

DOI: 10.15825/1995-1191-2023-2-49-56

БИВЕНТРИКУЛЯРНАЯ МЕХАНИЧЕСКАЯ ПОДДЕРЖКА СЕРДЦА. ИСТОРИЯ И СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ

*М.О. Жульков, Д.А. Сирота, Д.С. Хван, А.Г. Макаев, Х.А. Агаева, И.С. Зыков,
А.В. Фомичев, О.В. Повещенко, М.А. Суровцева, А.М. Чернявский*

ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр имени академика Е.Н. Мешалкина» Минздрава России, Новосибирск, Российская Федерация

Медикаментозное лечение терминальной стадии хронической сердечной недостаточности значительно эволюционировало за последние несколько десятилетий. Благодаря лучшему пониманию патофизиологии сердечной недостаточности были синтезированы новые фармакологические агенты. Однако выживаемость при медикаментозном лечении данной когорты пациентов остается крайне низкой, что стимулирует развитие хирургических методов лечения. Последние технологические достижения в разработке устройств механической поддержки сердца сделали возможной одномоментную имплантацию двух центробежных насосов в качестве альтернативы полностью искусственному сердцу. На сегодняшний день вспомогательные желудочковые устройства могут быть имплантированы для обеспечения как унивентрикулярной, так и бивентрикулярной поддержки в зависимости от тяжести гемодинамических нарушений, поражения органов-мишеней, вероятности выздоровления и пересадки сердца.

Ключевые слова: трансплантация сердца, устройство механической поддержки кровообращения, сердечная недостаточность, вспомогательное кровообращение.

BIVENTRICULAR MECHANICAL CIRCULATORY SUPPORT. HISTORY AND CURRENT STATE OF THE PROBLEM

*M.O. Zhulkov, D.A. Sirota, D.S. Khvan, A.G. Makaev, H.A. Agaeva, I.S. Zykov,
A.V. Fomichev, O.V. Poveschenko, M.A. Surovtseva, A.M. Chernyavsky*

Meshalkin National Medical Research Center, Novosibirsk, Russian Federation

Medical management of end-stage chronic heart failure (HF) has evolved significantly over the past few decades. With a better understanding of the pathophysiology of HF, new pharmacological agents have been synthesized. However, survival in this cohort of patients with medical treatment remains extremely low. This has stimulated the development of surgical methods of treatment. Recent technological advances in the development of mechanical circulatory assist devices have made possible a single-stage implantation of two centrifugal pumps as an alternative to a total artificial heart. Today ventricular assist devices can be implanted to provide both univentricular and biventricular support depending on the severity of hemodynamic disorders, target organ damage, likelihood of recovery and heart transplantation.

Keywords: heart transplantation, mechanical circulatory assist device, heart failure, circulatory support.

Несмотря на все усилия врачей и ученых, ежегодно в мире от сердечной недостаточности в качестве первичной или сопутствующей патологии умирают почти 300 000 пациентов [1]. Пересадка сердца остается «золотым стандартом» лечения терминальной стадии хронической сердечной недостаточности, однако возможность выполнения данной операции сильно ограничена количеством доступных

донорских органов. В результате этого имплантация устройств вспомогательной поддержки левого желудочка (LVAD) стала единственным и наиболее эффективным альтернативным вариантом помощи данной когорте пациентов. С момента одобрения первой модели LVAD Управлением по санитарному надзору США (U.S. Food and Drugs Administration, FDA) количество имплантированных устройств ежегодно

Для корреспонденции: Макаев Александр Геннадьевич. Адрес: 630055, Новосибирск, ул. Речкуновская, д. 15. Тел. (905) 198-33-31. E-mail: makaev_a@meshalkin.ru

Corresponding author: Alexander Makaev. Address: 15, Rechkunovskaya str., Novosibirsk, 630055, Russian Federation. Phone: (905) 198-33-31. E-mail: makaev_a@meshalkin.ru

росло и в настоящий момент превышает количество выполненных операций трансплантации сердца [2].

На протяжении многих лет развитие хирургических методов лечения сердечной недостаточности было сосредоточено на восстановлении и поддержании насосной функции в первую очередь левого желудочка, в связи с чем гораздо меньше внимания было уделено изучению патогенеза и способам поддержания функции правых отделов сердца. Однако в большинстве случаев терминальная стадия хронической сердечной недостаточности представляет собой бивентрикулярную дисфункцию сердца – в таких случаях имплантация LVAD не только малоэффективна, но и сопряжена с высоким риском развития дисфункции правого желудочка. Так, по данным исследований, частота дисфункции правого желудочка (ПЖ) после имплантации устройств механической поддержки левого желудочка сердца (LVAD) составляет от 10 до 30% [3–5]. Данные INTERMACS показывают, что даже при современном уровне развития устройств LVAD годовая выживаемость при бивентрикулярной недостаточности остается неизменной в разные периоды (2006–2012 гг. / 2013–2016 гг.) на уровне 56% против 55% соответственно [6]. По данным J.K. Kirklin et al., в 2011 году было имплантировано 368 BIVAD, при этом выживаемость снижалась по мере увеличения продолжительности бивентрикулярной механической поддержки и составила 70% через 3 месяца, 62% через 6 месяцев, 55% через 12 месяцев и 53% спустя 24 месяца после вмешательства [7].

Несмотря на открытие целого ряда предикторов развития дисфункции ПЖ (всего в опубликованной литературе выделяют не менее 25 различных потенциальных предикторов тяжелой недостаточности ПЖ у реципиентов LVAD) после имплантации LVAD, большинство из них имеют низкую специфичность и чувствительность, в связи с чем представляют малую эффективность в клинической практике [5, 8–12]. Отсутствие точных предикторов развития правожелудочковой дисфункции заставило клиницистов использовать интраоперационные инструменты принятия решений, основанные на результатах исследования параметров гемодинамики после имплантации LVAD или в течение нескольких часов/дней после имплантации. Отсутствие точных данных и алгоритмов приводит к увеличению времени принятия решения в выборе способа механической поддержки правых отделов сердца, а также оптимальной модели устройства. Из-за этого клинические результаты применения данной стратегии были субоптимальными, что объясняло значительную заболеваемость и смертность [13].

Громоздкость первых моделей LVAD исключала возможность одномоментной имплантации двух насосов с целью реализации бивентрикулярной поддержки сердца [14–16]. По этой причине единствен-

ным способом восстановления гемодинамики малого круга кровообращения стало применение методик временной экстракорпоральной механической поддержки кровообращения [17]. К сожалению, экстракорпоральные устройства имели ряд недостатков, в том числе плохую совместимость с кровью, высокий уровень инфицирования, высокую частоту цереброваскулярных осложнений и необходимость длительного пребывания в стационаре, что значительно снижало качество жизни пациентов и стимулировало интерес ученых в области разработки имплантируемых устройств [18, 19].

В течение последних десятилетий модели LVAD претерпели значительное технологическое усовершенствование, однако желание хирургов повторить успех LVAD и имплантировать разработанные модели устройств длительной механической поддержки кровообращения в правую позицию сопровождалось целым рядом трудностей [6, 20]. Первыми моделями устройств, имплантированными как BIVAD, стали модели пульсирующего типа. Одним из самых узнаваемых устройств для бивентрикулярной поддержки стала система Thoratec VAD (Abbott Laboratories, Чикаго, Иллинойс). Актуарная выживаемость после имплантации устройства составила $69,1 \pm 5,0$; $48,7 \pm 5,5$; $41,9 \pm 5,5$ и $38,4 \pm 5,6\%$ через 1 месяц, 1 год, 3 года и 5 лет соответственно. Из-за простоты имплантации устройство широко применялось у пациентов с кардиогенным шоком [21, 22].

Еще одной моделью насоса пульсирующего типа, применяемой в качестве BIVAD в настоящее время является EXCOR VAD (Berlin Heart AG, Берлин, Германия). Данное устройство нашло широкое применение в педиатрической группе: несмотря на экстракорпоральную схему подключения и значительные ограничения в послеоперационном периоде, EXCOR VAD является единственным методом спасения детей с сердечной недостаточностью, позволяющим дожидаться донорский орган. По данным S.E. Bartfay et al., общая вероятность выживания после имплантации EXCOR Berlin Heart в течение 5 лет для детей составила 90%, а для взрослых – 75% ($p = 0,3$), при этом 1-летняя выживаемость составляет почти 80% [23].

В последующем модели пульсирующего типа заменили осевые и центрифужные насосы, генерирующие непрерывный поток, такие как модель Jarvik-2000 VAD (Jarvik Heart, New York, NY) [24–27]. Согласно последнему отчету Межведомственного регистра искусственной поддержки кровообращения (INTERMACS), было зарегистрировано 618 случаев имплантации BIVAD с непрерывным потоком [6]. Модель HeartMate II LVAD (Thoratec, Плезантон, CA) долгое время оставалась одной из лучших моделей LVAD по причине низкого риска тромбоза устройства. Однако в литературе опубликован ограниченный опыт использования данного устройства для бивентрикулярной поддержки, поскольку из-за значитель-

ных габаритов устройства для одномоментной имплантации двух насосов требовалось полное удаление желудочков сердца [28–30].

По этой причине миниатюризация разработанных моделей устройств по-прежнему остается важной задачей инженеров. Одной из широко известных миниатюрных моделей устройств является устройство Impella RP (Abiomed Inc., Дэнверс, Массачусетс), одобренное в 2015 году FDA как чрескожное временное поддерживающее устройство. Позже в ряде исследований была доказана высокая эффективность применения данного устройства как RVAD в краткосрочной перспективе. В исследовании RECOVER RIGHT показатель выживаемости составил 78%, что значительно выше, чем при открытых вариантах имплантации RVAD [31–33]. В 2019 году был опубликован клинический случай применения малоинвазивной BIVAD, где в качестве устройств впервые успешно были использованы модели Impella 5.0 и Impella RP (Abiomed, Inc, Дэнверс, Массачусетс). Это стало первым успешным случаем применения одномоментной имплантации данной модели устройства в качестве «моста» к трансплантации в BIVAD-конфигурации [34].

Небольшой профиль и возможность интраперикардального одномоментного размещения двух устройств HeartWare HVAD (Medtronic Corp, Миннеаполис, Миннесота) вызвали большой интерес к применению данного устройства в качестве BIVAD [35–40]. По данным A. Loforte et al., годовая выживаемость в серии 13 имплантаций HeartWare HVAD в качестве BIVAD составила 62% [36]. По данным T. Krabatsch et al., модель HeartWare HVAD была имплантирована в качестве BIVAD 17 пациентам. Постнагрузка для правого устройства была искусственно увеличена за счет локального уменьшения диаметра тракта оттока, а эффективная длина входной канюли была уменьшена за счет добавления двух 5-мм силиконовых колец. Тридцатидневная выживаемость составила 82%, при этом 59% пациентов были выписаны домой. В данной серии пациентов послеоперационное кровотечение было наиболее частым осложнением (6 пациентов) [41]. Небольшие серии исследований S. Shehab et al. сообщали о 100% выживаемости у 3 пациентов и 54% выживаемости у 13 пациентов [42]. В работе F.A. Arabia et al. 1-, 6- и 12-месячная выживаемость после имплантации BIVAD (модель HeartWare HVAD) составила 89, 68 и 62% соответственно. При этом отсутствовала статистическая разница в выживаемости по сравнению с пациентами, получившими LVAD / временную RVAD [43].

В последнее время появился ряд публикаций, описывающих опыт применения модели HeartMate III (Thoratec Inc., USA). В работе J. Lavee et al. была проведена оценка безопасности и клинической эффективности HeartMate III в BIVAD-конфигурации

у 14 пациентов в 6 медицинских центрах по всему миру. При этом 9 из этих пациентов (64%) были живы на момент 1 января 2018 г. – 8 из них находились на поддержке BIVAD в течение 95–636 (в среднем 266) дней, 7 из них дома, и одному была успешно выполнена пересадка сердца спустя 98 дней BIVAD. Пять пациентов умерли через 10, 60, 83, 99 и 155 дней BIVAD-поддержки. Причинами летальных исходов стали сепсис у трех пациентов, а также геморрагический инсульт и тромбоз правого насоса [44]. По данным D. McGiffin et al., в серии, включающей 12 пациентов, актуарная выживаемость через 18 месяцев составила 91,7%. Через 18 месяцев после операции 5 пациентам (41,7%) была выполнена трансплантация сердца, 5 пациентов (41,7%) были живы и находились на бивентрикулярной поддержке, 1 пациент умер (8,3%), и 1 пациенту была выполнена эксплантация устройств по причине восстановления функции миокарда (8,3%) [45].

Несмотря на имеющийся мировой опыт применения BIVAD, хирургическая техника имплантации устройств по-прежнему обсуждается. Размещение канюли притока LVAD через верхушку ЛЖ или диафрагмальную стенку считается удобным и безопасным в большинстве случаев. Размещение приточной канюли для RVAD в полость ПЖ или ПП остается менее ясным. Вместе с тем тромбоз RVAD – одна из главных проблем BIVAD с частотой события 30–37% в ранних отчетах [42, 46–48]. Многоцентровое и недавнее одноцентровое исследование HeartMate III в качестве BIVAD показали более низкую частоту тромбоза (7–20%), однако вопрос места установки приточного патрубка и расположения трактов оттока остается открытым [44, 45].

Исследования в этих сериях показали тенденцию к лучшему результату в случае канюляции правого предсердия. Однако неясно, какие факторы способствуют более частому тромбозу правого насоса. Потенциальными преимуществами канюляции правого предсердия могут быть удобное позиционирование насоса в правой плевральной полости по сравнению с интраперикардальным размещением RVAD над диафрагмой, а также отсутствие компрессии ПЖ и межжелудочковой перегородки корпусом насоса, в то время как канюляция правого желудочка может приводить к «проглатыванию» створок трикуспидального клапана или подклапанных структур. Данное осложнение часто наблюдалось в случае имплантации пульсирующих моделей RVAD, где одним из решений было иссечение трехстворчатого клапана. При этом нужно иметь в виду, что хотя удаление створок трехстворчатого клапана помогает решить проблему «проглатывания» насосом и частично тромбоза устройства, все же в случае механической неисправности устройства пациент будет нуждаться в немедленном восстановлении квазинормальной функции ПЖ. Еще одной причиной более высокой частоты

тромбозов RVAD является необходимость в снижении оборотов ротора до предельно допустимых значений с целью оптимизации гемодинамики малого круга кровообращения. Однако в случае применения устройств, реализующих гидродинамический подвес ротора, подобные режимы угрожают разбалансировкой положения ротора в полости насоса и повышенным риском тромбоза. Исходя из этого последняя модель центрифужного насоса с полностью магнитным подвесом HeartMate III выгодно отличается от своих предшественников. В ряде исследований низкая частота тромбоза, зарегистрированная при использовании HeartMate III в качестве LVAD, была отмечена и в RVAD-конфигурации [33, 35].

Приточная канюля устройств механической поддержки кровообращения была разработана исходя из геометрии ЛЖ и является неподходящей для канюляции ПП и ПЖ. Поэтому в случае канюляции правого предсердия с целью уменьшения внутрисосудистой длины канюли притока RVAD профиль насоса увеличивали при помощи войлочных пластин, склеенных друг с другом с помощью Bioglue (CryoLife, Гилфорд, Великобритания) (рис.).

При анализе результатов выбора места установки приточной канюли для RVAD в исследовании

Е. J. Maynes et al. тромбоз насоса произошел с аналогичной частотой между группами с канюляцией правого предсердия (ПП) и ПЖ: 3/10 (30,0%) против 6/20 (30,0%) соответственно, однако анализ Каплана–Мейера показал более высокую выживаемость в группе с канюляцией ПП, с расчетной выживаемостью через 1 год 91,7% (95% ДИ 77,3–100,0) против 66,2% (95% ДИ 48,9–89,6) в группе ПЖ [51].

В серии S. Shehab et al. была показана более высокая частота тромбоза насоса при имплантации приточной канюли в правый желудочек по сравнению с размещением в правом предсердии (50% против 14%) [42]. Авторы пришли к выводу, что данное осложнение, возможно, было связано с постимплантационным ремоделированием правого желудочка, что приводило к уменьшению размеров камеры [36, 39, 42].

Еще одним объектом противоречий стал тракт оттока RVAD, поскольку рядом хирургов было сделано предположение о возможной эффективности сужения и удлинения отточной магистрали RVAD с целью оптимальной коммутации двух устройств [48, 49]. Напротив, в группе пациентов с BIVAD С. Lo et al. в 9 из 14 случаев не использовалось уменьшение тракта оттока RVAD [52]. Подобной точки зрения придержи-

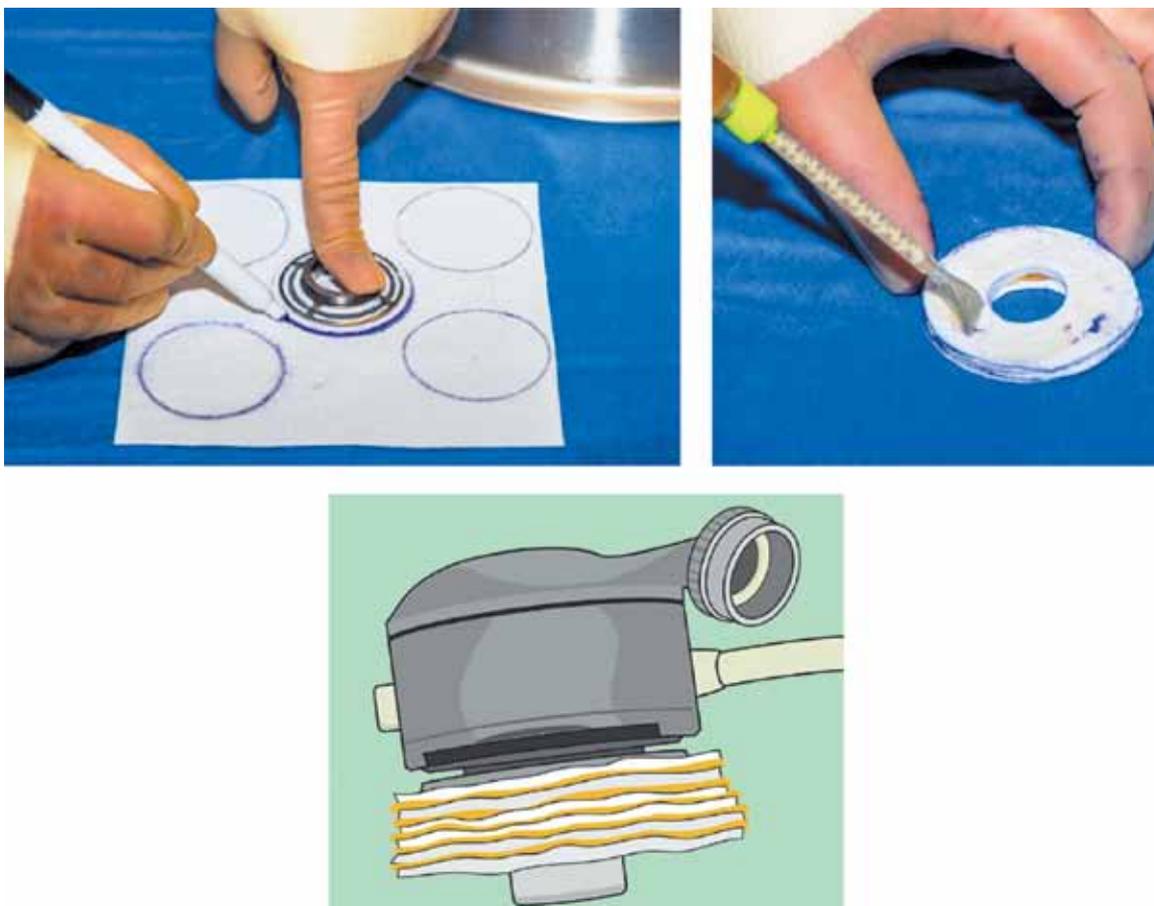


Рис. Подготовка приточной канюли RVAD [49, 50]

Fig. Preparation of the RVAD inlet cannula [49, 50]

живаются и E. Potapov et al., указывая на отсутствие необходимости сужения тракта оттока, а также рекомендуя сокращать длину протеза и анастомозировать последний с легочным стволом под углом 90° [48].

Время принятия решения о применении BIVAD играет ключевую роль в результатах лечения. Так, по данным T. Kuroda et al., 40% пациентов с BIVAD (модель HeartMate III) получили RVAD в течение 0–2 дней после имплантации LVAD, а 23% имплантаций RVAD были выполнены в течение 3–14 дней [53]. Тяжелая поздняя недостаточность ПЖ среди пациентов с LVAD, требующая механической поддержки через 3–12 месяцев после имплантации LVAD, встречается очень редко [54]. Поэтому, если установка BIVAD после имплантации LVAD имела место в более ранний период, ожидается, что поддержка BIVAD будет менее продолжительной (до 17 дней) [55–57].

J. Vierecke et al. были исследованы 37 долгосрочных BIVAD, 342 LVAD + краткосрочные RVAD и 34 пациента с полностью искусственным сердцем (ТАН). В качестве моделей для RVAD были использованы Berlin Heart Excor (n = 5), HeartWare HVAD (n = 22), Thoratec pVAD (n = 10). Годовая выживаемость составила 55% у пациентов с BIVAD; 52% для пациентов с LVAD + краткосрочным RVAD; 37% для пациентов с пульсирующими BIVAD и 36% для пациентов с ТАН. Профиль нежелательных явлений оставался высоким, без существенной разницы между разными типами насосов. После 3 месяцев LVAD + краткосрочной поддержки RVAD 46,7% пациентов все еще нуждались в постоянной поддержке и только 18,5% были отлучены от RVAD; 33,1% умерли. Свобода устройства от дисфункции и тромбоза была одинаковой во всех группах через 18 месяцев (p = 0,63) и составила 83% у больных ТАН, 82% в группе с пульсирующими моделями BIVAD, 95% у пациентов с BIVAD с непрерывным потоком и 86% для пациентов с LVAD + краткосрочным RVAD. Свобода от неврологического дефицита через 1 год составила 84% для группы ТАН, 73% для пульсирующего потока BIVAD, 76% непрерывного потока BIVAD и 94% группы LVAD + краткосрочным RVAD без статистической разницы между группами (p = 0,091). По данным авторов, группа LVAD + краткосрочная RVAD имела наиболее благоприятные исходы с точки зрения выживаемости и свободы от осложнений. Возможность легкого отлучения от экстракорпоральных моделей RVAD являлась дополнительным преимуществом [58].

По данным исследования J.C. Cleveland Jr. et al., сравнивающих результаты имплантации LVAD и BIVAD (модели Heartmate IP, VE, VXE, Heartmate II LVAD (Thoratec, Pleasanton, CA), the MicroMed DeBakey Child left VAD (MicroMed, Houston, TX); Thoratec IVAD and PVAD pumps (Thoratec), выживаемость через 6 месяцев составила 86% для LVAD и 56% для BIVAD (p = 0,0001). Частота нежелатель-

ных явлений, выраженная как количество эпизодов / 100 пациент-месяцев в BIVAD-группе по сравнению с группой LVAD была значительно выше по инфекциям (33,2 против 14,3), кровотечениям (71,6 против 14,3), неврологическим событиям (7,9 против 2,6) и отказу устройств (4,9 против 2,0) [59].

Вопрос выбора оптимальной модели насоса для проведения BIVAD по-прежнему остается открытым. Например, группа авторов во главе с A.C.W. Baldwin сообщают об успешном выполнении BIVAD-поддержки сердца двумя разными моделями устройств. В данном случае после имплантации модели HeartMate II в качестве LVAD и проведения временной поддержки ПЖ при помощи CentriMag (Abbott Laboratories; Abbott Park, Ill) с целью проведения длительной RVAD-поддержки пациенту была имплантирована модель HeartWare HVAD [60]. Подобный опыт также описан в работах J.J. Eulert-Grehn et al. и S. Saito et al. [47, 61].

В недавнем исследовании D.M. Mancini et al. было показано, что у 26% пациентов после имплантации LVAD спустя несколько месяцев механической поддержки кровообращения наблюдалось восстановление насосной функции ЛЖ, так что в конечном счете устройства были эксплантированы [62]. Подобная стратегия может быть успешно реализована и в случае BIVAD-поддержки. По данным E. Potapov et al., в серии из 10 пациентов, получавших BIVAD, в 3 случаях наблюдалось восстановление нормальной функции ПЖ до такой степени, что устройство RVAD было остановлено без эксплантации. Двум пациентам были оставлены успешно функционирующие LVAD, один пациент умер от сепсиса [63].

Таким образом, стратегия одномоментной имплантации двух устройств механической поддержки кровообращения неппульсирующего типа в BIVAD-конфигурации может считаться эффективным альтернативным вариантом лечения пациентов с бивентрикулярной сердечной недостаточностью. Более того, последняя модель центрифужного насоса HeartMate III с полной магнитной левитацией ротора может быть использована по принципу полностью искусственного сердца в клиниках, не имеющих возможности использовать оригинальные модели ТАН. Однако вопрос предикторов развития связанных с устройством осложнений требует проведения дальнейших исследований.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект 23-25-10013 (Соглашение № p-52 от 03.04.23 г. с Министерством науки и инновационной политики НСО).

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflict of interest.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

- Hunt SA, Abraham WT, Chin MH, Feldman AM, Francis GS, Ganiats TG et al. American College of Cardiology; American Heart Association Task Force on Practice Guidelines; American College of Chest Physicians; International Society for Heart and Lung Transplantation; Heart Rhythm Society. ACC/AHA 2005 Guideline Update for the Diagnosis and Management of Chronic Heart Failure in the Adult: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines (Writing Committee to Update the 2001 Guidelines for the Evaluation and Management of Heart Failure): developed in collaboration with the American College of Chest Physicians and the International Society for Heart and Lung Transplantation; endorsed by the Heart Rhythm Society. *Circulation*. 2005; 112 (12): e154–235. doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.105.167586.
- Kirklin JK, Naftel DC, Pagani FD, Kormos RL, Stevenson LW, Blume ED et al. Seventh INTERMACS annual report: 15,000 patients and counting. *J Heart Lung Transplant*. 2015; 34 (12): 1495–1504. doi: 10.1016/j.healun.2015.10.003.
- Mehra MR, Park MH, Landzberg MJ, Lala A, Waxman AB. Right heart failure: toward a common language. *Pulm Circ*. 2013; 3 (4): 963–967. doi: 10.1086/674750.
- Kormos RL. The right heart failure dilemma in the era of left ventricular assist devices. *J Heart Lung Transplant*. 2014; 33 (2): 134–135. doi: 10.1016/j.healun.2013.12.019.
- Takeda K, Naka Y, Yang JA, Uriel N, Colombo PC, Jorde UP et al. Outcome of unplanned right ventricular assist device support for severe right heart failure after implantable left ventricular assist device insertion. *J Heart Lung Transplant*. 2014; 33 (2): 141–148. doi: 10.1016/j.healun.2013.06.025.
- Kirklin JK, Pagani FD, Kormos RL, Stevenson LW, Blume ED, Myers SL et al. Eighth annual INTERMACS report: Special focus on framing the impact of adverse events. *J Heart Lung Transplant*. 2017; 36 (10): 1080–1086. doi: 10.1016/j.healun.2017.07.005.
- Kirklin JK, Naftel DC, Kormos RL, Stevenson LW, Pagani FD, Miller MA et al. The Fourth INTERMACS Annual Report: 4,000 implants and counting. *J Heart Lung Transplant*. 2012; 31 (2): 117–126. doi: 10.1016/j.healun.2011.12.001.
- Ochiai Y, McCarthy PM, Smedira NG, Banbury MK, Navia JL, Feng J et al. Predictors of severe right ventricular failure after implantable left ventricular assist device insertion: analysis of 245 patients. *Circulation*. 2002 Sep 24; 106 (12 Suppl 1): I198–I202.
- Santambrogio L, Bianchi T, Fuardo M, Gazzoli F, Veronesi R, Braschi A et al. Right ventricular failure after left ventricular assist device insertion: preoperative risk factors. *Interact Cardiovasc Thorac Surg*. 2006; 5 (4): 379–382. doi: 10.1510/icvts.2006.128322.
- Matthews JC, Koelling TM, Pagani FD, Aaronson KD. The right ventricular failure risk score a pre-operative tool for assessing the risk of right ventricular failure in left ventricular assist device candidates. *J Am Coll Cardiol*. 2008; 51 (22): 2163–2172. doi: 10.1016/j.jacc.2008.03.009.
- Drakos SG, Janicki L, Horne BD, Kfoury AG, Reid BB, Clayson S et al. Risk factors predictive of right ventricular failure after left ventricular assist device implantation. *Am J Cardiol*. 2010; 105 (7): 1030–1035. doi: 10.1016/j.amjcard.2009.11.026.
- Fitzpatrick JR 3rd, Frederick JR, Hiesinger W, Hsu VM, McCormick RC, Kozin ED et al. Early planned institution of biventricular mechanical circulatory support results in improved outcomes compared with delayed conversion of a left ventricular assist device to a biventricular assist device. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2009; 137 (4): 971–977. doi: 10.1016/j.jtcvs.2008.09.021.
- Baran DA, Mehra MR. Late-onset right heart failure after left ventricular assist device implant: quo vadis? *J Heart Lung Transplant*. 2017; 36 (1): 26–27. doi: 10.1016/j.healun.2016.12.001.
- Strueber M, Schmitto JD, Kutschka I, Haverich A. Placement of 2 implantable centrifugal pumps to serve as a total artificial heart after cardiectomy. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2012; 143 (2): 507–509. doi: 10.1016/j.jtcvs.2011.07.034.
- Хван ДС, Чернявский АМ, Эфендиев ВУ, Сирота ДА, Доронин ДВ, Фомичев АВ и др. Применение бивентрикулярного устройства вспомогательного кровообращения berlin heart excor в качестве моста к трансплантации сердца пациенту с дилатационной кардиомиопатией. *Вестник трансплантологии и искусственных органов*. 2018; 20 (2): 69–73. Khvan DS, Chernyavsky AM, Efendiev VU, Sirota DA, Doronin DV, Fomichev AV et al. A case of the «berlin heart excor» biventricular assist device implantation as a bridge to heart transplantation for a patient with dilated cardiomyopathy and terminal heart failure. *Russian Journal of Transplantation and Artificial Organs*. 2018; 20 (2): 69–73. [In Russ, English abstract]. <https://doi.org/10.15825/1995-1191-2018-2-69-73>.
- Жульков МО, Сирота ДА, Фомичев АВ, Гренадеров АС, Чернявский АМ. Проблема биосовместимости и тромбогенности устройств вспомогательного кровообращения. *Вестник трансплантологии и искусственных органов*. 2020; 22 (4): 83–88. Zhulkov MO, Sirota DA, Fomichev AV, Grenaderov AS, Chernyavsky AM. The problem of biocompatibility and thrombogenicity in mechanical circulatory assist devices. *Russian Journal of Transplantation and Artificial Organs*. 2020; 22 (4): 83–88. [In Russ, English abstract]. <https://doi.org/10.15825/1995-1191-2020-4-83-88>.
- Leidenfrost J, Prasad S, Itoh A, Lawrance CP, Bell JM, Silvestry SC. Right ventricular assist device with membrane oxygenator support for right ventricular failure following implantable left ventricular assist device placement. *Eur J Cardiothorac Surg*. 2016; 49 (1): 73–77. doi: 10.1093/ejcts/ezv116.
- Saito S, Matsumiya G, Sakaguchi T, Miyagawa S, Yoshikawa Y, Yamauchi T et al. Risk factor analysis of long-term support with left ventricular assist system. *Circ J*. 2010; 74 (4): 715–722. doi: 10.1253/circj.cj-09-0747.
- Saito S, Matsumiya G, Sakaguchi T, Fujita T, Kuratani T, Ichikawa H et al. Fifteen-year experience with Toyobo

- paracorporeal left ventricular assist system. *J Artif Organs*. 2009; 12 (1): 27–34. doi: 10.1007/s10047-009-0448-5.
20. Жульков МО, Фомичев АВ, Альсов СА, Кливер ЕН, Чернявский АМ. Современное состояние проблемы и результаты *ex vivo* перфузии донорских сердец. *Вестник трансплантологии и искусственных органов*. 2019; 21 (4): 143–146. Zhulkov MO, Fomichev AV, Alsov SA, Cleaver EN, Chernyavsky AM. Current state of the problem and results of *ex vivo* perfusion of donor hearts. *Russian Journal of Transplantation and Artificial Organs*. 2019; 21 (4): 143–146. [In Russ, English abstract]. <https://doi.org/10.15825/1995-1191-2019-4-143-146>.
 21. Kirsch M, Vermes E, Damy T, Nakashima K, Sénéchal M, Boval B et al. Single-centre experience with the Thoratec paracorporeal ventricular assist device for patients with primary cardiac failure. *Arch Cardiovasc Dis*. 2009 Jun-Jul; 102 (6–7): 509–518. doi: 10.1016/j.acvd.2009.03.010.
 22. Farrar DJ, Hill JD, Pennington DG, McBride LR, Holman WL, Kormos RL et al. Preoperative and postoperative comparison of patients with univentricular and biventricular support with the thoratec ventricular assist device as a bridge to cardiac transplantation. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 1997; 113 (1): 202–209. doi: 10.1016/S0022-5223(97)70416-1.
 23. Bartfay SE, Dellgren G, Hallhagen S, Wählander H, Dahlberg P, Redfors B et al. Durable circulatory support with a paracorporeal device as an option for pediatric and adult heart failure patients. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2021; 161 (4): 1453–1464.e4. doi: 10.1016/j.jtcvs.2020.04.163.
 24. Brenner P, Wirth TJ, Liebermann A, Mihalj M, Güthoff S, Hagl C et al. First Biventricular Jarvik 2000 Implants (Retroauricular Version) Via a Median Sternotomy. *Exp Clin Transplant*. 2016; 14 (2): 215–223. doi: 10.6002/ect.2015.0053.
 25. Radovancevic B, Gregoric ID, Tamez D, Vrtovec B, Tuzun E, Chee HK et al. Biventricular support with the Jarvik 2000 axial flow pump: a feasibility study. *ASAIO J*. 2003; 49 (5): 604–607. doi: 10.1097/01.mat.0000084109.47034.8a.
 26. Yoshioka D, Toda K, Yoshikawa Y, Sawa Y. Over 1200-day support with dual Jarvik 2000 biventricular assist device. *Interact Cardiovasc Thorac Surg*. 2014; 19 (6): 1083–1084. doi: 10.1093/icvts/ivu312.
 27. Frazier OH, Myers TJ, Gregoric I. Biventricular assistance with the Jarvik FlowMaker: a case report. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2004; 128 (4): 625–626. doi: 10.1016/j.jtcvs.2004.02.023.
 28. Loebe M, Bruckner B, Reardon MJ, van Doorn E, Estep J, Gregoric I et al. Initial clinical experience of total cardiac replacement with dual HeartMate-II axial flow pumps for severe biventricular heart failure. *Methodist DeBakey Cardiovasc J*. 2011; 7 (1): 40–44. doi: 10.14797/mdcj-7-1-40.
 29. Frazier OH, Cohn WE. Continuous-flow total heart replacement device implanted in a 55-year-old man with end-stage heart failure and severe amyloidosis. *Tex Heart Inst J*. 2012; 39 (4): 542–546.
 30. Pirk J, Maly J, Szarszoi O, Urban M, Kotulak T, Riha H et al. Total artificial heart support with two continuous-flow ventricular assist devices in a patient with an infiltrating cardiac sarcoma. *ASAIO J*. 2013; 59 (2): 178–180. doi: 10.1097/MAT.0b013e3182816cd9.
 31. Bhama JK, Bansal U, Winger DG, Teuteberg JJ, Bermudez C, Kormos RL et al. Clinical experience with temporary right ventricular mechanical circulatory support. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2018; 156 (5): 1885–1891. doi: 10.1016/j.jtcvs.2018.04.094.
 32. Anderson MB, Goldstein J, Milano C, Morris LD, Kormos RL, Bhama J et al. Benefits of a novel percutaneous ventricular assist device for right heart failure: The prospective RECOVER RIGHT study of the Impella RP device. *J Heart Lung Transplant*. 2015; 34 (12): 1549–1560. doi: 10.1016/j.healun.2015.08.018.
 33. Hall SA, Uriel N, Carey SA, Edens M, Gong G, Esposito M et al. Use of a percutaneous temporary circulatory support device as a bridge to decision during acute decompensation of advanced heart failure. *J Heart Lung Transplant*. 2018; 37 (1): 100–106. doi: 10.1016/j.healun.2017.09.020.
 34. Varian K, Xu WD, Lin W, Unai S, Tong MZ, Soltesz E et al. Minimally invasive biventricular mechanical circulatory support with Impella pumps as a bridge to heart transplantation: a first-in-the-world case report. *ESC Heart Fail*. 2019; 6 (3): 552–554. doi: 10.1002/ehf2.12412.
 35. Shehab S, Newton PJ, Allida SM, Jansz PC, Hayward CS. Biventricular mechanical support devices—clinical perspectives. *Expert Rev Med Devices*. 2016; 13 (4): 353–365. doi: 10.1586/17434440.2016.1154454.
 36. Loforte A, Montalto A, Della Monica PL, Contento C, Musumeci F. Biventricular support with the HeartWare implantable continuous flow pump: an additional contribution. *J Heart Lung Transplant*. 2010; 29 (12): 1443–1444. doi: 10.1016/j.healun.2010.07.012.
 37. Hetzer R, Krabatsch T, Stepanenko A, Hennig E, Potapov EV. Long-term biventricular support with the heartware implantable continuous flow pump. *J Heart Lung Transplant*. 2010; 29 (7): 822–824. doi: 10.1016/j.healun.2010.02.012.
 38. Strueber M, Meyer AL, Malehsa D, Haverich A. Successful use of the HeartWare HVAD rotary blood pump for biventricular support. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2010; 140 (4): 936–937. doi: 10.1016/j.jtcvs.2010.04.007.
 39. Loforte A, Monica PL, Montalto A, Musumeci F. HeartWare third-generation implantable continuous flow pump as biventricular support: mid-term follow-up. *Interact Cardiovasc Thorac Surg*. 2011; 12 (3): 458–460. doi: 10.1510/icvts.2010.250654.
 40. Chandola R, Buchholz H, Macarthur R. Long-term use of low-molecular-weight heparin in a patient with Heartware BIVAD (HVAD) with underlying sustained ventricular fibrillation. *J Cardiol Cases*. 2016; 14 (6): 171–173. doi: 10.1016/j.jccase.2016.08.002.
 41. Krabatsch T, Potapov E, Stepanenko A, Schweiger M, Kukucka M, Huebler M et al. Biventricular circulatory support with two miniaturized implantable assist devices. *Circulation*. 2011; 124 (11 Suppl): S179–S186. doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.110.011502.

42. Shehab S, Macdonald PS, Keogh AM, Kotlyar E, Jabbour A, Robson D et al. Long-term biventricular HeartWare ventricular assist device support – Case series of right atrial and right ventricular implantation outcomes. *J Heart Lung Transplant*. 2016; 35 (4): 466–473. doi: 10.1016/j.healun.2015.12.001.
43. Arabia FA, Milano CA, Mahr C, McGee EC Jr, Mokeddam NA, Rame JE et al. Biventricular Support With Intracorporeal, Continuous Flow, Centrifugal Ventricular Assist Devices. *Ann Thorac Surg*. 2018; 105 (2): 548–555. doi: 10.1016/j.athoracsur.2017.08.019.
44. Lavee J, Mulzer J, Krabatsch T, Marasco S, McGiffin D, Garbade J et al. An international multicenter experience of biventricular support with HeartMate 3 ventricular assist systems. *J Heart Lung Transplant*. 2018; 37 (12): 1399–1402. doi: 10.1016/j.healun.2018.08.008.
45. McGiffin D, Kure C, McLean J, Marasco S, Bergin P, Hare JL et al. The results of a single-center experience with HeartMate 3 in a biventricular configuration. *J Heart Lung Transplant*. 2021; 40 (3): 193–200. doi: 10.1016/j.healun.2020.12.006.
46. Shah P, Ha R, Singh R, Cotts W, Adler E, Kiernan M et al. Multicenter experience with durable biventricular assist devices. *J Heart Lung Transplant*. 2018; 37 (9): 1093–1101. doi: 10.1016/j.healun.2018.05.001.
47. Eulert-Grehn JJ, Lanmüller P, Schönrrath F, Solowjowa N, Müller M, Mulzer J et al. Two implantable continuous-flow ventricular assist devices in a biventricular configuration: technique and results. *Interact Cardiovasc Thorac Surg*. 2018; 27 (6): 938–942. doi: 10.1093/icvts/ivy228.
48. Tran HA, Pollema TL, Silva Enciso J, Greenberg BH, Barnard DD, Adler ED et al. Durable Biventricular Support Using Right Atrial Placement of the HeartWare HVAD. *ASAIO J*. 2018; 64 (3): 323–327. doi: 10.1097/MAT.0000000000000645.
49. Bansal A, Akhtar F, Zwintscher NP, Ostrow S, Desai S, Fary D. Use of the Heartmate 3 for biventricular support as a bridge to heart transplant-first US implant. *J Card Surg*. 2019; 34 (12): 1629–1631. doi: 10.1111/jocs.14290.
50. Potapov E, Starck C, Falk V, Eulert-Grehn JJ. Mechanical circulatory support: Technical tips for the implantation of a right ventricular assist device. *JTCVS Open*. 2021; 8: 37–40. doi: 10.1016/j.xjon.2021.09.046.
51. Maynes EJ, O'Malley TJ, Patel P, Prochno KW, Wood CT, Choi JH et al. Right atrial versus right ventricular HeartWare HVAD position in patients on biventricular HeartWare HVAD support: A systematic review. *Artif Organs*. 2020; 44 (9): 926–934. doi: 10.1111/aor.13675.
52. Lo C, Gregory S, Stevens M, Murphy D, Marasco S. Banding the Right Ventricular Assist Device Outflow Conduit: Is It Really Necessary With Current Devices? *Artif Organs*. 2015; 39 (12): 1055–1061. doi: 10.1111/aor.12497.
53. Kuroda T, Miyagi C, Fukamachi K, Karimov JH. Biventricular assist devices and total artificial heart: Strategies and outcomes. *Front Cardiovasc Med*. 2023; 9: 972132. doi: 10.3389/fcvm.2022.972132.
54. Rame JE, Pagani FD, Kiernan MS, Oliveira GH, Birati EY, Athuri P et al. Evolution of Late Right Heart Failure With Left Ventricular Assist Devices and Association With Outcomes. *J Am Coll Cardiol*. 2021; 78 (23): 2294–2308. doi: 10.1016/j.jacc.2021.09.1362.
55. Shimada S, Nawata K, Kinoshita O, Ono M. Mechanical circulatory support for the right ventricle in combination with a left ventricular assist device. *Expert Rev Med Devices*. 2019; 16 (8): 663–673. doi: 10.1080/17434440.2019.1635006.
56. Yoshioka D, Takayama H, Garan RA, Topkara VK, Han J, Kurlansky P et al. Contemporary outcome of unplanned right ventricular assist device for severe right heart failure after continuous-flow left ventricular assist device insertion. *Interact Cardiovasc Thorac Surg*. 2017 Jun 1; 24 (6): 828–834. doi: 10.1093/icvts/ivw409.
57. Mangi AA. Right ventricular dysfunction in patients undergoing left ventricular assist device implantation: predictors, management, and device utilization. *Surgical Treatment for Advanced Heart Failure*. 2013: 177–187. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-6919-3_14.
58. Vierecke J, Gahl B, de By TMMH, Antretter H, Beyersdorff F, Caliskan K et al. Results of primary biventricular support: an analysis of data from the EUROMACS registry. *Eur J Cardiothorac Surg*. 2019; 56 (6): 1037–1045. doi: 10.1093/ejcts/ezz173.
59. Cleveland JC Jr, Naftel DC, Reece TB, Murray M, Antaki J, Pagani FD et al. Survival after biventricular assist device implantation: an analysis of the Interagency Registry for Mechanically Assisted Circulatory Support database. *J Heart Lung Transplant*. 2011; 30 (8): 862–869. doi: 10.1016/j.healun.2011.04.004.
60. Baldwin ACW, Sandoval E, Cohn WE, Mallidi HR, Morgan JA, Frazier OH. Nonidentical Continuous-Flow Devices For Biventricular Support. *Tex Heart Inst J*. 2017; 44 (2): 141–143. doi: 10.14503/THIJ-16-5878.
61. Saito S, Sakaguchi T, Miyagawa S, Yoshikawa Y, Yamachi T, Ueno T et al. Biventricular support using implantable continuous-flow ventricular assist devices. *J Heart Lung Transplant*. 2011; 30 (4): 475–478. doi: 10.1016/j.healun.2010.11.013.
62. Mancini DM, Benjaminovitz A, Levin H, Catanese K, Flannery M, DiTullio M et al. Low incidence of myocardial recovery after left ventricular assist device implantation in patients with chronic heart failure. *Circulation*. 1998; 98 (22): 2383–2389. doi: 10.1161/01.cir.98.22.2383.
63. Potapov E, Schweiger M, Vierecke J, Dandel M, Stepanenko A, Kukucka M et al. Discontinuation of HeartWare RVAD support without device removal in chronic BIVAD patients. *ASAIO J*. 2012; 58 (1): 15–18. doi: 10.1097/MAT.0b013e3182376b7b.

Статья поступила в редакцию 06.03.2023 г.
The article was submitted to the journal on 06.03.2023