



ICU

MANAGEMENT & PRACTICE

2022

**VOLUME 22
ISSUE 5**

Imaging the Critically Ill

Использование ультразвука в интенсивной терапии

Перевод Ветровой А.В.



Использование ультразвука в интенсивной терапии

E. Brogi, G. Bozzetti, M. Romani et al.

Ультразвуковое исследование следует рассматривать в специфических ситуациях в отделении реанимации. Важно понимать и осваивать все возможные области применения и будущие инновации ультразвуковой диагностики в условиях интенсивной терапии.

Применение ультразвука в момент оказания медицинской помощи получило широкое признание как важнейшего метода визуализации при лечении пациентов критических состояниях (Lou and See 2022). Ультразвуковое исследование у постели больного позволяет в режиме реального времени оценить анатомию и функцию нескольких органов, тем самым давая возможность быстро распознать и диагностировать основную причину гемодинамической нестабильности у критических пациентов (например, гиповолемию, острую тампонаду сердца, пневмоторакс, кардиогенный шок, гемоперитонеум). Более того, как часть неотложной помощи тяжелобольным пациентам, ультразвуковое исследование в реанимации следует рассматривать при изучении конкретных ситуаций, возникающих в отделении интенсивной терапии: взаимодействие сердца и легких, влияние механической вентиляции легких на центральную гемодинамику, мультиорганные последствия септического шока, тяжелую мультисистемную травму и синдром приобретенной в отделении интенсивной терапии слабости (Guevarra and Greenstein 2020; Vieillard-Baron et al. 2008; Soliman-Aboumarie et al. 2021; Mongodi et al. 2021). В дополнении к клиническому исследованию ультразвук может предоставить реаниматологам полезную информацию для быстрого принятия решения и определения или изменения терапевтической тактики, давая прямую оценку реакции на конкретное лечение. Помимо своего диагностического потенциала, ультразвуковое исследование также представляет собой наведение в режиме реального времени для некоторых инвазивных процедур (например, трахеостомии,



постановки центральной линии, местной анестезии, введения межреберного дренажа) (Saugel et al. 2017; Wong et al. 2020). Поэтому для врачей интенсивной терапии важно получить специальную подготовку и компетентность в области ультразвуковой навигации в соответствии с утвержденными на международном уровне учебными планами (Wong et al. 2020; Expert Round Table on Echocardiography in ICU 2014). Обзор возможных показаний к проведению ультразвукового исследования в отделении интенсивной терапии представлен на. 1.



Рисунок 1. Обзор основных показаний к проведению ультразвукового исследования в реанимации

Ультразвуковое исследование легких

Ультразвуковое исследование легких (Lung Ultrasonography или LUS) – безрадиационный, недорогой, быстрый и портативный метод визуализации, позволяющий исследовать легочной структуры в режиме реального времени. LUS является ключевым компонентом в интенсивной терапии, его можно использовать для оценки состояния пациентов с острой дыхательной недостаточностью, корректировки искусственной вентиляции легких, сопровождения инвазивных процедур и мониторинга результатов (Corradi et al. 2014; Luecke et al. 2012; Schmidt et al. 2019; Corradi et al. 2022a; Vezzani et al. 2017). LUS



также сыграло важную роль в ведении пациентов с COVID-19-ассоциированным заболеванием легких при исследовании паренхимы легкого и диафрагмы (Hussain et al. 2020; Volpicelli et al. 2021; Corradi et al. 2021a; Corradi et al. 2021b).

LUS недавно получило широкое распространение как полезный инструмент для оценки патофизиологии легких. В сравнении с радиографией грудной клетки была показана более высокая чувствительность и аналогичная специфичность для выявления плеврального выпота, пневмонии, пневмоторакса и отека легких (Vezzani et al. 2014). Тем не менее, если распознавание В-линий и дифференцировка между А- и В-паттернами являются простыми задачами для начинающих, то количественная оценка В-линий и расстояние между ними могут вызывать трудности (Corradi et al. 2022b). Таким образом, автоматические методы обнаружения и подсчета В-линий позволяют проводить независимую от оператора оценку по классификации тяжести легочного интерстициального синдрома (Weitzel et al. 2015; Brattain et al. 2013; Anantrasirichai et al. 2017).

В 2013 году Corradi и его коллеги впервые изучили изолированное легкое крупного рогатого скота, чтобы проверить гипотезу, что внесосудистая вода в легких (Extravascular lung water или EVLW) может быть надежно определена количественно с помощью компьютерной шкалы серого цвета первого порядка LUS анализа с использованием гравитометрии в качестве золотого стандарта (Corradi et al. 2013). Результаты показали, что количественное LUS с помощью видеоанализа по шкале серого было более точным в оценке EVLW, чем визуальная оценка или количественный расчет грудной клетки с помощью компьютерной томографии. Самое главное, что исследование дало дальнейшее представление о взаимосвязи между В-линиями и EVLW, подчеркивая различия между количественным LUS и количественной компьютерной томографией как диагностических инструментов. Авторы заметили, что средняя интенсивность LUS сильно коррелировала с EVLW, но слабо с физической плотностью; КТ-анализ показал противоположные



результаты. Эти данные свидетельствуют, что сравнение количественного LUS и количественной компьютерной томографией потенциально позволяет отличить повышенное содержание воды от увеличенной плотности ткани при заболеваниях легких, при которых могут сосуществовать отек легких и аномалии паренхимы. Более того, количественное LUS явно превосходило визуальную оценку при обнаружении наличия EVLW; даже в случае таких небольших количеств, как 16% от начальной массы легких. Кроме того, многокадровый метод видеосъемки превосходил однокадровый метод из-за того, что однокадровых методов недостаточно для оценки общего дыхательного цикла.

У пациентов с механической вентиляцией легких после операции на сердце (Corradi et al. 2016) та же группа авторов показала, что средняя интенсивность эхо-сигнала значительно больше коррелировала со степенью содержания EVLW, чем показатель аэрации в 28 областях легких. Это исследование также показало, что количественное LUS предоставляет отличную визуализацию при оценке EVLW с переходом от умеренного до высокого положительного давления конца выдоха. Действительно, визуальные оценки (прогрессирование или регрессирование аномальных паттернов, разнесенные В-линии, сливающиеся В-линии и консолидация) казались эффективными при определении больших изменений аэрации легких (т.е. > 600 мл), как те, которые вызваны положительным давлением в конце выдоха при ОРДС; однако точность резко снижалась при более мягких изменениях аэрации легких (Bouhemad et al. 2011).

У взрослых LUS в сопровождении компьютерных программ использовалось в широкой области легочной диагностики. Raso и соавторы (2015) оценили легочный фиброз и отек легких с помощью компьютерного анализа у двух групп предварительно отобранных пациентов. Corradi и др. (2015) обнаружили, что средняя интенсивность серой шкалы, определенная с помощью компьютерного анализа серой шкалы, была значительно более точной, чем рентгенография грудной клетки или визуальная LUS при диагностике



внебольничной пневмонии, подтвержденной компьютерной томографией. Это не зависело от размера и расстояния от плевральной линии, предположительно из-за более гиперэхогенных изображений, полученных из-за гипоаэрированной паренхимы легкого вокруг уплотнения. У детей количественное LUS использовалось для оценки тяжести респираторного дистресса у новорожденных, оценки легких плода для прогнозирования респираторной заболеваемости у новорожденных и выявления пневмонии (Raimondi et al. 2018; Cisneros-Velarde et al. 2016; Bonet-Carne et al. 2015). Наконец, алгоритмический подход позволил клинически подтвердить наиболее ценный полуколичественный показатель ультразвукового исследования, продемонстрировав, что только расчет процентной доли линии плевры, полученной при поперечном доступе в межреберных промежутках, коррелирует с EVLW (Brusasco et al. 2019).

Все еще существуют технические достижения, широко применяющиеся в клинической практике, которые необходимы для количественного LUS: включение данных радиочастотного сигнала в дополнение к данным изображения в В-режиме для предоставления более подробной ультразвуковой информации и проверки статистики второго порядка, основанной на наборе текстурных признаков, извлеченных из матрицы совпадений серого уровня, чтобы результаты не зависели от ультразвукового устройства, параметров и настроек (Brusasco et al. 2022).

Кроме того, появляются новые доказательства, что локальное напряжение легких можно оценить с помощью LUS, что, возможно, является методом оценки местной вентиляции легких. Хотя на скольжение легких влияют различные легочные патологии, масштабы этого изменения никогда не были выражены количественно. Было высказано предположение, что технология спекл-трекинг, применяемая в легких, сможет обеспечить смещение спеклов во время вдоха и выдоха (Dori and Jakobson 2016). Это стало бы заключительным шагом на пути к разработке протокола ультразвукового исследования, подходящего в качестве глобального



инструмента мониторинга вентиляции легких, также позволяющего количественно определять их чрезмерное растяжение.

Эхокардиография в реанимации

Эхокардиографию в интенсивной терапии (Critical care echocardiography - CCE) следует рассматривать как нечто параллельное обычной эхокардиографии, выполняемой кардиологами, которая требует специфических знаний особенностей медицины интенсивной терапии. Ультразвуковое исследование в условиях интенсивной терапии должно быть доступно 24 часа в сутки и должно отвечать на конкретные клинические вопросы, касающиеся не только анатомии и физиопатологии сердца и крупных сосудов, но и оценки тесного взаимодействия между сердцем и легкими, потенциальных последствий влияния искусственной вентиляции легких на правые отделы сердца и возможных причинах нестабильности гемодинамики ((Soliman-Aboumorie et al. 2021). Следовательно, эхокардиография в реанимации требует специальной подготовки и компетентности в соответствии с утвержденными на международном уровне учебными планами (Expert Round Table on Echocardiography in ICU 2014).

Прикроватная эхокардиография позволяет оценить общий размер и функцию левого желудочка (ЛЖ), выявить аномалии региональных движений стенки, оценить размер и функцию правого желудочка (ПЖ), оценить легочное давление, наличие перикардального выпота, изучить клапанную дисфункцию и оценить гиповолемический статус с помощью динамических параметров (Longobardo et al. 2018). Следовательно, несколько «обычных» расстройств, встречающихся в отделении интенсивной терапии, могут быть быстро диагностированы и вылечены. Эхокардиография в реанимации является фундаментальным инструментом для первичной оценки и дифференциальной диагностики в случае недостаточности кровообращения и дыхательной недостаточности, особенно в сочетании с LUS, и для выявления опасных для жизни причин шока и остановки сердца (Long et al. 2018; Price et al. 2010;



Chou et al. 2020). Примечательно, что ультразвуковое исследование может помочь в дифференциальной диагностике причины шока у пациентов с нестабильной гемодинамикой, выявляя тампонаду перикарда, расслоение аорты, гиповолемию и региональную или глобальную дисфункцию ЛЖ (Yamamoto 2014). Более того, с помощью результатов эхографии ПЖ в этих условиях также можно тщательно изучить перегрузку и дисфункцию желудочков. Действительно, дисфункция правого желудочка может быть вызвана сопутствующим сердечным или респираторным заболеванием. Однако обнаружение перегрузки или дисфункции правых отделов сердца у пациента с нестабильной гемодинамикой всегда вызывает подозрения на возможную тромбоэмболию легочной артерии (Daley et al. 2019). У этой группы пациентов компьютерная томография, как правило, нецелесообразна, следовательно, ультразвук может предоставить важную диагностическую информацию для постановки диагноза. Комбинация из нескольких результатов эхографии, таких как признак 60/60 (время ускорения в легочной артерии <60 мс и градиент давления недостаточности трехстворчатого клапана <60 , но >30 мм рт. ст. – прим. переводчика) и признак Макконнелла (акинезия свободной стенки правого желудочка при нормальном движении верхушки сердца – прим. переводчика) в дополнение к правожелудочковой дилатации/дисфункции, уплощению перегородки и изменения соотношения ПЖ/ЛЖ в значительной степени указывают на диагноз тромбоэмболии легочной артерии (Konstantinides et al. 2020). Другие важные результаты представлены прямой визуализацией свободно плавающего тромба в правом отделе сердца или прямой визуализацией тромба в глубоких венах во время компрессионного ультразвукового исследования.

Эхокардиография играет интересную роль также при обследовании пациентов с сепсисом (Vallabhajosyula et al. 2020). Общими чертами этих пациентов являются потенциально обратимая депрессия миокарда, гиповолемию и измененный сосудистый тонус. Эхокардиография в реанимации, оценивающая центральную гемодинамику и работу сердца, позволяет направлять ведение



пациента и непосредственно оценивать эффект терапии. Ультразвуковое исследование должно быть сосредоточено на оценке сердечного выброса, сократимости сердца и ответной реакции к инфузии. Действительно, эхокардиографические методы могут помочь реаниматологам определить потребность в инотропных препаратах и инфузии жидкости (Shrestha and Srinivasan 2018; Guérin and Vieillard-Baron 2016). Динамические параметры используются для прогнозирования положительной реакции на введение жидкости. У пациентов с искусственной вентиляцией легких и при синусовом ритме обычно предпочтительны индекс растяжимости IVC и легочной аортальный кровоток.

С помощью ССЕ также возможно оценить диастолическую функцию, хотя это требует более продвинутого использования. Это особенно важно для определения переносимости введения жидкости: выявление желудочков, которые демонстрируют ограниченный паттерн (наиболее распространенная форма диастолической дисфункции), может предупредить врачей о риске отека легких/застойных явлений при обильной инфузионной терапии. Аналогичным образом, анализируя доплеровскую картину печеночных, воротных и почечных вен (VeXUS score), можно определить различную степень венозного застоя.

Во время сердечно-легочной реанимации текущие рекомендации предлагают выполнять ССЕ из-за важной информации, которую можно получить с помощью этого метода визуализации. ССЕ позволяет исключить поддающиеся лечению и обратимые причины остановки сердца без вмешательства в передовые протоколы жизнеобеспечения (например, тампонада сердца, эмболия легочной артерии, пневмоторакс напряжения и гиповолемия) и направлять последующие инвазивные процедуры (например, перикардиоцентез, декомпрессия пневмоторакса напряжения), повышая безопасность и эффективность этих вмешательств (Price et al. 2010; Balderston et al. 2021). Более того, ССЕ позволяет оценить качество компрессии (прямая оценка сжатия и расслабления желудочков в режиме реального времени) и позволяет отличить истинную асистолию от



мелкой фибрилляции желудочков - состояния с различными терапевтическими подходами. Эхокардиография может позволить дифференцировать пациентов с безпульсовой электрической активностью (pulseless electrical activity - PEA) без сердечной сократительной активности (True-PEA) от пациентов с PEA, но у которых все еще сохраняется сократительная активность сердца (False-PEA). Действительно, у пациентов с False-PEA была большая вероятность возвращения спонтанного кровообращения (Wu et al. 2018; Gaspari et al. 2021). Более того, эхокардиография в реанимации, как через трансторакальный (transthoracic echocardiography - TTE), так и через чреспищеводный доступ (transoesophageal echocardiography - TEE), являются основополагающими для ведения вено-артериальной ЭКМО при программе экстракорпоральной поддержки жизни; от введения канюли, технического обслуживания до отлучения от ИВЛ (Donker et al. 2018). Эхокардиография представляет собой доминирующий инструмент у постели больного, позволяющий оценить расстройство, оптимизировать лечение и отказаться от экстракорпорального лечения (Douflé and Ferguson 2016). Возможные преимущества ССЕ во время V-A ЭКМО представлены, но не ограничены оценкой размера артериальной и венозной пункции, выбором периферической или центральной линии, наличием тромба и оценкой размера сосуда, правильным размещением канюли, оценкой основного состояния сердца и оценкой оптимального разгрузки желудочков (Platts et al. 2012).

Также стоит выделить использование TEE в учреждениях интенсивной терапии. TEE представляет собой еще один метод визуализации сердечно-сосудистой системы при ультразвуковом исследовании (Prager et al. 2022). Это требует введения гибкого зонда вниз по пищеводу; следовательно, близость датчика к сердцу и крупным сосудам обеспечивают хорошее ультразвуковое окно (Peterson et al. 2003). TEE обычно выполняется, когда трансторакальный доступ является недиагностическим или неосуществимым. Действительно, трансторакальная передача ультразвука может быть изменена несколькими мешающими



факторами, приводящими к плохому качеству изображения: гиперинсуфляция, эмфизема легких, пневмоторакс, хроническая обструктивная болезнь легких, ожирение, травмы грудной стенки или перевязочные трубки. Более того, ТЭЕ может позволить оценить структуры, которые обычно трудно оценить при ТТЕ, такие как аорта и придаток левого предсердия, и обеспечить превосходную оценку протезированных клапанов сердца и параваскулярной утечки и регургитации, оценку параваскулярных абсцессов и клапанного эндокардита (Lengyel 1997; Michelena et al. 2010). ТЭЕ обычно выполняется в кардиохирургии с точными процедурными показаниями: оценка структуры и функции сердца перед искусственным кровообращением (ИК), мониторинг отлучения от ИК, оценка хирургического лечения и возможных осложнений после ИК. Кроме того, ТЭЕ находит показания во время нескольких гемодинамических и интервенционных процедур (например, чрескожная имплантация аортального клапана, закрытие придатка левого предсердия, чрескожное закрытие проницаемого овального отверстия и закрытие дефекта перегородки) (Hahn et al. 2014). К сожалению, ТЭЕ широко недоступен в отделениях общей интенсивной терапии.

Существуют привлекательные технические достижения в области ССЕ для будущего внедрения: например, трехмерные методы, спекл-трекинг, тканевая доплеровская визуализация, внутрисердечное эхо (рисунок 2) (Cinotti et al. 2015; Orde et al. 2018; Poelaert and Roosens 2007). Спекл-трекинг – относительно новый и очень интересный метод оценки аномалий движения миокарда и диссинхронии. Для этого требуется специальное программное обеспечение, способное отслеживать кадр за кадром движение в течение сердечного цикла в нескольких направлениях. Измерения слежения за спеклами чрезвычайно полезны при оценке сократимости миокарда, дисфункции левого желудочка и давления наполнения, позволяющие проводить двумерный объективный анализ деформации миокарда, не зависящий от доплеровского угла. Следовательно, анализ изображений деформаций позволяет дать количественную



оценку утолщения, продольного и окружного сокращения сердечного цикла. Наконец, 3D-эхокардиография представляет собой полезный диагностический метод для количественного определения объемов сложной геометрической формы в многоплоскостном режиме, позволяющий точно оценить объемы камер сердца и анатомию клапанов. К несчастью, 3D-эхокардиография требует значительной автономной обработки данных, и в настоящее время она обычно недоступна в отделениях общей интенсивной терапии (в отличие от сердечно-сосудистой анестезии и кардиоторакального отделения интенсивной терапии).

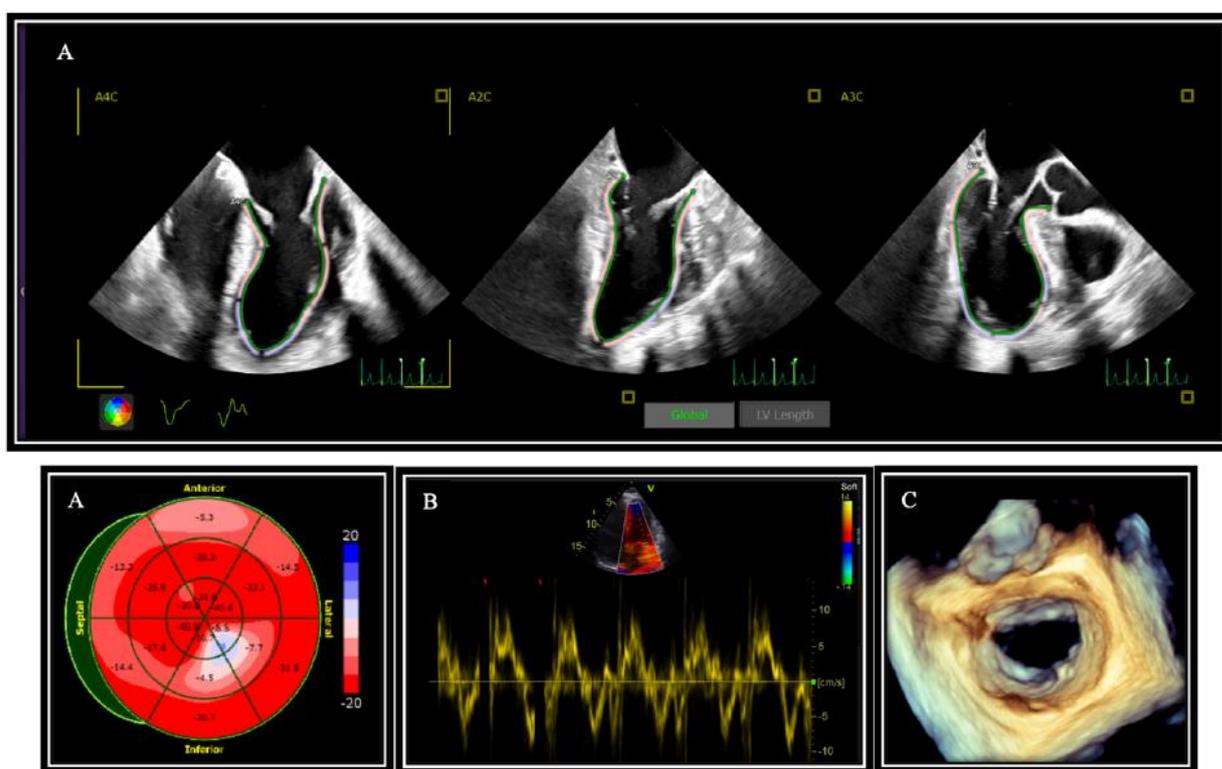


Рисунок 2. Примеры технических достижений в области эхокардиографии в реанимации.

А. Спекл-трекинг; В. Допплеровская визуализация тканей; С. Трехмерные методы

Ультразвуковое исследование опорно-двигательного аппарата

Синдром приобретенной слабости в ОРИТ (Intensive care unit-acquired weakness - ICUAW) представляет собой серьезное осложнение, с которым сталкиваются в отделении реанимации и интенсивной терапии. Мышечная слабость является прямым



следствием полиневропатии в критических состояниях и/или миопатии в критических состояниях. Патофизиологические механизмы сложны и не до конца поняты; однако, по-видимому, синергизм метаболизма, воспаления и иммунитета играет решающую роль. Более того, слабость также связана с лекарственными препаратами (например, глюкокортикоидами), состоянием питания и длительной мышечной иммобилизацией (De Jonghe et al. 2022). Диагноз ставится с помощью клинического обследования и электрофизиологических тестов (редко с помощью биопсии мышц). УЗИ мышц потенциально может сыграть интересную роль в исследовании изменений мышц с течением времени после поступления в отделение интенсивной терапии. Долгосрочные исходы в гетерогенных группах пациентов отделения интенсивной терапии включают временную инвалидизацию у 30% пациентов и стойкую инвалидизацию, которая может наблюдаться даже у пациентов с почти полным функциональным восстановлением (Formenti et al., 2019).

Ультразвуковое исследование мышц позволяет визуализировать и классифицировать характеристики мышц по площади поперечного сечения, толщине мышечного слоя, интенсивности эха в оттенках серого и углу наклона. Здоровая мышечная ткань имеет отличительный внешний вид при ультразвуковом исследовании: на осевых изображениях мышца состоит в основном из эхопрозрачных (темных) областей, перемежающихся маленькими, яркими, изогнутыми эхо-сигналами, кажущихся случайно ориентированными. Однако в сагиттальной плоскости эти яркие отголоски видны как волокнистая ткань, которая окружает мышечные волокна и пучки и является узнаваемой в виде бороздок. Двуглавые мышцы выделяются центральной областью в виде утолщенной волокнистой ткани (центральный апоневроз). Если следовать дистально, эта структура становится сухожилием. За исключением видимых артериальных пульсаций, здоровая мышца статична в состоянии покоя. Однако при медленном сокращении можно заметить, что центральная часть мышцы выпячивается с истончением ее более дистальных концов (Walker 2004).



Ультразвук потенциально может обнаружить хронические патологические изменения в мышце и измерить ее размеры. Общие признаки миопатии в критическом состоянии и полиневропатии в критическом состоянии включают симметричную, вялую слабость конечностей и слабость дыхательных мышц. Сухожильные рефлексy часто снижены, особенно при полинейропатии в критическом состоянии.

Четыре основных признака отличают больную мышцу от здоровой: повышенная эхогенность, атрофия, повышенная однородность и потеря костной тени (Turton et al., 2016). Ультразвуковыми параметрами, используемыми для оценки архитектуры мышц, являются:

1. Площадь поперечного сечения (Cross-sectional area - CSA): определяется количеством и размером отдельных волокон в мышце. Термин "мышечная архитектура" (параллельная или по количеству головок) относится к физическому расположению мышечных волокон на макроскопическом уровне и определяет механическую функцию мышцы. В параллельной мышце две CSA совпадают, поскольку волокна параллельны продольной оси; в мышцах с несколькими головками области могут быть использованы для описания свойств сокращения. Мышечная атрофия в основном поражает волокна II типа (быстро сокращающиеся – прим. переводчика), а не относительно равную потерю медленных и быстрых волокон, в результате процесса денервации/реиннервации.

2. Толщина мышечного слоя: легко определяемая с помощью ультразвука; было показано, что потерю мышечной массы у пациентов отделения интенсивной терапии можно было бы контролировать с помощью измерений толщины, которая значительно коррелирует с CSA; однако эффективность не была доказана у пациентов интенсивной терапии.

3. Интенсивность эха: шкала оттенков серого отражает состав мышцы. Повышенная эхогенность указывает на более однородную мышцу. Ультразвуковая эхогенность может быть оценена в соответствии с данными, которые полуколичественно



классифицируют ультразвуковую эхогенность на четыре уровня; более высокие показатели соответствуют повышенной тяжести мышечных нарушений.

4. Угол пеннации: угол, образованный в месте прикрепления мышечных волокон в апоневроз. Этот угол дает информацию о мышечной силе. Более высокий угол наклона коррелирует со способностью мышцы генерировать силу (Formenti et al. 2019).

Многие исследования, изучающие связь между мышечной слабостью и клиническими исходами, показали, что мышечная слабость является независимым предиктором смертности, увеличения времени зависимости от ИВЛ и увеличения продолжительности пребывания в интенсивной терапии (De Jonghe et al. 2002; Sharshar et al. 2009; Ali et al. 2008).

В идеале в течение первых 48 часов после поступления в отделение интенсивной терапии следует провести первое ультразвуковое исследование мышц, чтобы определить исходную картину, например, четырехглавой мышцы. В то же время оценка силы мышц с использованием проверенных инструментов, таких как шкала совета по медицинским исследованиям (Medical Research Council - MRC), также должна быть выполнена, как только начинаются когнитивные нарушения. Однако нарушенный психический статус или низкая оценка MRC диктуют необходимость дополнительного обследования в отделении интенсивной терапии с целью предотвращения мышечной слабости; в этом случае последовательные переоценки с помощью ультразвука мышц могут оказать ценную помощь. В этом отношении уменьшение толщины мышц на 20%, CSA на 10%, угла наклона на 5% и увеличение эхоинтенсивности по меньшей мере на 8% кажутся разумными показателями ICUAW (Formenti et al., 2019).

Вывод

Из-за сложности пациентов, находящихся в критическом состоянии, и зачастую трудных и ограниченных возможностей клинических обследований визуализация играет все более важную



роль, помогая врачам диагностировать и контролировать лечение у постели больного. Среди всех различных доступных методов визуализации в настоящее время ультразвук может обеспечить врачам интенсивной терапии круглосуточное обследование пациентов в критическом состоянии. Понятно, что история болезни, клинические условия и методы лечения должны быть включены в медицинское обследование. Однако важно подчеркнуть, что для достижения профессиональной компетентности требуется специальная подготовка и четко определенная учебная программа. Следовательно, становится все более важным понимать и осваивать все возможные области применения и будущие инновации ультразвуковой диагностики в условиях интенсивной терапии.

Конфликт интересов

Нет.

Список источников

Ali NA, O'Brien JM Jr., Hoffmann SP et al. (2008) Acquired weakness, handgrip strength, and mortality in critically ill patients. *Am J Respir Crit Care Med.* 178(3):261-8.

Anantrasirichai N, Hayes W, Allinovi M et al. (2017) Line Detection as an Inverse Problem: Application to Lung Ultrasound Imaging. *IEEE Trans Med Imaging.* 36(10):2045-56.

Balderston JR, You AX, Evans DP et al. (2021) Feasibility of focused cardiac ultrasound during cardiac arrest in the emergency department. *Cardiovasc Ultrasound.* 19(1):19.

Bonet-Carne E, Palacio M, Cobo T et al. (2015) Quantitative ultrasound texture analysis of fetal lungs to predict neonatal respiratory morbidity. *Ultrasound Obstet Gynecol.* 45(4):427-33.

Bouhemad B, Brisson H, Le-Guen M et al. (2011) Bedside ultrasound assessment of positive end-expiratory pressure-induced lung recruitment. *Am J Respir Crit Care Med.* 183(3):341-7.

Brattain LJ, Telfer BA, Liteplo AS, Noble VE (2013) Automated B-line scoring on thoracic sonography. *J Ultrasound Med.* 32(12):2185-90.

Brusasco C, Santori G, Bruzzo E et al. (2019) Quantitative lung ultrasonography: a putative new algorithm for automatic detection and quantification of B-lines. *Crit Care.* 23(1):288.



Brusasco C, Santori G, Tavazzi G et al. (2022) Second-order grey-scale texture analysis of pleural ultrasound images to differentiate acute respiratory distress syndrome and cardiogenic pulmonary edema. *J Clin Monit Comput.* 36(1):131-40.

Chou EH, Wang CH, Monfort R et al. (2020) Association of ultrasound-related interruption during cardiopulmonary resuscitation with adult cardiac arrest outcomes: A videoreviewed retrospective study. *Resuscitation.* 149:74-80.

Cinotti R, Delater A, Fortuit C et al. (2015) Speckle-Tracking analysis of left ventricular systolic function in the intensive care unit. *Anaesthesiol Intensive Ther.* 47(5):482-6.

Cisneros-Velarde P, Correa M, Mayta H et al. (2016) Automatic pneumonia detection based on ultrasound video analysis. *Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc.* 4117-20.

Corradi F, Ball L, Brusasco C, Riccio AM et al. (2013) Assessment of extravascular lung water by quantitative ultrasound and CT in isolated bovine lung. *Respir Physiol Neurobiol.* 187(3):244-9.

Corradi F, Brusasco C, Vezzani A et al. (2016) Computer-Aided Quantitative Ultrasonography for Detection of Pulmonary Edema in Mechanically Ventilated Cardiac Surgery Patients. *Chest.* 150(3):640-51.

Corradi F, Brusasco C, Garlaschi A et al. (2015) Quantitative analysis of lung ultrasonography for the detection of community-acquired pneumonia: a pilot study. *Biomed Res Int.* 868707.

Corradi F, Brusasco C, Pelosi P et al. (2014) Chest ultrasound in acute respiratory distress syndrome. *Curr Opin Crit Care.* 20(1):98-103.

Corradi F, Guarracino F, Santori G et al. (2022a) Ultrasound localization of central vein catheter tip by contrast-enhanced transthoracic ultrasonography: a comparison study with trans-esophageal echocardiography. *Crit Care.* 26(1):113.

Corradi F, Isirdi A, Malacarne P et al. (2021a) Low diaphragm muscle mass predicts adverse outcome in patients hospitalized for COVID-19 pneumonia: an exploratory pilot study. *Minerva Anesthesiol.* 87(4):432-8.

Corradi F, Vetrugno L, Orso D et al. (2021b) Diaphragmatic thickening fraction as a potential predictor of response to continuous positive airway pressure ventilation in COVID-19 pneumonia: A single-center pilot study. *Respir Physiol Neurobiol.* 284:103585.

Corradi F, Vetrugno L, Isirdi A et al. (2022b) Ten conditions where lung ultrasonography may fail: limits, pitfalls and lessons learned from a computer-aided algorithmic approach. *Minerva Anesthesiol.* 88(4):308-13.

Daley JI, Dwyer KH, Grunwald Z et al. (2019) Increased Sensitivity of Focused Cardiac Ultrasound for Pulmonary Embolism in Emergency Department Patients With Abnormal Vital Signs. *Acad Emerg Med.* 26(11):1211-20.

De Jonghe B, Sharshar T, Lefaucheur JP et al. (2002) Paresis acquired in the intensive care unit: a prospective multicenter study. *JAMA.* 288(22):2859-67.



Donker DW, Meuwese CL, Braithwaite SA et al. (2018) Echocardiography in extracorporeal life support: A key player in procedural guidance, tailoring and monitoring. *Perfusion*. 33(1_suppl):31-41.

Dori G, Jakobson DJ (2016) Speckle tracking technology for quantifying lung sliding. *Med Hypotheses*. 91:81-3.

Douflé G, Ferguson ND (2016) Monitoring during extracorporeal membrane oxygenation. *Curr Opin Crit Care*. 22(3):230-8.

Gaspari R, Weekes A, Adhikari S et al. (2021) Comparison of outcomes between pulseless electrical activity by electrocardiography and pulseless myocardial activity by echocardiography in out-of-hospital cardiac arrest; secondary analysis from a large, prospective study. *Resuscitation*. 169:167-72.

Formenti P, Umbrello M, Coppola S et al. (2019) Clinical review: peripheral muscular ultrasound in the ICU. *Ann Intensive Care*. 9(1):57.

Guérin L, Vieillard-Baron A (2016) The Use of Ultrasound in Caring for Patients with Sepsis. *Clin Chest Med*. 37(2):299-307.

Guevarra K, Greenstein Y (2020) Ultrasonography in the Critical Care Unit. *Curr Cardiol Rep*. 22(11):145.

Hahn RT, Abraham T, Adams MS et al. (2014) Guidelines for performing a comprehensive transesophageal echocardiographic examination: recommendations from the American Society of Echocardiography and the Society of Cardiovascular Anesthesiologists. *Anesth Analg*. 118(1):21-68.

Hussain A, Via G, Melniker L et al. (2020) Multi-organ point-of-care ultrasound for COVID-19 (PoCUS4COVID): international expert consensus. *Crit Care*. 24(1):702.

International consensus statement on training standards for advanced critical care echocardiography. (2014) *Intensive Care Med*. 40(5):654-66.

Konstantinides SV, Meyer G, Becattini C et al. (2020) 2019 ESC Guidelines for the diagnosis and management of acute pulmonary embolism developed in collaboration with the European Respiratory Society (ERS). *Eur Heart J*. 41(4):543-603.

Lau YH, See KC (2022) Point-of-care ultrasound for critically ill patients: A mini-review of key diagnostic features and protocols. *World J Crit Care Med*. 11(2):70-84.

Lengyel M (1997) The impact of transesophageal echocardiography on the management of prosthetic valve endocarditis: experience of 31 cases and review of the literature. *J Heart Valve Dis*. 6(2):204-11.

Longobardo L, Zito C, Carerj S et al. (2018) Role of Echocardiography in the Intensive Care Unit: Overview of the Most Common Clinical Scenarios. *J Patient Cent Res Rev*. 30;5(3):239-243.

Long B, Alerhand S, Maliel K, Koefman A (2018) Echocardiography in cardiac arrest: An emergency medicine review. *Am J Emerg Med*. 36(3):488-93.



Luecke T, Corradi F, Pelosi P (2012) Lung imaging for titration of mechanical ventilation. *Curr Opin Anaesthesiol.* 25(2):131-40.

Michelena HI, Abel MD, Suri RM et al. (2010) Intraoperative Echocardiography in Valvular Heart Disease: An Evidence-Based Appraisal. *Mayo Clin Proc.* 85(7):646-55.

Mongodi S, De Luca D, Colombo A et al. (2021) Quantitative Lung Ultrasound: Technical Aspects and Clinical Applications. *Anesthesiology.* 134(6):949-65.

Orde S, Slama M, Stanley N et al. (2018) Feasibility of biventricular 3D transthoracic echocardiography in the critically ill and comparison with conventional parameters. *Crit Care.* 22(1):198.

For full references, please email editorial@icu-management.org or visit <https://iii.hm/1ifw>