

DOI: 10.15825/1995-1191-2024-1-67-77

# ПЕРВЫЙ ОПЫТ ИМПЛАНТАЦИИ ИСКУССТВЕННОГО ЖЕЛУДОЧКА СЕРДЦА HEARTMATE III У ДЕТЕЙ ПОСЛЕ ХИРУРГИЧЕСКОЙ КОРРЕКЦИИ СЛОЖНЫХ ВРОЖДЕННЫХ ПОРОКОВ СЕРДЦА

*К.В. Шаталов, М.В. Махалин, М.А. Чупина, Е.З. Голухова*

ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр сердечно-сосудистой хирургии имени А.Н. Бакулева» Минздрава России, Москва, Российская Федерация

**Актуальность.** Достаточно велико количество пациентов с критической сердечной недостаточностью, перенесших хирургическую коррекцию сложных врожденных пороков сердца. Имплантация систем механической поддержки кровообращения является единственной возможностью лечения пациентов с терминальной сердечной недостаточностью, рефрактерной к медикаментозной терапии. Опыт имплантации искусственных желудочков сердца маленьким пациентам обладает всего несколько центров, что представляет большую проблему для современной детской кардиохирургии. **Цель исследования:** представить первый опыт имплантации искусственного желудочка сердца (ИЖС) HeartMate III у пациентов после хирургической коррекции сложных врожденных пороков сердца. **Материалы и методы.** В 2021–2022 годах в ФГБУ «НМИЦ ССХ им. А.Н. Бакулева» Минздрава России было имплантировано 4 системы HeartMate III детям с критической сердечной недостаточностью, ранее оперируемых по поводу сложных врожденных пороков сердца. В одном случае одновременно с имплантацией ИЖС было выполнено репротезирование аортального клапана. **Результаты.** Все пациенты были выписаны из клиники. У одного пациента интраоперационно развилась правожелудочковая недостаточность, что потребовало применения правожелудочкового обхода в течение 8 суток. Осложнений со стороны центральной нервной системы, кровотечения, тромбоза насоса, инфекции не отмечалось. **Заключение.** Имплантации искусственного желудочка сердца (ИЖС) HeartMate III возможна для пациента с массой тела от 21 кг и BSA от 0,88 м<sup>2</sup>. У детей повышается толерантность к физической нагрузке, они полностью социально адаптируются, могут посещать школьные учреждения.

*Ключевые слова:* критическая сердечная недостаточность, искусственный желудочек сердца, врожденный порок сердца.

## IMPLANTATION OF HEARTMATE III VENTRICULAR ASSIST DEVICES IN CHILDREN AFTER SURGICAL TREATMENT OF COMPLEX CONGENITAL HEART DEFECT: FIRST EXPERIENCE

*K.V. Shatalov, M.V. Makhalin, M.A. Chupina, E.Z. Goluhova*

Bakulev Center for Cardiovascular Surgery, Moscow, Russian Federation

**Background.** There is quite a high number of patients with advanced heart failure (HF) who have undergone surgical treatment for complex congenital heart defects. Implantation of mechanical circulatory support systems is the only treatment option for patients with refractory end-stage heart failure. Only a few centers have experience in implantation of ventricular assist devices (VAD) in children, which is a major challenge for modern pediatric cardiac surgery. **Objective:** to present our first experience of implantation of HeartMate III VADs in patients after surgical correction of complex congenital heart defects. **Materials and methods.** From 2021 to 2022, at Bakulev Center for Cardiovascular Surgery, four HeartMate III systems were implanted in children with advanced HF, who had previously undergone surgery for a complex congenital heart defect. In one case, aortic valve implantation

**Для корреспонденции:** Махалин Максим Вадимович. Адрес: 121552, Москва, Рублевское шоссе, 135. Тел. (926) 220-31-10. E-mail: mmaxalin@mail.ru

**Corresponding author:** Maksim Makhalin. Address: 135, Rublevskoe Shosse, 121552, Moscow, Russian Federation. Phone: (926) 220-31-10. E-mail: mmaxalin@mail.ru

was carried out simultaneously with VAD implantation. **Results.** All patients were discharged from the center. One patient developed right-sided heart failure intraoperatively, which required the use of a right ventricular assist device (RVAD) for 8 days. There were no complications from the central nervous system, bleeding, pump thrombosis, or infection. **Conclusion.** HeartMate III can be implanted in patients with body weight  $\geq 21$  kg and BSA  $\geq 0.88$  m<sup>2</sup>. Children's tolerance to physical activity increases, they are fully adapted socially, and can attend school.

*Keywords:* advanced heart failure, ventricular assist device, congenital heart defect.

## ВВЕДЕНИЕ

Имплантация систем механической поддержки кровообращения часто является единственной возможностью лечения пациентов с терминальной сердечной недостаточностью, рефрактерной к медикаментозной терапии. Возможности трансплантации сердца ограничены дефицитом донорских сердец, который невозможно будет преодолеть. В мире количество имплантаций подобных систем увеличивается с каждым годом. Успешное применение желудочковых устройств для вспомогательного кровообращения в лечении терминальной стадии сердечной недостаточности у взрослых пациентов привело к промышленным инновациям в разработке искусственных желудочков сердца (ИЖС) с акцентом на уменьшение их размеров и снижению частоты развития возможных осложнений. Это создало предпосылки к использованию устройств нового поколения в педиатрической практике. За последнее десятилетие использование ИЖС у детей достоверно возросло, и устройства непрерывного потока нового поколения начали вытеснять старые устройства с пульсирующим потоком, которые ранее были единственным вариантом помощи маленьким пациентам. Несмотря на увеличение количества имплантатов ИЖС среди детей, число пациентов остается относительно небольшим. В литературе описаны случаи имплантации искусственного желудочка сердца HeartMate III у детей с дилатационной кардиомиопатией и после гемодинамической коррекции сложных врожденных пороков сердца (ВПС), закончившейся операцией Фонтена. В обзорных статьях указываются единичные случаи имплантации ИЖС HeartMate III у детей с врожденными пороками сердца, однако нет данных, при каких пороках и были ли они скорректированы до имплантации [1].

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В 2021–2022 годах в ФГБУ «НМИЦ ССХ им. А.Н. Бакулева» Минздрава России было имплантировано 4 системы HeartMate III детям, которые ранее были неоднократно оперированы по поводу коррекции сложных врожденных пороков сердца (единственный желудочек сердца (анатомически правый), двойное отхождение магистральных сосудов от правого желудочка, транспозиция магистральных сосудов и стеноз аортального клапана), у

которых в отдаленные сроки после операций развилась критическая сердечная недостаточность. Учитывая тяжесть состояния детей, нехватку доноров и особенности законодательной базы на территории Российской Федерации, имплантация ИЖС использовалась как альтернатива трансплантации сердца.

Демографические показатели, перенесенные операции и уровень INTERMACS представлены в табл. 1.

## Предоперационное обследование

Все пациенты были обследованы по единому протоколу, который включал в себя следующие исследования: ЭКГ, рентгенография органов грудной клетки, эхокардиография, ангиокардиография и коронарография с измерением показателей центральной гемодинамики, КТ органов грудной клетки с контрастом, биохимическое и гематологическое исследование крови.

При проведении ЭКГ у трех пациентов отмечался синусовый ритм с частотой сердечных сокращений, соответствующей возрастной норме. У одного пациента с имплантируемым 3-камерным электрокардиостимулятором CRTD дисфункция ЭКС не выявлено.

По данным рентгенологического исследования органов грудной клетки у всех пациентов отмечается увеличение размеров сердца, кардиоторакальный индекс составил от 52 до 75%.

Эхокардиографическое исследование проводилось по протоколу, принятому в нашем центре. У всех пациентов отмечается резкое снижение сократительной функции левого или системного желудочка и значительное увеличение его линейных размеров. У двух пациентов не было выявлено выраженных стенозов или недостаточности клапанов сердца, у одного пациента функция запирающих элементов митрального и трехстворчатого протезов удовлетворительная. У одного пациента отмечался повышенный пиковый градиент на аортальном протезе. Данные эхокардиографического исследования представлены в табл. 2.

При проведении ангиокардиографического исследования оценивались анатомия коронарных сосудов, анатомия сердца, измерялось давление в камерах сердца (рис. 1). С помощью катетера Свана–Ганса выполнялось измерение показателей центральной

гемодинамики, данные которых представлены в табл. 3.

Компьютерная томография органов грудной клетки с контрастом выполнялась у всех пациентов

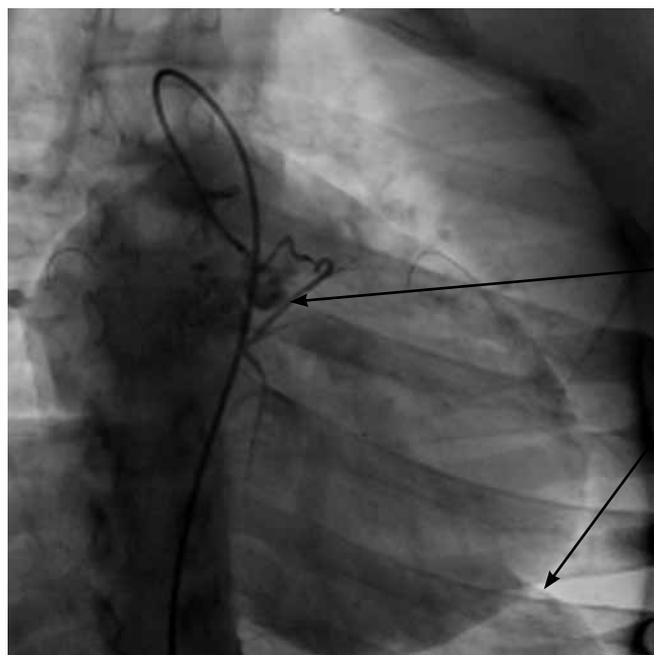
Таблица 1

**Характеристики пациентов до операции**  
**Preoperative patient characteristics**

Характеристика пациента	Пациент 1	Пациент 2	Пациент 3	Пациент 4
Возраст	11 лет 5 мес.	9 лет 4 мес.	13 лет 7 мес.	12 лет 10 мес.
Пол	Муж.	Жен.	Жен.	Муж.
Масса тела (кг)	35	21	49	53
BSA (м <sup>2</sup> )	1,23	0,88	1,52	1,5
Диагноз	Единственный желудочек сердца (анатомически правый)	Двойное отхождение магистральных сосудов от правого желудочка (ДОС от ПЖ)	Транспозиция магистральных сосудов	Стеноз аортального клапана
Перенесенные операции	1. Транслюминальная балонная атриосептэктомия 2. ДКПА, расширение МПС, перевязка ствола ЛА 3. Эмболизация БАЛКА 4. Операция Фонтена	1. Радикальная коррекция ДОС от ПЖ 2. Протезирование МК, иссечение подаортальной мембраны 3. Репротезирование МК, протезирование ТК 4. Имплантация 2-камерного ЭКС 5. Имплантация 3-камерного ЭКС CRTP	1. Транслюминальная балонная атриосептэктомия 2. Наложение СЛА, суживание ствола ЛА, перевязка ОАП 3. Операция артериального переключения	1. Пластика аортального клапана 2. Протезирование аортального клапана, стентирование ствола ЛКА и ПМЖВ 3. Стентирование ЛКА
Уровень INTERMACS	IV	IV	IV	IV

*Примечание.* BSA – площадь поверхности тела; ДКПА – двунаправленный кавапультмональный анастомоз; МПС – межпредсердное сообщение; ЛА – легочная артерия; БАЛКА – большая аорто-легочная коллатеральная артерия; МК – митральный клапан; ТК – трехстворчатый клапан; ЭКС – электрокардиостимулятор; CRTP – бивентрикулярный кардиостимулятор; СЛА – системно-легочный анастомоз; ОАП – открытый артериальный проток; ЛКА – левая коронарная артерия; ПМЖВ – передняя межжелудочковая артерия.

*Note.* BSA – body surface area; ДКПА – bidirectional cavopulmonary anastomosis; МПС – interatrial communication; ЛА – pulmonary artery; БАЛКА – major aortopulmonary collateral artery; МК – mitral valve; ТК – tricuspid valve; ЭКС – pacemaker; CRTP – cardiac resynchronization therapy pacemaker (CRT-P) – a biventricular pacemaker; СЛА – systemic-to-pulmonary artery shunt; ОАП – patent ductus arteriosus; ЛКА – left coronary artery; ПМЖВ – anterior interventricular artery.



Окклюзия огибающей артерии

Аневризма левого желудочка

Рис. 1. Выполнение коронарографии у пациента перед операцией имплантации ИЖС HeartMate III (окклюзия огибающей артерии, аневризма левого желудочка у пациента после коррекции ТМА)

Fig. 1. Coronarography before HeartMate III implantation (circumflex artery occlusion, left ventricular aneurysm after correction of transposition of the great arteries)

с целью оценки возможности расположения искусственного желудочка в полости перикарда. С помощью программы выстраивалась 3D-модель, которая позволяла определить расположение искусственного желудочка – либо полностью в полости перикарда, либо частично в левой плевральной полости (рис. 2).

Также выполнение данного исследования позволило более четко визуализировать анатомию коронарных артерий.

### Система оценки периоперационного риска

Оценка биохимических и гематологических показателей до операции позволяет более тщательно подготовить пациента к оперативному вмешательству и оценить риск развития неблагоприятных осложнений (табл. 4). Если данные показатели выходят за рамки целевых значений, пациенту начисляются

Таблица 2

**Данные эхокардиографического исследования пациентов до операции**  
**Preoperative echocardiographic data**

Показатели	Пациент 1*	Пациент 2**	Пациент 3	Пациент 4***
Левый желудочек:				
КДО (мл)	223	94	231	246
КДР (см)	6,6	4,4	5,0	6,9
ФВ (%)	18	22–24	32–35	25–30
Правый желудочек:				
ФВ/TAPSE		32/8	38/9	40/11
Митральный клапан:				
Недостаточность	Нет	Пик. гр. 18 мм рт. ст.	Нет	Нет
Стеноз	Нет	1 ст.	Нет	Нет
Трехстворчатый клапан:				
Недостаточность	Нет	Пик. гр. 5 мм Hg	1 ст.	1 ст.
Стеноз	Нет	1 ст.	Нет	Нет
Аортальный клапан:				
Недостаточность	Нет	Нет	1 ст.	Пик. гр. 50 мм Hg
Стеноз	Нет	Нет	Нет	2 ст.
Клапан легочной артерии:				
Недостаточность	Нет	Нет	1 ст.	1 ст.
Стеноз	Нет	Нет	Нет	Нет

*Примечание.* КДО – конечно-диастолический объем; КДР – конечно-диастолический размер; ФВ – фракция выброса; TAPSE – систолическая экскурсия плоскости кольца трикуспидального клапана; \* – единственный анатомически правый желудочек; \*\* – протез митрального и протез трехстворчатого клапана; \*\*\* – протез аортального клапана.

*Note.* КДО – end-diastolic volume; КДР – end-diastolic diameter; ФВ – ejection fraction; TAPSE – tricuspid annular plane systolic excursion; \* – single right ventricle; \*\* – mitral valve implantation and tricuspid valve implantation; \*\*\* – aortic valve implantation.

Таблица 3

**Оценка показателей центральной гемодинамики у пациентов до операции**  
**Pre-operative evaluation of central hemodynamics in patients**

Показатели	Пациент 1	Пациент 2	Пациент 3	Пациент 4
Давление в легочной артерии:				
Систола	30	30	18	27
Диастола	23	12	11	18
Среднее	24	20	14	15
ДЗЛК (мм рт. ст.)	16	7	10	10
Сердечный индекс (л/мин/м <sup>2</sup> )	1,79	3,55	3,06	3,93
Ударный индекс (мл/м <sup>2</sup> )	15,2	61,3	34	59,5
Общее периферическое сосудистое сопротивление (дин·с/см <sup>5</sup> )	3618	1867	1753	1140
Транспульмональный градиент (мм рт. ст.)		6	4	8

*Примечание.* ДЗЛК – давление заклинивания в легочных капиллярах.

*Note.* ДЗЛК – pulmonary capillary wedge pressure.

баллы. Также следует учитывать наличие препаратов кардиотонической поддержки в предоперационном периоде, использование систем вспомогательного кровообращения и длительность искусственной вентиляции легких, что также отражается в баллах, которые затем суммируются и определяется риск выполнения имплантации ИЖС.

Если пациент набирает от 0 до 8 баллов – риск выполнения имплантации искусственного желудочка низкий, если от 9 до 16 баллов – средний риск, от 17 до 19 баллов – высокий риск выполнения операции, если более 19 – следует стабилизировать гемодинамическое состояние пациента, нормализовать показатели крови, после чего вернуться к вопросу об

Таблица 4

**Биохимические и гематологические показатели и оценка факторов риска**  
**Biochemical and hematologic parameters and risk factor assessment**

Показатели (баллы)	Пациент 1	Пациент 2	Пациент 3	Пациент 4
Гемоглобин	95	98	101	107
Тромбоциты $\leq 148 \times 10^3$ (7)	276	245	251	450
Альбумин $\leq 33$ г/л (5)	37	41	40	35
Гематокрит $\leq 34\%$ (2)	30	31	28	30
Мочевина $> 51$ (2)	2,7	3	7,8	7,2
МНО $> 1,1$ (4)	2,5	1,86	1,93	2,08
АСТ $> 45$ (2)	29	20	26	42
Среднее давление в ЛА $\leq 25$ мм рт. ст. (3)	24	20	14	15
Наличие вазодилататоров (4)	Да	Да	Да	Да
ИВЛ	–	–	–	–
ЭКМО/ВАБКП	–	–	–	–
Наличие кардиотонической поддержки (2)	Да	Да	Да	Да

*Примечание.* МНО – международное нормализованное отношение; АСТ – аспаргатаминотрансфераза; ЛА – легочная артерия; ИВЛ – искусственная вентиляция легких; ЭКМО – экстракорпоральная мембранная оксигенация; ВАБКП – внутриаортальная мембранная оксигенация.

*Note.* МНО – international normalized ratio; АСТ – aspartate aminotransferase; ЛА – pulmonary artery; ИВЛ – artificial ventilation; ЭКМО – extracorporeal membrane oxygenation; ВАБКП – intra-aortic balloon pump.

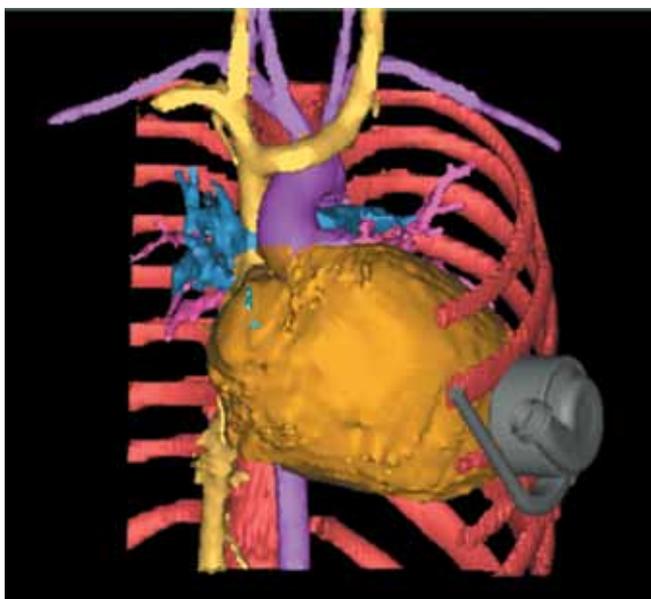


Рис. 2. 3D-моделирование расположения искусственного желудочка в полости перикарда (расположение ИЖС HeartMate III в полости перикарда)

Fig. 2. 3D modeling of the location of the ventricular assist device in the pericardial cavity (location of HeartMate III in the pericardial cavity)

имплантации искусственного желудочка. В нашей группе все дети имели 15 баллов, что соответствует среднему риску выполнения операции.

**Особенности хирургических вмешательств**

У всех пациентов доступ осуществлялся через срединную стернотомию. Учитывая, что всем детям ранее выполнялась коррекция сложных пороков сердца, в полости перикарда отмечался выраженный спаечный процесс, что требовало длительного и тщательного кардиолиза, обусловленного необходимостью выделения не только передней поверхности сердца и магистральных сосудов, но и верхушки и задней стенки левого желудочка. У двух пациентов в области верхушки левого желудочка был надсечен перикард продольным разрезом 2 см с целью увеличения ложа для имплантации апикального насоса системы. После чего подключался аппарат искусственного кровообращения путем раздельного канюлирования полых вен и восходящей аорты. Сердце вывихивалось из раны, и под контролем ЧП-ЭХО на верхушке левого желудочка в бессосудистой зоне определялось место имплантации апикальной канюли.

Обязательным условием адекватной работы ИЖС является его правильное расположение – он должен смотреть четко на митральный клапан и находиться равноудаленно от межжелудочковой перегородки и базальных отделов левого желудочка. К миокарду левого желудочка фиксировалась «муфта» для соединения с приточной частью искусственного желудочка. Циркулярным ножом № 12 формировалось отверстие в верхушке ЛЖ для имплантации апикальной канюли. Выполнялась имплантация системы HeartMate III с армированным кондуитом № 12, фиксированной к левому желудочку при помощи «муфты» (рис. 3).

Конduit укладывался в полости перикарда вдоль свободной стенки правого желудочка и правого предсердия. Необходимо тщательно измерить длину кондуита во избежание его перегибов и отсутствия его натяжения при дальнейшем росте ребенка (возможно сдавление правых камер сердца). Пристеночно отжималась передняя стенка восходящей аорты, к которой анастомозирован дистальный конец кондуита по принципу «конец в бок» непрерывным швом нитью Promilene 5-0.

Кабель привода насоса выводился через контр-апертуру на передне-боковую поверхность брюшной стенки слева, шнур укладывался в подкожно-жировой клетчатке S-образно. Насос HeartMate III через кабель подключался к системному блоку и начинал работу с 2000 оборотов, поддерживая поток 300–500 мл в минуту. Выполнялось контрольное ЧП-ЭХО-исследование, которое визуализировало правильное расположение апикальной канюли, от-

сутствие препятствия кровотоку, а также оценивало сократительную и насосную функцию правого и левого желудочков.

При удовлетворительных показателях гемодинамики заканчивалось искусственное кровообращение с увеличением работы насоса.

У одного пациента имплантация искусственного левого желудочка HeartMate III сочеталась с репротезированием аортального клапана. После пережата аорты и введения кардиоплегического раствора Custodiol восходящая аорта вскрыта поперечным разрезом на 2 см выше фиброзного кольца. При ревизии аортального протеза отмечалось нарастание пануса с заклиниванием одной створки. Клапан был иссечен, после чего в позицию аортального клапана был имплантирован бесшовный аортальный клапан PERCEVAL 21 мм (рис. 4).

### Течение раннего послеоперационного периода

У трех пациентов (75%) послеоперационный период протекал без осложнений. Длительность нахождения в стационаре, гемодинамические, гематологические, биохимические показатели, а также работа искусственного левого желудочка HeartMate III представлены в табл. 5.

Срок наблюдения в отдаленном периоде составил 1 год 3 месяца, 4 и 3 месяца соответственно. За этот период у детей повысилась толерантность к физической нагрузке, они полностью социально адаптировались, посещают школьные учреждения.

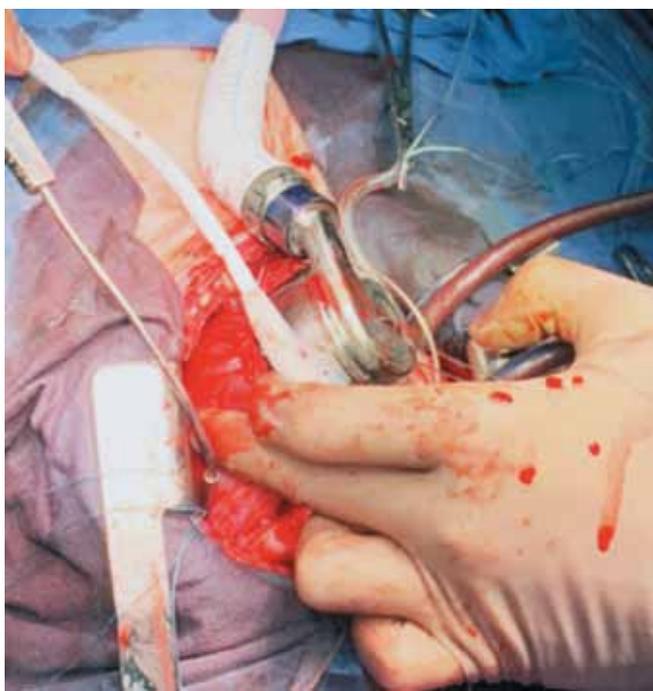


Рис. 3. Имплантации ИЖС HeartMate III

Fig.3. Implantation of HeartMate III



Рис. 4. Имплантация аортального клапана PERCEVAL

Fig.4. Implantation of aortic heart valve Perceval

У одного пациента, с исходно сниженной фракцией выброса правого желудочка (ФВ ПЖ до операции – 32%), интраоперационно развилась выраженная правожелудочковая недостаточность, резистентная к медикаментозной терапии (ФВ ПЖ – 18%, смещение межжелудочковой перегородки в полость левого желудочка, ЦВД – 18 мм рт. ст.). Было принято решение интраоперационно поставить правожелудочковый обход по схеме «правая бедренная вена – легочная артерия» с использованием центрифужного насоса без оксигенатора. Пункционным способом поставлена в правую бедренную вену венозная канюля Medtronic 19 Fr. К стволу легочной артерии подшит сосудистый протез диаметром 10 мм, который через 5-е межреберье выведен на переднюю стенку грудной клетки. Через сосудистый протез в ствол легочной артерии проведена артериальная канюля Medtronic 17 Fr (рис. 5).

Длительность использования правожелудочкового обхода составила 8 дней. Гемодинамические показатели пациента, данные ЭхоКГ-исследования, работа правожелудочкового обхода и работа искусственного левого желудочка HeartMate III представлены в табл. 6.

На 8-е сутки после операции система правожелудочкового обхода была удалена.

Длительность искусственной вентиляции легких составила 20 дней и 14 часов. На 24-е сутки ребенок переведен в отделение.

Пациент прошел полный курс медикаментозной и восстановительной терапии (учитывая его астенизацию). Период наблюдения после операции составил 1 год 1 месяц. Ребенок прибавил в весе, повысилась толерантность к физической нагрузке, он полностью социально адаптировался.

Таблица 5

**Течение послеоперационного периода у 3 пациентов после имплантации HeartMate III**  
**Postoperative period in 3 patients after HeartMate III implantation**

Показатели	Пациент 1	Пациент 2	Пациент 3
Длительность ИВЛ (ч)	14	91	21
Кардиотоническая поддержка	Левосимендан – 0,2 мкг/кг/мин	Левосимендан – 0,2 мкг/кг/мин Добутамин – 3,5 мкг/кг/мин	Норэпинефрин – 0,05 мкг/кг/мин Добутамин – 4 мкг/кг/мин
Длительность нахождения в стационаре (сут)	28	32	28
Гемоглобин	86	101	89
Гематокрит	27	28	26
Тромбоциты	276	251	450
Альбумин	40	41	35
Мочевина	2,7	4	7,2
АСТ	20	21	42
МНО	2,8	2,7	2,2
Поток насоса (л)	5,3	3,4	3,8
Скорость вращения насоса (об.)	6050	4850	5100
Мощность	4,7	3,2	3,5
Пульсовой индекс	2,1	5,5	6,2
ФВ ПЖ %	24	38	48
ФВ ЛЖ %	–	34	41
АД (ср.), мм рт. ст.	72	69	74
ЧСС	102	98	94
ЦВД, мм рт. ст.	11	10	12
Функция аортального протеза:			
Пиковый градиент			8
Средний градиент	–	–	3

*Примечание.* ИВЛ – искусственная вентиляция легких; АСТ – аспаратаминотрансфераза; МНО – международное нормализованное отношение; ФВ ПЖ – фракция выброса правого желудочка; ФВ ЛЖ – фракция выброса левого желудочка; АД – артериальное давление; ЦВД – центральное венозное давление.

*Note.* ИВЛ – mechanical ventilation; АСТ – aspartate aminotransferase; МНО – international normalized ratio; ФВ ПЖ – right ventricular ejection fraction; ФВ ЛЖ – left ventricular ejection fraction; АД – arterial pressure; ЦВД – central venous pressure.

**ОБСУЖДЕНИЕ**

Среди взрослого населения механическая поддержка кровообращения в настоящее время является основным методом лечения пациентов с терминальной стадией сердечной недостаточности [2, 3]. С накоплением опыта и улучшением результатов применения искусственных желудочков сердца у взрослых

пациентов последовали внедрение и адаптация данных технологий для использования в педиатрической практике.

ВПС является наиболее распространенным диагнозом у педиатрических пациентов, госпитализированных по поводу сердечной недостаточности [4]. В данной группе пациентов высокий пожизненный

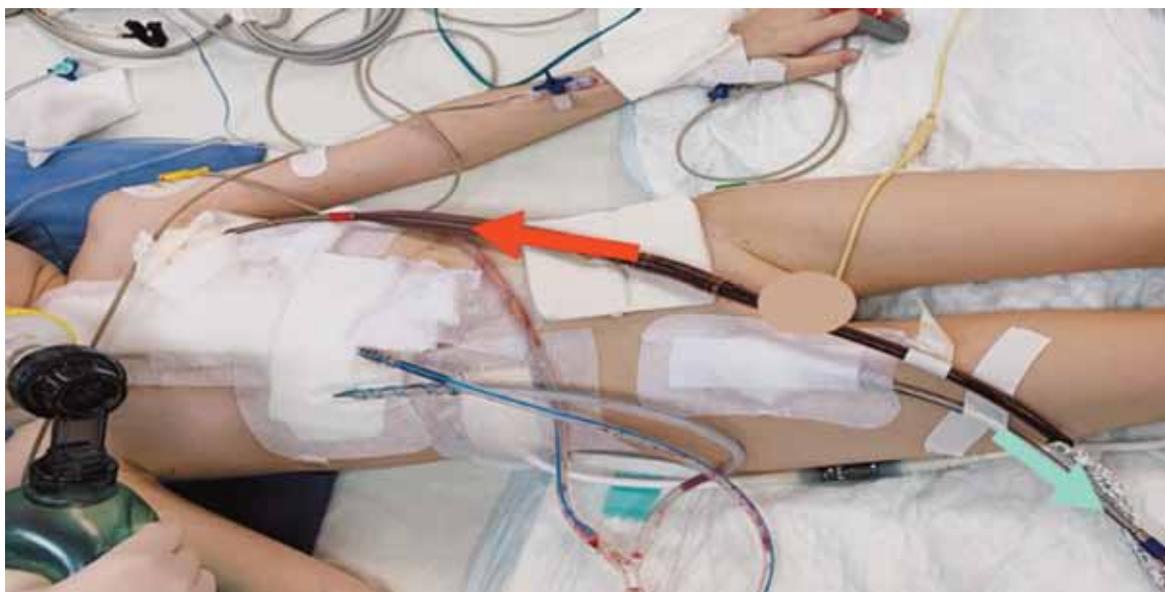


Рис. 5. Использование правожелудочкового обхода в раннем послеоперационном периоде у пациентки с правожелудочковой недостаточностью после имплантации ИЖС HeartMate III

Fig. 5. Use of right ventricular assist device in the early postoperative period in a patient with right-sided heart failure after HeartMate III implantation

Таблица 6

**Течение послеоперационного периода у пациента после имплантации HeartMate III с правожелудочковым обходом**  
**Postoperative period in a patient after implantation of HeartMate III right ventricular assist device**

Показатели	День 1	День 2	День 3	День 4	День 5	День 6	День 7	День 8
Работа ИЖС:								
Поток	2,9	2,8	2,5	2,7	2,4	2,9	2,7	2,9
Скорость насоса	4800	4800	4800	4800	4800	4800	4800	4800
Пульсовой индекс	2,7	2,9	2,9	3,1	2,4	2,4	2,6	2,5
Мощность	5,0	4,8	4,3	4,7	4,2	4,8	5,0	4,3
Работа ПЖО:								
Поток (л)	1,8	1,8	1,8	1,6	1,4	1,2	1,0	0,8
Скорость насоса (об.)	4500	4600	4650	4200	3750	2860	2320	1900
Ад (ср.)	64	68	71	70	67	74	68	70
ЦВД, мм рт. ст.	4	11	13	9	7	12	10	10
ФВ ЛЖ	32	31	30	29	31	30	28	32
ФВ ПЖ	18	32	37	40	47	45	46	51

*Примечание.* ИЖС – искусственный желудочек сердца; ПЖО – правожелудочковый обход; АД – артериальное давление; ЦВД – центральное венозное давление; ФВ ЛЖ – фракция выброса левого желудочка; ФВ ПЖ – фракция выброса правого желудочка.

*Note.* ИЖС – ventricular assist device; ПЖО – right ventricular assist device; АД – arterial pressure; ЦВД – central venous pressure; ФВ ЛЖ – left ventricular ejection fraction; ФВ ПЖ – left ventricular ejection fraction.

риск развития сердечной недостаточности, особенно в старшей возрастной группе и взрослых, у которых ВПС не был скорректирован в период новорожденности или в раннем детском возрасте, и по данным различных авторов, 10–20% из них нуждаются в пересадке сердца из-за остаточных гемодинамических или анатомических аномалий и последствий течения порока или перенесенных операций [5, 6]. Это касается как детей, перенесших операцию по поводу ВПС и достигших старшего возраста, так и взрослых пациентов (старше 19 лет), у которых ВПС был диагностирован впервые или находившихся под наблюдением и получающих медикаментозную терапию. В анализе 2018 года у 25% пациентов, нуждающихся в механической поддержке кровообращения, был диагностирован ВПС по сравнению с предыдущим отчетом PediMACs от 2016 года, где у 16–17,5% пациентов с VAD исходным диагнозом был ВПС [7]. Как правило, такие пациенты моложе, меньше ростом и перенесли ранее операцию на сердце по сравнению с пациентами с кардиомиопатией, миокардитом или сложными нарушениями ритма сердца [4].

За последнее десятилетие лечение терминальной стадии сердечной недостаточности в педиатрии значительно улучшилось благодаря более широкому использованию VAD [8]. По данным международного реестра общества трансплантации сердца и легких (The International thoracic organ transplant registry of the international society for heart and lung transplantation), в настоящее время более трети реципиентов детского возраста находятся на системе VAD [9]. По мере увеличения использования VAD для лечения сердечной недостаточности у детей смертность в листе ожидания сократилась вдвое [10]. Ранее стратегия механической поддержки в педиатрической популяции ограничивалась вено-артериальной экстракорпоральной мембранной оксигенацией (ВА ЭКМО) или паракорпоральными вспомогательными устройствами для желудочков с пульсирующим потоком (Berlin Heart), однако в настоящее время предпочтение отдается VAD с непрерывным потоком, что связано с улучшением выживаемости и снижением побочных эффектов [2, 11–13]. В педиатрии их использование было ограничено из-за ограничений по размеру [14, 15]. В настоящее время в детской практике системы вспомогательного кровообращения длительного использования имплантируются по поводу кардиомиопатии, однако использование их у группы пациентов с врожденными пороками сердца, особенно у пациентов со сложными врожденными пороками, увеличивается [7, 16].

В медицинском сообществе США и Европы существуют реестры, которые собирают совокупные данные из клиник и обобщают информацию о применении систем вспомогательного кровообращения длительного применения с описанием результатов

их применения, тактики ведения пациентов и возможных осложнений.

PediMACS, педиатрический реестр механической поддержки кровообращения в Северной Америке, был создан в 2012 году и собирает проспективные данные от педиатрических пациентов с VAD в возрасте до девятнадцати лет. В настоящий момент PediMACS включает около 600 пациентов с более чем 750 имплантированными устройствами [13].

EUROMACS – Европейский реестр пациентов с механической поддержкой кровообращения – это реестр, который собирает данные как о взрослых, так и о педиатрических пациентах, находящихся на механической поддержке кровообращения (МПК) по всей Европе [17]. В рамках данного реестра функционирует Pedi-EUROMACS, который обобщает и оценивает все клинические данные, собранные от педиатрической популяции по МПК. В своем втором отчете Pedi-EUROMACS изложил свои результаты и анализ 353 пациентов с 398 имплантируемыми устройствами. Одним из ключевых выводов было то, что выживаемость у пациентов >10 кг существенно не отличалась между паракорпоральными устройствами с пульсирующим кровотоком и VAD с непрерывным потоком, что указывает на то, что, возможно, тип VAD не является основным фактором риска неблагоприятного результата, и возможно, характеристики пациента могут играть более значительную роль, поскольку пациенты с BSA (площадь поверхности тела) <1 м<sup>2</sup> имели более высокую смертность, чем пациенты с BSA >1 м<sup>2</sup>, независимо от типа течения.

Advanced Cardiac Therapies Improving Outcomes Network (ACTION) представляет собой многоцентровую обучающую систему, ориентированную на улучшение результатов лечения пациентов детского возраста с критической сердечной недостаточностью. Используя данный ACTION, было проведено исследование, которое показало результаты лечения 35 детей и взрослых пациентов со сложными формами врожденных пороков сердца, которым имплантировали HeartMate III [13]. У большинства пациентов с ВПС было кровообращение Фонтана. Это исследование предоставило первые доказательства того, что HeartMate III можно эффективно использовать у педиатрических пациентов.

В нашей клинической практике мы имплантировали систему HeartMate III четырём пациентам, ранее перенесшим несколько операций по поводу коррекции сложных врожденных пороков сердца. В мировой литературе достаточно подробно описана имплантация ИЖС пациентам, перенесшим операцию Фонтана, но нет описания имплантации ИЖС после коррекции сложных врожденных аномалий [18].

Пациент, перенесший радикальную коррекцию ДОС от ПЖ и протезирование обоих атриовентрикулярных клапанов с имплантированным CRTD, был

резистентен к проводимой медикаментозной терапии, и имплантация ИЖС являлась единственной возможностью облегчить состояние пациента.

Пациенты после коррекции ТМА и протезирования аортального клапана со стентированием ЛКА и ПМЖВ имели сниженную фракцию выброса левого желудочка, у них возникал риск развития «внезапной смерти» от нарушений коронарного кровотока и ритма сердца.

Выбор бесшовного аортального клапана PERCEVAL был обусловлен возможностью снизить длительность искусственного кровообращения, уменьшить травматичность операции и предотвратить развитие нежелательных событий.

ФГБУ «НМИЦ ССХ им. А.Н. Бакулева» Минздрава России обладает опытом имплантации различных систем вспомогательного кровообращения длительного использования в качестве моста к трансплантации у детей. Трём пациентам с дилатационной кардиомиопатией, послеродовой кардиомиопатией и болезнью Уля в возрасте от 16 до 17,5 года и BSA >1,5 м<sup>2</sup> были имплантированы ИЖС Berlin Heart Excor и NasaDeBakey. В течение 8 месяцев после имплантации им была выполнена трансплантация сердца. Одному пациенту с дилатационной кардиомиопатией возрастом 7 лет и BSA <1,5 м<sup>2</sup> была имплантирована система Berlin Heart Excor. Ввиду сложной системы контроля работы ИЖС и его больших размеров ребенок вынужден был находиться в стационаре под наблюдением в течение 493 дней.

Учитывая наш опыт имплантации различных систем вспомогательного кровообращения, мы сделали вывод, что имплантируемая система HeartMate III является компактной, безопасной для маленьких пациентов, с минимальным риском развития возможных нежелательных событий.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Имплантация искусственного желудочка сердца HeartMate III возможна пациентам с массой тела от 21 кг и BSA от 0,88 м<sup>2</sup>. У детей повышается толерантность к физической нагрузке (дети могут совершать пешие прогулки в течение 2–3 часов), они полностью социально адаптируются, посещают школьные учреждения. Для предотвращения развития нежелательных событий в раннем и отдаленном периоде после имплантации ИЖС необходимо тщательно подходить к диагностике и лечению пациентов в предоперационном периоде.

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.*

*The authors declare no conflict of interest.*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. O'Connor MJ, Lorts A, Davies RR, Fynn-Thompson F, Joong A, Maeda K et al. Early experience with the HeartMate III continuous-flow ventricular assist device in pediatric patients and patients with congenital heart disease: A multicenter registry analysis. *J Heart Lung Transplant.* 2020; 39 (6): 573–579. doi: 10.1016/j.healun.2020.02.007.
2. Bartoli CR, Koenig SC, Ionan C, Gillars KJ, Mitchell ME, Austin EH 3rd et al. Extracorporeal membrane oxygenation versus counterpulsatile, pulsatile and continuous left ventricular unloading for pediatric mechanical circulatory support. *Pediatr Crit Care Med.* 2013; 14 (9): 424–437. doi: 10.1097/PCC.0b013e3182a551b0.
3. Conway J, Tunuguntla H. Big devices in small patients: adapting adult ventricular assist device for children. *J Heart Lung Transplant.* 2020; 39 (6): 580–581. doi: 10.1016/j.healun.2020.04.001.
4. Rossano JW, Kim JJ, Decker JA, Price JF, Zafar F, Graves DE et al. Prevalence, morbidity, and mortality of heart failure-related hospitalizations in children in the United States: a population-based study. *J Card Fail.* 2012; 18 (6): 459–470. doi: 10.1016/j.cardfail.2012.03.001.
5. Reardon L, Lin J. Advanced heart failure and transplant in congenital heart disease. *Heart.* 2021; 107 (3): 245–253. doi: 10.1136/heartjnl-2019-316366.
6. Schweiger M, Lorts A, Conway J. Mechanical circulatory support challenges in pediatric and (adult) congenital heart disease. *Curr Opin Organ Transplant.* 2018; 23 (3): 301–307. doi: 10.1097/MOT.0000000000000522.
7. Peng DM, Koehl DA, Cantor RS, McMillan KN, Barnes AP, McConnell PI et al. Outcomes of children with congenital heart disease implanted with ventricular assist devices: an analysis of the pediatric interagency registry for mechanical circulatory support (Pedimacs). *J Heart Lung Transplant.* 2019; 38 (4): 420–430. doi: 10.1016/j.healun.2018.10.008.
8. Rossano JW, Shaddy RE. Heart Failure in Children: Etiology and Treatment. *J Pediatr.* 2014; 165 (2): 228–233. doi: 10.1016/j.jpeds.2014.04.055.
9. Rossano JW, Cherikh WS, Chambers DC, Goldfarb S, Hayes D Jr, Khush KK et al. The International thoracic organ transplant registry of the international society for heart and lung transplantation: twenty-first pediatric heart transplantation report – 2018; focus theme: multiorgan transplantation. *J Heart Lung Transplant.* 2018; 37 (10): 1184–1195. doi: 10.1016/j.healun.2018.07.018.
10. Zafar F, Castleberry C, Khan MS, Mehta V, Bryant R 3rd, Lorts A et al. Pediatric heart transplant waiting list mortality in the era of ventricular assist devices. *J Heart Lung Transplant.* 2015; 34 (1): 82–88. doi: 10.1016/j.healun.2014.09.018.
11. Rossano JW, Lorts A, VanderPluym CJ, Jeewa A, Guleserian KJ, Bleiweis MS et al. Outcomes of pediatric patients supported with continuous-flow ventricular assist devices: a report from the pediatric interagency for mechanical circulatory support (PediMACS). *J Heart Lung Transplant.* 2016; 35 (5): 585–590. doi: 10.1016/j.healun.2016.01.1228.

12. Conway J, Miera O, Adachi I, Maeda K, Eghtesady P, Henderson HT et al. Worldwide experience of a durable centrifugal flow pump in pediatric patients. *Semin Thorac Cardiovasc Surg.* 2018; 30 (3): 327–335. doi: 10.1053/j.semtcvs.2018.03.003.
13. Morales DLS, Rossano JW, VanderPluym C, Lorts A, Cantor R, St Louis JD et al. Third annual pediatric interagency registry for mechanical circulatory support (Pedimacs) report: preimplant characteristics and outcomes. *Ann Thorac Surg.* 2019; 107 (4): 993–1004. doi: 10.1016/j.athoracsur.2019.01.038.
14. VanderPluym CJ, Adachi I, Niebler R, Griffiths E, Fynn-Thompson F, Chen S et al. Outcomes of children supported with an intracorporeal continuous-flow left ventricular assist system. *J Heart Lung Transplant.* 2019; 38 (4): 385–393. doi: 10.1016/j.healun.2018.09.015.
15. Blume ED, VanderPluym CJ, Lorts A, Baldwin JT, Rossano JW, Morales DLS et al. Second annual Pediatric Interagency Registry for mechanical circulatory support (Pedimacs) report: pre-implant characteristics and outcomes. *J Heart Lung Transplant.* 2018; 37 (1): 38–45. doi: 10.1016/j.healun.2017.06.017.
16. Adachi I, Burki S, Fraser CD Jr. Current status of pediatric ventricular assist device support. *Semin Thorac Cardiovasc Surg Pediatr Card Surg Annu.* 2017; 20: 2–8. doi: 10.1053/j.pesu.2016.09.010.
17. De By TMMH, Antonides CFJ, Schweiger M, Sliwka J, Davies B, Berger F et al. The European registry for patients with mechanical circulatory support (EUROMACS): second EUROMACS paediatric (Paedi-EUROMACS) report. *Eur J Cardiothorac Surg.* 2020; 57 (6): 1038–1050. doi: 10.1093/ejcts/ezaa132.
18. Ranney DN, Habermann AC, Meza JM, Turek JW, Lodge AJ, Vesel TP et al. Implantation of a HeartMate III ventricular assist device in a 21-kg pediatric patient with Fontan failure. *J Card Surg.* 2020; 35 (12): 3634–3637. doi: 10.1111/jocs.15088.

*Статья поступила в редакцию 25.09.2023 г.  
The article was submitted to the journal on 25.09.2023*