



Intensive Care Med (2023) 49:1531–1534
<https://doi.org/10.1007/s00134-023-07249-8>

EDITORIAL

How I use ultrasound in cardiac arrest

Adrian Wong^{1*} , Philippe Vignon² and Chiara Robba^{3,4}

Как я использую ультразвук при остановке сердца

Перевод В.С. Гороховского



Как я использую ультразвук при остановке сердца

Adrian Wong, Philippe Vignon, Chiara Robba

Рекомендации по расширенной кардиальной сердечно-легочной реанимации (ACLS) рекомендуют стандартизированный подход к лечению остановки сердца, включая сердечно-легочную реанимацию (СЛР), дефибрилляцию и введение таких препаратов, как адреналин [1]. Ультразвуковое исследование (УЗИ) должно выполняться специализированным оператором параллельно с процессом реанимации не влияя на процедуру СЛР [2]. Оно также может оптимизировать на этапе после реанимации функцию гемодинамики и оценить наличие полиорганных осложнений, таких как пневмоторакс, ушибы легких и дисфункции периферических органов [2].

Мы показываем, как УЗИ «с головы до ног» может быть эффективно использовано во время СЛР и сразу после восстановления спонтанного кровообращения (ROSC). Мы стремимся обеспечить практический подход и в основном фокусируемся на использовании трансторакальной эхокардиографии (ТТЭ), хотя чреспищеводная эхокардиография (ЧЭЭ) может иметь свои преимущества и применение в этом контексте [3]. Хотя были описаны различные протоколы, их основные принципы идентичны, и ни один из них не был продемонстрирован как превосходящий другие (электронные дополнительные материалы, ESM, заявление лучшей практики).

Ультразвук для подтверждения остановки сердца и выбора методов терапии при сердечно-легочной реанимации.

Учитывая критический дефицит времени при остановке сердца, решающее значение имеет надлежащее руководство и координация со специалистом ультразвуковой диагностики. Чтобы получить всю необходимую информацию во время сжатия грудной клетки и пауз для оценки пульса и ритма, УЗИ должно быть быстро выполнено обученным специалистом [4]. Рекомендации предполагают, что человек, выполняющий УЗИ, не является руководителем группы.

Во время сжатия грудной клетки субксифоидальный доступ обеспечивает простую визуализацию сердца, избегая при этом перерывов в сжатии грудной клетки. Таким образом УЗИ можно использовать для оценки эффективности компрессии грудной клетки, обеспечивая прямое наблюдение за сжатием /



декомпрессией камер сердца в режиме реального времени во время массажа сердца. Несмотря на правильное положение рук на грудной клетке, область максимального сжатия может затрагивать корень аорты или выводной тракт левого желудочка, а не левый желудочек, что приводит к затруднению поступательного кровотока. В этом случае УЗИ может помочь скорректировать положение рук для оптимизации компрессии грудной клетки [5].

В течение обычных 10 секунд оценки пульса и ритма в соответствии с рекомендациями по реанимации [1] можно использовать практически все виды трансторакальной эхокардиографии (хотя рекомендуется использовать субкостальный доступ, чтобы свести к минимуму перерывы при сдавливании грудной клетки), а двумерная визуализация стабильна и доступна для точной интерпретации. Хотя процесс дифференциации дефибриляторных и недефибриляторных ритмов базируется на данных ЭКГ, УЗИ может выявить ложную остановку сердца. Исследования показали, что от 10% до 35% пациентов с асистолией имеют явное сокращение сердца [6]. Тем не менее, определение "движения сердца" не является единодушным, следовательно, согласие между наблюдателями в отношении диагноза остановки сердца является лишь умеренным [5]. Хотя, исходя из исследований с множественными искажениями [7], было высказано предположение, что наличие сердечной активности связано с лучшим исходом, доказательства использования УЗИ в качестве прогностического инструмента во время СЛР имеют очень низкую достоверность.

Кроме того, УЗИ является полезным инструментом для оперативного выявления быстро обратимых причин остановки сердца (рис. 1) [8]. Исследование сердца, легких и проксимальных вен нижних конечностей может быть использовано для исключения тампонады сердца, глубокой гиповолемии, эмболии легочной артерии и напряженного пневмоторакса (ESM, таблица S1). В условиях нехватки времени УЗИ должно быть предельно целенаправленным и основываться на клинических проявлениях. У пациентов с травмами УЗИ в первую очередь выявляет напряженный пневмоторакс и глубокую гиповолемию. У пациента с артериальной гипертензией, испытывающего мигрирующую боль в груди, необходимо исключить тампонаду, свидетельствующую об остром аортальном синдроме. У послеоперационных или онкологических пациентов в первую очередь выявляют массивную тромбоэмболию легочной артерии. Хотя расширение ПЖ рассматривается как признак острого обструктивного процесса,



ПЖ резко расширяется через несколько минут после остановки сердца, поскольку кровь перемещается из полых вен в правые полости сердца по градиенту давления. Соответственно, диагностика массивной тромбоэмболии легочной артерии не должна основываться исключительно на расширении ПЖ у пациентов при длительной сердечно-легочной реанимации [9].

Сфокусированный ультразвук может с успехом использоваться во время СЛР, поскольку он не мешает сдавливанию грудной клетки и обеспечивает высококачественное изображение для сердца и магистральных сосудов [3]. В дополнение к диагностическим результатам трансторакальная эхокардиография может предоставить ценную диагностическую информацию (например, о тромбе в проксимальном отделе легочной артерии, компрессионной гематоме средостения, диссекции грудного отдела аорты) и помочь с установкой временного кардиостимулятора или канюль экстракорпорального жизнеобеспечения (ECLS) [10].

Когда это возможно, УЗИ также может быть полезно во время СЛР для подтверждения адекватного положения эндотрахеальной трубки [11] и для получения информации о наличии отека головного мозга и перфузии (УЗИ головного мозга). Наконец, УЗИ можно использовать для облегчения доступа к периферическим или центральным венам (рис. 1).


Общее обследование сразу после восстановления спонтанного кровообращения (ROSC).

После достижения ROSC УЗИ позволяет провести более комплексную оценку для дальнейшего руководства терапией (рис. 1).

Оценка гемодинамики и поддержки кровообращения

На этом этапе может быть проведена более комплексная оценка состояния сердца (например, новые участки дискинезии миокарда, острое поражение клапанов), профилирование гемодинамики при шоке, оценка реакции на инфузию и титрование инотропных препаратов, а также ведение экстракорпоральной системы жизнеобеспечения.

Некардиальное ультразвуковое исследование.



Установка венозных / артериальных линий облегчается при использовании УЗИ, включая канюли большего диаметра для экстракорпорального жизнеобеспечения (ECLS) [10].

После установки эндотрахеальной трубки УЗИ легких является надежным инструментом для оценки глобальной и региональной аэрации легких. Коллапс легкого или пневмоторакс, возникший в результате реанимации, можно выявить и вылечить [12].

Перспективы на будущее

Оптимальная цель для перфузии органов после ROSC остается предметом дискуссий и исследований. Появляется все больше литературы, изучающей оценку региональной внутрибрюшной гемодинамики с помощью цветного доплеровского индекса резистивности (например, почек), где отклонения предшествуют явной органной дисфункции и биохимическим изменениям [13].

Наконец, церебральную гемодинамику после реанимации можно определить, используя форму доплеровского спектрального сигнала, индекс пульсации и среднюю скорость кровотока в основных мозговых артериях. Серийные транскраниальные доплеровские исследования и оценка диаметра оболочки зрительного нерва с помощью УЗИ могут помочь в неинвазивной оценке отека мозга, вследствие синдрома ишемии-реперфузии, и других осложнений [14, 15].

Take-home message

Во время остановки сердца основная цель УЗИ - подтвердить эффективность компрессии грудной клетки, определить сердечную деятельность при неопределенностях и быстро выявить обратимую причину. УЗИ следует проводить параллельно с сердечно-легочной реанимацией, но с минимальным вмешательством в компрессию грудной клетки. Поскольку данные о точности УЗИ-диагностики и влиянии на исход отсутствуют, необходимы крупномасштабные исследования для стандартизации УЗИ-оценки во время СЛР, подтверждения критериев эффективности СЛР, улучшения прогноза и улучшения регионарного кровотока во время и после СЛР.

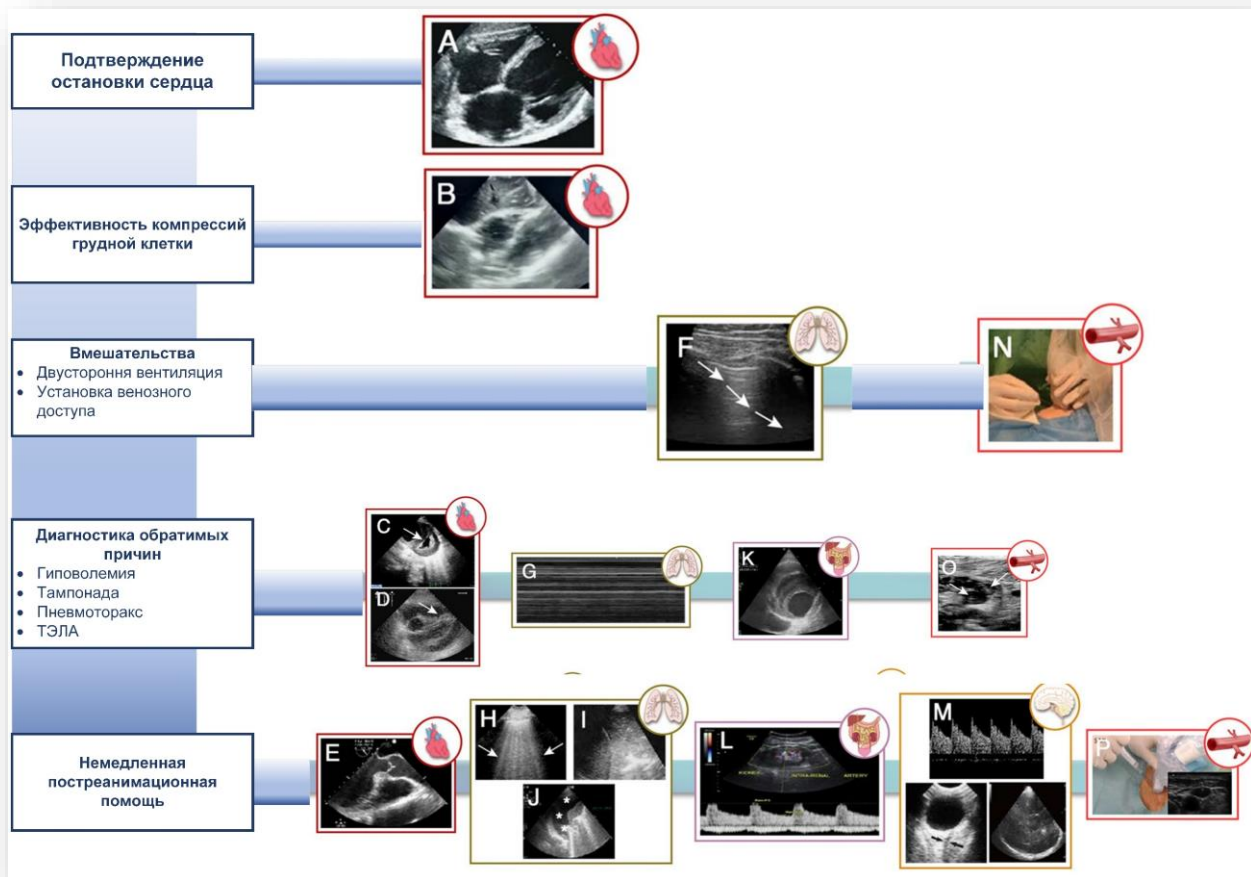


Рисунок 1 Иллюстрация временной последовательности использования ультразвукового исследования в реанимации для руководства ведением пациента в острых состояниях во время остановки сердца и после восстановления самопроизвольного кровообращения (ROSC) (подробнее см. Текст). Эхокардиография: во время остановки сердца подреберный обзор обеспечивает самую простую визуализацию сердца, сводя к минимуму перерывы при сдавливании грудной клетки. Он позволяет немедленно подтвердить "остановленное" сердце в сравнении с сокращением сердца и ударный ритм в сравнении с неударным ритмом (панель А). Он также позволяет подтвердить эффективность компрессии грудной клетки с облегчением выброса левого желудочка (панель В). Эхокардиография также может быстро выявить обратимые причины остановки сердца, такие как острое легочное сердце, связанное с массивной тромбозом легочной артерии (панель С: вид по короткой оси подреберья, показывающий обратное конечное систолическое выпячивание межжелудочковой перегородки в направлении полости левого желудочка; белая стрелка), или физиологию тампонады (панель D: вид по длинной оси подреберья, показывающий сдавливающий перикардиальный выпот с коллапсирующей полостью правого желудочка; белая стрелка). Наконец, на этапе после ROSC эхокардиография обеспечивает комплексную оценку гемодинамики для наилучшего руководства терапией, в том числе с использованием чреспищеводного доступа, если это показано (панель Е). УЗИ легких: может помочь подтвердить двустороннюю вентиляцию легких и выявить обратимые причины бескислородной остановки сердца. Аэрированное легкое характеризуется наличием скольжения легкого в режиме реального времени, связанного с линиями (панель F, белые стрелки). Напротив, отсутствие как смещения легкого, так и наличия легочной точки согласуется с лежащим в основе пневмотораксом (панель G, M-режим). На этапе после ROSC ультразвуковое исследование легких может позволить более конкретно оценить функцию легких и аэрацию: линии В, связанные с неспецифическим интерстициальным отеком (панель H, белые стрелки); обширная консолидация легких, указывающая на деаэрацию участков легких (панель I); плевральный выпот, который можно оценить полуколичественно (панель J, звездочки). УЗИ брюшной полости: может обеспечить быструю диагностику обратимых причин (панель K: большая аневризма аорты с нестабильным образованием внутрипросветного тромба) и может помочь в оценке перфузии органов на этапе после ROSC (панель L). УЗИ головного мозга: может помочь выявить отек головного мозга и внутричерепную гипертензию (панель M: пульсовая волна-доплерография с цветным доплеровским отображением скорости кровотока в средней мозговой артерии с повышенным индексом пульсации; измерение диаметра оболочки зрительного нерва (черные стрелки); ультразвуковое исследование головного мозга, используемое для оценки наличия внутричерепного кровоизлияния и смещения средней линии). УЗИ сосудов: лучшие рекомендации по введению периферического и центрального венозного катетера (панели N и P). Кроме того, ультразвук проксимальных вен нижних конечностей может быстро выявить образование тромба, ответственного за летальную тромбозом легочной артерии (панель O, белые стрелки)

Дополнительные материалы.

Таблица S1: Результаты, полученные с помощью ультразвукового исследования на месте оказания медицинской помощи во время СЛР^a

Возможная причина	УЗИ вид	Данные	Вмешательство
Глубокая гиповолемия	Субкостальный ^b Живот ^c	Небольшой размер полостей ЛЖ и ПЖ Систолическая облитерация («целующийся желудочек») Коллабирующая НПВ (< 10 мм) ^d Массивное кровотечение в брюшной полости ^e	Оценка реакции на введение жидкости
Тампонада сердца	Субкостальный ^b	Перикардиальный выпот Коллапс правых полостей сердца Перерастянутая НПВ (> 25 мм) ^f	Установка дренажа
Массивная ТЭЛА	Субкостальный ^{b,g} Нижние конечности	Заметно расширенный ПЖ ^h Тромб Перерастянутая НПВ (> 25 мм) ^f Наличие проксимального тромба в венах нижних конечностей.	Рассмотрение возможности тромболизиса
Напряженный пневмоторакс	Легкие ⁱ	Отсутствие феномена скольжения легких при вентилиации	Оценка эффекта пункционной декмпрессии

^aэти результаты не были подтверждены в конкретных условиях остановки сердца; ^b: вид по длинной оси (четырёхкамерный); ^c: правые верхние квадранты, левые верхние квадранты, таз при подозрении на внутрибрюшное кровотечение (обследование FAST [Фокусированная ультразвуковая оценка пациентов с травмами]); ^d: ориентировочное значение, соответствующее у пациентов с септическим шоком 90% специфичности реакции на инфузию; ^e: органно-травматическое повреждение, разрыв аневризмы брюшной аорты, осложнение длительной СЛР; ^f: ориентировочное значение, соответствующее у пациентов с септическим шоком со специфичностью 90% отсутствия реакции на жидкость; ^g: субкостальная проекция по короткой оси может быть полезна для изображения уплощения или обратной кривизны межжелудочковой перегородки, что соответствует ранее существовавшему острому легочному сердцу; ^h: субкостальная проекция не идеально подходит для оценки размера ПЖ, в отличие от апикальной четырёхкамерной проекции; единственное умеренное расширение правого желудочка не является специфичным для тромбоэмболии легочной артерии (подробности см. в тексте); ⁱ: передние области грудной клетки.



Лучшие советы

1- Не прерывайте компрессии грудной клетки.

2. УЗИ должно выполняться без вмешательства в СЛР (субкостальная проекция, плевральная и брюшная полости), поэтому в основном следует полагаться на целенаправленное поверхностное обследование (фокусированная ТТЭХОКГ возможна у пациентов, находящихся на искусственной вентиляции легких):

- Определить наличие сердечного сокращения или «остановки» независимо от сердечного ритма.
- Подтвердить эффективность компрессий грудной клетки.
- Оперативная диагностика обратимых причин:
 - Глубокая гиповолемия – проекция подреберной длинной оси и нижней полой вены.
 - Тампонада – проекция подреберной длинной оси и нижней полой вены.
 - Напряженный пневмоторакс – Передние области легких
 - Массивная тромбоземболия легочной артерии – проекция подреберной длинной, короткой оси и нижней полой вены, проксимальные вены нижних конечностей.
- Подтвердить двустороннюю вентиляцию после интубации трахеи – Передние области легких

3. УЗИ можно использовать после ROSC для оказания неотложной помощи:

- Вентиляция (пневмоторакс, аэрация и консолидация легких, плевральный выпот) – УЗИ легких
- Венозная/артериальная канюляция
- Гемодинамическая оптимизация:
 - Гемодинамическая оценка – Комплексная эхокардиография (ТТЭХОКГ и/или ЧП ЭХОКГ)
 - УЗИ Легких
 - Церебральные нарушения – транскраниальная доплерография
 - Рассмотрите перфузию органов-мишеней (например, почек, внутренних органов) – УЗИ брюшной полости.

Литература:

1. ERC Guidelines 2021: <https://cprguidelines.eu/>
2. Ávila-Reyes D, Acevedo-Cardona AO, Gómez-González JF, Echeverry-Piedrahita DR, Aguirre-Flórez M, Giraldo-Diaconeasa A (2021) Point-of-care ultrasound in cardiorespiratory arrest (POCUS-CA): narrative review article. Ultrasound J 13(1):46



3. Teran F, Prats MI, Nelson BP, Kessler R, Blaivas M, Peberdy MA, Shillcutt SK, Arntfield RT, Bahner D (2020) Focused transesophageal echocardiography during cardiac arrest resuscitation. *J Am Coll Cardiol* 76:745–754
4. Robba C, Poole D, Citerio G, Taccone FS, Rasulo FA (2020) Consensus on brain ultrasonography in critical care group. *Brain ultrasonography consensus on skill recommendations and competence levels within the critical care setting*. *Neurocrit Care* 32(2):502–511
5. Hu K, Gupta N, Teran F, Saul T, Nelson BP, Andrus P (2018) Variability in interpretation of cardiac standstill among physician sonographers. *Ann Emerg Med* 71:193–198
6. Ávila-Reyes D, Acevedo-Cardona AO, Gómez-González JF et al (2021) A Point-of-care ultrasound in cardiorespiratory arrest (POCUS-CA): narrative review article. *Ultrasound J* 13(1):46. <https://doi.org/10.1186/s13089-021-00248-0>
7. Reynolds JC, Issa MS, Nicholson TC, Drennan IR, Berg KM, O’Neil BJ, Welsford M (2020) Prognostication with point-of-care echocardiography during cardiac arrest: a systematic review. *Resuscitation* 152:56–68
8. Blanco P, Martínez BC (2017) Point-of-care ultrasound in cardiopulmonary resuscitation: a concise review. *J Ultrasound* 20(3):193–198
9. Aagaard R, Caap P, Hansson NC, Bøtker MT, Granfeldt A, Løfgren B (2017) Detection of pulmonary embolism during cardiac arrest - ultrasonographic findings should be interpreted with caution. *Crit Care Med* 45:e695–e702
10. Nanjappa V, Murphy D (2015) Extracorporeal life support organization – ultrasound guidance for extracorporeal membrane oxygenation general guideline. https://www.else.org/portals/0/files/else_ultrasoundguidance_ecmogeneral_guidelines_may2015.pdf Accessed 23 June 2022
11. Osman A, Sum KM (2016) Role of upper airway ultrasound in airway management. *J Intensiv Care* 4:52. <https://doi.org/10.1186/s40560-016-0174-z>
12. Mayo PH, Copetti R, Feller-Kopman D et al (2019) Thoracic ultrasonography: a narrative review. *Intensiv Care Med* 45:1200–1211. <https://doi.org/10.1007/s00134-019-05725-8>
13. Corradi F, Via G, Tavazzi G (2020) What’s new in ultrasound-based assessment of organ perfusion in the critically ill: expanding the bedside clinical monitoring window for hypoperfusion in shock. *Intensiv Care Med* 46(4):775–779. <https://doi.org/10.1007/s00134-019-05791-y>
14. Cardim D, Griesdale DE, Ainslie PN, Robba C, Calviello L, Czosnyka M, Smielewski P, Sekhon MS (2019) A comparison of non-invasive versus invasive measures of intracranial pressure in hypoxic ischaemic brain injury after cardiac arrest. *Resuscitation* 137:221–228
15. Caldas J, Rynkowski CB, Robba C (2022) POCUS, how can we include the brain? An overview. *J Anesth Analg Crit Care* 2:55. <https://doi.org/10.1186/s44158-022-00082-3>