



REVIEW

A decade of progress in critical care echocardiography: a narrative review



Antoine Vieillard-Baron^{1,2*}, S. J. Millington³, F. Sanfillipo⁴, M. Chew⁵, J. Diaz-Gomez⁶, A. McLean⁷, M. R. Pinsky⁸, J. Pulido⁹, P. Mayo¹⁰ and N. Fletcher^{11,12}

© 2019 Springer-Verlag GmbH Germany, part of Springer Nature

Сведения об авторах

1. Intensive Care Medicine Unit, Assistance Publique-Hôpitaux de Paris, University Hospital Ambroise Paré, 92100 Boulogne-Billancourt, France; 2. INSERM U-1018, CESP, Team 5, University of Versailles Saint-Quentin en Yvelines, Villejuif, France; 3. Department of Critical Care Medicine, The Ottawa Hospital, University of Ottawa, Ottawa, Canada; 4. Department of Anesthesia and Intensive Care, Policlinico-Vittorio Emanuele University Hospital, Catania, Italy; 5. Department of Anaesthesiology and Intensive Care, Medical and Health Sciences, Linköping University, Linköping, Sweden; 6. Department of Critical Care Medicine, Mayo Clinic, Jacksonville, FL, USA; 7. Intensive Care Nepean Hospital, University of Sydney, Sydney, Australia; 8. Department of Critical Care Medicine, University of Pittsburgh, Pittsburgh, PA, US; 9. Cardiothoracic Anesthesiology and Critical Care Medicine, Cardiovascular Intensive Care Unit, Swedish Heart and Vascular Institute, Swedish Medical Center, US Anesthesia Partners, Seattle, WA, USA; 10. Division of Pulmonary, Critical Care and Sleep Medicine, Northwell Health LIJ/NSUH Medical Center, Zucker School of Medicine, Hofstra/Northwell, USA; 11. Consultant in Cardiothoracic Critical Care, St Georges Hospital, St Georges University of London, London, UK; 12. Cleveland Clinic London, London, UK.

Десять лет прогресса эхокардиографии при критических состояниях: повествовательный обзор

Перевод А.А. Науменко

Южно-Сахалинск



Абстракт

Введение: Этот описательный обзор, посвященный эхокардиографии в критических ситуациях (ССЕ), был написан группой экспертов в этой области с целью изложить состояние дел через 10 лет после его официального признания и определения.

Результаты: За последние 10 лет ССЕ стала неотъемлемой частью УЗИ в интенсивной терапии и получила всеобщее признание. Ее использование, как в качестве диагностического инструмента, так и для гемодинамического мониторинга, заметно возросло, что не может не оказывать влияния на современное кардиореспираторное лечение. Недавние исследования показывают, что использование ССЕ может оказать положительное влияние на исходы заболевания. ССЕ может использоваться у пациентов в критическом состоянии во многих различных клинических ситуациях, как при ранней оценке в отделении неотложной помощи, так и при поступлении и пребывании в отделении интенсивной терапии (ОРИТ). ССЕ также доказала свою полезность в периоперационных условиях, и при проведении механической поддержки кровообращения. ССЕ может быть выполнена с очень простыми диагностическими целями. Это приложение, называемое базовой ССЕ, не требует высокого уровня подготовки. Расширенная ССЕ, с другой стороны, использует ультразвуковую эхокардиографию для полной оценки сердечной функции и гемодинамики и требует обширного обучения с официальной сертификацией, которая теперь доступна. Действительно, в последние годы была создана всемирная сертификация по вопросам расширенной ССЕ. В то время как трансторакальная ССЕ остается наиболее часто используемым методом, чреспищеводная методика приобретает все большее значение, особенно у интубированных и вентилируемых пациентов.

Вывод: ССЕ сейчас широко признана сообществом интенсивной терапии как ценный инструмент в отделениях интенсивной терапии и неотложной помощи, в отделениях реанимации и в периоперационных условиях.

Ключевые слова: реанимационная эхокардиография, трансторакальная эхокардиография, чреспищеводная эхокардиография, УЗИ, гемодинамический мониторинг.

Онлайн версия этой статьи содержит дополнительный материал, который доступен для авторизованных пользователей. (<https://doi.org/10.1007/s00134-019-05604-2>)

Мысли домой

Эхокардиография в интенсивной терапии стала неотъемлемой частью лечебного процесса и получила общее признание. Ее использование, как в качестве диагностического инструмента, так и для гемодинамического мониторинга, заметно увеличилось, что, несомненно, оказывает влияние на современное кардиореспираторное лечение.



Введение

Растущая доступность УЗИ у постели больного, несомненно, сильно повлияла на практику интенсивной терапии. Хотя невозможно дать количественную оценку в полном объеме, это влияние можно оценить по количеству международных профессиональных организаций, которые в настоящее время наделены полномочиями в области УЗИ в условиях интенсивной терапии (CCUS), а также по формальным процессам сертификации, которые в настоящее время осуществляются на международном уровне, и по распространению связанных с ультразвуком научных публикаций. Тот факт, что *Cholley and colleagues* в 2006 году призвали к более широкому использованию эхокардиографии в критических ситуациях, [1] привело к тому, что в течение 10 лет накопилось достаточное количество академических данных, позволяющих опубликовать международные рекомендации, обоснованные на доказательных результатах, [2] что, безусловно, должно рассматриваться как четкое указание на значительный прогресс в этой области.

Многие клиницисты будут знакомы с термином “*point of-care ultrasonography*” – «*проведение УЗИ в месте оказания помощи (у постели больного)*» (POCUS), что обычно означает целенаправленное ультразвуковое обследование, проводимое лечащим врачом, чтобы ответить на четко определенный вопрос, относящийся к экстренному лечению пациента. Более конкретная терминология и определения были изложены в 2009 году в результате сотрудничества между *the American College of Chest Physicians – Американский колледж грудных врачей (ACCP)* и *Société de Réanimation de Langue Française – Французское реанимационное сообщество (SRLF)*. [3] CCUS является подходящим общим термином для ультрасонографии, проводимой интенсивистами, и его двумя основными ветвями являются эхокардиография при критических состояниях (CCE) и общее УЗИ в интенсивной терапии (GCCUS). CCE можно разделить на базовый и расширенный уровень, и как базовый, так и расширенный уровень CCE могут быть выполнены с использованием трансторакального (ТТЕ) или чреспищеводного (ТФЕ) доступа в зависимости от имеющихся клинических вопросов. Несмотря на то, что ТФЕ часто рассматривается как компонент расширенной CCE, а ТТЕ - как более базовый компонент, некоторые врачи могут сначала приобрести компетенцию в области ТФЕ. Специфические навыки УЗИ, которые включают в себя базовые и расширенные наборы навыков CCE, будут дополнительно описаны позже в этой статье. Клиницист, проводящий CCE, отвечает за получение и интерпретацию изображений, а также за интеграцию этих результатов в более широкую клиническую картину. По этой



причине он или она должны пройти тщательную психомоторную и когнитивную подготовку, особенно для более сложных приложений. Есть также необходимое условие: специалисты, проводящие ССЕ должны понимать свои сильные и слабые стороны, а также особенности конкретных инструментов УЗИ, которые они предлагают использовать.

Этот описательный обзор является частью серии обзоров CCUS, написанных для этого журнала. Сосредоточив внимание исключительно на ССЕ, он был написан группой признанных экспертов в этой области с целью изложить состояние дел в ССЕ через 10 лет после его официального признания и определения ACCP и SRLF. [3] ССЕ здесь представлена и обсуждена как полунепрерывный инструмент, который может использоваться для ранней оценки критических пациентов в отделении неотложной помощи и после их поступления в отделение интенсивной терапии (ОРИТ). Эта преемственность также наблюдается в случае, требующих хирургического вмешательства до или после госпитализации в ОРИТ, так как ССЕ может быть использована и в операционной. В статье также представлены некоторые перспективы на будущее и обсуждаются ключевые моменты и сохраняющиеся неопределенности, признанные экспертами (рисунок 1, таблица 1).

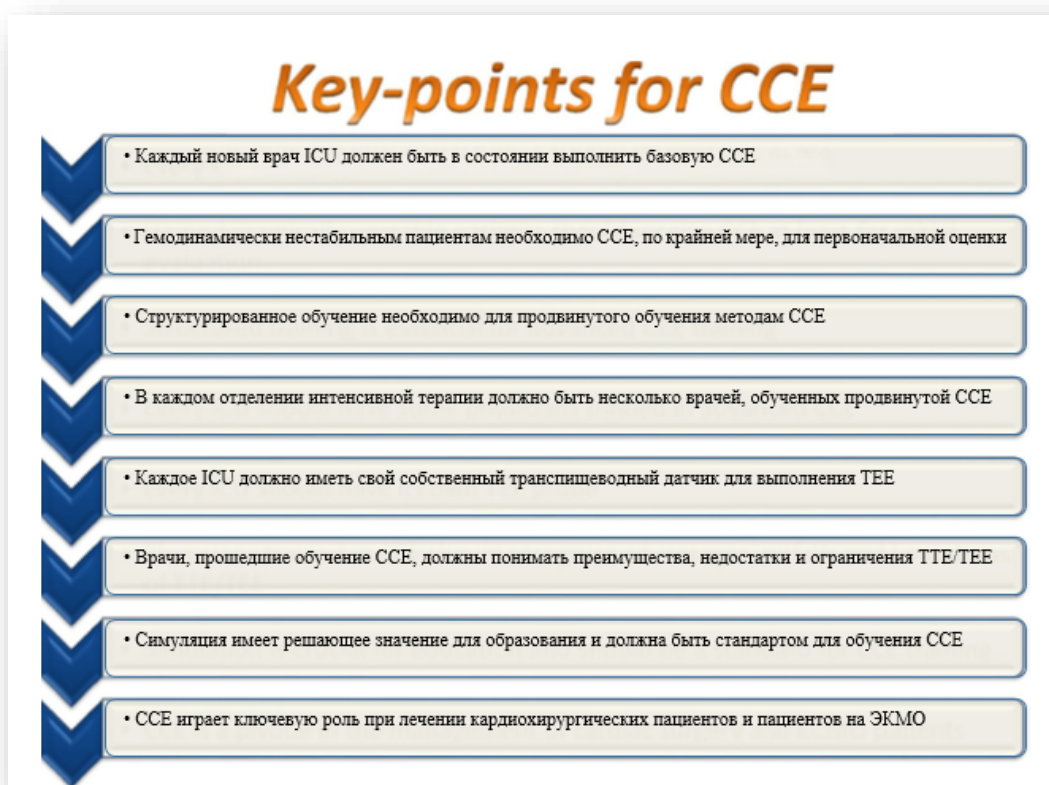


Рис. 1. Основные ключевые моменты эхокардиографии при критических состояниях (ССЕ) (от наиболее важных до «наименее важных»). **ТТЕ** - трансторакальная эхокардиография, **ТЭЕ** - чрепещеводная эхокардиография, **ЭКМО** – экстракорпоральная мембранная оксигенация.



Таблица 1. УЗИ в интенсивной терапии (CCUS): повестка дня исследований и сохраняющиеся неопределенности

УЗИ в интенсивной терапии: приоритеты исследований
1. Определить, улучшает ли систематическое использование CCUS результаты лечения пациентов
2. Оценить экономическую эффективность CCUS при систематическом применении
3. Определить лучшие параметры CCUS для оценки дисфункции ЛЖ/ПЖ у критически больных пациентов
4. Установить роль CCUS для оптимизации механической вентиляции
5. Уточнить использование CCUS для мониторинга и лечения ТЭЛА
6. Оценить использование CCUS для улучшения результатов лечения пациентов с остановкой сердца и после восстановления спонтанного кровообращения
7. Оценить оптимальное использование CCUS для фармакологической/механической поддержки при кардиогенном шоке
8. Исследовать использование неинвазивной оценки конечно диастолического давления (КДД) ЛЖ с целью оптимизировать лечение и сделать прогноз
9. Установить роль CCUS в профилактике периоперационных осложнений
10. Определить роль CCUS в качестве вспомогательного инструмента при проведении ЭКМО: начало, проведение ЭКМО и отлучение
Важные неопределенности, связанные с УЗИ в интенсивной терапии
1. Как подготовить большое количество врачей intensivистов, владеющих CCUS
2. Как лучше всего оценить компетентность и безопасность обучающегося CCUS
3. Как наилучшим образом выполнить обеспечение качества, связанного с CCUS
4. Как стандартизировать практику CCUS
5. Как собрать данные о результатах пациентов, связанных с использованием CCUS
6. Как стандартизировать сбор данных и исследования в отношении CCUS
7. Как сочетать CCUS с другими неинвазивными методами визуализации и устройствами для гемодинамического мониторинга
8. Как преодолеть неоднородность клинических исследований по CCUS
9. Как определить точную роль CCUS в таких популяциях, как несердечная хирургия
10. Как оптимизировать сотрудничество между intensivистами, кардиологами и врачами ультразвуковой диагностики



ССЕ: возрастающее использование, но значительные пробелы

Хотя эхокардиография все чаще используется в области интенсивной терапии, обзор литературы показывает, что в этой области существуют многочисленные конкретные области и клинические ситуации, в которых она не используется. Недавно опубликованная статья, основанная на данных *US National Inpatient Sample* сообщила, что абсолютный объем эхокардиографических исследований увеличивался со скоростью 3,4% в год в период между 2001 и 2011 гг., хотя весьма вероятно, что многие исследования проводились скорее кардиологами или врачами ультразвуковой диагностики, чем intensivистами, и что приведенные цифры, вероятно, недооценивают частоту использования метода в условиях интенсивной терапии. [4] Тем не менее, в том же исследовании сообщалось, что у пациентов с тяжелой формой септического заболевания, а также у пациентов с застойной сердечной недостаточностью эхокардиография использовалась чаще, чем катетеризация легочной артерии, а также был сделан вывод о том, что УЗИ все еще недостаточно используется у пациентов, которые умерли во время госпитализации. [4] Между тем, французское исследование показало, что использование ССЕ при ОРДСВ увеличилось с 54,5 до 58,8% пациентов в период между 2004–2006 и 2010–2012 гг., соответственно, а это означает, что около 40% не получили шанс извлечь выгоду из данной методики. [5] За тот же период частота катетеризации легочной артерии снизилась с 10,4 до 7,4%. [5] В недавнем документе эксперты обсуждали значение ССЕ в качестве возможной альтернативы катетеризации легочной артерии, [6] даже несмотря на то, что эта методика в настоящее время все еще может быть предпочтительнее по некоторым показаниям, таким как лечение в ОРИТ после операции на сердце. Недавно было подтверждено, что существует клинически приемлемая корреляция между систолическим давлением в легочной артерии при измерении с помощью катетера Сван-Ганца или ее вычислении с помощью эхокардиографии. [7] В однодневном проспективном наблюдательном исследовании, проведенном в 140 европейских отделениях интенсивной терапии, *Zieleskiewicz et al.* сообщили, что 1073 процедуры CCUS были проведены у 36% госпитализированных пациентов, подавляющее большинство из которых, это базовые процедуры ССЕ для диагностики, а также коррекции проводимой терапии. [8] В этом исследовании ТЭЕ составляли менее 10% выполненных исследований, [8] подтверждая, что ТТЕ чаще используется из-за его простоты использования по сравнению с ТЭЕ. В дополнение к своей обычной роли в кардиологической диагностике, ССЕ теперь признано как инструмент для мониторинга гемодинамики. [9] Тем не менее, в исследовании *FENICE* эхо-пере-



менные использовались только у 2% из 2213 пациентов для определения управления волевической нагрузкой, хотя в более чем 40% случаев врачи не использовали никаких переменных. [10] Ясно, что существуют широкие различия в использовании ССЕ. Соответственно, одной из основных целей в будущем должна стать стандартизация показаний и использования ССЕ.

ССЕ: два разных уровня компетенции

Важно различать базовый и расширенный уровень ССЕ (рис. 2). Базовая ССЕ понимается как 2D ТТЕ-исследование в пяти видах, при которых базовые измерения, такие как диаметр желудочка производится с использованием или без использования М-режима. Вдохновленный ранней работой *Jensen et al.* [11], популяризировали это под аббревиатурой “*FATE*” (*focused assessed TTE - сфокусированная оценочная ТТЕ*). Формализованные структурированные учебные программы, такие как сфокусированное эхо при экстренной поддержке жизни и сфокусированное эхо в интенсивной терапии, [12] являются наследием этой работы. Базовая ССЕ предназначена для ответа на простой бинарный вопрос, например, значительно ли повреждены левый или правый желудочки, или для определения наличия большого перикардального выпота. [13] Хотя кардиологические организации изначально неохотно признавали ценность ССЕ, теперь они признали важность ее применения. [14] Базовая ССЕ сосредоточена на быстрой категоризации и ведении пациентов с гемодинамической недостаточностью; нет лучшей альтернативы для начальной и последовательной оценки пациента с шоком. Расширенная ССЕ позволяет intensivисту использовать эхокардиографию с такой же эффективностью, как и кардиологи, чтобы позволяет более полно определить патофизиологию сердечно-легочной недостаточности. Расширенная ССЕ использует полный спектр двумерных и доплеровских изображений и измерений, и это требует гораздо более высокого уровня когнитивной и технической подготовки, чем при выполнении базовой ССЕ. [15]

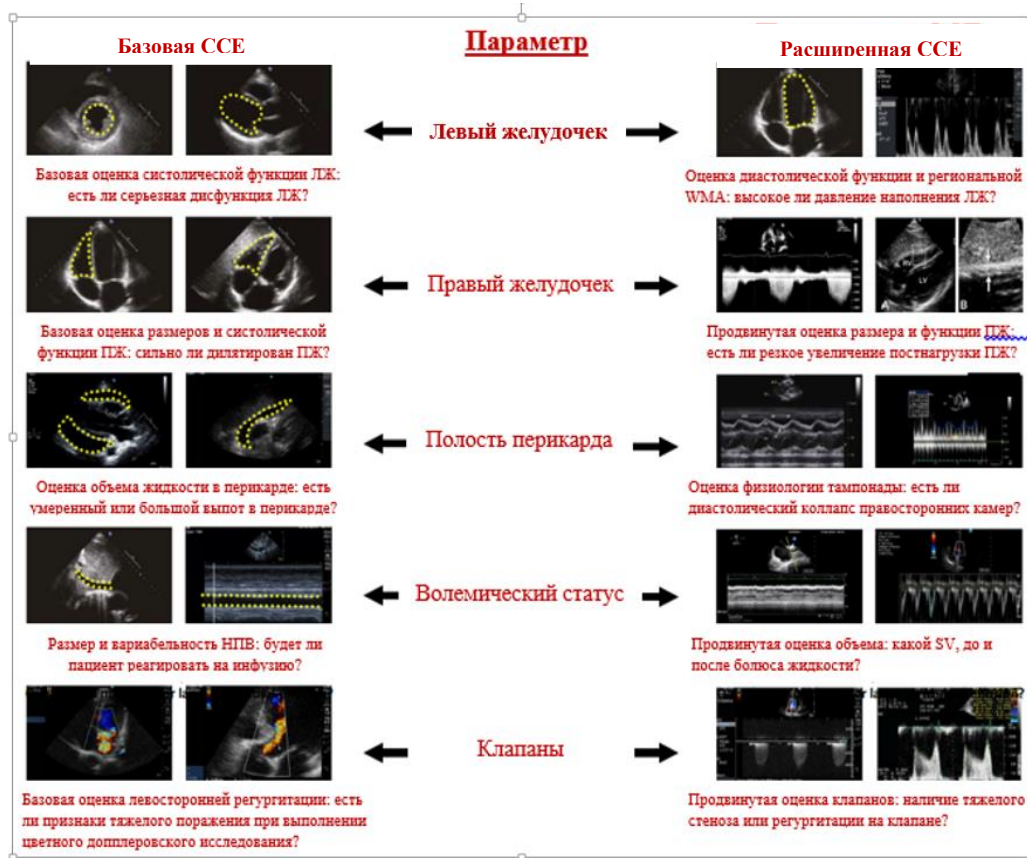


Рис. 2. Различные подходы к оценке сердечно-сосудистой системы при базовой и расширенной эхокардиографии в интенсивной терапии (ССЕ). **НПВ** - нижняя полая вена, **SV** – ударный объем крови, **WMA** - аномалия движения стенки.

ССЕ: два взаимодополняющих доступа визуализации

Международное консенсусное заявление о стандартах обучения по расширенной ССЕ предусматривает, что расширенная ССЕ требует компетентности как при выполнении ТТЕ, так и при выполнении ТЭЕ. [15] Пока оба метода дополняют друг друга, каждый из них имеет свои преимущества и недостатки. Основным преимуществом ТТЕ является то, что она неинвазивна и не несет риска для пациента. Кроме того, время проведения исследования минимально, и его можно быстро развернуть в месте оказания помощи и легко повторить при необходимости. Датчик можно быстро очистить, что позволяет оператору выполнить несколько сканирований у разных пациентов за короткий промежуток времени. Конструкция датчика компактна, что делает его адаптируемым к небольшим портативным машинам, которые хорошо спроектированы для работы в отделениях интенсивной терапии. ТТЕ также обеспечивает лучшее выравнивание, чем ТЭЕ при доплеровском измерении ско-



рости трикуспидальной регургитации, скорости обструкции оттока левого желудочка и скорости трансверкулярного аортального кровотока, и она лучше для двухмерной визуализации поверхностных структур сердца (апикальный тромб, переднее перикардальное пространство). Тем не менее, основным недостатком ТТЕ является возможное неадекватное качество изображения из-за специфических для пациента факторов (например, габитус тела, наличие повязок, дренажей и устройств, гиперинфляция, невозможность позиционирования критически больного пациента для оптимального получения изображения). Увеличение массы тела более 10% по сравнению с массой тела при поступлении, положительное давление в конце выдоха ≥ 15 см H₂O и плевральные дренажи, как сообщается, являются факторами риска для неудачной визуализации при выполнении ТТЕ, которая была зафиксирована в 38% случаев и была решена с помощью выполнения ТЕЕ в исследовании, проведенном у пациентов с травмой. [16] По сравнению с ТЕЕ, период обучения, необходимый для ТТЕ, более длительный и техника больше зависит от оператора. В определенных ситуациях ТТЕ имеет ограничения. К ним относятся:

1. оценка размера верхней полой вены/респираторных вариаций,
2. оценка эндокардита,
3. визуализация расслоения аорты,
4. визуализация локализованной перикардальной гематомы с тампонадой после операции на сердце,
5. визуализация тромба левого предсердия,
6. УЗИ контроль при установке двухпросветного катетера для ЭКМО и его позиционирование,
7. детальный анализ морфологии нативного/протезированного клапана,
8. диагностика острого легочного сердца. [17]

И наоборот, как указано, период обучения, необходимый для ТЕЕ, короче, а методика менее зависима от оператора, поскольку она преодолевает специфические для пациента ограничения ТТЕ. Для некоторых приложений ТЕЕ превосходит ТТЕ благодаря лучшему разрешению изображения (см. выше). Помимо улучшенных диагностических возможностей при определенных патологиях, этот доступ также является эффективным инструментом для оценки гемодинамики. В условиях интенсивной терапии, ТЕЕ имеет определенные ограничения. Хотя ТЕЕ имеет более низкую частоту осложнений по сравнению с другими типичными процедурами интенсивной терапии, такими как эндотрахеальная интубация и центральный венозный доступ, он не лишен определенных рисков. Повреждение пищевода, поражение гортани и смещение трахеостомической трубки - редкие или очень редкие



осложнения; [18] наиболее частые осложнения были отмечены у пациентов со спонтанным дыханием при бодрствовании, [19] в то время как ТЭЕ при проведении интенсивной терапии, как правило, проводится пациентам, которым проводится респираторная поддержка, в отличие от ТЭЕ, проводимого кардиологом; таким образом, частота осложнений при выполнении ТЭЕ у критических пациентов может быть ниже, чем в кардиологии. Кардиологи в настоящее время используют контрастные препараты для эхокардиографии, а не ТЭЕ для оценки функции желудочков у трудных пациентов; тем не менее, на сегодняшний день эта методика менее широко используется в критических ситуациях. Время установки внутрипищеводного датчика и необходимость его последующей обработки ограничивают время быстрого выполнения и повторного использования в отделении интенсивной терапии. Другое серьезное ограничение ТЭЕ, не связанное с самой техникой заключается в том, что многие отделения интенсивной терапии не имеют собственный внутрипищеводный датчик многократного использования. Это больше проблема в Северной Америке, хотя это также встречается во многих европейских и азиатских странах. Ситуация изменится с неизбежным распространением этой полезной технологии. Как уже указывалось, интенсивная терапия обычно ограничивается пациентами, находящимися на ИВЛ, тогда как ТЭЕ является стандартом для неинтубированных пациентов. Некоторые квалифицированные операторы могут выбрать проведение ТЭЕ у неинтубированных пациентов, если для этого есть клинические показания. Однако, учитывая простоту использования, ТЭЕ должна быть начальным методом исследования, если нет четко определенного указания, которое требует использования ТЭЕ. У интубированного пациента, когда визуализация ТЭЕ не позволяет дать ответ, при отсутствии противопоказаний необходимо выполнить ТЭЕ. Таким образом, ТЭЕ является эффективным методом визуализации для большинства пациентов в отделении интенсивной терапии, но мы рекомендуем, чтобы ТЭЕ была доступна для intensivиста в качестве стандартного инструмента ОРИТ.

Клиническое применение и контексты

Роль эхокардиографии при лечении критических пациентов в настоящее время хорошо известна (Таблица 2). После его включения в рутинную практику ОРИТ от быстрой диагностики до полной оценки гемодинамики и мониторинга кровообращения, использование ССЕ набирает обороты. Тем не менее, важно не недооценивать проблемы, которые необходимо понять, а также ограничения и ловушки, которые необходимо преодолеть [20]. В этом



разделе мы представляем несколько снимков различных контекстов, при которых используется ССЕ, и различные доступные приложения. Это не исчерпывающий отчет, и читателю предлагается обратиться к таблицам и рисункам для более широкого обзора.

Таблица 2. Сценарии, при которых эхокардиография при критических состояниях (ССЕ) предлагает потенциальные преимущества (см. раздел: ссылки на литературные источники)

Клинический сценарий	Потенциальные преимущества
Госпитализация	Улучшенная точность диагностики в дополнение к анамнезу и физикальному обследованию
Скрининговый осмотр у постели пациента (в месте оказания помощи)	Надежная оценка систолической функции ЛЖ Надежная оценка объема перикардальной жидкости Возможность скрининга тяжелой дисфункции ПЖ или вальвулопатии
Шок или гипотония неясной этиологии: ранняя фаза	Возможность в среднем быстрее поставить диагноз Возможность изменения плана ведения пациента в большинстве случаев
Шок или гипотония неясной этиологии: поздняя фаза	Меньше внутривенного введения жидкости Более быстрое определение этиологии шока
Травма	Более быстрое выявление перикардальной тампонады Сокращение времени до операции при перикардальной тампонаде Потенциальная выгода в плане смертности при тампонаде перикарда
Остановка сердца	Потенциал для выявления обратимой этиологии Детекция остановки сердца с очень плохим прогнозом
Септический шок	Выявление дисфункции миокарда Прогностическая ценность при выявлении угнетения сократимости миокарда
ОРДСВ/комплексная механическая вентиляция	Выявление острого легочного сердца Оценка сердечно-легочных взаимодействий Титрование РЕЕР, контроль при прона-позиционировании и рекрутмент-маневре
Гемодинамический мониторинг	Оценка значимых показателей, таких как УО и СВ Расширенная оценка ответа на волемическую нагрузку, включая: Изменение УО при пассивном поднятии ног или после болюса жидкости Вариабельность НПВ в зависимости от дыхательного цикла
Отлучение от механической вентиляции	Лучший прогноз успеха экстубации Лучшее понимание этиологии неудачного отлучения от ИВЛ



Периоперационная помощь: несердечная хирургия	Предоперационная ССЕ часто полезна для сортировки пациентов в плане очередности оказания анестезиологической помощи и интенсивной терапии Периоперационная ССЕ полезна в чрезвычайных ситуациях
Механическая поддержка кровообращения	ТЕЕ - золотой стандарт правильного позиционирования канюли ТЕЕ или ТТЕ полезны в чрезвычайных ситуациях и на этапе отлучения

ССЕ как диагностический инструмент

Диагностическое влияние ССЕ охватывает широкий спектр патологий, обычно встречающихся при интенсивной терапии (Рис. 3). Многие врачи рассматривают ультразвунографию как продолжение физического обследования, а интеграция ССЕ с анамнезом госпитализации и физикальным обследованием повышает точность диагностики. [21–25] У пациентов с механической вентиляцией [26] и у пациентов с необъяснимой гипотонией [27] дополнительное проведение ССЕ улучшает диагностическую ценность и может изменить план лечения. В настоящее время существует достаточно данных, позволяющих предположить, что врачи могут быть легко обучены точному выполнению базовой ССЕ. Оценка систолической функции ЛЖ в месте оказания медицинской помощи является наиболее убедительным доказательством, [28–32] как и выявление перикардальной жидкости, наличие которой может быть достоверно исключено при помощи ССЕ [33–35]. Оценка функции ПЖ может включать систолическую экскурсию кольца трикуспидального клапана и позиционирование межжелудочковой перегородки, а также предположительную оценку клапанного аппарата, которая изучена менее хорошо, поскольку является более сложной.

Эхокардиография рекомендуется для оценки пациентов с симптомами, согласующимися с этиологией сердца (видео 1 ESM; см. оригинальную англоязычную статью), для помощи в диагностике инфаркта миокарда и для оценки травмы сердца. [36] Базовое УЗИ сердца и легких может быть использовано для точной диагностики острой декомпенсированной сердечной недостаточности, и эта комбинация превосходит традиционные методы, такие как физикальное обследование, рентгенография грудной клетки и лабораторные исследования. [37–39] Расширенная ССЕ может использоваться для оценки диастолической функции ЛЖ, которую не может обеспечить никакой другой инструмент гемодинамического мониторинга. [40, 41] Растет понимание того, что диастолическая дисфункция ЛЖ связана с более высокой смертностью у пациентов с септическим шоком и большей частотой неудачного отлучения от респираторной поддержки. До настоящего времени гемодинамический мониторинг был сосредоточен почти исключительно на выходном потоке ЛЖ, но оценка ПЖ



также важна, учитывая частоту возникновения правожелудочковой недостаточности пациентов с ОРДС. [42, 43]

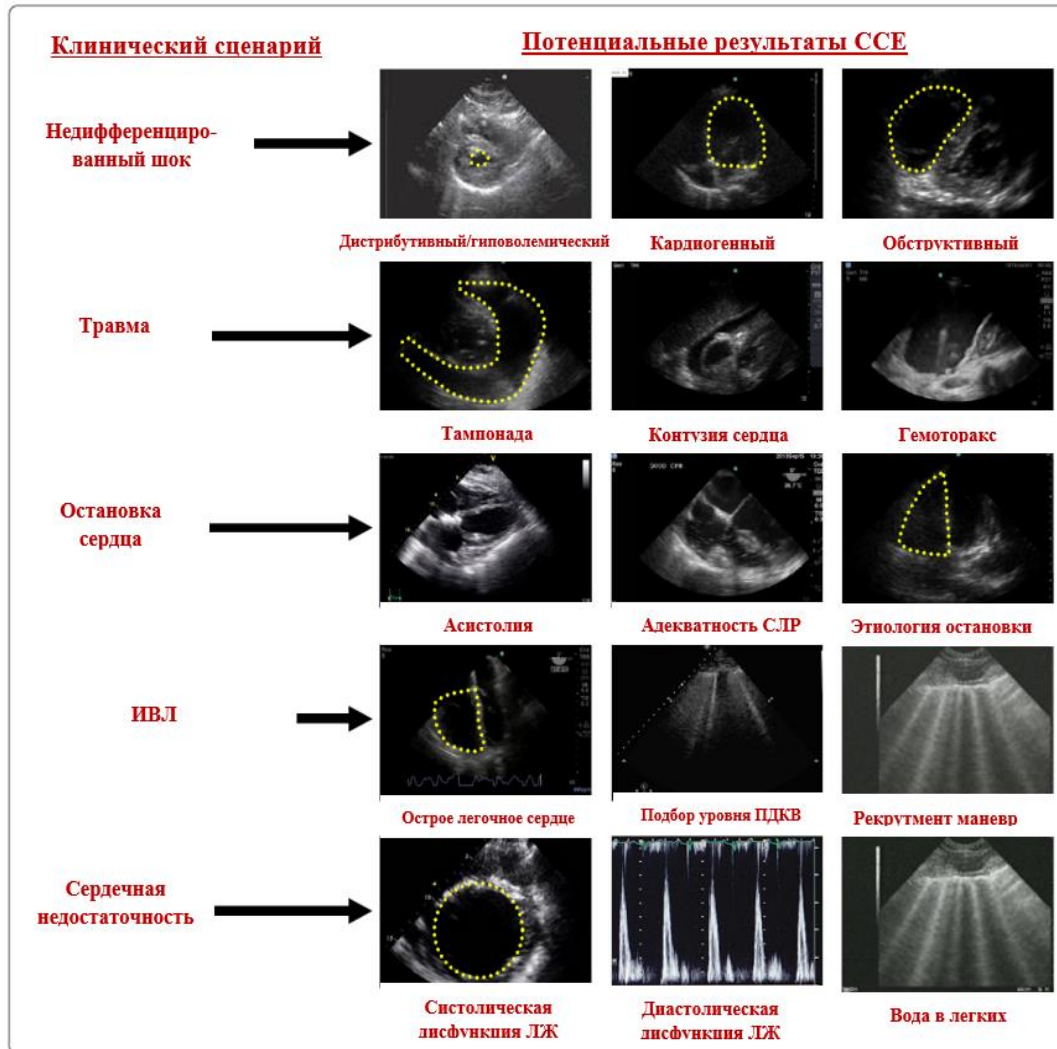


Рис. 3. Основные клинические сценарии, при которых эхокардиография при критическом состоянии помогает в диагностике

Некоторые из самых ранних доказательств в пользу ССЕ касались пациентов с травмами, у которых непосредственное использование УЗИ для оценки проникающего сердечного повреждения привело к более быстрому обнаружению гемоперикарда, более быстрому времени до оперативного лечения и улучшению выживаемости. [44] В последнее время использование УЗИ для оказания помощи в реанимации показало, что смешанная популяция пациентов с травмами имеет важное влияние с точки зрения улучшения выявления и коррекции гиповолемии и дисфункции ЛЖ, сокращения времени сортировки до операции и тенденцию к снижению смертности. [45] Выявление обратимой причины остановки



сердца, например, тампонады перикарда, может привести к значительным изменениям в тактике ведения, что является значимым потенциалом для улучшения результатов пациента. [46] У пациентов с ранней фазой недифференцированного шока рутинное использование ССЕ в отделении неотложной помощи ускоряет выявление основной этиологии [47, 48] (видео 2 ESM; см. оригинальную англоязычную статью).

ССЕ как инструмент гемодинамического мониторинга

ССЕ уже давно признана ценным прикроватным инструментом для гемодинамического мониторинга. В заявлении, выпущенном 16 экспертами в этой области, рекомендовалось использовать ССЕ, если пациенты все еще находились в шоке после начальной волемической реанимации, чтобы оценить функцию сердца и исключить тампонаду сердца, а затем при необходимости повторить оценку воздействия терапии на функцию сердца. [9] ССЕ может проводиться для измерения сердечного выброса (СВ). Сообщалось, что вместо измерения абсолютного значения СВ, ССЕ более надежно отслеживает его изменения, [49] поскольку преобразование временного индекса скорости в аорте (VTI) в ударный объем требует точных измерений диаметра аорты (что может привести к ошибкам), в то время как изменения VTI могут быть надежно измерены независимо от диаметра аорты. Таким образом, ССЕ может быть легко использована для оценки динамических параметров, необходимых для функционального гемодинамического мониторинга, [50] то есть для оценки ответа на волемическую нагрузку. Изменение ударного объема, вызванное дыханием с положительным давлением, оценивается как изменение VTI, а динамические изменения СВ в ответ на пассивное поднятие ноги (ППН) оцениваются путем сравнения мгновенных и непрерывных значений VTI до и при проведении теста ППН. И наоборот, метод термодиллюции при использовании катетера Сван-Ганца для оценки средних значений СВ занимает несколько минут. Тем не менее, ССЕ является гораздо больше, чем просто инструмент для измерения СВ. Благодаря прямой визуализации различных структур сердца, ССЕ дает интенсивную и конкретную информацию о функции ЛЖ и ПЖ, а также предлагает множество дополнительных опций для оценки потребности в жидкости или фармакологической поддержке. [51] Рисунок 4 суммирует основные параметры эхо (измеренные или качественно оцененные), используемые для общей гемодинамической оценки.

С точки зрения гемодинамического мониторинга основное различие между ТТЕ и ТЭЕ связано с оценкой ответа на волемическую нагрузку. В то время как при ТТЕ оценка основана главным образом на вариациях VTI, изменениях СВ в ответ на ППН и измерениях диаметра нижней полой вены (НПВ) (диаметр в конце выдоха и респираторные изменения),



последние с ограниченной точностью [52, 53], ТЭЕ также позволяет измерять более высокие (но не более низкие) изменения диаметра полой вены с ее вариациями в зависимости от фазы дыхания (Δ SVC). Сообщается, что Δ SVC имеет очень хорошую специфичность и умеренную чувствительность для определения ответа на волемическую нагрузку; [52] во всех случаях динамические параметры были подтверждены у пациентов с ИВЛ, синхронизированных с аппаратом ИВЛ. ССЕ также обеспечивает точную оценку давления наполнения левого желудочка по сравнению с катетером Сван-Ганца, что позволяет врачам проверять толерантность к волемической нагрузке.

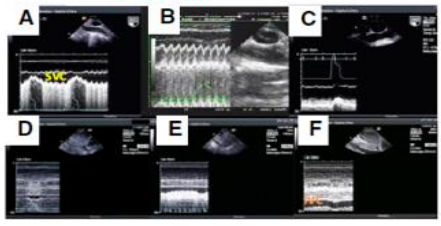
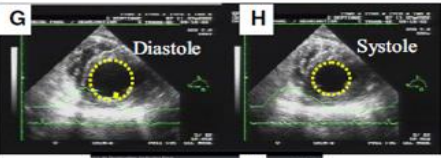


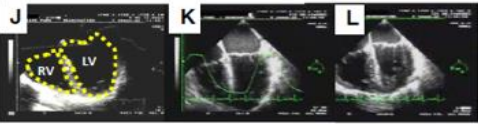
Параметр	Методика УЗИ	Оценка
	<p>ТЭЕ Верхний отдел пищевода 90°</p>	<p>ΔSVC предсказывает FR с высоким специфичностью и умеренной чувствительностью</p>
	<p>ТЭЕ Субкостальный</p>	<p>ΔIVC плохо предсказывает FR Диаметр IVC_{TEE} предсказывает FR, когда ≤ 13 и не предсказывает FR при диаметре ≥ 25 мм</p>
	<p>ТЭЕ/ТЭЕ ЛЖ по короткой оси</p>	<p>LVFAC в средней части ЛЖ является хорошим суррогатом LVEF при условии отсутствия WMA</p>
	<p>ТЭЕ/ТЭЕ ЛЖ по короткой оси</p>	<p>Парадоксальное движение перегородки отражает перегрузку ПЖ</p>
	<p>ТЭЕ А4С ТЭЕ середина пищевода</p>	<p>Дилатация ПЖ (умеренная, тяжелая) может использоваться в качестве маркера недостаточности ПЖ</p>

Рис. 4. Основные параметры гемодинамического мониторинга с использованием эхокардиографии в интенсивной терапии в зависимости от методикой эхокардиографии. **a – c** Продольный вид верхней части пищевода на уровне SVC с полным коллапсом во время инсуффляции (**a**, реакция на волемический объем), без коллапса (**b**, нет реакции на волемический объем) или промежуточные респираторные изменения (**c**, серая зона). **d – f** Субкостальный доступ, визуализирующий IVC, с виртуальным IVC и дилатацией во время инсуффляции (**d**, реакция на волемический объем), нормальный размер с дилатацией во время инсуффляции (**e**, реакция на волемический объем), большая IVC без каких-либо изменений от фаз дыхания (**f**, отсутствие реакции на во-



лемический объем). **g, h** короткий осевой вид левого желудочка через трансгастральный доступ. **i** парастернальная короткая ось левого желудочка показывая парадоксальное движение перегородки (стрелка). **j – I** – поперечный вид в середине пищевода с нормальным правым желудочком (**j**, ПЖ/ЛЖ конечная диастолическая область $\leq 0,6$), умеренная дилатация ПЖ (**k**, ПЖ/ЛЖ $> 0,6$) и выраженная дилатация ПЖ (**l**, ПЖ $>$ ЛЖ). **TEE** – чреспищеводная эхокардиография, **TTE** – трансторакальная эхокардиография, **SVC** – верхняя полая вена, Δ **SVC** – респираторная вариация размеров верхней полой вены, **IVC** – нижняя полая вена, Δ **IVC** – респираторная вариация размеров нижней полой вены, **IVC_{EE}** – конечно-эспираторный размер нижней полой вены, **LVFAC** – сократимость фракционной области ЛЖ, **LVEF** – фракция выброса ЛЖ, **WMA** – аномальное движение стенки желудочка, **ЛЖ** – левый желудочек, **ПЖ** – правый желудочек.

Таким образом, благодаря способности оценивать устойчивую сердечную функцию и изменения ритма по отношению к дыхательному циклу, ССЕ дает ценную информацию о взаимодействиях сердца и легких у пациентов с механической и спонтанной вентиляцией (видео 3; см. оригинальную англоязычную статью). [54–56]

Недавнее многоцентровое исследование септического шока сообщило об умеренном согласии между гемодинамическим измерением, выполненным с использованием транспульмональной термодилуции (ТПТ) и ССЕ, и предположило потенциальный источник неточности при ТПТ в 28% случаев. [57] Периодически выполняемая ССЕ, ассоциированная с непрерывным мониторингом инвазивного артериального давления может быть достаточно точна для лечения большинства нестабильных пациентов. [58] Уникальным качеством ССЕ является то, что она позволяет индивидуализировать управление гемодинамикой в дополнение к информированию о настройках и стратегии аппарата ИВЛ. Это особенно актуально для оценки функции ПЖ у пациента с ОРДС [43, 59] или в других ситуациях, связанных с повышением давления в легочной артерии. Разработка новых технологий ССЕ, таких как датчики ТЕЕ малого диаметра, которые могут оставаться на месте у пациентов в течение длительных периодов времени, должна расширить возможности применения ССЕ для мониторинга гемодинамики у более широкого спектра пациентов. [60–62] ТПТ также может быть использована для оценки внесосудистой воды в легких. Хотя полезность этого значения неясна, В-линии, обнаруженные с помощью УЗИ легких, сообщают аналогичные количественные данные, - чем больше В-линий, тем больше воды в легких.

ССЕ для прогнозирования при септическом шоке

Мы установили, что тактика лечения может быть изменена в половине случаев после проведения ССЕ. [63, 64] Это может быть основано на простом анализе 2D-изображений при



септическом шоке. [65] ССЕ может помочь в лечении пациентов с сепсисом, поставив диагноз септической кардиомиопатии (видео 4 ESM; см. оригинальную англоязычную статью), хотя существует ограниченная поддержка прогностической ценности фракции выброса при 2D визуализации ЛЖ. [66] Более сложная оценка функции ЛЖ помимо визуальной оценки может потребовать обучения расширенным методам ССЕ. Помимо митрально-кольцевой плоской систолической экскурсии, которая может быть доступна при простом измерении в М-режиме, спекл-трекинг эхокардиография (*методика оценки глобальной и локальной кинетики и деформации миокарда*) и глобальная продольная деформация (GLS), являются продвинутыми измерениями, которые могут позволить провести раннюю диагностику септической кардиомиопатии и помочь в прогнозировании. [67–69] *Sanfilippo et al.* провели мета-анализ восьми исследований, включившим 794 пациентов, у которых проводились измерения GLS и ФВЛЖ, и хотя величина ФВЛЖ не показала взаимосвязи со смертностью, худшие значения GLS (т.е. менее отрицательные) были связаны с более высокой смертностью у пациентов с сепсисом. [70] Большая база данных *MIMIC-III* сообщила о 6361 пациентах, поступивших в ОРИТ с сепсисом; в этой популяции раннее использование ТТЕ имело значительную выгоду с точки зрения 28-дневной смертности, с большим количеством жидкости, вводимой в течение первого дня, и более высокими дозами добутамина. [71] Пациенты, у которых проводилось УЗИ, также, по-видимому, были быстрее отлучены от вазопрессоров. [71] Пациенты, которым была проведена базовая ССЕ, имели сниженную частоту острых повреждений почек в подострой фазе своего заболевания. [72]

ССЕ после остановки сердца

ССЕ использовалась во время остановки сердца для выявления пациентов с безпульсовой электрической активностью (БЭА), у которых все еще имелась сократительная активность сердца. Вероятно, данная методика сможет прогнозировать тех пациентов, у которых возможно восстановление спонтанного кровообращения (ROSC). Недавний систематический обзор 11 исследований включал 777 пациентов с БЭА и показал, что у пациентов с сердечной деятельностью по данным УЗИ чаще восстанавливалось спонтанное кровообращение. Возможная дополнительная ценность этого ультразвукового открытия обусловлена тем фактом, что это может стимулировать продолжение реанимационных мероприятий. [73]



ССЕ при дыхательной недостаточности

Хотя результаты ССЕ позволяют intensivисту адаптировать дыхательную стратегию к функции ПЖ пациента, влияние этого подхода на прогноз еще не было оценено. [59] Еще одной областью, в которой ССЕ играет ключевую роль, является междисциплинарное лечение легочной эмболии, когда острая недостаточность ПЖ и шок, являются основными факторами риска смерти при этом сценарии. ССЕ играет важную роль в стратификации риска и ведении пациентов, которые нуждаются в быстрой оценке для возможной реперфузионной терапии. [74] Механическая вентиляция оказывает важное влияние на функцию ПЖ. Увеличение объема легких во время вдоха и увеличение объема в конце выдоха несомненно будут сопровождаться возрастанием легочного сосудистого сопротивления, возникающего в результате повышения внутригрудного давления. Гиперинфляция и повышенное внутригрудное давление могут препятствовать венозному возврату и снижать давление наполнения ПЖ. Когда гиперинфляция увеличивает легочное сосудистое сопротивление, последующая волемиическая реанимация может привести к острому напряжению ПЖ, проявляющемуся как парадоксальный перегородочный сдвиг, а в тяжелых случаях - как трикуспидальная регургитация. Таким образом, прямая оценка функции ПЖ может помочь клиницисту оценить параметры вентиляции, чтобы минимизировать сердечно-сосудистую дисфункцию, в то же время поддерживая газообмен.

ССЕ в периоперационном периоде

Периоперационное использование ССЕ является еще одним важным применением в повседневной практике. У пациентов, перенесших серьезную хирургическую операцию, которые имеют значительный риск серьезных неблагоприятных сердечно-сосудистых и легочных явлений, пред- и интраоперационное использование эхокардиографии может помочь клиницисту выбрать, часто на основе стратегического управления, наилучшую стратегию снижения риска периоперационных осложнений, которые могут включать усиленный мониторинг или более высокий уровень послеоперационной помощи. [75, 76] Мы считаем, что результаты исследований ССЕ, ориентированные на профилактику периоперационной заболеваемости и экономической эффективности должны быть частью текущей программы исследований. Эхокардиографические исследования в условиях интенсивной терапии можно разделить на те, которые используются у пациентов после операции на сердце, и те, которые используются у пациентов, перенесших обширные несердечные операции.



Большинство пациентов, которым проводится плановая кардиохирургическая операция подвергаются предоперационному эхо, что дает прогностическую информацию для стратификации их риска послеоперационных осложнений и позволяет применять стратегическую сортировку. Чрезвычайная ССЕ особенно ценна для своевременной диагностики расслоения аорты (видео 5 ESM; см. оригинальную англоязычную статью) и острой клапанной регургитации. [77] Многим пациентам при проведении кардиохирургических операций будет проводиться интраоперационная эхокардиография, что позволит обеспечить непрерывность мониторинга с помощью послеоперационного сканирования. [78] ССЕ хорошо зарекомендовала себя в качестве первого инструмента для оценки гемодинамической нестабильности, синдрома низкого сердечного выброса, острой недостаточности ПЖ после кардиотомии, дисфункции протезированного клапана, необъяснимой тяжелой гипоксемии и тампонады сердца. В этой группе пациентов часто используют ТЭЕ, особенно для диагностики регионарной тампонады (видео 6 ESM; см. оригинальную англоязычную статью) (рис. 5), хотя вероятность ТЭЕ улучшается после первого дня послеоперационного периода. [79–81] Несмотря на отсутствие достоверных данных о результатах, ССЕ считается обычным приложением для ведения пациента до и послеоперационной кардиохирургической операции. В последнее время использование одноразового 72-х часового внутрипищеводного датчика, который обеспечивает более частый мониторинг, было изучено в периоперационном периоде и имеет определенные перспективы. [61, 82]

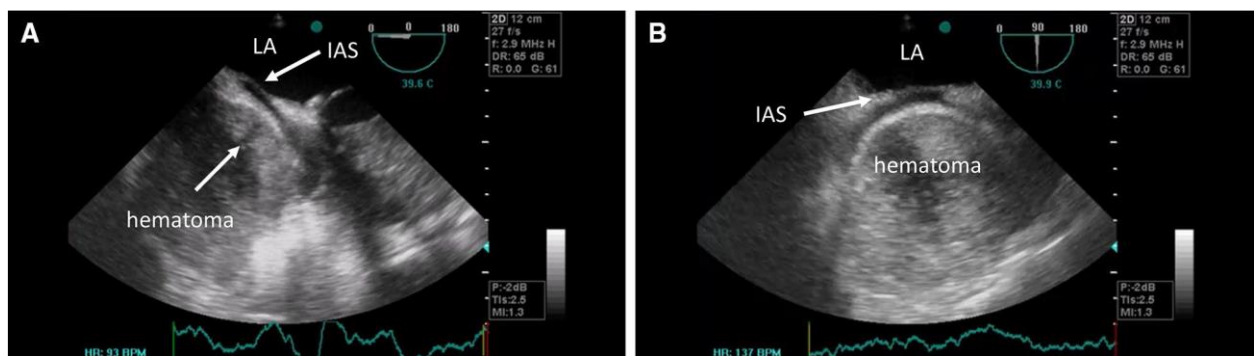


Рис. 5. Локализованная тампонада сердца после операции на сердце. **а** Четырёхкамерная ТЭЕ в середине пищевода, показывающая правую сторону сердца, полностью сжатую большой гематомой. **б** Двухкамерная ТЭЕ в средней части пищевода, показывающая правое предсердие, сжатое гематомой.

LA - левое предсердие, **IAS** - межпредсердная перегородка

Послеоперационные осложнения нередки в популяции пациентов высокого хирургического риска и могут включать кардиореспираторную нестабильность из-за гиповолемии, кровоизлияния, сепсиса, острой дисфункции сердца и эмболии легочной артерии. ССЕ является эффективным методом визуализации для диагностики и лечения этих осложнений.



Влияние пред- и интраоперационной эхокардиографии на выживаемость в популяции пациентов высокого хирургического риска с множественными сопутствующими заболеваниями и/или в группе пациентов, которые подвергаются хирургическим операциям с высоким риском (трансплантация печени, крупные сосудистые операции, тяжелая травма и рефрактерный шок), уже рассматривались в литературе. [83, 84] Интеграция ССЕ и УЗИ легких может быть особенно ценной в периоперационном лечении акушерских пациентов. [85]

ССЕ при механической поддержке кровообращения

И TTE, и TEE являются важными инструментами при проведении как вено-венозной, так и вено-артериальной ЭКМО. [86, 87] В частности, как показано в таблице 3, они полезны для следующих этапов: оценка заболевания, установка катетеров, поддержание и отлучение от ЭКМО. ССЕ используется для определения правильного расположения канюли в правом предсердии, всякий раз, когда используется канюля с двойным просветом, а также для последовательных проверок положения и функции канюли (Рис. 6, видео 7 ESM; см. оригинальную англоязычную статью). Она также необходима для постоянной оценки функции ЛЖ и ПЖ. [88, 89] Эхокардиографическое количественное определение желудочковой функции требуется на стадии рассмотрения вопроса об отлучении от ЭКМО. [90, 91]

Таблица 3. Полезность эхокардиографии при проведении ЭКМО

Стадия	VV-ЭКМО	VA-ЭКМО
Базисная оценка заболевания	Исключить правожелудочковую недостаточность, открытое овальное отверстие, дефект межпредсердной перегородки, тромбоз IVC/SVC, трикуспидальный синдром, легочную гипертензию, заболевание аортального/митрального клапанов, барьеры для канюляции – напр., Евстахийев клапан. Оценка систолической/диастолической функции ЛЖ. Выпот в перикарде (для сравнения с любым ятрогенным выпотом после процедуры). Измерение диаметра сосудов для выбора размера канюли.	Конфигурация - исключить мобильный атеросклероз, расслоение аорты, митральную/аортальную клапанную регургитацию, разрыв межжелудочковой перегородки, внутрисполостный тромб, барьеры для канюляции, напр., кальцифицированная бедренная артерия/аорта.
Канюляция	Визуализация проводника - (ТЕЕ, двухканальный просмотр)/(ТТЕ, субкостальный доступ на уровне IVC); IVC (периферийный); RA/SVC/IVC (центральный); Мониторинг любого нового или увеличенного выпота перикарда; Начальное позиционирование канюли	Визуализация проводника - (ТЕЕ, средняя часть пищевода, восходящая аорта и нисходящая аорта - длинная/короткая ось); Нисходящая аорта (периферийный)/восходящая аорта (центральный);



		Сопровождение в сопутствующем размещении других механических поддерживающих устройств кровообращения (Impella, внутриаортальный баллонный насос)
Проведение ЭКМО	Устранение неисправностей при неадекватных потоках ЭКМО; Миграция канюли (надпеченочная вена); Тромб (канюля, внутриполостной, IVC/SVC); Перикардиальный выпот; Гиповолемия; Оценка рециркуляции. Прогрессирование заболевания; Переоценка о размера и функции желудочков, размеров предсердий.	Устранение неисправностей при неадекватных потоках ЭКМО; Тромб (протезированный клапан, внутриполостной); Переоценка сопутствующих устройств механической поддержки кровообращения; Перикардиальный выпот; Гиповолемия.
Отлучение	Сопровождение протокола отлучения; Первичный эффект в систолической функции ПЖ; Количественная оценка в пограничных случаях; Шунт справа налево через невыявленное открытое овальное окно.	Сопровождение протокола отлучения; Бивентрикулярная систолическая функция после 48–72 ч VA-ЭКМО; Количественная оценка, включая тканевой доплер.
После отлучения от ЭКМО	Оценка нового начала рефрактерного шока; Воздушная эмболия; Удаление внутриполостного/сосудистого тромба после канюляции; Отсроченная правожелудочковая недостаточность с прогрессированием дыхательной недостаточности; Прогрессирование левожелудочковой недостаточности; Новое развитие септической кардиомиопатии, ТЭЛА, тампонады сердца или тяжелой гиповолемии (забрюшинное кровотечение).	

VV-ЕСМО – вено-венозная ЭКМО, VA-ЕСМО – вено-артериальная ЭКМО, IVC – нижняя полая вена, SVC – верхняя полая вена, ТЭЕ – чреспищеводная эхокардиография, ТТЕ – трансторакальная эхокардиография.

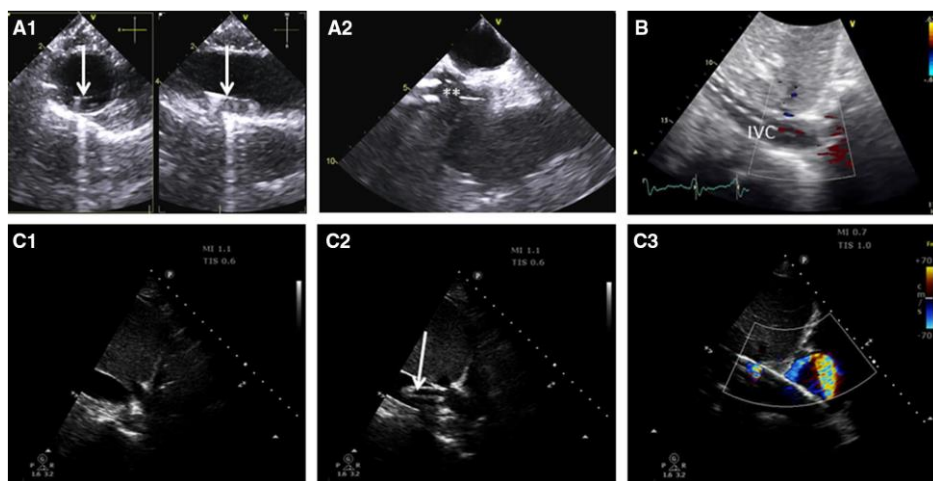


Рис. 6. Применение эхокардиографии во время проведения ЭКМО.



а Контроль периферического введения проводника/канюли под чреспищеводной эхокардиографией при венозно-артериальной ЭКМО; *а1* вид короткой и длинной оси нисходящей аорты с наличием внутриартериального проводника (стрелки); *а2* бикавальный вид, наличие венозной канюли ЭКМО внутри правого предсердия (звездочки). *б* Визуализация периферической венозной канюли ЭКМО при ТТЕ субкостальный доступ на уровне IVC с использованием цветовой доплерографии. *с* Перемещение бикавального катетера с двумя просветами под ТТЕ при проведении венозно-венозного ЭКМО; *с1* отсутствие канюли ЭКМО внутри предсердия; *с2* соответствующее продвижение канюли внутри IVC (стрелка); *с3* наличие цветового потока доплеровского сигнала, свидетельствующего о соответствующем возврате насыщенной кислородом крови к трикуспидальному клапану.

ССЕ: навыки, обучение и текущие дипломы

Требуемые навыки

Индивидуальные навыки, составляющие инструментарий ССЕ, лучше всего описаны в консенсусном документе ACCP/SRLF 2009 года. [3] Простым способом анализа является рассмотрение их использования в следующих ключевых областях: создание изображений, интерпретация изображений и клиническая интеграция. При выполнении базовой ССЕ генерация изображения требует владения четырьмя основными видами сердца, а именно: (1) парастернальная длинная ось, (2) парастернальная короткая ось, (3) апикальный четырехкамерный вид и (4) субкостальный четырехкамерный вид, а также субкостальная визуализация нижней полой вены (IVC). Интерпретация изображений также имеет четыре основных элемента: (1) оценка размера и систолической функции ЛЖ, (2) оценка размера и функции ПЖ, (3) оценка перикардального пространства и наличия в нем жидкости и (4) оценка размера и респираторных вариаций IVC. Для интеграции результатов ССЕ в более широкую клиническую картину необходимо фокусироваться на шести клинических сценариях, которые обычно встречаются при интенсивной терапии: (1) тяжелая гиповолемия, (2) недостаточность ЛЖ, (3) недостаточность ПЖ, (4) тампонада перикарда, (5) тяжелая левосторонняя клапанная регургитация и (6) использование ССЕ во время остановки сердца.

Среда создания изображений/интерпретации изображений/клинической интеграции также применима к продвинутому владению ССЕ, которая используется для изучения сложных клинических сценариев. В то время как некоторые из более сложных патологий лучше всего видны при чреспищеводном доступе, доступ (ТТЕ или ТЕЕ) следует выбирать на основе комбинации факторов, включая тяжесть заболевания, клинический вопрос, на который необходимо ответить, и трудности в получении изображений. Не следует утверждать, что базовая ССЕ должна выполняться только с использованием ТТЕ, в то время как



расширенная ССЕ только с использованием ТЭЕ. Оба доступа дополняют друг друга и могут использоваться для решения как основных, так и сложных вопросов в зависимости от клинических обстоятельств.

Уровень компетентности в получении изображений, необходимый для выполнения расширенной ССЕ, аналогичен уровню, который необходим для кардиологов-эхокардиографистов, и включает все виды ТТЕ и ТЭЕ, которые являются стандартными при выполнении полного ультразвукового исследования. При интерпретации изображений при расширенной визуализации рассматриваются те же элементы, что и в базовом экзамене, но на гораздо более высоком уровне сложности и детализации. Например, оценка ЛЖ должна начинаться с оценки размера желудочка и общей систолической функции, но затем также включать такие элементы, как диастолическая функция, сегментарная аномалия движения стенки и измерение ударного объема. Оценка ПЖ будет включать оценку перегородки, оценку давления в легочной артерии и доплеровскую оценку характера оттока из ПЖ. Визуализация перикарда включает не только обнаружение перикардального выпота, но и оценку физиологии тампонады.

Наконец, что касается интеграции результатов ССЕ в более широкую клиническую картину, расширенная ССЕ расширяет область исследования, также учитывая более сложные патологии, такие как инфекционный эндокардит, расслоение аорты, легочная эмболия, кардиальный источник эмболии, выявление внутрисердечного шунта, травмы сердца и осложнений острого инфаркта миокарда. В то время как различные медицинские общества имеют свои собственные индивидуальные взгляды на специфику набора навыков ССЕ, в руководствах, опубликованных с 2009 года, в значительной степени согласованы различные цели, оказывая общую поддержку пакету, как описано выше. [92–94]

Тренинг для intensivистов: ключевая роль симуляции

В прошлом, руководящие принципы в образовании ССЕ имели тенденцию быть структурированными вокруг клинической подготовки по кардиологии, а не обучению интенсивной терапии, но теперь это быстро изменяется. [95] Для достижения компетенции в расширенном варианте ССЕ необходимо пройти обучение, которое включает в себя десять учебных компонентов, представленных в таблице 4.

Таблица 4. Десять учебных компонентов для достижения компетентности в эхокардиографии критических состояний



1.	Введение: теория
2.	Ознакомление с ультразвуковым оборудованием
3.	Методы сканирования и получения изображений
4.	Выделение широкого спектра критически больных пациентов
5.	Передовые методы оценки гемодинамики
6.	Интерпретация изображений и обеспечение качества
7.	Своевременное и четкое информирование о результатах
8.	Поддержание навыков
9.	Формальная оценка компетентности
10	Интеграция результатов эхокардиографии с тактикой ведения пациента с другими членами команды

Раннее развитие определенных технических навыков, необходимых для независимого получения оптимальных эхокардиографических изображений и распознавания диагностических признаков у пациентов в критическом состоянии, имеет важное значение для процесса обучения. Настоящие усилия в симуляционном образовании имеют решающее значение для стандартизации обучения ССЕ. *Skinner et al.* продемонстрировали эффективность независимого, самообучающегося, полностью портативного учебного плана на основе тренажера для обучения начинающих резидентов основам получения и интерпретации изображений ССЕ [96]. Когнитивные и психомоторные навыки улучшились после самостоятельной тренировки на тренажере [97, 98]. Эта особая методика симуляции позволяет студенту заниматься самоориентированным обучением в своем собственном темпе и обеспечивает формирующую оценку с немедленной обратной связью и переоценкой навыков ученика. Симулятор показывает уровень точности получения изображения, показывая максимальное отклонение угла, ось вращения относительно к основным структурам сердца и расположение датчика на стенке грудной клетки.

Хотя до сих пор не хватает данных о передаче приобретенных навыков моделирования в клиническую практику, в некоторых исследованиях сообщалось о значительном улучшении кривой обучения базовой ССЕ, [99] а также о способности обучаемых выполнять полную оценку гемодинамики при выполнении ТЕЕ. [100].

Действующие дипломы по расширенной ССЕ доступны по всему миру

После того как аккредитация по экзамену и журнал регистрации стали приняты и признаны в качестве модели и важной части обучения в области кардиологии и кардиоторакальной



анестезии в США и Европе, путь для аккредитации в области интенсивной терапии был подготовлен [101–103].

Как было описано ранее, ССЕ, на сегодняшний день, развивалась на двух разных уровнях: базовый и более всеобъемлющий или расширенный. Поэтому для каждого из этих уровней необходим другой подход к тестированию компетентности, при этом предполагается, что те, кто учатся расширенным навыкам уже достигли компетентности в наборе основных навыков. Дипломы по расширенной ССЕ были теперь установлены в Соединенном Королевстве и Франции через национальные общества [12, 104]. Европейское общество интенсивной терапии (ESICM) разработало общеевропейскую сертификацию по расширенной ССЕ под названием EDEC (*European Diploma in advanced critical care EchoCardiography - Европейский Диплом по расширенной эхокардиографии при критических состояниях*).

Хотя европейские дипломы похожи по объему, между ними есть значительные различия (Таблица 5). Британский диплом посвящен исключительно ТТЕ, как это практикуется в критических ситуациях; существует отдельный британский диплом ТЕЕ, но он в основном сфокусирован на практике сердечной анестезии и кардиологии. Диплом ESICM EDEC, выпущенный в 2016 году, требует компетентности как в ТТЕ, так и в ТЕЕ, так как рабочая группа ESICM по эхо считает ТЕЕ важной составной частью продвинутой ССЕ. В отличие от кардиологической сертификации, такой как сертификация EACVI/ЕАСТА ТЕЕ (см. Условные обозначения в Таблице 5), сертификация EDEC направлена на оценку гемодинамики у тяжелобольных, а не на детальную оценку клапанов, которая остается сферой кардиолога и специалиста-анестезиолога. Хотя EDEC создана в Европе, ее консультирует широкая международная группа экспертов, которая привлекает специалистов из многих стран на всех континентах.

Таблица 5. Обзор доступных аккредитаций по эхокардиографии в интенсивной терапии и смежных специальностей

Название аккредитации / тема Аккредитующий орган	Уровень	Место проведения	Предполагаемая целевая группа	Модальности ССЕ	Требования к аккредитации	Кол-во сканирований за период сертификации
EDEC ESICM	Расширенный	Европа	Интенсивисты	ТТЕ и ТЕЕ	Официальный экзамен OSCE	100 ТТЕ 30 ТЕЕ 1 ± 1 год
ТЕЕ ЕАСVI и ЕАСТА	Расширенный	Европа	Кардиоанестезиологи Кардиологи	ТЕЕ	Официальный экзамен	125 2 года



<i>FoCUS</i> EACVI	Базовый	Европа	Открыт для всех, кто оказывает неотложную помощь	TTE	Электронное обучение Еще не определено	50
<i>TUSAR</i>	Расширенный	Франция	Интенсивисты Анестезиологи	TTE и TEE	Официальный экзамен	100 TTE 30 TEE 1 ± 1 год
<i>ACCE</i> BSE	Расширенный	UK	Интенсивисты	TTE	Официальный экзамен OSCE	250 2 года
<i>TEE</i> BSE и ACT ACC	Расширенный	UK	Кардиоанестезиологи Кардиологи Врачи ОРИТ	TEE	Официальный экзамен OSCE	125 2 года
<i>FICE</i> ICS	Базовый	UK	Интенсивисты	TTE	Обязательное электронное обучение Контролируемое сканирование и окончание с руководителем	50 12 мес
<i>CCE</i> SCCM, ACCP, ACEP, ASE, NBE	Расширенный	США	Анестезиологи Интенсивисты Врачи экстренной помощи	TTE	Официальный экзамен	150 2 года
Basic PTE	Базовый	США	Анестезиологи Периоперационный период	TEE	Официальный экзамен	150 4 года
Advanced PTE	Расширенный	США	Кардиоанестезиологи	TEE	Официальный экзамен	300 2 года
FoCUS in critical care CICM	Базовый	Австралия	Интенсивисты	TTE	Курс Он-лайн MCQ	30 стартовых кейсов в течение 1 года курса
Diploma of Diagnostic Ultrasound(Critical Care)-ASUM	Расширенный	Австралия	Интенсивисты	TTE и TEE	Экзамен Отчет о тематических исследованиях	300 TTE 50 TEE 50 УЗИ легких 50 УЗИ сосудов 2 года



EDEC – (European Diploma in advanced Critical Care Echocardiography - Европейский диплом по расширенной эхокардиографии в области интенсивной терапии), ESICM – (European Society of Intensive Care Medicine - Европейское общество интенсивной терапии), EACVI – (European Association of Cardiovascular Imaging - Европейская ассоциация сердечно-сосудистой визуализации), EACTA – (European Society of Cardiothoracic Anesthesiology - Европейское общество кардиоторакальной анестезиологии), FoCUS – (focused cardiac ultrasound – фокусированное УЗИ сердца), TUSAR – (techniques ultrasoniques en anesthésie et en réanimation – ультразвуковые техники в анестезиологии и реанимации), ACCE - advanced critical care echocardiography – расширенная эхокардиография при критических состояниях), BSE – (British Society of Echocardiography – Британское сообщество эхокардиографии), ACTACC – (Association of Cardiothoracic Anaesthesia and Critical Care – Ассоциация кардиоторакальной анестезиологии и интенсивной терапии), FICE – (focused intensive care echocardiography – фокусированная эхокардиография критических состояний), ICS – (Intensive Care Society – Общество интенсивной терапии), CCE – (critical care echocardiography – эхокардиография при критических состояниях), SCCM – (Society of Critical Care Medicine – Общество неотложной медицинской помощи), ACCP – (American College of Chest Physicians – Американский колледж торакальных врачей), ACEP - American College of Emergency Physicians – Американский колледж врачей неотложной помощи), ASE – (American Society of Echocardiography – Американское общество эхокардиографии), NBE – (National Board of Echocardiography – Национальный совет по эхокардиографии), PTE – (perioperative transesophageal echocardiography – периоперационная/чреспищеводная эхокардиография), CICM – (College of Intensive Care Medicine (Australia) – Австралийский колледж интенсивной терапии), ASUM – (Australasian Society of Ultrasound in Medicine – Австралийское общество ультразвука в медицине), OSCE – (objective structured clinical examination – объективный структурированный клинический экзамен), TTE – (transthoracic echocardiography – трансторакальная эхокардиография), TEE – (transesophageal echocardiography – чреспищеводная эхокардиография), MCQ – (multiple choice questionnaire – опросник с возможностью выбора).

В 2015 году профессиональные общества интенсивной терапии в Северной Америке достигли соглашения с Национальным советом по эхокардиографии (NBE) о разработке сертификата по расширенной CCE. Процесс принял форму совместного проекта с полным участием Американского колледжа грудных врачей, Американского торакального общества, Общества реаниматологов, Американского общества анестезиологов, Общества сердечно-сосудистых анестезиологов, Американского колледжа врачей неотложной помощи и Американского общества эхокардиографии. Каждое общество имеет двух представителей в рабочем комитете, которому было поручено написать квалификационный экзамен и установить дополнительные критерии сертификации помимо простой сдачи экзамена. NBE достиг соглашения с Национальным советом медицинских экспертов (NBME) по разработке экзамена - экзамена по стилю в течение всего дня, проводимого в нескольких компьютеризированных центрах тестирования по всей Северной Америке. NBME имеет большой опыт в разработке экзаменов, так как он отвечает за все основные экзамены в Правлении по различным медицинским специальностям в США. Экзамен будет проводиться на ежегодной основе. На момент написания данного обзора 508 кандидатов были зарегистрированы для сдачи первого экзамена, запланированного на январь 2019 года.

В дополнение к требованию о том, что кандидат должен сдать государственный экзамен, рабочий комитет находится в процессе разработки окончательных критериев, необходимых для сертификации по расширенной CCE. Они будут завершены в сотрудничестве



с NBE в 2019 году и будут смоделированы в требованиях, изложенных в Заявлении 2014 года об обучении по расширенной ССЕ [15] с некоторой адаптацией к местным условиям. Они будут включать требование о том, чтобы кандидат продемонстрировал свою компетентность в получении изображения на основе его/ее выполнения по меньшей мере 150 полных исследований ТТЕ под пристальным наблюдением наставника, а также доказательства регулярного участия с предоставлением службы интенсивной терапии. Рабочей группе поручено определить критерии для функции наставничества и разработать более подробные критерии, определяющие предоставление услуг интенсивной терапии. Сертификация NBE потребует компетенции в интерпретации изображений ТЕЕ, но не в получении изображений ТЕЕ. Это признание того факта, что чреспищеводные датчики еще не широко доступны для intensivистов в США.

Будущее

Новые технологии и их применение в условиях реанимации

Новые технологии, такие как спекл-трекинг эхокардиография (*методика оценки глобальной и локальной кинетики и деформации миокарда*) и глобальная продольная деформация (GLS), кажутся многообещающими. [68, 70] Использование трехмерной (3D) эхокардиографии также было описано у критически больных пациентов, но метод все еще затруднен из-за серьезных ограничений (рис. 7). [105] В частности, использование спекл-трекинга и 3D-изображений ограничено тем, что ультразвуковые аппараты, которые в настоящее время широко используются в отделениях интенсивной терапии, не имеют этих возможностей. Кроме того, дополнительные затраты и сложность необходимых машин также могут ограничивать использование этих интересных технологий. Основным событием, которое может привести к более широкому использованию базовых ССЕ и CCUS, является появление нового поколения миниатюрных портативных УЗИ-аппаратов, которые недороги, просты в использовании и обеспечивают хорошее качество изображения. Некоторые модели взаимодействуют со смартфонами и имеют сложное подключение к интернету. Ни один из них еще не включает возможность выполнения спектрального доплера, поэтому они не способны полностью выполнять расширенное ССЕ. Эти портативные устройства для эхокардиографии могут оказаться полезным инструментом как для экспертов, так и для новичков, но необходимы исследования, чтобы полностью уточнить их потенциал. [106, 107] По мере того как высококачественные портативные устройства получают признание, разумно ожидать, что использование эхокардиографии будет распространяться не только в отделениях



интенсивной терапии, но также и в условиях догоспитального этапа, в периоперационный период и в условиях отделений экстренной и неотложной помощи. Вполне вероятно, что в ближайшие годы intensivисты приобретут небольшие недорогие машины. Все более широкое распространение этой новой технологии потребует разработки надежных систем обучения, чтобы гарантировать их грамотное использование сообществом интенсивной терапии, поскольку низкая стоимость и, следовательно, доступность карманных устройств влечет за собой риск того, что они могут быть использованы недостаточно подготовленными клиницистами, что может нанести вред пациентам и привнесение дискредитации в области CCUS.

Стандартизация отчетности о результатах

Неоднородность в представлении данных по клиническим исследованиям ССЕ побудила группу экспертов из рабочей группы ESICM по эхокардиографии исследовать концепцию руководящих принципов для отчетности исследований ССЕ. Этот текущий проект, называемый “*PRICES*”, направлен на предоставление рекомендаций, которые позволят стандартизировать измерения и сбор данных, и, таким образом, обеспечить обмен данными и крупномасштабное сотрудничество. Руководство будет разработано после систематического анализа методологии и стратегии отчетности ранее опубликованных исследований ССЕ (регистрационный номер PROSPERO: CRD42018094450). Участники проекта намерены опубликовать результаты и рекомендации в конце 2019 года.

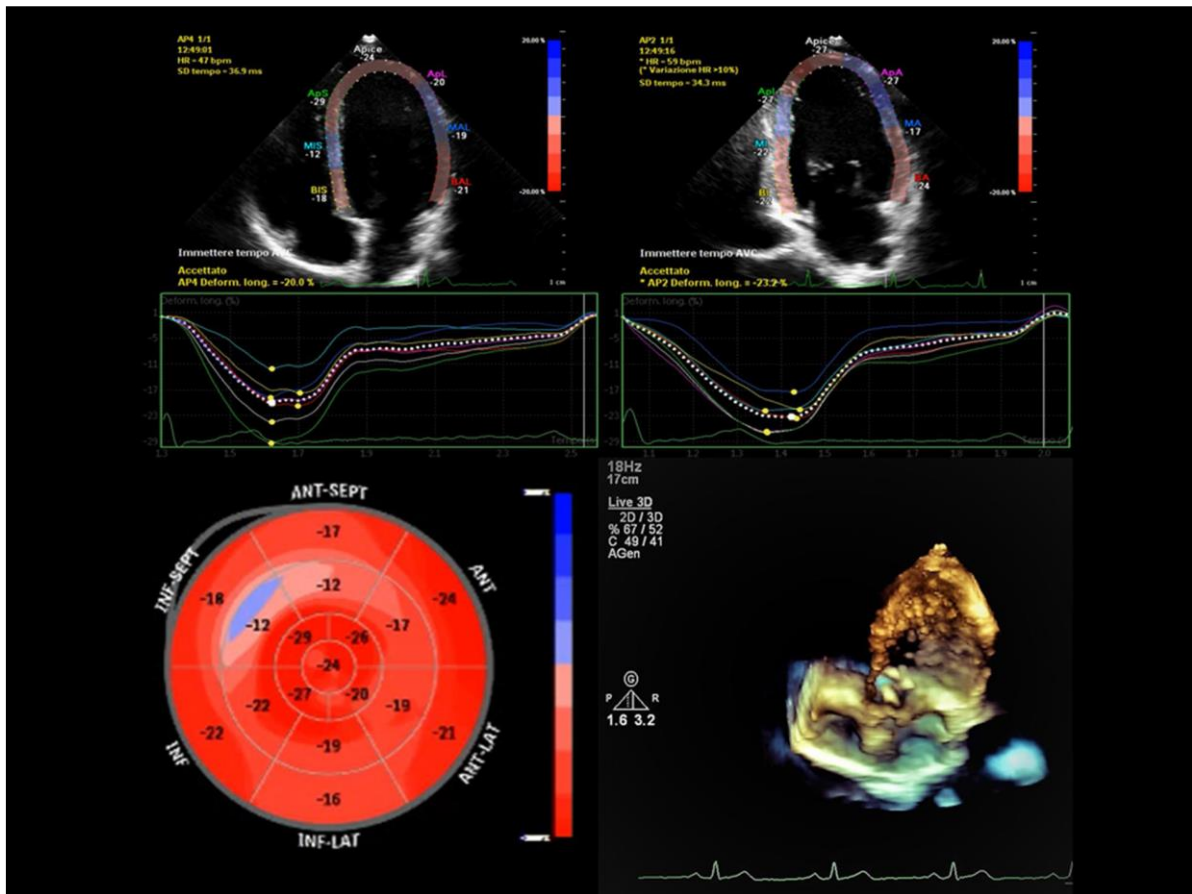


Рис. 7. На рисунке показаны три изображения спекл-трекинг эхокардиографии (методика оценки глобальной и локальной кинетики и деформации миокарда) и одно трехмерной эхокардиографии. Два изображения деформации взяты из апикального четырехкамерного вида (вверху слева) и апикального двухкамерного вида (вверху справа). Возле каждого сегмента сердца стоит процент напряжения. Деформация (напряжение) отдельных сегментов каждого вида отображается с течением времени в нижней части каждого изображения. Нижнее левое изображение суммирует все значения деформации 17 сегментов сердца (аномальные значения обнаружены в среднем сегменте инферосептального и антеросептального сегментов, оба 12). Нижнее правое изображение относится к трехмерному апикальному четырехкамерному виду.

Программа исследований

В 2017 году *Intensive Care Medicine* опубликовал программу исследований для CCUS, которая включала 10 предложений для исследований, в которых была представлена ССЕ. [108] В таблице 1 мы предлагаем основные исследования, которые помогут лучше охарактеризовать роль ССЕ в отделении интенсивной терапии, а также ее влияние на прогноз пациента. Мы также сообщаем об основных постоянных неопределенности в ССЕ. Центральным ас-



пектом любого исследования является воспроизводимость мер в рамках исследований и отдельных операторов. Возможно, есть несколько других областей исследования, в которых качество данных (здесь, изображения), как в этом случае, определяется в большей степени оператором, чем заболеванием. Программная технология должна быть разработана для объективной оценки качества изображения и количественного определения определенных метрик, в том числе расширенных метрик, таких как радиальная региональная деформация и спекл-трекинг дивергенция. Это позволит создавать более надежные наборы клинических данных, как до, так и после вмешательств, которые могут быть непосредственно переведены в клиническую практику.

Заключение

В настоящее время ССЕ широко признана сообществом интенсивной терапии как ценный инструмент в отделениях интенсивной терапии и отделении неотложной помощи, а также в периоперационных условиях. Это позволяет проводить быструю и точную диагностику и полезно для постоянного ведения пациентов в критическом состоянии. Расширенная ССЕ позволяет проводить полный гемодинамический мониторинг, что приводит к адаптации кровообращения и дыхательной стратегии. В последние несколько лет были разработаны структурированные учебные программы для базовой и расширенной ССЕ, и теперь для расширенной ССЕ доступна сертификация международного уровня.

Л и т е р а т у р н ы е и с т о ч н и к и

1. Cholley B, Vieillard-Baron A, Mebaaza A (2006) Echocardiography in the ICU: time for widespread use! *Intensive Care Med* 32:9
2. Levitov A, Frankel HL, Blaivas M et al (2016) Guidelines for the appropriate use of bedside general and cardiac ultrasonography in the evaluation of critically ill patients-Part II: cardiac ultrasonography. *Crit Care Med* 44:1206–1227
3. Mayo PH, Beaulieu Y, Doelken P et al (2009) American College of Chest Physicians/La Société de Réanimation de Langue Française statement on competence in critical care ultrasonography. *Chest* 135:1050–1060
4. Papolos A, Narula J, Bavishi C, Chaudhry F, Sengupta P (2016) U.S. hospital use of echocardiography. Insights from the Nationwide Inpatient Sample. *J Am Coll Cardiol* 67:502–511
5. Dres M, Austin PC, Pham T, Aegerter P, Guidet B, Demoule A, Vieillard-Baron A, Brochard L, Geri G, CUB-REA Group (2018) Acute respiratory distress syndrome cases volume and ICU mortality in medical patients. *Crit Care Med* 46:e33–e40
6. De Backer D, Bakker J, Cecconi M, Hajjar L, Liu DW, Lobo S, Monnet X, Morelli A, Myatra SN, Perel A, Pinsky MR, Saugel B, Teboul JL, Vincent JL (2018) Alternatives to the Swan-Ganz catheter. *Intensive Care Med* 44:730–741
7. Mercado P, Maizel J, Beyls C, Kontar L, Orde S, Huang S, McLean A, Tribouilloy C, Slama M (2019) Reassessment of the accuracy of cardiac Doppler pulmonary artery pressure measurements in ventilated ICU patients: a simultaneous Doppler-catheterization study. *Crit Care Med* 47:41–48
8. Zieleskiewicz L, Muller L, Lakhal K et al (2015) Point-of-care ultrasound in intensive care units: assessment of 1073 procedures in a multicentric, prospective, observational study. *Intensive Care Med* 41:1638–1647
9. Vincent JL, Rhodes A, Perel A et al (2011) Clinical review: update on hemodynamic monitoring—a consensus of 16. *Crit Care* 15:229
10. Cecconi M, Hofer C, Teboul JL et al (2015) Fluid challenge in intensive care: the FENICE study. A global inception cohort study. *Intensive Care Med* 41:1529–1537



11. Jensen MB, Sloth E, Larsen KM, Schmidt MB (2004) Transthoracic echocardiography for cardiopulmonary monitoring in intensive care. *Eur J Anaesthesiol* 21:700–707
12. Fletcher SN, Grounds RM (2012) Critical care echocardiography: cleared for take up. *Br J Anaesth* 109:490–492
13. Price S, Via G, Sloth E, Guarracino F, Breikreutz R, Catena E, Talmor D (2008) Echocardiography practice, training and accreditation in the intensive care: document for the World Interactive Network Focused on Critical Ultrasound (WINFOCUS). *Cardiovasc Ultrasound* 6:49
14. Neskovic AN, Skinner H, Price S et al (2018) Focus cardiac ultrasound core curriculum and core syllabus of the European Association of Cardiovascular Imaging. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 19:475–481
15. Expert round table on echocardiography in ICU (2014) International consensus statement on training standards for advanced critical care echocardiography. *Intensive Care Med* 40:654–666
16. Cook CH, Praba AC, Beery PR, Martin LC (2002) Transthoracic echocardiography not cost-effective in critically ill surgical patients. *J Trauma* 52:280–284
17. Lheritier G, Legras A, Caille A, Lherm T, Mathonnet A, Frat JP, Courte A, Martin-Lefevre L, Gouillon JP, Amiel JB, Garot D, Vignon P (2013) Prevalence and prognostic value of acute cor pulmonale and patent foramen ovale in ventilated patients with early acute respiratory distress syndrome: a multicenter study. *Intensive Care Med* 39:1734–1742
18. Garcia YA, Quintero L, Singh K, Lakticova V, Lakovou A, Koenig SJ, Narasimhan M, Mayo PH (2017) Feasibility, safety, and utility of advanced critical care transesophageal echocardiography performed by pulmonary/critical care fellows in a medical ICU. *Chest* 152:736–741
19. Hentemann E, Schelenz C, Kara F, Chatzinikolaou K, Reinhart K (2004) The use and safety of transesophageal echocardiography in the general ICU—a minireview. *Acta Anaesthesiol Scand* 48:827–836
20. Orde S, Slama M, Hilton A, Yastrebov K, McLean A (2017) Pearls and pitfalls in comprehensive critical care echocardiography. *Crit Care* 21:279
21. Panoulas VF, Daigeler AL, Malaweera AS, Lota AS, Baskaran D, Rahman S, Nihoyannopoulos P (2013) Pocket-size hand-held cardiac ultrasound as an adjunct to clinical examination in the hands of medical students and junior doctors. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 14:323–330
22. Martin LD, Howell EE, Ziegelstein RC, Martire C, Whiting-O’Keefe QE, Shapiro EP, Hellmann DB (2009) Hand-carried ultrasound performed by hospitalists: does it improve the cardiac physical examination? *Am J Med* 122:35–41
23. Di Bello V, La Carrubba S, Conte L et al (2015) Incremental value of pocket-sized echocardiography in addition to physical examination during inpatient cardiology evaluation: a multicenter Italian study (SIEC). *Echocardiography* 32:1463–1470
24. Mjølstad OC, Dalen H, Graven T, Kleinau JO, Salvesen O, Haugen BO (2012) Routinely adding ultrasound examinations by pocket-sized ultrasound devices improves inpatient diagnostics in a medical department. *Eur J Intern Med* 23:185–191
25. Hibbert B, Simard T, Ramirez FD (2018) Impact of routine handheld focused cardiac ultrasonography on the diagnosis and management of hospitalized cardiac patients: the CAPITAL FoCUS Registry. <https://www.ahajournals.org/doi/abs/10.1161/circ.134.suppl.1.20662>. Accessed 10 Oct 2018
26. Vignon P, Mentec P, Terris S, Gastinne H, Guiret P, Lemaire F (1994) Diagnostic accuracy and therapeutic impact of transthoracic and transesophageal echocardiography in mechanically ventilated patients in the ICU. *Chest* 106:1829–1834
27. Heidenreich PA, Stainback RF, Redberg RF, Schiller NB, Cohen NH, Foster E (1995) Transesophageal echocardiography predicts mortality in critically ill patients with unexplained hypotension. *J Am Coll Cardiol* 26:152–158
28. McKaigney CJ, Krantz MJ, La Rocque CL, Hurst ND, Buchanan MS, Kendall JL (2014) E-point septal separation: a bedside tool for emergency physician assessment of left ventricular ejection fraction. *Am J Emerg Med* 32:493–497
29. Nazerian P, Vanni S, Zanobetti M, Polidori G, Pepe G, Federico R, Cangioli E, Grifoni S (2010) Diagnostic accuracy of emergency Doppler echocardiography for identification of acute left ventricular heart failure in patients with acute dyspnea: comparison with Boston criteria and N-terminal pro-hormone brain natriuretic peptide. *Acad Emerg Med* 17:18–26
30. Kimura BJ, Amundson SA, Willis CL, Gilpin EA, DeMaria AN (2002) Usefulness of a hand-held ultrasound device for bedside examination of left ventricular function. *Am J Cardiol* 90:1038–1039
31. Moore CL, Rose GA, Tayal VS, Sullivan DM, Arrowood JA, Kline JA (2002) Determination of left ventricular function by emergency physician echocardiography of hypotensive patients. *Acad Emerg Med* 9:186–193



32. Johnson BK, Tierney DM, Rosborough TK, Harris KM, Newell MC (2016) Internal medicine point-of-care ultrasound assessment of left ventricular function correlates with formal echocardiography. *J Clin Ultrasound* 44:92–99
33. Vignon P, Mucke F, Bellec F, Marin B, Croce J, Brouqui T, Palobart C, Senges P, Truffly C, Wachmann A, Dugard A, Amiel J (2011) Basic critical care echocardiography: validation of a curriculum dedicated to noncardiologist residents. *Crit Care Med* 39:636–642
34. Mandavia DP, Hoffner RJ, Mahaney K, Henderson SO (2001) Bedside echocardiography by emergency physicians. *Ann Emerg Med* 38:377–382
35. Mekontso-Dessap A, Chew MS (2018) Cardiac tamponade. *Intensive Care Med* 44:936–939
36. Douglas PS, Garcia MJ, Haines DE et al (2011) ACCF/AHA/ASA/ASNC/HFSA/HRS/SCAI/SCCM/SCCT/SCMR 2011 Appropriate Use Criteria for Echocardiography. *J Am Coll Cardiol* 57:1126–1166
37. Al Deeb M, Barbic S, Featherstone R, Dankoff J, Barbic D (2014) Point-of-care ultrasonography for the diagnosis of acute cardiogenic pulmonary edema in patients presenting with acute dyspnea: a systematic review and meta-analysis. *Acad Emerg Med* 21:843–852
38. Martindale JL, Wakai A, Collins SP, Levy PD, Diercks D, Hiestand BC, deSouza I, Sinert R (2016) Diagnosing acute heart failure in the emergency department: a systematic review and meta-analysis. *Acad Emerg Med* 23:223–242
39. Pivetta E, Goffi A, Lupia E et al (2015) Lung ultrasound-implemented diagnosis of acute decompensated heart failure in the ED: a SIMEU multicenter study. *Chest* 148:202–210
40. Sanfilippo F, Scoletta S, Morelli A, Vieillard-Baron A (2018) Practical approach to diastolic function in light of the new guidelines and clinical applications in the operating room and in the intensive care. *Ann Intensive Care* 8:100
41. Clancy DJ, Scully T, Slama M, Huang S, McLean A, Orde SR (2017) Application of updated guidelines on diastolic dysfunction in patients with severe sepsis and septic shock. *Ann Intensive Care* 7:121
42. Vieillard-Baron A, Naeije R, Haddad F (2018) Diagnostic workup, etiologies and management of acute right ventricle failure: a state-of-the-art paper. *Intensive Care Med* 44:774–790
43. Mekontso-Dessap A, Boissier F, Charron C, В ѝ got E, Repess ѝ X, Legras A, Brun- Buisson C, Vignon P, Vieillard-Baron A (2016) Acute cor pulmonale during protective ventilation for acute respiratory distress syndrome: prevalence, predictors, and clinical impact. *Intensive Care Med* 42:862–70
44. Plummer D, Brunette D, Asinger R, Ruiz E (1992) Emergency department echocardiography improves outcome in penetrating cardiac injury. *Ann Emerg Med* 21:709–712
45. Ferrada P, Evans D, Wolfe L, Anand RJ, Vanguri P, Mayglothling J, Whelan J, Malhotra A, Goldberg S, Duane T, Aboutanos M, Ivatury RR (2014) Findings of a randomized controlled trial using limited transthoracic echocardiogram (LTTE) as a hemodynamic monitoring tool in the trauma bay. *J Trauma Acute Care Surg* 76:31–37
46. Gaspari R, Weekes A, Adhikari S et al (2016) Emergency department point-of-care ultrasound in out-of-hospital and in-ED cardiac arrest. *Resuscitation* 109:33–39
47. Jones AE, Tayal VS, Sullivan DM, Kline JA (2004) Randomized, controlled trial of immediate versus delayed goal-directed ultrasound to identify the cause of nontraumatic hypotension in emergency department patients. *Crit Care Med* 32:1703–1708
48. Joseph MX, Disney PJ, Da Costa R, Hutchison SJ (2004) Transthoracic echocardiography to identify or exclude cardiac cause of shock. *Chest* 126:1592–1597
49. Wetterslev M, Moller-Sorensen H, Johansen RR, Perner A (2016) Systematic review of cardiac output measurements by echocardiography vs. thermodilution: the techniques are not interchangeable. *Intensive Care Med* 42:1223–1233
50. Pinsky MR, Payen D (2005) Functional hemodynamic monitoring. *Crit Care* 9:566–572
51. Vieillard-Baron A, Prin S, Chergui K, Dubourg O, Jardin F (2003) Hemodynamic instability in sepsis. Bedside assessment by Doppler echocardiography. *Am J Respir Crit Care Med* 168:1270–1276
52. Vignon P, Repess ѝ X, В ѝ got E, L ѝ ger J, Jacob C, Bouferrache K, Slama M, Prat G, Vieillard-Baron A (2017) Comparison of echocardiography indices used to predict fluid responsiveness in ventilated patients. *Am J Respir Crit Care Med* 195:1022–1032
53. Vieillard-Baron A, Evrard B, Repess ѝ X, Maizel J, Jacob C, Goudelein M, Charron C, Prat G, Slama M, Geri G, Vignon P (2018) Limited value of end-expiratory inferior vena cava diameter to predict fluid responsiveness. Impact of intra-abdominal pressure. *Intensive Care Med* 44:197–203
54. Repess ѝ X, Charron C, Vieillard-Baron A (2016) Assessment of the effects of inspiratory load on right ventricular function. *Curr Opin Crit Care* 22:254–259
55. Mahmood SS, Pinsky MR (2018) Heart-lung interactions during mechanical ventilation: the basics. *Ann Transl Med* 6:349
56. Magder S (2018) Heart-lung interactions in spontaneous breathing subjects: the basics. *Ann Transl Med* 6:348
57. Vignon P, Begot E, Mari A et al (2018) Hemodynamic assessment of patients with septic shock using transpulmonary thermodilution and



- critical care echocardiography: a comparative study. *Chest* 153:55–64
58. Vieillard-Baron A, Matthay M, Teboul JL, Bein T, Schultz M, Madger S, Marini JJ (2016) Experts' opinion on management of hemodynamics in ARDS patients: focus on the effects of mechanical ventilation. *Intensive Care Med* 42:739–749
59. Repess ỳ X, Charron C, Vieillard-Baron A (2015) Acute cor pulmonale in ARDS: rationale for protecting the right ventricle. *Chest* 147:259–265
60. Vieillard-Baron A, Slama M, Mayo P, Charron C, Amiel JB, Esterez C, Leleu F, Repesse X, Vignon P (2013) A pilot study on safety and clinical utility of a single-use 72-hours indwelling transesophageal echocardiography probe. *Intensive Care Med* 39:629
61. Fletcher N, Geisen M, Meeran H, Spray D, Cecconi M (2015) Initial clinical experience with a miniaturized transesophageal probe in a cardiac intensive care unit. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 29:582–587
62. Cioccarì L, Baur HR, Berger D, Wiegand J, Takala J, Merz TM (2013) Hemodynamic assessment of critically ill patients using a miniaturized transesophageal echocardiography probe. *Crit Care* 17:R121
63. Manasia AR, Nagaraj HM, Kodali RB (2005) Feasibility and potential clinical utility of goal-directed transthoracic echocardiography performed by noncardiologist intensivists using a small hand-carried device (Sono-Heart) in critically ill patients. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 19:155–159
64. Pulido JN, Afessa B, Masaki M, Yuasa T, Gillespie S, Herasevitch V, Brown DR, Oh JK (2012) Clinical spectrum, frequency, and significance of myocardial dysfunction in severe sepsis and septic shock. *Mayo Clin Proc* 87:620–628
65. Huang SJ, Nalos M, McLean AS (2013) Is early ventricular dysfunction or dilatation associated with lower mortality rate in adult severe sepsis and septic shock? A meta-analysis. *Crit Care* 17:R96
66. Guarracino F, Baldassarri R, Pinsky MR (2013) Ventriculo-arterial decoupling in acutely altered hemodynamic states. *Crit Care* 17:213
67. Huang SJ, Ting I, Huang AM, Slama M, McLean AS (2017) Longitudinal wall fractional shortening: an M-mode index based on mitral annular plane systolic excursion (MAPSE) that correlates and predicts left ventricular longitudinal strain (LVLS) in intensive care patients. *Crit Care* 21:292
68. Orde SR, Pulido JN, Masaki M, Gillespie S, Spoon JN, Kane GC, Oh JK (2014) Outcome prediction in sepsis: speckle tracking echocardiography based assessment of myocardial function. *Crit Care* 18:R149
69. Boissier F, Razazi K, Seemann A, Bedet A, Thille AW, de Prost N, Lim P, Brun-Buisson C, Mekontso-Dessap A (2017) Left ventricular systolic dysfunction during septic shock: the role of loading conditions. *Intensive Care Med* 43:633–642
70. Sanfilippo F, Corredor C, Fletcher N, Tritapepe L, Lorini FL, Arcadipane A, Vieillard-Baron A, Cecconi M (2018) Left ventricular systolic function evaluated by strain echocardiography and relationship with mortality in patients with severe sepsis or septic shock: a systematic review and meta-analysis. *Crit Care* 22:183
71. Feng M, McSparron JI, Kien DT, Stone DJ, Roberts DH, Schwartzstein RM, Vieillard-Baron A, Celi L (2018) Transthoracic echocardiography and mortality in sepsis: analysis of the MIMIC-III database. *Intensive Care Med* 44:884–892
72. Kanji HD, McCallum J, Sirounis D, MacRedmond R, Moss R, Boyd JH (2014) Limited echocardiography-guided therapy in subacute shock is associated with change in management and improved outcomes. *J Crit Care* 29:700–705
73. Wu C, Zheng Z, Jiang L, Gao Y, Xu J, Jin X, Chen Q, Zhang M (2018) The predictive value of bedside ultrasound to restore spontaneous circulation in patients with pulseless electrical activity: a systematic review and meta-analysis. *PLoS One* 13:e0191636
74. Konstantinides SV, Torbicki A, Agnelli G et al (2014) 2014 ESC guidelines on the diagnosis and management of acute pulmonary embolism. *Eur Heart J* 35:3033–3069
75. Cowie B (2002) Focused transthoracic echocardiography predicts perioperative cardiovascular morbidity. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 26:989–993
76. Canty DJ, Heiberg J, Yang Y, Royse AG, Margale S, Nanjappa N, Scott D, Maier A, Sessler DI, Chuan A, Palmer A, Bucknill A, French C, Royse CF (2018) Pilot multi-centre randomised trial of the impact of preoperative focused cardiac ultrasound on mortality and morbidity in patients having surgery for femoral neck fractures (ECHONOF-2 pilot). *Anaesthesia* 73:428–437
77. Lancellotti P, Price S, Edvardsen T et al (2015) The use of echocardiography in acute cardiovascular care: recommendations of the European Association of Cardiovascular Imaging and the Acute Cardiovascular Care Association. *Eur Heart J Acute Cardiovasc Care* 16:119–464
78. Hahn RT, Abraham T, Adams MS, Bruce CJ, Glas KE, Lang RM, Reeves ST, Shanewise JS, Siu SC, Stewart W, Picard MH (2014) Guidelines for performing a comprehensive transesophageal echocardiographic examination: recommendations from the American Society of Echocardiography and the Society of Cardiovascular Anesthesiologists. *Anesth Analg* 118:21–68
79. Heiberg J, El-Ansary D, Royse CF, Royse AG, Alsaddique AA, Canty DJ (2016) Transthoracic and transoesophageal echocardiography: a systematic review of feasibility and impact on diagnosis, management and outcome after cardiac surgery. *Anaesthesia* 71:1210–1221
80. Canty DJ, Heiberg J, Tan JA, Yang Y, Royse AG, Royse CF, Mobeirek A, Shaer FE, Albacker T, Nazer RI, Fouda M, Bakir BM, Alsaddique AA (2017) Assessment of image quality of repeated limited transthoracic echocardiography after cardiac surgery. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 31:965–972



81. Geisen M, Spray D, Nicholas Fletcher S (2014) Echocardiography-based hemodynamic management in the cardiac surgical intensive care unit. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 28:733–744
82. Treskatsch S, Balzer F, Knebel F, Habicher M, Braun JP, Kastrup M, Grubitzsch H, Wernecke KD, Spies C, Sander M (2015) Feasibility and influence of hTEE monitoring on postoperative management in cardiac surgery patients. *Int J Cardiovasc Imaging* 31:1327–1335
83. Jasudavicius A, Arellano R, Martin J, McConnell B, Bainbridge D (2016) A systematic review of transthoracic and transesophageal echocardiography in non-cardiac surgery: implications for point-of-care ultrasound education in the operating room. *Can J Anaesth* 63:480–487
84. Staudt GE, Shelton K (2018) Development of a rescue echocardiography protocol for noncardiac surgery patients. *Anesth Analg*. <https://doi.org/10.1213/ane.0000000000000356> 9
85. Zieleskiewicz L, Bouvet L, Einav S, Duclos G, Leone M (2018) Diagnostic point-of-care ultrasound: applications in obstetric anaesthetic management. *Anaesthesia* 73:1265–1279
86. Victor K, Barrett NA, Gillon S, Gowland A, Meadows CI, Ioannou N (2015) Critical care echo rounds: extracorporeal membrane oxygenation. *Echo Res Pract* 2:D1–D11
87. Platts DG, Sedgwick JF, Burstow DJ, Mullany DV, Fraser JF (2012) The role of echocardiography in the management of patients supported by extracorporeal membrane oxygenation. *J Am Soc Echocardiogr* 25:131–141
88. Doufl ů G, Roscoe A, Bilia F, Fan E (2015) Echocardiography for adult patients supported with extracorporeal membrane oxygenation. *Crit Care* 19:326
89. Donker DW, Meuwese CL, Braithwaite SA, Broom ů M, van der Heijden JJ, Hermens JA, Platenkamp M, de Jong M, Janssen JGD, Bal ů k M, Bělohl ů vek J (2018) Echocardiography in extracorporeal life support: a key player in procedural guidance, tailoring and monitoring. *Perfusion* 33:31–41
90. Aissaoui N, Caudron J, Leprince P, Fagon JY, Lebreton G, Combes A, Diebold B (2017) Right-left ventricular interdependence: a promising predictor of successful extracorporeal membrane oxygenation (ECMO) weaning after assistance for refractory cardiogenic shock. *Intensive Care Med* 43:592–594
91. Aissaoui N, Luyt CE, Leprince P, Trouillet JL, L ů ger P, Pavie A, Diebold B, Chastre J, Combes A (2011) Predictors of successful extracorporeal membrane oxygenation (ECMO) weaning after assistance for refractory cardiogenic shock. *Intensive Care Med* 37:1738–1745
92. Arntfield RT, Millington SJ, Ainsworth CD et al (2014) Canadian recommendations for critical care ultrasound training and competency. *Can Respir J* 21:341–345
93. Spencer KT, Kimura BJ, Korcarz CE (2013) Focused cardiac ultrasound: recommendations from the American Society of Echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr* 26:567–581
94. Expert Round Table on Ultrasound in ICU (2011) International expert statement on training standards for critical care ultrasonography. *Intensive Care Med* 37:1077–1083
95. Ryan T, Berlacher K, Lindner JR et al (2015) COCATS 4 task force 5: training in echocardiography. *J Am Coll Cardiol* 65:1786–1799
96. Skinner AA, Freeman RV, Sheehan FH (2016) Quantitative feedback facilitates acquisition of skills in focused cardiac ultrasound. *Sim Healthcare* 11:134–138
97. Ferrero NA, Bortsov AV, Arora H et al (2014) Simulator training enhances resident performance in transesophageal echocardiography. *Anesthesiology* 120:149–159
98. Damp J, Anthony R, Davidson MA, Mendes L (2013) Effects of transesophageal echocardiography simulator training on learning and performance in cardiovascular medicine fellows. *J Am Soc Echocardiogr* 26:1450–1456.e2
99. Vignon P, Pegot B, Dalmay F, Jean-Michel V, Bocher S, L'her E, Cros J, Prat G, EchoSimu Group (2018) Acceleration of the learning curve for mastering basic critical care echocardiography using computerized simulation. *Intensive Care Med* 44:1097–1105
100. Prat G, Charron C, Repesse X, Coriat P, Bailly P, L'her Vieillard-Baron E, Vieillard-Baron A A (2016) The use of computerized echocardiographic simulation improves the learning curve for transesophageal hemodynamic assessment in critically ill patients. *Ann Intensive Care* 6:27
101. Aronson S, Thys DM (2001) Training and certification in perioperative transesophageal echocardiography: a historical perspective. *Anesth Analg* 93:1422–1427
102. Swanevelde J, Chin D, Kneeshaw J, Chambers J, Bennett S, Smith D, Nihoyannopoulos P (2003) Accreditation in transesophageal echocardiography: statement from the Association of Cardiothoracic Anaesthetists and the British Society of Echocardiography Joint TOE Accreditation Committee. *Br J Anaesth* 91:469–472



103. Fox KF, Popescu BA, Janiszewski S, Nihoyannopoulos P, Fraser AG, Pinto FJ (2007) Report on the European Association of Echocardiography accreditations in echocardiography: December 2003-September 2006. *Eur J Echocardiogr* 8:74–79. <http://www.uvsq.fr/diu-techniques-ultrasoniq-ues-en-anest-hesie-et-en-reanimatio-n-14891-9.kjsp>
104. <http://www.uvsq.fr/diu-techniques-ultrasoniq-ues-en-anest-hesie-et-en-reanimatio-n-14891-9.kjsp>
105. Orde S, Slama M, Stanley N, Huang S, McLean A (2018) Feasibility of biventricular 3D transthoracic echocardiography in the critically ill and comparison with conventional parameters. *Crit Care* 22:198
106. Galusko V, Bodger O, Ionescu A (2018) A systematic review of pocket-sized imaging devices: small and mighty? *Echo Res Pract* 5:113–138
107. Goudelin M, Evrard B, Dalmay F, Padilla AH, Gonzalez C, Lafon T, Daix T, Fedoulet AL, François B, Vignon P (2018) Diagnostic capability of a next-generation, ultra-miniaturized ultrasound system in patients with cardiopulmonary compromise assessed using basic critical care echocardiography. *Intensive Care Med* 44:1579–1581
108. Mayo P, Arntfield R, Balik M, Kory P, Mathis G, Schmidt G, Slama M, Volpicelli G, Xirouchaki N, McLean A, Vieillard-Baron A (2017) The ICM research agenda on critical care ultrasonography. *Intensive Care Med* 43:1257–1269