

Механическая поддержка кровообращения у пациентов с терминальной сердечной недостаточностью: обзор литературы (часть 2)

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

Данная статья посвящена обзору современных технологий длительной механической поддержки кровообращения (ДМПК) — имплантируемых устройств, заменяющих или поддерживающих функцию сердца.

Процесс совершенствования аппаратов вспомогательного кровообращения длился несколько десятков лет. От громоздких пульсирующих насосов 1-го поколения мы пришли к современным, компактным и надёжным насосам неппульсирующего потока. Сегодня в 95% случаев используют именно такие системы, обеспечивающие высокую эффективность применения. Современные устройства могут служить не только «мостом» к трансплантации сердца для пациентов, ожидающих донорский орган, но и являться постоянной терапией для пациентов, которым невозможна трансплантация сердца.

При этом тенденции на повышение качества оказываемой медицинской помощи сказываются и на процессе совершенствования имеющихся методик поддержки кровообращения: разрабатываются малоинвазивные устройства полной и частичной поддержки, происходит доминирование левожелудочковых систем с магнитной левитацией ротора, появляются решения для правожелудочковой и бивентрикулярной недостаточности, полностью искусственное сердце.

В России созданы и применяются устройства: АВК-Н «Спутник» и «СТРИМ КАРДИО», которые по эффективности и безопасности не уступают, а по некоторым параметрам (например, антитромбогенное покрытие) превосходят зарубежные аналоги. Их главное преимущество — существенно более низкая стоимость и доступность для российских пациентов, что критически важно в условиях дефицита донорских органов и высокой цены импортных систем.

ДМПК стала жизненноспасающей и жизнеспасающей стандартной практикой в кардиохирургии. С учётом текущих демографических условий, ростом доли пациентов с сердечной недостаточностью, а также хронического дефицита донорских органов, дальнейшее развитие и удешевление вышеупомянутых технологий является стратегической необходимостью нашего государства.

Ключевые слова:

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

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 2). *Журнал им. Н.В. Склифосовского Неотложная медицинская помощь*. 2025;14(4):792–802. <https://doi.org/10.23934/2223-9022-2025-14-4-792-802>

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
ДМПК — длительная механическая поддержка кровообращения
ЗСН — застойная сердечная недостаточность

ЛЖ — левый желудочек
ЛЖУВК — левожелудочковое устройство вспомогательного кровообращения
МПК — механическая поддержка кровообращения
ННП — насосы неппульсирующего потока
ПЖ — правый желудочек
СН — сердечная недостаточность
ТС — трансплантация сердца
ФК — функциональный класс

ХСН — хроническая сердечная недостаточность
 INTERMACS — *Interagency Registry for Mechanically Assisted Circulatory Support*

NYHA — *New York Heart Association*

1. ДЛИТЕЛЬНО ИМПЛАНТИРУЕМЫЕ АППАРАТЫ ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО КРОВООБРАЩЕНИЯ В КАЧЕСТВЕ «МОСТА» К ТРАНСПЛАНТАЦИИ СЕРДЦА И ДЛЯ ИМПЛАНТАЦИИ НА ПОСТОЯННОЙ ОСНОВЕ

1.1. Устройства полной поддержки, малоинвазивной полной поддержки, частичной поддержки, правожелудочковые обходы, полностью искусственное сердце

Говоря о системах механической поддержки кровообращения (МПК), необходимо понимать, что среднее время ожидания трансплантации сердца (ТС) в регионах, охваченных *Eurotransplant*, составляет 16 месяцев, то есть более года, что подводит к мысли о том, что у большого количества пациентов системы кратковременной МПК имеют ограниченную эффективность [1].

Поэтому на сегодняшний день у пациентов с терминальной стадией хронической сердечной недостаточности (ХСН) чаще всего используют системы длительной МПК (ДМПК), основанные на применении имплантируемых насосов пульсирующего и неппульсирующего потока [2, 3].

В последние годы методы ДМПК, основанные на применении имплантируемых насосов пульсирующего и неппульсирующего потока, стали широко использоваться не только в качестве «моста» к ТС, но и для имплантации на постоянной основе у больных, которым ТС не может быть выполнена или которые могут до неё не дожить [4–6]. Стоит отметить, что с учётом возраста пациентов и наличия у них большого количества сопутствующих патологий, таких как почечная дисфункция, ожирение, лёгочная гипертензия, онкологические заболевания в анамнезе, декомпенсированный сахарный диабет и другие, число лиц, нуждающихся в ДМПК, составляет около 40% от общего числа лиц, которым необходима ТС [7, 8].

Начиная с 90-х годов прошлого века, устройства ДМПК эволюционировали от громоздких пульсирующих насосов (1-е поколение) до современных неппульсирующих насосов (2-е, 3-е поколения), создающих постоянное давление. Преимущество неппульсирующих насосов состоит в их более длительном сроке службы по сравнению с насосами импульсного типа. Они также имеют гораздо меньшие габариты и более высокую надёжность, требуют менее инвазивной хирургической операции для имплантации и меньшего размера чрескожных трансмиссий [5, 9]. К тому же устройства первого поколения, хотя и смогли повысить общую годовую выживаемость пациентов с терминальной стадией ХСН от 15–20 до 60–70% в течение года после операции, были связаны с большим количеством осложнений, распространённость которых колебалась от 5 до 50% в зависимости от типа исследования [10].

Но всё же самым главным преимуществом насосов неппульсирующего потока (ННП) является гораздо лучшая выживаемость пациентов. В целом пациенты, получившие устройства ДМПК с неппульсирующим потоком, демонстрируют очень высокие показатели выживаемости — более 80% через 1 год, около 70% через 2 года и 48% через 4 года [11, 12]. В результате пульсирующие насосы постепенно были вытеснены из

клинической практики и на сегодняшний день практически не используются. В восьмом ежегодном отчёте *INTERMACS* (более 20 000 пациентов) говорится о том, что в настоящее время более чем в 95% случаев применяют системы с неппульсирующим потоком — осевые насосы, имплантируемые преимущественно для обхода левого желудочка (ЛЖ) сердца [13]. Некоторые пациенты живут с такими насосами более 10 лет [14, 15].

Отличительной особенностью насосов 2-го поколения является ротор, который установлен в подшипниках, иммерсированных в кровь. Среди этих насосов наряду с *HeartAssist* (*MicroMed Cardiovascular, Houston, TX*), *Jarvik 2000 FlowMaker* (*Jarvik heart, Inc., New York, NY*) следует отметить наиболее широко применяемый в последние годы в клиниках США, странах ЕС и Японии осевой насос *Heart Mate II* (*Thoratec Corporation Pleasanton, CA*), который *FDA* допустило к клиническому использованию в 2008 году в качестве «моста» для 2-этапной ТС, а в 2010 году — для имплантации на постоянной основе [5].

С целью дальнейшего повышения ресурса работы систем ДМПК были разработаны ННП третьего поколения, в которых ротор под действием магнитных и гидродинамических сил находится во взвешенном состоянии. К этим системам прежде всего относятся осевой насос *Incor* (*Berlin Heart AEG*) с электромагнитным приводом, диаметром 3,0 см, массой 200 грамм, генерирующий поток крови до 7 л/мин, и центробежный насос *HeartWare HVAD* (*HeartWare, Inc., Miami Lakes, FL*), насос как с магнитным, так и с гидравлическим приводом. К новейшим разработкам относят новое поколение *HeartMate III* (*Thoratec Inc., Pleasanton, CA*), *EvaHeart LVAS* (*Sun Medical Technology Research Corporation, Nagano, Japan*), *Terumo Dura-Heart* (*Terumo Heart Inc., Ann Arbor, MI*) [5].

Устройство *Berlin Heart INCOR* представляет собой аксиальный насос с импеллером на магнитной подвеске, который способен обеспечивать поток до 6 л/мин при давлении 80 мм рт.ст. Благодаря миниатюрным размерам (вес 200, максимальный диаметр 30 мм) устройство можно расположить практически в любой части грудной полости взрослого человека. Уникальная система подвески импеллера работает без механического контакта и износа компонентов, что делает указанное устройство вполне подходящим для постоянного использования, а не только для использования в качестве «моста» для ТС [16, 17]. Опыт первого клинического использования устройства *INCOR* оказался весьма впечатляющим для того времени. В исследовании приняло участие 15 пациентов в возрасте от 24 до 59 лет с сердечными заболеваниями различной этиологии (терминальная стадия ХСН, дилатационная кардиомиопатия, острый миокардит, болезнь Шагаса). Имплантация была плановой у 6 пациентов и экстренной у 9. Изучив результаты имплантации, авторы отметили низкую частоту побочных серьёзных эффектов (тяжёлый инсульт диагностирован только у 1 пациента). Впоследствии 5 пациентов успешно перенесли ТС, а 1 пациент был отключён от системы через 171 день в связи с нормализацией функции сердца. Шесть пациентов умерли во время поддержки

и 3 пациента всё ещё жили с INCOR через год после исследования, ожидая пересадки [18]. С тех пор по всему миру было имплантировано около 700 таких устройств, однако в настоящее время в большинстве развитых стран INCOR не применяется, так как ему на смену пришло более новое поколение ДМПК, которые способны обеспечить лучшую выживаемость и имеют меньшее количество побочных эффектов [18–20].

Именно к таким устройствам нового поколения относят левожелудочковое устройство вспомогательного кровообращения (ЛЖУБК) *HeartMate III* — бесподшипниковый центробежный непрерывный насос с магнитной левитацией, который заменяет осевой поток, используемый в *HeartMate II* [21, 22]. Это компактная помпа, которую устанавливают внутри перикарда. Аппарат имеет модульную трансмиссию, предназначенную для облегчения замены повреждённой трансмиссии, и приводится в действие с помощью системы магнитов. Ротор в устройстве работает с непостоянной скоростью, создавая искусственный артериальный пульс, направленный на промывку поверхностей ротора и устранение застоя [22–24]. *Heartmate III* был специально разработан для предотвращения тромбоза помпы, в связи с чем помпа имеет более широкие промежутки на поверхностях, контактирующих с кровью, что уменьшает напряжение сдвига и тем самым предотвращает тромбоз [22, 24]. Согласно пока немногочисленным исследованиям со своей задачей устройство справляется хорошо.

Первое исследование с участием 50 пациентов из разных стран продемонстрировало отличные результаты — выживаемость пациентов составила 98% через 30 дней, 92% через 6 месяцев и 81% через 12 месяцев после имплантации. При этом частота нежелательных явлений была крайне низкой. Тромбозов зафиксировано не было [25, 26]. В недавнем обследовании 27 пациентов, получавших *HeartMate III* вне рамок клинических испытаний, также были продемонстрированы отличные результаты — 30-дневная выживаемость составила 88,9%, а 6-месячная — 85,2%. В течение 6 месяцев наблюдения тромбоза помпы и инсультов не установлено, как не отмечено и каких-либо технических проблем с помпой [27]. Однако в это исследование не входили пациенты с бивентрикулярной поддержкой, пациенты, подключённые к другим типам МПК, а также пациенты, ранее уже перенесшие операцию по имплантации ДМПК и нуждающиеся в повторной операции. *Marasco et al.* (2019) провели исследование, куда были включены указанные группы пациентов, и также получили отличные результаты. Из 33 пациентов, принявших участие в исследовании, 31 был жив через год после имплантации, 2 пациента умерли и 11 перенесли повторную имплантацию. Помповых тромбозов в исследовании зафиксировано не было [21].

Заслуживает внимания и исследование *Barac et al.* (2018), где было показано преимущество *HeartMate III* (всего 152 пациента) перед *HeartMate II* (всего 12 пациентов). В исследовании не наблюдали значительных различий между группами в показателях смертности или инсульта, приводящего к инвалидности, однако повторные операции по поводу неисправности насоса были менее частыми в группе *HeartMate III* ($p=0,002$). При этом подозреваемого или подтверждённого тромбоза помпы не наблюдали ни у одного пациента в

группе *HeartMate III*, и он был зафиксирован у 14 пациентов (10,1%) в группе *HeartMate II* [27].

Говоря о ДМПК, нельзя не упомянуть об устройстве малоинвазивной полной поддержки, которое представляет собой небольшое осевое устройство с полной опорой и рабочим объёмом до 22 мл, способное обеспечивать расход от 1 до 7 л/мин при среднем артериальном давлении (АД) 75 мм рт.ст. [28, 29]. Его технология крыльчатки с широкими лопастями, износостойкая конструкция и гибридная система подвески обеспечивают механическую надёжность и долговечность. Насос устройства прикреплён к верхушке ЛЖ с помощью шовного кольца с карданом, которое позволяет регулировать угол и глубину введения впускной канюли [28, 29]. Инновационный дизайн устройства создаёт платформу для нескольких конфигураций устройств, которые могут быть имплантированы с помощью менее инвазивных хирургических подходов, но при этом обеспечивают полную поддерживающую терапию [30].

Эти устройства ещё не одобрены для исследования на людях, однако в экспериментах на животных демонстрируют отличные результаты. Потенциальные преимущества насоса малоинвазивной поддержки включают поддержку потока в том же направлении, что и собственный желудочек, устранение искусственного кровообращения и минимально инвазивную имплантацию [29, 31–33].

В когорте пациентов с терминальной стадией сердечной недостаточности (СН) также имеются лица, состояние которых в сравнении с другими пациентами этой когорты можно назвать относительно стабильным. Условно можно говорить о том, что эти пациенты «недостаточно больны» для имплантации полноценного ДМПК. Такие пациенты могут использовать устройства частичной механической поддержки (*CircuLite Synergy*, *Reitan*, *Procyron CAD*, *C-Pulse*, *Symphony Counterpulsation Device*) [30, 32–34].

Наибольший интерес с точки зрения обеспечения ДМПК представляет собой карманный микронасос *CircuLite Synergy*. Это компактное (внешний диаметр 14 мм, вес 25 г) устройство с непрерывным потоком. *CircuLite* имплантируют через небольшую правостороннюю торакотомию без экстракорпорального кровообращения. Приточную канюлю имплантируют между правыми верхней и нижней лёгочными венами, и она располагается в левом предсердии. Канюляция левого предсердия по сравнению с канюляцией ЛЖ с непрерывным потоком обеспечивает схожую скорость потока, а объёмы ЛЖ и энергетические параметры уменьшаются с увеличением скорости насоса независимо от места канюляции [35]. Трансплантат оттока анастомозируют с подключичной артерией. Помпу имплантируют подкожно в карман кардиостимулятора в правой подключичной области перед большой грудной мышцей. *CircuLite Synergy Pump* разработан для непрерывной частичной выгрузки 2,5–3,0 л/мин крови из левого предсердия в подключичную артерию [35]. Основное преимущество данного вида устройств заключается в том, что помпу *Synergy* можно легко и быстро заменить через оригинальный подключичный разрез, не проникая в грудную клетку. Дополнительным и уникальным преимуществом насоса *CircuLite* является то, что процедура имплантации включает правостороннюю торакотомию, при которой маловероятно образование спаек в переднем средостении и осложнение средней

стернотомии, если показана ТС [30]. Опыт клинического применения *CircuLite* пока небольшой, однако результаты клинических исследований обнадеживают. В исследовании *Barbone et al.* (2014) 63 пациентам была имплантирована система *Synergy* в её четырёх различных версиях. Средняя продолжительность поддержки составляла 230 дней. У пожилых пациентов средняя продолжительность поддержки была больше (337 против 188 дней). В среднем у пожилых и молодых пациентов отмечались схожие улучшения гемодинамики и параметров теста 6-минутной ходьбы (107 ± 120 против 130 ± 121 м). Основные осложнения со стороны сердца включали кровотечение ($n=4$), почечную недостаточность ($n=1$), что в 1 наблюдении привело к смерти [36].

В то время как ЛЖУВК является традиционным методом лечения пациентов с СН, значительная часть реципиентов демонстрируют клинически значимую послеоперационную правожелудочковую недостаточность и потенциально требуют использования вспомогательного устройства для бивентрикулярной ДМПК [37, 38].

Проблема в том, что большинство этих устройств представляют собой пульсирующие паракорпоральные системы первого поколения, которые имеют большие размеры и значимое количество осложнений, такие как отказ устройства, тромбоз, инфицирование и серьёзное снижение мобильности пациента. Новейшие разработки, такие как *DexAide*, *Impella RD Recover*, *Impella RP*, изначально разработанные как ЛЖУВК, требуют значительной доработки. На сегодняшний день существует ряд устройств, которые предлагают полностью имплантируемый вариант для пациентов с бивентрикулярной недостаточностью, однако их стратегии контроля и методы имплантации требуют усовершенствования [31, 37, 39].

В исследовании *Sugiki et al.* (2009) 7 пациентов получили *Impella RD Recovery* для временной поддержки после ТС. Устройства были имплантированы во время первоначальной операции ($n=5$) или вскоре после неё ($n=2$). Шесть пациентов прошли имплантацию без применения искусственного кровообращения. У всех пациентов были достигнуты эффективная потоковая поддержка и адекватная разгрузка. Один пациент умер от рецидивирующей правожелудочковой недостаточности, 2 оставались стабильными после операции, но позже умерли от сепсиса. У 2 пациентов возникла дисфункция помпы [41]. В исследовании *Monteagudo-Velaz et al.* (2020) 7 пациентам потребовалась имплантация *Impella RP* из-за правожелудочковой недостаточности: 2 — после длительного нахождения на ЛЖУВК, 3 — с острой правожелудочковой недостаточностью сразу после имплантации ЛЖУВК, а 2 — после ТС. Гемодинамические параметры, а также перфузия органов-мишеней и инотропные требования улучшились после введения *Impella RP*. В целом 30-дневная выживаемость составила 58%. Средняя продолжительность времени поддержки составила 9 дней [38].

Результаты применения *Impella RP* у подростков и молодых людей (всего 12) были проанализированы в исследовании *Qureshi et al.* (2020). После имплантации устройства центральное венозное давление снизилось от 20 до 12 мм рт.ст. ($p=0,001$). Одному пациенту одновременно имплантировали внутриаортальную баллонную контрпульсацию (ВАБК), а остальным — чресочно/хирургически установили вспомогательный левожелудочковый дренаж. Было зарегистрировано

одно нежелательное явление, связанное с устройством *Impella RP* (тромбоз, требующий эксплантации). Продолжительность поддержки составила 6,5 суток (4,8–18,4 суток), а выживаемость до выписки из стационара составила 83% и 67% через год после выписки соответственно [41].

Ещё одним вариантом «моста» для ТС у пациентов с бивентрикулярной СН является полностью искусственное сердце [42]. В настоящий момент единственной одобренной системой полного искусственного сердца является *SynCardia TAH®* [43].

Несмотря на то что устройство *SynCardia TAH®* имплантируется целиком, для поддержки устройства требуется внешнее оборудование, которое весит около 6 кг. К тому же в отличие от систем ЛЖУВК, неисправность устройства может привести к внезапной смерти пациентов. Таким образом, *SynCardia TAH®* имплантируется только как «мост» к дальнейшей ТС [43].

Результаты, полученные у пациентов, использующих *SynCardia TAH®*, являются неоднозначными. Данные крупнейшего опубликованного на сегодняшний день исследования *SynCardia TAH* (450 пациентов) показывают 1-летнюю выживаемость, равную 53% в общей популяции и 71% в крупных медицинских центрах. Авторы исследования обнаружили, что пожилой возраст, потребность в предимплантационном диализе, более высокий уровень креатинина и более низкий уровень альбумина, а также имплантация в малых медицинских центрах были факторами риска смерти после имплантации *SynCardia TAH®* [44].

В исследовании *Razumov et al.* (2020) приняло участие 187 пациентов, которые получили в качестве устройства ДМПК *SynCardia TAH®*. Средняя продолжительность поддержки составила 171 день. Во время поддержки у 32,6% пациентов произошёл инсульт, у 30,6% — мезентериальный тромбоз и у 24,7% — желудочно-кишечное кровотечение. Выживаемость через 1, 6 и 12 месяцев составила 71%, 42% и 35% соответственно. Во время поддержки летальность составила 63,1%. Наиболее частыми причинами смерти были полиорганная недостаточность и сепсис. Многофакторный анализ показал, что возраст ($p=0,003$), индекс массы тела менее $18,5 \text{ кг/м}^2$ ($p=0,001$), высокий общий билирубин ($p=0,007$) и предоперационная ВАБК ($p=0,012$) были независимыми предикторами летальности. Шестьдесят девять (36,9%) пациентов перенесли в дальнейшем ТС, после которой 1-, 5- и 10-летняя выживаемость составила 64%, 58% и 51% соответственно [45].

Morshuis et al. (2020) проанализировали результаты пациентов с имплантированной *SynCardia TAH®* в период с 2001 по 2019 год и сравнили эти результаты с результатами пациентов с ЛЖУВК и бивентрикулярным устройством вспомогательного кровообращения (БВУВК), а также с результатами пациентов, перенесших ТС без предварительного применения МПК. В первый год выживаемость пациентов с трансплантированным *SynCardia TAH®* была значительно ниже по сравнению с пациентами с ЛЖУВК и БВУВК и без МПК ($p=0,008$), однако показатели долгосрочной выживаемости среди пациентов всех групп были аналогичными [43].

Таким образом, ТС вполне может быть разумным вариантом после имплантации *SynCardia TAH®*, но, очевидно, требует строгой стратификации риска. Имплантацию системы *SynCardia TAH®* следует про-

водить только по строгим показаниям и в тех случаях, когда имплантация других устройств МПК невозможна [43].

1.2. Отечественные устройства «Аппарат вспомогательного кровообращения — носимый (АВК-Н) «Спутник» и «Комплекс универсальный для механической поддержки насосной функции левого и правого желудочков (ПЖ) сердца — «СТРИМ КАРДИО»

Несмотря на хорошие результаты, полученные при применении многих вышеописанных устройств, их использование у граждан Российской Федерации ограничено высокой стоимостью и сложной логистикой [46, 47]. В связи с этим в 2009 году группа российских исследователей приступила к реализации программы разработки отечественного имплантируемого осевого насоса, который не уступал бы по характеристикам зарубежным аналогам, но был более доступным для отечественного пациента. Результатом усилий стала разработка устройства АВК-Н «Спутник» (Аппарат вспомогательного кровообращения носимый), который после успешно проведённых экспериментальных исследований в 2012 году внедрён в клиническую практику [8]. 9 июня 2012 года первый такой насос был имплантирован 67-летнему пациенту, который в итоге смог, практически не меняя привычный образ жизни, дождаться донорского сердца. Впоследствии около 50 пациентов с терминальной стадией ХСН получили АВК-Н, а летом 2018 года имплантация АВК-Н была впервые была проведена несовершеннолетнему пациенту [48, 49].

Конструктивно АВК-Н состоит из имплантируемого насоса, который входной канюлей присоединяется к верхушке ЛЖ, а выходным сосудистым протезом 14 мм — к восходящей части аорты. Аппарат содержит источники автономного электропитания, а также специальный модуль электронного управления и настройки параметров АВК-Н. Данная имплантируемая система поддержки сердца развивает производительность до 7 л/мин и АД до 100 мм рт.ст. при скорости вращения ротора от 6 000 до 10 000 об/мин. Насос выполнен из биологически инертного титанового сплава, имеет вес 330 г и максимальный диаметр 33 мм, что позволяет расположить его практически в любой части грудной полости взрослого человека [8, 50, 51].

Экспериментальный и клинический опыт применения АВК-Н показал, что устройство может эффективно использоваться как в качестве «моста» к ТС, так и на постоянной основе. В отдельных случаях применение АВК-Н приводит к полному восстановлению миокарда, и тогда насос может быть эксплантирован [2, 47, 50].

Система АВК-Н «Спутник» значительно доступнее зарубежных аналогов, в том числе и за счёт упрощения процесса логистики, однако не уступает им по качеству, а по некоторым параметрам даже превосходит. Например, среди осложнений, наиболее часто встречающихся в клинической практике при установке ДМПК, можно выделить: кровотечения, воспалительные процессы, тромбообразование и повышенный гемолиз крови [52–54]. В то же время в АВК-Н имплантируемая, контактирующая с кровью часть имеет специальное алмазоподобное покрытие, которое препятствует образованию тромбов, что в совокупности с характером внутринасосной гемодинамики существенно снижает вероятность возникновения тромбоза при применении АВК-Н [8]. Результаты, полученные при

применении АВК-Н в экспериментальных и клинических испытаниях, также показывают, что работа (в том числе и длительная) аппарата возможна при минимальных явлениях гемолиза в плазме составляет менее 2 мг%. Ещё одним важным преимуществом отечественного НПП можно считать минимальные весогабаритные характеристики внешних компонентов аппарата и высокую ёмкость элементов питания, что позволяет реципиентам АВК-Н быть независимыми от стационарных источников питания в течение 7 часов, что значительно повышает качество их жизни [8, 47].

Конечно даже с учётом преимуществ АВК-Н устройство всё ещё остаётся малодоступным для широкого круга населения и потребность в нём во много раз превышает число проведённых операций — по последним данным, начиная с 2012 года было проведено около 50 трансплантаций АВК-Н. В то же время не стоит забывать, что стоимость устройства компенсируется отсутствием необходимости неоднократных дорогостоящих госпитализаций и отсутствием затрат на проведение дорогостоящей иммуносупрессивной терапии. Лечение после имплантации системы АВК-Н «Спутник» требует лишь коррекции свёртывающей системы крови, себестоимость которой ничтожна мала в сравнении с себестоимостью вышеуказанных факторов [47].

Несомненно, лица, перенесшие операцию по имплантации с АВК-Н, ограничены в своих физических возможностях, однако, как показывает практика, качество жизни таких пациентов несоизмеримо выше качества жизни до имплантации. С 2012 года по март 2018 года на базе ФГБУ «НМИЦ ТИО им. ак. В.И. Шумакова» Минздрава России 17 пациентов (от 33 до 67 лет) получили системы АВК-Н в качестве «моста» к ТС. Все пациенты имели застойную СН (ЗСН) III–IV функционального класса (ФК) *NYHA* (*New York Heart Association*), рефрактерную к медикаментозной терапии. Уже в первую неделю после имплантации у пациентов наблюдали быстрый регресс проявлений СН: значимый прирост фракции выброса ЛЖ ($p=0,0005$), уменьшение конечного диастолического ($p=0,009$) и систолического ($p=0,001$) объёмов ЛЖ, а также давления в лёгочной артерии ($p=0,001$). Особо стоит отметить значимое повышение показателей качества жизни пациентов, в частности статистически значимый рост физического ($p=0,0005$), ролевого физического ($p=0,001$), социального ($p=0,0009$) и эмоционального функционирования ($p=0,0009$), а также показателей жизнеспособности ($p=0,006$) и уровня психологического здоровья ($p=0,001$). Обращает на себя внимание также факт повышения толерантности к физическим нагрузкам на 244,16% по сравнению с исходными предоперационными показателями. Интересно, что при сравнении с контрольной условно здоровой группой у пациентов с имплантированными АВК-Н параметры физической и психоэмоциональной активности были практически на уровне здоровых респондентов [1, 7, 46, 55].

В статье Чернявского А.М. и соавт. (2019) был представлен опыт клинического применения АВК-Н у 11 пациентов с терминальной стадией СН. Основным показанием для использования АВК-Н являлась левожелудочковая недостаточность с выраженной дилатацией левых отделов сердца: все наблюдаемые пациенты находились в листе ожидания на ТС. Проанализировав

результаты клинического применения АВК-Н, авторы выявили, что в раннем послеоперационном периоде у большинства пациентов значительно улучшились показатели центральной гемодинамики, уменьшился объём полостей сердца: средней конечный диастолический объём ЛЖ уменьшился с 268 до 148 мл ($p < 0,01$); средний конечный диастолический объём ПЖ уменьшился с 99 до 68 мл ($p < 0,01$); а фракционное изменение площади ПЖ увеличилось в среднем с 25 до 34 ($p < 0,01$). На фоне работы системы механической поддержки сердца происходило значительное улучшение клинического состояния больных в виде регресса проявлений СН, постепенного восстановления функции печени и почек — средний уровень билирубина снизился с 35,7 до 16,7 ммоль. После имплантации АВК-Н все пациенты были выписаны для дальнейшего наблюдения на амбулаторном этапе. Продолжительность непрерывной работы системы механической поддержки сердца АВК-Н у наблюдаемых больных составила от 95 до 470 дней. В дальнейшем 64% пациентов перенесли успешную ортотопическую ТС на 103–338-е сутки после имплантации системы обхода ЛЖ. У 1 пациента через 5 месяцев после имплантации АВК-Н возникла стойкая деформация отводящей канюли и, как следствие, дисфункция и высокая опасность тромбоза системы, что потребовало реоперации с заменой отводящего контура и насоса. Повторная операция осложнилась тяжёлым тромбоэмболическим инсультом и привела к гибели пациента. Один больной погиб от геморрагического инсульта через 1 год после имплантации АВК-Н, смерть другого произошла дома из-за внезапной фибрилляции желудочков. Один пациент на момент исследования всё ещё ожидал ТС. Важно, что в данном исследовании помимо высокой эффективности АВК-Н была продемонстрирована его высокая безопасность — авторы не выявили глубоких инфекционных осложнений, что может быть связано с особенностями устройства: кабель питания и управления эластичен и не травмирует окружающие ткани [51].

В другой работе Чернявского А.М. и соавт. (2017) также был описан опыт успешного применения АВК-Н наряду с другими устройствами ДМПК 2-го поколения. Авторы описывают опыт успешного применения систем “EXCOR”, “INCOR”, АВК-Н и “Heart Mate II” у 28 относительно молодых больных (25 мужчин и 3 женщины, средний возраст 34 ± 12 лет) с тяжёлой ЗСН ФК IV по NYHA, рефрактерных к медикаментозной терапии. Все больные имели выраженную дилатацию левых отделов сердца. В большинстве случаев показанием для механической поддержки сердца было создание «моста» к ТС. Бивентрикулярные обходы сердца (система “EXCOR”) применяли в 7 случаях, когда имели место выраженная дилатация и критическое снижение систолической функции как левых, так и правых отделов сердца. При сохранной систолической функции ПЖ применяли обходы ЛЖ (системы “INCOR” — в 12 случаях, системы АВК-Н — в 8 случаях, “Heart Mate II” — в 1 случае). Продолжительность механической поддержки сердца составила от 17 до 948 суток. Впоследствии 43% пациентов перенесли ТС. Часть пациентов на момент исследования всё ещё использовали ДМПК. Среди частых осложнений авторы отмечали развитие тромбоза, который в итоге привёл к смерти 4 пациентов [56].

Опыт клинического применения системы АВК-Н «Спутник» дал толчок для разработки системы нового

поколения — «Комплекса универсального для механической поддержки насосной функции левого и правого желудочков сердца — «СТРИМ КАРДИО», который был создан на базе ГБУЗ «НИИ СП им. Н.В. Склифосовского ДЗМ» совместно с ООО «ДОНА-М» и ООО «БИОСОФТ-М» и зарегистрирован в марте 2018 года. Вышеуказанный комплекс может применяться для моно- и бивентрикулярного обхода желудочков сердца, что стало возможным благодаря созданию специальных насосов для ПЖ и ЛЖ сердца. В сравнении с АВК-Н в «СТРИМ КАРДИО» были значительно уменьшены габариты и масса экстракорпоральных компонентов и имплантируемых насосов, а также энергопотребление комплекса — в режиме левожелудочкового обхода время работы комплекса от одного источника составляет 12 часов. В состав экстракорпоральных компонентов входит два устройства: блок управления и автономный источник питания, резервный источник питания находится в блоке управления и может поддерживать автономную эксплуатацию комплекса в течение 5 часов. Важно также то, что комплекс имеет систему беспроводного управления, которое осуществляется дистанционно при помощи пульта или планшетного компьютера. В 2019 году такая система впервые была успешно использована у молодого (35 лет) пациента с декомпенсацией ХСН, развившейся на фоне дилатационной кардиомиопатии. Операция была выполнена в контексте «моста» для ТС [57]. В настоящее время клинические исследования данного комплекса всё ещё ведутся.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, наметившиеся на сегодняшний день тенденции к общему росту и старению населения всё больше актуализируют проблему лечения лиц с хронической сердечной недостаточностью. Уже на сегодняшний день распространённость хронической сердечной недостаточности принимает характер эпидемии и составляет 1–4% у лиц старше 18 лет, а к 2050 году, по прогнозам, эта цифра может увеличиться вдвое. Особенно высокие показатели распространённости хронической сердечной недостаточности у лиц пожилого возраста с большим количеством сопутствующих заболеваний.

Бремя хронической сердечной недостаточности ложится тяжёлой ношей на плечи пациента и его близких, а в масштабах государства является значимой экономической проблемой — больные с хронической сердечной недостаточностью характеризуются потребностью во множественных госпитализациях и часто требуют дорогостоящего лечения. И здесь особо следует отметить лиц, страдающих рефрактерными формами хронической сердечной недостаточности и лиц с терминальной стадией сердечной недостаточности. Именно этих пациентов госпитализируют чаще других, и это требует наибольших экономических затрат. Эти пациенты также имеют низкий уровень качества жизни и нуждаются в посторонней помощи лиц трудоспособного возраста, что ещё более увеличивает экономическую нагрузку на такого пациента.

Ранее практически единственным выходом для пациентов с терминальными стадиями хронической сердечной недостаточности являлась трансплантация донорского сердца. В настоящее время научный прогресс предлагает таким пациентам методы кратковременной и долговременной механической

поддержки — как вариант постоянного лечения или промежуточный вариант, «мост» для ожидания трансплантации сердца.

Выбор метода поддержки у лиц с терминальной стадией сердечной недостаточности является сложным и нередко поэтапным мероприятием и должен учитывать ряд факторов, к которым относятся в первую очередь тяжесть состояния пациента, имеющееся в его распоряжении время, уровень необходимой гемодинамической поддержки и наличие у пациента противопоказаний к тому или иному виду механической поддержки кровообращения. Немаловажным фактором является и финансовое состояние пациента, ведь, как правило, такие методы требуют больших затрат, и не только со стороны государства. Тем не менее в условиях серьёзного возрастающего дефицита донорского пула ключевую роль в последние годы стали играть устройства кратковременной и длительной механической поддержки кровообращения.

Несомненно, идеальным вариантом для любого пациента является использование методов краткосрочной механической поддержки кровообращения, после которого наступает нормализация гемодинамических параметров и параметров органов-мишеней и пациент может вернуться к практически нормальной жизни. Но у данной категории пациентов такой вариант наблюдается крайне редко, и большинству пациентов приходится идти на риск. В то же время за последние два десятилетия устройства механической поддержки кровообращения стали намного более компактными, лёгкими и простыми в управлении, чем были ещё в конце прошлого столетия, что даёт шанс лицам даже с самыми тяжёлыми формами хронической сердечной недостаточности на нормальную жизнь.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- Захаревич В.М., Халилулин Т.А., Колоскова Н.Н., Попцов В.Н., Шевченко А.О., Саитгареев Р.Ш. и др. Возможности лечения легочной гипертензии с использованием имплантируемой системы длительной механической поддержки насосной функции сердца. *Вестник трансплантологии и искусственных органов*. 2018; 20 (Прил. 1.):133–134.
- Дробышев А.А., Бучнев А.С., Иткин Г.П. Сравнительное исследование работы роторных насосов при модуляции выходного потока в системе искусственного сердца и аппарата искусственного кровообращения. *Вестник трансплантологии и искусственных органов*. 2018; 20 (Прил. 1.):129.
- Халилулин Т.А. Длительная механическая поддержка кровообращения в лечении потенциальных реципиентов донорского сердца с критической сердечной недостаточностью (клинико-экспериментальное исследование): автореферат дис. ... док. мед. наук. Москва, 2019.
- Carrier M, Moriguchi J, Shah KB, Anyanwu AC, Mahr C, Skipper E, et al. Outcomes after heart transplantation and total artificial heart implantation: A multicenter study. *J Heart Lung Transplant*. 2021;40(3):220–228. PMID: 33341359 <https://doi.org/10.1016/j.healun.2020.11.012>
- Готье С.В., Иткин Г.П., Шевченко А.О., Халилулин Т.А., Козлов В.А. Длительная механическая поддержка кровообращения как альтернатива трансплантации сердца. *Вестник трансплантологии и искусственных органов*. 2016;18(3):128–136. <https://doi.org/10.15825/1995-1191-2016-3-128-136>
- Voltolini A, Salvato G, Frigerio M, Cipriani M, Perna E, Pisu M, et al. Psychological outcomes of left ventricular assist device long-term treatment: A 2-year follow-up study. *Artif Organs*. 2020;44(1):67–71. PMID: 31267546. <https://doi.org/10.1111/aor.13531>
- Халилулин Т.А., Захаревич В.М., Попцов В.Н., Иткин Г.П., Шевченко А.О., Саитгареев Р.Ш. и др. Особенности имплантации системы поддержки насосной функции сердца АВК-Н в качестве «моста» к трансплантации сердца. *Вестник трансплантологии и искусственных органов*. 2018;20(1):13–22. <https://doi.org/10.15825/1995-1191-2018-1-13-22>
- Готье С.В., Иткин Г.П., Шемакин С.Ю., Саитгареев Р.Ш., Попцов В.Н., Захаревич В.М. и др. Первый опыт клинического применения отечественного аппарата вспомогательного кровообращения на базе имплантируемого осевого насоса для двухэтапной трансплантации сердца. *Вестник трансплантологии и искусственных органов*. 2013; 15(3):92–101.
- Agarwal S, High KM. Newer-generation ventricular assist devices. *Best Pract Res Clin Anaesthesiol*. 2012;26(2):117–130. PMID: 22910085. <https://doi.org/10.1016/j.bpa.2012.01.003>
- Lahpor JR. State of the art: implantable ventricular assist devices. *Curr Opin Organ Transplant*. 2009;14(5):554–559. PMID: 19667990. <https://doi.org/10.1097/MOT.0b013e3283303750>
- Köhne I. Kontinuierlich fördernde Blutpumpen für die Langzeiterhaltung. *Z Herz- Thorax- Gefäßschir*. 2020;34(6):359–370. <https://doi.org/10.1007/s00398-020-00398-8>
- Slaughter MS, Tsui SS, El-Banayosy A, Sun BC, Kormos RL, Mueller DK, et al. Results of a multicenter clinical trial with the Thoratec Implantable Ventricular Assist Device. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2007;133(6):1573–1580. PMID: 17532959 <https://doi.org/10.1016/j.jtcvs.2006.11.050>. Erratum in: *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2007;134(3):A34
- 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. PMID: 28942782 <https://doi.org/10.1016/j.healun.2017.07.005>
- Mehra MR, Naka Y, Uriel N, Goldstein DJ, Cleveland JC Jr, Colombo PC, et al. A Fully Magnetically Levitated Circulatory Pump for Advanced Heart Failure. *N Engl J Med*. 2017;376(5):440–450. PMID: 27959709 <https://doi.org/10.1056/NEJMoa1610426>
- Wu EL, Kleinheyder M, Ündar A. Pulsatile vs. continuous flow. In: *Mechanical Circulatory and Respiratory Support*. Elsevier Inc., 2018: 379–406 <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-810491-0.00012-6>
- Чернявский А.М., Караськов А.М., Доронин Д.В., Дерягин М.Н., Фомичев А.В. Опыт использования имплантируемой системы механической поддержки сердца «INCOR». *Вестник трансплантологии и искусственных органов*. 2013;15(4):84–91. <https://doi.org/10.15825/1995-1191-2013-4-84-91>
- Camboni D, Zerditzki M, Hirt S, Tandler R, Weyand M, Schmid C. Reduction of INCOR® driveline infection rate with silicone at the driveline exit site. *Interact Cardiovasc Thorac Surg*. 2017;24(2):222–228. PMID: 27702831. <https://doi.org/10.1093/icvts/ivw336>
- Schmid C, Tjan TD, Etz C, Schmidt C, Wenzelburger F, Wilhelm M, et al. First clinical experience with the Incor left ventricular assist device. *J*

- Heart Lung Transplant.* 2005;24(9):1188–1194. PMID: 16143232. <https://doi.org/10.1016/j.healun.2004.08.024>.
19. Tarro Genta F, Colajanni E, Sbarra P, Tidu M, Rinaldi M, Bosimini E. Flow mediated dilation in patient with Berlin Heart Incor left ventricle assist device. *Monaldi Arch Chest Dis.* 2008;70(1):38–40. PMID: 18592941. <https://doi.org/10.4081/monaldi.2008.435>
 20. Timms D. A review of clinical ventricular assist devices. *Med Eng Phys.* 2011;33(9):1041–1047. PMID: 21665512 <https://doi.org/10.1016/j.medengphys.2011.04.010>.
 21. Marasco SF, Farag J, Kure C, Summerhayes R, Bailey M, McGiffin D. A real-life experience with HeartMate III. *J Card Surg.* 2019;34(10):1031–1036. PMID: 31376201 <https://doi.org/10.1111/jocs.14190>
 22. Schettler S, Stulak J, Alnsara H, Clavell A. Dizziness in the Heartmate III patient. *Heart Lung.* 2019;48(4):320. PMID: 31047717. <https://doi.org/10.1016/j.hrtlung.2019.04.004>
 23. Khayata M, Elamm CA, Sareyupoglu B, Zacharias M, Oliveira GH, Medalion B. HeartMate II pump exchange with HeartMate III implantation to the descending aorta. *J Card Surg.* 2019;34(1):47–49. PMID: 30597627. <https://doi.org/10.1111/jocs.13969>
 24. Konukoglu O, Mansuroglu D, Yildirim O, Bakshaliyev S, Sever K, Balkanay M. Outflow graft twisting of Heartmate III left ventricular-assisted device: A case report. *Turk Gogus Kalp Damar Cerrahisi Derg.* 2019;27(4):568–571. PMID: 32082927 <https://doi.org/10.5606/tgkdc.dergisi.2019.17871>
 25. Krabatsch T, Netuka I, Schmitt JD, Zimpfer D, Garbade J, Rao V, et al. Heartmate 3 fully magnetically levitated left ventricular assist device for the treatment of advanced heart failure - 1 year results from the Ce mark trial. *J Cardiothorac Surg.* 2017;12(1):23. PMID: 28376837 <https://doi.org/10.1186/s13019-017-0587-3>
 26. Zimpfer D, Netuka I, Schmitt JD, Pya Y, Garbade J, Morshuis M, et al. Multicentre clinical trial experience with the HeartMate 3 left ventricular assist device: 30-day outcomes. *Eur J Cardiothorac Surg.* 2016;50(3):548–554. PMID: 27436871 <https://doi.org/10.1093/ejcts/ezw169>
 27. Barac YD, Schroder JN, Daneshmand MA, Patel CB, Milano CA. Heartmate III Replacement for Recurring Left Ventricular Assist Device Pump Thrombosis. *ASAIO J.* 2018;64(3):424–426. PMID: 29112021. <https://doi.org/10.1097/MAT.0000000000000713>
 28. McGee E Jr, Chorpennig K, Brown MC, Breznock E, Larose JA, Tamez D. In vivo evaluation of the HeartWare MVAD Pump. *J Heart Lung Transplant.* 2014;33(4):366–371. PMID: 24238834 <https://doi.org/10.1016/j.healun.2013.10.003>
 29. Mesa KJ, Ferreira A, Castillo S, Reyes C, Wolman J, Casas F. The MVAD pump: motor stator core loss characterization. *ASAIO J.* 2015;61(2):122–126. PMID: 25423121 <https://doi.org/10.1097/MAT.0000000000000180>
 30. Bartoli CR, Dowling RD. The future of adult cardiac assist devices: novel systems and mechanical circulatory support strategies. *Cardiol Clin.* 2011;29(4):559–582. PMID: 22062206 <https://doi.org/10.1016/j.ccl.2011.08.013>
 31. Schramm R, Morshuis M, Schoenbrodt M, Boergemann J, Hakim-Meibodi K, Hata M, et al. Current perspectives on mechanical circulatory support. *Eur J Cardiothorac Surg.* 2019;55(Suppl 1):i31–i37. PMID: 30608535 <https://doi.org/10.1093/ejcts/ezy444>
 32. Slaughter MS, Sobieski MA 2nd, Tamez D, Horrell T, Graham J, Pappas PS, et al. HeartWare miniature axial-flow ventricular assist device: design and initial feasibility test. *Tex Heart Inst J.* 2009;36(1):12–16. Erratum in: *Tex Heart Inst J.* 2009;36(2):186. PMID: 19436780
 33. Tamez D, LaRose JA, Shambaugh C, Chorpennig K, Soucy KG, Sobieski MA, et al. Early feasibility testing and engineering development of the transapical approach for the HeartWare MVAD ventricular assist system. *ASAIO J.* 2014;60(2):170–177. PMID: 24399057 <https://doi.org/10.1097/MAT.0000000000000038>
 34. Mohite PN, Sabashnikov A, Simon AR, Weymann A, Patil NP, Unsoeld B, et al. Does CircuLite Synergy assist device as partial ventricular support have a place in modern management of advanced heart failure? *Expert Rev Med Devices.* 2015;12(1):49–60. PMID: 25454250 <https://doi.org/10.1586/1743-4440.2015.985208>
 35. Vandenberghe S, Nishida T, Segers P, Meyns B, Verdonck P. The impact of pump speed and inlet cannulation site on left ventricular unloading with a rotary blood pump. *Artif Organs.* 2004;28(7):660–667. PMID: 15209860 <https://doi.org/10.1111/j.1525-1594.2004.07374.x>
 36. Barbone A, Pini D, Ornaghi D, Visigalli MM, Ardino L, Bragato R, et al. Sistema di assistenza ventricolare CircuLite Synergy: un nuovo approccio all'insufficienza cardiaca terminale [CircuLite Synergy ventricular assist device: a new approach to end-stage congestive heart failure]. *G Ital Cardiol (Rome).* 2014;15(2):116–122. Italian. PMID: 24625851 <https://doi.org/10.1714/1424.15781>
 37. Gregory SD, Ng BC, Nadeem K. Biventricular assist devices. In: Gregory SD, Stevens MC, Fraser JF (eds.). *Mechanical Circulatory and Respiratory Support.* London UK: Academic Press. 2017:187–219 <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-810491-0.00006-0>
 38. Monteagudo-Vela M, Simon A, Panoulas V. Initial experience with Impella RP in a quaternary transplant center. *Artif Organs.* 2020;44(5):473–477. PMID: 31769040 <https://doi.org/10.1111/aor.13610>
 39. Miyamoto T, Kado Y, Horvath DJ, Kuban BD, Sale S, Fukamachi K, et al. An advanced universal circulatory assist device for left and right ventricular support: First report of an acute in vivo implant. *JTCVS Open.* 2020;3:140–148. PMID: 36003855 <https://doi.org/10.1016/j.xjon.2020.06.006>
 40. Sugiki H, Nakashima K, Vermes E, Loisanse D, Kirsch M. Temporary right ventricular support with Impella Recover RD axial flow pump. *Asian Cardiovasc Thorac Ann.* 2009;17(4):395–400. PMID: 19713337 <https://doi.org/10.1177/0218492309338121>
 41. Qureshi AM, Turner ME, O'Neill W, Denfield SW, Aghili N, Badiye A, et al. Percutaneous Impella RP use for refractory right heart failure in adolescents and young adults-A multicenter U.S. experience. *Catheter Cardiovasc Interv.* 2020;96(2):376–381. PMID: 32129576 <https://doi.org/10.1002/ccd.28830>
 42. Степаненко А.В., Романченко О.А., Дубаев А.А., Дранишников Н.В., Швайгер М., Фиреке Ю. и др. Механическая поддержка кровообращения – опыт самой большой в Европе программы «искусственное сердце». *Вестник экспериментальной и клинической хирургии.* 2012;5(1):145–153. <https://doi.org/10.18499/2070-478X-2012-5-1-145-153>
 43. Morshuis M, Rojas SV, Hakim-Meibodi K, Razumov A, Gummert JF, Schramm R. Heart transplantation after SynCardia® total artificial heart implantation. *Ann Cardiothorac Surg.* 2020;9(2):98–103. PMID: 32309157 <https://doi.org/10.21037/acs.2020.03.12>
 44. Arabia FA, Cantor RS, Koehl DA, Kasirajan V, Gregoric I, Moriguchi JD, et al. Interagency registry for mechanically assisted circulatory support report on the total artificial heart. *J Heart Lung Transplant.* 2018;37(11):1304–1312. PMID: 29802083 <https://doi.org/10.1016/j.healun.2018.04.004>
 45. Razumov A, Marcus-André D, Zittermann A, Schramm R, Hakim-Meibodi K, Gummert J, et al. SynCardia Total Artificial Heart: A17-Year Single-Center Experience with 187 Patients. *Thorac Cardiovasc Surg.* 2020;68(S 01):S1–S72 <https://doi.org/10.1055/s-0040-1705362>
 46. Готье С.В., Халилулин Т.А., Захаревич В.М., Колоскова Н.Н., Попцов В.Н., Шевченко А.О. и др. Возможности восстановления качества жизни на фоне работы системы длительной механической поддержки кровообращения. *Вестник трансплантологии и искусственных органов.* 2019;21(Suppl):121–127.
 47. Шемакин С.Ю., Родионова Е.В. Аппарат вспомогательного кровообращения левого желудочка сердца АВК-Н «Спутник». *Главный врач Юга России.* 2014;(2):12–13.
 48. Гринвальд В.М., Кузьмин Г.С., Маслобоев Ю.П., Селищев С.В., Телышев Д.В. Первый отечественный аппарат вспомогательного кровообращения АВК-Н «Спутник» на основе имплантируемого насоса крови. *Известия высших учебных заведений. Электроника.* 2015;20(5):516–521.
 49. Almazovcentre. Впервые в России ребенку имплантировали искусственный левый желудочек сердца отечественного производства. 2021. URL: <http://www.almazovcentre.ru/?p=49402> [Дата обращения: 2 февраля 2021 г.]
 50. Адашкин А.В., Дозоров К.Н., Филатов И.А., Иткин Г.П. Дистанционный мониторинг пациентов с системой длительной механотронной поддержки кровообращения. *Вестник трансплантологии и искусственных органов.* 2016;18(2):65–73. <https://doi.org/10.15825/1995-1191-2016-2-65-73>
 51. Чернявский А.М., Доронин Д.В., Фомичев А.В., Караськов А.М. Первый опыт использования системы механической поддержки левого желудочка «АВК-Н» в кардиохирургической клинике. *Патология кровообращения и кардиохирургия.* 2019;23(1):26–32. <https://doi.org/10.21688/1681-3472-2019-1-26-32>
 52. Банин Е.П., Гуськов А.М., Сорокин Ф.Д., Ломакин В.О., Кулешова М.С. Оценка влияния сдвиговых напряжений на поток крови в осевом насосе вспомогательного кровообращения. В кн.: XXVIII Международная инновационно-ориентированная конференция молодых ученых и студентов (МИКМУС – 2016): сборник трудов конференции. Москва: ФГБУН Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН, 2017: 182–187.
 53. Griffith BP, Kormos RL, Borovetz HS, Litwak K, Antaki JF, Poirier VL, et al. HeartMate II left ventricular assist system: from concept to first clinical use. *Ann Thorac Surg.* 2001;71(3 Suppl):S116–S120; discussion S114–S116. PMID: 11265845 [https://doi.org/10.1016/s0003-4975\(00\)02639-4](https://doi.org/10.1016/s0003-4975(00)02639-4)
 54. Köhne I. Haemolysis induced by mechanical circulatory support devices: unsolved problems. *Perfusion.* 2020;35(6):474–483. PMID: 32571178 <https://doi.org/10.1177/0267659120931307>
 55. Захаревич В.М., Халилулин Т.А., Колоскова Н.Н., Попцов В.Н., Шевченко А.О., Саитгареев Р.И. и др. Качество жизни и физическая активность на фоне работы имплантируемой системы длительной механической поддержки насосной функции сердца. *Вестник трансплантологии и искусственных органов.* 2018;20 (прил. 1):135–136.
 56. Чернявский А.М., Доронин Д.В., Караськов А.М. Двухэтапная трансплантация сердца после длительной механической поддержки сердца. *Вестник трансплантологии и искусственных органов.* 2017;19 (прил.):59.
 57. Pons S, Sonneviller 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>

REFERENCES

- Zakharevich VM, Khalilulin TA, Koloskova NN, Poptsov VN, Shevchenko AO, Saitgareev RSH, et al. Vozmozhnosti lecheniya legochnoy gipertenzii s ispol'zovaniem implantiruemykh sistem dlitel'noy mekhanicheskoy podderzhki nasosnoy funktsii serdtsa. *Russian Journal of Transplantation and Artificial Organs*. 2018;20(Suppl 1):133–134. (In Russ.)
- Drobyshev AA, Buchnev AS, Itkin GP. Cravnitel'noe issledovanie raboty rotornykh nasosov pri modulyatsii vykhodnogo potoka v sisteme iskusstvennogo serdtsa i apparata iskusstvennogo krovoobrashcheniya. *Russian Journal of Transplantation and Artificial Organs*. 2018;20(Suppl 1):129. (In Russ.)
- Khalilulin TA. *Dlitel'naya mekhanicheskaya podderzhka krovoobrashcheniya v lechenii potentsial'nykh retsipientov donorskogo serdtsa s kriticheskoy serdechnoy nedostatochnost'yu (kliniko-eksperimental'noe issledovanie): dr. med. sci. diss. synopsis*. Moscow, 2019. (In Russ.)
- Carrier M, Moriguchi J, Shah KB, Anyanwu AC, Mahr C, Skipper E, et al. Outcomes after heart transplantation and total artificial heart implantation: A multicenter study. *J Heart Lung Transplant*. 2021;40(3):220–228. PMID: 33341359 <https://doi.org/10.1016/j.healun.2020.11.012>
- Gautier SV, Itkin GP, Shevchenko AO, Khalilulin TA, Kozlov VA. Durable Mechanical Circulation Support as an Alternative to Heart Transplantation. *Russian Journal of Transplantation and Artificial Organs*. 2016;18(3):128–136. (In Russ.) <https://doi.org/10.15825/1995-1191-2016-3-128-136>
- Voltolini A, Salvato G, Frigerio M, Cipriani M, Perna E, Pisu M, et al. Psychological outcomes of left ventricular assist device long-term treatment: A 2-year follow-up study. *Artif Organs*. 2020;44(1):67–71. PMID: 31267546. <https://doi.org/10.1111/aor.13531>
- Khalilulin TA, Zacharevich VM, Poptsov VN, Itkin GP, Shevchenko AO, Saitgareev RSH, et al. Special Aspects of Implantation of a Heart Pump Support System AVK-N as a "Bridge" to Heart Transplantation. *Russian Journal of Transplantation and Artificial Organs*. 2018;20(1):13–22. (In Russ.) <https://doi.org/10.15825/1995-1191-2018-1-13-22>
- Gautier SV, Itkin GP, Shemakin SYu, Saitgareev RSH, Poptsov VN, Zakharevich VM, et al. The First Experience in Clinical Application of Domestic Circulatory Support Device on Basis of Implantable Axial Pump for Two Stage Heart Transplantation. *Russian Journal of Transplantation and Artificial Organs*. 2013; 15(3):92–101. (In Russ.)
- Agarwal S, High KM. Newer-generation ventricular assist devices. *Best Pract Res Clin Anaesthesiol*. 2012;26(2):117–130. PMID: 22910085. <https://doi.org/10.1016/j.bpa.2012.01.003>
- Lahpor JR. State of the art: implantable ventricular assist devices. *Curr Opin Organ Transplant*. 2009;14(5):554–559. PMID: 19667990. <https://doi.org/10.1097/MOT.0b013e3283303750>
- Köhne I. Kontinuierlich fördernde Blutpumpen für die Langzeitherzunterstützung. *Z Herz- Thorax- Gefäßschir*. 2020;34(6):359–370. <https://doi.org/10.1007/s00398-020-00398-8>
- Slaughter MS, Tsui SS, El-Banayosy A, Sun BC, Kormos RL, Mueller DK, et al. Results of a multicenter clinical trial with the Thoratec Implantable Ventricular Assist Device. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2007;133(6):1573–1580. PMID: 17532959 <https://doi.org/10.1016/j.jtcvs.2006.11.050>. Erratum in: *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2007;134(3):A34
- 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. PMID: 28942782 <https://doi.org/10.1016/j.healun.2017.07.005>
- Mehra MR, Naka Y, Uriel N, Goldstein DJ, Cleveland JC Jr, Colombo PC, et al. A Fully Magnetically Levitated Circulatory Pump for Advanced Heart Failure. *N Engl J Med*. 2017;376(5):440–450. PMID: 27959709 <https://doi.org/10.1056/NEJMoa1610426>
- Wu EL, Kleinheyder M, Ündar A. Pulsatile vs. continuous flow. In: *Mechanical Circulatory and Respiratory Support*. Elsevier Inc., 2018: 379–406 <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-810491-0.00012-6>
- Cherniavskiy AM, Karaskov AM, Doronin DV, Deryagin MN, Fomichev AV. The Results of Mechanical Heart Support Systems INCOR Implantation. *Russian Journal of Transplantation and Artificial Organs*. 2013;15(4):84–91. (In Russ.) <https://doi.org/10.15825/1995-1191-2013-4-84-91>
- Camboni D, Zerditzki M, Hirt S, Tandler R, Weyand M, Schmid C. Reduction of INCOR® driveline infection rate with silicone at the driveline exit site. *Interact Cardiovasc Thorac Surg*. 2017;24(2):222–228. PMID: 27702831. <https://doi.org/10.1093/icvts/ivw336>
- Schmid C, Tjan TD, Etz C, Schmidt C, Wenzelburger F, Wilhelm M, et al. First clinical experience with the Incor left ventricular assist device. *J Heart Lung Transplant*. 2005;24(9):1188–1194. PMID: 16143232. <https://doi.org/10.1016/j.healun.2004.08.024>
- Tarro Genta F, Colajanni E, Sbarra P, Tidu M, Rinaldi M, Bosimini E. Flow mediated dilation in patient with Berlin Heart Incor left ventricle assist device. *Monaldi Arch Chest Dis*. 2008;70(1):38–40. PMID: 18592941. <https://doi.org/10.4081/monaldi.2008.435>
- Timms D. A review of clinical ventricular assist devices. *Med Eng Phys*. 2011;33(9):1041–1047. PMID: 21665512 <https://doi.org/10.1016/j.medengphys.2011.04.010>
- Marasco SF, Farag J, Kure C, Summerhayes R, Bailey M, McGiffin D. A real-life experience with HeartMate III. *J Card Surg*. 2019;34(10):1031–1036. PMID: 31376201 <https://doi.org/10.1111/jocs.14190>
- Schettle S, Stulak J, Alnsara H, Clavell A. Dizziness in the Heartmate III patient. *Heart Lung*. 2019;48(4):320. PMID: 31047717. <https://doi.org/10.1016/j.hrtlng.2019.04.004>
- Khayata M, ElAmm CA, Sareyupoglu B, Zacharias M, Oliveira GH, Medalion B. HeartMate II pump exchange with HeartMate III implantation to the descending aorta. *J Card Surg*. 2019;34(1):47–49. PMID: 30597627. <https://doi.org/10.1111/jocs.13969>
- Konukoğlu O, Mansuroğlu D, Yıldırım Ö, Bakshaliyev S, Sever K, Balkanay M. Outflow graft twisting of Heartmate III left ventricular-assisted device: A case report. *Türk Gogus Kalp Damar Cerrahisi Derg*. 2019;27(4):568–571. PMID: 32082927 <https://doi.org/10.5606/tgkd.c.dergisi.2019.17871>
- Krabatsch T, Netuka I, Schmitt JD, Zimpfer D, Garbade J, Rao V, et al. Heartmate 3 fully magnetically levitated left ventricular assist device for the treatment of advanced heart failure - 1 year results from the Ce mark trial. *J Cardiothorac Surg*. 2017;12(1):23. PMID: 28376837 <https://doi.org/10.1186/s13019-017-0587-3>
- Zimpfer D, Netuka I, Schmitt JD, Pya Y, Garbade J, Morshuis M, et al. Multicentre clinical trial experience with the HeartMate 3 left ventricular assist device: 30-day outcomes. *Eur J Cardiothorac Surg*. 2016;50(3):548–554. PMID: 27436871 <https://doi.org/10.1093/ejcts/ezw169>
- Barac YD, Schroder JN, Daneshmand MA, Patel CB, Milano CA. Heartmate III Replacement for Recurring Left Ventricular Assist Device Pump Thrombosis. *ASAIO J*. 2018;64(3):424–426. PMID: 29112021. <https://doi.org/10.1097/MAT.0000000000000713>
- McGee E Jr, Chorpennig K, Brown MC, Breznock E, Larose JA, Tamez D. In vivo evaluation of the HeartWare MVAD Pump. *J Heart Lung Transplant*. 2014;33(4):366–371. PMID: 24238834 <https://doi.org/10.1016/j.healun.2013.10.003>
- Mesa KJ, Ferreira A, Castillo S, Reyes C, Wolman J, Casas F. The MVAD pump: motor stator core loss characterization. *ASAIO J*. 2015;61(2):122–126. PMID: 25423121 <https://doi.org/10.1097/MAT.0000000000000180>
- Bartoli CR, Dowling RD. The future of adult cardiac assist devices: novel systems and mechanical circulatory support strategies. *Cardiol Clin*. 2011;29(4):559–582. PMID: 22062206 <https://doi.org/10.1016/j.ccl.2011.08.013>
- Schramm R, Morshuis M, Schoenbrodt M, Boergemann J, Hakim-Meibodi K, Hata M, et al. Current perspectives on mechanical circulatory support. *Eur J Cardiothorac Surg*. 2019;55(Suppl 1):i31–i37. PMID: 30608535 <https://doi.org/10.1093/ejcts/ezy444>
- Slaughter MS, Sobieski MA 2nd, Tamez D, Horrell T, Graham J, Pappas PS, et al. HeartWare miniature axial-flow ventricular assist device: design and initial feasibility test. *Tex Heart Inst J*. 2009;36(1):12–16. Erratum in: *Tex Heart Inst J*. 2009;36(2):186. PMID: 19436780
- Tamez D, LaRose JA, Shambaugh C, Chorpennig K, Soucy KG, Sobieski MA, et al. Early feasibility testing and engineering development of the transapical approach for the HeartWare MVAD ventricular assist system. *ASAIO J*. 2014;60(2):170–177. PMID: 24399057 <https://doi.org/10.1097/MAT.0000000000000038>
- Mohite NP, Sabashnikov A, Simon AR, Weymann A, Patil NP, Unsöld B, et al. Does CircuLite Synergy assist device as partial ventricular support have a place in modern management of advanced heart failure? *Expert Rev Med Devices*. 2015;12(1):49–60. PMID: 25454250 <https://doi.org/10.1586/17434440.2015.985208>
- Vandenbergh S, Nishida T, Segers P, Meyns B, Verdonck P. The impact of pump speed and inlet cannulation site on left ventricular unloading with a rotary blood pump. *Artif Organs*. 2004;28(7):660–667. PMID: 15209860 <https://doi.org/10.1111/j.1525-1594.2004.07374.x>
- Barbone A, Pini D, Ornaghi D, Visigalli MM, Ardino L, Bragato R, et al. Sistema di assistenza ventricolare CircuLite Synergy: un nuovo approccio all'insufficienza cardiaca terminale [CircuLite Synergy ventricular assist device: a new approach to end-stage congestive heart failure]. *G Ital Cardiol (Rome)*. 2014;15(2):116–122. Italian. PMID: 24625851 <https://doi.org/10.1714/1424.15781>
- Gregory SD, Ng BC, Nadeem K. Biventricular assist devices. In: Gregory SD, Stevens MC, Fraser JF (eds.). *Mechanical Circulatory and Respiratory Support*. London UK: Academic Press. 2017:187–219 <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-810491-0.00006-0>
- Monteagudo-Vela M, Simon A, Panoulas V. Initial experience with Impella RP in a quaternary transplant center. *Artif Organs*. 2020;44(5):473–477. PMID: 31769040 <https://doi.org/10.1111/aor.13610>
- Miyamoto T, Kado Y, Horvath DJ, Kuban BD, Sale S, Fukamachi K, et al. An advanced universal circulatory assist device for left and right ventricular support: First report of an acute in vivo implant. *JTCVS Open*. 2020;3:140–148. PMID: 36003855 <https://doi.org/10.1016/j.jxjon.2020.06.006>
- Sugiki H, Nakashima K, Vermes E, Loisanse D, Kirsch M. Temporary right ventricular support with Impella Recover RD axial flow pump. *Asian Cardiovasc Thorac Ann*. 2009;17(4):395–400. PMID: 19713337 <https://doi.org/10.1177/0218492309338121>
- Qureshi AM, Turner ME, O'Neill W, Denfield SW, Aghili N, Badiye A, et al. Percutaneous Impella RP use for refractory right heart failure in adolescents and young adults—A multicenter U.S. experience. *Catheter Cardiovasc Interv*. 2020;96(2):376–381. PMID: 32129576 <https://doi.org/10.1002/ccd.28830>

42. Stepanenko AV, Romantschenko OA, Dubaev AA, Dranishnikov NV, Schweiger M, Viereke J, et al. Mechanical circulatory support – a report from Europe's largest single-center experience. *Journal of Experimental and Clinical Surgery*. 2012;5(1):145–153. (In Russ.) <https://doi.org/10.18499/2070-478X-2012-5-1-145-153>
43. Morshuis M, Rojas SV, Hakim-Meibodi K, Razumov A, Gummert JF, Schramm R. Heart transplantation after SynCardia® total artificial heart implantation. *Ann Cardiothorac Surg*. 2020;9(2):98–103. PMID: 32309157 <https://doi.org/10.21037/acs.2020.03.12>
44. Arabia FA, Cantor RS, Koehl DA, Kasirajan V, Gregoric I, Moriguchi JD, et al. Interagency registry for mechanically assisted circulatory support report on the total artificial heart. *J Heart Lung Transplant*. 2018;37(11):1304–1312. PMID: 29802083 <https://doi.org/10.1016/j.healun.2018.04.004>
45. Razumov A, Marcus-André D, Zittermann A, Schramm R, Hakim-Meibodi K, Gummert J, et al. SynCardia Total Artificial Heart: A17-Year Single-Center Experience with 187 Patients. *Thorac Cardiovasc Surg*. 2020;68(S 01):S1–S72 <https://doi.org/10.1055/s-0040-1705362>
46. Got'e SV, Khalilulin TA, Zakharevich VM, Koloskova NN, Poptsov VN, Shevchenko A.O., et al. Vozmozhnosti vosstanovleniya kachestva zhizni na fone raboty sistemy dlitel'noy mekhanicheskoy podderzhki krovoobrashcheniya. *Russian Journal of Transplantology and Artificial Organs*. 2019;21(Suppl):121–127. (In Russ.)
47. Shemakin SYu, Rodionova EV. Apparat vspomogatel'nogo krovoobrashcheniya levogo zheludochka serdtsa AVK-N "Sputnik". *Glavnyi vrach Uga Russia*. 2014;(2):12–13. (In Russ.)
48. Grinvald VM, Kusmin GS, Masloboev YuP, Selishchev SV, Telyshev DV. First Domestic Ventricular Assistant Device AVK-N "Sputnik" on Basis of Implantable Blood Pump. *Proceedings of Universities. Electronics*. 2015;20(5):516–521. (In Russ.)
49. Almazovcentre. Vperve v Rossii rebenku implantirovali iskusstvennyy levyy zheludochek serdtsa otechestvennogo proizvodstva. 2021. (In Russ.) Available at: <http://www.almazovcentre.ru/?p=49402> [Accessed Feb 2, 2021].
50. Adaskin AV, Dozorov KN, Filatov IA, Itkin GP. Remote Monitoring of Patients With Long-Term Mechatronic Circulatory Support System. *Russian Journal of Transplantology and Artificial Organs*. 2016;18(2):65–73. (In Russ.) <https://doi.org/10.15825/1995-1191-2016-2-65-73>
51. Chernyavskiy AM, Doronin DV, Fomichev AV, Karas'kov AM. The initial experience of implantation of the left ventricular assist device "Sputnik" at a cardiac surgery center. *Patologiya Krovoobrashcheniya I Kardiokirurgiya*. 2019;23(1):26–32. (In Russ.) <https://doi.org/10.21688/1681-3472-2019-1-26-32>
52. Banin EP, Gus'kov AM, Sorokin FD, Lomakin VO, Kuleshova MS. Otsenka vliyaniya sdvigovykh napryazheniy na potok krovi v osevom nasose vspomogatel'nogo krovoobrashcheniya. In: *XXVIII Mezhdunarodnaya innovatsionno-orientirovannaya konferentsiya molodykh uchenykh i studentov (MIKMUS – 2016): sbornik trudov konferentsii*. Moscow: Institut mashinovedeniya im. A.A. Blagonravova RAN Publ., 2017: 182–187. (In Russ.)
53. Griffith BP, Kormos RL, Borovetz HS, Litwak K, Antaki JF, Poirier VL, et al. HeartMate II left ventricular assist system: from concept to first clinical use. *Ann Thorac Surg*. 2001;71(3 Suppl):S116–S120; discussion S114–S116. PMID: 11265845 [https://doi.org/10.1016/s0003-4975\(00\)02639-4](https://doi.org/10.1016/s0003-4975(00)02639-4)
54. Köhne I. Haemolysis induced by mechanical circulatory support devices: unsolved problems. *Perfusion*. 2020;35(6):474–483. PMID: 32571178 <https://doi.org/10.1177/0267659120931307>
55. Zakharevich VM, Khalilulin TA, Koloskova NN, Poptsov VN, Shevchenko AO, Saitgareev RSh, et al. Kachestvo zhizni i fizicheskaya aktivnost' na fone raboty implantiruemykh sistem dlitel'noy mekhanicheskoy podderzhki nasosnoy funktsii serdtsa. *Russian Journal of Transplantology and Artificial Organs*. 2018;20 (Suppl 1):135–136. (In Russ.)
56. Chernyavskiy AM, Doronin DV, Karas'kov AM. Dvukhetapnaya transplantatsiya serdtsa posle dlitel'noy mekhanicheskoy podderzhki serdtsa. *Russian Journal of Transplantology and Artificial Organs*. 2017;19(Suppl):59. (In Russ.)
57. Pons S, Sonnevill 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>

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>, khubutiya@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>, rubtsovnnv@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 Гайозович

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>, khutsishvililg1@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 2)

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}

Organizational and Methodological Department for Inpatient Care

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 This article reviews modern technologies for durable mechanical circulatory support (dMCS) –implantable devices that replace or support cardiac function.

The process of improving circulatory support devices has spanned several decades. We have evolved from bulky first-generation pulsatile pumps to compact and reliable non-pulsatile flow pumps. Today, these highly effective systems are used in 95% of cases. Modern devices can serve not only as a bridge to heart transplantation for patients awaiting a donor organ, but also as ongoing therapy for patients who are not eligible for a heart transplant.

At the same time, trends toward improving the quality of medical care are also impacting the refinement of existing circulatory support techniques: minimally invasive devices for full and partial cardiac support are being developed; fully magnetically levitated centrifugal-flow left ventricular assist devices are becoming dominant; solutions for right ventricular and biventricular failure, including the total artificial heart, are emerging.

Sputnik portable circulatory support devices and STREAM CARDIO systems have been developed and are being used in Russia. They are comparable in efficacy and safety to their foreign counterparts, and in some respects (for example, antithrombogenic coating) they are superior. Their main advantage is their significantly lower cost and accessibility for Russian patients, which is critically important given the shortage of donor organs and the high cost of imported systems.

dMCS has become a life-saving and life-preserving standard practice in cardiac surgery. Given current demographic conditions, the growing proportion of patients with heart failure, and the chronic shortage of donor organs, further development and cost reduction of the aforementioned technologies is a strategic necessity for this country.

Keywords: heart failure, assisted circulation, artificial circulation, mechanical circulatory support, artificial ventricles, left ventricular bypass

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 2). *Russian Sklifosovsky Journal of Emergency Medical Care*. 2025;14(4):792–802. <https://doi.org/10.23934/2223-9022-2025-14-4-792-802> (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 , rubtsovnv@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 , israpievmv@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 , khutsishvililg1@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 , sagirovma@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 06.12.2024

Accepted on 30.09.2025

Поступила в редакцию 16.10.2024

Рецензирование завершено 06.12.2024

Принята к печати 30.09.2025