ФМБА РОССИИ
Федеральное медико-биологическое агентство

Медико-биологический университет
инноваций и непрерывного образования
ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России

Адрес: г. Москва, ул. Живописная, д. 46, стр. 8
Тел.: 8 (499) 190-96-92
Сайт: www.mbufmbc.ru

Кругляков Н.М., Альтшулер Н.Э., Багжанов Г.И., Очкин С.С., Чабанов В.В.

ЭКСТРАКОРПОРАЛЬНАЯ МЕМБРАННАЯ ОКСИГЕНАЦИЯ В ОТДЕЛЕНИИ РЕАНИМАЦИИ И ИНТЕНСИВНОЙ ТЕРАПИИ

Учебно-методическое пособие

Москва, 2026

Федеральное медико-биологическое агентство
Федеральное государственное бюджетное учреждение
«Государственный научный центр Российской Федерации —
Федеральный медицинский биофизический центр
имени А.И. Бурназяна»
МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИННОВАЦИЙ И НЕПРЕРЫВНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

**Кругляков Н.М., Альтшулер Н.Э., Багжанов Г.И.,
Очкин С.С., Чабанов В.В.**

ЭКСТРАКОРПОРАЛЬНАЯ МЕМБРАННАЯ ОКСИГЕНАЦИЯ В ОТДЕЛЕНИИ РЕАНИМАЦИИ И ИНТЕНСИВНОЙ ТЕРАПИИ

Учебно-методическое пособие

Москва 2026

УДК 616.831
ББК 56.127.7
К84

Кругляков Н.М., Альтшулер Н.Э., Багжанов Г.И., Очкин С.С., Чабанов В.В. Экстракорпоральная мембранная оксигенация в отделении реанимации и интенсивной терапии: Учеб.-метод. пособие. Под общ. ред. Ю.Д. Удалова — М.: ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, 2026. — 62 с.

Авторы:

Н.М. Кругляков — кандидат медицинских наук, доцент кафедры анестезиологии-реаниматологии и интенсивной терапии.

Н.Э. Альтшулер — доктор медицинских наук, ассистент кафедры анестезиологии-реаниматологии и интенсивной терапии.

Г.И. Багжанов — ассистент кафедры анестезиологии-реаниматологии и интенсивной терапии.

С.С. Очкин — ассистент кафедры анестезиологии-реаниматологии и интенсивной терапии.

В.В. Чабанов — врач анестезиолог-реаниматолог отделения анестезиологии и реанимации №2.

Рецензенты:

Попугаев К.А. — доктор медицинских наук, профессор, член корреспондент РАН, заведующий кафедрой анестезиологии-реаниматологии и интенсивной терапии МБУ ИНО ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России.

Губарев К.К. — доктор медицинских наук, профессор, доцент кафедры хирургии с курсами онкологии, эндоскопии, хирургической патологии, клинической трансплантологии и органного донорства МБУ ИНО ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна.

Настоящее пособие подготовлено сотрудниками кафедры анестезиологии-реаниматологии и интенсивной терапии МБУ ИНО ФМБЦ им. А.И. Бурназяна в соответствии с «Программой по неотложным состояниям для обучающих высших медицинских учебных заведений».

Пособие предназначено для обучающих высших медицинских учебных заведений, а также может быть использовано в клинической практике врачами.

ISBN 978-5-93064-470-8

© ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, 2026

ОГЛАВЛЕНИЕ

Список сокращений 4

Введение 5

История развития технологии ЭКМО 6

Техническое и технологическое устройство метода 7

Физиологические аспекты процесса 15

Терморегуляция и ЭКМО 16

Техника канюляции сосудов и выбор канюль 17

Осложнения сопряженные с технологией ЭКМО 28

Мониторинг параметров сопряженных с технологией ЭКМО 38

Показания к применению ЭКМО 44

Показания к В-А ЭКМО 44

Показания к В-В ЭКМО 45

Противопоказания к применению ЭКМО 47

Антикоагулянтная терапия при ЭКМО 50

Рекомендации по проведению антикоагулятной теарпии во время ЭКМО при развитии гепарин-индуцированной тромбоцитопении 52

Рекомендации по коррекции гипоперфузии и/или гипоксемии верхней части туловища при периферической ВА ЭКМО из бедренного доступа 52

Гемодинамическая разгрузка левых отделов сердца при проведении ВА ЭКМО 53

Рекомендации по коррекции объёмной перегрузки левых отделов сердца при проведении ВА ЭКМО 53

Хирургические методы активного дренирования левого желудочка 54

Отлучение от ЭКМО 55

Пробное прекращение 55

Декануляция 56

Прекращение поддержки при бесперспективности 56

Тесты 58

Ответы на тесты 61

Список литературы 62

Список сокращений

ЭКМО	— экстракорпоральная мембранная оксигенация
ВЭКС	— временный электрокардиостимулятор
ОКС	— острый коронарный синдром
ОИМ	— острый инфаркт миокарда
ТЭЛА	— тромбоэмболия легочной артерии
ВАБК	— внутриаортальная балонная контрпульсация
ЭСЛР	— экстракорпоральная сердечно-легочная реанимация
СЛР	— сердечно-легочная реанимация
ВВ ЭКМО	— вено-венозная экстракорпоральная мембранная оксигенация
ВА ЭКМО	— вено-артериальная экстракорпоральная мембранная оксигенация
ВАВ ЭКМО	— вено-артерио-венозная экстракорпоральная мембранная оксигенация
АВ ЭКМО	— артерио-венозная самопоточная экстракорпоральная мембранная оксигенация
ИВЛ	— искусственная вентиляция легких
ИК	— искусственное кровообращение
ОНМК	— острое нарушение мозгового кровообращения
СМП	— скорая медицинская помощь
ЛА	— легочная артерия
ПЖ	— правый желудочек
ЖКТ	— желудочно-кишечный тракт
АЧТВ	— активированное частичное тромбопластиновое время
КТ	— компьютерная томография
ЦВД	— центральное венозное давление
ЦВК	— центральный венозный катетер
ТРУ	— терморегулирующее устройство
ЧСС	— частота сердечных сокращений
АД	— артериальное давление
АСТ	— аспартатаминотрансфераза
УЗИ	— ультразвуковое исследование
ЕД	— единицы действия
ДЗЛК	— давление заклинивания легочных капилляров
СПОН	— синдром полиорганной недостаточности
ЧМТ	— черепно-мозговая травма
САК	— субарахноидальное кровоизлияние
ЧС	— чрезвычайная ситуация
ИМТ	— индекс массы тела
СЗП	— свежезамороженная плазма
СВ	— сердечный выброс

Введение

Экстракорпоральная мембранная оксигенация (ЭКМО) является методом искусственного увеличения уровня парциального напряжения O_2 крови (оксигенации) и удаления (элиминации) из крови CO_2 , что достигается путём пассивного (без насоса крови) или активного (с помощью насоса крови) нагнетания венозной или артериальной крови в экстракорпоральный контур (кровяные магистрали), её последующее прохождение через мембранный оксигенатор и возврат оксигенированной и декарбоксилированной (“артериализованной”) крови в системный кровоток.

В настоящее время экстракорпоральная мембранная оксигенация (ЭКМО) является эффективным способом поддержания жизненно важных функций у пациентов разных возрастных групп и нозологических состояний, сопряженных с дыхательной, сердечной или сердечно-легочной недостаточностью. Данная методика основывается на базовых принципах искусственного кровообращения, однако может применяться за пределами операционных в условиях стационара и за его пределами, в частности при выполнении высокотехнологичных медицинских эвакуаций (транспортировок) пациентов, ранее считавшихся по всем канонам экстренной медицинской помощи «нетранспортабельными».

История развития технологии ЭКМО

- Первое теоретическое упоминание об оксигенации как процессе — R. Hooke 1635–1703 гг.;
- первые эксперименты с экстракорпоральным кровообращением (кровосмешением между сердечно-сосудистой системой животного и человека с целью омоложения) J.B. Denis 1693 г.;
- первая концепция и эксперименты механического экстракорпорального кровообращения с помощью шприцов с кровью на комплексе сердцелегкие J. Le Gallois1 1812 г. (Франция);
- попытки перфузии изолированной головы собаки с помощью шприцов с кровью Ch. E. Brown-Séquard 1857 г.;
- использования пузырькового оксигенатора для перфузии изолированной почки W. von Schroder 1882 г. (Австрия);
- прототип машины для искусственного кровообращения с оксигенатором (наклонный цилиндр с фазой контакта крови и газа) M.R.F. von Frey & M. von Gruber 1885 г. (Австрия, Германия);
- открытие Гепарина J. McLean 1916 г. (США);
- первое успешное ЭКМО всего тела собаки С.С. Брюхоненко С.И. Чечулин 1926 г. (СССР);
- первая попытка применения ЭКМО у пациента с дыхательной недостаточностью J.A. Helmsworth 1952 г. (США);
- первая успешная операция на открытом сердце в условиях ЭКМО J.H. Gibbon 1953 г.;
- первый мембранный оксигенатор был сконструирован W.J. Kolff и с успехом испытан в эксперименте D. Effler в 1956 г. (Нидерланды);
- первое успешное клиническое применение ЭКМО у пациента с респираторным дистресс синдромом на фоне политравмы D.Hill 1972 г. (США);
- первое успешное клиническое применение ЭКМО у новорожденного с аспирацией меконием 1975 г. (США);
- первое транспортное ЭКМО машина/самолет R.H. Bartlett 1977 г. [5];
- первое транспортное ЭКМО в России машина/вертолет/самолет Д.А. Шелухин и др. 2015 г.;
- первое транспортное ЭКМО у неонатального пациента в России А.В. Яковлев 2016 г.

Техническое и технологическое устройство метода

ЭКМО является искусственной системой замещения газообменной функции лёгких (оксигенация, элиминация CO_2) и кровообращения, обеспечивающей доставку O_2 к периферическим тканям при грубых, жизнеугрожающих расстройствах системной гемодинамики и/или лёгочного газообмена.

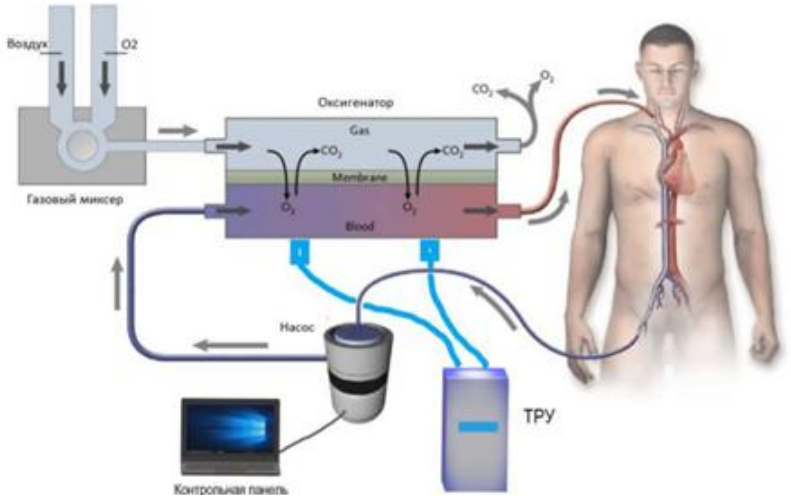


Рисунок 1. Схема контура аппарата ЭКМО, принцип экстракорпоральной перфузии и газообмена.

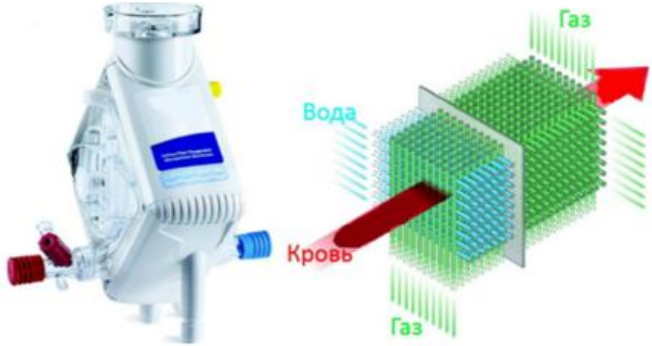


Рисунок 2. Устройство оксигенатора, отношение потоков воды, газа и крови.

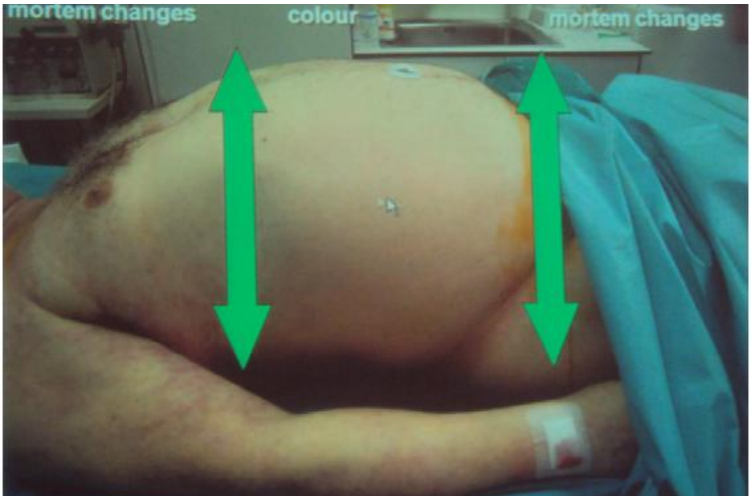


Рисунок 3. Изолированная нормотермическая перфузия органов брюшной полости и забрюшинного пространства тела донора «in vivo».

ЭКМО может также применяться для изолированной перфузии органов и тканей «in vivo» применяется у пациента или потенциального донора (рис. 3) и «ex vivo» применяется для сохранения и оценки функционального состояния органа (рис. 4), ткани, части тела, например конечность (рис. 5).

На рисунке 3 верхняя и нижняя часть туловища выключены из кровообращения с помощью раздувания двух баллонов Фогерти в просвете аорты, соответственно над ее бифуркацией и выше чревного ствола.

Температура верхней и нижней части туловища сравнивается с температурой окружающей среды 20°С, в то время как органы, расположенные внутри- и забрюшинно имеют целевую нормотермическую температуру 37°С. На рисунке 4 представлена изолированная перфузия донорского органа (сердце) с управляемой терморегуляцией и газообменом. В случае перфузии донорского сердца могут быть задействованы варианты полной или частичной циркуляторной поддержки, а также градиентной (без насоса) перфузии с управляемой через ВЭКС (временный электрокардиостимулятор) частотой и силой (адренергическая поддержка) сердечных сокращений. По протоколу «ЕвроТрансплант» сердце может транспортироваться на дальние расстояния в пределах отведенных 48 часов.



Рисунок 4. Изолированная нормотермическая перфузия сердца «ex vivo».

На рисунке 5 представлена изолированная перфузия на аппарате ЭКМО нижней конечности после травматической ампутации. Данный метод позволяет сохранить жизнеспособность тканей, путем оптимизации объемной скорости перфузии, тем-



Рисунок 5. Изолированная гипотермическая перфузия ампутированной при травме нижней конечности «ex vivo».

пературы тканей, уровня гемоглобина, кислородного баланса, что увеличивает шансы на успешную реимплантацию. В это же время стабилизируется состояние пострадавшего комплексом мероприятий по хирургическому гемостазу и интенсивной противошоковой терапии. При необходимости пациент и ампутированная часть тела могут быть транспортированы на следующий этап специализированной высокотехнологичной помощи.

Исходя из определения и функциональной задачи технологии ЭКМО (поддержка газообмена и/или системной гемодинамики), выделяют две большие группы нозологий, сопряженных с дыхательной и циркуляторной недостаточностью:

I. Дыхательная недостаточность:
— пневмонии разной этиологии;
— острая декомпенсация хронической обструктивной болезни легких;
— синдром острого повреждения легких;
— респираторный дистресс синдром;
— асфиксия;
— врожденная дисплазия легких (диафрагмальная грыжа);
— врожденная аномалия внебрюшинного развития органов (омфалоцеле , гастрошизис);
— декомпенсированная хроническая дыхательная недостаточность, подлежащая трансплантации легких через лист ожидания;
— «мост» к любому другому решению, например трансплантация легких.

Стоит отметить, что до 15% политравм, 40% случаев термоингаляционной травмы, эмболии околоплодными водами, тромбоэмболии легочной артерии, аспирация, в т.ч. меконием — сопровождаются развитием вторичного респираторного дистресс синдрома легких. Технология ЭКМО в этом случае будет показана при жизнеугрожающей, рефрактерной к другим (традиционным) видам терапии гипоксии (критическое снижение O_2) и гиперкапнии (критическое повышение CO_2).

II. Циркуляторная недостаточность:
— низкий сердечный выброс;
— циркуляторный шок;
— остановка кровообращения (клиническая смерть);

— «мост» к любому другому решению, например трансплантация сердца или имплантация искусственного механического желудочка сердца (VAD — ventricular assist device) через лист ожидания.

Низкий сердечный выброс и циркуляторный шок могут быть связаны с разными нозологиями: ОКС острый коронарный синдром), ОИМ (острый инфаркт миокарда), ТЭЛА (тромбоэмболия легочной артерии), синдром Такоцубо, миокардит, посткардиотомный синдром, сепсис, глубокая гипотермия. Применение технологии ЭКМО в этих случаях будет сопряжено с рефрактерной традиционной терапией (высокие дозы катехоламинов, ВАБК (внутриаортальная балонная контрпульсация) и др.), не позволяющей стабилизировать состояние системной гемодинамики тяжелобольного. Так же ЭКМО в настоящее время применяется при экстракорпоральной сердечно-легочной реанимации (ЭСЛР), которая в настоящее время является наиболее эффективным методом восстановления системной гемодинамики при рефрактерной традиционной СЛР (сердечно-легочной реанимации).

Современная классификация технологии ЭКМО.

По канюляции относительно сердца выделяют:

1. Центральное ЭКМО, подразумевает хирургическую (открытым способом) постановку канюль непосредственно в сердце и корень/дугу аорты, доступ осуществляется как правило через стернотомию, реже торакотомию, применяется у детей и взрослых, чаще при кардиохирургических вмешательствах (рис. 6 А).
2. Периферическое ЭКМО, подразумевает постановку канюль в крупные сосуды пункционным или хирургическим способом, имеет ряд преимуществ сопряженных с меньшими рисками развития кровотечений, инфекции, позволяет активизировать пациента (вертикализация, гимнастика) (рис. 6 Б), однако при ретроградной схеме перфузии в аорте может потенцировать синдром «Арлекино» (гипоксия миокарда, головного мозга и правой верхней конечности) при сочетании у пациентов циркуляторной и дыхательной недостаточности (рис. 9).
3. Комбинированный вариант ЭКМО, сочетающий центральную и периферическую канюляции, применяется с целью

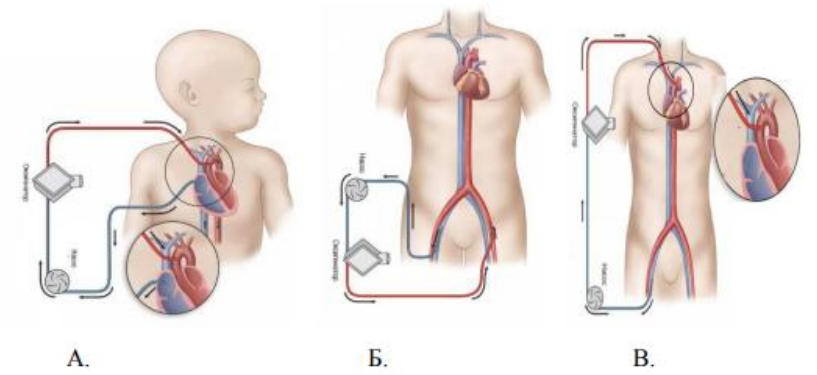


Рисунок 6. Схема подключения ЭКМО относительно сердца: А. центральное, Б. периферическое, В. центрально-периферическое.

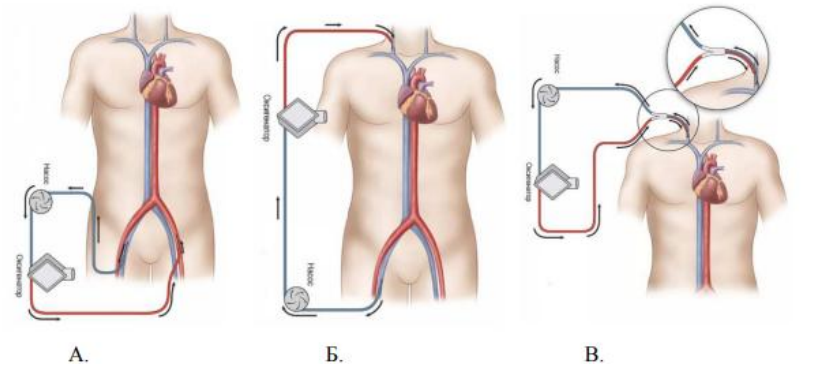


Рисунок 7. Схема периферического: А. вено-артериального ЭКМО, Б. вено-венозного ЭКМО с канюляцией несколько сосудов, В. вено-венозного ЭКМО с канюляцией одного сосуда

уменьшения потенциальных осложнений, сопряженных с центральной канюляцией (кровотечение, инфицирование), отчасти упрощает возможность активизации пациента (рис. 6 В).

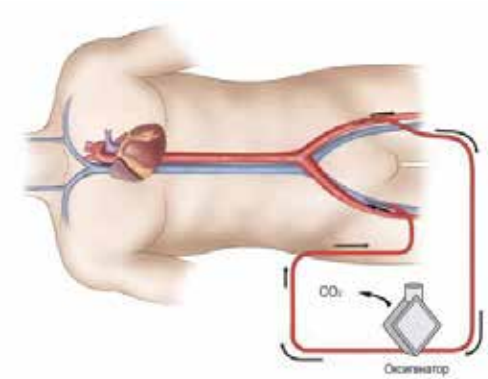


Рисунок 8. Схема периферического артерио-венозного без насосного ЭКМО.

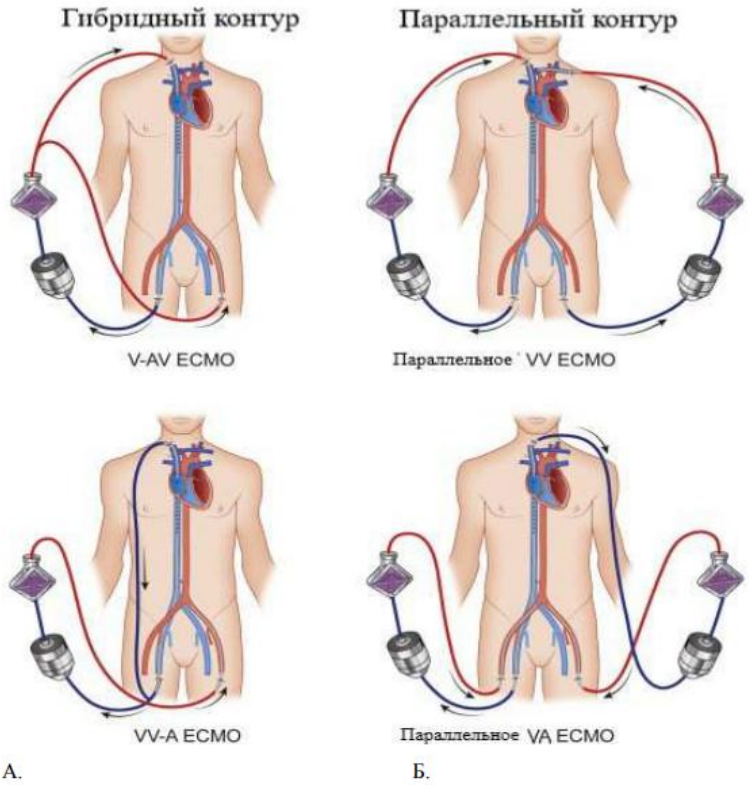


Рисунок 9. А. гибридный контуры ЭКМО, Б. параллельные контуры ЭКМО.

В зависимости от целей проведения и технического обеспечения выделяют следующие методики проведения ЭКМО:

I. С использованием насоса крови:

1. ВА ЭКМО — вено-артериальная экстракорпоральная мембранная оксигенация.
2. ВВ ЭКМО — вено-венозная экстракорпоральная мембранная оксигенация.
3. ВАВ ЭКМО — вено-артерио-венозная экстракорпоральная мембранная оксигенация.

II. Без насоса крови:

1. АВ ЭКМО — артерио-венозная самопоточная экстракорпоральная мембранная оксигенация

Клинической целью различных методик проведения ЭКМО при критических состояниях является коррекция имеющихся грубых расстройств системной гемодинамики и/или газообменной функции лёгких:

1. Экстракорпоральная оксигенация крови с целью коррекции артериальной гипоксемии (ВВ ЭКМО; ВА ЭКМО; самопоточная АВ ЭКМО (опосредованный эффект));
2. Экстракорпоральная элиминация CO_2 с целью коррекции гиперкапнии (ВВ ЭКМО, ВА ЭКМО, самопоточная АВ ЭКМО);
3. Улучшение транспорта (доставки) O_2 при циркуляторной недостаточности (ВА ЭКМО) или при сохранной насосной функции сердца, но наличии артериальной гипоксемии (ВВ ЭКМО);
4. Улучшение гомеостаза путём коррекции кислородной и циркуляторной задолженности;
5. Создание режима функционального покоя для лёгких путём снижения напряжённости и «травматичности» ИВЛ (ВА ЭКМО; ВВ ЭКМО; самопоточная АВ ЭКМО);
6. Объёмная разгрузка сердца (ВА ЭКМО).

Физиологические аспекты процесса

Во время проведения ВА ЭКМО насосная функция сердца и газообменная функция лёгких (оксигенация, элиминация CO_2) частично (частичная ВА ЭКМО) и полностью (полная ВА ЭКМО) искусственно замещаются.

При частичной ВА ЭКМО (объёмная скорость экстракорпорального кровотока < 70 мл/кг/мин) кровь из экстракорпорального контура поступает в аорту (центральная ВА ЭКМО) или периферическую (бедренную, сонную, подключичную и т. п.) артерию (периферическая ВА ЭКМО), смешиваясь с потоком крови из левого желудочка. В этой связи содержание O_2 и CO_2 в артериальной крови будет определяться суммарным вкладом в газообмен оксигенатора и собственных лёгких, а уровень системного кровотока будет представлять собой сумму объёма кровотока, нагнетаемого кровяным насосом контура ЭКМО, и объёмом кровотока, создаваемого самим сердцем.

При полной ВА ЭКМО (объёмная скорость экстракорпорального кровотока > 70 мл/кг/мин) системный кровоток и газообмен целиком зависят от эффективности работы системы ЭКМО, особенно в клинических ситуациях резкого нарушения насосной функции сердца и/или газообменной функции лёгких.

Факторы, влияющие на элиминации CO_2 через мембранный оксигенатор:

1. Проницаемость капиллярной мембраны;
2. Увеличение потока O_2 через оксигенатор способствует ускорению вымывания CO_2 из крови;
3. Чрезмерно высокий поток O_2 через оксигенатор приводит к увеличению диффузионного коэффициента для CO_2 и к значимому снижению pCO_2 в крови, что равносильно лёгочной гипервентиляции;
4. Низкий поток O_2 через оксигенатор приводит к уменьшению диффузионного коэффициента для CO_2 и увеличению pCO_2 в крови, что равносильно лёгочной гиповентиляции;
5. Факторы, влияющие на транспорт O_2 через мембрану оксигенатора;
6. Транспорт O_2 через оксигенатор определяется толщиной слоя крови, а также другими факторами, влияющими на распределения потока крови внутри оксигенатора, в част-

ности способствующими возникновению так называемого вторичного потока;

7. Наиболее простым механизмом регуляции уровня экстракорпоральной оксигенации крови является изменение FiO_2 газовой смеси;
8. В связи с тем, что мембрана полностью разделяет поток газа и поток крови, азот может быть добавлен в газовую смесь без риска возникновения газовой эмболии;
9. Оксигенирующая способность мембраны зависит только от толщины слоя крови, чем тоньше слой крови, тем выше уровень её оксигенации и PaO_2 ;
10. При высокой объёмной скорости кровотока не вся кровь успевает полностью оксигенироваться, что может привести к относительному снижению уровня PaO_2, в этой связи размер оксигенатора, площадь его мембраны, должны соответствовать предполагаемой наибольшей объёмной скорости кровотока.

Терморегуляция и ЭКМО

Во время прохождения крови по экстракорпоральному контуру и через оксигенатор происходит потеря тепла, что может привести к понижению температуры тела с последующими гемодинамическими, метаболическими, газообменными и реологическими расстройствами. В связи с этим одним из обязательных условий при проведении ЭКМО является поддержание на оптимальном уровне теплового баланса организма, что может быть достигнуто как применением наружных систем согревания пациентов, так и специальных теплообменных устройств (теплообменников), обеспечивающих активное согревание или активное/пассивное охлаждение крови при её прохождении по экстракорпоральному контуру. Теплообменники являются обязательным компонентом всех оксигенаторов, использующихся как для проведения ИК (искусственного кровообращения), так и ЭКМО. Основная функция теплообменника заключается в регуляции температуры крови пациента во время экстракорпоральной перфузии. С помощью теплообменника возможно как поддержание, так повышение или понижение температуры крови и соответственно температуры организма в целом в зависимости от наличия нормо-, гипо- или гипертермии. Процесс теплообмена между теплообменной водой и кровью в современных оксигенаторах,

происходит непосредственно внутри оксигенатора. Теплообменная вода поступает во внутреннюю часть оксигенатора через соответствующее входное отверстие, где дальше распределяется по сети полиуретановых волокон, противоположным своим концом открывающихся в выходное отверстие. В современных оксигенаторах используются полиуретановые волокна, потому что они имеют удовлетворительные теплопроводящие характеристики, являются биологически-инертными материалами, не приводящими к значительной контактной активации клеточных и неклеточных компонентов крови, и их прочностные характеристики исключают прорыв волокна с последующим проникновением теплообменной воды в кровь.

Объём жидкости, находящейся в просвете полиуретановых волокон определяется размерами оксигенатора и для взрослого типа составляет около 100 мл. Площадь поверхности теплообменной полиуретановой мембраны при площади поверхности газообменной полиметилпептеновой мембраны составляет 1,5 м^2.

Техника канюляции сосудов и выбор канюль

По технике канюляции выделяют:

1. Хирургическую (подразумевает разрез тканей и доступ к крупным сосудам и/или сердцу (рис. 10 А, Б)).

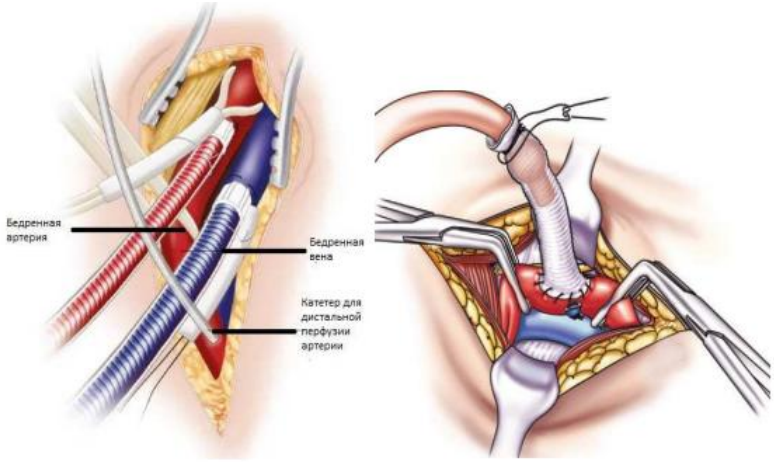


Рисунок 10. Хирургическая канюляция сосудов на бедре: А. прямая, Б. через протез.

2. Пункционную (подразумевает технику пункции по Сельдингеру с применением ультразвуковой навигации).

Преимуществом хирургический канюляции является прямая визуализация сосудов, требует исполнения сердечно-сосудистым хирургом, к недостаткам методики можно отнести: повышенную вероятность образования гематом в условиях антикоагулятной терапии, а также риски инфицирования. В ряде случаев канюляция выполняется через дополнительное наложение сосудистого протеза (рис. 9Б), что уменьшает риски дистальной ишемии в бассейне кровоснабжения канюлируемой артерии. В детской (весом менее 20 кг) и неонатологической практике чаще применяется именно хирургическая техника канюляции, с применением кисетных швов и наложения турникетов на сосудах. Причем чаще используют сосуды шеи (a. carotis int. dex. et v.jugularis int. dex.), что сопряжено с их большим диаметром относительно сосудов на бедре. У взрослых пациентов a. carotis int. dex. использовать не рекомендуется из-за больших рисков развития ОНМК (острого нарушения мозгового кровообращения).

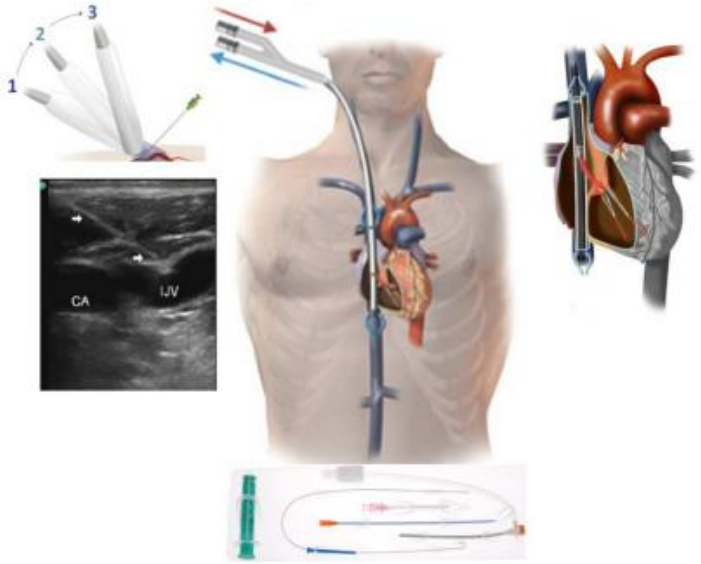


Рисунок 11. Пункционная канюляция сосудов на шее по Сильдигеру с ультразвуковой навигацией, трехступенчатая двухпросветная канюля.

Преимуществом пункционной канюляции является меньший риск инфицирования, образования гематом в условиях антикоагулянтной терапии при правильно выполненной методике, может выполнятся хирургом, анестезиологом, врачом СМП (скорой медицинской помощи), однако требует дополнительной оснащенности и обладания навыками работы с ультразвуковым диагностическим оборудованием, в ряде случаев может быть сопряжена с большим риском развития ишемии в дистальном бассейне кровоснабжения канюлируемой артерии. Профилактика развития ишемии описана далее.

По типу канюль выделяют:

1. Однопросветную (рис. 12 А). Может быть артериальная и венозная, отличаются функциональным дизайном и размерностью. Артериальная канюля в ряде случаев имеет интегрированный порт стандарта Luer-Lock для возможности подключения шунта.
2. Двухпросветную (рис. 12 Б). Как правило применяется для осуществления В-В ЭКМО при дыхательной недостаточности, за исключением специализированного применения двухпросветной двухступенчатой канюли для дренирования правого желудочка сердца, в этом случае это будет ЛА (легочноартериальная) В-А ЭКМО, применяется при изолированной правожелудочковой недостаточности или дренирования правого желудочка сердца и легочной артерии, в этом случае это будет ПЖ (правожелудочковая)/ЛАvent В-А ЭКМО, применяется при правожелудочковой недостаточности и/или легочной гипертензии.
3. Одноступенчатую.
4. Двухступенчатую.
5. Трехступенчатую.

Количество ступеней определяется количеством векторов потока через канюлю разделенных анатомическими областями сердечно-сосудистой системы, так например, широкое применение получили канюли типа «Avalon» (трехступенчатая, двухпросветная) и «NovoPort» (двухступенчатая, двухпросветная), может применятся в позиции нижней полой вены, верхней полой вены, а также правого желудочка и легочной артерии.

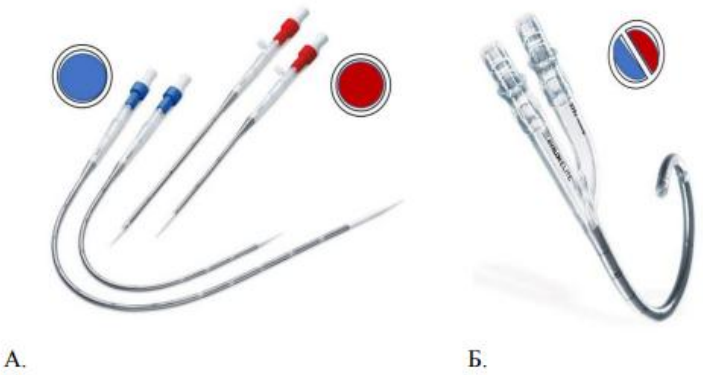


Рисунок 12. Канюля: А. однопросветная, одноступенчатая, Б. двухпросветная, трехступенчатая «Avalon».

К осложнениям, которые могут возникнуть в ходе канюляции можно отнести:

1. Гематомы и кровотечения (чаще сопряжены с неаккуратной техникой канюляции, антикоагулянтной терапией, а также фиксацией канюль (непредвиденная дислокация)). Уменьшить риски помогает: отказ от введения антикоагулянтов до момента начала ЭКМО при абсолютной уверенности в правильной и без осложнений постановке канюль, применение техники ультразвуковой навигации при пункции сосудов (контроль иглы и проводника в просвете сосуда), строгое соблюдение прецизионной техники по Сельдингеру (контроль продвижения дилататора под углом пункции строго по прямому натянутому проводнику, длина проводника должна контролироваться и быть больше длины канюли в просвете сосуда во избежание его перфорации.

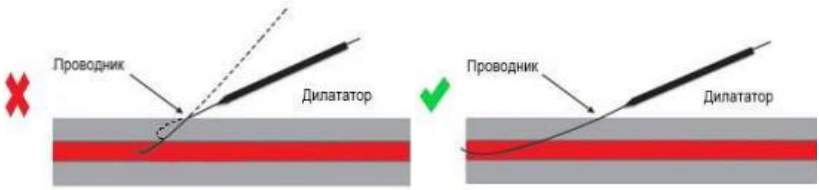


Рисунок 13. Контроль направления иглы, дилататора и проводника при канюляции



Рисунок 14. Контроль позиции стилета относительно канюли.

Внимательно также контролируйте позицию стилета относительно канюли (рис. 14). При канюляции сосудов на бедре следует работать строго ниже паховой связки, чтобы уменьшить риск формирования гематомы в тазу и забрюшинном пространстве. При канюляции сосудов на шее, так же не следует осуществлять манипуляции близко к грудинно-подключичному сочленению, чтобы уменьшить риск формирования гематом средостения, плевральной (гемоторакс) и полости перикарда (тампонада сердца). В случае развития непреднамеренного повреждения сосуда канюлей ни в коем случае не убирайте ее самостоятельно без оценки повреждения с помощью рентгенологических визуализирующих методов с контрастированием (ангиография, компьютерная томография), канюля в этот момент фактически является обтурирующим дефект сосуда предметом.

Длительная инвазия канюль в ряде случаев может быть сопряжена с формированием пролежней мягких тканей в проекции сосудов и развитием аррозивных кровотечений.

2. Диссекции сосудов.

3. Дислокация канюль может приводить к неэффективной перфузии, сопряженной с недостаточным объемом забора крови в венозной канюле, и как следствие снижению производительности аппарата ЭКМО или развитию эффекта рециркуляции при В-В ЭКМО между возвратной и заборной линиями контура, при смещении канюль(и) относительно заданных анатомических ориентиров, что будет сопряжено со снижением коэффициента полезного действия ЭКМО в обеспечении системного газообмена. В ряде случаев дислокация может приводить к фатальным кровотечениям, что обусловлено достаточно высокими скоро-

стями перфузии. Использование нескольких точек фиксации канюли, лейкопластырные повязки с хорошей адгезией, специальные зажимы и хомуты, фиксация магистралей контура по типу «разгрузочной петли» к конечности — все это предотвращает непредвиденную дислокацию канюль, особенно в ходе медицинской эвакуации и позже на этапе активизации пациента при начале реабилитационных мероприятий.

4. Нарушения ритма сердца при механической стимуляции проводником его камер.

5. Сворачивание в узел проводника, происходит при чрезмерном погружении длины проводника в полость камер сердца, может затруднить или даже сделать невозможным последующее его извлечение без хирургической помощи. Для профилактики подобного осложнения при манипуляциях всегда контролируйте длину проводника относительно анатомических ориентиров.

6. Синдром «Арлекина», возникает при периферическом подключении В-А ЭКМО у пациента с сердечной недостаточностью, у которого в тоже время имеет место нарушение оксигенирующей функции легких (рис. 15).

Гипоксемия носит дифференциальный характер в виде разницы содержания кислорода между верхней и нижней полови-

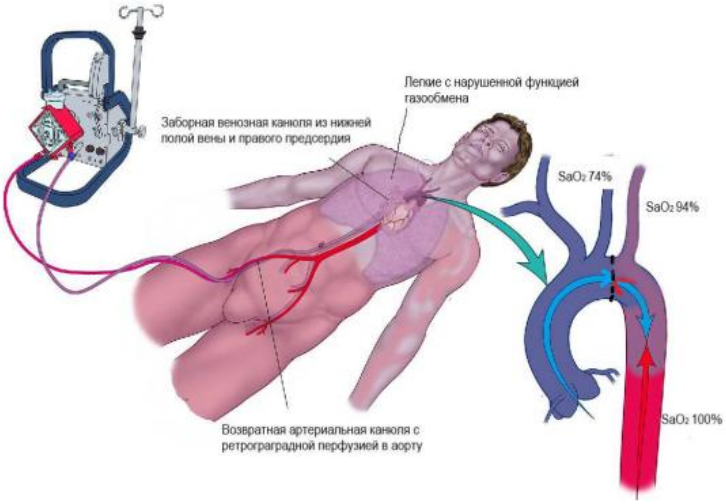


Рисунок 15. Синдром «Арлекино» при периферическом В-А ЭКМО в сочетании с нарушенной газообменной функцией легких.

нами туловища. Если граница смешения в аорте антеградного потока крови с низкой оксигенацией (собственный выброс левого желудочка) встречается с ретроградным током с нормальной оксигенацией, создаваемой аппаратом ЭКМО, на уровне отхождения левой подключичной артерии, можно наблюдать удовлетворительную оксигенацию по SpO_2 нижних конечностей и левой руки, в то время как на правой руке оксигенация может наблюдаться неудовлетворительная, что косвенно подтверждает так же риск возникновения гипоксемии головного мозга и миокарда.

7. Ишемия дистального бассейна кровоснабжения нижней и верхней конечности соответственно при канюляции бедренной или подключичной артерий, возникает при значимом (более 2/3) перекрытии просвета артерии канюлей. Важно помнить, что отношение диаметров канюли и просвета сосуда величина непостоянная и может изменяться, например при введении сосудосуживающих медикаментов (катехоламины), и тогда проявления критической ишемии могут носить отсроченный характер от момента постановки канюли. Рутинное применение тканевой оксиметрии позволяет вовремя исправить ситуацию, не доводя ишемию до развития контрактуры, рабдомиолиза или даже гангрены, которая может потребовать выполнения ампутации конечности. Профилактикой развития ишемии конечностей при канюляции непосредственно в сосуд является превентивная постановка пункционно или хирургически дистального шунта в бедренную (рис. 16 А), заднюю большеберцовую (рис. 16 Б) и подключичную (рис. 16 В) артерии.

8. Синдром гиперперфузии. Чаще возникает при подключении В-А ЭКМО через протез в подключичную артерию и сопряжено с большой объемной скоростью кровотока через верхнюю конечность, клинически проявляется ее гиперемией, отеком и повышением температуры, лимфореей через кожу конечности. Предотвратить это неприятное осложнение можно, если сформировать анастомоз между сосудистым протезом и подключичной артерией справа под углом в 45о, так же в некоторых случаях применяют наложение турникета (петли) на дистальную часть подключичной артерии или проведением канюли через протез в проксимальном направлении с наложением дополнительного дистального шунта на подключичную артерию (рис. 16 В), в этом случае желательно применять мониторинг тканевой оксиметрии верхней коенчности и головы.

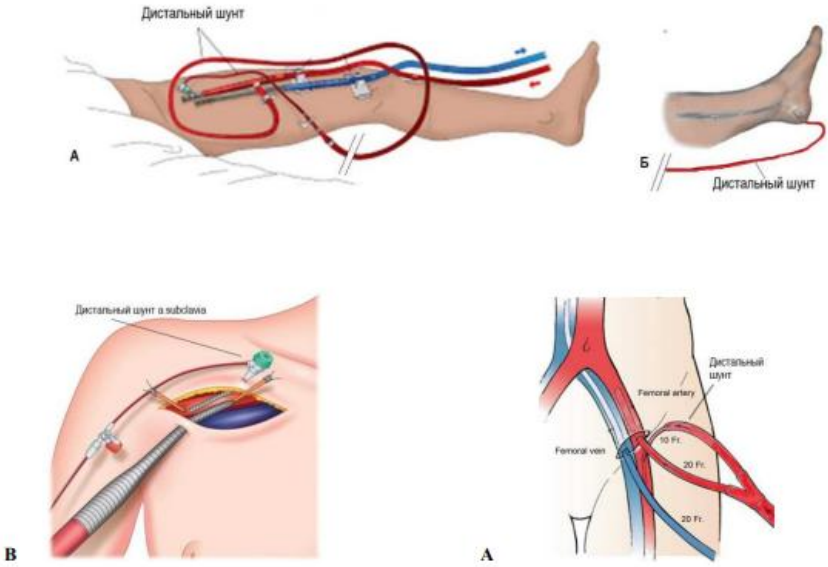


Рисунок 16. Дистальный шунт: А. a.femoralis, Б. a.tibialis post., В. a.subclavia.

9. Рециркуляция — под этим термином подразумевается частичный возврат оксигенированной крови из возвратной артериальной канюли (линии) в заборную венозную канюлю (линию), что может привести к клинической неэффективности ЭКМО, т.е. оксигенированная кровь перфузируется практически по экстракорпоральному контуру ЭКМО. Этот феномен развивается во время В-В ЭКМО при неправильном позиционировании канюль в сочетании с большими скоростями перфузии (рис. 17). Клинически проявляется несоответствием высокой производительности перфузии и напряжением O_2 на выходе из оксигенатора с низкими показателями системного уровня O_2 в артериальной крови. Диагностически рециркуляция исключается с помощью разных методов:

а. Определение факта рециркуляции да/нет

— рентгенологический с контрастированием;
— ультразвуковой доплер;
— реакция датчика пузырей воздуха (тревога), установленного на возвратной магистрали до центрифужного насоса, при

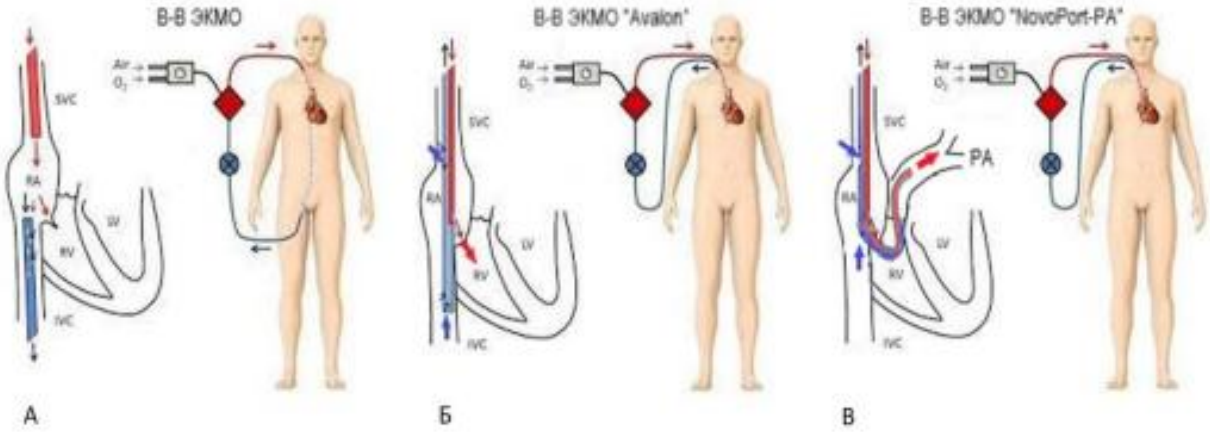


Рисунок 17. Позиционирование канюль при В-В ЭКМО относительно анатомических ориентиров: А. однопросветные, Б. двухпросветная трехступенчатая «Avalon», В. двухпросветная двухступенчатая «NovoPort-PA».

проведении микроаэроэмболической шприцевой пробы (быстрое введение взвеси микро пузырей в расствоpе 1/20 мл в возвратную артериальную канюлю);

б. Определение степени рециркуляции:

— измерение датчика потока, установленного до центрифужного насоса на изменение плотности отраженного ультразвукового сигнала, при проведении ультра-денсо-флоуметрической шприцевой пробы (быстрое введение физиологического раствора, отличающегося от крови коэффициентом отражения ультразвукового сигнала, что отражается на мониторе в виде соотношения поток/рециркуляция в %;

— расчетом по формуле отношения рециркуляии к общему потоку перфузии с оценкой газов крови из разных точек забора, до ($SpreOxyO_2$) и после ($SpostOxyO_2$) оксигенатора, из легочной артерии SvO_2 (при отсутствии катетера в легочной артерии, допускается из отдельного внутривенного катетера v.jugularis int. или v.femoralis с противоположной стороны относительно мест ЭКМО канюляции.

$$Recirc. = (SpreOxyO_2 — SvO_2)/(SpostOxyO_2 — SvO_2)*100\%$$

Порядок действий:

— провести диагностику рециркуляции и определить степень выраженности рециркуляции методами, описанными выше;

— в случае значимого уровня (более 30%) рециркуляции необходимо в разумных пределах снизить производительность ЭКМО без потенцирования отрицательной динамики газообмена или изменить позиционирование канюль, для однопросветных увеличить дистанцию между возвратной и заборной канюлями (рис. 17 А), для двухпросветной трехступенчатой «Avalon» и двухпросветной двухступенчатой «NovoPort-PA (pulmonary artery)» под контролем ЭХОкардиографии правильно относительно анатомических ориентиров (рис. 17 Б, В).

10. Объемная перегрузка желудочков сердца, состояние которое характеризуется перерастяжением соответствующих камер. Причина чаще сопряжена в комбинации правожелудочковой (ПЖ) недостаточности с легочной гипертензией (может встречаться при любом виде ЭКМО) и/или левожелудочковой (ЛЖ) недостаточности с избыточной постнагрузкой в большом круге кровообращения (вазоспазм, ретроградная перфузия при В-А ЭКМО). Проявляется клиникой развития право- и/или левожелудочковой недостаточности. Диагностически подтверждается по ультразву-

ковым признакам при ЭХО-кардиографии (шарообразная форма ПЖ и/или ЛЖ, эффект спонтанного эхо-контрастирования «smoke effect» в полостях сердца за счет замедления кровотока, крайней степенью чего может быть внутрижелудочковая тампонада сердца, малоамплитудное или полное отсутствие нормального открытия клапанов легочной артерии и/или аортального.

Порядок действий:

— подтвердить диагноз объемной перегрузки желудочков сердца;

— скорректировать терапию, сочетание кардиотропных медикаментов с уменьшающими пост-нагрузку в малом (NO, ингибиторы простогландина-Е) и большом (нитраты) круге кровообращения;

— дренировать ПЖ (рис. 17 В) и/или ЛЖ. Вариантов дренирования правого и левого желудочка может быть несколько, но все они требуют применения специальных кардиохирургических или чрескожных кардиоинтервенционных техник, в ряде случаев дополнительных механических устройств («Impella», «PulseCath-2L»), описание которых в рамках данного руководства опустим. Для регулировки скорости дренирования используется канюля меньшего диаметра 12–14 Fr, а также струбцина на дренажную магистраль к камерам сердца, например ЛЖ (рис. 18).

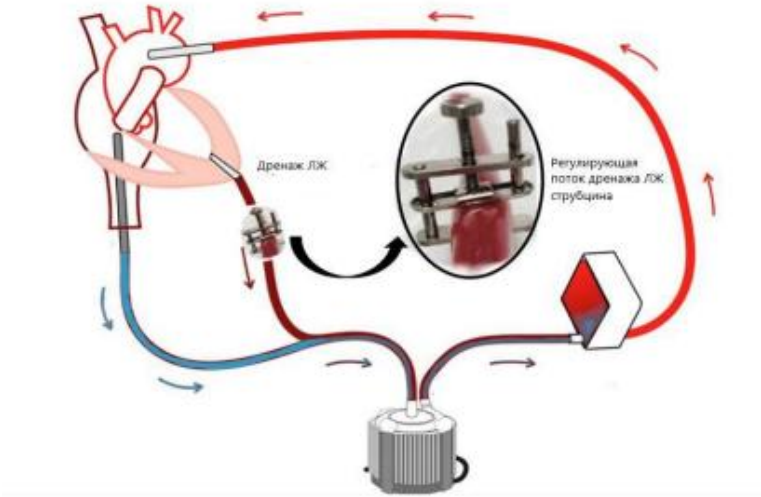


Рисунок 18. Вариант дренажа ЛЖ при В-А ЭКМО с регулирующей струбциной.

Осложнения сопряженные с технологией ЭКМО

• Геморрагические, помимо причин сопряженных непосредственно с канюляцией, описанных выше, так же могут быть связаны со спонтанными кровотечениями на фоне тромбоцитопении, дефицита факторов свертывания, погрешностей антикоагулянтной терапии, стресс-индуцированными острыми язвами и эрозиями ЖКТ (желудочно-кишечного тракта).

Порядок действий:

— консультация хирурга на предмет необходимости хирургического гемостаза;

— прекращается введение гепарина (контур ЭКМО с антикоагулянтным альбумин-гепариновым или фосфорилхолиновым покрытием может быть использован с определенными рисками без постоянного введения антикоагулянтов в течение нескольких часов и даже суток). Избегать введения протамин сульфата из-за высокого риска формирования тромбов в оксигенаторе;

— криопреципитат или СЗП (свежезамороженная плазма) до достижения уровня референтных значений уровня фибриногена (более 2 г/л) и МНО (менее 1,2);

— тромбоконцентрат до повышения числа тромбоцитов более $50.000x10^9$/л;

— транексамовая кислота;

— препараты плазменных факторов свертывания используются по показаниям с осторожностью (Протромплекс, Октаплекс);

— в послеоперационном периоде инфузия гепарина до достижения целевых значений АСТ (АЧТВ (активированное частичное тромбопластиновое время)) начинается при снижении темпа геморрагического отделяемого менее 30 мл/час.

11. Гемолиз, может быть заподозрен при повышении в плазме свободного гемоглобина и билирубина (непрямой фракции). Уровень свободного гемоглобина определяется в первые сутки ЭКМО и контролируется ежедневно. Нормальный уровень соответствует показателю менее 45 мг/дл. Превышение показателя свидетельствует о внутрисосудистом гемолизе. Дополнительными клиническими признаками также могут быть: изменение цвета мочи «бурый», гиперкалиемия, острая почечная недостаточность, желтуха.

Причины:

— неправильная центровка центрифужной головки в посадочном гнезде насоса;
— дефект лопастей (ротора) центрифужной головки, появляется характерный посторонний шум (треск) в работе насоса;
— высокая частота вращения центрифужного насоса;
— избыточно положительное давление в контуре ЭКМО после центрифужного насоса (более 250 мм рт.ст.);
— избыточно отрицательное давление в контуре ЭКМО до центрифужного насоса (менее 100 мм рт.ст.);
— формирование турбулентных потоков крови в контуре ЭКМО (перегибы магистралей, использование переходников (адаптеров) разных диаметров, тромбообразование и последующий фибринолиз).

Порядок действий:

— правильно расположить центрифужную головку в посадочном гнезде насоса;
— в случае выявленного дефекта (разрушение лопастей или ротора) заменить центрифужную головку или весь контур ЭКМО;
— поддержание оптимального волемического, гипокоагуляционного статуса;
— в случае избыточного отклонения давления +/- в контуре ЭКМО рассмотреть возможность дополнительной канюляции для оптимизации отношения скорости перфузии размерности канюль (диметр, длина);
— Своевременная диагностика формирования тромбов в контуре ЭКМО с помощью динамической диафоноскопии (с помощью яркого источника света просматривают канюли, магистрали, оксигенатор), также оценка оксигенатора во время КТ (компьютерной томографии);
— избегать перегиба магистралей контура ЭКМО;
— минимизировать количество переходников (адаптеров) в контуре ЭКМО;
— динамический контроль уровня свободного гемоглобина, коагуляционных тестов.

12. Воздушная эмболия, может сопровождаться риском развития сосудистых осложнений по типу критической региональной ишемии ткани, органа, анатомического образования с развити-



Рисунок 19. Клапан гидрофобный для спонтанной деаэрации перед мембраной в верхней точке оксигенатора (желтый колпачок), порты Luer-Lock для активной аспирации шприцем до и после мембраны в верхней точке оксигенатора (белые колпачки).

ем, в том числе и необратимых осложнений (инфаркт, инсульт, гангрена), клиническая значимость которых зависит от общего объема и размера попавших в системный кровоток пузырей газа/воздуха. Понятие «малая» и «большая» воздушная эмболия — условное, может помимо описания клинической тяжести возникшего осложнения, означать способность системы ЭКМО к спонтанной (малая воздушная эмболия) деаэрации через клапан удаления пузырей в верхней точке оксигенатора до мембраны или в ручном режиме с помощью активной аспирации в верхней точке оксигенатора до и после мембраны (рис. 19), не останавливая перфузию аппарата ЭКМО без дополнительных рисков для пациентов с высокой степенью зависимости от производительности В-В и В-А ЭКМО.

Конструктивной особенностью аппаратов ЭКМО является расположение датчика пузырей в нескольких вариантах:

— фиксированое (конструктивное решение производителя оборудования)13 на выходном сегменте центрифужной головки до оксигенатора, в этом случае выше риск завоздушивания центрифужной головки, с последующей необходимостью деаэрации в ручном режиме «экстренная стоп перфузия») (рис. 20 А);
— свободное (решение врача)14 на заборной магистрали до центрифужного насоса, что минимизирует риск завоздуши-

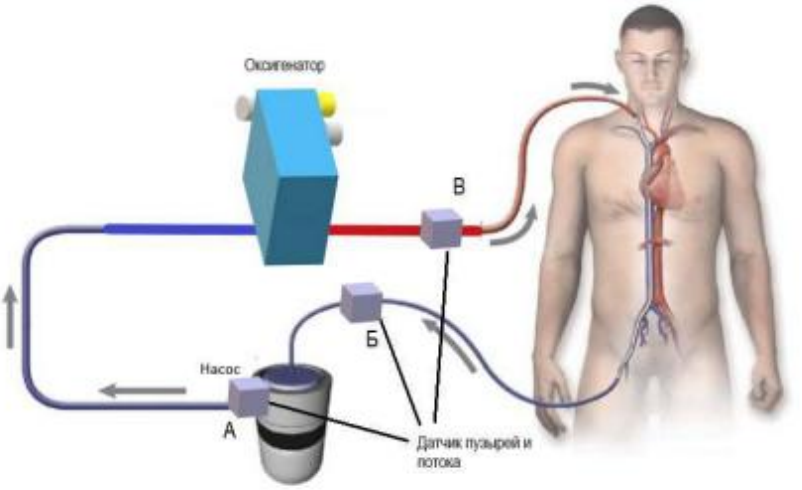


Рисунок 20. Варианты расположения датчика пузырей и потока в контуре ЭКМО: А. фиксированный (конструктивная возможность производителя оборудования) на центрифужном насосе, Б. свободный (выбор врача) до центрифужного насоса, В. свободный (выбор врача) после оксигенатора.

вания центрифужной головки и оксигенатора, но каждый раз даже при «малой воздушной эмболии» инцидент будет останавливать аппарат ЭКМО в режим «экстренная стоп перфузия») (рис. 20 Б);

— свободное на возвратной магистрали после оксигенатора, что не останавливает работу аппарата в случае развития «малой воздушной эмболии», запирая воздушные пузыри в верхней точке оксигенатора, откуда они могут быть удалены через гидрофобный клапан удаления пузырей (деаэрации) или вручную с помощью аспирации шприцем из LuerLock портов через инфузионный кран с удлинителем (stopcock)15 (рис. 19), в случае «большой воздушной эмболии» происходит фактическое завоздушивание практически всего контура, включая центрифужный насос и оксигенатор, что приводит к остановке перфузии ЭКМО и последующей необходимости повторного заполнения контура в режиме «экстренная стоп перфузия») (рис. 20 В).

Причины:

— нарушение правил заполнения контура ЭКМО перед началом перфузии; невнимательность персонала при работе с кранами, портами, заглушками «Luer-Lock» стандарта, особенно в линии заборной (дренажной) магистрали (от пациента к центрифужному насосу), где создается отрицательное давление в контуре;

— высокое расположение центрифужного насоса (аппарата ЭКМО) относительно уровня сердца пациента, подобная ситуация может наблюдаться при транспортном сценарии ЭКМО и/или неправильная стратегия поддержания чрезмерно высоких оборотов центрифужного насоса с целью компенсации недостаточного притока крови по заборной (дренажной) магистрали контура, что создает избыточно отрицательное давление в контуре, потенцируя эффект кавитации (спонтанного образования пузырьков из растворенного газа в крови);

— механическое повреждение оксигенатора, центрифужного насоса, канюль, магистралей;

— непреднамеренная дислокация заборной (дренажной) канюли из пациента (деканюляция), в этом случае скорость и объем поступления воздуха может быть достаточно значимым, так называемое «завоздушивание контура». Порядок действий:

— планово на начало перфузии ЭКМО и далее два раза в сутки (каждые 12 часов) рекомендовано на 20 минут активировать работу гидрофобного клапана удаления пузырей (снять желтый колпачок Luer-Lock, не останавливая перфузию, затем вернуть его на место);

— автоматическое срабатывание датчика пузырей происходит только в случае его активного режима работы (настройки на панели управления), именно в этом режиме должен находиться датчик в момент перфузии на пациенте, при возникновении воздушной эмболии активируется «режим стоп перфузия» и раздается тревога;

— наложить магистральные зажимы на линию забора (венозная магистраль) и возврата (артериальная магистраль) крови, визуально оценить вероятность наличия пузырей воздуха в контуре ЭКМО, его герметичность и позицию канюль;

— в случае «малой воздушной эмболии» (пузыри не визуализируются или их объем незначительный при отсутствии в возвратной магистрали после оксигенатора) рекомендовано снять венозный магистральный зажим, активировать аспирацию шприцем (20мл) из портов Luer-Lock в верхней точке оксигенатора до и после мембраны (краны для инфузии с удлинителем), активировать гидрофобный клапан удаления пузырей (желтый колпачок снять), снять все магистральные зажимы, восстановить перфузию, контролировать вероятность поступления пузырей воздуха и сигнала тревоги датчика пузырей, через 20 минут деактивировать гидрофобный клапан удаления пузырей (желтый колпачок закрыть);
— в случае «большой воздушной эмболии» при наличие блокирующего количества пузырей только в головке центрифужного насоса можно на выключенном ЭКМО снять головку из насоса и позиционировать ее выходным портом вверх для облегчения всплытия пузырей в сторону оксигенатора, ускорить этот процесс можно создав венозный подпор в заборной магистрали (снимаем магистральный зажим при положительном ЦВД (центральным венозным давлением) у пациента) в сочетании с аспирацией крови шприцем (50мл) из порта Luer-Lock перед мембраной оксигенатора, визуализировать отсутствие пузырей в контуре, активировать гидрофобный клапан удаления пузырей (желтый колпачок снять), снять все магистральные зажимы, восстановить перфузию, контролировать вероятность поступления пузырей воздуха и сигнала тревоги датчика пузырей, через 20 минут деактивировать гидрофобный клапан удаления пузырей (желтый колпачок закрыть);
— в случае «большой воздушной эмболии», при наличии большого количества пузырей в магистралях, головке центрифужного насоса и оксигенаторе, необходимо выполнить ретроградное заполнение контура инфузионным раствором под давлением с одновременной аспирацией шприцем (50мл) воздуха через порты Luer-Lock в верхней точке оксигенатора и далее из порта Luer-Lock в заборной линии (магистрали) до центрифужного насоса, способствуя удалению всех пузырей воздуха из контура за счет активной аспирации и градиента всплытия, визуализировать отсутствие пузырей в контуре, активировать гидрофобный клапан удаления пу-

зырей (желтый колпачок снять), снять все магистральные зажимы, восстановить перфузию, контролировать вероятность поступления пузырей воздуха и сигнала тревоги датчика пузырей, через 20 минут деактивировать гидрофобный клапан удаления пузырей (желтый колпачок закрыть). При развитии клинических признаков воздушной эмболии (десатурация, судороги, признаки ишемической атаки головного мозга, сердца, остановки кровообращения) необходимо:

— при В-А ЭКМО после остановки перфузии и наложения зажима на артериальную линию позиционировать пациента в положение Тренделенбурга, оптимизировать параметры ИВЛ (искусственной вентиляции легких) (FiO_2 100%), инфузионную преднагрузку, произвести медикаментозную нейровегетативную защиту, устранить возможную причину, попытаться эвакуировать воздух аспирацией шприцем (50–150 мл) через артериальную канюлю, при отсутствии воздушных пузырей в контуре и при аспирации через артериальную канюлю, восстановить В-А ЭКМО в режиме умеренной гипотермии (34°С) до нормализации неврологических критериев состояния головного мозга (отсутствие отека, удовлетворительные показатели церебральной оксиметрии), после чего оптимизировать температурный режим перфузии до нормотермии со скоростью согревания 0,1°С/ч.
— При В-В ЭКМО после остановки перфузии и наложения зажима на артериальную линию необходимо позиционировать пациента на левый бок, устранить возможную причину, оптимизировать ИВЛ (FiO_2 100%), попытаться эвакуировать воздух аспирацией шприцем (50–100 мл) из правых камера сердца через канюлю ЭКМО или любой из возможных катетеров (ЦВК (центральный венозный катетер), диализный, Свана-Ганца), при отсутствии воздушных пузырей в контуре и при аспирации через канюлю/катетер из правых камер сердца восстановить В-В ЭКМО в режиме нормотермии (37 °С) или умеренной гипотермии (34°С) в случае развития значимых нарушений оксигенации и/или системной гемодинамики до стабилизации состояния пациента, после чего оптимизировать температурный режим перфузии до нормотермии со скоростью согревания 0,1°С/ч.

13. Тромбоз составных частей контура ЭКМО (канюли, магистрали, центрифужная головка, оксигенатор), может быть сопряжен с дефектами антикоагулянтной терапии, применение массивной гемостатической терапии при кровотечениях (плазменные факторы свертывания крови, антифибринолитики, протамин сульфат), деградацией антикоагулянтного покрытия контура ЭКМО (длительные сроки перфузии).

Диагностическими критериями тромбоза будут:

— рост градиента давления (ΔP) оксигенатора (мониторинг контура ЭКМО);
— снижение газообменной функции оксигенатора;
— гемолиз;
— рост лабораторных показателей продуктов деградации фибрина (D-димер);
— КТ признаки тромбоза оксигенатора (неоднородность плотности сигнала и его изменение в динамике при визуализации мембраны);
— наличие тромбов при динамической диафаноскопии (визуальный осмотр при ярком направленном свете) контура;
— клинические и лабораторные проявления гемолиза.

Порядок действий:

— при возникновении тромбов в канюлях и неэффективной попытке аспирации шприцем «Жане» (150мл) рекомендовано рассмотреть смену канюли по проводнику, в случае отсутствия признаков проксимального, относительно сердца, распространения тромбов или по возможности новым анатомическим позиционированием;
— при возникновении тромбов в других частях контура (магистрали, центрифужная головка, оксигенатор), его рекомендуется заменить на новый (экстренная замена контура ЭКМО).

14. Повреждение оксигенатора, чаще сопряжено с нарушением целостности его мембраны, Проявляется:

— «пропотеванием» плазмы и ее вспениванием через линию выделения CO_2 на оксигенаторе;
— окрашивание воды терморегулирующего устройства в розовый цвет;
— массивный гемолиз;
— быстрое развитие септического шока.

Порядок действий:

— прекратить подачу воды в оксигенатор через ТРУ (терморегулирующее устройство), отсоединив соответствующие шланги;
— замена контура ЭКМО.

15. Непреднамеренная деканюляция — ее причиной является неудовлетворительная фиксация канюль. Как правило, чаще возможна деканюляция артериальной (возвратной) канюли, ввиду положительного давления в артериальной магистрали и соответственно эффекту «выталкивающего» потока крови, создаваемому на выходе из дистального конца канюли. Крайне опасное осложнение, на больших скоростях перфузии приводит к быстрому развитию жизнеугрожающей кровопотери. При удалении венозной (заборной) канюли произойдет массивная воздушная эмболия контура, срабатывание сигнала тревоги с датчика воздушных пузырей и остановка перфузии аппарата ЭКМО.

Порядок действий:

— немедленным действием персонала является наложение магистральных зажимов, которые всегда должны быть рядом с аппаратом ЭКМО на артериальную и венозную магистрали (перегнуть магистрали при отсутствии зажима);
— режим «стоп-перфузия» на аппарате ЭКМО;
— компрессия места канюляции;
— позвать дополнительный персонал на помощь;
— остановить введение гепарина и других антикоагулянтов;
— интенсивная терапия по стабилизации параметров гемодинамики и газообмена;
— принятие экстренного решения о продолжении ЭКМО, повторной канюляции другого анатомического локуса;
— деаэрация, повторное заполнение контура (при необходимости используйте новый сет), скорейшее восстановление прежнего режима перфузии ЭКМО.

16.• Непреднамеренная остановка центрифужного насоса ЭКМО, возможна вследствие поломки оборудования, прекращения подачи питания в сочетании с разряженной аккумуляторной батареей, сбоя программного обеспечения аппарата ЭКМО, массивной воздушной эмболии. Соответственно, это может при-

вести к быстрому развитию жизнеугрожающих нарушений газообмена (В-В ЭКМО) и/или гемодинамики (В-А ЭКМО).

Порядок действий:

— при аварийной остановке центрифужного насоса следует наложить зажимы на артериальную и венозные магистрали;
— визуально оценить контур и аппарат ЭКМО и установить возможную причину остановки центрифужного насоса;
— при отсутствии электропитания незамедлительно обеспечить подключение от других (резервных) источников, для этого заранее должны быть обеспечены электро-удлинителем, резервным источником бесперебойного питания;
— при блокировке насоса воздушными пузырями выполнить действия профилактики массивной воздушной эмболии контура (см. выше);
— при сбое программного обеспечения извлечь центрифужную головку из основного насоса, закрепить ее на ручном (экстренном) приводе, снять зажимы с магистралей контура ЭКМО, возобновить перфузию с прежней производительностью, перезагрузить основной насос аппарата ЭКМО и при восстановлении его работоспособности вернуть в соответствии с вышеописанным алгоритмом головку центрифужного насоса в штатное положение, снова восстановив перфузию с прежней производительностью;
— при поломке или неисправной эксплуатации («уставшая» штатная аккумуляторная батарея) аппарата ЭКМО, необходимо используя ручной (экстренный) привод в соответствии с алгоритмом, заменить другим (резервным) исправным аппаратом предпочтительно такой же модели или обеспечить смену головки центрифужного насоса в контуре или всего контура, соответствующих выбору модели резервного аппарата ЭКМО.

Мониторинг параметров сопряженных с технологией ЭКМО

Ведение пациента в условиях ЭКМО, в том числе во время выполнения внутригоспитальной или межгоспитальной транспортировки (эвакуации) требует выполнения определенных стандартов мониторинга, сопряженных с технологией:

1. Аппаратно-инструментальный контроль:
   — мониторирование постоянно параметров системой гемодинамики, газообмена, и температуры (ЧСС (частоты сердечных сокращений), АД (артериального давления), плетизмография, SpO_2, $EtCO_2$, Δt °C), для транспортных сценариев подходят портативные аппараты с возможностью дистанционного контроля параметров;
   — постоянное мониторирование параметров ЭКМО
2. объемная скорость перфузии (л/мин)
3. частота оборотов центрифужного насоса (rpm17)
4. поток кислородно-воздушной смеси (Gas Flow) (л/мин)
5. концентрация O_2 в кислородно-воздушной смеси (FiO_2, %)
6. давление внутри венозной магистрали P1, до P2 и после P3 оксигенатора, градиент давления внутри оксигенатора Δ P(P2-P3), если параметры не отображаются на панели управления аппаратом ЭКМО, должны быть выведены на монитор пациента с помощью камер измерения инвазивного давления (рис. 21), интерпретация параметров давления представлена в таблице 1;
   — мониторирование интервально кислотно-основного состояния, газов, биохимии и параметров антикоагуляции крови (SaO_2, SvO_2, PaO_2, $PaCO_2$, BE, pH, K+, Glu, Lactate, ACT18 или APTT19 и др.), для транспортных сценариев подходят портативные аппараты с картриджами (рис. 22);
   — тканевая оксиметрия нижних конечности для В-А ЭКМО постоянно, церебральная рекомендована, для транспортных сценариев подходят портативные аппараты (рис. 23 А, Б);
   — компьютерная томография после инициации ЭКМО, далее по показаниям;
   — рентгенография по показаниям;

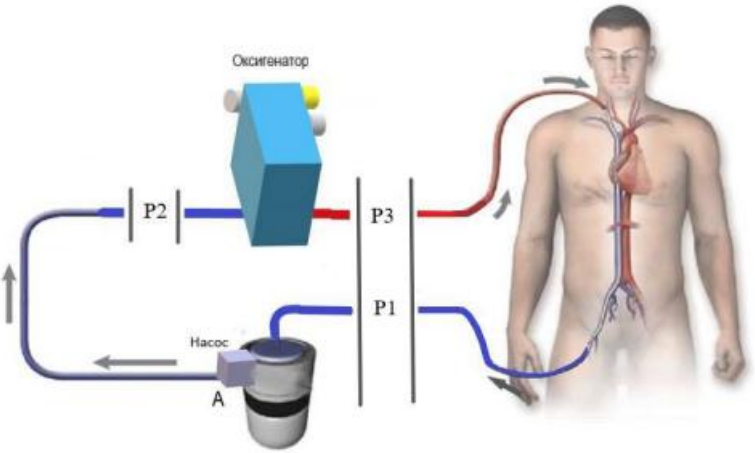


Рисунок 21. Варианты расположения датчиков инвазивного измерения давления в контуре ЭКМО.



Рисунок 22. Портативный аппарат для определения кислотно-основного состояния, газов, биохимии и АСТ крови.



Рисунок 23. А. Тканевая и Б. церебральная оксиметрия NIRS у пациентов с ЭКМО.

Таблица 1. Причины изменения давления в контуре ЭКМО

P1 -50 -80*	P2 200-300*	P3 130-230*	Δ P 50-100*	Причины
↓**	↓	↓	↓	Гиповолемия, тампонада, смещение, перегиб венозной канюли, пневмоторакс, абдоминальный компартмент-синдром
-	↓	↓	↓	Повреждение головки насоса
-	↑	↓	↑	Повреждение оксигенатора (тромбоз)
-	↑	↑	↑	Повышение постнагрузки: препятствие в артериальной линии, артериальная гипертензия

* - единицы измерения давления мм рт. ст.
** - давление становится избыточно отрицательным

— фокусированная ЭХО-кардиография перед канюляцией, далее ежедневно и по показаниям; • УЗИ (ультразвуковое исследование) по протоколу RUSH перед канюляцией, далее по показаниям

7. фокусированное УЗИ сосудов мест имплантации канюль перед канюляцией, далее ежедневно и по показаниям

Так называемый градиент давления внутри оксигенатора Δ P(P2-P3) величина динамически меняющаяся и зависит от целого ряда факторов, в том числе состояния самой мембраны оксигенатора (тромбоз и/или отложение фибрина), что ведет к снижению эффективности газообменной функции оксигенатора, именно поэтому этот показатель Δ P используют в качестве одного из признаков состояния и прогностической оценки эффективности оксигенатора (табл. 1). Во время проведения ЭКМО антикоагулянтные препараты, как и все другие лекарственные средства, вводятся только внутривенно [24].

8. • Старт инфузии гепарина после канюляции болюс 100 ЕД/кг, далее со скоростью 15 ЕД/кг/час. • Контроль АСТ (АЧТВ) каждые 2 часа, далее каждые 6 часов.
9. Целевое значение АСТ (АЧТВ) — 160–180 (60–80) секунд.
10. Алгоритм управления гипокоагуляцией представлен в таблицах 2 и 3.

Таблица 2. Титрование инфузии гепарина в зависимости от АСТ для взрослых пациентов

АСТ	Действия
< 130	Болюс 1000 ЕД и повышение скорости введения на 300 ЕД/час
130-160	Повышение скорости инфузии на 100 ЕД/час
160-180	Скорость без изменений
180-210	Уменьшение скорости введения на 100 ЕД/час
Более 210	Прекращение инфузии на 1 час. Проверка АСТ каждый час. При уровне АСТ менее 210 продолжение инфузии со скоростью 700 ЕД/час

Таблица 3. Титрование инфузии гепарина в зависимости от АЧТВ в сутки инициации ЭКМО

АРТТ	Действия
< 37	Болюс 60 ЕД/кг и повышение инфузии на 4 ЕД/кг/час
37-44	Болюс 40 ЕД/кг и повышение инфузии на 3 ЕД/кг/час
45-60	Болюс 20 ЕД/кг и повышение инфузии на 2 ЕД/кг/час
61-80	Скорость без изменений
Более 80	Снижение скорости инфузии на 2 ЕД/кг/час

Рекомендовано на начало ЭКМО также определить уровень АТ-III, фибриногена, МНО, анти-Ха активность, тромбоэластографию, далее 1 раз в сутки и по показаниям. При отсутствии изменений показателей АСТ или АРТТ на увеличение дозы гепарина следует скорректировать уровень АТ-III (инфузия АТ-III или СЗП), возможно перейти на альтернативный антикоагулянт (эноксапарин, фондапаринукс, бивалирудин). Исходное определение уровня D-димера и свободного гемоглобина, далее 1 раз в сутки и по показаниям, также помогает правильно оценивать динамику этих показателей, которая помогает сделать правильные выводы о функциональном состоянии контура ЭКМО.

11. Математический контроль и анализ лабораторных показателей:

Наиболее часто в практике технологии ЭКМО применяется подход оценки баланса доставки DO_2 и потребления VO_2 кислорода, а так же калькуляции производных, это отношение VO_2/DO_2 (1/5 норма, 1/4 субкомпенсация, 1/3 декомпенсация), ERO_2 коэффициент экстракции (утилизации) кислорода (22–30% норма, 30–40% субкомпенсация, более 40% декомпенсация), EIO_2

индекс экстракции (утилизации) кислорода (20–25% норма), применяется только для экспресс оценки в случае недостаточного количества данных для расчета DO_2 и VO_2. Ниже приведены расчетные формулы по индексу на площадь тела 1м^2, соответственно DIO_2 и VIO_2: $DIO_2 = CI \times (1{,}36 \times г/лHb \times \%SaO_2) \times 0{,}01$

DIO_2

$ЭКМО = QI \times (1{,}36 \times г/лHb \times \%SpmO_2) \times 0{,}01$

$VIO_2 = CI\ (13 \times г/лHb) \times (\%SaO_2 — \%SvO_2) \times 0{,}001$

$ERO_2 = VIO_2 \times 100\% / DIO_2$

$EIO_2 = (SaO_2 — SvO_2)/SaO_2 \cdot 100$

_____

CI — сердечный индекс л/мин/м² QI — индекс перфузии ЭКМО л/мин/м² $SpmO_2$ — сатурация оксигенированной крови на выходе из оксигенатора (после мембраны)

Важно отметить, что в идеальных условиях забор венозной и артериальной крови должен осуществляться в точках максимально приближенных к отражению системного баланса потребления VO_2:

— при В-А ЭКМО это — правое предсердие или легочная артерия,
— при В-В ЭКМО это — нижняя полая вена, бедренная вена, при условии, что возвратная (артериальная) канюля установлена в проекции верхней полой вены;

доставки DO_2:

— при В-А ЭКМО варианте центрального подключения и периферического с производительностью перфузии более 90% от сердечного выброса это правая лучевая артерия;
— при В-А ЭКМО варианте периферического подключения с производительностью перфузии менее 90% от сердечного выброса это — определение суммы DO_2 ЛЖ с забором из правой лучевой артерии и DO_2 ЭКМО с забором оксигенированной крови на выходе из оксигенатора;
— при В-В ЭКМО это — правая лучевая артерия.

Расчет баланса доставки и потребления кислорода с динамикой увеличения экстракции (утилизации) кислорода в сторону данных, свидетельствующих о декомпенсации, неминуемо будет приводить к потенцированию системной гипоксии и синдрому полиорганной недостаточности. Таким образом, клиническое



Рисунок 24. Мультифункциональный монитор определения кислородного баланса у пациентов в условиях ЭКМО.

влияние на исправление вводных в расчетной формуле (сердечный выброс (СВ), уровень гемоглобина (Hb), напряжение кислорода в крови (CaO_2, CvO_2, SaO_2, SvO_2), в сторону оптимизации соотношения доставки DO_2 и потребления VO_2 кислорода позволит стабилизировать пациента. Современные системы мониторинга в аппаратах ЭКМО позволяют в режиме реального времени определять параметры кислородного баланса (рис. 24), что безусловно способствует улучшению результатов лечения и правильного применения технологии ЭКМО у пострадавших в ЧС (чрезвычайной ситуации) и тяжелобольных, в том числе в условиях, внутри- и межгоспитальной транспортировки (эвакуации).

Показания к применению ЭКМО

Первичными показаниями для ЭКМО являются острая жизнеугрожающая сердечная и/или дыхательная недостаточность на фоне рефрактерной оптимальной традиционной интенсивной терапии. Применение ЭКМО следует рассматривать при вероятности летального исхода более 50% и ЭКМО абсолютно показано при большинстве нозологических диагнозов с вероятностью летального исхода более 80%, ассоциированной, прежде всего, с развитием сердечной и/или дыхательной недостаточности. Тяжесть состояния оценивается по специальным шкалам с учетом возраста и потенциальной нозологической группы диагноза и органной дисфункции. Другими дополнительными показаниями с целью поддержки сердечной и дыхательной недостаточности для применения ЭКМО могут быть: интенсивный бронхоальвеолярный лаваж, операции на трахее или медиастинуме, хирургия коронарных артерий, сопряженная с их окклюзией во время манипуляций.

Отдельной группой показаний могут быть случаи применения ЭКМО для обеспечения регионального кровотока для анатомической области или органа, например операции на нижних конечностях с высоким риском развития системной интоксикации, развития острой почечной недостаточности и остановке сердца (крашсиндром) или оценка функциональной жизнеспособности и функции, например ампутированной конечности (рис. 5), внутренних органов у донора (рис. 3, 4).

Показания к В-А ЭКМО

Специфическими критериями для В-А ЭКМО будут следующие параметры, свидетельствующие о тяжести кардиогенного шока при рефрактерной традиционной оптимальной терапии, включая достаточную преднагрузку ДЗЛК более 18 мм рт.ст., инотропную терапию, по шкале VIS более 10 баллов и использование ВАБК:

— АД сист. менее 90 мм рт.ст.,
— диурез менее 30 мл/час,
— лактат более 2 ммоль/л,
— SvO_2 менее 60%,

— отрицательная динамика по уровню сознания в течении 6 часов.

Целью является поддержание отношения DO_2/VO_2 более 3, чтобы не потенцировать СПОН (синдром полиорганной недостаточности) (DO_2/VO_2 менее 3) и шок (DO_2/VO_2 менее 2), при субкомпенсированном балансе кислорода в организме DO_2/VO_2 более 4 и норме DO_2/VO_2 более 5. Хотя по международным рекомендациям ELSO для инициации В-А ЭКМО нет ограничения относительно возраста, надо иметь ввиду, что применение технологии в качестве «терапии моста» повлечет необходимость дальнейших решений, таких как трансплантация сердца или применения желудочковых устройств вспомогательного кровообращения VAD20 «EXCOR21» или «INCOR22».

Показания к В-В ЭКМО

Специфическими критериями для В-В ЭКМО будут следующие параметры, свидетельствующие о тяжести нарушения газообмена с признаками жизнеугрожающей гипоксии и/или гиперкапнии, рефрактерными к традиционной респираторной терапии, включая ИВЛ в жестких режимах вентиляции (PEEP более 15 см вод.ст., FiO_2 более 90%, PIP более 30 см вод.ст., P drive (P plat — PEEP) более 14 см вод.ст.) в пронпозиции (на животе), рефрактерную к респираторным рекрутмент маневрам, которые могут приводить к тяжелым нарушениям кислотноосновного состояния:

1. Шкала Мюррея ≥ 3 баллов (табл. 4);
2. При декомпенсированном респираторном ацидозе pH < 7,25 с PCO_2 > 60 мм рт.ст. более 6 часов;
3. По респираторному соотношению PaO_2/FiO_2 (индекс Горовица) при оптимизации параметров ИВЛ:

Таблица 4. Шкала Мюррея*

Murray score	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**
PaO_2/FiO_2	≥300	225-300	175-224	100-174	<100
PEEP (см H_2O)	≤ 5	6-8	9-11	11-14	≥ 15
Комплайнс (мл/см H_2O)	≥ 80	60-79	40-59	20-39	≤ 19
Квадранты инфильтрации R_o	0	1	2	3	4

* - сумма баллов по четырем позициям, разделенная на четыре

1. $PaO_2/FiO_2 < 50$ при $FiO_2 \geq 90\%$ в течение 3 часов (показано).
2. $PaO_2/FiO_2 < 80$ при $FiO_2 \geq 90\%$ в течение 6 часов (показано).
3. $PaO_2/FiO_2 < 150$ при $FiO_2 > 90\%$ (рекомендовано).

Стоит отметить, что с накоплением опыта проведения В-В ЭКМО все большее количество специалистов профессиональных сообществ на уровне внутренних стандартов клиник и национальных систем здравоохранения предпочитают использовать возможности стабилизации газообменной функции легких за счет мягких режимов респираторной терапии (PEEP < 10 см вод.ст., FiO_2 < 80%, P drive < 14 см вод.ст.) при динамической (3–6–12–24 часа) оценке вышеуказанных критериев.

Противопоказания к применению ЭКМО

Противопоказания для применения транспортного ЭКМО — это совокупность критериев в состоянии пациента, которые могут свидетельствовать о крайне высоких (относительные противопоказания) или несоразмерных рисках применения самой технологии и предстоящей медицинской эвакуации, в некоторых случаях делающих ее даже не целесообразной (абсолютные противопоказания). Кроме того, есть и специфические противопоказания, характерные для В-А ЭКМО (при циркуляторной недостаточности) и В-В ЭКМО (при дыхательной недостаточности).

1. Абсолютные противопоказания. К абсолютным противопоказаниям к ЭКМО стоит отнести: наличие биологических признаков клинической смерти, рефрактерная и неэффективная СЛР при клинической смерти, агонирующее состояние пациента, продолжающееся хирургическое кровотечение, аксиальная дислокация головного мозга с признаками вклинения его структур, сопряженная с тяжелым жизнеугрожающим неврологическим повреждением в следствии ЧМТ (черепно-мозговая травма), САК (субарахноидальное кровоизлияние), геморрагического ОНМК.

2. Относительные противопоказания. Большинство противопоказаний являются относительными, они всегда сопряжены с критериями уравновешивания риска и пользы от ЭКМО для пациента, а также риск использования дорогостоящих ресурсов здравоохранения у пациентов с низким прогнозом выживания и восстановления, которые могут быть применены с большей эффективностью у большего числа тяжелобольных в том числе пострадавших в ЧС и при пандемиях.

Относительными противопоказаниями для ЭКМО являются случаи:

— невозможности возвращения пациента к нормальной жизни после применения ЭКМО, даже если пациент выживет (например, крайне высокий риск вегетативного состояния из-за постгипоксического повреждения головного мозга);
— терминальные (неизлечимые) заболевания (например, терминальная стадия злокачественного заболевания с рако-

вой интоксикацией или цирроз печени класс «В, С» по Чайлд-Пью);

— риск развития опасного для жизни кровотечения в результате применения антикоагулянтной терапии (например, САК, геморрагический ОНМК, уровень тробмоцитов менее $50*10^9$/л);

— тяжелые иммунодефицитные состояния (абсолютная лейкопения с уровнем лейкоцитов менее $1*10^9$/л);

— возраст пациента, сопряжен с накоплением выраженной сопутствующей неизлечимой патологии, ассоциированной с низким потенциалом восстановления и продолжительности жизни;

— вес пациента, в ряде случаев сопряжен с необходимостью обеспечения высоких расчетных скоростей перфузии ЭКМО при ограниченных возможностях номинальный мощности оксигенатора и анатомических размеров сосудов для канюляции, также ведение этой категории пациентов сопряжено с ограничениями активизации, кроме того, вес, сопряженный с тяжелой степенью ожирения ИМТ (индекс массы тела) > 40 является значимой коморбидной (сопутствующей) патологией, существенно ухудшающей прогноз выживаемости этой категории пациентов.

3. Противопоказания к В-А ЭКМО. Помимо, выше описанных общих критериев, к специфическим для В-А ЭКМО относятся:

— недостаточность аортального клапана 3–4 степени;

— неустраненная диссекция аорты тип «А и В»;

— низкая прогностическая оценка выживаемости по шкале SAVE24, ШОТ-летальность , из своей практики руководствуемся критерием менее 30% для SAVE и менее 10% для ШОТлетальность.

4. Противопоказания к В-В ЭКМО.

Помимо, выше описанных общих критериев, к специфическим для В-В ЭКМО относятся:

— продолжительность пребывания на ИВЛ для взрослых более 7 суток, для детей более 14 суток, обусловлено с прогнозом худшей выживаемости 72% против 30% на ЭКМО;

— продолжительность применения ИВЛ с высокой фракцией кислорода FiO_2 90–100% более 48 часов, обусловлено с

прогнозом худшей выживаемости из-за потенцирования повреждения альвеолярной выстилки (сурфактанта) и как следствие необратимости изменений паренхимы легких в сторону консолидации (пневмофиброза);

— тяжелая рефрактерная (применение NO, простагландина-Е) к терапии легочная гипертензия (СДЛА (систолическое давление в легочной артерии) более 50 мм рт.ст.);
— септический шок при трех и более критериях (лактат более 10 ммоль/л; норадреналин более 1,5 мкг/кг/мин; депрессия миокарда; расстройства микроциркуляции), по SOFA более 13 баллов;
— низкая прогностическая оценка выживаемости по шкале RESP, ШОТ-летальность, из своей практики руководствуемся критерием менее 30% для RESP и менее 10% для ШОТлетальность;
— высокая нагрузка на систему здравоохранения в период пандемии может изменять критерии показания/противопоказания, вплоть до полного отказа от проведения ЭКМО, как метода лечения ассоциированного с высокой стоимостью и трудозатратами, определяется в том числе количеством пациентов одномоментно находящихся на ИВЛ в отделении реанимации при 100% использовании коечного фонда. Стоит также отметить, что пациенты, которым применялись такие методы, как высокопоточная оксигенотерапия и неинвазивная ИВЛ (НИВЛ) с высокой фракцией кислорода FiO_2 90–100% и PEEP более 15 см вод.ст. не отражены в критериях прогноза выживаемости (недостаточно исследований), однако опираясь на собственный практический опыт, эту категорию с прогностической точки зрения скорее следует оценивать также, как и пациентов на ИВЛ в жестких режимах.

Антикоагулянтная терапия при ЭКМО

Протекание крови по экстракорпоральному контуру, независимо от его назначения (ИК, ЭКМО, одно- или бивентрикулярный обход сердца и т. п.) предполагает поддержание на определённом уровне гипокоагуляционного состояния крови, что направлено на предупреждение тромбообразования и развития тромбоэмболических осложнений, продолжительное и эффективное использование мембранного оксигенатора. В отличие от других систем экстракорпорального кровообращения система ЭКМО включает мембранный оксигенатор, внутреннее устройство которого предполагает повышенную склонность к тромбообразованию, что связано с протеканием тонких слоев крови через плотно расположенную сеть капиллярных волокон, несущих газовую смесь и теплообменную воду. Тромбирование оксигенатора ведёт как к снижению эффективности экстракорпорального кровообращения (повышение сопротивления кровотоку и уменьшение объёмной скорости перфузии), так и экстракорпорального газообмена (оксигенации и элиминации CO_2).

Частота образования тромбов в различных составляющих контура ЭКМО (оксигенатор, центрифужный насос, магистрали, канюли) составляет от 3 до 22%.

Различные факторы могут способствовать активации системы свёртывания во время ЭКМО, конечным результатом которой является образование тромбина. Выявлено несколько пусковых механизмов усиления синтеза тромбина у пациентов, находящихся на ЭКМО:

1. Запуск внутреннего пути свёртывания крови вследствие контакта крови с чужеродной (синтетической) поверхностью контура ЭКМО, что реализуется через активацию XIIa фактора свёртывания крови.
2. Запуск внешнего пути свёртывания крови вследствие контакта крови с поверхностью повреждённых (вследствие травмы или хирургического вмешательства) тканей и сосудистой стенки, что приводит к активации VIIa фактора свёртывания крови.
3. Активация системы комплементы, как одного из пусковых механизмов системной (неинфекционной или инфекционной) системной воспалительной реакции.

4. Запуск общего пути свёртывания крови, которое приводит к активации Ха фактора свёртывания крови.

Внутривенное применение нефракционированного гепарина остается наиболее распространенным методом прямой (непосредственной) антикоагулянтой терапии при проведении ЭКМО.

Предлагаются различные схемы проведения антикогуляционной терапии при проведении ЭКМО. Наиболее частым подходом остаётся непрерывное введение нефракционированного гепарина под строгим контролем параметров системы гемостаза. Дозировки и режим дозирования нефракционированного гепарина соотносят с принятым протоколом проведения антикоагуляционной терапии.

При отсутствии кровотечения, использование гепарина начинают с момента подготовки, заполнения и рециркуляции по контуру ЭКМО непосредственно перед началом присоединения к организму больного.

У пациентов с высоким риском или развившимся коагулопатическим кровотечением возможно применение безгепаринового протокола первичного заполнения контура и начала ЭКМО с учётом применения оксигенатора, канюль и контура с антитромботическим покрытием, что делает возможным отсроченное начало использования антикоагулянтов уже после стабилизации гемостаза.

Доза вводимого гепарина в первичный объём заполнения контура ЭКМО составляет от 2500 до 5000 ед. Внутривенное введение гепарина в дозировке 2500–5000 ед. (0,5–1,0 мл) гепарина производится за 5–10 мин перед установкой канюль. Перед началом ЭКМО уровень АВСК (активированного времени свёртывания крови) должен составлять в 200–250 сек. Рекомендуется непосредственно перед присоединением контура и началом ЭКМО выполнить предварительное вытеснение небольшого объёма крови из просвета канюль с целью механического удаления возможно образовавшихся тромбов. После начала ЭКМО рекомендуется поддерживать уровень гипокоагуляции, соответствующий величине АВСК не более 180–220 сек, что обеспечивает оптимальные условия для достижения адекватного гемостаза при центральной и периферической методике её проведения. Рекомендуемый уровень гепаринизации и целевое значение АВСК в процессе длительного применения

ЭКМО определяются объёмной скоростью экстракорпорального кровотока (табл. 6).

У пациентов с геморрагическими осложнениями при риске развитии или наличие жизнеугрожающих геморрагических осложнений возможно проведение ЭКМО без применения гепарина и других антикоагуляционных препаратов (так называемый “безгепариновый протокол”) в течение нескольких дней.

Рекомендации по проведению антикоагулятной теарпии во время ЭКМО при развитии гепарин-индуцированной тромбоцитопении

Уменьшение дозировок нефракционированного гепарина при одновременном применении ингибиторов тромбоцитов (эпопростенол (epoprostenol), тирофибан (tirofiban)).

Применение прямых ингибиторов тромбина (lepirudin, bivalirudin, argotroban).

Использование низкомолекулярных гепаринов или гепариноидов (например, данапароид (danaparoid)).

Рекомендации по коррекции гипоперфузии и/или гипоксемии верхней части туловища при периферической ВА ЭКМО из бедренного доступа

Увеличение объёмной скорости кровотока для более глубокого проникновения оксигенированной крови в ретроградном (восходящем) направлении;

Поддержание остаточной насосной функции левого желудочка с помощью кардиотонических препаратов (допамин, добутамин и/или адреналин);

Снижение повышенного уровня АД (более 75 мм рт.ст.) с целью понижения сопротивления потоку крови в ретроградном направлении с помощью вазодилатирующих препаратов;

Проведение ИВЛ или оксигенотерапии или вспомогательной неинвазивной вентиляции лёгких у пациентов с сохранным самостоятельным дыханием;

При резком нарушении оксигенирующей функции лёгких и невозможности обеспечения адекватной оксигенации верхней части туловища целесообразно рассмотреть переход с ВА на ВАВ ЭКМО, для этого потребуется установка дополнительной

канюлю в верхнюю полу вену для перенаправления части объёма оксигенированной крови из мембранного оксигенатора через правые отделы сердца в малый круг кровообращения.

Гемодинамическая разгрузка левых отделов сердца при проведении ВА ЭКМО

При проведении ВА ЭКМО у части больных с выраженным нарушением насосной функции левого желудочка развивается его объёмная перегрузка, что приводит к застою крови в левом предсердии, венозной системе малого круга кровообращения и развитию

Клинической картины интерстициального или альвеолярного отёка с рентгенологическим феноменом “белые” лёгкие, что негативно сказывается на состоянии больного.

Предложено несколько методических подходов к улучшению дренирования левого желудочка.

Рекомендации по коррекции объёмной перегрузки левых отделов сердца при проведении ВА ЭКМО

Коррекция объёмной перегрузки левых отделов сердца может быть достигнута следующими лечебными воздействиями:

— повышение объёмной скорости ВА ЭКМО, что приводит к увеличению дренажа крови из правых отделов сердца и уменьшению приток крови через малый круг к левому предсердию и желудочку;

— назначение или увеличение дозировок кардиотонических препаратов, направленной на улучшение остаточной насосной функции левого желудочка;

— снижение повышенного уровня среднего артериального давления до целевого уровня 70–75 мм рт.ст. с целью снижения постнагрузки и улучшения условий изгнания крови из левого желудочка;

— устранение гиперволемии с помощью диуретических препаратов или методов непрерывной или интермиттирующей заместительной почечной терапии у пациентов с почечной дисфункцией/недостаточностью.

1. Чрезкожная баллонная атриосептостомия.

2. Чрезкожная постановка дополнительной дренажной канюли в лёгочную артерию.
3. Чрезкожная постановка дренажной канюли через правое предсердие и межпредсердную перегродку в левое предсердие.
4. Дренирование ЛЖ с помощью катетера, установленного через бедренную артерию и проведённого через аортальный клапан в полость ЛЖ.
5. Использование катетерного осевого насоса крови типа Impella.

Хирургические методы активного дренирования левого желудочка

Постановка дополнительной дренажной канюли непосредственно в полость левого желудочка или в полость левого предсердия из стернотомного, торакотомного внеплеврального или торакотомного трансплеврального доступа.

Отлучение от ЭКМО

При использовании самого низкого потока для адекватной поддержки при адекватных для данного пациента параметров ИВЛ и дозировок вазопрессорных препаратов, экстракорпоральная поддержка уменьшается по мере восстановления функции собственных органов. Когда вклад экстракорпоральной поддержки составляет менее 30% от общей поддержки, функция собственного сердца или легких может быть достаточной для отключения от ЭКМО и показано пробное прекращение. Примечание: пока вклад экстракорпоральной поддержки превышает 30%, показаний для пробного прекращения нет, исключение — особые обстоятельства (напр. Неконтролируемое кровотечение).

Пробное прекращение

Пробное прекращение при ВВ-доступе очень простое. Функции сердца сохранены и адекватны и проверяется только собственный газообмен. Настройте ИВЛ на параметры, на фоне применения интрапульмональной перкуссионной вентиляции легких, которые вы сочли бы приемлемыми при отключении от ЭКМО. Поддерживайте кровоток и антикоагуляцию, остановите продувочный газ и выключите оксигенатор. Следите за SpO_2 и PaO_2 пациента. Если функция легких адекватна при приемлемых параметрах ИВЛ в течение часа и более — пациент готов к декануляции.

Пробное прекращение при ВА-доступе требует пережатия линий дренажа и инфузии и медленной циркуляции крови в контуре через артериовенозный бридж. Доведите дозы инотропов и вазопрессоров, а также настройте параметры ИВЛ до приемлемого уровня. Затем пережмите экстракорпоральный контур и следите за перфузией и газообменом. Эхокардиография очень полезна для оценки сердечной функции во время пробного прекращения. Антикоагуляцию продолжают во время пробного прекращения, а линии крови и канюли доступа периодически разжимают для предотвращения застоя крови. Если пробное прекращение успешно, линии контура можно отсоединять, а канюли доступа «заблокировать» гепариновым замком в ожидании декануляции. Если пробное прекращение удалось, но состояние пациента нестабильное, контур можно отсоединить,

оставив канюли доступа на месте на случай, если пациенту потребуется повторное подключение к ЭКМО с новым контуром. В этой ситуации обычной практикой является инфузия низких доз гепарина в канюли и частое повторное обследование. Канюли доступа можно оставить на месте 24 часа и более. Если нет сомнений в необходимости дальнейшей ЭКМО, лучше удалить канюли после успешного завершения пробного прекращения.

Декануляция

Канюли можно удалять, когда пациент готов, но в идеале — через 30–60 минут после отключения гепарина. Канюли, установленные прямым открытым доступом, удаляются так же прямым открытым доступом. Канюли удаляют, а сосуды просто перевязывают (изредка ушивают). Если бедренная артерия была канюлирована открытым способом, потребуется сосудистая пластика. Венозные и артериальные канюли, установленные чрескожно, можно удалять напрямую, а кровотечение контролировать местным сдавлением.

При удалении венозной канюли воздух может попадать в вену через боковые отверстия, если пациент дышит спонтанно. Этого избегают, проводя маневр Вальсальвы на ИВЛ или используя миорелаксанты короткого действия во время удаления венозной канюли.

Прекращение поддержки при бесперспективности.

ЭКМО следует немедленно прекратить, если нет вероятности на выживание (тяжелое повреждение головного мозга, отсутствие возможности восстановления сердечной функции или легких — в т.ч. трансплантация этих органов.

Возможность прекращения ЭКМО ввиду бесперспективности должна быть объяснена родственникам пациента до начало проведения процедуры. Определение необратимого повреждения сердца или легких зависит от индивидуальных особенностей пациента и ресурсов медицинского учреждения. В каждом случае следует установить разумный срок для восстановления органа или его замещения. Например, при сердечной недостаточности отсутствие сердечной функции в течение 3–5 дней у пациента, не являющегося кандидатом на трансплантацию, считается бесперспективным в большинстве центров.

При тяжелой дыхательной недостаточности отсутствие адекватной функции легких в течение двух недель у пациента, не являющегося кандидатом на трансплантацию, считается так же бесперспективным во многих центрах, хотя известны случаи восстановления функции легких после 50 дней пребывания на ЭКМО.

Стабильная легочная гипертензия у пациента с тяжелой дыхательной недостаточностью после нескольких недель на ВВ-ЭКМО так же может указывать на бесперспективность или, по крайне мере, на необходимость перехода на ВА-доступ.

Тесты

Вопрос 1. Какое определение ЭКМО является наиболее полным?

A. Метод искусственной вентиляции легких.
B. Метод замещения газообменной функции легких и/или насосной функции сердца путем экстракорпоральной перфузии крови через мембранный оксигенатор.
C. Метод детоксикации организма.
D. Метод согревания крови при гипотермии.

Вопрос 2. Для какого типа ЭКМО характерно развитие синдрома «Арлекино» (дифференциальная гипоксемия)?

A. Центральное ВА ЭКМО.
B. Периферическое ВВ ЭКМО с двухпросветной канюлей.
C. Периферическое ВА ЭКМО с бедренным доступом.
D. Самопоточное АВ ЭКМО.

Вопрос 3. Какое значение градиента давления на оксигенаторе (ΔP = P2-P3) у взрослого пациента наиболее вероятно укажет на его тромбоз?

A. 20 мм рт.ст.
B. 40 мм рт.ст.
C. 60 мм рт.ст.
D. 10 мм рт.ст.

Вопрос 4. Что из перечисленного является абсолютным противопоказанием к ЭКМО?

A. Возраст старше 75 лет.
B. ИМТ 42 кг/м².
C. Продолжающееся неконтролируемое интраабдоминальное кровотечение.
D. Септический шок с SOFA 12 баллов.

Вопрос 5. Какова целевая доза активированного частичного тромбопластинового времени (АЧТВ) при проведении ЭКМО на фоне инфузии гепарина?

A. 20–30 секунд.
B. 40–50 секунд.
C. 60–80 секунд.
D. 100–120 секунд.

Вопрос 6. При проведении ВВ ЭКМО с двухпросветной канюлей через правую внутреннюю яремную вену, куда должен быть направлен дистальный конец канюли?

A. В правый желудочек.
B. В легочную артерию.
C. В нижнюю полую вену (на уровне печени).
D. В левое предсердие.

Вопрос 7. Каков порядок действий при срабатывании сигнала тревоги «воздушные пузыри» и остановке насоса ЭКМО?

A. Игнорировать сигнал и перезагрузить насос.
B. Немедленно наложить зажимы на венозную и артериальную линии, затем оценить ситуацию.
C. Увеличить скорость потока газа через оксигенатор.
D. Ввести болюс гепарина.

Вопрос 8. Какая формула позволяет рассчитать коэффициент рециркуляции при ВВ ЭКМО?

A. (P2-P3) × 100%.
B. (SaO_2 — SvO_2) / SaO_2 × 100%.
C. ($SpreO_2$ — SvO_2) / ($SpostO_2$ — SvO_2) × 100%.
D. CI × (1,36 × Hb × SaO_2) × 0,01.

Вопрос 9. Что из перечисленного является показанием к инициации ВА ЭКМО?

A. $PaO_2/FiO_2 = 100$.
B. Декомпенсированный респираторный ацидоз (pH 7,2, PCO_2 70 мм рт.ст.).
C. АД сист. 80 мм рт.ст., лактат 4 ммоль/л, диурез 20 мл/час, неэффективность ВАБК и добутамина.
D. Гиперкапния 50 мм рт.ст.

Вопрос 10. Какое положение пациента является оптимальным при подозрении на массивную воздушную эмболию в системный кровоток во время ВА ЭКМО?

A. На левом боку.
B. На правом боку.
C. Положение Фаулера (полусидя).
D. Положение Тренделенбурга (головной конец ниже ножного).

Ответы на тесты

1. B
2. C
3. C (ΔP >50 мм рт.ст. подозрительно на тромбоз)
4. C
5. C
6. C
7. B
8. C
9. C
10. D

Список литературы

1. Шелухин Д.А., Алексанин С.С., Рыбников В.Ю., и др. Медицинская эвакуация пострадавших в чрезвычайных ситуациях и тяжелобольных с проведением экстракорпоральной мембранной оксигенации: принципы, технологии, организационно-методическое обеспечение, в том числе с учетом неудовлетворительной санитарно эпидемиологической обстановки в отношении пациентов с особо опасными инфекциями // Учебно-методический комплекс. Руководство — СПб.: ВЦЭРМ им. А.М. Никифорова, 2022.
2. Шелухин Д.А., Павлов А.И., Ершов А.Л. Экстракорпоральная мембранная оксигенация у пациентов с тяжелой дыхательной недостаточностью и первый опыт ее применения во время авиационной медицинской эвакуации в России // Медико-биологические и социально психологические проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях. 2015(3):24-34.
3. Яковлев А.В., Тризна Е.В., Нохрин А.В., и др. Применение экстракорпоральной мембранной оксигенации у новорожденных с рефрактерной гипоксемией во время медицинской эвакуации // Российский вестник перинатологии и педиатрии. 2022;67(3):92-99.
4. Мальцева О.С., Шелухин Д.А., Пшениснов К.В., и др. Экстракорпоральная мембранная оксигенация в педиатрии и неонатологии // Медицина: Теория и Практика. 2018;3(4):108-114.
5. 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.
6. Кругляков Н.М., Архипов Д.А., Альтшулер Н.Э., и др. Успешное применение пульмональной высокочастотной перкуссионной вентиляции у пациента с крайне тяжелым течением новой коронавируной инфекции: клиническое наблюдение. //Анестезиология и реаниматология. 2024. №3, с. 81-86.
7. Кругляков Н.М., Левитова Д.Г., Багжанов Г.И.. и др. Применение методики экстракорпоральной мембранной оксигенации у пациента с респираторным дистресс-синдроме на фоне миастении.// Журнал им. Н.В. Склифосовского. Неотложная медицинская помощь. 2021. Том 10, №2, с. 393-400.
8. Bartlett RH, Gazzaniga AB, Fong SW et all Extracorporeal membrane oxygenator support for cardiopulmonary failure. Experience in 28 cases. // J. Torac Cardiovasc Surg. 1977; 73: 375-386.
9. Makdisi G, Wang I. Extra Corporeal Membrane Oxygenation (ECMO) review of a lifesaving technology. J of Thorac Dis 2015; 7: E166 E176.
10. Ali J., Vuylsteke A. Extracorporeal membrane oxygenation: indications, technique and contemporary outcomes Heart 2019;105:1437-1443.
11. https://www.elso.org/publications.aspx/
12. https://www.eurotransplant.org/allocation/eurotransplant-manual.

Формат 60x90/16, объем 2,875 усл. печ. л.
Бумага 80 г/м^2. Офсетная. Гарнитура Times New Roman.
Тираж 1000 Заказ № 2026-470-мбу
Отпечатано в типографии ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России
123098, Москва, ул. Живописная, 46. Тел. +7 (499) 190-93-90
rcdm@mail.ru, lochin59@mail.ru. www.fmbafmbc.ru