

**Возможности чреспищеводной
эхокардиографии для оценки
волемического статуса
пациентов при операциях
прямой реваскуляризации
миокарда на работающем сердце:
обзор литературы**

О.А. Батигян^{id}, Е.А. Лебедева^{id}, Д.В. Мартынов^{id}

ФГБОУ ВО «Ростовский государственный медицинский университет» Минздрава России, Ростов-на-Дону, Россия

Реферат

Актуальность. Неопределенность в вопросах подходов к оптимизации мониторинга и тактики коррекции гемодинамики сегодня напрямую отражается на эффективности проводимых вмешательств. Особенно ярко эта проблема выражена в случае пациентов высокого кардиального риска, а также при возникновении стремительно развивающихся интраоперационных гемодинамических нарушений, являющихся спецификой некоторых кардиохирургических вмешательств, таких как операции реваскуляризации миокарда на работающем сердце. В подобной ситуации ключевым фактором успеха операции оказываются слаженность работы хирурга и анестезиолога. **Цель исследования.** Определить основные подходы к мониторингу и оценке волемического статуса пациента при операциях прямой реваскуляризации миокарда на работающем сердце и оценить возможность чреспищеводной эхокардиографии в качестве такого инструмента мониторинга. **Материалы и методы.** Поиск проводился в электронных базах данных PubMed, Scopus, Web of Science Core Collection; анализ проводился на основе работ, опубликованных в период с 2001 по 2021 г. **Результаты.** Полученный в процессе поиска материал, включающий проверенные исследования авторитетных изданий, рандомизированные клинические исследования, крупные систематические обзоры и метаанализы, представляет собой обзор мирового опыта в вопросах оптимизации инфузионной нагрузки и ее особенностей у кардиохирургических пациентов. Согласно проанализированному материалу, неопределенность в вопросах подходов к оптимизации мониторинга и тактики коррекции гемодинамики сегодня напрямую отражается на эффективности проводимых вмешательств. Особенно ярко эта проблема выражена в случае пациентов высокого кардиального риска, а также при возникновении стремительно развивающихся интраоперационных гемодинамических нарушений, являющихся спецификой некоторых кардиохирургических вмешательств, таких как операции реваскуляризации миокарда на работающем сердце. В подобной ситуации ключевым фактором успеха операции оказываются слаженность работы хирурга и анестезиолога. **Цель исследования.** Определить основные подходы к мониторингу и оценке волемического статуса пациента при операциях прямой реваскуляризации миокарда на работающем сердце и оценить возможность чреспищеводной эхокардиографии в качестве такого инструмента мониторинга. **Материалы и методы.** Поиск проводился в электронных базах данных PubMed, Scopus, Web of Science Core Collection; анализ проводился на основе работ, опубликованных в период с 2001 по 2021 г. **Результаты.** Полученный в процессе поиска материал, включающий проверенные исследования авторитетных изданий, рандомизированные клинические исследования, крупные систематические обзоры и метаанализы, представляет собой обзор мирового опыта в вопросах оптимизации инфузионной нагрузки и ее особенностей у кардиохирургических пациентов. Согласно проанализированному материалу, неопределенность в вопросах подходов к оптимизации мониторинга и тактики коррекции гемодинамики сегодня напрямую отражается на эффективности проводимых вмешательств. Особенно ярко эта проблема выражена в случае пациентов высокого кардиального риска, а также при возникновении стремительно развивающихся интраоперационных гемодинамических нарушений, являющихся спецификой некоторых кардиохирургических вмешательств, таких как операции реваскуляризации миокарда на работающем сердце. В подобной ситуации ключевым фактором успеха операции оказываются слаженность работы хирурга и анестезиолога.

**Possibilities of transesophageal
echocardiography for assessing
the volemic status of patients
during direct myocardial
revascularization operations
on the beating heart: a review**

O.A. Batigyan^{id}, E.A. Lebedeva^{id}, D.V. Martynov^{id}

Rostov State Medical University, Rostov-on-Don, Russia

Abstract

Introduction. Uncertainty about approaches to optimizing monitoring and tactics of hemodynamic correction today directly affects the effectiveness of interventions. This problem is especially pronounced in the case of patients with high cardiac risk, as well as in the case of rapidly developing intraoperative hemodynamic disorders, which are a specific feature of some cardiac surgical interventions, such as myocardial revascularization operations on a beating heart. In such a situation, the key factor for the success of the operation is the coordination of the work of the surgeon and the anesthesiologist. **Objectives.** To determine the main approaches to monitoring and assessing the volemic status of a patient during direct myocardial revascularization operations on a working heart and to evaluate the possibility of transesophageal echocardiography as such a monitoring tool. **Materials and methods.** The search was carried out in the electronic databases PubMed, Scopus, Web of Science Core Collection; the analysis was carried out based on works published in the period from 2001 to 2021. **Results.** The resulting material, which includes validated peer-reviewed studies, randomized clinical trials, major systematic reviews and meta-analyses, provides an overview of global experience in optimizing fluid loading and its characteristics in cardiac surgery patients. According to the analyzed data, there is no consensus among specialists on the above issues, and many important factors remain outside the framework of everyday clinical practice. For high-quality interaction, a combination of highly informative monitoring and proven tactics of conducting perioperative infusion therapy in response to the dynamically changing

зированным данным, единого мнения в вышеперечисленных вопросах среди специалистов нет, а многие важные факторы остаются за рамками повседневной клинической практики. Для качественного взаимодействия необходимо сочетание высокоинформативного мониторинга и отработанной тактики ведения периоперационной инфузионной терапии в ответ на динамически изменяющееся состояние больного. **Заключение.** Для разработки единых критериев коррекции гемодинамики в каждой отдельной ситуации необходима оценка волемического статуса у пациентов, которым выполняется реваскуляризация миокарда на работающем сердце в режиме реального времени. В этом ключе транспищеводная эхокардиография представляется авторам инструментом выбора для оптимизации мониторинга при операциях прямой реваскуляризации миокарда на работающем сердце.

Ключевые слова: шунтирование коронарных артерий на работающем сердце, реваскуляризация миокарда, гемодинамика, чреспищеводная эхокардиография, инфузионная терапия, объем крови

✉ *Для корреспонденции:* Батигян Олеся Арсеновна — врач анестезиолог-реаниматолог отделения анестезиологии и реанимации № 1, ФГБОУ ВО «Ростовский государственный медицинский университет» Минздрава России, Ростов-на-Дону, Россия; e-mail: olesya555b@mail.ru

✉ *Для цитирования:* Батигян О.А., Лебедева Е.А., Мартынов Д.В. Возможности чреспищеводной эхокардиографии для оценки волемического статуса пациентов при операциях прямой реваскуляризации миокарда на работающем сердце: обзор литературы. Вестник интенсивной терапии им. А.И. Салтанова. 2021;4:88–97. DOI: 10.21320/1818-474X-2021-4-88-97

✉ *Поступила:* 13.10.2021

✉ *Принята к печати:* 30.11.2021

✉ *Дата онлайн-публикации:* 19.01.2022

condition of the patient is required. **Conclusions.** To develop unified criteria for hemodynamic correction in each individual situation, it is necessary to assess the volemic status in patients who undergo myocardial revascularization on a beating heart in real time. In this vein, transesophageal echocardiography is presented by the authors as the tool of choice for optimizing monitoring during off-pump coronary artery bypass graft surgery.

Keywords: coronary artery bypass off-pump, myocardial revascularization, hemodynamics, transesophageal echocardiography, fluid therapy, blood volume

✉ *For correspondence:* Olesya A. Batigyan — physician of Intensive Care Unit No 1, Rostov State Medical University, Rostov-on-Don, Russia; e-mail: olesya555b@mail.ru

✉ *For citation:* Batigyan O.A., Lebedeva E.A., Martynov D.V. Possibilities of transesophageal echocardiography for assessing the volemic status of patients during direct myocardial revascularization operations on the beating heart: a review. Annals of Critical Care. 2021;4:88–97. DOI: 10.21320/1818-474X-2021-4-88-97

✉ *Received:* 13.10.2021

✉ *Accepted:* 30.11.2021

✉ *Published online:* 19.01.2022

DOI: 10.21320/1818-474X-2021-4-88-97

Введение

Метод реваскуляризации миокарда на работающем сердце является альтернативой традиционным операциям с использованием искусственного кровообращения (ИК) и призван улучшать отдаленные результаты за счет снижения частоты послеоперационных осложнений вследствие отсутствия контакта крови больного с контурами аппарата ИК. Данный факт и минимальная инвазивность вмешательства (реваскуляризации миокарда на работающем сердце) нивелируют эффекты активации коагуляции и системного воспалительного от-

вета, уменьшают количество когнитивных расстройств и способствуют ранней активизации пациента [1]. Об этом свидетельствует анализ 30-летней истории внедрения реваскуляризации на работающем сердце, продемонстрировавший определенные преимущества этого метода у пациентов пожилого и старческого возраста, пациентов с низкой фракцией изгнания левого желудочка, пациентов с высоким неврологическим риском, женщин, пациентов с органной недостаточностью по сравнению с операциями в условиях искусственного кровообращения [2]. Однако при этих очевидных преимуществах к анестезиологу на всех этапах off-pump

реваскуляризации миокарда предъявляются повышенные требования. Наиболее сложным и ответственным аспектом является своевременное реагирование на изменения показателей системной гемодинамики. Залогом успеха здесь являются непрерывное взаимодействие анестезиолога с хирургической бригадой, а также получение точных гемодинамических параметров в режиме реального времени. Десятилетиями в научной литературе ведутся споры о выборе плана инфузионной терапии в диапазоне от необходимости максимально «либеральных» стратегий с обязательным восполнением потерь «третьего пространства» до доказательства его отсутствия и строгой «рестрикции» с индивидуализированной тактикой восполнения только измеренных потерь жидкости [3, 4]. Сегодня нельзя сказать, что мировое сообщество пришло к единому мнению в вышеперечисленных вопросах. Сохраняющаяся неопределенность в вопросах подходов к оптимизации мониторинга и коррекции гемодинамики напрямую отражается на эффективности проводимых вмешательств и ставит перед исследователями важную практическую задачу создания четких алгоритмов проведения инфузионной терапии, в частности при операциях прямой реваскуляризации миокарда на работающем сердце.

Цель исследования — определить основные подходы к мониторингу и оценке волемического статуса пациента при операциях прямой реваскуляризации миокарда на работающем сердце и оценить возможность чреспищеводной эхокардиографии в качестве такого инструмента мониторинга.

Материалы и методы

В процессе работы над данным литературным обзором были проанализированы работы, опубликованные в период с 2001 по 2021 г. Поиск публикация проводили с использованием комбинации ключевых слов: «fluid therapy during off-pump coronary artery bypass», «intraoperative monitoring of volume load», «volume status and transesophageal echocardiography», «intraoperative transesophageal echocardiography off-pump coronary artery bypass». Поиск проводился в электронных базах данных PubMed, Scopus, Web of Science Core Collection (рис. 1). В анализ включили только рандомизированные контролируемые клинические исследования, крупные систематические обзоры и метаанализы. Мы исключали исследования, в которых исследовательские группы были слишком малы ($n \leq 50$). Мы исключили работы, в которых цель и результаты исследования были связаны с введением различных препаратов. Мы исключали исследования, для которых не смогли получить полный текст.



Рис. 1. Блок-схема отбора статей
Fig. 1. Flowchart of selection of articles

Мониторинг волемического статуса

Основной задачей мониторинга состояния внутрисосудистого объема является контроль инфузионной терапии с целью поддержания перфузии тканей. Гиповолемия приводит к снижению доставки кислорода тканям, в то время как гиперволемия ведет к избыточной перегрузке сердечной мышцы, нарушению гемореологических показателей и выходу жидкости в интерстиций. И в том и в другом случае авторы отмечают значительное возрастание риска серьезных послеоперационных осложнений и летальных исходов при кардиохирургических вмешательствах [4, 5].

Статические показатели, такие как артериальное давление, частота сердечных сокращений и дыхания, центральное венозное давление (ЦВД), давление заклинивания легочной артерии (ДЗЛА), традиционно использовались для оценки состояния внутрисосудистого объема. Однако эти параметры обладают низкой специфичностью и не коррелируют с сердечным выбросом, что подтверждено множеством исследований еще в конце прошлого века [6, 7]. Динамические параметры более совершенны и раскрывают свой потенциал при осуществлении индивидуализированной инфузионной терапии у пациентов высокого риска [8]. Такие показатели обеспечивают несравнимо более точную оценку реакции на текущую инфузионную нагрузку по сравнению с традиционными статическими параметрами и могут помочь спрогнозировать изменения ударного объема (УО) на фоне проведения инфузии. Прогноз в этом случае основывается на взаимосвязи между вариативностью внутригрудного давления при каждом вдохе, конечным диастолическим объемом левого желудочка (ЛЖ) и сердечным выбросом [9]. Динамиче-

ские параметры включают показатели, основанные на анализе формы пульсовой волны, такие как вариация пульсового давления крови и вариабельность ударного объема, оценку параметров давления наполнения левых отделов сердца (доплерография митральной скорости кровотока, показатели кровотока легочной артерии, непрерывно-волновая доплерография митральной регургитации) и параметров преднагрузки левых отделов сердца. Большинство из этих показателей регистрируется в условиях операционной только при чреспищеводной эхокардиографии [10, 11].

Важный гемодинамический параметр хирургии высокого риска, сердечный выброс (СВ), представляет собой произведение площади поперечного сечения аорты (ПСА) и линейной скорости кровотока. Мгновенная скорость потока через определенное сечение за период времени называется интегралом линейной скорости (ИЛС). Ударный объем определяется как произведение ПСА и ИЛС. Предпочтительным местом измерения УО и СВ является выходной тракт ЛЖ [12]. «Золотым стандартом» оценки волемического статуса и прогнозирования ответа на инфузионную нагрузку является оценка изменения УО после введения болюса жидкости [13]. Изменение УО более чем на 13 % указывает на то, что пациент реагирует на проводимую терапию, и в его случае применение волемической нагрузки обосновано, тогда как вариативность УО менее 12 % свидетельствует о необходимости применения вазопрессорного или инотропного воздействия [14].

Тест с пассивным подъемом ног (passive leg raising — PLR) позволяет спрогнозировать повышение сердечного выброса при увеличении объема кровотока и удобен быстрой обратимостью гемодинамических эффектов. По сути метод представляет собой мобилизацию порядка 300 мл венозной крови из нижней части тела в правые отделы сердца, имитирующую инфузионную нагрузку [15]. Сегодня многие исследователи отмечают надежность этого подхода, при этом получаемая реактивность показателей сердечного выброса и центрального венозного давления достаточно точно предсказывает ответ пациента на волемическую нагрузку. Увеличение УО более чем на 10 % является достоверным маркером восприимчивости к повышению преднагрузки. Тест PLR в сочетании с мониторингом сердечного выброса является достаточно точным методом определения чувствительности к введению жидкости у пациентов в критическом состоянии и обладает чувствительностью 86 % и специфичностью 90 % при увеличении УО на 10 %. Monnet и Teboul (2015) сформулировали 5-ступенчатое руководство к тесту PLR, ключевыми пунктами которого являются стартовое положение пациента — полулежа, что мобилизует венозную кровь из межпозвоночного пространства и усиливает эффект на преднагрузку при опускании туловища в дополнение к подъему ног, а также использование прямо-

го измерения сердечного выброса на всех этапах [15, 16]. В крупном метаанализе, объединившем 991 пациента, авторы подтвердили высокие показатели чувствительности и специфичности теста [17].

Измерение вариаций УО в режиме реального времени требует применения ультразвуковых технологий. Трансторакальную эхокардиографию в условиях операционной выполнить практически невозможно, поэтому чреспищеводный доступ представляется здесь методом выбора.

Метод термодилуции долгое время считался «золотым стандартом» мониторинга в кардиохирургии. Он обеспечивает волюметрический мониторинг в режиме реального времени посредством анализа показателей транспульмонального разведения индикатора. Помимо сердечного выброса, технология также позволяет оценивать конечный диастолический объем всех полостей сердца, что является индикатором уровня преднагрузки. Однако в отличие от эхокардиографии такой подход не дает возможности точно оценить структуру и функцию правых и левых отделов сердца. При низких показателях сердечного выброса (менее 2 л/мин) представляемые данные теряют репрезентативность. Кроме того, вследствие прерывистого характера регистрации показателей метод нечувствителен к кратковременным изменениям, вызванным, например, при помощи теста с пассивным подъемом ног или окклюзионного теста в конце выдоха [18].

Чреспищеводная эхокардиография

Интраоперационное применение чреспищеводной эхокардиографии (ЧПЭхоКГ) способно дать представление о структуре и функции желудочкового комплекса, гемодинамических параметрах (уровне волемии, сердечного выброса), состоянии клапанного аппарата, наличии патологического сброса крови, возникновении тампонады и острых аортальных синдромов. Среди регистрируемых эхокардиографией параметров Fayad и Shillcutt (2018) отмечают важность оценки преднагрузки. Так, уменьшение полости ЛЖ, т. е. изменение конечно-систолического и диастолического размеров ЛЖ по сравнению с исходным уровнем, или облитерация полости ЛЖ во время систолы могут быть следствием гиповолемии [18]. Глобальная систолическая функция ЛЖ, являясь важным фактором стабильности гемодинамики, тоже может быть косвенно оценена с помощью метода эхокардиографии путем анализа вариабельности объема ЛЖ или измерения сердечного выброса, систолического индекса сократимости и глобальной продольной деформации со speckle-tracking эхокардиографией [19]. ЧПЭхоКГ позволяет измерять сердечный выброс, используя различные способы 2D- и 3D-визуализации.

При этом расчет СВ при помощи 2D-доплерографии осуществляется по формулам:

$$УО = ПСА \times ИЛС;$$

$$СВ = УО \times ЧСС;$$

$$\text{Сердечный индекс} = СВ / ППТ,$$

где: УО — ударный объем; ПСА — поперечное сечение аорты; ИЛС — интеграл линейной скорости; СВ — сердечный выброс; ЧСС — частота сердечных сокращений; ППТ — площадь поверхности тела [20]. Отмечено также, что периоперационный ЧПЭхоКГ-мониторинг полезен в обнаружении ослабления сердечной функции во время периодов коронарной окклюзии, о чем свидетельствуют ослабление сокращений, дилатация желудочков, а также увеличение митральной или трикуспидальной регургитации (рис. 2, рис. 3) [21, 22].

Особенностями операций коронарного шунтирования на работающем сердце являются гемодинамические нарушения в период вертикализации или смещения сердца вследствие компрессии камер, ишемии или изменения геометрии митрального кольца. Решающим фактором для принятия решения о воздействии на ге-

модинамику является точность оценки ее состояния анестезиологом и успешность его коммуникации с хирургом. В этих условиях применение традиционных методов мониторинга становится недостаточным, а использование чреспищеводной эхокардиографии предоставляет анестезиологу полноценную информацию, необходимую для интраоперационной оценки ключевых гемодинамических параметров в режиме реального времени. Авторы последних исследований отмечают, что при операциях реваскуляризации на работающем сердце ЧПЭхоКГ-мониторинг способен заранее предсказать приближение коллаптоидного состояния. Повышение давления наполнения на фоне диастолической дисфункции свидетельствуют о вероятности развития ее декомпенсации и, как следствие, диастолической сердечной недостаточности [23, 24].

Стратегии периоперационной инфузионной терапии

Долгое время бытовало распространенное мнение, что хирургическое вмешательство требует агрессивного подхода в восполнении потерянной жидкости, что легло в основу либеральной стратегии инфузионной

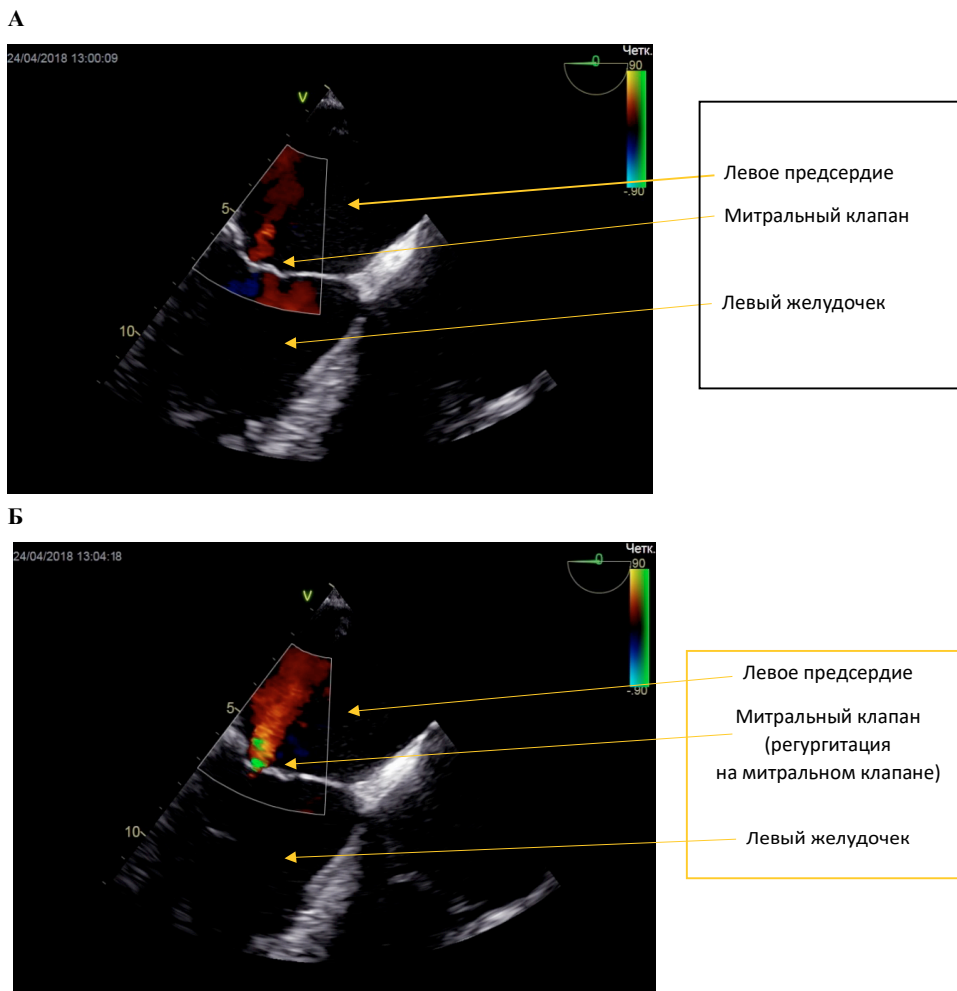
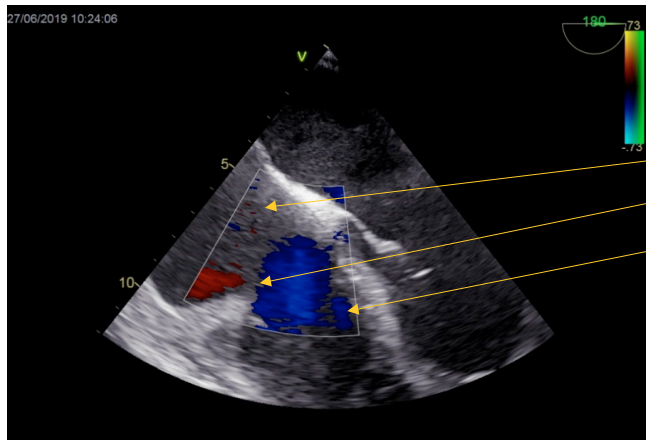


Рис. 2. Митральная регургитация. Исходная картина (А) и появление регургитации при изменениях на 5-ой минуте пережатия коронарной артерии (Б). Режим цветового доплеровского картирования. Изображения из архива авторов

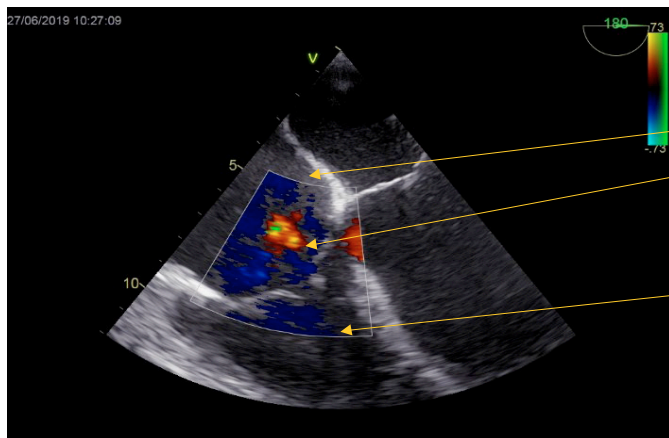
Fig. 2. Mitral regurgitation. Initial picture (A) and the appearance of regurgitation at the 5th minute of coronary artery clamping (B). Color Doppler mapping mode. Images from the archives of the authors

А



Правое предсердие
Трикуспидальный клапан
Правый желудочек

Б



Правое предсердие
Трикуспидальный клапан (регрurgитация на трикуспидальном клапане)
Правый желудочек

Рис. 3. Трикуспидальная регургитация. Исходная картина (А) и появление регургитации на трикуспидальном клапане (Б). Эхокардиография на 4-ой минуте после пережатия коронарной артерии в режиме цветового доплеровского картирования. Изображения из архива авторов

Fig.3. Tricuspid regurgitation. The initial picture (A) and the appearance of regurgitation on the tricuspid valve (B). Echocardiography at the 4th minute of coronary artery clamping in color Doppler mode. Images from the archives of the authors

терапии. Впоследствии было доказано, что негативные эффекты предоперационного обезвоживания практически полностью нивелируется за счет сокращения времени голодания и перорального введения жидкостей за 2 ч до операции. Концепция потери жидкости в «третьем пространстве» была опровергнута. Многочисленными исследованиями подтверждено, что агрессивная избыточная инфузионная нагрузка не только не нужна, но и пропорционально увеличивает риск заболеваемости и смертности [25, 26].

Рестриктивный режим интраоперационной инфузионной терапии, позволяющий избежать гиповолемии, долгое время характеризовался авторами как инструмент снижения частоты осложнений после операции. В большинстве исследований такой подход ассоциировался с лучшими результатами, чем при традиционной либеральной стратегии или применении фиксированных объемов при большинстве плановых хирургических процедур [27, 28]. Однако различия в дизайнах исследований привели к противоречивым результатам [29, 30]. Исследование RELIEF, результаты которого были опубликованы в 2018 г., является крупнейшим на сегодняшний день, сравнивающим рестриктивный

и либеральный подходы. Первичный результат выживания без инвалидизации через 1 год не отличался между двумя группами. Однако пациенты в группе рестриктивной терапии имели значительно более высокую частоту острого повреждения почек (8,6 vs 5 %), заместительной почечной терапии (0,9 vs 0,3 %) и инфекционных поражений (16,5 vs 13,6 %) [31].

После выхода исследования Rivers et al. (2001) долгое время «золотой серединой» между рестриктивным и либеральным подходами считалась концепция индивидуальной целенаправленной инфузионной терапии (goal-directed therapy — GDT), которая заключается в оптимизации нагрузки на основе оценки показателей конкретного пациента в режиме реального времени. При таком подходе используются методы мониторинга, помогающие назначить адекватную инфузионную терапию, инотропы и вазопрессоры в целях индивидуальной оптимизации внутрисосудистого объема для обеспечения максимальной доставки кислорода к тканям [32]. В рандомизированных клинических исследованиях было показано, что стратегия GDT улучшала исход по сравнению с другими инфузионными режимами вследствие направленности на поддержание нормово-

лемии [33, 34]. Однако, по данным крупного систематического метаанализа, большая часть таких исследований на сегодняшний день не имеет достаточного уровня доказательной базы. Более того, в работах, связанных с кардиохирургическими и urgentными вмешательствами, многие авторы вовсе не смогли выявить статистически значимых преимуществ подхода [35]. В исследовании, объединившем данные 2910 пациентов, авторы также пришли к заключению, что классическая концепция целенаправленного жидкостного баланса не имеет достоверных различий по сравнению со стандартными подходами, за исключением более выраженного уменьшения концентрации лактата крови. Значительное снижение ранних и поздних послеоперационных осложнений авторы связывают с включением в тактику GDT дополнительных параметров оптимизации, таких как оценка сердечного выброса и сердечного индекса [36]. Большинство исследователей сходится во мнении, что клиническая гетерогенность исследуемых групп пациентов не позволяет делать однозначных выводов об эффективности стратегий инфузионной терапии. Более того, вариативность целенаправленной периоперационной поддержки в каждом отдельном случае, включая типы устройств мониторинга, инфузионных жидкостей, используемых гемодинамических параметров, многообразие инотропных и вазоактивных агентов, объясняют полярность мнений о пользе применения той или иной тактики в различных ситуациях [37–39].

Особенности гемодинамики и ведения периоперационной инфузионной терапии у кардиохирургических больных и, в частности, при операциях реваскуляризации миокарда на работающем сердце

Характер патофизиологических процессов при кардиохирургических вмешательствах в сравнении с некардиальными операциями имеет ряд отличительных особенностей, включающих ишемически-перфузионные и специфические хирургические повреждения, нарушения реологических свойств крови и системной гемодинамики. Ряд исследований свидетельствует о сложности изменений гемодинамических параметров во время проведения операций реваскуляризации на работающем сердце, а также после нее [2]. Анестезиолог должен быть готов к возникновению выраженных нарушений кровообращения, острой интраоперационной миокардиальной ишемии и временному ухудшению сократительной функции сердца при подобных вмешательствах. В его арсенале при таком стечении обстоятельств оказывается применение волемической нагрузки, положения Тренделенбурга, смещения сердца во вскрытую правую плевральную полость, инфузии инотропов, вазопрессоров, вазодилаторов, внутриаргальной баллонной контрпульсации и поддержки

кровообращения в правых отделах сердца. По данным Saleh et al., чаще всего гемодинамические нарушения во время операций реваскуляризации на работающем сердце возникают при анастомозах задней нисходящей артерии и артерии тупого края [40]. Важно помнить также, что кардиохирургические вмешательства в условиях искусственного кровообращения и без него связаны с широким спектром микроциркуляторных изменений и снижением оксигенации тканей. Эти изменения являются результатом как непосредственно оперативного вмешательства и анестезии, так и явлений гипотермии, гемодилюции, ишемического и реперфузионного повреждения, длительной искусственной вентиляции легких, системной гепаринизации, нарушения коагуляции, образования микроэмболов и развития воспалительной реакции [41, 42]. Кроме того, исследования демонстрируют, что общий объем инфузии достоверно снижается в группах пациентов с контролем терапии на основе состояния микрососудистого кровотока, при том, что волемическая перегрузка ассоциирована с повышенным риском неблагоприятных исходов [43].

Индивидуализированный подход, включающий оценку конкретной ситуации, показаний, целей, сроков, стратегий и объема инфузии, а также типа инфузионного раствора, особенно важен для кардиохирургических пациентов, поскольку для них характерны специфические и, порой, внезапно возникающие отклонения в гемодинамике [44, 45]. Необходимо точно установить скорость введения, конечные точки и пределы безопасности волемической нагрузки, а также возможность последующего использования вспомогательной терапии, включающей вазоактивные препараты (вазопрессоры, вазодилаторы) и инотропную поддержку [46–48]. Помимо этого, существуют определенные состояния, требующие особой тактики в применении инфузионной нагрузки: наличие поражений легких, прогрессирующая диастолическая дисфункция и поражения клапанного аппарата средней тяжести и выше. При наличии повреждения легких и дисфункции правого желудочка (ПЖ) имеет место расширение и удлинение систолы правого желудочка в результате прогрессирующей декомпенсации, а систолическое давление ПЖ приближается к таковому в ЛЖ. Это вызывает смещение перегородки влево, что еще более усугубляется введением инфузионной нагрузки [49, 50]. Состояние диастолической дисфункции, являющееся нередким у кардиохирургических больных, привлекает к себе все большее внимание, поскольку исследователи неоднократно определяли ее как фактор неблагоприятных исходов при различных состояниях. Оставаясь зачастую вовремя не диагностированной, диастолическая дисфункция желудочков несет значительное бремя заболеваемости и смертности. Наиболее остро эта проблема проявляется в периоперационном периоде [51, 52]. Особого внимания также требует наличие значительных поражений клапанов сердца. У таких пациентов ударный объ-

ем имеет пониженную вариабельность, а гемодинамические признаки волемического дефицита могут быть стерты. В этих условиях технологии мониторинга состояния в реальном времени позволяют интегрировать большую часть информации, необходимой для принятия решения об оптимизации инфузионной терапии [53–54].

Заключение

Данные мировой литературы демонстрируют, что, несмотря на стремительное развитие технологий, вопросы оптимизации инфузионной терапии при операциях реваскуляризации недостаточно изучены. Консенсус в вопросах преимуществ и недостатков существующих стратегий инфузионной терапии, методов волюметрического мониторинга и коррекции нарушений на сегодняшний момент также не найден.

Тем не менее исследователи сходятся во мнении, что дозированная инфузионная нагрузка является мощным инструментом для стабилизации гемодинамики, а отлаженная тактика мониторинга параметров для успешного взаимодействия анестезиолога и хирурга — это залог эффективности прогрессивных методов операций на сердце у пациентов высокого риска. Использование индивидуального подхода с возможностью коррекции изменений гемодинамики в режиме реального време-

ни представляется надежным инструментом снижения уровня периоперационных осложнений и смертности. В этом аспекте мы считаем использование ЧПЭхоКГ-мониторинга практически идеальным инструментом в руках анестезиологической бригады при операциях прямой реваскуляризации миокарда.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Disclosure. The authors declare that they have no competing interests.

Вклад авторов. Батигян О.А., Лебедева Е.А., Мартынов Д.В. — разработка концепции статьи, получение и анализ фактических данных, написание и редактирование текста статьи, проверка и утверждение текста статьи.

Author contribution. Batigyan O.A., Lebedeva E.A., Martynov D.V. - all authors according to the ICMJE criteria participated in the development of the concept of the article, obtaining and analyzing factual data, writing and editing the text of the article, checking and approving the text of the article.

ORCID авторов

Батигян О.А. — 0000-0002-7548-3292

Лебедева Е.А. — 0000-0001-8375-7743

Мартынов Д.В. — 0000-0003-3644-5274

Литература/References

- [1] Shaefi S., Mittel A., Loberman D., Ramakrishna H. Off-Pump Versus On-Pump Coronary Artery Bypass Grafting—A Systematic Review and Analysis of Clinical Outcomes. *J Cardiothorac Vasc Anesth.* 2019; 33(1): 232–44. DOI: 10.1053/j.jvca.2018.04.012
- [2] Gaudino M., Angelini G.D., Antoniadis C., et al. Off-Pump Coronary Artery Bypass Grafting: 30 Years of Debate. *J Am Heart Assoc.* 2018; 7(16): e009934. DOI: 10.1161/JAHA.118.009934
- [3] Jacob M., Chappell D., Rehm M. The 'third space' fact or fiction? *Best Pract Res Clin Anaesthesiol.* 2009; 23: 145–57.
- [4] Kendrick J.B., Kaye A.D., Tong Y., et al. Goal-directed fluid therapy in the perioperative setting. *J Anaesthesiol Clin Pharmacol.* 2019; 35: 29–34. DOI: 10.4103/joacp.JOACP_26_18
- [5] Lomivorotov V.V., Efremov S.M., Kirov M.Y., et al. Low-Cardiac-Output Syndrome After Cardiac Surgery. *Journal of Cardiothoracic and Vascular Anesthesia.* 2017; 31(1): 291–308. DOI: 10.1053/j.jvca.2016.05.029
- [6] Marik P.E., Baram M., Vahid B. Does central venous pressure predict fluid responsiveness? A systematic review of the literature and the tale of seven mares. *Chest.* 2008; 134: 172–8. DOI: 10.1378/chest.07-2331
- [7] Danielsson E.J.D., Lejbman I., Åkeson J. Fluid deficits during prolonged overnight fasting in young healthy adults. *Acta Anaesthesiol Scand.* 2019; 63(2): 195–9. DOI: 10.1111/aas.13254
- [8] Miller T.E., Myles P.S. Perioperative Fluid Therapy for Major Surgery. *Anesthesiology.* 2019; 130(5): 825–32. DOI: 10.1097/ALN.000000000000260
- [9] Lee C.W., Kory P.D., Arntfield R.T. Development of a fluid resuscitation protocol using inferior vena cava and lung ultrasound. *J Crit Care.* 2016; 31(1): 96–100. DOI: 10.1016/j.jcrc.2015.09.016
- [10] Jozwiak M., Monnet X., Teboul J.L. Pressure Waveform Analysis. *Anesth Analg.* 2018; 126(6): 1930–3. DOI: 10.1213/ANE.0000000000002527
- [11] Atallah H.A., Gaballah K.M., Khattab A.N.A. Fluid responsiveness in hemodynamically unstable patients: a systematic review. *Menoufia Medical Journal.* 2019; 32: 397–404. DOI: 10.4103/mmj.mmj_8_182019
- [12] Monnet X., Teboul J.L. Transpulmonary thermodilution: advantages and limits. *Crit Care.* 2017; 21(1): 147. DOI: 10.1186/s13054-017-1739-5

- [13] Peake S.L., Delaney A., Bellomo R.; ARISE Investigators. Goal-directed resuscitation in septic shock. *N Engl J Med.* 2015; 372(2): 190–1. DOI: 10.1056/NEJMc1413936
- [14] Marik P.E. Fluid Responsiveness and the Six Guiding Principles of Fluid Resuscitation. *Crit Care Med.* 2016; 44(10): 1920–2. DOI: 10.1097/CCM.0000000000001483
- [15] Monnet X., Teboul J.L. Passive leg raising: five rules, not a drop of fluid! *Crit Care.* 2015; 19(1): 18. DOI: 10.1186/s13054-014-0708-5
- [16] Dong Z.Z., Fang Q., Zheng X., Shi H. Passive leg raising as an indicator of fluid responsiveness in patients with severe sepsis. *World J Emerg Med.* 2012; 3(3): 191–6. DOI: 10.5847/wjem.j.issn.1920-8642.2012.03.006
- [17] Monnet X., Marik P., Teboul J.L. Passive leg raising for predicting fluid responsiveness: a systematic review and meta-analysis. *Intensive Care Med.* 2016; 42(12): 1935–47. DOI: 10.1007/s00134-015-4134-1
- [18] Fayad A., Shillcutt S.K. Perioperative transesophageal echocardiography for non-cardiac surgery. *L'échocardiographie transœsophagienne périopératoire pour les chirurgies non cardiaques.* *Can J Anaesth.* 2018; 65(4): 381–98. DOI: 10.1007/s12630-017-1017-7
- [19] Chengode S. Left ventricular global systolic function assessment by echocardiography. *Ann Card Anaesth.* 2016; 19(Supplement): S26–S34. DOI: 10.4103/0971-9784.192617
- [20] Muralidhar K. Utility of perioperative transesophageal echocardiography. *Ann Card Anaesth.* 2016; 19(Supplement): S2–S5. DOI: 10.4103/0971-9784.192573
- [21] Kapoor P.M., Chowdhury U., Mandal B., et al. Transesophageal echocardiography in off-pump coronary artery bypass grafting. *Ann Card Anaesth.* 2009; 12(2): 174–4. DOI: 10.4103/0971-9784.534382009
- [22] Hahn R.T., Abraham T., Adams M.S., et al. Guidelines for performing a comprehensive transesophageal echocardiographic examination: recommendations from the American Society of Echocardiography and the Society of Cardiovascular Anesthesiologists. *Anesth Analg.* 2014; 118(1): 21–68. DOI: 10.1213/ANE.0000000000000016
- [23] Patil T.A., Santosh Kumar Ambli, Vaishali S.B. Trans-esophageal echocardiography during off-pump coronary artery bypass grafting. *J Indian Acad Echocardiogr Cardiovasc Imaging.* 2019; 3(1): 12–6. DOI: 10.4103/jiae.jiae_38_18
- [24] Borde D.P., Asegaonkar B., Apsingekar P., et al. Monitoring diastolic dysfunction using a simplified algorithm in patients undergoing off-pump coronary artery bypass grafting surgery. *Ann Card Anaesth.* 2016; 19(2): 231–9. DOI: 10.4103/0971-9784.179591
- [25] Al-Ghamdi A.A. Intraoperative fluid management: Past and future, where is the evidence? *Saudi J Anaesth.* 2018; 12(2): 311–7. DOI: 10.4103/sja.SJA_689_17
- [26] Nieto O.R. P., Wong A., Fermin L., Lopez E.I.Z. Aiming for zero fluid accumulation: First? Do not harm. *Anesthesiology Intensive Therapy.* 2021; 53: 162–76. DOI 10.5114/ait.2021.105252207
- [27] Myles P., Bellomo R., Corcoran T., et al. Restrictive versus liberal fluid therapy in major abdominal surgery (RELIEF): rationale and design for a multicentre randomised trial. *BMJ Open.* 2017; 7(3): e015358. DOI: 10.1136/bmjopen-2016-015358
- [28] Finfer S., Myburgh J., Bellomo R. Intravenous fluid therapy in critically ill adults. *Nat Rev Nephrol.* 2018; 14(11): 717. DOI: 10.1038/s41581-018-0060-0
- [29] Chen B.P., Chen M., Bennett S., et al. Systematic Review and Meta-analysis of Restrictive Perioperative Fluid Management in Pancreaticoduodenectomy. *World J Surg.* 2018; 42(9): 2938–50. DOI: 10.1007/s00268-018-4545-6
- [30] Jia F.J., Yan Q.Y., Sun Q., et al. Liberal versus restrictive fluid management in abdominal surgery: a meta-analysis. *Surg Today.* 2017; 47(3): 344–56. DOI: 10.1007/s00595-016-1393-6
- [31] Myles P.S., Bellomo R., Corcoran T., et al. Restrictive versus Liberal Fluid Therapy for Major Abdominal Surgery. *N Engl J Med.* 2018; 379(13): 1283. DOI: 10.1056/NEJMc1810465
- [32] Rivers E., Nguyen B., Havstad S., et al. Early goal-directed therapy in the treatment of severe sepsis and septic shock. *N Engl J Med.* 2001; 345: 1368–77.
- [33] Phan T.D., D'Souza B., Rattray M.J., et al. A randomised controlled trial of fluid restriction compared to oesophageal Doppler-guided goal-directed fluid therapy in elective major colorectal surgery within an enhanced recovery after surgery program. *Anaesth Intensive Care.* 2014; 42: 752–60.
- [34] Hasanin A., Mourad K.H., Farouk I., et al. The Impact of Goal-Directed Fluid Therapy in Prolonged Major Abdominal Surgery on Extravascular Lung Water and Oxygenation: A Randomized Controlled Trial. *Open Access Maced J Med Sci.* 2019; 7(8): 1276–81. DOI: 10.3889/oamjms.2019.173
- [35] Chong M.A., Wang Y., Berbenetz N.M., McConachie I. Does goal-directed haemodynamic and fluid therapy improve peri-operative outcomes?: A systematic review and meta-analysis. *Eur J Anaesthesiol.* 2018; 35(7): 469–83. DOI: 10.1097/EJA.0000000000000778
- [36] Qi-Wen D., Wen-Cheng T., Bing-Cheng Z., et al. Is goal-directed fluid therapy based on dynamic variables alone sufficient to improve clinical outcomes among patients undergoing surgery? A meta-analysis. *Critical Care.* 2018; 22: 298. DOI: 10.1186/s13054-018-2251-2
- [37] Calvo-Vecino J.M., Ripollés-Melchor J., Mythen M.G., et al. Effect of goal-directed haemodynamic therapy on postoperative complications in low-moderate risk surgical patients: a multicentre randomised controlled trial (FEDORA trial). *Br J Anaesth.* 2018; 120(4): 734–44. DOI: 10.1016/j.bja.2017.12.018
- [38] Kaufmann T., Clement R.P., Scheeren T.W.L., et al. Perioperative goal-directed therapy: A systematic review without meta-analysis. *Acta Anaesthesiol Scand.* 2018; 62: 1340–55. DOI: 10.1111/aas.13212
- [39] Schmid S., Kapfer B., Heim M., et al. Algorithm-guided goal-directed haemodynamic therapy does not improve renal function after major abdominal surgery compared to good standard clinical care: a prospective randomised trial. *Crit Care.* 2016; 20: 50. DOI: 10.1186/s13054-016-1237-1
- [40] Saleh R., Mohamed E.L., Gamil K., et al. Hemodynamic Changes during Off-Pump Coronary Artery Bypass Graft. *Al-Azhar Med. J.* 2011; 40(4): 879–88.
- [41] Kara A., Akin S., Ince C. The response of the microcirculation to cardiac surgery. *Curr Opin Anaesthesiol.* 2016; 29(1): 85–93. DOI: 10.1097/ACO.0000000000000280

- [42] *Bennett V.A., Cecconi M.* Perioperative fluid management: From physiology to improving clinical outcomes. *Indian J Anaesth.* 2017; 61(8): 614–21. DOI: 10.4103/ija.IJA_456_17
- [43] *van Haren F.* Personalised fluid resuscitation in the ICU: still a fluid concept? *Crit Care.* 2017; 21(Suppl 3): 313. DOI: 10.1186/s13054-017-1909-5
- [44] *Mathis M.R., Duggal N.M., Likosky D.S., et al.* Intraoperative Mechanical Ventilation and Postoperative Pulmonary Complications after Cardiac Surgery *Anesthesiology.* 2019; 131(5): 1046–62. DOI: 10.1097/ALN.0000000000002909
- [45] *Cecconi M., Hernandez G., Dunser M., et al.* Fluid administration for acute circulatory dysfunction using basic monitoring: narrative review and expert panel recommendations from an ESICM task force. *Intensive Care Med.* 2019; 45(1): 21–32. DOI: 10.1007/s00134-018-5415-2
- [46] *Toscani L., Aya H.D., Antonakaki D., et al.* What is the impact of the fluid challenge technique on diagnosis of fluid responsiveness? A systematic review and meta-analysis. *Crit Care.* 2017; 21(1): 207. DOI: 10.1186/s13054-017-1796-9
- [47] *Piccioni F., Bernasconi F., Tramontano G.T.A., Langer M.* A systematic review of pulse pressure variation and stroke volume variation to predict fluid responsiveness during cardiac and thoracic surgery. *J Clin Monit Comput.* 2017; 31(4): 677–84. DOI: 10.1007/s10877-016-9898-5
- [48] *Harjola V.P., Mebazaa A., Čelutkienė J., et al.* Contemporary management of acute right ventricular failure: a statement from the Heart Failure Association and the Working Group on Pulmonary Circulation and Right Ventricular Function of the European Society of Cardiology. *Eur J Heart Fail.* 2016; 18(3): 226–41. DOI: 10.1002/ejhf.478
- [49] *Sanfilippo F., Scolletta S.* Fluids in cardiac surgery: sailing calm on a stormy sea? Common sense is the guidance. *Minerva Anesthesiol.* 2017; 83(6): 537–9. DOI: 10.23736/S0375-9393.17.11990-5
- [50] *Kaw R., Hernandez A.V., Pasupuleti V., et al.* Effect of diastolic dysfunction on postoperative outcomes after cardiovascular surgery: A systematic review and meta-analysis. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2017; 152(4): 1142–53. DOI: 10.1016/j.jtcvs.2016.05.057
- [51] *Metkus T.S., Suarez-Pierre A., Crawford T.C., et al.* Diastolic dysfunction is common and predicts outcome after cardiac surgery. *J Cardiothorac Surg.* 2018; 13(1): 67. DOI: 10.1186/s13019-018-0744-3
- [52] *Smith P.K., Puskas J.D., Ascheim D.D., et al.* Surgical treatment of moderate ischemic mitral regurgitation. *N Engl J Med.* 2014; 371: 2178–88. DOI: 10.1056/NEJMoa1410490
- [53] *Meineri M.* Transesophageal echocardiography: what the anesthesiologist has to know. *Minerva Anesthesiol.* 2016; 82: 895–907.