборот, по многим верифицированным наблюдениям она является высокоспецифичным признаком вторичных воспалительных изменений в обтурационном ателектазе.

Это легко объясняется патофизиологически: при обтурации долевого бронха опухолью экссудат не может эвакуироваться из бронхиального дерева. Скапливаясь в значительном количестве в субсегментарных

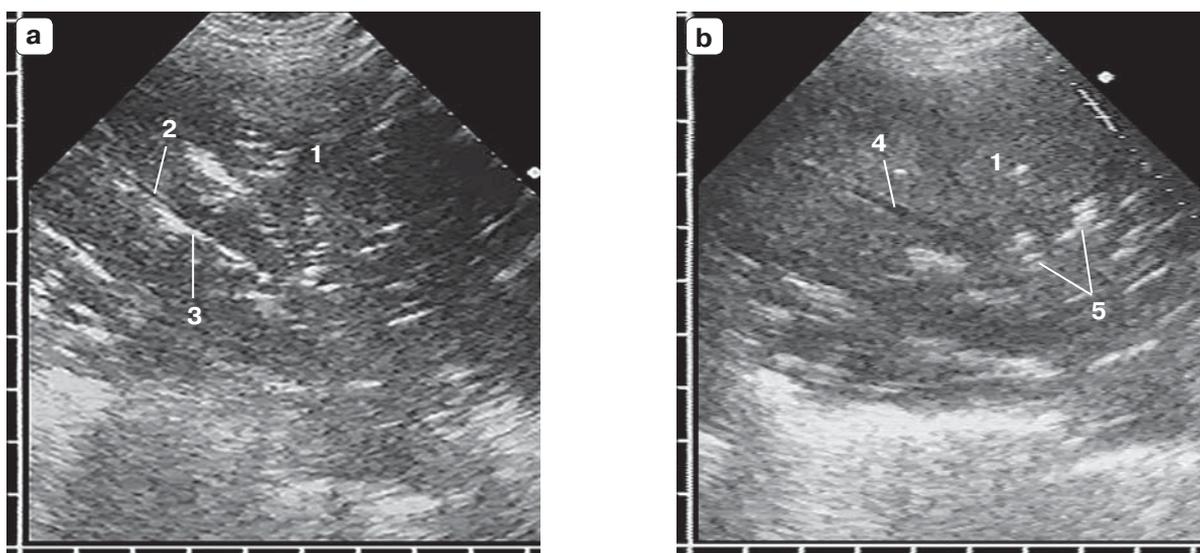
и сегментарных бронхах, он расширяет их просвет в виде цилиндрических бронхоэктазов. Главной причиной обтурации долевого бронха является центральный рак легкого, значительно реже встречается аденома или инородное тело. Типичная жидкостная эхобронхограмма выглядит как множественные близко расположенные анэхогенные трубчатые структуры диаметром 3–10 мм с неравномерным просветом без уменьшения к периферии, местами с дихотомическим ветвлением, без доплерографических сигналов от кровотока (рис. 23) [32].

Густая мокрота, обтурирующая долевого бронх, теоретически может стать причиной появления жидкостной эхобронхограммы, но при сочетании ряда условий. Для этого необходимы: плотная консистенция и прочная фиксация вязкого секрета, чтобы он не пропускал воздух и не смещался при интенсивных кашлевых толчках; большое количество воспалительного экссудата; достаточно длительное время для полной резорбции воздуха в невентилируемой доле, накопления экссудата и растяжения им бронхов. Это маловероятная ситуация, поэтому выявление жидкостной эхобронхограммы у пациента с диагнозом “пневмония” следует расценивать как проявление вторичного воспаления в обтурационном ателектазе и назначать КТ органов грудной полости или бронхоскопию.

При проведении цветового или энергетического доплеровского картирования для воспалительного инфильтрата и ателектаза характерна равномерная васкуляризация с неизменной сосудистой архитектурой во всех отделах. Более крупные сосуды видны в серошкальном режиме как анэхогенные трубчатые структуры с эхогенными стенками. При импульсно-волновой доплерографии определяется артериальный или венозный спектр кровотока. Легочные артерии расположены вплотную к гиперэхогенному сигналу от воздуха в бронхе, а легочные вены проходят отдельно (рис. 24). Говорить о гипертаскуляризации при пневмонии некорректно, поскольку в нормальном воздушном легком из-за тотального отражения невозможно визуализировать сосуды. В консолидации следует оценивать само наличие сосудов и равномерность их распределения: отсутствие кровотока в них характерно для инфаркта легкого и очагов



**Рис. 23.** Жидкостная эхобронхограмма (1) в обтурационном ателектазе (2) (а, б). Визуализируются плевральный выпот (3), ветви легочной артерии (4) рядом с расширенным бронхом.  
**Fig. 23.** Fluid bronchogram (1) in obstructive atelectasis (2) (a, b). Pleural effusion (3), branches of the pulmonary artery (4) near the dilated bronchus are visualized.



**Рис. 24.** Сосуды в структуре воспалительного инфильтрата (1) (а, б): легочная артерия (2) рядом с гиперэхогенным бронхом (3), легочная вена проходит отдельно (4). Определяются элементы воздушной эхобронхограммы (5).  
**Fig. 24.** Vessels in the inflammatory infiltration (1) (a, b): pulmonary artery (2) near the hyperechoic bronchus (3), pulmonary vein passes separately (4). 5 – air bronchogram.

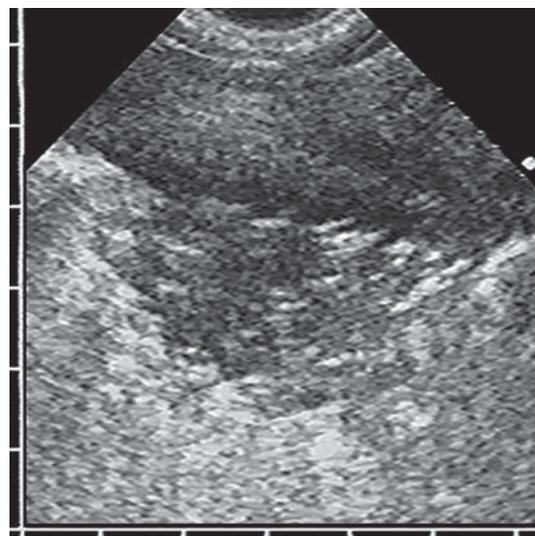
деструкции с экзогенным гнойным эксудатом.

Между сегментарной и кортикальной формами пневмонии существует переходный вариант, частично сочетающий в себе их ультразвуковые признаки (рис. 25). Он имеет не уплощенную, а треугольную или неправильную форму с распространением вглубь легкого более 2–3 см, то есть за пре-

делы кортикального слоя. Гиперэхогенные включения диффузно распределены по всему инфильтрату, в том числе и в кортикальном слое, а глубже могут иметь вид коротких линейных элементов воздушной эхобронхограммы. Внутрилегочные границы консолидации достаточно четкие и неровные, по периферии она может переходить в типичную форму кортикальной пневмонии.

**Рис. 25.** Переходный вариант от кортикальной к обширной (сегментарной) ультразвуковой форме пневмонии: небольшой инфильтрат глубиной более 2 см приблизительно треугольной формы с гиперэхогенными включениями воздуха по всему объему и достаточно четкими неровными границами.

**Fig. 25.** Transient type of pneumonia, from cortical to extensive (segmental) ultrasound type: a small infiltration about 2 cm, triangular shape with hyperechoic air inclusions throughout the volume and well-defined irregular boundaries.



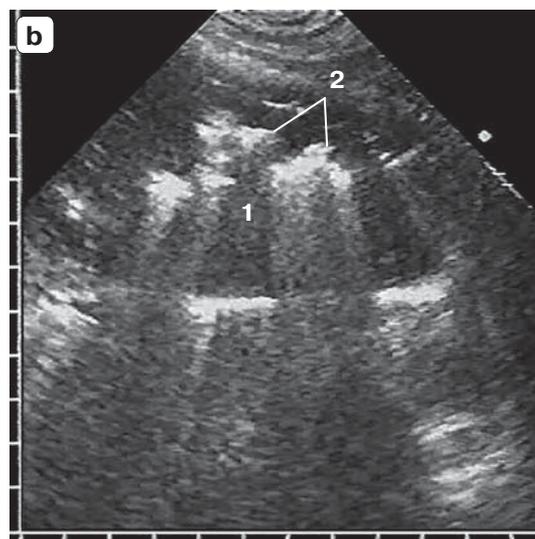
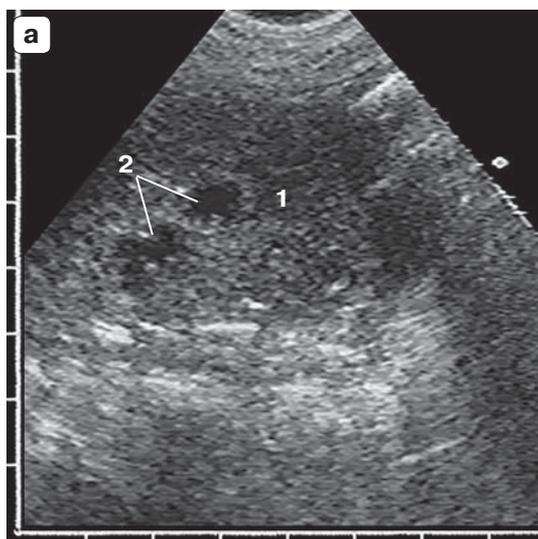
#### 4.6. Ультразвуковая семиотика абсцедирующих пневмоний

Общим ультразвуковым признаком абсцедирующих пневмоний является наличие одного или нескольких очагов деструкции в структуре долевого или полисегментарного инфильтрата. Полости распада не имеют экзогенных стенок и окружены безвоздушной легочной тканью, вариабельны по размеру, форме и содержанию, которое может быть жидким, воздушным или смешанным с различным соотношением компонентов.

Замкнутые полости с гнойным экссудатом определяются в виде небольших анэхо-

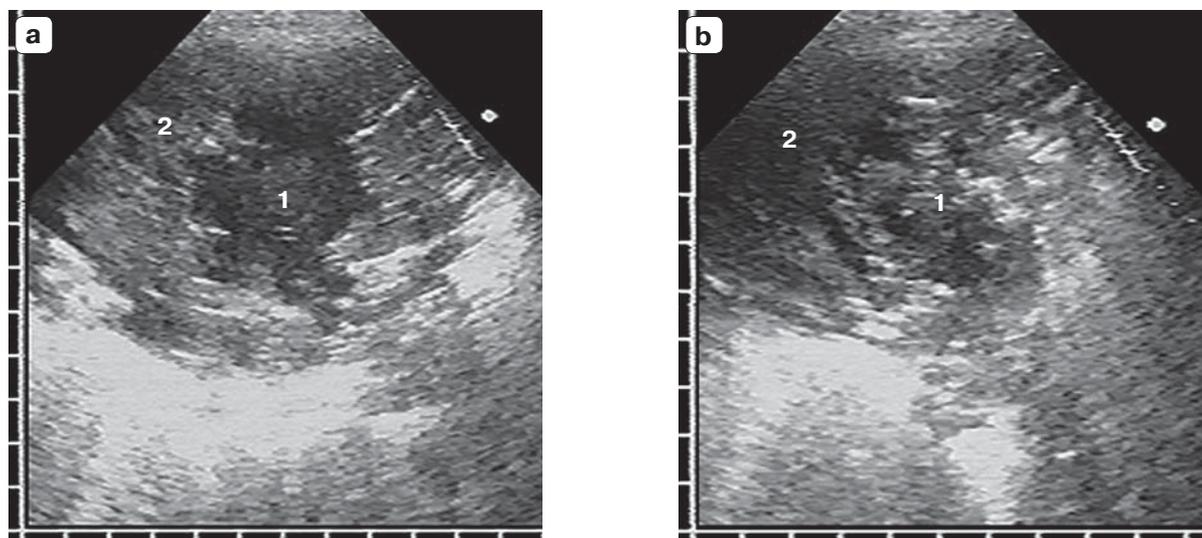
генных участков округлой формы с неровными, местами нечеткими контурами, размером не более 10–15 мм – “черные дыры” в гипоэхогенной консолидации (рис. 26а). Их хорошо видно на начальной стадии нагноительного процесса, но встречаются они значительно реже дренированных, поскольку существуют относительно недолго до прорыва в бронхиальное дерево. После этого в полость деструкции попадает воздух, а гнойный экссудат постепенно удаляется через бронхи до полного замещения воздухом.

Чаще всего в структуре абсцедирующей пневмонии встречаются воздушные поло-



**Рис. 26.** В воспалительном инфильтрате (1) локализуются полости деструкции (2) с гнойным экссудатом (а) или воздухом (б).

**Fig. 26.** Inflammatory infiltration (1). Destructive cavities (2) with purulent exudate (a) and air (b).



**Рис. 27.** Абсцесс легкого (1) в пневмическом инфильтрате (2): с преобладающим гнойным экссудатом и эхогенной взвесью (а), с неоднородным распределением гнойного и воздушного содержимого (б).  
**Fig. 27.** Lung abscess (1) in pulmonary infiltration (2): a – with prevalent purulent exudate and hyperechoic spots, b – with heterogeneity of purulent and air.

сти распада в виде гиперэхогенных участков овальной или неправильной формы с неровными контурами и дистальными артефактами типа хвоста кометы или акустической тенью – “белые пятна” (рис. 26b). Их количество и размеры различны в зависимости от выраженности деструктивного процесса. Рядом с полостью деструкции может визуализироваться дренирующий бронх, чаще с неоднородной, “полосатой” структурой за счет чередования в нем гипер- и гипоехогенных включений от воздуха и экссудата. При дыхании и особенно при кашле видно толчкообразное смещение этих включений.

Важным диагностическим признаком является расположение “белых пятен” внутри зоны консолидации, когда они со всех сторон окружены гипоехогенной безвоздушной паренхимой. Воздушные полости распада может имитировать окружающая воздушная легочная ткань там, где она частично внедряется вглубь воспалительного инфильтрата в виде гиперэхогенных участков при значительной неровности его границ.

Крупные полости деструкции имеют типичную эхографическую картину абсцессов легкого с разной степенью эффективности дренирования бронхами. Их неоднородное содержимое представлено разнокалиберными гиперэхогенными сигналами от воздушных включений разного размера, хао-

тично распределенных на фоне гнойного экссудата с неоднородной эхогенной взвесью (рис. 27).

#### 4.7. Дифференциальная диагностика пневмоний

Ультразвуковое исследование легких является дополнительным методом со своими преимуществами и ограничениями, которые всегда следует учитывать в диагностическом процессе. Его не следует рассматривать как альтернативу рентгенографии или КТ, а применять в комплексе с ними в качестве эргономичного способа получения диагностически значимой информации, используя сильные стороны в каждой клинической или жизненной ситуации. Многое зависит и от отношения врачей-клиницистов к данному методу в конкретном лечебном учреждении.

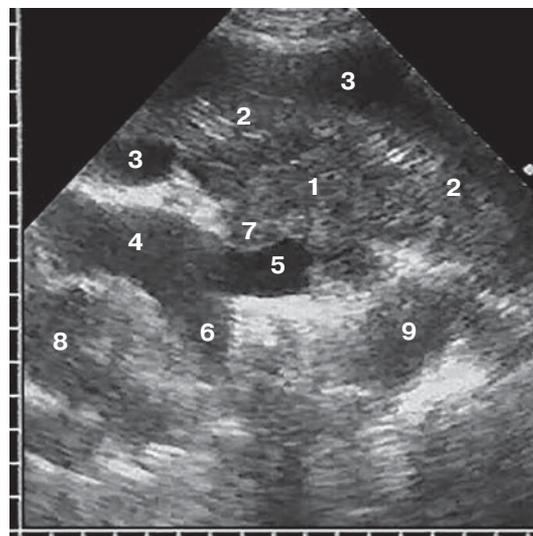
Пневмические инфильтраты необходимо дифференцировать с другими заболеваниями и патологическими состояниями, входящими в синдром безвоздушной легочной ткани, основные из которых перечислены в разделе 4.1. Дифференциальная диагностика с обтурационным ателектазом при центральном раке легкого подробно изложена выше. Основными его признаками являются однородная эхографическая структура и жидкостная эхобронхограмма при развитии вторичного воспаления, а также визуа-

лизация самой опухоли в корне легкого, как правило, через ателектазированную верхнюю долю при поражении верхнедолевого бронха (рис. 28). Спавшаяся при ателектазе нижняя доля из-за особенностей своего расположения чаще не позволяет получить достаточное акустическое окно для информативного обследования области корня легкого, но позволяет выявить крупные опухоли нижнедолевого или промежуточного бронха [32].

Компрессионный ателектаз возникает вследствие сдавления легочной ткани плевральным выпотом и варьирует от небольшого участка в области нижнего края легкого до всей доли. Как и обтурационный, он имеет однородную гипоэхогенную структуру, но отличается тем, что ближе к границе с аэрируемой легочной тканью содержит элементы воздушной эхобронхограммы, поскольку проходимость сегментарных бронхов не нарушена и они сохранили свою воздушность. Сама граница имеет вид широкой и неровной гиперэхогенной полосы.

Дифференциальная диагностика проводится на основании предложенного нами правила соответствия, по которому объем безвоздушной зоны должен соответствовать объему выпота. То есть чем обширнее ателектаз, тем больше должен быть объем плеврального выпота, чтобы оказать соответствующее компрессионное воздействие на легочную ткань и выдавить из нее воздух (рис. 29). Правило хорошо работает при небольших и умеренных выпотах, но при объеме жидкости более 1,5 л определить компрессионную природу только на его основании невозможно, поскольку при таком условии визуальное соответствие консолидации выпоту наблюдается и при долевого пневмонии, и при обтурационном ателектазе. Для исключения обтурации долевого бронха необходимо повторное ультразвуковое исследование после эвакуации жидкости: исчезновение или значительное уменьшение безвоздушной зоны подтверждает ее компрессионное происхождение, а отсутствие динамики – обтурационное (рис. 30).

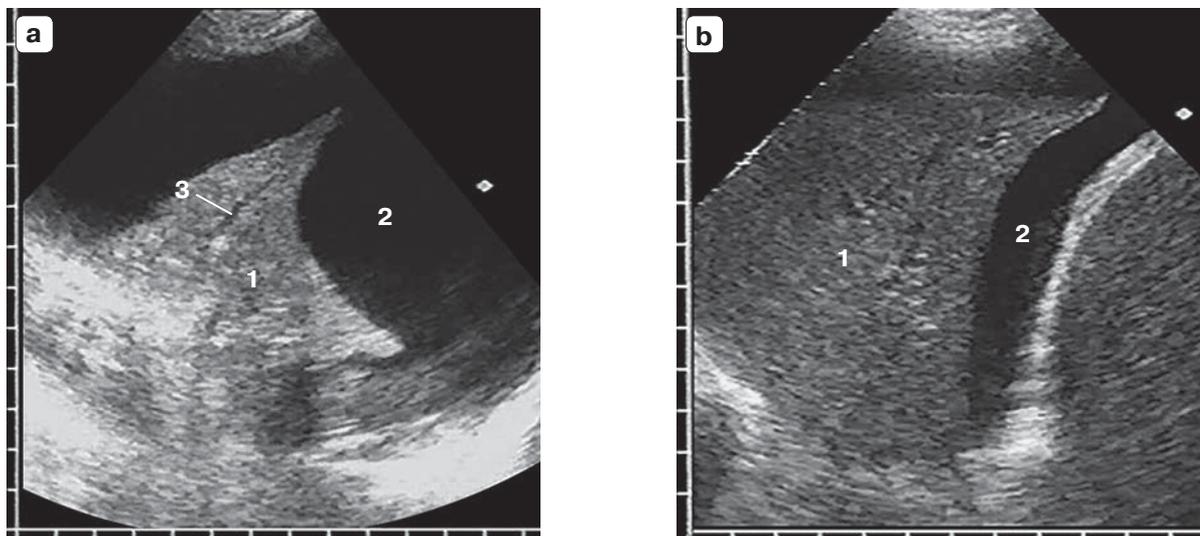
Для компрессионного ателектаза характерна более однородная структура, в которой гиперэхогенные элементы воздушной эхобронхограммы наблюдаются только в прикорневой зоне, тогда как при пневмонии их больше и они распределяются диф-



**Рис. 28.** Центральный рак левого легкого: опухоль в корне (1), ателектаз верхней доли левого легкого (2), плевральный выпот (3), легочный ствол (4), левая легочная артерия (5), правая легочная артерия (6), участок прорастания опухоли в левую легочную артерию (7), восходящая аорта (8), нисходящая аорта (9).  
**Fig. 28.** Central-type left lung cancer: tumor in the root (1), atelectasis of the left upper lobe (2), pleural effusion (3), pulmonary trunk (4), left pulmonary artery (5), right pulmonary artery (6), tumor infiltrating the left pulmonary artery (7), ascending aorta (8), descending aorta (9).

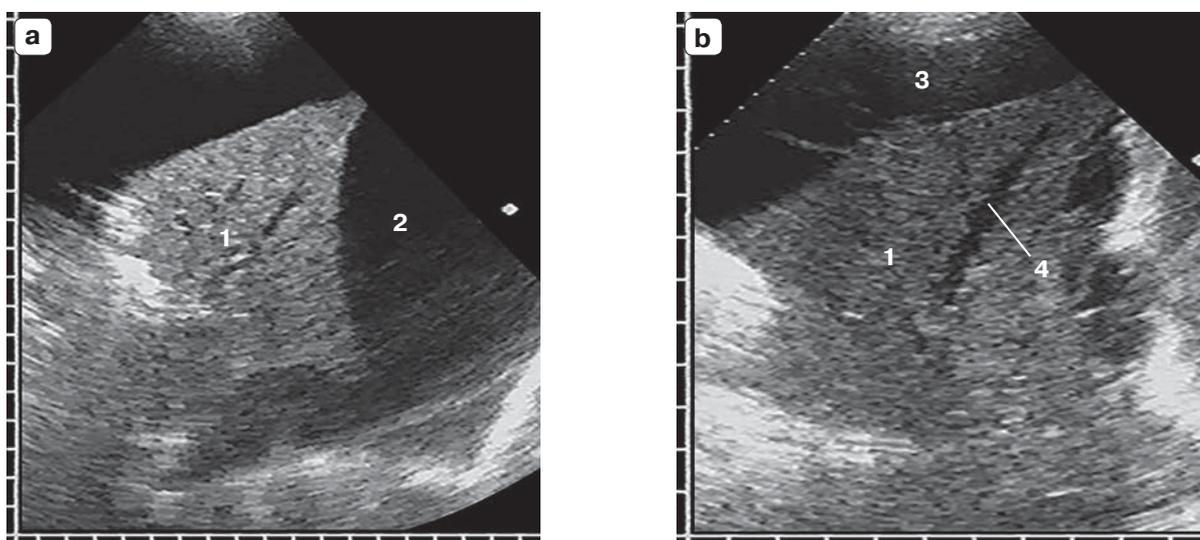
фузно по всей зоне консолидации (рис. 31). Однако окончательно решить вопрос о генезе потери воздушности и составить более точное представление о размерах воспалительного инфильтрата возможно только после эвакуации плеврального выпота и исключения его компрессионного влияния.

От инфаркта легкого пневмонический инфильтрат дифференцируется по данным цветового доплеровского картирования: в отличие от воспалительной консолидации с равномерной сосудистой архитектоникой зона инфаркта полностью аваскулярна. Серозкальным признаком инфаркта является более однородная гипоэхогенная структура: мелкие субплевральные участки полностью однородные, а более крупные содержат небольшое количество гиперэхогенных элементов воздушной эхобронхограммы (рис. 32). Для консолидации при инфаркте характерны треугольная форма с вершиной вглубь легкого и преобладание глубины над шириной основания, что луч-



**Рис. 29.** Правило соответствия размеров зоны консолидации (1) объему плеврального выпота (2): действует при компрессионном ателектазе (а) и не действует при обтурационном ателектазе (б). 3 – сосуды в зоне консолидации.

**Fig. 29.** The conformity rule of the consolidation area size (1) and the volume of pleural effusion (2): it applies to compression atelectasis (a) and does not apply to obturation atelectasis (b). 3 – vessels in the consolidation zone.

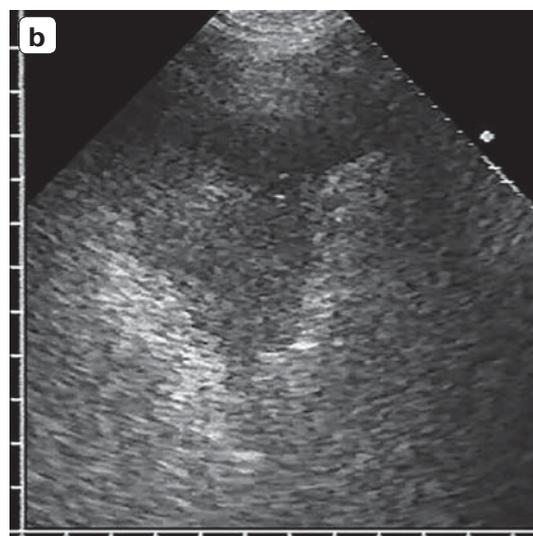
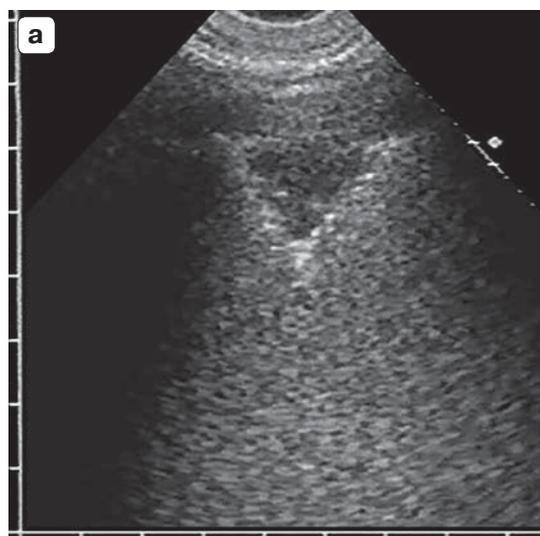
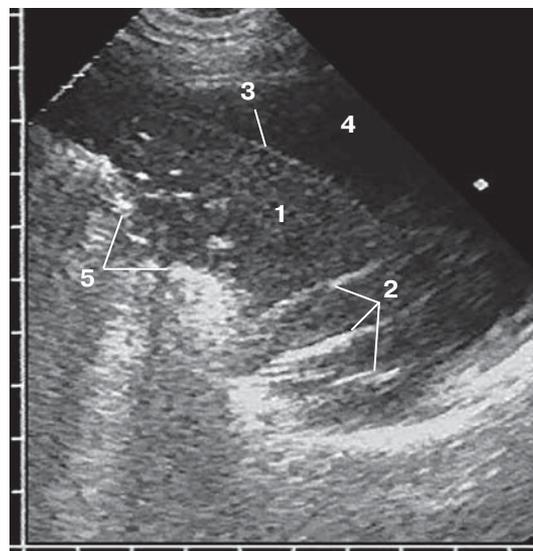


**Рис. 30.** Имитация компрессионного ателектаза нижней доли обтурационным ателектазом (1) с массивным плевральным выпотом (2): до плевральной пункции правило соответствия выполняется (а); после эвакуации на фоне значительного уменьшения жидкости (3) объем консолидации не изменился, стала лучше видна жидкостная эхобронхограмма (4) (б).

**Fig. 30.** Imitation of compression atelectasis, in true is obstructive atelectasis of the lower lobe (1) with massive pleural effusion (2): before thoracentesis (a), the conformity rule (fig. 29) is implemented; after evacuation (b), due to significant decrease in fluid (3), the volume of consolidation did not change, the fluid air bronchogram (4) became better visible.

**Рис. 31.** Пневмонический инфильтрат (1) с воздушной эхобронхограммой (2) и тонкой линией висцеральной плевры (3) на фоне анэхогенного плеврального выпота (4). 5 – неровная граница с воздушной легочной тканью.

**Fig. 31.** Pulmonary infiltration (1) with air bronchogram (2) and a thin line of visceral pleura (3). 4 – anechoic pleural effusion, 5 – irregular border with air lung tissue.



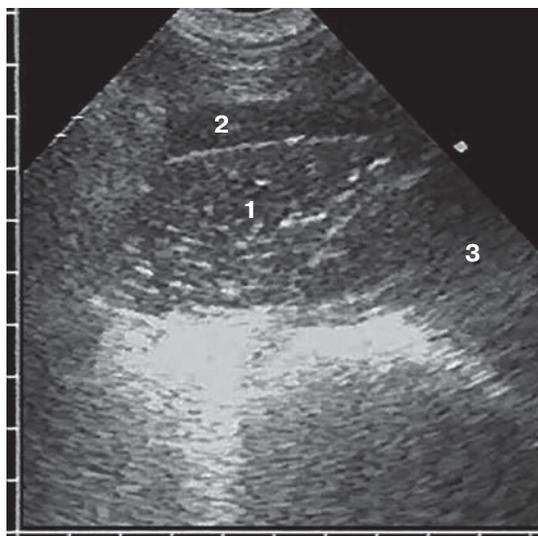
**Рис. 32.** Типичный мелкий инфаркт легкого (а) и более крупный инфаркт легкого в пределах сегмента (б).  
**Fig. 32.** Typical small pulmonary infarction (a) and larger pulmonary infarction within a segment (b).

ше определяется при более крупных размерах инфаркта, хотя участок инфаркта может иметь и двугорбую форму с широким основанием при тромбэмболии соседних мелких ветвей легочной артерии. Кортикальная пневмония, напротив, имеет уплотненную форму с преимущественным распространением вдоль поверхности легкого, а не вглубь него; менее четкие границы, особенно при распространенной форме; более неоднородную структуру за счет большего числа гиперэхогенных включений воздуха.

Сложнее всего отличить участок гиповентиляции от гипостатической пневмонии

у послеоперационных или тяжелых лежащих больных, поскольку эхографическая картина этих процессов одинакова – консолидация с неоднородной эхографической структурой (рис. 33), чаще в пределах кортикального слоя. Здесь необходима комплексная диагностика с учетом клинико-анамнестических и лабораторных данных. Увеличение зоны консолидации в динамике или более крупная субсегментарная безвоздушная зона с элементами воздушной эхобронхограммы подозрительны в отношении воспалительного процесса.

Очаговую форму пневмонии в виде округлых гипозоногенных консолидаций до 1 см



**Рис. 33.** Крупный участок гиповентиляции в задних нижних отделах нижней доли слева после видеоассистированной торакоскопической резекции легкого. 1 – неоднородная эхографическая структура консолидации с воздушной эхобронхограммой, 2 – небольшой плевральный выпот, 3 – селезенка.

**Fig. 33.** A large area of hypoventilation in the posterior lower sections of the left lower lobe after video-assisted thoracoscopic pulmonary resection. 1 – heterogeneous consolidation with air bronchogram, 2 – small pleural effusion, 3 – spleen.

сложно дифференцировать от других мелких субплевральных образований, в том числе саркоидоза и округлых инфарктов легкого. Подозрение на туберкулезный инфильтрат должно возникать при резистентности зоны консолидации к нескольким циклам антибактериальной терапии при исключении обтурационного генеза потери воздушности. Отсутствие динамики характерно также для очагового субплеврального фиброза, карнифицирующей пневмонии и бронхиолоальвеолярного рака. Лучшим способом диагностики во многих случаях является пункционная биопсия под ультразвуковым контролем.

Таким образом, ультразвуковое исследование легких позволяет визуализировать различные патоморфологические формы пневмоний, оценить распространенность и структуру воспалительного инфильтрата, а также выявить деструктивные изменения в нем. Применение ультразвукового исследования расширяет возможности лучевой

диагностики воспалительного процесса в легком, а сам метод требует дальнейшего развития и более активного внедрения в клиническую практику.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Митьков В.В., Сафонов Д.В., Митькова М.Д., Алехин М.Н., Катрич А.Н., Кабин Ю.В., Ветшева Н.Н., Худорожкова Е.Д. Консенсусное заявление РАСУДМ об ультразвуковом исследовании легких в условиях COVID-19 (версия 1). *Ультразвуковая и функциональная диагностика*. 2020; 1; 24–45. <https://doi.org/10.24835/1607-0771-2020-1-24-45>
2. Митьков В.В., Сафонов Д.В., Митькова М.Д., Алехин М.Н., Катрич А.Н., Кабин Ю.В., Ветшева Н.Н., Худорожкова Е.Д., Лахин Р.Е., Кадрев А.В., Дорошенко Д.А., Гренкова Т.А. Консенсусное заявление РАСУДМ об ультразвуковом исследовании легких в условиях пандемии COVID-19 (версия 2). *Ультразвуковая и функциональная диагностика*. 2020; 1; 46–77. <https://doi.org/10.24835/1607-0771-2020-1-46-77>
3. Abramowicz J.S., Basseal J. Заявление о позиции WFUMB: как безопасно проводить ультразвуковое исследование и обеззараживать ультразвуковое оборудование в условиях COVID-19 (перевод на русский язык). *Ультразвуковая и функциональная диагностика*. 2020; 1; 12–23. <https://doi.org/10.24835/1607-0771-2020-1-12-23>
4. Митьков В.В. (ред.) *Практическое руководство по ультразвуковой диагностике. Общая ультразвуковая диагностика*. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Видар, 2019. 756 с.
5. Soldati G., Smargiassi A., Inchingolo R., Buonsenso D., Perrone T., Briganti D.F., Perlini S., Torri E., Mariani A., Mossolani E.E., Tursi F., Mento F., Demi L. Proposal for international standardization of the use of lung ultrasound for patients with COVID-19: a simple, quantitative, reproducible method. *J. Ultrasound Med.* 2020; 39 (7): 1413–1419. <https://doi.org/10.1002/jum.15285>
6. Lu W., Zhang S., Chen B., Chen J., Xian J., Lin Y., Shan H., Su Z.Z. A clinical study of noninvasive assessment of lung lesions in patients with coronavirus disease-19 (COVID-19) by bedside ultrasound. *Ultraschall Med.* 2020; 41 (3): 300–307. <https://doi.org/10.1055/a-1154-8795>
7. Шахов Б.Е., Сафонов Д.В., Белоусов Ю.В. Синдромная ультразвуковая диагностика заболеваний органов грудной полости. *Медицинская визуализация*. 1999; 2: 23–29.
8. Шахов Б.Е., Сафонов Д.В. *Трансторакальное ультразвуковое исследование легких и плевры: монография*. Нижний Новгород: НГМА, 2002. 118 с.
9. Сафонов Д.В., Шахов Б.Е. *Ультразвуковая диагностика воспалительных заболеваний легких: учебное пособие*. М.: Видар, 2011. 120 с.
10. Bolliger C.T., Herth F.J.F., Mayo P.H., Miyazawa T., Beamis J.F. *Clinical chest ultrasound*:

- from the ICU to the bronchoscopy suite. Basel: Karger, 2009. 221 p.
11. Lichtenstein D., Meziere G., Biderman P., Gepner A., Barre O. The comet-tail artifact. An ultrasound sign of alveolar-interstitial syndrome. *Am. J. Respir. Crit. Care Med.* 1997; 156 (5): 1640–1646. <https://doi.org/10.1164/ajrccm.156.5.96-07096>
  12. Lichtenstein D.A. *Lung ultrasound in the critically ill. The BLUE protocol.* Cham: Springer, 2016. 376 p.
  13. Kroegel C., Reissig A. *Transthorakale Sonographie: Grundlagen und Anwendung; ein Leitfaden für die Praxis.* Stuttgart, NY: Thieme, 2000. 116 p.
  14. Gorg G. Lunge. In: Schmidt G., Greiner L., Nurnberg D. (eds.) *Sonografische Differenzialdiagnose: Lehratlas zur systematischen Bildanalyse mit über 2800 Befundbeispielen.* Stuttgart, NY: Thieme, 2002. pp. 487–507.
  15. Mathis G. (ed.) *Chest Sonography.* Cham: Springer, 2017. 219 p.
  16. Reuss J. Sonography of the pleura. *Ultraschall Med.* 2010; 31 (1): 8–22. <https://doi.org/10.1055/s-0028-1109995>
  17. Lichtenstein D.A., Meziere G.A. Relevance of lung ultrasound in the diagnosis of acute respiratory failure: the BLUE protocol. *Chest.* 2008; 134 (1): 117–125. <https://doi.org/10.1378/chest.07-2800>
  18. Gargani L. Interstitial syndrome. In: Laursen C.B., Rahman N.M., Volpicelli G. (eds.) *Thoracic ultrasound (ERS monograph).* Sheffield: European Respiratory Society, 2018. pp. 75–86. <https://doi.org/10.1183/2312508X.erm7918>
  19. Хэм А., Кормак Д. *Гистология: Пер. с англ.* Т. 4. М.: Мир, 1983. 245 с.
  20. Hansell D.M., Bankier A.A., MacMahon H., McLoud T.C., Muller N.L., Remy J. Fleischner Society: glossary of terms for thoracic imaging. *Radiology.* 2008; 246 (3): 697–722. <https://doi.org/10.1148/radiol.2462070712>
  21. Клинические рекомендации “Внебольничная пневмония” (проект федеральных клинических рекомендаций). 2018. <http://spulmo.ru/obrazovatelnye-resursy/federalnye-klinicheskie-rekomendatsii/> (дата обращения 31.03.2020).
  22. Чучалин А.Г. (ред.) *Респираторная медицина.* 2-е изд., перераб. и доп. Т. 1. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2017. 640 с.
  23. Dietrich C.F., Mathis G., Blaiwas M., Volpicelli G., Seibel A., Wastl D., Atkinson N.S., Cui X.W., Fan M., Yi D. Lung B-line artefacts and their use. *J. Thorac. Dis.* 2016; 8 (6): 1356–1365. <https://doi.org/10.21037/jtd.2016.04.55>
  24. Алехин М.Н. Ультразвуковое исследование легких для диагностики внесосудистой жидкости. *Креативная кардиология.* 2015; 1: 27–37. <https://doi.org/10.15275/kreatkard.2015.01.03>
  25. Lichtenstein D.A., Meziere G.A., Lagoueyte J.F., Biderman P., Goldstein I., Gepner A. A-lines and B-lines: lung ultrasound as a bedside tool for predicting pulmonary artery occlusion pressure in the critically ill. *Chest.* 2009; 136 (4): 1014–1020. <https://doi.org/10.1378/chest.09-0001>
  26. Афанасьев Ю.И., Юрина Н.А. (ред.) *Гистология: Учебник.* Изд. 5-е, перераб. и доп. М.: Медицина, 2002. 744 с.
  27. Ross M.H., Pawlina W. *Histology: a text and atlas: with correlated cell and molecular biology.* 6<sup>th</sup> ed. Philadelphia: Wolters Kluwer/Lippincott Williams & Wilkins Health, 2011. 974 p.
  28. Mongodi S., Bouhemad B., Orlando A., Stella A., Tavazzi G., Via G., Iotti G.A., Braschi A., Mojoli F. Modified lung ultrasound score for assessing and monitoring pulmonary aeration. *Ultraschall Med.* 2017; 38 (5): 530–537. <https://doi.org/10.1055/s-0042-120260>
  29. Piscaglia F., Stefanini F., Cantisani V., Sidhu P.S., Barr R., Berzigotti A., Chammas M.C., Correas J.M., Dietrich C.F., Feinstein S., Huang P., Jenssen C., Kono Y., Kudo M., Liang P., Lyschik A., Nolsoe C., Xie X., Tovoli F. Benefits, open questions and challenges of the use of ultrasound in the COVID-19 pandemic era. The views of a panel of worldwide international experts. *Ultraschall Med.* 2020; 41 (3): 228–236. <https://doi.org/10.1055/a-1149-9872>
  30. Volpicelli G., Gargani L. Sonographic signs and patterns of COVID-19 pneumonia. *Ultrasound J.* 2020; 12 (1): 22. <https://doi.org/10.1186/s13089-020-00171-w>
  31. Sofia S., Bocatonda A., Montanari M., Spampinato M., D’ardes D., Cocco G., Accogli E., Cipollone F., Schiavone C. Thoracic ultrasound and SARS-COVID-19: a pictorial essay. *J. Ultrasound.* 2020; 23 (2): 217–221. <https://doi.org/10.1007/s40477-020-00458-7>
  32. Сафонов Д.В., Шахов Б.Е. *Ультразвуковая диагностика опухолей легких.* М.: Видар, 2014. 144 с.

## REFERENCES

1. Mitkov V.V., Safonov D.V., Mitkova M.D., Alekhin M.N., Katrich A.N., Kabin Yu.V., Vetsheva N.N., Khudorozhkova E.D. RASUDM Consensus Statement: lung ultrasound in the context of COVID-19 (version 1). *Ultrasound and Functional Diagnostics.* 2020; 1; 24–45. <https://doi.org/10.24835/1607-0771-2020-1-24-45> (in Russian)
2. Mitkov V.V., Safonov D.V., Mitkova M.D., Alekhin M.N., Katrich A.N., Kabin Yu.V., Vetsheva N.N., Khudorozhkova E.D., Lakhin R.E., Kadrev A.V., Doroshenko D.A., Grenkova T.A. RASUDM Consensus Statement: lung ultrasound in the context of COVID-19 (version 2). *Ultrasound and Functional Diagnostics.* 2020; 1; 46–77. <https://doi.org/10.24835/1607-0771-2020-1-46-77> (in Russian)
3. Abramowicz J.S., Basseal J. WFUMB Position Statement: How to perform a safe ultrasound examination and clean equipment in the context of COVID-19 (translation into Russian). *Ultrasound and Functional Diagnostics.* 2020; 1; 12–23. <https://doi.org/10.24835/1607-0771-2020-1-12-23> (in Russian)
4. Mitkov V.V. (ed.) *Practical Guide to Ultrasound Diagnostics. General Ultrasound.* 3<sup>rd</sup> ed. Moscow: Vidar, 2019. 756 p. (in Russian)
5. Soldati G., Smargiassi A., Inchingolo R., Buon-senso D., Perrone T., Briganti D.F., Perlini S., Torri E., Mariani A., Mossolani E.E., Tursi F., Mento F., Demi L. Proposal for international stan-

- andardization of the use of lung ultrasound for patients with COVID-19: a simple, quantitative, reproducible method. *J. Ultrasound Med.* 2020; 39 (7): 1413–1419. <https://doi.org/10.1002/jum.15285>
6. Lu W., Zhang S., Chen B., Chen J., Xian J., Lin Y., Shan H., Su Z.Z. A clinical study of noninvasive assessment of lung lesions in patients with coronavirus disease-19 (COVID-19) by bedside ultrasound. *Ultraschall Med.* 2020; 41 (3): 300–307. <https://doi.org/10.1055/a-1154-8795>
  7. Shakhov B.E., Safonov D.V., Belousov Yu.V. Syndromic chest ultrasound. *Medical Visualization.* 1999; 2: 23–29. (in Russian)
  8. Shakhov B.E., Safonov D.V. *Transthoracic ultrasound of lung and pleura.* Nizhny Novgorod: NSMA, 2002. 118 p. (in Russian)
  9. Safonov D.V., Shakhov B.E. *Ultrasound in the diagnosis of pneumonia.* Moscow: Vidar, 2011. 120 p. (in Russian)
  10. Bolliger C.T., Herth F.J.F., Mayo P.H., Miyazawa T., Beamis J.F. *Clinical chest ultrasound: from the ICU to the bronchoscopy suite.* Basel: Karger, 2009. 221 p.
  11. Lichtenstein D., Meziere G., Biderman P., Gepner A., Barre O. The comet-tail artifact. An ultrasound sign of alveolar-interstitial syndrome. *Am. J. Respir. Crit. Care Med.* 1997; 156 (5): 1640–1646. <https://doi.org/10.1164/ajrccm.156.5.96-07096>
  12. Lichtenstein D.A. *Lung ultrasound in the critically ill. The BLUE protocol.* Cham: Springer, 2016. 376 p.
  13. Kroegel C., Reissig A. *Transthorakale Sonographie: Grundlagen und Anwendung; ein Leitfadens für die Praxis.* Stuttgart, NY: Thieme, 2000. 116 p.
  14. Gorg G. Lunge. In: Schmidt G., Greiner L., Nurnberg D. (eds.) *Sonografische Differenzialdiagnose: Lehratlas zur systematischen Bildanalyse mit über 2800 Befundbeispielen.* Stuttgart, NY: Thieme, 2002. pp. 487–507.
  15. Mathis G. (ed.) *Chest Sonography.* Cham: Springer, 2017. 219 p.
  16. Reuss J. Sonography of the pleura. *Ultraschall Med.* 2010; 31 (1): 8–22. <https://doi.org/10.1055/s-0028-1109995>
  17. Lichtenstein D.A., Meziere G.A. Relevance of lung ultrasound in the diagnosis of acute respiratory failure: the BLUE protocol. *Chest.* 2008; 134 (1): 117–125. <https://doi.org/10.1378/chest.07-2800>
  18. Gargani L. Interstitial syndrome. In: Laursen C.B., Rahman N.M., Volpicelli G. (eds.) *Thoracic ultrasound (ERS monograph).* Sheffield: European Respiratory Society, 2018. pp. 75–86. <https://doi.org/10.1183/2312508X.erm7918>
  19. Ham A., Cormack D. *Histology.* V. 4. Moscow: Mir, 1983. 245 p. (in Russian)
  20. Hansell D.M., Bankier A.A., MacMahon H., McLoud T.C., Muller N.L., Remy J. Fleischner Society: glossary of terms for thoracic imaging. *Radiology.* 2008; 246 (3): 697–722. <https://doi.org/10.1148/radiol.2462070712>
  21. Clinical practice guidelines *Community-acquired pneumonia* (project), <http://spulmo.ru/obrazovatelnye-resursy/federalnye-klinicheskie-rekomendatsii/> (2018, accessed 10.12.2020). (in Russian)
  22. Chuchalin A.G. (ed.) *Respiratory medicine.* 2<sup>nd</sup> ed. V. 1. Moscow: GEOTAR-Media, 2017. 640 p. (in Russian)
  23. Dietrich C.F., Mathis G., Blaivas M., Volpicelli G., Seibel A., Wastl D., Atkinson N.S., Cui X.W., Fan M., Yi D. Lung B-line artefacts and their use. *J. Thorac. Dis.* 2016; 8 (6): 1356–1365. <https://doi.org/10.21037/jtd.2016.04.55>
  24. Alekhin M.N. Lung ultrasonography in the diagnosis of extravascular lung water. *Creative Cardiology.* 2015; 1: 27–37. <https://doi.org/10.15275/kreatkard.2015.01.03> (in Russian)
  25. Lichtenstein D.A., Meziere G.A., Lagoueyte J.F., Biderman P., Goldstein I., Gepner A. A-lines and B-lines: lung ultrasound as a bedside tool for predicting pulmonary artery occlusion pressure in the critically ill. *Chest.* 2009; 136 (4): 1014–1020. <https://doi.org/10.1378/chest.09-0001>
  26. Afanasev Yu.I., Yurina N.A. (eds.) *Histology.* 5<sup>th</sup> ed. Moscow: Medicine, 2002. 744 p. (in Russian)
  27. Ross M.H., Pawlina W. *Histology: a text and atlas: with correlated cell and molecular biology.* 6<sup>th</sup> ed. Philadelphia: Wolters Kluwer/Lippincott Williams & Wilkins Health, 2011. 974 p.
  28. Mongodi S., Bouhemad B., Orlando A., Stella A., Tavazzi G., Via G., Iotti G.A., Braschi A., Mojoli F. Modified lung ultrasound score for assessing and monitoring pulmonary aeration. *Ultraschall Med.* 2017; 38 (5): 530–537. <https://doi.org/10.1055/s-0042-120260>
  29. Piscaglia F., Stefanini F., Cantisani V., Sidhu P.S., Barr R., Berzigotti A., Chammas M.C., Correas J.M., Dietrich C.F., Feinstein S., Huang P., Jenssen C., Kono Y., Kudo M., Liang P., Lyschchik A., Nolsoe C., Xie X., Tovoli F. Benefits, open questions and challenges of the use of ultrasound in the COVID-19 pandemic era. The views of a panel of worldwide international experts. *Ultraschall Med.* 2020; 41 (3): 228–236. <https://doi.org/10.1055/a-1149-9872>
  30. Volpicelli G., Gargani L. Sonographic signs and patterns of COVID-19 pneumonia. *Ultrasound J.* 2020; 12 (1): 22. <https://doi.org/10.1186/s13089-020-00171-w>
  31. Sofia S., Bocatonda A., Montanari M., Spampinato M., D'ardes D., Cocco G., Accogli E., Cipollone F., Schiavone C. Thoracic ultrasound and SARS-COVID-19: a pictorial essay. *J. Ultrasound.* 2020; 23 (2): 217–221. <https://doi.org/10.1007/s40477-020-00458-7>
  32. Safonov D.V., Shakhov B.E. *Ultrasound in the diagnosis of lung lesions.* Moscow: Vidar, 2014. 144 p. (in Russian)

## ***Ultrasound in the diagnosis of community-acquired pneumonia (pictorial essay)***

*D.V. Safonov*

*Privolzhsky Research Medical University, Nizhny Novgorod*

*D.V. Safonov – M.D., Ph.D., Professor, Director, Division of Radiology, Privolzhsky Research Medical University, Nizhny Novgorod. <https://orcid.org/0000-0002-7481-4002>*

**Correspondence to Professor Dmitriy V. Safonov. E-mail: [safonovdv@inbox.ru](mailto:safonovdv@inbox.ru)**

*The article shows lung ultrasound techniques and describes normal lung ultrasound. Ultrasound of pneumonia is presented. Depending on pneumonia pathomorphology there are interstitial, focal, cortical, and extensive (segmental or lobar) ultrasound types of inflammation. Description of ultrasound imaging are detailed for each ultrasound type, and issues of differential diagnosis are considered. The author's hypothesis is given for explaining the occurrence of reverberations – comet-tail artifact (B-lines) in interstitial changes. Ultrasound signs of lung abscess are described. Comparisons with the BLUE protocol were made. Some of the BLUE protocol statements are critically evaluated.*

**Key words:** *lung ultrasound, community-acquired pneumonia, consolidation, interstitial syndrome, air bronchogram, pleural effusion.*

**Citation:** *Safonov D.V. Ultrasound in the diagnosis of community-acquired pneumonia (pictorial essay). Ultrasound and Functional Diagnostics. 2020; 4: 43–77. <https://doi.org/10.24835/1607-0771-2020-4-43-77> (in Russian)*