



Вено-венозная экстракорпоральная мембранная оксигенация в терапии тяжелой дыхательной недостаточности (обзор литературы)

К. А. МИКАЕЛЯН^{1-3*}, М. В. ПЕТРОВА^{3,4}, Е. В. ФИЛИМОНОВА^{1,5}, Ж. В. ЖАКОВА⁵

¹ Городская клиническая больница № 52, Москва, Российская Федерация

² Станция скорой и неотложной медицинской помощи им. А. С. Пучкова, Москва, Российская Федерация

³ Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы, Москва, Российская Федерация

⁴ Федеральный научно-клинический центр реаниматологии и реабилитологии, Москва, Российская Федерация

⁵ Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Москва, Российская Федерация

Поступила в редакцию 25.01.2025 г.; дата рецензирования 14.02.2025 г.

РЕЗЮМЕ

Цель – обобщить имеющиеся данные о применении В-В ЭКМО (вено-венозной экстракорпоральной мембранной оксигенации) при тяжелой дыхательной недостаточности и актуализировать представления о тактике интенсивной терапии.

Материалы и методы. Поиск информации осуществляли в базах данных: Web of Science, Scopus, Medline, PubMed, РИНЦ, eLibrary и др. Отобрали 48 литературных источников, содержащих современные подходы к проведению В-В ЭКМО, а также актуальные данные клинических и научных исследований по теме обзора.

Результаты. Рассмотрены физиологические аспекты В-В ЭКМО, показания к применению и данные об эффективности метода при лечении тяжелой дыхательной недостаточности различной этиологии. Приведены актуальные клинические данные по тактике ведения и аспектам интенсивной терапии.

Заключение. Обеспечение «легочного покоя» с созданием условий для восстановления газообменной функции легких – основная точка приложения В-В ЭКМО в интенсивной терапии тяжелой дыхательной недостаточности. Индивидуализированный подход при оценке показаний и своевременная инициация метода в многопрофильных учреждениях с большим опытом применения являются ключевыми факторами, улучшающими результаты лечения пациентов данной группы.

Ключевые слова: экстракорпоральная мембранная оксигенация, пневмония, острый респираторный дистресс-синдром, дыхательная недостаточность, искусственная вентиляция легких

Для цитирования: Микаелян К. А., Петрова М. В., Филимонова Е. В., Жакова Ж. В. Вено-венозная экстракорпоральная мембранная оксигенация в терапии тяжелой дыхательной недостаточности (обзор литературы) // Вестник анестезиологии и реаниматологии. – 2025. – Т. 22, № 3. – С. 119–128. <https://doi.org/10.24884/2078-5658-2025-22-3-119-128>.

Veno-venous extracorporeal membrane oxygenation in the treatment of severe respiratory failure (literature review)

KAREN A. MIKAELIAN^{1-3*}, MARINA V. PETROVA^{3,4}, ELENA V. FILIMONOVA^{1,5}, ZHANNA V. ZHAKOVA⁵

¹ Moscow City Clinical Hospital № 52, Moscow, Russia

² A. S. Puchkov Station of Emergency Medical Care, Moscow, Russia

³ Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba, Moscow, Russia

⁴ Federal Research and Clinical Center of Intensive Care Medicine and Rehabilitology, Moscow, Russia

⁵ Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

Received 25.01.2025; review date 14.02.2025

ABSTRACT

The objective was to summarize the available data on the use of V-V ECMO (veno-venous extracorporeal membrane oxygenation) in severe respiratory failure and to update ideas about the tactics of intensive therapy.

Materials and methods. In this review, we searched Web of Science, Scopus, Medline, PubMed, and E-library database. 48 articles were included, containing modern approaches to V-V ECMO, as well as current data of clinical and scientific studies.

Results. In this review, we presented the physiologic aspects of V-V ECMO, indications for its use and data on its effectiveness in the treatment of severe respiratory failure of various etiologies. Current clinical data on management tactics and aspects of intensive care are presented.

Conclusions. Ensuring “Lung rest” with the creation of conditions for the restoration of lung gas exchange function is the main point of application of V-V ECMO in intensive care for severe respiratory failure. Individualized approach to the assessment of indications and timely initiation of the method in multidisciplinary institutions with extensive experience are key factors that improve the treatment outcomes of patients in this group.

Keywords: extracorporeal membrane oxygenation, pneumonia, acute respiratory distress syndrome, respiratory failure, mechanical ventilation

For citation: Mikaelian K. A., Petrova M. V., Filimonova E. V., Zhakova Zh. V. Veno-venous extracorporeal membrane oxygenation in the treatment of severe respiratory failure (literature review). *Messenger of Anesthesiology and Resuscitation*, 2025, Vol. 22, № 3, P. 119–128. (In Russ.). <https://doi.org/10.24884/2078-5658-2025-22-3-119-128>.

* Для корреспонденции:

Карен Артурович Микаелян
E-mail: mikaelian_k@icloud.com

* Correspondence:

Karen A. Mikaelian
E-mail: mikaelian_k@icloud.com

Введение

Пандемии H_1N_1 и COVID-19 прочно укрепили роль В-В ЭКМО (вено-венозной экстракорпоральной мембранной оксигенации) в терапии тяжелой дыхательной недостаточности: количество инициированных процедур за последние годы выросло в десятки раз, а число центров ЭКМО в мире постоянно увеличивается наравне с накопленным опытом. Помимо таких традиционных показаний, как ОРДС (острый респираторный дистресс-синдром) и астматический статус, В-В ЭКМО используется и при ряде других состояний, при которых обеспечение газообмена ресурсами протективной искусственной вентиляции легких (ИВЛ) не представляется возможным.

В течение последних десятилетий количество центров ЭКМО значительно увеличилось, и на данный момент методом располагают учреждения более чем 50 стран мира [48]. За последние 10 лет, благодаря широкому опыту применения метода в пандемию H_1N_1 , ближневосточного респираторного синдрома (БВРС-КоВ) и COVID-19, количество инициированных процедур выросло более чем в 10 раз [48]. Согласно данным реестра ELSO, за последние 5 лет было инициировано более 40 тыс. процедур, среди которых в группе взрослых пациентов количество выживших к моменту выписки из стационара или переведенных в другие центры составило 58%, а когорта пациентов с COVID-19, по данным этого же реестра, характеризуется госпитальной летальностью в 48% [11].

Затраты системы здравоохранения на применение ЭКМО существенно различаются в зависимости от модальности и показаний [28]. Анализ «затраты-эффективность» применения В-В ЭКМО зарубежных коллег продемонстрировал эффективность метода у молодых пациентов с тяжелым ОРДС с точки зрения системы здравоохранения, а также сопоставимый уровень затрат между COVID-19 и другими причинами тяжелой дыхательной недостаточности [23]. Осуществление программы ЭКМО в многопрофильных стационарах с большим опытом является одним из ключевых моментов успешного использования метода [18, 19, 44].

Несмотря на то, что единичные рандомизированные контролируемые исследования, целью которых являлась оценка эффективности В-В ЭКМО и экстракорпорального удаления CO_2 в сравнении с ИВЛ, проводились и ранее, первой заметной работой стало исследование CESAR [32], в котором сравнивалось использование ИВЛ с ИВЛ в сочетании с В-В ЭКМО в терапии тяжелой дыхательной недостаточности. Результатом исследования стала меньшая 6-месячная летальность или тяжелая инвалидность в группе, в которой применяли В-В ЭКМО, однако дизайн и интерпретация полученных результатов остаются предметом споров в медицинском сообществе. В прекращенном досрочно исследовании EOLIA [8], где сравнивались те же принципы терапии тяжелой ды-

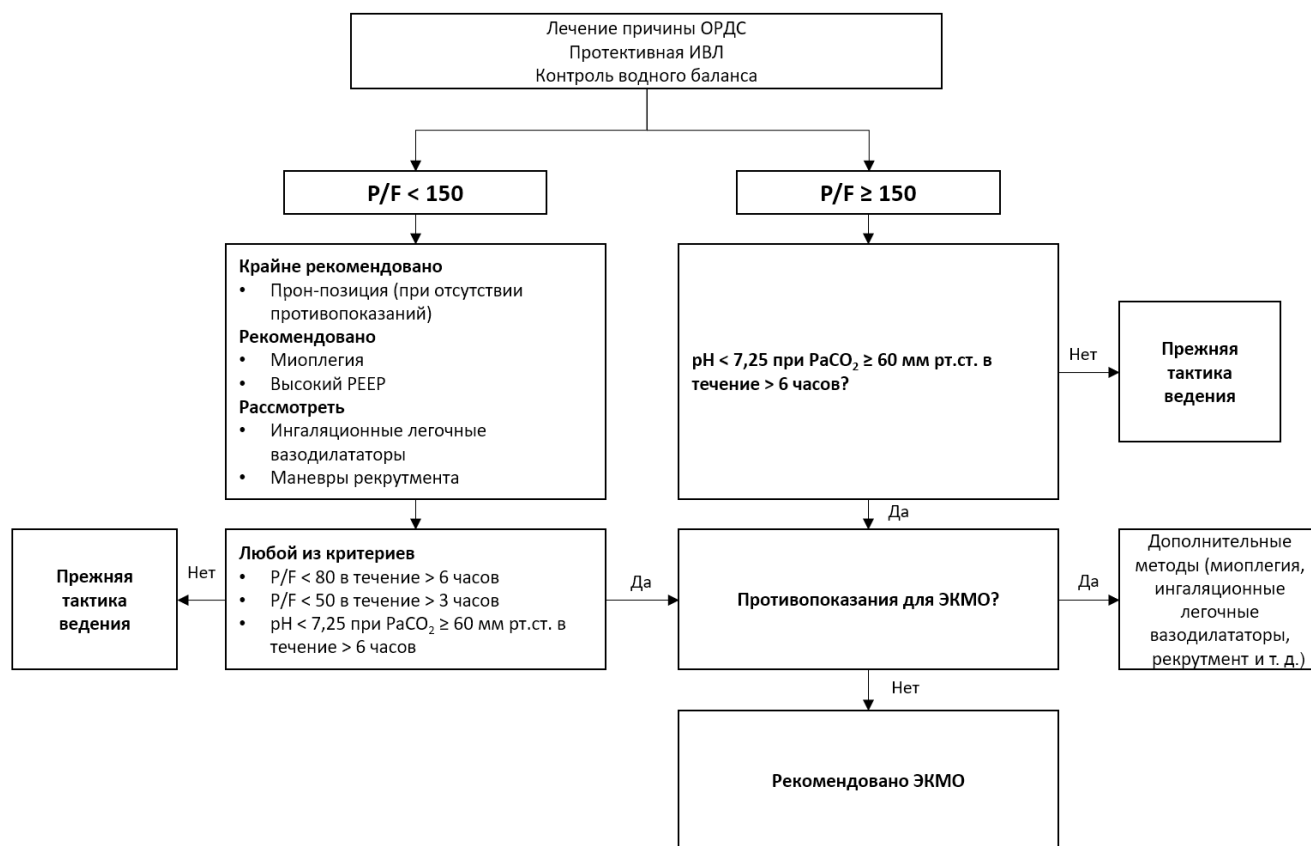
хательной недостаточности, в группе с применением В-В ЭКМО было продемонстрировано уменьшение риска смерти с учетом кроссовера пациентов с тяжелой гипоксемией из группы, в которой проводилась только ИВЛ. Данные исследования являются основополагающими и утвердили роль В-В ЭКМО в качестве последнего инструмента поддержания газообмена у пациентов с тяжелой дыхательной недостаточностью.

Цель – освещение В-В ЭКМО как современного и сложного метода поддержания газообмена у пациентов с тяжелой дыхательной недостаточностью различной этиологии с рассмотрением ключевых компонентов интенсивной терапии.

Дефиниции. Экстракорпоральная мембранная оксигенация – аппаратный метод временного поддержания газообмена и/или кровообращения у пациентов в критическом состоянии различной этиологии. Согласно современной общепринятой номенклатуре, существует две модальности периферической ЭКМО: вено-венозная (В-В ЭКМО), которая используется с целью временного поддержания газообмена у пациентов с дыхательной недостаточностью, рефрактерной к ИВЛ, в том числе при невозможности ее безопасного проведения; и вено-артериальная (В-А ЭКМО), которая используется с целью временного поддержания гемодинамики и газообмена у пациентов с сердечной и/или дыхательной недостаточностью, рефрактерной к проводимой медикаментозной поддержке гемодинамики и ИВЛ.

Газообмен при В-В ЭКМО. В процессе В-В ЭКМО газообмен осуществляется за счет диффузии газов через мембрану оксигенатора. Доставка кислорода зависит от потока крови, концентрации гемоглобина и разницы между концентрацией кислорода на входе и выходе из оксигенатора; от градиента углекислого газа зависит и его элиминация. С помощью работы насоса венозная кровь пациента попадает в контур через дренажную канюлю, после чего достигает оксигенатора, в котором происходит оксигенация и элиминация CO_2 . Декарбоксилированная и оксигенированная экстракорпорально кровь с $PO_{2post} > 300$ мм рт. ст. поступает в правые камеры сердца через возвратную канюлю, где смешивается с нативным венозным возвратом [5]; оставшаяся часть поступает в легочный кровоток с неизменным газовым составом. Таким образом, артериальная сатурация и парциальное давление кислорода в артериальной крови являются результатом смешивания крови из двух компартментов: оксигенированной и декарбоксилированной крови из оксигенатора и венозной крови, не попавшей в оксигенатор [5, 13]. Считается, что для обеспечения адекватной доставки кислорода производительность В-В ЭКМО должна составлять не менее 60% от сердечного выброса [5].

В отличие от вено-артериальной конфигурации, В-В ЭКМО не оказывает влияния на гемодинамику, однако к непрямому влиянию на нее можно отнести уменьшение легочного сосудистого сопротивления



Показания для В-В ЭКМО (адаптировано от ELSO) [4] Indications for V-V ECMO (adapted from ELSO) [4]

на фоне купирования гипоксической легочной вазоконстрикции и гиперкапнии, что сопровождается снижением постнагрузки правого желудочка и, в ряде случаев, позволяет избежать конверсии в В-А ЭКМО у пациентов с тяжелой дыхательной недостаточностью с признаками правожелудочковой недостаточности.

Показания и противопоказания к В-В ЭКМО. Традиционно В-В ЭКМО применяется в случае невозможности поддержания газообмена на фоне протективной ИВЛ при дыхательной недостаточности обратимой этиологии. На данный момент общепринятыми для инициации В-В ЭКМО, в том числе у пациентов с COVID-19, служат показания, приведенные в рекомендациях ELSO от 2021 г. [4], адаптированная версия которых представлена на схеме 1, и которые основаны на использованных в исследованиях и CESAR [32] и EOLIA [8] критериях. К таким состояниям относят тяжелый ОРДС, астматический статус и другие состояния, при которых дальнейшее проведение непротективной вентиляции может привести к вентилятор-ассоциированному повреждению легких. Также использование В-В ЭКМО оправданно в качестве «моста» к трансплантации легких или у пациентов с активным сбросом воздуха в плевральную полость, которым требуется максимально протективная ИВЛ с поддержанием адекватного газообмена [43].

К числу абсолютных противопоказаний к В-В ЭКМО относят хронические заболевания в стадии

декомпенсации без возможности органной трансплантации, тяжелый неврологический дефицит, онкологические заболевания с заведомо неблагоприятным прогнозом, полиорганную недостаточность и другие состояния, при которых применение В-В ЭКМО не способно оказать влияние на прогноз [43]. К относительным противопоказаниям относят невозможность проведения системной антикоагуляции, тяжелый иммунодефицит (при возможности проведения патогенетической терапии), а также длительная ИВЛ и пожилой возраст, границы которого варьируют в зависимости от используемого в учреждении локального протокола [43]. Также взвешиванию потенциальных риска и пользы от метода подлежат случаи развития тяжелого ОРДС в результате отравления определенными токсическими агентами, вызывающими митохондриальную дисфункцию, эффективность В-В ЭКМО при которых представляется сомнительной [46].

Основные аспекты интенсивной терапии при проведении В-В ЭКМО

Канюляция и конфигурации. Канюляцию при периферической В-В ЭКМО проводят чрескожным доступом с использованием техники по Сельдингеру. Во избежание технических трудностей и фатальных осложнений рекомендовано выполнение канюляции под ультразвуковым контролем, что

Таблица 1. Конфигурации периферической ЭКМО
Table 1. Peripheral ECMO configurations

	Забор крови		Возврат крови	Показания
В-В	НПВ/ВПВ		ВПВ/НПВ	Дыхательная недостаточность
В-А	ПП		Общая бедренная артерия	Кардиогенный шок, СЛР-ЭКМО
ВВ-В	НПВ/ВПВ	НПВ	ВПВ/НПВ	Дыхательная недостаточность с необходимостью более высокой производительности
ВВ-А	ВПВ	НПВ	Общая бедренная артерия	Кардиогенный с необходимостью декомпрессии правых камер сердца
В-Ва	НПВ		Общая бедренная артерия	Дыхательная недостаточность + кардиогенный шок
В-Ла	НПВ		Легочная артерия	Дыхательная недостаточность

Примечание: ВПВ – верхняя полая вена.

позволяет визуализировать сосуды, определить их диаметр для выбора канюль, верифицировать проводник в вене перед дилатацией и адекватно позиционировать канюли [39]. Несмотря на то, что канюляция, как правило, подразумевает иммобилизацию пациента, анализ реестра ELSO свидетельствует о выполнении манипуляции «в сознании» в 2,8% (797/28627) случаев, что сопровождалось меньшей длительностью проведения В-В ЭКМО, но не сопровождалось увеличением выживаемости [25].

Наиболее часто используемой конфигурацией В-В ЭКМО является феморо-югулярная, при которой дренажная и возвратная канюли имплантируются в общую бедренную и внутреннюю яремную вены соответственно. Данная конфигурация позволяет достичь высокой производительности и характеризуется наименьшей рециркуляцией [9].

Существуют и иные конфигурации, представленные в табл. 1. В качестве альтернативы феморо-югулярной применяется бифеморальная конфигурация, при которой заборная и возвратная канюли имплантируются в нижнюю полую вену и правое предсердие соответственно, через контрлатеральные общие бедренные вены. Бифеморальная конфигурация характеризуется высоким риском развития рециркуляции, а производительность ограничена необходимостью выбора канюль меньшего диаметра, в связи с чем не является конфигурацией выбора. В последнее время обрело распространение использование двухпросветной канюли, имплантируемой в правую внутреннюю яремную вену под рентгеноскопическим контролем. Использование данного типа подключения обладает рядом преимуществ в виде уменьшения рециркуляции, единственного сосудистого локуса и облегчением активизации пациента [42]. Также одним из вариантов В-В ЭКМО является В-Ла ЭКМО, при которой возвратная канюля позиционируется в легочной артерии с помощью ангиографии [26]. Главным преимуществом данной конфигурации является обход правого желудочка, что может быть применимо при дыхательной недостаточности с признаками правожелудочковой недостаточности, нередко осложняющей течение тяжелого ОРДС [21].

Рециркуляция

Рециркуляция является феноменом, характерным для В-В ЭКМО. Рециркуляция возникает при дренировании артериализированной венозной крови из возвратной канюли в дренажную, что приводит к снижению эффективности метода и развитию гипоксемии с повышением сатурации крови на заборной магистрали [14]. Расчет фракции рециркуляции проводится по приведенной ниже формуле [30]:

$$\text{Рециркуляция (\%)} = \frac{SpreO_2 - SvO_2}{SpostO_2 - SvO_2} \times 100.$$

Развитию рециркуляции способствует ряд факторов, ключевыми среди которых является небольшое (менее 8–10 см) расстояние между концами дренажной и возвратной канюль, а также увеличение отношения производительности ЭКМО к сердечному выбросу [9, 13, 16]. В случае развития рециркуляции при чрезмерной производительности ЭКМО имплантация дополнительной дренажной канюли позволяет уменьшить чрезмерно отрицательное давление на заборной магистрали и достичь большей производительности при уменьшении рециркуляции.

Целевые показатели газообмена. Принятые в качестве целевых показатели газообмена при проведении В-В ЭКМО разнятся в зависимости от рекомендаций и локальных протоколов, и, в условиях отсутствия посвященных данной теме работ с убедительной доказательной базой, основаны на показателях, приведенных в исследовании EOLIA [8], а именно: PaO_2 65–90 мм рт. ст., $PaCO_2 < 45$ мм рт. ст. Согласно рекомендациям ELSO следует придерживаться $SaO_2 \geq 80$ –85% в условиях адекватного соотношения доставки и потребления кислорода ($DO_2:VO_2$) [39]. Ключевым моментом обеспечения доставки кислорода является оптимизация производительности В-В ЭКМО для достижения соотношения $DO_2:VO_2 \geq 3:1$ [3]. При критическом снижении $DO_2:VO_2 (\leq 2:1)$ за счет низкой доставки кислорода последняя может быть оптимизирована путем гемотрансфузии с целью увеличения уровня гемоглобина (120–140 г/л и выше) или увеличения производительности В-В ЭКМО, в том числе

Таблица 2. Параметры ИВЛ при проведении В-В ЭКМО [39]
Table 2. Ventilation strategies during V-V ECMO [39]

Параметр	Рекомендованные значения	Комментарии
Pplat, см вод. ст.	≤25	Дальнейшее снижение Pplat ниже 20 может быть ассоциировано с меньшей степенью VILI и положительно влиять на исход [41–43]
PEEP, см вод. ст.	≥10	Без адекватного уровня PEEP снижение Pplat и Vt может приводить к ателектазированию. Рекомендована оптимизация PEEP с ограничением по Pplat [44]
ЧД, в мин	4–15 (принудительные вдохи) или спонтанное дыхание до 30	Элиминация CO ₂ посредством В-В ЭКМО может купировать тахипноэ и уменьшать минутную вентиляцию, способствуя снижению риска VILI. Более низкая ЧД при обструктивной патологии
FiO ₂ , %	21–60	Оксигенация осуществляется главным образом за счет В-В ЭКМО. Увеличение FiO ₂ оправдано при невозможности достижения целевой оксигенации на фоне В-В ЭКМО. Следует придерживаться минимально возможных значений параметра и избегать гипероксии
Vt, мл/кг идеальной массы тела	< 4–6	При подборе Vt стоит ориентироваться на значения Pplat ≤ 25 см вод. ст. и Pdriv ≤ 15 см вод. ст., а не на конкретный дыхательный объем

Примечание: ЧД – частота дыхания; Pdriv (driving pressure) – «движущее» давление; PEEP (positive end-expiratory pressure) – положительное давление конца вдоха; давление плато; Vt – дыхательный объем.

посредством имплантации дополнительной заборной канюли [43].

Респираторная поддержка. Главным принципом профилактики вентилятор-ассоциированного поражения легких и создания условий для их восстановления является обеспечение «легочного покоя» (англ. «lung rest») [12]. Параметры ИВЛ при проведении В-В ЭКМО могут различаться в зависимости от патологии и преследуемой цели при вентиляции, и являются предметом споров в медицинском сообществе, а единого стандарта респираторной терапии, как и исследований, сравнивающих различные подходы к ней, на текущий момент нет. Параметры ИВЛ, рекомендуемые при проведении В-В ЭКМО и имеющие под собой доказательную базу, представлены в табл. 2. К ним относят использование малого дыхательного объема, ограничение по Pplat менее 25 мм рт. ст. и Pdriv менее 15 мм рт. ст. с использованием режима с контролем по давлению [43]. Как правило, спонтанная дыхательная активность не допускается у пациентов на ранних (24–48 часов) сроках тяжелого ОРДС после перевода на ИВЛ с целью обеспечения протективности вентиляции, что обычно, подразумевает проведение глубокой седации и, при необходимости, миорелаксации [2]. По данным ретроспективного исследования, переход с управляемого режима вентиляции (CMV) на вспомогательный (PSV) сопровождался существенным улучшением показателей газообмена, респираторной механики и гемодинамики [15].

Также, учитывая заведомо длительное проведение ИВЛ, пациентам, которым проводится В-В ЭКМО, выполняют трахеостомию. Операцию рутинно выполняют в сроки от 3 до 5 суток от момента перевода на ИВЛ с целью возможности уменьшения глубины седации, более ранней реабилитации и активации самостоятельной дыхательной активности [3, 37]. По данным исследования с небольшой выборкой, статистически значимые различия открытой и пункционной техники трахеостомии в отношении геморрагических осложнений выявлены не были [37].

Одной из опций деэскалации респираторной поддержки, осуществимой, по данным единичных исследований, у ограниченного числа пациентов, является экстубация трахеи и перевод на неинвазивные методы респираторной поддержки (низко-/высокопоточная оксигенация, неинвазивная вентиляция легких) на фоне проводимой ЭКМО [6]. В работе R. Jr. Roncon-Albuquerque et al. (2023) был разработан алгоритм отлучения от ИВЛ во время проведения В-В ЭКМО, исследование использования которого продемонстрировало уменьшения риска смерти от любых причин [36]. Данная стратегия, в частности, применима у пациентов с астматическим статусом, экстубация трахеи у которых может способствовать уменьшению рецидивов эпизодов бронхообструкции.

Проведение ИВЛ в прон-позиции, давно продемонстрировавшее эффективность в составе респираторной терапии ОРДС, успешно применяется и у пациентов, которым проводится В-В ЭКМО. Несмотря на большой опыт применения вентиляции в прон-позиции при В-В ЭКМО, конкретных показаний к ней не разработано. По данным ряда исследований, вентиляция в прон-позиции способствует улучшению легочной механики и газообмена и позволяет нивелировать гравитационные эффекты давления органов средостения на альвеолы, что приводит к их рекрутированию, увеличению легочного комплаенса, более гомогенной вентиляции и оптимизации вентиляции/перфузии [17, 33, 34]. Согласно данным исследований, протективная ИВЛ с длительными (более 16 часов) прон-сессиями приводит к улучшению оксигенации и выживаемости [29], а также улучшает дренаж мокроты, уменьшая потребность в санационной бронхоскопии. Тем не менее, в недавнем крупном исследовании PRONECMO, оценивавшем успешность отлучения от В-В ЭКМО при вентиляции в положении на спине и с продолжительными прон-сессиями (минимум 4 сессии по 16 часов) не было продемонстрировано статистически значимых различий в отношении выживаемости между группами [38].

Таблица 3. Условия, необходимые для проведения теста на отлучение от В-В ЭКМО [43]
Table 3. Criteria required for the test of V-V ECMO withdrawal [43]

	ИВЛ	Самостоятельное дыхание
Оксигенация	– $\text{FiO}_2 \leq 60\%$ – $\text{PEEP} \leq 10 \text{ см H}_2\text{O}$ – $\text{PaO}_2 \geq 70 \text{ мм рт. ст.}$	$\text{PaO}_2 \geq 70 \text{ мм рт. ст.}$ на фоне умеренной кислородной поддержки (например, НПО $\leq 6 \text{ л/мин}$ или ВПО с $\text{FiO}_2 \leq 30\%$ и потоком 40 л/мин)
Вентиляция	– $\text{Vt} \leq 6 \text{ мл/кг}$ идеальной массы тела – $\text{Pplat} \leq 28 \text{ см H}_2\text{O}$ – ЧД ≤ 28 в мин – Приемлемые значения pH и PaCO_2 с учетом состояния пациента, отсутствие избыточной работы дыхания	– Норма анализа газов артериальной крови – Отсутствие избыточной работы дыхания
Рентгенологическая картина	Положительная динамика	

Помимо вентиляции в прон-позиции, в качестве опции при терапии тяжелой дыхательной недостаточности, факт использования которой является необходимым в определении показаний к В-В ЭКМО, является применение легочных вазодилататоров [4]. Использование ингаляционного оксида азота приводит к дозозависимому снижению легочного сосудистого сопротивления, характеризуется быстрой обратимостью действия, а также обладает бронходилатирующим эффектом [47]. Ключевым эффектом применения оксида азота при ОРДС является селективная легочная вазодилатация в вентилируемых зонах легких, которая уменьшает внутрилегочный шунт и улучшает оксигенацию [27]. Тем не менее, по данным исследований, терапия ингаляционным оксидом азота не приводила к увеличению выживаемости у пациентов с тяжелым COVID-19-ассоциированным ОРДС, хоть и сопровождалась существенным улучшением оксигенации [20, 27, 41]. Ингаляционные простагландины обладают схожими с ингаляционным оксидом азота эффектами, аналогичным образом улучшая оксигенацию и не оказывая эффекта на выживаемость [10, 40].

Антикоагуляция. При проведении ЭКМО контакт крови пациента с большой неэндотелиальной поверхностью контура приводит к протромботическому состоянию, в связи с чем во избежание тромбозов, связанных как с контуром, так и с пациентом, а также с целью препятствия развития коагулопатии потребления, требуется проведение антикоагуляции. По данным крупного мультицентрового исследования, у 52% пациентов отмечалось развитие как минимум одного геморрагического осложнения за время проведения В-В ЭКМО, 1,6% из которых были фатальными [22]. Тромбозы при проведении В-В ЭКМО развиваются реже (18,8–29%), причем тромботические осложнения со стороны контура ЭКМО развиваются чаще, чем тромботические осложнения со стороны пациента [31].

Согласно литературным данным, нефракционированный гепарин является наиболее широко используемым в клинической практике антикоагулянтом, а АЧТВ – наиболее частым анализом оценки эффективности антикоагулянтной терапии, целевым диапазоном которого является значение в 1,5–2 нормы [22, 24, 35]. Существуют и менее распространенные стратегии антикоагуляции с использованием бивали-

рудина или низкомолекулярных гепаринов, оценка эффективности при использовании которых проводится с помощью определения анти-Ха активности, активированного времени свертывания и вязкостно-эластических методов [1, 24, 35].

Отлучение от В-В ЭКМО. Алгоритмы отлучения от В-В ЭКМО во многом определяются локальными протоколами, характеризуются минорными различиями, в большей степени основаны на мнениях экспертов, нежели на доказательной базе, и сводятся к общим принципам, представленным далее [7]. В зависимости от этиологии дыхательной недостаточности и тяжести заболевания, отлучение от В-В ЭКМО может быть осуществимо как спустя несколько суток после инициации экстракорпоральной поддержки, так и спустя несколько часов, при соблюдении условий, представленных в табл. 3. Если отлучение от В-В ЭКМО проводится на фоне проводимой ИВЛ, то параметры последней должны соответствовать протективным [39]. На фоне постепенного снижения фракции кислорода в кислородо-воздушной смеси, подаваемой в оксигенатор, до минимума проводится оценка газового состава крови [7]. При отсутствии выраженной гипоксемии проводится уменьшение потока кислородо-воздушной смеси, подаваемой в оксигенатор, до полного прекращения подачи газовой смеси в оксигенатор. При сохранении адекватного дыхательного паттерна, нормоксии и отсутствия метаболических расстройств, проводится наблюдение в течение 12–24 часов, после чего пациент может быть деканюлирован [7, 45]. На фоне прекращения антикоагуляции и, при необходимости, седации для временной иммобилизации проводится удаление канюль с последующим хирургическим (наложение кисетного шва на место стояния канюли) или компрессионным гемостазом до полной остановки кровотечения.

Заключение

В обзоре рассмотрели особенности функции газообмена, показания к применению и основные компоненты интенсивной терапии тяжелой дыхательной недостаточности с использованием В-В ЭКМО, лишь рассмотрение которых в комплексе формирует подход к лечению данной когорты пациентов. Важно отметить отсутствие единого

стандарта интенсивной терапии по данной теме, обусловленное наличием единичных рандомизированных контролируемых исследований по отдельным вопросам. За последние десятилетия В-В ЭКМО укрепила свои позиции в качестве последней ступени поддержания газообмена у пациентов с тяжелой дыхательной недостаточностью различной этиологии и обрела еще более широкое применение во время пандемии COVID-19. Обеспечение «ле-

гочного покоя» на фоне поддержания газообмена с помощью В-В ЭКМО – основополагающий механизм восстановления функции легких. Использование метода в многопрофильных стационарах с большим потоком пациентов, опыт персонала и индивидуализированный подход в определении показаний к инициации у наиболее перспективных групп пациентов являются основными факторами, влияющими на исход при применении В-В ЭКМО.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии у них конфликта интересов.
Conflict of interests. The authors state that they have no conflict of interests.

Вклад авторов. Все авторы в равной степени участвовали в подготовке публикации: разработка концепции статьи, получении и анализе фактических данных, написании и редактировании текста статьи, проверке и утверждении текста статьи.

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

ЛИТЕРАТУРА

1. Бахарев С. А., Попугаев К. А., Киселев К. В. и др. Механизмы развития геморрагических осложнений при проведении экстракорпоральной мембранной оксигенации. Пилотное исследование // *Анестезиология и реаниматология*. – 2020. – № 1. – С. 25–34. <https://doi.org/10.17116/anaesthesiology202001125>.
2. Ярошецкий А. И., Грицан А. И., Авдеев С. Н. и др. Диагностика и интенсивная терапия острого респираторного дистресс-синдрома // *Анестезиология и реаниматология*. – 2020. – № 2. – С. 5–39. <https://doi.org/10.17116/anaesthesiology20200215>.
3. Arbor Ann ELSO General Guidelines Extracorporeal Life Support Organization (ELSO) General Guidelines for all ECLS Cases // ELSO. – 2017. URL: <https://www.else.org/ecmo-resources/elseo-ecmo-guidelines.aspx> (accessed: 20.04.2025).
4. Badulak J., Antonini M. V., Stead C. M. et al. ELSO COVID-19 Working Group Members. Extracorporeal Membrane Oxygenation for COVID-19: Updated 2021 Guidelines from the Extracorporeal Life Support Organization // *ASAIO J* – 2021. – Vol. 67, № 5. – P. 485–495. <https://doi.org/10.1097/MAT.0000000000001422>.
5. Bartlett R. H. Physiology of extracorporeal gas exchange // *Compr Physiol*. – 2020. – Vol. 10, № 3. – P. 879–891. <https://doi.org/10.1002/cphy.c190006>.
6. Agerstrand C., Abrams D., Bacchetta M. et al. Endotracheal extubation in patients with respiratory failure receiving venovenous ECMO // ELSO. – 2015. URL: https://www.else.org/Portals/0/Files/ELSO_ExtubationGuidelines_May2015.pdf (accessed: 20.04.2025).
7. Collins P. D., Giosa L., Camarda V. et al. Physiological adaptations during weaning from veno-venous extracorporeal membrane oxygenation // *Intensive Care Med Exp*. – 2023. – Vol. 11, № 1. – P. 7. <https://doi.org/10.1186/s40635-023-00493-8>.
8. Combes A., Hajage D., Capellier G. et al. EOLIA Trial Group, REVA, and ECMONet. extracorporeal membrane oxygenation for severe acute respiratory distress syndrome // *N Engl J Med*. – 2018. – Vol. 378, № 21. – P. 1965–1975. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa1800385>.
9. Conrad S. A., Wang D. Evaluation of recirculation during venovenous extracorporeal membrane oxygenation using computational fluid dynamics incorporating fluid-structure interaction // *ASAIO J*. – 2021. – Vol. 67, № 8. – P. 943–953. <https://doi.org/10.1097/MAT.0000000000001314>.
10. DeGrado J. R., Szumita P. M., Schuler B. R. et al. Evaluation of the efficacy and safety of inhaled epoprostenol and inhaled nitric oxide for refractory hypoxemia in patients with coronavirus disease 2019 // *Crit Care Explor*. – 2020. – Vol. 2, № 10. – e0259. <https://doi.org/10.1097/CCE.0000000000000259>.
11. Extracorporeal Life Support Organization ELSO Live Registry Dashboard of ECMO Patient Data // ELSO. URL: <https://www.else.org/registry/elsoliveregistrydashboard.aspx> (accessed: 20.04.2025).

REFERENCES

1. Bakharev S. A., Popugaev K. A., Kiselev K. V. et al. Mechanisms of hemorrhagic complications during extracorporeal membrane oxygenation. A pilot study. *Russian Journal of Anesthesiology and Reanimatology*, 2020, no. 1, pp. 25–34. (In Russ.). <https://doi.org/10.17116/anaesthesiology202001125>.
2. Yaroshetsky A. I., Gritsan A. I., Avdeev S. N. et al. Diagnostics and intensive therapy of Acute Respiratory Distress Syndrome (Clinical guidelines of the Federation of Anesthesiologists and Reanimatologists of Russia). *Russian Journal of Anesthesiology and Reanimatology*, 2020, no. 2, pp. 5–39. (In Russ.). <https://doi.org/10.17116/anaesthesiology20200215>.
3. Arbor Ann ELSO General Guidelines Extracorporeal Life Support Organization (ELSO) General Guidelines for all ECLS Cases. *ELSO*, 2017. URL: <https://www.else.org/ecmo-resources/elseo-ecmo-guidelines.aspx> (accessed: 20.04.2025).
4. Badulak J., Antonini M. V., Stead C. M. et al. ELSO COVID-19 Working Group Members. Extracorporeal Membrane Oxygenation for COVID-19: Updated 2021 Guidelines from the Extracorporeal Life Support Organization. *ASAIO J* – 2021, vol. 67, no. 5, pp. 485–495. <https://doi.org/10.1097/MAT.0000000000001422>.
5. Bartlett R. H. Physiology of extracorporeal gas exchange. *Compr Physiol*, 2020, vol. 10, no. 3, pp. 879–891. <https://doi.org/10.1002/cphy.c190006>.
6. Agerstrand C., Abrams D., Bacchetta M. et al. Endotracheal extubation in patients with respiratory failure receiving venovenous ECMO. *ELSO*, 2015. URL: https://www.else.org/Portals/0/Files/ELSO_ExtubationGuidelines_May2015.pdf (accessed: 20.04.2025).
7. Collins P. D., Giosa L., Camarda V. et al. Physiological adaptations during weaning from veno-venous extracorporeal membrane oxygenation. *Intensive Care Med Exp*, 2023, vol. 11, no. 1, pp. 7. <https://doi.org/10.1186/s40635-023-00493-8>.
8. Combes A., Hajage D., Capellier G. et al. EOLIA Trial Group, REVA, and ECMONet. extracorporeal membrane oxygenation for severe acute respiratory distress syndrome. *N Engl J Med*, 2018, vol. 378, no. 21, pp. 1965–1975. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa1800385>.
9. Conrad S. A., Wang D. Evaluation of recirculation during venovenous extracorporeal membrane oxygenation using computational fluid dynamics incorporating fluid-structure interaction. *ASAIO J*, 2021, vol. 67, no. 8, pp. 943–953. <https://doi.org/10.1097/MAT.0000000000001314>.
10. DeGrado J. R., Szumita P. M., Schuler B. R. et al. Evaluation of the efficacy and safety of inhaled epoprostenol and inhaled nitric oxide for refractory hypoxemia in patients with coronavirus disease 2019. *Crit Care Explor*, 2020, vol. 2, no. 10, e0259. <https://doi.org/10.1097/CCE.0000000000000259>.
11. Extracorporeal Life Support Organization ELSO Live Registry Dashboard of ECMO Patient Data. *ELSO*. URL: <https://www.else.org/registry/elsoliveregistrydashboard.aspx> (accessed: 20.04.2025).

12. Fan E., Gattinoni L., Combes A. et al. Venovenous extracorporeal membrane oxygenation for acute respiratory failure: A clinical review from an international group of experts // *Intensive Care Med.* – 2016. – Vol. 42, № 5. – P. 712–724. <https://doi.org/10.1007/s00134-016-4314-7>.
13. Fical B., Vasques F., Zhang J. et al. Physiological basis of extracorporeal membrane oxygenation and extracorporeal carbon dioxide removal in respiratory failure // *Membranes (Basel)*. – 2021. – Vol. 11, № 3. – P. 225. <https://doi.org/10.3390/membranes11030225>.
14. Frenckner B., Broman M., Broomé M. Position of draining venous cannula in extracorporeal membrane oxygenation for respiratory and respiratory/circulatory support in adult patients // *Crit Care*. – 2018. – Vol. 22, № 1. – P. 163. <https://doi.org/10.1186/s13054-018-2083-0>.
15. Fumagalli B., Giani M., Bombino M. et al. Pressure support ventilation during extracorporeal membrane oxygenation support in patients with acute respiratory distress syndrome // *ASAIO J.* – 2025. – Vol. 71, № 2. – P. 171–176. <https://doi.org/10.1097/MAT.0000000000002285>.
16. Gajkowski E. F., Herrera G., Hatton L. ELSO Guidelines for adult and pediatric extracorporeal membrane oxygenation circuits // *ASAIO J.* – 2022. – Vol. 68, № 2. – P. 133–152. <https://doi.org/10.1097/MAT.0000000000001630>.
17. García-de-Acilu M., Pacheco A., Santafé M. et al. Effects of prone position in patients with COVID-19 treated with extracorporeal membrane oxygenation: a physiologic study, CHEST // *Critical Care*. – 2023. – Vol. 1, № 2. – P. 1–5. <https://doi.org/10.1016/j.chstcc.2023.100010>.
18. Herrmann J., Lotz C., Karagiannidis C. et al. ECMO COVID Study Group. Key characteristics impacting survival of COVID-19 extracorporeal membrane oxygenation // *Crit Care*. – 2022. – Vol. 26, № 1. – P. 190. <https://doi.org/10.1186/s13054-022-04053-6>.
19. Riera J., Alcántara S., Bonilla C. et al. Risk factors for mortality in patients with COVID-19 needing extracorporeal respiratory support // *Eur Respir J.* – 2022. – Vol. 59, № 2. – P. 2102463. <https://doi.org/10.1183/13993003.02463-2021>.
20. Liu K., Wang H., Yu S. J. et al. Inhaled pulmonary vasodilators: a narrative review // *Ann Transl Med.* – 2021. – Vol. 9, № 7. – P. 597. <https://doi.org/10.21037/atm-20-4895>.
21. Lorusso R., Raffa G.M., Heuts S. et al. Pulmonary artery cannulation to enhance extracorporeal membrane oxygenation management in acute cardiac failure // *Interact Cardiovasc Thorac Surg.* – 2020. – Vol. 30, № 2. – P. 215–222. <https://doi.org/10.1093/icvts/ivz245>.
22. Martucci G., Giani M., Schmidt M. et al. Anticoagulation and bleeding during veno-venous extracorporeal membrane oxygenation: insights from the PROTECMO study // *Am J Respir Crit Care Med.* – 2024. – Vol. 209, № 4. – P. 417–426. <https://doi.org/10.1164/rccm.202305-0896OC>.
23. Mazzeffi M., Curley J., Gallo P. et al. Variation in hospitalization costs, charges, and lengths of hospital stay for coronavirus disease 2019 patients treated with venovenous extracorporeal membrane oxygenation in the United States: a cohort study // *J Cardiothorac Vasc Anesth.* – 2023. – Vol. 37, № 8. – P. 1449–1455. <https://doi.org/10.1053/j.jvca.2023.04.001>.
24. McMichael A. B. V., Ryerson L. M., Ratano D. et al. 2021 ELSO adult and pediatric anticoagulation guidelines // *ASAIO J.* – 2022. – Vol. 68, № 3. – P. 303–310. <https://doi.org/10.1097/MAT.0000000000001652>.
25. Mohamed A., Saeed O., Fazzari M. et al. “Awake” cannulation of patients for venovenous extracorporeal membrane oxygenation: an analysis of the extracorporeal life support organization registry // *Crit Care Explor.* – 2024. – Vol. 6, № 12. – P. e1181. <https://doi.org/10.1097/CCE.0000000000001181>.
26. Napp L. C., Bauersachs J. Triple cannulation ECMO // *InTech*. – 2016. – P. 79–99. <https://doi.org/10.5772/63392>.
27. Nasrullah A., Virk S., Shah A. et al. Acute respiratory distress syndrome and the use of inhaled pulmonary vasodilators in the COVID-19 era: a narrative review // *Life (Basel)*. – 2022. – Vol. 12, № 11. – P. 1766. <https://doi.org/10.3390/life12111766>.
28. Oude Lansink-Hartgring A., van Minnen O., Vermeulen K. M. et al. Dutch extracorporeal life support study group. Hospital costs of extracorporeal membrane oxygenation in adults: a systematic review // *Pharmacoecon Open*. – 2021. – Vol. 5, № 4. – P. 613–623. <https://doi.org/10.1007/s41669-021-00272-9>.
29. Papazian L., Schmidt M., Hajage D. et al. Effect of prone positioning on survival in adult patients receiving venovenous extracorporeal membrane oxygenation for acute respiratory distress syndrome: a systematic review and meta-analysis // *Intensive Care Med.* – 2022. – Vol. 48, № 3. – P. 270–280. <https://doi.org/10.1007/s00134-021-06604-x>.
30. Patel B., Arcaro M., Chatterjee S. Bedside troubleshooting during venovenous extracorporeal membrane oxygenation (ECMO) // *J Thorac Dis.* – 2019. – Vol. 11, Suppl 14. – S1698–S1707. <https://doi.org/10.21037/jtd.2019.04.81>.
12. Fan E., Gattinoni L., Combes A. et al. Venovenous extracorporeal membrane oxygenation for acute respiratory failure: A clinical review from an international group of experts. *Intensive Care Med*, 2016, vol. 42, no. 5, pp. 712–724. <https://doi.org/10.1007/s00134-016-4314-7>.
13. Fical B., Vasques F., Zhang J. et al. Physiological basis of extracorporeal membrane oxygenation and extracorporeal carbon dioxide removal in respiratory failure. *Membranes (Basel)*, 2021, vol. 11, no. 3, pp. 225. <https://doi.org/10.3390/membranes11030225>.
14. Frenckner B., Broman M., Broomé M. Position of draining venous cannula in extracorporeal membrane oxygenation for respiratory and respiratory/circulatory support in adult patients. *Crit Care*, 2018, vol. 22, no. 1, pp. 163. <https://doi.org/10.1186/s13054-018-2083-0>.
15. Fumagalli B., Giani M., Bombino M. et al. Pressure support ventilation during extracorporeal membrane oxygenation support in patients with acute respiratory distress syndrome. *ASAIO J*, 2025, vol. 71, no. 2, pp. 171–176. <https://doi.org/10.1097/MAT.0000000000002285>.
16. Gajkowski E. F., Herrera G., Hatton L. ELSO Guidelines for adult and pediatric extracorporeal membrane oxygenation circuits. *ASAIO J*, 2022, vol. 68, no. 2, pp. 133–152. <https://doi.org/10.1097/MAT.0000000000001630>.
17. García-de-Acilu M., Pacheco A., Santafé M. et al. Effects of prone position in patients with COVID-19 treated with extracorporeal membrane oxygenation: a physiologic study, CHEST. *Critical Care*, 2023, vol. 1, no. 2, pp. 1–5. <https://doi.org/10.1016/j.chstcc.2023.100010>.
18. Herrmann J., Lotz C., Karagiannidis C. et al. ECMO COVID Study Group. Key characteristics impacting survival of COVID-19 extracorporeal membrane oxygenation. *Crit Care*, 2022, vol. 26, no. 1, pp. 190. <https://doi.org/10.1186/s13054-022-04053-6>.
19. Riera J., Alcántara S., Bonilla C. et al. Risk factors for mortality in patients with COVID-19 needing extracorporeal respiratory support. *Eur Respir J*, 2022, vol. 59, no. 2, 2102463. <https://doi.org/10.1183/13993003.02463-2021>.
20. Liu K., Wang H., Yu S. J. et al. Inhaled pulmonary vasodilators: a narrative review. *Ann Transl Med*, 2021, vol. 9, no. 7, pp. 597. <https://doi.org/10.21037/atm-20-4895>.
21. Lorusso R., Raffa G.M., Heuts S. et al. Pulmonary artery cannulation to enhance extracorporeal membrane oxygenation management in acute cardiac failure. *Interact Cardiovasc Thorac Surg*, 2020, vol. 30, no. 2, pp. 215–222. <https://doi.org/10.1093/icvts/ivz245>.
22. Martucci G., Giani M., Schmidt M. et al. Anticoagulation and bleeding during veno-venous extracorporeal membrane oxygenation: insights from the PROTECMO study. *Am J Respir Crit Care Med*, 2024, vol. 209, no. 4, pp. 417–426. <https://doi.org/10.1164/rccm.202305-0896OC>.
23. Mazzeffi M., Curley J., Gallo P. et al. Variation in hospitalization costs, charges, and lengths of hospital stay for coronavirus disease 2019 patients treated with venovenous extracorporeal membrane oxygenation in the United States: a cohort study. *J Cardiothorac Vasc Anesth*, 2023, vol. 37, no. 8, pp. 1449–1455. <https://doi.org/10.1053/j.jvca.2023.04.001>.
24. McMichael A. B. V., Ryerson L. M., Ratano D. et al. 2021 ELSO adult and pediatric anticoagulation guidelines. *ASAIO J*, 2022, vol. 68, no. 3, pp. 303–310. <https://doi.org/10.1097/MAT.0000000000001652>.
25. Mohamed A., Saeed O., Fazzari M. et al. “Awake” cannulation of patients for venovenous extracorporeal membrane oxygenation: an analysis of the extracorporeal life support organization registry. *Crit Care Explor*, 2024, vol. 6, no. 12, pp. e1181. <https://doi.org/10.1097/CCE.0000000000001181>.
26. Napp L. C., Bauersachs J. Triple cannulation ECMO. *InTech*, 2016, pp. 79–99. <https://doi.org/10.5772/63392>.
27. Nasrullah A., Virk S., Shah A. et al. Acute respiratory distress syndrome and the use of inhaled pulmonary vasodilators in the COVID-19 era: a narrative review. *Life (Basel)*, 2022, vol. 12, no. 11, pp. 1766. <https://doi.org/10.3390/life12111766>.
28. Oude Lansink-Hartgring A., van Minnen O., Vermeulen K. M. et al. Dutch extracorporeal life support study group. Hospital costs of extracorporeal membrane oxygenation in adults: a systematic review. *Pharmacoecon Open*, 2021, vol. 5, no. 4, pp. 613–623. <https://doi.org/10.1007/s41669-021-00272-9>.
29. Papazian L., Schmidt M., Hajage D. et al. Effect of prone positioning on survival in adult patients receiving venovenous extracorporeal membrane oxygenation for acute respiratory distress syndrome: a systematic review and meta-analysis. *Intensive Care Med*, 2022, vol. 48, no. 3, pp. 270–280. <https://doi.org/10.1007/s00134-021-06604-x>.
30. Patel B., Arcaro M., Chatterjee S. Bedside troubleshooting during venovenous extracorporeal membrane oxygenation (ECMO). *J Thorac Dis*, 2019, vol. 11, Suppl 14, S1698–S1707. <https://doi.org/10.21037/jtd.2019.04.81>.

31. De Paulis S., Cavaliere F. Anticoagulation management in high bleeding-risk ECMO in adults // *Front Cardiovasc Med.* – 2022. – Vol. 9. – 884063. <https://doi.org/10.3389/fcvm.2022.884063>.
32. Peek G. J., Mugford M., Tiruvoipati R. et al. Efficacy and economic assessment of conventional ventilatory support versus extracorporeal membrane oxygenation for severe adult respiratory failure (CESAR): a multicentre randomised controlled trial // *Lancet.* – 2009. – Vol. 374, № 9698. – P. 1351–1363. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(09\)61069-2](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(09)61069-2).
33. Rampon G. L., Simpson S. Q., Agrawal R. Prone positioning for acute hypoxemic respiratory failure and ARDS: a review // *Chest.* – 2023. – Vol. 163, № 2. – P. 332–340. <https://doi.org/10.1016/j.chest.2022.09.020>.
34. Roca O., Pacheco A., García-de-Acilu M. To prone or not to prone ARDS patients on ECMO // *Crit Care.* – 2021. – Vol. 25, № 1. – P. 315. <https://doi.org/10.1186/s13054-021-03675-6>.
35. Rodrigues A. B., Rodrigues A., Correia C. J. et al. Anticoagulation management in V-V ECMO patients: a multidisciplinary pragmatic protocol // *J Clin Med.* – 2024. – Vol. 13, № 3. – P. 719. <https://doi.org/10.3390/jcm13030719>.
36. Roncon-Albuquerque R. Jr., Gaião S., Vasques-Nóvoa F. et al. Standardized approach for extubation during extracorporeal membrane oxygenation in severe acute respiratory distress syndrome: a prospective observational study // *Ann Intensive Care.* – 2023. – Vol. 13, № 1. – P. 86. <https://doi.org/10.1186/s13613-023-01185-y>.
37. Salas De Armas I. A., Dinh K., Akkanti B. et al. Tracheostomy while on extracorporeal membrane oxygenation: a comparison of percutaneous and open procedures // *J Extra Corpor Technol.* – 2020. – Vol. 52, № 4. – P. 266–271. <https://doi.org/10.1182/ject-2000027>.
38. Schmidt M., Hajage D., Lebreton G. et al. Prone positioning during extracorporeal membrane oxygenation in patients with severe ARDS: The PRONECMO randomized clinical trial // *JAMA.* – 2023. – Vol. 330, № 24. – P. 2343–2353. <https://doi.org/10.1001/jama.2023.24491>.
39. Shekar K., Badulak J., Peek G. et al. Extracorporeal life support organization coronavirus disease 2019 interim guidelines: a consensus document from an international group of interdisciplinary extracorporeal membrane oxygenation providers // *ASAIO J.* – 2020. – Vol. 66, № 7. – P. 707–721. <https://doi.org/10.1097/MAT.0000000000001193>.
40. Sonti R., Pike C. W., Cobb N. Responsiveness of inhaled epoprostenol in respiratory failure due to COVID-19 // *J Intensive Care Med.* – 2021. – Vol. 36, № 3. – P. 327–333. <https://doi.org/10.1177/0885066620976525>.
41. Al Sulaiman K., Korayem G. B., Altbainawi A. F. et al. Evaluation of inhaled nitric oxide (iNO) treatment for moderate-to-severe ARDS in critically ill patients with COVID-19: a multicenter cohort study // *Crit Care.* – 2022. – Vol. 26, № 1. – P. 304. <https://doi.org/10.1186/s13054-022-04158-y>.
42. Mustafa A. K., Alexander P. J., Joshi D. J. et al. Extracorporeal membrane oxygenation for patients with COVID-19 in severe respiratory failure // *JAMA Surg.* – 2020. – Vol. 155, № 10. – P. 990–992. <https://doi.org/10.1001/jamasurg.2020.3950>.
43. Tonna J. E., Abrams D., Brodie D. et al. Management of adult patients supported with venovenous extracorporeal membrane oxygenation (VV ECMO): guideline from the extracorporeal life support organization (ELSO) // *ASAIO J.* – 2021. – Vol. 67, № 6. – P. 601–610. <https://doi.org/10.1097/MAT.0000000000001432>.
44. Tran A., Fernando S. M., Rochweg B. et al. Prognostic factors associated with mortality among patients receiving venovenous extracorporeal membrane oxygenation for COVID-19: a systematic review and meta-analysis // *Lancet Respir Med.* – 2023. – Vol. 11, № 3. – P. 235–244. [https://doi.org/10.1016/S2213-2600\(22\)00296-X](https://doi.org/10.1016/S2213-2600(22)00296-X).
45. Tsiouris A., Protos A. N., Saikus C. E. et al. Fundamentals of weaning veno-arterial and veno-venous extracorporeal membrane oxygenation // *Indian J Thorac Cardiovasc Surg.* – 2023. – Vol. 39, Suppl 1. – P. 1–11. <https://doi.org/10.1007/s12055-023-01474-y>.
46. Upchurch C., Blumenberg A., Brodie D. et al. Extracorporeal membrane oxygenation use in poisoning: a narrative review with clinical recommendations // *Clin Toxicol (Phila).* – 2021. – Vol. 59, № 10. – P. 877–887. <https://doi.org/10.1080/15563650.2021.1945082>.
47. Yu B., Ichinose F., Bloch D. B. et al. Inhaled nitric oxide // *Br J Pharmacol.* – 2019. – Vol. 176, № 2. – P. 246–255. <https://doi.org/10.1111/bph.14512>.
48. Wieruszewski P. M., Ortoleva J. P., Cormican D. S. et al. Extracorporeal Membrane Oxygenation in Acute Respiratory Failure // *Pulm Ther.* – 2023. – Vol. 9, № 1. – P. 109–126. <https://doi.org/10.1007/s41030-023-00214-2>.
31. De Paulis S., Cavaliere F. Anticoagulation management in high bleeding-risk ECMO in adults. *Front Cardiovasc Med*, 2022, vol. 9, 884063. <https://doi.org/10.3389/fcvm.2022.884063>.
32. Peek G. J., Mugford M., Tiruvoipati R. et al. Efficacy and economic assessment of conventional ventilatory support versus extracorporeal membrane oxygenation for severe adult respiratory failure (CESAR): a multicentre randomised controlled trial. *Lancet*, 2009, vol. 374, no. 9698, pp. 1351–1363. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(09\)61069-2](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(09)61069-2).
33. Rampon G. L., Simpson S. Q., Agrawal R. Prone positioning for acute hypoxemic respiratory failure and ARDS: a review. *Chest*, 2023, vol. 163, no. 2, pp. 332–340. <https://doi.org/10.1016/j.chest.2022.09.020>.
34. Roca O., Pacheco A., García-de-Acilu M. To prone or not to prone ARDS patients on ECMO. *Crit Care*, 2021, vol. 25, no. 1, pp. 315. <https://doi.org/10.1186/s13054-021-03675-6>.
35. Rodrigues A. B., Rodrigues A., Correia C. J. et al. Anticoagulation management in V-V ECMO patients: a multidisciplinary pragmatic protocol. *J Clin Med*, 2024, vol. 13, no. 3, pp. 719. <https://doi.org/10.3390/jcm13030719>.
36. Roncon-Albuquerque R. Jr., Gaião S., Vasques-Nóvoa F. et al. Standardized approach for extubation during extracorporeal membrane oxygenation in severe acute respiratory distress syndrome: a prospective observational study. *Ann Intensive Care*, 2023, vol. 13, no. 1, pp. 86. <https://doi.org/10.1186/s13613-023-01185-y>.
37. Salas De Armas I. A., Dinh K., Akkanti B. et al. Tracheostomy while on extracorporeal membrane oxygenation: a comparison of percutaneous and open procedures. *J Extra Corpor Technol*, 2020, vol. 52, no. 4, pp. 266–271. <https://doi.org/10.1182/ject-2000027>.
38. Schmidt M., Hajage D., Lebreton G. et al. Prone positioning during extracorporeal membrane oxygenation in patients with severe ARDS: The PRONECMO randomized clinical trial. *JAMA*, 2023, vol. 330, no. 24, pp. 2343–2353. <https://doi.org/10.1001/jama.2023.24491>.
39. Shekar K., Badulak J., Peek G. et al. Extracorporeal life support organization coronavirus disease 2019 interim guidelines: a consensus document from an international group of interdisciplinary extracorporeal membrane oxygenation providers. *ASAIO J*, 2020, vol. 66, no. 7, pp. 707–721. <https://doi.org/10.1097/MAT.0000000000001193>.
40. Sonti R., Pike C. W., Cobb N. Responsiveness of inhaled epoprostenol in respiratory failure due to COVID-19. *J Intensive Care Med*, 2021, vol. 36, no. 3, pp. 327–333. <https://doi.org/10.1177/0885066620976525>.
41. Al Sulaiman K., Korayem G. B., Altbainawi A. F. et al. Evaluation of inhaled nitric oxide (iNO) treatment for moderate-to-severe ARDS in critically ill patients with COVID-19: a multicenter cohort study. *Crit Care*, 2022, vol. 26, no. 1, pp. 304. <https://doi.org/10.1186/s13054-022-04158-y>.
42. Mustafa A. K., Alexander P. J., Joshi D. J. et al. Extracorporeal membrane oxygenation for patients with COVID-19 in severe respiratory failure. *JAMA Surg*, 2020, vol. 155, no. 10, pp. 990–992. <https://doi.org/10.1001/jamasurg.2020.3950>.
43. Tonna J. E., Abrams D., Brodie D. et al. Management of adult patients supported with venovenous extracorporeal membrane oxygenation (VV ECMO): guideline from the extracorporeal life support organization (ELSO). *ASAIO J*, 2021, vol. 67, no. 6, pp. 601–610. <https://doi.org/10.1097/MAT.0000000000001432>.
44. Tran A., Fernando S. M., Rochweg B. et al. Prognostic factors associated with mortality among patients receiving venovenous extracorporeal membrane oxygenation for COVID-19: a systematic review and meta-analysis. *Lancet Respir Med*, 2023, vol. 11, no. 3, pp. 235–244. [https://doi.org/10.1016/S2213-2600\(22\)00296-X](https://doi.org/10.1016/S2213-2600(22)00296-X).
45. Tsiouris A., Protos A. N., Saikus C. E. et al. Fundamentals of weaning veno-arterial and veno-venous extracorporeal membrane oxygenation. *Indian J Thorac Cardiovasc Surg*, 2023, vol. 39, Suppl 1, pp. 1–11. <https://doi.org/10.1007/s12055-023-01474-y>.
46. Upchurch C., Blumenberg A., Brodie D. et al. Extracorporeal membrane oxygenation use in poisoning: a narrative review with clinical recommendations. *Clin Toxicol (Phila)*, 2021, vol. 59, no. 10, pp. 877–887. <https://doi.org/10.1080/15563650.2021.1945082>.
47. Yu B., Ichinose F., Bloch D. B. et al. Inhaled nitric oxide. *Br J Pharmacol*, 2019, vol. 176, no. 2, pp. 246–255. <https://doi.org/10.1111/bph.14512>.
48. Wieruszewski P. M., Ortoleva J. P., Cormican D. S. et al. Extracorporeal Membrane Oxygenation in Acute Respiratory Failure. *Pulm Ther*, 2023, vol. 9, no. 1, pp. 109–126. <https://doi.org/10.1007/s41030-023-00214-2>.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ:

Городская клиническая больница № 52 Департамента здравоохранения г. Москвы,
123182, Россия, Москва, ул. Пехотная, д. 3

Станция скорой и неотложной медицинской помощи им. А. С. Пучкова Департамента здравоохранения г. Москвы,
129090, Россия, Москва, 1-й Коптевский пер., д. 3

Российский университет дружбы народов им. Патриса Лумумбы,
117198, Россия, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6

Федеральный научно-клинический центр реаниматологии и реабилитологии,
107031, Россия, Москва, ул. Петровка, д. 25, стр. 2

Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Факультет фундаментальной медицины,
119192, Россия, Москва, Ломоносовский пр-т, д. 27, стр. 1

Микаелян Карен Артурович

врач – анестезиолог-реаниматолог ГКБ № 52 ОРИТ № 7,
врач – анестезиолог-реаниматолог экстренной консультативной выездной бригады ЭКМО, Станция скорой и неотложной медицинской помощи им. А. С. Пучкова.
E-mail: mikaelian_k@icloud.com,
ORCID: 0000-0001-5739-4539, SPIN-код: 3663-2893

Марина Владимировна Петрова

д-р мед. наук, профессор, зам. директора по научно-клинической работе ФКНЦ реаниматологии и реабилитологии,
врач – анестезиолог-реаниматолог, зав. кафедрой анестезиологии и реаниматологии с курсом медицинской реабилитации, Российский университет дружбы народов им. Патриса Лумумбы.
E-mail: mail@petrovamv.ru, ORCID: 0000-0003-4272-0957,
SPIN-код: 9132-4190

Филимонова Елена Викторовна

врач – анестезиолог-реаниматолог ОРИТ № 7, Городская клиническая больница № 52, ассистент кафедры АиР, Факультет фундаментальной медицины, Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова.
E-mail: elena.filimonova@gmail.com,
ORCID: 0000-0002-4796-411X

Жакова Жанна Владиславовна

врач ординатор кафедры АиР, Факультет фундаментальной медицины, Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова.
E-mail: zan5765@outlook.com, ORCID: 0009-0006-2876-2690

INFORMATION ABOUT AUTHORS:

Moscow City Clinical Hospital № 52,
3, Pekhotnaya str., Moscow, 123182, Russia

A. S. Puchkov Station of Emergency Medical Care,
3, 1st Koptelsky Lane, Moscow, 129090, Russia

Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba,
6, Miklukho-Maklaya str., Moscow, 117198, Russia

Federal Research and Clinical Center of Intensive Care Medicine and Rehabilitology,
25, build. 2, Petrovka str., Moscow, 107031, Russia

Lomonosov Moscow State University, Fundamental Medicine Department,
27, build. 1, Lomonosovsky pr., Moscow, 119192, Russia

Mikaelian Karen A.

Anesthesiologist and Intensivist, ICU № 7 of Moscow City Clinical Hospital № 52, Anesthesiologist and Intensivist of the Emergency ECMO Team of the A. S. Puchkov Station of Emergency Medical Care.
E-mail: mikaelian_k@icloud.com,
ORCID: 0000-0001-5739-4539, SPIN-code: 3663-2893

Petrova Marina V.

Dr. of Sci. (Med.), Professor, Deputy Director for Scientific and Clinical Work of the Federal Research Center for Intensive Care and Rehabilitation, Anesthesiologist and Intensivist, Head of the Department of Anesthesiology and Intensive Care with the Course of Medical Rehabilitation, Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba.
E-mail: mail@petrovamv.ru, ORCID: 0000-0003-4272-0957,
SPIN-code: 9132-4190

Filimonova Elena V.

Anesthesiologist and Intensivist, ICU № 7 of Moscow City Clinical Hospital № 52, Assistant Anesthesiology and Intensive Care Department, Faculty of Fundamental Medicine, Lomonosov Moscow State University.
E-mail: elena.filimonova@gmail.com,
ORCID: 0000-0002-4796-411X

Zhakova Zhanna V.

Resident of Anesthesiology and Intensive Care Department, Faculty of Fundamental Medicine, Lomonosov Moscow State University.
E-mail: zan5765@outlook.com, ORCID: 0009-0006-2876-2690