
Оглавление

Предисловие к изданию на русском языке	6
Вступительное слово профессора С. Марченко	8
Предисловие к изданию на английском языке	10
Вступительное слово профессора Т. Хампла	13
Участники издания	15
Список сокращений и условных обозначений	16
Общие вступительные комментарии	22
Часть I. Общие вопросы интенсивной терапии в детской кардиологии	27
Глава 1. Доставка кислорода, диоксида углерода и кислотно-щелочной баланс	29
Глава 2. Вентиляция	75
Глава 3. Мониторинг сердечно-сосудистой системы и фармакология сердечно-сосудистых лекарственных средств.....	115
Глава 4. Почечные аспекты интенсивной терапии в кардиологии.....	143
Глава 5. Жидкость, электролиты и питание	182
Глава 6. Анальгоседация	198
Глава 7. Антибактериальная терапия	229
Глава 8. Система гемостаза.....	260
Глава 9. Легочная гипертензия	291
Глава 10. Экстракорпоральная мембранная оксигенация и аппарат искусственного кровообращения.....	315
Глава 11. Нарушения ритма сердца.....	342
Глава 12. Реанимация	375
Часть II. Специфические аспекты лечения детей с патологией сердца	401
Глава 13. Предоперационная диагностика	403
Глава 14. Гемодинамика	502
Глава 15. Пороки сердца с показаниями для неонатальной хирургии	517
Глава 16. Пороки сердца с терапией в постнеонатальном периоде.....	570
Глава 17. Трансплантация сердца.....	592
Глава 18. Ультрабыстрое пробуждение и мобилизация в детской кардиохирургии.....	612
Глава 19. Список лекарственных средств	650

Предисловие к изданию на русском языке

Переиздание книги «Интенсивная терапия в детской кардиохирургии. Практическое руководство» уже в четвертый раз, причем предыдущие издания были выполнены на немецком (оригинальном) и английском языках, говорит само за себя. У книги счастливая судьба, и нет сомнения, что русское издание станет таким же востребованным, как и предшествующие версии. Эту книгу легко представить читателю, учитывая глубокие и исчерпывающие предисловия профессоров Тильмана Хампла (Tilman Humpl) и Сергея Марченко (Sergey Marchenko), опубликованные в ранних изданиях. В них отмечены существенные изменения в подходе к лечению детей с врожденными пороками сердца, связанные с переходом от паллиативного к радикальному лечению структурных патологий, а также с появлением новых и более сложных хирургических технологий, требующих от медицинского персонала — хирургов и медицинских сестер — большей квалификации и глубокого понимания связи выполненных вмешательств с физиологией кровообращения детского организма как в до-, так и в послеоперационном периоде.

Несомненно, от выпускников, выбравших эту врачебную специальность, столь глубокие изменения в детской кардиохирургии требуют более основательных знаний, выходящих за рамки прежних учебных программ. Таким образом, очевидна необходимость в новой учебной литературе, причем можно быть уверенным, что новые издания данного коллективного труда имеют все основания превратиться в регулярно обновляемую серию руководств по детской хирургической кардиологии.

Авторам руководства удалось сочетать достоинства учебной литературы для студентов и практического справочника для профессионалов.

В последние десятилетия сложился новый стиль создания учебных пособий. Он основан на трех принципах: 1) авторами являются несколько специалистов, каждый из которых специализируется в определенных направлениях общей профессии; 2) книга богато иллюстрирована, что позволяет использовать ее не только для обучения, но и в качестве справочника; 3) редакторы коллективной работы способны достаточно требовательно корректировать авторские варианты изложения с целью достижения гармонии и последовательности содержания совместно создаваемого учебного пособия.

Последний принцип является самой сложной задачей, и редакторы Dietrich Klauwer, Christoph Neuhaeuser, Josef Thul и Rainer Zimmermann справились с ней оригинальным образом — они разделили книгу на два обширных раздела.

В первом из них рассматриваются общие задачи медицинского персонала в отделениях интенсивной педиатрической кардиологии. Профессионал сверит главы этого раздела со своим многолетним опытом и убедится в полноте изложения рассмотренных проблем. Действительно, круг вопросов в этом разделе обширен: 12 глав посвящены практическим проблемам — от анестезиологии и реанимации до поддержания стабильного состояния пациентов с помощью консервативной терапии с применением антибиотиков и седативных средств. Однако следует повторить: материал этого раздела более или менее известен профессионалам. Напротив, для студентов медицинских вузов эта часть книги бесценна — «ее открою на любой странице — и не могу, читаю до конца!», как сказал хорошо известный студентам (и всем тем, кто был ими) поэт. Можно с полным основанием поблагодарить авторов, издателей и переводчиков за практическое руководство, которое войдет в золотой фонд медицинской литературы, подобно тому как это произошло с учебником коллектива немецких авторов «Физиология человека» (редакторы R.F. Schmidt и G. Thews), выдержавшим несколько изданий на русском языке.

Второй раздел книги посвящен специфическим (а значит, самым сложным) проблемам детской кардиохирургии и ориентирован на профессиональных хирургов. Здесь особое внимание уделено вопросам диагностики заболеваний сердца у детей и выработки критериев необходимости хирургического вмешательства вплоть до пересадки сердца. Современные условия продиктовали более жесткие требования к выбору тактики лечения кардиохирургических пациентов, в том числе детей. Новые подходы привели к необходимости сокращения времени пребывания прооперированных пациентов в отделениях реанимации и их ускоренной экстубации вплоть до перевода пациента на собственное дыхание уже на операционном столе. Возникающим при этом проблемам посвящена одна из глав второго раздела. Это всего лишь один пример из содержания книги, показывающий императивную необходимость ее прочтения действующими кардиохирургами, анестезиологами и реаниматологами.

В этом уже не первом (учитывая предыдущие издания) предисловии нет необходимости повторно перечислять все достоинства книги. Пожелаем ей счастливой судьбы и еще раз поблагодарим авторов и, конечно, всех специалистов под руководством знаменитого врача Ивана Николаевича Меньшугина, усилиями которых книга выходит в свет на русском языке.

Мовсесян Рубен Рудольфович,
доктор медицинских наук, профессор, член-корреспондент РАН,
заведующий отделением кардиохирургии
Детского городского многопрофильного клинического
специализированного центра высоких медицинских технологий
профессор кафедры педиатрии и детской кардиологии
Северо-Западного государственного медицинского
университета им. И.И. Мечникова,
Санкт-Петербург

Вступительное слово профессора С. Марченко

Самый эффективный способ обучения медицине — передавать знания, опыт и навыки напрямую в недавно созданные медицинские центры, оснащенные современным оборудованием. В области сердечно-сосудистой интенсивной терапии новорожденных на передовые роли приходит новое поколение врачей, которым крайне важно начать деятельность с успешного применения теоретических знаний. В этой книге вниманию междисциплинарных специалистов, участвующих в принятии решений у постели больного, и тех, кому необходимо уметь анализировать конкретные патофизиологические нарушения у новорожденных и детей раннего возраста с врожденными пороками сердца и управлять ими, представлены пациент-ориентированные подходы к ведению таких пациентов.

Основная ценность этой книги для начинающих специалистов состоит в том, что клинически значимая информация излагается в контексте фундаментальных взглядов на физиологию и функцию органов при различных врожденных пороках сердца. Такой подход помогает разобраться в сути возникающих проблем и найти способы их решения. Помимо детализированных описаний специфических сложностей и ошибок, связанных с диагностикой, вмешательством и медикаментозным лечением каждого конкретного порока, настоящее руководство включает анализ ситуаций из ежедневной практики и прикладной деятельности врачей и медицинских сестер, что в итоге дает спектр рекомендаций, которые легко понимаемы, просты в реализации и ориентированы на результат. Руководство содержит новую информацию об особенностях взаимодействия сердца и системы дыхания у пациентов с пороками сердца, что помогает принимать правильные решения при развитии многочисленных гемодинамических ситуаций.

Врачи в России, странах Восточной Европы и Азии сталкиваются с трудностями при лечении новорожденных и потребностью применять сложные технологии при отсутствии необходимых расширенных знаний о процессах, проходящих как в операционной, так и в отделении интенсивной терапии. По этим причинам в недавно организованных центрах регистрируются высокая смертность и частота осложнений даже в простых случаях, и, следовательно, они могут оказывать помощь только ограниченному спектру пациентов, нуждающихся в неотложной кардиохирургической операции. Эта книга

позволит читателям развить способность заблаговременно распознавать признаки приближения неотложных ситуаций и быстро адаптироваться к ним или искать необходимую помощь. В книге представлена обширная информация о ведении пациентов отделений интенсивной терапии, позволяющая правильно оценить ситуацию, прогнозировать развитие возможных осложнений и быстро реагировать на возникающие проблемы.

Во время медицинских миссий в Перинатальный центр Санкт-Петербургского государственного педиатрического медицинского университета, где создается новая детская кардиологическая программа, доктора Дитрих Кловвер и Кристиан Юкс проводили индивидуальные занятия с местными специалистами. Благодаря первой немецкой версии этой книги стало возможным организовать обучение новых сотрудников, начинающих работу в детском кардиологическом отделении интенсивной терапии в Санкт-Петербурге. В этой книге вы найдете практико-ориентированное, конкретное и основанное на опыте описание способов решения сложных проблем. Авторам удалось создать очень полезное руководство по интенсивной терапии сердечно-сосудистой патологии, которое стало основой практического обучения молодых специалистов следующего междисциплинарного поколения.

Сергей Марченко,
доктор медицинских наук, профессор,
руководитель отделения кардиохирургии
Перинатального центра Санкт-Петербургского
государственного педиатрического
медицинского университета,
Санкт-Петербург

Январь 2018 г.

Предисловие к изданию на английском языке

Основная цель перевода на английский язык второго немецкого издания этого хорошо зарекомендовавшего себя практического руководства по интенсивной терапии в детской кардиологии состоит в том, чтобы поделиться с мировым медицинским сообществом нашими подходами к лечению детей с сердечной патологией, которые основаны главным образом на патофизиологии и практическом опыте. Это намерение было продиктовано тремя факторами.

Потребность

Во время многочисленных поездок в страны Восточной Европы, Азии и Африки в составе миссий, целью которых была помощь в организации и развитии современных программ детской кардиохирургии, стало очевидно, что наибольшая проблема в послеоперационном ведении детей заключается в отсутствии четких, понятных и действенных терапевтических стратегий. Во многих развивающихся центрах отсутствуют утвержденные протоколы и операционные процедуры для проведения стандартизированной клинической оценки, предоперационной диагностики, назначения терапии, планирования, а затем и проведения операций хорошо слаженной командой специалистов.

Наиболее очевидной потребностью было стремление воспроизвести наш опыт, накопленный за десятилетия, и поделиться им с другими специалистами. В частности, мы хотели представить свои методы клинической оценки пациентов, подходы к оценке функции органов в критических ситуациях, прогнозирование течения болезни, а также научить других пользоваться современным оборудованием и применять фармакологическую терапию наилучшим доступным способом.

С помощью этой книги авторы надеются создать базис для понимания с точки зрения патофизиологии процессов, проблем и осложнений, с которыми обычно сталкиваются сотрудники детского кардиологического отделения интенсивной терапии, что позволит находить адекватные варианты действий и делать стратегию поиска решений более понятной.

Отдавая должное академической дискуссии о «доказательствах», мы все же посчитали, что структура справочного пособия более целесообразна для разъяснения того, как достигать успешных терапевтических исходов на индивидуальной основе. Это только одна из причин, по которым эта книга не претендует на то, чтобы представить читателю анализ литературы, имеющей отношение, возможно, к самой передовой специальности. Скорее она сочетает в себе многолетний опыт авторов по созданию самоконтролируемых, новаторских и передовых клинических стратегий, которые соответствуют нашим собственным эффективным концепциям, но при этом учитывают актуальную в настоящее время литературу в истинном духе доказательной медицины.

Идея

В 2011 г. возникла идея преобразовать уже существовавшие ознакомительные рекомендации, предназначенные для нужд детского отделения интенсивной терапии клиники Гиссена, в полноценное руководство по интенсивной терапии в детской реанимации. После публикации первого издания на немецком языке, неожиданно завоевавшего большую популярность, авторы решили выпустить вторую, переработанную и расширенную версию книги. Авторы второго издания смогли вдохновить и привлечь к работе над книгой других известных и авторитетных специалистов, благодаря участию которых удалось значительно расширить спектр тем и объем материалов, представленных в книге. В новое издание мы добавили важные смежные темы, имеющие ключевое значение для разъяснения читателям особенностей гемодинамики при различных пороках сердца и описания послеоперационных изменений кровообращения как на фоне применения респираторов, так и без них.

Наша главная цель — устранить проблему дефицита информации, описанную в предисловиях к предшествующим изданиям, и составить достойную конкуренцию другим руководствам на английском языке, посвященным данной теме. Мы твердо убеждены в правильности концепции данного руководства, идущей вразрез с общепринятым способом обмена медицинскими знаниями, и стремимся сделать так, чтобы материалы, представленные в нем, стали доступны широкому кругу специалистов, работающих в области детской кардиологии.

Возможность

Возможность реализовать этот амбициозный замысел в первом издании на английском языке появилась благодаря компании Getinge, которая оказала спонсорскую поддержку в осуществлении профессионального медицинского перевода. Авторы также считают, что им очень повезло работать над публикацией руководства с известным издательством Springer Verlag, имеющим широкую дистрибьюторскую сеть для распространения книги.

Кроме того, я хочу поблагодарить всех, кто участвовал «сердцем, рукой и разумом» в реализации этого проекта: благотворительный фонд «Сердце Евразии» — за его беспримерный вклад в первоначальную идею, Дебору А. Лэндри — за безграничное терпение в процессе перевода, Катю Кассем — за рисунки, немецкое издательство Deutscher Ärzteverlag GmbH — за передачу прав на перевод, всех авторов — за вклад в создание этой книги параллельно с выполнением своей основной клинической работы, а также их семьи.

Авторам — Дитрих Кловер, февраль 2018 г.¹

Зинген, Германия
Гиссен, Германия
Гиссен, Германия
Альшвиль, Швейцария

Дитрих Кловер
Кристоф Нойхойзер
Йозеф Туль
Райнер Циммерманн

¹ Конфликт интересов: Райнер Циммерманн является сотрудником компании Actelion Pharmaceuticals, Швейцария.

Вступительное слово профессора Т. Хампла

В последние десятилетия подходы к лечению детей с врожденными пороками сердца претерпели существенные изменения. Возросло как количество операций, так и их сложность. Это сопровождалось переходом от первоначальной стратегии паллиативной помощи к ранней коррекции нескольких структурных поражений. Более сложные хирургические подходы потребовали более специализированных детских кардиологических отделений интенсивной терапии, которые были созданы в крупных центрах Европы и Северной Америки, что привело к улучшению результатов, но также обусловило потребность в более подготовленных и образованных медицинских сестрах и врачах, специализирующихся в этой области медицины. Таким образом, получила развитие новая педиатрическая субспециальность, но зачастую без сопутствующей организации общепринятых программ подготовки. Это затрудняет получение необходимых знаний. Для новичка в области детской кардиологической интенсивной терапии все представляется новым. Сталкиваясь с разнообразной незнакомой терминологией врожденных пороков сердца, зачастую сложно ставить корректный диагноз и планировать лечение. В интересах детей, нуждающихся в расширенной интенсивной терапии, весь коллектив — врачи и медицинские сестры — должен понимать как нормальную физиологию, так и специфическую физиологию основного порока, а также характер предоперационной и послеоперационной гемодинамики.

Большое преимущество этой книги состоит в том, что она является практическим руководством как для начинающих, так и для опытных врачей, поскольку объединяет различные разделы медицины и содержит подробные схемы решения проблем.

Не останавливаясь подробно на всех темах, следует выделить несколько важных глав, где подробно и точно разъясняются стратегии вентиляции в различных ситуациях и приводится список часто используемых лекарственных средств (антибактериальных препаратов, инотропов, вазопрессоров и т.д.). Освещены подходы к аналгезии и седации в контексте ранней экстубации или продленной вентиляции, а также включен раздел, где обсуждаются аргументы «за» и «против» в отношении концепции быстрого пробуждения и мобилизации пациентов. Кроме того, авторы обсуждают и другие важные проблемы, такие как структурированная передача пациента (structured handover — протокол передачи данных о состоянии пациента принимающей бригаде

врачей и медицинских сестер), питание, легочная гипертензия и механическая поддержка кровообращения. Хорошо продуманные иллюстрации и таблицы эффективно дополняют текст.

Следуя выработанному последовательному подходу, который стал результатом длительной практической деятельности, авторы этой книги смогли объединить все вышеупомянутые темы в единое целое в книге, изданной на немецком языке. Это издание, вышедшее несколько лет назад, получило высокую оценку читателей, и совершенно не удивительно, что первый тираж был быстро распродан.

Я хочу поздравить команду переводчиков и сотрудников издательства Springer Verlag с реализацией этого чрезвычайно важного проекта. Уже вышло второе издание на немецком языке, в которое внесены незначительные исправления, а также добавлены новые алгоритмы лечения. Издание на английском языке ориентировано на международную аудиторию, включая страны, где активно идет процесс развития кардиохирургических центров и, соответственно, обучения медицинских сестер, детских реаниматологов, кардиологов, анестезиологов и хирургов, которые одновременно с обучением начинают приступать к практической деятельности. Книгу не стоит воспринимать как жесткую инструкцию — это скорее некое руководство или учебный план, на основе которого можно строить и развивать программы. Я верю, что данное издание позволит следующему поколению специалистов в нашей области выйти на новый профессиональный уровень.

Тильман Хампл, MD,
доцент кафедры педиатрии,
консультант отделения кардиореанимации
в структуре службы интенсивной терапии
госпиталя для больных детей,
Торонто, Канада

Январь 2018 г.

Общие вступительные комментарии

Дитрих Кловвер

Организация материала

Эта книга адресована начинающим специалистам в детской реанимации и детской кардиологической интенсивной терапии. В разделе общих сведений представлены принципы практического ведения пациентов в детском отделении интенсивной терапии. По мнению авторов, для успешной реализации этих задач необходимы базовые знания о функционировании и мониторинге различных систем органов, а также знание проблемных особенностей конкретных пациентов.

Эти знания должны дать новым специалистам четкие ориентиры для быстрого овладения навыками лечения зачастую крайне тяжелых пациентов, несмотря на все сложности в этой сфере медицины.

Чтобы иметь возможность быстро оказать помощь в неотложной ситуации и получить необходимые консультации, очень важно знать логику учреждения и иметь доступ ко всем ключевым сведениям обо всех пациентах. Помимо понимания работы систем мониторинга, необходимо также уметь обращаться с аспирационными системами и саморасправляющимися мешками для вентиляции, подходящими для пациентов различного размера, и управлять аппаратами для вентиляции легких, дефибриляторами, оборудованием для регистрации электрокардиографии и кардиостимуляторами. Кроме того, когда специалист полностью несет ответственность за пациента ночью и в выходные дни, крайне важно уметь разбираться в тонкостях применения систем экстракорпоральной мембранной оксигенации, диализа и устройства поддержки кровообращения Berlin Heart. Специалист также должен знать основы реанимации и уметь обращаться с лекарственными препаратами, которые при этом используются, иметь представление об оборудовании на тележке для неотложной помощи.

Следовательно, наряду с пониманием диагностических и терапевтических концепций, с которых начинается эта книга, не менее важно ознакомить нового сотрудника на месте со всем оборудованием и логистическими процессами. Рекомендации, которые можно дать по этому поводу, включают понятие о процессе лицензирования оператора оборудования, алгоритм поддержания на должном уровне запасов укладки или тележки для неотложной помощи

после использования. Кроме того, необходима регулярная практика по независимому использованию оборудования, находящегося у постели пациента, совместно с сестринским персоналом.

Однако более важен навык выявления общих продромальных признаков надвигающейся неотложной ситуации, что позволяет предотвратить возникновение такой ситуации или обратиться за помощью. Это означает, что по каждому пациенту в отделении интенсивной терапии должен быть доступен минимальный объем информации не только для личного понимания, но и для быстрых ответов на вопросы любых коллег, с которыми проводятся консультации. В этом учебнике систематизированы наиболее важные аспекты, необходимые для точного понимания и общения в условиях срочных и неотложных ситуаций, возникающих у конкретных пациентов, а кроме того, приводятся материалы, необходимые для прогнозирования самых частых осложнений у пациентов в детском отделении интенсивной терапии.

Что нужно в обязательном порядке узнать о каждом пациенте?

- Возраст и вес.
- Заболевание и день операции, включая клиническое течение предшествующего состояния, если применимо.
- Гемодинамические характеристики:
 - нормальное последовательное кровообращение;
 - ОАП-зависимая системная/легочная перфузия, системно-легочная артериальная циркуляция;
 - физиология кровообращения по Гленну или тотальное cavoпупулмональное соединение;
 - обструкция левого или правого желудочка.
- Данные по гемодинамике: артериальное давление, центральное венозное давление, микроциркуляция, лактат, центральная венозная сатурация и т.д. (см. соответствующие главы), дренажи, респираторный и вентиляционный статус, функция почек, лаборатория данные.
- Основные заболевания, кроме сердечных:
 - органов дыхания;
 - почек;
 - желудочно-кишечного тракта;
 - неврология.
- Особенности анамнеза (эндокринология, синдромальные заболевания, отдельные социальные аспекты и т.д.).

После прочтения этой книги любой новый член детской кардиологической команды должен иметь четкое понимание важности отдельных деталей, отражающих общую ситуацию пациента, получающего интенсивную терапию. Это концептуальное понимание должно в равной мере обеспечивать структурированную передачу пациентов следующей смене и другому персоналу, уча-

ствующему в уходе за пациентом. Кроме того, подобный структурный подход гарантирует, что ключевые моменты не будут потеряны или упущены из виду, например даже новичком в реанимации.

Структурированная передача

Для своевременного выявления проблем пациента без потери актуальных данных важно разработать и применять карту структурированной передачи информации о пациенте следующей смене.

Сведения, необходимые для коммуникации, лучше держать в голове или записывать, но так, чтобы ими было легко воспользоваться — история болезни (электронная) служит референтным источником информации. План отчета, описанный здесь, должен позволять передавать информацию в форме общего потока за короткий промежуток времени.

- Заболевание(-я)/ранее существовавшие состояния/предшествующие лекарства.
- Изменение общего состояния здоровья: лучше — хуже — то же самое (за время смены).
- Параметры кровообращения: артериальное давление, центральное венозное давление, микроциркуляция, центральная венозная сатурация, диурез, сердечно-сосудистые препараты.
- Ритм, наличие электрокардиостимулятора с антиаритмической терапией.
- Функция легких с параметрами вентиляции: давление, фракция вдыхаемого кислорода (FiO₂), минутная вентиляция, дыхательный объем и тип вентиляции.
- Почки с диурезом, специфические характеристики мочи и диуретическая терапия.
- Дренажи и характер отделяемого по дренажам.
- Неврологический статус с уточнением уровня бодрствования, статуса анальгезии, применения седативных препаратов и других специфических аспектов.
- Желудочно-кишечный тракт/метаболизм с питанием/лекарства, действующие на моторику кишечника/метаболизм глюкозы.
- Лабораторные показатели, особенно тропонин I, коагуляция, маркеры инфекции, функциональные пробы печени, данные посевов на микрофлору.
- Важные социальные аспекты ухода за пациентом/дальнейшего лечения.

Кроме того:

- тип операции и точный вариант коррекции должны быть внесены в документацию принимающим персоналом [по возможности: рисунок(-ки) хирурга];
- результаты ультразвукового и рентгенологического исследования должны быть внесены в карту наблюдения хирургом и должны быть известны.

Для обеспечения эффективной и хорошо структурированной передачи, в том числе тем, кто имеет меньше опыта, необходимо соблюдать следующие основные правила.

- Слушатели внимательно слушают и могут задавать вопросы по отдельным моментам.
- Обсуждение проблем и планирование дальнейших действий по возможности следует осуществлять совместно и так, чтобы это было понятно для всех по окончании процедуры передачи.

Часть I

**Общие вопросы
интенсивной терапии
в детской кардиологии**

Глава 1

Доставка кислорода, диоксида углерода и кислотно-щелочной баланс

Christoph Neuhaeuser and Dietrich Klauwer

Перевод: Меньшугин Иван Николаевич

1.1. Доставка кислорода и баланс диоксида углерода

1.1.1. Парциальное давление кислорода и кислородный каскад

В окружающем воздухе (и при стандартных условиях) парциальное давление кислорода (O_2) составляет около 160 мм рт.ст.

Формула 1

Парциальное давление $O_2 = P_{atm} \times FiO_2$.

При $P_{atm} = 760$ мм рт.ст.: $760 \text{ мм рт.ст.} \times 0,21 = 160 \text{ мм рт.ст.}$

В дыхательных путях вдыхаемый воздух увлажняется (гидростатическое давление = 47 мм рт.ст.), а затем смешивается в вентилируемых альвеолах с вышедшимся диоксидом углерода (CO_2). В результате альвеолярное парциальное давление O_2 (PAO_2) падает примерно до 100 мм рт.ст.

Формула 2 = уравнение альвеолярного газа

$PAO_2 = (P_{atm} - \text{гидростатическое давление}) \times FiO_2 - \text{парциальное давление двуокиси углерода в артериальной крови (} PaCO_2) \div \text{респираторный коэффициент.}$

При респираторном коэффициенте = 0,8 (смешанная диета): $(760 \text{ мм рт.ст.} - 47 \text{ мм рт.ст.}) \times 0,21 - 40 \text{ мм рт.ст.} \div 0,8 = 100 \text{ мм рт.ст.}$

Однако даже у здоровых парциальное давление O_2 в артериальной крови (PaO_2) не соответствует альвеолярному парциальному давлению, а составляет всего около 95 мм рт.ст. [насыщение кислородом артериальной крови (SaO_2) = 98–100%; см. кривую связывания кислорода, раздел 1.1.3]. Это можно объяснить диффузионными потерями (обычно очень небольшими)

и примешиванием крови «физиологического шунта» (например, бронхиальное кровообращение, Тибезиевы = внутрисердечные вены) около 1–3%.

Поскольку диффузионные расстояния от капилляров до клеток в тканях относительно велики, парциальное давление O_2 в ткани (PtO_2) падает до значений примерно 20–40 мм рт.ст. Из-за разницы в парциальном давлении между PaO_2 и PtO_2 присоединенный гемоглобином (Hb) кислород высвобождается. Таким образом, во время прохождения через капилляры парциальное давление O_2 в венозной крови (PvO_2) приближается к соответствующему PtO_2 (то есть PtO_2 и PvO_2 реагируют однонаправленно). В нормальных условиях PvO_2 составляет около 40 мм рт.ст. с насыщением кислородом венозной крови (SvO_2) около 75% (нормальная артериовенозная разница общего насыщения кислородом — около 25%). В мышцах O_2 связывается, например, с миоглобином. По сравнению с Hb, миоглобин характеризуется кривой связывания, смещенной влево. В митохондриях в конечном итоге парциальное давление O_2 составляет 1–3 мм рт.ст. С учетом того, что кислород в митохондриях потребляется, наблюдается значительный градиент («овраг») парциального давления кислорода (рис. 1.1).

Ниже какого значения падение альвеолярного парциального давления кислорода приводит к дефициту кислорода (дизоксии) клеток?

Если PtO_2 падает ниже 20 мм рт.ст., диффузия кислорода в ткани не может осуществляться в достаточной степени, и образование окислительной энергии в митохондриях прекращается при $PtO_2 < 10$ мм рт.ст. Существуют локальные отличия порогов дизоксии (то есть от ткани к ткани и от клетки к клетке), но в среднем считается: $PaO_2 < 40$ мм рт.ст. (с $SaO_2 < 75\%$) или PvO_2 20–25 мм рт.ст. (с $SvO_2 = 35–40\%$) (рис. 1.2).

Если падение PaO_2 слишком велико, расстояние периферической диффузии больше не может быть преодолено и достигается порог дизоксии.

Приведенные выше замечания устанавливают важные целевые значения для интенсивной терапии, которые необходимо соблюдать, чтобы избежать кислородного дефицита (табл. 1.1).

Таблица 1.1. Целевые значения для предотвращения кислородной недостаточности

	Нецианотические пациенты	Цианотические пациенты
PaO_2	>60 мм рт.ст. ($SaO_2 > 88\%$)	>40 мм рт.ст. ($SaO_2 > 75\%$)
PvO_2	>30 мм рт.ст. ($SvO_2 > 60\%$)	>25 мм рт.ст. ($SvO_2 > 40\%$)

Внимание! Указанные целевые значения парциального давления O_2 всегда следует проверять индивидуально, чтобы убедиться в том, что они достаточны. При необходимости можно использовать более высокие значения или допускать более низкие. Всегда следует помнить, что на нижней границе нет места для маневра, и поэтому в случае ухудшения состояния должна быть доступна альтернативная стратегия оксигенации [например, экстракорпоральная мембранная оксигенация (ЭКМО)].

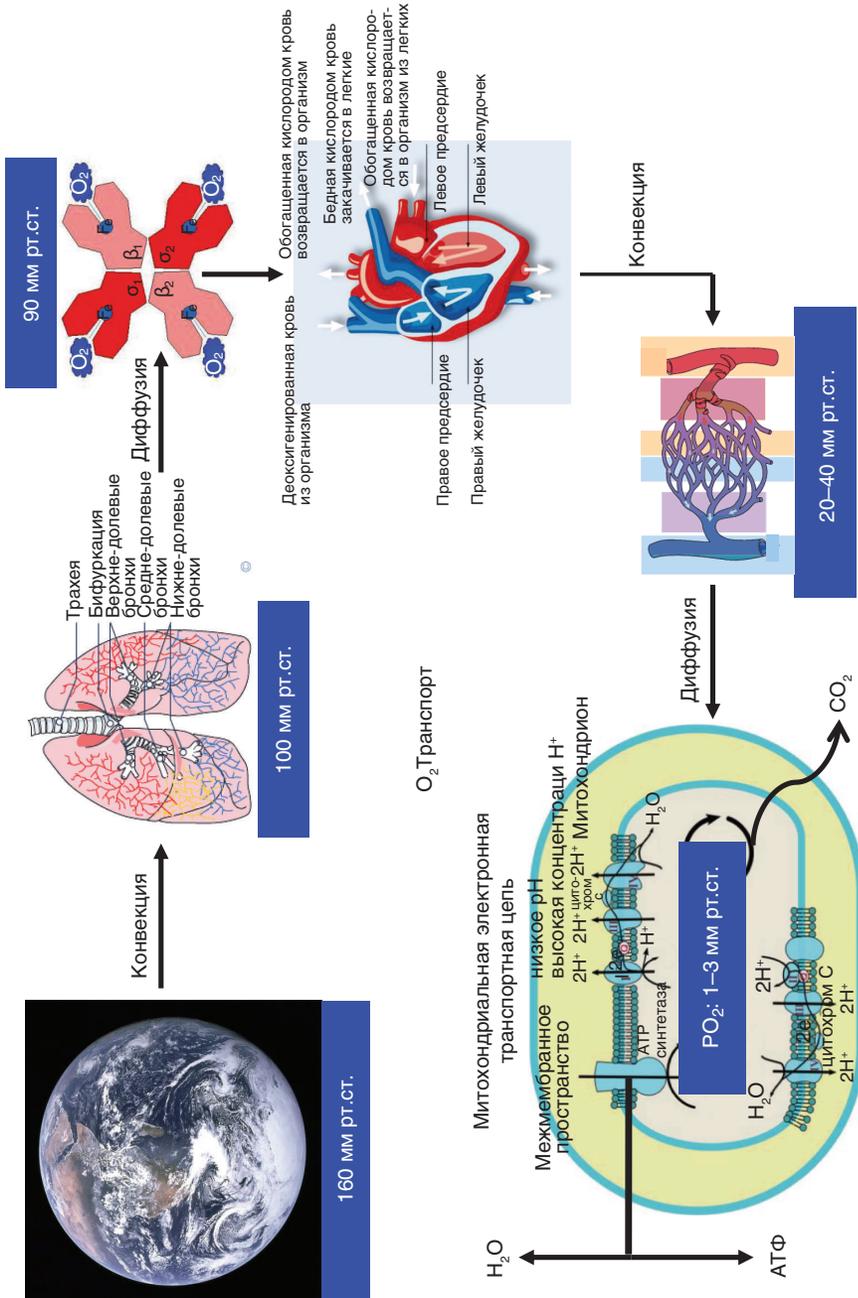


Рис. 1.1. Транспорт кислорода (O_2) из атмосферы в митохондрии

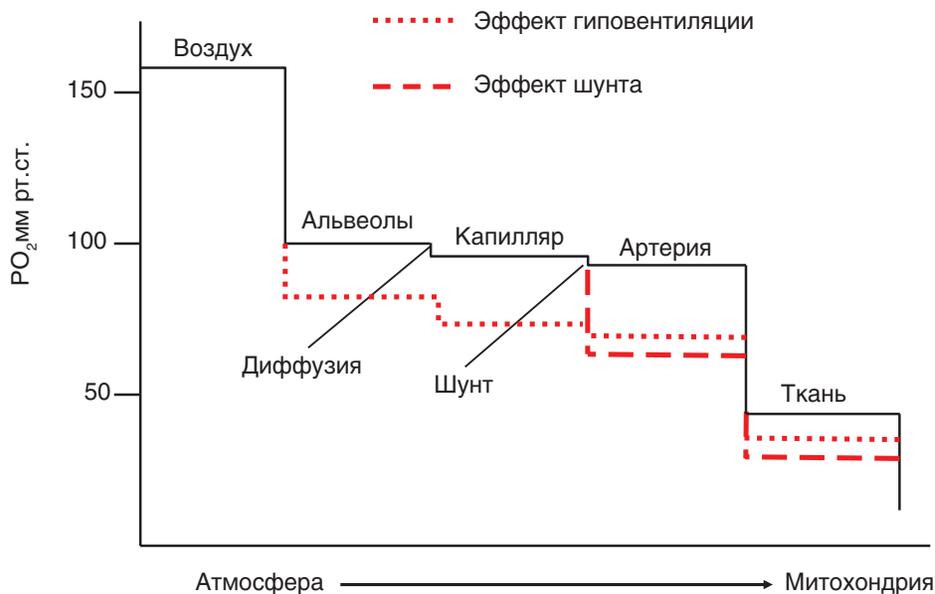


Рис. 1.2. Кислородный каскад

1.1.2. Причины пониженного напряжения/насыщения кислородом в крови

Право-левый шунт

Когда кровь проходит через капиллярное русло (например, через легкие или периферическую ткань), не участвуя в газообмене, это называется шунтом. В случае право-левого (R/L) шунта часть венозного возврата проходит мимо легких и смешивается с артериальной системной кровью, что сопровождается низким парциальным давлением O_2 ($= PvO_2$). В результате чего PaO_2 и SaO_2 в аорте понижается (см. кривую насыщения, раздел 1.1.3). Далее показатели сатурации обсуждаются в качестве производных уровней парциального давления O_2 .

Снижение артериальной сатурации из-за шунта напрямую зависит от величины фракции шунта [в процентах от сердечного выброса (СВ)] и уровня SvO_2 .

Внелегочный право-левый шунт

Пример анастомоза Гленна (= соединение верхней полой вены с сосудистым руслом легочной артерии в качестве первого шага к паллиативному лечению при одножелудочковой циркуляции).

В этом случае в идеале около 50% венозного возврата проходит через верхнюю полую вену в легкие и, таким образом насыщаясь кислородом, достигает единого желудочка через легочные вены [насыщение кислородом крови легочных вен ($SpvO_2$) в идеале = 99%]. Возникающая в результате легочная перфузия несет полную ответственность за оксигенацию пациента. Оставшиеся 50% венозного возврата (= кровь из нижней половины тела) транспортируются в неоксигенированной форме в тот же единственный желудочек (с $SvO_2 = 50\%$) через нижнюю полую вену. Желудочек служит смешитель-