

УДК 616-7
ББК 53/57
Я77

Научный редактор книги и рецензент:
Кузьков Всеволод Владимирович — доктор медицинских наук, PhD,
профессор кафедры анестезиологии и реаниматологии
ФГБОУ ВО «Северный государственный медицинский университет» МЗ РФ

Во внутреннем оформлении использованы иллюстрации:
EreborMountain / Shutterstock.com
Используется по лицензии от Shutterstock.com

Ярошецкий, Андрей Игоревич.
Я77 Респираторная поддержка как по нотам. С точки зрения физиологии пациента и доказательной медицины / Андрей Ярошецкий. — Москва : Эксмо, 2023. — 640 с. : ил. — (Настольный медицинский справочник).

ISBN 978-5-04-171053-8

Аппараты инвазивной и неинвазивной вентиляции легких стали в последнее время большой необходимостью. Их сложное устройство, непонятные инструкции и учебники зачастую усложняют работу, особенно начинающего врача. Эта книга написана понятным языком, насыщена иллюстрациями, что помогает быстро пониманию принципов диагностики и разрешения проблем в области респираторной поддержки. Вы найдете в ней неожиданные сравнения, метафоры и аллюзии, благодаря которым любой сможет понять сложную тему респираторной поддержки.

Автор — анестезиолог-реаниматолог, с 18 лет посвятивший себя изучению респираторной поддержки, профессор, председатель комитета по респираторной поддержке Федерации анестезиологов и реаниматологов, автор множества публикаций в ведущих журналах мира, соавтор раздела по респираторной поддержке временных методических рекомендаций Минздрава России «Профилактика, диагностика и лечение новой коронавирусной инфекции (COVID-19)», соавтор нескольких рекомендаций ФАР по респираторной поддержке, руководитель образовательного проекта «Респираторная интенсивная терапия» (РИТА). Книга предназначена анестезиологам-реаниматологам, пульмонологам, кардиологам, терапевтам и всем тем, кто занимается пациентами с дыхательной недостаточностью.

УДК 616-7
ББК 53/57

ISBN 978-5-04-171053-8

© Ярошецкий А.И., текст, илл., 2023
© Павловская А.В., илл., 2023
© АО Intersurgical, илл., 2023
© Оформление. ООО «Издательство «МЕДпроф», 2023

*Посвящаю памяти моих Учителей
Эдуарда Михайловича Николаенко
и Бориса Романовича Гельфанда*

Содержание

Вступление	17
------------------	----

Партитура А (ля). Для железной дороги (система транспорта кислорода и углекислого газа, в которой легкие мы пока вычеркиваем!)	19
---	-----------

№ 1. Доставка и потребление кислорода, или О поезде с углем и угольной электростанции	21
• Доставка кислорода, или Поезд с углем едет к электростанции.....	22
• Потребление кислорода, или Выгрузка угля на станции Б и потребление угля электростанцией.....	28
• Принцип Фика, или Взаимосвязь между выгрузкой угля на станции Б, потреблением угля электростанцией и частотой движения поезда	32
• «Обратный» Фик	34
• Зависимость между доставкой кислорода и его потреблением, или Зависимость между доставкой угля и его потреблением электростанцией.....	35
• Задача об электростанции и поезде: роль угля на выезде из станции Б	39
• Задача об электростанции и поезде: исследования при септическом шоке	41
• Респираторная поддержка: при чем тут поезд с углем?	45

№ 2. О процессе выделения углекислоты, или О поезде с угольными шлаками	47
• Выделение углекислоты, или Поезд с угольными шлаками едет от электростанции	47
• Опять принцип Фика, или Взаимосвязь между загрузкой шлаков на станции Б, выделением шлаков электростанцией и частотой движения поезда	51

№ 3. Дыхательный коэффициент, или О взаимосвязи поезда с углем и поезда со шлаком.....	53
• Какие пути проходят эти наши поезда?	55
• Задача по шлакам/углю № 1	57
• Задача по шлакам/углю № 2	58

- Анаэробный порог в терапии и спортивной медицине, или О велоэргометре 58
- Анаэробный порог в интенсивной терапии, или О шоке 60
- Вместо заключения 64

Партитура В (си). Внешнее дыхание, или Что происходит на станции А..... 65

№ 4. О разных процессах в одном легком и двух типах дыхательной недостаточности, или Об одновременной загрузке угля и выгрузке шлаков на станции А..... 67

№ 5. Оксигенация, или Для загрузки угля в поезд не нужно выгружать шлаки из другого..... 71

№6. Кислородный каскад: от атмосферы до митохондрии, или Куда делась часть угля по дороге к электростанции? 74

№ 7. Уравнение альвеолярного газа, или Коктейль «Кровавая Мэри»..... 76

№ 8. Гипоксемическая дыхательная недостаточность, или Восхождение на Эверест 79

№ 9. Причины гипоксемической дыхательной недостаточности, или Забудьте о диффузии — думайте о несоответствии вентиляции и перфузии 83

№ 10. Гипоксемическая дыхательная недостаточность: методы оценки, или Почему не существует понятия «ДН 1», «ДН 2» и «ДН 3»?..... 88

№ 11. На чем основывается выбор метода респираторной поддержки при гипоксемической дыхательной недостаточности? 95

№ 12. О диффузии кислорода через альвеолу, или Миф о нарушении диффузии при утолщении альвеоло-капиллярной мембраны 98

№ 13. Оценка гипоксемии, или Как узнать причину гипоксемии, не глядя на пациента, а только по лабораторным данным..... 106

№ 14. Тяжелая гипоксемическая ОДН. Почему не помогает вено-венозное ЭКМО?	108
№ 15. Расчет альвеолярной вентиляции, или Как Винни-Пух и Пятачок ходили к ослику Иа-Иа на день рождения	109
№ 16. Мертвое пространство и ошибки его понимания, а также почему при струйной высокочастотной вентиляции оно магическим образом исчезает, или О неправильной трактовке царства мертвых.....	115
№ 17. Причины гиперкапнии, или Как выявить причину гиперкапнии, проследив путь движения поезда со шлаками	122
№ 18. Капнограмма, или О слоне, которого съел удав	125
№ 19. Простые клинические методы оценки нарушений вентиляции	131
№ 20. Гиперкапническая дыхательная недостаточность, или Бегун поневоле Тревор Мисипека	135
• Бронхообструктивная дыхательная недостаточность.....	140
• Нейромышечная дыхательная недостаточность	142
Партитура С (до). Прикладная биомеханика дыхания как основа для выбора типа респираторной поддержки и ее параметров	145
№ 21. Что участвует в механике дыхания, или Анатомия механики дыхания одним росчерком.....	147
№ 22. Работа основных и вспомогательных дыхательных мышц. Диафрагмальная дисфункция, или Чем отличается сдувание воздушного шарика Пятачком от сдувания резиновой лодки рыбаком?.....	149
№ 23. Форма диафрагмы, энергия и закон Лапласа, или Доказательство того, что круглая Земля лучше плоской.....	154
№ 24. Тесты дыхательных мышц у интубированного пациента, или О спринтере и стайере	156

№ 25. Аналоги NIP-теста при самостоятельном дыхании, или Как правильно нюхать датчик давления (SNIP и MIP-тесты)	163
№ 26. Оценка дыхательных мышц у неинтубированного пациента, или Как узнать состояние легких и сердца пациента, глядя в зеркало дыхательных мышц	164
• Ортопноэ и «положение штатива» (tripod position)	164
• Вспомогательные дыхательные мышцы при гипоксемии.....	165
• Шкала Патрика	166
• Ультрасонография диафрагмы	166
• Платипноэ и все-все-все.....	167
№ 27. О парезе куполов диафрагмы, или О грудном и брюшном дыхании и гендерных различиях.....	169
№ 28. Дыхательные мышцы как компонент «жесткости» грудной стенки, или Фентанил и ригидность грудной стенки	171
№ 29. Грудная стенка — новое понимание анатомии и физиологии, или Почему обжорство и мастерство хирурга влияют на легочные объемы.....	173
№ 30. Прикладные проблемы дыхательных путей пациента, или Дыхательный контур внутри пациента чертовски похож на контур аппарата ИВЛ	176
№ 31. Можно ли применять НИВЛ при поломке «клапана выдоха» пациента или диафрагмы?.....	182
• Имитация функции кашля	182
№ 32. Постоянная времени и ИВЛ при астматическом статусе, или О сдутых крышках и опоздании на работу	185
№ 33. Закон Пуазейля, или О северо-западном потоке ветра из Питера в Москву	190
№ 34. Уравнение Бернулли и эффект Вентури, или О «засасывании» стоящей на обочине легковушки под проезжающий большегруз	195

№ 35. Работает ли гелий? или Еще раз о сопротивлении воздушному потоку и законе Бернулли	199
№ 36. О резисторе Старлинга и ХОБЛ, или О том, как нам с вами трудно форсированно выдохнуть	203
№ 37. Поток, объем и соотношение вдоха к выдоху, или Какое отношение имеет интеграл к меху аппарата РО-6?	205
№ 38. Ускорение потока и его синонимы, или О второй производной объема	209
№ 39. Альвеолы, ацинусы и легочные дольки, или О гроздьях винограда	212
№ 40. Неравномерность вентиляции ацинусов и борьба с ней методами респираторной поддержки, или О «спальном районе» в легких и резиновых перчатках.....	215
№ 41. О матовых стеклах на КТ и мокрой поролоновой губке, или «Опять о COVID'e?!»	220
№ 42. Терминология легочных объемов: дыхание как по нотам, или О нотах фа и до в респираторной поддержке	224
№ 43. Нарушение ФОЕ при гипоксемической ДН, или Когда нота фа стала нотой ре	229
№ 44. Нарушение ФОЕ при ожирении, или Нота фа опять стала ре.....	231
№ 45. Почему при ожирении возможна гиперкапния, или О синдроме гиповентиляции при ожирении.....	233
№ 46. Нарушение ФОЕ при гиперкапнической ДН, или Когда нота фа стала нотой ля	235
№ 47. Рекрутирование альвеол за счет сдавления грудной клетки извне, или О том, что будет, если Тигра играл с Крошкой Ру и уснул, лежа у него на грудной клетке.....	237
№ 48. Как взрослое легкое вдруг стало детским, или О волюмотравме.....	240

№ 49. Волюмотравма умерла. Да здравствует волюмотравма!	243
№ 50. Strain и настройка тревог аппарата ИВЛ	245
№ 51. Чем спонтанное дыхание отличается от ИВЛ? или Никогда не спрашивайте патологоанатома о дыхании	246
№ 52. Аксиома ИВЛ № 1, или Кривые давления на мониторе аппарата ИВЛ	248
№ 53. Первые генераторы потока и кривые давления в аппарате ИВЛ, или О вершинах гор, горных плато и каминных мехах.....	249
№ 54. Давление в аппарате ИВЛ и астматический статус, или Как мы надуваем автомобильное колесо компрессором	253
№ 55. Транспульмональное давление, или Попробуйте вдохнуть на глубине без акваланга	256
№ 56. Современное понимание баротравмы, или «На кой мне бес весь этот stress!».....	259
№ 57. Повреждение легких при «первичном» и «вторичном» повреждении паренхимы легких, или Практическое применение «принципа дайвера» при ИВЛ.....	262
№ 58. Как измерить транспульмональное давление у пациента? И есть ли от этого польза?.....	265
№ 59. Повреждение легких при оксигенотерапии, неинвазивной и вспомогательной вентиляции легких, или «Если вы будете дышать глубже, то умрете»	267
№ 60. Закон Бойля-Мариотта, или Что случилось бы с воздушным шариком Пятачка, если бы Иа-Иа жил в горах.....	270
№ 61. Податливость респираторной системы, или Опять о шарике Пятачка	272
№ 62. Податливость в наддиафрагмальных отделах и верхушках легких, или О давлении у подножья горы и на вершине.....	275

№ 63. Расчет податливости респираторной системы и пресловутое «driving pressure», или О хитром Марсело	277
№ 64. Податливость респираторной системы и легких — наши враги!.....	281
№ 65. Динамическая петля «давление-объем», или О красивых петлях на аппарате ИВЛ и их бесполезности	282
№ 66. Квазистатическая петля «давление-объем», или О большом шприце для торта	284
• Нижняя точка перегиба.....	287
• Линейная податливость (C_{lin})	288
• Верхняя точка перегиба.....	288
• Экспираторная точка перегиба.....	289
№ 67. Динамические тесты оценки податливости, или Строим несколько статических петель «давление-объем».....	292
№ 68. Простая оценка рекрутабельности альвеол для продвинутых юзеров ИВЛ, или Изменения ноты фа: кто прав — Lu Chen или Davide Chiumello?.....	294
№ 69. ИВЛ и «гемодинамика», или «Не так страшен РЕЕР, как его малюют»	296
№ 70. РЕЕР и риск острого легочного сердца, или О фальшивой ноте фа и абсолютном слухе правого сердца.....	299
№ 71. Что опаснее для правого сердца: ДО или РЕЕР? или Почему правое сердце больше всего не любит ноту до.....	304
№ 72. Как выявить отрицательное влияние ИВЛ на «гемодинамику»?	308
№ 73. Передача внутрибрюшного давления в плевру и выбор РЕЕР при панкреатите и лапароскопии, или Что было бы, если бы Тигра лег на живот Крошки Ру?	310

№ 74. Работа дыхания и диаграмма Кэмпбелла, или О походе на работу и ушах слона	313
№ 75. Измерение работы дыхания в клинике (для продвинутых пользователей)	321
№ 76. Анализируем биомеханику пациента по форме кривой давления в дыхательных путях, или Учимся читать ноты с листа.....	324
• Фаза триггирования (А)	325
• Фаза подъема давления до заданного — «передний фронт» (В)	326
• Фаза переключения на выдох — «циклирование» (D)	327
• Фаза выдоха и PEEP (E)	328
• Фаза инспираторного давления (С).....	329
• Работа дыхания по кривой давления (одним взглядом!).....	331
№ 77. Триггер давления и триггер потока, или Миф о «крутом» триггере потока	332
№ 78. Как найти пороговое давление открытия дыхательных путей на кривой P_{aw} ? или О поиске воздушных ловушек.....	335
№ 79. Что такое динамическая податливость и что с ней делать? или Еще раз о диафрагмальной дисфункции	337
№ 80. Новые понятия о вентилятор-ассоциированном повреждении легких: P-SILI и эрготравма, или Еще раз о потенциальной и кинетической энергии, а также склеенных между собой презервативах.....	339
Партитура D (ре). Эволюция режимов ИВЛ в подражание естественному дыханию пациента, или Как правильно играть на органе	345
№ 81. Первая попытка подражания режима ИВЛ дыханию пациента — Pressure Controlled Ventilation, или О мехах, компрессорах, турбинах и трубаче	347
№ 82. Вторая попытка подражания режима ИВЛ дыханию пациента — Pressure Support Ventilation, или О том, что мы все дышим в этом режиме	350

№ 83. Как увидеть проблемы с высоким сопротивлением дыхательных путей на кривых? или Еще раз о числе Эйлера.....	355
№ 84. Первый этап эволюции взаимодействия пациента и вентилятора, или Об окне возможностей	357
№ 85. Второй этап эволюции взаимодействия пациента и вентилятора — BIPAP, или О волшебной силе рекламы.....	360
№ 86. О вариациях на тему Pressure Support Ventilation и «автопилотных» режимах (Volume Support Ventilation, ASV, Intellivent)	364
№ 87. Как сделать Pressure Support пропорциональным усилию пациента — Proportional Assist Ventilation и Proportional Pressure Support, или Еще раз об уравнении движения газа.....	368
№ 88. Режим PAV+ как последний на сегодня вариант эволюции респираторной поддержки, или Звуковой усилитель и современное прочтение Pressure Support Ventilation	370
№ 89. Как синхронизировать выдох пациента и вентилятора? или Поток конца вдоха, а также режим NAVA	374
№ 90. Асинхронии, повреждение легких и диафрагмально-протективная вентиляция, или Об основной партии оркестра и пиццикато.....	377
№ 91. Как экспираторный поток определяет «ФОЕ» в APRV, или Попытка «магов» играть только на одной ноте до	385
№ 92. Полезно APRV или вредно? или Протяжная нота до может сильнее повреждать легкие.....	391
№ 93. Гибридные режимы ИВЛ: Autoflow, PRVC, PCV-VG, VAPS, A-VAPS, или «Электронные игры» с потоком и удобство пользователя	396

№ 94. Триггирование при утечках, или Переменный ветер и отбрасывание тени	400
№ 95. Что же такое хороший режим ИВЛ?	402
Партитура Е (ми). Соответствие технических особенностей метода респираторной терапии и пациента, или Про выбор духового инструмента	405
№ 96. Аксиома оксигенотерапии № 1, или О причинах гипоксемии и «паллиативной» компенсации гипоксемии — оксигенотерапии.....	407
№ 97. Аксиома оксигенотерапии № 2, или Поток вдоха пациента и выбор системы доставки кислорода.....	411
№ 98. Аксиома оксигенотерапии № 3, или Анатомическое мертвое пространство и выбор системы оксигенотерапии	417
№ 99. Выбор системы оксигенотерапии	420
№ 100. Как оценить фракцию кислорода при оксигенотерапии?	423
№ 101. Поток газа и успех CPAP-терапии, или Снова о питерском ветре и ниппеле	426
№ 102. Генераторы потока и CPAP-системы Вентури, или «Из искры разгорится пламя».....	428
№ 103. Клапаны РЕЕР, или Выдыхаем через коктейльную трубочку	436
№ 104. Интерфейсы для НИВЛ — маска или шлем, или Туба, тромбон или валторна — духовой инструмент имеет значение	438
№ 105. Еще раз о шлемах, или «Оркестр гремит басами...»	442
№ 106. Непривычные нам шланги, или Контуры для проведения НИВЛ.....	447

№ 107. Вентилируемые и невентилируемые маски, или О «больном» колене	450
№ 108. Как подобрать генератор потока, интерфейс и контур при НИВЛ, или «Кручу-верчу, запутать хочу»	452
№ 109. Противопоказания и показания к НИВЛ, или Когда не помогут духовые инструменты	453
№ 110. Успех НИВЛ в зависимости от времени по отношению к инвазивной ИВЛ, или В какое время в оркестре заиграет духовой инструмент.....	457
№ 111. Увлажнение и обогрев (кондиционирование) дыхательной смеси, или Что лучше: баня или сауна?	462
Партитура F (фа). О том, как из нот складывались гипотезы, а из гипотез — рандомизированные исследования, или Респираторная поддержка на основании данных доказательной медицины.....	467
№ 112. Немного «дегтя» о РКИ и мета-анализах в респираторной поддержке.....	469
№ 113. Инвазивная ИВЛ интактных легких.....	473
№ 114. Респираторная поддержка при «настоящем» остром респираторном дистресс-синдроме.....	478
№ 115. Респираторная поддержка при внебольничной пневмонии	490
№ 116. Респираторная поддержка при COVID-19	498
№ 117. Респираторная поддержка при ХОБЛ.....	512
№ 118. Респираторная поддержка при астматическом статусе.....	528
№ 119. Респираторная поддержка при отеке мозга: можно ли высокий РЕЕР и надо ли гипероксию и гипервентиляцию?	531
№ 120. Респираторная поддержка при патологии сердца	550

№ 121. Респираторная поддержка при нейромышечном варианте гиперкапнической дыхательной недостаточности.....	558
• Травма спинного мозга	561
• Myasthenia gravis.....	565
• Болезнь мотонейрона (например, боковой амиотрофический склероз)	566
• Синдром гиповентиляции при ожирении (синдром Пиквика)	568
• Односторонний/двусторонний паралич диафрагмы.....	572
№ 122. Респираторная поддержка при однологочной вентиляции легких	573
• Клинические исследования при однологочной вентиляции	580
№ 123. Отлучение пациента от вентилятора, или Сложно о простом и просто о сложном.....	584
№ 124. О трахеостомии.....	605
№ 125. Правильно сформулированные гипотезы и их не очень правильные проверки, или Как красиво выглядят ноты на бумаге и как плохо их сыграли.....	610
Партитура G (соль). Вся соль органиста в его рефлексах.....	621
№ 126. Экстренные ситуации при проведении ИВЛ, или О Паганини, любви с первого взгляда и рефлексах органиста	623
Приложение	627
Список сокращений	634

Вступление

Мое случайное вхождение в специальность состоялось на 4-м курсе медицинского института после знакомства с профессором Эдуардом Михайловичем Николаенко и посещения организованного им «Освежающего курса лекций по респираторной поддержке», где достаточно глубоко были освещены вопросы патофизиологии дыхания и респираторной поддержки. Сразу после этого по совету старших коллег я начал активное изучение культовых книг по физиологии и патофизиологии дыхания, в первую очередь, «Физиологии дыхания» John'a West'a, но, к моему глубокому огорчению, даже пытаясь зазубрить куски текста и разобраться в классических графиках отсюда, не мог их осознать и не понимал, как применить их на практике, особенно при проведении искусственной вентиляции легких (т. е. респираторной поддержки). Вероятно, многочисленные мои попытки понять механизм происходящих процессов, осознать их и попробовать применить эти знания к практике респираторной поддержки заставили меня заняться более глубоким изучением патофизиологии дыхания, прикладной к респираторной поддержке. И только через много лет, уже при знакомстве с более современными научными публикациями по проблеме и когда я проводил собственные исследования патофизиологии дыхания, у меня постепенно сложилось ясное понимание, как теорию можно связать с практикой.

Учитывая сложность предмета — прикладной физиологии дыхания — и многочисленные сложности ее понимания, связанные с респираторной поддержкой, я решил написать специальную книгу, а в ней рассмотреть проблему во всем ее многообразии на достаточно простых, житейских примерах, чтобы врач смог разобраться в непростой механике процесса и одновременно понял,