

# Диагностические возможности ультразвуковых методов исследования в пульмонологической практике

Г.В.Неклюдова, Ж.К.Науменко

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Научно-исследовательский институт пульмонологии Федерального медико-биологического агентства России»: 105077, Россия, Москва, ул. 11-я Парковая, 32, корп. 4

## Информация об авторах

**Неклюдова Галина Васильевна** – д. м. н., ведущий научный сотрудник лаборатории функциональных и ультразвуковых методов исследования Федерального государственного бюджетного учреждения «Научно-исследовательский институт пульмонологии Федерального медико-биологического агентства России»; тел.: (495) 465-52-64; e-mail: neklyudova\_gala@mail.ru

**Науменко Жанна Константиновна** – к. м. н., старший научный сотрудник лаборатории функциональных и ультразвуковых методов исследования Федерального государственного бюджетного учреждения «Научно-исследовательский институт пульмонологии Федерального медико-биологического агентства России»; тел.: (495) 465-52-64; e-mail: naumenko\_janna@mail.ru

## Резюме

Ультразвуковые (УЗ) методы исследования в полной мере отвечают всем современным требованиям к диагностическим процедурам: информативность, безопасность, относительная независимость от тяжести состояния пациента, а по мере совершенствования ультразвуковых сканеров и появления новых режимов исследования расширяются возможности их применения в клинической практике врачами разных специальностей. Наиболее востребованными УЗ-методами исследования в пульмонологической практике являются эхокардиография и ультразвуковое исследование плевральных полостей. Однако при оценке состояния легких применение этого метода ограничено полным отражением ультразвука от воздушной легочной ткани. При заболеваниях легких происходит потеря воздушности легочной паренхимы, что в ряде случаев позволяет чередовать рентгенологические и УЗ-методики в лечебно-диагностическом процессе и таким образом снизить лучевую нагрузку на пациента и объективно контролировать его состояние. При использовании УЗИ у врача-пульмонолога появляется возможность объективно оценить состояние пациента и рационально выстроить диагностический процесс, выбрав правильную тактику лечения или скорректировав ее. Учитывая рентгенологическую безопасность и доступность, методы УЗ-диагностики незаменимы при динамическом наблюдении и могут быть повторы с необходимой частотой, а в ряде случаев – послужить разумной альтернативой рентгенологическому исследованию легких.

**Ключевые слова:** ультразвуковые методы исследования в пульмонологии, эхокардиография в пульмонологии, ультразвуковое исследование плевральных полостей, ультразвуковое исследование легочной ткани.

Для цитирования: Неклюдова Г.В., Науменко Ж.К. Диагностические возможности ультразвуковых методов исследования в пульмонологической практике. *Пульмонология*. 2017; 27 (2): 283–290. DOI: 10.18093/0869-0189-2017-27-2-283-290

## Ultrasound diagnostic opportunities in pulmonology

Galina V. Neklyudova, Zhanna K. Naumenko

Federal Pulmonology Research Institute, Federal Medical and Biological Agency of Russia: Odinnadstaya Parkovaya ul. 32, build. 4, Moscow, 105077, Russia

## Author information

**Galina V. Neklyudova**, Doctor of Medicine, Leading Researcher, Laboratory of Functional and Ultra-sound Investigations; Federal Pulmonology Research Institute, Federal Medical and Biological Agency of Russia; tel.: (495) 465-52-64; e-mail: neklyudova\_gala@mail.ru

**Zhanna K. Naumenko**, Candidate of Medicine, Senior Researcher, Laboratory of Functional and Ultra-Sound Investigations; Federal Pulmonology Research Institute, Federal Medical and Biological Agency of Russia; tel.: (495) 465-52-64; e-mail: naumenko\_janna@mail.ru

## Abstract

Ultrasound diagnostic methods completely respond to all current requirements for diagnostic procedures and are valuable, safe, and relatively independent on the patient's condition. As ultrasound scanners are improved and new diagnostic regimens are developed, their use in different clinical field is extended. The most common ultrasound methods in pulmonology are echocardiography and ultrasonography of pleural cavities. Ultrasound investigation of the lung parenchyma is limited due to full reflection of ultra-sound from the aerated lung tissue. The lung density is increased in respiratory diseases; this gives an opportunity to use ultrasonography together with radiological methods for diagnosis and, therefore, to decrease radiation dose for the patient.

**Key words:** ultrasonography, diagnosis, pulmonology, pleural cavities, lung tissue.

For citation: Neklyudova G.V., Naumenko Zh.K. Ultrasound diagnostic opportunities in pulmonology. *Russian Pulmonology*. 2017; 27 (2): 283–290 (in Russian). DOI: 10.18093/0869-0189-2017-27-2-283-290

В настоящее время диагностические возможности представлены широким набором инструментальных и лабораторных методов исследования. Врачи-пульмонологи в своей практике все чаще обращаются к различным ультразвуковым (УЗ) методам исследования, что обусловлено удобством их применения, возможностью получения важной диагностической

информации в режиме реального времени, отсутствием лучевой нагрузки [1–3]. Однако как и любые другие методы исследования, ультразвуковое исследование (УЗИ) органов грудной клетки имеет свои преимущества и недостатки. В первую очередь, к объективным трудностям УЗ-диагностики относится полное отражение ультразвука от воздушной

ткани легких, что не позволяет визуализировать структуры в глубине легких; кроме того, УЗ-окно ограничено узкими межреберными промежутками.

В пульмонологии УЗИ не рассматривается как базисный метод диагностического процесса, однако в качестве дополнительного может привести существенные коррективы при постановке диагноза, а следовательно, и при назначении лечения. Основная диагностическая информация получается при классическом двухмерном серозконтрастном сканировании (за исключением эхокардиографии (ЭхоКГ)), при этом дополнительных программных опций и технических ресурсов используемых УЗ-сканеров не требуется, а при наличии портативных приборов УЗИ можно выполнить непосредственно у постели больного.

В настоящее время наибольший объем всех УЗИ, проводимых в пульмонологической практике, принадлежит УЗИ сердца и ЭхоКГ.

### Возможности эхокардиографии в пульмонологии

ЭхоКГ как неинвазивный метод незаменим при диагностике легочной гипертензии (ЛГ) в оценке состояния как левых, так и правых отделов сердца. Следует подчеркнуть, что доплер-ЭхоКГ не является методом измерения давления в легочной артерии (ЛА), а позволяет дать расчетную оценку выраженности ЛГ на основе уравнения Бернулли, что базируется на множестве теоретических допущений. С помощью ЭхоКГ можно рассчитать систолическое, диастолическое и среднее давление в ЛА. В клинической практике наиболее часто рассчитывается систолическое давление в ЛА, т. к. доказана достоверная корреляция результатов данного метода с инвазивным методом измерения давления в ЛА (методом Сван–Ганца). Считается, что расчетное систолическое давление в ЛА в норме не превышает 35 мм рт. ст. (или скорость потока трикуспидальной регургитации не превышает 2,6 м / с [4]), диастолическое давление – 8–10 мм рт. ст., среднее давление – до 20 мм рт. ст. Следует помнить, что существует риск как ложноположительного, так и ложноотрицательного диагноза ЛГ, основанного только на данных ЭхоКГ. Тем не менее в настоящее время ЭхоКГ играет одну из ключевых ролей в диагностическом алгоритме ЛГ [5].

Основными ЭхоКГ-признаками ЛГ являются гипертрофия правого желудочка (ПЖ) и / или расширение ПЖ и правого предсердия (ПП), изменение взаимоотношения правых и левых отделов сердца (рис. 1), парадоксальное движение межжелудочковой перегородки (рис. 2), изменение кровотока в ЛА, патологическая трикуспидальная регургитация (скорость потока трикуспидальной регургитации  $\geq 2,8$  м / с [5]). При отсутствии ЛГ толщина передней стенки ПЖ, измеренная при УЗИ, не превышает 5 мм. В норме верхушка сердца образована левым желудочком (ЛЖ), размер ПЖ составляет около 60 % размера ЛЖ. По мере увеличения размеров ПЖ отмечается преобладание ПЖ над ЛЖ. В этом случае при визуальной оценке УЗ-изображе-



Рис. 1. Гипертрофия стенки правого желудочка; дилатация правых отделов сердца; исследование из субкостального доступа  
Figure 1. Right ventricular hypertrophy, the right heart dilation. The subxiphoid view



Рис. 2. Парадоксальное движение межжелудочковой перегородки. Парастернальный доступ (длинная ось левого желудочка); двухмерное и М-модальное исследования  
Figure 2. Paradoxical movement of the interventricular septum. The long axis parasternal view; 2-D and M-mode view

ния верхушка сердца будет образована преимущественно ПЖ. Для оценки величины ПП определяются абсолютные и относительные линейные размеры ПП, а также его площадь, объем и индекс объема ПП. Среднее значение нормальной величины площади ПП составляет  $13,5 \pm 2$  см<sup>2</sup>, индекс объема ПП для мужчин не превышает 34 мл / м<sup>2</sup>, для женщин – 27 мл / м<sup>2</sup> [6]. Ремоделирование ПП имеет высокую чувствительность и специфичность неблагоприятного клинического исхода [7].

Расчет параметров систолической функции ПЖ затруднен из-за формы ПЖ и положения сердца в грудной клетке. В отличие от ЛЖ, наибольший вклад в систолическую функцию ПЖ вносит его продольное укорочение [8]. Поэтому для оценки систолической функции ПЖ наиболее достоверным является анализ изменения ПЖ вдоль его продольной оси. Одним из наиболее простых и воспроизводимых методов является определение амплитуды движения фиброзного кольца трикуспидального клапана (ТК), которая характеризует движение основания ПЖ к его верхушке. Измерение систолической экскурсии фиброзного кольца ТК (*Tricuspid Annular Plane Systolic Excursion – TAPSE*) проводится в М-режиме, курсор располагается в проекции фиброзного кольца передней створки ТК. Исследование рекомендуется проводить из апикального четырехкамерного доступа, поскольку при использовании данного доступа направление движения фиброзного кольца ТК наиболее близко к распространению луча сканирования. В норме TAPSE составляет  $\geq 20$  мм. О систолической дисфункции ПЖ достоверно свидетельствует показатель TAPSE  $< 16$  мм (рис. 3) [4, 9]. Внедрение тканевого доплеровского режима исследования позволило разработать еще один подход к оценке систолической функции ПЖ, основанный на определении скорости систолического движения базального латерального сегмента ПЖ (S') (рис. 4) [4, 9]. В норме этот показатель составляет  $> 11,5$  см / с.

С помощью импульсного и тканевого доплеровских режимов исследования возможно выявить диастолическую дисфункцию ПЖ и дать ее характеристику. Выделяются следующие варианты нару-

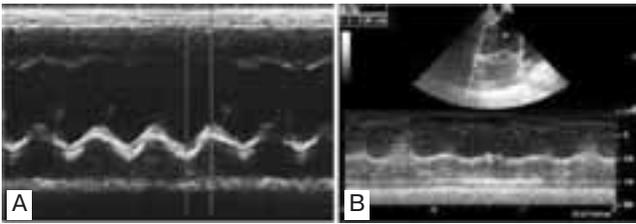


Рис. 3. Пример измерения систолической экскурсии фиброзного кольца трикуспидального клапана для оценки систолической функции правого желудочка. Измерение проводится в М-режиме, курсор расположен в проекции фиброзного кольца передней створки трикуспидального клапана: А – при нормальной функции правого желудочка; В – при нарушении систолической функции правого желудочка

Figure 3. An example of the tricuspid annular plane systolic excursion measurement to evaluate systolic function of the right ventricle. M-mode view; the cursor is placed in the anterior cusp of the tricuspid annular plane: A, normal function of the right ventricle; B, the right ventricle systolic dysfunction

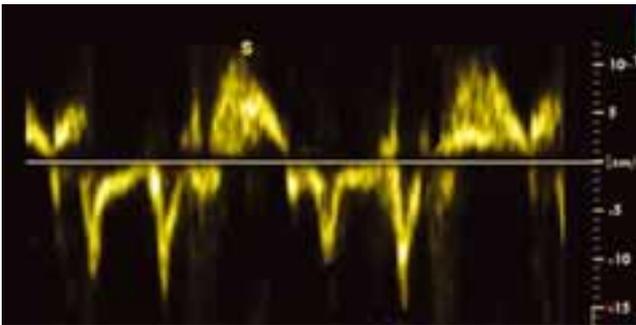


Рис. 4. Скорость систолического движения базального латерального сегмента правого желудочка (S'). Исследование в режиме тканевого импульсного доплеровского сканирования; контрольный объем расположен в проекции базального латерального сегмента правого желудочка

Figure 4. The systolic movement velocity of the basal lateral right ventricular segment (S'). The pulsed wave tissue Doppler imaging; the control volume is located in the basal lateral right ventricular segment plane

шения диастолической функции ПЖ: нарушение релаксации, псевдонормальный и рестриктивный тип нарушения [4]. При значительном увеличении объема ПЖ при прекапиллярной ЛГ происходит сдавление ЛЖ и нарушение его наполнения, что проявляется снижением сердечного выброса и диастолической дисфункцией ЛЖ. Четкой связи нарушений систолической и диастолической функции ПЖ и степенью ЛГ не установлено.

С помощью ЭхоКГ можно оценить состояние клапана ЛА (выявить стеноз или недостаточность клапана ЛА), а также измерить диаметр ствола ЛА. Дилатация ствола ЛА, согласно современным рекомендациям по диагностике и лечению ЛГ [5], является одним из дополнительных признаков ЛГ, используемым в диагностическом алгоритме. Патология легочного клапана редко бывает приобретенной. Чаще всего встречается врожденный порок – стеноз клапана ЛА.

В настоящее время с развитием УЗ-технологий стало возможным проводить измерение объема и фракции выброса ПЖ с помощью трехмерной ЭхоКГ. Показана хорошая корреляционная зависи-

мость между объемом ПЖ, измеренным с помощью трехмерной ЭхоКГ, и объемом ПЖ, определенным при магнитно-резонансной томографии [10, 11]. По сравнению с двухмерной ЭхоКГ, недооценка объема ПЖ при трехмерной ЭхоКГ выражена в меньшей степени. Однако в настоящее время систематизация полученных результатов различных исследований затруднена, т. к. используются разные методы трехмерной ЭхоКГ.

Роль стресс-ЭхоКГ для диагностики ЛГ остается спорной. Во-первых, нет единого мнения о методике и протоколе проведения исследования. Во-вторых, имеется множество важных ограничений по оценке и интерпретации данных доплеровского исследования, полученных во время нагрузочного тестирования.

Методики *Strain* и *Strain Rate* дают возможность исследовать деформацию и скорость деформации сегментов миокарда. В исследовании *A.Sachdev et al.* показано, что систолическая деформация и скорость деформации ПЖ могут использоваться для прогноза неблагоприятного клинического исхода [12], однако эти показатели имеют высокую вариабельность и недостаточную воспроизводимость, следовательно, границы их должных значений не разработаны.

Технология *Speckle Tracking Imaging*, являясь угонезависимой, позволяет по движению зернистых структур миокарда на стандартном серошкальном изображении в В-режиме получить данные о скорости движения и деформации различных участков миокарда в продольном и радиальном направлениях (*2D-strain*) [13]. Показана более высокая чувствительность и специфичность результатов этих исследований по сравнению с показателями тканевой доплерографии. Однако в настоящее время накоплен недостаточный опыт применения этой УЗ-технологии, что ограничивает использование данного метода в рутинной клинической практике.

Вторым по частоте УЗИ, применяемым в пульмонологии, является исследование плевры и плевральных полостей.

### Ультразвуковое исследование плевральных полостей

Хорошо известно, что при УЗИ воздушная легочная ткань не препятствует визуализации плевральной полости, а жидкость в плевральной полости обладает хорошими акустическими свойствами, поэтому появляется возможность изучить эхоструктуру плевральной полости, состояние плевральных листков и легкого, прилежащего к жидкости. При этом информативность УЗИ плевральной полости значительно выше УЗИ легкого. Кроме того, при наличии жидкости УЗИ плевры и плевральной полости значительно превосходит рентгенографию и компьютерную томографию (КТ) по чувствительности и специфичности<sup>1–3</sup>. В свою очередь, рентгенологические

<sup>1</sup> Сафонов Д.В., Шахов Б.Е. Ультразвуковая диагностика плевральных выпотов: Учебное пособие. М.: ВИДАР; 2011.

<sup>2</sup> Сафонов Д.В., Шахов Б.Е. Ультразвуковая диагностика воспалительных заболеваний легких: Учебное пособие. М.: ВИДАР; 2011.

<sup>3</sup> Сторожаков Г.И., Шахов Б.Е., ред. Ультразвуковая визуализация воспалительных легочно-плевральных процессов: Методические рекомендации для врачей. М.: Медицинское информационное агентство; 2011.

методы исследования необходимы для оценки состояния легочной паренхимы, бронхиального дерева, грудной клетки при поиске экстраплевральных причин появления жидкости, а также при пневмотораксе и гидропневмотораксе.

Врачу, проводящему исследование плевральных полостей, необходимо установить факт наличия жидкости в плевральной полости, определить ее локализацию и примерный объем выпота, по возможности, оценить характер плеврального выпота, состояние плевральных листков, произвести разметку для проведения плевральной пункции.

В зависимости от биохимического и цитологического состава плевральной жидкости, а также патогенеза ее образования, плевральные выпоты разделяются на трансудат и экссудат. Накопление трансудата в плевральной полости обозначается как гидроторакс. Гидроторакс образуется в случаях, когда количество образующейся плевральной жидкости превышает количество выводимой. Такая патологическая ситуация возникает при застойной сердечной недостаточности, циррозе печени, нефротическом синдроме.

При гидротораксе содержимое плевральной полости, как правило, однородное, полной акустической прозрачности (анэхогенное), не имеет никаких включений и свободно распределено в плевральной полости. Плевральные листки не изменены (рис. 5).

Экссудат отличается от трансудата большей относительной плотностью ( $> 1,018$ ), высоким содержанием белка ( $> 30$  г / л). Экссудативный плеврит наиболее часто возникает при распространении инфекционного воспалительного процесса в легких на плевру, а также может наблюдаться при метастатическом поражении плевры и злокачественных опухолях легких.

При серозном экссудате или на ранних стадиях развития серозно-фибринозного экссудата содержимое плевральной полости может иметь достаточно однородную анэхогенную структуру без изменения листков плевры. Поскольку экссудат характеризуется высоким содержанием белка, то в дальнейшем отмечается выпадение фибрина в осадок с образованием наложений на плевре различной толщины и распространенности, образование фибриновых тяжей и нитей, взвеси (рис. 6). При организации выпота фибриновые наложения на плевральных листках организуются в плотную соединительную ткань с образованием плевральных шварт<sup>1</sup>.

Гиперэхогенное гомогенное содержимое плевральной полости может быть выявлено при гемотораксе. Однако при динамическом наблюдении могут быть выявлены изменения структуры содержимого плевральной полости.

Эмпиема плевры или пиоторакс является результатом неблагоприятного варианта течения экссудативного плеврита. Пиоторакс характеризуется наличием содержимого достаточно густой консистенции (т. е. содержимое имеет высокую акустичес-



Рис. 5. Анэхогенный выпот в плевральной полости (стрелка)  
Figure 5. Unechogenic pleural effusion (the arrow)



Рис. 6. Примеры ультразвукового изображения экссудативного плеврита; образование «фибриновых нитей» (правый рисунок)  
Figure 6. Examples of ultrasonographic imaging of pleural effusion and fibrin bundles (on the right)



Рис. 7. Ультразвуковое изображение плевры. Утолщение плевры может быть признаком опухолевой инфильтрации<sup>4</sup>  
Figure 7. Ultrasonographic imaging of the pleura. The thickening of the pleura could be a sign of tumorous infiltration<sup>4</sup>

кую плотность и по акустическим свойствам аналогично акустической плотности нормальной печени или превышает ее) и малой подвижностью<sup>1-3</sup>.

При обнаружении жидкости не только в обеих плевральных полостях, но и в полости перикарда следует исключать экссудативный характер жидкости, в первую очередь опухолевого генеза. С этой целью проводится исследование плевральных листков для выявления опухолевого поражения плевры — метастазов на плевре или первичного опухолевого поражения<sup>4</sup> (рис. 7), причем данное исследование следует проводить до плевральной пункции, поскольку большое количество жидкостного содержимого является хорошим УЗ-окном. Утолщение плевральных листков или выявление изоэхогенных узловых образований различной формы в ее структуре могут быть выявлены при карциноматозе плевры [14]. При злокачественной мезотелиоме плевральные листки могут иметь нерегулярные гипоэхогенные утолщения с нечеткими границами. Для обнаружения плевральных метастазов рентгенография грудной клетки неинформативна.

<sup>4</sup> Atlas d'échographie thoracique en pneumologie. Mangiapan Hôpital Intercommunal de Créteil. France, Créteil; 2015.

Различаются свободные и осумкованные плевральные выпоты. При свободном выпоте жидкость может свободно перемещаться в любой отдел при перемене положения тела, поскольку жидкость не ограничена дополнительными структурами в плевральной полости, например фибринозными перегородками, швартами или плевральными сращениями. Осумкование характеризуется ограничением жидкости в определенной области и невозможностью или затруднением ее перемещения за счет наличия плотных фиброзных структур<sup>1–3</sup>. Осумкование может быть полным или частичным. Наибольшей склонностью к осумкованию обладает гнойный экссудат.

Наиболее простой способ количественной оценки величины плеврального содержимого — это определение расхождения плевральных листков, т. е. толщины паракостального (наибольшее расстояние между костальной поверхностью воздушного легкого и грудной стенкой) или субпульмонального (наибольшее расстояние между базальной поверхностью легкого и диафрагмой) слоя жидкости<sup>1</sup>. На наш взгляд, этот способ наиболее прост, менее субъективен, достаточно высоковоспроизводим, поэтому может быть применен при динамическом наблюдении, причем как в одном, так и в разных лечебных учреждениях.

Кроме данного метода оценки количества плеврального содержимого, существуют эмпирические правила и различные математические способы расчета объема. Однако следует отметить, что все эти способы дают приблизительную количественную оценку с достаточной величиной ошибки, поскольку свободный плевральный выпот может иметь сложную геометрическую форму с большим количеством разнообразных по величине и форме плотных структур внутри. Кроме того, данный подход не лишен высокой доли субъективизма, а результат исследования во многом зависит от опыта врача, проводящего данное исследование. При правильной геометрической форме осумкованного выпота применение формулы для расчета объема эллипса позволяет получить достаточно точное определение его объема.

Использование УЗ-метода при проведении инвазивных процедур повышает их безопасность и результативность. Показано, что плевроцентез под контролем УЗ-сканирования позволяет получить жидкость в 80–90 % ранее безуспешных процедур, проведенных «вслепую» [15] и снизить частоту ятрогенного пневмоторакса до 0–5 % [16–20].

Существует несколько причин, при которых невозможно получить информативное УЗ-изображение. Наличие слоя воздуха в мягких тканях грудной стенки при подкожной и межмышечной эмфиземе, развитие пневмоторакса вызывают полное отражение УЗ-волн. В этой ситуации рентгенологические методы исследования позволяют оценить степень коллапсирования легкого, распространенность воздуха в плевральной полости. Однако даже данный феномен полного отражения ультразвука от воздуха может использоваться для диагностики пневмото-

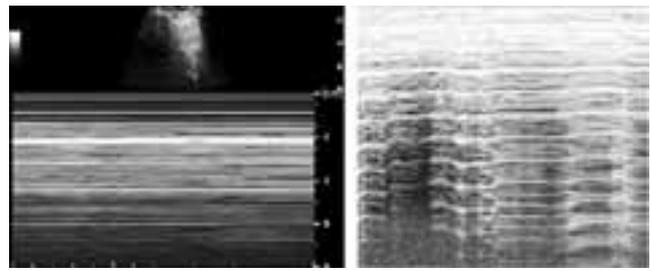


Рис. 8. Примеры ультразвуковых изображений при пневмотораксе. Исследование в М-режиме (признак «штрих-код»)<sup>4</sup>  
Figure 8. Examples of ultrasonographic imaging of pneumothorax. M-mode image (the «barcode sign»)<sup>4</sup>

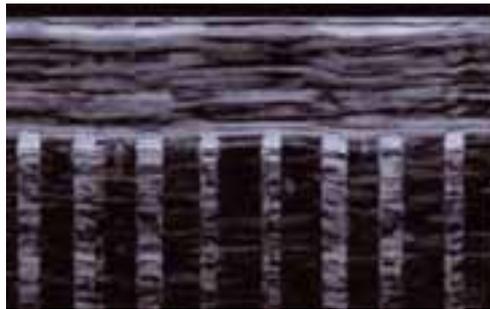


Рис. 9. Ультразвуковое изображение при гидропневмотораксе. Область исследования — на границе воздушной среды и жидкости. Исследование в М-режиме<sup>4</sup>  
Figure 9. Ultrasonographic imaging of hydropneumothorax. The image is on the border between the air and fluid. M-mode image<sup>4</sup>

ракса и гидропневмоторакса, которые имеют свои специфические УЗ-признаки (рис. 8, 9), а УЗИ в динамике позволяет избежать повторных рентгенологических исследований.

Следующим компонентом, который может быть оценен при УЗИ грудной полости, является легочная ткань.

### Возможности ультразвукового исследования для выявления поражения легочной ткани

Поскольку УЗ-луч в норме отражается от воздуха в субплевральных альвеолах, то изображение получается только от самой поверхности воздушного легкого, а структуры легочной ткани, расположенные глубже, визуализировать невозможно [21, 22]. Визуализация легочной ткани становится возможной, если она лишена воздушности (синдром потери воздушности легочной ткани). Такая ситуация возникает при сдавлении легочной ткани извне (например, при ателектазах), воспалительной инфильтрации легочной ткани, опухолях, при этом УЗ-картина данных патологических изменений будет разной.

При пневмонии внешняя поверхность консолидированного участка представляет собой правильную краевую линию и соответствует висцеральной плевре, в то время как дальние (глубокие) границы нерегулярны и меняются с дыханием, эхоструктура негетогенная<sup>2,3</sup> [23]. В участке консолидации могут определяться гиперэхогенные линейные сигналы, соответствующие бронхиальным стенкам, а при наличии жидкостного содержимого в бронхах визуализируются параллельные гиперэхогенные линейные

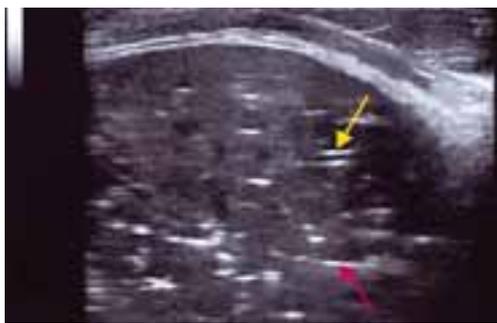


Рис. 10. Ультразвуковое изображение участка консолидации. Структура участка консолидации неоднородная, визуализируются бронхиальные стенки (→), в т. ч. стенки бронхов с жидкостным содержимым (→) [23]  
Figure 10. Ultrasonographic imaging of consolidation area. The structure of the consolidation area is heterogeneous; bronchial walls are visible (→) including those with fluid inclusion (→) [23]

структуры с анэхогенной прослойкой внутри (рис. 10) [24]. При цветном доплеровском сканировании в консолидированном участке может быть выявлен сосудистый рисунок. При УЗИ участок консолидации, как правило, меньше, чем при рентгенографии грудной клетки, потому что периферия этого участка, как правило, частично заполнена воздухом [24].

При абсцессе легких в области консолидации определяется гипоехогенный неоднородный участок с четко определенными стенками, соответствующий жидкостному компоненту, с «густым» содержимым [25, 26]. При наличии воздуха в области абсцесса определяются эхогенные очаги.

Для совершенствования диагностического процесса важную роль играет динамическое наблюдение. Так, УЗ-картина при воспалительной инфильтрации легочной ткани при адекватной консервативной терапии весьма динамична по сравнению с изменениями, вызванными ателектазом. При компрессионном ателектазе уменьшение безвоздушного участка легочной ткани происходит пропорционально уменьшению объема жидкости в плевральной полости, поэтому после пункционной эвакуации плеврального выпота воздушность легочной ткани восстанавливается.

Использование датчиков различной частоты дает возможность получить дополнительную информацию. Так, применение высокочастотных датчиков может позволить определить распространение опухоли на плевру, ребра [27].

В последнее время все чаще обсуждается вопрос о возможности использования УЗ-артефакта, возникающего при отражении звуковых волн от уплотненного участка легочной ткани и названного «В-линия» (синонимы: «хвост кометы», «артефакт хвоста кометы»). Разница в акустическом импедансе между измененной легочной паренхимой и окружающими тканями уменьшается, что позволяет УЗ-лучу частично проникать в легочную ткань в зоне утолщения междольковых перегородок. В результате попадания УЗ-луча на границу между измененной междольковой перегородкой и воздушными альвеолами возникают множественные реверберации. Данный УЗ-эффект выглядит на экране как вертикально расположенный эхогенный луч (или лучи), идущий от плевральной линии, расширяющийся к противоположному краю

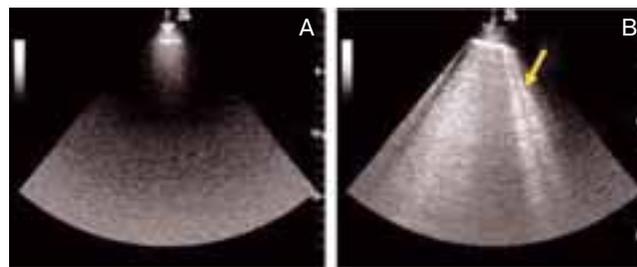


Рис. 11. Ультразвуковое изображение легочной ткани: А – неизменная легочная ткань, В – ультразвуковой эффект «В-линия» («хвост кометы») (стрелка)  
Figure 11. Ultrasonographic imaging of the lung tissue: A, the normal lung tissue; B, the B-line (the comet-tail artifact) (the arrow)

экрана идвигающийся синхронно со скольжением легких [28, 29] (рис. 11). Проведенные исследования [30–33] показывают, что множественные В-линии – альвеолярный интерстициальный синдром (АИС) могут присутствовать при интерстициальных поражениях легких (ИПЛ), кардиогенном отеке легких (КОЛ), остром респираторном дистресс-синдроме (ОРДС). Продемонстрирована связь выраженности этого феномена с КТ-изменениями, функциональными изменениями легких (диффузионной способностью легких) [33]. Основным лимитирующим фактором данного метода является субъективный характер визуальной оценки, однако он может рассматриваться как скрининговый метод первичной диагностики патологии легочной паренхимы. Для объективизации анализа полученной информации в настоящее время предложены несколько методических подходов оценки выраженности интерстициального синдрома, что позволяет получить полуквантитативную характеристику данного феномена.

Важно не только выявить интерстициальный синдром, но и попытаться оценить его в комплексе с другими клиническими и УЗ-признаками. Так, АИС при ИПЛ и ОРДС распределен неравномерно по легочным полям, причем при ИПЛ в большей степени АИС определяется в дорзальных и нижних отделах легких. При КОЛ наблюдается уменьшение выраженности АИС при назначении диуретической терапии. Такой УЗ-признак, как неровный ход плевральной линии (рис. 12), определяется при ИПЛ и ОРДС, в то время как при КОЛ легочная поверх-

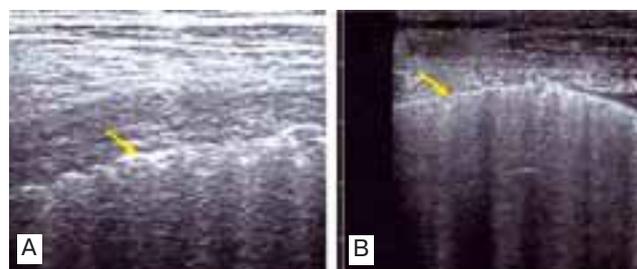


Рис. 12. Ультразвуковое изображение поверхности легкого (стрелка): А – неровный (нерегулярный) ход плевральной линии и множественные В-линии при идиопатическом легочном фиброзе; В – ровный (регулярный) ход плевральной линии и множественные В-линии при кардиогенном отеке легких [23]  
Figure 12. Ultrasonographic imaging of the lung surface (the arrow): A, rough (irregular) pleural lines and multiple B-lines in idiopathic pulmonary fibrosis; B, smooth (regular) pleural lines and multiple B-lines in cardiogenic pulmonary oedema [23]

ность не меняется, т. е. ход плевральной линии регулярный. Кроме того, при КОЛ участок консолидации не определяется [24].

Таким образом, важна оценка не отдельных УЗ-признаков, выявляемых при исследовании легких и плевры, а их комплексный и, по возможности, динамический анализ.

### Ультразвуковое исследование диафрагмы

Одной из актуальных проблем пульмонологии является анализ состояния диафрагмы как основной дыхательной мышцы, что особенно важно при решении вопроса об отлучении пациента от искусственной вентиляции легких. С этой задачей вполне успешно может справиться УЗИ диафрагмы. В норме при спокойном вдохе диафрагма движется в каудальном направлении, при этом амплитуда движения превосходит 10–15 мм (рис. 13). При дисфункции диафрагмы амплитуда движения становится  $< 5$  мм или может регистрироваться парадоксальное движение диафрагмы в краниальном направлении. Нормальная толщина диафрагмы в области ее соприкосновения с грудной стенкой при спокойном выдохе составляет  $> 2$  мм, а при вдохе она должна утолщаться на  $> 20\%$ . Уменьшение толщины диафрагмы при спокойном выдохе и уменьшения ее утолщения при вдохе может указывать на парез диафрагмы, а нормальное утолщение диафрагмы – предсказать успех при отлучении больного от искусственной вентиляции легких [34].

### Возможности ультразвукового исследования при различных заболеваниях легких

Применение УЗ-методов в пульмонологии имеет широкие и разнообразные аспекты, например оценка распространенности патологического процесса при опухолях, лимфангиолейомиоматозе (ЛАМ), саркоидозе и т. д. Так, в клинической практике у больных саркоидозом легких нередко необходимо оценить состояние периферических лимфатических узлов. С помощью УЗИ можно выявить как увеличение отдельных групп лимфатических узлов, так и оценить их структуру. Выявление увеличенных лимфатических узлов округлой формы, гипоехогенной структуры без гиперэхогенной срединной части свидетельствует о генерализации процесса, а умень-

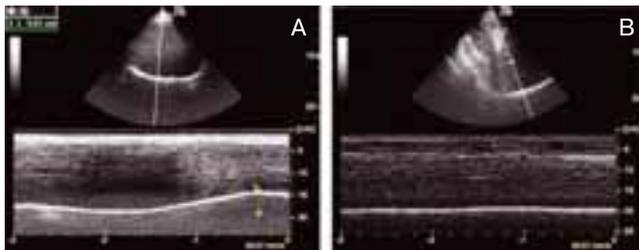


Рис. 13. Движение диафрагмы, анализ экскурсии диафрагмы при глубоком вдохе: А – в норме, В – при дисфункции / парезе диафрагмы

Figure 13. Diaphragm movements and diaphragm excursion in deep inspiration: A, normal; B, in dysfunction / palsy of the diaphragm

шение их размеров в процессе лечения и нормализация структуры – о положительной динамике.

У больных ЛАМ с помощью УЗИ органов брюшной полости и почек можно выявить гемангиомы печени и ангиомиолипому почек, что для врача-пульмонолога является дополнительной информацией, подтверждающей диагноз ЛАМ. У женщин с диагнозом ЛАМ необходимо проведение УЗИ органов малого таза для исключения дополнительных образований.

При раке легкого рекомендуется проведение УЗИ печени для выявления очагового поражения, что свидетельствует о генерализации процесса.

### Заключение

Грамотное использование УЗИ помогает врачу-пульмонологу объективно оценить состояние пациента и рационально выстроить диагностический процесс, выбрать правильную тактику лечения или скорректировать ее. Учитывая рентгенологическую безопасность и доступность, методы УЗ-диагностики незаменимы при динамическом наблюдении и могут быть повторены с необходимой частотой, а в ряде случаев – послужить разумной альтернативой рентгенологическому исследованию легких. Для повышения качества и безопасности диагностики следует не противопоставлять эти методы исследования, а оптимально сочетать их между собой. Однако следует понимать, что при интерпретации полученных клинических, лабораторных и инструментальных данных персонифицировать как диагностический, так и лечебный процесс позволяет лишь комплексный подход.

#### Конфликт интересов

Конфликт интересов отсутствует. Публикация подготовлена без участия спонсоров.

#### Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest. This publication was not sponsored.

### Литература / References

1. Koenig S.J., Narasimhan M., Mayo P.H. Thoracic ultrasonography for the pulmonary specialist. *Chest*. 2011; 140 (5): 1332–1341. DOI: 10.1378/chest.11-0348.
2. Havelock T., Teoh R., Laws D. et al. Pleural procedures and thoracic ultrasound: British Thoracic Society pleural disease guideline 2010. *Thorax*. 2010; 65 (Suppl. 2): ii61–ii76. DOI: 10.1136/thx.2010.137042.
3. Expert Round Table on Ultrasound in ICU: International expert statement on training standards for critical care ultrasonography. *Intensive Care Med*. 2011; 37 (7): 1077–1083. DOI: 10.1007/s00134-011-2246-9.
4. Rudski L.G., Lai W.W., Afilalo J. et al. Guidelines for the Echocardiographic Assessment of the Right Heart in Adults: A Report from the American Society of Echocardiography, Endorsed by the European Association of Echocardiography, a registered branch of the European Society of Cardiology, and the Canadian Society of Echocardiography. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2010; 23 (7): 685–713. DOI: 10.1016/j.echo.2010.05.010.
5. Galiè N., Humbert M., Vachiery J.L. et al. 2015 ESC/ERS Guidelines for the diagnosis and treatment of pulmonary

- hypertension. The Joint Task Force for the Diagnosis and Treatment of Pulmonary Hypertension of the European Society of Cardiology (ESC) and the European Respiratory Society (ERS). Endorsed by: Association for European Paediatric and Congenital Cardiology (AEPC), International Society for Heart and Lung Transplantation (ISHLT). *Eur. Heart J.* 2016; 37 (1): 67–119. DOI: 10.1093/eurheartj/ehv317.
6. Lang R.M., Bierig M., Devereux R.B. et al. Recommendations for chamber quantification: a report from the American Society of Echocardiography's Guidelines and Standards Committee and the Chamber Quantification Writing Group, developed in conjunction with the European Association of Echocardiography, a branch of the European Society of Cardiology. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2005; 18 (12): 1440–1463. DOI: 10.1016/j.echo.2005.10.005.
  7. Grapsa J., Gibbs J.S., Cabrita I.Z. et al. The association of clinical outcome with right atrial and ventricular remodeling in patients with pulmonary arterial hypertension: study with real-time three-dimensional echocardiography. *Eur. Heart J. Cardiovasc. Imaging.* 2012; 13 (8): 666–672. DOI: 10.1093/ehjci/jes003.
  8. Rushmer R.F., Crystal D.K., Wagner C. The functional anatomy of ventricular contraction. *Circ. Res.* 1953; 1: 162–170.
  9. Howard L.S., Grapsa J., Dawson D. et al. Echocardiographic assessment of pulmonary hypertension: standard operating procedure. *Eur. Respir. Rev.* 2012; 21 (125): 239–248; DOI: 10.1183/09059180.00003912.
  10. Leibundgut G., Rohner A., Grize L. et al. Dynamic assessment of right ventricular volumes and function by real-time three-dimensional echocardiography: a comparison study with magnetic resonance imaging in 100 adult patients. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2010; 23 (2): 116–126. DOI: 10.1016/j.echo.2009.11.016.
  11. van der Zwaan H.B., Helbing W.A., McGhie J.S. et al. Clinical value of real-time three-dimensional echocardiography for right ventricular quantification in congenital heart disease: validation with cardiac magnetic resonance imaging. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2010; 23 (2): 134–140. DOI: 10.1016/j.echo.2009.12.001.
  12. Sachdev A., Villarraga H.R., Frantz R.P. et al. Right ventricular strain for prediction of survival in patients with pulmonary arterial hypertension. *Chest.* 2011; 139 (6): 1299–1309. DOI: 10.1378/chest.10-2015.
  13. Mor-Avi V., Lang R.M., Badano L.P. et al. Expert consensus statement. Current and Evolving Echocardiographic Techniques for the Quantitative Evaluation of Cardiac Mechanics: ASE/EAE Consensus Statement on Methodology and Indications Endorsed by the Japanese Society of Echocardiography. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2011; 24 (3): 277–313. DOI: 10.1016/j.echo.2011.01.015.
  14. Mathis G. Thoraxsonography. Part I. Chest wall and pleura. *Ultrasound Med. Biol.* 1997; 23 (8): 1131–1139.
  15. Weingardt J.P., Guico R.R., Nemcek A.A. Jr et al. Ultrasound findings following failed, clinically directed thoracenteses. *J. Clin. Ultrasound.* 1994; 22 (7): 419–426.
  16. Grogan D.R., Irwin R.S., Channick R. et al. Complications associated with thoracentesis: A prospective, randomized study comparing three different methods. *Arch. Intern. Med.* 1990; 150 (4): 873–877.
  17. Colt H.G., Brewer N., Barbur E. Evaluation of patient-related and procedure-related factors contributing to pneumothorax following thoracentesis. *Chest.* 1999; 116 (1): 134–138. DOI: 10.1378/chest.116.1.134.
  18. Barnes T.W., Morgenthaler T.I., Olson E.J. et al. Sonographically guided thoracentesis and rate of pneumothorax. *J. Clin. Ultrasound.* 2005; 33 (9): 442–446. DOI: 10.1002/jcu.20163.
  19. Jones P.W., Moyers J.P., Rogers J.T. et al. Ultrasound-guided thoracentesis: is it a safer method? *Chest.* 2003; 123 (2): 418–423.
  20. Doyle J.J., Hnatiuk O.W., Torrington K.G. et al. Necessity of routine chest roentgenography after thoracentesis. *Ann. Intern. Med.* 1996; 124 (9): 816–820.
  21. Grymiski J., Krakowka P., Lypacewicz G. The diagnosis of pleural effusion by ultrasonic and radiographic techniques. *Chest.* 1976; 70 (1): 33–37.
  22. Sakai F., Sone S., Kiyono K. et al. High resolution ultrasound of the chest wall. *Fortschr. Rofo. Bd.* 1990; 153 (4): 390–394. DOI: 10.1055/s-2008-1033401.
  23. Zanobetti M., Poggioni C., Rini R. Can chest ultrasonography replace standard chest radiography for evaluation of acute dyspnoea in the ED? *Chest.* 2011; 139 (5): 1140–1147. DOI: 10.1378/chest.10-0435.
  24. Reissig A., Copetti R. Lung Ultrasound in Community-Acquired Pneumonia and in Interstitial Lung Diseases. *Respiration.* 2014; 87 (3): 179–189. DOI: 10.1159/000357449.
  25. Mathis G. Thoraxsonography. Part II. Peripheral pulmonary consolidation. *Ultrasound Med. Biol.* 1997; 23 (8): 1141–1153. DOI: 10.1016/S0301-5629(97)00111-7.
  26. Chen H.J., Yu Y.H., Tu C.Y. et al. Ultrasound in peripheral pulmonary air-fluid lesions. Color Doppler imaging as an aid in differentiating empyema and abscess. *Chest.* 2009; 135 (6): 1426–1432. DOI: 10.1378/chest.08-2188.
  27. Bandi V., Lunn W., Ernst A. et al. Ultrasound vs CT in detecting chest wall invasion by tumor: a prospective study. *Chest.* 2008; 133 (4): 881–886. DOI: 10.1378/chest.07-1656.
  28. Volpicelli G., Elbarbary M., Blaivas M. Internationalevidence-based recommendations for point-of-care lung ultrasound. *Intensive Care Med.* 2012; 38 (4): 577–591. DOI: 10.1007/s00134-012-2513-4.
  29. Алехин М.И. Ультразвуковое исследование легких для диагностики внесосудистой жидкости. *Креативная кардиология.* 2015; (1): 27–37. DOI: 10.15275/kreatkard.2015.01.03. / Alekhin M.I. Ultrasound investigation of the lungs for diagnosis of extravasal fluid. *Kreativnaya kardiologiya.* 2015; (1): 27–37. DOI: 10.15275/kreatkard.2015.01.03 (in Russian).
  30. Copetti R., Soldati G., Copetti P. Chest sonography: a useful tool to differentiate acute cardiogenic pulmonary oedema from acute respiratory distress syndrome. *Cardiovasc. Ultrasound.* 2008; 6: 16. DOI: 10.1186/1476-7120-6-16.
  31. Bouhemad B., Zhang M., Lu Q., Roubly J.J. Clinical review: Bedside lung ultrasound in critical care practice. *Crit. Care.* 2007; 11: 205. DOI: 10.1186/cc5668.
  32. Frassi F., Gargani L., Gligorova S. et al. Clinical and echocardiographic determinants of lung comets. *Eur. J. Echocardiogr.* 2007; 8 (6): 474–479. DOI: 10.1016/j.euje.2006.09.004.
  33. Gargani L., Doveri M., D'Errico L. et al. Ultrasound lung comets in systemic sclerosis: a chest sonography hallmark of pulmonary interstitial fibrosis. *Rheumatology.* 2009; 48 (11): 1382–1387. DOI: 10.1093/rheumatology/kep263.
  34. DiNino E., Gartman E.J., Sethi J.M., McCool F.D. Diaphragm ultrasound as a predictor of successful extubation from mechanical ventilation. *Thorax.* 2014; 69 (5): 423–427. DOI: 10.1136/thoraxjnl-2013-204111.

Поступила 13.02.17  
Received February 13, 2017