

DOI: 10.15825/1995-1191-2020-2-113-116

ПЕРВЫЙ ОПЫТ ИМПЛАНТАЦИИ АППАРАТА МЕХАНИЧЕСКОЙ ПОДДЕРЖКИ КРОВООБРАЩЕНИЯ НА ОСНОВЕ НАСОСА ДИСКОВОГО ТИПА В ОСТРОМ ЭКСПЕРИМЕНТЕ

М.О. Жульков¹, А.М. Головин², Е.О. Головина², А.С. Гренадеров³, А.В. Фомичев¹,
С.А. Альсов¹, А.М. Чернявский¹

¹ ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр

имени академика Е.Н. Мешалкина» Минздрава России, Новосибирск, Российская Федерация

² Акционерное общество «Научно-производственная компания «ИМПУЛЬС-проект», Новосибирск, Российская Федерация

³ ФГБУН «Институт сильноточной электроники Сибирского отделения Российской академии наук», Томск, Российская Федерация

Цель. Провести имплантацию искусственного левого желудочка сердца на основе насоса дискового типа в остром эксперименте на крупном млекопитающем (mini-pig). **Материалы и методы.** Для апробации хирургической методики имплантации и оценки биосовместимости аппарата механической поддержки кровообращения на основе насоса вязкого трения был проведен острый эксперимент на животном. В качестве экспериментальной модели использовали крупное млекопитающее (mini-pig весом 90 кг). Имплантацию насоса выполняли экстракорпорально по схеме «верхушка левого желудочка – нисходящая грудная аорта». Во время эксперимента проводили мониторинг инвазивного артериального давления, центрального венозного давления, нарушений ритма сердца, температуры тела, газового состава крови, активированного времени свертываемости. Под контролем чреспищеводной эхокардиографии устанавливали режим работы насоса с параметрами: частота оборотов 2400–2600, производительность $4 \pm 0,5$ л/мин, среднее АД – 70–80 мм рт. ст. **Результаты.** В ходе проведенного эксперимента была доказана принципиальная возможность использования разработанного насоса дискового типа в качестве устройства вспомогательной поддержки кровообращения. На протяжении 4 часов насос обеспечивал адекватные параметры гемодинамики при средней производительности $4 \pm 0,5$ л/мин и 2500 об/мин. По прошествии 4 часов работы насоса в условиях инактивированного гепарина (АСТ – 114 с) между дисками насоса не было обнаружено сгустков крови. **Заключение.** Особенность гемодинамики дискового насоса позволяет развивать достаточные параметры производительности для обеспечения адекватного кровообращения. Механизм действия «пограничного слоя» позволяет минимизировать риск образования тромбов в полости насоса. Однако топографо-анатомические особенности тела свиньи не позволяют проводить эксперименты с длительным периодом наблюдения.

Ключевые слова: сердечная недостаточность, механическая поддержка сердца, дисковый насос Тесла, система обхода левого желудочка.

Для корреспонденции: Жульков Максим Олегович. Адрес: 630055, Новосибирск, ул. Речкуновская, д. 15.
Тел. (913) 721-07-91. E-mail: maks.zhulkov.92@mail.ru

Corresponding author: Maxim Zhulkov. Address: 15, Rechkunovskaya str., Novosibirsk, 630055, Russian Federation.
Tel. (913) 721-07-91. E-mail: maks.zhulkov.92@mail.ru

FIRST EXPERIENCE IN IMPLANTATION OF A MECHANICAL CIRCULATORY SUPPORT DEVICE BASED ON A DISK-TYPE PUMP: AN ACUTE EXPERIMENT

M.O. Zhulkov¹, A.M. Golovin², E.O. Golovina², A.S. Grenaderov³, A.V. Fomichev¹, S.A. Alsov¹, A.M. Chernyavsky¹

¹ National Medical Research Center, Novosibirsk, Russian Federation

² IMPULS-Project, Novosibirsk, Russian Federation

³ Institute of High Current Electronics, Tomsk, Russian Federation

Objective: to carry out the implantation of an artificial left ventricle of the heart based on a disk-type pump in an acute experiment on a large mammal (mini-pig). **Materials and methods.** To test the surgical technique of implantation and assess the biocompatibility of the apparatus for mechanical support of blood circulation based on a viscous friction pump, an acute experiment was conducted on an animal. A large mammal (mini-pig weighing 90 kg) was used as an experimental model. The implantation of the pump was performed extracorporeally according to the scheme «the apex of the left ventricle – the descending thoracic aorta». During the experiment, invasive blood pressure, central venous pressure, cardiac arrhythmias, body temperature, blood gas composition, activated coagulation time were monitored. Under the control of transesophageal echocardiography, the pump operation mode was set with parameters – speed 2400–2600, productivity 4 ± 0.5 l/min, average IAD – 70–80 mm Hg. **Results.** In the course of the experiment, the fundamental possibility of using the developed disk-type pump as a device for supporting blood circulation was proved. For 4 hours, the pump provided adequate hemodynamic parameters with an average productivity of 4 ± 0.5 l/min and 2500 rpm. After 4 hours of operation of the pump in the conditions of inactivated heparin (AST – 114 sec), no blood clots were found between the pump disks. **Conclusion** The hemodynamics feature of the disk pump allows you to develop sufficient performance parameters to ensure adequate blood circulation. The mechanism of action of the «boundary layer» minimizes the risk of blood clots in the pump cavity. However, the topographic and anatomical features of the pig's body do not allow experiments with a long observation period.

Keywords: heart failure, mechanical support of the heart, Tesla disk pump, left ventricular bypass system.

ВВЕДЕНИЕ

За прошедшее десятилетие применение аппаратов вспомогательного кровообращения в клинической практике значительно возросло [1]. По данным двадцать пятого отчета общества трансплантации сердца и легких в 2008 году, каждая третья пересадка сердца была выполнена вторым этапом после имплантации искусственного левого желудочка (LVAD) [2]. Однако уже в 2014 году половина трансплантаций сердца в мире были выполнены на фоне ранее имплантированного LVAD [3]. При этом за последние годы резко возросла потребность в LVAD, так как увеличилось число пациентов, которым аппарат механической поддержки кровообращения был имплантирован в качестве окончательного метода лечения терминальной стадии хронической сердечной недостаточности [4]. Именно поэтому отечественные исследования в области разработки и внедрения систем вспомогательного кровообращения являются наиболее актуальными и востребованными.

Проведенные ранее стендовые испытания гемолитических свойств дискового насоса продемонстрировали хорошие результаты, позволяющие предположить принципиальную возможность имплантации

в живой организм и высокий уровень безопасности аппарата механической поддержки кровообращения на основе насоса вязкого трения [5].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для отработки хирургической методики имплантации и предварительной оценки биосовместимости аппарата механической поддержки кровообращения на основе насоса вязкого трения был проведен острый эксперимент на животном. В качестве экспериментальной модели использовалось крупное млекопитающее (mini-pig весом 90 кг). Накануне вечером животное лишали приема пищи, при этом доступ к воде не ограничивался. Премедикацию животному проводили в виварии внутримышечным введением раствора атропина и зоветила в дозе согласно весоростовым параметрам. Когда животное засыпало, подготавливали операционное поле. Эксперимент проводили в условиях эндотрахеального наркоза севофлюраном и миорелаксации (пипекурония бромид).

Во время эксперимента проводился мониторинг инвазивного артериального давления (иАД) путем катетеризации правой сонной артерии, центрального венозного давления (ЦВД) путем катетеризации

правой яремной вены, нарушений ритма сердца (электрокардиография), температуры тела, газового состава крови, активированного времени свертываемости (АСТ). С целью коррекции гиповолемических нарушений проводили инфузионную терапию кристаллоидными и коллоидными растворами.

Подготовка насоса к имплантации

На стерильном столе к входному и выходному патрубкам насоса фиксировали магистрали 1/2 дюйма. Затем производили заправку насоса физиологическим раствором на малых оборотах (500–1000 об/мин), проводя тщательное удаление воздушных эмболов (рис. 1).

Основной этап имплантации

Животное укладывали на правый бок. Выполняли переднебоковую торакотомию в VI межреберье слева с частичной поднадкостничной резекцией 6-го ребра. Магистрали LVAD проводили через сформированные подкожные каналы паравerteбрально. После системной гепаринизации (3 мг/кг) и бокового отжатия грудной аорты формировали анастомоз по типу «конец в бок» между дакроновым сосудистым протезом 12 мм и нисходящей грудной аортой нитью 5/0. Отточную магистраль соединяли с выходным патрубком насоса. Имплантацию приточной канюли проводили



Рис. 1. Этап подготовки (заправки) насоса

Fig. 1. Stage of preparation (refueling) of the pump

на работающем сердце через бессосудистую зону верхушки левого желудочка. Приточную магистраль соединяли с соответствующим патрубком насоса. Под контролем чреспищеводной эхокардиографии устанавливали режим работы насоса с параметрами – частота оборотов 2400–2600, производительность $4 \pm 0,5$ л/мин, среднее АД – 70–80 мм рт. ст. (рис. 2).

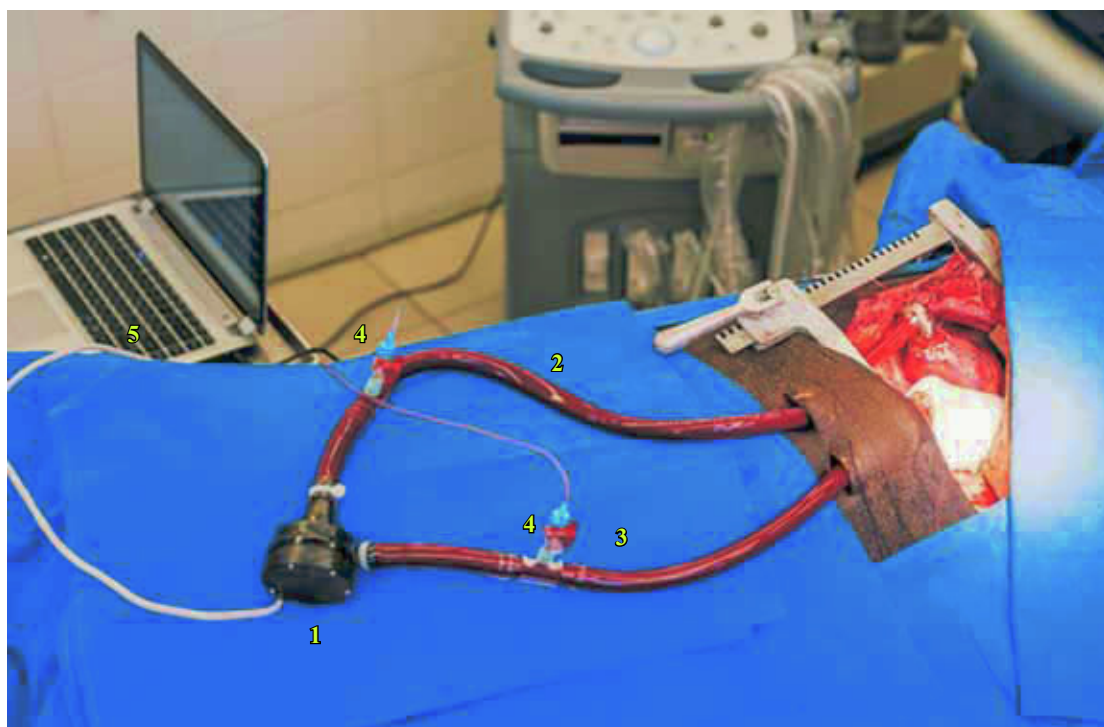


Рис. 2. Общий вид раны и работающего LVAD: 1 – насос; 2 – приточная магистраль; 3 – отточная магистраль; 4 – порт для измерения давления; 5 – блок управления

Fig. 2. General view of the wound and the working LVAD: 1 – pump; 2 – supply line; 3 – outlet line; 4 – port for measuring pressure; 5 – control unit

Предварительные стендовые исследования гемолитических свойств дискового насоса на человеческой крови продемонстрировали низкий уровень гемолиза [4].

Кроме отработки хирургической техники имплантации аппарата вспомогательного кровообращения на основе насоса дискового типа в эксперименте была поставлена задача изучить тромбогенность внутренней поверхности насоса и его движущихся частей. Для этого насос был поставлен в жесткие условия работы. Через 30 минут после выхода на расчетные параметры, был полностью инактивирован гепарин (АСТ – 114 с). На протяжении 4 часов насос работал без сбоев, на фоне отсутствия пульсовых пиков на сфигмограмме (среднее иАД 70–80 мм рт. ст.), показатели газового состава крови демонстрировали адекватность системной перфузии. Каждые 30 минут проводился забор крови с целью определения уровня свободного гемоглобина и газового состава (табл.).

Таблица

Показатели основных параметров гомеостаза во время эксперимента

Indicators of the main parameters of homeostasis during the experiment

Параметры	Время, мин							
	30	60	90	120	150	180	210	240
иАД, мм рт. ст.	90	100	110	115	105	100	95	105
ЧСС	76	86	83	78	80	86	89	85
SpO ₂ , %	98	97	98	97	95	98	98	98
FreeHb, мг/%	1,5	2,0	2,1	2,0	2,3	2,2	2,2	2,0
pH	7,4	7,5	7,4	7,4	7,4	7,4	7,4	7,5
cЛас, ммоль/л	2,0	2,5	3,0	2,0	3,5	2,0	3,0	3,0

Спустя 4 часа была выполнена эвтаназия животного в соответствии с Европейской конвенцией о защите позвоночных животных, используемых для экспериментов или в иных научных целях (Страсбург, 18.03.1986), насос эксплантирован. После демонтажа корпуса насоса и визуальной оценки на основании ротора был обнаружен белый, организованный и плотно фиксированный тромб, однако между дисками не было обнаружено сгустков крови, что позволяет высказать предположение о достаточно высокой биосовместимости насоса вязкого трения по отношению к сердечно-сосудистой системе животного.

ОБСУЖДЕНИЕ

В результате первого эксперимента по имплантации дискового насоса был утвержден протокол имплантации с учетом топографо-анатомических особенностей тела животного (mini-pig), позволяющий в будущем выполнить серию экспериментов по изучению длительной работы LVAD на основе насоса вязкого трения. Доказана принципиальная возмож-

ность насоса дискового типа замещать функцию левых отделов сердца. Результаты биохимического и газового анализа состава крови подтверждают, что рабочие параметры насоса (частота оборотов 2600, производительность 4 ± 0,5 л/мин) позволяют проводить адекватную перфузионную поддержку организма. Во время первой имплантации дискового насоса в качестве LVAD в остром эксперименте были сделаны первые предположения о высокой степени биосовместимости покрытия внутренней поверхности корпуса и дисков насоса. По прошествии 4 часов работы насоса в условиях инактивированного гепарина (АСТ – 114 с) между дисками насоса не было обнаружено сгустков крови. Данный факт позволяет предполагать возможность применения максимально щадящей схемы антикоагулянтной терапии после имплантации LVAD на основе насоса дискового типа и значительно снизить риск опасных осложнений.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflict of interest.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Халилулин ТА и др. Особенности имплантации системы поддержки насосной функции сердца АВК-Н в качестве «моста» к трансплантации сердца. *Вестник трансплантологии и искусственных органов*. 2018; 20 (1): 13–22. Halilulin TA i dr. Osobennosti implantacii sistemy podderzhki nasosnoj funkcii serdca AVK-N v kachestve «mosta» k transplantacii serdca. *Vestnik transplantologii i iskusstvennyh organov*. 2018; 20 (1): 13–22.
2. Nangia G, Borges K, Reddy KR. Use of HCV-infected organs in solid organ transplantation: An ethical challenge but plausible option. *Journal of viral hepatitis*. 2019.
3. Колоскова НН. Терминальная сердечная недостаточность. Отбор пациентов для постановки в «лист ожидания» на трансплантацию сердца / 14.01.05. – кардиология // 14.01.26. – сердечно-сосудистая хирургия. М., 2011. Koloskova N.N. Terminal'naya serdechnaya nedostatochnost'. Otbor pacientov dlya postanovki v «list ozhidaniya» na transplantaciyu serdca / 14.01.05. – kardiologiya // 14.01.26. – serdechno-sosudistaya hirurgiya. M., 2011.
4. Lund LH et al. The registry of the International Society for Heart and Lung Transplantation: thirty-third adult heart transplantation report – 2016; focus theme: primary diagnostic indications for transplant. *The Journal of Heart and Lung Transplantation*. 2016; 35 (10): 1158–1169.
5. Medvedev AE et al. Implanted system of mechanical support of the disk-based heart pump viscous friction. *AIP Conference Proceedings*. AIP Publishing, 2018; 2027 (1): 030149.

*Статья поступила в редакцию 12.09.2019 г.
The article was submitted to the journal on 12.09.2019*