

DOI: 10.15825/1995-1191-2016-4-16-32

# ПЯТИЛЕТНИЙ ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ПЕРИФЕРИЧЕСКОЙ ВЕНО-АРТЕРИАЛЬНОЙ ЭКСТРАКОРПОРАЛЬНОЙ МЕМБРАННОЙ ОКСИГЕНАЦИИ КАК МЕТОДА МЕХАНИЧЕСКОЙ ПОДДЕРЖКИ КРОВООБРАЩЕНИЯ У ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ РЕЦИПИЕНТОВ СЕРДЦА

С.В. Готье<sup>1, 2</sup>, В.Н. Попцов<sup>1</sup>, В.М. Захаревич<sup>1, 2</sup>, А.О. Шевченко<sup>1, 2</sup>, Е.А. Спирина<sup>1</sup>, С.Г. Ухренков<sup>1</sup>, С.А. Масютин<sup>1</sup>, Э.З. Алиев<sup>1</sup>, В.Ю. Воронков<sup>1</sup>, Н.С. Чибисов<sup>1</sup>, С.Ю. Устин<sup>1</sup>, Д.М. Бондаренко<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ФГБУ «Федеральный научный центр трансплантологии и искусственных органов имени академика В.И. Шумакова» Минздрава России, Москва, Российская Федерация

<sup>2</sup> Кафедра трансплантологии и искусственных органов ГБОУ ВПО «Первый МГМУ им. И.М. Сеченова», Москва, Российская Федерация

**Введение.** Одним из наиболее часто используемых методов временной механической поддержки кровообращения (МПК) при подготовке и выполнении трансплантации сердца (ТС) является вено-артериальная экстракорпоральная мембранная оксигенация (ВА ЭКМО) [Barth E. и соавт., 2012; Kittleson M.M. и соавт., 2011]. **Целью исследования** являлась оценка результативности применения периферической ВА ЭКМО как метода механической поддержки кровообращения у потенциальных реципиентов сердца, нуждающихся в неотложной трансплантации. **Материалы и методы.** В исследование включили 125 потенциальных реципиентов сердца: 107 (86%) мужчин и 18 (14%) женщин в возрасте от 12 до 72 ( $43 \pm 1,2$ ) лет, которым была установлена система периферической ВА ЭКМО в период с 01.04.2011 г. по 12.08.2016 г. Показанием к началу применения являлась быстро прогрессирующая застойная сердечная недостаточность (ЗСН), соответствующая I или II уровню по классификации INTERMACS. Канюляцию бедренных сосудов выполняли как открытым (хирургическим), так и закрытым (пункционным) методом. Для канюляции бедренной вены использовали венозные канюли 23 и 25 F, для канюляции бедренной артерии – артериальные канюли 15 и 17 F. Во всех наблюдениях для профилактики ишемии нижней конечности на стороне канюляции бедренной артерии производили катетеризацию (однопросветный катетер 14 F) или канюляцию (артериальная канюля 8 или 10 F) поверхностной бедренной артерии в нисходящем (антероградном) направлении. **Результаты.** В 100% ( $n = 125$ ) наблюдений с целью проведения ВА ЭКМО использована периферическая методика канюляции. У 69 (55,2%) пациентов выраженность прогрессирующей ЗСН соответствовала I уровню, у 51 (40,8%) – II уровню по классификации INTERMACS. Во время ВА ЭКМО усредненная объемная скорость экстракорпорального кровотока составила от 2,2 до 4,5 ( $3,2 \pm 0,4$ ) л/мин или  $1,6 \pm 0,2$  л/мин/м<sup>2</sup> при усредненной скорости оборотов центрифужного насоса  $3216 \pm 105$  в мин. 113 (90,4%) из 125 потенциальных реципиентов была выполнена ТС. Продолжительность применения ВА ЭКМО перед ТС ( $n = 113$ ) составила от 8 ч до 40 ( $7,1 \pm 2,7$ ) суток: у 37 (32,7%) из 113 пациентов – до 3 суток, у 43 (38,1%) – от 4 до 7 суток, у 21 (18,6%) – от 8 до 14 суток, у 8 (7,1%) – от 15 до 21 суток, у 4 (3,5%) – более 3 недель. На фоне ВА ЭКМО, не дожив до ТС, умерло 12 (9,6%) из 125 потенциальных реципиентов (11 мужчин и 1 женщина, возраст которых составил от 21 до 63 ( $40 \pm 4$ ) лет). В 2 (16,7%) из 12 наблюдений причиной летального исхода явилась смерть головного мозга на фоне тромбэмболического острого нарушения мозгового кровообращения. Большая часть пациентов ( $n = 10$ ; 83,3%) погибла от прогрессирующей полиорганной недостаточности и сепсиса. У 6 из 12 пациентов имелись клинико-инструментальные проявления острой односторонней ( $n = 2$ ) или двусторонней ( $n = 4$ ) полисегментарной пневмонии. **Заключение.** Периферическая ВА ЭКМО обеспечивает эффективный мост к трансплантации сердца у 90% потенциальных реципиентов, нуждающихся в предтрансплантационной МПК. Своевременность начала применения ВА ЭКМО до развития выраженных гемодинамических, органных, электролитных и метаболических нарушений создает предпосылки для успешного применения МПК у потенциальных реципиентов сердца.

**Ключевые слова:** трансплантация сердца, механическая поддержка кровообращения, ЭКМО.

**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).

**For correspondence:** Poptsov Vitalii Nikolaevich. Address: 1, Shchukinskaya st., Moscow, 123182, Russian Federation. Tel. (963) 644-96-39. E-mail: [poptsov\\_vit@mail.ru](mailto:poptsov_vit@mail.ru)

# FIVE-YEAR EXPERIENCE IN PERIPHERAL VENOARTERIAL EXTRACORPOREAL MEMBRANE OXYGENATION AS A METHOD OF MECHANICAL CIRCULATORY SUPPORT IN POTENTIAL HEART TRANSPLANT RECIPIENTS

*S.V. Gautier<sup>1, 2</sup>, V.N. Poptsov<sup>1</sup>, V.M. Zakharevich<sup>1, 2</sup>, A.O. Shevchenko<sup>1, 2</sup>, E.A. Spirina<sup>1</sup>, S.G. Ukhrenkov<sup>1</sup>, S.A. Masyutin<sup>1</sup>, E.Z. Aliyev<sup>1</sup>, V.Yu. Voronkov<sup>1</sup>, N.S. Chibisov<sup>1</sup>, S.Yu. Ustin<sup>1</sup>, D.M. Bondarenko<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> V.I. Shumakov Federal Research Center of Transplantology and Artificial Organs of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Moscow, Russian Federation

<sup>2</sup> I.M. Sechenov First Moscow State Medical University, Department of transplantology and artificial organs, Moscow, Russian Federation

**Introduction.** Venoarterial extracorporeal membrane oxygenation (VA ECMO) is one of the most widely used methods of temporary mechanical circulatory support (MCS) during the preparation and performance of heart transplant surgery (HT) [Barth E. et al., 2012; Kittleson M.M. et al., 2011]. **Aim** of this study was to assess the effectiveness of using peripheral VA ECMO as a method of mechanical circulatory support in potential heart transplant recipients that urgently required transplantation. **Materials and methods.** The study included 125 potential heart transplant recipients (107 (86%) men and 18 (14%) women) aged from 12 to 72 ( $43 \pm 1.2$ ) years with a peripheral VA ECMO system installed within the period from April 01, 2011 till August 12, 2016. The indication for the start of its use was rapidly progressing congestive heart failure (CHF) of level 1 or 2 by the INTERMACS scale. Femoral blood vessel cannulation was performed using both open (surgical) and closed (puncture) methods. 23 and 25 F venous cannulae were utilized for femoral vein cannulation, and 15 and 17 F arterial cannulae were utilized for femoral artery cannulation. In all cases superficial femoral artery catheterization (14 F single-lumen catheter) or cannulation (8 or 10 F arterial cannula) was performed in the descending (anterograde) direction for the prevention of lower limb ischemia on the side of the femoral artery cannulation. **Results.** The peripheral cannulation method was used to perform VA ECMO in 100% ( $n = 125$ ) observations. In 69 (55.2%) patients the severity of progressive CHF corresponded to INTERMACS level 1; in 51 (40.8%) cases it corresponded to INTERMACS level 2. During VA ECMO the average volumetric extracorporeal circulation flow rate ranged from 2.2 to 4.5 ( $3.2 \pm 0.4$  l/min) or  $1.6 \pm 0.2$  l/min/m<sup>2</sup> with the average rotation speed of the centrifugal pump of  $3.216 \pm 105$  rpm. 113 (90.4%) of 125 potential recipients underwent HT. The duration of VA ECMO prior to HT ( $n = 113$ ) was from 8 hours to 40 ( $7.1 \pm 2.7$ ) days: in 37 (32.7%) of 113 patients – up to 3 days, in 43 (38.1%) cases – from 4 to 7 days, in 21 (18.6%) cases – from 8 to 14 days, in 8 (7.1%) cases from 15 to 21 days, in 4 (3.5%) cases – more than 3 weeks. In the course of VA ECMO, 12 (9.6%) of 125 potential recipients (11 men and 1 women aged from 21 to 63 ( $40 \pm 4$ )) died before they could receive HT. In 2 (16.7%) of 12 cases the cause of death was brain death associated with a thromboembolic cerebrovascular event. The majority of patients ( $n = 10$ ; 83.3%) died of progressive multiple organ failure and sepsis. 6 of 12 patients showed clinical and instrumental signs of acute unilateral ( $n = 2$ ) or bilateral ( $n = 4$ ) polysegmental pneumonia. **Conclusion.** Peripheral VA ECMO provides a successful bridge to heart transplant procedure in 90% of potential recipients who need pre-transplant MCS. The timely initiation of VA ECMO before the development of pronounced hemodynamic, organ, electrolyte and metabolic disorders creates the conditions for a successful use of MCS in potential heart transplant recipients.

*Key words: heart transplant, mechanical circulatory support, ECMO.*

## ВВЕДЕНИЕ

Трансплантация сердца (ТС) на сегодняшний день – единственный эффективный метод лечения больных с терминальной, или необратимой, застойной сердечной недостаточностью (ЗСН) [1]. Возможности своевременного выполнения операции всем пациентам, нуждающимся в пересадке сердца, ограничиваются недостатком донорских сердец [2]. В сложившейся ситуации дефицита донорских органов применение различных систем вспомога-

тельного кровообращения становится единственно возможным способом жизнеобеспечения на этапе ожидания ТС [3].

В последние годы внедрение имплантируемых систем левожелудочкового обхода (ЛЖО) существенным образом изменило подходы к применению вспомогательного кровообращения как метода предтрансплантационной механической поддержки кровообращения (МПК), позволив многим пациентам дожидаться ТС в стабильном клиническом состоянии [4, 5]. Выживаемость пациентов с имплан-

тируемыми системами ЛЖО высока и составляет 80% (1 год) и 70% (2 года) [5]. Однако применение имплантируемых систем ЛЖО не у всех пациентов сопровождается эффективной коррекцией гемодинамических и органных расстройств. При бивентрикулярном варианте ЗСН использование ЛЖО сопровождается худшими клиническими результатами, что связано с необходимостью длительной медикаментозной и/или механической коррекции правожелудочковой дисфункции, с развитием полиорганных нарушений на фоне недостаточной производительности ЛЖО и сниженного системного кровотока [6, 7].

Кроме того, применение имплантируемых систем ЛЖО сопряжено с повышенным риском тромбозомболических, геморрагических, инфекционных и других осложнений [8, 9]. Высокая стоимость самих систем ЛЖО, а также лечения и ведения (курации) пациентов является фактором, ограничивающим широкое внедрение данного метода вспомогательного кровообращения не только в странах с ограниченными бюджетными возможностями, но и с высоким уровнем финансирования здравоохранения [10].

Альтернативным подходом к лечению пациентов с терминальной ЗСН стало применение систем непродолжительной (временной) МПК для достижения быстрой коррекции расстройств системной гемодинамики и создания клинических и организационных условий для выполнения неотложной ТС [11]. Данный подход в организации лечения терминальной ЗСН позволяет не только сохранить жизнь потенциальным реципиентам сердца, но и улучшить доступность ТС [12]. Одним из наиболее часто используемых методов временной МПК при подготовке и выполнении ТС является вено-артериальная экстракорпоральная мембранная оксигенация (ВА ЭКМО) [11, 13].

Начиная с 2011 г. в ФГБУ «ФНЦТИО им. ак. В.И. Шумакова» Минздрава России периферическая ВА ЭКМО стала применяться в качестве ведущего метода предтрансплантационной МПК.

**Целью исследования** явилась оценка результативности применения периферической ВА ЭКМО как метода механической поддержки кровообращения у потенциальных реципиентов сердца, нуждающихся в неотложной трансплантации.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследование включили 125 потенциальных реципиентов сердца: 107 (86%) мужчин и 18 (14%) женщин в возрасте от 12 до 72 ( $43 \pm 1,2$ ) лет, которым была установлена система периферической ВА ЭКМО в период с 01.04.2011 г. по 12.08.2016 г. Основными заболеваниями, приведшими к развитию

терминальной ЗСН, явились: дилатационная кардиомиопатия ( $n = 82$ ; 65%), ишемическая болезнь сердца ( $n = 31$ ; 25,8%), рестриктивная кардиомиопатия ( $n = 1$ ; 0,8%), гипертрофическая кардиомиопатия ( $n = 1$ ; 0,8%), перипартальная кардиомиопатия ( $n = 3$ ; 2,4%), врожденная и приобретенная патология клапанного аппарата сердца ( $n = 3$ ; 2,4%), дисфункция сердечного трансплантата ( $n = 4$ ; 3,8%).

11 (8,8%) пациентов ранее перенесли различные оперативные вмешательства на открытой грудной клетке и полости перикарда: прямая реваскуляризация миокарда ( $n = 2$ ; 1,6%), протезирование/пластика одного или нескольких клапанов сердца ( $n = 5$ ; 4,0%), первичная трансплантация сердца ( $n = 4$ ; 3,2%).

Сопутствующей патологией у обследованных пациентов являлись: сахарный диабет ( $n = 2$ ; 1,6%), цереброваскулярная патология ( $n = 3$ ; 2,4%), перенесенное острое нарушение мозгового кровообращения ( $n = 3$ ; 2,4%), перенесенная тромбоэмболия легочной артерии ( $n = 4$ ; 3,2%), миодистрофия Эмери–Дрейфуса (мутация с.del619C в 6-м экзоне гена EMD) ( $n = 1$ ; 0,8%).

Высокая предтрансплантационная легочная гипертензия (транспульмональный градиент более 15 мм рт. ст. и/или легочное сосудистое сопротивление более 4 ед. Вуда) была выявлена у 27 (21,6%) потенциальных реципиентов сердца.

Показанием к началу применения явилась быстро прогрессирующая ЗСН, соответствующая I или II уровню по классификации INTERMACS. Особым показанием к применению ВА ЭКМО считали жизнеспособность при проведении сердечно-легочной реанимации.

У 4 (3,2%) пациентов перед ВА ЭКМО в качестве метода механической поддержки кровообращения была использована внутриаортальная баллонная контрпульсация (ВАБК).

8 (4,8%) пациентов нуждались в проведении искусственной (ИВЛ) ( $n = 6$ ) или вспомогательной неинвазивной вентиляции легких ( $n = 2$ ).

Канюляцию бедренных сосудов выполняли как открытым (хирургическим), так и закрытым (пункционным) методом. Для канюляции бедренной вены использовали венозные канюли 23 и 25 F, для канюляции бедренной артерии – артериальные канюли 15 и 17 F. Во всех наблюдениях для профилактики ишемии нижней конечности на стороне канюляции бедренной артерии производили катетеризацию (однопросветный катетер 14 F) или канюляцию (артериальная канюля 8 или 10 F) поверхностной бедренной артерии в нисходящем (антероградном) направлении (рис. 1).

Гипокоагуляцию во время ВА ЭКМО обеспечивали непрерывной инфузией нефракционированно-

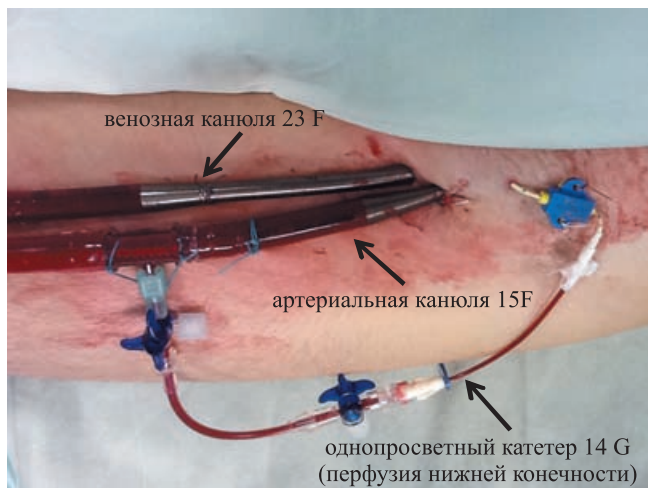


Рис. 1. Чрескожная пункционная канюляция сосудов нижней конечности при периферической вено-артериальной экстракорпоральной мембранной оксигенации

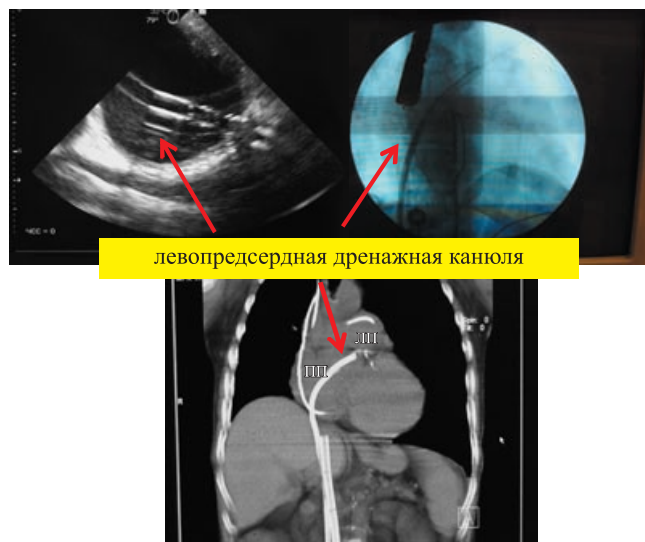


Рис. 2. Чрескожное трансфemorальное дренирование левого предсердия при периферической вено-артериальной экстракорпоральной мембранной оксигенации

го гепарина, поддерживая активированное время свертывания крови на уровне 130–150 с.

Базисная медикаментозная терапия потенциальных реципиентов сердца включала назначение гастропротективных, антимикробных, диуретических, кардиотонических и вазоактивных (вазодилататоры, вазопрессоры) препаратов.

Для разрешения отека легких, развившегося на фоне ВА ЭКМО у пациентов с объемной перегрузкой левых отделов сердца, резистентной к медикаментозной коррекции (кардиотоническая терапия, дегидратационная терапия), использовали чрескожное трансфemorальное дренирование левого предсердия через межпредсердную перегородку дополнительной венозной канюлей (15 или 17 F) или открытое дренирование полости левого желудочка из левого торакотомного доступа (рис. 2).

Статистическую обработку результатов исследования осуществляли с помощью программного продукта IBM SPSS версия 20.0.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

В 100% (n = 125) наблюдений с целью проведения ВА ЭКМО как метода предтрансплантационной механической поддержки кровообращения у потенциальных реципиентов сердца использована периферическая методика канюляции. У 69 (55,2%) пациентов выраженность прогрессирующей ЗСН соответствовала I уровню INTERMACS, у 51 (40,8%) – II уровню по классификации INTERMACS. В 5 (4,0%) наблюдениях ВА ЭКМО использовали как метод сердечно-легочной реанимации. В этих наблюдениях периферическую канюляцию осуществляли на фоне ручной (n = 1) или механической (аппарат Autopulse; n = 4) компрессии грудной клетки (рис. 3).

У 123 пациентов канюляция была выполнена в условиях многокомпонентной сбалансированной анестезии (пропофол, фентанил, рокурония бромид, севофлюран) и ИВЛ через интубационную трубку. В 2 наблюдениях канюляцию производили на фоне сохранного самостоятельного дыхания в условиях локального обезболивания и внутривенной анестезии (пропофол).

У 29 (23,2%) потенциальных реципиентов применили открытую (хирургическую), у 96 (76,8%) – пункционную (чрескожную) методику. В 93 (74,4%) наблюдениях для канюляции использовали бедренные сосуды одной ноги, в 32 (25,6%) – обеих ног. В большинстве наблюдений (n = 117; 93,6%) процедуру канюляции выполняли в условиях операцион-



Рис. 3. Периферическая ВА ЭКМО при сердечно-легочной реанимации у потенциальных реципиентов сердца (клиническое наблюдение)

ной, у 8 (6,4%) пациентов – в условиях ОРИТ, что было обусловлено urgentностью начала применения вспомогательного кровообращения. У 5 (4,0%) потенциальных реципиентов канюляцию периферических сосудов осуществляли на фоне проводимой сердечно-легочной реанимации.

Технические сложности при пункционной методике канюляции возникли в 4 (3,2%) наблюдениях и были связаны с трудностью чрескожного проведения артериальной канюли. У 2 пациентов в связи с риском возникновения осложнений дальнейшая попытка постановки артериальной канюли была приостановлена и произведена канюляция бедренной артерии контрлатеральной конечности. Во всех наблюдениях независимо от методики канюляции (открытой или чрескожной) осуществляли катетеризацию поверхностной бедренной артерии для перфузии и профилактики ишемии нижней конечности. У 4 пациентов в связи с риском выполнения пункционной канюляции из-за внутреннего диаметра бедренной артерии  $\leq 5$  мм произвели канюляцию через хирургический доступ.

При открытой методике канюляции продолжительность временного интервала между кожным разрезом и началом ВА ЭКМО составила  $86 \pm 12$  мин и была больше ( $p < 0,05$ ), чем продолжительность интервала ( $46 \pm 8$  мин) между пункцией бедренного сосуда и началом ВА ЭКМО при чрескожной (пункционной) методике канюляции.

У большей части пациентов ( $n = 97$ ; 77,6%) продолжительность послеоперационной ИВЛ не превысила 1 ч (активизация на операционном столе), у 18 (14,4%) составила от 1 до 24 ч, у 10 (8,0%) – более 1 суток ИВЛ. У 5 (4,0%) пациентов с прогнозируемой длительной ИВЛ (более 5 суток) выполнили пункционную трахеостомию.

Во время ВА ЭКМО усредненная объемная скорость экстракорпорального кровотока составила от 2,2 до 4,5 ( $3,2 \pm 0,4$ ) л/мин или  $1,6 \pm 0,2$  л/мин/м<sup>2</sup> при усредненной скорости оборотов центрифужного насоса  $3216 \pm 105$  в мин. Для поддержания остаточной насосной функции и системной гемодинамики собственного сердца использовали следующие кардиотонические препараты: допамин ( $n = 66$ ;  $3,8 \pm 0,4$  мкг/кг/мин), добутамин ( $n = 39$ ;  $4,1 \pm 0,6$  мкг/кг/мин), допамин и добутамин ( $n = 20$ ;  $7,4 \pm 0,9$  мкг/кг/мин). У 5 (4%) потенциальных реципиентов применили инфузию адреналина ( $27 \pm 7$  нг/кг/мин), у 57 (45,6%) – инодилатора левосимендана.

Для снижения повышенного уровня среднего АД (более 90 мм рт. ст.) у 21 (16,8%) пациента использовали внутривенное введение периферических вазодилаторов – нитросорбиддинитрата ( $n = 13$ ) и нитропрусида натрия ( $n = 8$ ).

В заместительной почечной терапии нуждался 21 (16,8%) потенциальный реципиент в связи с не-

обходимостью устранения гиперволемии и гипергидратации, коррекции метаболических, электролитных и/или полиорганных нарушений. Ведущим методом заместительной почечной терапии была непрерывная вено-венозная гемофильтрация.

В связи с неэффективностью лечебных мер (кардиотоническая терапия, диуретики, ЗПТ, неинвазивная или инвазивная вентиляция легких), направленных на объемную разгрузку левых отделов сердца и разрешение отека легких, у 31 (24,8%) пациента выполнили чрескожное трансфemorальное дренирование левого предсердия с помощью дополнительной венозной канюли (15 или 17 F), проведенной через межпредсердную перегородку. В 5 (4,0%) наблюдениях было выполнено открытое дренирование левого желудочка. Во всех случаях активное дренирование полости левого предсердия / левого желудочка привело к снижению ( $p < 0,05$ ) заклинивающего давления легочной артерии (ЗДЛА) ( $с 31 \pm 3$  до  $14 \pm 4$  мм рт. ст.), среднего давления легочной артерии ( $41 \pm 4$  до  $28 \pm 6$  мм рт. ст.) и клиническому, рентгенологическому разрешению отека легких.

Основным осложнением при хирургической методике канюляции явилось кровотечение – у 10 (34,4%) из 29 потенциальных реципиентов – из места постановки артериальной канюли, что потребовало повторной открытой ревизии операционной раны и наложения дополнительных гемостатических швов на стенку бедренной артерии. У 22 (22,9%) из 96 пациентов, у которых применили чрескожную пункционную методику канюляции, произвели наложение дополнительного герметизирующего кожного кисетного шва: вокруг артериальной канюли ( $n = 16$ ), венозной канюли ( $n = 4$ ), артериальной и венозной канюль ( $n = 2$ ).

В 10 (8,0%) наблюдениях было отмечено развитие внутрисосудистого гемолиза с уровнем свободного гемоглобина более 100 мг% ( $312 \pm 105$  мг%), что потребовало проведения 1–5 ( $2,3 \pm 0,7$ ) сеансов плазмафереза. В 3 случаях установленной причиной внутрисосудистого гемолиза явился тромбоз головки центрифужного насоса, прекратившийся после ее замены. У 2 пациентов использование ВА ЭКМО было прекращено в связи с персистирующим гемолизом (более 200 мг%). В обоих наблюдениях пациентам была выполнена ТС на 2-е и 4-е сутки после прекращения ВА ЭКМО. До ТС пациенты продолжали находиться в ОРИТ, для поддержания системной гемодинамики использована кардиотоническая терапия допамином (6–8 мкг/кг/мин).

Среднетяжелая и тяжелая тромбоцитопения (менее  $50 \times 10^9$ /л) была выявлена у 19 (15,2%) пациентов, что потребовало трансфузии тромбоцитомассы. Количество доз тромбоцитомассы на одного пациента составило  $2,3 \pm 0,4$  дозы.

Таблица

**Параметры системной гемодинамики, биохимического, электролитного, кислотно-основного состава крови перед началом механической поддержки кровообращения у пациентов с различным исходом ВА ЭКМО**

Показатель	Умершие на фоне ВА ЭКМО (n = 12)	Успешный «мост» к ТС (n = 113)
ЦВД, мм рт. ст.	26 ± 4	18 ± 3
ЗДЛА, мм рт. ст.	36 ± 6	28 ± 2
СИ, л/мин/м <sup>2</sup>	1,3 ± 0,2	1,9 ± 0,2*
Допамин/добутамин, мкг/кг/мин	8,7 ± 0,7	5,9 ± 0,3*
Креатинин крови, мкмоль/л	146 ± 13	112 ± 8*
Мочевина, ммоль/л	19 ± 2	12 ± 3
Об. билирубин, мкмоль/л	89 ± 9	56 ± 4*
АЛТ, ед./л	368 ± 56	85 ± 11*
АСТ, ед./л	376 ± 45	71 ± 12*
МНО, междунар. единицы	3,1 ± 0,3	1,7 ± 0,2*
Альбумин крови, г/л	23 ± 2	32 ± 3*
Натрий крови, ммоль/л	124 ± 3	133 ± 4*
pH артериальной крови	7,31 ± 0,01	7,34 ± 0,01
BE артериальной крови, ммоль/л	-6,3 ± 0,9	-3,3 ± 0,6*
Лактат крови, ммоль/л	7,4 ± 1,2	3,2 ± 0,6*
Прокальцитонин, нг/мл	3,5 ± 0,5	1,2 ± 0,2*

*Примечание.* ЦВД – центральное венозное давление; ЗДЛА – заклинивающее давление легочной артерии; СИ – сердечный индекс; АЛТ – аланинтрансаминаза; АСТ – аспартаттрансаминаза; МНО – международное номенклатурное отношение; \* – достоверность отличия (p < 0,05).

Замену мембранного оксигенатора в связи с нарушением его газообменной функции произвели у 4 (3,2%) пациентов на 12–25-е (18,8 ± 2,7) сутки.

ТС была выполнена 113 (90,4%) из 125 потенциальных реципиентов. У 109 из 113 пациентов продолжительность ВА ЭКМО определялась сроком ожидания донорского сердца. У 4 пациентов выполнение ТС было отсрочено до момента стойкой стабилизации клинического состояния и регресса полиорганной дисфункции. Продолжительность применения ВА ЭКМО перед ТС (n = 113) составила от 8 ч до 40 (7,1 ± 2,7) суток: у 37 (32,7%) из 113 пациентов – до 3 суток, у 43 (38,1%) – от 4 до 7 суток, у 21 (18,6%) – от 8 до 14 суток, у 8 (7,1%) – от 15 до 21 суток, у 4 (3,5%) – более 3 недель.

На фоне ВА ЭКМО, не дожив до ТС, умерло 12 (9,6%) из 125 потенциальных реципиентов – 11 мужчин и 1 женщина, возраст которых составил от 21 до 63 (40 ± 4) лет. В 2 (16,7%) из 12 наблюдений причиной летального исхода явилось тромбоэмболическое острое нарушение мозгового кровообращения. Большая часть пациентов (n = 10; 83,3%) погибла от прогрессирующей полиорганной недостаточности и сепсиса. У 6 из 12 пациентов имелись клинико-инструментальные проявления острой односторонней (n = 2) или двусторонней (n = 4) полисегментарной пневмонии. Перед началом ВА ЭКМО умершие пациенты имели более выраженные (p < 0,05) проявления нарушений системной гемодинамики, органной функции, электролитных и метаболических расстройств по сравнению с пациентами с успешным «мостом» к ТС (табл.).

**ОБСУЖДЕНИЕ**

Рост числа пациентов с терминальной ЗСН многократно увеличил потребность в ТС [14]. Однако в последнее время за рубежом отмечается стагнация роста ежегодно выполняемых ТС, что связано с отсутствием должного увеличения числа сердечных доноров [15]. В сложившихся условиях дефицита донорских органов применение различных систем МПК остается порой единственным возможным способом жизнеподдержания на этапе ожидания ТС [16]. По данным регистра ISHLT (2015 г.), приблизительно 50% ТС выполняется у реципиентов с предтрансплантационной МПК [17].

Существуют различные подходы к выбору оптимального метода предтрансплантационной МПК в зависимости от типа расстройств системной гемодинамики, тяжести клинического состояния пациента, перспективности выполнения неотложной или отсроченной ТС и т. п. [18]. В качестве механического моста к ТС используются устройства как непродолжительной, так и длительной МПК (рис. 4).

Внедрение в клиническую практику имплантируемых систем левожелудочкового обхода (ЛЖО)

**Механическая поддержка кровообращения**

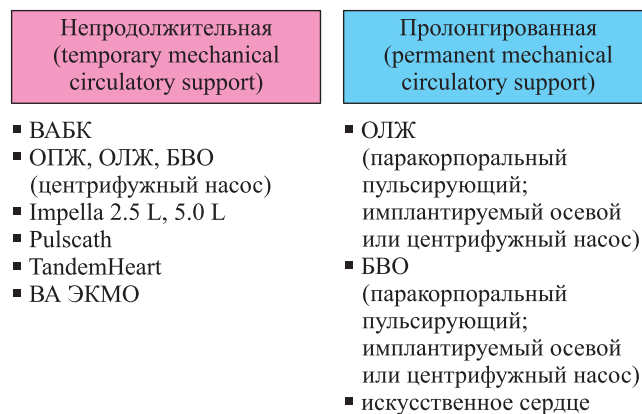


Рис. 4. Методы временной и длительной механической поддержки кровообращения

ВАБК – внутриаортальная баллонная контрпульсация; ОПЖ – обход правого желудочка; ОЛЖ – обход левого желудочка; БВО – бивентрикулярный обход; ВА ЭКМО – вено-артериальная экстракорпоральная мембранная оксигенация.

привело к количественному и качественному эволюционированию длительной МПК у потенциальных реципиентов сердца, а также у пациентов, у которых данный метод вспомогательного кровообращения применяется как средство дожития при наличии противопоказаний к ТС или отказе пациента от замены собственного сердца на сердечный трансплантат (destination therapy) [19]. 6-, 12- и 18-месячная выживаемость пациентов с имплантируемыми ОЛЖ составляет соответственно 82, 73 и 72% [20].

В настоящее время, по данным регистра ISHLT, около половины (42%) ТС выполняется пациентам, у которых имплантируемые устройства ЛЖО использованы в качестве метода предтрансплантационной МПК, многократно превышая частоту применения моно- и бивентрикулярных обходов сердца с пульсирующим или непрерывным кровотоком (6%), а также систем временной МПК, таких как ВА ЭКМО (0,9%) [17].

Продолжительная МПК посредством имплантируемого ЛЖО приводит к стойкому улучшению органной перфузии, коррекции или полному разрешению полиорганной дисфункции, к регрессу высокой предтрансплантационной легочной гипертензии, улучшению нутритивного статуса (повышение индекса массы тела), снижению коморбидности, повышению двигательной активности пациента, что обеспечивает полноценное функциональное восстановление организма потенциального реципиента перед ТС [20].

Однако нередко возникающие тромбозмембранные, геморрагические, гнойно-септические осложнения, технические неполадки в функционировании ОЛЖ негативно влияют на результативность имплантируемых систем длительной МПК [20].

У многих потенциальных реципиентов сердца ЗСН вызвана нарушением насосной функции как левого, так и правого желудочков, в условиях которой изолированное применение только ЛЖО представляется недостаточно эффективным для устранения расстройств системной гемодинамики. Частое возникновение (в 25–30% наблюдений) острой правожелудочковой недостаточности (ОПЖН) на фоне работы ОЛЖ требует длительной медикаментозной коррекции и/или дополнительной МПК (обход правого желудочка или ВА ЭКМО) [21]. В механической поддержке насосной функции правого желудочка нуждается до 10% пациентов с ОЛЖ [22]. Развитие ОПЖН у пациентов с ОЛЖ обусловлено усугублением предсуществующей дисфункции правого желудочка из-за смещения межжелудочковой перегородки в сторону левого желудочка на фоне его гемодинамической разгрузки и усиления нарушений межжелудочкового взаимодействия [22].

Кроме того, использование имплантируемых систем ОЛЖ делает последующую ТС повторным оперативным вмешательством на грудной клетке с риском развития периоперационной кровопотери и инфекционно-воспалительных осложнений.

Необходимо указать на высокую стоимость имплантируемых ЛЖО, что даже в госпиталях высококоразвитых в экономическом плане стран является причиной использования более дешевых и не менее эффективных методов предтрансплантационной МПК. Заслуживает внимания опыт Huston Methodist Heart and Vascular Center (США) длительного (в среднем 18 дней) применения внутриаортальной баллонной контрпульсации (ВАБК) с высокой эффективностью предтрансплантационной МПК (у 84% пациентов) и результативностью последующей ТС (90-дневная выживаемость 94%) [23]. Отмечается, что так называемая амбулаторная ВАБК (ambulatory IABP support), не уступая по эффективности предтрансплантационной МПК у потенциальных реципиентов имплантируемым системам ЛЖО, в 50 раз дешевле [24, 25].

Учитывая возможность достижения быстрого улучшения системной гемодинамики и клинического состояния пациента с последующим гарантированным выполнением в кратчайшие сроки ТС, отдельные трансплантационные центры отдают предпочтение использованию у потенциальных реципиентов, нуждающихся в неотложной ТС, систем временной моно- или бивентрикулярной МПК [12]. Одним из приоритетных методов вспомогательного кровообращения при критических расстройствах системной гемодинамики является ВА ЭКМО, которая в контексте предтрансплантационной МПК рассматривается в качестве бивентрикулярного обхода сердца, дополненного экстракорпоральной мембранной оксигенацией [11]. В большинстве наблюдений с целью МПК перед ТС используется периферическая ВА ЭКМО, преимуществом которой является возможность чрескожной пункционной установки артериальной и венозной канюль в просвет бедренных сосудов, что позволяет сохранить интактной грудную клетку и полость перикарда с учетом последующего выполнения ТС, избежать развития воздушной и материальной эмболии в сосуды головы и сердца и других (рис. 5).

Проведение периферической ВА ЭКМО через бедренные сосуды с нагнетанием оксигенированной крови в восходящем (ретроградном) направлении в аорте способствует улучшению системного кровообращения с преимущественным увеличением спланхического кровотока, что создает более выгодные гемодинамические и газообменные условия для улучшения кровоснабжения и оксигенации

<b>ПРЕИМУЩЕСТВА</b>
<input type="checkbox"/> Открытая или чрескожная (пункционная) методика канюляции
<input type="checkbox"/> Сохранение интактной грудной клетки и полости перикарда
<input type="checkbox"/> Эффективный метод сердечно-легочной реанимации
<input type="checkbox"/> Отсутствие риска воздушной и материальной эмболии в сосуды сердца и головного мозга
<input type="checkbox"/> Возможность ранней послеоперационной активизации
<input type="checkbox"/> Меньший риск инфекционных осложнений
<input type="checkbox"/> Менее травматичная методика деканюляции
<input type="checkbox"/> Возможность использования в посттрансплантационном периоде с целью механической поддержки сердечного трансплантата

Рис. 5. Потенциальные преимущества периферической ВА ЭКМО перед другими методами механической поддержки кровообращения у потенциальных реципиентов сердца

органов брюшной полости и разрешения печеночной, почечной, кишечной и в целом полиорганной недостаточности [27].

Применение ВА ЭКМО гарантирует поддержание системного кровообращения и жизнеспособность у потенциальных реципиентов сердца при любых внезапно развившихся расстройствах сердечной деятельности. Как показывает собственный опыт, периферическая ВА ЭКМО является эффективным методом сердечно-легочной реанимации у потенциальных реципиентов сердца с возможностью полноценного восстановления организма после перенесенной остановки кровообращения и последующего успешного механического моста к ТС.

В настоящее время периферическая ВА ЭКМО является единственным методом МПК, который может быть использован (без замены контура и оксигенатора) у одного и того же пациента как до, так и после ТС с целью поддержки насосной функции сердечного трансплантата в раннем посттрансплантационном периоде. По нашему мнению, это создает уникальную возможность для результативного выполнения ТС от сердечных доноров с расширенными критериями, при которой существует повышенный риск ранней, но потенциально обратимой дисфункции сердечного трансплантата.

Учитывая высокую летальность в листе ожидания ТС, отдельные трансплантационные центры и даже общенациональные трансплантационные программы (например, Испания, Франция) наравне с увеличением количества имплантируемых систем ЛЖО стали широко применять ВА ЭКМО как ведущий метод временной МПК у потенциальных реципиентов, нуждающихся в неотложной ТС [12]. В частности, с целью эффективного снижения летальности в листе ожидания ТС во Франции в 2004 г. была изменена система распределения

донорских сердец с созданием неотложного листа ожидания ТС (high-urgencywaitinglist), что гарантировало экстренность выполнения ТС у пациентов с временной МПК, преимущественно ВА ЭКМО.

Однако применение периферической ВА ЭКМО как метода МПК перед ТС требует решения нескольких организационно-клинических задач. Прежде всего это выполнение ТС в сроки, не превышающие 7–14 дней; эффективная коррекция гемодинамической перегрузки левых отделов сердца, включая применение методов активного дренирования левого предсердия или левого желудочка; профилактика развития инфекционно-воспалительного процесса в местах канюляции периферических сосудов и т. п. (рис. 6). Особого внимания требует профилактика ишемии нижней конечности, что в нашей практике достигается установкой дополнительного перфузионного однопросветного катетера (размер 16–14 G) для гарантированного осуществления кровоснабжения ноги. Чрескожное трансфemorальное дренирование левого предсердия с помощью дополнительной дренажной венозной канюли (размер 15–17 F) обеспечивает адекватную разгрузку левых отделов сердца на фоне применения периферической ВА ЭКМО.

<b>КОМПЛЕКС МЕР</b>
<input type="checkbox"/> Выполнение трансплантации сердца в сроки 1–3 недели
<input type="checkbox"/> Профилактика ишемии нижней конечности
<input type="checkbox"/> Декомпрессия левых отделов сердца
<input type="checkbox"/> Устранение неравномерности оксигенации между верхней и нижней частями туловища
<input type="checkbox"/> Обеспечение иммобилизации нижней конечности
<input type="checkbox"/> Тщательный уход за местом канюляции
<input type="checkbox"/> Коррекция тромбоцитопении
<input type="checkbox"/> Гемостаз во время ТС
<input type="checkbox"/> Постдеканюляционные осложнения (гематома, аневризма, нисходящий и восходящий тромбоз и т. п.)

Рис. 6. Комплекс мер, направленных на повышение эффективности и профилактику осложнений при применении ВА ЭКМО как метода механической поддержки кровообращения перед трансплантацией сердца

Своевременность начала МПК с помощью периферической ВА ЭКМО, а также принятие мер, направленных на профилактику или своевременную коррекцию возможных осложнений, позволили выполнить ТС у 90,4% потенциальных реципиентов сердца. На основании 5-летнего клинического опыта и ранее проведенных исследований нами был разработан протокол применения периферической ВА ЭКМО как метода механической поддержки кровообращения перед ТС, основными положениями которого являются: своевременность начала применения ВА ЭКМО как метода бивентрикуляр-



### ПРОТОКОЛ ПРИМЕНЕНИЯ ВА ЭКМО

- Своевременное начало вспомогательного кровообращения
- Периферическая методика осуществления ВА ЭКМО
- Пункционная методика канюляции
- Ранняя активизация после начала ВА ЭКМО
- «Разумная» гипокоагуляция (АВСК 130–150 с)
- Объемная скорость кровотока 50–75% от должной величины минутного объема кровообращения
- Профилактика объемной перегрузки левых отделов сердца
- Чрескожное трансвенозное дренирование левого предсердия
- Профилактика инфекционных осложнений
- Профилактика и коррекция полиорганных нарушений
- Выполнение ТС в сроки, не превышающие 2–3 недели, на фоне отсутствия клинически значимых полиорганных и/или инфекционных осложнений

Рис. 7. Протокол применения ВА ЭКМО как метода предтрансплантационной механической поддержки кровообращения у потенциальных реципиентов сердца

ного обхода сердца, до начала развития необратимых полиорганных нарушений; периферическая, преимущественно пункционная методика канюляции; обеспечение эффективной перфузии нижней конечности на стороне канюляции с целью профилактики ее ишемии; своевременное принятие мер, направленных на декомпрессию левых отделов сердца, включая чрескожное трансфеморальное дренирование левого предсердия через межпредсердную перегородку; выполнение ТС в кратчайшие сроки на фоне отсутствия клинически значимых полиорганных нарушений и т. п. (рис. 7).

Использование периферической ВА ЭКМО как высокоэффективного средства спасения при критических расстройствах системного кровообращения позволило многократно снизить летальность в листе ожидания и обеспечить результативность ТС у пациентов, нуждающихся в ее неотложном выполнении.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Периферическая вено-артериальная экстракорпоральная мембранная оксигенация обеспечивает эффективный мост к трансплантации сердца у 90% потенциальных реципиентов, нуждающихся в предтрансплантационной механической поддержке кровообращения.

Своевременность начала применения ВА ЭКМО до развития выраженных гемодинамических, органных, электролитных и метаболических нарушений создает предпосылки для успешного применения механической поддержки кровообращения у потенциальных реципиентов сердца.

Пункционную чрескожную канюляцию следует рассматривать в качестве оптимального метода обеспечения периферической ВА ЭКМО.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Katz JN, Waters SB, Hollis IB, Chang PP. Advanced therapies for end-stage heart failure. *Curr Cardiol Rev.* 2015; 11: 63–72.
2. Kittleson MM. Changing Role of Heart Transplantation. *Heart Fail Clin.* 2016; 12: 411–421.
3. Prinzing A, Herold U, Berkefeld A, Krane M, Lange R, Voss B. Left ventricular assist devices – current state and perspectives. *J. Thorac. Dis.* 2016; 8: E660–E666.
4. Aeronson KD, Patel H, Pagani FD. Patients selection for left ventricular assist device therapy. *Ann. Thorac. Surg.* 2003; 75 (suppl): S29–S35.
5. Kirklin JK, Naftel DC, Pagani FD et al. Sixth INTERMACs annual report: a 10,000-patients database. *J. Heart Lung Transpl.* 2014; 33: 555–564.
6. Deschka H, Holthaus AJ, Sindermann JR, Welp H, Schlarb D, Monsefi N et al. Can Perioperative Right Ventricular Support Prevent Postoperative Right Heart Failure in Patients With Biventricular Dysfunction Undergoing Left Ventricular Assist Device Implantation? *J. Cardiothorac. Vasc. Anesth.* 2016; 30: 619–626.
7. Eckman P, Liao K. Right ventricular failure – a continuing problem in patients with left ventricular assist device support. *J. Cardiovasc. Transpl. Res.* 2010; 3: 604–611.
8. Cushing K, Kushnir V. Gastrointestinal Bleeding Following LVAD Placement from Top to Bottom. *Dig. Dis. Sci.* 2016 Jun; 61 (6): 1440–1447.
9. Robertson J, Long B, Koyfman A. The emergency management of ventricular assist devices. *Am. J. Emerg. Med.* 2016; 34 (7): 1294–1301.
10. Castel MA, Cartana R, Cardona D, Hernandez M, Sandoval E, Castella M, Perez-Villa F. Long-term outcome of high-urgency heart transplant patients with and without temporary ventricular assist device support. *Transplant. Proceeding.* 2012; 44: 2642–2644.
11. Barth E, Durand M, Heylbroeck C et al. Extracorporeal life support as a bridge to high-urgency heart transplantation. *Clin. Transplant.* 2012; 26: 484–488.
12. D'Alessandro C, Coldmar JL, Lebreton G, Laali M et al. High-urgency waiting list for cardiac recipients in France: single-centre 8-years experience. *Eur. J. Cardiothorac. Surg.* 2016; Oct 2. pii: ezw291.
13. Kittleson MM, Patel JK, Moriguchi JD, Kawano M, Davis S, Hage A et al. Heart transplant recipients supported with extracorporeal membrane oxygenation: outcomes from a single-center experience. *J. Heart Lung Transplant.* 2011; 30 (11): 1250–1256.
14. Hullin R. Heart transplantation: current practice and outlook to the future. *Swiss Med. Wkly.* 2014; 144: w13977.
15. Davis MK, Hunt SA. State of the art: cardiac transplantation. *Trends Cardiovasc. Med.* 2014; 24 (8): 341–349.
16. Silva EJ. Mechanical Circulatory Support: Current Status and Future Directions. *Prog. Cardiovasc. Dis.* 2016; 58 (4): 444–454.

17. Lund LH, Edward LD, Kucheryavaya AY et al. The registry of the international society for heart and lung transplantation: thirty-second official adult heart transplantation; focus theme: early graft failure. *J. Heart Lung Transplant.* 2015; 34: 1244–1254.
18. Subramaniam K. Mechanical circulatory support. *Best Pract. Res. Clin. Anaesthesiol.* 2015; 29: 203–227.
19. Prinzing A, Herold U, Berkefeld A, Krane M, Lange R, Voss B. Left ventricular assist devices-current state and perspectives. *J. Thorac. Dis.* 2016; E660–E666.
20. Sajgalik P, Grupper A, Edwards BS et al. Current Status of Left Ventricular Assist Device Therapy. *Mayo Clin. Proc.* 2016; 91: 927–940.
21. Dang NC, Topkara VK, Mercado M et al. Right heart failure after left ventricular assist device implantation in patients with chronic congestive heart failure. *J. Heart Lung Transplant.* 2006; 25: 1–6.
22. Meineri M, Van Rensburg AE, Vegas A. Right ventricular failure after LVAD implantation: prevention and treatment. *Best Pract. Res. Clin. Anaesthesiol.* 2012; 26: 217–229.
23. Estep AD, Cordero-Reyes AM, Bhimarai A et al. Percutaneous Placement of an Intra-Aortic Balloon Pump in the Left Axillary/Subclavian Position Provides Safe, Ambulatory Long-Term Support as Bridge to Heart Transplantation. *JASS: Heart Failure.* 2013; 1: 382–38.
24. Cochran RP et al. Ambulatory intraaortic balloon pump use as bridge to heart transplant. *Ann. Thorac. Surg.* 2002 Sep; 74 (3): 746–751.
25. Umakanthan R et al. Benefits of ambulatory axillary intra-aortic balloon pump for circulatory support as bridge to heart transplant. *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.* 2012 May; 143 (5): 1193–1197.
26. Briceno N, Kapur NK, Perera D. Percutaneous mechanical circulatory support current concepts and future directions. *Heart.* 2016; 102: 1494–1507.
27. Fuhman BP, Hernan LJ, Rotta AT et al. Pathophysiology of cardiac extracorporeal membrane oxygenation. *Artif. Organs.* 1999; 23: 10–23.

Статья поступила в редакцию 27.09.2016 г.

DOI: 10.15825/1995-1191-2016-4-16-32

# FIVE-YEAR EXPERIENCE IN PERIPHERAL VENOARTERIAL EXTRACORPOREAL MEMBRANE OXYGENATION AS A METHOD OF MECHANICAL CIRCULATORY SUPPORT IN POTENTIAL HEART TRANSPLANT RECIPIENTS

*S.V. Gautier<sup>1, 2</sup>, V.N. Poptsov<sup>1</sup>, V.M. Zakharevich<sup>1, 2</sup>, A.O. Shevchenko<sup>1, 2</sup>, E.A. Spirina<sup>1</sup>, S.G. Ukhrenkov<sup>1</sup>, S.A. Masyutin<sup>1</sup>, E.Z. Aliyev<sup>1</sup>, V.Yu. Voronkov<sup>1</sup>, N.S. Chibisov<sup>1</sup>, S.Yu. Ustin<sup>1</sup>, D.M. Bondarenko<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> V.I. Shumakov Federal Research Center of Transplantology and Artificial Organs of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Moscow, Russian Federation

<sup>2</sup> I.M. Sechenov First Moscow State Medical University, Department of transplantology and artificial organs, Moscow, Russian Federation

**Introduction.** Venoarterial extracorporeal membrane oxygenation (VA ECMO) is one of the most widely used methods of temporary mechanical circulatory support (MCS) during the preparation and performance of heart transplant surgery (HT) [Barth E. et al., 2012; Kittleson M.M. et al., 2011]. **Aim** of this study was to assess the effectiveness of using peripheral VA ECMO as a method of mechanical circulatory support in potential heart transplant recipients that urgently required transplantation. **Materials and methods.** The study included 125 potential heart transplant recipients (107 (86%) men and 18 (14%) women) aged from 12 to 72 ( $43 \pm 1.2$ ) years with a peripheral VA ECMO system installed within the period from April 01, 2011 till August 12, 2016. The indication for the start of its use was rapidly progressing congestive heart failure (CHF) of level 1 or 2 by the INTERMACS scale. Femoral blood vessel cannulation was performed using both open (surgical) and closed (puncture) methods. 23 and 25 F venous cannulae were utilized for femoral vein cannulation, and 15 and 17 F arterial cannulae were utilized for femoral artery cannulation. In all cases superficial femoral artery catheterization (14 F single-lumen catheter) or cannulation (8 or 10 F arterial cannula) was performed in the descending (anterograde) direction for the prevention of lower limb ischemia on the side of the femoral artery cannulation. **Results.** The peripheral cannulation method was used to perform VA ECMO in 100% ( $n = 125$ ) observations. In 69 (55.2%) patients the severity of progressive CHF corresponded to INTERMACS level 1; in 51 (40.8%) cases it corresponded to INTERMACS level 2. During VA ECMO the average volumetric extracorporeal circulation flow rate ranged from 2.2 to 4.5 ( $3.2 \pm 0.4$  l/min) or  $1.6 \pm 0.2$  l/min/m<sup>2</sup> with the average rotation speed of the centrifugal pump of  $3.216 \pm 105$  rpm. 113 (90.4%) of 125 potential recipients underwent HT. The duration of VA ECMO prior to HT ( $n = 113$ ) was from 8 hours to 40 ( $7.1 \pm 2.7$ ) days: in 37 (32.7%) of 113 patients – up to 3 days, in 43 (38.1%) cases – from 4 to 7 days, in 21 (18.6%) cases – from 8 to 14 days, in 8 (7.1%) cases from 15 to 21 days, in 4 (3.5%) cases – more than 3 weeks. In the course of VA ECMO, 12 (9.6%) of 125 potential recipients (11 men and 1 women aged from 21 to 63 ( $40 \pm 4$ )) died before they could receive HT. In 2 (16.7%) of 12 cases the cause of death was brain death associated with a thromboembolic cerebrovascular event. The majority of patients ( $n = 10$ ; 83.3%) died of progressive multiple organ failure and sepsis. 6 of 12 patients showed clinical and instrumental signs of acute unilateral ( $n = 2$ ) or bilateral ( $n = 4$ ) polysegmental pneumonia. **Conclusion.** Peripheral VA ECMO provides a successful bridge to heart transplant procedure in 90% of potential recipients who need pre-transplant MCS. The timely initiation of VA ECMO before the development of pronounced hemodynamic, organ, electrolyte and metabolic disorders creates the conditions for a successful use of MCS in potential heart transplant recipients.

*Key words: heart transplant, mechanical circulatory support, ECMO.*

## INTRODUCTION

Heart transplantation (HT) remains the preferred therapy for management patients with a advanced chronic heart failure (CHF) [1]. In current era, availability of HT is limited by the number donors [2]. In painful shortage of donor organs mechanical circulatory sup-

port (MCS) remains the effective method for treatment of heart transplant candidates with life-threatening CHF [3].

In recent years, implantable, continuous-flow left ventricular assist devices (LVADs) has significantly improved clinical results of long-term MCS [4, 5]. The

**For correspondence:** Poptsov Vitalii Nikolaevich. Address: 1, Shchukinskaya st., Moscow, 123182, Russian Federation. Tel. (963) 644-96-39. E-mail: poptsov\_vit@mail.ru

survival of patients with current generation of LVADs is increased: one-year – 80%, two-year – 70% [5].

Unfortunately, in some clinical conditions LVADs fail to improve of systemic hemodynamic and organ's function. In the cases of biventricular CHF, the use of LVADs leads to worse clinical results due to the necessity of medical therapy or MCS of right ventricular dysfunction [6, 7].

In addition, the use of LVADs is associated with a higher risk of thromboembolic, hemorrhagic, infectious, and other complications [8, 9]. The high cost of both LVAD systems per se and patient management are also factors that limit the wide use of this method of long-term MCS not only in countries with limited budgetary funding but also in those with a high level of public health financing [10].

An alternative approach to the treatment of patients with advanced CHF is short-term (temporary) MCS in order to attain a fast improvement of systemic hemodynamic and to create the clinical and organizational conditions for an urgent HT [11]. This approach in the management and treatment of advanced CHF not only saves the lives of heart transplant candidates but also makes HT more available [12]. One of the most widely used methods of temporary MSC before and after HT is venoarterial extracorporeal membrane oxygenation (VA ECMO) [11, 13].

Since 2011, peripheral VA ECMO (pVA ECMO) has been used at Shumakov Federal Research Center of Transplantology and Artificial Organs (Moscow, Russia) as the leading pretransplant MSC method.

The aim of this study was to evaluate an efficiency of pVA ECMO as the preferable method of short-term MCS in heart transplant candidates need in urgent HT.

## MATERIALS AND METHODS

The study included 125 patients (107 (86%) male and 18 (14%) female, age 12–72 ( $43 \pm 1.2$ ) years), who were treated pVA ECMO system in the period from April 1, 2011, to August 12, 2016. Etiology of advanced CHF were dilated cardiomyopathy (n = 82; 65%), ischemic heart disease (n = 31; 25.8%), restrictive cardiomyopathy (n = 1; 0.8%), hypertrophic cardiomyopathy (n = 1; 0.8%), peripartum cardiomyopathy (n = 3; 2.4%), congenital and acquired heart valve disorders (n = 3; 2.4%), cardiac allograft dysfunction (n = 4; 3.2%).

Among those patients, 11 (8.8%) had had prior cardiac surgery: coronary artery bypass (n = 2; 1.6%), prosthetics heart valves surgery (n = 5; 4.0%), primary HT (n = 4; 3.2%).

The concomitant diseases were diabetes mellitus (n = 2; 1.6%), cerebrovascular disorders (n = 3; 2.4%), past acute cerebrovascular events (n = 3; 2.4%), past pulmonary thromboembolism (n = 4; 3.2%), Emery–Dreifuss muscular dystrophy (c.del619C mutation in EMD exon 6) (n = 1; 0.8%).

Also, 27 (21.6%) potential heart recipients had high pretransplant pulmonary hypertension (transpulmonary pressure gradient above 15 mmHg and/or pulmonary vascular resistance above 4 Wood units).

The indication to pECMO was rapidly deterioration of cardiac function corresponding to level I or II of INTERMACS scale. A special indication to using pVA ECMO was saving the patient's life during cardiopulmonary resuscitation.

Before VA ECMO, 4 (3.2%) patients had got by intra-aortic balloon counterpulsation (IABP).

8 (4.8%) patients were under mechanical ventilation (n = 6) or noninvasive ventilator support (n = 2).

The method used for the cannulation of femoral vessels was either open (surgical) or closed (puncture). For the femoral vein, venous cannulae 23 and 25 F were used; for the femoral artery, arterial cannulae 15 and 17 F. In all cases, to prevent lower leg ischemia, catheterization (single-lumen catheter 14 F) or cannulation (arterial cannula 8 or 10 F) of superficial femoral artery in the descending (anterograde) direction was performed on the side of the femoral artery cannulation (Fig. 1).

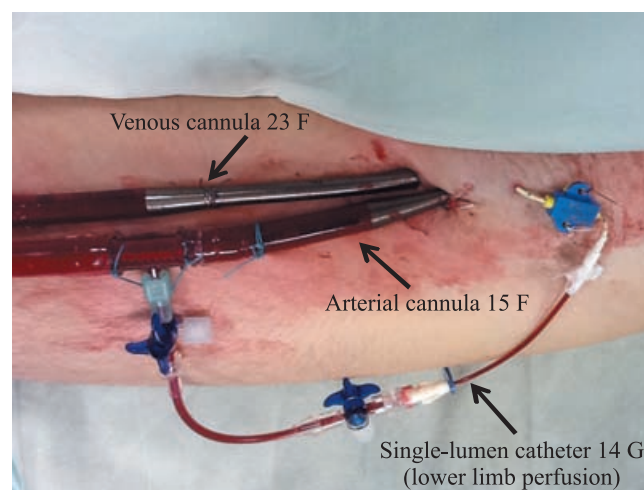


Fig. 1. Percutaneous puncture cannulation of lower limb vessels for peripheral venoarterial extracorporeal membrane oxygenation

Anticoagulation during pVA ECMO was ensured through continuous infusion of unfractionated heparin, such that the activated clotting time (ACT) was maintained at 130–150 s.

The adjuvant therapy included gastroprotective, antimicrobial, diuretic, cardiotoxic, and vasoactive (vasodilators, vasopressors) drugs.

For left ventricular unloading during pVA ECMO we used percutaneous transfemoral transseptal cannulation of the left atrium by additional venous cannula (15 or 17 F) or open the left ventricle cannulation via left thoracotomy (Fig. 2).

The statistical processing of the study results was performed using the IBM SPSS ver. 20.0 software.

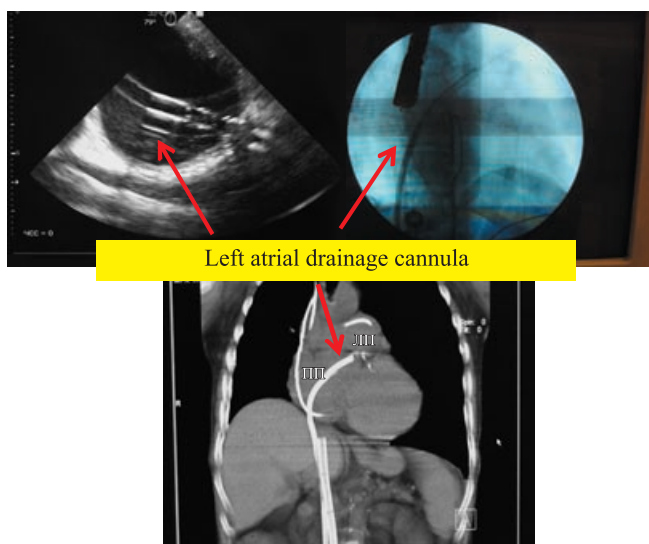


Fig. 2. Percutaneous transfemoral transeptal cannulation of left atrium during peripheral venoarterial extracorporeal membrane oxygenation

**RESULTS**

In 100% (n = 125) cases, the peripheral cannulation technique was used in potential heart recipients for VA ECMO as the method of pretransplant MCS. There were 69 (55.2%) and 51 (40.8%) patients with progressive CHF corresponding to INTERMACS levels I and II, respectively. In the remaining 5 (4.0%) observations, VA ECMO was used as the method of cardiopulmonary resuscitation; in those cases, peripheral cannulation was performed under manual (n = 1) or mechanical (AutoPulse system) (n = 4) chest compression (Fig. 3).

In 123 patients, the cannulation was performed under general anesthesia (propofol, fentanyl, rocuronium bromide, sevoflurane) and mechanical ventilation. In two patients, the cannulation was performed with preserved spontaneous respiration under local and intravenous anesthesia.



Fig. 3. Peripheral VA ECMO during cardiopulmonary resuscitation in potential heart recipients (clinical case)

Surgical and percutaneous techniques were used in 29 (23.2%) and 96 (76.8%) potential heart recipients, respectively. In 93 (74.4%) and 32 (25.6%) cases, the cannulation was performed using femoral vessels of one or both legs, respectively. In the majority (n = 117; 93.6%) of cases, the cannulation procedure was carried out in the operating room; in 8 (6.4%) patients, in the ICU, due to the urgent need to start MCS. Cannulation of peripheral vessels was done in the process of cardiopulmonary resuscitation in 5 (4.0%) potential recipients.

Technical problems with puncture cannulation appeared in 4 (3.2%) cases and were due to the difficulty in percutaneous forwarding of the arterial cannula. In two patients, due to the risk of complications, further attempts to insert the arterial cannula were cancelled and the femoral artery of the contralateral limb was cannulated. In all the cases, irrespectively of the cannulation technique (surgical or percutaneous), catheterization of the superficial femoral artery for perfusion and prevention of lower limb ischemia was performed. In four patients with increased risk of puncture cannulation because of the small internal diameter of the femoral artery ( $\leq 5$  mm), cannulation via surgical access was done.

When the open approach to cannulation was used, the duration of the time interval between the skin incision and the start of VA ECMO was  $86 \pm 12$  min and was longer (p < 0.05) than the interval ( $46 \pm 8$  min) between the femoral vessel puncture and the beginning of VA ECMO in the case of percutaneous cannulation technique.

In most (n = 97; 77.6%) patients, the duration of postoperative mechanical ventilation did not exceed 1 h (patient activity starts on the operating table); it lasted from 1 to 24 h in 18 (14.4%) patients and over 1 day in 10 (8.0%) patients. For 5 (4.0%) patients with long duration mechanical ventilation (over 5 days), percutaneous dilatational tracheostomy was performed.

During VA ECMO, the extracorporeal blood flow was 2.2 to 4.5 ( $3.2 \pm 0.4$  L/min) or  $1.6 \pm 0.2$  L/min/m<sup>2</sup> at centrifugal pump rate of  $3216 \pm 105$  rpm. To maintain the residual heart pump function, cardiotonics were used: dopamine (n = 66;  $3.8 \pm 0.4$   $\mu$ g/kg/min), dobutamine (n = 39;  $4.1 \pm 0.6$   $\mu$ g/kg/min), both dopamine and dobutamine (n = 20;  $7.4 \pm 0.9$   $\mu$ g/kg/min). Five (4%) potential recipients needed adrenaline ( $27 \pm 7$  ng/kg/min); 57 (45.6%) inodilator levosimendan.

To decrease the elevated mean blood pressure (above 90 mmHg), intravenous vasodilators was used in 21 (16.8%) patients: nitrosorbide dinitrate (n = 13) and sodium nitroprusside (n = 8).

Renal replacement therapy was needed by 21 (16.8%) patients to eliminate hypervolemia or hyperhydration, treatment of the metabolic, electrolyte, and/or multiple organ disorders. The leading method of

renal replacement therapy was continuous veno-venous hemofiltration (CVVH).

When the therapeutic measures (cardiotonics, diuretics, renal replacement therapy, invasive or noninvasive lung ventilation) failed to lead to left heart unloading and resolution of pulmonary edema, 31 patients (24.8%) underwent percutaneous transfemoral cannulation of the left atrium using an additional venous cannula (15 or 17 F) passed through the interatrial septum. In five (4.0%) observations, open drainage of the left ventricle was performed. In all the cases, active drainage of the left atrial/left ventricular cavity led to a reduction ( $p < 0.05$ ) of pulmonary arterial wedge pressure (PAWP) (from  $31 \pm 3$  to  $14 \pm 4$  mmHg), mean pulmonary artery pressure (from  $41 \pm 4$  to  $28 \pm 6$  mmHg) and to both clinical and radiological resolution of the pulmonary edema.

The main complication of surgical cannulation technique was bleeding (in 10 (34.4%) out of 29 potential recipients) from the site of arterial cannula insertion, which required repeated open revision of the surgical wound and additional hemostatic suturing of the femoral arterial wall. In 22 (22.9%) of the 96 patients who underwent percutaneous puncture cannulation, an additional purse-string skin suture for wound closure was applied: around the arterial cannula ( $n = 16$ ), venous cannula ( $n = 4$ ), or both arterial and venous cannulae ( $n = 2$ ).

In 10 (8.0%), the development of intravascular hemolysis with a free hemoglobin level above 100 mg% ( $312 \pm 105$  mg%) was noted; this required 1–5 ( $2.3 \pm 0.7$ ) plasmapheresis procedures. In three cases, the intravascular hemolysis was found to be due to thrombosis of the centrifugal pump head and disappeared after its replacement. In two cases, the use of VA ECMO was stopped in view of persistent hemolysis (above 200 mg%). In those observations, the patients underwent heart transplants on days 2 and 4 after the end of VA ECMO. Before HT, those patients stayed at the ICU, and cardiotoxic therapy with dopamine ( $6\text{--}8$   $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{min}$ ) was used to maintain the systemic hemodynamic.

Moderate and severe thrombocytopenia (under  $50 \times 10^9/\text{L}$ ) was found in 19 (15.2%) patients and required platelet transfusions. The number of platelet doses per patient was  $2.3 \pm 0.4$ .

In four (3.2%) patients, the membrane oxygenator was replaced on day 12–25 ( $18.8 \pm 2.7$ ) due to the impairment of its gas exchange function.

113 (90.4%) out of the 125 potential recipients underwent HT. In 109 of those 113 patients, the duration of VA ECMO was determined by the donor heart waiting period. In four patients, the heart transplant was postponed till the durable stabilization of the clinical condition and regression of multiorgan dysfunction. The duration of VA ECMO before HT ( $n = 113$ ) ranged from 8 h to 40 ( $7.1 \pm 2.7$ ) days: three days and less in 37

(32.7%) out of 113 patients; 4 to 7 days in 43 (38.1%) patients; 8 to 14 days in 21 (18.6%) cases; 15 to 21 days in 8 (7.1%) cases; and over 3 weeks in four (3.5%) people.

During VA ECMO, 12 (9.6%) of the 125 potential recipients (11 males and 1 female aged from 21 to 63 years, average  $40 \pm 4$  years) died before getting HT. In two (16.7%) of the 12 cases, the cause of the lethal outcome was brain death after an acute thromboembolic cerebrovascular event. The majority of the patients ( $n = 10$ , 83.3%) died of progressive multiple organ failure and sepsis. Also, 6 of 12 patients had single-lung ( $n = 2$ ) or bilateral ( $n = 4$ ) multisegmental pneumonia. Before the beginning of VA ECMO, the patients who subsequently died had had more marked ( $p < 0.05$ ) signs of systemic hemodynamic, organ function, electrolyte, and/or metabolic disorders compared to patients with a successful bridge to the heart transplant (Table).

Table

**Parameters of systemic hemodynamic, blood chemistry, electrolytes, acid-base composition before the beginning of mechanically assisted circulation in patients with different VA ECMO outcomes**

Parameter	Death during VA ECMO (n = 12)	Successful bridge to the heart transplant (n = 113)
CVP, mmHg	$26 \pm 4$	$18 \pm 3$
PAWP, mmHg	$36 \pm 6$	$28 \pm 2$
CI, L/min/m <sup>2</sup>	$1.3 \pm 0.2$	$1.9 \pm 0.2^*$
Dopamine/dobutamine, $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{min}$	$8.7 \pm 0.7$	$5.9 \pm 0.3^*$
Blood creatinine, $\mu\text{mol}/\text{L}$	$146 \pm 13$	$112 \pm 8^*$
Urea, mmol/L	$19 \pm 2$	$12 \pm 3$
Total bilirubin, $\mu\text{mol}/\text{L}$	$89 \pm 9$	$56 \pm 4^*$
ALT, U/L	$368 \pm 56$	$85 \pm 11^*$
AST, U/L	$376 \pm 45$	$71 \pm 12^*$
INR, IU	$3.1 \pm 0.3$	$1.7 \pm 0.2^*$
Blood albumin, g/L	$23 \pm 2$	$32 \pm 3^*$
Blood sodium, mmol/L	$124 \pm 3$	$133 \pm 4^*$
Arterial blood pH	$7.31 \pm 0.01$	$7.34 \pm 0.01$
Arterial blood BE, mmol/L	$-6.3 \pm 0.9$	$-3.3 \pm 0.6^*$
Blood lactate, mmol/L	$7.4 \pm 1.2$	$3.2 \pm 0.6^*$
Procalcitonin, ng/mL	$3.5 \pm 0.5$	$1.2 \pm 0.2^*$

Note. CVP, central venous pressure; PAWP, pulmonary arterial wedge pressure; CI, cardiac index; ALT, alanine transaminase; AST, aspartate transaminase; INR, international normalized ratio; \* – denotes the significance of the difference ( $p < 0.05$ ).

## DISCUSSION

The number of patients with end-stage CHF has markedly increased, and so has the need for HT [14]. However, the world's annual number of HT is presently

becoming stagnant, since the number of heart donors does not increase at a sufficient rate [15]. Under these conditions of donor organ shortage, the use of various MCS systems is often the only possible way of keeping the patient alive during the HT waiting period [16]. According to the data of the ISHLT registry (2015), about 50% heart transplant recipients have pretransplant MCS [17].

There are various approaches to the selection of the optimal pretransplant MCS method depending on the type of the circulation disorder, severity of the clinical condition, prospects of performing an urgent or delayed HT, etc. [18]. As the mechanical circulatory bridge to the HT, different types of devices for both short- and long-term MCS can be used (Fig. 4).

The introduction of implantable LVADs into clinical practice has led to a quantitative and qualitative evolution of long-term MCS in potential heart recipients, as well as in patients who use this method of MCS as the destination therapy, in the case of contraindications to the HT or the patient’s refusal to replace his or her own heart with a transplanted one [19]. The 6-, 12- and 18-month survival of patients with LVADs is 82, 73, and 72%, respectively [20].

Presently, according to the data of the ISHLT registry, about one-half (42%) of the heart transplants are performed on patients using implantable LVADs. This is much higher than the frequency of using uni- and biventricular pulsatile-flow support devices (6%) and also temporary MCS systems, such as VA ECMO (0.9%) [17].

Long-term MCS using an implantable LVAD leads to a durable improvement in the organ perfusion, correction or complete resolution of the multiple organ dysfunction, regression of the high pretransplant pulmonary hypertension, improvement of the nutritional

status, reduction of comorbidity, and improvement of the patient’s physical activity, thus contributing to the adequate functional recovery of the potential recipient’s organism before HT [20].

However, the fairly frequent thromboembolic, hemorrhagic, purulent/septic complications and technical problems in LVAD functioning negatively affect the efficiency of the implantable long-term MCS systems [20].

In many potential heart recipients, CHF is due to the disturbance of the pumping functions of both left and right ventricles; under these conditions, the isolated use of LVAD does not seem efficient enough to cope with the systemic circulation disorders. The frequent (in 25–30% cases) development of acute right ventricular failure during LVAD requires long-term medicinal treatment and/or additional MCS (RVAD or VA ECMO) [21]. Up to 10% patients with LVAD need RV mechanical support [22]. The development of acute RV failure in patients with LVAD is due to the worsening of the previously existing RV dysfunction because of the displacement of the interventricular septum toward the left ventricle under the conditions of its hemodynamic unloading and the increased disturbances of interventricular interaction [22].

In addition, the use of implantable LVAD systems turns the subsequent HT into a repeated chest surgery with the risk of perioperative blood loss and development of infectious/inflammatory complications.

One should also mention the high cost of implantable LVADs, which is the reason why cheaper and equally efficient methods of pretransplant MCS are used even in hospitals of highly economically developed countries. The experience of the Huston Methodist Heart and Vascular Center (United States) in using long-term (~18 days) IABP with a high efficiency of pretransplant MCS (in 84% patients) and good results of subsequent HT (90-day survival at 94%) is notable [23]. It is noted that the ambulatory IABP support is no less efficient pretransplant MCS compared to implantable LVADs and 50 times cheaper [24, 25].

Considering the possibility of attaining a fast improvement of systemic hemodynamic and clinical condition with subsequent guaranteed urgent HT, some transplant centers prefer the use of temporary uni- or biventricular MCS [12]. One of the top-priority MCS techniques in critical disorders of systemic hemodynamic is VA ECMO, which, in the context of pretransplant MCS, is viewed as a biventricular assist device supplemented with extracorporeal membrane oxygenation [11]. In most heart transplant candidates, VA ECMO before the heart transplant is provided via peripheral cannulation technique. Advantages of pVA ECMO include the possibility of percutaneous puncture insertion of the arterial and venous cannulae into the lumens of femoral vessels, thus keeping the chest and the pericardial cavity intact in view of the subsequent heart transplant,

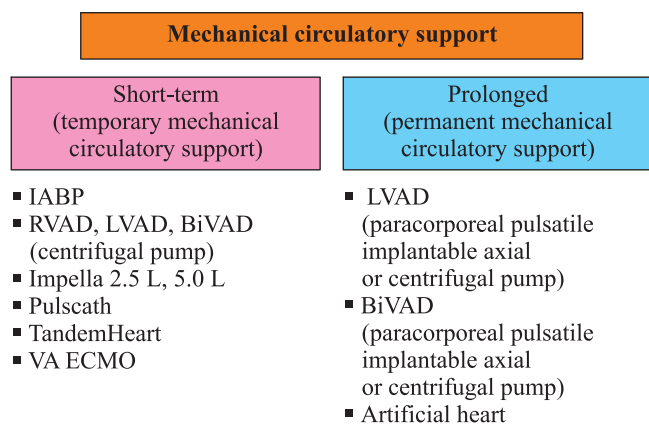


Fig. 4. Temporary and prolonged mechanical circulatory support methods

IABP, intra-aortic balloon counterpulsation; RVAD, right ventricular assist device; LVAD, left ventricular assist device; BiVAD, biventricular assist device; VA ECMO, venoarterial extracorporeal membrane oxygenation.

avoiding the development of solid and air embolisms in the blood vessels of the head, heart, and others (Fig. 5).

pVA ECMO through femoral vessels with the pumping of oxygenated blood in the ascending (retrograde) direction in the aorta contributes to the improvement of systemic circulation with a predominant increase in the splanchnic blood flow, thus creating more favorable hemodynamic and gas-exchange conditions for the improvement of blood supply and oxygenation of abdominal organs and resolution of hepatic, renal, intestinal, and, in general, multiple organ failure [27].

As the authors' experience shows, pVA ECMO is an efficient method of cardiopulmonary resuscitation in potential heart recipients with the possibility of adequate recovery of the organism after a circulatory arrest and subsequent successful mechanical bridge to HT.

pVA ECMO is the only MCS technique that can be used (without contour and oxygenator replacement) in the same patient both before and after HT in case of early cardiac allograft dysfunction. This, in our opinion, creates a unique possibility of performing a successful HT from marginal donors, which poses an increased risk of early but potentially reversible early cardiac allograft dysfunction.

Considering the high mortality in the heart transplant waiting list, some transplant centers and even national transplant programs (e.g., in Spain and France), parallel to increasing the number of implantable LVAD, have started widely using VA ECMO as the leading method of temporary MCS in potential recipients who are in need of an urgent heart transplantation [12]. For example, with the aim of efficiently reducing the mortality in the heart transplant waiting list, the system of donor heart allocation was changed in France in 2004: a high-urgency waiting list was created, which guaranteed the urgency of HT for patients with a temporary MCS, predominantly VA ECMO.

However, the use of pVA ECMO as the method of MCS before the heart transplant requires the resolution of several organizational and clinical problems. First of all, this includes performing HT within no more than 7–14 days; efficient correction of left heart hemodynamic overload, including the use of active left atrial or left ventricular drainage methods; prophylaxis of infection/inflammation at the sites of the peripheral vessel cannulation, etc. (Fig. 6). Prevention of lower limb ischemia requires special attention; in our practice, this is achieved by inserting an additional single-lumen perfusion catheter (size 16–14 G) for guaranteed blood supply to the leg. Percutaneous transfemoral drainage of the left atrium using an additional venous drainage cannula (size 15–17 F) ensures adequate unloading of the left heart during pVA ECMO.

Using of pVA ECMO in our transplant center has made possible to perform HT in 90.4% potential heart recipients with temporary MCS. On the basis of our five-year clinical experience we have created a protocol

for pVA ECMO as the method of MCS in heart transplant candidates, including the following main principles: timely beginning of pVA ECMO as the method of biventricular support before the beginning of irreversible multiple organ failure; peripheral, mostly puncture, cannulation technique; guaranteed perfusion of the lower limb for the prevention of its ischemia; timely volume unloading of left heart, including percutaneous transfemoral drainage of the left atrium through the interatrial septum; perform of HT within the shortest possible time after beginning of pVAECMO in the absence of significantly multiorgan dysfunction, etc. (Fig. 7).

On in our opinion pVAECMO is highly efficient and inexpensive method of temporary MCS with to create of possibility to reduce the waiting list mortality and perform of urgent HT.

## CONCLUSIONS

pVAECMO provides an efficient mechanical bridge to a heart transplant in 90% potential recipients who need pretransplant circulatory support.

The timely beginning of VA ECMO before the development of significant hemodynamic, organ, electrolyte, and metabolic disorders creates basis for the successful use of mechanical circulatory support in heart transplant candidates.

ADVANTAGES
<input type="checkbox"/> Open or percutaneous (puncture) cannulation technique
<input type="checkbox"/> Preservation of the intact chest and pericardial cavity
<input type="checkbox"/> Efficient method of cardiopulmonary resuscitation
<input type="checkbox"/> No risk of air embolism in cardiac and cerebral blood vessels
<input type="checkbox"/> Lower risk of infectious complications
<input type="checkbox"/> Less traumatic decannulation technique
<input type="checkbox"/> Possibility of use for MCS in case of early cardiac allograft dysfunction

Fig. 5. Potential advantages of peripheral VA ECMO compared to other methods of mechanical circulatory support in potential heart recipients

COMPLEX OF MEASURES
<input type="checkbox"/> Heart transplant to be performed within 1–3 weeks
<input type="checkbox"/> Prevention of lower limb ischemia
<input type="checkbox"/> Volume unloading of left heart
<input type="checkbox"/> Correction of the disproportional oxygenation between the upper and lower parts of body
<input type="checkbox"/> Immobilization of the lower limb
<input type="checkbox"/> Good care of the cannulation site
<input type="checkbox"/> Management of thrombocytopenia
<input type="checkbox"/> Hemostasis during the heart transplantation procedure
<input type="checkbox"/> Prevention of postdecannulation complications (hematoma, aneurysm, ascending and descending thrombosis, etc.)

Fig. 6. Improving the efficiency and preventing the complications during pVA ECMO as the method of MCS in heart transplant candidates



**THE PROTOCOL OF USING VA ECMO**

- Timely beginning of MCS
- Peripheral method of VA ECMO
- Puncture cannulation technique
- Early tracheal extubation after the beginning of VA ECMO
- Low heparin protocol of hypocoagulation (activated clotting time 130–150 s)
- Prevention of left heart volume overload
- Percutaneous transvenous drainage of the left atrium
- Prevention of infectious complications
- Prevention and management of multiple organ dysfunction
- HT performed within no more than 2–3 weeks, in the absence of clinically significant multiorgan and/or infectious complications

Fig. 7. The protocol of using VA ECMO as the method of pretransplant mechanical circulatory support in potential heart recipients

Percutaneous puncture cannulation is optimal method for installation pVAECMO in in heart transplant candidates.

pVAECMO is unique method of temporary MCS with can to use in same patient before and after heart transplant.

**REFERENCES**

1. Katz JN, Waters SB, Hollis IB, Chang PP. Advanced therapies for end-stage heart failure. *Curr Cardiol Rev.* 2015; 11: 63–72.
2. Kittleson MM. Changing Role of Heart Transplantation. *Heart Fail Clin.* 2016; 12: 411–421.
3. Prinzing A, Herold U, Berkefeld A, Krane M, Lange R, Voss B. Left ventricular assist devices – current state and perspectives. *J. Thorac. Dis.* 2016; 8: E660–E666.
4. Aeronson KD, Patel H, Pagani FD. Patients selection for left ventricular assist device therapy. *Ann. Thorac. Surg.* 2003; 75 (suppl): S29–S35.
5. Kirklin JK, Naftel DC, Pagani FD et al. Sixth INTERMACs annual report: a 10,000-patients database. *J. Heart Lung Transpl.* 2014; 33: 555–564.
6. Deschka H, Holthaus AJ, Sindermann JR, Welp H, Schlarb D, Monsefi N et al. Can Perioperative Right Ventricular Support Prevent Postoperative Right Heart Failure in Patients With Biventricular Dysfunction Undergoing Left Ventricular Assist Device Implantation? *J. Cardiothorac. Vasc. Anesth.* 2016; 30: 619–626.
7. Eckman P, Liao K. Right ventricular failure – a continuing problem in patients with left ventricular assist device support. *J. Cardiovasc. Transpl. Res.* 2010; 3: 604–611.
8. Cushing K, Kushnir V. Gastrointestinal Bleeding Following LVAD Placement from Top to Bottom. *Dig. Dis. Sci.* 2016 Jun; 61 (6): 1440–1447.
9. Robertson J, Long B, Koyfman A. The emergency management of ventricular assist devices. *Am. J. Emerg. Med.* 2016; 34 (7): 1294–1301.
10. Castel MA, Cartana R, Cardona D, Hernandez M, Sandoval E, Castella M, Perez-Villa F. Long-term outcome of high-urgency heart transplant patients with and wit-

hout temporary ventricular assist device support. *Transplant. Proceeding.* 2012; 44: 2642–2644.

11. Barth E, Durand M, Heylbroeck C et al. Extracorporeal life support as a bridge to high-urgency heart transplantation. *Clin. Transplant.* 2012; 26: 484–488.
12. D’Alessandro C, Coldmar JI, Lebreton G, Laali M et al. High-urgency waiting list for cardiac recipients in France: single-centre 8-years experience. *Eur. J. Cardiothorac. Surg.* 2016; Oct 2. pii: ezw291.
13. Kittleson MM, Patel JK, Moriguchi JD, Kawano M, Davis S, Hage A et al. Heart transplant recipients supported with extracorporeal membrane oxygenation: outcomes from a single-center experience. *J. Heart Lung Transplant.* 2011; 30 (11): 1250–1256.
14. Hullin R. Heart transplantation: current practice and outlook to the future. *Swiss Med. Wkly.* 2014; 144: w13977.
15. Davis MK, Hunt SA. State of the art: cardiac transplantation. *Trends Cardiovasc. Med.* 2014; 24 (8): 341–349.
16. Silva EJ. Mechanical Circulatory Support: Current Status and Future Directions. *Prog. Cardiovasc. Dis.* 2016; 58 (4): 444–454.
17. Lund LH, Edward LD, Kucheryavaya AY et al. The registry of the international society for heart and lung transplantation: thirty-second official adult heart transplantation; focus theme: early graft failure. *J. Heart Lung Transplant.* 2015; 34: 1244–1254.
18. Subramaniam K. Mechanical circulatory support. *Best Pract. Res. Clin. Anaesthesiol.* 2015; 29: 203–227.
19. Prinzing A, Herold U, Berkefeld A, Krane M, Lange R, Voss B. Left ventricular assist devices-current state and perspectives. *J. Thorac. Dis.* 2016; 8: E660–E666.
20. Sajgalik P, Grupper A, Edwards BS et al. Current Status of Left Ventricular Assist Device Therapy. *Mayo Clin. Proc.* 2016; 91: 927–940.
21. Dang NC, Topkara VK, Mercado M et al. Right heart failure after left ventricular assist device implantation in patients with chronic congestive heart failure. *J. Heart Lung Transplant.* 2006; 25: 1–6.
22. Meineri M, Van Rensburg AE, Vegas A. Right ventricular failure after LVAD implantation: prevention and treatment. *Best Pract. Res. Clin. Anaesthesiol.* 2012; 26: 217–229.
23. Estep AD, Cordero-Reyes AM, Bhimarai A et al. Percutaneous Placement of an Intra-Aortic Balloon Pump in the Left Axillary/Subclavian Position Provides Safe, Ambulatory Long-Term Support as Bridge to Heart Transplantation. *JASS: Heart Failure.* 2013; 1: 382–38.
24. Cochran RP et al. Ambulatory intraaortic balloon pump use as bridge to heart transplant. *Ann. Thorac. Surg.* 2002 Sep; 74 (3): 746–751.
25. Umakanthan R et al. Benefits of ambulatory axillary intra-aortic balloon pump for circulatory support as bridge to heart transplant. *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.* 2012 May; 143 (5): 1193–1197.
26. Briceno N, Kapur NK, Perera D. Percutaneous mechanical circulatory support current concepts and future directions. *Heart.* 2016; 102: 1494–1507.
27. Fuhman BP, Hernan LJ, Rotta AT et al. Pathophysiology of cardiac extracorporeal membrane oxygenation. *Artif. Organs.* 1999; 23: 10–23.

The article was submitted to the journal on 27.09.2016