



Intensive Care Med (2025) 51:769–772
<https://doi.org/10.1007/s00134-025-07851-y>

EDITORIAL

How we use critical care ultrasound in the management of ventilatory settings in ARDS patients



Silvia Mongodi^{1*}  and Luigi Camporota^{2,3}

Как мы используем ультразвук в интенсивной терапии при управлении вентиляционными установками у пациентов с ОРДС
Перевод В.С. Гороховского



Как мы используем ультразвук в интенсивной терапии при управлении вентиляционными установками у пациентов с ОРДС

Silvia Mongodi, Luigi Camporota

Идентификация ОРДС

Использование ультразвукового исследования легких (УЗИЛ) при остром респираторном дистресс-синдроме (ОРДС) значительно расширилось, а его диагностическая роль недавно была признана в Глобальном определении ОРДС [1].

При ОРДС методом УЗИ легких выявляются двусторонние признаки нарушения аэрации, такие как «В»-линии или тканеподобный паттерн (электронные дополнительные материалы 1–4). При кардиогенном отеке наблюдаются аналогичные двусторонние изменения; однако при ОРДС распределение потери аэрации неоднородно, и перемежается с неповрежденными участками (видео5); плевральная оболочка имеет аномалии и субплевральные уплотнения (видео2–3) с уменьшением подвижности; плевральные выпоты встречаются редко и обычно не являются двусторонними и симметричными, как при кардиогенном отеке [2]. Эхокардиография помогает исключить кардиогенный отек как основную причину гипоксемии, измеряя нормальную систолическую/диастолическую функцию левого желудочка (ЛЖ) и давление преднагрузки ЛЖ [3].

Количественный метод УЗИ легких позволяет оценить общую и региональную аэрацию легких путем расчета индекса аэрации. Он определяет четыре последовательные стадии потери аэрации, оцениваемые по шкале от 0 до 3, что указывает соответственно на нормальную, легкую, умеренную и тяжелую степень потери аэрации (рис. 1). Общий балл, полученный для шести областей в каждой половине грудной клетки, связан с плотностью легких, определяемой при количественной компьютерной томографии (кКТ) [4].

Закономерности ОРДС и мониторинг аэрации

Региональное распределение потери аэрации позволяет отличить *очаговый* от *неочагового* ОРДС, также как и компьютерная томография, и помогает врачам персонализировать вентиляцию [5].

Оценка по шкале УЗИ легких > 2 указывает на неочаговый характер и может быть связана с более высоким потенциалом рекрутирования. После определения фенотипа ПДКВ можно скорректировать с учетом результатов других исследований, таких как



расширенная оценка механики дыхания с помощью давления в пищеводе или оценка податливости и дыхательного гистерезиса во время исследования с уменьшением уровня ПДКВ. Затем с помощью ультразвука легких можно отслеживать влияние настроек ПДКВ на аэрацию легких.

«*Рекрутируемость легких*», оцениваемая ультразвуковым методом исследования, отличается от *количественной характеристики рекрутируемости* по данным кКТ, так исследование не выявило корреляции между изменениями в показателях УЗИ легких и рекрутируемостью, измеряемой кКТ [4]. На самом деле, в то время как кКТ измеряет *рекрутирование тканей* (т. е. увеличение объема ранее безвоздушных тканей), УЗ оценка выявляет изменения в аэрации независимо от ее исходного состояния, объединяя два явления: *альвеолярную инфляцию*, представляющую собой увеличение аэрации частично наполненных альвеол, и *рекрутирование*, возникающее в результате открытия альвеол, лишенных воздуха. Таким образом, УЗИ легких измеряет «приток воздуха» и коррелирует с притоком воздуха, вызванным ПДКВ, который измеряется с помощью кривых «давление-объем» [6], соотношения притока воздуха и инфляции [7] и газообмена [8].

Потеря аэрации, не затрагивающая передние отделы (*очаговый характер*), указывает на более раннее использование прон-позиции [5]. В этом случае изменения в показателях LUS в первую очередь наблюдаются в задних отделах и коррелируют с улучшением газообмена [8] и *притоком воздуха*, измеряемым по конечному экспираторному объему легких с помощью вымывания/заполнения азотом [9]. Прон-позиция часто вызывает гемодинамическую нестабильность; в этом положении возможны как чреспищеводные, так и трансторакальные доступы для проведения соответствующего лечения [10].

УЗИ можно использовать для мониторинга восстановления легких [11], что снижает потребность в традиционной рентгенологической визуализации, актуальной для пациентов с тяжелым ОРДС и особенно для тех, кому проводится ЭКМО, и транспортировка к месту проведения КТ сопряжена со значительными рисками.

Выявление осложнений.

Ультразвуковое исследование в отделении интенсивной терапии также помогает выявить недостатки более высоких уровней ПДКВ: повреждение правого желудочка (ПЖ) из-за повышенной постнагрузки определяется по расширению ПЖ ($RVEDA/LVEDA > 0,6^1$ — электронное приложение 6), дискинезии перегородки или

¹ RVEDA/LVEDA – соотношение конечно-диастолической области правого и левого желудочков



нарушению систолической функции ПЖ ($TAPSE^2 < 17$ мм) [12]. У пациентов с ухудшением оксигенации после увеличения ПДКВ следует заподозрить право-левый шунт через открытое овальное окно и проверить его с помощью эхографии и пузырьковой пробы во время паузы в конце вдоха.

**ЭХОКАРДИОГРАФИЯ**

**УЗИ ЛЕГКИХ**

**УЗИ ДИАФРАГМЫ**

КОЛИЧЕСТВЕННОЕ УЗИ ЛЕГКИХ

- Исключает кардиогенные этиологии
- Исключает недостаточность ПЖ, вторичную по отношению к ИВЛ
- Исключает шунт справа налево с помощью «пузырькового теста»*
- Определяет диастолическую дисфункцию ЛЖ как причину неудачи отлучения

- Определяет специфические характеристики ОРДС
- Исключает осложнения ИВЛ (например, пневмоторакс)
- Определяет суперинфекции

- Помогает определить фенотип (очаговый/диффузный) или выбрать стратегию вентиляции
- Количественная оценка начальной потери азрации и реакции на специфическое лечение (рекрутмент, про-позиционирование)
- Контроль восстановления легких
- Выявляет пациентов с риском неудачи отлучения

- Помогает установить поддержку давлением
- Определяет мышечную дисфункцию как причину неудачи отлучения

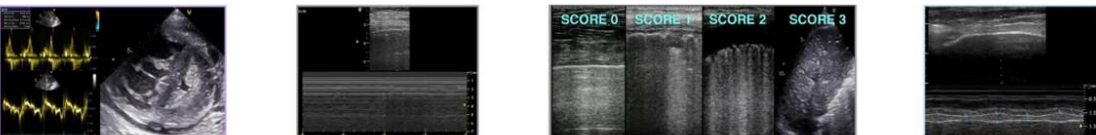


Рисунок 1. Вклад ультразвука критических состояний в лечение пациентов с ОРДС на искусственной вентиляции легких. * Пузырьковый тест - пузырьковая контрастная эхокардиография (BUBBLE TEST) — это безопасная неинвазивная процедура, такая же как УЗИ сердца, но с использованием физиологического раствора, который вводится через установленный в локтевой вене периферический катетер.

Пневмоторакс можно выявить с помощью УЗИ: сдвиг легкого, пульсовая волна легкого, В-линии или реальные изображения (консолидация/выпот) исключают пневмоторакс с высокой отрицательной прогностической ценностью. Статичный А-образный паттерн указывает на пневмоторакс, но для подтверждения требуется определить точку легкого. Решение о дренировании пневмоторакса принимается на основании клинического состояния пациента и размера скопления воздуха. У нестабильных пациентов рекомендуется немедленное дренирование под ультразвуковым контролем. У стабильных пациентов с ОРДС может потребоваться компьютерная томография, чтобы подтвердить наличие пневмоторакса и определить тактику лечения. При оценке размера пневмоторакса у пациентов, находящихся на искусственной вентиляции легких, следует соблюдать осторожность из-за возможных плевральных спаек, которые могут повлиять на оценку площади поверхности. УЗ легких помогает выбрать наиболее безопасное межреберное пространство, гарантируя,

² TAPSE – систолическая экскурсия кольца трикуспидального клапана



что жизненно важные структуры не будут видны на протяжении всего дыхательного цикла. Успешное дренирование плевральной полости подтверждается сразу же после восстановления подвижности легких.

Ожидается, что у пациента с восстановлением функции легких будет наблюдаться постепенное снижение баллов по шкале УЗИ легких [11]; и наоборот, картина будет ухудшаться у пациентов с новой суперинфекцией [13]. В таких случаях субплевральные уплотнения недостаточно чувствительны для выявления вентилятор-ассоциированной пневмонии, поскольку они уже характерны для ОРДС. Появление линейно-древовидной динамической воздушной бронхограммы в пределах уплотнения является высокоспецифичным признаком инфекции (видео4). УЗИ легких также позволяет отслеживать восстановление вентиляции легких в ответ на прием антибиотиков, подтверждая эффективность лечения.

Отлучение от вентиляции

Как только пациенты начинают восстанавливаться и их переводят на вспомогательную вентиляцию, для количественной оценки атрофии диафрагмы и титрования поддержки давлением можно использовать толщину диафрагмы и фракцию утолщения (TF) (видео7–8). Цель состоит в том, чтобы поддерживать $TF \cong 15\text{--}30\%$ [14].

Ультразвуковые критерии могут служить ориентиром при отлучении от искусственной вентиляции легких [15]. Некоторые состояния указывают на повышенный риск отлучения и неудачной экстубации, например, невыявленное первичное заболевание легких (оценка по шкале LUS > 14) или ранее существовавшие заболевания сердца (например, низкая фракция выброса левого желудочка, значительная митральная регургитация, диастолическая дисфункция левого желудочка 2–3-й степени, дилатация правого желудочка, обструктивная кардиомиопатия). В таких случаях рекомендуется оптимизировать основное заболевание, прежде чем приступать к попыткам самостоятельного дыхания.

После успешной СЛР повышение баллов по шкале УЗИ легких оказалось наиболее точным инструментом для выявления пациентов с высоким риском неудачной экстубации, превосходящим по точности показатели работы сердца. Вероятно, это связано с тем, что показатель аэрации отражает несколько механизмов и может быть быстро и легко рассчитан. При выявлении пациентов с высоким риском сочетание эхокардиографии, качественного УЗИ легких и УЗИ диафрагмы может помочь



определить причину потери аэрации, которая может быть вызвана отеком легких, связанным с отлучением от аппарата ИВЛ, или дисфункцией диафрагмы ($TF < 30\%$).

В заключение отметим, что ультразвуковое исследование является ценным инструментом для оценки состояния и мониторинга пациентов с ОРДС, определения стратегии вентиляции легких и выявления как положительных эффектов, так и осложнений лечения. Однако оно по-прежнему остается оператор-зависимой методикой, и для получения продвинутых навыков, необходимых для надежной интеграции данных в клиническое ведение пациентов, требуется надлежащее обучение. Кроме того, результаты ультразвукового исследования всегда должны быть частью мультимодальной оценки состояния пациентов с респираторными заболеваниями наряду с клиническими данными, другими методами визуализации и неинвазивными инструментами мониторинга.

Список литературы

1. Matthay MA, Arabi Y, Arroliga AC et al (2024) A new global definition of acute respiratory distress syndrome. *Am J Respir Crit Care Med* 209(1):37–47. <https://doi.org/10.1164/rccm.202303-0558WS>
 2. Copetti R et al (2008) Chest sonography: a useful tool to differentiate acute cardiogenic pulmonary edema from acute respiratory distress syndrome. *Cardiovasc Ultrasound* 6:16. <https://doi.org/10.1186/1476-7120-6-16>
 3. Levitov A, Marik PE (2012) Echocardiographic assessment of preload responsiveness in critically ill patients. *Cardiol Res Pract* 2012:819696. <https://doi.org/10.1155/2012/819696>
 4. Chiumello D, Mongodi S, Algieri I, Vergani GL, Orlando A, Via G, Crimella F, Cressoni M, Mojoli F (2018) Assessment of lung aeration and recruitment by CT scan and ultrasound in acute respiratory distress syndrome patients. *Crit Care Med* 46(11):1761–1768. <https://doi.org/10.1097/CCM.0000000000003340>
 5. Pierrakos C et al (2021) Lung ultrasound assessment of focal and non-focal lung morphology in patients with acute respiratory distress syndrome. *Front Physiol* 12:730857. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.730857>
 6. Bouhemad B, Brisson H, Le-Guen M, Arbelot C, Lu Q, Rouby JJ (2011) Bedside ultrasound assessment of positive end-expiratory pressure-induced lung recruitment. *Am J Respir Crit Care Med* 183(3):341–347. <https://doi.org/10.1164/rccm.201003-0369OC>
 7. Stevic N, Chatelain E, Dargent A, Argaud L, Cour M, Guérin C (2021) Lung recruitability evaluated by recruitment-to-inflation ratio and lung ultrasound in COVID-19 acute respiratory distress syndrome. *Am J Respir Crit Care Med* 203(8):1025–1027. <https://doi.org/10.1164/rccm.202012-4447LE>
- Camarrota G, Bruni A, Morettini G et al (2023) Lung ultrasound to evaluate aeration changes in response to recruitment maneuver and prone positioning in intubated patients with COVID-19 pneumonia: preliminary study. *Ultrasound J* 15(1):3. <https://doi.org/10.1186/s13089-023-00306-9>



8. Rousset D, Sarton B, Riu B, Bataille B, Silva S, of the PLUS study group (2021) Bedside ultrasound monitoring of prone position induced lung inflation. *Intensive Care Med* 47(5):626–628. <https://doi.org/10.1007/s00134-021-06347-9>
9. Mekontso Dessap A, Proost O, Boissier F, Louis B, Roche Campo F, Brochard L (2011) Transesophageal echocardiography in prone position during severe acute respiratory distress syndrome. *Intensive Care Med* 37(3):430–434. <https://doi.org/10.1007/s00134-010-2114-z>
10. Mongodi S, Pozzi M, Orlando A et al (2018) Lung ultrasound for daily monitoring of ARDS patients on extracorporeal membrane oxygenation: preliminary experience. *Intensive Care Med* 44(1):123–124. <https://doi.org/10.1007/s00134-017-4941-7>
11. Vieillard-Baron A, Naeije R, Haddad F et al (2018) Diagnostic workup, etiologies and management of acute right ventricle failure: a state-of-the-art paper. *Intensive Care Med* 44(6):774–790. <https://doi.org/10.1007/s00134-018-5172-2>
12. Mongodi S, De Vita N, Salve G et al (2022) The role of lung ultrasound monitoring in early detection of ventilator-associated pneumonia in COVID-19 patients: a retrospective observational study. *J Clin Med* 11(11):3001. <https://doi.org/10.3390/jcm11113001>
13. Goligher EC et al (2018) Mechanical ventilation-induced diaphragm atrophy strongly impacts clinical outcomes. *Am J Respir Crit Care Med* 197(2):204–213. <https://doi.org/10.1164/rccm.201703-0536OC>
14. Santangelo E, Mongodi S, Bouhemad B, Mojoli F (2022) The weaning from mechanical ventilation: a comprehensive ultrasound approach. *Curr Opin Crit Care* 28(3):322–330. <https://doi.org/10.1097/MCC.0000000000000941>