

Оглавление

Предисловие к изданию на русском языке	11
Предисловие к изданию на английском языке.....	14
Предисловие от автора.....	15
Список сокращений и условных обозначений	16
Глава 1. Оборудование для искусственного кровообращения.....	17
Оксигенаторы.....	18
Фильтры артериальной линии	34
Наборы трубок	38
Кардиоплегические системы.....	42
Аппарат искусственного кровообращения	46
Терморегулирующее устройство	49
Канюли	51
Список литературы	62
Глава 2. Заполнение перфузионного контура.....	64
Компоненты первичного объема заполнения	64
Последовательность заполнения.....	67
Список литературы	74
Глава 3. Планирование перфузии	76
Согласование взаимодействия по конкретному случаю	76
Управление антикоагуляцией	78
Управление газами крови	87
Управление углекислым газом	88
Стратегия оксигенации	92
Управление гематокритом.....	96
Управление артериальным давлением.....	98
Управление температурой	100
Скорость потока, регионарная перфузия и гипотермическая остановка кровообращения.....	105
Методы ультрафильтрации.....	110
Ультрафильтрация перед искусственным кровообращением	110
Ультрафильтрация во время искусственного кровообращения	111
Ультрафильтрация после искусственного кровообращения	112

Стандартный и усиленный венозный возврат	120
Стандартный венозный возврат с гравитационным сифонным дренажем	120
Усиленный венозный возврат	122
Чек-лист хирургической безопасности при врожденных пороках сердца	133
Список литературы	133
Глава 4. Типичные фазы искусственного кровообращения	142
Начало сердечно-легочного обхода	142
Стандартная фаза поддержания искусственного кровообращения	146
Прекращение искусственного кровообращения.....	151
Период после искусственного кровообращения.....	153
Список литературы	155
Глава 5. Дополнительные примечания, основанные на задачах искусственного кровообращения.....	156
Подготовка к искусственному кровообращению	156
Аппарат искусственного кровообращения	156
Повторные операции	156
Канюляция	157
Нагнетание объема во время канюляции	158
В процессе искусственного кровообращения	158
Проверка адекватности дренажа (венозного оттока) при пережатии полых вен	158
Управление газами крови	159
Введение кардиоплегии	159
Планируемая остановка кровообращения.....	161
Индуцированная фибрилляция желудочков	161
Введение препаратов крови.....	162
Размещение предсердной линии.....	163
Размещение разгрузочного дренажа левого желудочка	163
Вращение операционного стола во время искусственного кровообращения	163
Список литературы	163
Глава 6. Особенности искусственного кровообращения, связанные с диагнозом	165
Рекомендации по искусственному кровообращению	165
Рекомендации по диагностике	166
Аномальные коронарные артерии	166
Аномальная левая коронарная артерия из легочной артерии = синдром Бланда–Уайта–Гарланда (СБУГ)	167
Аномальное отхождение коронарной артерии от аорты.....	169

Аортальная регургитация/недостаточность.....	170
Стеноз аорты	174
Аортолегочные коллатеральные артерии.....	177
Аортолегочное окно.....	180
Дефект межпредсердной перегородки.....	181
Кардиомиопатия, требующая ортотопической трансплантации сердца.....	185
Коарктация аорты.....	186
Общий дефект атриовентрикулярного канала (общий открытый атриовентрикулярный канал, дефект атриовентрикулярной перегородки или дефект эндокардиальной подушки)	189
Трехпредсердное сердце	191
Корригированная транспозиция магистральных артерий.....	193
Критический стеноз аорты.....	195
Двухкамерный правый желудочек	198
Двухприточный левый желудочек.....	199
Двойное отхождение сосудов от левого желудочка	199
Двойное отхождение сосудов от правого желудочка.....	200
Аномалия Эбштейна	201
Синдром гипоплазии левых отделов сердца	202
1-й этап. Процедура Норвуда	204
Гибридное паллиативное лечение 1-й стадии	206
2-й этап, или двунаправленный шунт Гленна	207
Процедура Фонтена. Тотальный кавопульмональный анастомоз	208
Перерыв дуги аорты.....	210
Левая верхняя полая вена	213
Трансплантация легких	214
Митральная регургитация/недостаточность	215
Митральный стеноз	217
Открытый артериальный проток	219
Аномалии легочной артерии	220
Атрезия легочной артерии	222
Легочная регургитация/недостаточность	226
Легочный стеноз, стеноз легочной артерии	228
Стеноз легочных вен или обструкция легочных вен	229
Тетрада Фалло.....	231
Тотальный аномальный дренаж легочных вен и частичный аномальный дренаж легочных вен	234
D-транспозиция магистральных артерий.....	236
Атрезия трикуспидального клапана.....	239
Трикуспидальная регургитация/недостаточность	241
Общий артериальный ствол	243

Дефект межжелудочковой перегородки	245
Список литературы	248
Глава 7. Примечания по отдельным вопросам искусственного	
кровообращения	249
Артериальное давление выше ожидаемого	249
Артериальное давление ниже ожидаемого.....	250
Повышенное центральное венозное давление	252
Проблема теплообмена (медленное охлаждение	
или согревание).....	254
Значения спектроскопии в ближнем инфракрасном	
диапазоне ниже ожидаемых	255
$PaCO_2$ выше ожидаемого	258
$PaCO_2$ ниже ожидаемого.....	261
PaO_2 ниже ожидаемого	264
Очень низкий объем в венозном резервуаре.....	266
Список литературы	268
Глава 8. Примечания по отдельным чрезвычайным ситуациям	
во время искусственного кровообращения.....	269
Неисправность артериального насоса	
(головки роликового насоса).....	269
Нарушения оксигенации	271
Массивная воздушная эмболия.....	274
Острое расслоение аорты в начале искусственного	
кровообращения	276
Венозный воздушный блок	278
Непреднамеренная артериальная деканюляция	279
Непреднамеренная венозная деканюляция.....	280
Список литературы	282
Глава 9. Краткий обзор названных процедур и терминов.....	283
Шов Альфиери	283
Операция Батисты	283
Операция Бенталла	283
Двунаправленный шунт Гленна	284
Операция Блэлока–Хэнлона.....	284
Шунт Блэлока–Тауссиг.....	284
Операция Брока	285
Центральный шунт	285
Конусная реконструкция трехстворчатого клапана.....	285
Операция «лабиринт» Кокса	285
Анастомоз Дамуса–Кея–Стенсела	286
Операция двойного переключения	286
Операция Фонтена.....	286

Шунт Готта.....	287
Операция Геми–Фонтена.....	287
Сердце Холмса	288
Операция Жатене.....	288
Болезнь Кавасаки.....	288
Операция Кавашимы.....	288
Дивертикул Коммереля	289
Процедура Конно.....	289
Маневр Лекомпта.....	289
Операция Лекомпта	289
Операция Манугиана.....	290
Синдром Марфана	290
Операция «лабиринт»	290
Операция Мастарда	290
Операция Никса.....	291
Процедура Никайдо.....	291
Синдром Нунана.....	291
Операция Норвуда	292
Паннус	292
Пентада Кантрелла	292
Шунт Поттса	292
Процедура Рашкинда.....	292
Операция Растелли	293
Операция Росса.....	293
Шунт Сано	293
Синдром ятагана	293
Операция Сеннинга	294
Комплекс Шона	294
Операция Такеучи.....	295
Аномалия Тауссиг–Бинга	295
Траслерная коррекция	295
Классификация по Ван Прааг	295
Шунт Ватерстона	296
Синдром Вильямса	296
Операция Ясуи	296
Список литературы	296
Глава 10. Сокращения для краткого наименования врожденных пороков сердца	297
Глава 11. Рекомендуемая литература	309
Учебники по кардиоанестезии	309
Учебник по интенсивной терапии врожденных пороков сердца	309
Учебник по механической поддержке кровообращения	309

Учебники по кардиохирургии врожденных пороков сердца	309
Учебники по искусственному кровообращению.....	309
Глава 12. Комплексная таблица выбора перфузионного оборудования, основанная на собственном опыте автора	310
Предметный указатель.....	314

Предисловие к изданию на русском языке

Двадцать пять лет тому назад, когда я только начинала работать с педиатрическими пациентами, в качестве учебного пособия у меня была только небольшая книга Ивана Николаевича Меньшугина, посвященная использованию ганглионарной блокады и пульсирующего кровотока, где он делился опытом проведения искусственного кровообращения в 1-й детской городской больнице г. Санкт-Петербурга, являющейся одним из лидеров в коррекции врожденных пороков сердца в периоде новорожденности и первого года жизни. Долгие годы эта книга оставалась настольной, пока кто-то не взял ее почитать навсегда. С тех пор, как говорят, утекло много воды. Я отработала тысячи перфузий у самых маленьких пациентов, много раз боролась с трудностями, начиная от плохих венозных оттоков и заканчивая организацией параллельной перфузии в нескольких регионах тела, изучила много литературы, написала кандидатскую диссертацию, посвященную особенностям перфузии у детей с массой тела до 5 кг, опубликовала статьи и сделала много докладов на конференциях, посвященных этому разделу медицины. За это время в Бакулевском центре мы обучили несколько десятков специалистов, имеем собственные методические материалы, однако для написания учебника всегда не хватало времени и сил. Поэтому я очень обрадовалась и была благодарна Ивану Николаевичу Меньшугину за оказанную мне честь быть научным редактором перевода книги координатора по перфузии Бостонской детской больницы Грегори С. Мэтта. Иван Николаевич не только перевел это полезное издание, но и чрезвычайно креативно отнесся к задаче: добавил свои ценные комментарии, которые особенно важны, так как помогают читателю разобраться в наиболее сложных моментах.

Несмотря на то что книга Г.С. Мэтта вышла в 2015 г., она по-прежнему актуальна, содержит качественный теоретический и справочный материал, посвященный всем аспектам перфузии у детей с врожденными пороками сердца.

В отличие от врача, занимающегося взрослыми, от «детского» перфузиолога требуется знание особенностей возрастной физиологии, анатомии и гемодинамики врожденных пороков сердца, способов хирургической коррекции. Этим вопросам в книге посвящены две главы. И это главы именно для перфузиологов, так как к описанию каждого порока прилагаются особенности проведения перфузии при его устранении. В книге переводчик намеренно оставил некоторые оригинальные названия и широкоупотребимые сокращения на английском языке, чтобы молодые специалисты были готовы к углубленному изучению профессиональной литературы и общению с англоговорящими специалистами. После каждой главы приводится список рекомендуемой

литературы. Мы надеемся, что со всеми источниками читатель обязательно познакомится во время обучения и дальнейшей работы.

Задачей искусственного кровообращения является замещение функций сердца и легких. Функция искусственного сердца определяется минутным объемом кровообращения, который зависит от роста, массы (веса) температуры тела и концентрации основного носителя кислорода — гемоглобина. В связи с весо-ростовым разнообразием у педиатрических пациентов используется широкая размерная линейка оксигенаторов и канюль, в которых должен ориентироваться каждый перфузиолог. Первичные объемы заполнения экстракорпоральных контуров у маленьких пациентов приближаются к их ОЦК, поэтому проблема массивной гемотрансфузии по-прежнему актуальна для детей первого года жизни. Искусственное кровообращение проводится в условиях гипокоагуляции, которой необходимо грамотно управлять, своевременно оценивая обстановку и риски восстановления коагуляционной способности крови. Функция искусственных легких состоит в насыщении крови кислородом и удалении углекислоты. Каждый перфузиолог должен уметь управлять газовым составом крови с поправкой (pH-stat) и без поправки (α -stat) на температуру. Необходимо также определять причины расстройств искусственного газообмена и уметь их своевременно устранять, а для этого надо знать основы естественной вентиляции. В педиатрической практике часто используются специальные перфузионные и рутинные техники. Это все виды регионарной перфузии (нижней и верхней половины тела) и все виды ультрафильтрации (ультрафильтрация прайма, обычная, дилуционная, модифицированная, упрощенная, нулевого баланса). В связи с миниатюрностью организмов (масса тела детей часто менее 3 кг), филигранной регулировкой скоростей и объемов педиатрическую перфузионную практику можно назвать «state of art» экстракорпорального кровообращения.

В книге также четко описаны функции перфузиолога на основных этапах перфузии и основы его взаимодействия с оперирующим хирургом и бригадой. Они касаются подготовки аппарата к работе, техник заполнения ЭК-контра, канюляции, обеспечения адекватного венозного оттока, кардиоплегии, гемотрансфузии и окончания искусственного кровообращения. Эффективная коммуникация внутри операционной бригады имеет первостепенное значение и является показателем ее профессионализма.

Особенная значимость навыков общения и командного взаимодействия проявляется в условиях чрезвычайных ситуаций, когда перфузиолог сталкивается с остановкой артериального насоса, отключением электропитания, нарушениями оксигенации, воздушной эмболией, острым расслоением аорты или бедренной артерии, случайной артериальной или венозной деканюляцией. В книге представлена четкая последовательность действий в этих ситуациях, которые могут быть взяты за основу чек-листов, работа по которым принята во всех областях медицины, связанных с применением сложного оборудования. Чрезвычайные обстоятельства или инциденты, кроме общих черт, имеют индивидуальные особенности, работа с которыми требует минимального экспромта, в большинстве случаев хороший экспромт — это подготов-

ленный экспромт. Быть готовыми к нештатным ситуациям мы должны всякий раз, переступая двери операционной, и именно работа в условиях инцидентов показывает профессионализм всей команды и ее пригодность к совместной работе. Каждая жизнь пациента ценна, а если нам еще удалось спасти его от последствий технического сбоя оборудования или влияния человеческого фактора — особенно.

Надеюсь, что из книги извлекут пользу специалисты, только приступающие к практическому изучению педиатрической перфузии, кардиохирурги, начинающие свою деятельность для обучения эффективному взаимодействию с искусственным кровообращением. Практическую пользу она обещает и опытным перфузиологам для систематизации знаний, причем не только в педиатрической, но и во взрослой практике, потому что взрослые пациенты также подвергаются хирургическим вмешательствам по поводу врожденных пороков сердца.

Поздравляю всех потенциальных читателей, поскольку количество книг на русском языке, посвященных искусственному кровообращению, непозволительно мало. Надеюсь, что эта книга простимулирует и российских авторов к написанию подобных руководств, которые представят свою интерпретацию и многолетний опыт в области перфузионных технологий.

Т.Б. Аверина, научный редактор перевода,
канд. мед. наук, заведующая лабораторией
искусственного кровообращения
с группой поддержки миокарда
ФГБУ «НМИЦ сердечно-сосудистой хирургии
им. А.Н. Бакулева» Минздрава России, координатор
секции «Искусственное кровообращение»
Ассоциации сердечно-сосудистых хирургов России

Предисловие к изданию на английском языке

Искусство и наука обеспечения перфузии у пациентов, переносящих хирургическую коррекцию врожденных пороков сердца, быстро развивались в последнее десятилетие. Сложное оборудование; уникальные стратегии управления кислотно-щелочным режимом; специализированные методы перфузии и ультрафильтрации; широкие различия в возрасте, весо-ростовых показателях и чувствительности пациентов к физиологическим нарушениям; широкий спектр выполняемых хирургических процедур определяют перфузию в хирургии врожденных пороков сердца в отличие от той, которая предусмотрена при коррекции приобретенных пороков сердца у взрослых. Следовательно, оказание сердечно-легочной поддержки при лечении врожденных пороков сердца само по себе стало отдельной специализацией.

Нет сомнений, что перфузиологи, оказывающие помощь пациентам с врожденными пороками сердца, сочтут это пособие бесценным. Что еще более важно: с точки зрения детского анестезиолога и реаниматолога, эта помощь станет важным ресурсом для кардиоанестезиологов и реаниматологов.

Практическая информация, содержащаяся в руководстве, в настоящее время недоступна ни в одной другой публикации.

Это руководство должно стать частью учебной программы для ординаторов по анестезиологии и интенсивной терапии и научных сотрудников, занимающихся лечением этих сложных пациентов.

Джеймс А. ДиНардо, MD, FAAP
Профессор анестезиологии
Заведующий отделением кардиальной анестезии

Гарвардская медицинская школа
Френсис Х. Мак-Гоуэн, мл., MD
Кафедра кардиальной анестезии
Бостонская детская больница

Предисловие от автора

Сегодня существует множество превосходных учебников по врожденным порокам сердца. Большинство отделений перфузии, занимающихся лечением врожденных пороков сердца, имеют в своем распоряжении собственные обновляемые руководства, касающиеся кардиологии, кардиохирургии, анестезии, интенсивной терапии и перфузии. В руководствах по искусственному кровообращению, которые меня больше всего интересуют, можно найти как неконкретные, так и противоречивые утверждения о том, как на самом деле «проводить перфузию» при конкретных врожденных пороках сердца. Я надеюсь, что эта книга даст вам некоторое направление. Цель этой книги состоит не в том, чтобы предоставить исчерпывающий учебник по врожденной кардиохирургии или сердечно-легочному обходу. Речь также не идет о простой публикации протоколов клинической практики. Скорее, цель состоит в том, чтобы предоставить легкодоступную справочную информацию и напоминания, которые могут повлиять на план перфузии и, возможно, стать частью вашей практики. Педиатрический перфузиолог, имеющий хотя бы общее представление о других дисциплинах, связанных с кардиохирургией, должен иметь возможность ссылаться на эту книгу и ее примечания, как я предпочитаю их называть, чтобы разработать свой план выполнения перфузии.

Идея создания этой книги возникла в результате более чем 17-летней практики перфузии при коррекции врожденных пороков сердца и почти 25-летней работы с тяжелобольными детьми. Академические учреждения, где я обучался и работал, регулярно принимают посетителей со всей страны и мира. В их число входят специалисты по анестезии, кардиохирургии и интенсивной терапии, студенты, изучающие перфузию и сестринское дело, а также текущую практику в этих областях. Самый распространенный вопрос обучающихся, который задается нашему отделению, звучит так: «Могу ли я получить копию ваших протоколов?» Мой стандартный ответ — квалифицированное «да». Довольно просто передать протоколы перфузии и индивидуальные спецификации комплектов трубок. Эти предметы необходимы и полезны, хотя в отдельности они не в состоянии охватить большую часть мыслей и соображений, заложенных в каждый план искусственного кровообращения при коррекции конкретного врожденного порока сердца. Я надеюсь, что эта книга станет шагом к заполнению пробела в доступных на сегодняшний день источниках.

Наконец, все мы клиницисты несовершенные, и было сказано, что никто не может причинить вред пациенту быстрее, чем перфузиолог (или хирург). С учетом сказанного пусть ваши клинические ошибки будут незначительными!

Грегори С. Мэтт, ССР, LP, FPP
Chief Perfusionist and Manager

Список сокращений и условных обозначений

♦	— торговое наименование лекарственного средства и/или фармацевтическая субстанция
♠	— лекарственное средство не зарегистрировано в Российской Федерации
АД	— артериальное давление
АИК	— аппарат искусственного кровообращения
БАЛКА	— большие аортолегочные коллатеральные артерии
ВВД	— вспомогательный венозный дренаж
ВПС	— врожденный порок сердца
ДМЖП	— дефект межжелудочковой перегородки
ДМПП	— дефект межпредсердной перегородки
ИК	— искусственное кровообращение
КВР	— кардиотомный венозный резервуар
КП	— кардиоплегия
ЛЖ	— левый желудочек
ЛП	— левое предсердие
ЛСС	— легочное сосудистое сопротивление
МУФ	— модифицированная ультрафильтрация
ОАП	— открытый артериальный проток
ПЖ	— правый желудочек
ПП	— правое предсердие
СЛА	— стеноз легочной артерии
СЛР	— сердечно-легочная реанимация
ТМА	— транспозиция магистральных артерий
ТРУ	— терморегулирующее устройство
ФАЛ	— фильтр на артериальной линии
ЦА	— циркуляторный арест
ЭК	— экстракорпоральный
AV	— атриовентрикулярный

Оксигенаторы

Современный оксигенатор на самом деле представляет собой несколько интегрированных элементов, которые, кроме оксигенирующей мембраны, могут включать фильтр на артериальной линии (ФАЛ), венозный резервуар с фильтром, кардиотомный фильтр и теплообменник. На рис. 1.2 показаны оксигенаторы Terumo CAPIOX FX. На рис. 1.3 показаны типичные компоненты системы оксигенатора.



Рис. 1.2. Оксигенаторы серии Terumo CAPIOX FX. Слева направо: Terumo CAPIOX FX05, Terumo CAPIOX FX15-30, Terumo CAPIOX FX25. А — кардиотомный венозный резервуар, Б — мембранный оксигенатор со встроенным артериальным фильтром и теплообменником

Мембрана оксигенатора

- *Мембранные оксигенаторы* обеспечивают диффузию газов (кислорода и углекислого газа) через материал, разделяющий потоки крови и газа (также называемые фазами газа и крови).
- Истинные мембранные оксигенаторы обеспечивают диффузию газов через сплошную мембрану, разделяющую фазы крови и газа. Тип и толщина мембраны, а также характеристики потока крови и газа на противоположных сторонах определяют общую скорость диффузии.

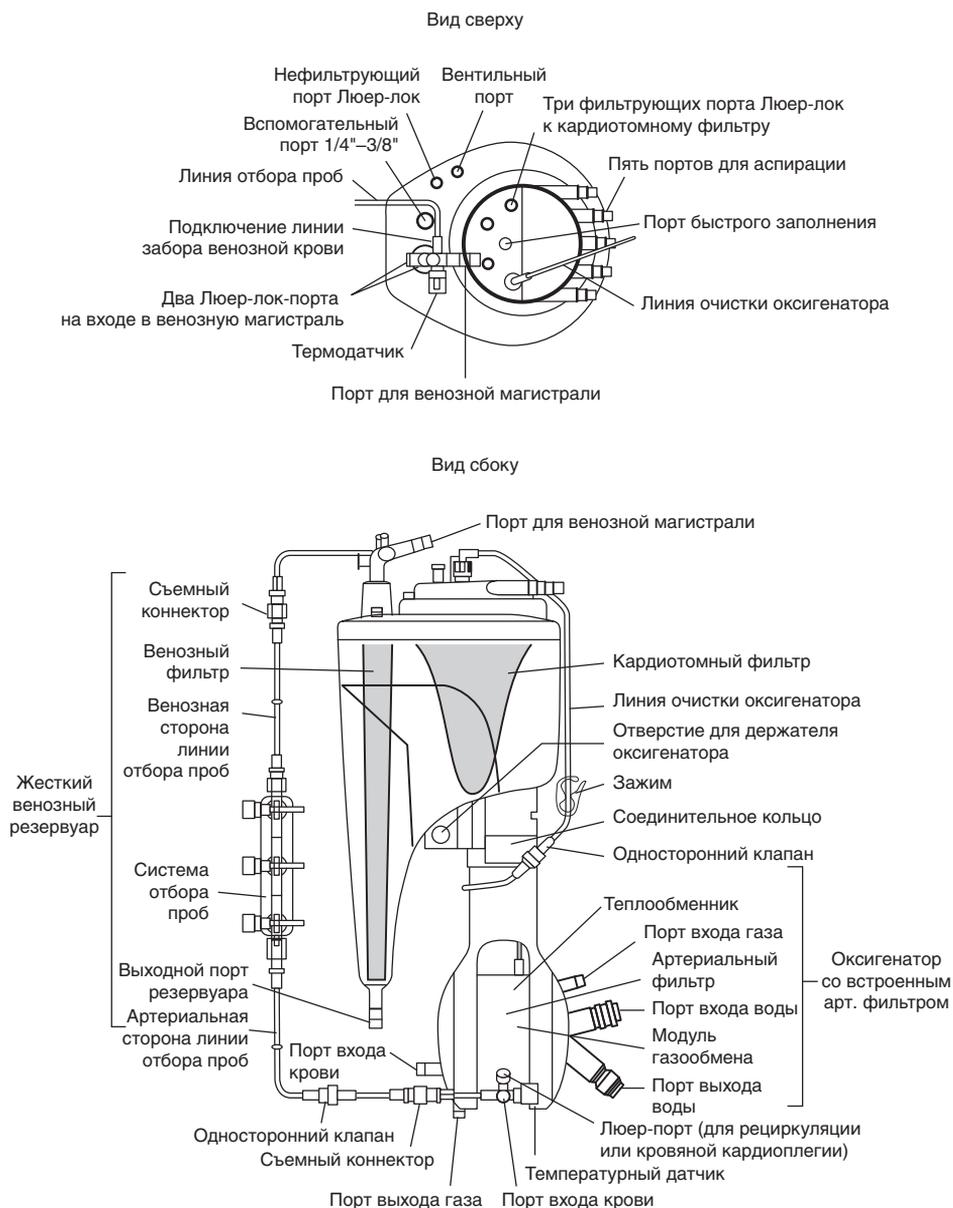


Рис. 1.3. Типичные компоненты системы оксигенатора. Воспроизведено с разрешения Terumo Cardiovascular Group, Ann-Arbor, Мичиган. Все права защищены

- *Микropористые мембранные оксигенаторы* обеспечивают диффузию газов через микроскопические отверстия в материале мембраны. Газ проходит непосредственно через эти микropоры и, следовательно, меньше подвер-

жен влиянию материала мембраны¹. Однако характеристики потока крови и газа на противоположных сторонах по-прежнему влияют на диффузионную способность.

- Подавляющее большинство оксигенаторов для ИК — это микропористые мембранные оксигенаторы. Истинные мембранные оксигенаторы сегодня имеют ограниченное применение, включая использование их в некоторых учреждениях для экстракорпоральной мембранной оксигенации.
- Размер мембранного оксигенатора, выбираемый для конкретного пациента, должен быть наименьшим, чтобы обеспечить безопасную перфузию с некоторой степенью функционального резерва, как на случай снижения его эффективности во время продолжительных перфузий, так и для существенного увеличения производительности артериального насоса с учетом наличия аортолегочных коллатералей, хирургических или других центральных шунтов или при наличии значительной аортальной регургитации. В этих ситуациях может потребоваться увеличение производительности насоса для поддержания адекватной эффективной системной перфузии.
- Использование оксигенатора сверх максимальной скорости потока, рекомендованной производителем, может увеличить передачу газовых микроэмболов по артериальной линии и поэтому не одобряется.

Истинный мембранный оксигенатор

Газ диффундирует через твердую (сплошную) мембрану (показана серым цветом). Между газовой и кровяной секциями нет прямой связи.



Микропористые мембранные оксигенаторы

Газы диффундируют через крошечные отверстия в материале мембраны (показаны белым). Между газовым и кровяным отсеками существует прямая связь. Микропузырьки воздуха из кровяного отсека могут проходить в газовый, облегчая удаление газообразных микроэмболов из крови. Кровь пройти не может.

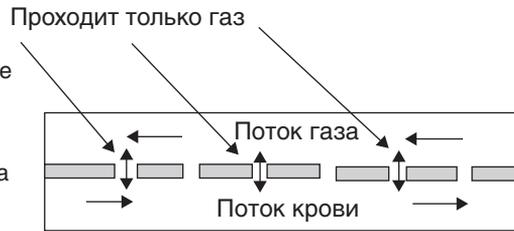


Рис. 1.4. Основные типы используемых мембранных оксигенаторов

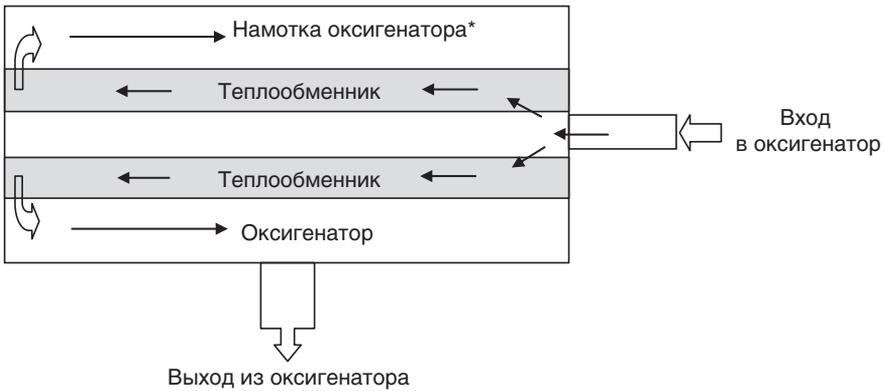
¹ Процесс газообмена в микропористом мембранном оксигенаторе реализуется путем диффузии газов через «мембрану». Но мембраной в этих оксигенаторах является не сам материал и не сами отверстия, а жидкость, которая закрывает микропоры в волокнах оксигенатора. При величине микропор в полипропиленовой мембране менее 0,1 мкм жидкость или кровь, протекающая в кровяной секции оксигенатора, закрывает эти микропоры, создавая высокое поверхностное натяжение, которое выдерживает давление со стороны крови (или другой жидкости) более 2 Атм! Таким образом, диффузия осуществляется через эти «жидкостные мембраны» в микропорах капилляров. — Примеч. перев.

- Рекомендуется определить площадь поверхности тела пациента и выбрать оксигенатор на основе максимально ожидаемой скорости перфузии. Важно отметить, что более высокие метаболические потребности новорожденных и младенцев могут потребовать значительного увеличения производительности артериального насоса во время нормотермической перфузии (особенно во время согревания). Скорости потока крови 3,0–3,5 л/мин/м² нередки, поэтому их следует учитывать при выборе оборудования.

Основное внимание уделяется максимальной скорости потока крови, рекомендованной производителем. Этот показатель основан на газообмене и других характеристиках оксигенатора, теплообменника и венозного резервуара. На стандартные эталонные значения Американской ассоциации медицинского оборудования обычно не полагаются, поскольку они могут не учитывать дополнительные факторы, которые изготовитель не считает нужным представлять для всеобщего пользования.

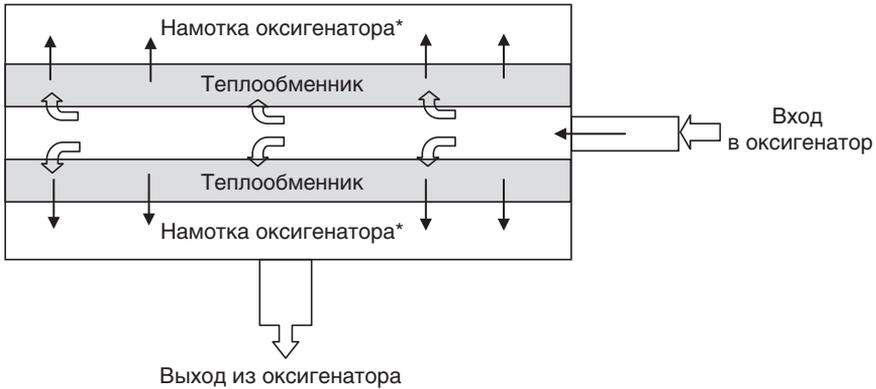
- Увеличенный объем намотки полых волокон¹ оксигенатора нелинейно влияет на его производительность, поскольку характеристики путей прохождения крови и газа различаются в зависимости от конструкции устройства.
- Оксигенаторы характеризуются радиальными или осевыми путями кровотока, которые конкурирующим образом влияют на производительность, эффективность оксигенации, перепад давления, удаление микроэмболов и производительность теплообменника (рис. 1.5).
- Пучки микропористых волокон оксигенатора важны для удаления воздуха из кровотока. Некоторые центры, особенно за пределами США, считают микропористый оксигенатор достаточно эффективным для удаления воздуха, поэтому не используют автономный (отдельный) фильтр — ФАЛ.
- Один из представленных на рынке оксигенаторов, Medtronic Affinity Fusion, объединил возможности микропористых оксигенаторов с уникальной технологией намотки волокон, чтобы получить одобрение Администрации по контролю за продуктами питания и лекарствами в США (Food and drug administration — FDA) для использования его в качестве оксигенатора со встроенным ФАЛ.
- При подозрении на пропотевание оксигенатора перфузиолог должен быть знаком с рекомендациями производителя по обращению с ним. Эти значения перечислены в табл. 1.1–1.4.
- Обычный, рекомендуемый большинством производителей срок использования оксигенатора составляет 6 ч. Значительное превышение этого лимита обычно не сопровождается снижением производительности, однако безопасное использование сверх этого предела уже не гарантируется. Когда возобновление перфузии является высоковероятным, следует подумать о замене оксигенатора после длительного использования. Замену оксигенатора лучше осуществлять в плановом порядке на остановленном ИК, чем потом решать проблемы, связанные с экстренным началом ИК на расходном материале, находящемся в конце своего номинального срока действия.

¹ «Полых волокон» — эти поясняющие определения вставлены переводчиком для лучшего понимания смысла. — *Примеч. перев.*



Осевой путь кровотока

Кровь сначала движется вдоль оси теплообменника, а затем вдоль оси намотки полых волокон оксигенатора, прежде чем выйти из нижней точки устройства.



Радиальный путь кровотока

Кровь входит и распространяется через теплообменник и намотку оксигенатора, прежде чем выйти из нижней точки устройства. В некоторых оксигенаторах кровь преимущественно выходит из верхней части теплообменника перед тем, как протекать через намотку оксигенатора.

Рис. 1.5. Упрощенная схема путей кровотока через оксигенатор

- Белки крови покрывают поверхность мембранного оксигенатора, включая микропоры, через которые происходит газообмен.
- Во время длительной перфузии на микропористых мембранах могут наблюдаться усиление образования белкового покрытия и последующее снижение транспорта кислорода. Важно отметить, что это белковое покрытие может также снизить способность мембраны элиминировать воздух.
- Перепад давления на мембране оксигенатора часто указывается в качестве технического условия. Его можно измерить в режиме реального времени

в течение ИК. Изменение этого показателя важно учитывать, поскольку это может быть индикатором ухудшения функции оксигенатора.

Перепад давления часто приравнивается к напряжению сдвига, когда меньший перепад давления, сочетающийся с более низким напряжением сдвига считаются благоприятными. Это не всегда так, поскольку сдвиг связан не только с давлением. Кроме того, перепад давления играет важную роль в процессе удаления микроэмболического воздуха из микропористых систем [1]. Современные оксигенаторы, одобренные FDA, имеют значения сдвига в допустимых пределах, и перепад давления на устройстве не следует просто минимизировать. Поскольку значения перепада давления могут вводить в заблуждение при первоначальном рассмотрении устройства, они не перечислены в табл. 1.1–1.4.

Встроенный фильтр на артериальной линии (имеется только в некоторых моделях)

- ФАЛ — это сетчатый фильтр с размером пор в диапазоне 25–40 мкм.
- ФАЛ обычно служит последней защитой в ЭК-контуре для улавливания и/или удаления твердых частиц и воздушных эмболов из крови перед ее возвращением пациенту.
- Встроенный ФАЛ, если он используется, должен соответствовать или превышать максимальную производительность оксигенатора. Не следует «выталкивать» оксигенатор со встроенным артериальным фильтром за пределы рекомендованной объемной скорости без подтверждения производителя того, что его встроенный фильтр может безопасно справляться с более высоким потоком, даже если газообмен приемлем.
- Для получения дополнительной информации см. в этой главе раздел «Фильтры артериальной линии».

Венозный резервуар

- В большинстве педиатрических центров используются твердые открытые резервуары. Термин «открытый» относится к открытому в атмосферу резервуару, при использовании его в системе с гравитационным сифонным дренажом (GSD). Резервуар должен иметь надлежащую вентиляцию (собщение с атмосферой), чтобы предотвратить повышение давления и риск воздушной эмболии для пациента. Давление в резервуаре может создаваться в результате работы отсосов, левожелудочкового дренажа и венозного притока, когда воздух не может выйти через вентиляционное отверстие или вакуумную систему. (См. раздел «Массивная воздушная эмболия» в главе 8 и раздел «Стандартный и усиленный венозный возврат» в главе 3.)
- «Закрытые» перфузионные системы обычно включают конструкцию со спадающим мешком в качестве венозного резервуара, который значительно ограничивает контакт крови с воздухом. Было показано, что использование закрытых систем сопровождается сниженной воспалительной реакцией и меньшими гематологическими нарушениями. Однако закрытые системы характеризуются менее точным визуальным контролем за венозным

Таблица 1.1. Производительность оксигенатора до 2 л/мин

Производитель	Оксигенатор (микропористый пропилен, за исключением некоторых случаев)	Площадь намотки оксигенатора (м ²)	Объем заполнения оксигенатора (мл)	Рекомендуемый производителем диапазон кровотока (л/мин)	Площадь поверхности теплообменника (см ²)	Коэффициент производительности теплообменника при максимальном рекомендованном расходе кровотока
Sorin	D100	0,22	31	До 0,7	300	0,65
Sorin	Liilliput D901	0,34	60	0,8	200	0,72
Maquet	Quadrox-i Neonatal	0,38	38	0,2–1,5	700	0,62
Maquet	Quadrox-i Neonatal с интегри- рованным артериальным фильтром	0,38	40	0,2–1,5	700	0,62
Terumo	Capiox RX05	0,5	43	0,1–1,5	350	0,65
Terumo	Capiox FX05	0,5	43	0,1–1,5	350	0,65
Sorin	D101	0,61	87	До 2,5	600	0,6
Medtronic	Pixie	0,67	48	0,1–2,0	Не ука- зана	0,65

Емкость венозного резервуара (мл)	Возможность использования вакуумного дренажа	Встроенный артериальный фильтр	Минимальный рабочий объем (мл)	Диапазон расхода газа л/мин	Максимальный кратковременный газоток при подозрении на смачивание мембраны оксигенатора
500	Да	Нет	10	До 1,4 л/мин при макс. V/Q 2:1	До 2,8 л/мин
675	Да	Нет	15	До 1,6 л/мин при макс. V/Q 2 :1	Не указан
800	Да	Нет	15	0,1–3,0	Не указан
800	Да	Да/ 33 мкм/20 см ²	15	0,1–3,0	Не указан
1000	Да	Нет	15	0,05–5, минимум 0,2 V/Q	5 л/мин в течение 10 с, не повторять
1000	Да	Да/ 32 мкм/130 см ²	15	0,05–5, минимум 0,2 V/Q	5 л/мин в течение 10 с , не повторять
1500	Да	Нет	30	До 5 л/мин при макс. V/Q 2:1	До 10 л/мин при макс. V/Q 4:1
1200	Да	Нет	20	До 4,0 л/мин при макс. V/Q 2:1	Не указан