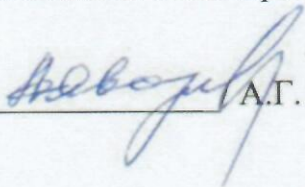


УТВЕРЖДАЮ

Директор Национального
медицинского исследовательского
центра по профилю «анестезиология-
реаниматология (для взрослых)»
ФГАОУ ВО Первый МГМУ имени
И.М. Сеченова Минздрава России,
д.м.н



А.Г. Яворовский

УТВЕРЖДАЮ

Главный внештатный специалист
по анестезиологии-реаниматологии
Министерства здравоохранения
Российской Федерации, д.м.н.,
профессор



/ С.В. Царенко

УТВЕРЖДЕНЫ
Профильной комиссией Минздрава
России по специальности
«Анестезиология-реаниматология»

11 мая 2026 г.

ПРИМЕНЕНИЕ
ЭСТРАКОРПОРАЛЬНОЙ МЕМБРАННОЙ ОКСИГЕНАЦИИ
ПРИ ЛЕЧЕНИИ КРИТИЧЕСКОЙ СЕРДЕЧНОЙ И ДЫХАТЕЛЬНОЙ
НЕДОСТАТОЧНОСТИ

Практические рекомендации

Москва, 2026

ОГЛАВЛЕНИЕ

Список используемых сокращений	4
Глоссарий	6
1. Определение понятия ЭКМО	10
2. Устройство системы для проведения ЭКМО	10
2.1. Канюли и магистрали ЭКМО	12
2.2. Электропривод насоса, резервный привод, головка насоса	15
2.3. Оксигенаторы	17
2.4. Газовый смеситель	18
2.5. Теплообменник и терморегулирующее устройство	19
2.6. Блок управления и контроля	19
2.7. Датчики контроля процедуры ЭКМО	20
2.8. Заполнение контура	22
3. Процедура ЭКМО	23
3.1. Канюляция	23
3.1.1. Варианты периферической канюляции	24
3.1.2. Применение ультразвукового контроля при канюляции	25
3.1.3. Техника пункционной канюляции по методу Сельдингера	26
3.2. Варианты ЭКМО и принятие решения о начале процедуры ЭКМО	28
3.3. Противопоказания для проведения ЭКМО	30
3.3.1. Абсолютные противопоказания	31
3.3.2. Относительные противопоказания	31
3.4. Вено-венозная ЭКМО	32
3.4.1. Показания для проведения ВВ ЭКМО	33
3.4.2. Цель ВВ ЭКМО	34
3.4.3. Гипоксемия при ВВ ЭКМО	37
3.4.4. Отлучение от ВВ ЭКМО	38
3.4.5. Удаление системы, деканюляция	39
3.5. Вено-артериальная ЭКМО	40
3.5.1. Задачи ВА ЭКМО	40
3.5.2. Показания для ВА ЭКМО	41
3.5.3. Канюляция	42
3.5.4. Синдром дифференциальной гипоксемии	45
3.5.5. Перегрузка левого желудочка	45

3.5.6. Отлучение от ВА ЭКМО	49
3.5.7. Деканюляция	51
3.5.8. Удаление канюль при ВА ЭКМО	51
3.6. Применение ЭКМО при рефрактерной остановке кровообращения	52
3.6.1. Команда Э-СЛР	56
3.6.2. Место для проведения Э-СЛР	59
3.6.3. Рекомендации по оборудованию для Э-СЛР	60
3.7. ЭКМО при посткардиотомном кардиогенном шоке	60
4. Осложнения процедуры ЭКМО	69
4.1. Кровотечение	70
4.2. Гемолиз	70
5. Мониторинг при ЭКМО	71
а. Контроль состояния пациента	72
б. Контроль параметров гемодинамики и лабораторных показателей	72
с. Проверка ЭКМО	73
д. Оценка гемодинамики	73
е. Контроль респираторной поддержки	73
ф. Контроль функции висцеральных органов, кровоснабжения нижних конечностей, инфекционный мониторинг	74
6. Антикоагулянтная терапия	74
6.1 Гепарин-индуцированная тромбоцитопения	79
6.2 Гепарин-резистентность	80
6.3 Применение антиагрегантной терапии	81
6.4 Фибринолитическая терапия	81
6.5 Проведение ЭКМО без антикоагулянтной терапии	82
7. Применение эфферентных методик при ЭКМО	82
8. Ведение пациентов на ЭКМО	88
8.1 Мероприятия по уходу за пациентами на ЭКМО	89
9. Транспортировка пациентов на ЭКМО	91
а. Организация взаимодействия медицинских организаций	91
б. Подготовка к транспортировке	93
i. Оценка транспортабельности пациента	93
9.2.2. Необходимое оборудование	95
9.3. Внутрибольничная транспортировка	97

9.4. Межгоспитальная транспортировка	99
9.5. Мониторинг во время эвакуации на ЭКМО	101
9.6. Осложнения при медицинской эвакуации	101
9.7. Минимально необходимое оборудование для ЭКМО	102
9.8. Расходные материалы	102
10. Заключение	103
11. Список литературы	103
11.1. Дополнительная литература	115
11.2. Интернет ресурсы	117
11.3. Нормативные акты	118

Список используемых сокращений

АВ	- артериовенозный
АД	- артериальное давление, мм рт.ст.
АДпульс	- пульсовое артериальное давление, мм рт.ст.
АИК	- аппарат искусственного кровообращения
АК	- аортальный клапан
Ао	- аорта
АСТ	- active clotting time = время образования сгустка
АТ III	- антитромбин III, активность, %
АЧТВ	- активированное частичное тромбопластиновое время, сек.
ВА	- вено-артериальный
ВАБК	- внутриаортальная баллонная контрпульсация
ВА	- вено-артериальный
ВAB	- вено-артерио-венозная
ВВ	- вено-венозный
ВВА	- вено-вено-артериальный
ВИЧ	- вирус иммунодефицита человека
ВИВЛ	- вспомогательная искусственная вентиляция легких
ВПВ	- верхняя полая вена
ГД	- гемодинамика
ГДФ	- гемодиалитрация
ГИТ	- гепарин-индуцированная тромбоцитопения
ДЗЛА	- давление заклинивания легочной артерии, мм рт.ст.
ДЛА	- давление в легочной артерии, мм рт.ст.
ДМЖП	- дефект межжелудочковой перегородки
ДМПП	- дефект межпредсердной перегородки
ДО ₂ = DO ₂	- доставка кислорода, мл/мин
ДПП	- давление в правом предсердии, мм рт.ст.
ЗПТ	- заместительная почечная терапия
ИВЛ	- искусственная вентиляция легких

ИК	- искусственное кровообращение
ИМТ	- индекс массы тела
КДД	- конечное диастолическое давление, мм рт.ст.
КДО	- конечный диастолический объем, мл
КСО	- конечный систолический объем, мл
КТФК	- кислород-транспортная функция крови
КОС	- кислотно-основное состояние
КТ	- компьютерная томография
КЭО = ERO_2	- коэффициент экстракции кислорода, %
ЛЖ	- левый желудочек
ЛП	- левое предсердие
МНО	-международное нормализованное отношение
МОК	- минутный объем кровообращения, л/мин
МПП	- межпредсердная перегородка
МТ	- масса тела, кг
НФГ	- нефракционированный гепарин
ОПП	- острое повреждение почек
ОПСС	- общее периферическое сопротивление сосудов, $\text{дин} \cdot \text{с} \cdot \text{см}^{-5}$
ОРДС	- острый респираторный дистресс синдром
ПДКВ = РЕЕР	- положительное давление в конце выдоха, см водн.ст.
ПККШ - PCCS	- посткардиотомический кардиогенный шок
ПКТ-ЭКМО	- посткардиотомная экстракорпоральная мембранная оксигенация
$PO_2 = VO_2$	- потребление кислорода, мл/мин
ПП	- правое предсердие
ППС	- площадь поперечного сечения, см^2
ППТ	- площадь поверхности тела, м^2
РОТЭМ	- ротационная тромбоэластометрия
САД	- среднее артериальное давление, мм рт.ст.
СВ	- сердечный выброс, л/мин
СИ	- сердечный индекс, л/мин/м^2

СЛР	- сердечно легочная реанимация
СМП	- скорая медицинская помощь
ТРУ	- терморегулирующее устройство
ТЭГ	- тромбоэластография
УЗИ	Ультразвуковое исследование
УО	Ударный объем, мл
УФ	- ультрафильтрация
ФАР	- федерации анестезиологов-реаниматологов
ФВ	- фракция выброса, %
ФЖ	- фибрилляция желудочков
ХБП	- хроническая болезнь почек
ХНЗЛ	- хроническое неспецифическое заболевание легких
ХОБЛ	- хроническая обструктивная болезнь легких
ЦВД	- центральное венозное давление, см водн.ст., мм рт.ст.
ЧМТ	- черепно-мозговая травма
ЧпЭхоКГ	- чреспищеводная эхокардиография
ЭКГ	- электрокардиограмма
ЭКМО	- экстракорпоральная мембранная оксигенация
ЭМД	- электромеханическая диссоциация
ЭхоКГ	- эхокардиография
ELSO	- организация экстракорпоральной поддержки жизни
ΔP_{v-aCO_2}	- вено-артериальная разница по углекислому газу, мм рт.ст.
SaO_2	- сатурация в артериальной крови, %
SvO_2	- сатурация в центральной вене, %
SpO_2	- сатурация по пульсоксиметру, %

Глоссарий

APACHE — Acute Physiology Age and Chronic Health Evaluation	- «Оценка острой физиологии, возраста и хронического состояния здоровья» — шкала суммарной оценки тяжести состояния больного, может быть использована для оценки
---	--

вероятности летального исхода

AV VTI Aortic Valve Velocity Time
Integral = Интеграл скорости от
времени (VTI) аортального клапана

- Клиническое ультразвуковое доплеровское измерение кровотока, эквивалентное площади под кривой изменения скорости по времени. Произведение VTI и площади поперечного сечения клапана дает ударный объем, который может быть использован для расчета сердечного выброса

ELISA – Enzymelinked Immunosorbent
Assay = Ферментный
иммуносорбентный анализ

- Лабораторный метод обнаружения и измерения наличия специфических антител или антигенов в образце. Является основным методом диагностики ГИТ

ENCOURAGE — ECMO
Outcome Prediction Scores for
Estimating Likelihood of Patient
Survival

- Шкала оценки вероятности выживания пациента на ЭКМО

HELLP-синдром — Аббревиатура
HELLP включает: Hemolysis
(гемолиз), Elevated Liver enzymes
(повышение активности печеночных
ферментов), Low Plateles (уменьшение
количества тромбоцитов)

- Жизнеугрожающее для матери и плода осложнение, возникающее во втором-третьем триместрах беременности и в послеродовом периоде, характеризующееся гемолизом, повышением активности печеночных ферментов, уменьшением количества тромбоцитов, и приводящее к острой печеночной недостаточности, полиорганной недостаточности, ДВС-синдрому, разрыву печени и гематомам различной локализации

KDIGO - Kidney Disease Improving
Global Outcomes = Заболевания почек,
улучшающие глобальные результаты

- Оценка выраженности дисфункции почек

Oxy-RVAD

- Вспомогательное устройство для поддержки правого желудочка с оксигенатором

LVOT VTI - Left Ventricle Outflow
Tract Velocity Time Integral = Интеграл

- Клиническое ультразвуковое доплеровское измерение кровотока, эквивалентное площади под кривой изменения

скорости от времени (VTI) выходного тракта левого желудочка (LVOT)	скорости по времени. Произведение VTI и площади поперечного сечения клапана дает ударный объем, который может быть использован для расчета сердечного выброса.
RASS — Richmond Agitation- Sedation Scale = Ричмондская шкала оценки агитации и седации	- Шкала используется в отделении анестезиологии-реанимации и интенсивной терапии для описания степени агрессии больного или уровня глубины седации
RESP — Respiratory ECMO Survival Prediction	- Прогноз выживаемости при респираторной ЭКМО — прогностическая шкала возможной летальности при ВВ ЭКМО
TAPSE (tricuspid annular plane systolic excursion) = систолическая экскурсия в плоскости кольца трикуспидального клапана	- Параметр оценки систолической функции правого желудочка
SOFA — Sequential Organ Failure Assessment = Последовательная оценка органной недостаточности	- Шкала служит для оценки степени органной недостаточности, риска смертности и сепсиса у пациентов в отделении интенсивной терапии и реанимации
VIS - Vasoactive Inotropic Score – Шкала инфузируемых адреномиметических препаратов	- Шкала суммы вазоактивных и инотропных лекарственных средств.
Артериальные канюли	- Канюли, предназначенные для возврата оксигенированной крови в кровеносное русло
Венозные канюли	- Канюли, предназначенные для дренирования неоксигенированной крови
Бифеморальная венозная канюляция	- Забор крови осуществляется из нижней полой вены при расположении конца канюли примерно на уровне почечных вен, а возврат оксигенированной крови происходит на уровне устья нижней полой вены.
Гипоксемия при ВВ ЭКМО	- Парадоксальная ситуация, когда при соблюдении всех параметров ЭКМО отмечается постепенное снижение

оксигенации, что объясняется снижением вклада лёгких в газообмен (увеличением степени внутрилегочного шунтирования и дерекрутизацией альвеол при «смягчении» настроек ИВЛ), либо прогрессирующим дисбалансом доставки и потребления кислорода.

Закон Хагена — Пуазейля

- Закон, определяющий объем потока при установившемся течении вязкой несжимаемой жидкости в тонкой цилиндрической трубке круглого сечения.

Экстракорпоральный контур

- Контур кровообращения, непосредственно взаимодействующий с кровью пациента и состоящий из канюль, магистралей, головки насоса крови, оксигенатора.

Экстракорпоральная мембранная оксигенация (ЭКМО)

- Аппаратный метод временного замещения (поддержания) функции газообмена и/или кровообращения, непосредственным воздействием на кровь и гемоциркуляцию, используемый у пациентов, находящихся в критическом состоянии, с остро возникающей или декомпенсированной дыхательной и/или сердечной недостаточностью, рефрактерных к традиционным методам интенсивной терапии.

Феморально-яремная канюляция

- Венозная кровь пациента забирается через установленную в нижней полой вене дренажную канюлю, а возвращается через возвратную канюлю в устье верхней полой вены/правом предсердии.

Яремно-феморальная канюляция

- Конфигурация ВВ ЭКМО, применяемая при высоком внутрибрюшном давлении. Забор крови происходит из верхней полой вены, установленной на уровне правого предсердия, а возврат через канюлю, установленную в нижней полой вены выше печеночной вены.

1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОНЯТИЯ ЭКМО

Экстракорпоральная мембранная оксигенация (ЭКМО) [1,2,3]

- аппаратный метод временного замещения (поддержания) функции газообмена и/или кровообращения, непосредственным воздействием на кровь и гемоциркуляцию, используемый у пациентов, находящихся в критическом состоянии, с остро возникшей или декомпенсированной хронической дыхательной и/или сердечной недостаточностью, рефрактерных к традиционным методам интенсивной терапии;
- не является методом лечения самого патологического процесса, приведшего к острой дыхательной и/или сердечной недостаточности;
- является одним из методов экстракорпорального замещения, дающего возможность выиграть время для восстановления газообменной функции легких и снижения эффектов повреждающих факторов механической ИВЛ;
- является одним из методов, способствующих восстановлению сократительной функции миокарда и защите от воздействия неблагоприятных факторов, ассоциированных с применением вазопрессорных и инотропных препаратов;
- важным фактором, определяющим целесообразность применения ЭКМО является обратимость патологических процессов в легких и миокарде и должна рассматриваться как «мост» к выздоровлению и/или принятию решения об имплантации длительно действующих механических устройств поддержки кровообращения или трансплантации;
- может проводиться в условиях многопрофильного стационара в рамках стандарта оснащения отделений (центров) анестезиологии-реанимации и интенсивной терапии, и стандартов оказания помощи пациентам по профилю «анестезиология-реаниматология», во время внутрибольничной транспортировки и/или медицинской эвакуации пациентов на другой этап оказания специализированной и/или специализированной высокотехнологичной медицинской помощи.

2. УСТРОЙСТВО СИСТЕМЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКМО

Технология ЭКМО по своей сути является модификацией аппарата искусственного кровообращения (АИК, сердечно-легочной обход), широко применяемого в кардиохирургии, и заключается в частичном или полном обеспечении системного потока крови с помощью центрифужного насоса, обеспечении оксигенации крови и элиминации из нее углекислого газа. Эффективный газообмен осуществляется в мембранном оксигенаторе за то время, пока кровь проходит снаружи волокон, выполненных полупроницаемой мембраной внутри которых циркулирует воздушно-кислородная смесь. Принципиальное отличие от АИК заключается в количестве и типе насосов (АИК – 3-4 роликовых окклюзионного типа и возможно, в зависимости от необходимости добавление одного центрифужного). ЭКМО – один центрифужный. Наличие кардиотомного резервуара в контуре АИК в котором нет движения крови требует больших доз антикоагулянтов и наличие артериального фильтра для снижения риска тромбоэмболии,

умеренной гемодилюции и гипотермии. В контуре ЭКМО таких особенностей нет. Площадь поверхности контура до 12 м² в АИК и около 3 м² в контуре ЭКМО для взрослых. Объем заполнения до 1500 мл в АИК и до 850 мл в ЭКМО. Длительности работы оксигенаторов: АИК – 6-8 часов, ЭКМО – 14-29 дней (в зависимости от производителя).

Система для проведения процедуры ЭКМО состоит из двух частей (рисунок 1):

1. **КОНТУР КРОВООБРАЩЕНИЯ** (экстракорпоральный контур), непосредственно взаимодействующего с кровью пациента и состоящего из:

- Канюль
- Магистралей
- Головки насоса крови (импеллера)
- Оксигенатора

2. **БЛОК УПРАВЛЕНИЯ и КОНТРОЛЯ (КОНСОЛЬ)**, выполняющего функцию управления процедурой и контроля параметров функционирования системы, состоящего из:

- Блока питания (включая аккумуляторы)
- Блока мониторинга и панели управления
- Электропривода насоса
- Датчиков: давления, температуры, потока и контроля пузырьков воздуха и других (SpO₂, Hb, Ht, SvO₂ в зависимости от модели аппарата).
- Воздушно-кислородного смесителя с ротаметрами
- Терморегулирующего устройства

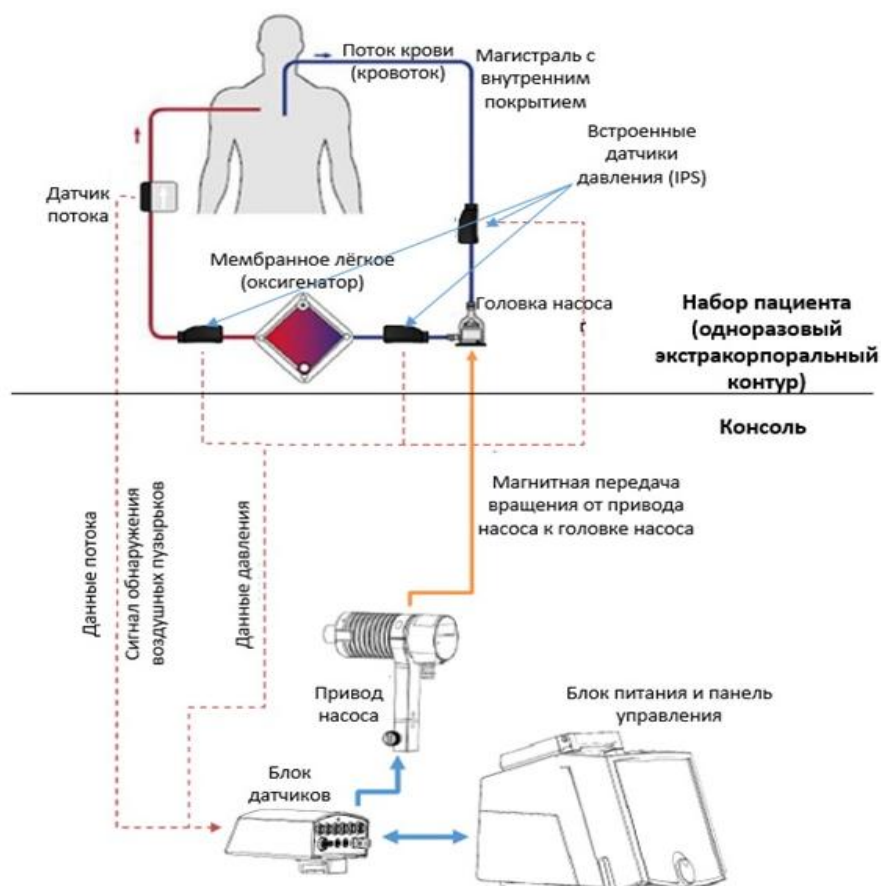


Рисунок 1. Принципиальная схема процедуры ЭКМО (на примере оборудования одного из производителей).

2.1. Канюли и магистрали для ЭКМО

Канюли и магистрали ЭКМО должны обеспечивать высокую объёмную скорость экстракорпорального потока крови 0,5-2,5 л/мин у новорожденных и детей и 2,5–7 л/мин у взрослых. Необходимость длительной эксплуатации (до нескольких недель), проведения санитарных процедур и активизации пациента, использование обычных устройств сосудистого доступа, даже большого диаметра, и канюль, применяемых при проведении операций с использованием искусственного кровообращения, в условиях ЭКМО невозможно.

Венозные (дренажные, по которым поступает из сосудов пациента неоксигенированная кровь) и артериальные (возвратные, по которым возвращается оксигенированная кровь) канюли предназначены для дренирования крови и последующего её возврата в организм пациента после прохождения через оксигенатор. Канюли для ЭКМО, выпускаемые различными фирмами-производителями, имеют сходное строение, скоростные и резистивные характеристики. Правильный выбор размера (диаметра) и длины канюль влияет на эффективность и безопасность осуществления экстракорпорального кровообращения и самой процедуры ЭКМО, особенно при периферической методике её проведения.

Канюли для ЭКМО различного диаметра, с армированием для устойчивости к перегибам, с множественными или одиночными отверстиями, обеспечивают высокие скорости потока при минимальной разности давлений, пригодны для длительного применения и активизации пациентов.

Возвратные канюли имеют, как правило, только центральный просвет и одну-две пары боковых отверстий, и должны обеспечивать максимально свободный (с минимальным сопротивлением) возврат крови.

Задача дренажной (венозной) канюли - обеспечить максимально возможный объем забираемой (дренируемой) крови для адекватного потока ЭКМО, в соответствии с потребностью пациента. Канюли могут быть двух типов: «single-stage» - имеющими концевые отверстия и «multi-stage» - имеющие множественные боковые отверстия вдоль.

Длина и диаметр канюль должны быть оптимальны, как для осуществления активного венозного дренажа и предотвращения высокого сопротивления давления крови на возвратной линии, так и для сопоставления с диаметром сосуда, через который она будет установлена. Традиционно, диаметр канюль для ЭКМО определяется во French (Fr). 1 Fr равен 0,33 мм диаметра (D) или D мм умноженный на 3. Рекомендуемый диаметр канюли должен быть на 1-2 Fr

меньше диаметра сосуда, измеренного по данным ультразвукового исследования (УЗИ) сосудов или с помощью контрастирования (например, при эндоваскулярном вмешательстве). При выборе диаметра устанавливаемой канюли необходимо исходить из правила «чем длиннее и уже канюля, тем большее сопротивление потоку создаваемого насосом она оказывает и чем больше оказываемое сопротивление потоку, тем больше повреждающее влияние на форменные элементы крови».

Правило исходит из физического закона Хагена-Пуазейля: секундный объёмный расход жидкости (крови) пропорционален перепаду давления на единицу длины сосуда (канюля и магистраль) и четвёртой степени радиуса (диаметра) канюли и магистрали исходя из формулы:

$$Q = \frac{\Delta P \pi r^4}{8 \eta l}, \text{ (где } Q \text{ – расход жидкости (поток), } \Delta P \text{ – разница давлений, } r \text{ – радиус сосуда, } \pi \text{ – 3,14,}$$

η – вязкость жидкости (крови), l – длина сосуда [2,5,6].

Для примерного расчета максимальной производительности ЭКМО без повреждающего влияния в зависимости от диаметра канюль можно пользоваться таблицей 1.

Таблица 1. Выбор размера канюль в зависимости от необходимой скорости потока*

Диаметр, Fr	Артериальная канюля (l=18-23 см)	Венозная канюля (l=50-55 см)
15-16	2,2	1,5
17-18	3,0	2,0
19-20	3,8	2,7
21-22	5,0	3,2-3,5
23-24	6,5	4,5-5
25-26	> 7,0	6,0
27-28	-	6,5
29-30	-	>7,0

*- адаптировано из источников www.edecmo.org, Guideline ECMO AlfredHealth Nov.2015

Некоторые канюли, равно как и контуры для ЭКМО имеют специальное биосовместимое покрытие, состоящее из комплекса альбумина и низкомолекулярного гепарина, либо

фосфорилхолина. Биосовместимое покрытие канюль, снижающее риски тромбоза, травмы форменных элементов крови и развития системного воспалительного ответа, дает возможность в течение некоторого времени проводить ЭКМО без антикоагулянтной терапии.

Для понимания потоковых характеристик канюль можно воспользоваться номограммами в инструкциях по пользованию, которые прилагаются к канюлям (рисунок 2).

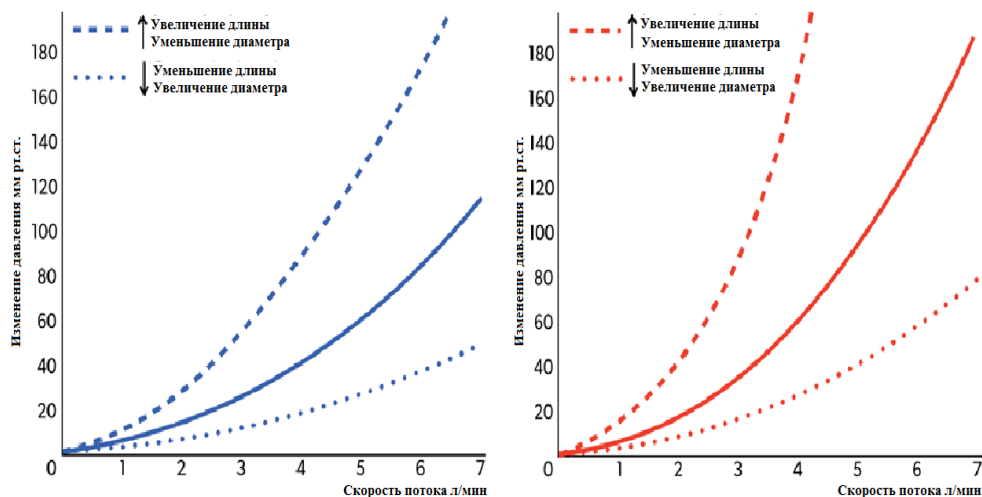


Рисунок 2. Номограмма зависимости потока и давления сопротивления потока через канюлю в зависимости от диаметра и длины канюли (in-vitro).

2.2. Электропривод насоса, резервный привод, головка насоса

В аппаратах ЭКМО используются центробежные насосы крови, принципом действия которых является преобразование электрической энергии, потребляемой двигателем, в динамическую энергию потока за счет центробежной силы.

С целью безопасности процедуры аппараты для ЭКМО обязательно комплектуются двумя приводами насосов: основным и резервным. Основной насос всегда электрический, в некоторых моделях он может подключаться как к основному блоку управления, так и к съемному аккумулятору. В качестве резервного моторного привода в разных моделях может применяться электропривод, аналогичный основному, подключающийся непосредственно к аккумулятору или через дополнительный разъем к блоку управления, либо ручной механический, требующий определенных физических усилий для поддержания необходимой скорости потока в течение времени, необходимого на устранение неисправностей.

Принципом действия центробежного насос является преобразование электрической энергии, потребляемой двигателем, в динамическую энергию потока за счет центробежной силы вращающихся лопастей головки - импеллера. За счет высокой частоты изменения магнитного поля основания насоса осуществляется равномерное вращение роторной части центрифужной головки. Радиальные выступы (лопасти) на поверхности импеллера головки придают центростремительное

движение жидкости, направленное от заборного отверстия (на вершине) к выходному отверстию (на боковой части) головки. Поток крови попадая в центр головки насоса под действием центробежной силы меняет направление своего движения с осевого на радиальное. Главными преимуществами насосов этого типа являются: меньшая травматизация форменных элементов крови (отсутствие механического прижимного давления роликов) и исключение возможности воздушной эмболии при попадании воздуха в головку насоса (наличие воздуха не исключает вращение ротора, но прекращает движение крови).

В отличие от роликовых насосов, применяемых в аппаратах искусственного кровообращения, в центрифужных насосах при неизменной частоте вращения скорость перфузии может изменяться в зависимости от эффективности притока крови и ее возврата. Например, при случайном перегибе магистрали ЭКМО перфузия может полностью прекратиться, а число оборотов импеллера останется прежним, при этом не произойдет повреждения контура.

В аппаратах ЭКМО применяется два типа головок центрифужного насоса – диагональная (вертикальная) и радиальная (горизонтальная), имеющие некоторые отличия функционирования (таблица 2).

Таблица 2. Отличие радиальной и диагональной головки центрифужного насоса ЭКМО.

Диагональная головка насоса	Радиальная головка насоса
Объем головки около 16 мл	Объем головки от 32 до 50 мл
Скорость вращения головки до 10 000 об/мин	Скорость вращения головки до 5000 об/мин
Возможность применения у разных пациентов - от новорожденных до взрослых	Как правило, применяется у взрослых пациентов
Возможность работы в пульсирующем режиме	-
Минимальный поток крови от 100 мл/мин	Минимальный поток крови от 500 мл/мин
Шаг изменения скорости потока 10 мл/мин	Шаг изменения скорости потока 100 мл/мин

В оборудовании некоторых производителей, использующее диагональную головку насоса, есть возможность проведения вспомогательного кровообращения в пульсирующем режиме, моделируя сокращения сердца и сохраняя пульсовую волну, что может способствовать улучшению тканевой перфузии, микроциркуляции и увеличению доставки кислорода тканям, поддержанию среднего АД ≥ 60 мм рт.ст. меньшим потоком крови (скоростью вращения насоса).

Суть пульсирующего потока, синхронизированного с собственным ритмом сердца по электрокардиограмме (ЭКГ) пациента, заключается в том, что в систолу скорость вращения насоса снижается (т.е. снижается скорость потока), уменьшая постнагрузку левого желудочка (ЛЖ), а в диастолу увеличивается, улучшая т.о. почечный, коронарный и мозговой кровотоки. При этом достаточная скорость потока для обеспечения адекватного соотношения доставки и потребления кислорода (DO_2 / VO_2) может достигаться меньшей скоростью вращения головки насоса. Однако необходимо понимать, что при несинхронизированной работе в режиме пульсации, во время систолического компонента частота вращения мотора может быть чрезмерно высокой с повреждающими градиентами давлений в сравнении с постоянной частотой вращения. Применение пульсирующего режима при ВВ-ЭКМО не имеет смысла, т.к. кровообращение по большому кругу осуществляется за счет собственной работы сердца. Применение такого режима при ВА-ЭКМО по данным различных источников приводит к улучшению перфузии органов, снижая количество неврологических осложнений, почечной недостаточности.

2.3. Оксигенаторы

Современные оксигенаторы для ЭКМО, выпускаемые различными производителями, при внешних различиях имеют принципиально одинаковое внутреннее устройство (рисунок 3). Венозная кровь, забираемая дренажной канюлей, поступает в венозную камеру оксигенатора, которая соприкасается с камерой теплообмена, далее через пористую мембрану, где происходит насыщение кислородом и элиминация CO_2 , выходит в артериальную камеру и далее возвращается через артериальную канюлю пациенту.

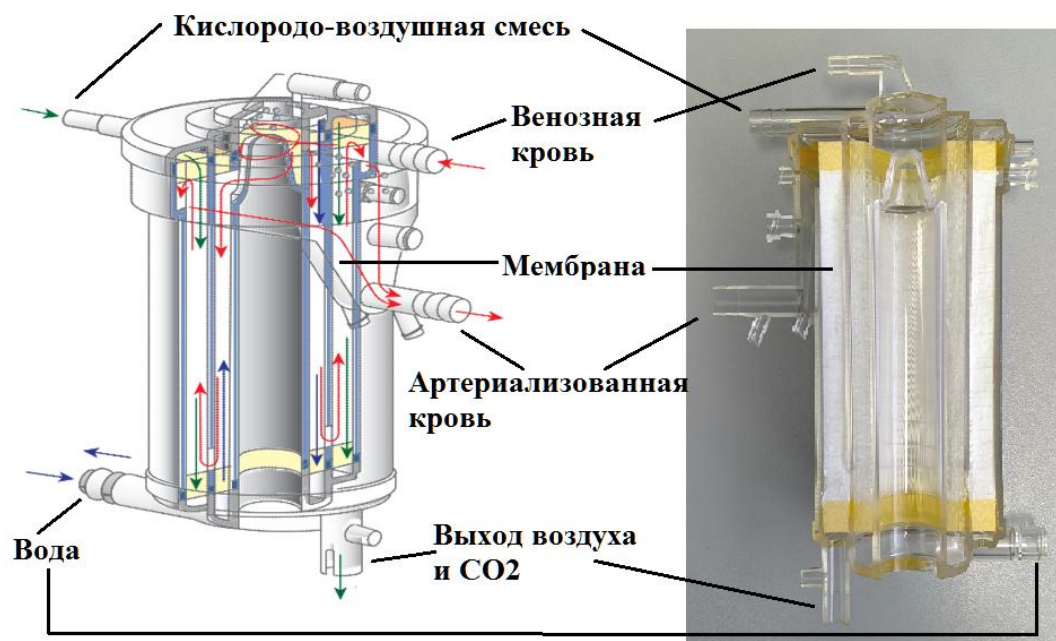


Рисунок 3. Принцип работы и внешний вид оксигенатора - потоки крови и газа и воды в оксигенаторе.

Работа современных оксигенаторов по своему механизму напоминает работу альвеолокапиллярной мембраны легких. В основу устройства мембранных оксигенаторов положен принцип взаимодействия крови и газовой смеси через полупроницаемую мембрану – проницаемую для кислорода и углекислого газа и непроницаемую для клеток и плазмы крови. Кислород проникает через полимерную (в современных оксигенаторах – полиметилпентен) мембрану и растворяется в крови, исключая образование пузырьков. Растворенный в крови углекислый газ проникает через мембрану и элиминируется по градиенту концентрации.

Эффективность оксигенатора определяется его номинальной мощностью: какой максимальный поток десатурированной венозной крови на входе в оксигенатор с $SvO_2 = 75\%$ при $Hb\ 12\ г/дл$ будет насыщен кислородом при выходе из оксигенатора до уровня $SaO_2 = 95\%$ в течение 1 мин, - и зависит от площади поверхности мембраны и объема заполнения оксигенатора, позволяющих создать максимально тонкий и продолженный слой крови, взаимодействующий с поверхностью мембраны [2].

На сегодняшний день для в клинике применяются оксигенаторы трех типов мощности (в зависимости от производителя): 800 мл (для неонатологии), 2400 мл (для детей), 7000 мл (для взрослых).

Современные мембраны в оксигенаторах, со специализированным покрытием волокон, характеризуется высокой газопроницаемостью (для атмосферного воздуха, O_2 и CO_2), биосовместимостью, достаточно высокой прочностью, устойчивостью к физической и химической стерилизации, минимальной травматизацией форменных элементов крови, низким риском развития гемолиза, незначительной тромбогенностью, длительностью адекватного экстракорпорального газообмена и рядом других положительных свойств и характеристик. Продолжительность работы некоторых оксигенаторов при проведении ЭКМО достигает 30 суток.

Важной характеристикой контура ЭКМО (магистрала + головка насоса + оксигенатор) является объем заполнения, особенно при проведении ЭКМО у новорожденных, детей или взрослых пациентов с малым весом. Объем заполнения контура у новорожденных может быть сопоставим, а у детей и взрослых может составлять до 25% объема циркулирующей крови пациента. Это необходимо учитывать при подключении контура и начале процедуры ЭКМО, чтобы избежать побочных эффектов избыточной гемодилюции.

Насыщение крови кислородом зависит от скорости потока крови в соотношении со скоростью подачи газовой смеси.

Скорость элиминации CO_2 через мембрану оксигенатора зависит от скорости потока кислородно-воздушной смеси: увеличение потока газа способствует ускорению вымывания CO_2 из крови, но не будет при этом влиять на оксигенацию. Чрезмерно высокий поток смеси будет приводить к увеличению диффузионного коэффициента для CO_2 и к значимому снижению pCO_2 в крови, что равносильно лёгочной гипервентиляции, а низкий поток смеси через оксигенатор приводит к уменьшению диффузионного коэффициента для CO_2 и увеличению pCO_2 в крови, что равносильно лёгочной гиповентиляции

2.4. Газовый смеситель

Газовый смеситель с дозатором кислорода предназначен для регулирования объема подачи газовой смеси и фракции O_2 в зависимости от клинической ситуации.

Скорость подачи газовой смеси регулируется ротаметром в л/мин (P1) или мл/мин (P2) в зависимости от пациента (дети) и контролируется на основании кислотно-основного состояния артериальной крови пациента. Фракция подаваемого O_2 регулируется дозатором (Д) и определяется вариантом (ВВ ЭКМО или ВА ЭКМО), парциального давления кислорода после оксигенатора ($\text{p}_{\text{postox}}\text{O}_2$) и этапом проведения процедуры.

Достаточно часто на внутренней поверхности полых волокон оксигенатора, вследствие разницы температур подаваемой газовой смеси и циркулирующей крови образуется водный конденсат, который при накоплении выходит через порт выхода газа из оксигенатора. Это может быть одной из причин снижения $\text{p}_{\text{postox}}\text{O}_2$. С целью профилактики его накопления, а также удаления конденсата рекомендуется кратковременно на 5–30 секунд увеличивать скорость потока газа до 10–15 литров/мин не менее 2 раз в сутки.

2.5. Теплообменник и терморегулирующее устройство

Одним из важных условий при проведении ЭКМО является поддержание оптимального уровня температуры тела пациента, в связи с тем, что в экстракорпоральном контуре происходит конвекционная потеря тепла и может возникнуть непреднамеренная гипотермия. Еще одна важная причина поддержания температурного гомеостаза – нормализация сродства гемоглобина к кислороду ($t=37\text{--}38^\circ\text{C}$, при более низкой температуре происходит более активное насыщение Hb O_2 , при более высокой – более активная отдача Hb кислорода).

Температурный гомеостаз достигается с помощью специальных теплообменников, встроенных в корпус оксигенатора, обеспечивающих активное согревание или охлаждение крови при её прохождении через оксигенатор, подключенный к специальному терморегулирующему устройству. Такие приборы, в зависимости от модели, имеют температурный диапазон от 15°C до 40°C , что позволяет проводить ЭКМО как в, гипо- так и нормотермическом режиме.

Подогретая в терморегулирующем устройстве до нужной температуры вода поступает во внутреннюю часть оксигенатора через соответствующее входное отверстие (рисунок 3), где дальше распределяется по сети волокон, противоположным своим концом открывающихся в выходное отверстие.

2.6. Блок управления и контроля

Блок управления и контроля может состоять из монитора с клавишами управления и сенсорного дисплея («touch-screen»), блока питания со встроенными или съемными аккумуляторами (в моделях некоторых производителей при полной зарядке исправных аккумуляторов позволяют обеспечить изолированную от сети переменного тока работу оборудования ЭКМО с полной нагрузкой до 420 мин) и возможностью питания от бортовой сети автомобиля или авиатранспорта для транспортных вариантов консоли.

Наличие съемных аккумуляторов (у моделей некоторых производителей) позволяют подключать электропривод резервного насоса к ним напрямую для уменьшения размеров и веса транспортного варианта контура ЭКМО. При таком варианте транспортной компоновки контура отсутствует мониторинг параметров процедуры, а управление скоростью вращения насоса осуществляется с панели электропривода насоса.

Блок датчиков контроля процедуры ЭКМО (давления, температуры, потока/пузырьков воздуха, контроля электропривода насоса, в некоторых моделях наличие оптического лабораторного модуля) может быть встроенным и внешним. В современных устройствах обязательно есть USB – разъем для копирования данных процедуры и технического обслуживания. Некоторые модели оснащены портом для соединения с внешним монитором, поддерживающим необходимый протокол работы.

2.7. Датчики контроля процедуры ЭКМО

Понятие безопасной перфузии включает в себя соблюдение ряда условий: поддержание допустимого уровня давления в различных участках системы ЭКМО, активацию датчика потока, совмещенного с датчиком обнаружения воздуха в магистральных, активацию систем тревог при превышении их уровня.

Поток крови по контуру контролируется с помощью ультразвукового, комбинированного с функцией обнаружения пузырьков воздуха (до 50 мкн). Датчик потока устанавливается после оксигенатора (в большинстве моделей аппаратов ЭКМО) до начала процедуры на возвратной магистрали максимально близко к оксигенатору с учетом направления движения потока крови. При использовании сложных вариантов ЭКМО (ВВА, ВАВ и пр.) датчик можно переставить (в большинстве моделей аппаратов ЭКМО) для определения потока на каждом из участков контура

ЭКМО. Наличие детектора пузырьков воздуха позволяет настроить аппарат на остановку перфузии в случае их обнаружения, что важно при проведении ВА ЭКМО и предупреждения воздушной эмболии.

Термодатчик для контроля температуры в контуре ЭКМО, устанавливается в специальное гнездо оксигенатора.

В современных контурах ЭКМО давление контролируется в трех точках системы:

P1 = Pinlet (Pven) – давление между венозной канюлей и центрифужной головкой. Как правило при проведении перфузии на скорости более 1 л/мин (более 100 мл/мин у новорожденных и детей) это давление отрицательное. P1 не должно быть ниже -100 мм рт.ст.

P2 = Ppre (PpreOx) – давление перед оксигенатором, всегда самое высокое, т.к. поток крови преодолевает сопротивление самого оксигенатора, магистралей, идущих от оксигенатора и возвратной канюли, $P2 \leq 350$ мм рт.ст.

P3 = Ppost (PpostOx) – давление на выходе из оксигенатора, $P3 \leq 300$ мм рт.ст.

Одним из важных показателей контроля функционирования системы ЭКМО является показатель $\Delta P = P2 - P3$ - так называемый трансмембранный градиент. Рост его величины более 60 мм рт.ст., особенно в сочетании со снижением pO_2 после оксигенатора и появлением выраженного гемолиза (уровень свободного Hb $> 0,5$ г/л) может свидетельствовать о тромбозе оксигенатора.

Показатели давлений изменяются в зависимости от условий проведения процедуры: скорости вращения насоса, объема циркулирующей крови (ОЦК), показателей гемодинамики пациента и др.

Оборудование ряда производителей оснащено функцией контроля уровней максимального/минимального давления P1, что позволяет избежать чрезмерного его снижения, для предотвращения присасывания канюли к сосуду. При этом опционально может быть выполнено сопряжение между уровнем максимального/минимального давления P1 и производительностью насоса вплоть до его остановки.

Некоторые причины и признаки изменения давлений в контуре изложены в таблице 3.

Таблица 3. Некоторые причины и признаки изменения давлений в контуре

Причина	LPM/RPM*	P1	P3	P2	ΔP	Проявления
Гиповолемия, нарушение венозного забора	↓	↓↓	↓	↓	N/↓	Уплотнение, биение, дрожание венозной магистралей
Нарушение артериального возврата	↓	↑	↑	↑	N/↑	Биение в такт с ЧСС артериальной канюли при восстановлении СВ на ВА ЭКМО

Тромбоз оксигенатора	↓	↑	↓	↑	↑↑	Визуальные и лабораторные признаки тромбоза
Тромбоз импеллера	↓	↑	↓	↓	N/↓	Визуальные и лабораторные признаки тромбоза
Низкая производительность	N	↑	N	N	↓	Возможно при выполнении тестов на этапе отлучения

*LPM/RPM – отношение производительности в л/мин к числу оборотов насоса.

Контроль давлений в контуре является важным фактором безопасности перфузии, поэтому при отсутствии в аппарате ЭКМО опции контроля необходимо использовать внешние модули измерения давления, например, встроенные в монитор витальных функций контроля состояния пациента или иные. Мониторинг осуществляется непрерывно в течение всей перфузии, а при отсутствии такой технической возможности после изменения параметров перфузии, но не реже 4 раз в сутки.

2.8. Заполнение контура

Контур собирается с соблюдением правил асептики и антисептики и состоит из двух этапов: пассивного – гравитационного и аппаратного заполнения. Оптимально заполнять контур инфузионным сбалансированным кристаллоидным раствором для снижения риска развития электролитных нарушений. При его отсутствии, возможно использование физиологического 0,9% раствора NaCl. Заполнение происходит до удаления воздуха из всех компонентов контура. Объем предварительного заполнения мешка для первичного заполнения зависит от объема, используемого оксигенатора и магистралей плюс 500–700 мл для предотвращения рециркуляции пузырьков воздуха по контуру и обычно составляет 1500–2000 мл. Необходимо тщательно соблюдать инструкцию производителя, прилагаемую к контуру ЭКМО. В процессе сборки контура производится калибровка датчиков давления. Обнуление встроенных в контур датчиков необходимо выполнить до заполнения раствором магистралей. Калибровка датчика потока требуется в некоторых моделях аппаратов для фиксации нулевого потока. Во время заполнения контура для лучшего освобождения от остатков воздуха рекомендуется менять положение оксигенатора поворотом его на 90-180° с легким «потряхиванием» и вытеснением воздуха в направлении мешка для заполнения. Необходимо помнить, что с началом ЭКМО, особенно ВА ЭКМО не допускается менять штатное положение оксигенатора его поворотом на бок ввиду риска попадания потенциально оставшегося воздуха в артериальное русло пациента. Заполнение контура холодным раствором или согревание заполненного контура с помощью

терморегулирующего устройства может приводить к феномену десатурации растворенного воздуха и скоплению его в системе, если отсутствует активная циркуляция. В системах с диагональной головкой запрещается запуск электропривода насоса без предварительного заполнения.

Часть контура - «улитка», всегда упакована в стерильный бокс, либо находится в стерильном чехле. Бокс открывается с соблюдением правил асептики для подачи содержимого в стерильную зону только в момент подключения к уже установленным канюлям. Обязательно места соединения магистралей контура с канюлями дополнительно фиксируются пластиковыми хомутами-стяжками.

Некоторые производители допускают возможность хранения «сухого», незаполненного контура, установленного в аппарат ЭКМО в течение срока, регламентированного инструкцией по эксплуатации изделия, нормативными актами санитарно-эпидемиологической службы медицинской организации, не превышающего 30 дней, при условии, что не производилась разгерметизация системы. Хранение собранного контура оправдано при интенсивной частоте применения ЭКМО и высокой вероятности выполнения экстренной канюляции. Неиспользованный в течение этого срока контур подлежит утилизации.

3. ПРОЦЕДУРА ЭКМО

3.1. Канюляция

Для проведения процедуры ЭКМО возможны различные варианты канюляции:

- ✓ Центральная
- ✓ Периферическая –
 - Пункционная
 - Хирургическая
 - Комбинированная,

зависящие от причин возникновения критического состояния пациента, вида ЭКМО и возможностей лечебного учреждения [2,6-12].

Прямая (центральная) канюляция правого предсердия и аорты выполняется через торако- или стернотомию (иногда с применением сосудистых протезов) в условиях операционной и, обычно, используется у пациентов, которые не могут быть отключены от аппарата искусственного кровообращения, для проведения веноартериальной ЭКМО (ВА ЭКМО).

Периферическая канюляция используется для вено-венозной (ВВ) и веноартериальной (ВА) ЭКМО у взрослых и у детей старше двух лет и выполняется с использованием:

- открытого хирургического доступа,
- чрескожной пункции сосудов по методике Сельдингера,

- сочетанием методик,

Методика Сельдингера предполагает обязательное использование ультразвукового контроля. Ультразвуковая навигация является стандартом практики при обеспечении сосудистого доступа не только для ЭКМО и позволяет минимизировать риск развития осложнений.

Способ канюляции при периферическом подключении зависит от многих факторов:

- Варианта ЭКМО,
- Состояния магистральных сосудов (атеросклероз, флеботромбоз, тромбоз и т.д.),
- Экстренности и условий подключения,
- Прогноза длительности проведения ЭКМО,
- Наличия в команде ЭКМО сердечно-сосудистых хирургов,
- Наличия необходимого хирургического оборудования и расходного материала

3.1.1. Варианты периферической канюляции [13]

- для проведения ВА ЭКМО:
 - дренирование из бедренной вены – возврат в бедренную артерию;
 - дренирование из правого предсердия через яремный доступ – возврат в бедренную артерию
- для проведения ВВ ЭКМО:
 - дренирование из нижней полую вены через бедренную вену – возврат через правую внутреннюю яремную вену в верхнюю полую вену или правое предсердие,
 - дренирование из нижней полую вены через бедренную вену – возврат в нижнюю полую вену через контралатеральную бедренную вену,
 - дренирование из правого предсердия через внутреннюю яремную вену - возврат в нижнюю полую вену через бедренный доступ.

Каждый из способов канюляции имеет свои преимущества и недостатки.

- Открытый (хирургический) способ -

Плюсы:

- Лучший визуальный контроль и локальный гемостаз,
- Установка канюли оптимального диаметра в условиях прямого визуального контроля,
- Быстрая канюляция в экстренных случаях (при отработанной технике доступа);

Минусы

- Риск раневой инфекции,
- Необходимость хирургического оборудования и расходного материала,

- Дополнительная подготовка персонала,
- Необходимость повторного вмешательства при деканюляции.
- Пункционный (по Сельдингеру) способ -

Плюсы:

- Меньшая инвазивность,
- Меньший риск инфекционных осложнений,
- Возможность выполнения анестезиологом-реаниматологом;

Минусы:

- Необходимые дополнительные средства навигации (УЗИ, С-дуга),
- Технически труднее в условиях нестабильного операционного поля (например, при остановке кровообращения),
- Большой риск повреждения сосуда, вероятность ошибочной канюляции.

3.1.2. Применение ультразвукового контроля при канюляции

Периферическая канюляция выполняется только под контролем ультразвука! Выполнение манипуляции по анатомическим ориентирам не допустима!

Ультразвук позволяет правильно подобрать диаметр венозной канюли в соответствии с диаметром сосуда. Для выбора размера (диаметра) канюль определенный диаметр сосуда необходимо перевести из мм во Fr ($Fr = D \text{ (мм)} * 3$) и вычесть 1-2 Fr. – это будет необходимый диаметр канюли для установки пациенту.

Чем длиннее и тоньше канюля, тем большее сопротивление потоку экстракорпоральной циркуляции она будет оказывать, соответственно, тем больше будет разница градиентов давления в контуре и механическое воздействие на форменные элементы – закон Пуазейля.

Меньший размер канюли оказывает меньшее механическое давление на стенку сосуда в котором она находится. Выбор основывается на максимально возможной производительности ЭКМО необходимой пациенту при определенном диаметре канюли.

Первой всегда канюлируется вена (возможность быстро остановить кровотечение при неудачной попытке, сдавление вены после канюляции артерии и невозможность пункции вены, больший диаметр канюли, отсутствие необходимости немедленной фиксации канюли после установки).

3.1.3. Техника пункционной канюляции по методу Сельдингера

После пункции сосуда, в просвет иглы проводится J-проводник, длина которого для венозного доступа должна составлять не менее 150 см, для артериального – не менее 100 см.

Проводник должен проходить свободно, без сопротивления и пружинящего эффекта. После проведения примерно половины длины J-проводника (при появлении на мониторе пациента экстрасистолии проводник подтягивается на 5–10 см), проводится последовательное расширение пункционного отверстия с помощью набора расширителей (дилататоров) разного диаметра. Для предупреждения «заламывания» проводника при проведении дилататоров необходимо дилататор проводить вкручивающим движением с одновременным (с помощью ассистента) погружением и выниманием на 2–3 см J-проводника в просвете дилататора. Применение жестких проводников допустимо только при одновременном рентгенологическом контроле (рентгеноскопия).

Введение канюли в просвет сосуда наиболее ответственный этап манипуляции, когда необходимо приложить достаточное, но не чрезмерное усилие, устанавливая канюлю вращающими движениями. Иногда, диаметр канюли значительно превышает размер самого большого расширителя, имеющегося в наборе для канюляции. В этом случае предварительно необходимо выполнить расширение канала собственным мандреном канюли. Ассистент постоянно проверяет свободный ход проводника при введении канюли, избегая его заламывания и придерживая проксимальную часть канюли и мандрена, чтобы последний не выходил из канюли. Возможно, что при проведении канюли возникнет затруднение на границе дистального конца. В этом случае необходимо выполнить небольшой неглубокий («точечный») надрез собственно дермы остроконечным скальпелем. Большого надреза следует избегать из-за риска локальной кровоточивости. Оптимальным считается установка канюли без надреза – при этом обеспечивается хороший локальный гемостаз.

После установки канюли выполняется контроль обратного тока крови. Для этих целей хорошо подходит шприц Жане с коническим наконечником, который хорошо совпадает по размеру с коннектором канюли. Далее осуществляется контроль расположения кончика канюли с помощью УЗИ и/или рентгенологически.

Магистралы подключаются к канюлям с соблюдением правила безвоздушного соединения, соединения фиксируются пластиковыми стяжками (хомутами). Запускается насос со скоростью вращения 1000-1500 об/мин (поток крови будет оставаться нулевым) для предупреждения ретроградного тока крови при начале ВА ЭКМО. Снимаются магистральные зажимы с магистралей, затем с венозной канюли и после этого с артериальной.

Выход на предварительную расчетную объёмную скорость перфузии (60-80 мл/кг/мин у взрослых) осуществляется постепенно, увеличивая частоту вращения насоса и контролируя приблизительное соответствие этой частоты скорости потока, а также величины давлений, особенно P1.

После первичного контроля показателей газового состава крови из четырех точек: центральная вена (при ВВ-ЭКМО максимально удаленная от возвратной канюли), артерия (при

ВА-ЭКМО – a. radialis dext.), перед оксигенатором и после оксигенатора, определяется КОС (pO_2 , pCO_2 , pH) уровень лактата артериальной крови, показатели свертывающей системы крови (АСТ или АЧТВ), при необходимости проводится коррекция положения дренажной канюли, ее фиксация, и подбор оптимальной скорости потока ЭКМО и скорости инфузии гепарина.

Возвратная канюля фиксируется сразу после установки и подключения к контуру ЭКМО – из-за выталкивающей силы потока ЭКМО и высокого риска «выбивания» канюли из сосуда, что приведет к тяжелым последствиям. Дренажная канюля фиксируется после УЗИ/ЭхоКГ/рентгенологического контроля и достижения половинной расчетной производительности ЭКМО, получения первых проб крови с определением $SpreoH_2$ для выявления возможной рециркуляции (при ВВ-ЭКМО).

Места соединений канюль и магистралей должны быть дополнительно закреплены пластиковыми стяжками-хомутами, имеющимися в наборе контура ЭКМО. Фиксация канюль осуществляется в асептических условиях, канюли надежно фиксируются с помощью лигатур и хомутов не менее, чем в трех местах.

В случае, когда выполнялся надрез кожи или канюля непрочной фиксирована окружающими тканями требуется наложение утягивающего П-образного шва вокруг канюли с помощью прочной нити (полипропилен) толщиной не менее 2–0. При наложении шва следует избегать прикосновения острия иглы к поверхности канюли из-за риска прокола наружной оболочки канюли. Состояние шва необходимо проверять ежедневно для контроля появления некротических изменений и прорезывания кожи.

Важно помнить, что непреднамеренная деканюляция при работающем насосе аппарата ЭКМО сопряжена с крайне высокой вероятностью летального исхода.

Место имплантации канюль обрабатывается водными растворами антисептиков (йод содержащие, хлоргексидина биглюконат, перекись водорода), спиртовые растворы не применяются ввиду возможного повреждения материала канюль и компонентов контура. Затем накладывается асептическая повязка/наклейка.

Магистралы надежно фиксируются для профилактики избыточного натяжения, перегиба и самопроизвольного удаления канюль таким образом, чтобы не препятствовать пассивным и активным движениям пациента.

3.2. Варианты ЭКМО и принятие решения о начале процедуры

В зависимости от основного заболевания, приведшего к развитию жизнеугрожающего состояния и стоящих задач по их коррекции, применяются ВВ или ВА ЭКМО и их модификации (таблица 4) [21].

Таблица 4. Варианты ЭКМО в зависимости от критического состояния пациента.

Экстракорпоральная поддержка жизнедеятельности (ЭКПЖ = ECLS)					
Система	Экстракорпоральная мембранная оксигенация (ЭКМО = ЕСМО)			Экстракорпоральное удаление CO ₂ (ЭКУ-CO ₂ = ECCO ₂)	
Вариант поддержки	ВА ЭКМО	ВВА ЭКМО	ВВ ЭКМО	ВВ ЭКУ- CO ₂	АВ ЭКУ-CO ₂
Условия	Сердечная недостаточность	Кардио- респираторная недостаточность	Дыхательная недостаточность	Удаление CO ₂	

Основной целью ЭКМО является поддержание оптимального минутного объема кровообращения, нормализация доставки кислорода органам и тканям (DO₂), выведение углекислого газа (CO₂) и контроль потребления тканями кислорода (VO₂) для подбора этиотропной и патогенетической терапии, выигрыша времени для восстановления функции легких и/или миокарда.

Показания для проведения ЭКМО определяются соответствующими параметрами, указывающими на степень нарушения функции легких и /или миокарда, и будут рассмотрены в соответствующих разделах.

Для принятия решения о возможности применения ЭКМО необходимо не только оценить степень и скорость нарастания легочной и/или сердечной недостаточности, но и стараться провести всесторонне обследование пациента для выявления сопутствующих заболеваний или возможных технических сложностей, осложняющих принятие решения и/или выполнение канюляции и проведение процедуры.

В клиническую оценку состояния пациента входят лабораторные и инструментальные методы исследования:

- Оценка неврологического статуса, при нарушениях сознания с нейровизуализацией;
- Эхокардиографическое исследование для оценки сократительной функции миокарда, обоих желудочков, клапанного аппарата, степени аортальной регургитации при планировании ВА ЭКМО, наличие перикардального выпота;
- Оценка состояния сосудистого доступа, выявление анатомических особенностей, заболеваний сосудов, сосудистого тромбоза;

- Выполнение рентгенологического исследования или КТ легких для определения степени поражения ткани легких и возможности их дальнейшего восстановления и наличия свободной жидкости в плевральных полостях;
- Выполнение ультразвукового исследования органов брюшной полости, в т.ч. для выявления свободной жидкости и ее объема;
- Лабораторные данные: КОС крови из артерии и центральной вены, уровень лактата артериальной крови, ОАК, биохимический анализ крови, показатели коагулограммы.

Оценка возможности применения ЭКМО и прогноза исхода выполняется на основании различных диагностических и прогностических шкал, например, - шкала RESP (Respiratory ECMO Survival Prediction = Прогноз выживаемости при респираторной ЭКМО), шкалы ENCOURAGE (ECMO Outcome Prediction Scores for Estimating Likelihood of Patient Survival = Шкала оценки вероятности выживания пациента на ЭКМО) [2,14,15] (таблица 5).

Таблица 5. Шкала прогноза исхода экстракорпоральной мембранной оксигенации

Параметр		Баллы
Возраст > 70 лет		5
Пол Ж		7
ИМТ (индекс массы тела) > 30 кг/м ²		6
Глубина комы по шкале Глазго < 6		6
Креатинин > 150 ммоль/л		5
Лактат ммоль/л	< 2	0
	2-8	8
	> 8	11
ПТИ	< 50%	5

Решение об имплантации системы ЭКМО должно приниматься коллегиально консилиумом специалистов и должно основываться на данных объективного обследования и исходить из положительных ответов на ряд важных вопросов, максимально способствующих благополучному исходу применения процедуры ЭКМО [8,35]:

1. Имеются ли противопоказания для применения антикоагулянтной терапии;
2. Можно ли достигнуть благополучного исхода, применяя консервативное или хирургическое лечение;
3. Являлась ли проводимая респираторная поддержка протективной;

4. Срок непротективной ИВЛ/ВВЛ менее 7 суток;
5. Достаточное ли количество врачебно-сестринского персонала и доступность узкопрофильных специалистов;
6. Оснащенность медицинской организации необходимой диагностической и лечебной аппаратурой, круглосуточная доступность лучевых методов диагностики, включая компьютерную томографию в режиме 24/7;
7. Наличие и круглосуточная доступность по требованию необходимого спектра лабораторных тестов;
8. Возможность свободного рационального и обоснованного выбора резервной эмпирической, а затем и целевой антимикробной и антифунгинальной терапии, и других необходимых лекарственных препаратов и средств ухода за пациентами;
9. Достаточный запас и возможность круглосуточного получения препаратов и компонентов крови;
10. Возможна ли у данного пациента адекватная неврологическая и функциональная реабилитация;
11. Достаточно ли опыта и возможностей (оснащения) у вашего лечебного учреждения, если нет, то доступен ли другой центр ЭКМО;
12. Готова ли ваше лечебное учреждение обеспечить лечение после ЭКМО, в том числе длительное лечение в ОРИТ, реабилитацию;
13. Возможен ли перевод в другую медицинскую организацию для выполнения высокотехнологичных методов лечения, включая трансплантацию.

При отрицательном ответе на какой-либо вопрос необходима консультация со специалистами центра ЭКМО о принципиальной возможности проведения ЭКМО, подключения ЭКМО в лечебном учреждении с последующей медицинской эвакуацией пациента в центр ЭКМО или начало ЭКМО после транспортировки в другое лечебное учреждение.

3.3. Противопоказания для проведения ЭКМО

Основные противопоказания для проведения ЭКМО регламентированы рекомендациями ELSO, Федерации анестезиологов и реаниматологов по ряду нозологических форм, временными методическими рекомендациями Министерства здравоохранения РФ для любого варианта процедуры, с учетом потенциальной обратимости основного заболевания или его осложнений, исходного статуса пациента, степени органной дисфункции, и их можно условно разделить на абсолютные и относительные [2,12,16].

Абсолютные противопоказания подразумевают полный отказ от использования ЭКМО у пациента.

Относительные противопоказания, рассматриваются в комплексе с другими отягощающими факторами течения или прогноза заболевания. Сочетание двух и более относительных противопоказаний может рассматриваться как абсолютное.

Решение об отказе в ЭКМО принимается при наличии противопоказаний. В спорных с клинической точки зрения случаях проводят мультидисциплинарный консилиум.

3.3.1. Абсолютные противопоказания:

- Остановка кровообращения с неизвестным качеством проводимых реанимационных мероприятий;
- Состояния несовместимые с выздоровлением при отсутствии высокоспециализированной помощи (отсутствие кардиохирургической помощи, трансплантологии, отказ от трансплантации и пр.);
- Цель лечения не соответствует задачам интенсивной терапии (ЭКМО не приведет к выздоровлению пациента с сохранением качества жизни);
- Хронические заболевания в терминальной стадии, кроме случаев диализной стадии ХБП, и если пациент не является кандидатом на трансплантацию;
- Тяжелый неврологический дефицит, серьезно ограничивающий качество жизни (немедикаментозная кома, вегетативное состояние, тяжелая деменция, ограничивающая бытовую активность);
- Малигнизация при подтвержденной инкурабельности;
- Невозможность выполнения сосудистого доступа для канюляции;
- Оценка по шкале SOFA > 14 баллов;
- Иммунодефицитное состояние (ВИЧ, лейкопения < $4,0 \cdot 10^9$, проведение химиотерапии в течение последних 30 суток);
- Диссекция аорты для периферического подключения ВА ЭКМО;
- Продолжающееся кровотечение любой локализации с отсутствием возможности выполнить окончательный гемостаз хирургическим способом.

3.3.2. Относительные противопоказания

- Возраст > 75 лет;
- Индекс массы тела (ИМТ) > 40;
- Оценка по шкале SOFA > 12 баллов;
- Тромбоцитопения < $50\,000 \cdot 10^9/\text{л}$ перед инициацией ЭКМО;
- Аортальная регургитация > II степени при планировании ВА ЭКМО;

- Невозможность антикоагулянтной терапии (геморрагический синдром, кровотечение);
- Септический шок, рефрактерный к адреномиметической поддержке при сохранной сократимости миокарда (применение двух и более препаратов, не приводят к увеличению целевого АД);
- Длительность аппаратной респираторной поддержки > 7 суток, с Рплат. более 30 см водн.ст, FiO₂ более 90%.

3.4. Вено-венозная ЭКМО (ВВ ЭКМО)

Венозная кровь пациента через установленную в полую вену дренажную канюлю активно забирается центрифужным насосом, подается в мембранный оксигенатор, в котором осуществляется газообмен между кровью и подаваемой в него кислородно-воздушной смесью, далее оксигенированная и декарбоксилированная кровь возвращается пациенту через возвратную канюлю в полную вену/правое предсердие. При этом отсутствует прямое влияние на сердечный выброс [2,15,16,17].

Для проведения ВВ ЭКМО используются различные варианты канюляции.

Бифеморальная венозная канюляция. Забор крови осуществляется из нижней поллой вены при расположении конца канюли примерно на уровне почечных вен, а возврат оксигенированной крови происходит на уровне устья нижней поллой вены или правого предсердия.

Феморально-яремная - венозная кровь пациента забирается через установленную в нижней поллой вене дренажную канюлю, а возвращается - через возвратную канюлю в устье верхней поллой вены или правое предсердие.

Яремно-феморальная конфигурация ВВ ЭКМО применяется при высоком внутрибрюшном давлении. Забор крови происходит из правого предсердия, а возврат – через канюлю, установленную в нижней поллой вены на уровне печеночной вены.

Расстояние между дистальными концами канюль во всех случаях канюляции должно быть не менее 5 см.

3.4.1. Показания для проведения ВВ ЭКМО

Показания к проведению ВВ ЭКМО определяются с учетом основного заболевания или его осложнения, приведшими к развитию декомпенсированной дыхательной недостаточности, определенными клиническими критериями и показателями, свидетельствующими о неэффективности традиционной респираторной терапии, включающей искусственную вентиляцию легких.

Основным показанием к ВВ ЭКМО являются изолированные тяжелые расстройства лёгочного газообмена, сопровождающиеся нарушением оксигенирующей (артериальная гипоксемия) и/или вентиляционной (артериальная гиперкапния) функции лёгких.

- Осложненные формы пневмоний (бактериальные, вирусные, H1N1 и проч.)
- Острый респираторный дистресс-синдром
- Аспирационный синдром
- Острый астматический статус
- Альвеолярный протеиноз
- Бридж к трансплантации легких
- Массивное легочное кровотечение
- Баротравма легких
- Ранения легких
- Ожоги (термические, химические) верхних дыхательных путей
- Асфиксии (утопление)

Согласно рекомендациям ELSO (Extracorporeal Life Support Organization) 2022 г. и ФАР (Федерации анестезиологов-реаниматологов России) 2020 г. при лечении тяжелого ОРДС необходимо начинать ЭКМО при снижении отношения $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ (индекс Горовица) менее 80 и/или декомпенсированном респираторном ацидозе при уровне $\text{pH} < 7,25$ и увеличении $\text{PaCO}_2 > 60$ мм рт.ст. при условии проведения ИВЛ с протективными параметрами и FiO_2 не более 80%.

Для комплексной оценки тяжести дыхательной недостаточности для определения показаний для применения ВВ ЭКМО может быть определена с помощью интегральной шкалы Мюррея [2,15,16] (таблица 6), которая учитывает соотношение $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$, уровень ПДКВ, статический комплаенс (податливость) легких, рассчитываемый как отношение дыхательного объема к разнице давлений в конце вдоха и выдоха, и степень рентгенологических патологических изменений легочной ткани. Каждый выявленный показатель имеет определенный балл, сумма этих баллов делится на четыре. Проведение ВВ ЭКМО показано при среднем балле ≥ 3 .

Таблица 6. Интегральная шкала тяжести поражения лёгких (J.F. Murray)

Рентген	Баллы	Гипоксемия	Баллы
Инфильтратов нет	0	$\text{PaO}_2 / \text{FiO}_2 > 300$	0
Инфильтраты в 1 квадранте	1	$\text{PaO}_2 / \text{FiO}_2 = 225 - 299$	1
Инфильтраты в 1 квадранте	2	$\text{PaO}_2 / \text{FiO}_2 = 175 - 224$	2
Инфильтраты в 1 квадранте	3	$\text{PaO}_2 / \text{FiO}_2 = 100 - 174$	3

Инфильтраты в 1 квадранте	4	$PaO_2 / FiO_2 < 100$	4
Необходимость ПДКВ (РЕЕР)		Комплаенс (C)	
РЕЕР 0 – 5 см H ₂ O	0	> 80 мл/см H ₂ O	0
РЕЕР 6 – 8 см H ₂ O	1	60 - 79 мл/см H ₂ O	1
РЕЕР 9 – 11 см H ₂ O	2	45 - 59 мл/см H ₂ O	2
РЕЕР 12 – 15 см H ₂ O	3	20 - 39 мл/см H ₂ O	3
РЕЕР > 15 см H ₂ O	4	< 19 мл/см H ₂ O	4

3.4.2. Цель ВВ ЭКМО:

- Обеспечение адекватного газообмена пациента путем оксигенации венозной крови и элиминации CO₂: SaO₂ > 88%, PaO₂ > 70 мм рт. ст., PaCO₂ 35-45 мм рт. ст.
- Создание режима функционального покоя для легких путем снижения «травматичности» ИВЛ.

Исходя из этого, основными целевыми показателями, необходимыми для достижения адекватной доставки кислорода (ДО₂ = DO₂), будут: объемная скорость кровотока, уровень гемоглобина, собственный сердечный выброс пациента: SaO₂ > 88% при уровне Hb 80–100 г/л, лактат артериальной крови < 2,2 ммоль/л.

Обычно для этого достаточно производительности насоса в объеме 60–70% от нативного сердечного выброса, т.е. 50-60 мл/кг/мин с потоком кислородно-воздушной смеси (SGF – Sweep Gas Flow) примерно равного скорости потока ЭКМО.

Оценка эффективности ЭКМО осуществляется на основании расчета показателей доставки кислорода, потребления кислорода (VO₂) и коэффициента экстракции кислорода (ERO₂) [2,12,19,20].

Доставка кислорода у здорового взрослого человека составляет более 10 мл/кг/мин или около 500–700 мл/мин/м², что может достигаться скоростью экстракорпоральной перфузии 60-80 мл/кг/мин. DO₂ рассчитывается по формуле:

$DO_2 = CB \times [(Hb \times SaO_2 \times 1,34) + (PaO_2 \times 0,003)]$, где CB – сердечный выброс, Hb – уровень гемоглобина, 1.34 – константа Хюфнера (коэффициент связывания кислорода гемоглобином: 1гр Hb - 1,34 мл O₂), SaO₂ – насыщение кислородом артериальной крови пациента, OAP₂ – напряжение кислорода в артериальной крови, 0,003 – коэффициент растворимости кислорода в плазме крови. Учитывая незначительный вклад растворенного в плазме кислорода в общую доставку (< 3%) им можно пренебречь, однако напряжение кислорода в артериальной крови (PaO₂) целесообразно использовать для оценки восстановления собственной легочной функции.

Потребление O₂ (VO₂) – количество O₂, утилизируемого тканями на единицу массы тела. В норме – около 3–5 мл/кг/мин. Потребление O₂ возрастает при полиорганной недостаточности,

физической нагрузке, ажитации, десинхронизации с аппаратом ИВЛ, гипертермии, сепсисе. Рассчитать уровень потребления можно по формуле:

$VO_2 = CB \times Hb \times 1,34 \times (SaO_2 - SvO_2)$, где SvO_2 , определяется из пробы крови, взятой из центрального венозного катетера (ЦВК).

В норме соотношение доставки и потребления кислорода ($DO_2:VO_2$) составляет 5:1, коэффициент экстракции кислорода (количество кислорода, отдаваемое эритроцитами в ткани в норме составляет 25-35%) - $KЭО_2 (ERO_2) = \frac{(SaO_2 - SvO_2)}{SaO_2} = \frac{VO_2}{DO_2} = 0,25 - 0,35\%$.

Когда соотношение доставки к потреблению становится ниже 2:1 возникает гипоксия органов и тканей, метаболизм перестраивается на неэкономный анаэробный синтез, что конечно влечет прогрессирование полиорганной недостаточности (рисунок 4).

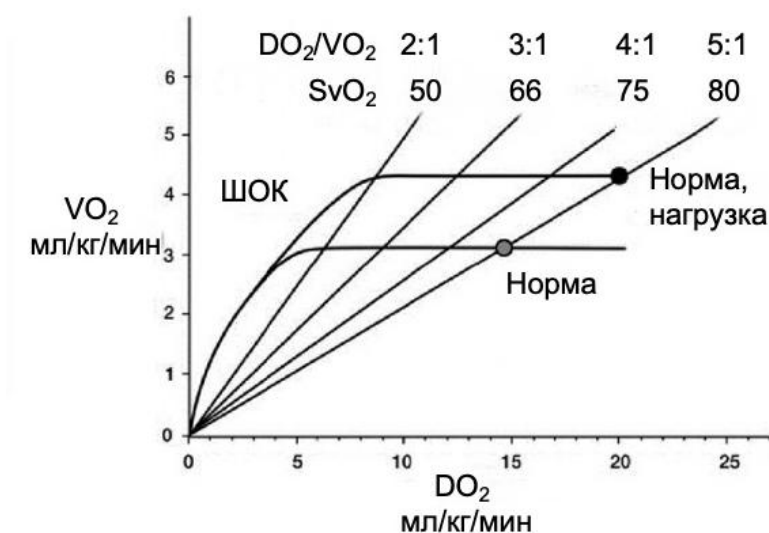


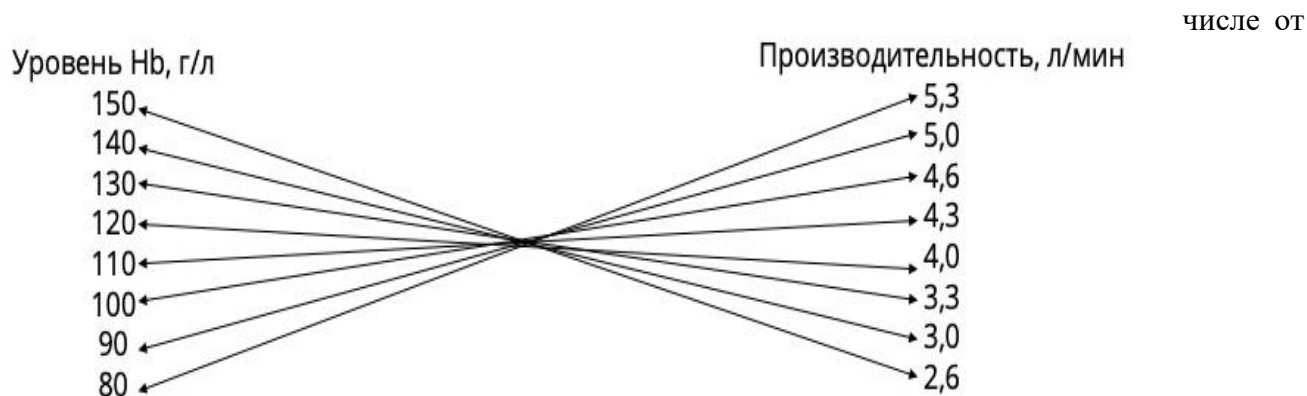
Рисунок 4. Зависимость соотношения DO_2 и VO_2 в состоянии покоя и физической нагрузке.

Плоская часть кривой характеризует постоянство потребления независимо от доставки. При снижении доставки менее 5 мл/кг/мин снижается и потребление. Метаболизм становится анаэробным, повышается уровень лактата.

Таким образом, кислородная емкость крови определяется уровнем гемоглобина и количеством кислорода, связанного с ним. Соответственно уровень доставки будет непосредственно зависеть от уровня Hb в крови. Рекомендуемый уровень гемоглобина во время ЭКМО должен быть не ниже 80 г/л при условии, что насыщение кислородом гемоглобина составляет не менее 88%. Если сатурация не достигает 88%, требуется доведение уровня гемоглобина до больших цифр (не менее 100 г/л). Хотя R.Bartlett предпочитает проведение ЭКМО на более высоких цифрах гемоглобина, что позволяет поддерживать оптимальную

производительность ЭКМО, избегая высокой скорости и предупреждая как гипоксемию, так и гемолиз (рисунок 5) [1,2,16].

Поток кислородно-воздушной смеси в оксигенатор регулируется в зависимости от парциального напряжения углекислоты в артериальной крови, что в свою очередь зависит в том



параметров ИВЛ. Фракция кислорода на входе в оксигенатор (F_{O_2}) при ВВ ЭКМО обычно составляет 100% и уменьшается, либо с целью лечения изолированной гиперкапнии, либо уже в процессе отлучения пациента от ЭКМО.

Рисунок 5. Зависимость производительности ВВ ЭКМО от уровня гемоглобина (схема R.Bartlett).

Базовая потребность в кислороде для человека весом 80 кг составляет 240 см³/мин (3 см³/кг/мин). Скорость кровотока, необходимая для обеспечения 240 см³/мин, зависит от концентрации гемоглобина (при условии, что венозная кровь насыщена на 60%, а кровь на выходе из системы ЭКМО - на 100%). Риски переливания крови (несоответствие, гепатит) редки и минимальны по сравнению, например, с риском интенсивного кровотока (выброс, гемолиз, высокое давление). Поэтому, если у пациента анемия, при оптимизации доставки кислорода предпочтение отдается переливанию крови, а не высокому кровотоку (схема R.Bartlett) [1].

3.4.3. Гипоксемия при ВВ ЭКМО

Гипоксемия на ВВ ЭКМО - парадоксальная ситуация, когда при соблюдении всех параметров ЭКМО отмечается постепенное снижение оксигенации, что объясняется снижением вклада лёгких в газообмен (увеличением степени внутрилегочного шунтирования и дерекрутизацией альвеол при «смягчении» настроек ИВЛ), либо прогрессированием дисбаланса доставки и потребления кислорода [2,14,10,16,20]. В связи с чем, перевод на протективные параметрами ИВЛ должен идти постепенно, без резкого снижения уровня давлений в дыхательных путях. Так же спустя 4–6 часов от начала ЭКМО требуется увеличить производительность аппарата для предупреждения гипоксемии.

Одним из способов улучшения вентиляционно-перфузионного отношения при невозможности увеличения производительности аппарата является проведение ЭКМО в положении прониравания (на животе), которое не препятствует проведению ЭКМО и улучшает результаты лечения пациентов.

Еще одной причиной гипоксемии при ВВ ЭКМО является рециркуляция - феномен, сопровождающий любую ВВ ЭКМО и характеризующийся захватом в дренажную канюлю оксигенированной крови, выходящую из возвратной канюли. Рециркуляция снижает эффективную доставку кислорода за счет потери оксигенированной фракции. Причинами рециркуляции могут быть: избыточный поток ЭКМО, низкий сердечный выброс, гиповолемия, тип установленных канюль, их расположение и расстояние между ними, высокая скорость ЭКМО перфузии.

Признаками рециркуляции могут быть:

- ✓ слишком яркий цвет крови в венозной магистрали сравнимый с цветом крови артериальной магистрали, визуальный феномен «мерцания» крови в дренажной магистрали,
- ✓ снижение или отсутствие прироста SpO_2 , несмотря на увеличение производительности насоса, $SpreO_2 > 75\%$,
- ✓ коэффициент рециркуляции более 30%, который рассчитывается по формуле:

$$\text{Коэффициент рециркуляции} = \frac{SpreO_2 - SvO_2}{SpO_2 - SvO_2}$$

где $SpreO_2$ – сатурация перед оксигенатором, SvO_2 – сатурация в центральной вене, максимально удаленной от возвратной канюли, SpO_2 – сатурация на выходе из оксигенатора (всегда 100%).

Для исправления ситуации необходимо оценить расположение активных зон канюль относительно друг друга с помощью лучевых методов диагностики или ультразвуковой диагностики. При малом расстоянии между ними (< 5 см) - «отвести» их друг от друга, подтянув дренажную канюлю. Также снизить скорость перфузии до максимально приемлемой, нормализовать волемический статус, оценить сократительную функцию левых и правых отделов сердца, оптимизировать гемодинамику пациента, при необходимости использовать кардиотоническую поддержку.

Еще одной причиной гипоксемии является нарушение функции оксигенатора, как правило вследствие тромбоза. Однако прежде чем наступит снижение его газообменной функции со снижением $PpostO_2$ менее 150 мм рт.ст. будут обнаружены признаки гемолиза и повышение $P2$ и ΔP . Эти признаки – показания к немедленной замене контура.

3.4.4. Отлучение от ВВ ЭКМО

Отлучение производят последовательно, с соблюдением всех критериев и алгоритмов [8,16,18,21,35]. Критериями для возможного прекращения ВВ ЭКМО являются:

- восстановление самостоятельного дыхания,
- оптимальный комплаенс,
- восстановление дыхательного объема, нормальной частоты дыхания при $FiO_2 \approx 30-40\%$,
- положительная динамика КТ ОГК,
- отсутствие полиорганной (более 2 систем) недостаточности,
- положительные лабораторные тесты по насыщению кислородом и выведению CO_2 при протективных параметрах ИВЛ на минимальных параметрах ЭКМО.

Прекращение ВВ ЭКМО возможно по предложенному ниже алгоритму отлучения (рисунок 6):

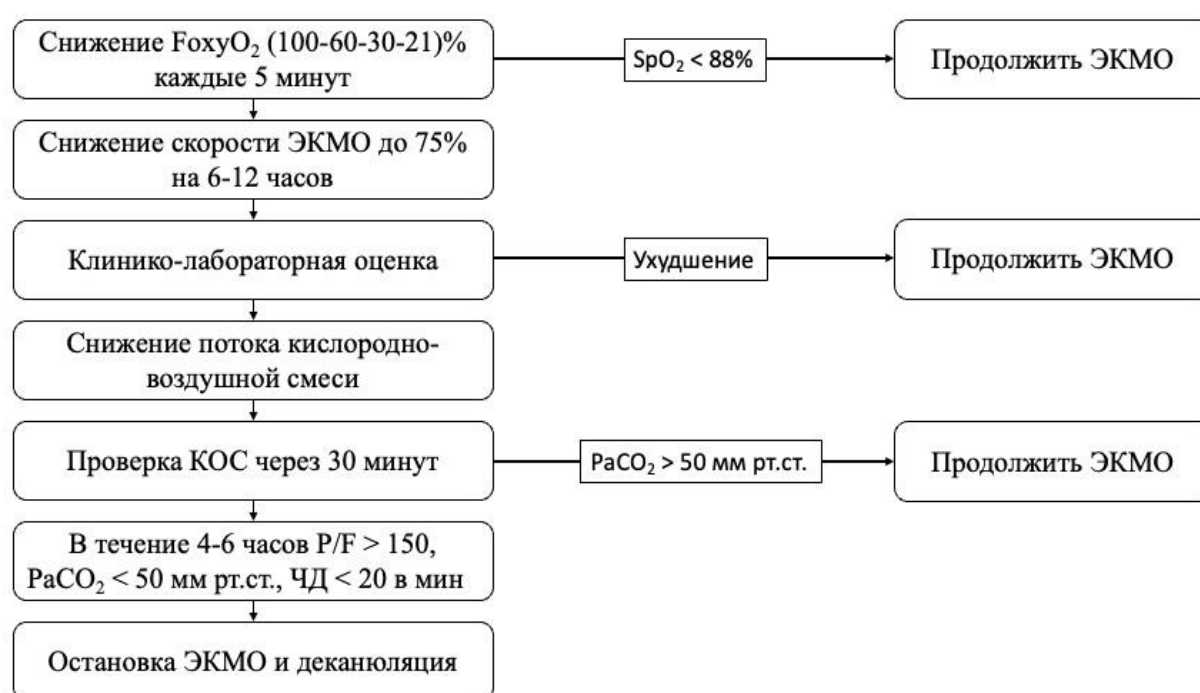


Рисунок 6. Рекомендованный ELSO алгоритм отлучения от ВВ ЭКМО.

3.4.5. Удаление системы, деканюляция

После выполнения одного из алгоритмов отлучения, система ЭКМО может быть удалена. Перед деканюляцией необходимо убедиться в наличии запасов трансфузионных сред, антагониста гепарина – протамина сульфата, определить способ возврата пациенту крови из контура ЭКМО [2,12,15,16,17]. За 30–60 мин до удаления канюль прекращается инфузия гепарина.

Удаление системы выполняется тремя специалистами. По команде останавливается насос ЭКМО, на обе магистрали накладываются магистральные зажимы. Место фиксации канюль к коже освобождается от шовного материала, производится обработка мест антисептиком.

Вариант 1. Под мануальным контролем аккуратно с минимальным давлением, для снижения риска повреждения вены боковыми отверстиями, канюля удаляется из бедренной вены. Затем

расслабляется зажим на артериальной линии и периодическим открытием зажима на венозной осуществляется смещение крови через возвратную канюлю избегая объемной перегрузки, после чего удаляется и возвратная канюля.

Вариант 2. Удаляются обе канюли одновременно, к выходному люэр-порту оксигенатора или непосредственно к артериальной канюле присоединяется система для гемотрансфузии с пакетом типа «гемакон», куда производят пассивное вытеснение оставшейся в контуре крови. Затем эту кровь центрифугируют и возвращают пациенту при отсутствии выраженного гемолиза. Возможно использование технологии «cell saver»

На места деканюляции оказывается мануальная компрессия в течение 30–40 мин, после достижения гемостаза, накладываются швы на кожу в местах стояния канюль с последующим наложением при необходимости давящих повязок на 12–24 часа.

3.7. Вено-артериальная ЭКМО (ВА ЭКМО)

При ВА ЭКМО венозная кровь пациента через установленную в центральную (нижнюю и/или верхнюю) полую вену дренажную канюлю активно забирается (дренируется) центрифужным насосом, проходит через мембранный оксигенатор, в котором осуществляется газообмен между кровью и подаваемой в него кислородно-воздушной смесью (кровь насыщается O_2 и удаляется CO_2), далее оксигенированная и декарбоксилированная кровь возвращается пациенту через возвратную (артериальную) канюлю, установленную в бедренной артерии, или аорте, или сонной (у новорожденных и детей до 2 лет), или аксилярной артерии (через предварительно установленный сосудистый армированный протез) в зависимости от вида подключения [2,12,13,16,22].

ВА ЭКМО может полностью заменить работу сердца (или сердце-легкие) и используется в случаях рефрактерных сердечной недостаточности, кардиогенного шока или остановки кровообращения.

Возможность периферической канюляции позволяет использовать этот метод практически в любой чрезвычайной ситуации, включая внебольничные.

3.5.1. Задачи ВА ЭКМО:

- Обеспечение минутного объема кровообращения,
- Обеспечение адекватной доставки O_2 ,
- Нормализация соотношения доставки O_2 и его потреблению O_2 органами,
- Выведение CO_2 ,

- Выигрыш времени для этиотропной и патогенетической терапии и ожидания – реваскуляризация, мост для принятия решение о трансплантации или имплантации длительно функционирующего устройства механической поддержки миокарда.

Производительность аппарата ЭКМО моделирует сердечный выброс пациента и осуществляет доставку кислорода и возможность поддержания САД ≥ 65 мм рт.ст.

Так же, как и при ВВ ЭКМО основной задачей ВА ЭКМО является обеспечение адекватной доставки кислорода, которая будет определяться достаточностью тканевой и органной перфузии, зависящей от создаваемого градиента давления, в свою очередь обусловленного давлением в разных участках артериального русла и сосудистым тонусом.

Потоки нативного сердечного выброса и поток ВА ЭКМО при периферическом подключении всегда конкурентны, поскольку направлены навстречу друг другу. Поэтому при ВА ЭКМО определение сердечного выброса сложная задача, и общий поток не будет определяться суммой этих компонентов. Для полного замещение собственной производительности сердца в случае его остановки требуется производительность ЭКМО более 70 мл/кг/мин.

В зависимости от варианта подключения центральное или периферическое ВА ЭКМО применяется в следующих клинических ситуациях [2,16,22]:

- Посткардиотомная сердечная недостаточность, развившаяся после кардиохирургических вмешательств;
- Остановка кровообращения;
- Рефрактерный кардиогенный шок различной этиологии;
- Рефрактерные желудочковые аритмии со снижением сердечного выброса;
- Неэффективность ВВ ЭКМО в случае присоединения острой сердечной недостаточности рефрактерной к консервативной терапии;
- Ранняя или отсроченная дисфункция сердечного трансплантата;
- Циркуляторная поддержка во время выполнения трансплантации лёгких;
- Механическая поддержка кровообращения и газообмена при кондиционировании посмертного донора органов.

3.5.2. Показания для ВА ЭКМО

Согласно мировым рекомендациям показаниями к проведению ВА ЭКМО у пациентов с сохраненным спонтанным кровообращением (вне остановки кровообращения) является [2,12,16,22]:

1. При наличии всех перечисленных состояний при условии коррекции волемического статуса:

- Снижение сердечного индекса $< 2,2$ л/мин/м² в течение 1 часа независимо от инотропной поддержки;
- Лактат артериальной крови > 5 ммоль/л при отсутствии иных причин повышения (кроме гиповолемического, дистрибутивного, обструктивного (кроме ТЭЛА) шока, как причины состояния);
- Снижение сатурации смешанной венозной крови менее 55% при отсутствии иных причин снижения;
- Признаки тканевой и органной гипоперфузии (расстройства сознания, снижение либо отсутствие диуреза, холодные кожные покровы, симптом «бледного пятна» более 3 секунд);
- Инотропная поддержка в нарастающих дозах для поддержания среднего АД более 65 мм рт.ст. (может быть использован так называемый индекс инотропной поддержки или шкала VIS – Vasoactive Inotropic Score)

2. При наличии одного из специальных показаний:

- Проведение чрескожного коронарного вмешательства высокого риска
- Необходимость проведения тромбэкстракции из легочной артерии
- Выполнение хирургических операций, включающих резекцию сосудов и их реконструкцию, с отключением органа(ов) (анатомической области) от общего кровоснабжения, требующие проведения временной изолированной перфузии данных органов (анатомических областей) (ВА ЭКМО).

3. Рефрактерная остановка кровообращения

3.5.3. Канюляция

Для проведения ВА ЭКМО применяется центральное или периферическое подключение (рисунок 7).

Центральное подключение используется после кардиохирургических операций и в трансплантологии, в остальных экстренных ситуациях используется периферическое подключение [6,8,21,22,35]. Особенности вариантов центрального и периферического подключения изложены в таблице 7.

При центральном подключении кровотоков антеградный, что положительно влияет на гемодинамику, однако не снижает риск перегрузки левого желудочка, повышает риск эмболических и геморрагических осложнений.

Периферическое подключение, обладает рядом негативных особенностей, которые необходимо предусмотреть при проведении процедуры ВА ЭКМО. При ВА ЭКМО важно

сохранить остаточную насосную функцию ЛЖ и поддержать на адекватном уровне перфузию органов и тканей.



Рисунок 7. Алгоритм принятия решения о варианте подключения ВА ЭКМО (схема Кецкало М.В.).

Таблица 7. Особенности ВА ЭКМО при центральном и периферическом подключении.

Особенности	Центральная ВА ЭКМО	Периферическая ВА ЭКМО
Доступ	Торакотомный, стернотомный	Пункционный, хирургический
Канюляция	Восходящая аорта, правое предсердие подмышечная (подключичная) артерия через армированный сосудистый протез	Бедренные сосуды, внутренняя яремная вена,
Место имплантации	Операционная	Любое место, включая вне стационара
Риск повреждения магистральных сосудов	Отсутствует	Существует
Оксигенация с помощью ЭКМО	Равномерная	Нижней половины туловища при бедренно-бедренном подключении, развитие синдрома Арлекина
Ишемия конечности	Отсутствует	Со стороны канюли в бедренной артерии
Риск кровотечения	Высокий	Низкий
Риск инфекционных осложнений	Высокий	Низкий
Повторная операция	Требуется всегда	В основном не требуется

Возможность ранней активации и реабилитации	Практически нет	Да
---	-----------------	----

Во время канюляции дренажная венозная канюля устанавливается через бедренную вену до уровня правого предсердия, артериальная – возвратная канюля устанавливается через бедренную артерию на уровне общей подвздошной артерии. Диаметр канюли подбирается в соответствии с диаметром общей бедренной артерии и требуемой производительностью (см. таблицу 1).

Для предотвращения гипоперфузии нижней конечности со стороны артериальной канюляции необходимо сразу устанавливать в дистальном направлении дополнительный катетер 6–7 Fr (обычно интрадьюсер) рядом с местом канюляции [2,9,12,22,23]. Катетер подключается к разъему люэр на артериальной канюле с помощью трехходового краника и переходника «male-male», или имеющегося в комплекте контура ЭКМО шунта. Для профилактики ишемии скорость кровотока по катетеру должна быть не менее 150 мл/мин, а перфузионное давление не менее 50 мм рт.ст., что достигается скоростью объемной перфузии более 2 л/мин. Если постановка системы ВА ЭКМО выполняется в срочно-отсроченном порядке целесообразно во время канюляции завести три гибких J-образных проводника для последующей канюляции и постановки шунта дистальной перфузии.

При периферической канюляции между канюлей и катетером в бедренной артерии образуется мертвое пространство с низкой скоростью кровотока и риском образования тромба, что должно быть учтено при удалении канюли и шунта [12,13]. Оставшийся тромб может стать причиной дистального артериального тромбоза и потребовать сосудистого вмешательства.

В качестве альтернативы может применяться катетеризация *a. dorsalis pedis* или *a. tibialis*.

Контроль состояния конечности, в которую установлена артериальная (а в некоторых случаях обе канюли) должен осуществляться постоянно. Для этого может применяться тканевая симметричная оксиметрия (технология NIRS – Near-Infrared Spectroscopy) или пульсоксиметрия при сохраненном сердечном выбросе и достаточной пульсовой волне. Разность показателей оксиметрии на конечностях более 15% - повод для принятия экстренных мер для нормализации периферического кровотока. Также необходимо ежедневно или чаще, по мере необходимости, выполнять доплеровское исследование кровотока в обеих конечностях, сравнивать температуру кожных покровов. Пальпаторное определение пульса на периферических артериях конечности с установленной канюлей большого смысла не имеет, так как поток при ЭКМО ламинарный и пульсовой волны на артериях может не быть.

3.5.4. Синдром дифференциальной гипоксемии (синдром Арлекина)

При периферическом подключении ВА ЭКМО кровь поступает в аорту через возвратную канюлю ретроградно. При частично сохраненной собственной производительности сердца по мере

продвижения крови от подвздошной артерии к корню аорты поток ЭКМО смешивается с нативным потоком от сердечного выброса.

Точное местоположение смешения непредсказуемо и зависит от потоков, создаваемых ЭКМО и левым желудочком, а также сосудистого сопротивления, не имея большого значения при сохранной оксигенирующей функции легких. В то же время при выраженной дыхательной недостаточности это может приводить к гипоксемии проксимальных ветвей аорты, прежде всего десатурации церебрального и коронарного кровотока [2,12,13,22].

При осмотре пациента может отмечаться цианоз кожных покровов верхней половины туловища, по сравнению с нижней. Основным признаком, доказывающим развитие синдрома Арлекина, является разный уровень SpO_2 на руках и ногах разные результаты OAP_2 из a. radialis dextra и $PpostO_2$. A. radialis dextra ветвь плечеголового ствола выбирается, как максимально удаленная от потока ЭКМО доступная для лабораторных проб.

Решение проблемы возможно прежде всего при определении причины легочной дисфункции и оптимизации респираторной поддержки. При неэффективности ИВЛ возможна модификации контура ЭКМО из ВА в вено-артерио-венозную - ВАВ ЭКМО. Для этого выполняется канюляция правой внутренней яремной вены с расположением возвратной канюли в области впадения ВПВ в ПП и соблюдением соответствующего расстояния (более 5 см) между дренажной и возвратной канюлями, находящихся в одном венозном бассейне. Подключение к контуру ЭКМО этой магистрали выполняется после оксигенатора с помощью Y-образного коннектора и требует кратковременной остановки перфузии с профилактикой воздушной эмболии.

Поток ЭКМО при модификации контура будет делиться примерно пополам, для достижения необходимой величины основного потока потребуются таким образом увеличение производительности ЭКМО. Для регулирования уровня возвратного потока в аорту или правое предсердие используется зажим Гофмана [12].

3.5.5. Перегрузка левого желудочка (ЛЖ)

Высокая производительность ЭКМО в сочетании с низкой сократительной способностью миокарда может вызвать перегрузку левого желудочка, приводя к нарушению изгнания крови из ЛЖ и его тромбозу, прогрессированию застоя в малом круге кровообращения, вплоть до отека легких. Основная причина возникновения перегрузки ЛЖ при проведении ВА ЭКМО — это высокая постнагрузка на миокард за счет встречного потока ЭКМО [12,22,24].

Это сопровождается снижением амплитуды кривой инвазивного АД, снижением САД < 60 мм рт.ст., АДпульс < 10 мм рт.ст., по данным ЭхоКГ – повышением КСО ЛЖ и КДО ЛЖ, увеличением показателя E/e' (отношение максимальной скорости раннего пика диастолического

наполнения желудочка (Е) к скорости диастолического движения фиброзного кольца клапана в фазу раннего расслабления желудочка (e'), в $N = 7-15$) - показатель в большей степени отражает давление наполнения ЛЖ), нарушением функции АК (отсутствие или снижение амплитуды движения створок АК), появлением эффекта спонтанного контрастирования в полости ЛЖ или признаков тромбоза ЛЖ, снижением LVOT VTI или AV VTI (интеграл линейной скорости потока выходного тракта ЛЖ или АК).

Клиническими признаками перегрузки ЛЖ будут одышка и снижение $SpO_2 < 95\%$, требующая инициации или изменения параметров ВИБЛ/ИБЛ, влажные хрипы при аускультации легких, рентгенологическая картина отека легких (феномен «белые легкие») [2,12,24,26].

Для решения проблемы перегрузки левого желудочка возможно применение медикаментозных и/или инвазивных методов [2,12,16,22,24,26,27]:

- Медикаментозные методы:
 - управляемая волемиа (поддержание нулевого гемогидробаланса, рестриктивная инфузионная стратегия, применение диуретиков, при необходимости – заместительная почечная терапия с ультрафильтрацией),
 - повышение дозы катехоламинов,
 - применение вазодилататоров (целевое САД – 70–75 мм рт.ст.),
 - снижение производительности насоса ЭКМО,
- Инвазивные методы:
 - 1) При наличии правильного собственного ритма по данным ЭКГ и сохраненной сократимости миокарда - использование внутриаортальной баллонной контрпульсации (ВАБК) [1,11,28].
 - 2) Септотомия межпредсердной перегородки с последующим дренированием левого предсердия в венозную магистраль контура ЭКМО, так называемая LAVA ECMO (Left Atrium VA ECMO – левопредсердно-вено-артериальная ЭКМО - ЛПВА ЭКМО) [2,12,16, 22,24,25, 26].
 - 3) Установка системы Impella, трансаортального интракардиального осевого насоса, принцип действия которого заключается в активном заборе крови из левого желудочка и выведении ее в восходящую аорту [2,12,29]. Благодаря работе устройства снижается КДО и КДД в ЛЖ, интрамуральное давление миокарда, увеличивается сердечный выброс, улучшается перфузия коронарных артерий. Производительность Impella составляет от 2,5 / 5 л/мин в зависимости от модели и диаметра катетера. Сочетание ВА ЭКМО и Impella обозначается как – ECPPELLA или ECMELLA. Система устанавливается путем стандартной катетеризации доступом через бедренную артерию (для Impella CP и 2,5).
 - 4) Установка системы iVac, подобно Impella устанавливается трансаортально в полость левого желудочка, но принцип работы заключается в периодическом активном сдувании-раздувании

мембранного насоса, подключенного к аппарату ВАБК и таким образом откачивании крови из левого желудочка в восходящую аорту без задействования контура ЭКМО. Комбинация носит название EC-iVAC®. Производительность этого устройства составляет около 2 л/мин и позволяет эффективно разгружать левый желудочек. По эффективности дренирования устройство примерно соответствует Impella 2,5 [2,12,16,22].

5) Апикальное дренирование ЛЖ через его верхушку через срединную/левостороннюю торакотомию или мини стернотомию с установкой канюли по методике Сельдингера. Дренажная линия, как и в случае дренирования ЛП включается в венозную линию забора через Y-переходник [16,22,25,24, 26,31]. Для регуляции потока из левого желудочка может использоваться зажим Гофмана.

6) Дренирование легочной артерии. Длинная венозная канюля под рентгеноскопическим контролем проводится через правый желудочек в ствол легочной артерии. Затем она с помощью Y-переходника соединяется с венозной магистралью контура ЭКМО.

7) Трансаортальное дренирование полости левого желудочка с помощью катетера типа «pigtail» диаметром 7–8 Fr, длиной 110 см, устанавливаемого через аортальный клапан в полость левого желудочка в рентген-операционной и соединением его с венозной магистралью контура ЭКМО через переходник $\frac{3}{8}$ x $\frac{3}{8}$ с коннектором «Люер». Недостатком такого способа является относительно низкая скорость дренирования (около 100 мл/мин) и раннее тромбообразование внутри катетера [2,12,24,25,26].

8) Конверсия на ВВА ЭКМО. При невозможности выполнения инвазивных методов или их неэффективности возможен переход с ВА ЭКМО на ВВА ЭКМО с установкой дополнительной дренажной канюли, что позволит улучшить венозный возврат в ЭКМО и разгрузить правые и опосредованно левые отделы сердца. Однако многие авторы отмечают низкую эффективность этого варианта попытки разгрузки ЛЖ.

Не все методы разгрузки ЛЖ одинаково эффективны.

Все инвазивные методы разгрузки левого желудочка должны сочетаться с продолжающейся медикаментозной терапией.

3.5.6. Отлучение от ВА ЭКМО

Отключение от ВА-ЭКМО остается сложным, но критически важным шагом в процедуре. Основная задача при этом заключается в том, чтобы минимизировать риски развития осложнений, связанных с процессом снижения производительности ЭКМО, с возможностью ухудшения параметров гемодинамики и КТФК в случае преждевременного прекращения процедуры. Необходим стандартизированный и систематический подход, учитывающий конкретные клинические ситуации [2,12,16,22].

Так же, как и при ВВ ЭКМО отлучение от ВА ЭКМО производят последовательно, с соблюдением всех критериев и алгоритмов. Критериями для возможного прекращения ВА ЭКМО является комплекс факторов:

- восстановление сократительной функции миокарда;
- отсутствие проявлений полиорганной недостаточности;
- средне-терапевтические дозы инфузируемых катехоламинов.

Отлучение от ВА ЭКМО должно выполняться постепенно с постоянным контролем сократительной функции миокарда по данным ЭхоКГ и мониторингу центральной гемодинамики (САД, АДпульс, ДЛА, ДЗЛА), включая оценку метаболизма (соотношение DO_2 / VO_2 , лактат артериальной крови, $\Delta Pv-aCO_2$, $ScvO_2$).

Производительность ЭКМО снижается до 50% на сутки под контролем выше обозначенных параметров. При отсутствии отрицательной динамики производительность еще снижается до 25% от МОК на сутки (но не менее 2 л/мин – для сохранения перфузии нижней конечности по дистальному шунту и предупреждения тромбообразования).

Остановка ЭКМО от 30 мин до 4 часов с возможностью возобновления перфузии не распространённая методика в процессе отлучения, поскольку требует замыкания магистралей ЭКМО с отсоединением их от канюль. Гепаринизация внутреннего просвета канюль типа «multi-stage» не будет препятствовать тромбо-образованию из-за вымывания промывочного раствора поэтому при необходимости повторного подключения необходимо проверить их проходимость с помощью аспирации шприцом Жане.

Окончательное решение о прекращении ЭКМО принимается на основании 12–24 часового мониторинга состояния пациента при сохранении стабильных показателей (таблица 8).

Таблица 8. Основные показатели мониторинга при прекращении ВА ЭКМО

Мониторинг			
Гемодинамики		Перфузии	
Инвазивный	Неинвазивный (ЭХО)	Клинический	Лабораторный
СрАД ПульсАД ЦВД ДЛА ДЗЛА	ФВ ЛЖ LVOT VTI E/e' * TAPSE TDSa **	$\Delta t^{\circ}C$ «бледное пятно» Диурез	Лактат в артерии $ScvO_2$ SaO_2 $\Delta Pv-aCO_2$

* - E/e' отношение максимальной скорости раннего пика диастолического наполнения желудочка (E) к скорости диастолического движения фиброзного кольца клапана в фазу раннего расслабления желудочка (e') ($N = 7-15$)

** - TDSa латеральный пиковый поток на митральном клапане ($N \geq 6$ см/с)

По рекомендации ELSO принятие решения об отключении возможно при [22]:

- по данным ЭхоКГ – LVOT VTI > 10 см, ФВ ЛЖ > 20-25%, при потоке > 2,5 л/мин и при снижении до 1,5 л/мин, отдельно оценивается сократительная функция ПЖ (ФВ ПЖ > 25%, TAPSE более 17 мм) в условиях нормоволемии;
- показателях метаболизма - $ScvO_2 > 70\%$, лактат артериальной крови < 2,2 ммоль/л, $\Delta Pv-aCO_2$ менее 7 мм рт.ст.
- инфузии средне-терапевтических доз катехоламинов.

Помимо этого, существует ряд других алгоритмов, принятых в ведущих мировых центрах по ЭКМО поддержке, которые в том числе учитывают расширенные показатели мониторинга. Некоторые из них отражены на рисунках 8-10.

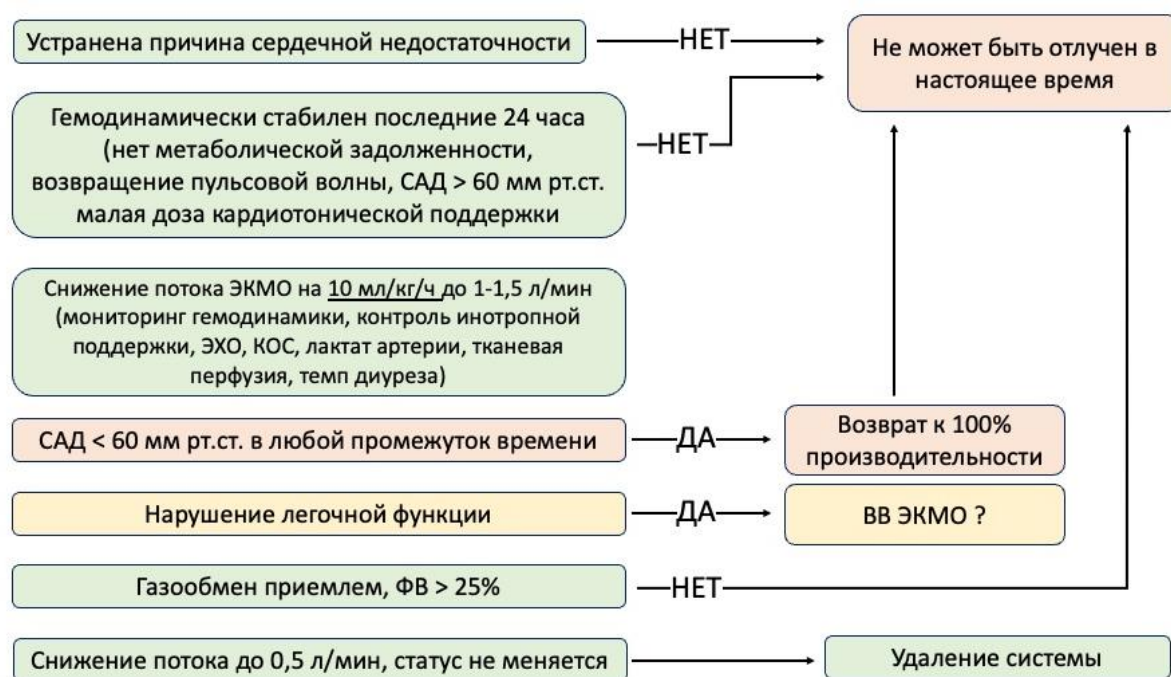


Рисунок 8. Протокол-схема University of Wisconsin Hospitals and Clinics Authority, 2018 г.

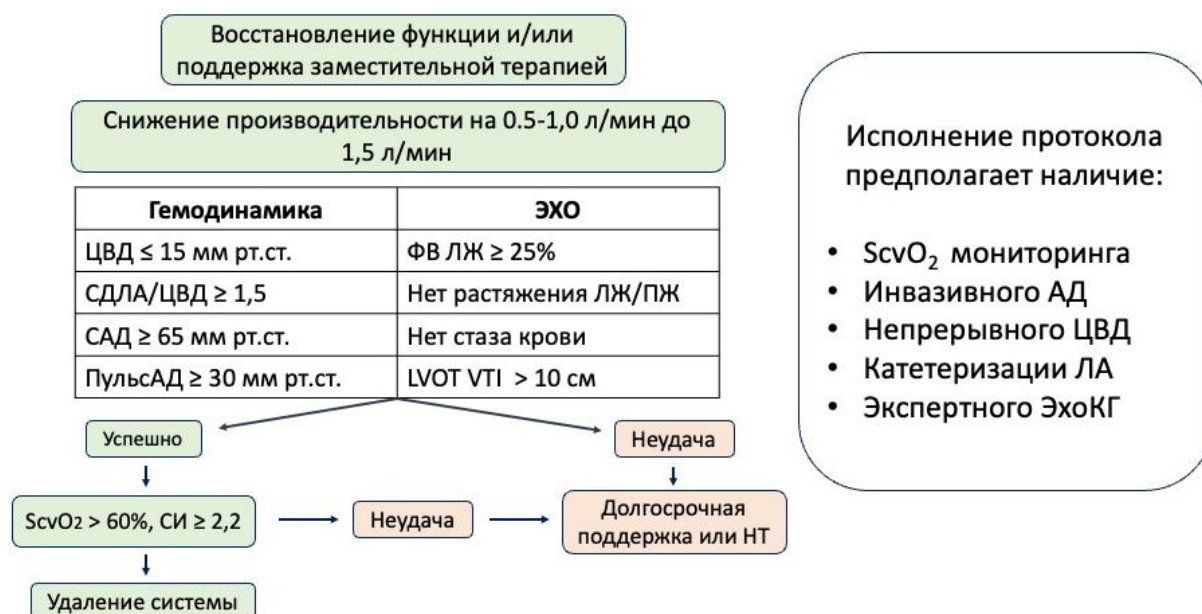


Рисунок 9. Протокол-схема Vanderbilt University Medical Center, Nashville, Tennessee, 2018 г. (<https://doi.org/10.1016/j.jchf.2017.11.017>).

Протокол отлучения от ВА ЭКМО принятый в Alfred Hospital ICU Мельбурн, Австралия предполагает, что решение об деэскалации механической поддержки кровообращения принимается исключительно коллегиально многопрофильным консилиумом. Отлучение возможно, если пациент находится «на пути выздоровления», либо на пути к имплантации других устройств (обход левого желудочка), гемодинамически стабилен на потоке ЭКМО менее 3 л/мин, регистрируется АДпульс более 20 мм рт.ст. в течение 24 часов, САД более 60 мм рт.ст. с дозой норадреналина менее 0,2 мкг/кг/мин (в оригинале менее 10 мкг/мин) или адреналина менее 0,1 мкг/кг/мин (в оригинале менее 5 мкг/мин), стабильный, предпочтительно синусовый сердечный ритм, сохраненная легочная функция с минимальными изменениями по КТ, отсутствует прогрессирующая органная дисфункция и ЭхоКГ подтверждение улучшения функции сердца.



Рисунок 10. Предикторы отлучения от ВА ЭКМО (Alfred Hospital ICU)

3.5.7. Деканюляция

Деканюляция – один из важных этапов процедуры ЭКМО. Большой диаметр канюль, длительное стояние, могут быть причинами осложнений при их удалении. Поэтому процедура удаления должна быть проведена максимально аккуратно и тщательно. Удаление канюль при ВВ ЭКМО может быть выполнено у постели больного, в то время как удаление артериальной канюли может потребовать хирургического вмешательства [12].

За 30–60 мин до удаления канюль прекращается инфузия гепарина. Перфузия продолжается без гепарина до момента готовности хирургической бригады к удалению канюль

Необходимо помнить об остаточном объеме (до 400 мл) крови в контуре ЭКМО. Быстрый возврат этого объема пациенту может привести к перегрузке объемом и ухудшению сократимости миокарда.

3.5.8. Удаление канюль при ВА ЭКМО

Венозная канюля удаляется так же, как и при ВВ ЭКМО с мануальной компрессией и последующей давящей повязкой. Артериальная канюля удаляется открыто хирургически или с использованием специальных эндоваскулярных ушивающих устройств с удалением тромба из пространства гипоперфузии ретроградным током крови.

Возврат крови наиболее оптимально выполнять как описано в варианте 2 удаления канюль при ВВ ЭКМО, либо перед удалением венозной канюли выполнить присоединение к ней артериальной магистрали системы ЭКМО и гравитационно дробно сместить кровь в пациента. Возвращать кровь из оксигенатора в артерию используя собственный электропривод вытеснением

физиологическим раствором не следует ввиду рисков как случайной воздушной эмболии, так и неизбежной перегрузки объемом.

3.6. Применение ЭКМО при рефрактерной остановке кровообращения

При рефрактерной остановке спонтанного кровообращения и неэффективности мероприятий расширенной сердечно-легочной реанимации (СЛР) рекомендуется рассмотреть возможность применения технологии ВА ЭКМО (Э-СЛР). Применение ЭКМО по данным небольших сравнительных исследований может увеличить выживаемость и улучшить неврологические исходы у переживших остановку кровообращения [32,33]. Частота выживаемости при Э-СЛР во взрослой популяции по данным международного регистра ELSO на 2022 год составляет около 30%. С точки зрения возможности своевременного применения ЭКМО, неэффективной СЛР следует признать случай ее безуспешности в течение 20 минут и/или после завершения 3 полных циклов СЛР, без должного эффекта от применения амиодарона [34]. Некоторые центры рассматривают период неэффективной СЛР в течение более 10 минут [35], 30 минут [36] как показание для возможного применения Э-СЛР. Критерии, которые рассматриваются как показания для применения Э-СЛР должны включать в себя состояние самого пациента, своевременность и качество оказания базовой и расширенной СЛР, в том числе подтвержденных клинико-лабораторными данными, прогнозирование возможности своевременного начала ЭКМО. Перечисленные критерии входят в рекомендации ELSO (таблица 9) и локальные протоколы крупных центров ЭКМО имеющих опыт Э-СЛР [37,38] (рисунок 11).

Таблица 9. Критерии применения ЭКМО при рефрактерной остановке кровообращения

Активация ЭКМО-СЛР
Возраст менее 70 лет
Остановка при свидетелях
Интервал до начала компрессий < 5 мин
Ритм ФЖ/ЖТ/ЭМД
Интервал до начала ЭКМО < 60 мин
FetCO ₂ до ЭКМО > 10 мм рт.ст.
Перемежающее восстановление ритма
“Знаки жизни” при проведении СЛР
Явное отсутствие коморбидности
Неизвестное состояние АК

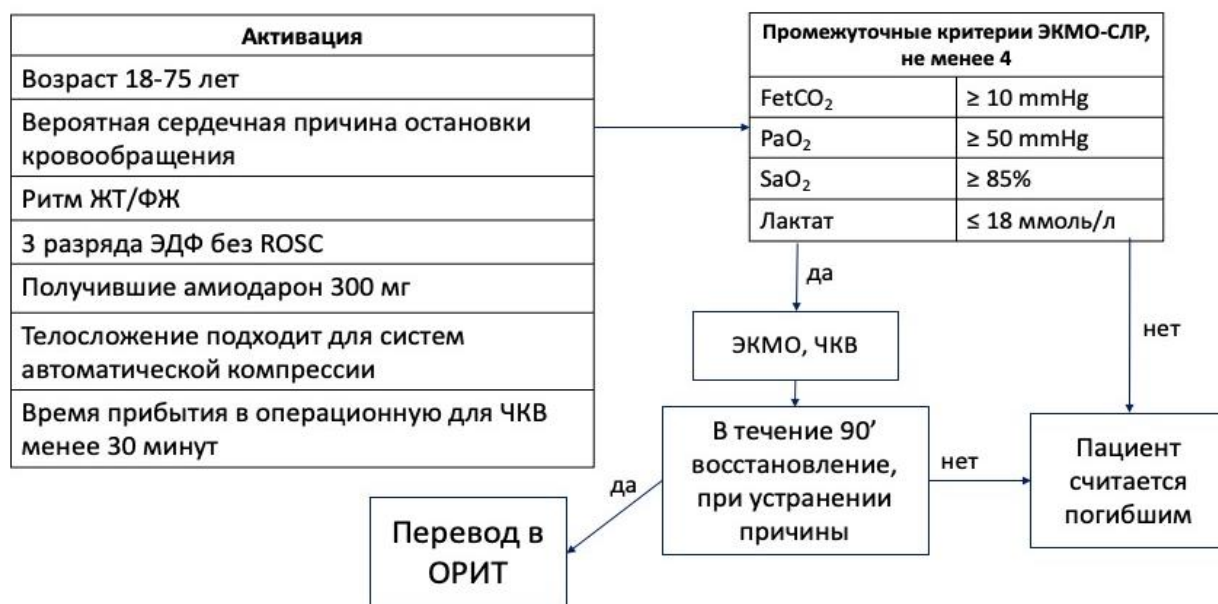


Рисунок 11. Протокол применения ЭКМО-СЛР University of Minnesota.

Таким образом, для возможного применения ЭКМО при проведении СЛР в связи с рефрактерной остановкой кровообращения следует руководствоваться следующими критериями:

1. Наличие свидетеля внезапной остановки кровообращения. (факт остановки кровообращения произошел в присутствии лица, который способен это распознать и вызвать помощь).
2. Немедленное начало базового комплекса СЛР (не позднее 5 минут от момента предполагаемой остановки сердца должен быть начат непрямой массаж сердца);
3. Проведение трех циклов расширенного комплекса реанимационных мероприятий включая применение амиодарона (300 мг) при фибрилляции желудочков или желудочковой тахикардии.
4. Предполагаемый интервал от остановки кровообращения до запуска ЭКМО менее 60 минут;
5. Предполагаемый возраст пациента не более 70 лет;
6. Возможность применения устройств автоматической наружной компрессии грудной клетки (подходящее телосложение, отсутствие видимых противопоказаний, наличие устройства на оснащении медицинской бригады или в медицинской организации;
7. Отсутствие ранее известных сопутствующих заболеваний, ограничивающих продолжительность жизни (терминальная стадия сердечной недостаточности у не кандидатов на трансплантацию сердца, хроническая обструктивная болезнь легких, терминальная стадия почечной или печеночной недостаточности, полиорганная

недостаточность при оценке по шкале SOFA более 14 баллов, терминальная стадия онкологического заболевания);

8. Отсутствие достоверных данных о средней и тяжелой недостаточности аортального клапана;
9. Отсутствие продолжающегося кровотечения;
10. Наличие любой электрической активности сердца (фибриляция желудочков, желудочковая тахикардия, электрическая активность без пульса, повторяющиеся остановки кровообращения);
11. Лактат артериальной крови менее 18 ммоль/л;
12. EtCO₂ более 10 мм рт. ст.;
13. OAP₂ более 50мм рт. ст.;
14. SaO₂ более 85%;
15. Техническая возможность канюляции;
16. Потенциально обратимая причина остановки кровообращения (кардиогенный шок любого типа и происхождения, гипотермия, отравление кардиотоксичными препаратами, острые электролитные нарушения, не связанные с хроническим заболеванием).

Рекомендовано осуществлять канюляцию пункционным способом по методике Сельдингера с применением ультразвуковой и/или рентгеновской навигации [39]. Методика канюляции не отличается от изложенной в соответствующей главе настоящих рекомендаций. Выбор размера канюли так же основывается на ультразвуковой оценке диаметра сосуда. В случае невозможности оценки диаметра канюлируемого сосуда рекомендован эмпирический подбор канюли: артериальная канюля 15–17 Fr, бедренная венозная - 19–22 Fr. При выборе размера канюль следует руководствоваться правилом «чем меньше диаметр канюли, тем легче ее установить, чем больше диаметр канюли, тем больший поток ЭКМО она может обеспечить». Если с началом перфузии не обеспечивается желаемая производительность допускается установка дополнительных канюль.

При отсутствии возможности выполнить канюляцию магистральных сосудов по методике Сельдингера или при возникновении осложнений, связанных с техникой выполнения канюляции или с геморрагическими осложнениями, рекомендуется перейти на открытый (хирургический) метод постановки канюль. Для выполнения канюляции магистральных сосудов открытым методом требуется дополнительное оснащение медицинским расходным материалом, оборудованием и хирургическим инструментарием. Установка канюль выполняется со строгим соблюдением всех правил асептики и антисептики всеми членами хирургической бригады.

Не рекомендуется вводить гепарин в дозе 50-100 ЕД/кг МТ болюсно на этапе канюляции. Профилактика тромбообразования внутри канюль путем применения антикоагулянтов неэффективна. Применение антикоагулянтов возможно только после исключения геморрагических осложнений, связанных как с реанимационными мероприятиями, так и с состоянием пациента. Перед присоединением магистрали контура к канюле рекомендована аспирационная проба с применением шприца Жане. С целью недопущения развития критической ишемии нижней конечности из-за возможной полной окклюзии бедренной артерии рекомендована в течение одновременно с канюляцией или не позднее 1-2 часов с момента начала ЭКМО установка дополнительного антероградного шунта для изолированной перфузии нижней конечности со стороны стояния артериальной канюли. Установка шунта дистальной перфузии не должна откладывать проведение лечебно-диагностических мероприятий.

Рекомендовано начинать ЭКМО с производительностью, приближенной к сердечному выбросу – около $2,5 * ППТ$ (площадь поверхности тела) или 70 мл/кг/мин с целью поддержания среднего АД не менее 60 мм рт.ст. После исключения травматического и геморрагического генеза остановки кровообращения и геморрагических осложнений СЛР рекомендуемый уровень САД не менее 65 мм рт.ст.. До получения результата газового состава артериальной крови рекомендованное соотношение «поток ЭКМО/поток свежего газа» (поток кислородно-воздушной смеси в оксигенатор на начало перфузии) в соотношении 1:1 с фракцией кислорода 100%. ИВЛ при Э-СЛР, включая период восстановления перфузии должна проводиться с протективными параметрами, обеспечивающими наряду с ЭКМО адекватный газообмен. Эндovasкулярные вмешательства следует выполнить после достижения расчетной производительности ЭКМО. С началом ЭКМО рекомендуется поддержание режима поверхностной гипотермии (34°C) в течение 24 часов с данными в пользу улучшения результатов выживаемости пациентов (мета-анализ Jingwei Duan и соавт., 2021) [39].

После подключения ЭКМО необходимо выполнить компьютерную томографию головного мозга, грудной и брюшной полостей, малого таза для исключения повреждения внутренних органов и геморрагических осложнений СЛР, при необходимости с внутривенным контрастированием. Введение контрастного вещества возможно в центральный венозный катетер, а также в порт перед оксигенатором с поправкой на артериальную и венозную фазы контрастирования. При исключении геморрагических осложнений, связанных с проведением СЛР или состоянием пациента инициировать антикоагулянтную терапию. При восстановлении сердечной деятельности следует снижать производительность ЭКМО для обеспечения САД более 65 мм рт.ст., $ScvO_2$ более 65%. Дальнейшая тактика ведения пациента на ВА ЭКМО и мониторинг системы ЭКМО должны проводиться в соответствии с положениями глав настоящих рекомендаций.

Учитывая отсутствие четких доказательств в пользу Э-СЛР, организации, которые будут выполнять внебольничную Э-СЛР должны делать это только с четко определенными протоколами. Членам этих команд необходимо пройти обучение и рассмотреть возможность включить в программу обучения студентов, ординаторов и врачей [12].

3.6.1. Команда Э-СЛР:

1. Э-СЛР требует хорошо скоординированной команды квалифицированных специалистов для обеспечения быстрого и успешного развертывания технологии ЭКМО (таблица 10) [38].
2. Стандартные реанимационные мероприятия должны быть начаты первой группой лиц, ориентированных на высокое качество СЛР с минимальными перерывами до и во время ЭКМО развертывания.
3. Для Э-СЛР должна быть выделена группа квалифицированных специалистов для быстрой канюляции и подготовки контура ЭКМО.
4. Используется система группового вызова (например, командная пейджинговая система, СМС — оповещение - рабочая связь), которая способна эффективно мобилизовать всю команду и ресурсы Э — СЛР.
5. Команды Э-СЛР могут различаться по составу в зависимости от системы и условий. Группы Э-СЛР должны быть доступны для развертывания круглосуточно и без выходных.
6. Э-СЛР — нечастое мероприятие с высоким риском: оно требует ресурсы для постоянного системного и группового обучения и тестирования, с использованием моделирования различных неотложных ситуаций, что полезно для поддержания эффективности и высокой производительности команды Э-СЛР. Если медицинские организации не выделяют средства на поддержку обучения и тестирования, то СЛР и эффективный переход на Э-СЛР будет трудно поддерживать на высоком уровне [40].

Таблица 10. Задачи команд Э-СЛР (адаптировано по Guerguerian Anne-Marie et. al. 2021 [41].

Тип отделения, где произошло событие (арест) Готовность к канюляции	ОАР Готовность к канюляции в ОАР	Альтернативные локации Нет готовности к канюляции в ОАР.	Альтернативные локации Нет ОАР Нет локации для выполнения канюляции
Определение возможных	Оборудование для канюляции и место ее	Оборудование для канюляции и место	Оборудование для канюляции и место

локаций для выполнения канюляции	проведения	подготовлены: ● АГЦ, ● Рентген лаборатория ● Операционные	проведения не одобрены: ● Палата стационара ● Амбулатория, отделение неотложной помощи (приемное), диагностический блок, неонатальное ОАР, ● Удаленные места (например, МРТ)
Задачи	Ответственные за выполнение задач	Ответственные за выполнение задач	Ответственные за выполнение задач
Старт реанимационных мероприятий	Лечащий врач (медсестра ОАР или реаниматолог)	Лечащий врач (медсестра ОАР или реаниматолог)	Клиницисты на месте события
Старт команды ЭКМО	Ответственный реаниматолог или свободный реаниматолог	Ответственный реаниматолог или свободный реаниматолог	Ответственный реаниматолог или свободный реаниматолог
Координатор	Реаниматолог 1	Реаниматолог 1	Реаниматолог 1
Лидер команды СЛР	Реаниматолог 2	Реаниматолог 2	Врач диагностического отделения или дежурный реаниматолог
СЛР	Команда реаниматологов	Команда реаниматологов	Внутрибольничная транспортировка на фоне СЛР к месту выполнения канюляции

Сосудистый доступ	Сердечно-сосудистый хирург 1 (в штате) Сердечно-сосудистый хирург 2 Дежурная операционная сестра (в штате) Операционная медсестра	Сердечно-сосудистый хирург 1 (в штате) Сердечно-сосудистый хирург 2 Дежурная операционная сестра Операционная медсестра	Сердечно-сосудистый хирург 1 (в штате) Сердечно-сосудистый хирург 2 Дежурная операционная сестра (в штате) Операционная медсестра
Контур ЭКМО	ЭКМО - специалист 1 – реаниматолог (в штате) и ЭКМО - специалист 2 – реаниматолог или медсестра	ЭКМО - специалист 1 – реаниматолог (в штате) и ЭКМО - специалист 2 – реаниматолог или медсестра	ЭКМО - специалист 1 – реаниматолог (в штате) и ЭКМО - специалист 2 – реаниматолог или медсестра
Лекарственные средства во время СЛР	Дежурная медсестра и/или ответственная медсестра	Дежурная медсестра и/или ответственная медсестра	Дежурная медсестра и/или ответственная медсестра
Компрессии	Реаниматолог		
Болюс гепарина	Двойной контроль: ответственный реаниматолог и ЭКМО-специалист		
Расходные материалы	Дежурная медсестра ОАР		
Эффективная ИВЛ / респираторная поддержка	Ответственный реаниматолог (после интубации трахеи)		
Ведение медицинской документации и фиксация в карте наблюдения	Медсестра ОАР		

Учреждения могут применять различные варианты этой схемы в зависимости от места события и предварительно определенных мест для катетеризации.

3.6.2. Место для проведения Э-СЛР

Пациент, оборудование и члены бригады, участвующие в Э-СЛР требуют большого количества места. Для внутрибольничной или внебольничной инициации Э-СЛР необходимо использовать схему для организации членов команды и нахождения оборудования вокруг пациента, чтобы увеличить эффективность процедуры Э-СЛР (рисунок 12) [42].

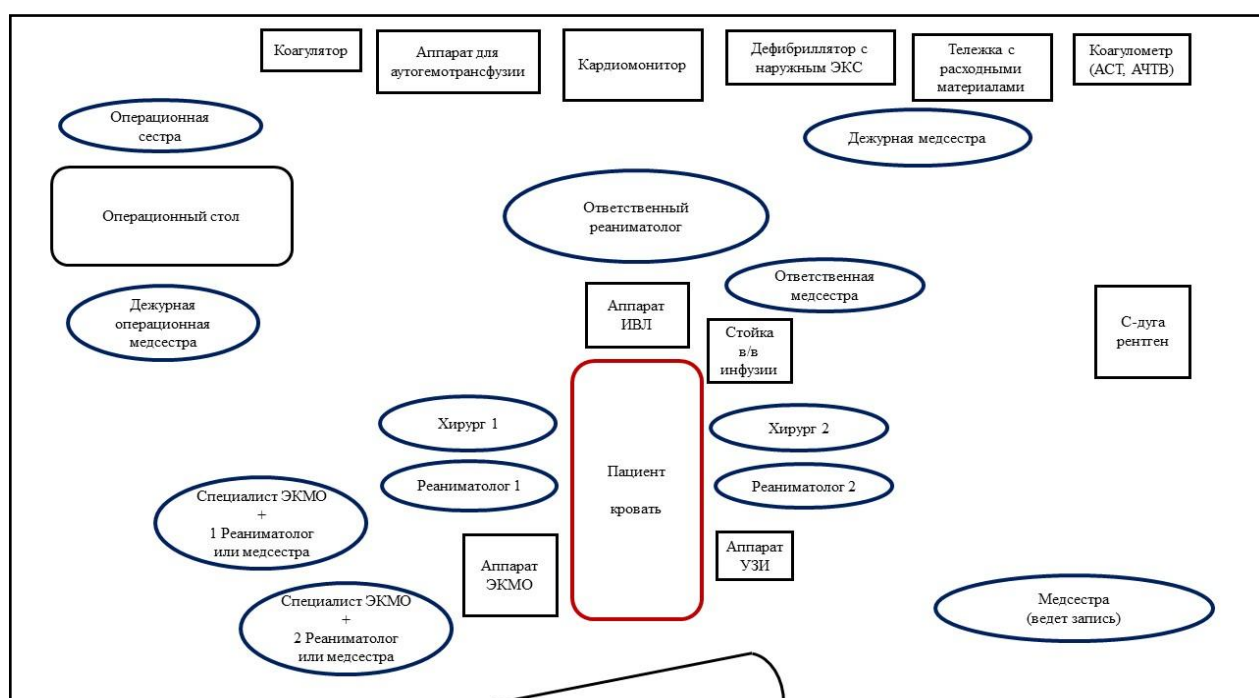


Рисунок 12. Конфигурация палаты для проведения Э-СЛР (адаптировано по Jaime Blackwood et al. 2022).

1. В каждой больнице должно быть определено место для катетеризации (например, в отделении интенсивной терапии или ангио-операционной). Необходимо предварительно определить минимальный размер и функциональность помещения, необходимого для размещения пациента, команды Э-СЛР и оборудования.
2. Транспортировка пациента во время СЛР является сложным процессом и может поставить под угрозу качество СЛР, поэтому после завершения канюляции и начале постреанимационного ухода после остановки сердца, она должна быть организована и оптимизирована для поддержания результата.

3.6.3. Рекомендации по оборудованию для Э-СЛР [43]

1. Для систем Э-СЛР требуется оборудование, которое хранится в «готовом» состоянии для быстрой мобилизации. Предварительно собранная сухая или заполненная праймингом Э-СЛР-система, должна быть включена и подключена к источникам газа и энергии (баллон с кислородом и аккумулятор).
2. В Э-СЛР системах могут использоваться как центробежные, так и роликовые насосы. Центробежные насосы, как правило, более компактны и имеют улучшенную мобильность по сравнению с роликовыми насосными системами.
3. Э-СЛР система включает теплообменник, который используется для обеспечения температурно-целевого управления.
3. Необходимо использовать датчик обнаружения воздуха в контуре ЭКМО после оксигенатора.
4. Необходимо использовать датчики контроля давления в контуре ЭКМО: на венозном заборе, перед и после оксигенатора.
5. Необходимо использовать датчик направления потока крови в контуре.

3.7. ЭКМО при посткардиотомном кардиогенном шоке

Посткардиотомный синдром – аутоиммунная реакция, возникающая после кардиохирургических операций. Она является следствием врожденных или приобретенных изменений клеточного иммунитета. После повреждения перикардиальных листков организм начинает вырабатывать антитела, взаимодействующие с тканями сердца. Это ведет к развитию аллергической реакции по типу гиперчувствительности замедленного типа и аутоиммунному воспалению [44]. Несмотря на то, что в этом случае может развиваться выраженная сердечная недостаточность, требующая применения достаточно больших доз препаратов, поддерживающих работу сердца, и в некоторых случаях различных методов вспомогательного кровообращения, наибольшую проблему у кардиохирургических больных в ранний послеоперационный период представляет посткардиотомический кардиогенный шок (ПККШ - PCCS). Это редкий, но катастрофический синдром, который может развиваться после прекращения ИК или в любое время в ближайшем послеоперационном периоде. Методы лечения ПККШ различаются в зависимости от клиники, учреждения и страны. Имеющиеся фактические данные, подтверждающие эту практику, ограничены. Один из вариантов для лечения ПККШ – применение ВА-ЭКМО – ПКТ-ЭКМО = РС-ЕСМО [45]. Дисфункция миокарда после кардиохирургического вмешательства возникает примерно у 3-8% пациентов. Частота развития кардиогенного шока после искусственного кровообращения 1,0-1,4%. ЭКМО (ПКТ-ЭКМО) используется после кардиохирургических вмешательств по данным ELSO до 2012 года в 0,6% - 3,6% случаев и в последнее время отмечается значительное увеличение частоты применения ЭКМО в качестве поддерживающей

терапии после операций на сердце, госпитальная выживаемость при этом составляет около 30% [46].

Споры о причинах развития ПМКШ не прекращаются и сегодня к ним можно отнести [47]:

- Ишемию миокарда;
- Травму миокарду;
- Неадекватную / недостаточную кардиоплегию;
- Реперфузию миокарда;
- Гибернацию миокарда – стойкое угнетение сократимости жизнеспособного миокарда левого желудочка, возникающее вследствие его гипоперфузии. Важнейшим проявлением гибернации является сохранение жизнеспособности миокарда на тканевом уровне [48].
- И другие (таблица 11):

Таблица 11. Причины посткардиотомического кардиогенного шока 4Г/4Т

4 «Г = Hs»	4 «Т = HITs
Гипоксия	Тромбоз (коронарный / легочный)
Гиповолемия	Тампонада
Гипотермия	Токсическая передозировка
Гипо- / гипер- калиемия (дисэлектроемия) Легочная гипертензия, рефрактерные аритмии	Напряженный (тугой) пневмоторакс

- Легочная гипертензия,
- Рефрактерные аритмии
- включая сопутствующие заболевания...

Развитие синдрома описано после коррекции врожденных и приобретенных пороков сердца, имплантации электрокардиостимулятора, стентирования коронарных артерий, аортокоронарного шунтирования, перикардальной пункции, радиочастотной абляции, тупой травмы грудной клетки, операций по поводу заболеваний аорты и многих других вмешательствах на сердце и магистральных сосудах. Фактором риска ПМКШ является инфицирование вирусом Коксаки В, цитомегаловирусом, аденовирусом.

Показания к РС-ЭКМО обычно включают [46,48]:

- интраоперационную неудачу отлучения от ИК из-за периоперационной лево-, право- или бивентрикулярной недостаточности или
- рефрактерный кардиогенный шок/остановку сердца в послеоперационном периоде.

Рекомендуется начать ПКТ-ЭКМО:

- до развития повреждения органов-мишеней или начала анаэробного метаболизма (уровень лактата <4 ммоль/л) у пациентов с вероятностью восстановления миокарда и при отсутствии неконтролируемого кровотечения, не поддающегося хирургическому лечению [49,50].
- Когда вероятность естественного восстановления миокарда невелика, пациентам, которые имеют право на применение VAD или трансплантацию сердца
- Раннее применение ПКТ-ЭКМО после кардиохирургических вмешательств пациенту с ВАБК и оптимальной медикаментозной терапией, которому не удастся отказаться от ИК или нестабильной гемодинамикой [50].

Выраженные сопутствующие заболевания, пожилой возраст, высокий уровень лактата, высокий инотропный индекс - более 20 мкг/кг/мин, и ОПП являются рисками, связанными с летальным исходом, и их следует учитывать до начала ПКТ-ЭКМО [50,51,52].

Предоперационная инициация ЭКМО может быть рассмотрена у пациентов тяжелом состоянии (гемодинамическом или метаболическом) или со структурными аномалиями сердца (ПИКС, дефект межжелудочковой перегородки, тяжелый отек легких или дисфункция вследствие сопутствующих заболеваний сердца) для облегчения периоперационного ведения, как переход к хирургическому вмешательству.

Следует учитывать, что тип и вид ЭКМО (одно- или двухжелудочковая недостаточность, поражение правого или левого желудочка, предоперационная, интраоперационная или послеоперационная сердечно-сосудистая недостаточность, острая или хроническая сердечная дисфункция, кардиогенный шок или остановка сердца, включая альтернативные механические поддерживающие устройства) обсуждаются в зависимости от типа гемодинамического состояния и состояния пациента характеристики.

Варианты канюляции выбираются, исходя из состояния пациента. Возможны:

- ✓ центральная канюляция или периферическая канюляция (см. раздел 3.1);
- ✓ комбинированная, когда дренажная канюля устанавливается в правое предсердие через нижнюю полую вену, а возвратная - в аорту;
- ✓ альтернативные варианты центральной канюляции [47, 53]:

А. Туннелирование артериальных и венозных канюль в сосудах шеи, позволяющее закрыть грудину.

В. Выведение канюль ЭКМО наружу через межреберные промежутки.

С. Выведение артериальной канюли ЭКМО через графт, анастомозирующий с протезом аорты; этот подход может обеспечить центральную конфигурацию, закрытие грудины и

извлечение канюли в случае отключения ЭКМО или перехода на периферическое подключение без повторного открытия грудины.

D. Подключение ЭКМО - ПП-аорта

- ✓ Возвратная канюля через графт устанавливается в подключичную/подмышечную артерию.
- ✓ Дренажная канюля может устанавливаться в легочную артерию (т.н. легочно-артериальное-артериальное ЭКМО - ЛА-ЭКМО) [54] или с выполнением дефекта межпредсердной перегородки (операция Рашкинда) и установка дренажной канюли в левое предсердие через этот дефект (т.н. левопредсердное-артериальное ЭКМО – LAVA-ЭКМО). [55,56].
- ✓ Учитывая риски развития перегрузки левого желудочка сразу возможно применение различных модифицированных вариантов ЭКМО с возможностью разгрузки ЛЖ (см. раздел 3.5).

Рекомендации по вариантам канюляции при применении ПКТ-ЭКМО:

- Периферическая канюляция ВА-ЭКМО рекомендуется у пациентов с ПМКШ при наличии ЛЖ или бивентрикулярной недостаточности [57,58,59,60];
- При изолированной ПЖ недостаточности возможно применение конфигурации Оху-RVAD (обход ПЖ с оксигенацией);
- При наличии ишемии конечности, несмотря на антеградную перфузию, следует рассмотреть возможность использования контралатеральной бедренной артерии, подмышечной артерии или центрального доступа;
- Канюляция подмышечной/подключичной артерии или аорты для обеспечения потока крови может рассматриваться как альтернатива канюляции бедренной артерии;
- Прямая канюляция ЛЖ через верхушку может быть рассмотрена для дренирования ЛЖ и преобразования в конфигурацию, подобную LVAD (верхушка ЛЖ-подключичная артерия).

Каждый из вариантов имеет положительные и отрицательные стороны и все время идет спор между хирургами и реаниматологами о том, какой из них предпочтительнее. В экстренных и сложных ситуациях предпочтение отдается оставлению возвратной канюле в аорте.

Литературные данные описывают выполнение несколько исследований при проведении ПКТ-ЭКМО, в которых подключичная/подмышечная канюляция использовалась у пациентов с нарушенным сосудистым статусом, и это было связано с более высокой частотой серьезных неврологических осложнений и судорожных припадков, особенно по сравнению с бедренной канюлей. Внутрибольничная смертность была выше после канюляции аорты, несмотря на отсутствие существенных различий в частоте неврологических причин смерти у этих пациентов. Эти результаты указывают на необходимость адекватного неврологического мониторинга

пациентов и применения профилактических стратегий у пациентов с нарушениями сосудистого статуса при использовании центральной, особенно подключичной/подмышечной канюляции [61].

При проведении ПКТ-ЭКМО для оценки эффективности и безопасности процедуры необходимо руководствоваться данными мониторинга, как при проведении ВА-ЭКМО (см. раздел 3.7).

Прекращение ЭКМО становится целесообразным, когда процедура приводит к относительному восстановлению работы сердца на фоне максимального снижения доз инфузируемых инотропных препаратов. Или в том случае, когда процедура не помогает в восстановлении функции сердца и требуется принятие решение о трансплантации или имплантации механического устройства длительной поддержки работы ЛЖ (VAD) (таблица 12).

Таблица 12: Критерии и рекомендации по отказу от ВА-ЭКМО (адаптировано по материалам Red Book ELSO [62])

Типы систем ЭКМО	Критерии для отказа от ЭКМО
ВА-ЭКМО	Стабильная гемодинамика при ЭКМО > 24 часов
	САД > 60 мм рт.ст. при отсутствии или при низком уровне вазопрессоров/инотропных препаратов
	Уровень лактата в артериальной крови < 2 ммоль/л
	РаО ₂ >100 мм рт.ст. при ЭКМО FiO ₂ < 21% и FiO ₂ 40% на аппарате ИВЛ
	VTI >10-12 см при скорости потока ЭКМО 1-1,5 л/мин
	Фракция выброса левого желудочка >20-25%
	Максимальный систолический поток на митральном клапане > 6 см/с
	Адекватная реакция ЛЖ и ПЖ на увеличение объема миокарда
	После деканюляции следует проверить проходимость вен и артерий и отсутствие дистальных тромбов
	Использование других вспомогательных устройств, таких как Impella, может быть использовано для облегчения отлучения от ЭКМО
	Переход на VAD* может быть рассмотрен после достижения гемодинамической стабильности; однако при наличии дисфункции печени, системного воспаления или ожирения

	смертность будет высокой
От Оху-RVAD** ЭКМО (изолированная поддержка правого желудочка)	Не допускать подачи O ₂ в оксигенатор в течение ≥ 2 часов и поддержка SatO ₂ артериальной крови $>90\%$ при нормальных параметрах дыхания
	Стабильная гемодинамика при низких дозах инотропных препаратов в течение как минимум 24 часов
	Исследование по отлучению (вининг) должно проводиться параллельно с профилактической инотропной инфузией (левосимендан)
	Нет признаков или наличие признаков устойчивого и/или выраженного снижения печеночной (повышение уровня трансаминаз) или почечной (олигурия, анурия) недостаточности
	TAPSE*** >10 мм при скорости потока ЭКМО 1-1,5 л/мин
	Соотношение длинной и короткой осей ЛЖ в диастолу $< 0,55$
	После деканюляции следует проверить отсутствие тромбов на уровне легочной артерии

*VAD – механическое устройство длительной поддержки работы сердца;

**Оху-RVAD - вспомогательное устройство для правого желудочка с оксигенатором;

***TAPSE - систолическая экскурсия в плоскости трехстворчатого кольца.

При интОАРперационной инициации ЭКМО следует рассмотреть возможность закрытия грудины для уменьшения риска кровотечений и инфекционных осложнений, более надежной фиксации канюль при центральной канюляции.

Применение инотропных, вазопрессорных препаратов на фоне применения ЭКМО необходимо для поддержания собственного сердечного выброса, снижения КДО ЛЖ, нормализации системного сосудистого сопротивления, поддержания САД > 65 мм рт.ст., устранения вазоплегии.

Антибактериальную терапию пациентам при использовании ПКТ-ЭКМО вне зависимости от типа канюляции, рекомендуется проводить в соответствии со стандартными протоколами ведения послеоперационного периода, принятыми в ЛПУ. При ПКТ-ЭКМО с открытой грудной клеткой до закрытия грудины следует рассмотреть возможность более длительного приема антибиотиков, с

возможным расширением спектра антибактериальной защиты и применение антифунгиальных препаратов.

Во время хирургического вмешательства необходимо применение ЧпЭхоКГ для оценки, особенно после инициации ПКТ-ЭКМО и выхода на расчетную производительность (50-80 мл/кг/мин для взрослых), функции ЛЖ, КДО, КСО и своевременного принятия решения о каких-либо вариантах для разгрузки левого желудочка. В некоторых случаях целесообразно рассмотреть исходную канюляцию легочной артерии (см. раздел 3.5).

Необходимо использование NIRS для оценки оксигенации как головного мозга, так и конечностей для обеспечения симметричности кровотока и предотвращения субклинической ишемии ГМ и заинтересованной конечности еще в операционной в случае начала периферической ПКТ-ЭКМО.

Решение о продолжение антикоагулянтной терапии при начале ПКТ-ЭКМО после отключения ИК и окончания хирургического вмешательства принимается на основании лабораторных данных (уровень АСТ, АЧТВ) и наличия признаков кровотечения. Применение протамина, для коррекции уровня АСТ после начала ПКТ-ЭКМО не рекомендуется из-за достаточно высокого риска тромбоза оксигенатора контура ЭКМО. Поэтому следует рассмотреть возможность начала ПКТ-ЭКМО по беспепариновому протоколу до тех пор, пока кровотечение в послеоперационном периоде не станет минимальным (< 50 мл/час). В случае нехирургического массивного кровотечения, необходимо прекратить инфузию гепарина, прокоагулянтные вмешательства следует рассматривать на основании результатов показателей свертываемости крови. При этом необходим тщательный контроль контура ЭКМО для предупреждения его тромбоза или экстренной замены.

Критерии эффективности ПКТ-ЭКМО практически не отличаются от аналогичных при проведении ВА-ЭКМО в случае тяжелой сердечной недостаточности (см. таблицу 13).

Таблица 13. Критерии эффективности ЭКМО (адаптировано по Michels et al. [63])

Благоприятно для ПКТ-ЭКМО	Неблагоприятно для ПКТ-ЭКМО
Наблюдаемая остановка сердца	Ненаблюдаемая остановка сердца
Предполагаемая кардиологическая этиология, особенно при начальной дефибрилляции сердечного ритма	Возраст >75 лет и сопутствующие заболевания
Время остановки кровообращения <5 мин	Время остановки кровообращения >10 мин
Короткое время неэффективного кровообращения <60 мин	Неадекватные реанимационные мероприятия

Высокое качество реанимационных мероприятий	Клинические признаки тяжелого необратимого повреждения головного мозга или ожидаемый плохой неврологический прогноз
Наличие обратимой причины остановки сердца (4 Hs и HITs): включает гипоксию, гиповолемию, гипо- и гиперкалиемию (метаболические нарушения), случайную гипотермию, тампонаду перикарда, тромбоэмболию (инфаркт миокарда, тромбоэмболию легочной артерии) и напряженный пневмоторакс.	Длительное искусственное дыхание >20 мин в случае асистолии (исключение: случайное переохлаждение, интоксикация и подозрение на тромбоэмболию легочной артерии) или >120 мин в случае стойкой фибрилляции желудочков/желудочковой тахикардии
	Низкий уровень pH (<6,8) и высокий уровень лактата (>20 ммоль/л) Клинические признаки тяжелого необратимого повреждения головного мозга или ожидаемый неблагоприятный неврологический прогноз
	Отказ пациента (предварительное указание, наличие листка неотложной помощи по предварительному планированию лечения).
	Противопоказания к полной антикоагулянтной терапии (например, активное кровотечение, тяжелая травма или гемоторакс после искусственного кровообращения) СЛР: сердечно-легочная реанимация; ЭКПР: экстракорпоральная сердечно-легочная реанимация; ХИТ: гепарин-индуцированная тромбоцитопения.

Длительность применения ПКТ-ЭКМО зависит от многих факторов и в ряде случаев при неэффективности процедуры необходимо принимать решение о возможной трансплантации сердца (см. раздел).

Решение об инициации ПКТ-ЭКМО в случае ПМКШ должны приниматься коллегиально командой в составе хирурга, анестезиолога, перфузиолога, администрации ЛПУ и тщательно описано в медицинской документации.

Необходимость применения ЭКМО в послеоперационном периоде, возможности и перспективы терапии должны быть аккуратно и полно разъяснены законным представителям пациента.

Долгосрочная выживаемость и качество жизни пациентов, которым требуется ПКТ-ЭКМО, непредсказуемы. Менее 50% взрослых пациентов с ПКТ-ЭКМО доживают до выписки из больницы [64], у многих пациентов возникают серьезные осложнения [65]. Неопределенность результата, ограниченное понимание технологии и возросшая ответственность за принятие решений и уход за больными вызывают острый психологический стресс и перенапряжение у членов семей взрослых пациентов с ЭКМО. Во многих случаях событие продолжает оказывать влияние на членов семьи, и они испытывают стойкие симптомы, которые не исчезают. с посттравматическим стрессовым расстройством спустя годы [66].

Отказ от ЭКМО может быть предпринят, когда будет установлено, что приемлемое качество жизни недостижимо. Во многих случаях при принятии решения о расширении, деэскалации или прекращении лечения медицинская бригада должна учитывать клиническое состояние пациента, прогнозируемую клиническую траекторию, задокументированные или заявленные дополнительные указания и пожелания пациента или его законного представителя. За редким исключением, самостоятельные решения о лечении у пациентов с ПКТ-ЭКМО, как правило, это невозможно. Хотя решение о начале оказания помощи в связи с ПКТ-ЭКМО принимается исключительно медицинской бригадой в условиях относительно острой ситуации, решения о продолжении лечения и прекращение поддержки принимаются исключительно медицинскими работниками.

Следует как можно раньше обсудить информацию о рисках, преимуществах и потенциальных недостатках поддержки ЭКМО. Члены семьи должны быть проинформированы о клиническом состоянии пациента. Вопрос о возможном участии законных представителей в посещении и уходе за пациентом, остается открытым. Реалистичные, основанные на фактических данных прогнозы и ожидания в отношении значимой выживаемости и ожидаемого качества жизни, а также методы лечения и технологии, необходимые для их достижения, должны регулярно пересматриваться и обсуждаться с членами семьи [67].

4. ОСЛОЖНЕНИЯ ПРОЦЕДУРЫ ЭКМО

Условно, все осложнения, которые могут быть связаны с применением ЭКМО делятся на [2,4,7,8,16,68]:

- 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 часа или необходимость применения трансфузии эритроцитсодержащих сред в объеме более 10 мл/кг/сутки [2,4,69,70,71,72].

Развитие кровотечения требует:

1) Отмены введения антикоагулянтов на срок от 12 до 24 часов. Возобновление антикоагулянтной терапии возможно только при формировании устойчивого гемостаза.

2) Достижения целевых показателей системы гемостаза:

- Число тромбоцитов более 80.000/мкл при нормальной МА (ТЭГ) или MCF (РОТЭМ)
- Уровень МНО не более 1,3 при нормальном интервале R (ТЭГ) или СТ (РОТЭМ)
- Уровень фибриногена более 1,5 г/л
- Отсутствие первичного гиперфибринолиза при LY30 < 8% (ТЭГ) или 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 рассматривается только при подозрении на избыток циркулирующего гепарина 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 [2,4,69,70,71,72]. 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»).

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

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 ΔP является одним из самых ранних маркеров тромбоза оксигенатора, который приведет к гемолизу.

5. МОНИТОРИНГ ПРИ ЭКМО

Полноценный мониторинг состояния пациента и параметров ЭКМО в большинстве случаев позволяет предупредить осложнения на ранних этапах лечения. Мониторинг при процедуре

ЭКМО состоит из нескольких принципиальных компонентов проверки (Рисунок 13) [2,4,16,73,74,75,77,78]:

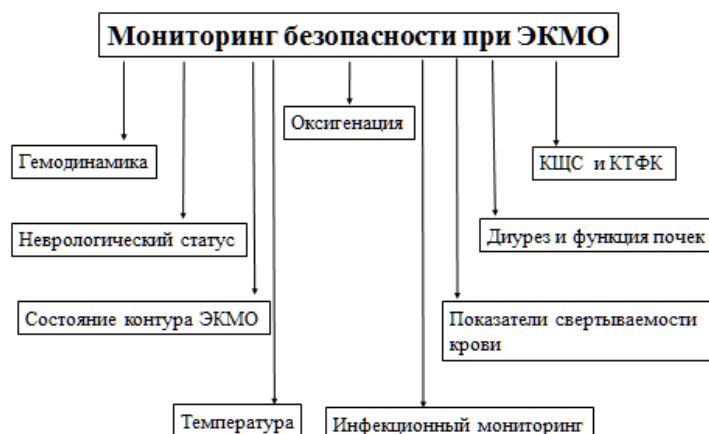


Рисунок 13. Мониторинг безопасности при проведении ЭКМО

5.1. Контроль состояния пациента

- Уровень пациента на медицинской кровати должен находиться выше уровня расположения центрифужной головки импеллера. Это облегчает венозный возврат в контур ЭКМО, головной конец приподнят на 15-30°;
- Уровень седации / бодрствования – при необходимости продленной седации и миоплегии 1 раз в сутки осуществляется перерыв в их использовании с оценкой уровня сознания, рефлексов, патологических знаков. Предпочтительный уровень седации -1-2 по шкале RASS (Richmond Agitation-Sedation Scale);
- Геморрагические/ишемические проявления – использование антикоагулянтной терапии во время ЭКМО повышает риски развития геморрагических осложнений со стороны ЦНС, желудочно-кишечного тракта, трахеостомы, мест канюляции, инвазивных линий,
- Оценка риска возникновения пневмоторакса (аускультация легких, рентген органов грудной клетки не реже 1 раза в 2 суток, оценка подвижности грудной клетки, оценка асимметрии);

5.2. Контроль параметров гемодинамики и лабораторных показателей [77]

✓ НЕПРЕРЫВНО

- Мониторинг ЧСС, АД, САД, АДпульс, ЦВД, ЭКГ, Sat, TspO₂ (особенно при канюляции бедренной артерии)
- Мониторинг давления Pdrain1, Ppre2, Ppost3, ΔP, PpostO₂, Q
- Почасовой диурез ~ 1-2 мл/кг/час
- Мониторинг ИВЛ, строгая легочная гигиена, профилактика ателектазов

✓ КАЖДЫЕ 4-6 ЧАСОВ [78]

- Swan-Ganz, PICCO – ДПП, ДЛА, ДЗЛК, СИ

- SO_2 , pO_2 из центральной вены, из магистрали перед оксигенатором, из магистрали после оксигенатора, из лучевой артерии каждые 4-6 часов
- Контроль АСТ ($180 < АСТ < 250$ сек), АЧТВ ($60 < АЧТВ < 80$ сек) каждые 4-6 часов

✓ ЕЖЕДНЕВНО и при необходимости

- ЭхоКГ – ДПП, КДО и КСО, КДР и КСР ПЖ и ЛЖ, УО, ДЛА, СИ - наличие тромбов, поражение клапанов
- Допплеровское исследование сосудов – контроль проходимости катетеризированных сосудов
- Рентгенологическое исследование ОГК (КТ при необходимости, в т.ч. ГМ)
- Контроль уровня тромбоцитов ($> 50 \times 10^9$), Hb (> 10 г/дЛ), Hct, фибриногена, антитромбин III ($> 50\%$), тромбоэластограмма - 1-2 раза в день
- Биохимический анализ крови, контроль функции почек, печени, повреждения миокарда (КФК, МВ-КФК)

✓ РЕГУЛЯРНО

- Контроль инфекционных осложнений, посевы

5.3. Проверка ЭКМО

- Контроль температурного режима перфузии;
- Оценка газотранспортной функции оксигенатора ($P_{postO_2} > 300$ мм рт.ст. при $F_{oxyO_2} = 1,0$);
- Оценка коэффициента рециркуляции при ВВ ЭКМО и синдрома Арлекина при ВА ЭКМО;
- Визуальный осмотр контура ЭКМО от мест подключения газовых магистралей и кабеля электропитания к консоли до мест канюляции, аускультация импеллера, оценка уровня давлений в контуре, соответствующих параметрам безопасной перфузии;
- Контроль наличия расходных материалов, лекарственного обеспечения раз в сутки приходящей сменой

5.4. Оценка гемодинамики

Является комплексной с применением рутинного мониторного, лабораторного, инструментального наблюдения, инвазивных методов оценки с помощью мониторинга PiCCO или катетера Swan-Ganz. Целесообразность инвазивных методов оправдана при имеющихся проблемах со стороны сократимости миокарда, при управлении дистрибутивным шоком, необходимости мониторинга давления в легочной артерии. Выполняется рутинный ЭхоКГ мониторинг функции миокарда с оценкой геометрии и сократимости желудочков, функции клапанного аппарата. Проводится оценка метаболизма, определение соответствия доставки потреблению O_2 , уровень лактата в артерии, $Pv-aCO_2$, $ScvO_2$, темп диуреза [75,76];

5.5. Контроль респираторной поддержки

Соответствие режиму протективной ИВЛ (дыхательный объем 4-6 мл/кг от идеальной массы тела, $FiO_2 < 70\%$, ЧД < 20 в мин, $R_{пик} (R_{плато}) \leq 30$ см H_2O , driving pressure ($R_{плато} - ПДКВ$) ≤ 15 см H_2O). Ежедневно может выполняться УЗИ оценка легких (В-линии), рентгенография органов грудной клетки (не реже, чем раз в два дня), при необходимости КТ органов грудной клетки [118].

5.6. Контроль функции висцеральных органов, кровоснабжения нижних конечностей, инфекционный мониторинг [79,80]

Ежедневный контроль общеклинических биохимических показателей, контроль функции почек. УЗИ органов брюшной полости с контролем уровня висцерального кровотока, УЗИ плевральных полостей, УЗДГ сосудов нижних конечностей. Поддержание диуреза 1 мл/кг/час, умеренного отрицательного баланса, общий объем инфузии без учета препаратов крови должен быть ограничен только необходимостью введения антимикробных препаратов.

Контроль неврологического статуса, как указывалось выше, следует осуществлять не реже 1 раза в сутки – при отрицательной динамике, выполнение КТ головного мозга.

6. АНТИКОАГУЛЯНТНАЯ ТЕРАПИЯ [81]

Наличие чужеродной полимерной поверхности контура ЭКМО способствует развитию тромбообразования, который происходит в несколько этапов с участием клеточного и гуморального звеньев гемостаза.

Несмотря на то, что все современные контуры для ЭКМО покрыты биосовместимым антикоагулянтным покрытием, ведение процедуры ЭКМО требует сопутствующей антикоагулянтной терапии. Препарат для антикоагуляции должен обладать следующими основными свойствами: иметь предсказуемый и обратимый эффект, короткий период полувыведения, легкую управляемость и наличие антагониста. Препаратом выбора является нефракционированный гепарин (НФГ). НФГ используется на этапе канюляции в дозе 50–100 ЕД/кг в зависимости от исходного состояния коагуляционного гемостаза и предшествующей антикоагулянтной терапии [82]. При проведении мероприятий сердечно-легочной реанимации НФГ применяется только после исключения геморрагического синдрома с помощью КТ и иных методов. Поддерживающая доза гепарина начинает вводиться спустя примерно час после инициации ЭКМО. Стартовая скорость введения НФГ составляет 7,5–20 ЕД/кг/ч внутривенно при отсутствии геморрагических проявлений. Терапевтический диапазон скорости введения поддерживающей дозы НФГ обычно составляет 25–50 ЕД/кг/час и зависит от показателей

свертываемости, наличии геморрагических проявлений или осложнений. НФГ может вводиться в любую линию венозного доступа. При сочетанном применении методов заместительной почечной терапии (ЗПТ), учитывая большой риск тромбообразования при низком потоке через гемофильтр – перед гемофильтром. Чем меньше производительность ЭКМО, тем в большей поддерживающей дозе НФГ нуждается пациент. Элиминация гепарина происходит преимущественно через почки, в связи с этим полиурия, либо избыточная ультрафильтрация будут способствовать снижению эффективности НФГ и требовать увеличения скорости введения. В случае необходимости выполнения инвазивных манипуляций (операций), сопряженных с риском развития геморрагических осложнений, поддерживающую терапию НФГ следует прекратить (обычно на 4–6 часов). Манипуляция (операция) может быть выполнена при лабораторных данных нормокоагуляции. Возобновление введения НФГ возможно после выполнения манипуляции (операции) при устойчивом локальном гемостазе, отсутствии геморрагических проявлений. Не следует увеличивать скорость введения НФГ при признаках тромбоза экстракорпорального контура ввиду отсутствия его влияния на сформировавшиеся тромбы и повышение риска системных геморрагических осложнений.

Проведение ЭКМО требует регулярной оценки активности антитромбина. Антитромбин - антикоагулянтный белок, синтезируемый в печени. Его антикоагулянтный эффект реализуется через ингибирование тромбина и фактора Ха. Оптимальная активность АТ для пациентов, получающих НФГ при ЭКМО неизвестна [83]. Необходимость увеличения дозы НФГ для достижения оптимальных значений гипокоагуляции (гепарин-резистентность) следует рассмотреть с точки зрения дефицита АТ. Заместительная терапия препаратами антитромбина (АТ III человеческий) может быть рекомендована при снижении его активности менее 50% по отношению к нормальной плазме человека (по данным различных центров – менее 30–80%), либо при наличии доказательств снижения эффективности вводимого НФГ при исключении иных причин. Трансфузия свежезамороженной плазмы (СЗП) с целью коррекции дефицита АТ менее эффективна в сравнении с введением нативного или рекомбинантного АТ, поскольку не достигает адекватного уровня активности вследствие низкой его концентрации (1 ЕД/мл), что требует большого объема трансфузионной терапии.

Существует ряд тестов на основе цельной крови и плазмы для оценки коагуляции *in vitro*, однако каждый из них имеет свои ограничения при использовании в мониторинге антикоагулянтной терапии во время ЭКМО. Коагуляционные пробы, выполненные на одном аппарате и в одной лаборатории, могут иметь отличия от выполненных в других условиях. Использование одного метода оценки эффективности антикоагулянтной терапии неприемлемо. В связи с этим необходима комплексная оценка системы гемостаза и эффективности антикоагулянтной терапии, комбинацией различных методик определения с принятой локальным

протоколом кратностью или частотой отбора проб. Лабораторный контроль терапии антикоагулянтами должен выполняться не реже 1 раза за 6–8 часов времени нахождения пациента на ЭКМО и через 30–60 минут после изменения дозы антикоагулянта, либо после проведения терапии препаратами или компонентами, влияющими на гемостаз. Отбор проб крови для оценки антикоагуляции можно осуществлять из любой инвазивной линии пациента или контура ЭКМО, исключив попадание в пробу «нециркулирующего» НФГ (промывочного раствора). В качестве основных тестов оценки антикоагулянтной терапии используются следующие:

1. АСТ – время активированного свертывания (Activated Clotting Time). Прикроватный метод оценки цельной крови. На результаты метода влияет ряд факторов: анемия, гипофибриногенемия, тромбоцитопения, гипотермия, гемодилюция и другие. АСТ имеет слабую корреляцию с дозой НФГ при введении его в малых дозах [84]. Фиксированное изменение скорости введения НФГ не означает фиксированного результата пробы (таблица 14). Поэтому метод не рекомендуется как основной при оценке антикоагулянтного эффекта при проведении ЭКМО. Необходимыми значениями АСТ при ЭКМО является уровень 180–220 секунд (при искусственном кровообращении 480–600 секунд) [85].

Таблица 14. Номограмма зависимости АСТ от скорости НФГ* (адаптировано от A.Protti et al. 2016)

АСТ	< 140	141-160	161-179	180-210	211-240	241-270	> 270
Болюс (ЕД/кг)	20	10	0	0	0	0	0
Остановка инфузии, мин.	0	0	0	0	0	30	60
Коррекция дозы	+30%	+20%	+10%	0	-10%	-20%	-30%
Контроль АСТ через, час	1	1	2	2	2	1	1

*- приведены примерные расчетные показатели, которые могут отличаться ввиду различий используемого гепарина, анализаторов.

2. АЧТВ – активированное частичное тромбопластиновое время. Тест, при котором используется плазма и активатор ионов кальция и фосфолипидных комплексов для определения времени образования фибрина при отсутствии клеточных компонентов. Проба выполняется в лабораторных условиях, с установкой терапевтического диапазона результатов на анализаторе для исключения влияния особенностей прибора и используемых реактивов (таблица 15). Показатель АЧТВ имеет более высокую корреляцию со скоростью введения НФГ в сравнении с показателем

АСТ. Рекомендуемые целевые значения АЧТВ составляют 50–70 секунд или 1,5–2 нормы от референсных значений (гАЧТВ – отношение полученного результата к нормальной величине). Антикоагулянтная стратегия на основе контроля показателя АЧТВ при проведении ЭКМО характеризуется меньшим числом геморрагических и тромботических осложнений в сравнении со стратегией АСТ контроля [86].

Таблица 15. Номограмма зависимости гАЧТВ от скорости НФГ* (адаптировано по A.Protti et al. 2016)

гАЧТВ	≤ 1,20	1,21-1,30	1,31-1,49	1,5-2,00	2,01-2,25	2,26-2,49	≥ 2,50
Болюс (ЕД/кг)	20	10	0	0	0	0	0
Остановка инфузии, мин.	0	0	0	0	0	30	60
Коррекция дозы	+20%	+15%	+10%	0	-10%	-20%	-30%
Контроль гАЧТВ через час	2	4	6	8	6	4	2

*- приведены примерные расчетные показатели, которые могут отличаться ввиду различий используемого гепарина, анализаторов.

Отсутствие изменений показателей АСТ или АЧТВ при изменении скорости введения гепарина является гепаринрезистентностью и может свидетельствовать о дефиците уровня АТ III, содержание которого должно составлять более 70%. При обнаружении дефицита менее 70% производится коррекция введением концентрата АТ III. Необходимое количество АТ III рассчитывается по формуле: $\text{АТ III ед.} = (\text{Цель \%} - \text{АТ III \%}) \times \text{МТ} / 1,4$, где МТ – масса тела.

3. Измерение активности анти-Ха фактора (анти-Ха). Стандарт эффективности антикоагулянтной терапии не только НФГ, но и низкомолекулярными гепаринами (НМГ). Анализ активности анти-Ха не измеряет концентрацию НФГ, а определяет антикоагулянтный эффект действия комплекса НФГ-АТ на Ха фактор. В отличие от анализов АСТ и АЧТВ анализ активности анти-Ха является специфичным, не зависит от гемодилюции, гипотермии, тромбоцитопении, дефицита других факторов свертывания. Однако на его определение влияют гипербилирубинемия, свободный гемоглобин, хилез, которые ложно могут снижать его активность. Активность анти-Ха показывает хорошую корреляцию со скоростью вводимого НФГ (таблица 16). Большинство ЭКМО центров используют целевой уровень активности анти-Ха от 0,3 до 0,7 МЕ/мл [87].

Таблица 16. Номограмма зависимости активности анти-Ха от скорости НФГ* (адаптировано по Т.Броган 2017)

Целевая активность анти-Ха (МЕ/мл)	Уровень анти-Ха (МЕ/мл)	Изменение скорости введения НФГ
0,3-0,5	<0,3	↑ 10-20%
	0,3-0,5	Не менять
	>0,5	↓ 10-20%
0,4-0,6	<0,4	↑ 10-20%
	0,4-0,6	Не менять
	>0,6	↓ 10-20%
0,5-0,7	<0,5	↑ 10-20%
	0,5-0,7	Не менять
	>0,7	↓ 10-20%

*- приведены примерные расчетные показатели, которые могут отличаться ввиду различий используемого гепарина, анализаторов.

4. Тромбоэластография (ТЭГ), ротационная тромбоэластометрия (РОТЭМ). ТЭГ и РОТЭМ являются тестами, определяющими вискоэластические свойства цельной крови от момента образования фибрина до лизиса сгустка, включая вклад тромбоцитов. Тесты дают представления о нескольких фазах свертывания цельной крови и позволяют выделить уровень нарушения системы гемостаза. Интервал R (kaolin-TEG-R для ТЭГ) или СТ (INTEM-СТ для РОТЭМ) при проведении антикоагулянтной терапии на ЭКМО должен составлять 2-4 нормы в зависимости от прибора. Применение тестов с гепаринойзой позволяет оценить эффективность антикоагулянтного действия НФГ, особенно при подозрении на гепаринрезистентность и дефицит АТ. Тесты включают анализ функции фибриногена и позволяют рассчитать необходимое количество криопреципитата для коррекции его дефицита [88].

5. Определение числа тромбоцитов. Число тромбоцитов перед инициацией ЭКМО и во время ЭКМО должно составлять не менее 50.000/мкл. Если число тромбоцитов менее порогового значения, постановке системы ЭКМО должна предшествовать их трансфузия. Тестами оценки функции тромбоцитов, особенно при их нормальном уровне при геморрагическом синдроме или применении антиагрегантной терапии, являются ТЭГ (РОТЭМ).

6.1 Гепарин-индуцированная тромбоцитопения (ГИТ)

По данным литературы частота развития ГИТ у пациентов, получающих гепарин, составляет 0,1%–5%. ГИТ обусловлена аутоиммунным механизмом взаимодействия интегриновых

рецепторов с гепарином и выработкой, так называемого, тромбоцитарного фактора PF4, который в комплексе с гепарином приводит к выработке антитромбоцитарных иммуноглобулинов, активирующих тромбоциты. В результате этого происходит избыточная активация тромбоцитов, формирование микротромбов с последующим снижением уровня тромбоцитов и тромбоцитопенией [89].

Прогноз развития ГИТ оценивается по шкале 4Ts (таблица 17) [90,91]. Оценка баллов для каждого пункта, после этого оценка общих баллов ГИТ (максимум 8): Высокая = 6–8; Средняя = 4–5; Низкая = 0–3.

Таблица 17. Оценка вероятности ГИТ при первом подозрении (Шкала 4Ts)

Баллы	2	1	0
Тромбоцитопения	Количество тромбоцитов снизилось $>50\%$, максимальное снижение $>20 \times 10^9/\text{л}$	Количество тромбоцитов снизилось на 30-50%, максимальное снижение $10-19 \times 10^9/\text{л}$	Количество тромбоцитов снизилось $<30\%$, максимальное снижение $<10 \times 10^9/\text{л}$
Сроки снижения количества тромбоцитов	Четкое начало через 5-10 дней после введения или быстрое снижение (<1 дня) (от введения гепарина прошло <30 дней)	Снизилось через 5-10 дней, но начало не четкое (<i>н-р, отсутствуют значения тромбоцитов</i>); начало после 10 дня; быстрое снижение (<1 дня) (от введения гепарина прошло 30-100 дней)	Количество тромбоцитов снизилось в течение <4 дней, не было недавнего введения гепарина
Тромбоз или другие последствия	Новый тромбоз (подтвержденный); некроз кожи; острая системная реакция после болюсного в/в	Прогрессирующий или повторный тромбоз; не некротизирующие (<i>эритематозные</i>)	Нет

	введения нефракционированного гепарина	повреждения кожи; подозрение на тромбоз (<i>не подтвержден</i>)	
Другие причины тромбоцитопении	Не выявлены	Возможны	Точно есть

Основным методом диагностики ГИТ является выполнение иммунологического лабораторного теста ELISA (Enzymelinked Immunosorbent Assay = Ферментный иммуносорбентный анализ), а так же определение иммуноглобулинов G к ГИТ (ГИТ-IgG > 1). При выявлении ГИТ переливание тромбоконцентрата возможно только по жизненным показаниям при кровотечении. Необходимо исключить применение НФГ и НМГ. Антикоагулянтная терапия может быть продолжена прямым ингибитором тромбина бивалирудином или фондапаринуксом. Наличие тромбоцитопении, не связанной с ГИТ, не является показанием для отмены НФГ или смены стратегии антикоагулянтной терапии. По данным мета-анализа F. Jiritano и соавт., у пациентов во время проведения ЭКМО у 21% пациентов развивается тромбоцитопения, при этом распространённость ГИТ составила лишь 3,7% [92]. Ограничение применения НФГ в качестве антикоагулянта в случае тромбоцитопении, не обусловленной развитием ГИТ, может повысить расходы на лекарственную терапию и лабораторный мониторинг.

6.2. Гепарин-резистентность

В случае превышения средней поддерживающей дозы гепарина при проведении ЭКМО определить причины гепаринрезистентности и изменить антикоагулянтную стратегию. Случаи, когда поддержание уровня антикоагуляции требует введения доз НФГ выше рекомендованных, рассматриваются как гепаринрезистентность. К ним относятся: поддерживающая доза НФГ более 35.000 МЕ/сут., либо невозможность поддержания целевых значений АСТ, АЧТВ, анти-Ха активности. Наиболее частой причиной гепаринрезистентности является дефицит АТ. Другими причинами могут быть повышенный почечный клиренс гепарина, повышение уровня плазменных прокоагулянтных факторов, не связанных взаимодействием с гепарином (VIII и I). Если дефицит АТ исключен, требуется изменение антикоагулянтной стратегии [93].

6.3. Применение антиагрегантной терапии

При проведении ЭКМО пациентам при чрескожном коронарном вмешательстве (ЧКВ) со стентированием и после него требуется назначение двойной антиагрегантной терапии. Проведение

ЭКМО у пациентов с остановкой кровообращения и кардиогенным шоком вследствие острого коронарного синдрома с последующим выполнением ЧКВ и стентированием коронарных артерий, либо при необходимости выполнения ЧКВ пациентам высокого риска, требующих стентирования коронарных артерий, необходимо назначение двойной антиагрегантной терапии, поскольку применяемые во время ЭКМО антикоагулянты не обладают антиагрегантным эффектом и не предупреждают тромбообразование внутри стента. Двойная антиагрегантная терапия назначается в соответствии с рекомендациями ACC/AHA/SCAI 2021 года и включает применение ацетилсалициловой кислоты в сочетании с клопидогрелем, или прасугрелем, или тикагрелором. Однако S. Rajsik и соавт. полагают, что для обеспечения проходимости коронарного стента в качестве антиагреганта достаточно сочетания НФГ и ацетилсалициловой кислоты [94]. В ретроспективном исследовании влияния сочетания двойной антиагрегантной терапии и инфузии НФГ у пациентов на ВА ЭКМО не выявлено различий в частоте развития геморрагических осложнений между с пациентами, не получавшими антитромботическую терапию (соответственно 66,7% и 57,1%, $p=0,35$) [95]. Учитывая высокий риск геморрагических осложнений сочетания антикоагулянтов с двойной антиагрегантной терапией, возможно следует придерживаться нижних границ рекомендуемых показателей эффективности антикоагуляции (для АЧТВ 50 секунд, для АСТ 180 секунд, для активности анти-Ха 0,3 МЕ/мл).

6.4. Фибринолитическая терапия

Фибринолитическая терапия не является основанием для отмены антикоагулянтной терапии НФГ при проведении ЭКМО. Фибринолитическая терапия, которая может быть начата или осуществлена в период до определения показаний к применению ЭКМО (кардиогенный шок при ТЭЛА, остром инфаркте миокарда с подъемом сегмента ST) или во время проведения ЭКМО не является основанием для изменения стратегии антикоагулянтной терапии НФГ. Применение в качестве фибринолитического препарата урокиназы и стрептокиназы требует прекращения инфузии НФГ на период их введения, при тромболизисе алтеплазой введение НФГ продолжается, с оценкой эффективности принятыми тестами [96]. Вероятно, следует придерживаться нижних границ рекомендуемых показателей антикоагуляции НФГ для снижения риска геморрагических осложнений.

6.5. Проведение ЭКМО без антикоагулянтной терапии

При наличии противопоказаний к применению антикоагулянтной терапии проведение ЭКМО возможно без использования антикоагулянтов. Рассмотрение вопроса о прекращении или снижении системной антикоагулянтной терапии может быть особенно актуальным у пациентов с геморрагическими проявлениями или тяжелыми травмами. Отсутствие системной

антикоагулянтной терапии в условиях ЭКМО может снизить риск кровотечения у пациентов с тяжелой коагулопатией или высоким риском геморрагических осложнений. Систематический обзор исследований S. Olson и соавт. о пациентах, получавших поддержку ЭКМО без системной антикоагулянтной терапии, показал, что частота тромбозов контура ЭКМО и тромботических осложнений у пациентов была сопоставима со случаями, при которых проводилась стандартная антикоагулянтная терапия [97]. Однако эти выводы ограничены характером и качеством включенных исследований (небольшие и не рандомизированные). В отсутствие проспективных клинических данных и рандомизированных исследований нет оснований выступать за рутинное исключение системной антикоагулянтной терапии во время ЭКМО. Отсутствие антикоагуляции на ЭКМО потребует более частого мониторинга системы гемостаза с выявлением начальных признаков тромбоза контура ЭКМО, а также наличия в прямом доступе дополнительного комплекта оксигенатора с магистралями и канюлями.

7. ПРИМЕНЕНИЕ ЭФФЕРЕНТНЫХ МЕТОДОВ ТЕРАПИИ ПРИ ЭКМО

По мере увеличения объема и сложности лечения пациентов, получающих сердечную и/или респираторную поддержку при ЭКМО, возрастает необходимость в дополнительной экстракорпоральной поддержке органов. Для пациента, получающего традиционную ЭКМО, в соответствии со схемой ЭКМО могут использоваться другие методы лечения, поддерживающие работу органов. Схема ЭКМО может служить платформой, на которой могут быть добавлены другие методы лечения, поддерживающие работу органов.

Пациенты на ЭКМО представляют собой самых тяжелых пациентов, с которыми приходится сталкиваться в отделениях интенсивной терапии, и подвергаются высокому риску развития синдрома полиорганной недостаточности (СПОН).

Причинами развития острого повреждения органов еще до начала и во время ЭКМО могут быть [98]:

- циркуляторная гипоксия, на фоне значительного снижения сердечного выброса при кардиогенном шоке или длительной гипоксии при нарушении оксигенирующей функции легких различной этиологии,
- интоксикация на фоне сепсиса;
- реперфузионное повреждение;
- токсическое действие лекарственных препаратов и многие другие факторы.

Одними из первых органов-мишеней становятся почки.

Острое повреждение почек (ОПП) – патологическое состояние, развивающееся в результате непосредственного острого воздействия ренальных и/или экстраренальных повреждающих факторов, продолжающееся до 7-ми суток и характеризующееся быстрым (часы-дни) развитием

признаков повреждения или дисфункции почек различной степени выраженности. Поскольку острое повреждение почечной паренхимы может быть обусловлено не только ренальными (почечными), но также преренальными и постренальными факторами, англоязычному термину «acute kidney injury» соответствует перевод «острое повреждение почек» [98,99].

Диагноз ОПП устанавливается при наличии одного из критериев:

- Увеличение креатинина сыворотки крови $> 0,3$ мг/дл (26,5 мкмоль/л) в течение 48 часов ИЛИ
- Увеличение креатинина сыворотки крови $> 1,5$ раза от известного или предполагаемого в течение последних 7 дней исходного значения ИЛИ
- Диурез $< 0,5$ мл/кг/час в течение 6 час.

Причины ОПП [100]:

✓ **Постренальные**

- поражение мочеточников вследствие обструкции или сдавления;
- поражение мочевого пузыря;
- камни уретры.

✓ **Преренальные (рисунок 14)**



Рисунок 14. Преренальные причины ОПП.

✓ **Ренальные**

- острый канальцевый (тубулярный) некроз ишемического, нефротоксического, лекарственного генеза (в 75% случаев),
- внутриканальцевая обструкция патологическими цилиндрами, пигментами, кристаллами,

- острый тубуло-интерстициальный нефрит лекарственного, инфекционного происхождения,
- острый пиелонефрит,
- некротический папиллит,
- кортикальный некроз: акушерский, при анафилактическом шоке, при остром сепсисе,
- гломерулонефриты,
- поражение почечных сосудов: травматическое, иммуновоспалительное,
- ламинарный поток при ВА ЭКМО,
- системный воспалительный ответ, поддерживаемый контактом крови с инородной поверхностью во время ЭКМО,
- гемолиз,
- гипергидротация при перегрузке объемом.

Для поддержания необходимого объема циркулирующей крови для адекватного сердечного выброса часто требуется дополнительная инфузия растворов. Во время старта ЭКМО часто требуется дополнительная инфузия жидкости и переливание крови для обеспечения достаточного потока и коррекции анемии или коагулопатии. Кроме того, необходимо учитывать, что в кровоток поступает достаточно большой объем (до 800 мл) кристаллоидов первичного раствора заполнения контура.

Избыточная, особенно быстрая, инфузия растворов ведет к увеличению объема, прежде всего в сосудах легких, больше чем в других органах. При быстрой инфузии, жидкость не успевает переместиться в интерстиций, и при этом жидкость депонируется в первую очередь в легочных венах. Имеются сведения о том, что легочные вены могут дополнительно вместить примерно 53% общего легочного объема крови.

При дальнейшей избыточной инфузии в действие вступает рефлекс Китаева. При этом рефлекс импульсы с рецепторов перерастянутых легочных вен, возбуждающе действуя на мускулатуру легочных артериол, суживают их, предотвращая таким образом переполнение легочных венозных сосудов.

Из-за спазма легочных артериол при дальнейшей избыточной инфузии наступает объемная перегрузка правых отделов сердца, в первую очередь правого желудочка.

При его чрезмерной перегрузке в действие вступает рефлекс Ярошевича. Импульсы с рецепторов легочных артерий, возбуждающе действуя на мускулатуру в устьях полых вен, суживают их, предотвращая таким образом переполнение правых отделов сердца.

Здесь граница, за которой далее приспособление может перейти в патологию. В случае продолжения избыточной инфузии - вследствие избыточного давления в правом предсердии и его перерастяжения возникают следующие условия:

Во-первых, ухудшается отток в правое предсердие значительной части крови из коронарных вен. Затруднение оттока по коронарным венам приводит к затруднению притока крови по коронарным артериям и доставки кислорода к миокарду (боль в области сердца).

Во-вторых, может возникнуть рефлекс Бейнбриджа - при усилении напряжения и растяжения стенки предсердия, обусловленные его перегрузкой объемом крови, при сокращении предсердия часто (но не всегда) возникает приступ тахикардии, которая всегда увеличивает потребность миокарда в кислороде.

Если компенсаторные возможности коронарного кровообращения не скомпрометированы и не реализуется рефлекс Бейнбриджа, то дальнейшая объемная перегрузка приводит к растяжению полых вен. При этом с рецепторов, расположенных в устьях полых вен, импульс поступает к центрам осморегуляции и в гипоталамусе (супраоптическое ядро). Уменьшается секреция вазопрессина, приводящая к полиурии (> 2000 мл/сут), что отмечается утром дежурным врачом (и, как правило, безотчётливо) – больной спасает себя. Хорошо, если у больного регуляция водного баланса не нарушена и почки функционируют, в противном случае больной будет «утоплен» с благими намерениями [101].

Однако трудности с поддержанием нормального объема внеклеточной жидкости могут привести к перегрузке жидкостью с соответствующим влиянием на клинические исходы.

У пациентов с ОРДС оптимальное введение жидкости должно обеспечивать адекватную доставку кислорода и при этом необходимо избегать увеличения внутрилегочной интерстициальной гидратации, которая может еще больше ухудшить газообмен.

Заместительная почечная терапия, по данным литературы, требуется более чем в 45% случаев процедуры ЭКМО. Острое повреждение почек чаще встречается при ВА ЭКМО, чем при ВВ ЭКМО (61% против 46%) и чаще всего присутствует уже на день инициации ЭКМО [100,102,103]. Целью ЗПТ является поддержание нулевого гидробаланса, снижение степени дыхательной недостаточности, обусловленной гипергидратацией, что в конечном результате приведет к уменьшению длительности процедуры ЭКМО, снижению летальности [16,104,105,106].

Причины почечной недостаточности у пациентов на ЭКМО являются:

- Полиорганная недостаточность на фоне сепсиса;
- Острое почечное повреждение на фоне циркуляторной гипоксии;
- Преренальная почечная недостаточность вследствие недостаточности кровообращения;
- Реперфузионное повреждение;

- Токсическое действие лекарственных препаратов

Согласно рекомендациям ELSO перегрузка жидкостью $>10\%$, ассоциирована с неблагоприятным исходом процедуры ЭКМО и оправдывает использование диуретиков при сохранной функции почек для активной дегидратации - «keep the patient close to dry weight» (поддержание сухого веса пациента) [106]. Показаниями к проведению ЗПТ будут являться:

- Положительный гемогидробаланс, без адекватной реакции на терапию диуретиками;
- Гиперкалиемия ($K^+ > 6,5$ ммоль/л),
- Метаболический декомпенсированный ацидоз ($pH < 7,15$),

Четкие критерии по уровню азотемии, требующей коррекции, отсутствуют.

На сегодняшний день нет единого протокола сочетанного проведения ЗПТ и ЭКМО. Индивидуальный подход к выбору оптимального варианта процедуры, когда преимущество отдается постоянным методикам ГД, УФ, ГДФ, при которых возможен контроль потоков, волеической нагрузки, элиминация средних молекул, снижение каскада СВР.

При подключении аппарата для проведения ЗПТ (рисунок 15) можно использовать как отдельный венозный доступ, так и интегрировать его в контур ЭКМО. При интеграции в контур ЭКМО необходимо учитывать максимальный приоритет безопасному подключению. Не следует подключать возвратную магистраль контура аппарата ЗПТ в постмембранную часть оксигенатора и в месте выхода артериальной магистрали аппарата ЭКМО, ввиду риска случайного попадания воздушных микроэмболов в артериальный кровоток особенно при ВА ЭКМО. Для сохранения целостности портов оксигенатора от случайного повреждения следует использовать мягкие переходники.

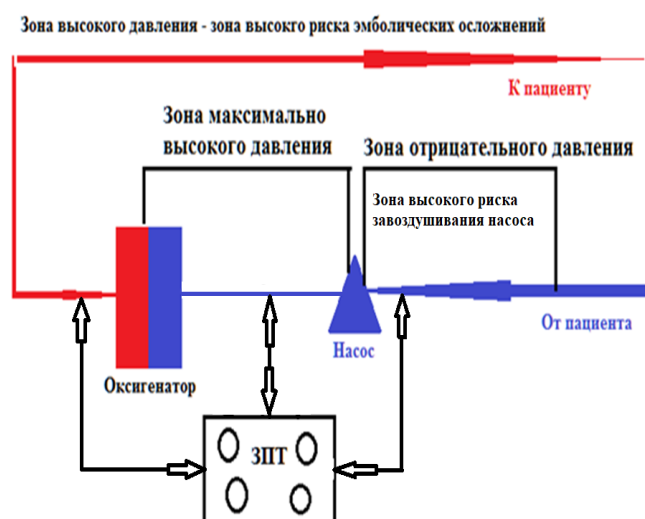


Рисунок 15. Варианты подключения контура ЗПТ в контур ЭКМО.

Каждый из указанных вариантов выбор должен основываться на максимальной безопасности для пациента, исходя из клинической ситуации и технических возможностей контура и аппарата

ЭКМО и оборудования для ЗПТ. Наиболее оптимально выбирать модификации с возвратом крови до оксигенатора, что будет снижать риски эмболии (особенно у пациентов на ВА ЭКМО).

На сегодняшний день нет данных о сроках начала ЗПТ на ЭКМО. Однако ряд исследований показали, что раннее начало ПЗПТ у пациентов на ЭКМО возможно и связано с улучшенными исходами [106].

Цитратная антикоагуляция может быть использована при проведении ЗПТ в сочетании с антикоагуляцией НФГ на ЭКМО, когда введение НФГ во время ЭКМО не показано или сопряжено с риском рецидива геморрагических осложнений. Комбинация цитратной антикоагуляции и введения НФГ при ЭКМО позволяет снизить риск тромбообразования в контуре ЗПТ и характеризуется снижением потребления тромбоцитов, и меньшим уровнем D-димера [106].

Контур ЭКМО, благодаря наличию зон с разным уровнем давления в системе позволяет использовать самопоточные сорбционные технологии. При этом необходимо учитывать, что поток через сорбционную колонку будет отличаться от рекомендованных 200 мл/мин в большую сторону. В связи с этим, время взаимодействия крови пациента с поверхностью сорбента будет укорочено, но, с другой стороны, риск тромбоза колонки будет меньше и срок ее службы увеличиться. При такой интеграции следует учитывать рециркуляцию крови через насос, объем которой может достигать 600 мл/мин поэтому потребуется увеличение объемной скорости перфузии, контролируемое по датчику потока на артериальной магистрали.

Предпочтительнее использовать отдельный контур с аппаратом ЗПТ при проведении гемосорбции для облегчения процесса промывки колонки и предсказуемости ожидаемого эффекта.

8. ВЕДЕНИЕ ПАЦИЕНТОВ НА ЭКМО

Пациент, находящийся на ЭКМО имеет следующие особенности:

1. Наличие большого количества внутрисосудистых катетеров (канюли ЭКМО, катетер в центральной вене, артериальный катетер, катетер мониторинга PiCCO или термодилуционный катетер Swan-Ganz);
2. Необходимость частого отбора проб крови для лабораторного анализа, формирующих скрытую кровопотерю;
3. В большинстве случаев, исходное наличие тяжелой инфекции респираторного тракта, приведшей к необходимости использования ВВ ЭКМО, септическое состояние;
4. Продленная ИВЛ, а соответственно, высокий риск вентилятор-ассоциированной пневмонии и трахеобронхита, вентилятор-индуцированного повреждения легких;

5. Парез ЖКТ, повышение внутрибрюшного давления, компартмент-синдром помимо основных клинических проявлений будут оказывать негативное влияние на венозный возврат в систему ЭКМО ввиду экстравазального давления на нижнюю полую вену и дренажную канюлю;
6. Массивная антибактериальная терапия, в ряде случаев проводимая не по показаниям, с использованием антибиотиков резерва приводит к формированию антибиотикорезистентности и ограничениям выбора при ведении пациента на ЭКМО;
7. Вынужденная длительная иммобилизация вследствие применения продленной седации и миоплегии способствуют развитию полинейропатии и требуют активного участия в ведении больных специалистов по медицинской реабилитации.

8.1 Мероприятия по уходу за пациентами на ЭКМО

Пациент на ЭКМО требует особого внимания со стороны персонала ввиду большего риска развития инфекционных осложнений. На каждого пациента, дополнительно к карте интенсивной терапии следует вести карты респираторной поддержки, карту мониторинга параметров ЭКМО и карту микробиологического контроля (рисунки 16).

Мероприятия по уходу за пациентами на ЭКМО заключаются в [2,4,12,16,100,107]:

- ✓ Мониторинге состояния расширяется дополнительной аппаратурой (аппарат ЭКМО, терморегулирующее устройство, газовый смеситель);
- ✓ Понимании сигналов тревог и предупреждений, необычных для рутинной практики;
- ✓ Необходимости постоянного контроля положения больного относительно аппарата ЭКМО;
- ✓ Наблюдении за самочувствием пациента, выявления побочного действия антипсихотической, седативной и миорелаксирующей терапии;
- ✓ Позиционировании в постели, с приподнятым на 15° головным концом;
- ✓ Профилактики пролежней – регулярные повороты пациента, обработка кожных покровов, профилактика контрактур;
- ✓ Поддержании оптимального температурного режима;
- ✓ Тщательном и своевременном уходе за внутрисосудистыми катетерами, канюлями. Оптимальным с точки зрения ухода является использование прозрачных наклеек и био-патчей, пропитанных хлоргексидином;
- ✓ На фоне антикоагулянтной терапии необходимости строгого соблюдения правил отбора гемостазиологических тестов. Внутримышечные и подкожные инъекции не показаны ввиду риска формирования гематом;
- ✓ Использовании микронных фильтров для инфузионной терапии;
- ✓ Своевременной и регулярной санации полости рта и носа с применением антисептических растворов, гигиенической не травматичной чистке зубов;

- ✓ Профилактике полисинусита (назальные спреи, смена положения назогастрального зонда, аэрация полостей носа и рта, гастростомия);
- ✓ Конъюнктивальном уходе (глазные мази, гели);

[illegible]

Рисунок 16. Пример карты мониторингового ведения пациента на ЭКМО

- ✓ Контроле давления манжеты интубационной/трахеостомической трубки, поддержание головного конца кровати в приподнятом положении;
- ✓ Использовании закрытых аспирационных систем для санации трахеи;
- ✓ Применении увлажнителей дыхательного контура;
- ✓ Применении систем для отведения и герметизации каловых масс типа «flexy-seal»;
- ✓ Ведении дополнительных сестринских протоколов;
- ✓ Умении работать с лабораторными приборами (АСТ, анализатор КОС);
- ✓ Аккуратности и внимание при перестилании, повороте больных учитывая наличие магистралей контура и канюль.
- ✓ Особой осторожности при медицинской эвакуации и внутрибольничной транспортировке.

9. ТРАНСПОРТИРОВКА ПАЦИЕНТОВ НА ЭКМО

С развитием технологий, появлением новых типов компактных транспортных аппаратов ЭКМО расширились и возможности процедуры и практически пропало понятие «нетранспортабельного пациента» [108 -111].

9.1. Организация взаимодействия медицинских организаций

В медицинской организации, оказывающей медицинскую помощь по профилю «анестезиология и реанимация» и имеющей условия и возможность для самостоятельного применения методики ЭКМО локальным правовым актом, создается консультативный центр (далее Центр) и назначается должностное лицо (или несколько специалистов-анестезиологов-реаниматологов), ответственное за обеспечение телемедицинской консультации и/или при необходимости очной консультации, с привлечением профильных специалистов (консилиум), пациента с медицинскими показаниями (состоянием), требующими применения методики ЭКМО в данном лечебном учреждении или другом лечебном учреждении субъекта Российской Федерации. На базе данного лечебного учреждения организуется выездная бригада ЭКМО, включающая анестезиологов-реаниматологов, сердечно-сосудистых хирургов, медицинских сестер— анестезистов и при необходимости других специалистов (состав бригады определяется основным заболеванием и состоянием пациента), оснащенная всем необходимым оборудованием, в т.ч. диагностическим, расходными материалами, лекарственными препаратами для инициации процедуры по месту нахождения пациента.

Сведения о данном правовом акте и контактные данные Центра доводятся до руководителей медицинских организаций, оказывающих медицинскую помощь взрослому населению по профилю «анестезиология и реаниматология», включая организации, оказывающие скорую первичную и скорую специализированную медицинскую помощь и/или выполняющие медицинскую транспортировку пациентов.

Медицинская организация, оказывающая медицинскую помощь по профилю «анестезиология и реанимация» и не имеющая условий для самостоятельного применения методики ЭКМО, со своей стороны инициирует первичную медицинскую консультацию своего пациента специалистами Центра. При необходимости возможен выезд специалиста Центра для очной консультации.

По результатам консилиума (консультации), при подтверждении у пациента показаний к применению методики ЭКМО, принимается решение о транспортировке пациента для проведения ЭКМО в соответствующей медицинской организации, или выездная бригада Центра выезжает в медицинскую организацию к пациенту.

По прибытии специалисты выездной бригады Центра на основании выполненного лабораторно-инструментального обследования и очной консультации пациента, подтверждают наличие показаний и отсутствие абсолютных противопоказаний к применению методики ЭКМО. Специалисты бригады обеспечивают сосудистый доступ, инициацию процедуры ЭКМО, выполняются необходимые диагностические и лечебные мероприятия, направленные на стабилизацию витальных функций пациента, позволяющую осуществить медицинскую эвакуацию пациента в Центр для оказания специализированной, в том числе высокотехнологичной, медицинской помощи, в соответствии с патологией и развившимися осложнениями. в условиях автомобиля скорой медицинской помощи класса «С» или специализированного воздушного судна.

При необходимости возможно проведение телемедицинских консультаций и/или выезд бригады ЭКМО Центра в другие медицинские организации, оказывающие медицинскую помощь с применением методики ЭКМО, для методологической и практической помощи в проведении процедуры ЭКМО.

При необходимости сотрудники Центра осуществляют телемедицинские консультации с аналогичными Центрами других субъектов Российской Федерации или федеральными медицинскими центрами для принятия решений по процедуре ЭКМО и необходимости и/или возможности транспортировки пациента на ЭКМО для дальнейшего лечения в другом лечебном учреждении.

Выезд бригады и транспортировка пациента осуществляется с привлечением машины скорой помощи класса «С» медицинской организации Центра или с привлечением специализированных

транспортных средств (автомобиль, вертолет, самолет) соответствующих организаций субъекта Российской Федерации, выполняющих функции медицинской транспортировки пациентов.

9.2. Подготовка к транспортировке

Транспортную ЭКМО условно можно разделить на [12,111-114]:

- **Внутригоспитальную транспортировку** – процесс перемещения пациентов, осуществляемый медицинским персоналом внутри медицинской организации из одного отделения в другое для проведения лечебных или диагностических мероприятий.
- **Межгоспитальную медицинскую эвакуацию.** Одной из главных задач ЭКМО является возможность ее применения у пациентов в критическом состоянии вне лечебного учреждения с целью их дальнейшей медицинской эвакуации, либо эвакуация в другое специализированное лечебное учреждение для продолжения лечения или расширения возможностей терапии.

9.2.1. Оценка транспортабельности пациента

Перед принятием решения о транспортировке производится оценка транспортабельности пациента.

На основании анализа рисков негативного влияния медицинской эвакуации на состояние пациента была разработана модель «Негативное влияние транспортировки на состояние пациента» - шкала ШОТ («Шкала Организации Транспортировки») [111]. Были выделены наиболее значимые факторы, имеющие при этом клиническую значимость:

x1 – показатель $PaO_2/FiO_2 \leq 110$, если медицинская эвакуация проводится самолетом, показатель умножается на коэффициент 0,75;

x2 – возраст пациента ≥ 65 лет;

x3 – показатель VIS [1] (Vasoactive Inotropic Score – Общая доза инфузируемых адреномиметических препаратов) ≥ 4 баллов x10);

x4 – показатель $PaCO_2 \geq 55$ мм рт. ст.;

x5 – показатель $SvO_2 \leq 60$ %;

x6 – показатель ЧСС ≥ 127 уд/мин, если масса пациента меньше 10 кг, умножается на коэффициент 0,65;

x7 – применение ЭКМО.

Если фактор x1–x7 соответствовал условию уровня (точки) отсечения, значит фактор оценивается как 1, если не соответствует – 0.

Формула «ШОТ» имеет вид: $y = \exp(37 \cdot x1 + 6 \cdot x2 + 20 \cdot x3 + 16 \cdot x4 + 21 \cdot x5 + 27 \cdot x6 - 27 \cdot x7) / 1 + \exp(37 \cdot x1 + 6 \cdot x2 + 20 \cdot x3 + 16 \cdot x4 + 21 \cdot x5 + 27 \cdot x6 - 27 \cdot x7)$,

где y – оценка транспортабельности пациента;

x_1 – x_6 – факторы, оказывающие негативное влияние на транспортабельность пациента;

x_7 – фактор применения ЭКМО, оказывающий положительное влияние на транспортабельность пациента, посредством коррекции дыхательной и/или циркуляторной недостаточности.

Результат - 100-балльная система оценки:

- до 30 баллов – состояние пациента компенсированное, и он может быть эвакуирован;
- от 30 до 70 баллов – субкомпенсированное, пациент может быть эвакуирован только в условиях продолжающейся интенсивной терапии;
- при более 70 баллов – декомпенсированное, пациент не может быть эвакуирован до стабилизации состояния на уровень субкомпенсированного на фоне продолжающейся интенсивной терапии, включая применение ЭКМО, после чего повторно (как правило, через 1 ч) рассматривается возможность выполнения межгоспитальной медицинской эвакуации.

Возможен более простой вариант оценки транспортабельности, изложенный в таблице 18 [114].

Таблица 18. Оценка транспортабельности пациента.

СИСТЕМЫ	ПОКАЗАТЕЛИ	СОСТОЯНИЕ ВИТАЛЬНЫХ СИСТЕМ					
		Компенсация	Балл	Субкомпенсация	Балл	Декомпенсация	Балл
ССС	АД сред (мм рт.ст.)	90-130	0	50-89 / 131-160	1	< 50 / > 160	4
	ЧСС уд/мин	60-120		40-59/121-160		< 40 / > 160	
	ЦВД мм вод.ст.	60-120		0-59 / 121-140		Отр. / > 140	
	Добутамин	0		До 5		> 5	
ДС	ЧД в мин	10-35	0	6-9 / 36 -50	1	< 5 / >50	4
	FiO ₂ %	До 30		31 -50		>50	
	StO ₂ %	95-100		90-94		<90	
	РЕЕР см вод.ст.	0		До 5		>5	
ЦНС	Балл ШКТ	13-15	0	9-12	1	< 9	4

Балльная оценка каждой системы производится по наихудшему показателю, сумма баллов трех витальных систем соответствует:

0 баллов - компенсированное состояние витальных систем;

от 1 до 3 баллов - субкомпенсированное состояние витальных систем;

более 3 баллов - декомпенсированное состояние витальных систем.

Транспортировка пациента на ЭКМО является процедурой высокого риска, и должна осуществляться специализированной медицинской бригадой.

До начала любой транспортировки необходимо тщательно проработать логистику всего маршрута, тщательно рассчитать время на всех участках (с учетом возможных задержек), согласовать действия всех участников на всех этапах эвакуации.

9.2.2. Необходимое оборудование

Оборудование, необходимое для медицинской эвакуации пациента [12,112-114], вне зависимости от расстояния, на которое выполняется транспортировка, включает:

- **Общереанимационное:**
 1. Аппарат ИВЛ с турбоприводом и возможностью проведения ВИВЛ
 2. Монитор витальных функций с возможностью регистрации инвазивного АД, ЭКГ, SpO₂, FetCO₂, температуры тела
 3. Дефибриллятор
 4. Кислородные баллоны с редуктором дозированной подачи (расчет объема и количества баллонов осуществляется, исходя из исходного давления заправки, максимально возможного расхода во время транспортировки с учетом возможных задержек в пути)
 5. Аспиратор медицинский с питанием от аккумулятора
 6. Аспиратор низкого давления для дренированных полостей
 7. Шприцевые дозаторы не менее 4 штук
 8. Держатели-фиксаторы для оборудования и кислородных баллонов
 9. Необходимые лекарственные препараты и расходные материалы (такие лекарственные препараты как наркотические анальгетики, гипнотики, миорелаксанты, адреналин в разведении рекомендуется иметь в заправленных шприцах, готовых к немедленному использованию)
- **Специфическое оборудование для ЭКМО:**
 1. Транспортная консоль ЭКМО
 2. Держатели для фиксации консоли
 3. Стерильные магистральные зажимы не менее 4 штук
 4. Переносной аппарат УЗИ с набором датчиков
 5. Портативное лабораторное оборудование для анализа КОС, лактата, глюкозы и др.
 6. Хирургический набор для открытой периферической канюляции
 7. Электрокоагулятор для обеспечения гемостаза при открытой канюляции
 8. Локальный осветитель
 9. Термоодеяла (ТРУ при длительной транспортировке)

10. Расходные материалы (комплект оксигенатора с магистралями – 2 шт. либо один запасной при эвакуации пациента на ЭКМО, набор канюль различного диаметра, дополнительные наборы для канюляции по методике Сельдингера, фиксаторы канюль, переходники для возможной модификации контура, стерильное операционное белье, перевязочные материалы, антисептики и др.)

Перед началом транспортировки пациента, уже находящегося на ЭКМО, необходимо уточнить тип и метод канюляции, используемое оборудование. Необходимо убедиться в надежности фиксации канюль и магистралей ЭКМО, при наличии сомнений в надежности, необходимо наложить дополнительные швы или специальные фиксаторы. Необходимо обеспечить достаточный объем автономного кислорода (количество и объем баллонов в зависимости от расхода и/или разъемы и схему подключения к бортовому кислороду), и продумать количество аккумуляторов и/или схему подключения к бортовой сети во время транспортировки [113,115,116].

Порядок переключения ЭКМО на кислородный баллон идентичен для любого типа оборудования. Аппарат ЭКМО должен быть обеспечен отдельным кислородным баллоном, а не совместно с транспортным аппаратом искусственной вентиляции легких, что позволит безопасно осуществлять замену источника кислорода. Очень важно проверить, нет ли перегиба кислородной магистрали, и убедиться, что кислород свободно поступает в аппарат ЭКМО. Во время транспортировки кислородный баллон должен быть закреплен на тележке ЭКМО, на транспортной каталке или на кровати, чтобы предотвратить, отрыв кислородной магистрали от оксигенатора.

Большинство ЭКМО-консолей имеют довольно продолжительное автономное электропитание (от 30 мин до нескольких часов). Однако со временем емкость аккумуляторов может снижаться. Поэтому оборудование должно отключаться от постоянного источника питания в последний момент, чтобы максимально сохранить заряд аккумулятора. Наличие достаточно длинного кабеля питания для подключения в зале КТ, машине скорой помощи, на борту самолета. Резервный привод насоса (ручной или электропривод с запасным аккумулятором) всегда должен быть доступен.

Медэвакуация пациента на ЭКМО требует постоянного мониторинга параметров гемодинамики и газообмена (АД, ЧСС, SpO₂). Параметров работы оборудования ЭКМО недостаточно для обеспечения гемодинамического мониторинга пациента. Жизненно важные параметры пациента всегда должны быть видны на мониторе в реальном времени: ЧСС, среднее артериальное давление и SpO₂, а также параметры ЭКМО (скорость потока, число оборотов, температура, P1, P2, P3, ΔP).

Пациент и все оборудование (аппарат ИВЛ, ЭКМО, автоматические дозаторы и проч.) должно быть надежно закреплено на кровати каталке или рейлингах для предотвращения падения,

повреждения оборудования или компонентов контура ЭКМО, или спонтанной деканюляции [12,112-114].

9.3. Внутрибольничная транспортировка

Уход за пациентом на ЭКМО часто требует нескольких дополнительных обследований (КТ, ангиография) при переводе в операционную (таблица 19) [12]. Такого типа транспортировка часто может быть достаточно проста в осуществлении, однако могут вызвать множество осложнений или проблем, при несоблюдении правил. Особый риск представляет момент перекладывания пациента с кровати на транспортную каталку и/или операционный стол или стол КТ.

Таблица 19. Условия внутрибольничной транспортировки пациента на ЭКМО.

Внутрибольничная транспортировка	
Расстояние (км)	< 0.5
Количество специалистов	6 (обязательно 1 специалист ЭКМО)
Лимит веса	Нет
Загрузка и разгрузка пациента	Удобно
Крепление оборудования, аппарата ЭКМО, фиксация пациента	Обязательно

В качестве подготовки к транспортировке пациента:

- ✓ составляется «легенда» маршрута с определением временных интервалов на всех этапах, проверки наличия порогов, ширины дверей, коридоров, поворотов и т.п.
- ✓ выполняется проверка зарядки аккумуляторов и заполнение двух баллонов O₂ (для аппаратов ИВЛ и ЭКМО), удлинитель с несколькими розетками
- ✓ наличие средств связи, работающее в т.ч. лифте, подвале и т.п.

Транспортировку осуществляют 4 человека. Персонал, сопровождающий пациента, должен быть крайне внимательным ко всему происходящему с пациентом для максимальной готовности исправить возникшие сложности. Во всех случаях врач располагается рядом с пациентом, чтобы контролировать контур ЭКМО и предотвратить любое натяжение магистралей ЭКМО. Все оборудование должно быть надежно зафиксировано.

Одной из особенностей, которую необходимо учитывать при внутрибольничной транспортировке является площадь лифтовой кабины, которая в большинстве случаев не позволяет одновременно разместить кровать, на которой находится пациент и стойку аппарата ЭКМО. Поэтому представляется разумным два варианта передвижения. Первый, когда пациента

перемещают на медицинскую каталку и транспортируют параллельно со стойкой аппарата ЭКМО. Второй, когда пациент не перекадывается, а аппарат ЭКМО и источник кислорода закрепляется на его кровати, консоль аппарата ЭКМО доставляется следом. Каждый вариант имеет свои преимущества и недостатки, связанные как с необходимостью дополнительного перемещения пациента, так и с потребностью снимать аппарат ЭКМО со стойки и приспособлять его около пациента. При движении необходимо убедиться в готовности отделения или операционной куда транспортируется пациент, работоспособности лифта, маршрут передвижения должен быть освобожден от помех, которые могут помешать ходу движения.

По прибытии в операционную или диагностический кабинет питание консоли ЭКМО должно быть повторно подключено к сети напряжения, а оксигенатор к кислородной линии централизованной подачи. Как правило в диагностических отделениях отсутствует двойная разводка кислорода и сжатого воздуха, поэтому либо аппарат ИВЛ, либо оксигенатор, остаются на исходном источнике кислорода.

Перенос пациента на операционный стол или стол КТ должен быть согласованным. Как и при проведении реанимационных мероприятий должен быть основной координатор перемещения.

Перекадывание должно осуществляться на простыне (пододеяльнике) путем перетаскивания пациента с использованием скользящих слайдеров для перемещения. Координатор располагается у головного конца каталки (кровати) и контролирует положение дыхательного контура и возвратной канюли при ВВ ЭКМО. 4-5 человек осуществляет перемещение пациента. Специалист переносит аппарат ЭКМО, контролируя расположение магистралей. После перемещения оборудование располагается максимально безопасно и надежно. Необходимо предусмотреть возможность случайного задевания оборудования и частей контура. При выполнении КТ целесообразно оставить аппарат ЭКМО в ножном конце стола, при выполнении оперативного вмешательства расположить на консоли сбоку от пациента. Все магистрали перед закрытием операционным бельем должны быть расправлены и дополнительно фиксированы. Параметры мониторинга пациента, аппаратов ИВЛ и ЭКМО должны оставаться видимыми в течение всего времени обследования/вмешательства. Перекадывание пациента со стола на кровать или каталку выполняется в обратной последовательности.

9.4. Межгоспитальная медицинская эвакуация

Подключение к транспортной системе ЭКМО на этапе межгоспитальной транспортировки пациента снижает риски, ассоциированные с влиянием неблагоприятных факторов сниженного парциального напряжения кислорода при эвакуации воздушным транспортом, явлений ортостаза при изменении положения тела пациента [12,109,110,112-114,117].

Транспортная ЭКМО осуществляется командой специалистов, основу которой составляют анестезиологи-реаниматологи, имеющие подготовку по вопросам оказания скорой медицинской помощи и по вопросам ЭКМО. Как правило, в состав бригады должны быть включены врачи специалисты анестезиолого-реанимационной бригады скорой медицинской помощи (или как подразделение службы медицины катастроф) и врачи специалисты центра ЭКМО, как имеющие опыт ее применения.

Основная задача, специалиста выездной (мобильной) бригады ЭКМО:

- Оценить состояние пациента;
- Определить показания и противопоказания к проведению процедуры;
- Рекомендовать необходимые клинические инструментальные и лабораторные исследования, оказывающие влияние на применение ЭКМО и возможность медицинской эвакуации (рентгенография органов грудной клетки для исключения пневмоторакса или оценки адекватности дренирования плевральных полостей, ЭХО КГ для исключения тампонады сердца, УЗИ органов брюшной полости и малого таза для исключения повреждения паренхиматозных органов, стабильность фиксации повреждений опорно-двигательного аппарата и пр.)
- При невозможности эвакуации пациента без ЭКМО поддержки установить систему ЭКМО на месте с соблюдением основных положений применения методики
- Сопровождать пациента в течение всей медэвакуации до передачи в конечной точке назначения оказывая необходимую медицинскую помощь в соответствии с профессиональным стандартом

Задача межгоспитальной медицинской эвакуации состоит в том, чтобы транспортировать пациента на ЭКМО или без него от первичного стационара в центр ЭКМО или многопрофильный стационар более высокого уровня, где используется технология ЭКМО [12,113,114].

Возможны три варианта межгоспитальной медицинской эвакуации и их комбинации: автомобиль скорой медицинской помощи класса «С», вертолет, самолет, в зависимости от расстояния. Расстояние, погодные условий и доступность будут решающими факторами при выборе варианта транспортировки. Авиационная эвакуация (вертолет / самолет), по понятным причинам, также включает в себя наземный транспорт на вылете и прилете с погрузкой и разгрузкой на обоих этапах. В больницах, оборудованных вертолетной площадкой, пациент загружается непосредственно в вертолет и в этой ситуации отсутствует необходимость наземной транспортировки (в зависимости от типа вертолета).

Рекомендованные ELSO различные варианты межгоспитальной транспортировки (автомобильная / авиационная), необходимой команды сопровождения и некоторые условия транспортировки в зависимости от расстояния представлены (таблица 20) [12,112-114].

Таблица 20. Варианты и условия межгоспитальной транспортировки пациента на ЭКМО в зависимости от расстояния между ЛПУ.

	Автомобиль	Вертолёт	Самолёт
Расстояние (км)	200 - 400	200 - 600	Любое
Количество специалистов	Не менее 4	Не менее 4	Не менее 4
Лимит веса	Да	Да	Нет
Загрузка и разгрузка пациента	Удобно	Менее удобно	Сложная при отсутствии специальных средств погрузки
Крепление оборудования, аппарата ЭКМО, фиксация пациента	Обязательно, требует специального крепежа	Обязательно, требует специального крепежа	Обязательно, требует специального крепежа

Транспортные средства должны иметь электрическое питание, достаточное для аппарата ЭКМО, терморегулирующего устройства, и другого электрооборудования, используемого при медэвакуации. Подача кислорода также должен быть обеспечена для аппаратов ИВЛ и ЭКМО. Климат-контроль, вентиляция, адекватное освещение также играют важную роль. Все оборудование должно быть надежно закреплено в транспортном средстве на специальных рейлингах.

Транспортировочные носилки должны быть предназначены для транспортировки пациентов с большим количеством оборудования, иметь специальные платформы для его крепления. Конструкция некоторых транспортных средств позволяет располагать аппарат ЭКМО рядом с пациентом.

Важно соблюдать основное правило расположения центрифужной головки насоса ЭКМО относительно самого пациента: чем ниже насос, тем лучше венозный приток в систему ЭКМО.

9.5. Мониторинг во время эвакуации на ЭКМО

Ведение пациента в условиях ЭКМО, в том числе во время выполнения медицинской эвакуации требует выполнения определенных стандартов мониторинга, сопряженных с технологией [109,113,114]:

Аппаратно-инструментальный контроль:

- мониторинг параметров гемодинамики, оксигенации, вентиляции и температуры
- мониторинг параметров ЭКМО:
 - объемная скорость перфузии (л/мин)
 - частота оборотов центрифужного насоса (rpm)
 - поток кислородной смеси (л/мин)
 - давления P1, P2 и P3, ΔP (если параметры не отображаются на панели управления аппаратом ЭКМО, то они должны быть выведены на монитор пациента или отдельный блок)
- мониторинг уровня гемоглобина, кислотно-основного состояния, газового состава крови, некоторых биохимических параметров (глюкоза, лактат), параметров антикоагуляции крови (АСТ), электролитов. Для этого хорошо подходят портативные аппараты с различными картриджами.

9.6. Осложнения при медицинской эвакуации

Частота осложнений, связанных непосредственно с медицинской эвакуацией, не превышала 0.2% из около 1400 наблюдений. По данным EuroELSO за 2010-2015 гг. частота различных осложнений составила 25,4 – 30,8%. Наиболее частыми причинами были: некоррегированный волемический статус, кровотечение из мест канюляции, спонтанное охлаждение пациента, единичные случаи дорожно-транспортных происшествий, повреждения экстракорпорального контура [110].

9.7. Минимально необходимое оборудование для ЭКМО

1. Аппарат ЭКМО
2. Терморегулирующее устройство
3. Аппарат ИВЛ транспортный с турбоприводом (типа Hamilton T1, LTV 1200)
4. Редуктор баллонный подачи кислорода в аппарат ИВЛ и контур ЭКМО (лучше отдельные)
5. Прибор для определения АСТ (время активированного свертывания) – опция необязательна, если есть возможность круглосуточного определения АЧТВ
6. Монитор пациента с возможностью ИАД
7. Аппарат УЗИ с линейным датчиком

8. Магистральные зажимы (не менее 4)
9. Стерильные ножницы

9.8. Расходные материалы

1. Комплект оксигенатор (оксигенатор+головка)
2. Венозные канюли (21,23,25,27 Fr)¹
3. Артериальные канюли (15,17,19,21 Fr)²
4. Набор для установки с проводником 150 см
5. Дополнительный проводник 150 см
6. Интродьюсер 5-8 Fr
7. Тройник 3/8-3/8-3/8 (для возможной конверсии)
8. Магистраль 3/8 (для возможной конверсии)
9. Набор стерильного белья (по типу ангиографического)³
10. Пролон 2/0 – 3 шт. для фиксации канюль
11. Прозрачные наклейки на место канюляции (лучше хлоргексидиновые)

Средства для обработки операционного поля, антисептики, мелкие расходные материалы, растворы, фиксационные принадлежности по умолчанию.

¹- оптимальное количество 1,25 на один оксигенатор

²- оптимальное количество 1,25 на один оксигенатор, 15- 19 Fr для ВА ЭКМО-СЛР

³- либо три стерильных простыни, либо больших пеленки

10. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- ЭКМО – технология, которая дает возможность восстановления функции сердечно-легочной системы при потенциально обратимых заболеваниях, или ожидания иного вида замещения функции утраченного органа;
- ЭКМО – требует мультидисциплинарного подхода в принятии решения начала процедуры, лечебно-диагностическим мероприятиям во время процедуры и определении перспектив выздоровления пациента.

11. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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.
2. Annich G., Lynch W., Maclaren G. ECMO Extracorporeal Cardiopulmonary Support in Critical Care (The "Red Book 6th Edition"). 2022.
3. Богопольский П.М., Глянцев С.П., Логинов Д.Т. «Сергей Сергеевич Брюхоненко — создатель метода искусственного кровообращения (к 125-летию со дня рождения)» Кардиология и сердечно-сосудистая хирургия, 6, 2016, Москва. doi: 10.17116/kardio20169674-82.
4. Лысенко М.А., Кецкало М.В., Андреев С.С., Ибрагимов И.Р., Нечаев Д.С., Рогова Л.В. «Экстракорпоральная мембранная оксигенация». Практические рекомендации. Экстен Медикал, ООО «Технопроект». СПб 2020.
5. Billie Lou Short, MD. ECMO Specialist Training Manual. (Third Edition). 2012.
6. Sameer K. Singh, Yuming Ning, Paul Kurlansky, Yuji Kaku, Yoshifumi Naka, Hiroo Takayama, Gabriel Sayer, Nir Uriel, Amirali Masoumi, Justin A. Fried, and Koji Takeda / Impact of Venoarterial Extracorporeal Membrane Oxygenation Flow on Outcomes in Cardiogenic Shock // ASAIO Journal 2022 Adult Circulatory Support Copyright ASAIO 2021 DOI: 10.1097/MAT.0000000000001462
7. Glenn P. Gravlee MD, Richard F. Davis, Alfred H. Stammers, Ross M. Ungerleider. Cardiopulmonary Bypass: Principles and Practice. 2008
8. Fuhrman BP, Heman LJ, Rotta AT Heard CM, Rosenkranz ER. Pathophysiology of cardiac extracorporeal membrane oxygenation. Artif Organs. 1999;23 (11):966-969.
9. Lamb K.M. Hirose H. Cavarocchi N.C./ Preparation and technical considerations for percutaneous cannulation for veno-arterial extracorporeal membrane oxygenation. J Cardiothorac Surg. 2013; 28: 190-192 <https://doi.org/10.1111/jocs.12058>
10. Shaheen A. Tanaka D., Cavarocchi N.C. Hirose H. Veno-venous extracorporeal membrane oxygenation (VV ECMO) indications, preprocedural considerations, and technique. J Cardiovasc Surg. 2016; 31: 248-252 <https://doi.org/10.111/jocs.12690>
11. Juwon Kim, Yang Hyun Cho, Kiick Sung, Taek Kyu Park, Ga Yeon Lee, Joo Myung Lee, Young Bin Song, Joo-Yong Hahn, Jin-Ho Choi, Seung-Hyuk Choi, Hyeon-Cheol Gwon, and Jeong Hoon Yang / Impact of Cannula Size on Clinical Outcomes in Peripheral Venoarterial Extracorporeal Membrane Oxygenation // ASAIO Journal 2019 Adult Circulatory Support Copyright 2018 by the ASAIO DOI: 10.1097/MAT.0000000000000858

12. Экстракорпоральная мембранная оксигенация при лечении критической сердечной и дыхательной недостаточности. Практическое руководство под редакцией Яворовского А.Г. г. Москва, ГЭОТАР-Медиа, 2024.
13. Lamb K.M. Hirose H. Cavarocchi N.C./ Preparation and technical considerations for percutaneous cannulation for veno-arterial extracorporeal membrane oxygenation. J Cardiothorac Surg. 2013; 28: 190-192 <https://doi.org/10.1111/jocs.12058>
14. Combes A., Hijade D., Capellier G. et al. Extracorporeal Membrane Oxygenation for severe acute respiratory distress-syndrome // N.Engl.Med.2018. Vol.378. P.1965-1975
15. Shaheen A. Tanaka D., Cavarocchi N.C. Hirose H. Veno-venous extracorporeal membrane oxygenation (VV ECMO) indications, preprocedural considerations, and technique. J Cardiovasc Surg. 2016; 31: 248-252 <https://doi.org/10.111/jocs.12690>
16. Evan F. Gajkowski, Guillermo Herrera, Laura Hatton, Marta Velia Antonini, Lee n Vercaemst, Elaine Cooley, REVIEWERS: Elizabeth Moore, Bishoy Zakhary, Mark Ogino, Giles Peek, and Thomas Mueller, / ELSO Guidelines for Adult and Pediatric Extracorporeal Membrane Oxygenation Circuits // ASAIO Journal 2022 Guidelines Copyright ELSO 2022 DOI: 10.1097/MAT.0000000000001630
17. Fabio Sangalli, Nicolò Patroniti, Antonio Pesenti /ECMO-Extracorporeal Life Support in Adults //ISBN 978-88-470-5426-4 ISBN 978-88-470-5427-1 (eBook) DOI 10.1007/978-88-470-5427-1 Springer Milan Heidelberg New York Dordrecht London Library of Congress Control Number: 2014934677
18. Дементьева И.И. Лабораторная диагностика и клиническая оценка нарушений гомеостаза у больных в критическом состоянии. М., УПМ МИПК «Poligrafцентр», 2007, 162 с.
19. Евдокимов Е.А., Власенко А.В., Авдеев С.Н., «Респираторная поддержка пациентов в критическом состоянии». // ГЭОТАР-Медиа. 2021 г.
20. Брыгин П.А., Журавель С.В., Троицкий Д.А., Уткина И.И. «Предикторы эффективности применения экстракорпоральной мембранной оксигенации при острой дыхательной недостаточности» // Трансплантология. - 2020. - Т.12, №3. - С.220-230.
21. Steven A. Conrad, L. Mikael Broman, Fabio S. Taccone, Roberto Lorusso, Maximilian V. Malfertheiner, Federico Pappalardo, Matteo Di Nardo, Mirko Belliato11, Lorenzo Grazioli, Ryan P. Barbaro, D. Michael McMullan, Vincent Pellegrino, Daniel Brodie, Melania M. Bembea, Eddy Fan, Malaika Mendonca, Rodrigo Diaz, and Robert H. Bartlett The Extracorporeal Life Support Organization Maastricht Treaty for Nomenclature in Extracorporeal Life Support // A Position Paper of the Extracorporeal Life Support Organization // Am J Respir Crit Care Med Vol 198, Iss 4, pp 447–451, Aug 15, 2018 www.atsjournals.org

22. Roberto Lorusso, Kiran Shekar, Graeme MacLaren , Matthieu Schmidt,Vincent Pellegrino,Bart Meyns, Jonathan Haft, Leen Vercaemst, Federico Pappalardo, Christian Bermudez,Jan Belohlavek, Xiaotong Hou, Udo Boeken, Roberto Castillo, Dirk W. Donker,Darryl Abrams, Marco Ranucci, Kasia Hryniewicz, Ivan Chavez, Yih-Sharnng Chen, Leonardo Salazar, and Glenn Whitman Reviewers: Hergen Buscher, Rodrigo Diaz, Thomas Mueller, and Alain Combes, / ELSO Interim Guidelines for Venoarterial Extracorporeal Membrane Oxygenation in Adult Cardiac Patients // ASAIO Journal 2021 Guidelines Copyright ELSO 2021 DOI: 10.1097/MAT.0000000000001510
23. Guglin M, Zucker MJ, Bazan VM, Bozkurt B, El Banayosy A, Estep JD, et al. Venoarterial ECMO for adults: JACC scientific expert panel. J Am Coll Cardiol. 2019;73(6):698–716.
24. Truby LK, Takeda K, Mauro C, Yuzefpolskaya M, Garan AR, Kirtane AJ, et al. Incidence and implications of left ventricular distention during veno-arterial extracorporeal membrane oxygenation support. ASAIO J. 2017;63(3):257–65.
25. Russo JJ, Aleksova N, Pitcher I, Couture E, Parlow S, Faraz M, et al. Left ventricular unloading during extracorporeal membrane oxygenation in patients with cardiogenic shock. J Am Coll Cardiol. 2019;73(6):654–62.
26. Keshava Rajagopal / Left Ventricular Distension in Veno-arterial Extracorporeal Membrane Oxygenation: From Mechanics to Therapies // ASAIO Journal 2019 Review Article Copyright 2018 by the ASAIO DOI: 10.1097/MAT.0000000000000789
27. James Farag, Andrew F. Stephens, W. Juene Chong, Shaun D. Gregory, and Silvana F. Marasco / Intra-aortic Balloon Pump Use With Extra Corporeal Membrane Oxygenation—A Mock Circulation Loop Study // ASAIO Journal 2022 Adult Circulatory Support Copyright ASAIO 2021 DOI: 10.1097/MAT.0000000000001547
28. Mitchell MB, Campbell DN, Bielefeld MR, Doremus TJ. Utility of extracorporeal membrane oxygenation for early graft failure following heart transplantation in infancy. Heart Lung Transplant 2000; 19:834-839.
29. Ismael Salas de Armas, Amanda Bergeron, Anju Bhardwaj, Maria Patarroyo, Mehmet H. Akay, Dina Al Rameni, Angelo Nascimbene, Manish K. Patel, Jayeshkumar Patel, Juan Marcano, Biswajit Kar, and Igor D. Gregoric / Surgically Implanted Impella Device for Patients on Impella CP Support Experiencing Refractory Hemolysis // ASAIO Journal 2022 Case Report Copyright ASAIO 2022 DOI: 10.1097/MAT.0000000000001712
30. Sameer K. Singh, Yuming Ning, Paul Kurlansky, Yuji Kaku, Yoshifumi Naka, Hiroo Takayama, Gabriel Sayer, Nir Uriel, Amirali Masoumi, Justin A. Fried, and Koji Takeda / Impact of Venoarterial Extracorporeal Membrane Oxygenation Flow on Outcomes in Cardiogenic Shock // ASAIO Journal 2022 Adult Circulatory Support Copyright ASAIO 2021 DOI: 10.1097/MAT.0000000000001462
31. Billie Lou Short, MD. ECMO Specialist Training Manual. (Third Edition). 2012.

32. Mathias J. Holmberg, Guillaume Geri, Sebastian Wiberg et al. Extracorporeal cardiopulmonary resuscitation for cardiac arrest: A systematic review *Resuscitation* Volume 131, October 2018, Pages 91-100 doi:10.1016/j.resuscitation.2018.07.0292
33. Daniel Patricio, Lorenzo Peluso, Alexandre Brasseur et al. Comparison of extracorporeal and conventional cardiopulmonary resuscitation: a retrospective propensity score matched study *Critical Care* (2019) 23:27 <https://doi.org/10.1186/s13054-019-2320-1>
34. Yih-Sharng Chen, Jou-Wei Lin, Hsi-Yu Yu et al. Cardiopulmonary resuscitation with assisted extracorporeal life-support versus conventional cardiopulmonary resuscitation in adults with in-hospital cardiac arrest: an observational study and propensity analysis *Lancet* 2008; 372: 554–61 DOI:10.1016/S0140-6736(08)60958-7
35. Wulfran Bougouin, Florence Dumas , Lionel Lamhaut et al. Extracorporeal cardiopulmonary resuscitation in out-of-hospital cardiac arrest: a registry study *Eur Heart J.* 2020 Jun 1;41(21):1961-1971. doi: 10.1093/eurheartj/ehz753. PMID: 31670793
36. Zachary Shinar, Lee Plantmason, Joshua Reynolds et al. Emergency Physician-Initiated Resuscitative Extracorporeal Membrane Oxygenation *The Journal of Emergency Medicine* Volume 56, Issue 6, June 2019, Pages 666-673 doi:10.1016/j.jemermed. 2019.02.004
37. A.C. Richardson, J. E. Tonna, V. Nanjaya et al. Extracorporeal Cardiopulmonary Resuscitation in Adults. Interim Guideline Consensus Statement From the Extracorporeal Life Support Organization *ASAIO J.* 2021 Mar. 1;67(3):221-228. DOI: 10.1097/MAT.0000000000001344 PMID: 33627592
38. Jason A. Bartos, Brian Grunau, Claire Carlson et al. Improved Survival with Extracorporeal Cardiopulmonary Resuscitation Despite Progressive Metabolic Derangement Associated with Prolonged Resuscitation Circulation. 2020; 141:877–886. DOI:10.1161/CIRCULATIONAHA.119.042173
39. Duan J, Ma Q, Zhu C, Shi Y and Duan B. eCPR Combined with Therapeutic Hypothermia Could Improve Survival and Neurologic Outcomes for Patients with Cardiac Arrest: A Meta-Analysis. *Front. Cardiovasc. Med.* 8:703567. doi: 10.3389/fcvm.2021.703567
40. Taeb M, Levin AB, Spaeder MC, Schwartz JM: Comparison of pediatric cardiopulmonary resuscitation quality in classic cardiopulmonary resuscitation and extracorporeal cardiopulmonary resuscitation events using video review. *PediatrCrit Care Med* 19: 831–838, 2018.
41. Guerguerian, Anne-Marie*; Sano, Minako†; Todd, Mark*; Honjo, Osami‡; Alexander, Peta§; Raman, Lakshmi. Pediatric Extracorporeal Cardiopulmonary Resuscitation ELSO Guidelines. *ASAIO Journal*: March 2021 - Volume 67 - Issue 3 - p 229-237. doi: 10.1097/MAT.0000000000001345
42. Jaime Blackwood, Dejana Nikitovic, Tanya Spence, Gurpreet K Khaira, Mary E Brindle: Setting up a Rescue Extracorporeal Life Support Program. *ASAIO Journal*: 2022-04-21, DOI: 10.1097/mat.0000000000001752

43. David Faraoni, Jens Meier, Helen V. New, Philippe J. Van der Linden, Beverley J. Hunt. Patient Blood Management for Neonates and Children Undergoing Cardiac Surgery: 2019 NATA Guidelines. *Journal of Cardiothoracic and Vascular Anesthesia*, March 2019, p1-15.
44. Task Force Membersa, Gudrun Kunst, Milan Milojevic, Christa Boer, Filip M. J. J. De Somer, Tomas Gudbjartsson, Jenny van den Goor, Timothy J. Jones, Vladimir Lomivorotov, Frank Merkle, Marco Ranucci, Luc Puis, Alexander Wahba: 2019 EACTS/EACTA/EBCP guidelines on cardiopulmonary bypass in adult cardiac surgery; Special Article, Advance Access Publication Date: 2 October 2019, *British Journal of Anaesthesia*, 123 (6): 713e757 (2019) doi: 10.1016/j.bja.2019.09.012
45. Michael Charlesworth, Rajamiyer Venkateswaran, Julian M. Barker, Lee Feddy: Postcardiotomy VA-ECMO for refractory cardiogenic shock. *Journal of Cardiothoracic Surgery* (2017) 12:116 DOI 10.1186/s13019-017-0674-5; Maziar Khorsandi, Scott Dougherty, Omar Bouamra, Vasudev Pai, Philip Curry, Steven Tsui, Stephen Clark, Stephen Westaby, Nawwar Al-Attar, Vipin Zamvar: Extra-corporeal membrane oxygenation for refractory cardiogenic shock after adult car-diac surgery: a systematic review and meta-analysis. *Journal of Cardiothoracic Surgery* (2017) 12:55 DOI 10.1186/s13019-017-0618-0
46. Maziar Khorsandi, Scott Dougherty, Andrew Sinclair, Keith Buchan, Fiona MacLennan, Omar Bouamra, Philip Curry, Vipin Zamvar, Geoffrey Berg and Nawwar Al-Attar: A 20-year multicentre outcome analysis of salvage mechanical circulatory support for refractory cardiogenic shock after cardiac surgery. *Journal of Cardiothoracic Surgery* (2016) 11:151 DOI 10.1186/s13019-016-0545-5
47. Roberto Lorusso, GlennWhitmanb, MilanMilojevic, Giuseppe Raffa, David McMullang, Udo Boekenh, Jonathan Haft, Christian A. Bermudezj, Ashish S. Shahk and David A. D'Alessandrol: 2020 EACTS/ELSO/STS/AATS expert consensus on post-cardiotomy extra-corporeal life sup-port in adult patients. *European Journal of Cardio-Thoracic Surgery* 59 (2021) 12–53 doi:10.1093/ejcts/ezaa283 Advance Access publication 7 October 2020. Meng, Lingzhong; Ras-mussen, Mads; Abcejo, Arnoley S.; Meng, Deyi M; Tong, Chuanyao MD; Liu, Hong MD Causes of Perioperative Cardiac Arrest: Mnemonic, Classification, Monitoring, and Actions *Anesthesia & Analgesia* 138(6): p 1215-1232, June 2024. | DOI: 10.1213/ANE.0000000000006664
48. Галагудза М. М., Сонин Д. Л., Александров И. В. Гибернация миокарда: молекуляр-ные механизмы, клиническая значимость и методы диагностики 2019; 18(3): 9–15 Регионарное кровообращение и микроциркуляция / *Regional hemodynamics and microcirculation* 18 (3) / 2019 9 УДК 616.12-008.46 DOI: 10.24884/1682-6655-2019-18-3-9-15 www.microcirc.ru
49. Fux T, Holm M, Corbascio M, Lund LH, van der Linden J. Venoarterial extracorporeal membrane oxygenation for postcardiotomy shock: risk factors for mortality. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2018;156: 1894–902.

50. Wang L, Wang H, Hou X. Clinical outcomes of adult patients who receive extracorporeal membrane oxygenation for postcardiotomy cardiogenic shock: a systematic review and meta-analysis. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 2018; 32: 2087–93
51. Schmidt M, Burrell A, Roberts L, Bailey M, Sheldrake J, Rycus PT et al. Predicting survival after ECMO for refractory cardiogenic shock: the survival after veno-arterial-ECMO (SAVE)-score. *Eur Heart J* 2015;36: 2246–56.
52. Fukuhara S, Takeda K, Garan AR, Kurlansky P, Hastie J, Naka Y et al. Contemporary mechanical circulatory support therapy for postcardiotomy shock. *Gen Thorac Cardiovasc Surg* 2016;64: 183–91.
53. 2020 EACTS/ELSO/STS/AATS expert consensus on post-cardiotomy extra-corporeal life support in adult patients. *European Journal of Cardio-Thoracic Surgery* 59 (2021) 12–53 doi:10.1093/ejcts/ezaa283 Advance Access publication 7 October 2020
54. Kumar K, Coonse K, Zakhary B, Cigarroa JE. Novel method for left ventricular unloading utilizing percutaneous pulmonary artery drainage in cardiorespiratory failure due to COVID-19 infection. *Catheter Cardiovasc Interv.* 2022 Jul;100(1):175-178. doi: 10.1002/ccd.30212.
55. Попцов В.Н., Спирина Е.А., Слободяник В.В., Захаревич В.М., Еремеева О.А., Масютин С.А. Чрескожное трансфеморальное дренирование левого предсердия как метод объемной разгрузки левого желудочка при проведении периферической вено-артериальной мембранной оксигенации у потенциальных реципиентов сердца. *Вестник трансплантологии и искусственных органов* том XV № 4–2013
56. A. Jabri et al./A Comprehensive Review of Left Atrial Venoarterial Extracorporeal Membrane Oxygenation // *Journal of Cardiothoracic and Vascular Anesthesia* 00(2025)1-12
57. Raffa GM, Kowalewski M, Brodie D, Ogino M, Whitman G, Meani P et al. Meta-analysis of peripheral or central extracorporeal membrane oxygenation in postcardiotomy and non-postcardiotomy shock. *Ann Thorac Surg* 2019;107:311–21
58. Saeed D, Stosik H, Islamovic M, Albert A, Kamiya H, Maxhera B et al. Femoro-femoral versus atrio-aortic extracorporeal membrane oxygenation: selecting the ideal cannulation technique. *Artif Organs* 2014; 38:549–55
59. Kanji HD, Schulze CJ, Oreopoulos A, Lehr EJ, Wang W, MacArthur RM. Peripheral ver-sus central cannulation for extracorporeal membrane oxygenation: a comparison of limb ischemia and transfusion requirements. *Thorac Cardiovasc Surg* 2010;58:459–62.
60. Mariscalco G, Salsano A, Fiore A, Dalen M, Ruggieri VG, Saeed D et al. Peripheral ver-sus central extracorporeal membrane oxygenation for postcardiotomy shock: a multicenter registry, systematic review and meta-analysis. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2019; doi:10.1016/j.jtcvs.2019.10.078.

61. Giovanni Chiarini¹, et al. and on behalf of the PELS Investigators: Neurologic complications in patients receiving aortic versus sub-clavian versus femoral arterial cannulation for post-cardiotomy extracorporeal life support: results of the PELS observational multicenter study. Chiarini et al. *Critical Care* (2024) 28:265 <https://doi.org/10.1186/s13054-024-05047-2>
62. Brogan TLL, Lorusso R, MacLaren G, Peek G. *Extracorporeal Life Support: The ELSO Red Book*, 1st edn. Ann Arbor, MI, USA: Extracorporeal Life Support Organization, 2017, 832
63. Michels G, Wengenmayer T, Hagl C, Dohmen C, Bottiger BW, Bauersachs J et al. Recommendations for extracorporeal cardiopulmonary resuscitation (ECPR): consensus statement of DGIIN, DGK, DGTHG, DGfK, DGNI, DGAI, DIVI and GRC. *Clin Res Cardiol* 2019;108: 455–64
64. Chen SW, Tsai FC, Lin YS, Chang CH, Chen DY, Chou AH et al. Longterm outcomes of extracorporeal membrane oxygenation support for postcardiotomy shock. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2017;154:469–77.
65. Roffi M, Patrono C, Collet JP, Mueller C, Valgimigli M, Andreotti F et al. 2015 ESC Guidelines for the management of acute coronary syndromes in patients presenting without persistent ST-segment elevation: task Force for the Management of Acute Coronary Syndromes in Patients Presenting without Persistent ST-Segment Elevation of the European Society of Cardiology (ESC). *Eur Heart J* 2016;37:267–315.
66. Lewis AR, Wray J, O’Callaghan M, Wroe AL. Parental symptoms of posttraumatic stress after pediatric extracorporeal membrane oxygenation. *Pediatr Crit Care Med* 2014;15:e80–8. Harris-Fox S. The experience of being an ‘extracorporeal membrane oxygenation’ relative within the CESAR trial. *Nurs Crit Care* 2012;17: 9–18
67. Mavroudis C, Mavroudis CD, Green J, Sade RM, Jacobs JP, Kodish E. Ethical considerations for post-cardiotomy extracorporeal membrane oxygenation. *Cardiol Young* 2012;22:780–6. Stephens AL, Bruce CR. Setting expectations for ECMO: improving communication between clinical teams and decision makers. *Methodist DeBakey Cardiovasc J* 2018;14:120–5
68. 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; 17: R73 <https://doi.org/10.1186/cc12681>
69. Kenneth R. Hoffman, Arne Diehl, Eldho Paul, and Aidan J. C. Burrell / The Hematological Effects of Extracorporeal Membrane Oxygenator Exchange // *ASAIO Journal* 2023 Adult Circulatory Support DOI: 10.1097/MAT.0000000000001976
70. Raymond PD, Ray MJ, Callen SN, Marsh NA. Heparin monitoring during cardiac surgery. Part 2: Calculating the overestimation of heparin by the activated clotting time. *Perfusion*. 2003; 18:277-281.
71. Sven R. Olson, Catherine R. Murphree, David Zonies, Andrew D. Meyer v Owen J. T. Mccarty, Thomas G. Deloughery, and Joseph J. Shatzel / *Thrombosis and Bleeding in Extracorporeal Membrane*

Oxygenation (ECMO) Without Anticoagulation: A Systematic Review // ASAIO Journal 2021 Adult Circulatory Support Copyright ASAIO 2020 DOI: 10.1097/MAT.0000000000001230

72. Бахарев С.А., Попугаев К.А., Киселев К.А., Самойлов А.С., Удалов Ю.Д., Жангазинов А.Л., Альтшулер Н.Э., Багжанов Т.И., Абудеев С.А., Петриков С.С. «Механизмы развития геморрагических осложнений при проведении экстракорпоральной мембранной оксигенации. Пилотное исследование». Анестезиология и реаниматология 2020, №1, с. 25-34
73. Short B.L., Williams L. ECMO Specialist Training Manual. Third Edition. 2010.
74. Руководство по кардиоанестезиологии и интенсивной терапии. Под ред. А.А. Бунятына, Н.А. Трековой, А.А. Еременко. – 2-е изд., доп. и перераб. – М.: ООО «Издательство «Медицинское информационное агентство», 2015. – 704 с.
75. Ouriel Saura, Guillame Hekimia, Matthieu Schmidt / Echography monitoring in patients with temporary mechanical circulatory support 1070-5295 Copyright © 2025 Wolters Kluwer Health, Inc. All rights reserved. www.co-criticalcare.com
76. Maurizio Cusmà Piccione, Luigi Colarusso, Eustachio Agricola, Matteo Cameli, Antonio De Luca, Roberta Manganaro, Agata Barchitta, Antonello D’Andrea, Vito Maurizio Parato, Paolo Trambaiolo, Concetta Zito / How to Do Echo for Noninvasive Hemodynamic Evaluation of the Patient in the Intensive Care Unit: A Consensus Statement of the Italian Society of Echocardiography and Cardiovascular Imaging // 2025 Journal of Cardiovascular Echography | Published by Wolters Kluwer – Medknow DOI: 10.4103/jcecho.jcecho_15_25 <https://journals.lww.com/JCEG>
77. Ghislaine Doufle, Niall D. Fergusona / Monitoring during extracorporeal membrane oxygenation // Curr Opin Crit Care Volume 22 Number 3 June 2016, 22:230–238 DOI:10.1097/MCC.0000000000000309 www.co-criticalcare.com
78. Luca Baldetti, Marcello Cosenza, Carmine Galdieri, Guglielmo Gallone, Gianluca Ricchetti, Carlo Gaspardone, Beatrice Peveri, Mario Gramegna, Lorenzo Cianfanelli, Francesco Calvo, Vittorio Pazzanese, Marina Pieri, Stefania Sacchi, Silvia Ajello, Anna Mara Scandroglio / Invasive Hemodynamic Monitoring in Acute Heart Failure and Cardiogenic Shock // Rev. Cardiovasc. Med. 2025; 26(6): 27034 <https://doi.org/10.31083/RCM27034>
79. Ghislaine Douflé, Erika R. O’Neil, Susana A breu, Nada Ali A ljasim, Matteo Di Nardo, Nchafatso G. Obonyo, Valentina Pinzon, Susanna Price, Kollengode Ramanathan, Martin Balik / Ultrasound in Extracorporeal Membrane Oxygenation: An ELSO State-of-the-Art Review // ASAIO Journal 2026 DOI: 10.1097/MAT.0000000000002656
80. Zasha Vazquez-Colon, Joseph E. Marcus, Emily Levy, Aditya Shah, Graeme MacLaren, Giles Peek / Infectious diseases and infection control prevention strategies in adult and pediatric population on ECMO // Perfusion 2025, Vol. 40(1S) 6S–14S DOI: 10.1177/02676591241249612 journals.sagepub.com/home/prf

81. Ouriel Saura, David Levy, Matthieu Schmidta / Anticoagulation and hemostasis in extracorporeal membrane oxygenation patient // Cardiovascular anesthesia 0952-7907 2025 Wolters Kluwer Health, Inc. www.co-anesthesiology.com
82. Alessandro Protti, Camilla L'Acqua, Mauro Panigada The delicate balance between pro-(risk of thrombosis) and anti- (risk of bleeding) coagulation during extracorporeal membrane oxygenation *Ann Transl Med* 2016;4(7):139 doi: 10.21037/atm.2016.03.06 PMID: 27162789
83. Laurance Lequier, G.A.; Omar Al-Ibrahim, M.B.; Dan Brodie, T.B.; Shannon Buckvold, L.C.; Steve Conrad, D.C.; Heidi Dalton, J.F.; Bill Harris, R.M.; Paden, M.; Natalie Rintoul, L.R.; Phil Spinella, J.T.; et al. ELSO Anticoagulation Guideline; ELSO: Ann Arbor, MI, USA, 2014
84. Activated Clotting Time (ACT). Horton S. and Augustin S. Paul Monagle (ed.), *Haemostasis: Methods and Protocols*, *Methods in Molecular Biology*, 2013, Chapter 12, vol. 992, p. 155-167. ISBN 9781627033381
85. S. Alban. Adverse Effects of Heparin *Handbook of Experimental Pharmacology* pp 211–263. 2012. <http://www.springer.com/series/164>
86. Sasa Rajsic, Robert Breitskopf, Dragana Jadzic, Marina Popovic Krneta, Helmuth Tauber and Benedikt Tremml Anticoagulation Strategies during Extracorporeal Membrane Oxygenation: A Narrative Review *J. Clin. Med.* 2022, 11, 5147. <https://doi.org/10.3390/jcm11175147>
87. Protti,A.; Iapichino,G.E.;DiNardo,M.;Panigada,M.;Gattinoni,L. Anticoagulation Management and Antithrombin Supplementation Practice during Veno-venous Extracorporeal Membrane Oxygenation: A Worldwide Survey. *Anesthesiology* 2020, 132, 562–570 PMID: 31764152 DOI: 10.1097/ALN.0000000000003044.
88. Галстян Г.М., Гапонова Т.В., Жибурт Е.Б. и соавт. Клиническое использование криопреципитата. *Гематология и трансфузиология.* 2020; 65(1): 87–114. <https://doi.org/10.35754/0234-5730-2020-65-1-87-114>
89. Jori May, Brian Westbrook, Adam Cuker // Heparin-induced thrombocytopenia: An illustrated review // *Thromb Haemost.* 2023;7:e100283 www.rpthjournal.org
90. Andreas Greinacher Heparin-Induced Thrombocytopenia *N Engl J Med* 2015;373:252-61. DOI: 10.1056/NEJMcp1411910
91. Olson, S.R.; Murphree, C.R.; Zonies, D.; Meyer, A.D.; McCarty, O.J.T.; Deloughery, T.G.; Shatzel, J.J. Thrombosis and Bleeding in Extracorporeal Membrane Oxygenation (ECMO) without Anticoagulation: A Systematic Review. *ASAIO J.* 2021, 67, 290–296. DOI: 10.1097/MAT.0000000000001230 PMID: 33627603
92. Jiritano F, Serraino GF, Ten Cate H, Fina D, Matteucci M, Mastroberto P, Lorusso R. Platelets and extra-corporeal membrane oxygenation in adult patients: a systematic review and meta-analysis.

- Intensive Care Med. 2020 Jun;46(6):1154-1169. doi: 10.1007/s00134-020-06031-4. Epub 2020 Apr 23. PMID: 32328725; PMCID: PMC7292815.
93. Maureen A. Smythe, Jennifer Priziola, Paul P. Dobesh et al. Guidance for the practical management of the heparin anticoagulants in the treatment of venous thromboembolism *Journal of Thrombosis and Thrombolysis* volume 41, pages 165–186 (2016) DOI 10.1007/s11239-015-1315-2
 94. Sasa Rajsic, Robert Breitskopf, Dragana Jadzic, Marina Popovic Krneta, Helmuth Tauber and Benedikt Tremml Anticoagulation Strategies during Extracorporeal Membrane Oxygenation: A Narrative Review *J. Clin. Med.* 2022, 11, 5147. <https://doi.org/10.3390/jcm11175147>
 95. Dawid L Staudacher, Paul M Biever, Christoph Benk et al. Dual Antiplatelet Therapy (DAPT) versus No Antiplatelet Therapy and Incidence of Major Bleeding in Patients on Venoarterial Extracorporeal Membrane Oxygenation *PLoS One* 2016 Jul 28; 11(7): e0159973. doi: 10.1371/journal.pone.0159973. PMID: 27467697
 96. 2019 ESC Guidelines for the diagnosis and management of acute pulmonary embolism developed in collaboration with the European Respiratory Society (ERS) *European Heart Journal* (2020) 41, 543603 doi:10.1093/eurheartj/ehz405
 97. Olson, S.R.; Murphree, C.R.; Zonies, D.; Meyer, A.D.; McCarty, O.J.T.; Deloughery, T.G.; Shatzel, J.J. Thrombosis and Bleeding in Extracorporeal Membrane Oxygenation (ECMO) without Anticoagulation: A Systematic Review. *ASAIO J.* 2021, 67, 290–296. DOI: 10.1097/MAT.0000000000001230 PMID: 33627603
 98. Marlies Ostermann, Nuttha Lumlertgul / Acute kidney injury in ECMO patients // *Critical Care* (2021) 25:313 <https://doi.org/10.1186/s13054-021-03676-5>
 99. Chen YC, Tsai FC, Fang JT, et al: Acute kidney injury in adults receiving extracorporeal membrane oxygenation. *J Formos Med Assoc* 2014; 113:778–785
 100. Poonam Malhotra Kapoor / *MANUAL OF Extracorporeal Membrane Oxygenation (ECMO) in the ICU* // © 2014, Jaypee Brothers Medical Publishers First Edition: 2014 ISBN: 978-93-5090-633-0
 101. Чурсин В.В. / Клиническая физиология кровообращения. Методические материалы к практическим и семинарским занятиям. – 2011 – 44с. УДК – 612.13-089: 519.711.3
 102. Jorge Cerdá / Acute Kidney Injury During Extracorporeal Membrane Oxygenation: Timing and Fluid Overload May Be Important Determinants of Outcome, // www.ccmjournal.org September 2015 • Volume 43 • Number 9
 103. Haneya A, Diez C, Philipp A, et al: Impact of Acute Kidney Injury on Outcome in Patients With Severe Acute Respiratory Failure Receiving Extracorporeal Membrane Oxygenation. *Crit Care Med* 2015; 43:1898–1906

104. Seczyńska B, Królikowski W, Nowak I, et al: Continuous renal replacement therapy during extracorporeal membrane oxygenation in patients treated in medical intensive care unit: Technical considerations. *Ther Apher Dial* 2014; 18:523–534
105. Schmidt M, Bailey M, Kelly J, et al: Impact of fluid balance on outcome of adult patients treated with extracorporeal membrane oxygenation. *Intensive Care Med* 2014; 40:1256–1266
106. Brian C. Bridges, Archana Dhar, Kollengode Ramanathan, Heidi J. Steflink, Matthieu Schmidt, and Kiran Shekar Reviewers: Ali Ait Hssain, Cecil Levy, Graeme MacLaren, Thomas Mueller / Extracorporeal Life Support Organization Guidelines for Fluid Overload, Acute Kidney Injury, and Electrolyte Management // ASAIO Journal 2022 Guidelines Copyright ELSO 2022 DOI: 10.1097/MAT.0000000000001702
107. Заболотских, И. Б. Интенсивная терапия: национальное руководство: в 2 т. / под ред. И. Б. Заболотских, Д. Н. Проценко. - 2-е изд., перераб. и доп. - Москва: ГЭОТАР-Медиа, 2020. - 1072 с.
108. Two decades' experience with interfacility transport on extracorporeal membrane oxygenation / Bryner B., Coaley E., Copenhaver W. et al. // *Ann Thorac Surg*. 2014. 98[4]:1363. Doi: 10.1016/j.athoracsur.2014.06.025
109. The Stockholm experience: interhospital transports on extracorporeal membrane oxygenation / Brohman L.Mikael, Holzgraefe Bernhard, Palm r Kenneth and Frenckner Bjorn // *Critical Care*. 2015. No. 19. P. 278.
110. Ericsson A., Broman L.M. “Five-Year Follow-Up of Adverse Events During InterHospital Transports on Extracorporeal Membrane Oxygenation”. Regensburg, Germany: EuroELSO, 2015.
111. Ahmed Labib, Erin August, Cara Agerstrand, Bjorn Frenckner, De'Ann Laufenberg, Gerald Lavandosky, Christian Fajardo, Jason A. Gluck, and Daniel Brodie Reviewers: Thomas Muller, Chris Harvey, Giles Peek, Peta Alexander, Phillip Mason, and Robert Bartlett / Extracorporeal Life Support Organization Guideline for Transport and Retrieval of Adult and Pediatric Patients with ECMO Support // ASAIO Journal 2022 Guidelines Copyright ELSO 2022 DOI: 10.1097/MAT.0000000000001653
112. Д.А. Шелухин, С.С. Алексанин, В.Ю. Рыбников, А.И. Павлов «Шкала оценки транспортабельности и вероятности летального исхода тяжелобольных и пострадавших в чрезвычайных ситуациях», Медикобиологические и социальнопсихологические проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях. 2023. № 1
113. Лысенко М.А., Гуменюк С.А., Кецкало М.В., Толстых А.Н. «Организация и проведение медицинской эвакуации с выполнением экстракорпоральной мембранной оксигенации». Медицина катастроф №2 (106), 2019. Стр. 56-59/

114. Шелухин Д.А., Карпов А.В., Кецкало М.В., Губарев К.К. / Российский опыт транспортной экстракорпоральной мембранной оксигенации // Журнал им. Н.В. Склифосовского «Неотложная медицинская помощь», 2020; 9 (4): 521-528. <https://doi.org/10.23934/2223-9022-2020-9-4-521-528>.
115. Antonio F. Corno, Gail M. Faulkner, and Chris Harvey / Mobile Extracorporeal Membrane Oxygenation // ASAIO Journal 2021 Pediatric Circulatory Support Copyright ASAIO 2020 DOI: 10.1097/MAT.0000000000001286
116. Власов А.Ю., Щеголев А.В., Шелухин Д.А. и др. / Первый опыт транспортировки больного с тяжелой дыхательной недостаточностью в условиях экстракорпоральной мембранной оксигенации // Воен.-мед. журн. 2015. №4. С. 10–15.
117. Broman L.M., Frenckner B. “Transportation of Critically Ill Patient on Extracorporeal Membrane Oxygenation”// Front. Pediatr, 4.63. Doi: 10.3389/ped.2016.00063
118. Konstanty Szuldrzynski, Mariusz Kowalewski, Justyna Swo / Mechanical ventilation during extracorporeal membrane oxygenation support–New trends and continuing challenges // Special Issue: EuroELSO 2024 // Perfusion 2024, Vol. 39(1S) 107S–114S sagepub.com/journals-permissions DOI: 10.1177/02676591241232270

11.1. Дополнительная литература

1. Abrams D, Combes A, Brodie D. Extracorporeal membrane oxygenation in cardio-pulmonary disease in adults. J Am Coll Cardiol 2014; 63:2796-2778.
2. Abrams D, Javidfar J, Farrand E, et al. Early mobilization of patients receiving extra-corporeal membrane oxygenation: a retrospective cohort study. Crit. Care 2014; 18R38
3. Aissaoui N, Luyt CE, Leprince P, Trouillet JL, Leger P, Pavie A, et al. Predictors of successful extracorporeal membrane oxygenation (ECMO) weaning after assistance for refractory cardiogenic shock. Intensive Care Med. 2011;37(11): 1738–45.
4. Annich GM, Meinhardt JP, Mowery KA et al. Reduced platelet activation and thrombosis in extracorporeal circuits coated with nitric oxide release polymers. Crit Care Med. 2000; 28:915-920.
5. Aokage T, Palmer K, Ichiba S et al. Extracorporeal membrane oxygenate for acute Respiratory distress syndrome. J of Intens Care 2015; 3:17
6. Brodie D, Slutsky AS, Combes A. Extracorporeal life support for adults with respiratory failure and related indications: a review. JAMA. 2019;322(6):557–68.
7. Dahlberg PS, Prekker ME, Herrington CS, Hertz MI, Park SJ. Medium-term results of extracorporeal membrane oxygenation for severe acute lung injury after lung transplantation. J Heart Lung Transplant 2004; 23:979-984.

8. De Mol AC, Van HeijstAF, Van der Staak FH, Liem KD. Disturbed cerebral circulation during opening of the venoarterial bypass bridge in extracorporeal membrane oxygenation. *Int J Artif Organs* 2008; 31(3):266-71.
9. ELSO GUIDELINES FOR ECMO CENTERS. Feb 2010. p. 7.
10. Extracorporeal membrane oxygenation (ECMO) for severe lung failure. Royal Brompton Hospital. Royal Brompton & Harefield NHS Foundation Trust. 2016.
11. Farias M, Olivos C, Diaz R. Nutritional implication for the patient undergoing extra-corporeal membrane oxygenation. *Nutr Hosp*. 2015; 31 (6): 2346-2351.
12. GUIDELINES FOR ADULT CARDIAC FAILURE (ELSO). Dec 2013. p. 5.
13. Garan AR, Malick WA, Habal M, Topkara VK, Fried J, Masoumi A, et al. Predictors of survival for patients with acute decompensated heart failure requiring extra-corporeal membrane oxygenation therapy. *ASAIO J*. 2019; 65(8):781–7.
14. Garan AR, Eckhardt C, Takeda K, Topkara VK, Clerkin K, Fried J, et al. Predictors of survival and ability to wean from short-term mechanical circulatory support device following acute myocardial infarction complicated by cardiogenic shock. *Eur Heart J Acute Cardiovasc Care*. 2018; 7(8):755–65.
15. Jacobson J. Nitric oxide: platelet protectant properties during cardiopulmonary bypass/ECMO. *J Extra Corpor Technol*. 2002; 34:144-147.
16. Jaimin R. Trivedi, Amal Alotaibi, Joseph C. Sweeney, Matthew P. Fox, Victor van Berkel, Kandis Adkins, Clay Condley, Hazaim Alwair, Mark S. Slaughter / Use of Extracorporeal Membrane Oxygenation in Blunt Traumatic Injury Patients with Acute Respiratory Distress Syndrome *ASAIO Journal* 2022 Brief Communication Copyright ASAIO 2021 DOI: 10.1097/MAT.0000000000001544
17. Justyna Swol, Jeremy W. Cannon, Ryan P. Barbaro, Jeffrey J. Fanning, and David Zonies / Extracorporeal Membrane Oxygenation in Trauma // *ASAIO Journal* 2022 Invited Commentary Copyright ASAIO 2022 DOI: 10.1097/MAT.0000000000001724
18. Kon Z, Dahi S, Evans C et al. Class III Obesity is Not a Contraindication to Veno-ve- nous Extracorporeal Membrane Oxygenation Support. *Ann Thorac Surg* 2015;100:1855-60.
19. Kulkarni T, Sharma N, Diaz-Guzman E. Extracorporeal membrane oxygenation in adults: Apractical guide for internists. *Cleveland Clinic J of Med* 2016; 83: 373-384.
20. Laft G, Budak AB, Yener AU, Cicek OF. Use of extracorporeal membrane oxygenation in adult. *Heart Lung Circ*. 2014; 23:10-23
21. Lawler P, Silver D, Scirica B et al. Extracorporeal Membrane Oxygenation in Adults With Cardiogenic Shock. *Circulation* 2015; 131:676-680.
22. Lo GK, Juhl D, Warkentin TE, Sigouin CS et al. Evaluation of pretest clinical score (4 T's) for the diagnosis of heparin-induced thrombocytopenia in two clinical settings. *J Thromb Haemost* 2006; 4:759–765.

23. Malfertheiner M, Philipp A, Lubnow M, et al. Hemostatic Change During Extracorporeal Membrane Oxygenation: A Prospective Randomized Clinical Trial Comparing Three Different Extracorporeal Membrane Oxygenation Systems. Crit Care Med 2016
24. Napp L, Kuhn C, Bauersachs J et al. Cannulation strategies for percutaneous extra-corporeal membrane oxygenation in adults. Clin Res Cardiol. 2016; 105: 283-296.
25. Palmer O, Palmer K, Hultman J et al. Cannula Design and Recirculation During Venovenous Extracorporeal Membrane Oxygenation. ASAIO J 2016; 737-742.
26. Schmidt M, Burrell A, Roberts L, Bailey M, Sheldrake J, Rycus PT, et al. Predicting survival after ECMO for refractory cardiogenic shock: the survival after veno-arterial-ECMO (SAVE)-score. Eur Heart J. 2015;36(33):2246–56.
27. Schmidt M, Hodgson C, Combes A. Extracorporeal gas exchange for acute respiratory failure in adult patients: a systematic review. Crit. Care 2015; 19 (1): 99
28. Руководство по кардиоанестезиологии и интенсивной терапии. Под ред. А.А. Бунятяна, Н.А. Трековой, А.А. Еременко. – 2-е изд., доп. и перераб. – М.: ООО «Издательство «Медицинское информационное агентство», 2015. – 704 с.
29. Хенсли Ф.А. мл., Мартин Д.Е., Гревли Г.П. «Практическая кардиоанестезиология» – СПб., 2008.
30. «Патофизиология заболеваний сердечно-сосудистой системы»: пер. с англ./ под ред. Л. Лилли. М., 2003.

11.2. Интернет-ресурсы

1. <http://rosminzdrav.ru> – Министерство здравоохранения Российской Федерации.
2. <http://cr.rosminzdrav.ru/rubricator/adults> – Министерство здравоохранения Российской Федерации. Клинические рекомендации для взрослых
3. <http://www.femb.ru> – Федеральная электронная медицинская библиотека (ФЭМБ)
4. <https://elibrary.ru> – Научная электронная библиотека
5. Единый образовательный портал Первого МГМУ им. И.М.Сеченова (sechenov.ru) – Электронный образовательный портал Первого МГМУ им. И.М. Сеченова.
6. <http://www.rusanesth.com> – Русский анестезиологический сервер.
7. <http://elso.org> - Extracorporeal Life Support Organization (ELSO) World's Largest Registry of ECMO Runs and ECLS Centers – сайт Всемирной организации экстракорпоральной поддержки жизнеобеспечения
8. <https://экмо.рф> – сайт Российского общества специалистов ЭКМО - РосЭКМО
9. <http://www.critical.ru> – Сайт медицины критических состояний.

10. <http://www.medi.ru/doc/001itarr.htm> – Интенсивная терапия, анестезиология и реаниматология.
11. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/> (современные научные статьи)
12. <http://www.asahq.org/> - Сайт американского общества анестезиологов (ASA), являющегося образовательной и научно-исследовательской ассоциацией врачей-анестезиологов. Организован в целях повышения и поддержания стандартов в медицинской практике анестезиологов и в улучшении ухода за пациентами.
13. <http://www.scahq.org/> - Сайт международного общества сердечно-сосудистых анестезиологов (SCA), объединяющий более 6000 сердечно-сосудистых и торакальных анестезиологов по всему миру. На сайте содержится большое количество практических и образовательных материалов, on-line библиотека и видеоматериалы по сердечно-сосудистой и торакальной анестезиологии.

11.3. Нормативно-правовые акты Российской Федерации, в соответствии с профилем специальности и регламентирующие применение методики ЭКМО в клинической практике

1. Федеральный закон от 21.11.2011 № 323-ФЗ «Об основах охраны здоровья граждан в Российской Федерации»
2. Приказ Министерства образования и науки РФ от 25 августа 2014 г. N 1044 "Об утверждении федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по специальности 31.08.02 Анестезиология - реаниматология (уровень подготовки кадров высшей квалификации)";
3. Приказ Министерства здравоохранения РФ от 15 ноября 2012 г. № 919н «Об утверждении Порядка оказания медицинской помощи взрослому населению по профилю «Анестезиология и реаниматология» (с изменениями и дополнениями) (зарегистрирован Министерством юстиции Российской Федерации 29 декабря 2012 г., регистрационный № 26512);
4. Приказ Минздрава России от 08.10.2015 N 707н (ред. от 04.09.2020) "Об утверждении Квалификационных требований к медицинским и фармацевтическим работникам с высшим образованием по направлению подготовки "Здравоохранение и медицинские науки" (Зарегистрировано в Минюсте России 23.10.2015 N 39438)
5. Приказ Минздрава России №66н от 03.08.2012 «Об утверждении Порядка и сроков совершенствования медицинскими работниками и фармацевтическими работниками

профессиональных знаний и навыков путем обучения по дополнительным профессиональным образовательным программам в образовательных и научных организациях».

6. Приказ Минздравсоцразвития России от 23 июля 2010 г. N 541н «Об утверждении Единого квалификационного справочника должностей руководителей, специалистов и служащих, раздел «Квалификационные характеристики должностей работников в сфере здравоохранения»;
7. Профессиональный стандарт «Врач - анестезиолог-реаниматолог», утвержденный приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 27 августа 2018 г. № 554н (зарегистрирован Министерством юстиции Российской Федерации 14 сентября 2018 г., регистрационный № 52161);