

УДК 616.1+616.24+617.54+66.081.6+613.2.099+620.266.1+616-053.2-053.8

DOI: 10.56871/RBR.2025.27.33.010

ЭКСТРАКОРПОРАЛЬНАЯ МЕМБРАННАЯ ОКСИГЕНАЦИЯ В КЛИНИЧЕСКОЙ ПРАКТИКЕ: ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

© Юрий Станиславович Александрович¹, Алексей Борисович Наумов¹,
Мария Тимуровна Рысаева¹, Константин Викторович Пшенисн¹,
Виталий Анварович Казиахмедов¹, Илья Евгеньевич Горбунов¹, Лия Олеговна Киселева²

¹ Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет. 194100, г. Санкт-Петербург, ул. Литовская, д. 2, Российская Федерация

² Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова. 194044, г. Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, д. 6Ж, Российская Федерация

Контактная информация: Константин Викторович Пшенисн — д.м.н., доцент, профессор кафедры анестезиологии, реаниматологии и неотложной педиатрии ФП и ДПО. E-mail: Psh_K@mail.ru ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1113-5296> SPIN: 8423-4294

Для цитирования: Александрович Ю.С., Наумов А.Б., Рысаева М.Т., Пшенисн К.В., Казиахмедов В.А., Горбунов И.Е., Киселева Л.О. Экстракорпоральная мембранная оксигенация в клинической практике: обзор литературы. Российские биомедицинские исследования. 2025;10(2):93–103. DOI: <https://doi.org/10.56871/RBR.2025.27.33.010>

Поступила: 01.04.2025

Одобрена: 22.05.2025

Принята к печати: 24.06.2025

Резюме. Экстракорпоральная мембранная оксигенация (ЭКМО) — метод поддержания адекватного сердечного выброса, оксигенации и газообмена у пациентов с явлениями рефрактерного шока и декомпенсированной дыхательной недостаточности, когда другие методы лечения оказываются неэффективными. В публикации представлены исторические сведения и обзор современных исследований, посвященных применению ЭКМО у взрослых и детей, находящихся в критическом состоянии. Продемонстрировано, что за последнее десятилетие частота применения ЭКМО значительно возросла, что позволило существенно улучшить результаты лечения, однако основным ограничивающим фактором являются сроки инициации и длительность операции, поскольку при подключении ЭКМО на поздних стадиях заболевания вероятность неудач значительно возрастает. Указано, что использование вено-артерио-венозной ЭКМО наиболее эффективно при лечении критической дыхательной недостаточности, ассоциированной с кардиогенным шоком или терминальной стадией заболевания легких. Отражено, что основные осложнения ЭКМО включают повреждение артерии, синдром сдавления, инфицирование, инсульт, острое повреждение почек, кровотечение и необходимость переливания крови. Отмечено, что применение центрального подключения ВА-ЭКМО в кардиохирургии ассоциировано с большей внутрибольничной смертностью. Установлено, что применение левосимендана способствовало более быстрому и гладкому отлучению от респиратора и улучшению выживаемости пациентов с кардиогенным или посткардиотомным шоком. Особое внимание уделено использованию ЭКМО в токсикологии, акушерстве и педиатрической практике. Представлены данные о высокой эффективности использования ЭКМО у взрослых и детей с острыми отравлениями кортикотропными токсикантами, что свидетельствует о необходимости более широкого применения данной методики у пациентов токсикологического профиля, особенно на ранних стадиях, когда имеют место признаки синдрома малого сердечного выброса и кардиогенного шока. Указаны результаты исследований, свидетельствующие о безопасности и достаточной эффективности применения ЭКМО во время беременности при ее использовании в условиях специализированного центра, максимальные показатели выживаемости у беременных отмечены при использовании ЭКМО по «кардиальным» показаниям.

Ключевые слова: экстракорпоральная мембранная оксигенация, экстракорпоральное поддержание жизни, шок, отравления, исходы, педиатрия, взрослые

DOI: 10.56871/RBR.2025.27.33.010

EXTRACORPOREAL MEMBRANE OXYGENATION IN CLINICAL PRACTICE: LITERATURE REVIEW

© Yuri S. Aleksandrovich¹, Alexey B. Naumov¹, Maria T. Rysaeva¹,
Konstantin V. Pshenishnov¹, Vitaliy A. Kaziakhmedov¹, Ilya E. Gorbunov¹, Liya O. Kiseleva²

¹ Saint Petersburg State Pediatric Medical University. 2 Lithuania, Saint Petersburg 194100 Russian Federation

² Military Medical Academy named after S.M. Kirov. 6 Akademician Lebedev str., Saint Petersburg 194044 Russian Federation

Contact information: Konstantin V. Pshenishnov — Doctor of Medical Sciences, Professor of anesthesiology and intensive care and emergency pediatrics FP and FPE. E-mail: Psh_K@mail.ru ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1113-5296> SPIN: 8423-4294

For citation: Aleksandrovich YuS, Naumov AB, Rysaeva MT, Pshenishnov KV, Kaziakhmedov VA, Gorbunov IE, Kiseleva LO. Extracorporeal membrane oxygenation in clinical practice: literature review. Russian Biomedical Research. 2025;10(2):93–103. DOI: <https://doi.org/10.56871/RBR.2025.27.33.010>

Received: 01.04.2025

Revised: 22.05.2025

Accepted: 24.06.2025

Abstract. Extracorporeal membrane oxygenation (ECMO) is a method of maintaining adequate cardiac output, oxygenation and gas exchange in patients with refractory shock and decompensated respiratory failure, when other treatments are ineffective. The publication provides historical information and an overview of modern research on the use of ECMO in adults and children in critical condition. It has been demonstrated that over the past decade, the frequency of ECMO use has increased significantly, which has significantly improved treatment outcomes, however, the main limiting factor is the timing of initiation and the duration of the operation, since when ECMO is connected in the later stages of the disease, the likelihood of failure increases significantly. It is indicated that the use of veno-arterio-venous ECMO is most effective in the treatment of critical respiratory failure associated with cardiogenic shock or end-stage lung disease. It is reflected that the main complications of ECMO include artery damage, compression syndrome, infection, stroke, acute kidney injury, bleeding and the need for blood transfusion. Marked, that the use of a central VA-ECMO connection in cardiac surgery is associated with greater in-hospital mortality. It was found that the use of levosimendan contributed to faster and smoother weaning from a respirator and improved survival of patients with cardiogenic or postcardiotomy shock. Particular attention is paid to the use of ECMO in toxicology, obstetrics and pediatric practice. Data on the high effectiveness of ECMO use in adults and children with acute poisoning with corticotropic toxicants are presented, which indicates the need for wider use of this technique in patients with a toxicological profile, especially in the early stages when there are signs of small cardiac output syndrome and cardiogenic shock. The results of studies indicating the safety and sufficient effectiveness of ECMO use during pregnancy when used in a specialized center are indicated, the maximum survival rates in pregnant women were noted when using ECMO for cardiac indications.

Keywords: extracorporeal membrane oxygenation, extracorporeal life support, shock, poisoning, outcome, pediatric, adult



ВВЕДЕНИЕ

История экстракорпоральной мембранной оксигенации (ЭКМО) берет свое начало еще в XVII веке. В 1693 г. Жан Батист Дени провел первые эксперименты по перекрестному переливанию крови человеку от ягненка, чтобы определить, может ли живая кровь передаваться между двумя видами.

Известный британский врач-анестезиолог, доктор медицины Бенджамин Уорд Ричардсон в 1860 г. проводил эксперименты на животных, насыщая кровь кислородом и вводя ее в правое сердце, чтобы создать искусственное кровообращение. Результаты были многообещающими, однако из-за отсутствия антикоагуляции их нельзя было использовать в клинической практике.

По этому поводу Б.У. Ричардсон писал: «Я делаю вывод, что реанимация [и искусственное кровообращение] ... является возможным процессом, и что он требует только времени, эксперимента и терпения для своего развития доказуемого факта современной науки».

В 1920-х годах советский ученый-экспериментатор, профессор Сергей Сергеевич Брюхоненко и его коллеги разработали систему тотальной перфузии организма, получившую название «автожектор» с использованием легких животных-доноров для насыщения крови кислородом, а позже и пузырькового оксигенатора для проведения успешных экспериментов на животных с выключением сердца из кровотока.

В 1931 г. хирург Джон Гиббон красноречиво описал муки и страдания, которые он испытал из-за потери молодой женщины, умершей от тромбоэмболии легочной артерии. «В течение той долгой ночи, беспомощно наблюдая, как пациентка борется за жизнь, пока ее кровь становилась темнее... мне, естественно, пришла в голову мысль, что, если бы можно было непрерывно удалять часть голубой крови... насыщать эту кровь кислородом... а затем непрерывно вводить теперь уже красную кровь обратно в артерии пациентки, мы могли бы спасти ей жизнь».

Именно это событие стало отправной точкой для дальнейшего развития экстракорпоральной оксигенации. В 1930-х годах Д. Гиббон разработал отдельно стоящий роликовый насос для экстракорпоральной поддержки, а весь аппарат искусственного кровообращения был размером с маленькое пианино, который создавал тонкие пленки дезоксигенированной крови, проходящие через экран с последующим их насыщением кислородом. Прошло 22 года, прежде чем доктор Гиббон смог использовать устройство в операционной.

Шестого мая 1953 г. он провел первую успешную экстракорпоральную ассистированную коррекцию дефекта межпредсердной перегородки у 18-летней Сесилии Баволек [1–4].

В 1975 г. доктор Бартлетт, применив ЭКМО, успешно вылечил первого младенца — маленькую девочку, которую медсестры назвали Эсперанса, что означает «Надежда».

Пять лет спустя проект неонатальной ЭКМО переехал с доктором Бартлеттом из Калифорнийского университета в Ирвайне в Мичиганский университет, где опыт постепенно

увеличивался с нескольких пациентов в год до нескольких случаев в месяц. Он стандартизировал технику и экспортировал свои идеи по всему миру [5].

Экстракорпоральная мембранная оксигенация сегодня — метод поддержания жизни и восстановления функций организма, когда другие терапевтические стратегии оказываются неэффективными, как у взрослых, так и у детей [6–8]. Она широко используется в детской кардиохирургии и токсикологии, когда развиваются тяжелая системная гипоксия, синдром малого сердечного выброса, рефрактерный кардиогенный шок и острое почечное повреждение [9]. Веноартериальная ЭКМО (ВА-ЭКМО) стала стандартом лечения истинного кардиогенного шока и полиорганной недостаточности [10].

Наиболее частые показания для ВА-ЭКМО — острый инфаркт миокарда (34,8%), декомпенсированная сердечная недостаточность (30,3%) и остановка сердца (10,2%). ВА-ЭКМО использовалась во время сердечно-легочной реанимации в 26,6% случаев, 48% из которых были связаны с остановкой сердца. Осложнения включали повреждение артерии (3,7%), синдром сдавления (4,1%), инфицирование (1,2%), инсульт (14,8%), острое повреждение почек (52,5%), кровотечение в месте доступа (16%) и необходимость переливания крови (83,2%). Гиперлактатемия и наличие тяжелой полиорганной недостаточности были независимо ассоциированы с неблагоприятным исходом [11].

Анализ эффективности применения вено-артерио-венозной ЭКМО, которая применяется как стратегия спасения у пациентов с критической дыхательной недостаточностью в сочетании с рефрактерным шоком, продемонстрировал, что она наиболее эффективна при лечении критической дыхательной недостаточности, ассоциированной с кардиогенным шоком или терминальной стадией заболевания легких, однако при септическом шоке она не оказывает существенного влияния на исход [12].

ЭКСТРАКОРПОРАЛЬНАЯ МЕМБРАННАЯ ОКСИГЕНАЦИЯ В КАРДИОХИРУРГИИ

Самыми распространенными показаниями для центрального и периферического подключения ВА-ЭКМО в кардиохирургии являются неудачи при отключении от аппарата искусственного кровообращения (38%) и развитие декомпенсированной сердечной недостаточности после отключения искусственного кровообращения (48%). Внутрибольничная 30-дневная летальность в общей популяции составила 66,6%. У пациентов, где применяли периферическую ВА-ЭКМО, она была ниже по сравнению с центральным подключением. Применение центрального подключения ВА-ЭКМО было ассоциировано с большей внутрибольничной смертностью [13].

Анализ применения ВА-ЭКМО в качестве терапии спасения при рефрактерном кардиогенном шоке установил, что средняя продолжительность операции составила 4 дня, а лечения в отделении реанимации и интенсивной терапии (ОРИТ) — 15 дней. Общая 30-дневная выживаемость у пациентов,

включенных в исследование, составила 69,6%, а годовая — 59,8%. Для пациентов, которые были отлучены от ВА-ЭКМО, 30-дневная выживаемость составила 100%, а однолетняя выживаемость — 92,9%. Полученные результаты свидетельствуют о преимуществах применения ВА-ЭКМО у пациентов с рефрактерным кардиогенным шоком [14].

ВА-ЭКМО обеспечивает временную систему поддержки для пациентов с кардиогенным шоком, рефрактерным к традиционной медицинской терапии. Сообщалось, что левосимендан может облегчить отлучение от ВА-ЭКМО и улучшить выживаемость. Основной целью этого обзора было изучить влияние использования левосимендана на отлучение от ВА-ЭКМО и смертность у пациентов в критическом состоянии на ВА-ЭКМО.

Группой авторов предпринята попытка оценки эффективности применения левосимендана на фоне ЭКМО. Было отобрано семь обсервационных исследований, включающих 630 пациентов, более половины пациентов перенесли операции на сердце. Длительность ВА-ЭКМО варьировала от четырех до двенадцати дней. Установлено, что использование левосимендана было значимо связано с успешным отлучением от ИВЛ по сравнению с контролем. Для изучения выживаемости в метаанализе учтены шесть исследований ($n=617$), включающих 326 пациентов в группе левосимендана и 291 в группе сравнения. Полученные результаты продемонстрировали значительно более высокую выживаемость в группе левосимендана — 95%. Авторы пришли к выводу, что применение левосимендана способствовало более быстрому и гладкому отлучению от респиратора и улучшению выживаемости пациентов с кардиогенным или посткардиотомным шоком [15].

Относительно недавно был описан случай применения ЭКМО для купирования кардиогенного шока, вызванного узловой эктопической тахикардией (Jet-тахикардией) у трехмесячной, ранее здоровой девочки. Медикаментозная и электрическая кардиоверсия, а также чреспищеводная стимуляция оказались безуспешными, по данным эхокардиографии были выявлены дилатация предсердий и выраженная систолическая дисфункция левого желудочка. Примерно через 8 часов после поступления была начата ВА-ЭКМО, что позволило успешно провести лечение амиодароном. Продолжительность ЭКМО составила шесть дней с полным восстановлением сократительной способности сердца без каких-либо осложнений и негативных последствий [16].

ЭКСТРАКОРПОРАЛЬНАЯ МЕМБРАННАЯ ОКСИГЕНАЦИЯ В ТОКСИКОЛОГИИ

При ретроспективном анализе частоты применения ЭКМО при отравлениях в США установлено, что за последние десятилетия данный метод лечения, как у взрослых, так и у детей, стал использоваться более широко — прирост с 2008 г. практически на 100%, при этом общая выживаемость составила 70%. Риск летального исхода при использовании ЭКМО наиболее высок при отравлении гематотоксичными соединениями, влияющими на метаболизм [17, 18].

Пациенты, у которых ВА-ЭКМО применяли при рефрактерном шоке или остановке сердца из-за отравления, имеют более низкую смертность по сравнению с теми, кто получает ВА-ЭКМО по показаниям, не связанным с отравлением. Отравленные пациенты, прошедшие лечение с помощью ЭКМО, имеют более низкую смертность по сравнению с теми, кто лечился без ЭКМО с аналогичной тяжестью заболевания и после скорректированных анализов, независимо от типа приема пищи [18].

В одной из публикаций продемонстрирован опыт успешного применения ВА-ЭКМО у 104 пациентов молодого возраста с тяжелыми отравлениями и явлениями кардиогенного шока. В 47,1% случаев кардиоваскулярная дисфункция развилась при употреблении кардиотоксических препаратов, 8,7% пациентов употребляли опиаты. У всех пациентов до подключения к аппарату ЭКМО были неоднократно зарегистрированы остановки сердца, однако уже спустя двадцать четыре часа после инициации ЭКМО была отмечена отчетливая положительная динамика — регрессирование гемодинамических нарушений и нормализация показателей кислотно-основного состояния крови. В 52,9% случаев установлен благоприятный исход заболевания, из них у 47% пациентов до подключения ВА-ЭКМО были эпизоды остановки сердца [19].

При анализе реестра экстракорпоральной поддержки жизнедеятельности с 2003 по 2019 гг. выявлено 86 случаев острого отравления. Средний возраст пациентов составил 12,0 лет, 52,9% были женского пола. ВА-ЭКМО использовалась чаще, чем вено-венозная ЭКМО (ВВ-ЭКМО), ее использование значительно возросло в течение периода исследования. Бимодальное распределение поддержки ЭКМО наблюдалось среди двух возрастных групп: до трех лет ($n=34$) и 13–17 лет ($n=41$). Показатели гемодинамики и метаболизма при использовании ЭКМО улучшились у всех пациентов [20].

Описаны случаи успешного применения ВА-ЭКМО при отравлении метформином и тразодоном в высоких дозах, амлодипином и кандесартаном, листьями тиса, при ингаляционном отравлении бромом, производными бензола и др. [21–24].

Аналогичные результаты лечения с использованием ЭКМО были получены отечественными авторами при комбинированном отравлении метадоном и алкоголем тяжелой степени. Использование ЭКМО в данных ситуациях может стать перспективной терапевтической стратегией, способствующей снижению летальности [25].

Представлены результаты применения ВА-ЭКМО/ЭКМО-СЛР (сердечно-легочная реанимация) у 32 пациентов с рефрактерным кардиогенным шоком ($n=25$) или остановкой сердечной деятельности ($n=7$), вызванными острым лекарственным отравлением. Двадцать шесть (81,2%) пациентов были успешно отлучены от ВА-ЭКМО, средняя продолжительность операции составила $2,9 \pm 1,3$ дня. Общая выживаемость до выписки из больницы составила 78,1%, все пациенты были выписаны с хорошим неврологическим статусом [26].

Установлено, что выживаемость пациентов коррелирует со сроками госпитализации и инициации ВА-ЭКМО, которая

намного выше при максимально раннем применении ВА-ЭКМО [27].

Имеются данные, свидетельствующие о том, что у пациентов с острыми отравлениями частота осложнений и летальность при использовании ЭКМО существенно ниже по сравнению с другими категориями пациентов, у которых имелись иные показания [27–29].

ЭКСТРАКОРПОРАЛЬНАЯ МЕМБРАННАЯ ОКСИГЕНАЦИЯ ПРИ ИНФЕКЦИЯХ

В ретроспективном анализе, посвященном оценке эффективности применения ЭКМО при менингококкцемии у взрослых и детей, установлено, что общая выживаемость до выписки из стационара составила 46,7%, при этом максимальная была при использовании ВВ-ЭКМО при критической дыхательной недостаточности, составив 85,7%. Выживаемость при применении ВА-ЭКМО у пациентов с заболеваниями легких была намного ниже — 32,4%. При использовании ВА-ЭКМО по «кардиальным» показаниям выживаемость достигла 60,9%. При экстракорпоральной сердечно-легочной реанимации показатели выживаемости были минимальными (14,3%). Наиболее частыми осложнениями были расстройства гемостаза, которые имели место у 43,4% пациентов, однако они не оказывали влияния на показатели смертности. Наличие неврологических осложнений было ассоциировано с увеличением смертности. Авторы полагают, что ЭКМО может использоваться в качестве спасательной терапии у детей с менингококкемией и рефрактерной сердечно-легочной недостаточностью. Оптимальные результаты лечения были получены при ВВ-ЭКМО при гипоксемической дыхательной недостаточности. ВА-ЭКМО была наиболее эффективна при ее использовании по кардиальным показаниям [30].

Описаны случаи применения ЭКМО при тяжелой вирусной пневмонии, вызванной вирусом гриппа. Авторы отмечают, что востребованность ЭКМО в инфекционном стационаре в периоды сезонной эпидемической заболеваемости гриппом и другими острыми респираторными вирусными инфекциями может составлять от 0,01 до 1,6% числа госпитализированных пациентов [31]. В 2021 г. опубликован случай применения ЭКМО в комплексной терапии септического шока у пациентки с тяжелым поражением легких, вызванным COVID-19 [32].

При оценке результатов лечения острого респираторного дистресс-синдрома, вызванного вирусом SARS-CoV-2 с использованием ЭКМО, установлено, что у выживших пациентов отмечался меньший временной интервал от начала заболевания и перевода на искусственную вентиляцию легких (ИВЛ) до инициации ЭКМО. Летальность составила 82,4% [33].

Наличие тахикардии у пациентов с COVID-19 при проведении ВВ-ЭКМО не исключает вегетативного дисбаланса с существенным преобладанием тонуса парасимпатического отдела вегетативной нервной системы (ВНС) над симпатическим, что достоверно ассоциировано с неблагоприятным исходом [34].

ЭКСТРАКОРПОРАЛЬНАЯ МЕМБРАННАЯ ОКСИГЕНАЦИЯ ВО ВРЕМЯ БЕРЕМЕННОСТИ

В систематическом обзоре продемонстрировано, что ВВ-ЭКМО у беременных, рожениц и родильниц может спасти пять из шести матерей, выживаемость составляет более 80%. В то же время показатели внутриутробной гибели плода стали в два раза выше, а неблагоприятные исходы составили примерно одну треть (выживаемость плода составила около 67,9%) [35]. Ряд авторов полагает, что применение ЭКМО во время беременности безопасно и, как правило, дает удовлетворительные результаты, если проводится в специализированном центре [36, 37]. Самым частым осложнением ЭКМО для матери было кровотечение, которое возникало в 37,2% случаев [37]. Максимальные показатели выживаемости были отмечены при использовании ЭКМО по «кардиальным» показаниям [38].

ЭКСТРАКОРПОРАЛЬНАЯ МЕМБРАННАЯ ОКСИГЕНАЦИЯ В ПЕДИАТРИЧЕСКОЙ ПРАКТИКЕ

В период с 1990-х по 2020 год наблюдается устойчивый рост частоты случаев экстракорпоральной сердечно-легочной реанимации у детей, которая при первичной остановке сердца использовалась более чем в 70% случаев. Общая выживаемость составила 46%, а выживание с благоприятным неврологическим исходом отмечено в 30%, что свидетельствует о высокой эффективности данного метода терапии [39].

ЭКМО у детей активно применяется у пациентов с онкогематологическими заболеваниями. Основными показаниями являются дыхательная недостаточность (46%), сочетанная кардиореспираторная (28%) и сердечная недостаточность (25%). ВВ-ЭКМО использовалась у 45% пациентов, а 53% пациентов были переведены на ВА-ЭКМО. Выживаемость до подключения ЭКМО составила 52% (62/118) при онкологических заболеваниях и 64% (20/31) у пациентов, перенесших трансплантацию гемопоэтических клеток, а выживаемость до выписки из стационара — 36% (43/118) и 42% (13/31) соответственно. Необходимость проведения экстракорпоральной сердечно-легочной реанимации была ассоциирована с увеличением вероятности летальных исходов [40].

Одним из показаний для проведения ЭКМО у детей является периоперационный период при трансплантации печени. Установлено, что медиана времени от момента трансплантации печени до инициации ЭКМО составила 5 дней (0,0–12,3), а средняя продолжительность — один день. Продemonстрировано, что при инициации ЭКМО в течение одного дня после трансплантации печени выживаемость была статистически значимо выше. При увеличении времени от момента трансплантации печени до начала ЭКМО вероятность летального исхода существенно возрастала. Общая выживаемость во всей популяции пациентов составила 55,9%. Полученные обнадеживающие результаты позволяют утверждать, что ЭКМО следует рассматривать как приемлемый вариант лечения

потенциально обратимой рефрактерной дыхательной или сердечно-сосудистой недостаточности у детей после трансплантации печени [41].

В ряде работ, включая и клинические случаи, представлены несомненные доказательства эффективности использования ЭКМО для купирования рефрактерной гипоксемии и кардиогенного шока при острых отравлениях у детей, что позволяет уменьшить вероятность летальных случаев до 32% пациентов. Факторами риска фатального исхода являются использование ингаляционного оксида азота, более низкий уровень pH артериальной крови, выраженная гиперкапния до инициации ЭКМО и необходимость в назначении инотропных и вазопрессорных препаратов во время операции [42]. Опубликован случай успешного применения ЭКМО при тяжелой передозировке блокаторами кальциевых каналов у 12-летней девочки с полным выздоровлением [43].

Использование ЭКМО при лечении сепсиса и септического шока у детей остается спорным. Результаты существенно различаются в зависимости от возраста, клинической картины и идентифицированного возбудителя.

Новорожденные и дети с септической кардиомиопатией имеют более оптимистичные результаты [44]. Общая выживаемость детей с сепсисом, у которых применяли ЭКМО, составила 59%, при этом у новорожденных она достигла 73% [45].

Риск смерти наиболее высок при наличии смешанной вирусной инфекции, в то время как никакой разницы в смертности пациентов с полимикробными бактериальными пневмониями выявлено не было. У пациентов с инфекциями, вызванными респираторно-синцитиальным вирусом и SARS-CoV-2 наблюдалась более высокая смертность [46]. В то же время опубликован случай успешного применения ЭКМО у восьмилетней девочки с положительным тестом на SARS-CoV-2 и тяжелой гипоксемической дыхательной недостаточностью, который завершился полным выздоровлением. Длительность ВВ-ЭКМО составила 14, а инвазивной ИВЛ — 20 дней [47].

При использовании периферической канюляции у детей с сепсисом и септическим шоком общая выживаемость составила 71%, дожили до выписки из стационара 68% детей. Выживаемость в стационаре составила 80% для ВВ-ЭКМО и 62% — для ВА-ЭКМО. 60% детей были живы при долгосрочном наблюдении. Факторами риска смерти пациента в стационаре были высокий уровень β -лактата и креатинина в плазме крови при поступлении [48].

Одной из областей применения ЭКМО является оказание помощи новорожденным детям с декомпенсированной гипоксемической дыхательной недостаточностью, нуждающимся в межгоспитальной эвакуации, что позволяет существенно улучшить исходы лечения [49].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Экстракорпоральная мембранная оксигенация — перспективный метод поддержания адекватного сердечного выброса, оксигенации и газообмена при первичной остановке крово-

обращения, шоке различного генеза и рефрактерной дыхательной недостаточности, который может использоваться как во взрослой, так и в педиатрической практике. Обязательным условием успешного применения данной терапевтической стратегии является ее использование на ранних сроках заболевания, когда отсутствуют признаки вторичного необратимого повреждения внутренних органов.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. Все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

ADDITIONAL INFORMATION

Author contribution. Thereby, all authors made a substantial contribution to the conception of the study, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the article, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the study.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

ЛИТЕРАТУРА

1. Bartlett R.H. Extracorporeal Life Support: Gibbon fulfilled. *J Am Coll Surg.* 2014;218:317–327.
2. Richardson B.W. An inquiry into the possibility of restoring the life of warm blooded animals in certain cases where the respiration, circulation and the ordinary manifestations of organic motion are exhausted or have ceased. *Proceedings of the Royal Society of London.* 1865;13:358–371.
3. Konstantinov I., Alexi-Meshkishvili V. Sergei S. Brukhonenko: the development of the first heart-lung machine for total body perfusion. *Ann Thoracic Surg.* 2000;69:962–6.
4. Lillehei C.W. History of the development of extracorporeal circulation, in Arensman R.M., Cornish J.D., eds. *Extracorporeal Life Support in Critical Care* (1st edition), Boston: Blackwell Publications; 1993.
5. Bartlett R.H. Esperanza. *Trans Am Soc Artif Intern Organs.* 1985;31:723–735.
6. Conti E., Cascio N.D., Paluan P., Racca G., Longhitano Y., Savio G., Tesaro M., Leo R., Racca F., Zanza C. Pregnancy Arrhythmias: Management in the Emergency Department and Critical Care. *J Clin Med.* 2024;13(4):1095. DOI: 10.3390/jcm13041095.



7. Хубулава Г.Г., Наумов А.Б., Марченко С.П. и др. Оценка эффективности реанимационных мероприятий с использованием ЭКМО в модели острой гипоксической остановки кровообращения у свиней (экспериментальное исследование). *Педиатр.* 2014;5(4):20–26.
8. Мальцева О.С., Пшениснов К.В., Шелухин Д.А., Наумов А.Б., Марченко С.П., Яковлев А.В., Тризна Е.В., Дембицкая Е.О. Экстракорпоральная мембранная оксигенация в педиатрии и неонатологии. *Медицина: теория и практика.* 2018;3(4):108–114.
9. Romenskaya T., Longhitano Y., Mahajan A., Savioli G., Voza A., Tesaro M., Zanza C. Extra-Corporeal Membrane Oxygenation in Pregnancy. *J Clin Med.* 2024;13(6):1634. DOI: 10.3390/jcm13061634.
10. Alexander P.M.A., Bembea M.M., Cashen K., Cheifetz I.M., Dalton H.J., Himebauch A.S., Karam O., Moynihan K.M., Nellis M.E., Ozment C., Raman L., Rintoul N.E., Said A.S., Saini A., Steiner M.E., Thiagarajan R.R., Watt K., Willems A., Zantek N.D., Barbaro R.P., Steffen K., Vogel A.M., Almond C., Anders M.M., Annich G.M., Brandão L.R., Chandler W., Delaney M., DiGeronimo R., Emani S., Gadepalli S.K., Garcia A.V., Haileselassie B., Hyslop R., Kneyber M.C.J., Baumann Kreuziger L., Le J., Loftis L., McMichael A.B.V., McMullan D.M., Monagle P., Nicol K., Paden M.L., Patregiani J., Priest J., Raffini L., Ryerson L.M., Sloan S.R., Teruya J., Yates A.R., Gehred A., Lyman E., Muszynski J.A. Pediatric ECMO Anticoagulation Collaborative (PEACE), in collaboration with the Pediatric Acute Lung Injury and Sepsis Investigators (PALISI) Network, the Pediatric Critical Care Blood Research Network (BloodNet), and the Pediatric ECMO subgroup of PALISI and the Extracorporeal Life Support Organization (PediECMO). Executive Summary: The Pediatric Extracorporeal Membrane Oxygenation Anticoagulation Collaborative (PEACE) Consensus Conference. *Pediatr Crit Care Med.* 2024;25(7):643–675. DOI: 10.1097/PCC.0000000000003480.
11. Fadel R.A., Almajed M.R., Parsons A., Kalsi J., Shadid M., Maki M., Alqarqaz M., Aronow H., Cowger J., Fuller B., Frisoli T., Grafton G., Kim H., Jones C., Koenig G., Khandelwal A., Nemeh H., O'Neill B., Tanaka D., Williams C., Villablanca P., O'Neill W., Alaswad K., Basir M.B. Feasibility and Outcomes of a Cardiovascular Medicine Inclusive Extracorporeal Membrane Oxygenation (ECMO) Service. *J Soc Cardiovasc Angiogr Interv.* 2024;3(6):101359. DOI: 10.1016/j.jscai.2024.101359.
12. Li Y., Li X.Y., Tang X., Wang R., Zhang C.Y., Wang S.Q., Yuan X., Wang L., Tong Z.H., Sun B. Application of veno-arterio-venous extracorporeal membrane oxygenation in patients with critical respiratory failure combined with refractory shock. *Zhonghua Jie He He Hu Xi Za Zhi.* 2023;46(6):565–571. Chinese. DOI: 10.3760/cma.j.cn112147-20221008-00803.
13. Mariscalco G., Salsano A., Fiore A., Dalén M., Ruggieri V.G., Saeed D., Jónsson K., Gatti G., Zipfel S., Dell'Aquila A.M., Perrotti A., Loforte A., Livi U., Pol M., Spadaccio C., Pettinari M., Ragnarsson S., Alkamees K., El-Dean Z., Bounader K., Biancari F. PC-ECMO group. Peripheral versus central extracorporeal membrane oxygenation for postcardiotomy shock: Multicenter registry, systematic review, and meta-analysis. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2020;160(5):1207–1216.e44. DOI: 10.1016/j.jtcvs.2019.10.078.
14. Ali J.M., Vuylsteke A., Fowles J.A., Pettit S., Salaunkey K., Bhagra S., Lewis C., Parameshwar J., Kydd A., Patvardhan C., Jones N., Rubino A., Abu-Omar Y., Sudarshan C., Tsui S., Catarino P., Jenkins D.P., Berman M. Transfer of Patients With Cardiogenic Shock Using Veno-Arterial Extracorporeal Membrane Oxygenation. *J Cardiothorac Vasc Anesth.* 2020;34(2):374–382. DOI: 10.1053/j.jvca.2019.05.012.
15. Rajsic S., Tremblé B., Jadzic D., Breitkopf R., Oberleitner C., Popovic Krneta M., Bukumiric Z. Extracorporeal membrane oxygenation for cardiogenic shock: a meta-analysis of mortality and complications. *Ann Intensive Care.* 2022;12(1):93. DOI: 10.1186/s13613-022-01067-9.
16. Mudry J., Starr J.P., Batra A., Kelly R.B. Timely Use of Venous-Arterial ECMO to Treat Congenital Pediatric Junctional Ectopic Tachycardia: A Case Report. *J Investig Med High Impact Case Rep.* 2021;9:23247096211034045. DOI: 10.1177/23247096211034045.
17. Cole J.B., Olives T.D., Ulici A., Litell J.M., Bangh S.A., Arens A.M., Puskarich M.A., Prekker M.E. Extracorporeal Membrane Oxygenation for Poisonings Reported to U.S. Poison Centers from 2000 to 2018: An Analysis of the National Poison Data System. *Crit Care Med.* 2020;48(8):1111–1119. DOI: 10.1097/CCM.0000000000004401.
18. Upchurch C., Blumenberg A., Brodie D., MacLaren G., Zakhary B., Hendrickson R.G. Extracorporeal membrane oxygenation use in poisoning: a narrative review with clinical recommendations. *Clin Toxicol (Phila).* 2021;59(10):877–887. DOI: 10.1080/15563650.2021.1945082.
19. Weiner L., Mazzeffi M.A., Hines E.Q., Gordon D., Herr D.L., Kim H.K. Clinical utility of venoarterial-extracorporeal membrane oxygenation (VA-ECMO) in patients with drug-induced cardiogenic shock: a retrospective study of the Extracorporeal Life Support Organizations' ECMO case registry. *Clin Toxicol (Phila).* 2020;58(7):705–710. DOI: 10.1080/15563650.2019.1676896.
20. Di Nardo M., Alunni Fegatelli D., Marano M., Danoff J., Kim H.K. Use of Extracorporeal Membrane Oxygenation in Acutely Poisoned Pediatric Patients in United States: A Retrospective Analysis of the Extracorporeal Life Support Registry From 2003 to 2019. *Crit Care Med.* 2022;50(4):655–664. DOI: 10.1097/CCM.0000000000005436.
21. Ives Tallman C., Zhang Y., Black N., Lynch K., Fayed M., Armenian P. Refractory vasodilatory shock secondary to metformin overdose supported with VA ECMO. *Toxicol Rep.* 2021;9:64–67. DOI: 10.1016/j.toxrep.2021.12.010.
22. Yusuke M., Hidetoshi Y., Yusuke T., Koji I., Masahito T., Susumu Y., Takayuki O. Intoxication with massive doses of amlodipine and candesartan requiring venoarterial extracorporeal membrane oxygenation. *Acute Med Surg.* 2023;10(1):e878. DOI: 10.1002/ams2.878.
23. Yu D., Xiaolin Z., Lei P., Feng L., Lin Z., Jie S. Extracorporeal Membrane Oxygenation for Acute Toxic Inhalations: Case Reports and Literature Review. *Front Med (Lausanne).* 2021;8:745555. DOI: 10.3389/fmed.2021.745555.
24. Schreiber N., Manninger M., Pätzold S., Reisinger A.C., Hatzl S., Hackl G., Högenauer C., Eller P. Cardiogenic shock due to yew poisoning rescued by VA-ECMO: case report and literature review. *Channels (Austin).* 2022;16(1):167–172. DOI: 10.1080/19336950.2022.2104886.

25. Поцхверия М.М., Белова М.В., Симонова А.Ю., Алиев Э.З., Астамирова А.А., Косолапов Д.А., Ткешелашвили Т.Т., Воробьева А.Г. Новые подходы к терапии кардиотоксического эффекта при отравлении метадонном (клинические случаи). *Здравоохранение Югры: опыт и инновации*. 2024;4:27–40.
26. Pozzi M., Buzzi R., Hayek A., Portran P., Schweizer R., Fellahi J.L., Armoiry X., Flagiello M., Grinberg D., Obadia J.F. Veno-arterial extracorporeal membrane oxygenation for drug intoxications: A single center, 14-year experience. *J Card Surg*. 2022;37(6):1512–1519. DOI: 10.1111/jocs.16456.
27. Duburcq T., Goutay J., Preau S., Mugnier A., Rousse N., Mousa M.D., Vincentelli A., Cuny J., Parmentier-Decrucq E., Poissy J. Venoarterial Extracorporeal Membrane Oxygenation in Severe Drug Intoxication: A Retrospective Comparison of Survivors and Nonsurvivors. *ASAIO J*. 2022;68(7):907–913. DOI: 10.1097/MAT.0000000000001583.
28. Zaki H.A., Yigit Y., Elgassim M., Shaban E.E., Shaban A., Lloyd S.A., Mohamed MSE., Azad A.M. A Systematic Review and Meta-analysis Unveiling the Pivotal Role of Extracorporeal Membrane Oxygenation (ECMO) in Drug Overdose Treatment Optimization. *Bull Emerg Trauma*. 2024;12(3):103–110. DOI: 10.30476/beat.2024.102203.1503.
29. Ng M., Wong Z.Y., Ponampalam R. Extracorporeal cardio-pulmonary resuscitation in poisoning: A scoping review article. *Resusc Plus*. 2023;13:100367. DOI: 10.1016/j.resplu.2023.100367.
30. Henry B.M., Benscoter A., Perry T., de Oliveira MHS., Misfeldt A., Cooper D.S. Outcomes of Extracorporeal Life Support in Children with Meningococcal Septicemia: A Retrospective Cohort Study. *J Pediatr Intensive Care*. 2022;12(4):337–343. DOI: 10.1055/s-0042-1750302.
31. Кузьмин А.В., Комарова А.Я., Беляева Н.В., Гандыбин В.С., Малинов А.С., Каширская Е.В., Медведев И.Б., Мусатов В.Б., Яковлев А.А., Федуняк И.П., Карнаухов Е.В., Соколова О.И., Червочкина Н.В. Применение экстракорпоральной мембранной оксигенации в эпидемический период гриппа — эффективность и реальные потребности. *Инфекционные болезни*. 2020;18(4):110–116. DOI: 10.20953/1729-9225-2020-4-110-116.
32. Попов Е.А., Корячкин В.А., Шолин И.Ю., Савенков А.А., Порханов В.А. Экстракорпоральная мембранная оксигенация в комплексе терапии септического шока у пациентки с тяжелым поражением легких, вызванным COVID-19. *Инновационная Медицина Кубани*. 2021;2:52–57. DOI: 10.35401/2500-0268-2021-22-2-52-57.
33. Кривевич О.С., Ершов Е.Н. Опыт применения экстракорпоральной мембранной оксигенации при остром респираторном дистресс-синдроме у пациентов с COVID-19. *Universum: Медицина и фармакология: электронный научный журнал*. 2024;3(108).
34. Савков Г.Е., Петриков С.С., Рыбалко Н.В., Хамидова Л.Т., Маркатюк О.Ю., Киселев К.В., Лебедев Д.А., Врабий Ю.Н., Альтшулер Н.Э., Попугаев К.А. Фенотипы COVID-19-ассоциированной дисавтономии у пациентов, нуждающихся в проведении вено-венозной экстракорпоральной мембранной оксигенации. *Анналы клинической и экспериментальной неврологии*. 2024;18(2):13–23.
35. Palella S., Muscarà L., La Via L., Sanfilippo F. Veno-venous extracorporeal membrane oxygenation for rescue support in pregnant patients with COVID-19: a systematic review. *Br J Anaesth*. 2023;131(4):e130–e132. DOI: 10.1016/j.bja.2023.07.008.
36. Byrne J.J., Shamshirsaz A.A., Cahill A.G., Turrentine M.A., Sease-ly A.R., Eid J., Rouse C.E., Richley M., Raghuraman N., Naqvi M., El-Sayed Y.Y., Badell M.L., Cheng C., Liu J., Adhikari E.H., Patel S.S., O'Neil E.R., Ramsey P.S. Outcomes Following Extracorporeal Membrane Oxygenation for Severe COVID-19 in Pregnancy or Post Partum. *JAMA Netw Open*. 2023;6(5):e2314678. DOI: 10.1001/jamanetworkopen.2023.
37. Zhang JJY., Ong J.A., Syn N.L., Lorusso R., Tan C.S., MacLaren G., Ramanathan K. Extracorporeal Membrane Oxygenation in Pregnant and Postpartum Women: A Systematic Review and Meta-Regression Analysis. *J Intensive Care Med*. 2021;36(2):220–228. DOI: 10.1177/0885066619892826.
38. Ong J., Zhang JJY., Lorusso R., MacLaren G., Ramanathan K. Extracorporeal membrane oxygenation in pregnancy and the postpartum period: a systematic review of case reports. *Int J Obstet Anesth*. 2020;43:106–113. DOI: 10.1016/j.ijoa.2020.04.004.
39. Farhat A., Ling R.R., Jenks C.L., Poon W.H., Yang I.X., Li X., Liu Y., Darnell-Bowens C., Ramanathan K., Thiagarajan R.R., Raman L. Outcomes of Pediatric Extracorporeal Cardiopulmonary Resuscitation: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Crit Care Med*. 2021;49(4):682–692. DOI: 10.1097/CCM.0000000000004882.
40. Mowrer M.C., Lima L., Nair R., Li X., Sandhu H., Bridges B., Barbaro R.P., Bhar S., Nkwantabisa R., Ghafoor S., Reschke A., Olson T., Malone M.P., Shah N., Zinter M.S., Gehlbach J., Hollinger L., Scott B.L., Lerner R.K., Brogan T.V., Raman L., Potera R.M. Pediatric Hematology and Oncology Patients on Extracorporeal Membrane Oxygenation: Outcomes in a Multicenter, Retrospective Cohort, 2009–2021. *Pediatr Crit Care Med*. 2024;25(11):1026–1034. DOI: 10.1097/PCC.0000000000003584.
41. Ziogas I.A., Johnson W.R., Matsuoka L.K., Rauf M.A., Thurm C., Hall M., Bacchetta M., Godown J., Alexopoulos S.P. Extracorporeal Membrane Oxygenation in Pediatric Liver Transplantation: A Multicenter Linked Database Analysis and Systematic Review of the Literature. *Transplantation*. 2021;105(7):1539–1547. DOI: 10.1097/TP.0000000000003414.
42. Koshel C.K., Alexander PMA., Rycus P., Alibrahim O. Extracorporeal Membrane Oxygenation for Pediatric Toxin Exposures: Review of the Extracorporeal Life Support Organization Registry. *ASAIO J*. 2022;68(6):844–849. DOI: 10.1097/MAT.0000000000001550.
43. Cardenas J.M., Borasino S., Timpa J., Hawkins J., McBride M., Rushton W., Newman J., Mendoza E., Sorabella R., Byrnes J. Central ECMO cannulation for severe dihydropyridine calcium channel blocker overdose. *J Extra Corpor Technol*. 2023;55(4):206–208. DOI: 10.1051/ject/2023037.
44. Ling R.R., Ramanathan K., Poon W.H., Tan C.S., Brechot N., Brodie D., Combes A., MacLaren G. Venoarterial extracorporeal membrane oxygenation as mechanical circulatory support in adult septic shock: a systematic review and meta-analysis with individual participant data meta-regression analysis. *Crit Care*. 2021;25(1):246. DOI: 10.1186/s13054-021-03668-5.

45. Ramanathan K., Yeo N., Alexander P., Raman L., Barbaro R., Tan C.S., Schlapbach L.J., MacLaren G. Role of extracorporeal membrane oxygenation in children with sepsis: a systematic review and meta-analysis. *Crit Care*. 2020;24(1):684. DOI: 10.1186/s13054-020-03418-z.
46. Zens T., Lara B., Ochoa B., Eldredge R.S., Gregory M., Molitor M.S. Pediatric ECMO Outcomes in Children With Severe Infections: Does Infectious Source Matter? *J Pediatr Surg*. 2025;60(4):162170. DOI: 10.1016/j.jpedsurg.2025.162170.
47. Alfoudri H., Shamsah M., Yousuf B., AlQuraini N. Extracorporeal Membrane Oxygenation and Extracorporeal Cardiopulmonary Resuscitation for a COVID-19 Pediatric Patient: A Successful Outcome. *ASAIO J*. 2021;67(3):250–253. DOI: 10.1097/MAT.0000000000001377.
48. Melnikov G., Grabowski S., Broman L.M. Extracorporeal Membrane Oxygenation for Septic Shock in Children. *ASAIO J*. 2022;68(2):262–267. DOI: 10.1097/MAT.0000000000001464.
49. Яковлев А.В., Тризна Е.В., Нохрин А.В., Суворов В.В., Хатагова Р.Б., Кирьяков К.С., Соловьева Е.А., Пшениснгов К.В. Применение экстракорпоральной мембранной оксигенации у новорожденных с рефрактерной гипоксемией во время медицинской эвакуации. *Российский вестник перинатологии и педиатрии*. 2022;67(3):92–99. DOI: 10.21508/1027-4065-2022-67-3-92-99.
9. Romenskaya T., Longhitano Y., Mahajan A., Savioli G., Voza A., Tesauro M., Zanza C. Extra-Corporeal Membrane Oxygenation in Pregnancy. *J Clin Med*. 2024;13(6):1634. DOI: 10.3390/jcm13061634.
10. Alexander P.M.A., Bembea M.M., Cashen K., Cheifetz I.M., Dalton H.J., Himebauch A.S., Karam O., Moynihan K.M., Nellis M.E., Ozment C., Raman L., Rintoul N.E., Said A.S., Saini A., Steiner M.E., Thiagarajan R.R., Watt K., Willems A., Zantek N.D., Barbaro R.P., Steffen K., Vogel A.M., Almond C., Anders M.M., Annich G.M., Brandão L.R., Chandler W., Delaney M., DiGeronimo R., Emani S., Gadepalli S.K., Garcia A.V., Haileselassie B., Hyslop R., Kneyber M.C.J., Baumann Kreuziger L., Le J., Loftis L., McMichael A.B.V., McMullan D.M., Monagle P., Nicol K., Paden M.L., Patregnani J., Priest J., Raffini L., Ryerson L.M., Sloan S.R., Teruya J., Yates A.R., Gehred A., Lyman E., Muszynski J.A. Pediatric ECMO Anticoagulation Collaborative (PEACE), in collaboration with the Pediatric Acute Lung Injury and Sepsis Investigators (PALISI) Network, the Pediatric Critical Care Blood Research Network (BloodNet), and the Pediatric ECMO subgroup of PALISI and the Extracorporeal Life Support Organization (PediECMO). Executive Summary: The Pediatric Extracorporeal Membrane Oxygenation Anticoagulation Collaborative (PEACE) Consensus Conference. *Pediatr Crit Care Med*. 2024;25(7):643–675. DOI: 10.1097/PCC.0000000000003480.
11. Fadel R.A., Almajed M.R., Parsons A., Kalsi J., Shadid M., Maki M., Alqarqaz M., Aronow H., Cowger J., Fuller B., Frisoli T., Grafton G., Kim H., Jones C., Koenig G., Khandelwal A., Nemeh H., O'Neill B., Tanaka D., Williams C., Villablanca P., O'Neill W., Alaswad K., Basir M.B. Feasibility and Outcomes of a Cardiovascular Medicine Inclusive Extracorporeal Membrane Oxygenation (ECMO) Service. *J Soc Cardiovasc Angiogr Interv*. 2024;3(6):101359. DOI: 10.1016/j.jscai.2024.101359.
12. Li Y., Li X.Y., Tang X., Wang R., Zhang C.Y., Wang S.Q., Yuan X., Wang L., Tong Z.H., Sun B. Application of veno-arterio-venous extracorporeal membrane oxygenation in patients with critical respiratory failure combined with refractory shock. *Zhonghua Jie He Hu Xi Za Zhi*. 2023;46(6):565–571. Chinese. DOI: 10.3760/cma.j.cn112147-20221008-00803.
13. Mariscalco G., Salsano A., Fiore A., Dalén M., Ruggieri V.G., Saeed D., Jónsson K., Gatti G., Zipfel S., Dell'Aquila A.M., Perrotti A., Loforte A., Livi U., Pol M., Spadaccio C., Pettinari M., Ragnarsson S., Alkhamees K., El-Dean Z., Bounader K., Biancari F. PC-ECMO group. Peripheral versus central extracorporeal membrane oxygenation for postcardiotomy shock: Multicenter registry, systematic review, and meta-analysis. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2020;160(5):1207–1216.e44. DOI: 10.1016/j.jtcvs.2019.10.078.
14. Ali J.M., Vuylsteke A., Fowles J.A., Pettit S., Salaunkey K., Bhagra S., Lewis C., Parameshwar J., Kydd A., Patvardhan C., Jones N., Rubino A., Abu-Omar Y., Sudarshan C., Tsui S., Catarino P., Jenkins D.P., Berman M. Transfer of Patients With Cardiogenic Shock Using Veno-Arterial Extracorporeal Membrane Oxygenation. *J Cardiothorac Vasc Anesth*. 2020;34(2):374–382. DOI: 10.1053/j.jvca.2019.05.012.
15. Rajscic S., Trembl B., Jadzic D., Breitkopf R., Oberleitner C., Popovic Krneta M., Bukumiric Z. Extracorporeal membrane oxygenation for

REFERENCES

1. Bartlett R.H. Extracorporeal Life Support: Gibbon fulfilled. *J Am Coll Surg*. 2014;218:317–327.
2. Richardson B.W. An inquiry into the possibility of restoring the life of warm blooded animals in certain cases where the respiration, circulation and the ordinary manifestations of organic motion are exhausted or have ceased. *Proceedings of the Royal Society of London*. 1865;13:358–371.
3. Konstantinov I., Alexi-Meskishvili V., Sergei S. Brukhonenko: the development of the first heart-lung machine for total body perfusion. *Ann Thoracic Surg*. 2000;69:962–6.
4. Lillehei C.W. History of the development of extracorporeal circulation, in Arensman R.M., Cornish J.D., eds. *Extracorporeal Life Support in Critical Care* (1st edition), Boston: Blackwell Publications; 1993.
5. Bartlett R.H. Esperanza. *Trans Am Soc Artif Intern Organs*. 1985;31:723–735.
6. Conti E., Cascio N.D., Paluan P., Racca G., Longhitano Y., Savioli G., Tesauro M., Leo R., Racca F., Zanza C. Pregnancy Arrhythmias: Management in the Emergency Department and Critical Care. *J Clin Med*. 2024;13(4):1095. DOI: 10.3390/jcm13041095.
7. Hubulava G.G., Naumov A.B., Marchenko S.P. i dr. Evaluation of the effectiveness of resuscitation measures using ECMO in a model of acute hypoxic circulatory arrest in pigs (experimental study). *Pediatr*. 2014;5(4):20–26. (In Russian).
8. Mal'ceva O.S., Pshenisnov K.V., Sheluhin D.A., Naumov A.B., Marchenko S.P., Yakovlev A.V., Trizna E.V., Dembickaya E.O. Extracorporeal membrane oxygenation in pediatrics and neonatology. *Medicine: Theory and Practice*. 2018;3(4):108–114. (In Russian).

- cardiogenic shock: a meta-analysis of mortality and complications. *Ann Intensive Care*. 2022;12(1):93. DOI: 10.1186/s13613-022-01067-9.
16. Mudery J., Starr J.P., Batra A., Kelly R.B. Timely Use of Venous-Arterial ECMO to Treat Congenital Pediatric Junctional Ectopic Tachycardia: A Case Report. *J Investig Med High Impact Case Rep*. 2021;9:23247096211034045. DOI: 10.1177/23247096211034045.
 17. Cole J.B., Olives T.D., Ulici A., Litell J.M., Bangh S.A., Arens A.M., Puskarich M.A., Prekker M.E. Extracorporeal Membrane Oxygenation for Poisonings Reported to U.S. Poison Centers from 2000 to 2018: An Analysis of the National Poison Data System. *Crit Care Med*. 2020;48(8):1111–1119. DOI: 10.1097/CCM.0000000000004401.
 18. Upchurch C., Blumenberg A., Brodie D., MacLaren G., Zakhary B., Hendrickson R.G. Extracorporeal membrane oxygenation use in poisoning: a narrative review with clinical recommendations. *Clin Toxicol (Phila)*. 2021;59(10):877–887. DOI: 10.1080/15563650.2021.1945082.
 19. Weiner L., Mazzeffi M.A., Hines E.Q., Gordon D., Herr D.L., Kim H.K. Clinical utility of venoarterial-extracorporeal membrane oxygenation (VA-ECMO) in patients with drug-induced cardiogenic shock: a retrospective study of the Extracorporeal Life Support Organizations' ECMO case registry. *Clin Toxicol (Phila)*. 2020;58(7):705–710. DOI: 10.1080/15563650.2019.1676896.
 20. Di Nardo M., Alunni Fegatelli D., Marano M., Danoff J., Kim H.K. Use of Extracorporeal Membrane Oxygenation in Acutely Poisoned Pediatric Patients in United States: A Retrospective Analysis of the Extracorporeal Life Support Registry From 2003 to 2019. *Crit Care Med*. 2022;50(4):655–664. DOI: 10.1097/CCM.0000000000005436.
 21. Ives Tallman C., Zhang Y., Black N., Lynch K., Fayed M., Armenian P. Refractory vasodilatory shock secondary to metformin overdose supported with VA ECMO. *Toxicol Rep*. 2021;9:64–67. DOI: 10.1016/j.toxrep.2021.12.010.
 22. Yusuke M., Hidetoshi Y., Yusuke T., Koji I., Masahito T., Susumu Y., Takayuki O. Intoxication with massive doses of amlodipine and candesartan requiring venoarterial extracorporeal membrane oxygenation. *Acute Med Surg*. 2023;10(1):e878. DOI: 10.1002/ams2.878.
 23. Yu D., Xiaolin Z., Lei P., Feng L., Lin Z., Jie S. Extracorporeal Membrane Oxygenation for Acute Toxic Inhalations: Case Reports and Literature Review. *Front Med (Lausanne)*. 2021;8:745555. DOI: 10.3389/fmed.2021.745555.
 24. Schreiber N., Manninger M., Pätzold S., Reisinger A.C., Hatzl S., Hackl G., Högenauer C., Eller P. Cardiogenic shock due to yew poisoning rescued by VA-ECMO: case report and literature review. *Channels (Austin)*. 2022;16(1):167–172. DOI: 10.1080/19336950.2022.2104886.
 25. Potshveria M.M., Belova M.V., Simonova A.Yu., Aliev E.Z., Asatamirova A.A., Kosolapov D.A., Tkeshelashvili T.T., Vorobyeva A.G. New approaches to the treatment of cardiotoxic effects in methadone poisoning (clinical cases). *Ugra healthcare: experience and innovations*. 2024;4:27–40. (In Russian).
 26. Pozzi M., Buzzi R., Hayek A., Portran P., Schweizer R., Fellahi J.L., Armoiry X., Flagiello M., Grinberg D., Obadia J.F. Veno-arterial extracorporeal membrane oxygenation for drug intoxications: A single center, 14-year experience. *J Card Surg*. 2022;37(6):1512–1519. DOI: 10.1111/jocs.16456.
 27. Duburcq T., Goutay J., Preau S., Mugnier A., Rousse N., Mousa M.D., Vincentelli A., Cuny J., Parmentier-Decrucq E., Poissy J. Venoarterial Extracorporeal Membrane Oxygenation in Severe Drug Intoxication: A Retrospective Comparison of Survivors and Nonsurvivors. *ASAIO J*. 2022;68(7):907–913. DOI: 10.1097/MAT.0000000000001583.
 28. Zaki H.A., Yigit Y., Elgassim M., Shaban E.E., Shaban A., Lloyd S.A., Mohamed MSE., Azad A.M. A Systematic Review and Meta-analysis Unveiling the Pivotal Role of Extracorporeal Membrane Oxygenation (ECMO) in Drug Overdose Treatment Optimization. *Bull Emerg Trauma*. 2024;12(3):103–110. DOI: 10.30476/beat.2024.102203.1503.
 29. Ng M., Wong Z.Y., Ponampalam R. Extracorporeal cardio-pulmonary resuscitation in poisoning: A scoping review article. *Resusc Plus*. 2023;13:100367. DOI: 10.1016/j.resplu.2023.100367.
 30. Henry B.M., Benscoter A., Perry T., de Oliveira MHS., Misfeldt A., Cooper D.S. Outcomes of Extracorporeal Life Support in Children with Meningococcal Septicemia: A Retrospective Cohort Study. *J Pediatr Intensive Care*. 2022;12(4):337–343. DOI: 10.1055/s-0042-1750302.
 31. Kuzmin A.V., Komarova A.Ya., Belyaeva N.V., Gandybin V.S., Malinov A.S., Kashirskaya E.V., Medvedev I.B., Musatov V.B., Yakovlev A.A., Fedunyak I.P., Karnaukhov E.V., Sokolova O.I., Chervochkina N.V. Extracorporeal membrane oxygenation during the flu season: efficacy and real needs. *Infekts. bolezni (Infectious diseases)*. 2020;18(4):110–116. (In Russian). DOI: 10.20953/1729-9225-2020-4-110-116.
 32. Popov E.A., Koriachkin V.A., Sholin I.Yu., Savenkov A.A., Porhanov V.A. Extracorporeal membrane oxygenation in the complex therapy for septic shock in a patient with severe lung damage caused by COVID-19. *Innovative Medicine of Kuban*. 2021;2:52–57. (In Russian). DOI: 10.35401/2500-0268-2021-22-2-52-57.
 33. Kritevich O.S., Ershov E.N. Experience of using extracorporeal membrane oxygenation in acute respiratory distress syndrome in patients with COVID-19. *Universum: Medicina i farmakologiya: elektronnyj nauchnyj zhurnal*. 2024;3(108). (In Russian).
 34. Savkov G.E., Petrikov S.S., Rybalko N.V., Khamidova L.T., Markatuk O.U., Kiselev K.V., Lebedev D.A., Vrabiy Yu.N., Altschuler N.E., Popugaev K.A. Phenotypes of COVID-19-associated dysautonomia in patients requiring veno-venous extracorporeal membrane oxygenation. *Annals of Clinical and Experimental Neurology*. 2024;18(2):13–23. (In Russian). DOI: 10.17816/ACEN.1017.
 35. Palella S., Muscarà L., La Via L., Sanfilippo F. Veno-venous extracorporeal membrane oxygenation for rescue support in pregnant patients with COVID-19: a systematic review. *Br J Anaesth*. 2023;131(4):e130–e132. DOI: 10.1016/j.bja.2023.07.008.
 36. Byrne J.J., Shamshirsaz A.A., Cahill A.G., Turrentine M.A., Seaseley A.R., Eid J., Rouse C.E., Richley M., Raghuraman N., Naqvi M., El-Sayed Y.Y., Badell M.L., Cheng C., Liu J., Adhikari E.H., Patel S.S., O'Neil E.R., Ramsey P.S. Outcomes Following Extracorporeal Membrane Oxygenation for Severe COVID-19 in Pregnancy or Post Partum. *JAMA Netw Open*. 2023;6(5):e2314678. DOI: 10.1001/jamanetworkopen.2023.

37. Zhang JJY., Ong J.A., Syn N.L., Lorusso R., Tan C.S., MacLaren G., Ramanathan K. Extracorporeal Membrane Oxygenation in Pregnant and Postpartum Women: A Systematic Review and Meta-Regression Analysis. *J Intensive Care Med.* 2021;36(2):220–228. DOI: 10.1177/0885066619892826.
38. Ong J., Zhang JJY., Lorusso R., MacLaren G., Ramanathan K. Extracorporeal membrane oxygenation in pregnancy and the postpartum period: a systematic review of case reports. *Int J Obstet Anesth.* 2020;43:106–113. DOI: 10.1016/j.ijoa.2020.04.004.
39. Farhat A., Ling R.R., Jenks C.L., Poon W.H., Yang I.X., Li X., Liu Y., Darnell-Bowens C., Ramanathan K., Thiagarajan R.R., Raman L. Outcomes of Pediatric Extracorporeal Cardiopulmonary Resuscitation: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Crit Care Med.* 2021;49(4):682–692. DOI: 10.1097/CCM.0000000000004882.
40. Mowrer M.C., Lima L., Nair R., Li X., Sandhu H., Bridges B., Barbaro R.P., Bhar S., Nkwantabisa R., Ghafoor S., Reschke A., Olson T., Malone M.P., Shah N., Zinter M.S., Gehlbach J., Hollinger L., Scott B.L., Lerner R.K., Brogan T.V., Raman L., Potera R.M. Pediatric Hematology and Oncology Patients on Extracorporeal Membrane Oxygenation: Outcomes in a Multicenter, Retrospective Cohort, 2009–2021. *Pediatr Crit Care Med.* 2024;25(11):1026–1034. DOI: 10.1097/PCC.0000000000003584.
41. Ziogas I.A., Johnson W.R., Matsuoka L.K., Rauf M.A., Thurm C., Hall M., Bacchetta M., Godown J., Alexopoulos S.P. Extracorporeal Membrane Oxygenation in Pediatric Liver Transplantation: A Multicenter Linked Database Analysis and Systematic Review of the Literature. *Transplantation.* 2021;105(7):1539–1547. DOI: 10.1097/TP.0000000000003414.
42. Koshel C.K., Alexander PMA., Rycus P., Alibrahim O. Extracorporeal Membrane Oxygenation for Pediatric Toxin Exposures: Review of the Extracorporeal Life Support Organization Registry. *ASAIO J.* 2022;68(6):844–849. DOI: 10.1097/MAT.0000000000001550.
43. Cardenas J.M., Borasino S., Timpa J., Hawkins J., McBride M., Rushton W., Newman J., Mendoza E., Sorabella R., Byrnes J. Central ECMO cannulation for severe dihydropyridine calcium channel blocker overdose. *J Extra Corpor Technol.* 2023;55(4):206–208. DOI: 10.1051/ject/2023037.
44. Ling R.R., Ramanathan K., Poon W.H., Tan C.S., Brechot N., Brodie D., Combes A., MacLaren G. Venoarterial extracorporeal membrane oxygenation as mechanical circulatory support in adult septic shock: a systematic review and meta-analysis with individual participant data meta-regression analysis. *Crit Care.* 2021;25(1):246. DOI: 10.1186/s13054-021-03668-5.
45. Ramanathan K., Yeo N., Alexander P., Raman L., Barbaro R., Tan C.S., Schlapbach L.J., MacLaren G. Role of extracorporeal membrane oxygenation in children with sepsis: a systematic review and meta-analysis. *Crit Care.* 2020;24(1):684. DOI: 10.1186/s13054-020-03418-z.
46. Zens T., Lara B., Ochoa B., Eldredge R.S., Gregory M., Molitor M.S. Pediatric ECMO Outcomes in Children With Severe Infections: Does Infectious Source Matter? *J Pediatr Surg.* 2025;60(4):162170. DOI: 10.1016/j.jpedsurg.2025.162170.
47. Alfoudri H., Shamsah M., Yousuf B., AlQuraini N. Extracorporeal Membrane Oxygenation and Extracorporeal Cardiopulmonary Resuscitation for a COVID-19 Pediatric Patient: A Successful Outcome. *ASAIO J.* 2021;67(3):250–253. DOI: 10.1097/MAT.0000000000001377.
48. Melnikov G., Grabowski S., Broman L.M. Extracorporeal Membrane Oxygenation for Septic Shock in Children. *ASAIO J.* 2022;68(2):262–267. DOI: 10.1097/MAT.0000000000001464.
49. Yakovlev A.V., Trizna E.V., Nokhrin A.V., Suvorov V.V., Khatagova R.B., Kiriakov K.S., Solovieva E.A., Pshenishnov K.V. Application of extracorporeal membrane oxygenation in newborns with refractory hypoxemia during medical evacuation. *Rossiyskiy Vestnik Perinatologii i Pediatrii.* 2022;67(3):92–99. (In Russian). DOI: 10.21508/1027-4065-2022-67-3-92-99.