

СОДЕРЖАНИЕ

Участники издания	6
Предисловие	8
Список используемых сокращений.	10
Глоссарий.	11
Раздел 1. Введение	14
1.1. История развития экстракорпоральной мембранной оксигенации	14
1.2. Определение, понятие экстракорпоральной мембранной оксигенации	18
Литература	19
Тестовые задания	20
Раздел 2. Устройство системы для проведения экстракорпоральной мембранной оксигенации	23
2.1. Канюли и магистрали для экстракорпоральной мембранной оксигенации	25
2.2. Электропривод насоса, резервный привод, головка насоса	27
2.3. Оксигенаторы.	29
2.4. Газовый смеситель	31
2.5. Теплообменник и терморегулирующее устройство	32
2.6. Блок управления и контроля	33
2.7. Датчики контроля процедуры экстракорпоральной мембранной оксигенации	35
2.8. Заполнение контура	38
Литература	40
Тестовые задания	41
Раздел 3. Процедура экстракорпоральной мембранной оксигенации	45
3.1. Канюляция	45
3.2. Варианты экстракорпоральной мембранной оксигенации и принятие решения о начале процедуры экстракорпоральной мембранной оксигенации	52
3.3. Противопоказания для проведения экстракорпоральной мембранной оксигенации	55
3.4. Вено-венозная экстракорпоральная мембранная оксигенация	56

3.5. Веноартериальная экстракорпоральная мембранная оксигенация	66
Литература	86
Тестовые задания	89
Раздел 4. Осложнения процедуры экстракорпоральной мембранной оксигенации	105
4.1. Кровотечение	105
4.2. Гемолиз	106
Литература	108
Тестовые задания	109
Раздел 5. Мониторинг при экстракорпоральной мембранной оксигенации	111
5.1. Проверка пациента	111
5.2. Проверка экстракорпоральной мембранной оксигенации ..	112
5.3. Оценка гемодинамики	112
5.4. Проверка респираторной поддержки	112
5.5. Проверка функций висцеральных органов, кровоснабжения нижних конечностей, инфекционный мониторинг	113
Литература	113
Тестовые задания	114
Раздел 6. Антикоагулянтная терапия	116
6.1. Гепарин-индуцированная тромбоцитопения	121
6.2. Гепаринорезистентность	122
6.3. Применение антиагрегантной терапии	123
6.4. Фибринолитическая терапия	124
6.5. Проведение экстракорпоральной мембранной оксигенации без антикоагулянтной терапии	124
Литература	125
Тестовые задания	126
Раздел 7. Применение эфферентных методик при экстракорпоральной мембранной оксигенации	128
Литература	134
Тестовые задания	134
Раздел 8. Ведение пациентов на экстракорпоральной мембранной оксигенации	136
8.1. Мероприятия по уходу за пациентами на экстракорпоральной мембранной оксигенации	137
Литература	140
Тестовые задания	140

Раздел 9. Применение экстракорпоральной мембранной оксигенации при рефрактерной остановке кровообращения	142
Литература	146
Тестовые задания	147
Раздел 10. Транспортировка пациентов на экстракорпоральной мембранной оксигенации	148
10.1. Внутрибольничная транспортировка	154
10.2. Межгоспитальная медицинская эвакуация	157
10.3. Мониторинг во время эвакуации на экстракорпоральной мембранной оксигенации	159
10.4. Осложнения при медицинской эвакуации	160
10.5. Минимально необходимое оборудование для экстракорпоральной мембранной оксигенации	160
10.6. Расходные материалы	161
Литература	161
Тестовые задания	162
Раздел 11. Устранение неполадок оборудования и решение проблем при проведении процедуры экстракорпоральной мембранной оксигенации	165
Заключение	179
Приложение 1	180
Дополнительная литература по теме	180
Интернет-ресурсы	182
Нормативно-правовые акты Российской Федерации, в соответствии с профилем специальности и регламентирующие применение методики экстракорпоральной мембранной оксигенации в клинической практике	182
Приложение 2	184
Планируемые результаты обучения	184
Экстракорпоральная мембранная оксигенация при лечении критической сердечной и дыхательной недостаточности	191

ПРЕДИСЛОВИЕ

Поддержка отказывающихся органов и систем остается в фокусе внимания на протяжении всей истории современной интенсивной терапии. Проблема эта не дает покоя многим поколениям специалистов критической медицины.

Врачи всегда мечтали искусственно корректировать, а подчас и полностью замещать при помощи различных устройств и технологий нарушенные функции органов в ожидании их восстановления. Так, уже не первое десятилетие рутинно применяется заместительная почечная терапия в различных модальностях, а искусственная вентиляция легких давно не рассматривается как из ряда вон выходящая методика — без нее немислима безопасная и эффективная интенсивная терапия. Постоянным предметом исследования и совершенствования технологии остаются средства поддержки и замещения такого многофункционального и сложного органа, как печень. Исследовательский интерес к поддержке нарушенного кровообращения механическими вспомогательными и замещающими устройствами насчитывает более полутора веков, однако период быстрого и плодотворного развития этой технологии вне кардиохирургических операционных гораздо более короток. Сегодня доступны различные варианты поддержки кровообращения — от кратковременной, в течение минут, часов, дней, до длительной, составляющей недели, месяцы, а порой — годы.

Увы, каждая из перечисленных технологий имеет свои патофизиологические аспекты и несет в себе угрозу негативного воздействия на организм пациента в случае применения в режимах вне протективного диапазона. Это делает очевидным и логичным стремление обеспечить любую систему жизнеобеспечения интеллектуальной системой контроля безопасности и эффективности воздействия.

История клинического применения методики экстракорпоральной поддержки при критической дыхательной или сердечной недостаточности вне операционных насчитывает чуть менее полувека. Теперь ранние технологические барьеры, ограничивающие первоначальное применение лишь небольшими периодами времени, выраженный гемолиз, активация гемостаза и системного воспаления уже не кажутся непреодолимыми. Технологически более совершенными и биосовместимыми становятся системы экстракорпорального газообмена, магистралей, насосы, устройства сосудистого доступа, что позволяет добиться увеличения безопасной продолжительности поддержки, повышает доступность методик для специалистов, а значит — и для пациентов.

В последние годы одной из наиболее динамично развивающихся технологий в этой области медицины стала экстракорпоральная мембранная оксигенация (ЭКМО), прошедшая трудный путь от меры отчаяния, отведенной для случаев, когда все остальные возможности исчерпаны, до хорошо зарекомендовавшей себя очередной ступени эскалации интенсивной терапии с четкими показаниями и критериями эффективности.

Растущая синхронно с увеличением числа процедур ЭКМО база знаний, описывающая и анализирующая мировой опыт применения, стала серьезной доказательной основой для создания клинических рекомендаций, образовательных программ. И, что не менее важно, указала наиболее перспективные и востребованные направления дальнейших научных исследований. Основой этому служат международные (ELSO) и национальные (РосЭКМО) регистры.

Со временем область применения ЭКМО расширилась не только с точки зрения спектра заболеваний и состояний, но и в связи с прогрессом в понимании возможности сочетания респираторной (вено-венозной) и гемодинамической (веноартериальной) модальностей. Это нашло свое развитие в обосновании применения гибридных вариантов поддержки.

Применяемая в отделениях интенсивной терапии различной специализации, а подчас и за пределами клиники, описываемая в нашем практическом руководстве методика требует серьезной и разносторонней инфраструктурной и ресурсной подготовки, в то же время медикам различных специальностей необходимо действовать одной слаженной командой, обеспечивая наилучшее качество помощи пациенту.

Основной целью нашего практического руководства является предоставление возможности познакомиться с принципами устройства оборудования ЭКМО, физиологическими и патофизиологическими основами процедуры, практическими аспектами инициации и техникой проведения процедуры, мониторинга и ухода за пациентами в отделениях реанимации и интенсивной терапии. Кроме того, освещаются возможности применения ЭКМО в различных клинических ситуациях. Тестовые задания в конце каждого раздела помогут лучше усвоить информацию.

Надеемся, что данное практическое руководство, основанное на принципах доказательной медицины, пациентоориентированности в сочетании с клиническим опытом авторов, окажет поддержку и принесет пользу врачам и медицинским сестрам отделений интенсивной терапии, анестезиологии, сердечно-сосудистой, эндоваскулярной, торакальной хирургии, ординаторам и аспирантам, студентам старших курсов медицинских вузов, а также многим другим специалистам, вовлеченным в процесс лечения пациентов в критическом состоянии с применением технологии ЭКМО.

Раздел 4. Осложнения процедуры экстракорпоральной мембранной оксигенации

Условно, все осложнения, которые могут быть связаны с применением ЭКМО, делятся на [3, 6–8, 11, 19]:

- связанные с канюляцией (повреждение сосуда, локальное кровотечение, пневмо- и гемоторакс при яремной канюляции и пр.) и нахождением канюль (инфицирование, пролежни стенки сосуда);
- связанные с процедурой и параметрами ЭКМО (активация триады Вирхова, гемолиз, механическое разрушение форменных элементов, сохраняющаяся гипоксемия), механическими дефектами и неисправностью аппарата и контура;
- связанные с антикоагулянтной терапией (кровотечения и тромбозы разной локализации, включая тромбозы системы ЭКМО, ГИТ);
- связанные с состоянием самого пациента (циркуляторная гипоксия, нарушение проницаемости клеточных мембран, декомпенсация хронических заболеваний, нефро- и гепатотоксичность препаратов, используемых в терапии, полиорганная недостаточность, сепсис, мультирезистентная микрофлора и пр.).

4.1. КРОВОТЕЧЕНИЕ

Любое кровотечение, возникшее во время процедуры ЭКМО, требует совместных мультидисциплинарных действий по его четкой локализации, хирургической или эндоваскулярной остановке, полного лабораторного анализа системы гемостаза и фибринолиза.

Частота геморрагических осложнений при проведении ЭКМО может достигать 50%. Геморрагические осложнения во время ЭКМО условно делятся на малые и большие. Большим считается снижение уровня гемоглобина на 20 г/л (кровопотеря 20 мл/кг) за 24 ч или необходимость применения трансфузии эритроцитсодержащих сред в объеме более 10 мл/кг/сутки [7, 15–17, 19, 20].

Развитие кровотечения требует:

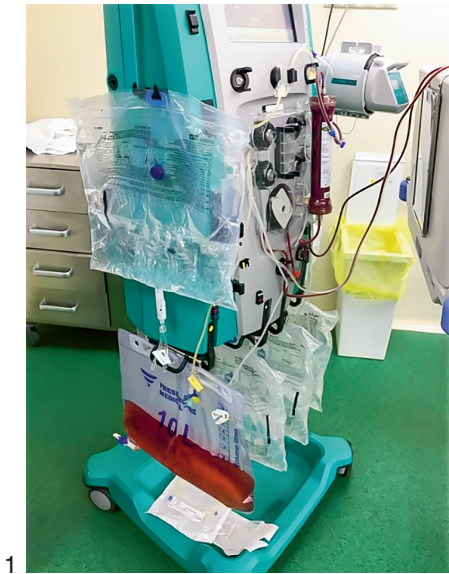
- 1) Отмены введения антикоагулянтов на срок от 12 до 24 ч. Возобновление антикоагулянтной терапии возможно только при формировании устойчивого гемостаза;
- 2) Достижения целевых показателей системы гемостаза:
 - число тромбоцитов более 80 000/мкл при нормальной максимальной амплитуде [maximum amplitude (МА)] [тромбоэластография (ТЭГ)] или максимальной плотности сгустка [maximum clot firmness (MCF)] ротационная тромбоэластометрия (РОТЭМ);
 - уровень международного нормализованного отношения не более 1,3 при нормальном интервале R (ТЭГ) или времени свертывания [coagulation time (СТ)] (РОТЭМ);
 - уровень фибриногена более 1,5 г/л;
 - отсутствие первичного гиперфибринолиза при индексе лизиса через 30 мин [lisis index (LY30)] >8% (ТЭГ) или максимальном лизисе [maximum lisis (ML)] >15% (РОТЭМ).

Целевые показатели достигаются трансфузией тромбоконцентрата (за исключением подтвержденной ГИТ), введением свежезамороженной плазмы или препаратов плазменных факторов свертывания, криопреципитата, транексамовой кислоты, протамина сульфата. Перед проведением гемостатической терапии необходимо убедиться в отсутствии у пациента декомпенсированного ацидоза и гипотермии. Вопрос об использовании протамина сульфата (Протамина[★]) рассматривается только при подозрении на избыток циркулирующего гепарина натрия (Гепарин[★]) с учетом рисков тромбоза контура ЭКМО. Проведение трансфузии компонентов плазмы проводится на основании оценки клинического и лабораторного статуса пациента.

4.2. ГЕМОЛИЗ

Гемолиз — одно из осложнений процедуры ЭКМО, причиной которого является разрушение эритроцитов и попадание в кровь свободного гемоглобина, уровень которого превышает 100 мг/л [7, 15–17, 19, 20]. Кроме этого показателя для гемолиза характерно повышение уровня непрямого билирубина, лактатдегидрогеназы, снижение уровня гаптоглобина, повышение D-димера, изменение цвета мочи или цвета ультрафильтрата при проведении ЗПТ («мясные помои») (**рис. 4.1**).

Высокий уровень свободного гемоглобина может быть обусловлен первичными причинами основного заболевания или влиянием компонентов контура ЭКМО.



1



2

Рис. 4.1. Гемолиз при проведении заместительной почечной терапии во время экстракорпоральной мембранной оксигенации, обусловленный тромбозом оксигенатора (1 — до смены контура, 2 — после смены контура)

Причины гемолиза могут быть обусловлены:

- Установленные канюли малого диаметра при необходимости поддержания большой скорости перфузии — слишком низкое давление на дренажной канюле (менее — 100 мм рт.ст.) или возвратной канюли (>300 мм рт.ст.), в обоих случаях из-за неправильно подобранного размера, что создает слишком высокий градиент давления при повышенном сопротивлении на канюле, не позволяющего обеспечить адекватный поток ЭКМО, а также турбулентность на выходе из канюли.
- Слишком высокая частота вращения насоса, необходимая для обеспечения адекватного потока ЭКМО, чаще всего при невозможности достичь целевых показателей доставки кислорода. Это приводит к повышению давления на входе в оксигенатор (>400 мм рт.ст.), кавитации и завоздушиванию головки насоса.

Тромбозом оксигенатора вследствие неадекватной антикоагулянтной терапии, активной гемостатической терапии, сроков эксплуатации контура. Рост ДР является одним из самых ранних маркеров тромбоза оксигенатора, который приведет к гемолизу.

ЛИТЕРАТУРА

1. Annich G., Lynch W., Maclaren G. ECMO: Extracorporeal Cardiopulmonary Support in Critical Care. 4th ed. Extracorporeal Life Support Organization, 2012. 537 p.
2. Diehl A., Gantner D. Pump head thrombosis in extracorporeal membrane oxygenation (ECMO) // *Intensive Care Med.* 2018. Vol. 44. N. 3. P. 376–77. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00134-017-4976-9>
3. Aubron C., Cheng A.C., Pilcher D. et al. Factors associated with outcomes of patients on extracorporeal membrane oxygenation support: a 5-year cohort study // *Crit. Care.* 2013. Vol. 17. P. R73. DOI: <https://doi.org/10.1186/cc12681>
4. Bartlett R.H., Gazzaniga A.B., Fong S.W. et al. Extracorporeal membrane oxygenator support for cardiopulmonary failure. Experience in 28 cases // *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.* 1977. Vol. 73. P. 375–386.
5. Short B.L., Williams L. ECMO Specialist Training Manual. 3rd ed. Extracorporeal Life Support, 2010. 288 p.
6. Gajkowski E.F., Herrera G., Hatton L. et al. ELSO guidelines for adult and pediatric extracorporeal membrane oxygenation circuits // *ASAIO J.* 2022. Vol. 68. N. 2. P. 133–152. DOI: <https://doi.org/10.1097/MAT.0000000000001630>
7. Annich G., Lynch W., MacLaren G. et al. ECMO: Extracorporeal Cardiopulmonary Support in Critical Care (The «Red Book»). Extracorporeal Life Support Organization, 2012. 537 p.
8. Glenn P. Gravlee MD, Richard F. Davis, Alfred H. Stammers, Ross M. Ungerleider. *Cardiopulmonary Bypass: Principles and Practice.* 2008.
9. Guglin M., Zucker M.J., Bazan V.M. et al. Venoarterial ECMO for adults: JACC scientific expert panel // *J. Am. Coll. Cardiol.* 2019. Vol. 73. N. 6. P. 698–716.
10. Sangalli F., Patroniti N., Pesenti A. ECMO-Extracorporeal Life Support in Adults. Milan, Heidelberg, New York, etc.: Springer, 2014. ISBN: 978-88-470-5426-4; ISBN: 978-88-470-5427-1 (eBook). DOI: <https://doi.org/10.1007/978-88-470-5427-1>
11. Fuhrman B.P., Heman L.J., Rotta A.T., Rosenkranz E.R. Pathophysiology of cardiac extracorporeal membrane oxygenation // *Artif. Organs.* 1999. Vol. 23. N. 11. P. 966–969.
12. Appelt H., Philipp A., Mueller T. et al. Factors associated with hemolysis during extracorporeal membrane oxygenation (ECMO) – comparison of VA- versus VV ECMO // *PLoS One.* 2020. Vol. 15. N. 1. Article ID e0227793. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0227793> Epub 2020 Jan 27.
13. Thangappan K., Cavarocchi N., Baram M. et al. Systemic inflammatory response syndrome (sirs) after extracorporeal membrane oxygenation (ECMO): fact or fiction // *Chest.* 2015. Vol. 148. N. 4 (Meeting Abstracts). Abstr. 32A. DOI: <https://doi.org/10.1378/chest.2250571>
14. Thangappan K., Cavarocchi N.C., Baram M. et al. Systemic inflammatory response syndrome (SIRS) after extracorporeal membrane oxygenation (ECMO): incidence, risks and survivals // *Heart Lung.* 2016. Vol. 45. N. 5. P. 449–453. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.hrtlng.2016.06.004>. Epub 2016 Jul 15.
15. Hoffman K.R., Diehl A., Paul E., Burrell A.J.C. The hematological effects of extracorporeal membrane oxygenator exchange // *ASAIO J.* 2023. Vol. 69. N. 7. P. e308–e314. DOI: <https://doi.org/10.1097/MAT.0000000000001976>

16. Raymond P.D., Ray M.J., Callen S.N., Marsh N.A. Heparin monitoring during cardiac surgery. Part 2. Calculating the overestimation of heparin by the activated clotting time // *Perfusion*. 2003. Vol. 18. P. 277–281.
17. Olson S.R., Murphree C.R., Zonies D. et al. Thrombosis and bleeding in extracorporeal membrane oxygenation (ECMO) without anticoagulation: a systematic review // *ASAIO J*. 2021. Vol. 67. N. 3. P. 290–296. DOI: <https://doi.org/10.1097/MAT.0000000000001230>
18. Tanaka D. Pitcher H.T. Cavarocchi N.C. Hirose H. Can procalcitonin differentiate infection from systemic inflammatory reaction in patients on extracorporeal membrane oxygenation? // *J. Heart Lung Transplant*. 2014. Vol. 33. P. 1186–1188. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.healun.2014.08.015>
19. Лысенко М.А., Кецкало М.В., Андреев С.С. и др. Экстракорпоральная мембранная оксигенация. Практические рекомендации. СПб.: Экстен Медикал, Технопроект, 2020. 72 с.
20. Бахарев С.А., Попугаев К.А., Киселев К.А. и др. Механизмы развития геморрагических осложнений при проведении экстракорпоральной мембранной оксигенации. Пилотное исследование // *Анестезиология и реаниматология*. 2020. № 1. С. 25–34.

ТЕСТОВЫЕ ЗАДАНИЯ

№ п/п	Раздел	Правильный ответ	Вопросы/варианты ответа
64	4		Потенциальные осложнения канюляции ЭКМО:
			Острое нарушение мозгового кровообращения
			Аритмии
		*	Диссекция аорты
			Пневмоторакс
65			Потенциальные осложнения процедуры ЭКМО:
		*	Эмболические осложнения
		*	Кровотечения
			Почечная недостаточность
			Токсический гепатит

№ п/п	Раздел	Правильный ответ	Вопросы/варианты ответа
66			Причинами гемолиза на фоне ЭКМО могут быть:
			Перегиб магистралей и канюль
			Переливание свежезамороженной плазмы
		*	Тромбоз оксигенатора
			Высокое сопротивление на артериальной канюле
67			При развитии кровотечения во время ЭКМО необходимо выполнить следующие действия:
		*	Отменить введение антикоагулянтов
		*	Нормализовать уровень тромбоцитов трансфузией тромбоконцентрата (при отсутствии ГИТ)
			Наложить давящую повязку на место кровотечения
		*	Восполнить кровопотерю и дефицит факторов свертывания