




Contemporary hemodynamic monitoring, fluid responsiveness, volume optimization, and endpoints of resuscitation: an AAST critical care committee clinical consensus

Niels D Martin ,¹ Panna Codner,² Wendy Greene,³ Karen Brasel,⁴ Christopher Michetti,⁵ On behalf of the AAST Critical Care Committee

Trauma Surg Acute Care Open . 2020 Mar 10;5(1):e000411.

Современный гемодинамический мониторинг, реакция на введение жидкости, оптимизация объема и конечные точки реанимации: клинический консенсус комитета по интенсивной терапии Американской ассоциации хирургии и травматологов

Перевод В.С. Гороховского



Современный гемодинамический мониторинг, реакция на введение жидкости, оптимизация объема и конечные точки реанимации: клинический консенсус комитета по интенсивной терапии Американской ассоциации хирургии и травматологов

Niels D Martin, Panna Codner, Wendy Greene, Karen Brasel, Christopher Michetti, По поручению комитета интенсивной терапией Американской ассоциации хирургов и травматологов

ТЕЗИСЫ.

Эта статья, посвященная гемодинамическому мониторингу, реакцию на введение жидкости, оценке объема и конечным точкам реанимации, является частью сборника руководств, предоставленных комитетом по критической помощи AAST (Американской ассоциации хирургии и травматологов). Целью этих руководящих принципов является информирование врачей о практических клинических рекомендациях. Чтобы сделать это эффективно и современно, был получен экспертный консенсус через комитет по интенсивной терапии. Методология строгих руководящих принципов, такая как GRADE (оценка рекомендаций, оценка, разработка и оценка), целенаправленно НЕ использовалась, чтобы не ограничивать клиническое руководство. Комитет по интенсивной терапии рассматривает эту методологию как практически полезную для врача, принимающего решение у постели больного.

ВВЕДЕНИЕ

Оптимизация внутрисосудистого объема несомненно улучшает результаты интенсивной терапии. Существует тонкий баланс между гиповолемией (и гипоперфузией) и перегрузкой объемом, что в равной степени связано с осложнениями. Современный гемодинамический мониторинг направлен на то,



чтобы предложить врачам объективное руководство относительно фактического волемиического статуса их пациента.

ЦЕЛЬ

Оценка состояния объема измеряется путем составления «конечных точек реанимации». В настоящее время не существует идеальной конечной точки реанимации, каждая имеет свои ограничения, и, таким образом, текущая практика включает ассимиляцию нескольких конечных точек реанимации в общую оценку. Целью данного руководства является обзор часто используемых конечных точек реанимации, обеспечивающих понимание механизма измерения, точности и потенциальных ограничений.

КОНЕЧНЫЕ ТОЧКИ РЕАНИМАЦИИ

1. Частота сердечных сокращений, артериальное давление и уровень мочи
2. Лактат сыворотки
3. Центральное венозное давление (ЦВД)
4. Насыщение смешанной венозной крови кислородом (SvO₂)
5. Катетеризация легочной артерии (КЛА)
6. Вариация кровотока, вторичная по отношению к вариабельности дыхания
7. Эхокардиография

ОБСУЖДЕНИЕ

Частота сердечных сокращений / артериальное давление / диурез

Частота сердечных сокращений, артериальное давление и темп мочеотделения являются основными показателями жизнедеятельности, которые можно получить неинвазивно.

Изменения сердечного ритма могут быть одним из самых ранних признаков гиповолемии и неправильной перфузии. Артериальное давление и выделение мочи обеспечивают дополнительную квалификацию для вероятных диагнозов, но могут быть отсрочены. Есть много ограничений для использования этих конечных точек реанимации в отдельности.



Тем не менее, из-за своей простоты, они составляют основу базовой оценки состояния пациента и должны быть дополнены другими элементами, которые будут обсуждаться в следующих разделах.

Рекомендация. У всех пациентов, проходящих интенсивную терапию, следует контролировать частоту сердечных сокращений, артериальное давление и объем мочи. Эти конечные точки должны использоваться в контексте отдельного пациента, и их ограничения должны быть тщательно рассмотрены.

Сывороточный лактат.

Сывороточный лактат является биомаркером глобальной тканевой недостаточности. Лактоацидоз является наиболее распространенным типом метаболического ацидоза, присутствующего у госпитализированных пациентов. Предполагая нормальное клеточное дыхание, можно предположить, что аномальные уровни лактата основаны на ненормальной доставке кислорода. Когда плохая доставка кислорода обусловлена гиповолемией и / или низким сердечным выбросом, лактат можно использовать для коррекции реанимационных мероприятий.

Лактат сыворотки является компонентом многих реанимационных алгоритмов, включая руководство по сепсису Кампании «Выживем при сепсисе» и определения «Сепсис-3», описанные Обществом медицины критических состояний.¹⁻³ Оптимальная частота следования лактата сыворотки неясна. Есть рекомендация определять лактат каждые 6 часов до стабилизации, но новые устройства *point of care* обеспечивают гораздо более высокую частоту измерения, значение которой еще не определено в литературе. Исходный уровень лактата в сыворотке крови при септическом шоке и его скорость клиренса строго коррелируют с выживаемостью.⁴⁻⁶

Рекомендация: во время реанимации следует последовательно назначать лактат сыворотки до нормализации. Частота этих серийных оценок должна быть не более, чем каждые 6 часов, но, где это уместно, более высокая частота измерения может быть полезной. Лактат сыворотки не следует использовать изолированно.



ЦЕНТРАЛЬНОЕ ВЕНОЗНОЕ ДАВЛЕНИЕ

ЦВД приблизительно соответствует давлению в правом предсердии и, следовательно, конечному диастолическому объему правого желудочка. Показатель может быть дополнительно экстраполирован для оценки конечного диастолического давления и объема левого желудочка (ЛЖ). ЦВД в конечном итоге оценивает ударный объем ЛЖ, который является наиболее близким приближением общего состояния внутрисосудистого объема и к которому применяется классический принцип Старлинга.

Хотя увеличение ударного объема является целью любой проблемы с инфузией ⁸, взаимосвязь между давлением наполнения желудочков и объемом желудочков ⁹ не является линейной, отчасти из-за диастолической дисфункции и нарушенного желудочкового комплайенса во время критического состояния.

Кроме того, многие состояния, такие как легочная гипертензия и застойная сердечная недостаточность, могут повышать уровень ЦВД независимо от фактического основного объема. Таким образом, использование ЦВД изолированно, особенно в виде статического числа, может привести к неточным оценкам статуса объема. ^{7 8 10 11} В одном исследовании использование ЦВД для определения уровня жидкости у пациентов с сепсисом показало, что при ЦВД <8 мм рт. прогнозируемая реакция жидкости только в 47% случаев, а площадь под кривой работы прогнозирования реакции составляла только 0,63 ¹². Из-за отсутствия доступности других более точных измерений ЦВД все еще используется значительной долей врачей во всем мире. ^{13 14}

Рекомендация: ЦВД имеет серьезные недостатки и не рекомендуется для использования в качестве статического значения. Для повышения эффективности должна использоваться динамическая оценка. Показатель также не должно использоваться изолированно.

SvO₂ и ScvO₂

Два маркера использования кислорода, насыщение кислородом центральной венозной крови из верхней полой вены (ScvO₂) и смешанной венозной крови SvO₂ из проксимальной легочной артерии, использовались для введения



жидкости и реанимации ¹⁵. Использование этих маркеров для оценки объема основано на концепции, согласно которой содержание кислорода в смешанной венозной крови, поступающей из организма, зависит от количества кислорода, поступающего в ткани на артериальной стороне (измеряемого по содержанию кислорода в артериальной крови и сердечного выброса, выраженного в уравнении Фика (при условии потребления кислорода тканями). - остается постоянным). Поскольку на сердечный выброс влиять за счет введения жидкости (путем увеличения ударного объема), SvO_2 и $ScvO_2$ использовались в качестве суррогатного параметра для чувствительности к объему.

$ScvO_2$ примерно на 2% -5% меньше, чем SvO_2 у здоровых людей ¹⁶ из-за вклада более насыщенного кислородом венозного возврата из почек, но может быть выше, чем SvO_2 во время критического состояния ¹⁷, и измеряет только венозное насыщение из верхней части тела, поскольку он использует образец крови из верхней полой вены. В течение 1980-х и 1990-х годов, когда использование КЛА было более распространенным, несколько небольших исследований показали, что венозное насыщение можно использовать в качестве показателя степени кровопотери ¹⁸, а также терапевтической цели при тяжелой сочетанной травме. ¹⁹ Недавно у 30 критически больных пациентов, было отмечено что изменения в $ScvO_2$ коррелируют с изменениями сердечного индекса, и разница в 4% указывает на вероятный ответ на инфузию²⁰. Другое небольшое проспективное исследование продемонстрировало, что у респондентов, отвечающих на введение жидкости, отмечено увеличение $ScvO_2$, которое также коррелировало с изменениями СВ ($r = 0,702$, $p < 0,001$) .²¹

Насыщение кислородом смешанной также изучался у хирургических пациентов, предполагая, что целенаправленная терапия интраоперационно снижает дисфункцию органов и длительность пребывания в стационаре. ²² Другой проспективное хирургическое рандомизированное исследование показало, что порог $ScvO_2$ около 71% был полезен для прогнозирования осложнений. ²³ Хотя более широкие исследования ранней направленной терапии выявили В результате противоречивых результатов ²⁴⁻³⁰ смешанного венозного насыщения кислородом конкретно не оценивалось напрямую. Больше исследований необходимо



пациентам с травмой и другим пациентам, не перенесшим сепсис, для оценки SvO₂ и ScvO₂ с точки зрения окончательного определения реакции жидкости.

Рекомендация: полезное дополнение и может использоваться аналогично сывороточному лактату. Не следует использовать в изоляции.

Катетеризация легочной артерии

Катетеризация легочной артерии (КЛА, катетер Swan-Ganz) представляют собой инвазивную центральную линию, проходящую через правую сторону сердца. Измерения давления с его использованием позволяют непосредственно измерять ЦВД, давление в легочной артерии, давление заклинивания легочных капилляров и сердечный выброс. КЛА также позволяют косвенно измерять системное сосудистое сопротивление, ударный объем и доставку кислорода. Среди прочего, КЛА можно использовать для дифференциации различных шоковых состояний и механизмов отека легких, а также, в частности, для оптимизации терапии кардиогенного шока. РАС не подвержены ошибкам из-за нерегулярных сердечных ритмов или заболеваний клапанов.

Рутинное использование КЛА вышло употребления вследствие множества более современных исследований, предполагающих общее неверное истолкование давлений и форм сигналов при КЛАС ^{31–35}. Это включало значительную вариабельность интерпретации, что приводило к чрезмерной или недостаточной оценке в частности давления заклинивания. КЛА также вызывает различные осложнения, связанные с установкой центральной линии, прохождением правого сердца и позиционированием катетера, включая разрыв легочной артерии ³⁶. С появлением менее инвазивного гемодинамического мониторинга использование КЛА еще более сократилось.

Рекомендации: осторожное использование, так как опыт современных клиницистов низкий, особенно при определении давления заклинивания. Наиболее высокая эффективность при кардиогенном шоке. Как правило, не используется как дополнение первой линии, но более полезен при противоречивых значениях конечных точек реанимации.



Тест с подъемом ног.

Тест с подъемом ног — это динамическое измерение, используемое для оценки того, будет ли пациент реагировать на инфузионный болюс. При пассивном подъеме ноги нижняя половина кровати поднимается под углом 45° над головой пациента, или ноги пациента поднимаются вручную. Идея состоит в том, что этот маневр увеличит преднагрузку, перенося кровь, которая скопилась в нижних конечностях пациента, в грудную клетку. Если артериальное давление повышается в течение 60 с, пациент, скорее всего, будет благоприятно реагировать на болюс жидкости.³⁷ Полезность этого метода ограничена у пациента с повышенным внутрибрюшинным давлением (из-за асцита или синдрома компартмента),

Рекомендация: Полезное дополнение, когда фактический инфузионный болюс может быть вредным. Просто и неинвазивно. Сильная рекомендация для использования.

Вариация ударного объема

Вариация ударного объема (ВУО) основана на разнице во внутригрудном давлении между вдохом и выдохом у пациентов при вентиляции с положительным давлением. Вентиляция с положительным давлением уменьшает преднагрузку за счет повышения внутригрудного давления. Это может привести к уменьшению ударного объема. Чем больше разница во внутригрудном давлении между выдохом и вдохом, тем больше вероятность того, что пациент положительно отреагирует на болюс жидкости. Используя внутриартериальную линию, можно рассчитать вариацию пульсового давления (ВПД). Многие современные мониторы могут рассчитать это значение автоматически. При значениях, превышающих 12%, пациент, скорее всего, будет реагировать на инфузионный болюс. При значении менее 8%, пациент, скорее всего, находится в состоянии эуволемии. От 8% до 12%, чувствительность к жидкости может присутствовать или не присутствовать. Использование других клинических показаний, таких как темп выделения мочи или ЦВД, может помочь понять, могут ли жидкости помочь в этой серой зоне.



Кроме того, введение болюса внутрисосудистой жидкости и оценка любых изменений в ЦВД пациента также может указывать на дальнейшую реакцию на инфузионную терапию.^{38–40} Существует несколько вариаций ЦВД, основанных на измеренных характеристиках изменения кровотока в течение дыхательного цикла, включая ВУО и индекс ударного объема (ИУО).

Для эффективного использования вариации пульсового давления у пациента должно быть регулярное дыхание, такое как при режиме контролируемой вентиляции (объем или давление). Если пациент самопроизвольно дышит, ВПД не будет точным. Кроме того, у пациента должен быть достаточный дыхательный объем, чтобы вызвать отображение изменения ударного объема.

Легочно-протективные настройки аппарата ИВЛ не позволяют адекватно измерять ВУО. Кроме того, у пациента должен быть синусовый ритм. Нерегулярные ритмы, такие как мерцательная аритмия, не дают точного артериального прослеживания, потому что предварительная нагрузка будет меняться с каждым ударом. Правожелудочковая недостаточность также не позволит предсказать реакцию жидкости, поскольку добавление жидкости в правый желудочек может не привести к увеличению ударного объема левого желудочка.

ВПД/ВУО можно измерять с помощью различных методов оценки артериального давления. Это включает в себя обычное артериальное кровяное давление (инвазивное и неинвазивное), оценка контура пульсовой волны, биоимпеданс и доплер пищевода. Биоимпеданс оценивает содержание воды и состав тела, используя электрический ток и сопротивление. Переменный электрический ток проходит через тело через жидкость (напрямую) и через клеточные мембраны (косвенно). Объем воды в организме определяет ширину прохода, по которому протекает электричество. Ширина прохода определяет поток электрического тока и называется импедансом. Это, наряду с общим сопротивлением тела, может затем использоваться для оценки общей воды в организме с использованием электродов на внешней стороне тела. Процедура неинвазивна, а результаты мгновенные и воспроизводимые. Биоимпеданс идеально подходит для отслеживания общего содержания воды в организме с течением времени, особенно когда эти значения



могут постоянно изменяться, например, во время процедуры диализа. Пищеводный доплер представляет собой небольшой ультразвуковой зонд, введенный в пищевод. Зонд измеряет скорость кровотока в нисходящей аорте. С помощью этого метода можно рассчитать ударный объем и сердечный выброс вместе с ВУО и ИУО

Эти значения могут затем использоваться для непосредственного управления инфузионной терапией во время операции или у постели больного в условиях интенсивной терапии.

Однако, если установка зонда в пищевод противопоказана (например, травма, наличие стриктур, тромбоцитопения), эта методика может быть неоптимальной. Рекомендация: ВПЛ/ВУО полезны в корреляции с другими конечными точками реанимации. Они не должны использоваться изолированно. Должны учитываться ограничения, такие как нерегулярные сердечные ритмы или низкие дыхательные объемы .

Эхокардиография

Прикроватная «гемодинамическая» ультрасонография для оценки реакции на инфузионную терапию и основной функции сердца в отделении интенсивной терапии (ОИТ) становится все более популярным дополнением к оценке гемодинамики. Определение чувствительности к вводимой жидкости - это способность увеличивать СВ в ответ на инфузионную нагрузку.

Глобальные размеры желудочков, движение стенок и функции предполагают не только чувствительность к жидкости, но и потенциальную чувствительность к вазоактивным препаратам. Таким образом, УЗИ может способствовать оптимизации гемодинамики. Кроме того, в качестве конечной точки реанимации эхокардиография имеет то преимущество, что она устраняет необходимость в инвазивных линиях и пробах.

Гемодинамическая ультрасонография может объяснить меры по улучшению сердечного выброса несколькими способами:

1. Оптимизация волемического статуса путем изменения диаметра нижней полой вены (НПВ) в течение дыхательного цикла. Подобно концепции ВПД и ВУО,



изменения размера НПВ предполагает, что если размер изменяется в зависимости от дыхания, пациент будет реагировать на жидкость. У пациентов без спонтанного дыхания измерение диаметра НПВ прогнозирует положительный ответ на введение жидкости (положительное отношение правдоподобия 5,3; 95% ДИ, 1,1–27; объединенная специфичность, 85%).⁴¹ Чувствительность меньше, когда дыхание более неустойчивое, аналогичное ограничение для других мер оценки реакции на инфузии на основе дыхательных изменений.

2. Оптимизация состояния объема по размерам и функциям желудочка. При небольшом размере ЛЖ прогнозирует положительную реакцию на инфузию. Гипердинамика ЛЖ с конечной диастолической областью менее 10 см² или папиллярная аппозиция (целование желудочков) убедительно свидетельствует о гиповолемии. Значительное сужение выходного тракта во время систолы может быть вызвано недостаточным заполнением ЛЖ у пациентов, особенно в гипердинамическом состоянии, таком как сепсис. Эхокардиография может также измерить ВУО, который является хорошим показателем реакции жидкости. Используя уравнение для объема потока и верхушечную пятикамерную позицию, ВУО более 12% точно предсказывает положительную реакцию на введение жидкости, а при значениях более 14%, имеет очень высокое положительное прогностическое значение, а если менее 10% - высокое отрицательное прогностическое значение.⁴²
3. Оптимизация функционального статуса / сократительной способности методом эхокардиографической оценка фракции выброса ЛЖ осуществима и точна. Несмотря на адекватную инфузионную реанимацию (давление наполнения), сократимость миокарда может изменяться при различных состояниях, таких как сепсис. Поэтому использование вазопрессоров для улучшения сократимости ЛЖ может быть полезным в определенных группах пациентов. Использование эхокардиографии для выявления плохой сократимости может направить реанимационные усилия в нужное русло.^{38 43}

Кроме того, недостаточность правого желудочка, вторичная по отношению к повышенным давлениям внутри легочной циркуляции, может привести к



неадекватному наполнению ЛЖ. В отделении интенсивной терапии это может происходить при хронических заболеваниях сердца и легких или при использовании повышенного положительного конечного давления на выдохе для улучшения оксигенации. Полезна диагностика дисфункции ПЖ или правожелудочковой недостаточности с помощью эхокардиографии, демонстрирующей дилатацию и дисфункцию ПЖ. Если недостаточность ПЖ вызвана повышенной постнагрузкой, можно использовать аналог простагландина (например, эзопростенол), мощный легочной вазодилататор. Если правожелудочковая недостаточность вызвана перегрузкой объемом, то может быть полезным сочетание диуретиков и инотропов.

Рекомендация: прикроватная эхокардиография быстро становится высоко ценной методикой, но требует достаточно много времени для обучения (получение и интерпретация изображения; также требуется строгая учебная программа.

Комментарий по смягчению избыточной реанимации.

Исследования ProMISe, ProCESS и aRISE¹ показали, что если мы будем регулировать интенсивную терапию до достижения VCEX конечных точек реанимации, то это скорее всего приведет к чрезмерной реанимации и, возможно, гиперволемии.^{27 29 44} Почти все текущие конечные точки реанимации только измеряют гиповолемию и не дают оценки диапазона, включая эуволемию и гиперволемию. В этом отношении могут быть полезны две меры: эхокардиография и рентгенография грудной клетки.

Рекомендация: Чтобы конечные точки отслеживались в режиме реального времени и чтобы конечные точки приближались к нормальному диапазону,

¹ **ProCESS** - Protocolized Care for Early Septic Shock – Протоколированная терапия для раннего септического шока (США); **ARISE**- Australasian Resuscitation in Sepsis Evaluation Австралийская реанимация при оценке сепсиса (Австралия); и **ProMISe** - Protocolised Management in Sepsis - Протоколированное ведение при сепсисе (Великобритания). Три исследования, показавших неэффективность ранней цель-ориентированной терапии при сепсисе [ВГ]



реанимацию необходимо титровать соответствующим образом, чтобы не превышать езуволемию.

Заклучение

Краткий обзор современных конечных точек реанимации, их клиническое использование и ограничения

Параметр	Механизм оценки	Ограничения	Возможность оценить гиперволемию
ЧСС/АД/Диурез	Непрямое измерение	Много приводящих факторов	Нет
Serum lactate	Нарушения перфузии, приводящие к анаэробному гликолизу	Снижение клиренса при печеночной патологии	Нет
ЦВД	Оценка наполнения правых отделов сердца	Многие моменты, включая ЗСН и гипертензию ложно завышают показатель	Нет
SvO ₂	Измерение доставки кислорода	Системное шунтирование искажает результат	Нет
КЛА	Наполнение сердца и термодилуция	Инвазивно. Интерпретация графических показателей	Возможно через увеличение давления в легочной артерии
ВПД/ВУО	Вариация СВ в зависимости от респираторного цикла	Нерегулярный пульс, низкий дыхательный объем, спонтанное дыхание	Нет
Эхокардиография	Прямое измерение наполнения желудочков и функции сердца	Получение и интерпретация изображений; обучение	Возможно через размер ПЖ и отсутствие изменения в размере камер в связи с дыханием



ЛИТЕРАТУРА

1. Rhodes A, Evans LE, Alhazzani W, Levy MM, Antonelli M, Ferrer R, Kumar A, Sevransky JE, Sprung CL, Nunnally ME, et al. Surviving sepsis campaign: international guidelines for management of sepsis and septic shock: 2016. *Intensive Care Med* 2017;43:304–77. 10.1007/s00134-017-4683-6
2. Casserly B, Phillips GS, Schorr C, Dellinger RP, Townsend SR, Osborn TM, Reinhart K, Selvakumar N, Levy MM. Lactate measurements in sepsis-induced tissue hypoperfusion: results from the surviving sepsis campaign database. *Crit Care Med* 2015;43:567 10.1097/CCM.0000000000000742 -
3. Simpson SQ, Gaines M, Hussein Y, Badgett RG. Early goal-directed therapy for severe sepsis and septic shock: a living systematic review. *J Crit Care* 2016;36:43–8. 10.1016/j.jcrc.2016.06.017 -
4. Mikkelsen ME, Miliades AN, Gaijeski DF, Goyal M, Fuchs BD, Shah CV, Bellamy SL, Christie JD. Serum lactate is associated with mortality in severe sepsis independent of organ failure and shock. *Crit Care Med* 2009;37:1670–7. 10.1097/CCM.0b013e31819fcf68 -
5. Zhang Z, Xu X. Lactate clearance is a useful biomarker for the prediction of all-cause mortality in critically ill patients: a systematic review and meta-analysis*. *Crit Care Med* 2014;42:2118 10.1097/CCM.0000000000000405
6. Shapiro NI, Howell MD, Talmor D, Nathanson LA, Lisbon A, Wolfe RE, Weiss JW. Serum lactate as a predictor of mortality in emergency department patients with infection. *Ann Emerg Med* 2005;45:524–8. 10.1016/j.annemergmed.2004.12.006
7. Marik PE, Cavallazzi R. Does the central venous pressure predict fluid responsiveness? an updated meta-analysis and a plea for some common sense. *Crit Care Med* 2013;41:1774–81. 10.1097/CCM.0b013e31828a25fd
8. Monnet X, Marik PE, Teboul J-L. Prediction of fluid responsiveness: an update. *Ann Intensive Care* 2016;6:11 10.1186/s13613-016-0216-7
9. Mikor A, Trásy D, Németh MF, Osztróluczki A, Kocsi S, Kovács I, Demeter G, Molnár Z. Continuous central venous oxygen saturation assisted intraoperative hemodynamic management during major abdominal surgery: a randomized, controlled trial. *BMC Anesthesiol* 2015;15:82 10.1186/s12871-015-0064-2 -



10. Eskesen TG, Wetterslev M, Perner A. Systematic review including re-analyses of 1148 individual data sets of central venous pressure as a predictor of fluid responsiveness. *Intensive Care Med* 2016;42:324–32. 10.1007/s00134-015-4168-4
11. Szakmany T, Toth I, Kovacs Z, Leiner T, Mikor A, Koszegi T, Molnar Z. Effects of volumetric vs. pressure-guided fluid therapy on postoperative inflammatory response: a prospective, randomized clinical trial. *Intensive Care Med* 2005;31:656–63. 10.1007/s00134-005-2606-4
12. Osman D, Ridet C, Ray P, Monnet X, Anguel N, Richard C, Teboul J-L. Cardiac filling pressures are not appropriate to predict hemodynamic response to volume challenge. *Crit Care Med* 2007;35:64–8. 10.1097/01.CCM.0000249851.94101.4F
13. Rivers E, Nguyen B, Havstad S, Ressler J, Muzzin A, Knoblich B, Peterson E, Tomlanovich M, Early Goal-Directed Therapy Collaborative Group . Early goal-directed therapy in the treatment of severe sepsis and septic shock. *N Engl J Med* 2001;345:1368–77. 10.1056/NEJMoa010307
14. Cecconi M, Hofer C, Teboul J-L, Pettita V, Wilkman E, Molnar Z, Della Rocca G, Aldecoa C, Artigas A, Jog S, et al. Fluid challenges in intensive care: the FENICE study: a global inception cohort study. *Intensive Care Med* 2015;41:1529–37. 10.1007/s00134-015-3850-x
15. Hartog C, Bloos F. Venous oxygen saturation. *Best Pract Res Clin Anaesthesiol* 2014;28:419–28. 10.1016/j.bpa.2014.09.006
16. Shepherd SJ, Pearse RM. Role of central and mixed venous oxygen saturation measurement in perioperative care. *Anesthesiology* 2009;111:649–56. 10.1097/ALN.0b013e3181af59aa
17. Vincent J-L, DeBacker D. Circulatory shock. ScvO₂ and SvO₂ are not interchangeable due to regional differences in oxygen utilization. *N Eng J Med* 2013;369:1726–34.
18. Scalea TM, Hartnett RW, Duncan AO, Atweh NA, Phillips TF, Sclafani SJ, Fuortes M, Shaftan GW. Central venous oxygen saturation: a useful clinical tool in trauma patients. *J Trauma* 1990;30:1539–43.
19. Kremzar S-MA, Kompan L, Cerovic O. Normal values of SvO₂ as therapeutic goal in patients with multiple injuries. *Intensive Care Med* 1996;23:65–70.



20. Giraud R, Siegenthaler N, Gayet-Ageron A, Combescure C, Romand J-A, Bendjelid K. ScvO₂ as a marker to define fluid responsiveness. *J Trauma* 2011;70:802–7. 10.1097/TA.0b013e3181e7d649
21. Xu B, Yang X, Wang C, Jiang W, Weng L, Hu X, Peng J, Du B. Changes of central venous oxygen saturation define fluid responsiveness in patients with septic shock: a prospective observational study. *J Crit Care* 2017;38:13–19. 10.1016/j.jcrc.2016.09.030
22. Donati A, Loggi S, Preiser J-C, Orsetti G, Münch C, Gabbanelli V, Pelaia P, Pietropaoli P. Goal-directed intraoperative therapy reduces morbidity and length of hospital stay in high-risk surgical patients. *Chest* 2007;132:1817–24. 10.1378/chest.07-0621
23. Futier E, Constantin JM, Petit A, et al. Conservative vs restrictive individualized goal-directed fluid administration in major abdominal surgery: a prospective randomized trial. *Arch Surg* 2010;14:R193.
24. Gattinoni L, Brazzi L, Pelosi P, Latini R, Tognoni G, Pesenti A, Fumagalli R. A trial of goal-oriented hemodynamic therapy in critically ill patients. SvO₂ Collaborative group. *N Engl J Med* 1995;333:1025–32. 10.1056/NEJM199510193331601
25. Pope JV, Jones AE, Gaieski DF, Arnold RC, Trzeciak S, Shapiro NI, Emergency Medicine Shock Research Network (EMShockNet) Investigators. Multicenter study of central venous oxygen saturation (ScvO₂) as a predictor of mortality in patients with sepsis. *Ann Emerg Med* 2010;55:40–6. 10.1016/j.annemergmed.2009.08.014
26. Dellinger RP, Levy MM, Rhodes A, Annane D, Gerlach H, Opal SM, Sevransky JE, Sprung CL, Douglas IS, Jaeschke R, et al. Surviving sepsis campaign: international guidelines for management of severe sepsis and septic shock, 2012. *Intensive Care Med* 2013;39:165–228. 10.1007/s00134-012-2769-8
27. Yealy DM, Kellum JA, Huang DT, Barnato AE, Weissfeld LA, Pike F, Terndrup T, Wang HE, Hou PC, LoVecchio F, et al. A randomized trial of protocol-based care for early septic shock. *N Engl J Med* 2014;370:1683–93. 10.1056/NEJMoa1401602
28. Peake SL, Delaney A, Bailey M, Bellomo R, Cameron PA, Cooper DJ, Higgins AM, Holdgate A, Howe BD, Webb SAR, et al. Goal-directed resuscitation for patients with early septic shock. *N Engl J Med* 2014;371:1496–506. 10.1056/NEJMoa1404380



29. Mouncey PR, Osborn TM, Power GS, Harrison DA, Sadique MZ, Grieve RD, Jahan R, Harvey SE, Bell D, Bion JF, et al. Trial of early, goal-directed resuscitation for septic shock. *N Engl J Med* 2015;372:1301–11. 10.1056/NEJMoa1500896
30. Rowan KM, Angus DC, Bailey M, Barnato AE, Bellomo R, Canter RR, Coats TJ, Delaney A, Gimbel E, Grieve RD, et al. Early, goal-directed therapy for septic shock - a patient-level meta-analysis. *N Engl J Med* 2017;376:2223–34. 10.1056/NEJMoa1701380
31. Komadina KH, Schenk DA, LaVeau P, Duncan CA, Chambers SL. Interobserver variability in the interpretation of pulmonary artery catheter pressure tracings. *Chest* 1991;100:1647–54. 10.1378/chest.100.6.1647
32. Jacka MJ, Cohen MM, To T, Devitt JH, Byrick R. Pulmonary artery occlusion pressure estimation: how confident are anesthesiologists? *Crit Care Med* 2002;30:1197–203. 10.1097/00003246-200206000-00003
33. Rizvi K, Deboisblanc BP, Truwit JD, Dhillon G, Arroliga A, Fuchs BD, Guntupalli KK, Hite D, Hayden D, NIH/NHLBI ARDS Clinical Trials Network . Effect of airway pressure display on interobserver agreement in the assessment of vascular pressures in patients with acute lung injury and acute respiratory distress syndrome. *Crit Care Med* 2005;33:98–103. 10.1097/01.CCM.0000150650.70142.E9
34. Pinsky MR, Vincent J-L. Let us use the pulmonary artery catheter correctly and only when we need it. *Crit Care Med* 2005;33:1119–22. 10.1097/01.CCM.0000163238.64905.56
35. Vincent J-L, Pinsky MR, Sprung CL, Levy M, Marini JJ, Payen D, Rhodes A, Takala J. The pulmonary artery catheter: in medio virtus. *Crit Care Med* 2008;36:3093–6. 10.1097/CCM.0b013e31818c10c7
36. Kearney TJ, Shabot MM. Pulmonary artery rupture associated with the Swan-Ganz catheter. *Chest* 1995;108:1349–52. 10.1378/chest.108.5.1349
37. Cherpanath TGV, Hirsch A, Geerts BF, Lagrand WK, Leeftang MM, Schultz MJ, Groeneveld ABJ, Groeneveld ABJ. Predicting fluid responsiveness by passive leg raising: a systematic review and meta-analysis of 23 clinical trials. *Crit Care Med* 2016;44:981–91. 10.1097/CCM.0000000000001556



38. Bentzer P, Griesdale DE, Boyd J, MacLean K, Sirounis D, Ayas NT. Will this hemodynamically unstable patient respond to a bolus of intravenous fluids? *JAMA* 2016;316:1298–309. 10.1001/jama.2016.12310
39. Hollinger A, Gantner L, Jockers F, Schweingruber T, Ledergerber K, Scheuzger JD, Aschwanden M, Dickenmann M, Knotzer J, van Bommel J, et al. Impact of amount of fluid for circulatory resuscitation on renal function in patients in shock: evaluating the influence of intra-abdominal pressure, renal resistive index, sublingual microcirculation and total body water measured by bio-impedance analysis on haemodynamic parameters for guidance of volume resuscitation in shock therapy: a protocol for the VoluKid pilot study—an observational clinical trial. *Ren Replace Ther* 2018;4:14 10.1186/s41100-018-0156-9
40. Pearse RM, Harrison DA, MacDonald N, Gillies MA, Blunt M, Ackland G, Grocott MPW, Ahern A, Griggs K, Scott R, et al. Effect of a perioperative, cardiac output-guided hemodynamic therapy algorithm on outcomes following major gastrointestinal surgery: a randomized clinical trial and systematic review. *JAMA* 2014;311:2181–90. 10.1001/jama.2014.5305
41. Orso D, Paoli I, Piani T, Cilenti FL, Cristiani L, Guglielmo N. Accuracy of ultrasonographic measurements of inferior vena cava to determine fluid responsiveness: a systematic review and meta-analysis. *J Intensive Care Med* 2020;35:354–63. 10.1177/0885066617752308
42. Theerawit P, Morasert T, Sutherasan Y. Inferior vena cava diameter variation compared with pulse pressure variation as predictors of fluid responsiveness in patients with sepsis. *J Crit Care* 2016;36:246–51. 10.1016/j.jcrc.2016.07.023
43. Levy MM, Evans LE, Rhodes A. The surviving sepsis campaign bundle: 2018 update. *Crit Care Med* 2018;46:997–1000. 10.1097/CCM.0000000000003119
44. Peake SL, Delaney A, Bellomo R, Investigators A, ARISE Investigators . Goal-directed resuscitation in septic shock. *N Engl J Med* 2015;372:190–1. 10.1056/NEJMc1413936