

DOI: 10.15825/1995-1191-2023-1-77-89

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ЧРЕСКОЖНОГО ОБХОДА ПРАВОГО ЖЕЛУДОЧКА В РАННЕМ ПЕРИОДЕ ПОСЛЕ ИМПЛАНТАЦИИ СИСТЕМЫ ЛЕВОЖЕЛУДОЧКОВОГО ОБХОДА (КЛИНИЧЕСКОЕ НАБЛЮДЕНИЕ И ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

В.Н. Попцов, Е.А. Спирина, Д.В. Рябцев, А.К. Солодовникова, А.С. Епремян

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

Система имплантируемого левожелудочкового обхода (LVAD) – это современный метод лечения взрослых и детей с сердечной недостаточностью в терминальной стадии. Ранние и поздние периоды после имплантации LVAD могут серьезно осложняться. Дисфункция правого желудочка (ДПЖ) по-прежнему остается одним из самых частых осложнений у пациентов с LVAD и причиной низкой постимплантационной выживаемости. Мы предполагаем, что дополнительное временное или постоянное вспомогательное устройство для правого желудочка (RVAD) является эффективным методом лечения LVAD-ассоциированного ДПЖ. В данном клиническом случае мы описываем историю болезни педиатрического пациента (14 лет) с тяжелой сердечной недостаточностью (Pedimacs Level 1) на фоне дилатационной кардиомиопатии, которому потребовалась периферическая ВА ЭКМО перед срочной имплантацией LVAD (HM3). В раннем постимплантационном (1 POD) периоде LVAD у этого пациента наблюдались гемодинамические и эхокардиографические явления остро развившейся ДПЖ, резистентной к медикаментозной терапии (инотропная/вазопрессорная поддержка, iNO) и потребовавшей механической поддержки кровообращения с помощью предоперационно имплантированного ВА ЭКМО. В сценарии LVAD-ассоциированной ДПЖ ВА ЭКМО как средство полного шунтирования сердца является нефизиологическим методом МПК, и следовательно, нежелательным. В этой клинической ситуации нашим решением было использование паракорпорального центробежного насоса для временной поддержки правых отделов сердца. Вспомогательное устройство для правого желудочка (RVAD) было собрано с использованием метода чрескожной канюляции в двух местах и модификации ранее существовавшего контура ВА ЭКМО. Для RVAD мы использовали канюлю ЭКМО, установленную ранее через бедренную вену (26 F), и добавили возвратную венозную канюлю (22 F) через правую внутреннюю яремную вену в ствол легочной артерии. Для облегчения прохождения возвратной канюли в легочную артерию мы использовали контралатеральный интродьюсер (6 F, 40 см) и проводник типа Amplatz Super Stiff под рентгенологическим контролем. Оксигенатор был удален из контура на вторые сутки RVAD. На фоне ПЖО мы отметили улучшение показателей центральной гемодинамики (снижение ДПП до 10 мм рт. ст., увеличение ЗДЛА до 14 мм рт. ст.) и объемных характеристик ПЖ и ЛЖ, что позволило оптимизировать функционирование иЛЖО (увеличение производительности до 4,2 л/мин, или 2,1 л/мин/м²). Продолжительность паракорпорального ПЖО после имплантации ЛЖО составила 7 суток при усредненной производительности 2,3 ± 0,2 л/мин. Период послеоперационного лечения в условиях ОРИТ составил 15 суток. Пациент выписан из стационара на 34-е послеоперационные сутки.

Ключевые слова: правожелудочковый обход, левожелудочковый обход, сердечная недостаточность, ВА ЭКМО.

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

Corresponding author: Vitaliy Poptsov. Address: 1, Shchukinskaya str., Moscow, 123182, Russian Federation. Phone: (963) 644-96-39. E-mail: poptsov_vit@mail.ru

EXPERIENCE WITH PERCUTANEOUS RIGHT VENTRICULAR SUPPORT IN THE EARLY POST-LEFT VENTRICULAR ASSIST DEVICE IMPLANTATION PERIOD (CLINICAL CASE REPORT AND LITERATURE REVIEWS)

V.N. Poptsov, E.A. Spirina, D.V. Ryabtsev, A.K. Solodovnikova, A.S. Epremian

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

Implantable left ventricular assist device (LVAD) is a state-of-the-art treatment for adults and children with end-stage heart failure. The early and late period after LVAD implantation can be severely complicated. Right ventricular failure (RVF) still remains a common complication after LVAD implantation. RVF is the cause of reduced post-implant survival. We suggest that an additional temporary or permanent right ventricular assist device (RVAD) is an effective treatment for LVAD-associated RVF. In this clinical case report, we describe the medical history of a pediatric patient (14 years old) with severe heart failure (PediMACS Level 1) against a background of dilated cardiomyopathy. The patient required peripheral venoarterial extracorporeal membrane oxygenation (VA-ECMO) prior to urgent LVAD (HM3) implantation. In the early post-LVAD implantation (1 POD) period, the patient presented with hemodynamic and echocardiographic events of acute RVF that was resistant to drug therapy (inotropic/vasopressor support, iNO) and required mechanical circulatory support (MCS) with a preoperatively implanted VA-ECMO. In the LVAD-associated RVF scenario, VA-ECMO as a means of total cardiac bypass is a non-physiological MCS method and, therefore, undesirable. In this clinical situation, our solution was to use a paracorporeal centrifugal blood pump for temporary right heart support. A RVAD was assembled using percutaneous cannulation in two sites and a modification of the pre-existing VA-ECMO circuit. For RVAD, we used an ECMO cannula previously installed through the femoral vein (26 F) and added a reverse venous cannula (22 F) through the right internal jugular vein into the pulmonary trunk. To facilitate the passage of the return cannula into the pulmonary artery, we used a contralateral sheath (6 F, 40 cm) and an Amplatz Super Stiff guidewire under radiological control. The oxygenator was removed from the circuit on day 2 of RVAD. Central hemodynamics (reduction in right atrial pressure (RAP) to 10 mm Hg, increase in pulmonary capillary wedge pressure (PCWP) to 14 mm Hg), as well as right ventricular (RV) and left ventricular (LV) volume characteristics all improved. These observations allowed us to optimize the performance of the implantable LVAD (increase in flow rate to 4.2 l/min or 2.1 l/min/m²). The duration of paracorporeal RVAD after LVAD implantation was 7 days with an average flow rate of 2.3 ± 0.2 l/min. Postoperative treatment in the intensive care unit (ICU) lasted for 15 days. The patient was discharged from the hospital on postoperative day 34.

Keywords: right ventricular assist device; left ventricular assist device; heart failure; VA-ECMO.

ВВЕДЕНИЕ

Имплантируемые системы левожелудочково-го обхода (иЛЖО) в последнее десятилетие стали широко применяться не только с целью длительной механической поддержки кровообращения (МПК) перед трансплантацией сердца (ТС), но и как самостоятельный метод окончательного (финального) лечения пациентов с хронической сердечной недостаточностью (ХСН), плохо поддающейся медикаментозной коррекции [1]. Накоплен значительный опыт успешного длительного применения иЛЖО как у взрослых пациентов, так и у детей разных возрастных категорий с целью дожития до ТС, восстановления собственного сердца или пожизненной МПК [2]. Выживаемость пациентов в первые два года после имплантации ЛЖО достигла и уже статистически не отличается от выживаемости реципиентов сердца, что позволяет рассматривать применение иЛЖО как альтернативный ТС метод лечения ХСН [3].

Однако несмотря на прогресс и достижение высокой результативности, длительная МПК методом иЛЖО сопряжена с риском развития как ранних, так и поздних постимплантационных осложнений, которые способны негативно повлиять на выживаемость пациентов. Одним из таких серьезных осложнений является правожелудочковая дисфункция (ПЖД), которая может возникнуть в раннем периоде после имплантации ЛЖО и потребовать неотложных лечебных мероприятий, включая применение краткосрочной МПК различными методами правожелудочково-го обхода (ПЖО) [4]. Хронизация правожелудочковой дисфункции у пациентов с ранее имплантированным ЛЖО, плохо поддающаяся медикаментозной коррекции и сопровождаемая длительным нарушением функционирования иОЛЖ, является показанием к имплантации второго насоса с целью осуществления ПЖО и улучшения центральной и системной гемодинамики [5].

Целью данного сообщения является представление собственного опыта применения чрескожного ПЖО с целью коррекции правожелудочковой дисфункции, развившейся в раннем периоде после имплантации ЛЖО.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В период с 09.2021 г. по 11.2022 г. ЛЖО был имплантирован 16 пациентам детского возраста (<18 лет). У двух (12,5%) из 16 пациентов развилась выраженная ПЖД в раннем периоде после имплантации ЛЖО, потребовавшая применения дополнительной МПК методом паракорпорального ПЖО. В одном наблюдении подключение ПЖО произвели методом чрескожной канюляции, пример и обсуждение которого приводится в данной работе.

КЛИНИЧЕСКОЕ НАБЛЮДЕНИЕ

Пациент А.А.В., 14 лет (рост 180 см, вес 80 кг, площадь поверхности тела 2,0 м², индекс массы тела 24,7 кг/м²), поступил в НМИЦ ТИО им. академика В.И. Шумакова с клиническим диагнозом «дилатационная кардиомиопатия; относительная недостаточность митрального и трикуспидального клапанов; тромбоэмболия нижнедолевой ветви легочной артерии неизвестной давности; синдром полиорганной недостаточности; хроническая недостаточность кровообращения (ХНК) ПБ стадии по классификации Н.Д. Стражеско – В.Х. Василенко, функциональный класс 4 по классификации NYHA».

На момент поступления состояние пациента расценено как критическое, что было обусловлено выраженной острой декомпенсацией ХСН с развитием синдрома полиорганной недостаточности (СПОН), ведущими компонентами которой помимо нарушения насосной функции сердца являлась клинически значимая печеночно-почечная дисфункция. Учитывая нестабильность системной гемодинамики, потребность в кардиотонической терапии (допамина гидрохлорид 8 мг/кг/мин, эпинефрина гидрохлорид (адреналин) 40 нг/кг/мин), прогрессирование СПОН и метаболических нарушений, принято решение о необходимости применения краткосрочной механической поддержки кровообращения методом периферической вено-артериальной экстракорпоральной мембранной оксигенации (пВА ЭКМО). Данные инвазивного исследования центральной гемодинамики, трансторакального эхокардиографического и лабораторного обследования пациента перед началом применения пВА ЭКМО представлены в табл. 1.

Пациенту выполнили подключение к контуру ЭКМО через канюли, установленные чрескожным пункционным методом в правую бедренную вену (венозная канюля 26 F) и правую бедренную артерию (артериальная канюля 15 F). Для профилак-

ки ишемии правой нижней конечности выполнили катетеризацию правой поверхностной бедренной артерии однопросветным катетером 15 G, соединенным через перфузионную линию (магистраль) с артериальной частью контура ВА ЭКМО. Параметры ВА ЭКМО: частота оборотов центрифужного насоса – 6600 в мин; объемная скорость кровотока – 3,3 л/мин, или 1,6 л/мин/м²; объемная скорость подачи проточного газа (sweep gaze) – 3,5 л/мин; FiO₂ проточного газа – 0,80.

Учитывая повышенный риск выполнения трансплантации сердца (ТС) на фоне высокой предтрансплантационной легочной гипертензии (ЛГ) – ТПГ 15 мм рт. ст., ЛСС 6,8 – и полиорганной дисфункции, принято решение об имплантации ЛЖО как метода длительной предтрансплантационной МПК и регресса ЛГ. С момента поступления в центр и до момента операции пациент находился на заместительной почечной терапии методом постоянной вено-венозной гемофильтрации, которая затем была продолжена в интра- и постоперационном периоде. Пациенту был присвоен предимплантационный уровень Pedimacs I. Продолжительность краткосрочной МПК методом пВА ЭКМО перед имплантацией ЛЖО составила 5 суток. На фоне применения ВА ЭКМО отмечен регресс метаболических и полиорганных нарушений. Имплантацию ЛЖО выполнили из срединного стернотомического доступа в условиях искусственного кровообращения (ИК) и на работающем сердце. Перед началом операции венозная канюля контура ВА ЭКМО была низведена в каудальном направлении до отметки 35 см на уровне чрескожного входа для профилактики конкуренции с венозной канюлей контура ИК, устанавливаемой в нижнюю полую вену. Во время ИК производительность ВА ЭКМО составила 0,8–1,0 л/мин с пропорциональным уменьшением объемной скорости ИК и объемной скорости подачи проточного газа в мембранный оксигенатор контура ИК. Продолжительность ИК составила 67 мин. Была имплантирована модель ЛЖО HeartMate III производства Abbott Corp. (США) с центрифужным насосом, функционирующим по принципу магнитной левитации. Ингаляционный оксид азота (iNO) в дозировке 20 ррт был использован в качестве селективного легочного вазодилатора с целью снижения повышенного тонуса легочных сосудов и профилактики развития правожелудочковой дисфункции в раннем постимплантационном периоде.

По окончании хирургического этапа имплантации ЛЖО начали поэтапное (на 1 л/мин) снижение объемной скорости ИК при неизменной объемной скорости ВА ЭКМО (0,8–1,0 л/мин) на фоне поэтапного увеличения частоты оборотов имплантированного ЛЖО (на 200 ррт) под контролем его производительности и эхокардиографических параметров наполнения и сократимости правого и левого желудочков

Таблица 1

Результаты инвазивного исследования центральной гемодинамики, лабораторного и инструментального обследования (клиническое наблюдение, пациент А.А.В., 14 лет)
Results of invasive study of central hemodynamics, laboratory and instrumental examination (clinical case report, patient A.A.V., 14 years old)

Параметр	Этапы исследования					
	Перед ВА ЭКМО	Перед иЛЖО	После имплантации ЛЖО и перед ПЖО	На фоне иЛЖО и ПЖО	После удаления ПЖО	Перед выпиской
1	2	3	4	5	6	7
Исследование центральной гемодинамики						
ЧСС, в мин	118	124	131	124	112	108
САД / АДер. / ДАД, мм рт. ст.	79 / 69 / 55	85 / 72 / 63	74 / 71 / 68	84 / 79 / 76	89 / 82 / 76	79 / 75 / 69
ДПП, мм рт. ст.	18	10	19	9	12	11
СДЛА / ДЛАер. / ДЦЛА, мм рт. ст.	36 / 33 / 26	34 / 29 / 22	35 / 30 / 26	35 / 26 / 16	37 / 24 / 14	–
ЗДЛА, мм рт. ст.	18	14	6	12	14	–
СВ, л/мин	2,2	2,9	2,4	4,4	4,1	–
СИ, л/мин/м ²	1,1	1,5	1,4	2,2	2,05	–
Δ ДЦЛА – ЗДЛА, мм рт. ст.	8	8	20	4	10	–
УО, мл	17,8	23,4	18,3	35,5	36,6	–
ИУО, мл/м ²	8,9	11,7	9,2	17,8	18,3	–
ТПГ, мм рт. ст.	15	15	24	14	10	–
ДПП / ЗДЛА	1,00	0,71	3,17	0,75	0,9	–
ЛСС, ед. Вуда	6,8	5,17	10,0	3,18	2,17	–
ЛСС, дин·сек·см ⁻⁵	545	414	800	254	174	–
ИУРПЖ, г-м/уд./м ²	1,8	3,0	1,4	4,1	3,0	–
Допамин, мкг/кг/мин	8	6	6	6	–	–
Добутамин, мкг/кг/мин	–	–	4	2	6	–
Адреналин, нг/кг/мин	40	10	20	20	–	–
ВА ЭКМО	–	–	–	–	–	–
Кровоток, л/мин	–	3,3	2,4	–	–	–
Количество оборотов насоса, об./мин	–	6000	4900	–	–	–
иЛЖО	–	–	–	–	–	–
Pump Flow, л/мин	–	–	1,8	3,8	3,8	3,6
Pump Speed, об./мин	–	–	4650	4600	4950	4800
Pulse Index	–	–	2,2	4,4	5,0	5,3
Pump Power, ватт	–	–	2,9	3,2	3,3	2,6
Трансторакальное/транспищеводное эхокардиографическое исследование						
Ао (фиброзное кольцо), см	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9
Ао (восходящий отдел), см	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6
ЛП, см	4,0	3,9	2,8	3,2	3,3	3,2
ЛП, мл	80	74	38	53	56	51
ПП, мл	80	56	92	53	62	64
ПЖ, см	3,4	2,9	3,6	3,1	3,2	3,3
RVD1	3,2	2,6	3,4	2,7	3,6	3,7
RVD2	3,0	2,9	3,2	2,5	3,2	3,2
RVD3	6,2	4,4	6,0	4,9	5,8	6,2
МЖП, см	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
ЗС, см	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
КДОЛЖ, мл	200	182	71	88	84	98
КСОЛЖ, мл	176	151	58	68	66	76
УО, мл	24	31	13	20	18	22
ФИЛЖ, %	12	17	18	22	21	22
Митральная регургитация, степень	2,5	3,0	2,5	2,5	2	2
Трикуспидальная регургитация, степень	2,0	2	3,0	2,0	2	2
TAPSE, мм	18	17	8	11	14	14

1	2	3	4	5	6	7
Лабораторное исследование						
Лейкоциты	13,9	10,7	16,2	17,8	14,5	9,3
палочкоядерные, %	1,0	3	7	5	1	2,0
сегментоядерные, %	82,0	87	81	77	87	68,7
эозинофилы, %	0,5	0,1	0,0	1,4	2	1,5
базофилы, %	0,2	0,1	0,1	0,6	0	0,8
лимфоциты, %	9,0	8	7	7,3	4	21,0
моноциты, %	8,0	2	5	8,5	6	6,0
Гемоглобин, г/дл	10,0	9,0	7,9	8,9	9,0	8,1
Эритроциты, 10 ¹² /л	3,5	3,14	2,79	2,94	2,97	2,6
Гематокрит, %	31,0	27,4	24,6	27,4	27,9	26,0
Тромбоциты, 10 ⁹ /л	72	75	48	41	74	92
Альбумин, г/л	32,3	44,5	42,5	35,6	36,5	35,1
Общий белок, г/л	67,3	71,4	72,3	67,7	66,3	71,3
Общий билирубин, мкмоль/л	40	32,6	32,8	38,5	36,1	10,9
АЛТ, ед./л	255	171,3	73,8	27,0	24,8	19,6
АСТ, ед./л	152	35,2	89,5	32,3	30,4	39,2
Мочевина, ммоль/л	22	21,2	20,1	12,2	15,0	5,6
Креатинин, мкмоль/л	112	110,8	75,1	78,0	89,1	31,7
ПИ, %	64	55	66	65	53	40
МНО	1,7	2,05	1,65	1,68	2,15	3,0
Фибриноген, г/дл	2,25	1,72	1,50	1,62	1,35	3,93
pH _в	7,274	7,541	7,437	7,499	7,439	7,382
BE _в , ммоль/л	-5,8	10,2	1,9	2,9	3,9	2,2
P _в CO ₂ , мм рт. ст.	47,9	48,6	38,8	43,6	41,9	37,9
P _в O ₂ , мм рт. ст.	27,1	26,4	26,7	27,6	32,6	33,4
S _в O ₂ , %	48,6	40,4	46,5	49,6	58,7	62,3
Лактат, ммоль/л	3,9	2,1	5,8	1,5	1,6	1,2
Глюкоза, ммоль/л	5,7	7,1	7,2	6,5	6,7	5,3
K ⁺ , ммоль/л	3,8	4,0	4,6	4,2	3,9	4,3
Na ⁺ , ммоль/л	131	144	138	143	135	138

Примечание. ЧСС – частота сердечных сокращений; САД – систолическое артериальное давление; АДср. – среднее артериальное давление; ДАД – диастолическое артериальное давление; ДПП – давление правого предсердия; СДЛА – систолическое давление легочной артерии; ДЛАср. – среднее давление легочной артерии; ДДЛА – диастолическое давление легочной артерии; ЗДЛА – заклинивающее давление легочной артерии; СВ – сердечный выброс; СИ – сердечный индекс; УО – ударный объем; ИУО – индексированный ударный объем; ТПГ – транспульмональный градиент; ЛСС – легочное сосудистое сопротивление; ИУРПЖ – индекс ударной работы правого желудочка; ВА ЭКМО – вено-артериальная экстракорпоральная мембранная оксигенация; иЛЖО – имплантированный левожелудочковый обход; Pump Flow – скорость потока иЛЖО; Pump Speed – количество оборотов ротора насоса; Pulse Index – индекс пульсации; Pump Power – мощность насоса; Ао – аорта; ЛП – левое предсердие; ПП – правое предсердие; ПЖ – правый желудочек; RVD1, RVD2, RVD3 – конечно-диастолический размер ПЖ на уровне базальных отделов, средних отделов и продольный размер ПЖ; МЖП – межжелудочковая перегородка; ЗС – задняя стенка левого желудочка; КДОЛЖ – конечно-диастолический объем левого желудочка; КСОЛЖ – конечно-систолический объем левого желудочка; ФИЛЖ – фракция изгнания левого желудочка; TAPSE – tricuspid annular plane systolic excursion (систолическая экскурсия кольца трикуспидального клапана); АЛТ – аланинаминотрансфераза; АСТ – аспаргатаминотрансфераза; ПИ – протромбиновый индекс; МНО – международное номенклатурное отношение.

Note. ЧСС – heart rate; САД – systolic blood pressure; АДср. – mean arterial pressure; ДАД – diastolic blood pressure; ДПП – right atrial pressure; СДЛА – pulmonary artery systolic pressure; ДЛАср. – mean pulmonary artery pressure; ДДЛА – pulmonary artery diastolic pressure; ЗДЛА – pulmonary capillary wedge pressure; СВ – cardiac output; СИ – cardiac index; УО – stroke volume; ИУО – stroke volume index; ТПГ – transpulmonary pressure gradient; ЛСС – pulmonary vascular resistance; ИУРПЖ – right ventricular stroke work index; ВА ЭКМО – venoarterial extracorporeal membrane oxygenation; иЛЖО – implantable left ventricular assist device; Pump Flow – iLVAD flow rate; Pump Speed – pump rotational speed; Ао – aorta; ЛП – left atrium; ПП – right atrium; ПЖ – right ventricle; RVD1, RVD2, RVD3 – end-diastolic size of the RV at the basal and midline sections, and longitudinal size of the RV; МЖП – interventricular septum; ЗС – left ventricular posterior wall; КДОЛЖ – left ventricular end-diastolic volume; КСОЛЖ – left ventricular end-systolic volume; ФИЛЖ – left ventricular ejection fraction; TAPSE – tricuspid annular plane systolic excursion; АЛТ – alanine aminotransferase; АСТ – aspartate aminotransferase; ПИ – prothrombin index; МНО – international normalized ratio.

сердца и расположения межжелудочковой перегородки. В раннем постимплантационном периоде, несмотря на значимую кардиотоническую (допамина гидрохлорид 6,0 мкг/кг/мин, добутамина гидрохлорид 4,0 мкг/кг/мин, эпинефрина гидрохлорид 60 нг/кг/мин) и вазодилатирующую (иNO) терапию при

неизменной объемной скорости ВА ЭКМО (0,8–1,0 л/мин), отмечено развитие острой правожелудочковой терапии, которая проявилась повышением ДПП до 19 мм рт. ст., снижением ЗДЛА до 6 мм рт. ст. при одновременном уменьшении СИ до 1,4 л/мин/м² и производительности иЛЖО до 2,2 л/мин, или 1,1 л/мин/м². При транспищеводном ЭхоКГ выявили увеличение объемных характеристик ПЖ, выраженный гипокинез его свободной стенки и выходного отдела, трикуспидальную регургитацию до 3-й степени при одновременном смещении межжелудочковой перегородки в сторону ЛЖ, резкое уменьшение полости левого предсердия и левого желудочка с присасыванием приточной канюли иЛЖО к межжелудочковой перегородке (рис. 1). С целью улучшения системного кровотока на фоне острой правожелудочковой дисфункции объемная скорость пВА ЭКМО была увеличена до 3,0 л/мин. Учитывая «нефизиологичность» МПК методом пВА ЭКМО в условиях иЛЖО, приводящую к объемной недогрузке левых отделов сердца и нарушению его функционирования, принято решение о переходе с пВА ЭКМО на чрескожных ПЖО. Цель – обеспечить увеличение притока крови к левым отделам сердца и повышение производительности иЛЖО.

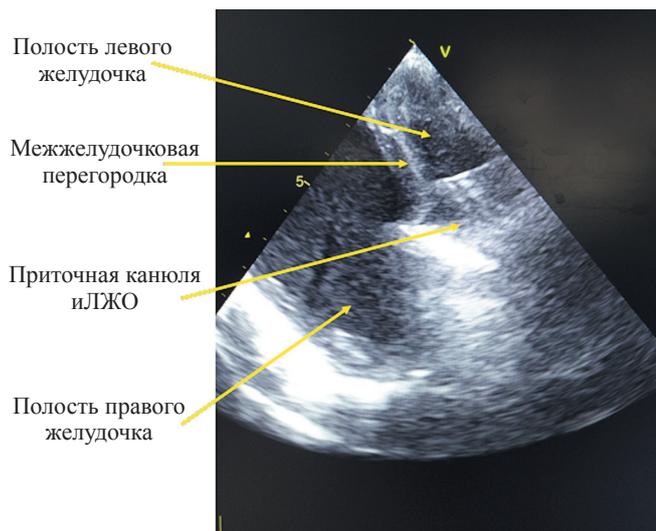


Рис. 1. Присасывание проточной канюли иЛЖО к межжелудочковой перегородке на фоне развития острой дисфункции правого желудочка, сопровождаемой увеличением его объема при одновременном уменьшении полости левого желудочка (транспищеводное эхокардиографическое исследование)

Fig. 1. iLVAD flow cannula suction to the interventricular septum against the background of acute RVF, accompanied by an increase in its volume with a simultaneous reduction in the left ventricular cavity (transesophageal echocardiography)

Методика чрескожной имплантации правожелудочкового обхода

Под местной анестезией произведена пункция и катетеризация правой внутренней яремной вены с поведением через правое предсердие в полость ПЖ J-образного эндоваскулярного контралатерального интродьюсера (40 см, 6 F) с внутренним стилетом (рис. 2). Манипуляции проводили под рентгеноскопии

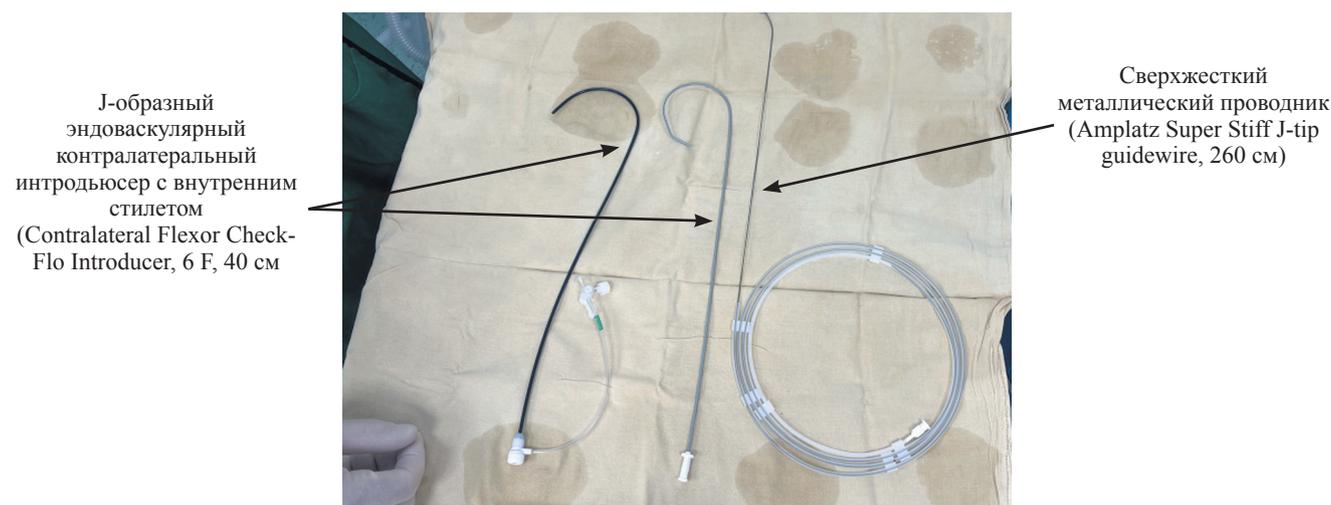


Рис. 2. J-образный контралатеральный эндоваскулярный интродьюсер с внутренним стилетом и сверхжесткий эндоваскулярный проводник для улучшения условий чрескожного проведения венозной канюли из правой внутренней яремной вены в легочную артерию

Fig. 2. J-shaped contralateral endovascular introducer sheath and super stiff endovascular guidewire for improved percutaneous venous cannulation from the right internal jugular vein into the pulmonary artery

ческим контролем. Через J-образный интродьюсер провели сверхжесткий металлический проводник в правые отделы сердца и затем в правую легочную артерию (рис. 3). После удаления интродьюсера и последовательного расширения кожного канала чрескожными дилататорами произвели проведение венозной ЭКМО канюли (22 F) через правую внутреннюю яремную вену, правые отделы сердца в ствол легочной артерии до уровня ниже 1 см от места отхождения левой и правой легочных вен (рис. 4). Данную канюлю соединили с артериальной магистралью контура ВА ЭКМО, разобщенной от артериальной канюли, для осуществления чрескожного ПЖО по схеме «нижняя полая вена – легочная артерия» (рис. 5). После начала ПЖО артериальная канюля была извлечена из просвета правой бедренной артерии.

Течение раннего периода после имплантации ЛЖО на фоне паракорпорального ПЖО

На фоне ПЖО отметили улучшение показателей центральной гемодинамики (снижение ДПП до 10 мм рт. ст., увеличение ЗДЛА до 14 мм рт. ст.) и объемных характеристик ПЖ и ЛЖ, что позволило

оптимизировать функционирование иЛЖО (увеличение производительности до 4,2 л/мин, или 2,1 л/мин/м²). Продолжительность послеоперационной ИВЛ составила 28 ч, послеоперационного применения ЗПТ методом ПВВГФ – 3 суток. Мембранный оксигенатор оставался интегрированным в контуре паракорпорального ПЖО на протяжении первых 2 суток с целью контроля за газовым составом крови. На фоне отсутствия нарушений газообменной функции легких мембранный оксигенатор затем был выключен из экстракорпорального контура. Продолжительность паракорпорального ПЖО после имплантации ЛЖО составила 7 суток при усредненной производительности $2,3 \pm 0,2$ л/мин. После поэтапного уменьшения производительности ПЖО под контролем показателей центральной гемодинамики и трансторакального эхокардиографического исследования произвели удаление канюль путем наложения кисетного шва вокруг чрескожного входа. После прекращения ПЖО в последующем периоде наблюдения отсутствовали гемодинамические и эхокардиографические признаки клинически значимой правожелудочковой дисфункции (см. табл. 1). Продолжительность послеоперационного лечения в условиях ОРИТ составила 15 суток. Пациент выписан на 34-е послеоперационные сутки из стационара.



Рис. 3. Проведение через J-образный эндоваскулярный контралатеральный интродьюсер с внутренним стилетом сверхжесткого эндоваскулярного проводника в легочную артерию (рентгеноскопическое изображение)

Fig. 3. Passage of a super stiff endovascular guidewire through the J-shaped endovascular contralateral introducer with an internal stylet into the pulmonary artery (fluoroscopic image)

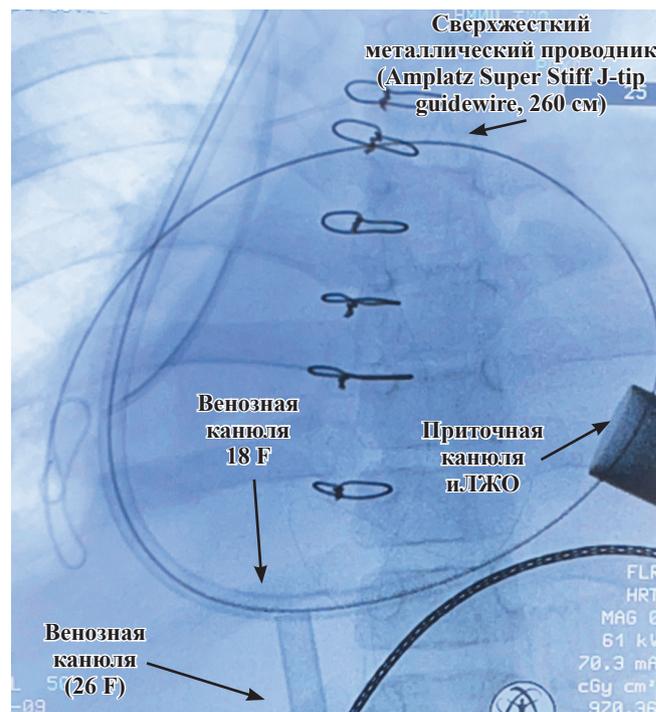


Рис. 4. Проведение возвратной венозной канюли по сверхжесткому эндоваскулярному проводнику через правые отделы сердца в легочную артерию (рентгеноскопическое изображение)

Fig. 4. Insertion of a return venous cannula via a super stiff endovascular guidewire through the right heart into the pulmonary artery (fluoroscopic image)

Острая правожелудочковая дисфункция, развившаяся после имплантации ЛЖО и потребовавшая применения паракорпорального обхода правого желудочка по схеме «нижняя полая вена – легочная артерия»

М., 14 лет

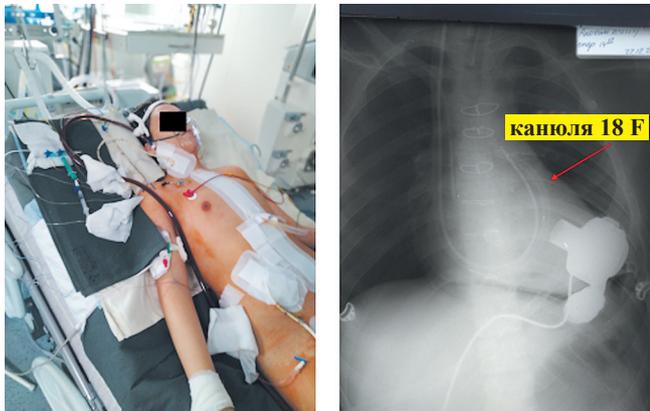


Рис. 5. Внешний вид пациента с чрескожным паракорпоральным обходом правого желудочка (слева) и венозная (возвратная) канюля, проведенная через правую яремную вену в легочную артерию (справа, рентгенографическое изображение)

Fig. 5. The patient with percutaneous paracorporeal right ventricular assist device (left photo) and venous (outflow) cannula inserted through the right vena cava into the pulmonary artery (right, radiographic image)

Базисная постимплантационная медикаментозная терапия включала: ивабрадин – 5 мг, ацетилсалициловая кислота – 100 мг, варфарин – 3,75 мг, силденафил – 25 мг два раза в сутки. Параметры иЛЖО на момент выписки из стационара: *primr flow* – 3,6 л/мин, или 1,8 л/мин/м², *primr speed* – 4800 об./мин, *primr power* – 2,6 ватт, *pulse index* – 5,3. На момент написания статьи пациент находится под амбулаторным наблюдением без клинических и эхокардиографических проявлений развития поздней дисфункции ПЖ и с оптимальными параметрами функционирования имплантированного ЛЖО.

ОБСУЖДЕНИЕ

ПЖД является одним из частых осложнений у пациентов с иЛЖО, развитие которой приводит к нарушению его производительности, и соответственно, к снижению эффективности самой МПК, полиорганной недостаточности и летальному исходу [6]. По данным различных исследований, частота возникновения острой ПЖД в раннем периоде после имплантации ЛЖО составляет от 17 до 50% [7, 8]. Общепринятого определения острой ПЖД после имплантации ЛЖО до сих пор нет. Е. Potapov et al. (2008 г.) определили острую ПЖД как нарушение насосной функции правого желудочка, развившееся в первые 48 ч после имплантации ЛЖО в отсутствие гемотампонады и сопровождаемое следующими про-

явлениями: среднее АД ≤ 55 мм рт. ст., давление правого предсердия (ДПП) ≥ 16 мм рт. ст., насыщение O₂ смешанной венозной крови (S_vO₂) $\leq 55\%$, СИ $< 2,0$ л/мин/м², несмотря на инотропную поддержку [9].

Развитие ПЖД сопровождается снижением эффективности иЛЖО вследствие уменьшения притока крови к левым отделам сердца и специфических для данного варианта МПК осложнений, таких как гемолиз, аортальная недостаточность, желудочковые аритмии в связи с созданием повышенного отрицательного давления и присасыванием приточной канюли к стенке левого желудочка [10]. Кроме того, при установленных слишком частых оборотах осевого или центрифужного насоса происходит чрезмерная разгрузка левых отделов сердца, что даже в отсутствие предсуществующей правожелудочковой дисфункции вызывает смещение межжелудочковой перегородки, нарушение межжелудочкового взаимоотношения и ее развитие, особенно в условиях гиповолемии [10].

В последнее время в зависимости от срока возникновения после имплантации ЛЖО стали выделять острую (< 48 ч), раннюю (> 48 ч и < 14 дней) и позднюю (> 14 дней) формы ПЖД, различающиеся по подходам к ее медикаментозному и немедикаментозному лечению [11]. По мере увеличения продолжительности жизни пациентов с иОЛЖ отмечается увеличение частоты развития поздней формы ПЖД, клинические и инструментальные проявления которой выявляются более чем в 40% наблюдений через 2 года после имплантации [12]. В соответствии с критериями INTERMACs в зависимости от уровня ДПП, дозировок и продолжительности инотропной и вазодилатирующей терапии, потребности в ПЖО и риска летального исхода выделяют умеренную, средней тяжести, тяжелую и острую тяжелую формы ПЖД у пациентов с иЛЖО [13].

Выделяют доимплантационные и периимплантационные факторы риска развития ПЖД после имплантации ЛЖО. Предложено использовать многочисленные параметры дооперационного лабораторного, гемодинамического, эхокардиографического и МРТ-обследования для прогнозирования развития ПЖД как в ранние, так и отдаленные сроки после имплантации ЛЖО (табл. 2) [7, 14–16]. Продемонстрирована высокая прогностическая значимость недоплеровского изображения миокарда (спекл-трекинг эхокардиографии, магнитно-резонансная томография) с определением сегментарной и глобальной деформации ПЖ для прогнозирования развития его дисфункции при различных клинических ситуациях, включая имплантацию ЛЖО [17].

Наличие предсуществующей правожелудочковой недостаточности является ведущей причиной усугубления нарушений насосной функции ПЖ после имплантации системы ЛЖО [8]. Пациенты с доим-

плантационными низкими значениями TAPSE (tricuspid annular plane systolic excursion – систолическая экскурсия кольца трикуспидального клапана), RV free wall strain (деформация свободной стенки ПЖ), RVFAC (right ventricular fractional area change – изменение фракционной площади ПЖ) и высокими значениями RV/LV size ration (отношение конечно-диастолического размера ПЖ к конечно-диастолическому размеру ЛЖ), LA volume index (индекс объема левого предсердия), LA diameter/LV end-diastolic dimension (отношение диаметра ЛП к конечно-диастолическому размеру ЛЖ) имеют повышенный риск развития правожелудочковой дисфункции после имплантации ОЛЖ [18]. Выраженная предимплантационная трикуспидальная регургитация в 3,5 раза повышает риск развития ранней ПЖД у пациентов с имплантированным ЛЖО [19]. Для прогнозирования развития правожелудочковой дисфункции у пациентов с имплантированной системой ЛЖО разработаны соответствующие прогностические шкалы – Michigan RV failure risk score и Bayesian model [20, 21]. У пациентов с высоким риском развития ранней или отсроченной тяжелой ПЖД бивентрикулярный имплантируемый обход сердца следует считать методом выбора длительной МПК [22]. Результативность длительной МПК у пациентов с отсроченной имплантацией правожелудочкового обхода в 4,8 раза хуже показателей выживаемости пациентов с одновременной имплантацией левого и правого желудочковых обходов [23]. Необходимо учитывать, что ПЖД может развиваться и у пациентов без предимплантационных факторов риска ее возникновения вследствие периоперационного повреждения миокарда ПЖ различного генеза (эмболия, механическая травма и т. п.) [23].

Стратегия профилактики и лечения острой ПЖД, развившейся после имплантации ЛЖО, включает одномоментную с имплантацией пластику фиброзного кольца трикуспидального клапана при наличии выраженной его недостаточности, строго контроли-

руемую волемическую нагрузку, постепенное увеличение частоты оборотов имплантируемого насоса под строгим эхокардиографическим контролем положения межжелудочковой перегородки, применения препаратов с вазодилатирующим действием на малый круг кровообращения (ингаляционный оксид азота, простагладин E1, простациклин, силденафил) или инодилатирующим действием (добутамин, милринон, левосимендан) у пациентов с высоким уровнем легочного сосудистого сопротивления, коррекцию гипоксемии и гиперкапнии [24–26]. Необходимо учитывать, что у пациентов с отсутствием предимплантационной легочной гипертензии применение легочной вазодилатирующей терапии малоэффективно при острой ПЖД, развившейся после имплантации ЛЖО [27]. Сочетание острой ПЖД с постперфузионным вазоплегическим синдромом, требующим применения высокой вазопрессорной поддержки, сопряжено с крайне высокой послеоперационной летальностью [28].

Своевременно начатая механическая поддержка кровообращения (МПК) при неэффективности медикаментозных методов лечения острой ПЖД обеспечивает коррекцию нарушений системной гемодинамики, органной перфузии и профилактику развития полиорганных нарушений [4]. В условиях имплантируемого ЛЖО применение ВА ЭКМО следует считать нефизиологическим методом МПК при развитии острой ПЖД, так как она является непрямым обходом сердца и приводит к уменьшению притока крови к левым отделам сердца и нарушению функционирования имплантированного насоса крови. При данном сценарии развития острой ПЖД с гемодинамической точки зрения более оправданным является применение ПЖО, который обеспечивает увеличение притока крови к левым отделам сердца, повышение производительности имплантированного ЛЖО и улучшение системного кровообращения.

Таблица 2

Предоперационные клинические, лабораторные и инструментальные факторы развития правожелудочковой дисфункции после имплантации левожелудочкового обхода

Preoperative clinical, laboratory and instrumental factors of RVF after LVAD implantation

Группа параметров	Факторы
Клинические проявления	Недостаточность по большому кругу кровообращения
	Асцит
	Печеночная дисфункция
	Почечная дисфункция
	Ожирение
	Тахикардия
	Инотропная/вазопрессорная поддержка
	Механическая поддержка кровообращения
	Заместительная почечная терапия
	ИВЛ

Окончание табл. 2

Группа параметров	Факторы
Лабораторные параметры	Общий билирубин $\geq 2,0$ мг/дл
	АСТ ≥ 80 ед./л
	Азот мочевины > 39 мг/дл
	Креатинин крови $\geq 2,3$ мг/дл
	MELD
	Клубочковая фильтрация в соответствии с MDRD 4
Эхокардиографические параметры	Размер правого предсердия
	Переднезадние конечно-диастолические размеры ПЖ (D1, D2, D3)
	Индексированный конечно-диастолический объем ПЖ
	Индексированный конечно-систолический объем ПЖ
	Фракция изгнания ПЖ
	Отношение базального конечно-диастолического размера ПЖ / конечно-диастолический размер ЛЖ (RVED1/LV) $\geq 0,75$
	LA volume index (индекс объема левого предсердия)
	LA diameter / LV end-diastolic dimension (отношение диаметра ЛП к конечно-диастолическому размеру ЛЖ)
	Изменение фракционной площади ПЖ (right ventricular fractional area change, RVFAC)
	Трикуспидальная регургитация 3-й ст.
	TAPSE (tricuspid annular plane systolic excursion, систолическая экскурсия кольца трикуспидального клапана) < 8 мм
	Tricuspid annulus peak systolic velocity (TAPSV, пиковая систолическая скорость кольца трикуспидального клапана) < 8 см/с
	Pulsed Doppler transmitral E wave (Em) / tissue Doppler lateral systolic velocity (SLAT) $\geq 18,5$
	Деформация правого желудочка (RV strain) посредством спекл-трекинг эхокардиографии (speckle tracking technology): – RV global longitudinal strain (GLS, глобальная продольная деформация ПЖ); – RV free wall strain (RVFWS, продольная деформация свободной стенки правого желудочка) $> -11,8 \dots -9,6\%$; – peak systolic longitudinal strain rate (пиковая скорость систолической продольной деформации) $< 0,6$ /с
Гемодинамические параметры	ЦВД (ДПП) > 15 мм рт. ст.
	Отношение ДПП/ЗДЛА $> 0,55$
	Пульсовое давление легочной артерии (СДЛА – ДДЛА)
	Pulmonary artery pulsatility index (индекс пульсируемости легочной артерии): пульсовое давление легочной артерии/ДПП $< 2,0$
	Pulmonary artery compliance (податливость легочной артерии): УО/пульсовое давление легочной артерии
	Эластичность легочной артерии (pulmonary artery elastance) (СДЛА/УО)
	Right ventricle stroke work index (RVSWI, индекс ударной работы правого желудочка) $< 0,25$ мм рт. ст./л \times м ²
	Right ventricular systolic working index (RVSWI, индекс систолической работы правого желудочка): пульсовое давление легочной артерии – ДПП/ИУО
	Легочное сосудистое сопротивление (ЛСС)
	Simplified RV contraction pressure index (sRVCPI; упрощенный индекс давления сокращения ПЖ): TAPSE \times (RV-RA градиент давления) < 400
МРТ-параметры	RV global longitudinal strain (глобальная продольная деформация ПЖ)

Примечание. ИВЛ – искусственная вентиляция легких; АСТ – аланинаминотрансфераза; MELD – Model for End-Stage Liver Disease; MDRD 4 – Modification of Diet in Renal Disease; ПЖ – правый желудочек; ЛЖ – левый желудочек; ЛП – левое предсердие; ЦВД – центральное венозное давление; ДПП – давление правого предсердия; СДЛА – систолическое давление легочной артерии; ДДЛА – диастолическое давление легочной артерии; ЗДЛА – заклинивающее давление легочной артерии; УО – ударный объем; ИУО – индексированный УО.

Note. ИВЛ – mechanical ventilation; АСТ – aspartate aminotransferase; MELD – Model for End-Stage Liver Disease; MDRD 4 – Modification of Diet in Renal Disease; ПЖ – right ventricular; ЛЖ – left ventricular; ЛП – left atrial; ЦВД – central venous pressure; ДПП – right atrial pressure; СДЛА – pulmonary artery systolic pressure; ДДЛА – pulmonary artery diastolic pressure; ЗДЛА – pulmonary capillary wedge pressure; УО – stroke volume; ИУО – stroke volume index.

В настоящее время в клиническую практику внедрено несколько методик экстракорпорального ПЖО, основанных на применении наружного центрифужного насоса различной модификации (Biopump Medronic, Rotoflow, CentriMag, Medos, TandemHerat-RV и др.) или микроосевого катетерного насоса (Impella-RP). Соответственно, разработана и на практике применяется центральная методика подключения ПЖО на основе центрифужного насоса по схеме «правое предсердие – легочная артерия», требующая повторной стернотомии при деканюляции, или чрескожная методика канюляции с использованием двух однопросветных канюль или одной двухпросветной канюли [29]. Чрескожная раздельная канюляция может осуществляться путем проведения приточной и отточной канюль через бедренные вены (бифеморальный доступ) или приточной канюли через бедренную вену и отточную канюлю через правую яремную вену. В обоих случаях отточная канюля должна быть проведена через правые отделы сердца и позиционирована в просвете легочной артерии [30]. В последнее время разработана и внедрена в клиническую практику методика чрескожного ПЖО, осуществляемого с помощью двухпросветной канюли, устанавливаемой через правую внутреннюю яремную вену и правые отделы сердца в легочную артерию (ProtekDuo), с целью коррекции острой правожелудочковой дисфункции, развившейся при различных клинических ситуациях (трансплантация сердца, ОИМ, посткардиотомная ОШН, имплантация ЛЖО, тромбоэмболия легочной артерии, высокая легочная гипертензия и т. п.) [31]. Двухпросветная канюля обеспечивает осуществление ПЖО через односторонний сосудистый доступ (внутренняя яремная вена), что делает данную методику МПК наименее травматичной при острой ПЖД посткардиотомного, постимплантационного или посттрансплантационного генеза [32].

Своевременное начало МПК методом ПЖО обеспечивает лучшую результативность лечения острой ПЖД, развившейся после имплантации ЛЖО, по сравнению с отсроченным началом вспомогательного кровообращения [33]. В случае сопутствующих критических нарушений газообменной функции легких (гипоксемия/гиперкапния) ПЖО может быть дополнен экстракорпоральной мембранной оксигенацией (ЭКМО). Отдельные исследования демонстрируют лучшие показатели выживаемости при сочетании ПЖО с ЭКМО [34, 35]. Необходимо поддерживать более низкую производительность ПЖО по отношению к ЛЖО, уровень которой не должен превышать 4,0 л/мин у взрослых пациентов, чтобы обеспечить профилактику развития отека легких или легочного кровотечения [36]. Продолжительность применения ПЖО при острой ПЖД, развившейся после имплантации ЛЖО, в среднем составляет около 5 дней [37].

Наш собственный опыт имплантации ЛЖО пациентам педиатрического профиля (до 18 лет) демонстрирует, что выраженная острая ПЖД, требовавшая применения краткосрочной МПК методом паракорпорального центрифужного ПЖО, развилась в 12,5% наблюдений. В данной статье приведен пример успешного применения ПЖО у пациента 14 лет. Продемонстрирована возможность чрескожной канюляции для осуществления ПЖО без необходимости рестернотомии с целью установки и последующего удаления приточной и отточной канюль, проведенных соответственно через правую бедренную вену в нижнюю полую вену и правую внутреннюю яремную вену в легочную артерию. Применение краткосрочного ПЖО обеспечило улучшение центральной гемодинамики, увеличение притока крови к левым отделам сердца и повышение производительности и ЛЖО. Продолжительности ПЖО в течение 7 суток было достаточно для улучшения насосной функции ПЖ и прекращения его использования краткосрочной МПК. Кроме того, данное клиническое наблюдение демонстрирует преимущество вспомогательного кровообращения у пациента с терминальной ХСН и предимплантационным уровнем I INTERMACS с последовательным переходом от ВА ЭКМО на длительную МПК методом имплантируемого ЛЖО.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Краткосрочная механическая поддержка кровообращения методом паракорпорального центрифужного обхода правого желудочка обеспечивает эффективную коррекцию гемодинамических нарушений, обусловленных острой правожелудочковой дисфункцией, развившейся на ранних сроках функционирования имплантируемой системы левожелудочкового обхода. Чрескожная методика канюляции является менее травматичным способом осуществления обхода правого желудочка.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflict of interest.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Frigerio M. Left ventricular assist device: indication, timing, and management. *Heart Fail Clin.* 2021; 17: 619–634.
2. Gustaffson F, Rogers JS. Left ventricular assist device therapy in advanced heart failure: patient selection and outcomes. *Eur J Heart Fail.* 2017; 19: 595–602.
3. Shah P, Yuzefpolskaya M, Hickey GW, Breathett K, Wever-Pinzon O, Khue-Ton V et al. Twelfth Interagency Registry for Mechanically Assisted Circulatory Support report: readmissions after left ventricular assist device. *Ann Thorac Surg.* 2022; 113: 722–737.
4. Noly PE, Kirsch M, Quessard A, Leger P, Pavie A, Amour J, Leprince P. Temporary right ventricular sup-

- port following left ventricular assist device implantation. *Interact Cardiovasc Surg*. 2014; 19: 49–55.
5. Dandel M, Krabatsch T, Falk V. Left ventricular vs bi-ventricular mechanical support: decision making and strategies for avoidance of right heart failure after left ventricular assist device implantation. *Int J Cardiol*. 2015; 198: 245–250.
 6. Saito S, Matsumiya G, Sakaguchi T, Miyagawa S, Yoshikawa Y, Yamauchi T et al. Risk factor analysis of long-term support with left ventricular assist system. *Circ J*. 2010; 74: 715–722.
 7. Hadman R, Charif F, Kadri Z. Right ventricle failure in patients treated with left ventricular assist device. *Annales de Cardiologie et al d'Angeologie*. 2022; 69: 51–54.
 8. Patlolla B, Beygui R, Haddad F. Right-ventricular failure following left ventricle assist device implantation. *Curr Opin Cardiol*. 2013; 28: 223–233.
 9. Potapov EV, Stepanenko A, Dandel M, Kukucka M, Lehmkühl HB, Weng Y et al. Tricuspid incompetence and geometry of right ventricle as predictors of right ventricular function after implantation of a left ventricular assist device. *J Heart Lung Transplant*. 2008; 27: 1275–1281.
 10. Lampert B, Teuteberg JJ. Right ventricular failure after left ventricular assist devices. *J Heart Lung Transplant*. 2015; 34: 1123–1130.
 11. Raina A, Patarroyo-Aponte M. Prevention and treatment of right ventricular failure during left ventricular assist device therapy. *Crit Care Clin*. 2018; 34: 439–452.
 12. Kapelios CJ, Charitos C, Kaldara E, Malliaras K, Nana E, Patsios C et al. Late-onset right ventricular dysfunction after mechanical support by a continuous-flow left ventricular assist device. *J Heart Lung Transplant*. 2015; 34: 1604–1610.
 13. Kirklin JK, Pagani FD, Kormos RL, Stevenson LW, Blume ED, Myers SL et al. Eight annual INTERMACS report: special focus on framing the impact of adverse events. *J Heart Lung Transplant*. 2017; 36: 1080–1086.
 14. Dufendach KA, Zhu T, Diaz Castrillon C, Hong Y, Countouris ME, Hickey G et al. Pre-implant right ventricular free wall strain predicts post-LVAD right heart failure. *J Card Surg*. 2021; 36: 1996–2003.
 15. Kang G, Ha R, Banerjee D. Pulmonary artery pulsatility index predicts right ventricular failure after left ventricular assist device implantation. *J Heart Lung Transplant*. 2016; 35: 67–73.
 16. Kiernan MS, French AL, DeNofrio D, Parmar YJ, Pham DT, Kapur NK et al. Preoperative three-dimensional echocardiography to assess risk of right ventricular failure after left ventricular assist device surgery. *J Card Fail*. 2015; 21: 189–197.
 17. Голухова ЕЗ, Сливнева ИВ, Мамалыга МЛ, Маратов ДИ, Алехин МН, Скопин ИИ, Антонова ДЕ. Продольная деформация свободной стенки правого желудочка по данным спекл-трекинг эхокардиографии как прогностический критерий неблагоприятных исходов у пациентов с легочной гипертензией: систематический обзор и метаанализ. *Российский кардиологический журнал*. 2021; 26 (4): 4417. Golukhova EZ, Slivneva IV, Mamalyga ML, Marapov DI, Alekhin MN, Skopin II, Antonova DE. Right ventricular free-wall longitudinal speckle tracking strain as a prognostic criterion of adverse outcomes in patients with pulmonary hypertension: a systematic review and meta-analysis. *Russian Journal of Cardiology*. 2021; 26 (4): 4417. (In Russ.).
 18. Kiernan MS, Grandin EW, Brinkley M Jr, Kapur NK, Pham DT, Ruthazer R et al. Early right ventricular assist device uses in patients undergoing continuous-flow left ventricular assist device implantation. Incidence and risk factors from the Interagency Registry for Mechanically Assisted Circulation Support. *Circ Heart Fail*. 2017; 10: e003863.
 19. Ruiz-Cano MJ, Morshuis M, Koster A, Lauenroth V, Prashovikj E, Gummert J, Paluszkievicz L. Risk factors of early ventricular failure in patients undergoing LVAD implantation with intermediate InterMACS profile for advanced heart failure. *J Card Surg*. 2020; 35: 1832–1839.
 20. Loghmanpour NA, Kormos RL, Kanwar MK, Teuteberg JJ, Murali S, Antaki JF. A Bayesian model to predict right ventricular failure following left ventricular assist device therapy. *JASS Heart Fail*. 2016; 4: 711–721.
 21. Matthews JC, Koelling TM, Pagani FD, Aaronson KD. The right ventricular failure risk score a pre-operative tool for assessing the risk of right ventricular failure in left ventricular assist device candidates. *J Am Coll Cardiol*. 2008; 51: 2163–2172.
 22. Krabatsch T, Potapov E, Stepanenko A, Schweiger M, Kukucka M, Huebler M et al. Biventricular circulatory support with two miniaturized implantable assist devices. *Circulation*. 2011; 124: S179–S186.
 23. Takeda K, Naka Y, Yang JA, Uriel N, Colombo PC, Jorde UP, Takayama H. Outcome of unplanned right ventricular assist device support for severe right heart failure after implantable left ventricular assist device insertion. *J Heart Lung Transplant*. 2014; 33: 141–148.
 24. Potapov E, Meyer D, Swaminathan M, Ramsay M, El Banayosy A, Diehl C et al. Inhaled nitric oxide after left ventricular assist device implantation: a prospective, randomized, double-blind, multicenter, placebo-controlled trial. *J Heart Lung Transplant*. 2011; 30: 870–878.
 25. Klodell CT Jr, Morey TE, Lobato EB, Aranda JM Jr, Staples ED, Schofield RS et al. Effect of sildenafil on pulmonary artery pressure, systemic pressure, and nitric oxide utilization in patients with left ventricular assist devices. *Ann Thorac Surg*. 2007; 83: 68–71.
 26. Theiss HD, Grabmaier U, Kreissl N, Hagl C, Steinbeck G, Sodian R et al. Preconditioning with levosimendan before implantation of left ventricular assist devices. *Artif Organs*. 2014; 38: 231–234.
 27. Sabato LA, Salerno DM, Moretz JD, Jennings DL. Inhaled pulmonary vasodilator therapy for management of right ventricular dysfunction after left ventricular assist device placement and cardiac transplantation. *Pharmacotherapy*. 2017; 37: 944–955.
 28. de Waal EEC, van Zaane B, van der Schoot MM, Huisman A, Ramjankhan F, van Klei WA, Marczin N. Vasooplegia after implantation of a continuous flow left ventricle assist device: incidence, outcomes and predictors. *BMC Anesthesiol*. 2018; 18 (1): 185.

29. Dandel M, Hetzer R. Temporary assist device support for the right ventricle: pre-implant and post-implant challenges. *Heart Failure Review*. 2018; 23: 157–171.
30. Haneya A, Philipp A, Puehler T, Rupprecht L, Kobuch R, Hilker M et al. Temporary percutaneous right ventricular assist support using a centrifugal pump in patients with postoperative acute refractory right ventricular failure after left ventricular assist device implantation. *Eur J Cardiothorac Surg*. 2012; 41: 219–223.
31. Carrozzini M, Merlanti B, Olivieri GM, Lanfranconi M, Bruschi G, Mondino M, Russo CF. Percutaneous RVAD with the Protect Duo for severe right ventricular primary graft dysfunction after heart transplant. *J Heart Lung Transplant*. 2021; 40: 580–583.
32. Schmack B, Weymann A, Popov AF, Patil NP, Sabashnikov A, Kremer J et al. Concurrent left ventricular assist device (LVAD) implantation and percutaneous temporary RVAD support via CardicAssist Protec-Duo TandemHeart to preempt right heart failure. *Med Sci Monit Basic Res*. 2016; 22: 53–57.
33. Morgan JA, John R, Lee BJ, Oz MC, Naka Y. Is severe right ventricular failure in left ventricular assist device recipients a risk factor for unsuccessful bridging to transplant and post-transplant mortality? *Ann Thorac Surg*. 2004; 77: 859–863.
34. Leidenfrost J, Prasad S, Itoh A, Lawrance CP, Bell JM, Silvestry SC. Right ventricular assist device with membrane oxygenator support for right ventricular failure following implantable left ventricular assist device placement. *Eur J Cardiothorac Surg*. 2016; 49: 73–77.
35. Joshi Y, Bories MC, Aissaoui N, Grinda JM, Bel A, Latremouille C, Jouan J. Percutaneous venopulmonary artery extracorporeal membrane oxygenation for right heart failure after left ventricular assist device insertion. *Interact Cardiovasc Thorac Surg*. 2021; 33: 978–985.
36. Welp H, Sindermann JR, Deschka H, Martens S, Scherer M. Pulmonary bleeding during right ventricular support after left ventricular assist device implantation. *J Cardiothorac Vasc Anesth*. 2016; 30: 627–631.
37. Saito S, Sakaguchi T, Miyagawa S, Nishi H, Yoshikawa Y, Fukushima S et al. Recovery of right heart function with temporary right ventricular assist using a centrifugal pump in patients with severe biventricular failure. *J Heart Lung Transplant*. 2012; 31: 858–864.

*Статья поступила в редакцию 02.12.2022 г.
The article was submitted to the journal on 02.12.2022*