

Механическая поддержка кровообращения у пациентов с терминальной сердечной недостаточностью: обзор литературы (часть 1)

М.Ш. Хубутия¹, А.С. Токарев¹, Н.В. Рубцов¹, М.В. Исрапиев² ✉, Л.Г. Хуцишвили^{1, 2}, М.А. Сагиров¹, И.А. Аргир^{1, 2}

Организационно-методический отдел по стационарной помощи

¹ ГБУЗ «Научно-исследовательский институт скорой помощи им. Н.В. Склифосовского ДЗМ»

129090, Российская Федерация, Москва, Большая Сухаревская пл., д. 3

² ГБУ «Научно-исследовательский институт организации здравоохранения и медицинского менеджмента ДЗМ»

115088, Российская Федерация, Москва, ул. Шарикоподшипниковская, д. 9

✉ **Контактная информация:** Исрапиев Магомед Вахарсолтович, специалист организационно-методического отдела по стационарной помощи ГБУ НИИОЗММ ДЗМ. Email: israpievmv@mos.ru

РЕЗЮМЕ

Хроническая сердечная недостаточность (ХСН) является прогрессирующим и необратимым синдромом, формирующимся на фоне структурных и функциональных нарушений сердца. Она сопровождается снижением сердечного выброса, перегрузкой давлением и высоким уровнем госпитализаций, что делает ХСН одной из ключевых медико-социальных проблем современности. В последние десятилетия распространённость ХСН неуклонно растёт, особенно среди пожилого населения, что связано с увеличением продолжительности жизни и улучшением качества медицинской помощи. По прогнозам, к 2050 году число пациентов возрастёт на 50–60% по сравнению с 2010 годом.

Терминальная стадия ХСН отличается крайне неблагоприятным прогнозом: выживаемость не превышает 25–30%. Трансплантация сердца (ТС) остаётся единственным радикальным методом лечения, способным существенно улучшить выживаемость и качество жизни. Однако дефицит донорских органов и рост числа пациентов обуславливают необходимость использования методов механической поддержки кровообращения (МПК) как временной или долговременной альтернативы.

Системы МПК выполняют роль «моста» к трансплантации, позволяя стабилизировать гемодинамику и поддерживать функцию органов до проведения операции. Наиболее распространёнными технологиями кратковременной поддержки являются экстракорпоральная мембранная оксигенация (ЭКМО), внутриаортальная баллонная контрпульсация (ВАБК) и временные осевые насосы (*Impella*, *TandemHeart*). ЭКМО обеспечивает как респираторную, так и гемодинамическую поддержку, однако связана с высоким риском осложнений и относительно низкой выживаемостью. ВАБК – наиболее доступный метод, позволяющий улучшить коронарную перфузию, но дающий ограниченную поддержку. Устройства *Impella* демонстрируют более высокую эффективность, разгружая левый желудочек и улучшая системную гемодинамику, при этом характеризуются меньшим числом осложнений. *TandemHeart* обеспечивает сопоставимый эффект, но требует более сложной техники установки.

Выбор метода МПК зависит от состояния пациента, тяжести полиорганной дисфункции, доступности оборудования и квалификации специалистов. Современные исследования подтверждают, что комбинация различных устройств (например, ЭКМО и *Impella*) может улучшать исходы.

Таким образом, МПК занимает центральное место в лечении терминальной сердечной недостаточности в условиях ограниченного донорского ресурса, позволяя выиграть время до трансплантации и снизить летальность в листе ожидания.

Ключевые слова:

сердечная недостаточность, вспомогательное кровообращение, искусственное кровообращение, механическая поддержка кровообращения, искусственные желудочки сердца, левожелудочковый обход, ЭКМО

Ссылка для цитирования

Хубутия М.Ш., Токарев А.С., Рубцов Н.В., Исрапиев М.В., Хуцишвили Л.Г., Сагиров М.А. и др. Механическая поддержка кровообращения у пациентов с терминальной сердечной недостаточностью: обзор литературы (часть 1). *Журнал им. Н.В. Склифосовского неотложной медицинской помощи*. 2025;14(3):586–600. <https://doi.org/10.23934/2223-9022-2025-14-3-586-600>

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Благодарность, финансирование

Исследование не имеет спонсорской поддержки

АВК-Н — аппарат вспомогательного кровообращения носимый
 АД — артериальное давление
 БВУВК — бивентрикулярное устройство вспомогательного кровообращения
 ВАБК — внутриаортальная баллонная контрпульсация
 ВА-ЭКМО — вено-артериальная экстракорпоральная мембранная оксигенация
 ВВ-ЭКМО — вено-венозная экстракорпоральная мембранная оксигенация
 ИВЛ — искусственная вентиляция лёгких
 ИЖС — искусственные желудочки сердца
 ЛЖ — левый желудочек
 ЛЖО — левожелудочковый обход
 ЛЖУВК — левожелудочковое устройство вспомогательного кровообращения
 МПК — механическая поддержка кровообращения

ННП — насосы неппульсирующего потока
 ОР — отношение рисков
 ОШ — отношение шансов
 ПЖ — правый желудочек
 ПЖУВК — правожелудочковое устройство вспомогательного кровообращения
 СН — сердечная недостаточность
 ТС — трансплантация сердца
 ФК — функциональный класс
 ХСН — хроническая сердечная недостаточность
 ЧКВ — чрескожное коронарное вмешательство
 ЭКМО — экстракорпоральная мембранная оксигенация
 INTERMACS — *Interagency Registry for Mechanically Assisted Circulatory Support*
 NYHA — *New York Heart Association*
 UNOS — *United Network for Organ Sharing*

ВВЕДЕНИЕ

Хроническая сердечная недостаточность (ХСН) — прогрессирующее и необратимое состояние, которое представляет собой клинический синдром, вызванный нарушением структуры и (или) функции сердца, что приводит к снижению сердечного выброса и (или) повышению давления наполнения сердца в покое или при нагрузке [1–3]. Важно понимать, что ХСН — это не самостоятельное заболевание, а комплекс симптомов, характерный для лиц, находящихся на завершающих стадиях развития сердечно-сосудистых патологий. С практической точки зрения это означает, что лица с ХСН — чаще всего пожилые люди с коморбидной патологией, адаптационные резервы организма которых уже во многом исчерпаны [4–6].

АКТУАЛЬНОСТЬ

На сегодняшний день, по мнению многих авторов, распространённость ХСН настолько высока, что можно уже с уверенностью говорить об эпидемии [7]. Считается, что в общемировой популяции распространённость ХСН у лиц старше 18 лет составляет 1–2% [7, 8]. В то же время в метаанализе, основанном на эхокардиографических скрининговых исследованиях, в котором распространённость ХСН анализировали с учётом ранее нераспознанных случаев, приводятся ещё более высокие цифры — распространённость ХСН среди населения в целом составляла 4,2%, а у лиц старше 65 лет достигала 11,8% [9]. То, что ХСН в первую очередь бремя пожилых людей, подтверждается и данными других исследований [8, 10].

В современном научном сообществе увеличение распространённости ХСН связывают с увеличением численности населения и ожидаемым ростом продолжительности жизни в совокупности с улучшением качества медицинской помощи [4]. В свете этих факторов к 2050 году, в сравнении с 2010, ожидается увеличение распространённости ХСН ещё на 50–60% [11, 12].

По данным эпидемиологических исследований, проведённых в РФ, распространённость ХСН в общей российской популяции составляет 7%, в том числе клинически выраженной — 4,5%, а у лиц старше 90 лет этот показатель достигает 70% [4]. С начала нынешнего века в России общее количество больных с ХСН увеличилось в 2 раза, а число пациентов с терминальной стадией ХСН выросло в 3,4 раза [13].

В то же время в последние несколько десятилетий наблюдается общее снижение уровня заболеваемости

сердечной недостаточностью (СН) — приблизительно на 7%. Но здесь вызывает беспокойство наметившаяся тенденция к увеличению заболеваемости СН в популяциях младше 55 лет (в среднем на 12%). Очевидно, что при сохранении данной тенденции следует ожидать серьёзное увеличение бремени ХСН в будущем [8, 14].

Целью исследования является описание современных не имплантируемых методов вспомогательного кровообращения.

Задачами исследования является проведение анализа и изучение научной литературы о современных методах вспомогательного кровообращения и сравнение их между собой.

Объектом исследования является клиническая практика стандартов лечения терминальной стадии ХСН, а предметом исследования выступают методы кратковременной механической поддержки кровообращения (МПК).

ХСН характеризуется не только уменьшением продолжительности жизни, но и ухудшением её качества [7, 15]. С социально-экономической точки зрения наиболее серьёзной проблемой для любого государства является фактор множественных госпитализаций пациентов с ХСН [16]. В современном обществе от 2 до 5% от всех госпитализаций составляют госпитализации пациентов с ХСН [17, 18], а у лиц старше 65 лет ХСН является самым распространённым диагнозом при госпитализации [8, 19]. Примерно половина пациентов с ХСН госпитализируется по крайней мере один раз в течение первого года после постановки диагноза, 20% госпитализируются повторно в течение того же года, из которых более 80% будут повторно госпитализированы в течение следующих 5 лет [8, 16]. С учётом выживаемости таких пациентов и их качества жизни затраты на лечение и реабилитацию этого контингента пациентов весьма велики [4]. Например, в странах Европы и Северной Америке на долю ХСН приходится от 1,1 до 2,0% общих расходов на здравоохранение [7, 20].

Согласно недавнему метаанализу, включившему более 1,5 млн пациентов с ХСН всех типов, выживаемость в течение 1, 2, 5 и 10 лет в данной популяции пациентов составляла 87%, 73%, 57% и 35% соответственно [21]. Особенно опасными для жизни являются рефрактерные формы ХСН, где однолетняя выживаемость составляет не более 25% [13]. Примерно такая же выживаемость у лиц с терминальной стадией ХСН (по различным данным 20–29%) [10, 18, 22].

В настоящее время стандарты лечения пациентов с ХСН предполагают комбинированный подход, включающий фармакотерапию, ресинхронизирующую терапию и использование механических систем левожелудочкового обхода [13, 23–25]. Часто использование этих методов позволяет не только продлить жизнь пациента, но и сделать качество его жизни вполне приемлемым [25, 26].

Повышение выживаемости больных с терминальными стадиями ХСН и с её рефракторными формами до сих пор является крайне трудной задачей и часто требует привлечения различных агрессивных и дорогостоящих методов и стратегий терапии [4]. При отсутствии адекватной тактики ведения прогноз таких пациентов крайне неблагоприятный, и часто единственным выходом становится трансплантация сердца (ТС) [25]. В случае, если трансплантация проведена успешно, наблюдается значительное улучшение симптомов, гемодинамики, функции сердца и симпатической нервной активности [27, 28], а также увеличение средней выживаемости больных [29]. К сожалению, 95% таких операций приходится на Северную Америку и Западную Европу, в то время как в других странах ещё очень остро стоит проблема нехватки донорских органов [30, 31].

В условиях отсутствия необходимого количества донорских органов с одной стороны, а также увеличения числа пациентов с терминальной стадией СН с другой, ключевую роль в последние годы стала играть длительная и краткосрочная МПК, способная обеспечить эффективную коррекцию гемодинамических нарушений и органной функции у пациентов с терминальными стадиями СН и создать возможности для последующего успешного выполнения ТС [32].

Внедрение в клиническую практику методов МПК позволило существенно продлить период ожидания донорского органа. В этом случае системы МПК играют роль своеобразного «моста» к трансплантации (стратегия *“bridge to transplantation”*), либо донорского сердца, либо других устройств, предназначенных для длительной МПК [13, 28, 33].

Выбор оптимального метода предтрансплантационной МПК зависит прежде всего от тяжести состояния, имеющегося в распоряжении пациента времени, наличия у него коморбидных заболеваний и от тяжести гемодинамических нарушений [34].

В последние годы ведущим направлением МПК у реципиентов донорского сердца является использование имплантируемых систем длительного левожелудочкового обхода (ЛЖО) [32, 34]. Однако высокий риск развития послеоперационных осложнений после использования систем ЛЖО у некоторых категорий пациентов (выраженные полиорганые нарушения, серьёзные метаболические нарушения) заставляет искать другие, более безопасные и менее инвазивные стратегии МПК [35]. К ним относятся внутриаортальная баллонная контрпульсация (ВАБК); периферическая вено-артериальная экстракорпоральная мембранная оксигенация (ВА-ЭКМО), чрескожный трансфеморальный транссептальный обход левого желудочка (ЛЖ), осуществляемый с помощью центрифужного насоса (*TandemHeart*); чрескожная катетерная трансплантанная система с осевым насосом для объёмной разгрузки ЛЖ (*Impella 2.5; Impella CP; Impella 5.0/LD*) [34].

1. КРАТКОВРЕМЕННАЯ МЕХАНИЧЕСКАЯ ПОДДЕРЖКА КРОВООБРАЩЕНИЯ (НЕ ИМПЛАНТИРУЕМЫЕ МЕТОДЫ ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО КРОВООБРАЩЕНИЯ)

1.1. Экстракорпоральная мембранная оксигенация (методы ЭКМО, виды)

Экстракорпоральная мембранная оксигенация (ЭКМО) — это один из методов механической поддержки сердца, который представляет собой технологию сердечно-лёгочного обхода, обеспечивающего частичное или полное замещение газообмена в лёгких и насосной функции сердца [36]. Очевидно, что ЭКМО предполагает временный характер её использования, хотя в настоящее время пациенты могут быть подключены к аппарату ЭКМО в течение довольно длительного времени — иногда до нескольких недель [37].

Первые случаи клинического использования ЭКМО относятся к 70-м годам прошлого века [36]. Однако низкая эффективность метода ЭКМО и его недостаточная безопасность на тот момент не позволили внедрить ЭКМО в широкую клиническую практику [38, 39].

ЭКМО была заново открыта в 2009 году, во время пандемии гриппа *H1N1*. Активное использование ЭКМО стало возможным в свете развития технологий, благодаря которым удалось устранить существенные конструктивные недостатки аппаратов ЭКМО и сделать их более надёжными и безопасными [38–40]. На сегодняшний день ЭКМО, наряду с другими способами кратковременной МПК, стала достаточно обыденным явлением у пациентов с тяжёлыми формами СН [41].

Конструктивно аппарат ЭКМО состоит из оксигенатора, насоса, контура магистралей (канюлей) для подключения оксигенатора к крупным сосудам пациента, а также органов управления аппаратом и контроля его работы [38]. В зависимости от целей проведения и технического обеспечения выделяют две основные методики проведения ЭКМО — вено-венозная (ВВ-ЭКМО) и вено-артериальная (ВА-ЭКМО). В обоих вариантах канюли вводят в вены или артерии нижних конечностей, шеи или груди пациента и подключают к аппарату ЭКМО. Кровь по канюлям поступает из тела в оксигенатор, насыщается кислородом и освобождается от углекислого газа, а затем вновь возвращается в кровеносное русло пациента [37, 39].

В случае использования ВВ-ЭКМО основной получаемый эффект — протезирование функции газообмена в лёгких [38]. При ВА-ЭКМО пациенту обеспечивается не только респираторная поддержка, но и значительное улучшение основных параметров гемодинамики. После начала ЭКМО заметно снижается конечный диастолический объём правого желудочка (ПЖ), что приводит к уменьшению его ударного объёма. Одновременно возвращающийся поток ВА-ЭКМО повышает системное среднее артериальное давление (АД) и постнагрузку ЛЖ, а также поддерживает периферическую перфузию. При увеличении потока ЭКМО АД увеличивается, артериальное пульсовое давление снижается, одновременно уменьшается ударный объём ЛЖ, а продолжительность открытия аортального клапана сокращается [42, 43]. Здесь важным фактом является то, что, хотя ЭКМО может разгружать центральные вены, правое предсердие и ПЖ, она по сути не разгружает ЛЖ, особенно когда сократительная функция ЛЖ серьёзно нарушена. Фактически ЭКМО при слабо сокращающемся сердце может значительно увеличить конечное диастолическое давление и

напряжение стенки ЛЖ, что приводит к увеличению потребления кислорода миокардом и повышенной восприимчивости к некрозу, опосредованному ишемией [44].

При использовании ЭКМО в качестве моста для ТС, по возможности, используют периферическую ВА-ЭКМО. При этом способе забор и возврат крови осуществляется через канюли, установленные в периферические сосуды, таким образом сохраняя грудную клетку и полость перикарда интактными [45–47].

Надо сказать, что изменения политики UNOS, вступившие в силу в 2018 году, привели к резкому возрастанию частоты использования ЭКМО именно в контексте «моста» для ТС [30, 46]. Согласно этим изменениям, пациенты, находящиеся на ЭКМО, имеют более высокий приоритет в листе ожидания трансплантации по отношению к лицам, получающим МПК другими способами и пациентами на инотропной поддержке, а также могут получить в качестве донорского органа сердце с расширенными критериями [30, 41].

Последствия этого шага пока до конца не ясны, поскольку результаты немногочисленных исследований у лиц, которые предварительно, перед проведением ТС, получали ЭКМО, весьма неоднозначны [30, 48].

В 5 исследованиях применение центральной ЭКМО при рефрактерном кардиогенном шоке привело к госпитальной летальности порядка 26–42%. Среднее время поддержки составило 20 ± 20 дней. 25% пациентов получили в дальнейшем ЛЖО и почти все из них были успешно выписаны из стационара [49].

Russo et al. (2010) использовали ВА-ЭКМО (периферический и центральный способы подключения) в качестве первой линии лечения кардиогенного шока у 15 пациентов в возрасте $44,7 \pm 20,0$ лет. Средняя продолжительность ВА-ЭКМО составляла $11,5 \pm 8,1$ суток. В дальнейшем 80% пациентов либо перенесли ТС, либо получили искусственные желудочки сердца (ИЖС). Трое пациентов умерли во время ВА-ЭКМО по причине полиорганной недостаточности. Семь пациентов (46,6%) были выписаны из стационара в удовлетворительном состоянии. Основным предиктором выживаемости в этом исследовании был более молодой возраст [50].

В исследовании Спириной Е.А. и соавт. (2013) 17 пациентов перед ТС получали периферическую ВА-ЭКМО в течение 81 ± 17 часов, в дальнейшем ВА-ЭКМО была продолжена в послеоперационном периоде в течение $4,3 \pm 0,5$ суток. У 82,4% из 17 реципиентов использование ВА-ЭКМО было успешно прекращено в раннем послеоперационном периоде, 23,5% пациентов умерли, в том числе 3 — на фоне послеоперационного применения ВА-ЭКМО. Причинами смертельного исхода были сепсис, полиорганная недостаточность и внезапная остановка сердца [51].

Barth et al. (2012) сообщили о 100% однолетней выживаемости после ТС у 8 пациентов, получавших предварительно ВА-ЭКМО. Однако авторы отмечают высокий уровень серьёзных послеоперационных осложнений у всех пациентов. Неясно, связаны ли это осложнения с предварительным проведением ВА-ЭКМО, однако эта связь, по мнению авторов, вполне вероятна [52].

Попцов В.Н. и соавт. (2016) провели исследование, в котором приняли участие 63 человека с терминальной стадией ХСН. Выраженность ХСН соответствовала III функциональному классу (ФК) по NYHA у 46 боль-

ных (73,0%) и IV ФК у 17 (23,0%). В соответствии с алгоритмом UNOS неотложность выполнения ТС соответствовала 1А статусу у 10 пациентов (ВА-ЭКМО либо имплантируемый обход ЛЖ), Б статусу — у 21 пациента и 2 статусу — у 32. В 61,9% наблюдалось неосложнённое течение раннего послеоперационного и госпитального периодов. У 3,2% реципиентов имела место ранняя дисфункция трансплантата, потребовавшая применения ВА-ЭКМО. Осложнения, не связанные с дисфункцией трансплантата, развились у 38,1% реципиентов и включали почечную недостаточность (10%), почечно-печёночную недостаточность (6,3%), инфекционные осложнения (4,8%), дисциркуляторную энцефалопатию (14,3%). Госпитальная летальность (9,5%) была обусловлена синдромом полиорганной недостаточности и сепсисом. Выживаемость после 1 года составила 87,5%, 3 лет — 86,8%, 5 лет — 78,2% [53].

В исследовании Balasubramanya et al. (2014) 61 пациент получил ВА-ЭКМО. Общая выживаемость всех пациентов с ЭКМО составила 32,8%. Десять пациентов (16,4%) были отлучены от ЭКМО и 16 пациентов (26,2%) были в дальнейшем переведены на ЛЖО. Восемь пациентов перенесли ТС. Все 8 пациентов, перенесших ТС, были живы через 6 месяцев. Выживаемость пациентов, которые были переведены на ЛЖО, составила 62,5% [54].

Почти во всех исследованиях, где сравнивались различные системы МПК, использование ВА-ЭКМО было связано с меньшей выживаемостью, чем использование других систем. В исследовании Barge-Caballero et al. (2019) была изучена выживаемость пациентов после внесения в список на ТС. На момент включения в список 169 пациентов (58%) получали ВА-ЭКМО, 70 (24%) — левожелудочковое устройство вспомогательного кровообращения (ЛЖУВК) и 52 (18%) — бивентрикулярное устройство вспомогательного кровообращения (БВУВК). Семь пациентов в последующем перешли с ВА-ЭКМО на БВУВК, находясь в листе ожидания. Среднее время на МПК составило $13,1 \pm 12,6$ суток. В целом 230 пациентов (79%) в итоге перенесли ТС и 54 (18,6%) умерли во время получения МПК. Внутривенная послеоперационная летальность после трансплантации составила 33,3%, 11,9% и 26,2% для пациентов, получавших ВА-ЭКМО, ЛЖУВК и БВУВК соответственно ($p=0,008$). Общая выживаемость от внесения в лист до выписки из больницы составила 54,4%, 78,6% и 55,8% соответственно ($p=0,002$). Поддержка ЛЖУВК также была связана с более низким риском смерти в течение первого года после включения в список (отношение рисков — ОР 0,52). У пациентов, получавших ВА-ЭКМО, также наблюдалась самая высокая частота осложнений [55].

В исследовании Karamlou et al. (2013) было проанализировано 13 250 реципиентов донорского сердца, предварительно получавших различные способы поддержки. Первоначальные пути поддержки включали инотропы ($n=7607$), ЛЖУВК ($n=4034$), ВАБК ($n=729$), БВУВК ($n=521$), ЭКМО ($n=316$) и правожелудочковое устройство вспомогательного кровообращения (ПЖУВК) ($n=43$). Многопараметрический анализ показал преимущество ЛЖУВК в контексте выживаемости пациентов (ОР 0,71; $p<0,001$), тогда как использование всех других стратегий в той или иной степени повышало риск смерти после проведённой трансплантации [56].

В то же время пока остаётся открытым вопрос, является ли плохая выживаемость пациентов после

ЭКМО результатом непосредственно применения ВА-ЭКМО или же результатом изначально более тяжёлого состояния пациентов, получающих ВА-ЭКМО [46]. *Lund et al.* (2013) определяют предтрансплантационную временную МПК (в том числе и ЭКМО) как фактор риска смертельного исхода у реципиентов донорского сердца. Однако авторы исследования подчёркивают более тяжёлое состояние пациентов, получающих МПК и снижение летальности в листе ожидания [57].

В исследовании *Fukuhara et al.* (2018) всего у 107 пациентов в качестве моста к ТС было использовано ВА-ЭКМО (группа 1) и у 6148 — желудочковые устройства вспомогательного кровообращения (группа 2). Расчётная выживаемость после трансплантации составила 73,1% против 93,1% через 90 дней ($p < 0,001$) и 67,4% против 82,4% через 3 года ($p < 0,001$) соответственно. Однако выживаемость в этом исследовании в значительной степени зависела от наличия у реципиентов тяжёлой печёночной недостаточности, которая оказалась характерна для пациентов в группе, получавшей ВА-ЭКМО. К тому же пациенты, у которых в качестве моста для ТС была использована ВА-ЭКМО, изначально с большей вероятностью нуждались в инотропных препаратах и искусственной вентиляции лёгких, а также получили донорские сердца с повышенным риском отторжения [30].

В исследовании *Cho et al.* (2015) терминальная стадия болезни печени также была единственным независимым предиктором высокой посттрансплантационной смертности у пациентов, предварительно получавших ВА-ЭКМО. В то же время у других пациентов ожидаемая однолетняя выживаемость после ТС составила 91% [58]. В ряде других исследований значимыми предикторами долгосрочной выживаемости после получения ЭКМО также считалась тяжесть почечной недостаточности во время начала ЭКМО [44, 59].

В исследовании *Jasseron et al.* (2016) исследуемая группа состояла из пациентов, которым была назначена ВА-ЭКМО ($n=80$). В группы сравнения вошли 703 пациента без МПК, 51 пациент с искусственным желудочком сердца (ИЖС), 9 пациентов с искусственным сердцем и 23 пациента, получающих в качестве способа поддержки ВАБК. Средняя продолжительность ЭКМО составляла 9 дней. По результатам исследования, годовая выживаемость после ТС была ниже у реципиентов из исследуемой группы по сравнению с реципиентами из групп сравнения ($p=0,06$). Во всех группах уровень летальности зависел от возраста кандидатов ($p=0,02$), от уровня билирубина в сыворотке крови и скорости клубочковой фильтрации ($p < 0,1$). Выживаемость через 1 год после включения в лист была ниже у пациентов с поддержкой ВА-ЭКМО, чем в группах сравнения ($p < 0,01$). Авторы объясняют неудовлетворительный результат при использовании ВА-ЭКМО изначально более высокой тяжестью состояния пациентов, и осложнениями, связанными с ВА-ЭКМО — 23% в исследуемой группе умерли в листе ожидания, а 4% были исключены из списка по причине ухудшения состояния здоровья. Однолетняя выживаемость после ТС также была ниже в группе ВА-ЭКМО ($p=0,06$) [48].

Известно, что использование ЭКМО содержит в себе риск развития у пациента множества осложнений [37]. К типичным осложнениям ВА-ЭКМО относятся локальное кровотечение (10–30%), отёк лёгких из-за

повышенной постнагрузки ЛЖ (10–15%), инфекция мест канюляции (10–15%), ишемия конечностей (5–10%), ишемический или геморрагический инсульт (5%) [61, 62]. Наиболее частым осложнением ЭКМО является геморрагический синдром, который может быть фатальным, если кровоизлияние происходит в головном мозге, лёгких или желудочно-кишечном тракте [30, 58]. Очевидно, что развитие осложнений у лиц, получающих ВА-ЭКМО, повышает риск отключения аппарата и также снижает их выживаемость [63, 64].

Таким образом, несмотря на многофункциональность и эффективность, поддержка ВА-ЭКМО всё ещё связана с низкой выживаемостью (42–48%) пациентов [32, 39]. Неясно, является ли относительно низкая выживаемость реципиентов донорского сердца, получавших ВА-ЭКМО, прямым следствием такого применения или же это результат изначально более тяжёлого состояния пациентов и предоставления им органа с расширенными критериями, однако имеется информация, что факторами, связанными с худшими отдалёнными исходами после ВА-ЭКМО, являются пожилой возраст, а также наличие сопутствующих заболеваний, таких как хроническая болезнь почек/печени [44, 65].

Тем не менее, этот метод поддержки является уникальным среди существующих на сегодняшний день стратегий МПК и может быть полезен пациентам с терминальной стадией СН, ожидающих ТС [44, 66].

1.2. Временные осевые насосы (*Impella*, внутриаортальный баллонный насос, *TandemHeart*)

Несмотря на внедрение новых чрескожных пункционных технологий вспомогательного кровообращения, в настоящее время самым простым, дешёвым, и, соответственно, самым распространённым методом МПК является ВАБК [34]. ВАБК, в сравнении с другими МПК, обеспечивает меньшую гемодинамическую поддержку, однако легко устанавливается и не требует строгого контроля коагуляционных параметров [67].

ВАБК обычно устанавливают ретроградно через бедренную артерию и располагают дистальнее левой подключичной артерии в нисходящей грудной аорте. Раздувание и спускание баллона происходит синхронно с частотой сердечных сокращений. Кровь, находящаяся перед баллоном, устремляется в коронарные сосуды и бассейн сонных артерий, увеличивая кровоснабжение сердца и головного мозга, что помогает повысить диастолическое АД и теоретически может увеличить перфузию коронарных артерий, тем самым увеличивая доставку кислорода миокарду [42].

Использование ВАБК в качестве моста к ТС до недавнего времени было достаточно редким явлением, однако, уже упоминавшиеся ранее изменения в политике UNOS, согласно которым пациентам, получающим поддержку с помощью ВАБК, был присвоен более высокий приоритет, чем пациентам с ЛЖУВК, сильно повлияли на использование ВАБК в качестве моста к ТС [68].

Однако ещё до внесения этих изменений в некоторых исследованиях было продемонстрировано улучшение системной гемодинамики и органной функции на фоне применения ВАБК как метода предтрансплантационной МПК. В исследовании *Norkiene et al.* (2007) у пациентов с декомпенсированной кардиопатией ($n=11$), ожидающих ТС, применение ВАБК привело к увеличению среднего АД, снижению центрального

венозного давления, давлению заклинивания лёгочной артерии и повышению сердечного индекса при одновременном снижении уровня лактата крови [69]. В исследовании *Gjesdal et al.* (2009) использование ВАБК у потенциальных реципиентов сердца ($n=40$) сопровождалось улучшением системной гемодинамики, а также значимым регрессом полиорганной недостаточности. В целом ранняя и отдалённая выживаемость реципиентов сердца с предтрансплантационной ВАБК и без МПК была сопоставимой: авторы отмечают, что результаты были существенно лучше у реципиентов ($n=23$) с продолжительностью предтрансплантационной ВАБК более 10 суток: 30-дневная и однолетняя летальность после ТС в этом исследовании составила соответственно 4% и 9% [70].

Fried et al. (2018) изучили данные 132 пациентов с терминальной стадией СН и кардиогенным шоком, получавших ВАБК. Общая 30-дневная выживаемость после применения поддержки ВАБК составила 84,1%, из которых 78,0% пациентов в дальнейшем либо перенесли ТС, либо были выписаны из стационара в удовлетворительном состоянии [28].

К основным недостаткам этого подхода является малая мобильность реципиентов ВАБК, так как доступ осуществляется через бедренную артерию. В то же время накапливается всё больше данных, говорящих о том, что установка ВАБК через подключичную, плечевую и подмышечную артерию приводит к лучшим клиническим результатам и практически исключает возможность развития дистальных тромбоэмболических осложнений [67].

И в этом контексте стоит выделить систематический обзор, проведённый *Nwaejike et al.* (2017), куда вошли в общей сложности 6 статей, отвечающих критериям исследования, одним из которых было осуществление доступа ВАБК не традиционным способом, а через артерии верхних конечностей. По результатам этого обзора были получены достаточно убедительные доказательства положительной роли ВАБК в лечении пациентов с терминальной стадией СН. Из 163 пациентов, у которых поддержка ВАБК была использована в качестве «моста» к трансплантации, 86,5% перенесли успешную операцию по пересадке сердца, а из 9 пациентов, у которых ВАБК являлось мостом к выздоровлению, 66,7% были успешно отлучены от устройства. Продолжительность поддержки варьировалась от 3 до 152 дней, а осложнения отмечались в 37,3% [71].

Интересно исследование *Huckaby et al.* (2018), где взрослые пациенты, перенесшие ТС, которые получали ВАБК в качестве предтрансплантационной поддержки, были стратифицированы на основе временной зависимости от изменения политики. В течение периода исследования (6 лет) в общей сложности 1342 пациента получили поддержку с помощью ВАБК. Частота использования ВАБК в качестве моста к трансплантации значительно увеличилась после изменения политики UNOS (7,0% против 24,9%, $p<0,001$). Пациенты после изменения политики проводили меньше дней в листе ожидания (15 против 35 дней, $p<0,001$), имели более длительное время ишемии (3,5 против 3,0 часов, $p<0,001$). По данным многофакторного анализа, количество дней в листе ожидания (отношение шансов — ОШ 1,0, $p=0,031$) и сахарный диабет (ОШ 1,87, $p=0,011$) оказались значимыми предикторами посттрансплантационной летальности. После изменения политики пациенты из списка ожидания, которые получали

поддержку ВАБК, с большей вероятностью дожили до трансплантации (76,4% против 89,8%, $p<0,001$) [72].

Существенным ограничением ВАБК является атеросклеротическое поражение артерий конечностей, через которые осуществляется доступ баллона в аорту. Также среди осложнений ВАБК часто встречаются острое нарушение мозгового кровообращения, ишемия конечностей, ишемия почек и кишечника в результате атероэмболии в висцеральные артерии [42]. Часто встречающиеся осложнения подключичной ВБК включают необходимость изменения положения баллонной помпы (30%), гематому (5%), инфекцию места канюляции (2%) и тромбоз подключичной артерии (1%) [67].

К тому же, несмотря на относительную дешевизну и простоту в имплантации, системы ВАБК не всегда в состоянии поддерживать органную перфузию и улучшить гемодинамические показатели у пациентов с тяжёлой полиорганной недостаточностью, имеющих в наличии ряд коморбидных заболеваний, а часто ВАБК просто противопоказана таким пациентам [73, 74].

Недавно разработанные системы МПК — *TandemHeart* (*CardiacAssist Inc.*, Питтсбург, Пенсильвания) и *Impella* (*ABIOMED Inc.*, Данверс, Массачусетс) — способны обеспечить более высокий уровень поддержки и могут быть использованы даже у пациентов с тяжёлыми формами сердечной недостаточности [73, 75].

Внутрисердечный ротационный насос *Impella* (*Impella 2.5, CP, 5.0*) чаще всего вводится через бедренную артерию, проводится ретроградно через аортальный клапан, а дистальная часть насоса помещается в полость ЛЖ. *Impella* напрямую перекачивает кровь из ЛЖ в восходящую аорту чуть выше аортального клапана. Этот подход непосредственно разгружает ЛЖ на протяжении сердечного цикла, уменьшая общую механическую работу и потребность миокарда в кислороде, одновременно снижая нагрузку на стенки и улучшая субэндокардиальный коронарный кровоток [76, 77]. Устройство *Impella* (в зависимости от модификации) могут обеспечивать до 5 л сердечного выброса [42, 78]. Таким образом *Impella* обеспечивает более высокую степень гемодинамической поддержки по сравнению с ВАБК (до 5 л/мин), но его применение ограничено у лиц с нативным и сохранённым аортальным клапаном [67]. Отдельно в этой линейке можно выделить устройство *Impella RP*, которое перекачивает кровь из правого предсердия в проксимальные отделы лёгочного ствола для поддержки правых отделов сердца, обеспечивая аналогичные гемодинамические и метаболические эффекты для ПЖ [77]. Эти особенности в сочетании с тем фактом, что *Impella* — это самый маленький МПК, делают его теоретически подходящим для амбулаторного лечения пациентов, страдающих СН.

В отличие от ВАБК, *Impella* не нуждается в какой-либо синхронизации с сердечным циклом, потому что устройство использует непulsированный поток [79].

МПК *Impella* достаточно часто используется в качестве моста для ТС и характеризуется весьма высокой для этой категории пациентов выживаемостью, однако имеется явный дефицит исследований эффективности данного вида МПК у пациентов с терминальной стадией СН, ожидающих ТС [32].

В исследовании *Lima et al.* (2016) 40 пациентов получили *Impella* с целью дальнейшей трансплантации ($n=20$) или перехода на долгосрочное ЛЖУВК ($n=20$). Все пациенты были инотропно-зависимыми, с сильно

сниженной фракцией выброса ЛЖ (12%) и почечной недостаточностью (креатинин 2,0 мг%). Выживаемость до проведения целевой операции в данном исследовании составляла 75%, а выживаемость до выписки и (или) в течение 30 дней после выписки составила 68%. Не было отмечено серьёзных осложнений в виде инсультов или кровотечений, требующих хирургического вмешательства [80].

В ретроспективном обзоре *Bansal et al.* (2016) 24 пациента с острой хронической декомпенсированной СН получали поддержку *Impella* 5.0. После имплантации *Impella* наблюдалось значимое снижение оценки терминальной стадии заболевания печени ($p=0,0014$), что свидетельствует об улучшении функции целевых органов. Также наблюдалось значительное снижение уровня креатинина до и после имплантации ($p=0,0043$). В конечной точке исследования выздоровление наблюдалось у 25,0%, перевод на постоянный ЛЖО — у 37,5%; и 8,3% перенесли ТС. В итоге смерть наступила у 29,2% в результате полиорганной недостаточности, инфекции или добровольного прекращения лечения [81].

В исследование *Cheng et al.* (2018) были включены пациенты ($n=64$), получившие поддержку *Impella* в качестве моста к выздоровлению, моста к установке МПК длительного действия или моста к ТС. Средняя продолжительность МПК составила $13,2 \pm 15,1$ суток. Из общего пула пациентов 26,7% перенесли сердечно-лёгочную реанимацию, 67,2% находились на искусственной вентиляции лёгких (ИВЛ), а 26,7% предварительно получали ВА-ЭКМО. Общая выживаемость составляла 68,8%, из которых 40,9% выжили, получая длительную МПК, 36,4% выжили после перенесённой ТС, и 27,7% были охарактеризованы, как выздоравливающие. 30- и 60-дневная выживаемость при условии дожития до следующей терапии составила 94,1% и 91,2% соответственно. После достижения конечных точек выжившие реже получали ИВЛ ($p=0,049$) или заместительную почечную терапию ($p<0,001$), но не отличались от умерших по другим характеристикам [82].

Monteagudo-Vela et al. (2020) сравнили результаты пациентов, перенесших ТС и предварительно подключённых к *Impella* 5.0 ($n=8$) с пациентами, которые до ТС не получали МПК ($n=34$). Значительных различий в выживаемости между группами через 30 дней обнаружено не было (94% в группе без МПК против 87,5% в группе *Impella*, $p=0,47$) или через 6 месяцев (94% против 87,5%, $p=0,51$). У пациентов, получавших *Impella* 5.0, отмечалось значительное восстановление гемодинамических параметров и функции органов-мишеней. Средняя продолжительность поддержки составила 16 ± 17 дней [83].

В крупном обсервационном исследовании, основанном на регистре *USpella*, рассматривались эффективность и безопасность *Impella* 2.5 при чрескожном коронарном вмешательстве (ЧКВ) высокого риска у пациентов с тяжёлой СН, снижением сократительной способности сердца, а также выраженным коморбидным фоном. Успешная реваскуляризация была достигнута в 90% случаев, а 6-месячная выживаемость составила 91% [84].

В исследовании *Chung et al.* (2020) принимали участие пациенты с острой декомпенсированной СН, рефрактерные к фармакотерапии (всего 100). Все они получали в качестве поддержки *Impella* 5.0, из них у 30 устройство являлось мостом к выздоровлению, у

23 — мостом к установке МПК длительного действия и у 47 — мостом к ТС. Общая выживаемость составила 64% (50%, 48% и 81% соответственно). В последней когорте, когда устройство *Impella* 5.0 использовалось в качестве моста к ТС, отмечалась очень высокая выживаемость пациентов — около 78,7% выжили в течение 30 дней после пересадки. Средняя продолжительность использования устройства *Impella* составила 14,0 дней. У всех пациентов наблюдалось статистически значимое увеличение сердечного индекса, а также снижение центрального венозного давления и среднего давления в лёгочной артерии (все $p<0,001$) [85].

В исследовании *Seese et al.* (2020) оценивались результаты использования устройства *Impella* 5.0 в качестве моста для ТС у пациентов с кардиогенным шоком. В общей сложности 236 пациентов, находясь в листе ожидания, получали поддержку *Impella* 5.0, и 24% в дальнейшем перенесли ТС. Ранняя и поздняя выживаемость после трансплантации составила 96,5% через 30 дней, 93,8% через 90 дней и 90,3% через год. Посттрансплантационные осложнения были нечастыми и включали в себя почечную недостаточность, требующую диализа (8,8%), нарушения мозгового кровообращения (1,8%) и имплантацию кардиостимулятора (1,8%). Частота исключения из листа ожидания в связи со смертью или клиническим ухудшением составила 20,0%, еще 37% в дальнейшем получили ЛЖО [86].

Chieffo et al. (2020) изучили клинические результаты применения устройства *Impella* для лечения кардиогенного шока и ЧКВ высокого риска. В исследование были включены все пациенты, получавшие *Impella* 2.5, *Impella* CP, *Impella* 5.0 и *Impella* RP по показаниям «кардиогенный шок» и «ЧКВ высокого риска» (всего 406). *Impella* 2.5 была наиболее часто используемым устройством (59,6%). Частота госпитальной и однолетней летальности от всех причин у пациентов с кардиогенным шоком составила 46,9% и 57,0% соответственно; 18,5% подверглись имплантации вспомогательного устройства ЛЖ или ТС в течение одного года. Частота госпитальной и однолетней летальности от всех причин у пациентов, перенесших ЧКВ высокого риска, составила 5,7% и 15,6% соответственно. Частота осложнений, связанных с устройством, составила 37,1% и 10,7% [87].

Также следует отметить эффективность сочетания ВА-ЭКМО с *Impella* или ВАБК. В метаанализе *Batsides et al.* (2018) в общей сложности было включено 6 исследований, в которых приняли участие 163 пациента с кардиогенным шоком, получавших *Impella* 5.0 или *Impella* LD. Показаниями для поддержки в 54,0% случаев являлась хроническая или острая декомпенсированная СН, в остальных случаях — кардиогенный шок различной этиологии. Общая расчётная выживаемость до выписки через 30, 180 и 365 дней составила 72,6%, 62,7% и 58,4% соответственно [88]. *Patel et al.* (2019) сравнили выживаемость у пациентов с кардиогенным шоком, получавших либо ВА-ЭКМО ($n=60$), либо ВА-ЭКМО+*Impella* ($n=21$). Тридцатидневная летальность от всех причин была значительно ниже в когорте ВА-ЭКМО+*Impella* (57% против 78%; ОШ 0,51) [89]. *Vallabhajosyula et al.* (2020) также провели сравнительное исследование у пациентов, получавших либо ВА-ЭКМО, либо ВА-ЭКМО+*Impella*. Для анализа было отобрано 5 исследований, в которых участвовали 425 пациентов, у 27% применялась комбинированная стратегия. Использование комбинированной страте-

гии было связано с более быстрым отлучением от ВА-ЭКМО и переходом на ЛЖО или ТС в 3 и в 4 исследованиях соответственно. Использование комбинированной стратегии также было связано с более низкой летальностью в сравнении с использованием только ВА-ЭКМО [90].

Абсолютными противопоказаниями к применению устройства *Impella* являются механический протез аортального клапана, тромбоз ЛЖ, тяжёлое поражение периферических артерий и дефект межжелудочковой перегородки. Аортальный стеноз и аортальная регургитация являются относительными противопоказаниями. Также к противопоказаниям относятся и прочие, свойственные для других устройств МПК, такие как атеросклероз периферических артерий, гемофилии [79].

Таким образом на основе имеющихся исследований можно говорить о том, что *Impella* показывает высокую эффективность у различных категорий пациентов, ожидающих ТС, а выживаемость у отдельных категорий пациентов с предимплантационной поддержкой *Impella* достигает 90%. Трудно сказать, какую роль играет состояние здоровья пациента перед ТС, и какие факторы могут быть предикторами выживаемости у пациентов с терминальными стадиями СН, получавших *Impella* перед ТС, однако, у всех пациентов очевидно значимое улучшение гемодинамических параметров и крайне низкая частота посттрансплантационных осложнений.

TandemHeart — ещё одно устройство, которое можно использовать в качестве моста для ТС. *TandemHeart* осуществляет ЛЖО путём забора крови из левого предсердия в илеофemorальную систему канюлей, заведённую с помощью пункции через бедренную вену в правое предсердие. Приток крови в *TandemHeart* осуществляется через транссептально размещённую канюлю в правом предсердии, а отток — в бедренную артерию ретроградно [42, 75]. *TandemHeart* может обеспечить расход до 5,0 л/мин при кратковременном использовании от нескольких часов до 14 дней. Устройство снижает конечное диастолическое давление в ЛЖ, но увеличивает постнагрузку [79].

Гемодинамические эффекты *ThandemHeart* реализуются путём снижения давления в левом предсердии, снижения давления заклинивания лёгочной артерии, снижении давления в обоих желудочках сердца, и, таким образом, уменьшения нагрузки на миокард и снижения его потребности в кислороде. Существенным ограничением этого метода является изолированная поддержка функции ЛЖ, что в условиях недостаточности ПЖ либо в случае развития жизнеугрожающих аритмий делает это МПК абсолютно неэффективным [42].

Согласно проведённым исследованиям, *ThandemHeart* оказывает положительное влияние на гемодинамические параметры у пациентов, ожидающих ТС, однако, у пациентов с терминальными стадиями СН *ThandemHeart* практически не применяется в качестве изолированного устройства поддержки [79].

1.3. Сравнительный анализ кратковременных методов вспомогательного кровообращения

Использование кратковременных МПК у лиц с терминальной стадией СН, ожидающих ТС, является сложным и нередко поэтапным мероприятием. Выбор изначального устройства кратковременной МПК дол-

жен учитывать ряд факторов, к которым относятся в первую очередь тяжесть состояния пациента и количество имеющегося в его распоряжении времени, уровень необходимой гемодинамической поддержки и наличие у пациента противопоказаний к тому или иному виду МПК [42].

При адекватных параметрах оксигенации для восстановления кровообращения могут быть использованы ВАБК, *Impella*. При нарушении оксигенации следует использовать устройства с интегрированной системой оксигенации (например, *TandemHeart*®, ВА-ЭКМО или их сочетание). Следует особо отметить, что в связи со сложностью имплантации устройств и особенностями ведения пациентов, находящихся на системах МПК, выбор метода МПК должен основываться в том числе и на его доступности и наличии необходимых навыков у персонала [67].

Немногочисленные исследования показывают, что предпочтительным устройством с точки зрения выживаемости у пациентов с терминальной стадией СН, ожидающих ТС, является *Impella*, которое в достаточной степени позволяет улучшить гемодинамические параметры и вызывает минимальное количество осложнений. ВА-ЭКМО, напротив, имеет значительное количество осложнений и, по предварительным данным, негативно влияет на общую выживаемость пациентов, однако в заданной категории пациентов часто является единственным возможным методом МПК. Устройство *TandemHeart* обеспечивает аналогичную с *Impella* гемодинамическую поддержку, но отличается дополнительным улучшением оксигенации. Однако установка указанного устройства требует проведения более сложной процедуры межпредсердной транссептальной пункции. Основным недостатком ВАБК является недостаточный для выбранной категории пациентов уровень гемодинамической поддержки [79].

Den Uil et al. (2017) провели метаанализ исследований групп пациентов с краткосрочной МПК, включающей в себя ВАБК, *Impella*, *TandemHeart* и периферическую ВА-ЭКМО, на основании чего разработали алгоритм применения МПК у различных категорий пациентов с учётом имеющихся временных ограничений. Так, при остром инфаркте миокарда рекомендовано использование ВАБК, *Impella*, *TandemHeart* и ЭКМО, если отлучение невозможно в течение 5 дней — переход к длительному ЛЖО. При терминальной стадии СН — ВА ЭКМО, *CentriMag*, *Impella 5.0*, *TandemHeart*, *HeartMate PHP* и ВАБК, все эти МПК следует применять только после тщательной оценки возможности восстановления функции ЛЖ. При необратимой дисфункции ЛЖ — имплантация ЛЖО в как можно более ранние сроки. При бивентрикулярной миокардиальной недостаточности рекомендовано применение ВА ЭКМО, *CentriMag*, *L/R Impella*, *L/R TandemHeart* и ВАБК. В случае необратимой дисфункции ПЖ — трансплантация сердца.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Ведение пациентов с терминальной стадией хронической сердечной недостаточности требует чёткой клинической стратегии, учитывающей как высокий риск летальности, так и ограниченные возможности трансплантации сердца. В этой связи механическая поддержка кровообращения выступает неотъемлемым компонентом современной клинической практики, позволяя стабилизировать гемодинамику, поддержать

функцию жизненно важных органов и обеспечить время для выполнения трансплантации.

Применение различных технологий — внутриорганальной баллонной контрпульсации, экстракорпоральной мембранной оксигенации, устройств *Impella* и *TandemHeart* — должно рассматриваться в контексте клинической ситуации. Так, экстракорпоральную мембранную оксигенацию целесообразно использовать у пациентов с выраженной дыхательной недостаточностью и полиорганной дисфункцией; внутриорганальная баллонная контрпульсация остаётся доступным и простым методом для временной стабилизации; *Impella* и *TandemHeart* демонстрируют преимущества при необходимости разгрузки левого желудочка и обеспечивают более высокую выживаемость.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Хроническая сердечная недостаточность. Клинические рекомендации 2020. *Российский кардиологический журнал*. 2020;25(11):4083. <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2020-4083>
2. Gao K, Zhao H, Gao J, Wen B, Jia C, Wang Z, et al. Mechanism of Chinese Medicine Herbs Effects on Chronic Heart Failure Based on Metabolic Profiling. *Front Pharmacol*. 2017;8:864. PMID: 29213243 <https://doi.org/10.3389/fphar.2017.00864>
3. Yang B, Wang F, Cao H, Liu G, Zhang Y, Yan P, et al. Caffeoylxanthinonoxide exerts cardioprotective effects during chronic heart failure via inhibition of inflammatory responses in cardiac cells. *Exp Ther Med*. 2017;14(5):4224–4230. PMID: 29104638 <https://doi.org/10.3892/etm.2017.5080>
4. Терещенко С.Н., Жиров И.В. Хроническая сердечная недостаточность: новые вызовы и новые перспективы. *Терапевтический архив*. 2017;89(9):4–9. <https://doi.org/10.17116/terarkh20178994-9>
5. Liguori I, Russo G, Curcio F, Sasso G, Della-Morte D, Gargiulo G, et al. Depression and chronic heart failure in the elderly: an intriguing relationship. *J Geriatr Cardiol*. 2018;15(6):451–459. PMID: 30108618. <https://doi.org/10.11909/j.issn.1671-5411.2018.06.014>
6. Wang Y, Ma X. Relationship between changes of electrocardiogram indexes in chronic heart failure with arrhythmia and serum PIIINP and BNP. *Exp Ther Med*. 2020;19(1):591–596. PMID: 31897101 <https://doi.org/10.3892/etm.2019.8269>
7. Halade GV, Kain V, Ingle KA. Heart functional and structural compendium of cardioplemic and cardioenergetic networks in acute and chronic heart failure pathology. *Am J Physiol Heart Circ Physiol*. 2018;314(2):H255–H267. PMID: 29101178. <https://doi.org/10.1152/ajpheart.00528.2017>
8. Groenewegen A, Rutten FH, Mosterd A, Hoes AW. Epidemiology of heart failure. *Eur J Heart Fail*. 2020;22(8):1342–1356. PMID: 32483830 <https://doi.org/10.1002/ehf.1858>
9. van Riet EE, Hoes AW, Wagenaar KP, Limburg A, Landman MA, Rutten FH. Epidemiology of heart failure: the prevalence of heart failure and ventricular dysfunction in older adults over time. A systematic review. *Eur J Heart Fail*. 2016;18(3):242–252. PMID: 26727047 <https://doi.org/10.1002/ehf.483>
10. Sredniawa B, Cebula S, Kowalczyk J, Batchvarov VN, Musialik-Lydkka A, Sliwiska A, et al. Heart rate turbulence for prediction of heart transplantation and mortality in chronic heart failure. *Ann Noninvasive Electrocardiol*. 2010;15(3):230–7. PMID: 20645965 <https://doi.org/10.1111/j.1542-474X.2010.00369.x>
11. Gioli-Pereira L, Marcondes-Braga FG, Bernardes-Pereira S, Bacal F, Fernandes F, Mansur AJ, et al. Predictors of one-year outcomes in chronic heart failure: the portrait of a middle income country. *BMC Cardiovasc Disord*. 2019;19(1):251. PMID: 31706288 <https://doi.org/10.1186/s12872-019-1226-9>
12. Ponikowski P, Voors AA, Anker SD, Bueno H, Cleland JGF, Coats AJS, et al. 2016 ESC Guidelines for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure: The Task Force for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure of the European Society of Cardiology (ESC) Developed with the special contribution of the Heart Failure Association (HFA) of the ESC. *Eur Heart J*. 2016;37(27):2129–2200. PMID: 27206819 <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehw128>
13. Хубутя М.Ш., Соколов В.В., Редкобородый А.В., Козлов И.А., Тимербаев В.Х., Хуцишвили Л.Г. и др. Опыт 70 трансплантаций сердца в многопрофильном медицинском учреждении. *Трансплантология*. 2018;10(3):197–206. <https://doi.org/10.23873/2074-0506-2018-10-3-197-206>
14. Barazzoni R, Gortan Cappellari G, Palus S, Vinci P, Ruozi G, Zanetti M, et al. Acylated ghrelin treatment normalizes skeletal muscle mitochondrial oxidative capacity and AKT phosphorylation in rat chronic heart failure. *J Cachexia Sarcopenia Muscle*. 2017;8(6):991–998. PMID: 29098797 <https://doi.org/10.1002/jcsm.12254>
15. Hua CY, Huang Y, Su YH, Bu JY, Tao HM. Collaborative care model improves self-care ability, quality of life and cardiac function of patients with chronic heart failure. *Braz J Med Biol Res*. 2017;50(11):e6355. PMID: 28953989 <https://doi.org/10.1590/1414-431X20176355>
16. Shah KS, Xu H, Matsouaka RA, Bhatt DL, Heidenreich PA, Hernandez AF, et al. Heart Failure With Preserved, Borderline, and Reduced Ejection Fraction: 5-Year Outcomes. *J Am Coll Cardiol*. 2017;70(20):2476–2486. PMID: 29141781 <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2017.08.074>
17. Alla F, Zannad F, Filippatos G. Epidemiology of acute heart failure syndromes. *Heart Fail Rev*. 2007;12(2):91–95. PMID: 17450426 <https://doi.org/10.1007/s10741-007-9009-2>
18. Kontogiannis CD, Malliaras K, Kapelios CJ, Mason JW, Nanas JN. Continuous internal counterpulsation as a bridge to recovery in acute and chronic heart failure. *World J Transplant*. 2016;6(1):115–124. PMID: 27011909 <https://doi.org/10.5500/wjt.v6.i1.115>
19. Braunwald E. The war against heart failure: the Lancet lecture. *Lancet*. 2015;385(9970):812–824. PMID: 25467564 [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(14\)61889-4](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(14)61889-4)
20. Borisenko O, Müller-Ehmsen J, Lindenfeld J, Rafflenbeul E, Hamm C. An early analysis of cost-utility of baroreflex activation therapy in advanced chronic heart failure in Germany. *BMC Cardiovasc Disord*. 2018;18(1):163. PMID: 30092774 <https://doi.org/10.1186/s12872-018-0898-x>
21. Jones NR, Roalfe AK, Adoki I, Hobbs FDR, Taylor CJ. Survival of patients with chronic heart failure in the community: a systematic review and meta-analysis. *Eur J Heart Fail*. 2019;21(11):1306–1325. PMID: 31523902 <https://doi.org/10.1002/ehf.1594>
22. Berthelot E, Bauer F, Eicher JC, Flécher E, Gellen B, Guilhaire J, et al. Pulmonary hypertension in chronic heart failure: definitions, advances, and unanswered issues. *ESC Heart Fail*. 2018;5(5):755–763. PMID: 30030912; <https://doi.org/10.1002/ehf2.12316>
23. Guo L, Yuan H, Zhang D, Zhang J, Hua Q, Ma X, et al. A multi-center, randomized, double-blind, placebo-parallel controlled trial for the efficacy and safety of shenfuqianguxin pills in the treatment of chronic heart failure (Heart-Kidney yang deficiency syndrome). *Medicine (Baltimore)*. 2020;99(21):e20271. PMID: 32481305 <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000020271>
24. Hu CS, Wu QH, Hu DY, Tkebuchava T. Treatment of chronic heart failure in the 21st century: A new era of biomedical engineering has come. *Chronic Dis Transl Med*. 2018;5(2):75–88. PMID: 31367696 <https://doi.org/10.1016/j.cdtm.2018.08.005>
25. Jaramillo N, Segovia J, Gómez-Bueno M, García-Cosío D, Castedo E, Serrano S, et al. Characteristics of patients with survival longer than 20 years following heart transplantation. *Rev Esp Cardiol (Engl Ed)*. 2013;66(10):797–802. PMID: 24773860 <https://doi.org/10.1016/j.rec.2013.05.016>
26. Шиндрик Р.Ю., Щелкова О.Ю., Демченко Е.А., Ситникова М.Ю. Психосоциальный статус пациентов с хронической сердечной недостаточностью, ожидающих трансплантации сердца. *Вестник РУДН. Серия: Психология и педагогика*. 2019;16(2):163–180. <https://doi.org/10.22363/2313-1683-2019-16-2-163-180>
27. Fernandes LCBC, de Oliveira IM, Fernandes PFCBC, de Souza Neto JD, Farias MDSQ, de Freitas NA, et al. Impact of Heart Transplantation on the Recovery of Peripheral and Respiratory Muscle Mass and Strength in Patients With Chronic Heart Failure. *Transplant Direct*. 2018;4(11):e395. PMID: 30534588 <https://doi.org/10.1097/TXD.0000000000000837>
28. Fried JA, Nair A, Takeda K, Clerkin K, Topkara VK, Masoumi A, et al. Clinical and hemodynamic effects of intra-aortic balloon pump therapy in chronic heart failure patients with cardiogenic shock. *J Heart Lung Transplant*. 2018;37(11):1313–1321. PMID: 29678608 <https://doi.org/10.1016/j.healun.2018.03.011>

29. Everly MJ. Cardiac transplantation in the United States: an analysis of the UNOS registry. *Clin Transpl.* 2008;35–43. PMID: 19708444.
30. Fukuhara S, Takeda K, Kurlansky PA, Naka Y, Takayama H. Extracorporeal membrane oxygenation as a direct bridge to heart transplantation in adults. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2018;155(4):1607–1618.e6. PMID: 29361299 <https://doi.org/10.1016/j.jtcvs.2017.10.152>
31. Todurov BM, Kovtun HI, Shpachuk AO, Kuzmich IN, Druzhina AN, Sudakevich SN, et al. LVAD Use in the Treatment of End-Stage Heart Failure. *Ukrainian Journal of Cardiovascular Surgery.* 2020;2(39):43–47. <https://doi.org/10.30702/ujcvcs/20.3905/031043-047>
32. Догонашева А.А. Трансплантация сердца пациентам с предтрансплантационной вено-артериальной экстракорпоральной мембранной оксигенацией: автореферат дис. ... канд. мед. наук. Москва, 2020.
33. Исмагилов Ф.Р., Вавилов В.Е., Нургалиева Р.А. Перспективы развития аппаратов вспомогательного кровообращения (обзор). *Научное приборостроение.* 2019;29(4):19–27. <https://doi.org/10.18358/np-29-4-i1927>
34. Ухренков С.Г. Периферическая вено-артериальная экстракорпоральная мембранная оксигенация как метод механической поддержки у потенциальных реципиентов сердца: автореферат дис. ... канд. мед. наук. Москва, 2017.
35. Pons S, Sonnevile R, Bouadma L, Styfalova L, Ruckly S, Neuville M, et al. Infectious complications following heart transplantation in the era of high-priority allocation and extracorporeal membrane oxygenation. *Ann Intensive Care.* 2019;9(1):17. PMID: 30684052 <https://doi.org/10.1186/s13613-019-0490-2>
36. Czupran A, Steel M, Barrett NA. Extra-corporeal membrane oxygenation for severe respiratory failure in the UK. *J Intensive Care Soc.* 2020;21(3):247–255. PMID: 32782465 <https://doi.org/10.1177/1751143719870082>
37. Hadaya J, Benharash P. Extracorporeal Membrane Oxygenation. *JAMA.* 2020;323(24):2556. PMID: 32463441 <https://doi.org/10.1001/jama.2020.9148>
38. Шелухин Д.А., Павлов А.И., Ершов А.Л. Экстракорпоральная мембранная оксигенация у пациентов с тяжелой дыхательной недостаточностью и первый опыт ее применения во время авиационной медицинской эвакуации в России. *Медико-биологические и социально-психологические проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях.* 2015;(3):24–34. <https://doi.org/10.25016/2541-7487-2015-0-3-24-34>
39. Quintel M, Bartlett RH, Grocott MPW, Combes A, Ranieri MV, Baiocchi M, et al. Extracorporeal Membrane Oxygenation for Respiratory Failure. *Anesthesiology.* 2020;132(5):1257–1276. PMID: 32149776. <https://doi.org/10.1097/ALN.0000000000003221>
40. Евсеев А.К., Журавель С.В., Аленгьев А.Ю., Горончаровская И.В., Петриков С.С. Мембраны в технологии экстракорпоральной оксигенации крови. *Мембраны и мембранные технологии.* 2019;9(4):235–246. <https://doi.org/10.1134/S2218117219040023>
41. OPTN. *Organ Procurement and Transplantation Network. Policies.* 2020. Available at: https://www.lungbioengineering.com/wp-content/uploads/sites/3/2020/06/optn_policies.pdf [Accessed Aug 25, 2025]
42. Корнелюк Р.А., Верещагин И.Е., Шукевич Д.Л., Ганюков В.И. Механическая поддержка кровообращения при чрескожном коронарном вмешательстве высокого риска. *Комплексные проблемы сердечно-сосудистых заболеваний.* 2018;7(4S):54–65. <https://doi.org/10.17802/2306-1278-2018-7-4S-54-65>
43. Su Y, Liu K, Zheng JL, Li X, Zhu DM, Zhang Y, et al. Hemodynamic monitoring in patients with venoarterial extracorporeal membrane oxygenation. *Ann Transl Med.* 2020;8(12):792. PMID: 32647717 <https://doi.org/10.21037/atm.2020.03.186>
44. Rao P, Khalpey Z, Smith R, Burkhoff D, Kociol RD. Venoarterial Extracorporeal Membrane Oxygenation for Cardiogenic Shock and Cardiac Arrest. *Circ Heart Fail.* 2018;11(9):e004905. PMID: 30354364. <https://doi.org/10.1161/CIRCHEARTFAILURE.118.004905>
45. Периферическая вено-артериальная экстракорпоральная мембранная оксигенация перед трансплантацией сердца. *Национальные клинические рекомендации.* Москва, 2015. URL: <https://transpl.ru/files/rto/perefer-abo-pered-transpl.pdf> [Дата обращения 25 августа 2025 г.]
46. Parhar KK, Fedak PWM. Bridging to heart transplant with extracorporeal membrane oxygenation: Good or VAD? *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2018;155(4):1619–1620. PMID: 29310932 <https://doi.org/10.1016/j.jtcvs.2017.12.001>
47. Rupprecht L, Lunz D, Philipp A, Lubnow M, Schmid C. Pitfalls in percutaneous ECMO cannulation. *Heart Lung Vessel.* 2015;7(4):320–326. PMID: 26811838
48. Hong KN, Iribarne A, Worku B, Takayama H, Gelijns AC, Naka Y, et al. Who is the high-risk recipient? Predicting mortality after heart transplant using pretransplant donor and recipient risk factors. *Ann Thorac Surg.* 2011;92(2):520–527; discussion 527. PMID: 21683337 <https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2011.02.086>
49. Worku B, Pak SW, van Patten D, Housman B, Uriel N, Colombo P, et al. The CentriMag ventricular assist device in acute heart failure refractory to medical management. *J Heart Lung Transplant.* 2012;31(6):611–617. PMID: 22608770. <https://doi.org/10.1016/j.healun.2011.12.016>
50. Russo CF, Cannata A, Lanfranconi M, Bruschi G, Milazzo F, Paino R, et al. Veno-arterial extracorporeal membrane oxygenation using Levitronix centrifugal pump as bridge to decision for refractory cardiogenic shock. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2010;140(6):1416–1421. PMID: 20935244 <https://doi.org/10.1016/j.jtcvs.2010.07.083>
51. Спирина Е.А., Саятгареев Р.Ш., Шумаков Д.В., Захаревич В.М., Слободянский В.В., Минина М.Г. и др. Периферическая вено-артериальная мембранная оксигенация как метод механической поддержки кровообращения перед трансплантацией сердца. *Вестник трансплантологии и искусственных органов.* 2013;15(2):23–35. <https://doi.org/10.15825/1995-1191-2013-2-23-35>
52. Barth E, Durand M, Heylbroeck C, Rossi-Blancher M, Boignard A, Vanzetto G, et al. Extracorporeal life support as a bridge to high-urgency heart transplantation. *Clin Transplant.* 2012;26(3):484–488. PMID: 21919969 <https://doi.org/10.1111/j.1399-0012.2011.01525.x>
53. Попцов В.Н., Саятгареев Р.Ш., Шумаков Д.В., Захаревич В.М., Акопов Г.А., Шевченко А.О. и др. Ортопическая трансплантация сердца у реципиентов 60 лет и старше. *Вестник трансплантологии и искусственных органов.* 2016;18(S):28.
54. Balasubramanya S, Arabia F, Moriguchi J, Kobashigawa J, Esmailian F. Extracorporeal Membrane Oxygenation as a Bridge to Recovery, Bridge to Ventricular Assist Device and Bridge to Heart Transplantation: A Retrospective Review of Data From a Single Tertiary Care Institution. *The Journal of Heart and Lung Transplantation.* 2014; 33(4):S78. <https://doi.org/10.1016/j.healun.2014.01.244>
55. Barge-Caballero G, Castel-Lavilla MA, Almenar-Bonet L, Garrido-Bravo IP, Delgado JF, Rangel-Sousa D, et al. Venoarterial extracorporeal membrane oxygenation with or without simultaneous intra-aortic balloon pump support as a direct bridge to heart transplantation: results from a nationwide Spanish registry. *Interact Cardiovasc Thorac Surg.* 2019;29(5):670–677. PMID: 31257414 <https://doi.org/10.1093/icvts/ivz155>
56. Karamlou T, Gelow J, Diggs BS, Tibayan FA, Mudd JM, Guyton SW, et al. Mechanical circulatory support pathways that maximize post-heart transplant survival. *Ann Thorac Surg.* 2013;95(2):480–485; discussion 485. PMID: 22921240 <https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2012.05.108>
57. Lund LH, Edwards LB, Kucheryavaya AY, Dipchand AI, Benden C, Christie JD, et al. The Registry of the International Society for Heart and Lung Transplantation: Thirtieth Official Adult Heart Transplant Report—2013; focus theme: age. *J Heart Lung Transplant.* 2013;32(10):951–964. PMID: 24054804 <https://doi.org/10.1016/j.healun.2013.08.006>
58. Cho YH, Yang JH, Sung K, Jeong DS, Park PW, Kim WS, et al. Extracorporeal life support as a bridge to heart transplantation: importance of organ failure in recipient selection. *ASAIO J.* 2015;61(2):159–143. PMID: 25396273 <https://doi.org/10.1097/MAT.0000000000000171>
59. Burrell AJC, Bennett V, Serra AL, Pellegrino VA, Romero L, Fan E, et al. Venoarterial extracorporeal membrane oxygenation: A systematic review of selection criteria, outcome measures and definitions of complications. *J Crit Care.* 2019;53:32–37. PMID: 31181462 <https://doi.org/10.1016/j.jcrc.2019.05.011>
60. Jasseron C, Lebreton G, Cantrelle C, Legeai C, Leprince P, Flecher E, et al. Impact of Heart Transplantation on Survival in Patients on Venoarterial Extracorporeal Membrane Oxygenation at Listing in France. *Transplantation.* 2016;100(9):1979–1987. PMID: 27306536 <https://doi.org/10.1097/TP.0000000000001265>
61. Combes A. Mechanical circulatory support for end-stage heart failure. *Metabolism.* 2017;69S:S30–S35. PMID: 28153356 <https://doi.org/10.1016/j.metabol.2017.01.009>
62. Sy E, Sklar MC, Lequier L, Fan E, Kanji HD. Anticoagulation practices and the prevalence of major bleeding, thromboembolic events, and mortality in venoarterial extracorporeal membrane oxygenation: A systematic review and meta-analysis. *J Crit Care.* 2017;39:87–96. PMID: 28237895 <https://doi.org/10.1016/j.jcrc.2017.02.014>
63. Le Guennec L, Cholet C, Huang F, Schmidt M, Bréchet N, Hékimian G, et al. Ischemic and hemorrhagic brain injury during venoarterial-extracorporeal membrane oxygenation. *Ann Intensive Care.* 2018;8(1):129. PMID: 30570687. <https://doi.org/10.1186/s13613-018-0475-6>
64. Sutter R, Tisljar K, Marsch S. Acute Neurologic Complications During Extracorporeal Membrane Oxygenation: A Systematic Review. *Crit Care Med.* 2018;46(9):1506–1513. PMID: 29782356 <https://doi.org/10.1097/CCM.0000000000003223>
65. Hess NR, Hickey GW, Sultan I, Kilic A. Extracorporeal membrane oxygenation bridge to heart transplant: Trends following the allocation change. *J Card Surg.* 2020. PMID: 33090585 <https://doi.org/10.1111/jocs.15118>
66. Xie A, Lo P, Yan TD, Forrest P. Neurologic Complications of Extracorporeal Membrane Oxygenation: A Review. *J Cardiothorac Vasc Anesth.* 2017;31(5):1836–1846. PMID: 28625752 <https://doi.org/10.1053/j.jvca.2017.03.001>
67. Тарадин Г.Г., Ватутин Н.Т., Сидоренко И.А., Попелнухина Л.Г., Грищенко Ю.П. Лечение критических состояний при перипаральной кардиомиопатии (часть II). *Университетская клиника.* 2017;13(2):205–212.
68. Hassett CE, Cho SM, Hasan S, Rice CJ, Migdady I, Starling RC, et al. Ischemic Stroke and Intracranial Hemorrhages During Impella Cardiac

- Support. *ASAIO J.* 2020;66(8):e105–e109. PMID: 32740362. <https://doi.org/10.1097/MAT.0000000000001132>
69. Norkiene I, Ringaitiene D, Rucinskas K, Samalavicius R, Baublys A, Miniauskas S, et al. Intra-aortic balloon counterpulsation in decompensated cardiomyopathy patients: bridge to transplantation or assist device. *Interact Cardiovasc Thorac Surg.* 2007;6(1):66–70. PMID: 17669772 <https://doi.org/10.1510/icvts.2006.140160>
 70. Gjesdal O, Gude E, Arora S, Leivestad T, Andreassen AK, Gullestad L, et al. Intra-aortic balloon counterpulsation as a bridge to heart transplantation does not impair long-term survival. *Eur J Heart Fail.* 2009;11(7):709–714. PMID: 19515719 <https://doi.org/10.1093/eurjhf/hfp078>
 71. Nwaejike N, Son AY, Milano CA, Daneshmand MA. Is there a role for upper-extremity intra-aortic balloon counterpulsation as a bridge-to-recovery or a bridge-to-transplant in the treatment of end-stage heart failure? *Interact Cardiovasc Thorac Surg.* 2017;25(4):654–658. PMID: 28962495 <https://doi.org/10.1093/icvts/ivx165>
 72. Huckaby LV, Seese LM, Mathier MA, Hickey GW, Kilic A. Intra-Aortic Balloon Pump Bridging to Heart Transplantation: Impact of the 2018 Allocation Change. *Circ Heart Fail.* 2020;13(8):e006971. PMID: 32757643. <https://doi.org/10.1161/CIRCHEARTFAILURE.120.006971>
 73. Cheng R, Tank R, Ramzy D, Azarbal B, Chung J, Esmailian F, et al. Clinical Outcomes of Impella Microaxial Devices Used to Salvage Cardiogenic Shock as a Bridge to Durable Circulatory Support or Cardiac Transplantation. *ASAIO J.* 2019;65(7):642–648. PMID: 30281541 <https://doi.org/10.1161/10.1097/MAT.0000000000000877>
 74. Montegudo Vela M, Simon A, Riesgo Gil F, Rosenberg A, Dalby M, Kabir T, et al. Clinical Indications of IMPELLA Short-Term Mechanical Circulatory Support in a Tertiary Centre. *Cardiovasc Revasc Med.* 2020;21(5):629–637. PMID: 31859100 <https://doi.org/10.1016/j.carrev.2019.12.010>
 75. Gregoric LD. Triage VADs: TandemHeart, Impella, and CentriMag. In: Morgan JA, Naka Y (eds.). *Surgical Treatment for Advanced Heart Failure.* New York: Springer, 2013:93–107.
 76. Montegudo-Vela M, Panoulas V, García-Saez D, de Robertis F, Stock U, Simon AR. Outcomes of heart transplantation in patients bridged with Impella 5.0: Comparison with native chest transplanted patients without preoperative mechanical circulatory support. *Artif Organs.* 2021;45(3):254–262. PMID: 32936936 <https://doi.org/10.1111/aor.13816>
 77. Tschöpe C, Van Linthout S, Klein O, Mairinger T, Krackhardt F, Potapov EV, et al. Mechanical Unloading by Fulminant Myocarditis: LV-IMPELLA, ECMELLA, BI-PELLA, and PROPELLA Concepts. *J Cardiovasc Transl Res.* 2019;12(2):116–123. PMID: 30084076 <https://doi.org/10.1007/s12265-018-9820-2>
 78. Amin AP, Spertus JA, Curtis JP, Desai N, Masoudi FA, Bach RG, et al. The Evolving Landscape of Impella Use in the United States Among Patients Undergoing Percutaneous Coronary Intervention With Mechanical Circulatory Support. *Circulation.* 2020;141(4):275–284. PMID: 31735078 <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.119.044007>
 79. Chera HH, Nagar M, Chang NL, Morales-Mangual C, Dous G, Marmur JD, et al. Overview of Impella and mechanical devices in cardiogenic shock. *Expert Rev Med Devices.* 2018;15(4):293–299. PMID: 29600725. <https://doi.org/10.1080/17434440.2018.1456334>
 80. Lima B, Kale P, Gonzalez-Stawinski GV, Kuiper JJ, Carey S, Hall SA. Effectiveness and Safety of the Impella 5.0 as a Bridge to Cardiac Transplantation or Durable Left Ventricular Assist Device. *Am J Cardiol.* 2016;117(10):1622–1628. PMID: 27061705 <https://doi.org/10.1016/j.amjcard.2016.02.038>
 81. Bansal A, Bhama JK, Patel R, Desai S, Mandras SA, Patel H, et al. Using the Minimally Invasive Impella 5.0 via the Right Subclavian Artery Outflow for Acute or Chronic Decompensated Heart Failure as a Bridge to Decision. *Ochsner J.* 2016;16(3):210–216. PMID: 27660567.
 82. Cheng R, Tank R, Ramzy D, Azarbal B, Chung J, Esmailian F, et al. Clinical Outcomes of Impella Microaxial Devices Used to Salvage Cardiogenic Shock as a Bridge to Durable Circulatory Support or Cardiac Transplantation. *ASAIO J.* 2019;65(7):642–648. PMID: 30281541 <https://doi.org/10.1097/MAT.0000000000000877>
 83. Montegudo-Vela M, Panoulas V, García-Saez D, de Robertis F, Stock U, Simon AR. Outcomes of heart transplantation in patients bridged with Impella 5.0: Comparison with native chest transplanted patients without preoperative mechanical circulatory support. *Artif Organs.* 2021;45(3):254–262. PMID: 32936936. <https://doi.org/10.1111/aor.13816>
 84. Maini B, Naidu SS, Mulukutla S, Kleiman N, Schreiber T, Wohns D, et al. Real-world use of the Impella 2.5 circulatory support system in complex high-risk percutaneous coronary intervention: the USpella Registry. *Catheter Cardiovasc Interv.* 2012;80(5):717–725. PMID: 22105829 <https://doi.org/10.1002/ccd.23403>
 85. Chung JS, Emerson D, Ramzy D, Akhmerov A, Megna D, Esmailian F, et al. A New Paradigm in Mechanical Circulatory Support: 100-Patient Experience. *Ann Thorac Surg.* 2020;109(5):1370–1377. PMID: 31563492 <https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2019.08.041>
 86. Seese L, Hickey G, Keebler ME, Mathier MA, Sultan I, Gleason TG, et al. Direct bridging to cardiac transplantation with the surgically implanted Impella 5.0 device. *Clin Transplant.* 2020;34(3):e13818. PMID: 32031274 <https://doi.org/10.1111/ctr.13818>
 87. Chieffo A, Ancona MB, Burzotta F, Pazzanese V, Briguori C, Trani C, et al. Observational multicentre registry of patients treated with IMPELLA mechanical circulatory support device in Italy: the IMP-IT registry. *EuroIntervention.* 2020;15(15):e1343–e1350. PMID: 31422925 <https://doi.org/10.4244/EIJ-D-19-00428>
 88. Batsides G, Massaro J, Cheung A, Soltesz E, Ramzy D, Anderson MB. Outcomes of Impella 5.0 in Cardiogenic Shock: A Systematic Review and Meta-analysis. *Innovations (Phila).* 2018;13(4):254–260. PMID: 30142110 <https://doi.org/10.1097/IMI.0000000000000535>
 89. Patel SM, Lipinski J, Al-Kindi SG, Patel T, Saric P, Li J, et al. Simultaneous Venoarterial Extracorporeal Membrane Oxygenation and Percutaneous Left Ventricular Decompression Therapy with Impella Is Associated with Improved Outcomes in Refractory Cardiogenic Shock. *ASAIO J.* 2019;65(1):21–28. PMID: 29489461 <https://doi.org/10.1097/MAT.0000000000000767>
 90. Vallabhajosyula S, O'Horo JC, Antharam P, Ananthaneni S, Vallabhajosyula S, Stulak JM, et al. Venoarterial Extracorporeal Membrane Oxygenation With Concomitant Impella Versus Venoarterial Extracorporeal Membrane Oxygenation for Cardiogenic Shock. *ASAIO J.* 2020;66(5):497–505. PMID: 31335363 <https://doi.org/10.1097/MAT.0000000000001039>

REFERENCES

1. 2020 Clinical practice guidelines for Chronic heart failure. *Russian Journal of Cardiology.* 2020;25(11):4083. (In Russ.) <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2020-4083>
2. Gao K, Zhao H, Gao J, Wen B, Jia C, Wang Z, et al. Mechanism of Chinese Medicine Herbs Effects on Chronic Heart Failure Based on Metabolic Profiling. *Front Pharmacol.* 2017;8:864. PMID: 29213243 <https://doi.org/10.3389/fphar.2017.00864>
3. Yang B, Wang F, Cao H, Liu G, Zhang Y, Yan P, et al. Caffeoylxanthinonoside exerts cardioprotective effects during chronic heart failure via inhibition of inflammatory responses in cardiac cells. *Exp Ther Med.* 2017;14(5):4224–4230. PMID: 29104638 <https://doi.org/10.3892/etm.2017.5080>
4. Tereshchenko SN, Zhirov IV. Chronic heart failure: New challenges and new perspectives. *Therapeutic Archive.* 2017;89(9):4–9. (In Russ.) <https://doi.org/10.17116/terarkh20178994-9>
5. Liguori I, Russo G, Curcio F, Sasso G, Della-Morte D, Gargiulo G, et al. Depression and chronic heart failure in the elderly: an intriguing relationship. *J Geriatr Cardiol.* 2018;15(6):451–459. PMID: 30108618. <https://doi.org/10.11909/j.issn.1671-5411.2018.06.014>
6. Wang Y, Ma X. Relationship between changes of electrocardiogram indexes in chronic heart failure with arrhythmia and serum PIIINP and BNP. *Exp Ther Med.* 2020;19(1):591–596. PMID: 31897101 <https://doi.org/10.3892/etm.2019.8269>
7. Halade GV, Kain V, Ingle KA. Heart functional and structural compendium of cardioplemic and cardiorenal networks in acute and chronic heart failure pathology. *Am J Physiol Heart Circ Physiol.* 2018;314(2):H255–H267. PMID: 29101178. <https://doi.org/10.1152/ajpheart.00528.2017>
8. Groenewegen A, Rutten FH, Mosterd A, Hoes AW. Epidemiology of heart failure. *Eur J Heart Fail.* 2020;22(8):1342–1356. PMID: 32483830 <https://doi.org/10.1002/ejhf.1858>
9. van Riet EE, Hoes AW, Wagenaar KP, Limburg A, Landman MA, Rutten FH. Epidemiology of heart failure: the prevalence of heart failure and ventricular dysfunction in older adults over time. A systematic review. *Eur J Heart Fail.* 2016;18(3):242–252. PMID: 26727047 <https://doi.org/10.1002/ejhf.483>
10. Sredniawa B, Cebula S, Kowalczyk J, Batchvarov VN, Musialik-Lydk A, Sliwinka A, et al. Heart rate turbulence for prediction of heart transplantation and mortality in chronic heart failure. *Ann Noninvasive Electrocardiol.* 2010;15(3):230–7. PMID: 20645965 <https://doi.org/10.1111/j.1542-474X.2010.00369.x>
11. Gioli-Pereira L, Marcondes-Braga FG, Bernardez-Pereira S, Bacal F, Fernandes F, Mansur AJ, et al. Predictors of one-year outcomes in chronic heart failure: the portrait of a middle income country. *BMC Cardiovasc Disord.* 2019;19(1):251. PMID: 31706288 <https://doi.org/10.1186/s12872-019-1226-9>
12. Ponikowski P, Voors AA, Anker SD, Bueno H, Cleland JGF, Coats AJS, et al. 2016 ESC Guidelines for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure: The Task Force for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure of the European Society of Cardiology (ESC) Developed with the special contribution of the Heart Failure Association (HFA) of the ESC. *Eur Heart J.* 2016;37(27):2129–2200. PMID: 27206819 <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehw128>
13. Khubutiya MSh, Sokolov VV, Redkobodry AV, Kozlov IA, Timerbaev VKh, Khutsishvili LG, et al. The experience of 70 heart transplants in a

- multidisciplinary medical care facility. *Transplantologiya. The Russian Journal of Transplantation*. 2018;10(3):197–206. (In Russ.) <https://doi.org/10.23873/2074-0506-2018-10-3-197-206>
14. Barazzoni R, Gortan Cappellari G, Palus S, Vinci P, Ruozi G, Zanetti M, et al. Acylated ghrelin treatment normalizes skeletal muscle mitochondrial oxidative capacity and AKT phosphorylation in rat chronic heart failure. *J Cachexia Sarcopenia Muscle*. 2017;8(6):991–998. PMID: 29098797 <https://doi.org/10.1002/jcsm.12254>
 15. Hua CY, Huang Y, Su YH, Bu JY, Tao HM. Collaborative care model improves self-care ability, quality of life and cardiac function of patients with chronic heart failure. *Braz J Med Biol Res*. 2017;50(11):e6355. PMID: 28953989 <https://doi.org/10.1590/1414-431X20176355>
 16. Shah KS, Xu H, Matsouaka RA, Bhatt DL, Heidenreich PA, Hernandez AF, et al. Heart Failure With Preserved, Borderline, and Reduced Ejection Fraction: 5-Year Outcomes. *J Am Coll Cardiol*. 2017;70(20):2476–2486. PMID: 29141781 <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2017.08.074>
 17. Alla F, Zannad F, Filippatos G. Epidemiology of acute heart failure syndromes. *Heart Fail Rev*. 2007;12(2):91–95. PMID: 17450426 <https://doi.org/10.1007/s10741-007-9009-2>
 18. Kontogiannis CD, Malliaras K, Kapelios CJ, Mason JW, Nanas JN. Continuous internal counterpulsation as a bridge to recovery in acute and chronic heart failure. *World J Transplant*. 2016;6(1):115–124. PMID: 27011909 <https://doi.org/10.5500/wjt.v6.i1.115>
 19. Braunwald E. The war against heart failure: the Lancet lecture. *Lancet*. 2015;385(9970):812–824. PMID: 25467564 [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(14\)61889-4](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(14)61889-4)
 20. Borisenko O, Müller-Ehmsen J, Lindenfeld J, Rafflenbeul E, Hamm C. An early analysis of cost-utility of baroreflex activation therapy in advanced chronic heart failure in Germany. *BMC Cardiovasc Disord*. 2018;18(1):163. PMID: 30092774 <https://doi.org/10.1186/s12872-018-0898-x>
 21. Jones NR, Roalfe AK, Adoki I, Hobbs FDR, Taylor CJ. Survival of patients with chronic heart failure in the community: a systematic review and meta-analysis. *Eur J Heart Fail*. 2019;21(11):1306–1325. PMID: 31523902 <https://doi.org/10.1002/ehf.1594>
 22. Berthelot E, Bauer F, Eicher JC, Flécher E, Gellen B, Guihaire J, et al. Pulmonary hypertension in chronic heart failure: definitions, advances, and unanswered issues. *ESC Heart Fail*. 2018;5(5):755–763. PMID: 30050912; <https://doi.org/10.1002/ehf2.12316>
 23. Guo L, Yuan H, Zhang D, Zhang J, Hua Q, Ma X, et al. A multi-center, randomized, double-blind, placebo-parallel controlled trial for the efficacy and safety of shenfuqianguxin pills in the treatment of chronic heart failure (Heart-Kidney yang deficiency syndrome). *Medicine (Baltimore)*. 2020;99(21):e20271. PMID: 32481505 <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000020271>
 24. Hu CS, Wu QH, Hu DY, Tkebuchava T. Treatment of chronic heart failure in the 21st century: A new era of biomedical engineering has come. *Chronic Dis Transl Med*. 2018;5(2):75–88. PMID: 31367696 <https://doi.org/10.1016/j.cdtm.2018.08.005>
 25. Jaramillo N, Segovia J, Gómez-Bueno M, García-Cosío D, Castedo E, Serrano S, et al. Characteristics of patients with survival longer than 20 years following heart transplantation. *Rev Esp Cardiol (Engl Ed)*. 2013;66(10):797–802. PMID: 24773860 <https://doi.org/10.1016/j.rec.2013.05.016>
 26. Shindrikov RYu, Shchelkova OYu, Demchenko EA, Sitnikova MYu. Psychosocial Status of Patients With Chronic Heart Failure Awaiting Heart Transplantation. *RUDN Journal of Psychology and Pedagogics*. 2019;16(2):163–180. (In Russ.) <https://doi.org/10.22363/2313-1683-2019-16-2-163-180>
 27. Fernandes LCBC, de Oliveira IM, Fernandes PFCBC, de Souza Neto JD, Farias MDSQ, de Freitas NA, et al. Impact of Heart Transplantation on the Recovery of Peripheral and Respiratory Muscle Mass and Strength in Patients With Chronic Heart Failure. *Transplant Direct*. 2018;4(11):e395. PMID: 30534588 <https://doi.org/10.1097/TXD.0000000000000837>
 28. Fried JA, Nair A, Takeda K, Clerkin K, Topkara VK, Masoumi A, et al. Clinical and hemodynamic effects of intra-aortic balloon pump therapy in chronic heart failure patients with cardiogenic shock. *J Heart Lung Transplant*. 2018;37(11):1313–1321. PMID: 29678608 <https://doi.org/10.1016/j.healun.2018.03.011>
 29. Everly MJ. Cardiac transplantation in the United States: an analysis of the UNOS registry. *Clin Transpl*. 2008;35–43. PMID: 19708444.
 30. Fukuhara S, Takeda K, Kurlansky PA, Naka Y, Takayama H. Extracorporeal membrane oxygenation as a direct bridge to heart transplantation in adults. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2018;155(4):1607–1618.e6. PMID: 29361299 <https://doi.org/10.1016/j.jtcvs.2017.10.152>
 31. Todurov BM, Kovtun HI, Shpachuk AO, Kuzmich IN, Druzhina AN, Sudakevich SN, et al. LVAD Use in the Treatment of End-Stage Heart Failure. *Ukrainian Journal of Cardiovascular Surgery*. 2020;2(39):43–47. <https://doi.org/10.30702/ujcv/20.3905/031043-047>
 32. Dogonashaeva AA. *Transplantatsiya serdtsa patsientam s predtransplantatsionnoy veno-arterial'noy ekstrakorporal'noy membrannoy oksigenatsiyey: cand. med. sci. diss. synopsis*. Moscow, 2020. (In Russ.)
 33. Ismagilov FR, Vavilov VE, Nurgaliev RA. Present and Future of Circulatory Assist Devices (Review). *Nauchnoe Priborostroenie*. 2019;29(4):19–27. (In Russ.) <https://doi.org/10.18358/np-29-4-i1927>
 34. Ukhrenkov SG. *Perifericheskaya veno-arterial'naya ekstrakorporal'naya membrannaya oksigenatsiya kak metod mekhanicheskoy podderzhki u potentsial'nykh retsipientov serdtsa: cand. med. sci. diss. synopsis*. Moscow, 2017. (In Russ.)
 35. Pons S, Sonnevile R, Bouadma L, Styfalova L, Ruckly S, Neuville M, et al. Infectious complications following heart transplantation in the era of high-priority allocation and extracorporeal membrane oxygenation. *Ann Intensive Care*. 2019;9(1):17. PMID: 30684052 <https://doi.org/10.1186/s13613-019-0490-2>
 36. Czapan A, Steel M, Barrett NA. Extra-corporeal membrane oxygenation for severe respiratory failure in the UK. *J Intensive Care Soc*. 2020;21(3):247–255. PMID: 32782465 <https://doi.org/10.1177/1751143719870082>
 37. Hadaya J, Benharash P. Extracorporeal Membrane Oxygenation. *JAMA*. 2020;323(24):2536. PMID: 32463441 <https://doi.org/10.1001/jama.2020.9148>
 38. Shelukhin DA, Pavlov AI, Ershov AL. Extracorporeal membrane oxygenation for patients with severe respiratory failure. Case report: first time in Russia inter-hospital aeromedical transportation of the patient with severe acute respiratory failure on extracorporeal membrane oxygenation. *Medico-Biological and Socio-Psychological Problems of Safety in Emergency Situations*. 2015;3(3):24–34. (In Russ.) <https://doi.org/10.25016/2541-7487-2015-0-3-24-34>
 39. Quintel M, Bartlett RH, Grocott MPW, Combes A, Ranieri MV, Baiocchi M, et al. Extracorporeal Membrane Oxygenation for Respiratory Failure. *Anesthesiology*. 2020;132(5):1257–1276. PMID: 32149776. <https://doi.org/10.1097/ALN.0000000000003221>
 40. Evseev AK, Zhuravel SV, Alentiev AYU, Goroncharovskaya IV, Petrikov SS. Membranes in Extracorporeal Blood Oxygenation Technology. *Membranes and Membrane Technologies*. 2019;1(4):201–211
 41. OPTN. *Organ Procurement and Transplantation Network. Policies*. 2020. Available at: https://www.lungbioengineering.com/wp-content/uploads/sites/3/2020/06/optn_policies.pdf [Accessed Aug 25, 2025]
 42. Kornelyuk RA, Vereshchagin IE, Shukevich DL, Ganyukov VI. Mechanical circulatory support in high-risk percutaneous coronary intervention. *Complex Issues of Cardiovascular Diseases*. 2018;7(45):54–65. (In Russ.) <https://doi.org/10.17802/2306-1278-2018-7-45-54-65>
 43. Su Y, Liu K, Zheng JL, Li X, Zhu DM, Zhang Y, et al. Hemodynamic monitoring in patients with venoarterial extracorporeal membrane oxygenation. *Ann Transl Med*. 2020;8(12):792. PMID: 32647717 <https://doi.org/10.21037/atm.2020.05.186>
 44. Rao P, Khalpey Z, Smith R, Burkhoff D, Kociol RD. Venoarterial Extracorporeal Membrane Oxygenation for Cardiogenic Shock and Cardiac Arrest. *Circ Heart Fail*. 2018;11(9):e004905. PMID: 30554564. <https://doi.org/10.1161/CIRCHEARTFAILURE.118.004905>
 45. *Perifericheskaya veno-arterial'naya ekstrakorporal'naya membrannaya oksigenatsiya pered transplantatsiyey serdtsa. Natsional'nye klinicheskie rekomendatsii*. Moscow, 2015. (In Russ.) Available at: <https://transpl.ru/files/rto/perfer-abo-pered-transpl.pdf> [Accessed Aug 25, 2025]
 46. Parhar KK, Fedak PWM. Bridging to heart transplant with extracorporeal membrane oxygenation: Good or VAD? *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2018;155(4):1619–1620. PMID: 29310932 <https://doi.org/10.1016/j.jtcvs.2017.12.001>
 47. Rupprecht L, Lunz D, Philipp A, Lubnow M, Schmid C. Pitfalls in percutaneous ECMO cannulation. *Heart Lung Vessel*. 2015;7(4):320–326. PMID: 26811858
 48. Hong KN, Iribarne A, Worku B, Takayama H, Gelijns AC, Naka Y, et al. Who is the high-risk recipient? Predicting mortality after heart transplant using pretransplant donor and recipient risk factors. *Ann Thorac Surg*. 2011;92(2):520–527; discussion 527. PMID: 21683537 <https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2011.02.086>
 49. Worku B, Pak SW, van Patten D, Housman B, Uriel N, Colombo P, et al. The CentriMag ventricular assist device in acute heart failure refractory to medical management. *J Heart Lung Transplant*. 2012;31(6):611–617. PMID: 22608770. <https://doi.org/10.1016/j.healun.2011.12.016>
 50. Russo CF, Cannata A, Lanfranconi M, Bruschi G, Milazzo F, Paino R, et al. Veno-arterial extracorporeal membrane oxygenation using Levitronix centrifugal pump as bridge to decision for refractory cardiogenic shock. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2010;140(6):1416–1421. PMID: 20933244 <https://doi.org/10.1016/j.jtcvs.2010.07.083>
 51. Spirina EA, Saitgareev RS, Shumakov DV, Zakharevitch VM, Slobodyannik VV, Minina MG, et al. Peripheral Veno-Arterial ECMO as Mechanical Circulatory Support Before Heart Transplantation. *Russian Journal of Transplantation and Artificial Organs*. 2013;15(2):23–35. (In Russ.) <https://doi.org/10.15825/1995-1191-2013-2-23-35>
 52. Barth E, Durand M, Heylbroeck C, Rossi-Blancher M, Boignard A, Vanzetto G, et al. Extracorporeal life support as a bridge to high-urgency heart transplantation. *Clin Transplant*. 2012;26(3):484–488. PMID: 21919969 <https://doi.org/10.1111/j.1399-0012.2011.01525.x>
 53. Poptsov VN, Saitgareev RSh, Shumakov DV, Zakharevich VM, Akopov GA, Shevchenko AO, et al. Ortotopicheskaya transplantatsiya serdtsa u retsipientov 60 let i starshe. *Vestnik transplantologii i iskusstvennykh organov*. 2016;18(S):28 (In Russ.)
 54. Balasubramanya S, Arabia F, Moriguchi J, Kobashigawa J, Esmailian F. Extracorporeal Membrane Oxygenation as a Bridge to Recovery, Bridge to Ventricular Assist Device and Bridge to Heart Transplantation: A

- Retrospective Review of Data From a Single Tertiary Care Institution. *The Journal of Heart and Lung Transplantation*. 2014; 33(4):S78. <https://doi.org/10.1016/j.healun.2014.01.244>
55. Barge-Caballero G, Castel-Lavilla MA, Almenar-Bonet L, Garrido-Bravo IP, Delgado JF, Rangel-Sousa D, et al. Venoarterial extracorporeal membrane oxygenation with or without simultaneous intra-aortic balloon pump support as a direct bridge to heart transplantation: results from a nationwide Spanish registry. *Interact Cardiovasc Thorac Surg*. 2019;29(5):670–677. PMID: 31257414 <https://doi.org/10.1093/icvts/ivz155>
 56. Karamlou T, Gelow J, Diggs BS, Tibayan FA, Mudd JM, Guyton SW, et al. Mechanical circulatory support pathways that maximize post-heart transplant survival. *Ann Thorac Surg*. 2013;95(2):480–485; discussion 485. PMID: 22921240 <https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2012.05.108>
 57. Lund LH, Edwards LB, Kucheryavaya AY, Dipchand AI, Benden C, Christie JD, et al. The Registry of the International Society for Heart and Lung Transplantation: Thirtieth Official Adult Heart Transplant Report—2013; focus theme: age. *J Heart Lung Transplant*. 2013;32(10):951–964. PMID: 24054804 <https://doi.org/10.1016/j.healun.2013.08.006>
 58. Cho YH, Yang JH, Sung K, Jeong DS, Park PW, Kim WS, et al. Extracorporeal life support as a bridge to heart transplantation: importance of organ failure in recipient selection. *ASAIO J*. 2015;61(2):139–143. PMID: 25396273 <https://doi.org/10.1097/MAT.0000000000000171>
 59. Burrell AJC, Bennett V, Serra AL, Pellegrino VA, Romero L, Fan E, et al. Venoarterial extracorporeal membrane oxygenation: A systematic review of selection criteria, outcome measures and definitions of complications. *J Crit Care*. 2019;53:32–37. PMID: 31181462 <https://doi.org/10.1016/j.jcrc.2019.05.011>
 60. Jasseron C, Lebreton G, Cantrelle C, Legeai C, Leprince P, Flecher E, et al. Impact of Heart Transplantation on Survival in Patients on Venoarterial Extracorporeal Membrane Oxygenation at Listing in France. *Transplantation*. 2016;100(9):1979–1987. PMID: 27306536 <https://doi.org/10.1097/TP.0000000000001265>
 61. Combes A. Mechanical circulatory support for end-stage heart failure. *Metabolism*. 2017;69S:S30–S35. PMID: 28153356 <https://doi.org/10.1016/j.metabol.2017.01.009>
 62. Sy E, Sklar MC, Lequier L, Fan E, Kanji HD. Anticoagulation practices and the prevalence of major bleeding, thromboembolic events, and mortality in venoarterial extracorporeal membrane oxygenation: A systematic review and meta-analysis. *J Crit Care*. 2017;39:87–96. PMID: 28237895 <https://doi.org/10.1016/j.jcrc.2017.02.014>
 63. Le Guennec L, Cholet C, Huang F, Schmidt M, Bréchet N, Hékimian G, et al. Ischemic and hemorrhagic brain injury during venoarterial-extracorporeal membrane oxygenation. *Ann Intensive Care*. 2018;8(1):129. PMID: 30570687. <https://doi.org/10.1186/s13613-018-0475-6>
 64. Sutter R, Tisljar K, Marsch S. Acute Neurologic Complications During Extracorporeal Membrane Oxygenation: A Systematic Review. *Crit Care Med*. 2018;46(9):1506–1513. PMID: 29782356 <https://doi.org/10.1097/CCM.0000000000003223>
 65. Hess NR, Hickey GW, Sultan I, Kilic A. Extracorporeal membrane oxygenation bridge to heart transplant: Trends following the allocation change. *J Card Surg*. 2020. PMID: 330905852020 <https://doi.org/10.1111/jocs.15118>
 66. Xie A, Lo P, Yan TD, Forrest P. Neurologic Complications of Extracorporeal Membrane Oxygenation: A Review. *J Cardiothorac Vasc Anesth*. 2017;31(5):1836–1846. PMID: 28625752 <https://doi.org/10.1053/j.jvca.2017.03.001>
 67. Taradin GG, Vatutin NT, Sidorenko IA, Popelnukhina LG, Gritzenko YP. The management of critical conditions in peripartum cardiomyopathy (part II). *University Clinic*. 2017;13(2):205–212 (In Russ.)
 68. Hassett CE, Cho SM, Hasan S, Rice CJ, Migdady I, Starling RC, et al. Ischemic Stroke and Intracranial Hemorrhages During Impella Cardiac Support. *ASAIO J*. 2020;66(8):e105–e109. PMID: 32740362. <https://doi.org/10.1097/MAT.0000000000001132>
 69. Norkiene I, Ringaitiene D, Rucinskas K, Samalavicius R, Baublys A, Miniauskas S, et al. Intra-aortic balloon counterpulsation in decompensated cardiomyopathy patients: bridge to transplantation or assist device. *Interact Cardiovasc Thorac Surg*. 2007;6(1):66–70. PMID: 17669772 <https://doi.org/10.1510/icvts.2006.140160>
 70. Gjesdal O, Gude E, Arora S, Leivestad T, Andreassen AK, Gullestad L, et al. Intra-aortic balloon counterpulsation as a bridge to heart transplantation does not impair long-term survival. *Eur J Heart Fail*. 2009;11(7):709–714. PMID: 19515719 <https://doi.org/10.1093/eurjhf/hfp078>
 71. Nwaejike N, Son AY, Milano CA, Daneshmand MA. Is there a role for upper-extremity intra-aortic balloon counterpulsation as a bridge-to-recovery or a bridge-to-transplant in the treatment of end-stage heart failure? *Interact Cardiovasc Thorac Surg*. 2017;25(4):654–658. PMID: 28962495 <https://doi.org/10.1093/icvts/ivx165>
 72. Huckaby LV, Seese LM, Mathier MA, Hickey GW, Kilic A. Intra-Aortic Balloon Pump Bridging to Heart Transplantation: Impact of the 2018 Allocation Change. *Circ Heart Fail*. 2020;13(8):e006971. PMID: 32757643. <https://doi.org/10.1161/CIRCHEARTFAILURE.120.006971>
 73. Cheng R, Tank R, Ramzy D, Azarbal B, Chung J, Esmailian F, et al. Clinical Outcomes of Impella Microaxial Devices Used to Salvage Cardiogenic Shock as a Bridge to Durable Circulatory Support or Cardiac Transplantation. *ASAIO J*. 2019;65(7):642–648. PMID: 30281541 <https://doi.org/10.1161/10.1097/MAT.0000000000000877>
 74. Monteagudo Vela M, Simon A, Riesgo Gil F, Rosenberg A, Dalby M, Kabir T, et al. Clinical Indications of IMPELLA Short-Term Mechanical Circulatory Support in a Tertiary Centre. *Cardiovasc Revasc Med*. 2020;21(5):629–637. PMID: 31859100 <https://doi.org/10.1016/j.carrev.2019.12.010>
 75. Gregoric ID. Triage VADs: TandemHeart, Impella, and CentriMag. In: Morgan JA, Naka Y (eds.). *Surgical Treatment for Advanced Heart Failure*. New York: Springer, 2013:93–107.
 76. Monteagudo-Vela M, Panoulas V, García-Saez D, de Robertis F, Stock U, Simon AR. Outcomes of heart transplantation in patients bridged with Impella 5.0: Comparison with native chest transplanted patients without preoperative mechanical circulatory support. *Artif Organs*. 2021;45(3):254–262. PMID: 32936936 <https://doi.org/10.1111/aor.13816>
 77. Tschöpe C, Van Linthout S, Klein O, Mairinger T, Krackhardt F, Potapov EV, et al. Mechanical Unloading by Fulminant Myocarditis: LV-IMPELLA, ECMELLA, BI-PELLA, and PROPELLA Concepts. *J Cardiovasc Transl Res*. 2019;12(2):116–123. PMID: 30084076 <https://doi.org/10.1007/s12265-018-9820-2>
 78. Amin AP, Spertus JA, Curtis JP, Desai N, Masoudi FA, Bach RG, et al. The Evolving Landscape of Impella Use in the United States Among Patients Undergoing Percutaneous Coronary Intervention With Mechanical Circulatory Support. *Circulation*. 2020;141(4):273–284. PMID: 31735078 <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.119.044007>
 79. Chera HH, Nagar M, Chang NL, Morales-Mangual C, Dous G, Marmur JD, et al. Overview of Impella and mechanical devices in cardiogenic shock. *Expert Rev Med Devices*. 2018;15(4):293–299. PMID: 29600725. <https://doi.org/10.1080/17434440.2018.1456334>
 80. Lima B, Kale P, Gonzalez-Stawinski GV, Kuiper JJ, Carey S, Hall SA. Effectiveness and Safety of the Impella 5.0 as a Bridge to Cardiac Transplantation or Durable Left Ventricular Assist Device. *Am J Cardiol*. 2016;117(10):1622–1628. PMID: 27061705 <https://doi.org/10.1016/j.amjcard.2016.02.038>
 81. Bansal A, Bhama JK, Patel R, Desai S, Mandras SA, Patel H, et al. Using the Minimally Invasive Impella 5.0 via the Right Subclavian Artery Cutdown for Acute on Chronic Decompensated Heart Failure as a Bridge to Decision. *Ochsner J*. 2016;16(3):210–216. PMID: 27660567.
 82. Cheng R, Tank R, Ramzy D, Azarbal B, Chung J, Esmailian F, et al. Clinical Outcomes of Impella Microaxial Devices Used to Salvage Cardiogenic Shock as a Bridge to Durable Circulatory Support or Cardiac Transplantation. *ASAIO J*. 2019;65(7):642–648. PMID: 30281541 <https://doi.org/10.1097/MAT.0000000000000877>
 83. Monteagudo-Vela M, Panoulas V, García-Saez D, de Robertis F, Stock U, Simon AR. Outcomes of heart transplantation in patients bridged with Impella 5.0: Comparison with native chest transplanted patients without preoperative mechanical circulatory support. *Artif Organs*. 2021;45(3):254–262. PMID: 32936936. <https://doi.org/10.1111/aor.13816>
 84. Maini B, Naidu SS, Mulukutla S, Kleiman N, Schreiber T, Wohns D, et al. Real-world use of the Impella 2.5 circulatory support system in complex high-risk percutaneous coronary intervention: the USpella Registry. *Catheter Cardiovasc Interv*. 2012;80(5):717–725. PMID: 22105829 <https://doi.org/10.1002/ccd.23403>
 85. Chung JS, Emerson D, Ramzy D, Akhmerov A, Megna D, Esmailian F, et al. A New Paradigm in Mechanical Circulatory Support: 100-Patient Experience. *Ann Thorac Surg*. 2020;109(5):1370–1377. PMID: 31563492 <https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2019.08.041>
 86. Seese L, Hickey G, Keebler ME, Mathier MA, Sultan I, Gleason TG, et al. Direct bridging to cardiac transplantation with the surgically implanted Impella 5.0 device. *Clin Transplant*. 2020;34(3):e13818. PMID: 32031274 <https://doi.org/10.1111/ctr.13818>
 87. Chieffo A, Ancona MB, Burzotta F, Pazzanese V, Briguori C, Trani C, et al. Observational multicentre registry of patients treated with IMPELLA mechanical circulatory support device in Italy: the IMP-IT registry. *EuroIntervention*. 2020;15(15):e1343–e1350. PMID: 31422925 <https://doi.org/10.4244/EIJ-D-19-00428>
 88. Batsides G, Massaro J, Cheung A, Soltesz E, Ramzy D, Anderson MB. Outcomes of Impella 5.0 in Cardiogenic Shock: A Systematic Review and Meta-analysis. *Innovations (Phila)*. 2018;13(4):254–260. PMID: 30142110 <https://doi.org/10.1097/IML.0000000000000535>
 89. Patel SM, Lipinski J, Al-Kindi SG, Patel T, Saric P, Li J, et al. Simultaneous Venoarterial Extracorporeal Membrane Oxygenation and Percutaneous Left Ventricular Decompression Therapy with Impella Is Associated with Improved Outcomes in Refractory Cardiogenic Shock. *ASAIO J*. 2019;65(1):21–28. PMID: 29489461 <https://doi.org/10.1097/MAT.0000000000000767>
 90. Vallabhajosyula S, O'Horo JC, Antharam P, Ananthaneni S, Vallabhajosyula S, Stulak JM, et al. Venoarterial Extracorporeal Membrane Oxygenation With Concomitant Impella Versus Venoarterial Extracorporeal Membrane Oxygenation for Cardiogenic Shock. *ASAIO J*. 2020;66(5):497–503. PMID: 31335363 <https://doi.org/10.1097/MAT.0000000000001039>

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

- Хубутия Могели Шалвович** академик РАН, профессор, президент ГБУЗ «НИИ СП им. Н.В. Склифосовского ДЗМ»; <https://orcid.org/0000-0002-0746-1884>, khubutyams@zdrav.mos.ru; 30%: формулировка идеи исследования, редактирование рукописи, утверждение окончательного варианта
- Токарев Алексей Сергеевич** кандидат медицинских наук, научный сотрудник неотложной нейрохирургии ГБУЗ «НИИ СП им. Н.В. Склифосовского ДЗМ»; <https://orcid.org/0000-0002-8415-5602>, tokarevas@mos.ru; 25%: дизайн методологии, редактирование рукописи
- Рубцов Николай Владимирович** кандидат медицинских наук, научный сотрудник научного отдела неотложной кардиохирургии ГБУЗ «НИИ СП им. Н.В. Склифосовского ДЗМ»; <https://orcid.org/0000-0002-8786-9491>, rubtsovny@zdrav.mos.ru; 15%: сбор данных, написание части рукописи
- Исрапиев Магомед Вахарсолтович** специалист организационно-методического отдела по стационарной помощи ГБУ НИИОЗММ ДЗМ; <https://orcid.org/0000-0003-1992-1515>, israpievmv@mos.ru; 10%: анализ данных, написание части рукописи, редактирование текста рукописи
- Хуцишвили Леван Гайзович** младший научный сотрудник научного отдела неотложной кардиохирургии ГБУЗ «НИИ СП им. Н.В. Склифосовского ДЗМ»; специалист организационно-методического отдела по стационарной помощи ГБУ НИИОЗММ ДЗМ; <https://orcid.org/0000-0002-3398-358X>, khutsishvilig1@zdrav.mos.ru; 8%: сбор и анализ данных
- Сагиров Марат Анварович** заведующий научным отделом неотложной кардиохирургии ГБУЗ «НИИ СП им. Н.В. Склифосовского ДЗМ»; <https://orcid.org/0000-0002-2971-9188>, sagirovma@zdrav.mos.ru; 7%: планирование и контроль исследования, редактирование рукописи
- Аргир Иван Александрович** младший научный сотрудник научного отдела неотложной кардиохирургии ГБУЗ «НИИ СП им. Н.В. Склифосовского ДЗМ»; специалист организационно-методического отдела по стационарной помощи ГБУ НИИОЗММ ДЗМ; <https://orcid.org/0000-0003-4078-5263>, ivan.argir.91@mail.ru; 5%: написание части рукописи

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Mechanical Circulatory Support in Patients with End-Stage Heart Failure: a Literature Review (Part 1)

M.Sh. Khubutiya¹, A.S. Tokarev¹, N.V. Rubtsov¹, M.V. Israpiev² ✉, L.G. Khutsishvili^{1,2}, M.A. Sagirov¹, I.A. Argir^{1,2}

Scientific Department of Emergency Cardiac Surgery

¹ N.V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine
Bolshaya Sukharevskaya Sq. 3, Moscow, Russian Federation 129090

² Research Institute for Healthcare Organization and Medical Management
Sharikopodshipnikovskaya Str. 9, Moscow, Russian Federation 115088

✉ **Contacts:** Magomed V. Israpiev, Medical Psychologist, Specialist of the Organizational and Methodological Department for Inpatient Care, Research Institute for Health Organization and Medical Management. Email: israpievmv@mos.ru

ABSTRACT Chronic heart failure (CHF) is a progressive and irreversible syndrome that develops against the background of structural and functional disorders of the heart. It is accompanied by a decrease in cardiac output, pressure overload and a high level of hospitalizations, which makes CHF one of the key medical and social problems of our time. In recent decades, the prevalence of CHF has been steadily increasing, especially among the elderly population, which is associated with an increase in life expectancy and an improvement in the quality of medical care. According to forecasts, by 2050 the number of patients will increase by 50-60% compared to 2010.

The terminal stage of CHF is characterized by an extremely unfavorable prognosis: survival does not exceed 25-30%. Heart transplantation (HT) remains the only radical treatment method that can significantly improve survival and quality of life. However, the shortage of donor organs and the growing number of patients necessitate the use of mechanical circulatory support (MCS) as a temporary or long-term alternative.

MPC systems act as a "bridge" to transplantation, allowing for hemodynamic stabilization and organ function support before surgery. The most common short-term support technologies are extracorporeal membrane oxygenation (ECMO), intra-aortic balloon pump (IABP), and temporary axial pumps (Impella, TandemHeart). ECMO provides both respiratory and hemodynamic support, but is associated with a high risk of complications and relatively low survival. IABP is the most accessible method, improving coronary perfusion, but provides limited support. Impella devices demonstrate higher efficiency, unloading the left ventricle and improving systemic hemodynamics, while being characterized by fewer complications. TandemHeart provides a comparable effect, but requires a more complex installation technique.

The choice of MPC method depends on the patient's condition, the severity of multiorgan dysfunction, the availability of equipment, and the qualifications of the specialists. Current research confirms that a combination of different devices (e.g., ECMO and Impella) can improve outcomes.

Thus, mechanical circulatory support occupies a central place in the treatment of terminal heart failure in conditions of limited donor resources, allowing to gain time before transplantation and reduce mortality on the waiting list.

Keywords: heart failure, assisted circulation, artificial circulation, mechanical circulatory support, artificial ventricles of the heart, left ventricular bypass, ECMO
For citation Khubutiya MSh, Tokarev AS, Rubtsov NV, Israpiev MV, Khutsishvili LG, Sagirov MA, et al. Mechanical Circulatory Support in Patients with End-Stage Heart Failure: a Literature Review (Part 1). *Russian Sklifosovsky Journal of Emergency Medical Care*. 2025;14(3):586–600. <https://doi.org/10.23934/2223-9022-2025-14-3-586-600> (in Russ.)

Conflict of interest Authors declare lack of the conflicts of interests

Acknowledgments, sponsorship The study has no sponsorship

Affiliations

Mogeli Sh. Khubutiya	Academician of the Russian Academy of Sciences, Professor, President of the N.V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine; https://orcid.org/0000-0002-0746-1884 , khubutiya@zdrav.mos.ru ; 30%, formulation of the research idea, editing the manuscript, approval of the final version
Aleksey S. Tokarev	Candidate of Medical Science, Research Associate, Department of Emergency Neurosurgery, N.V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine; https://orcid.org/0000-0002-8415-5602 , tokarevas@mos.ru ; 25% methodology design, manuscript editing
Nikolay V. Rubtsov	Candidate of Medical Science, Research Associate, Scientific Department of Emergency Cardiac Surgery, N.V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine; https://orcid.org/0000-0002-8786-9491 , rubtsov@zdrav.mos.ru ; 15%, data collection, writing part of the manuscript
Magomed V. Israpiev	Specialist of the Organizational and Methodological Department for Inpatient Care, Research Institute for Health Organization and Medical Management; https://orcid.org/0000-0003-1992-1515 , israpiev@mos.ru ; 10%, data analysis, writing part of the manuscript, editing the text of the manuscript
Levan G. Khutsishvili	Junior Researcher, Scientific Department of Emergency Cardiac Surgery, N.V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine; Specialist of the Organizational and Methodological Department for Inpatient Care, Research Institute for Healthcare Organization and Medical Management; https://orcid.org/0000-0002-3398-358X , khutsishvili1@zdrav.mos.ru ; 8%, data collection and analysis
Marat A. Sagirov	Head of the Scientific Department of Emergency Cardiac Surgery, N.V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine; https://orcid.org/0000-0002-2971-9188 , sagirov@zdrav.mos.ru ; 7%, planning and supervision of the study, editing the manuscript
Ivan A. Argir	Junior Researcher, Scientific Department of Emergency Cardiac Surgery, N.V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine; Specialist of the Organizational and Methodological Department for Inpatient Care, Research Institute for Healthcare Organization and Medical Management; https://orcid.org/0000-0003-4078-5263 , ivan.argir.91@mail.ru ; 5%: writing part of the manuscript

Received on 16.10.2024

Review completed on 02.12.2024

Accepted on 09.06.2025

Поступила в редакцию 16.10.2024

Рецензирование завершено 02.12.2024

Принята к печати 09.06.2025