

DOI: 10.15825/1995-1191-2023-2-38-48

# ЧРЕСКОЖНЫЙ ОБХОД ЛЕВОГО ЖЕЛУДОЧКА КАК МЕТОД КРАТКОСРОЧНОЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ ПОДДЕРЖКИ КРОВООБРАЩЕНИЯ ПЕРЕД ТРАНСПЛАНТАЦИЕЙ СЕРДЦА У ПАЦИЕНТОВ С ВЫСОКОЙ ПРЕДТРАНСПЛАНТАЦИОННОЙ ЛЕГОЧНОЙ ГИПЕРТЕНЗИЕЙ (СЕРИЯ КЛИНИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ)

*В.Н. Попцов, В.В. Слободяник, Е.А. Спирина, Н.В. Петухов, А.К. Солодовникова, В.Ю. Воронков, А.А. Догонашева, А.А. Скокова*

ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр трансплантологии и искусственных органов имени академика В.И. Шумакова» Минздрава России, Москва, Российская Федерация

У определенных категорий пациентов с терминальной сердечной недостаточностью (СН) краткосрочная механическая поддержка кровообращения (МПК) успешно применяется в качестве механического «моста» перед трансплантацией сердца (ТС). При преимущественно левожелудочковом варианте нарушения насосной функции сердца применение изолированного левожелудочкового обхода (ЛЖО), особенно при наличии высокой легочной гипертензии (ЛГ), представляется более физиологическим методом краткосрочной МПК. **Цель исследования:** представление результатов серии клинических наблюдений применения чрескожного левожелудочкового обхода (чЛЖО) перед ТС у потенциальных реципиентов с преимущественно левожелудочковой дисфункцией и сопутствующей высокой ЛГ. **Материалы и методы.** В исследование включили трех потенциальных реципиентов сердца с преимущественно левожелудочковым вариантом СН и высокой предтрансплантационной ЛГ (ЛСС 4,7–6,6 ед. Вуда), нуждавшихся в МПК в связи с прогрессированием гемодинамических нарушений. Для чЛЖО по схеме «левое предсердие – бедренная артерия» использовали стандартную венозную ЭКМО-канюлю (26 F), проведенную из трансфеморального доступа через межпредсердную перегородку в полость левого предсердия. Паракорпоральный центрифужный насос обеспечивал нагнетание крови через стандартную артериальную ЭКМО-канюлю (15 F). **Результаты исследования.** чЛЖО обеспечил эффективную разгрузку левых отделов сердца (снижение ЗДЛА с 27–32 до 15–20 мм рт. ст.), снижение предтрансплантационной ЛГ (снижение ДЛАСр. с 45–53 до 28–33 мм рт. ст.) и улучшение системной гемодинамики (увеличение СИ с 1,8–1,9 до 2,1–2,6 л/мин/м<sup>2</sup> и АДср. с 56–59 до 70–75 мм рт. ст.), что создало предпосылки для последующего успешного выполнения ТС. На фоне чЛЖО ТППГ снизился с 15–25 до 13–15 мм рт. ст., ЛСС – с 4,7–6,6 до 2,7–3,4 ед. Вуда. Объемная скорость чЛЖО составила 2,9–3,8 л/мин, или 1,38–1,83 л/мин/м<sup>2</sup> при частоте оборотов насоса 4700–7100 в мин. Продолжительность чЛЖО составила от 4 (n = 1) до 7 (n = 2) суток. Всем пациентам была выполнена успешная ТС. **Заключение.** чЛЖО является высокоэффективным методом краткосрочной МПК у потенциальных реципиентов с преимущественным нарушением насосной функции левого желудочка и сопутствующей ЛГ, приводя к ее быстрому регрессу на фоне объемной разгрузки левых отделов сердца. Данный метод краткосрочной МПК может быть успешно реализован с использованием стандартных ЭКМО-канюль и центрифужного насоса любой модификации, не требуя дополнительного специального оборудования.

*Ключевые слова:* трансплантация сердца, механическая поддержка кровообращения, легочная гипертензия.

**Для корреспонденции:** Попцов Виталий Николаевич. Адрес: 123182, Москва, ул. Щукинская, д. 1. Тел. (963) 644-96-39. E-mail: [poptsov\\_vit@mail.ru](mailto:poptsov_vit@mail.ru)

**Corresponding author:** Vitaly Poptsov. Address: 1, Shchukinskaya str., Moscow, 123182, Russian Federation. Phone: (963) 644-96-39. E-mail: [poptsov\\_vit@mail.ru](mailto:poptsov_vit@mail.ru)

# PERCUTANEOUS LEFT VENTRICULAR ASSIST DEVICE AS A SHORT-TERM MECHANICAL CIRCULATORY SUPPORT BEFORE HEART TRANSPLANTATION IN PATIENTS WITH HIGH PRE-TRANSPLANT PULMONARY HYPERTENSION (SERIES OF CLINICAL CASES)

*V.N. Poptsov, V.V. Slobodyanik, E.A. Spirina, N.V. Petukhov, A.K. Solodovnikova, V.Yu. Voronkov, A.A. Dogonashaeva, A.A. Skokova*

Shumakov National Medical Research Center of Transplantology and Artificial Organs, Moscow, Russian Federation

In certain categories of patients with end-stage heart failure (HF), short-term mechanical circulatory support (MSC) is successfully used as a mechanical «bridge» to heart transplantation (HTx). In predominantly left-ventricular (LV) dysfunction, the use of isolated coronary artery bypass, especially amidst high pulmonary hypertension (PH), seems to be a more physiological method of short-term MSC. **Objective:** to present the results of a series of clinical cases of the use of percutaneous left ventricular assist device (pLVAD) before HTx in potential recipients with predominantly LV dysfunction and concomitant high PH. **Materials and methods.** Three potential heart recipients with predominantly left-sided HF and high pre-transplant PH (pulmonary vascular resistance, PVR, 4.7–6.6 Wood units) who required MSC due to progression of hemodynamic disorders were included in the study. A standard venous extracorporeal membrane oxygenation (ECMO) cannula (26 F) was used for percutaneous left atrial-femoral artery (LA–FA) bypass. The cannula was passed from the transfemoral route through the interatrial septum into the left atrial cavity. A paracorporeal centrifugal pump provided blood injection through a standard arterial ECMO cannula (15 F). **Results.** pLVAD unloaded the left ventricle effectively (PCWP reduced from 27–32 to 15–20 mmHg), reduced pre-transplant PH (mean pulmonary artery pressure (mPAP) reduced from 45–53 to 28–33 mmHg) and improved systemic hemodynamics (cardiac index (CI) increased from 1.8–1.9 to 2.1–2.6 l/min/m<sup>2</sup> and mean arterial pressure (mAP) from 56–59 to 70–75 mmHg). All these created the prerequisites for subsequent successful HTx. Against the background of pLVAD, transpulmonary pressure gradient (TPG) decreased from 15–25 to 13–15 mmHg, and PVR decreased from 4.7–6.6 to 2.7–3.4 Wood units. pLVAD flow rate was 2.9–3.8 L/min or 1.38–1.83 L/min/m<sup>2</sup> at 4700–7100 rpm. pLVAD duration ranged from 4 (n = 1) to 7 (n = 2) days. All patients underwent successful HTx. **Conclusion.** pLVAD is a highly effective method of short-term MSC in potential recipients with predominantly LV dysfunction and concomitant high PH, leading to rapid regression of the dysfunction against the background of left ventricular unloading. This short-term MSC technique can be successfully realized using standard ECMO cannulas and centrifugal pumps of any modification, without requiring additional special equipment.

*Keywords: heart transplantation, mechanical circulatory support, pulmonary hypertension.*

## ВВЕДЕНИЕ

Несмотря на прогресс в развитии технологии и клинического применения имплантируемых систем левожелудочкового обхода (ЛЖО), краткосрочная механическая поддержка кровообращения (МПК) методом моно-, бивентрикулярного или тотального обхода сердца остается одним из вариантов вспомогательного кровообращения, который успешно применяется у определенных категорий пациентов в качестве механического «моста» перед трансплантацией сердца (ТС) [1, 2].

Ведущим методом краткосрочной МПК перед ТС является веноартериальная экстракорпоральная мембранная оксигенация (ВА ЭКМО), которая независимо от характера нарушения центральной гемодинамики (бивентрикулярная, преимущест-

венно левожелудочковая или преимущественно правожелудочковая ОЧН или декомпенсация ХСН) обеспечивает одновременную поддержку системного кровообращения и легочного газообмена [3]. Однако при острой сердечной недостаточности (ОЧН) или острой декомпенсации хронической сердечной недостаточности (ХСН) ВА ЭКМО является нефизиологическим методом МПК, применение которого может сопровождаться усугублением систолической дисфункции левого желудочка (ЛЖ), приводя к объемной перегрузке левых отделов сердца и отеку легких [4].

При преимущественно левожелудочковом варианте нарушения насосной функции сердца применение изолированного обхода левого желудочка (ЛЖ) представляется более физиологическим методом краткосрочной МПК [5]. В качестве одного из вари-

антов краткосрочной МПК при данном характере нарушения насосной функции сердца был разработан и внедрен в клиническую практику чрескожный обход ЛЖ, получивший название TandemHeart percutaneous left ventricular assist device – pLVAD (CardiacAssist, Inc; Питсбург, США), обеспечивающий дренирование крови из левого предсердия (ЛП) с помощью специально разработанной канюли, проводимой через бедренную вену и межпредсердную перегородку в полость ЛП, и последующее ее нагнетание с помощью наружного центрифужного насоса через артериальную канюлю в бедренную артерию [6]. Продемонстрирована эффективность TandemHeart pLVAD при ОСН / острой декомпенсации ХСН различного генеза, включая ее использование как метода предтрансплантационной МПК при ТС [7]. Кроме того, применение чрескожного ЛЖО представляется более обоснованным у потенциальных реципиентов с высокой предтрансплантационной легочной гипертензией (ЛГ), что позволяет оценить степень ее регресса на фоне объемной разгрузки левых отделов сердца и сделать выбор между целесообразностью неотложной ТС или длительной МПК методом имплантируемого ЛЖО [8].

Нами был разработан альтернативный подход к осуществлению чрескожного ЛЖО с помощью стандартных венозной и артериальной ЭКМО-канюль и центрифужного насоса как метода краткосрочной МПК у потенциальных реципиентов сердца, что может способствовать повышению доступности данного метода вспомогательного кровообращения.

Целью исследования явилось представление результатов собственной серии клинических наблюдений применения чрескожного ЛЖО как метода предтрансплантационной МПК перед ТС у потенциальных реципиентов с преимущественно левожелудочковой дисфункцией и сопутствующей высокой ЛГ.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Программа применения чрескожного ЛЖО как метода краткосрочной предтрансплантационной МПК у потенциальных реципиентов сердца начата в 2022 г., что составило 2,9% от всех случаев применения краткосрочной МПК перед ТС в данном году (3 из 103). Краткосрочную МПК применили при 103 (48,6%) из 212 ТС, выполненных в 2022 г.

Показаниями к применению данного метода предтрансплантационной МПК считали клинические, гемодинамические и эхокардиографические проявления преимущественно левожелудочковой дисфункции, сопряженной с высокой предтрансплантационной легочной гипертензией (табл. 1).

В исследование включили трех пациентов (все мужчины), основные параметры клинического, ла-

Таблица 1

### Показания к применению чрескожного левожелудочкового обхода как метода механической поддержки кровообращения перед трансплантацией сердца

#### Indications for pLVAD as a method of mechanical circulatory support before heart transplantation

САД <90 мм рт. ст.
АДср. <60 мм рт. ст.
ДПП <14 мм рт. ст.
ЗДЛА >25 мм рт. ст.
СИ <2,0 л/мин/м <sup>2</sup>
VIS >5
ДПП/ЗДЛА <0,8
TAPSE >1,8 см
ТПГ >12 мм рт. ст.
ЛСС >3,5 ед. Вуда
Отсутствие тромбоза левого предсердия
Отсутствие стенозирующего атеросклероза (более 25%) артерий нижних конечностей

*Примечание.* САД – систолическое артериальное давление; АДср. – среднее артериальное давление; ДПП – давление правого предсердия; ЗДЛА – заклинивающее давление легочной артерии; СИ – сердечный индекс; VIS – шкала вазоактивной и инотропной терапии; TAPSE – систолическая экскурсия плоскости кольца трикуспидального клапана; ТПГ – транспульмональный градиент; ЛСС – легочное сосудистое сопротивление.

*Note.* САД – systolic blood pressure; АДср. – mean arterial pressure; ДПП – right atrial pressure; ЗДЛА – pulmonary capillary wedge pressure; СИ – cardiac index; VIS – vasoactive inotropic score; TAPSE – tricuspid annular plane systolic excursion; ТПГ – transpulmonary pressure gradient; ЛСС – pulmonary vascular resistance.

бораторного и инструментального обследования которых перед установкой чрескожного ЛЖО представлены в табл. 2.

Установку чрескожного обхода осуществляли в условиях интубационного наркоза в операционной, оснащенной рентгеноскопической установкой. Также использовали транспищеводное эхокардиографическое исследование для контроля пункции межпредсердной перегородки (МПП) и позиционирования кончика венозной ЭКМО-канюли в просвете левого предсердия. Канюляцию ЛП осуществляли из чрескожного трансфеморального венозного доступа аналогично с ранее описанной запатентованной методикой дренирования ЛП с целью объемной разгрузки (декомпрессии) левых отделов во время проведения периферической ВА ЭКМО [9, 10]. Различие заключалось в проведении через МПП в полость ЛП венозной ЭКМО-канюли большего диаметра (во всех случаях использовали венозную ЭКМО-канюлю размером 26 F).

- Основные этапы установки чрескожного ЛЖО:
1. Индукция анестезии и интубация трахеи.
  2. Катетеризация легочной артерии (термодилуционный катетер типа Свана–Ганца).
  3. Установка датчика для транспищевого эхокардиографического исследования.
  4. Пункция и катетеризация правой или левой бедренной артерии (создание гарантированного сосудистого доступа) для облегчения последующей установки периферической артериальной ЭКМО-канюли.
  5. Пункция и катетеризация (однопросветный катетер, диаметр 14 G) бедренной артерии на стороне последующей канюляции артериальной ЭКМО-канюли для обеспечения гарантированной перфузии нижней конечности (обязательное условие).

Таблица 2

**Данные клинического, лабораторного и инструментального обследования потенциальных реципиентов сердца перед установкой чрескожного левожелудочкового обхода (n = 3)**

**Data of clinical, laboratory and instrumental examination of potential heart recipients before pLVAD implantation (n = 3)**

Пациент	Параметр									
	Пол	Возраст, лет	Рост, см	Вес, кг	Поверхность тела, м <sup>2</sup>	НК, ст.	ФК	МА	VIS	Лист ожидания, дней
1	М	41	176	60	1,75	2Б	4	нет	12	7
2	М	40	184	87	2,11	2Б	4	да	6	4
3	М	57	182	86	2,10	2Б	4	нет	8	15
Пациент	Параметр									
	ЛП, см	ЛП, мл	ПЖ, см	КДОЛЖ, мл	ФИЛЖ, %	МК, степень	ТК, степень	TAPSE, см	ЧСС	АДср., мм рт. ст.
1	4,7	85	2,6	179	18	3,0	1,5	2,3	105	59
2	6,4	165	3,4	374	16	3,0	2,0	1,9	94	56
3	5,3	112	3,2	228	19	3,0	2,0	2,2	110	57
Пациент	Параметр									
	ДПП, мм рт. ст.	СДЛА, мм рт. ст.	ДЛАср., мм рт. ст.	ЗДЛА, мм рт. ст.	СИ, л/мин/м <sup>2</sup>	ТПГ, мм рт. ст.	ЛСС, ед. Вуда	рНв	ВЕв, мм рт. ст.	Лактат, ммоль/л
1	8	69	53	32	1,9	21	6,4	7,38	-2,8	2,1
2	10	74	54	29	1,8	25	6,6	7,37	-0,4	1,9
3	11	62	45	27	1,8	18	4,7	7,44	1,6	2,4
Пациент	Параметр									
	PbO <sub>2</sub> , мм рт. ст.	SbO <sub>2</sub> , %	Na, ммоль/л	Мочевина, ммоль/л	Креатинин, мкмоль/л	Общий билирубин, мкмоль/л	АЛТ, ед./л	АСТ, ед./л	Общий белок, ммоль/л	МНО
1	35,7	66,6	128	3,6	40,3	25,5	6,6	12,9	67,2	1,31
2	39,0	72,0	131	9,7	39,8	52,1	17,3	28,7	58,7	1,33
3	27,0	54,3	142	11,2	84,1	144,6	38,6	117,7	57,6	1,31

*Примечание.* НК – недостаточность кровообращения по классификации Н.Д. Стражеско – В.Х. Василенко; ФК – функциональный класс по классификации NYHA; МА – мерцательная аритмия; VIS – шкала вазоактивной и инотропной терапии; ЛП – левое предсердие; ПЖ – правый желудочек; КДОЛЖ – конечно-диастолический объем левого желудочка; ФИЛЖ – фракция изгнания левого желудочка; МК – митральный клапан; ТК – трикуспидальный клапан; TAPSE – систолическая экскурсия плоскости кольца трикуспидального клапана; ЧСС – частота сердечных сокращений; АДср. – среднее артериальное давление; ДПП – давление правого предсердия; СДЛА – систолическое давление легочной артерии; ДЛАср. – среднее давление легочной артерии; ЗДЛА – заклинивающее давление легочной артерии; СИ – сердечный индекс; ТПГ – транспульмональный градиент; ЛСС – легочное сосудистое сопротивление; АЛТ – аланинаминотрансфераза; АСТ – аспартатаминотрансфераза; МНО – международное номенклатурное отношение.

*Note.* НК – heart failure class according to Strazhesko–Vasilenko; ФК – New York Heart Association (NYHA) functional class; МА – atrial fibrillation; VIS – vasoactive inotropic score; ЛП – left atrium; ПЖ – right ventricle; КДОЛЖ – left ventricular end-diastolic volume; ФИЛЖ – left ventricular ejection fraction; МК – mitral valve; ТК – tricuspid valve; TAPSE – tricuspid annular plane systolic excursion; ЧСС – heart rate; АДср. – mean arterial pressure; ДПП – right atrial pressure; СДЛА – pulmonary artery systolic pressure; ДЛАср. – mean pulmonary artery pressure; ЗДЛА – pulmonary capillary wedge pressure; СИ – cardiac index; ТПГ – transpulmonary pressure gradient; ЛСС – pulmonary vascular resistance; АЛТ – alanine transaminase; АСТ – aspartate transaminase; МНО – international normalized ratio.

6. Пункция правой бедренной вены и проведение через ее просвет в восходящем направлении длинной стальной транссептальной иглы Endrugs для пункции ЛП, включающая изогнутую наружную иглу (диаметр 17 G, длина 75 см) и внутреннюю иглу (диаметр 19 G) с изогнутым вытянутым кончиком 22 G.
7. Транссептальная пункция ЛП под визуальным контролем с помощью рентгеноскопической и эхокардиографической визуализации (рис. 1).
8. Проведение в полость ЛП транссептального катетера (диаметр 8,5 F) (см. рис. 1).
9. Проведение в полость ЛП и далее в одну из легочных вен по транссептальному катетеру сверхжесткого проводника (Amplatz Super Stiff J-tip guidewire 260 см) (рис. 2).
10. Последовательная дилатация пункционного отверстия в МПП с помощью дилататоров от венозных ЭКМО-канюль возрастающего диаметра (18, 20, 22, 24 и 26 F).
11. Проведение венозной ЭКМО-канюли через МПП в полость ЛП (рис. 3).
12. Установка артериальной ЭКМО-канюли в бедренную артерию (диаметр 15 F).
13. Соединение венозной и артериальной ЭКМО-канюль с магистральями паракорпорального контура ЛЖО (рис. 4).
14. Начало работы чрескожного паракорпорального ЛЖО.

Для чрескожного ЛЖО использовали аппарат вспомогательного кровообращения Medos Delta-stream с центрифужным насосом (объем заполнения 16 мл) (см. рис. 4).

Гипокоагуляцию осуществляли постоянной инфузией нефракционированного гепарина, поддерживая

целевой уровень активированного времени свертывания крови на уровне 140–160 с.

Непосредственно перед началом искусственного кровообращения (ИК) во время операции по ТС под транспищеводным эхокардиографическим контролем венозную ЭКМО-канюлю низводили из полости ЛП до уровня внутривенного отдела нижней полой вены, что соответствовало отметке 35–40 см у места чрескожного входа. На этом этапе через образованный искусственный дефект в МПП происходил сброс крови слева направо (рис. 5). На всех последующих этапах, включая период ИК и ранний постперфузионный период и учитывая отсутствие в контуре мембранного оксигенатора, экстракорпоральный кровоток поддерживали на уровне не более 0,5 л/мин для уменьшения примешивания венозной крови, нагнетаемой через бедренную артериальную ЭКМО-канюлю в системный кровоток. В случае развития тяжелой дисфункции сердечного трансплантата, требующей посттрансплантационной МПК, в экстракорпоральный контур интегрировали мембранный оксигенатор и переходили таким образом на периферическую ВА ЭКМО. При стабильной оптимальной функции сердечного трансплантата и отсутствии признаков развития отсроченной дисфункции пересаженного сердца производили удаление венозной и артериальной ЭКМО-канюль не ранее 12 ч после окончания оперативного вмешательства по ТС.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Во всех наблюдениях произвели неосложненную пункцию и канюляцию ЛП из чрескожного трансфеморального венозного доступа. Продолжительность оперативного вмешательства по установке

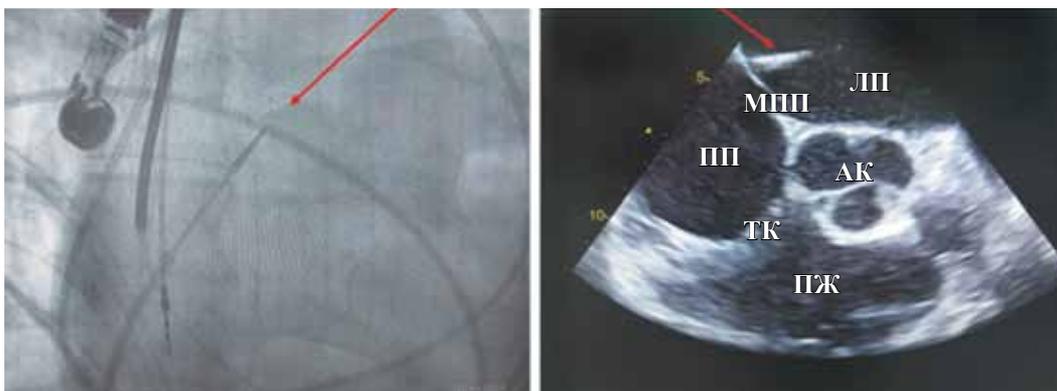


Рис. 1. Транссептальная пункция левого предсердия и проведение в ее полость транссептального катетера (диаметр 8,5 F, красные стрелки) под визуальным контролем с помощью рентгеноскопической и эхокардиографической визуализации. АК – аортальный клапан; ЛП – левое предсердие; МПП – межпредсердная перегородка; ПЖ – правый желудочек; ПП – правое предсердие; ТК – трикуспидальный клапан

Fig. 1. Transseptal puncture for access to the left atrium and insertion of transseptal catheter (8.5 F diameter, red arrows) into its cavity under visual control using echocardiographic-fluoroscopic fusion imaging. АК – aortic valve; ЛП – left atrium; МПП – interatrial septum; ПЖ – right ventricle; ПП – right atrium; ТК – tricuspid valve

чрескожного обхода составила от 48 до 74 мин. Все пациенты были активизированы в пределах 1 ч после окончания оперативного вмешательства и до

момента выполнения ТС находились на самостоятельном дыхании на фоне оксигенотерапии (4–6 л/мин). Применение чрескожного ЛЖО обеспечило



Рис. 2. Проведение в полость левого предсердия по транссептальному катетеру сверхжесткого проводника (Amplatz Super Stiff J-tip guidewire 260 см, красная стрелка). ЛП – левое предсердие; МПП – межпредсердная перегородка; ПП – правое предсердие

Fig. 2. Insertion of a super-stiff guidewire (Amplatz Super Stiff J-tip guidewire 260 cm, red arrow) into the left atrial cavity via transseptal catheter. ЛП – left atrium; МПП – interatrial septum; ПП – right atrium

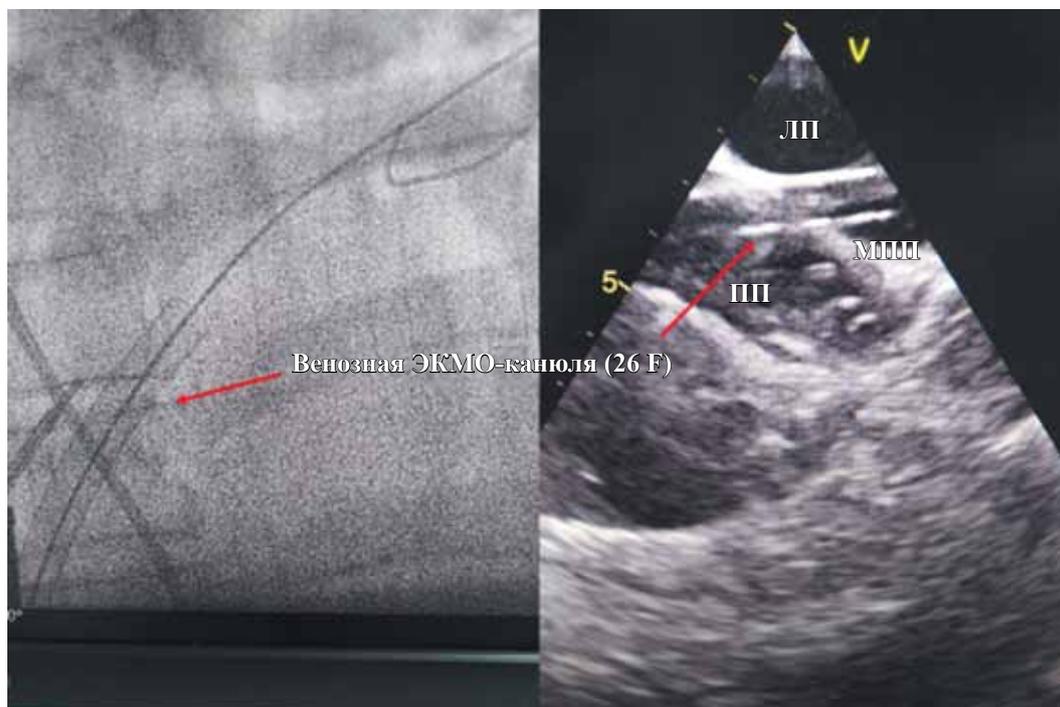


Рис. 3. Проведение венозной ЭКМО-канюли (26 F) через межпредсердную перегородку в полость левого предсердия. ЛП – левое предсердие; МПП – межпредсердная перегородка; ПП – правое предсердие

Fig. 3. Insertion of a venous ECMO cannula (26 F) through the interatrial septum into the left atrial cavity. ЛП – left atrium; МПП – interatrial septum; ПП – right atrium

эффективную разгрузку левых отделов сердца (снижение ЗДЛА с 27–32 до 15–20 мм рт. ст.), уменьшение выраженности предтрансплантационной ЛГ (снижение ДЛАСр. с 45–53 до 28–33 мм рт. ст.) и улучшение системной гемодинамики (увеличение СИ с 1,8–1,9 до 2,1–2,6 л/мин/м<sup>2</sup> и АДсер. с 56–59 до 70–75 мм рт. ст.), что создало предпосылки для последующего успешного выполнения ТС (табл. 3). На фоне чрескожного ЛЖО ТПГ снизился с 21 до 13 (пациент 1), с 25 до 15 (пациент 2), с 18 до 14 мм рт. ст. (пациент 3), ЛСС – с 6,4 до 2,9 (пациент 1), с 6,6 до 3,4 (пациент 2), с 4,7 до 2,7 ед. Вуда (пациент 3). Объемная скорость чрескожного ЛЖО составила от 2,9 до 3,8 л/мин, или от 1,38 до 1,83 л/мин/м<sup>2</sup> при частоте оборотов центрифужного насоса от 4700 до 7100 в мин. Продолжительность предтрансплан-

тационного применения чрескожного ЛЖО составила от 4 (n = 1) до 7 (n = 2) суток.

Пациентам была выполнена ТС от доноров мужского пола 54 (п. 1), 40 (п. 2) и 46 (п. 3) лет с длительностью ишемии соответственно 167, 150 и 160 мин. У двух пациентов (п. 1 и п. 2) отсутствовали проявления ранней дисфункции сердечного трансплантата, что позволило удалить экстракорпоральный контур предтрансплантационного ЛЖО через 5 и 7 ч после окончания оперативного вмешательства. Наибольшие дозировки допамина и адреналина в раннем посттрансплантационном периоде у обоих пациентов составили соответственно 6 мкг/кг/мин и 40 нг/кг/мин. У пациента 3 имелись гемодинамические и эхокардиографические признаки бивентрикулярной дисфункции сердечного трансплантата, что потребовало посттрансплантационной МПК. В экстракор-



Рис. 4. Внешний вид пациента с чрескожным левожелудочковым обходом (а, красными стрелками указано направление потока крови) и дренирование крови из левого предсердия в венозную ЭКМО-канюлю (26 F) (б, красная стрелка). Ao – аорта; ЛП – левое предсердие; ПП – правое предсердие

Fig. 4. Appearance of a patient with pLVAD (a, red arrows indicate the direction of blood flow) and blood drainage from left atrium into venous ECMO cannula (26 F) (б, red arrow). Ao – aorta; ЛП – left atrium; ПП – right atrium

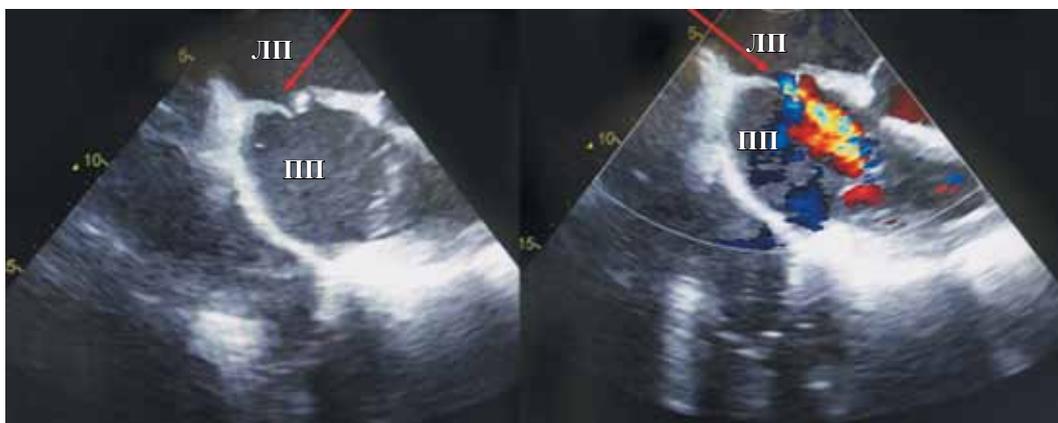


Рис. 5. Дефект межпредсердной перегородки (красные стрелки), сформированный после удаления из полости левого предсердия дренажной канюли, со сбросом крови слева направо

Fig. 5. Atrial septal defect (red arrows) formed after removal of the drainage cannula from the left atrial cavity, with left-to-right blood shunt

поральный контур предтрансплантационного ЛЖО был интегрирован мембранный оксигенатор, и он был трансформирован в периферическую ВА ЭКМО, объемная скорость кровотока, частота оборотов центрифужного насоса и продолжительность применения которой составили соответственно 2,7 л/мин, 6800 в мин и трое суток. Все пациенты выжили и были выписаны из стационара. На момент окончания периода наблюдения (31.12.2022) все пациенты живы. Период наблюдения за пациентами составил 119 (пациент 1), 90 (пациент 2) и 35 (пациент 3) дней.

## ОБСУЖДЕНИЕ

Несмотря на то что, по данным ISHLT, более 50% ТС выполняется у пациентов с длительной предтрансплантационной МПК методом имплан-

тированного ЛЖО, отдельные трансплантационные центры, как правило, имеющие большой ежегодный объем пересадок сердца, используют в том числе и практику их неотложного выполнения у пациентов с краткосрочной МПК [11]. Наиболее часто используемым методом краткосрочной МПК перед ТС остается ВА ЭКМО преимущественно с периферической методикой ее проведения [12]. ВА ЭКМО, одновременно улучшая системное кровообращение и газообмен, у большей части пациентов обеспечивает дожитие до неотложной ТС [13]. Однако являясь нефизиологическим методом МПК у пациентов с ОН или острой декомпенсацией ХСН, к которым относится большая часть потенциальных реципиентов сердца, проведение ВА ЭКМО может сопровождаться усугублением левожелудочковой дисфункции, приводя к объемной

Таблица 3

### Параметры центральной гемодинамики до и на фоне чрескожного левожелудочкового обхода (n = 3)

#### Central hemodynamic parameters before and against the background of pLVAD (n = 3)

Параметр	Этап исследования	Пациент 1	Пациент 2	Пациент 3
ЧСС, в мин	До ЛЖО	105	94	110
	1-е сутки ЛЖО	89	91	93
	Перед ТС	84	90	88
АДср., мм рт. ст.	До ЛЖО	59	56	57
	1-е сутки ЛЖО	69	73	72
	Перед ТС	70	71	75
ДПП, мм рт. ст.	До ЛЖО	9	10	11
	1-е сутки ЛЖО	10	9	10
	Перед ТС	8	8	9
ДЛАср., мм рт. ст.	До ЛЖО	53	54	45
	1-е сутки ЛЖО	40	38	32
	Перед ТС	33	33	28
ЗДЛА, мм рт. ст.	До ЛЖО	32	29	27
	1-е сутки ЛЖО	22	19	18
	Перед ТС	20	18	15
СВ, л/мин	До ЛЖО	3,3	3,8	3,8
	1-е сутки ЛЖО	4,5	4,3	4,7
	Перед ТС	4,5	4,4	4,9
СИ, л/мин/м <sup>2</sup>	До ЛЖО	1,9	1,8	1,8
	1-е сутки ЛЖО	2,6	2,0	2,2
	Перед ТС	2,6	2,1	2,3
ТПГ, мм рт. ст.	До ЛЖО	21	25	18
	1-е сутки ЛЖО	18	19	14
	Перед ТС	13	15	13
ЛСС, ед. Вуда	До ЛЖО	6,4	6,6	4,7
	1-е сутки ЛЖО	4,0	4,4	3,0
	Перед ТС	2,9	3,4	2,7

*Примечание.* ЧСС – частота сердечных сокращений; АДср. – среднее артериальное давление; ДПП – давление правого предсердия; ДЛАср. – среднее давление легочной артерии; ЗДЛА – заклинивающее давление легочной артерии; СВ – сердечный выброс; СИ – сердечный индекс; ТПГ – транспульмональный градиент; ЛСС – легочное сосудистое сопротивление.

*Note.* ЧСС – heart rate; АДср. – mean arterial pressure; ДПП – right atrial pressure; ДЛАср. – mean pulmonary artery pressure; ЗДЛА – pulmonary capillary wedge pressure; СВ – cardiac output; СИ – cardiac index; ТПГ – transpulmonary pressure gradient; ЛСС – pulmonary vascular resistance.

перегрузке левых отделов сердца, застою крови в малом круге кровообращения и отеку легких [14]. Для разрешения данного патологического состояния предложены различные методы механической объемной разгрузки левых отделов сердца [15].

У потенциальных реципиентов сердца с преимущественным нарушением насосной функции ЛЖ (например, ИБС) применение изолированного ЛЖО представляется более физиологическим и эффективным методом предтрансплантационной МПК. Однако осуществление паракорпорального ЛЖО требует выполнения стернотомии с центральной канюляцией левого предсердия или левого желудочка и аорты, что повышает травматичность не только ЛЖО, но и последующей ТС, которая становится повторным оперативным вмешательством с повышенным риском перитрансплантационных осложнений и летального исхода [17].

Внедрение в клиническую практику методики чрескожного ЛЖО, реализованной в виде TandemHeart pLVAD, было направлено на повышение эффективности и снижение травматичности МПК у пациентов с преимущественно левожелудочковым вариантом ОН или декомпенсацией ХСН [17]. Метод основан на трансфеморальной трансвенозной канюляции (диаметр 21 F) ЛП специально разработанной канюлей с клювовидным, изогнутым дилататором для облегчения прохождения через межпредсердную перегородку. Артериальная кровь, дренируемая из ЛП, нагнетается с помощью центрифужного насоса через бедренную канюлю (диаметр 15 F) в системное кровообращение [18]. Канюляция ЛП производится под рентгеноскопическим и эхокардиографическим контролем в условиях рентгенооперационной. Продолжительность процедуры постановки чрескожного ЛЖО составляет от 14 до 25 мин [19].

Продемонстрирован успешный опыт применения TandemHeart pLVAD как высокоэффективного метода краткосрочной МПК перед ТС, а также при тяжелом отторжении сердечного трансплантата [7]. Также накоплен опыт успешного применения данной методики краткосрочной МПК при лечении пациентов с фульминантным течением острого миокардита различной этиологии, ОИМ, а также в качестве метода превентивной (профилактической) МПК при выполнении эндоваскулярных коронарных вмешательств и транскатетерного протезирования аортального клапана высокого операционного риска [20, 21]. TandemHeart pLVAD использовали в качестве краткосрочной МПК перед имплантацией систем длительного ЛЖО (bridge to bridge) [8].

Как и любой высокотехнологический метод лечения, краткосрочная МПК, осуществляемая с помощью TandemHeart pLVAD, имеет как свои достоинства, так и недостатки, связанные с риском возникновения различных осложнений. Трансфе-

моральная трансвенозная канюляция ЛП требует выполнения в условиях рентген-операционной и рентгенэндоваскулярными хирургами с большим опытом транссептальной пункции ЛП, учитывая риск перфорации аорты и предсердий. Канюляция ЛП сопряжена с риском тромбообразования на левопредсердном участке канюли, что повышает риск кардиоэмболических осложнений [22]. При недостаточной глубине проведения дренажной канюли в полость ЛП возможна ее дислокация в правое предсердие, что приведет к нагнетанию венозной крови в системный кровоток и потребует или прекращения МПК, или ее трансформации в ВА ЭКМО путем интегрирования в контур мембранного оксигенатора [22]. Кроме того, существует риск ишемии нижней конечности в связи с канюляцией возвратной (артериальной) канюлей бедренной артерии. К возможным осложнениям относятся: кровотечение и гнойное воспаление в месте бедренной канюляции, артериовенозная фистула, повреждение бедренного нерва, лимфоцеле и др. [23]. Частота возникновения сосудистых осложнений при применении чрескожного ЛЖО составляет от 4,0 до 9,7 [24].

Внедрение транскатетерных, мини-инвазивных методов ЛЖО (например, Impella) привело к сокращению частоты применения TandemHeart pLVAD [1]. Однако применение данного метода МПК представляется до сих пор актуальным у потенциальных реципиентов сердца с преимущественно левожелудочковым вариантом нарушения внутрисердечной гемодинамики при реализации программы неотложной ТС с использованием краткосрочных методик вспомогательного кровообращения.

Учитывая отсутствие в РФ зарегистрированного TandemHeart pLVAD, мы предположили, что данная методика краткосрочной МПК может быть успешно реализована путем использования стандартной венозной ЭКМО-канюли необходимого размера и конструкции, которая при наличии рентгенэндоваскулярных хирургов с опытом транссептальной пункции ЛП может быть проведена из трансфеморального венозного доступа через правое предсердие и МПП в полость ЛП. Нами была выбрана венозная ЭКМО-канюля производства Medos, которая в отличие от других аналогов не имеет боковых дренажных отверстий и обеспечит изолированное дренирование артериальной крови из ЛП без примешивания венозной крови из правых отделов сердца и нижней полой вены. Кроме того, в качестве одного из показаний для применения чрескожного ЛЖО была острая декомпенсация ХСН с преимущественно левожелудочковым вариантом нарушения внутрисердечной гемодинамики, требующая краткосрочной МПК и сопровождающаяся высокой, пограничной предтрансплантационной ЛГ.

Серия представленных клинических наблюдений продемонстрировала высокую гемодинамическую эффективность и безопасность данной методики осуществления предтрансплантационной краткосрочной МПК методом чрескожного паракорпорального ЛЖО. Применение данного метода МПК обеспечило не только улучшение системной гемодинамики, но и регресс ЛГ до уровня, позволяющего результативно выполнить ТС по ортотопической методике без развития выраженной правожелудочковой дисфункции сердечного трансплантата. При отсутствии быстрого регресса ЛГ чрескожный ЛЖО может быть использован в качестве промежуточного метода вспомогательного кровообращения перед имплантацией системы пролонгированного ЛЖО (bridge-to-bridge) [25]. При возникновении ранней дисфункции пересаженного сердца контур предтрансплантационного ЛЖО может быть использован для посттрансплантационного проведения ВА ЭКМО после интегрирования мембранного оксигенатора. Представленный нами опыт проведения краткосрочной МПК методом чрескожного ЛЖО может быть использован в отечественной медицинской практике не только в качестве вспомогательного кровообращения перед ТС, но и в других клинических ситуациях, сопровождаемых критическим нарушением насосной функции ЛЖ.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, чрескожный ЛЖО является высокоэффективным методом краткосрочной МПК у потенциальных реципиентов с преимущественным нарушением насосной функции левого желудочка и сопутствующей высокой легочной гипертензией, приводя к ее быстрому регрессу на фоне объемной разгрузки левых отделов сердца. В зависимости от клинической ситуации чрескожный ЛЖО может рассматриваться в качестве метода краткосрочной МПК перед неотложной ТС или имплантацией систем длительной МПК. Данный метод краткосрочной МПК может быть успешно реализован с использованием стандартных ЭКМО-канюль для трансфеморальной канюляции бедренных сосудов и центрифужного насоса любой модификации, не требуя дополнительного специального оборудования.

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.*

*The authors declare no conflict of interest.*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Brown LJ, Estep JD. Temporary percutaneous mechanical circulatory support in advanced heart failure. *Heart Failure Clin.* 2016; 12: 385–398.
2. Reich H, Ramzy D, Moriguchi J et al. Acceptable post-heart transplant outcomes support temporary MCS prioritization in the New OPTN/UNOS heart allocation policy. *Transplant Proc.* 2021; 53: 353–357.
3. Gonzales MH, Acharya D, Lee S et al. Improved survival after heart transplantation in patients bridged with extracorporeal membrane oxygenation in new allocation system. *J Heart Lung Transplant.* 2021; 40: 149–157.
4. Xie A, Forrest P, Loforte A. Left ventricular decompression in veno-arterial extracorporeal membrane oxygenation. *Ann Cardiothorac Surg.* 2019; 8: 9–18.
5. Smith L, Peters A, Mazimba S et al. Outcomes of patients with cardiogenic shock treated with TandemHeart percutaneous ventricular assist device: importance of support indication and definitive therapies as determinants of prognosis. *Catheter Cardiovasc Interv.* 2018; 92: 1173–1181.
6. Kar B, Adkins LE, Civitello AB et al. Clinical experience with the TandemHeart percutaneous ventricular assist device. *Tex Heart Inst J.* 2006; 33 (2): 111–115.
7. Bruckner BA, Jacob LP, Gregoric ID et al. Clinical experience with the TandemHeart percutaneous ventricular assist device as bridge to cardiac transplantation. *Tex Heart Inst J.* 2008; 35: 447–450.
8. Gregoric ID, Jacob LP, La Francesca S et al. The TandemHeart as a bridge to a long-term axial-flow left ventricular assist device. *Tex Heart Inst J.* 2008; 35: 125–129.
9. Попцов ВН, Спирина ЕА, Слободяник ВВ. Способ гемодинамической разгрузки левого желудочка при проведении периферической вено-артериальной экстракорпоральной мембранной оксигенации (Патент на изобретение № 2526880, зарегистрировано 03.07.2014 г.). *Poptsov VN, Spirina EA, Slobodyannik VV. Sposob gemodinamicheskoy razgruzki levogo zheludochka pri provedenii perifericheskoy veno-arterial'noy ekstrakorporal'noy membrannoy oksigenatsii (Patent na izobretenie № 2526880, zaregistrirovano 03.07.2014 g.).*
10. Попцов ВН, Спирина ЕА, Слободяник ВВ, Захаревич ВМ, Еремеева ОА, Масютин СА. Чрескожное трансфеморальное дренирование левого предсердия как метод объемной разгрузки левого желудочка при проведении периферической вено-артериальной мембранной оксигенации у потенциальных реципиентов сердца. *Вестник трансплантологии и искусственных органов.* 2013; 15 (4): 70–83. *Poptsov VN, Spirina EA, Slobodyannik VV, Zakharevich VM, Ereemeeva OA, Masyutin SA. Chreskoznoe transfemoral'noe drenirovanie levogo predserdiya kak metod ob'emnoy razgruzki levogo zheludochka pri provedenii perifericheskoy veno-arterial'noy membrannoy oksigenatsii u potentsial'nykh retsipientov serdtsa. Vestnik transplantologii i iskusstvennykh organov.* 2013; 15 (4): 70–83.
11. Viera JL, Ventura HO, Mehra MR. Mechanical circulatory support in advanced heart failure: 2022 and beyond. *Progress in Cardiovasc Dis.* 2020; 63: 630–639.
12. Hebert M, Noly PE, Lamarche Y et al. Early and long-term outcomes after direct bridge-to-transplantation with extracorporeal membrane oxygenation. *Heart Surg Forum.* 2021; 24: E1033–E1042.

13. Hess NR, Hickey GW, Sultan I, Kilic A. Extracorporeal membrane oxygenation bridge to heart transplantation: trends following the allocation change. *J Card Surg.* 2020 Oct 14. doi: 10.1111/jocs. 15118.
14. Guglin M, Zucker MJ, Neumann FJ. Venoarterial ECMO for adults: JACC scientific expert panel. *J Am Coll Cardiol.* 2019; 73: 698–716.
15. Tepper S, Masood MF, Baltazar Garsia M et al. Left ventricular unloading by Impella device versus surgical vent during extracorporeal life support. *Ann Thorac Surg.* 2017; 104: 861–867.
16. Ando M, Garan AR, Takayama H et al. A continuous-flow external ventricular assist device for cardiogenic shock: evolution over 10 years. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2018; 156: 157–165.
17. Thiele H, Sick P, Boudriot T, Diederich KW et al. Randomized comparison of intra-aortic balloon support with a percutaneous left ventricular assist device in patients with revascularized acute myocardial infarction complicated by cardiogenic shock. *Eur Heart J.* 2005; 26: 1276–1283.
18. Rajdev S, Krishnan P, Irani A et al. Clinical application of prophylactic percutaneous left ventricular assist device (TandemHeart) in high-risk percutaneous coronary intervention using an arterial preclosure technique: single-center experience. *J Invasive Cardiol.* 2008; 20: 67–72.
19. Sharma AB, Kovacic JC, Kini AS. Percutaneous left ventricular assist device devices. *Intervent Cardiol Clin.* 2012; 1: 509–622.
20. Alli OO, Singh IM, Holmes DR et al. Percutaneous left ventricular assist device with TandemHeart for high-risk percutaneous coronary intervention: the Mayo clinic experience. *Catheterization Cardiovasc Interv.* 2012; 80: 726–734.
21. Khalife W, Kar B. The TandemHeart pLVAD in the treatment of acute fulminant myocarditis. *Tex Heart Inst J.* 2007; 34: 209–213.
22. Gregoric ID, Bruckner BF, Jacob L et al. Techniques and complication of TandemHeart ventricular assist device insertion during cardiac procedure. *ASAIO J.* 2009; 55: 251–254.
23. Kreidieh B, Gray WA. The road to support is paved with good interventions: vascular complications of percutaneous LVAD use. *Catheter Cardiovasc Interv.* 2020; 95: 317–318.
24. Patel N, Sharma A, Dalia T et al. Vascular complications associated with percutaneous left ventricular assist device placement: a 10-year US perspective. *Catheter Cardiovasc Interv.* 2020; 95: 309–316.
25. Kurihara C, Kawabori M, Suguira T et al. Bridging to a long-term ventricular assist device with short-term mechanical circulatory support. *Artificial Organs J.* 2018; 42: 589–596.

*Статья поступила в редакцию 12.01.2023 г.  
The article was submitted to the journal on 12.01.2023*