



УДК 616-089.843

DOI 10.17802/2306-1278-2026-15-2-96-105

ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СЕРДЕЧНОГО ТРАНСПЛАНТАТА ПОСЛЕ ОСТАНОВКИ КРОВООБРАЩЕНИЯ

М.О. Жульков, А.В. Протопопов, Я.М. Смирнов, В.А. Мишенин, И.В. Зверев, О.О. Турсунов

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный медицинский исследовательский центр имени академика Е.Н. Мешалкина» Министерства здравоохранения Российской Федерации, ул. Речкуновская, 15, Новосибирск, Российская Федерация, 630055

Основные положения

- Донорство после циркуляторной смерти (DCD) является стратегически важным направлением для преодоления критического дефицита донорских сердец, так как позволяет значительно расширить пул доноров за рамки традиционного донорства после смерти мозга.
- Ключевыми технологическими подходами для клинической реализации DCD-трансплантации сердца являются нормотермическая региональная перфузия *in situ* и аппаратная перфузия *ex vivo* (например, система OCS), направленные на минимизацию ишемического повреждения трансплантата.
- Внедрение DCD-программ в России требует решения комплекса медицинских, этических и правовых вопросов, включая оптимизацию законодательства, стандартизацию протоколов и подготовку мультидисциплинарных команд, на основе успешного международного опыта.

Резюме

Острая нехватка донорских сердец в Российской Федерации требует внедрения инновационных подходов. Донорство после циркуляторной смерти (DCD) представляет значительный потенциал для увеличения пула трансплантатов, выходя за рамки традиционного донорства после смерти мозга. Внедрение программ DCD-донорства сердца в России сталкивается с комплексом медицинских, юридических и организационных барьеров. Ключевые проблемы включают ограниченное время на забор органа, риск ишемического повреждения миокарда, необходимость совершенствования протоколов констатации смерти и преодоление этических дилемм. Несмотря на это, опыт других стран демонстрирует успешность DCD-трансплантации сердца при использовании передовых технологий сохранения органов (перфузионные системы). Развитие DCD в РФ требует оптимизации законодательства, создания специализированных протоколов, подготовки мультидисциплинарных команд и повышения общественной осведомленности. Реализация этого направления способна существенно сократить дефицит и снизить смертность пациентов в листе ожидания.

Ключевые слова DCD • DBD • Донорство органов • Пересадка сердца

Поступила в редакцию: 04.10.2025; поступила после доработки: 17.11.2025; принята к печати: 02.12.2025

OPPORTUNITIES FOR USING CARDIAC ALLOGRAFTS AFTER CIRCULATORY DEATH

M.O. Zhulkov, A.V. Protopopov, Ya.M. Smirnov, V.A. Mishenin, I.V. Zverev, O.O. Tursunov

Meshalkin National Medical Research Center of the Ministry of Health of the Russian Federation, 15, Rechkunovskaya St., Novosibirsk, Russian Federation, 630055

Highlights

- Donation after Circulatory Death (DCD) represents a strategically significant avenue for overcoming the critical shortage of donor hearts, as it allows for a substantial expansion of the donor pool beyond traditional donation after brain death.
- The key technological approaches enabling the clinical implementation of DCD heart transplantation are normothermic regional perfusion (NRP) *in situ* and *ex-vivo* machine perfusion (e.g., the OCS system), both aimed at minimizing ischemic damage to the graft.

Для корреспонденции: Андрей Владимирович Протопопов, andrew-uss@yandex.ru; адрес: ул. Речкуновская, 15, Новосибирск, Российская Федерация, 630055

Corresponding author: Andrey V. Protopopov, andrew-uss@yandex.ru; address: st. Rechkunovskaya, 15, Novosibirsk, Russian Federation, 630055

- Implementing DCD programs in Russia requires addressing a complex set of medical, ethical, and legal issues, including the optimization of legislation, standardization of protocols, and training of multidisciplinary teams, drawing on successful international experience.

Abstract

The critical shortage of donor hearts in the Russian Federation necessitates innovative solutions. Donation after Circulatory Death (DCD) offers significant potential to expand the donor pool beyond traditional donation after brain death. Implementing DCD heart programs in Russia faces complex medical, legal, and logistical barriers. Key challenges include the narrow window for organ recovery, the risk of myocardial ischemic injury, the need to refine protocols for death determination, and addressing ethical concerns. Nevertheless, international experience demonstrates successful DCD heart transplantation utilizing advanced organ preservation technologies (e.g., perfusion systems). Developing DCD in Russia requires optimizing legislation, establishing specialized protocols, training multidisciplinary teams, and enhancing public awareness. Implementing DCD could substantially alleviate the organ shortage and reduce waitlist mortality.

Keywords

DCD • DBD • Organ donation • Heart transplantation

Received: 04.10.2025; received in revised form: 17.11.2025; accepted: 02.12.2026

Список сокращений

НПП	– нормотермическая региональная перфузия	DCD	– донорство после циркуляторной смерти
ЭКМО	– экстракорпоральная мембранная оксигенация	OCS	– система аппаратной перфузии донорского сердца
DBD	– донорство после смерти мозга		

Введение

Несмотря на значительные успехи медикаментозных и хирургических методов борьбы с терминальной стадией сердечной недостаточности (IV функциональный класс по NYHA), трансплантация сердца остается оптимальным методом лечения для этой группы пациентов [1]. Улучшение результатов трансплантации сердца за последние 50 лет способствовало увеличению спроса на данную операцию, сейчас, во всем мире ежегодно выполняется более 5 000 трансплантаций сердца, при этом около 50 000 человек становятся кандидатами на пересадку [2, 3]. В США ежегодно проводится более 40 000 трансплантаций солидных органов, включая более 3000 трансплантаций сердца [4]. В то же время на территории Российской Федерации ежегодно выполняется не более 500 таких операций (<https://www.transpl.ru>). Пробелы в организации органного донорства остаются одной из основных проблем современной трансплантологии. В условиях критического дефицита донорских органов одним из возможных решений является использование пула доноров после остановки кровообращения. За последнее десятилетие критерии отбора донорских органов значительно расширились, однако, несмотря на это, разрыв между потребностью в донорских органах и их доступным количеством продолжает увеличиваться. В результате тысячи

пациентов из листа ожидания ежегодно погибают, не дождавшись трансплантации [5].

Стандартным методом получения органов является донорство после смерти мозга (DBD – от англ. *donation after brain death*). Однако, из-за строгих критериев установки смерти мозга забор донорского сердца проводится менее чем у 40% потенциальных доноров, что существенно ограничивает количество возможных трансплантаций сердца в условиях растущей потребности. Одним из решений данной проблемы может стать использование органов, пожертвованных после циркуляторной смерти (DCD – от англ. *donation after circulatory death*). Во всем мире лишь немногие центры используют сердца от DCD-доноров в клинической практике, при этом применяя строгие критерии отбора, основными из них являются продолжительность тепловой ишемии трансплантата, а также возраст потенциального донора (предпочтение отдается молодым донорам без хронических заболеваний) [2, 3].

Историческая эволюция и современное состояние проблемы

Анализ долгосрочной динамики публикаций (1978–2025 гг.) демонстрирует качественный сдвиг в научном интересе к проблеме DCD. Пионерские работы конца 1970–х оставались единич-

ными на протяжении десятилетий, что отражало технологические и этические барьеры. Однако, текущая декада ознаменована повышенным интересом ученых к данной проблеме: только за 2022 г. зафиксировано 291 исследование, при поиске по ключевым словам в базе данных PubMed (рис. 1), а общий массив в 2 397 публикаций (данные актуальны на момент написания рукописи), подтверждает превращение DCD в один из многообещающих способов решения нехватки донорских органов. Особенно показателен лавинообразный рост после 2020 г., что коррелирует с глобальным дефицитом органов и совершенствованием протоколов кондиционирования.

Доминирование публикаций за последние три года (68% в представленной выборке) указывает на фазу интенсивной концептуальной и клинической разработки темы среди авторов. Работы 2025 г. фокусируются на оптимизации алгоритмов констатации смерти, минимизации ишемического повреждения органов и этико-правовых аспектах. Параллельно наблюдается «взрывное» скопление клинических данных в исследованиях 2024 г., которые посвящены сравнительной эффективности DCD vs. DBD, долгосрочным исходам трансплантатов и прогностическим биомаркерам. Такая концентрация усилий отражает переход от теоретических дискуссий в научной среде к решению прикладных задач – от расширения критериев донорства до стандартизации проколов перфузии *ex vivo*, а географический разброс авторов (Европа, Ближний Восток, Америка) подчеркивает интернационализацию проблемы DCD (рис. 2).

Одной из нерешенных про-

блем использования DCD-доноров является определение временной точки, после которой дисфункция донорского органа становится необратимой. В настоящее время нет четкого понимания продолжительности периода, после которого происходит необратимое повреждение клеток миокарда [4, 5]. В этом контексте первостепенное значение имеет определение момента, когда функция миокарда снижается, а риск дисфункции трансплантата возрастает [6]. Установление этого момента времени значительно облегчит разработку логистики и протоколов эксплантации трансплантата от DCD-донора. В настоящий момент доноров DCD классифицируют на 4 категории в соответствии с Маастрихтской классификацией 1995 г., к которой недавно была добавлена пятая категория: (I) умершие по прибытии в больницу, (II) безуспешная реанимация после остановки

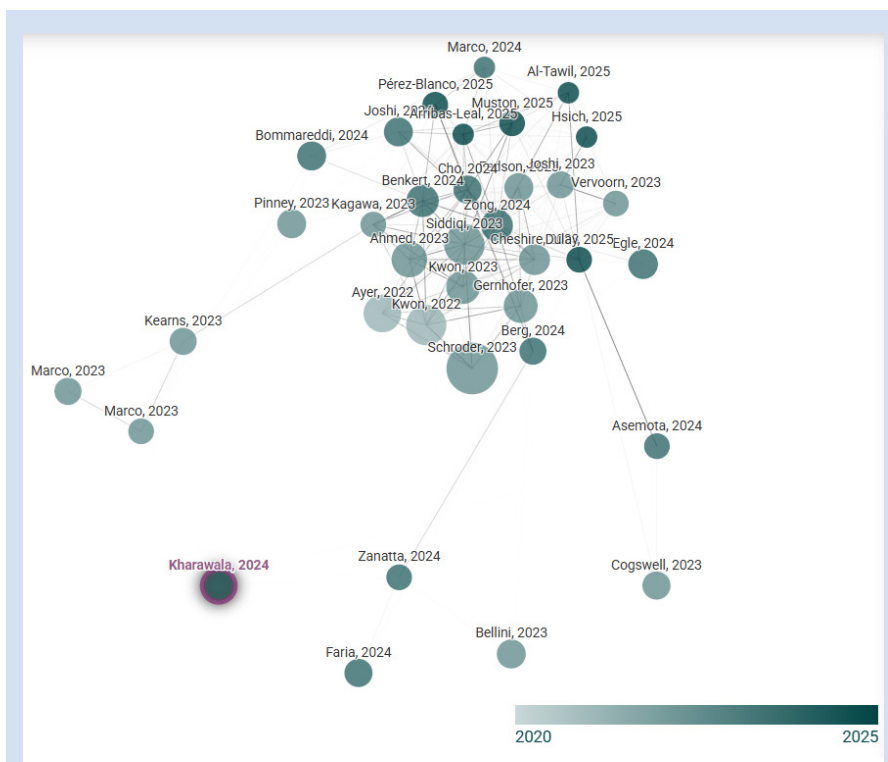


Рисунок 2. Публикационная карта авторов по заданной проблематике за последние 5 лет отражает «взрывной» характер подъема интереса к теме применения DCD донорства
Figure 2. The authorship publication map for the given field over the past 5 years reflects a surge in interest in the application of DCD

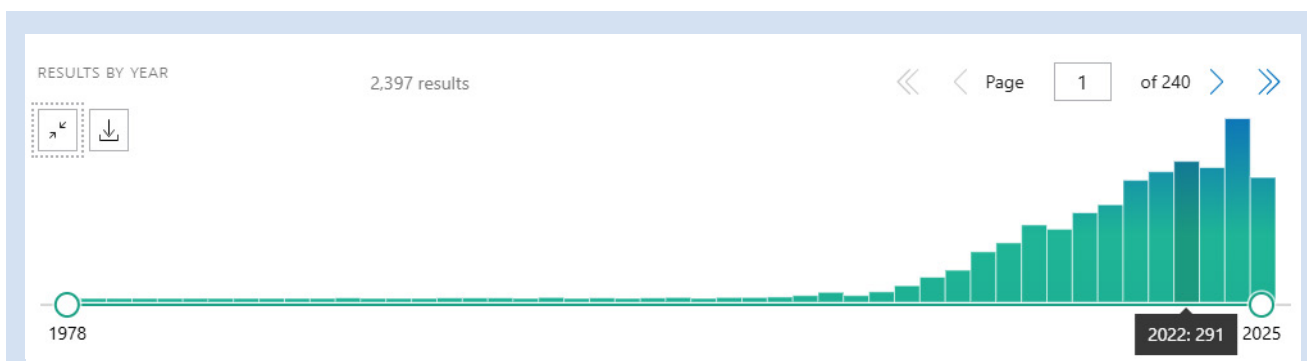


Рисунок 1. Анализ базы данных PubMed (июль 2025 г.), «публикационный бум» в исследовании проблематики
Figure 1. Analysis of the PubMed database (July 2025) indicates a sharp increase in publications addressing this issue

сердца вне больницы, (III) ожидаемая остановка кровообращения (плановое прекращение жизнеобеспечения), (IV) остановка кровообращения после объявления смерти мозга и (V) остановка кровообращения в больнице [7]. DCD-донорство также можно разделить на неконтролируемое и контролируемое в зависимости от условий, сопутствующих остановке кровообращения. Контролируемое DCD-донорство представляет особый интерес для трансплантации сердца, поскольку позволяет наблюдать процесс прекращения кровообращения и, следовательно, точно определить продолжительность тепловой ишемии. Категории III и IV считаются контролируемыми, а категории I, II и V – неконтролируемыми.

Трансплантация сердца, полученного от донора после остановки кровообращения, не является новой методикой, так первая пересадка сердца, проведенная Кристианом Барнардом в 1967 г., была выполнена с использованием трансплантата, полученного от донора DCD. После утверждения критериев смерти мозга в США и Европе в 1968 г., почти все доноры сердца в течение 36 лет являлись DBD донорами [8], однако уже к 2018 г. около 20% донорств органов в США приходилось на DCD [9, 10]. Интерес к использованию сердец от DCD-доноров возродился в 2004 г., когда группа детских кардиохирургов из Колорадо (США) разработала протокол, позволивший успешно выполнить три трансплантации сердца детям [11, 12]. Этот протокол включал введение гепарина до остановки кровообращения, совместное размещение доноров и реципиентов, а также сокращение стандартного периода наблюдения между асистолией и объявлением смерти до 75 секунд. В то же время, в Великобритании прижизненные вмешательства у потенциальных доноров и введение препаратов запрещены, совместное размещение донора и реципиента встречается редко, а период наблюдения юридически установлен в пять минут [12]. В 2015 г. группа из Сиднея (Австралия) сообщила о трех успешных трансплантациях сердца от DCD-доноров, вместо статического холодого хранения сердца подвергались нормотермической перфузии крови во время транспортировки от донора к реципиенту. При этом сердечная функция не оценивалась, а метаболизм лактата использовался в качестве маркера качества органа [13]. В 2016 г. Messer S. et al. разработали протокол для трансплантации сердца от DCD-донора, основанный на нормотермической региональной перфузии (НРП) донорского сердца [14]. Эта методика впервые была описана в 2009 г. и заключалась в восстановлении коронарной перфузии в трупe после исключения мозгового кровообращения путем пережатия брахиоцефальных артерий [15]. В данном исследовании использование доноров DCD

сопровождалось эквивалентной 90-дневной выживаемостью по сравнению с современной практикой трансплантации сердца от донора с диагнозом смерти мозга, кроме того, было обнаружено, что ранний сердечный выброс был лучше в группе DCD-трансплантатов, что может быть объяснено исключением периода холодной ишемии во время транспортировки. В то же время, когда холодное хранение и аппаратную перфузию сердец от доноров с диагнозом смерти мозга сравнивали в исследовании PROCEED II, различия в клинических результатах обнаружено не было [16].

Критерии, используемые для определения остановки кровообращения, различаются в зависимости от исследования (измерение артериального давления, изоэлектрическая линия на ЭКГ или, наоборот, фибрилляция желудочков). В клинической практике DCD донор характеризуется отсутствием пульса (отсутствием кривой артериального давления на мониторе) и отменой поддерживающей терапии, при этом точные критерии определения остановки кровообращения остаются неустановленными [17, 18]. После прекращения сердечной деятельности у потенциального донора существует несколько стратегий восстановления функции сердца и минимизации риска несостоятельности трансплантата: перфузия сердца *in vivo* с использованием контура искусственного кровообращения (НПП) или выполнение кардиоплегии с последующей эксплантацией донорского сердца и перфузией органа *ex vivo*. НПП *in situ* включает подключение аппарата искусственного кровообращения через правое предсердие и канюляцию корня аорты после введения 30 000 единиц гепарина. При этом сосуды головы и шеи пережимают, чтобы предотвратить циркуляцию крови в головном мозге. После восстановления сократительной способности сердца предполагаемого донора отключают от экстракорпоральной системы циркуляции для оценки сердечной деятельности [19]. Помимо реперфузии сердца, методика НПП *in situ* также обеспечивает кровообращение в органах брюшной полости, поддерживая их жизнеспособность [9]. Поскольку сердце имеет более высокую скорость метаболизма и более чувствительно к ишемии, чем некоторые другие органы (почки, легкие, печень и т. д.) и учитывая, что сердца доноров DCD уже перенесли период тепловой ишемии, применение фармакохолодовой кардиоплегии с последующим хранением органа во льду может привести к значительному повреждению миокарда, поэтому скорейшая реперфузия миокарда является ключевым фактором успешного использования доноров DCD. Основными преимуществами регионарной перфузии являются ранняя реперфузия и возможность функциональной оценки сердечного трансплантата. После проведения реперфузионной ре-

абилитации сердечного трансплантата с использованием методики НПП *in situ* донорский орган может быть сохранен с применением стандартного протокола фармакохолодовой консервации [6, 20]. Однако реализация стратегии НПП требует преодоления множества организационных и координационных проблем между донорской базой, группами оценки и забора донорских органов, прежде чем она сможет стать рутинной процедурой, но несомненно, что решение этих проблем может существенно увеличить пул доноров для трансплантации сердца [21].

Второй метод забора сердечного трансплантата от донора после смерти констатированной по критериям остановки кровообращения (DCD) – это скорейшая инициация кардиopleгии. В отличие от НПП *in situ*, данная стратегия не позволяет провести функциональную оценку донорского сердца до принятия решения о его использовании и требует применения дорогостоящей платформы для перфузии *ex vivo* – системы Organ Care System Heart (OCS, TransMedics, Андовер, США). Эта экстракорпоральная система предназначена для перфузии, мониторинга, реанимации, кондиционирования и оценки донорского сердца в условиях, близких к физиологическим: нормотермическом режиме и при сохранении сократительной активности. OCS позволяет непрерывно отслеживать аортальное давление, уровень лактата и коронарный кровоток трансплантата [22]. Smith D.E. и соавт. продемонстрировали многообещающие результаты применения НПП с использованием системы OCS (TransMedics, Андовер, США). В их исследовании все донорские сердца были успешно отключены от искусственного кровообращения без необходимости инотропной поддержки, наблюдалась 100% выживаемость реципиентов при среднем сроке наблюдения до одного года, а фракция выброса левого желудочка после выписки составила в среднем 64%. Кроме того, ни один из пациентов не потребовал механической поддержки кровообращения [9].

Каждая из описанных стратегий имеет свои преимущества и недостатки. Например, одним из ключевых ограничений НПП *ex vivo* является невозможность оценки насосной функции сердца, что существенно повышает риск использования некачественного трансплантата. Применение системы аппаратной перфузии OCS (TransMedics, Андовер, США) не решает данную проблему. Кроме того, аппаратная перфузия *ex vivo* имеет ряд других недостатков, таких как индуцирование отека тканей и повреждения эндотелия вследствие особенностей региональной перфузии деиннервированного трансплантата, утрата способности к автономной вазореактивной ауторегуляции коронарного кровотока и сложности в подборе оптимального режима

перфузии. Также важно отметить, что система OCS (TransMedics, Андовер, США) не позволяет оценить насосную функцию трансплантата, а мониторинг уровня лактата как прогностического маркера качества донорского сердца остается спорным. Обычно донорское сердце подвергается двум периодам тепловой ишемии и двум периодам холодной ишемии при трансплантации сердца от донора после остановки сердечной деятельности (DCD), в отличие от одного периода каждого при трансплантации сердца от донора с диагностированной смертью мозга, так как сердца от доноров с диагностированной смертью мозга не подвергаются тепловой ишемии из-за контролируемого процесса эксплантации. В исследовании Sánchez-Cámara S. et al. было показано, что сократимость миокарда и жизнеспособность клеток значительно ухудшаются уже через 10 минут после прекращения коронарного кровообращения [10]. За пределами этого временного окна риск дисфункции трансплантата может значительно возрасти. В австралийском исследовании, проведенном на серии из 23 трансплантаций сердца от DCD-доноров, в 35% случаев после трансплантации потребовалась поддержка экстракорпоральной мембранной оксигенации (ЭКМО) из-за развития первичной дисфункции трансплантата [11]. Таким образом, тепловое ишемическое повреждение сердца после остановки кровообращения, по-видимому, является основным фактором, определяющим риск несостоятельности трансплантата после пересадки. Согласно данным Messer S. et al., оптимальный период от остановки кровообращения до начала реперфузии при использовании стратегии перфузии сердца *ex vivo* составляет 22 минуты (диапазон: 21–25 минут), а для стратегии торакоабдоминальной НПП – 14 минут (диапазон: 11–15 минут) [12]. Однако не во всех юрисдикциях разрешено использование торакоабдоминальной НПП, и в таких случаях аппаратная перфузия сердца *ex vivo* становится единственной альтернативой. В рамках этой стратегии фармакологическое посткондиционирование с использованием модифицированных консервирующих растворов, а также адьювантная фармакопротекция могут повысить толерантность трансплантата к ишемии и снизить риск развития первичной дисфункции трансплантата. Тем не менее, эффективные подходы к минимизации повреждения сердечного трансплантата до сих пор не определены. Более того, отсутствует оптимальный протокол оценки трансплантата с учетом его функциональных свойств.

Этические и клинические аспекты DCD-донорства: пояснения для широкой аудитории

Поскольку трансплантология затрагивает сложные вопросы жизни и смерти, важно предельно ясно описать, кто такие DCD-доноры и почему ис-

пользование их органов не противоречит нормам гуманности и врачебной этики:

1. Кто является потенциальным DCD-донором?

В данной статье основное внимание уделяется контролируемому DCD-донорству. Это пациенты, находящиеся в критическом, несовместимом с жизнью состоянии. Как правило, это люди с катастрофическим поражением центральной нервной системы, например: массивное внутримозговое кровоизлияние, разрушившее жизненно важные структуры мозга; тяжелейшая черепно-мозговая травма, полученная в результате ДТП или падения с высоты; обширный ишемический инсульт с отеком мозга. У таких пациентов может отсутствовать смерть мозга (по официальным критериям), либо её констатация невозможна по техническим или временным причинам (например, из-за нестабильной гемодинамики, не позволяющей провести все необходимые тесты). Однако очевидно, что восстановление сознания и самостоятельной жизни невозможно. Пациент находится в агонирующем состоянии, и все медицинские вмешательства уже не могут изменить фатальный исход.

2. Были ли исчерпаны все попытки спасти жизнь?

Все имеющиеся ресурсы были использованы для восстановления сердечной деятельности. Решение о прекращении реанимационных мероприятий и переводе пациента на паллиативное лечение принимается консилиумом врачей. Это решение основывается на бесперспективности дальнейшего лечения и констатирует тот факт, что организм больше не может существовать без аппаратов. Оно принимается абсолютно независимо от наличия или отсутствия трансплантологической программы. Врачи, спасающие жизнь, и врачи, забирающие органы, это разные, не пересекающиеся команды, чтобы исключить конфликт интересов.

3. Почему нельзя использовать ЭКМО для спасения этого пациента, если оно потом используется для сохранения сердца?

Это ключевой вопрос, который требует четкого разграничения целей. При жизни пациента экстракорпоральное кровообращение (например, ЭКМО) применяется как мера жизнеобеспечения, чтобы выиграть время для устранения причины катастрофы. В описываемой ситуации причина неустранима. Подключение аппарата механической поддержки кровообращения к пациенту с несовместимым с жизнью повреждением мозга было бы не спасением, а бессмысленным и жестоким продлением агонии. После констатации смерти и с согласия родственников (или согласно волеизъявлению самого умершего) та же самая технология (НПП) может быть использована для посмертной реанимации отдельного органа. Кровь начинает

циркулировать только в изолированной полости тела (грудной и брюшной), при этом сосуды, ведущие к головному мозгу, пережимаются. Кровообращение в мозге не восстанавливается, так как смерть мозга уже наступила и является необратимой. Таким образом, эта процедура направлена на сохранение сердца для трансплантации, а не на оживление человека.

4. Почему сердце, которое остановилось, можно «запустить» у реципиента?

Остановка сердца у донора происходит из-за гипоксии (нехватки кислорода) после прекращения искусственной вентиляции лёгких. Клетки сердечной мышцы некоторое время остаются жизнеспособными, даже если орган не сокращается. Они находятся в состоянии «гибернации» из-за отсутствия энергии. Технологии перфузии (*ex vivo* или *in situ*) позволяют доставить к этим клеткам насыщенную кислородом кровь с необходимыми питательными веществами. Восстановление энергетического обмена приводит к тому, что сердечная мышца вновь обретает способность сокращаться. Важно подчеркнуть: это не «оживление» потенциального донора. Мозг человека разрушен, и восстановление его функций невозможно. Запуск сердца происходит либо в специальном аппарате уже после изъятия органа из тела, либо в теле потенциального донора, но при пережатых сосудах головы, что гарантирует отсутствие кровотока в мозге.

Резюме для читателя

Пациент, становящийся DCD-донором – это человек, чья жизнь трагически оборвалась в результате катастрофы, несовместимой с жизнью. Все мыслимые и доступные методы медицинской помощи, направленные на его спасение, были исчерпаны и не дали результата. Смерть констатируется строго в соответствии с законом. И только после этого начинаются процедуры, позволяющие сохранить его сердце и дать шанс на жизнь другому человеку. Такой подход исключает какую-либо «заинтересованность» врачей в смерти пациента и полностью соответствует принципам гуманизма и медицинской этики.

Методологические вызовы в доклинических исследованиях DCD

Систематический обзор исследований Niederberger et al. выявил критические ограничения в экспериментальных моделях DCD. Только 44% исследований контролировали температуру во время ишемии органа, лишь в 18% работ контролировали глубину анестезии, что принципиально важно, так как ингаляционные анестетики (изофлуран) сами индуцируют прекондиционирование миокарда, искажая данные кардиопротек-

ции [23]. Несогласованность в определении начала тепловой ишемии создавала вариабельность в повреждении аллотрансплантата [24]. Эти проблемы подчеркивают необходимость стандартизации проведения экспериментов по рекомендациям ARRIVE [25]. Таким образом, имеется необходимость в разработке эффективной модели DCD-донора в эксперименте на крупных лабораторных животных, что позволит проводить стандартизированные исследования влияния различных факторов на качество реанимации и реабилитации сердечного трансплантата, перенесшего период тепловой ишемии. Учитывая, что отсутствие артериального пульса физиологически значимо в контексте DCD и может наблюдаться за несколько минут до электрической асистолии, в нашем исследовании, связанным с работой на крупных лабораторных животных, мы планируем использовать потерю артериального пульса для определения момента остановки кровообращения. Еще одним важным условием стандартизации протокола исследования DCD является температура ишемизированного сердца, поскольку, согласно данным литературы, снижение температуры всего на несколько градусов (32 °C против 37 °C) может увеличить время безопасного ишемического хранения до 30 минут [15].

Исследование дополнительных параметров предполагаемого донора до остановки кровообращения, таких как измерение газов артериальной крови, артериального давления и частоты сердечных сокращений, может дать более полную картину условий, которым подвергалось донорское сердце, и, возможно, помочь в оценке трансплантата и персонализированной оптимизации терапии защиты органа. Условия хранения сердечного трансплантата имеют особое значение при донорстве после остановки сердца (DCD), учитывая, что сердце подвергается тепловой ишемии перед забором. Перфузионное хранение считается предпочтительным по сравнению со статическим холодным хранением [15], в то же время влияние различных режимов аппаратной перфузии на коронарный эндотелий и развитие васкулопатии сердечного трансплантата еще предстоит изучить. Очевидно, что аппаратная перфузия и реабилитация трансплантата представляются особенно многообещающими, поскольку они позволяют восстанавливать функцию сердца, контролировать работу органа с течением времени, а также обеспечивают доступ к образцам перфузата и биоптатам для более тщательной оценки качества органа [26]. Эти данные поднимают вопрос о том, можно ли получить преимущества кратковременной *ex vivo* перфузии трансплантата в сочетании со статическим хранением, в отличие от пролонгированной аппаратной перфузии.

Еще одним важным аспектом использования донорских органов после остановки сердца является временной интервал, в течение которого оценивается функциональное восстановление трансплантата. В большинстве опубликованных исследований сердечную функцию оценивали в течение 3 часов после реперфузии. Этого времени было достаточно для восстановления и количественной оценки сократительной функции в доклинических *ex vivo* моделях перфузии сердца [24]. Однако, по нашему мнению, столь длительный период перфузии может, напротив, оказывать негативное влияние на функцию сердечного трансплантата, особенно учитывая отсутствие консенсуса в выборе режима аппаратной перфузии солидных органов. Повреждение тканей может быть вызвано не только тепловой ишемией, но и реперфузией. В связи с этим в рамках планируемого экспериментального исследования предполагается сравнительное изучение различных временных протоколов перфузии (1 час) с целью определения минимально достаточного и безопасного периода, обеспечивающего адекватное восстановление функции миокарда без избыточного реперфузионного стресса.

Оценка функции сердца при трансплантации DCD (донор после циркуляторной смерти) особенно критична, учитывая агрессивные повреждающие условия, которым подвергаются органы перед забором. Однако лишь немногие исследования специально изучали стратегии оценки сердечных трансплантатов DCD. В клинической практике трансплантаты DCD обычно оцениваются одним из двух способов: либо с помощью функциональной оценки *in situ* с региональной перфузией и эхокардиографией в теле донора, либо с помощью мониторинга аортального давления, коронарного потока и профиля лактата (концентрация лактата < 5 ммоль/л) с использованием перфузии трансплантата *ex vivo*. С одной стороны, функциональная оценка *in situ* привлекательна, поскольку постишемическая сократительная функция в нагруженном сердце, несомненно, является ценным индикатором качества трансплантата. Однако этот подход может ограничивать возможности точного контроля условий реперфузии трансплантата, таких как состав перфузата, направленного на кардиопротекцию, кроме того, перфузия сердца *in situ* может быть запрещена во многих центрах из-за этических и правовых проблем. С другой стороны, метод перфузии сердца *ex vivo* выгоден, поскольку он выполняется после забора и, следовательно, не подпадает под этические и правовые ограничения, связанные с донором. Однако методы оценки сократимости в нагруженном сердце в настоящее время отсутствуют, а прогностическая ценность определения уровня лактата остается очень низкой. Так, по данным Messer S. J. et al.,

50% трансплантатов, считавшихся приемлемыми для трансплантации по функциональной оценке *in situ*, были бы отклонены, если бы оценка проводилась только на основе профиля лактата [27].

Заключение

Трансплантация сердца от доноров после циркуляторной смерти преодолела исторические ограничения, превратившись из маргинальной практики в стратегически значимое направление, способное увеличить пул донорских органов. Прорыв стал возможен благодаря двум технологическим парадигмам: *ex vivo* нормотермическая перфузия донорского органа, либо НРП. Клинические результаты последних лет подтверждают безопасность методов и его потенциальное применение в реальной клинической практике. Перспективы направления связаны с оптимизацией реперфузионных стратегий (гипокальциемические/нормокальциемические растворы, фармакопосткондиционирование), расши-

рением критериев за счет контролируемой гипотермии (32 °С), и валидацией долгосрочных исходов (> 5 лет). DCD-трансплантация сердца – не просто альтернатива, а эволюционный шаг к преодолению глобального дефицита донорских органов.

Конфликт интересов

А.В. Протопопов заявляет об отсутствии конфликта интересов. М.О. Жульков заявляет об отсутствии конфликта интересов. Я.М. Смирнов заявляет об отсутствии конфликта интересов. В.А. Мишенин заявляет об отсутствии конфликта интересов. И.В. Зверев заявляет об отсутствии конфликта интересов. О.О. Турсунов заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование:

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-75-00063, <https://rscf.ru/project/25-75-00063/>.

Информация об авторах

Жульков Максим Олегович, кандидат медицинских наук научный сотрудник научно-исследовательского отдела хирургии аорты, коронарных и периферических артерий института патологии кровообращения федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный медицинский исследовательский центр имени академика Е.Н. Мешалкина» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Новосибирск, Российская Федерация; **ORCID** 0000-0001-7976-596X

Протопопов Андрей Владимирович, аспирант, младший научный сотрудник научно-исследовательского отдела хирургии аорты, коронарных и периферических артерий института патологии кровообращения федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный медицинский исследовательский центр имени академика Е.Н. Мешалкина» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Новосибирск, Российская Федерация; **ORCID** 0000-0002-2617-2447

Смирнов Ярослав Максимович, медицинский брат-анестезист отделения анестезиологии и реанимации для взрослого населения федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный медицинский исследовательский центр имени академика Е.Н. Мешалкина» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Новосибирск, Российская Федерация; **ORCID** 0009-0000-2435-9868

Мишенин Владислав Анатольевич, ординатор 1-го года обучения по специальности «сердечно-сосудистая хирургия» федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный медицинский исследовательский центр имени академика Е.Н. Мешалкина» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Новосибирск, Российская Федерация; **ORCID** 0009-0000-2435-9868

Зверев Иван Владимирович, ординатор 1-го года обучения по специальности «сердечно-сосудистая хирургия» федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный медицинский исследовательский центр имени академика Е.Н. Мешалкина» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Новосибирск, Российская Федерация; **ORCID** 0009-0009-9389-6451

Author Information Form

Zhulkov Maxim O., PhD, Researcher, Center for Surgery of the Aorta, Coronary and Peripheral Arteries, Institute of Circulation Pathology, Meshalkin National Medical Research Center of the Ministry of Health of the Russian Federation, Novosibirsk, Russian Federation; **ORCID** 0000-0001-7976-596X

Protopopov Andrey V., Postgraduate Student, Junior Researcher, Center for Surgery of the Aorta, Coronary and Peripheral Arteries, Institute of Circulation Pathology, Meshalkin National Medical Research Center of the Ministry of Health of the Russian Federation, Novosibirsk, Russian Federation; **ORCID** 0000-0002-2617-2447

Smirnov Yaroslav M., Anesthesia Nurse, Department of Anesthesiology and Intensive Care for Adult Patients, Meshalkin National Medical Research Center of the Ministry of Health of the Russian Federation, Novosibirsk, Russian Federation; **ORCID** 0009-0000-2435-9868

Mishenin Vladislav A., First-year Resident in Cardiovascular Surgery, Meshalkin National Medical Research Center of the Ministry of Health of the Russian Federation, Novosibirsk, Russian Federation; **ORCID** 0009-0000-2435-9868

Zverev Ivan V., First-year Resident in Cardiovascular Surgery, Meshalkin National Medical Research Center of the Ministry of Health of the Russian Federation, Novosibirsk, Russian Federation; **ORCID** 0009-0009-9389-6451

Турсунов Олимджон Одилджонович, ординатор 2-го года обучения по специальности «сердечно-сосудистая хирургия» федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный медицинский исследовательский центр имени академика Е.Н. Мешалкина» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Новосибирск, Российская Федерация; **ORCID** 0009-0007-9948-2757

Tursunov Olimjon O., Second-year Resident in Cardiovascular Surgery, Meshalkin National Medical Research Center of the Ministry of Health of the Russian Federation, Novosibirsk, Russian Federation; **ORCID** 0009-0007-9948-2757

Вклад авторов в статью

ЖМО – вклад в концепцию и дизайн исследования, анализ данных исследования, написание и корректировка статьи, утверждение окончательной версии для публикации, полная ответственность за содержание

ПАВ – вклад в концепцию и дизайн исследования, анализ данных исследования, написание и корректировка статьи, утверждение окончательной версии для публикации, полная ответственность за содержание

СЯМ – вклад в концепцию и дизайн исследования, корректировка статьи, утверждение окончательной версии для публикации, полная ответственность за содержание

МВА – вклад в концепцию и дизайн исследования, корректировка статьи, утверждение окончательной версии для публикации, полная ответственность за содержание

ЗИВ – вклад в концепцию, корректировка статьи, утверждение окончательной версии для публикации, полная ответственность за содержание

ТОО – вклад в концепцию и дизайн исследования, корректировка статьи, утверждение окончательной версии для публикации, полная ответственность за содержание

Author Contribution Statement

ZMO – contribution to the concept and design of the study, data analysis, manuscript writing, editing, approval of the final version, fully responsible for the content

PAV – contribution to the concept and design of the study, data analysis, manuscript writing, editing, approval of the final version, fully responsible for the content

SYAM – contribution to the concept and design of the study, editing, approval of the final version, fully responsible for the content

MVA – contribution to the concept and design of the study, editing, approval of the final version, fully responsible for the content

ZIV – contribution to the concept and design of the study, editing, approval of the final version, fully responsible for the content

TOO – contribution to the concept and design of the study, editing, approval of the final version, fully responsible for the content

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

- Jacob S, Garg P, Wadiwala I, Yazji JH, Alomari M, Alamouti-Fard E, et al. Strategies for Expanding Donors Pool in Heart Transplantation. *Rev Cardiovasc Med* 2022;23. <https://doi.org/10.31083/J.RCM2308285>
- Page A, Messer S, Large SR. Heart transplantation from donation after circulatory determined death. *Ann Cardiothorac Surg* 2018;7:75. <https://doi.org/10.21037/ACS.2018.01.08>
- Vela MM, Sáez DG, Simon AR. Current approaches in retrieval and heart preservation. *Ann Cardiothorac Surg* 2018;7:67–74. <https://doi.org/10.21037/ACS.2018.01.06>
- Hessheimer AJ, Gastaca M, Miñambres E, Colmenero J, Fondevila C, Briceño J, et al. Donation after circulatory death liver transplantation: consensus statements from the Spanish Liver Transplantation Society. *Transplant International* 2020;33:902–16. <https://doi.org/10.1111/TRI.13619>
- Anguela-Calvet L, Moreno-Gonzalez G, Sbraga F, Gonzalez-Costello J, Tsui S, Oliver-Juan E. Heart Donation from Donors after Controlled Circulatory Death. *Transplantation* 2021;105:1482–91. <https://doi.org/10.1097/TP.0000000000003545>
- Hoffman JRH, McMaster WG, Rali AS, Rahaman Z, Balsara K, Absi T, et al. Early US experience with cardiac donation after circulatory death (DCD) using normothermic regional perfusion. *Journal of Heart and Lung Transplantation* 2021;40:1408–18. <https://doi.org/10.1016/J.HEALUN.2021.06.022>
- Categories of non-heart-beating donors - PubMed [Internet]. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/7482956/> (accessed July 20, 2025).
- Macdonald P, Dhital K. Heart transplantation from donation-after-circulatory-death (DCD) donors: Back to the future—Evolving trends in heart transplantation from DCD donors. *Journal of Heart and Lung Transplantation* 2019;38:599–600. <https://doi.org/10.1016/J.HEALUN.2019.03.010>
- Smith DE, Kon ZN, Carillo JA, Chen S, Gidea CG, Piper GL, et al. Early experience with donation after circulatory death heart transplantation using normothermic regional perfusion in the United States. *Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery* 2022;164:557–568.e1. <https://doi.org/10.1016/j.jtcvs.2021.07.059>
- Sánchez-Cámara S, Asensio-López MC, Royo-Villanova M, Soler F, Jara-Rubio R, Garrido-Peñalver JF, et al. Critical warm ischemia time point for cardiac donation after circulatory death. *American Journal of Transplantation* 2022;22:1321–8. <https://doi.org/10.1111/ajt.16987>
- Chew HC, Iyer A, Connellan M, Scheuer S, Villanueva J, Gao L, et al. Outcomes of Donation After Circulatory Death Heart Transplantation in Australia. *J Am Coll Cardiol* 2019;73:1447–59. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2018.12.067>
- Messer S, Cernic S, Page A, Berman M, Kaul P, Colah S, et al. A 5-year single-center early experience of heart transplantation from donation after circulatory-determined death donors. *Journal of Heart and Lung Transplantation* 2020;39:1463–75. <https://doi.org/10.1016/j.healun.2020.10.001>
- White CW, Lillo R, Sandha J, Hasanally D, Wang F, Ambrose E, et al. Physiologic Changes in the Heart Following Cessation of Mechanical Ventilation in a Porcine Model of Donation after Circulatory Death: Implications for Cardiac Transplantation. *American Journal of Transplantation* 2016;16:783–93. <https://doi.org/10.1111/ajt.13543>
- Osaki S, Ishino K, Kotani Y, Honjo O, Suezawa

- T, Kohmoto T, et al. Circulatory Load During Hypoxia Impairs Post-transplant Myocardial Functional Recovery in Donation After Cardiac Death. *Journal of Heart and Lung Transplantation* 2009;28:266–72. <https://doi.org/10.1016/j.healun.2008.12.002>
15. Stadelmann M, Dornbierer M, Clément D, Gahl B, Dick F, Carrel TP, et al. Mild hypothermia during global cardiac ischemia opens a window of opportunity to develop heart donation after cardiac death. *Transplant International* 2013;26:339–48. <https://doi.org/10.1111/TRI.12022>
16. Ardehali A, Esmailian F, Deng M, Soltész E, Hsich E, Naka Y, et al. Ex-vivo perfusion of donor hearts for human heart transplantation (PROCEED II): A prospective, open-label, multicentre, randomised non-inferiority trial. *The Lancet* 2015;385:2577–84. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(15\)60261-6](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(15)60261-6)
17. Messer S, Page A, Axell R, Berman M, Hernández-Sánchez J, Colah S, et al. Outcome after heart transplantation from donation after circulatory-determined death donors. *Journal of Heart and Lung Transplantation* 2017;36:1311–8. <https://doi.org/10.1016/j.healun.2017.10.021>
18. Dhital KK, Iyer A, Connellan M, Chew HC, Gao L, Doyle A, et al. Adult heart transplantation with distant procurement and ex-vivo preservation of donor hearts after circulatory death: A case series. *The Lancet* 2015;385:2585–91. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(15\)60038-1](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(15)60038-1)
19. Watson CJE, Hunt F, Messer S, Currie I, Large S, Sutherland A, et al. In situ normothermic perfusion of livers in controlled circulatory death donation may prevent ischemic cholangiopathy and improve graft survival. *American Journal of Transplantation* 2019;19:1745–58. <https://doi.org/10.1111/ajt.15241>
20. Beaupré RA, Morgan JA. Donation After Cardiac Death: A Necessary Expansion for Heart Transplantation. *Semin Thorac Cardiovasc Surg* 2019;31:721–5. <https://doi.org/10.1053/j.semtcvs.2019.05.010>
21. Jawitz OK, Milano C. Commentary: An innovative strategy for expanding the donor pool. *Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery* 2022;164:571–2. <https://doi.org/10.1016/j.jtcvs.2021.08.007>
22. Pahuja M, Case BC, Molina EJ, Waksman R. Overview of the FDA's Circulatory System Devices Panel virtual meeting on the TransMedics Organ Care System (OCS) Heart – portable extracorporeal heart perfusion and monitoring system. *Am Heart J* 2022;247:90–9. <https://doi.org/10.1016/J.AHJ.2022.02.003>
23. Yildirim V, Doganci S, Aydin A, Bolcal C, Demirkilic U, Cosar A. Cardioprotective effects of sevoflurane, isoflurane, and propofol in coronary surgery patients: A randomized controlled study. *Heart Surgery Forum* 2009;12. <https://doi.org/10.1532/HSF98.20081137>
24. Niederberger P, Farine E, Raillard M, Dornbierer M, Freed DH, Large SR, et al. Heart Transplantation with Donation after Circulatory Death: What Have We Learned from Preclinical Studies? *Circ Heart Fail* 2019;12. <https://doi.org/10.1161/CIRCHEARTFAILURE.118.005517>
25. Home | ARRIVE Guidelines [Internet]. Available from: <https://arriveguidelines.org/> (accessed July 20, 2025).
26. Iyer A, Gao L, Doyle A, Rao P, Cropper JR, Soto C, et al. Normothermic Ex vivo perfusion provides superior organ preservation and enables viability assessment of hearts from DCD donors. *American Journal of Transplantation* 2015;15:371–80. <https://doi.org/10.1111/ajt.12994>
27. Messer SJ, Axell RG, Colah S, White PA, Ryan M, Page AA, et al. Functional assessment and transplantation of the donor heart after circulatory death. *Journal of Heart and Lung Transplantation* 2016;35:1443–52. <https://doi.org/10.1016/J.HEALUN.2016.07.004>

Для цитирования: Жульков М.О., Протопопов А.В., Смирнов Я.М., Мишенин В.А., Зверев И.В., Турсунов О.О. Возможности использования сердечного трансплантата после остановки кровообращения. *Комплексные проблемы сердечно-сосудистых заболеваний*. 2026;15(2): 96-105. DOI: 10.17802/2306-1278-2026-15-2-96-105

To cite: Zhulkov M.O., Protopopov A.V., Smirnov Ya.M., Mishenin V.A., Ivanov I.V., Olimjon O.O. Opportunities for using cardiac allografts after circulatory death. *Complex Issues of Cardiovascular Diseases*. 2026;15(2): 96-105. DOI: 10.17802/2306-1278-2026-15-2-96-105