

УДК 616.12-089

DOI 10.17802/2306-1278-2020-9-4-59-70

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ЭКСТРАКОРПОРАЛЬНОЙ МЕМБРАННОЙ ОКСИГЕНАЦИИ У ДЕТЕЙ С БИВЕНТРИКУЛЯРНОЙ ФИЗИОЛОГИЕЙ В ПОСЛЕОПЕРАЦИОННОМ ПЕРИОДЕ

Ю.С. Синельников, Р.М. Шехмаметьев, П.В. Лазарьков, С.Н. Прохоров, Е.М. Лыжин

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Федеральный центр сердечно-сосудистой хирургии имени С.Г. Суханова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, ул. Маршала Жукова, 35, Пермь, Российская Федерация, 614013

Основные положения

• Технология экстракорпоральной мембранной оксигенации (ЭКМО) в Российской Федерации в настоящий момент не является инновационной, однако ее используют не так часто в связи с негативными прогнозами выживаемости, высокой стоимостью и большими трудозатратами для обеспечения надлежащего качества процедуры. Все это делает ЭКМО методикой, которой обладают специалисты узкого круга специализированных учреждений (в основном кардиохирургических центров); применение же у детей еще более редкое и сопряжено с огромными рисками. В статье отражен опыт использования ЭКМО в педиатрии, оценена динамика восстановления сократительной функции желудочков и определены предикторы, влияющие на исходы лечения в соответствии с общепринятыми критериями.

Цель

Проанализировать применение веноартериальной ЭКМО в раннем периоде после коррекции врожденного порока сердца у детей с бивентрикулярной физиологией, оценить динамику восстановления сократительной функции желудочков и установить предикторы, влияющие на исход лечения и прогноз заболевания.

Материалы и методы

Проведен ретроспективный одноцентровый анализ лечения 15 пациентов педиатрической группы и представлены краткосрочные результаты применения веноартериальной ЭКМО в раннем послеоперационном периоде с 2016 по 2018 г. В анализ включены все больные в возрасте от 1 мес. до 18 лет. Медиана возраста на момент коррекции составила 5 мес. (от 1 мес. до 4 лет), 60% детей были мужского пола.

Результаты

Причиной подключения ЭКМО в послеоперационном периоде у 5 (33,3%) больных явилась невозможность отлучения от ИК, у 4 (26,7%) – остановка кровообращения в послеоперационном периоде, в 6 (40%) случаях – рефрактерный синдром низкого сердечного выброса. Медиана массы тела составила 5,7 (от 3,7 до 15,6) кг. 14 пациентам выполнена бивентрикулярная коррекция, один пациент перенес паллиативную коррекцию, в последующем ему выполнена радикальная операция. Среднее время искусственного кровообращения составило 103,6 ($\pm 62,3$) мин, время окклюзии аорты – 51,9 ($\pm 27,3$) мин. 12 пациентов (80%) были отключены от ЭКМО. Общая госпитальная выживаемость составила 66,7% (10 пациентов). Среднее время ЭКМО у пациентов, которых удалось отключить, 118,4 ($\pm 37,5$) ч.

Заключение

Показатель выживаемости при ЭКМО, по нашему мнению, улучшается с увеличением количества выполненных процедур и накоплением опыта специалистами. Сократительная способность желудочков после ЭКМО достоверно улучшается. Продолжительное ЭКМО увеличивает количество связанных с процедурой осложнений, что негативно влияет на выживаемость. Представленный опыт применения ЭКМО у педиатрических пациентов по кардиальным показаниям отражает общероссийскую и мировую тенденцию использования механической поддержки кровообращения.

Ключевые слова

Врожденный порок сердца • Экстракорпоральная мембранная оксигенация • Искусственное кровообращение

Поступила в редакцию: 20.08.2020; поступила после доработки: 11.09.2020; принята к печати: 13.10.2020

Для корреспонденции: Петр Владимирович Лазарьков, pvlazarkov@gmail.com; ул. Маршала Жукова, 35, Пермь, Россия, 614013

Corresponding author: Petr V. Lazarkov pvlazarkov@gmail.com; address: 35, Marshala Zhukova St., Perm, Russian Federation, 614013

SINGLE-CENTER EXPERIENCE OF EXTRACORPOREAL MEMBRANE OXYGENATION IN CHILDREN WITH BIVENTRICULAR PHYSIOLOGY IN THE POSTOPERATIVE PERIOD

Yu.S. Sinelnikov, R.M. Shekhmametyev, P.V. Lazarkov, S.N. Prokhorov, E.M. Lyzhin

S.G. Sukhanov Federal Center of Cardiovascular Surgery, 35, Marshala Zhukova St., Perm, Russian Federation, 614013

Highlights

• Despite extracorporeal membrane oxygenation (ECMO) is not innovative in the Russian Federation, it is rarely used due to poor overall prognosis, high cost and time input to ensure the proper quality of the procedure. Therefore, a few intensivists from specialized cardiac centers possess particular competencies to perform ECMO. Pediatric ECMO is even rarer and is associated with enormous risks. The article reports a single-center experience of pediatric ECMO, including the restoration of ventricular contractile function. The predictors associated with the treatment outcomes following the generally accepted criteria have been identified.

Aim To assess the efficacy and safety of venoarterial ECMO in the early postoperative period after congenital heart surgery in children with biventricular physiology, to evaluate the recovery of ventricular contractile function, and to determine predictors able to predict the outcome of treatment and the prognosis of the disease.

Methods 15 medical records of pediatric patients treated in the period from 2016 to 2018 were retrospectively reviewed in a single-center study. The short-term outcomes of venoarterial ECMO in the early postoperative period were examined. Patients aged 1 month to 18 years were selected for the study. The median age of patients undergoing congenital heart surgery was 5 months (from 1 month to 4 years). 60% of them were male.

Results ECMO was started in the postoperative period due to inability to go off-pump in 5 OR patients (33.3%), postoperative circulatory arrest in 4 patients (26.7%), and low cardiac output syndrome in 6 patients (40%). The median body weight was 5.7 kg (from 3.7 to 15.6 kg). 14 patients underwent biventricular surgery. One patient underwent palliative repair, and then was referred to the total repair. The mean cardiopulmonary bypass time was 103.6 (± 62.3) minutes with the aortic cross-clamp time of 51.9 (± 27.3) minutes. 12 patients (80%) were disconnected from ECMO. The overall hospital survival was 66.7% (10 patients). The mean duration of ECMO support in survivors was 118.4 (± 37.5) hours.

Conclusion The survival of patients improves with the steeper learning curve. ECMO contributes to the improved ventricular contractile function. Prolonged ECMO increases the number of specific complications associated with the procedure and affects survival. Our single-center experience in pediatric ECMO is generally consistent with the national and global trends in the use of mechanical support for intensive care.

Keywords Congenital heart disease • Extracorporeal membrane oxygenation • Cardiopulmonary bypass • Postcardiotomy syndrome

Received: 20.08.2020; received in revised form: 11.09.2020; accepted: 13.10.2020

Список сокращений

ЭКМО – экстракорпоральная мембранная оксигенация	ИК – искусственное кровообращение
ВА ЭКМО – вено-артериальная экстракорпоральная мембранная оксигенация	СНСВ – синдром низкого сердечного выброса
	ФВ ЛЖ – фракция выброса левого желудочка

Введение

Экстракорпоральная мембранная оксигенация (ЭКМО) – метод поддержки кровообращения и газообмена у детей с тяжелым поражением сердца и/или легких [1]. Данные о частоте применения ве-

но-артериальной (ВА) ЭКМО в детской популяции по кардиальным показаниям, представленные медицинскими учреждениями, зависят от категории пациентов и составляют от 0,5 до 8,8%, в среднем около 2% [2, 3]. Так, потребность в применении

ВА ЭКМО после «открытых» операций среди пациентов до 18 лет в ФГБУ «ФЦССХ им. С.Г. Суханова» Минздрава России (Пермь) с 2016 по 2018 г. составила 2,3%.

ЭКМО обеспечивает поддержку кровообращения у пациентов с невозможностью отключения от искусственного кровообращения (ИК), рефрактерным синдромом низкого сердечного выброса и кардиальным арестом в послеоперационном периоде [4, 5]. Несмотря на увеличение числа ЭКМО и накопление опыта ведения данных больных, результаты применения ЭКМО детям по сердечным показателям хуже, чем при легочных показаниях [4]. Потенциальные причины более низкой выживаемости детей с патологией сердца – сложность пороков, ассоциация с внесердечными аномалиями, осложнения процедуры, задержки в подключении ЭКМО и послеоперационные остаточные сердечные дефекты [6]. Остаются не до конца изученными вопросы, связанные с выбором пациентов, сроками подключения ЭКМО и продолжительности поддержки, антикоагулянтной терапией, осложнениями и влиянием этих факторов на кратко- и долгосрочные результаты.

Цель исследования: проанализировать применение ВА ЭКМО в раннем периоде после коррекции врожденного порока сердца у детей с бивентрикулярной физиологией, оценить динамику восстановления сократительной функции желудочков и выявить предикторы, влияющие на исход лечения и прогноз заболевания.

Материал и методы

Проведен ретроспективный одноцентровой анализ лечения 15 пациентов педиатрической группы и представлены краткосрочные результаты применения ВА ЭКМО в раннем послеоперационном периоде с 2016 по 2018 г. В анализ включены все больные в возрасте от 1 мес. до 18 лет, потребовавшие ЭКМО по следующим причинам: невозможность отключения от ИК, кардиальный арест, рефрактерный к медикаментозной терапии синдром низкого сердечного выброса (СНСВ) в послеоперационном периоде. Новорожденные дети не включены в анализ, так как составляют отдельную группу для изучения (согласно регистру Extracorporeal Life Support Organization, ELSO). Всем детям, включенным в анализ, в конечном итоге предполагалось выполнение бивентрикулярной коррекции. Медиана возраста на момент коррекции составила 5 мес. (от 1 мес. до 4 лет), 60% пациентов – дети мужского пола. Всего с 2016 по 2018 г. выполнено 589 хирургических коррекций в условиях ИК у детей старше 1 мес. Процент потребности в экстракорпоральной поддержке по всем причинам составил 2,55%.

Рефрактерный СНСВ характеризуется снижением насосной функции сердца, приводящим к

нарушению доставки кислорода и последующей тканевой гипоксии. Согласно наиболее распространенному определению, СНСВ включает снижение сердечного индекса менее 2,0 л/мин/м² в сочетании с признаками тканевой гипоперфузии (холодные, липкие кожные покровы, нарушения сознания, олигурия, повышенный уровень лактата) в отсутствие гиповолемии, не поддающиеся коррекции симпатомиметиками и требующие вспомогательного механического кровообращения.

Критерии включения: дети от 1 мес. до 18 лет с бивентрикулярной физиологией, которым выполнена хирургическая коррекция врожденного порока сердца в условиях ИК.

Критерии исключения: новорожденные дети, пациенты с однопороковой гемодинамикой.

Критериями для подключения ЭКМО при рефрактерном СНСВ были: 1) гипотония, рефрактерная к введению трех симпатомиметиков – добутрекса, адреналина и норадrenalина (дозы симпатомиметиков были индивидуальными и зависели от вариабельной чувствительности рецепторов, снижались в критических состояниях); 2) гемодинамически значимые нарушения ритма сердца, рефрактерные к медикаментозной терапии (желудочковые тахикардии); 3) снижение фракции выброса левого желудочка (ФВ ЛЖ) менее 30% по методу Симпсона и сердечного индекса менее 2 л/м²/мин в сочетании с понижением диуреза менее 1 мл/кг/ч, лактаемией более 6 ммоль/л, которая не купируется в течение 6 ч.

Любой из трех представленных критериев являлся показанием для перевода на ВА ЭКМО. Критериями для отключения от ЭКМО служили стойкое повышение системного давления; улучшение сократительной функции ЛЖ (ФВ более 40%), измеренной с помощью эхокардиографии в оптимальных условиях нагрузки, при снижении скорости перфузии ЭКМО и дренажа левых камер до минимальных значений; отсутствие метаболических нарушений (лактат крови менее 2 ммоль/л, тест «Симптом белого пятна» ≤3 с).

Всем пациентам перед отключением от ЭКМО выполнена проба с пережатием дренажа левых камер и снижением расчетной скорости перфузии (которая составляла 100 мл/кг/мин) до 50%, затем до 20–30%. Оценка пациентов на возможность отключения от ЭКМО проводилась по стандартному алгоритму на 3-и сут при удовлетворительных показателях систолической функции миокарда желудочков (ФВ более 40%) и стандартной инотропной поддержке (5 мкг/кг/мин добутрекса, 0,05 мкг/кг/мин адреналина). При невозможности отключения в стандартные сроки дальнейшая оценка проводилась ежедневно до улучшения показателей систолической функции. Снижение пульсового давления, ФВ ЛЖ менее 40% во время пробного уменьшения

расчетной скорости перфузии ЭКМО являлись критериями для наблюдения этих больных в течение 4–5 ч со сниженной скоростью перфузии до 50 мл/кг. Отсутствие метаболического ацидоза и нарастания лактата, стабильная гемодинамика, стандартные дозы кардиотонической поддержки позволяли принять решение об отключении пациентов. Двум пациентам потребовалась подобная оценка. Повторных случаев подключения к ЭКМО не проводилось.

Для проведения ВА ЭКМО использовали аппарат BioMedicus (Medtronic, США) с оксигенаторами Hilite 2400 LT (ЗАО «ИМПЛАНТА», Россия). Антикоагулянтную терапию осуществляли нефракционированным гепарином для поддержания активированного времени свертываемости крови на уровне 180–200 с. Потребность в гепарине составила 10–20 Ед/кг/ч.

Из-за раннего возраста (медиана 5 мес.) всем детям выполнена периферическая канюляция шейным доступом к правой общей сонной артерии и внутренней яремной вене. В двух случаях использована комбинированная канюляция общей сонной артерии и правого предсердия с выведением канюли через контрапертурный разрез. Выбор данной комбинированной канюляции определяли наличие аномалии верхней полой вены и невозможность постановки венозной канюли должного размера для обеспечения достаточного венозного возврата. Осложнений, связанных с венозным возвратом и кровотечениями из мест канюляции, не наблюдалось. При подключении ЭКМО по причине сердечно-легочной реанимации после экстренной рестернотомии выполнена центральная канюляция с подключением стандартного аппарата ИК (по причине более быстрого заполнения контура ИК) с последующей периферической канюляцией и переходом на контур ЭКМО. Во всех случаях использован дренаж левого желудочка (10F), установленный через левое предсердие и подключенный к контуру венозного возврата с целью декомпрессии левого сердца – облегчения восстановления миокарда путем разгрузки расширенного левого желудочка и, следовательно, снятия напряжения стенки желудочка.

Исследование одобрено локальным этическим комитетом учреждения. Законные представители пациентов, включенных в анализ, подписали информированное добровольное согласие.

Статистический анализ

Статистический анализ проводился с помощью стандартного статистического пакета программ R. Оценка изменения ФВ ЛЖ при ЭКМО в качестве «моста» к восстановлению проводилась с помощью критерия Уилкокса для попарного сравнения двух зависимых переменных. Однофакторный дисперсионный анализ использован для оценки влияния причины ЭКМО на продолжительность процедуры

и воздействия заместительной почечной терапии на длительность госпитализации. Простая линейная регрессия применена для определения влияния продолжительности ЭКМО на длительность госпитализации. Логистическая регрессия использована для выявления воздействия продолжительности ЭКМО на выживаемость. Нормальность распределения и гомогенности дисперсии количественных показателей оценивали с помощью тестов Шапиро – Уилка и Барлетта соответственно.

Результаты

Медиана массы тела пациентов составила 5,7 (3,7–15,6) кг. Проанализировано 15 случаев подключения ЭКМО по всем причинам в послеоперационном периоде: невозможность отключиться от ИК – 5 (33,3%) больных, остановка кровообращения в послеоперационном периоде – 4 (26,7%), рефрактерный синдром низкого сердечного выброса – 6 (40%) пациентов (табл. 1).

14 пациентам выполнена бивентрикулярная коррекция. На остановленном сердце с защитой миокарда кустадиоловой или тепловой кровяной антеградной кардиоплегией в условиях нормотермии или умеренной гипотермии проведено 11 операций. Четырем пациентам выполнена коррекция на параллельном искусственном кровообращении. Один пациент перенес паллиативную коррекцию, в последующем ему проведена радикальная операция. Среднее время искусственного кровообращения составило 103,6 ($\pm 62,3$) мин, время окклюзии аорты – 51,9 ($\pm 27,3$) мин.

Двоим пациентом ЭКМО проводили в качестве «моста» к принятию решения, требовалось дополнительное вмешательство для коррекции осложненный первичного вмешательства (оба пациента выписаны). У остальных пациентов ЭКМО использована как «мост» к выздоровлению. На момент начала ЭКМО у пациентов не было абсолютных противопоказаний. 12 пациентов (80%) отключены от ЭКМО. Общая госпитальная выживаемость составила 66,7% (10 пациентов).

Всем пациентам применен подход «отдых легких» в режиме вентиляции: положительное давление в конце выдоха 8 см вод. ст., частота дыхания 10 вдохов в мин, дыхательный объем 6–8 мл/кг массы тела. Медиана времени искусственной вентиляции легких у выживших пациентов составила 206 (от 113 до 556) ч.

Исходная систолическая функция миокарда левого желудочков у 13 пациентов была удовлетворительная: ФВ – 63,8 ($\pm 6,7$) %. У двоих пациентов с аномальным отхождением левой коронарной артерии исходное значение фракции выброса левого желудочка составляло 19 и 24% соответственно (расчеты фракции выброса производили методом Симпсона). Для определения эффективности восстановления сократительной функции ЛЖ сравнивали

Таблица 1. Данные пациентов, переведенных на ЭКМО
Table 1. Characteristics of patients who required ECMO support

Год / Year	Возраст / Age	Пол / Sex	Операция / Surgery	Время ИК, мин / CPB time, min	Время зажима аорты, мин / ACC time, min	Причина ЭКМО / Reason for ECMO	Продолжительность ЭКМО, ч / Hours ECMO duration	к/д в ОРИТ / Days in ICU	к/д в стационаре / Days in a hospital	Исход / Outcome	Причина летальности / Cause of mortality
2016	7 мес. / 7 mos	М / М	Радикальная коррекция тетрады Фалло / TOF total repair	148	59	Невозможность отключить от ИК / Inability to go off-pump	192	8	8	Умер / Died	СПОН, ФЖ, бивентрикулярная недостаточность / MODS, VF. Biventricular failure
	1 мес. / 1 mo		Транслокация устья ЛКА в аорту / Switch of the LCA into the aorta	258	–		744				36
	7 мес. / 7 mos	Ж / F	Радикальная коррекция полной формы АВК / Total repair of CAVC	155	106	Рефрактерный синдром низкого сердечного выброса / Refractory low cardiac output syndrome	167	12	28	Выжил / Survived	
			120	68	144		7	Умер / Died	Отек ГМ, СПОН, ПЖ-недостаточность / Cerebral edema. MODS. Low right ventricular ejection fraction		
2017	1 год / 1 year	М / М	Пластика ДМЖП / VSD closure	151	21	Невозможность отключить от ИК / Inability to go off-pump	144	11	22	Выжил / Survived	
	8 мес. / 8 mos	Ж / F	Радикальная коррекция тетрады Фалло / Total TOF repair	86	63		120	13	28		
	2 мес. / 2 mos		Транслокация устья ЛКА в аорту / Switch of the LCA into the aorta	58	29	144	22	53	Экстракорпоральная сердечно-легочная реанимация / Extracorporeal cardiopulmonary resuscitation		
	2 мес. / 2 mos		Пластика ДМЖП / VSD closure	53	61	168	30	30	Умер / Died	СПОН, бивентрикулярная недостаточность / MODS. Biventricular failure	
	1 мес. / 1 mo	М / М	Пластика ДМЖП, операция Вардена / VSD closure + Warden procedure	52	24	72	23	35	Выжил / Survived		
2018	2 мес. / 2 mos	М / М	Пластика ДМЖП / VSD closure	75	41	Рефрактерный синдром низкого сердечного выброса / Refractory low cardiac output syndrome	96	15	28	Выжил / Survived	
	9 мес. / 9 mos		Баллонная легочная вальвулотомия; удаление гемоторакса слева; пластика ствола ЛА / Balloon pulmonary valvulotomy. Removal of hemothorax on the left. MPA repair	158	–	Экстракорпоральная сердечно-легочная реанимация / Extracorporeal cardiopulmonary resuscitation	96	27	42		
	5 мес. / 5 mos		Радикальная коррекция тетрады Фалло / Total TOF repair	118	78		96	9	21		
	1 мес. / 1 mo	Ж / F	Пластика ДМЖП / VSD closure	41	21	Рефрактерный синдром низкого сердечного выброса / Refractory low cardiac output syndrome	144	6	6	Умер / Died	Бивентрикулярная недостаточность / Biventricular failure
	5 мес. / 5 mos	М / М	МБТ-шунт № 3, 5, расширение ВТПЖ / MBT-shunt 3,5. Right ventricle augmentation	40	–	Невозможность отключить от ИК / Inability to go off-pump	48	6	34	Выжил / Survived	
	4 года / 4 years	Ж / F	Протезирование клапана и ствола ЛА / Pulmonary valve replacement + MPA repair	42	–	Экстракорпоральная сердечно-легочная реанимация / Extracorporeal cardiopulmonary resuscitation	120	12	35		

Примечание: АВК – атриовентрикулярный канал; ВТПЖ – выходного тракта правого желудочка; ГМ – головной мозг; ДМЖП – дефект межжелудочковой перегородки; ИК – искусственное кровообращение; К/д – койко-день; ЛА – легочная артерия; ЛЖ – левый желудочек; ЛКА – левая коронарная артерия; МБТ-шунт – модифицированный шунт Блэка – Тауссига; ОРИТ – отделение реанимации и интенсивной терапии; ПЖ – правый желудочек; СПОН – синдром полиорганной недостаточности; ФЖ – фибрилляция желудочков; ЭКМО – экстракорпоральная мембранная оксигенация.

Note: ACC – aortic cross-clamping; CAVC – complete atrioventricular canal; CPB – cardiopulmonary bypass; ECMO – extracorporeal membrane oxygenation; ICU – intensive care unit; PA – pulmonary artery; LCA – left coronary artery; MBT-shunt – modified Blalock Taussig shunt; MODS – multiple organ dysfunction syndrome; VF – ventricular fibrillation; VSD – ventricular septal defect; mo – month; TOF – Tetralogy of Fallot; MPA – main pulmonary artery.

ФВ непосредственно перед подключением к ЭКМО и после отключения у пациентов, которым удалось отключить. Получено значимое увеличение функции ЛЖ при использовании ЭКМО ($V = 1$, $p = 0,005$). Динамика восстановления функции ЛЖ представлена на рис. 1 и 2.

Осложнения ЭКМО

В нашем наблюдении кровотечение из места хирургического вмешательства, требующее повторной операции, встречалось у троих пациентов (20%). В представленных данных наблюдалось четыре неврологических осложнения: два из них стали причиной летальности в связи с развитием отека головного мозга.

В нашей совокупности 8 (53%) пациентов нуждались в заместительной почечной терапии в объеме перитонеального диализа. Показаниями являлись развитие олигоанурии, гиперволемии, отека легкого синдрома. Мы выявили, что потребность в заместительной почечной терапии во время ЭКМО явилась значимым предиктором увеличения длительности госпитализации ($p = 0,04$, число степеней свободы 1 и 8). В табл. 2 обобщены осложнения, возникшие при выполнении ЭКМО.

Среднее время ЭКМО у пациентов, которых удалось отключить, составило $118,4 (\pm 37,5)$ ч. Наибольший показатель, 744 ч, зарегистрирован у пациента с крайне низкой систолической функцией ЛЖ. У данного пациента наблюдалось наибольшее количество осложнений, его не удалось отключить от ЭКМО.

Мы провели однофакторный дисперсионный анализ для определения влияния причины подклю-

чения ЭКМО на продолжительность поддержки и не обнаружили достоверной значимости (число степеней свободы 2, число степеней свободы остатков 12, $F = 0,97$, $p = 0,4$).

Также мы выявили зависимость при анализе влияния длительности ЭКМО на выживаемость ($z = -1,68$, $p = 0,09$) в пределах статистической тенденции, то есть увеличение длительности ЭКМО отрицательно влияет на выживаемость. Это можно объяснить тем, что при увеличении времени поддержки ЭКМО возрастает количество осложнений,

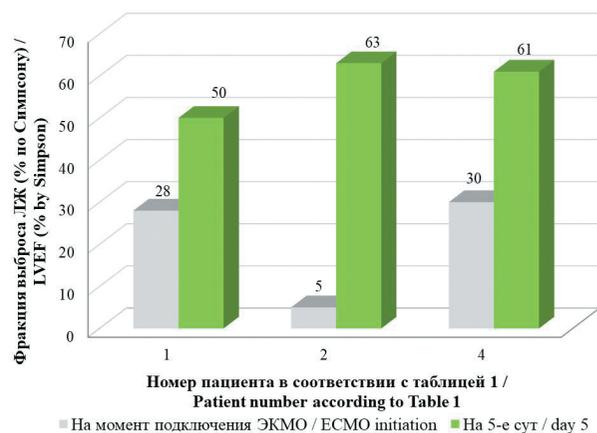


Рисунок 2. Гистограмма динамики фракции выброса у пациентов, умерших на ЭКМО

Примечание: ЛЖ – левый желудочек; ЭКМО – экстракорпоральная мембранная оксигенация.

Figure 2. Changes in the ejection fraction in patients who died on ECMO

Note: ECMO – extracorporeal membrane oxygenation; LVEF – left ventricular ejection fraction.

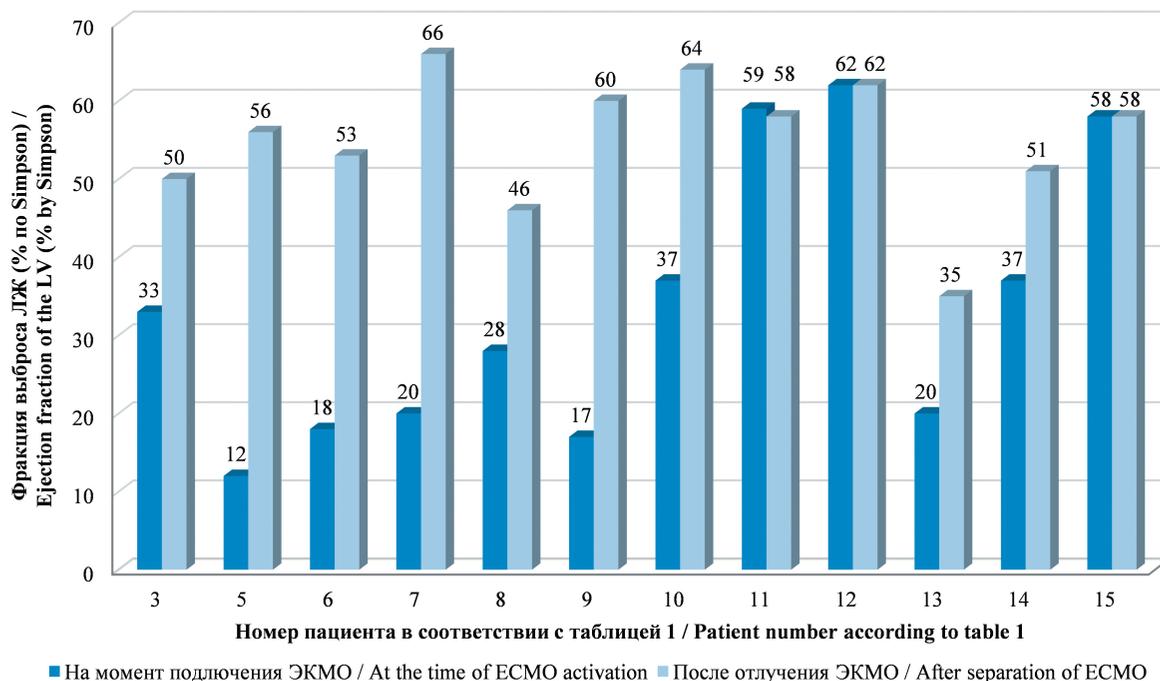


Рисунок 1. Гистограмма динамики фракции выброса у пациентов, отключенных от ЭКМО

Примечание: ЛЖ – левый желудочек; ЭКМО – экстракорпоральная мембранная оксигенация.

Figure 1. Changes in the ejection fraction of patients discontinued from ECMO

Note: ECMO – extracorporeal membrane oxygenation; LVEF – left ventricular ejection fraction.

которые в свою очередь негативно влияют на выживаемость. В нашем анализе длительность ЭКМО не влияла на продолжительность госпитализации у выживших пациентов ($t = -0.034815$, число степеней свободы 8, $p = 0,9731$, коэффициент корреляции -0.01230793), рис. 3.

Причины летального исхода: отек головного мозга у двоих пациентов, синдром полиорганной недостаточности у одного пациента, прогрессирование сердечной недостаточности у одного пациента и сепсис в одном случае.

По мере накопления опыта, более агрессивного подхода к переводу пациентов на экстракорпоральную поддержку отмечается улучшение результатов применения ЭКМО: так, в 2016 г. выживаемость составила 25% (выжил 1 из 4), в 2017 г. – 80% (выжили 4 из 5), в 2018 г. – 83% (выжили 5 из 6 пациентов).

Обсуждение

ЭКМО – высокорискованная, но потенциально жизнеспасающая процедура, выбор пациента для которой является сложным и противоречивым.

Таблице 2. Осложнения при проведении экстракорпоральной мембранной оксигенации, согласно регистру ELSO
Table 2. Complications during extracorporeal membrane oxygenation according to the ELSO registry

Вид осложнения / Type of complication	Количество осложнений / Number of complications, n (%)			Количество выживших с данным видом осложнений / The number of survivors with this type of complications, n (%)		
	2016	2017	2018	2016	2017	2018
Механическое: тромбоз / сгустки в контуре ЭКМО / Mechanical: thrombosis / clots: ECMO loop component	1 (25)	–	–	0 (0)	–	–
Механическое: выход из строя оксигенатора / Mechanical: oxygenator failure		–	–		–	–
Неврологическое: внутрижелудочковое кровоизлияние в ЦНС (подтвержденное данными УЗИ, КТ или МРТ) / Neurologic: Intraventricular CNS hemorrhage (US or CT or MRI)	1 (25)	1 (20)	–	0 (0)		–
Неврологическое: ишемический инсульт (подтвержденный данными УЗИ, КТ или МРТ) / Neurologic: CNS diffuse ischemia (CT/MRI)	–	–	2 (33)	–	–	2 (100)
Геморрагическое: кровотечение в хирургическом месте / Hemorrhagic: Surgical site bleeding	1 (25)	1 (20)	1 (17)	0 (0)	1 (100)	
Геморрагическое: ДВС-синдром / Hemorrhagic: disseminated intravascular coagulation syndrome	2 (50)					1 (100)
Геморрагическое: желудочно-кишечное кровотечение / Hemorrhagic: Gastrointestinal bleeding	1 (25)	1 (20)	–	0 (0)		–
Сердечно-сосудистое: тампонады (кровь) / Cardiovascular: Tamponade (blood)	0		0	–	1 (100)	–
Почечное: потребность в заместительной почечной терапии / Renal: Renal Replacement Therapy Required	3 (75)	3 (60)	2 (33)	1 (25)	2 (75)	2 (100)
Сердечно-сосудистое: гипертония, требующая вазодилататоров / Cardiovascular: hypertension requiring vasodilators	2 (50)	2 (40)	1 (17)	1 (50)	2 (100)	1 (100)
Метаболическое: умеренный гемолиз / Metabolic: Moderate hemolysis	1 (25)	2 (40)	2 (34)	1 (100)	2 (100)	
Метаболическое: тяжелый гемолиз / Metabolic: Severe hemolysis		1 (20)	1 (17)	0 (0)		
Метаболическое: pH >7,60 / Metabolic: pH>7.60	2 (50)	2 (40)	3 (50)	1 (50)	2 (100)	3 (100)
Метаболическое: гипербилирубинемия / Metabolic: hyperbilirubinemia			1 (17)			1 (100)
Метаболическое: pH <7,20 / Metabolic: pH <7.20	1 (25)	1 (20)		0 (0)	0 (0)	
Метаболическое: глюкоза >15 ммоль/л / Metabolic: glucose more than 15 mmol/L	2 (50)	3 (60)	3 (50)		2 (67)	
Инфекционное: инфекция, подтвержденная культурой / Infectious: culture-confirmed infection	–	1 (20)	–	–	0 (0)	–
Конечность: ишемия / Limb: Ischemia	1 (25)	–	–	0 (0)	–	–

Примечание: ДВС – диссеминированное внутрисосудистое свертывание; КТ – компьютерная томография; МРТ – магнитно-резонансная томография; УЗИ – ультразвуковое исследование; ЦНС – центральная нервная система; ЭКМО – экстракорпоральная мембранная оксигенация.

Note: CNS – central nervous system; CT – computed tomography; ECMO – extracorporeal membrane oxygenation; MRI – magnetic resonance imaging; US – ultrasound.

Во многих случаях определение приемлемого или неприемлемого риска остается неясным. Согласно ELSO, абсолютными противопоказаниями к ЭКМО являются все смертельные и необратимые состояния. К ним относятся летальные хромосомные аномалии (трисомии 13 и 18), тяжелые неврологические травмы (массивные внутричерепные кровоизлияния), злокачественные новообразования, которые не поддаются лечению, а также реципиенты аллогенной трансплантации костного мозга с легочными заболеваниями. Однако, несмотря на рекомендации ELSO, проведенное в 2009 г. исследование неонатальных центров ЭКМО в Северной Америке и Европе показало, что в 9% учреждений будут рассматривать ЭКМО для пациентов с трисомией 13, в 10% – для новорожденных с трисомией 18, в 27% – для пациентов с III или IV степенью внутрижелудочкового кровоизлияния и в 52% центров – для пациентов с тяжелой гипоксической ишемической энцефалопатией [7, 8]. В представленной нами выборке абсолютных противопоказаний не было.

Тип канюляции в первую очередь зависит от возраста пациента и показаний к вмешательству. Центральная (трансторакальная) канюляция прежде всего используется при невозможности отключения от ИК – осуществляется доступ к аорте и правому предсердию. При периферической ВА ЭКМО доступ у младенцев и детей раннего возраста обычно осуществляется через общую сонную артерию и внутреннюю яремную вену, поскольку бедренные сосуды слишком малы для размещения канюль [9].

Оптимальный возраст, при котором возможна бедренная канюляция, не определен. В исследовании Американской педиатрической хирургической Ассоциации 2018 г. возраст, в отличие от веса, отмечен преобладающим фактором. Пять лет – возраст, при котором большинство хирургов будут рассматривать бедренную канюляцию, однако канюляция через сосуды шеи остается предпочтительной для всех детских возрастных групп [10].

Недавняя крупная оценка регистра ELSO не продемонстрировала достоверной разницы в частоте неврологических осложнений (ишемический инсульт, внутричерепное кровоизлияние, судороги, смерть головного мозга) между каротидной и бедренной артериальной канюляциями у новорожденных и детей [11]. Несколько других анализов неонатальных и педиатрических пациентов из регистра ELSO показали значительно увеличенную частоту инсульта при каротидной канюляции по сравнению с бедренной или аортальной канюляциями, которая не зависела от возраста; однако исследования ограничены ретроспективным характером [12, 13]. Мы придерживаемся стратегии периферической каротидной канюляции у детей до 20 кг либо возрастом до 5 лет, если подключение производится в плановом порядке (провести стати-

стический анализ риска неврологических осложнений невозможно в связи с небольшим количеством наблюдений пациентов с данными осложнениями).

Подключение ЭКМО в рамках сердечно-легочной реанимации производится через подключение стандартного аппарата искусственного кровообращения. Это связано с возможностью более быстрого подключения, а в дальнейшем, уже в условиях экстракорпоральной поддержки кровообращения, выполнения диссекции каротидных сосудов и подключения периферического ЭКМО. Такая методика для нас видится целесообразной, так как снижается риск кровотечения, сокращается время от прямого массажа сердца до начала экстракорпорального кровообращения.

Важной составляющей ВА ЭКМО является декомпрессия левых камер сердца. Декомпрессия может смягчить осложнения гипертензии левого предсердия, включая отек легких [9]. В большинстве случаев мы использовали периферическую канюляцию через общую сонную артерию и внутреннюю яремную вену, исключения составили дети с анатомическими особенностями венозного возврата.

ELSO рекомендует подход «отдых легких» (lung rest) для уменьшения риска повреждения, вызванного искусственной вентиляцией легких. Важные компоненты защиты включают минимизацию давления плато с целевыми объемами ≤ 6 мл/кг (прогнозируемая масса тела), титрование положительного давления конца выдоха, снижение частоты дыхания [14]. Мы также использовали подход «отдых легких» в режиме вентиляции.

Осложнения, возникающие при ЭКМО, связаны с повышенным риском смертности и вторичной заболеваемости, а также могут иметь долгосрочные последствия для выживших пациентов [9]. Хирургическое кровотечение является наиболее распространенным осложнением в педиатрической популяции, увеличивающее смертность среди этих пациентов на 12%. В нашем наблюдении кровотечение из места хирургического вмешательства, требующее повторного вмешательства, встречалось у трех пациентов (20%), что примерно сопоставимо

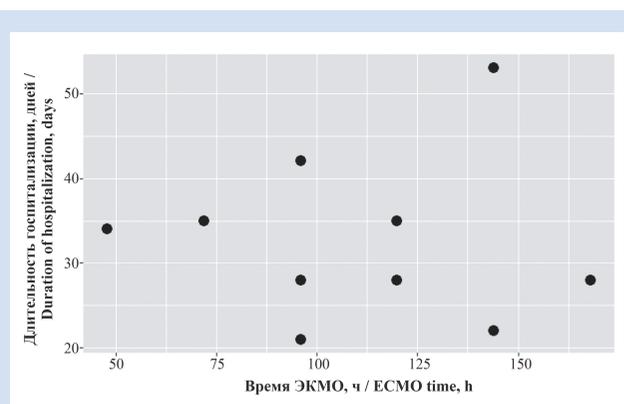


Рисунок 3. Влияние времени поддержки ЭКМО на длительность госпитализации

Figure 3. The impact of ECMO on the length of hospitalization

с данными литературы. Основная причина развития кровотечения, на наш взгляд, – потребность в антикоагулянтной терапии.

Неврологические последствия ЭКМО значительно ухудшают процент летальности и долгосрочные результаты лечения. Среди наиболее тяжелых осложнений – внутрижелудочковое кровоизлияние, ишемический инсульт. Часто описываемые факторы риска включают возраст <30 дней, недоношенность, тяжесть проявления основного заболевания, канюлирование во время сердечно-легочной реанимации [15–17]. В течение последних двух десятилетий широко изучены отдаленные неврологические исходы у детей, перенесших ЭКМО. Несколько групп авторов выявили проявление грубой моторной задержки у детей младшего школьного возраста и продолжающийся нейропсихологический дефицит [18–20]. Мы наблюдали четыре неврологических осложнения: два ишемических инсульта, подверженных данными мультиспиральной компьютерной томографии, и два массивных внутрижелудочковых кровоизлияния, которые стали непосредственной причиной смерти пациента.

Причинами летальных неврологических осложнений во время ЭКМО предположительно могут служить антикоагуляция в совокупности с артериальной гипертензией. Острое повреждение почек и перегрузка жидкостью во время ЭКМО также были независимыми факторами риска смертности. В регистре ELSO за последние три десятилетия острое повреждение почек выявлено у 12,9% детей [21–24].

Кроме того, на сегодняшний день 23,2% детей, получающих продленную механическую поддержку кровообращения, нуждаются в заместительной почечной терапии [25]. Среди исследованных нами пациентов в заместительной почечной терапии (в объеме перитонеального диализа) нуждались 53% (8 пациентов). Причины высокой потребности в заместительной почечной терапии были СНСВ, гипотензия, периферическая вазоконстрикция, а также повреждение почек в связи с гипоксемией, ацидозом при подключении ЭКМО в случаях остановки кровообращения и реанимационных мероприятий, гемолизом (длительное ИК, проблемы с контуром ЭКМО). По нашим данным, потребность в заместительной почечной терапии значимо увеличивает длительность госпитализации из-за длительного восстановления коркового вещества при остром почечном повреждении, особенно после относительно длительной гипоперфузии на фоне реанимационных мероприятий у соответствующих пациентов.

Определение продолжительности ЭКМО, после которой выживание или благоприятный исход становятся невозможными, представляет еще одну важную проблему. На данном этапе мы не можем дифференцировать продолжительность ЭКМО как предиктор негативного прогноза из-за небольшого

количества наблюдений. Критериями отключения от ЭКМО могут служить повышение пульсового давления и/или сократительной функции, измеренной с помощью эхокардиографии. Эхокардиографическая оценка должна проводиться в оптимальных условиях нагрузки, что требует снижения расхода контура ЭКМО и дренажа левых камер [9]. Мы действовали по стандартным критериям и протоколам, процент пациентов, которых удалось отключить от ЭКМО составил 80% (12 пациентов).

Ограничения

Из-за небольшого количества наблюдений не представляется возможным анализ многих предикторов, влияющих на выживаемость, в том числе неврологических осложнений, кровотечения из мест хирургического вмешательства. Не определено влияние места канюляции на частоту кровотечений и осложнений ишемического характера, поскольку в основном мы использовали канюляцию через каротидный бассейн. Еще одно ограничение – невозможность оценки влияния длительности ЭКМО-поддержки на осложнения и выживаемость.

Заключение

ЭКМО является мерой помощи при крайне высоком риске летальности. При этом выживаемость при использовании аппаратов ЭКМО, по нашему мнению, улучшается с увеличением количества выполненных процедур и накоплением опыта специалистами. Также ЭКМО показала эффективность в качестве «моста» к восстановлению сократительной способности желудочков. Однако увеличение продолжительности ЭКМО приводит к росту количества связанных с процедурой осложнений, которые в свою очередь негативно влияют на выживаемость в целом. Необходимы исследование факторов, влияющих на восстановление и выживаемость больных, а также оценка качества жизни пациентов, перенесших процедуру ЭКМО. Представленный опыт применения ЭКМО у педиатрических пациентов по кардиальным показаниям отражает общероссийскую и мировую тенденцию увеличения количества подобных процедур.

Конфликт интересов

Ю.С. Синельников заявляет об отсутствии финансирования исследования. Р.М. Шехмаматьев заявляет об отсутствии финансирования исследования. П.В. Лазарьков заявляет об отсутствии финансирования исследования. С.Н. Прохоров заявляет об отсутствии финансирования исследования. Е.М. Лыжин заявляет об отсутствии финансирования исследования.

Финансирование

Авторы заявляют об отсутствии финансирования исследования.

Информация об авторах

Синельников Юрий Семенович, доктор медицинских наук, врач – сердечно-сосудистый хирург, главный врач федерального государственного бюджетного учреждения «Федеральный центр сердечно-сосудистой хирургии имени С.Г. Суханова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Пермь, Российская Федерация; **ORCID** 0000-0002-6819-2980

Шехмаматьев Роман Маратович, врач – сердечно-сосудистый хирург, заведующий кардиохирургическим отделением № 4 федерального государственного бюджетного учреждения «Федеральный центр сердечно-сосудистой хирургии имени С.Г. Суханова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Пермь, Российская Федерация; **ORCID** 0000-0002-0601-1486

Лазарьков Петр Владимирович, врач – сердечно-сосудистый хирург федерального государственного бюджетного учреждения «Федеральный центр сердечно-сосудистой хирургии имени С.Г. Суханова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Пермь, Российская Федерация; **ORCID** 0000-0001-7165-9134

Прохоров Станислав Николаевич, врач – анестезиолог-реаниматолог, заведующий отделением анестезиологии и реанимации федерального государственного бюджетного учреждения «Федеральный центр сердечно-сосудистой хирургии имени С.Г. Суханова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Пермь, Российская Федерация; **ORCID** 0000-0002-5521-3228

Лыжин Егор Михайлович, врач – анестезиолог-реаниматолог федерального государственного бюджетного учреждения «Федеральный центр сердечно-сосудистой хирургии имени С.Г. Суханова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Пермь, Российская Федерация; **ORCID** 0000-0003-4299-1167

Author Information Form

Sinelnikov Yuri S., M.D., Ph.D., a cardiovascular surgeon, Medical Director of the Federal Center for Cardiovascular Surgery S.G. Sukhanova, Perm, Russian Federation; **ORCID** 0000-0002-6819-2980

Shekhmametyev Roman M., M.D., a cardiovascular surgeon, Head of Cardiac Surgery Department No. 4 at the Federal Center for Cardiovascular Surgery S.G. Sukhanova, Perm, Russian Federation; **ORCID** 0000-0002-0601-1486

Lazarkov Petr V., M.D., a cardiovascular surgeon at the Federal Center for Cardiovascular Surgery S.G. Sukhanova, Perm, Russian Federation; **ORCID** 0000-0001-7165-9134

Prokhorov Stanislav N., M.D., an intensivist, Head of the Intensive Care Unit at the Federal Center for Cardiovascular Surgery S.G. Sukhanova, Perm, Russian Federation; **ORCID** 0000-0002-5521-3228

Lyzhin Yegor M., M.D., an intensivist at the Intensive Care Unit of the Federal Center for Cardiovascular Surgery S.G. Sukhanova, Perm, Russian Federation; **ORCID** 0000-0003-4299-1167

Вклад авторов в статью

СЮС – вклад в концепцию и дизайн исследования, написание статьи, корректировка статьи, утверждение окончательной версии для публикации, полная ответственность за содержание

ШРМ – вклад в концепцию и дизайн исследования, получение, анализ и интерпретация данных исследования, написание статьи, корректировка статьи, утверждение окончательной версии для публикации, полная ответственность за содержание

ЛПВ – вклад в концепцию и дизайн исследования, получение и анализ данных исследования, написание статьи, корректировка статьи, утверждение окончательной версии для публикации, полная ответственность за содержание

ПСН – получение и анализ данных исследования, корректировка статьи, утверждение окончательной версии для публикации, полная ответственность за содержание

ЛЕМ – получение и анализ данных исследования, корректировка статьи, утверждение окончательной версии для публикации, полная ответственность за содержание

Author Contribution Statement

SYuS – contribution to the concept and design of the study, manuscript writing, editing, approval of the final version, fully responsible for the content

ShRM – contribution to the concept and design of the study, data collection, analysis and interpretation, manuscript writing, editing, approval of the final version, fully responsible for the content

LPV – contribution to the concept and design of the study, data collection and analysis, manuscript writing, editing, approval of the final version, fully responsible for the content

PSN – data collection and analysis, editing, approval of the final version, fully responsible for the content

LEM – data collection and analysis, editing, approval of the final version, fully responsible for the content

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Extracorporeal Life Support Organization (ELSO). International Summary of ELSO Registry Report. January and July 2017. Available at: <https://www.elseo.org/Portals/0/Files/Reports/2017/International%20Summary%20January%202017.pdf> (accessed 20.03.2020)
2. Mascio C.E., Austin E.H. 3rd., Jacobs J.P., Jacobs M.L., Wallace A.S., He X., Pasquali S.K. Perioperative mechanical

circulatory support in children: An analysis of the Society of Thoracic Surgeons Congenital Heart Surgery Database. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2014;147(2):658-64. doi: 10.1016/j.jtcvs.2013.09.075.

3. Howard T.S., Kalish B.T., Wigmore D., Nathan M., Kulik T.J., Kaza A.K., Williams K., Thiagarajan R.R. Association of Extracorporeal Membrane Oxygenation Support Adequacy and

Residual Lesions With Outcomes in Neonates Supported After Cardiac Surgery. *Pediatr Crit Care Med*. 2016;17(11):1045-1054. <https://doi.org/10.1097/PCC.0000000000000943>

4. Thiagarajan R.R. Extracorporeal Membrane Oxygenation for Cardiac Indications in Children. *Pediatr Crit Care Med*. 2016;17(8 Suppl 1):S155-9. <https://doi.org/10.1097/PCC.0000000000000753>

5. Корнилов И.А. Экстракорпоральная поддержка жизни в педиатрии. Патология кровообращения и кардиохирургия. 2018;22(4):35-47. doi: 10.21688/1681-3472-2018-4-35-47 (In Russian)

6. Chrysostomou C., Morell V., Kuch B.A., O'Malley E., Munoz R., Wearden P. Short-and intermediate-term survival after extracorporeal membrane oxygenation in children with cardiac disease. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2013;146(2):317-325. doi: 10.1016/j.jtcvs.2012.11.014.

7. Coleman R.D., Goldman J., Moffett B., Guffy D., Loftis L., Thomas J., Shekerdemian L.S. Extracorporeal Membrane Oxygenation Mortality in High Risk Populations: An Analysis of the Pediatric Health Information System Database. *ASAIO J*. 2019;66(3):327-331. <https://doi.org/10.1097/MAT.0000000000001002>.

8. Suttner D.M. Indications and Contraindications for ECLS in Neonates with Respiratory Failure. In: Brogan TV, editor. *Extracorporeal Life Support: The ELSO Red Book*. Ann Arbor, MI: Extracorporeal Life Support Organization; 2017. p. 239-54.

9. Valencia E., Nasr V.G. Updates in Pediatric Extracorporeal Membrane Oxygenation. *J Cardiothorac Vasc Anesth*. 2020 May;34(5):1309-1323. doi: 10.1053/j.jvca.2019.09.006.

10. Garcia A.V., Jeyaraju M., Ladd M.R., Jelin E.B., Bembea M.M., Alaish S., Rhee D. Survey of the American Pediatric Surgical Association on cannulation practices in pediatric ECMO. *J Pediatr Surg* 2018;53:1843-8 doi: 10.1016/j.jpedsurg.2017.11.046.

11. Johnson K., Jarboe M.D., Mychaliska G.B., Barbaro R.P., Rycus P., Hirschl R.B., Gadeballi S.K. Is there a best approach for extracorporeal life support cannulation: a review of the extracorporeal life support organization. *J Pediatr Surg* 2018;53:1301-4. doi: 10.1016/j.jpedsurg.2018.01.015.

12. Teele S.A., Salvin J.W., Barrett C.S., Rycus P.T. The association of carotid artery cannulation and neurologic injury in pediatric patients supported with venoarterial extracorporeal membrane oxygenation. *Pediatr Crit Care Med* 2014;15:355-61. doi: 10.1097/PCC.0000000000000103.

13. DiGennaro J.L., Chan T., Farris R.W.D., Weiss N.S., McMullan D.M. Increased Stroke Risk in Children and Young Adults on Extracorporeal Life Support with Carotid Cannulation. *ASAIO J* 2019. ;65(7):718-724. doi: 10.1097/MAT.0000000000000912.

14. Guidelines for Cardiopulmonary Extracorporeal Life Support (ELSO). Extracorporeal Life Support Organization, Version 1.4 August 2017. Available at: www.elseo.org. (accessed 13.04.2020)

15. Hardart G.E., Fackler J.C. Risk factors of intracranial

hemorrhage during neonatal extracorporeal membrane oxygenation. *J Pediatr* 1999;134:156-9. doi: 10.1016/s0022-3476(99)70408-7.

16. Cengiz P., Seidel K., Rycus P.T., Brogan T.V., Roberts J.S. Central nervous system complications during pediatric extracorporeal life support: Incidence and risk factors. *Crit Care Med* 2005;33:2817-24. doi: 10.1097/01.ccm.0000189940.70617.c3.

17. Polito A., Barrett C.S., Wypij D., Rycus P.T., Netto R., Cogo P.E., Thiagarajan R.R. Neurologic complications in neonates supported with extracorporeal membrane oxygenation. An analysis of ELSO registry data. *Intensive Care Med*. 2013;39:1594-601. doi: 10.1007/s00134-013-2985-x.

18. Glass P., Wagner A.E., Papero P.H., Rajasingham S.R., Civitello L.A., Kjaer M.S., Coffman C.E., Getson P.R., Short B.L. Neurodevelopmental status at age five years of neonates treated with extracorporeal membrane oxygenation. *J Pediatr* 1995;127:447-57. doi: 10.1016/s0022-3476(95)70082-x.

19. Ijsselstijn H., van Heijst A.F.J. Long-term outcome of children treated with neonatal extracorporeal membrane oxygenation: Increasing problems with increasing age. *Semin Perinatol* 2014;38:114-21. doi: 10.1053/j.semperi.2013.11.009.

20. Madderom M.J., Schiller R.M., Gischler S.J., van Heijst A.F., Tibboel D., Aarsen F.K., Ijsselstijn H. Growing Up After Critical Illness: Verbal, Visual-Spatial, and Working Memory Problems in Neonatal Extracorporeal Membrane Oxygenation Survivors. *Pediatr Crit Care Med* 2016;44:1182-90. doi: 10.1097/CCM.0000000000001626.

21. Swaniker F., Kolla S., Moler F., Custer J., Grams R., Barlett R., Hirschl R. Extracorporeal life support outcome for 128 pediatric patients with respiratory failure. *J Pediatr Surg* 2000;35:197-202. doi: 10.1016/s0022-3468(00)90009-5.

22. Askenazi D.J., Ambalavanan N., Hamilton K., Cutter G., Laney D., Kaslow R., Georgeson K., Barnhart D.C., Dimmitt R.A. Acute kidney injury and renal replacement therapy independently predict mortality in neonatal and pediatric noncardiac patients on extracorporeal membrane oxygenation. *Pediatr Crit Care Med* 2011;12:e1-6. doi: 10.1097/PCC.0b013e3181d8e348.

23. Smith A.H., Hardison D.C., Worden C.R., Fleming G.M., Taylor M.B. Acute Renal Failure During Extracorporeal Support in the Pediatric Cardiac Patient. *ASAIO J* 2009;44:412-6. doi: 10.1097/MAT.0b013e31819ca3d0.

24. Fleming G.M., Sahay R., Zappitelli M., King E., Askenazi D.J., Bridges B.C., Paden M.L., Selewski D.T., Cooper D.S. The Incidence of Acute Kidney Injury and its Effect on Neonatal and Pediatric ECMO Outcomes: A multicenter report from the KIDMO Study Group. *Pediatr Crit Care Med* 2016;17:1157-69. doi: 10.1097/PCC.0000000000000970.

25. Paden M.L., Warshaw B.L., Heard M.L., Fortenberry J.D. Recovery of renal function and survival after continuous renal replacement therapy during extracorporeal membrane oxygenation. *Pediatr Crit Care Med*. 2011;12:153-8. doi: 10.1097/PCC.0b013e3181e2a596

REFERENCES

1. Extracorporeal Life Support Organization (ELSO). International Summary of ELSO Registry Report. January and July 2017. Available at: <https://www.elseo.org/Portals/0/Files/Reports/2017/International%20Summary%20January%202017.pdf> (accessed 20.03.2020)

2. Mascio C.E., Austin E.H. 3rd., Jacobs J.P., Jacobs M.L., Wallace A.S., He X., Pasquali S.K. Perioperative mechanical circulatory support in children: An analysis of the Society of Thoracic Surgeons Congenital Heart Surgery Database. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2014;147(2):658-64. doi: 10.1016/j.jtcvs.2013.09.075.

3. Howard T.S., Kalish B.T., Wigmore D., Nathan M., Kulik T.J., Kaza A.K., Williams K., Thiagarajan R.R. Association of Extracorporeal Membrane Oxygenation Support Adequacy and Residual Lesions With Outcomes in Neonates Supported After

Cardiac Surgery. *Pediatr Crit Care Med*. 2016;17(11):1045-1054. <https://doi.org/10.1097/PCC.0000000000000943>

4. Thiagarajan R.R. Extracorporeal Membrane Oxygenation for Cardiac Indications in Children. *Pediatr Crit Care Med*. 2016;17(8 Suppl 1):S155-9. <https://doi.org/10.1097/PCC.0000000000000753>

5. Kornilov I.A. Extracorporeal life support in pediatric patients. *Patologiya krovoobrashcheniya i kardiokhirurgiya*. 2018;22(4):35-47. doi: 10.21688/1681-3472-2018-4-35-47 (In Russian)

6. Chrysostomou C., Morell V., Kuch B.A., O'Malley E., Munoz R., Wearden P. Short-and intermediate-term survival after extracorporeal membrane oxygenation in children with cardiac disease. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2013;146(2):317-325. doi: 10.1016/j.jtcvs.2012.11.014.

7. Coleman R.D., Goldman J., Moffett B., Guffy D., Loftis L., Thomas J., Shekerdemian L.S. Extracorporeal Membrane Oxygenation Mortality in High Risk Populations: An Analysis of the Pediatric Health Information System Database. *ASAIO J.* 2019;66(3):327-331. <https://doi.org/10.1097/MAT.0000000000001002>.
8. Suttner D.M. Indications and Contraindications for ECLS in Neonates with Respiratory Failure. In: Brogan TV, editor. *Extracorporeal Life Support: The ELSO Red Book*. Ann Arbor, MI: Extracorporeal Life Support Organization; 2017. p. 239–54.
9. Valencia E., Nasr V.G. Updates in Pediatric Extracorporeal Membrane Oxygenation. *J Cardiothorac Vasc Anesth.* 2020 May;34(5):1309-1323. doi: 10.1053/j.jvca.2019.09.006.
10. Garcia A.V., Jeyaraju M., Ladd M.R., Jelin E.B., Bembea M.M., Alaish S., Rhee D. Survey of the American Pediatric Surgical Association on cannulation practices in pediatric ECMO. *J Pediatr Surg* 2018;53:1843–8 doi: 10.1016/j.jpedsurg.2017.11.046.
11. Johnson K., Jarboe M.D., Mychaliska G.B., Barbaro R.P., Rycus P., Hirschl R.B., Gadepalli S.K. Is there a best approach for extracorporeal life support cannulation: a review of the extracorporeal life support organization. *J Pediatr Surg* 2018;53:1301–4. doi: 10.1016/j.jpedsurg.2018.01.015.
12. Teele S.A., Salvin J.W., Barrett C.S., Rycus P.T. The association of carotid artery cannulation and neurologic injury in pediatric patients supported with venoarterial extracorporeal membrane oxygenation. *Pediatr Crit Care Med* 2014;15:355–61. doi: 10.1097/PCC.000000000000103.
13. DiGennaro J.L., Chan T., Farris R.W.D., Weiss N.S., McMullan D.M. Increased Stroke Risk in Children and Young Adults on Extracorporeal Life Support with Carotid Cannulation. *ASAIO J* 2019. ;65(7):718-724. doi: 10.1097/MAT.0000000000000912.
14. Guidelines for Cardiopulmonary Extracorporeal Life Support (ELSO). Extracorporeal Life Support Organization, Version 1.4 August 2017. Available at: www.elseo.org. (accessed 13.04.2020)
15. Hardart G.E., Fackler J.C. Risk factors of intracranial hemorrhage during neonatal extracorporeal membrane oxygenation. *J Pediatr* 1999;134:156–9. doi: 10.1016/s0022-3476(99)70408-7.
16. Cengiz P., Seidel K., Rycus P.T., Brogan T.V., Roberts J.S. Central nervous system complications during pediatric extracorporeal life support: Incidence and risk factors. *Crit Care Med* 2005;33:2817–24. doi: 10.1097/01.ccm.0000189940.70617.c3.
17. Polito A., Barrett C.S., Wypij D., Rycus P.T., Netto R., Cogo P.E., Thiagarajan R.R. Neurologic complications in neonates supported with extracorporeal membrane oxygenation. An analysis of ELSO registry data. *Intensive Care Med.* 2013;39:1594–601. doi: 10.1007/s00134-013-2985-x.
18. Glass P., Wagner A.E., Papero P.H., Rajasingham S.R., Civitello L.A., Kjaer M.S., Coffman C.E., Getson P.R., Short B.L. Neurodevelopmental status at age five years of neonates treated with extracorporeal membrane oxygenation. *J Pediatr* 1995;127:447–57. doi: 10.1016/s0022-3476(95)70082-x.
19. Ijsselstijn H., van Heijst A.F.J. Long-term outcome of children treated with neonatal extracorporeal membrane oxygenation: Increasing problems with increasing age. *Semin Perinatol* 2014;38:114–21. doi: 10.1053/j.semperi.2013.11.009.
20. Madderom M.J., Schiller R.M., Gischler S.J., van Heijst A.F., Tibboel D., Aarsen F.K., Ijsselstijn H. Growing Up After Critical Illness: Verbal, Visual-Spatial, and Working Memory Problems in Neonatal Extracorporeal Membrane Oxygenation Survivors. *Pediatr Crit Care Med* 2016;44:1182–90. doi: 10.1097/CCM.0000000000001626.
21. Swaniker F., Kolla S., Moler F., Custer J., Grams R., Barlett R., Hirschl R. Extracorporeal life support outcome for 128 pediatric patients with respiratory failure. *J Pediatr Surg* 2000;35:197–202. doi: 10.1016/s0022-3468(00)90009-5.
22. Askenazi D.J., Ambalavanan N., Hamilton K., Cutter G., Laney D., Kaslow R., Georgeson K., Barnhart D.C., Dimmitt R.A. Acute kidney injury and renal replacement therapy independently predict mortality in neonatal and pediatric noncardiac patients on extracorporeal membrane oxygenation. *Pediatr Crit Care Med* 2011;12:e1–6. doi: 10.1097/PCC.0b013e3181d8e348.
23. Smith A.H., Hardison D.C., Worden C.R., Fleming G.M., Taylor M.B. Acute Renal Failure During Extracorporeal Support in the Pediatric Cardiac Patient. *ASAIO J* 2009;44:412–6. doi: 10.1097/MAT.0b013e31819ca3d0.
24. Fleming G.M., Sahay R., Zappitelli M., King E., Askenazi D.J., Bridges B.C., Paden M.L., Selewski D.T., Cooper D.S. The Incidence of Acute Kidney Injury and its Effect on Neonatal and Pediatric ECMO Outcomes: A multicenter report from the KIDMO Study Group. *Pediatr Crit Care Med* 2016;17:1157–69. doi: 10.1097/PCC.0000000000000970.
25. Paden M.L., Warshaw B.L., Heard M.L., Fortenberry J.D. Recovery of renal function and survival after continuous renal replacement therapy during extracorporeal membrane oxygenation. *Pediatr Crit Care Med.* 2011;12:153–8. doi: 10.1097/PCC.0b013e3181e2a596

Для цитирования: Синельников Ю.С., Шехмаматьев Р.М., Лазарьков П.В., Прохоров С.Н., Лыжин Е.М. Опыт применения экстракорпоральной мембранной оксигенации у детей с бивентрикулярной физиологией в послеоперационном периоде. *Комплексные проблемы сердечно-сосудистых заболеваний.* 2020;9(4): 59-70. DOI: 10.17802/2306-1278-2020-9-4-59-70

To cite: Sinelnikov Yu.S., Shekhmametyev R.M., Lazarkov P.V., Prokhorov S.N., Lyzhin E.M. Single-center experience of extracorporeal membrane oxygenation in children with biventricular physiology in the postoperative period. *Complex Issues of Cardiovascular Diseases.* 2020;9(4): 59-70. DOI: 10.17802/2306-1278-2020-9-4-59-70