

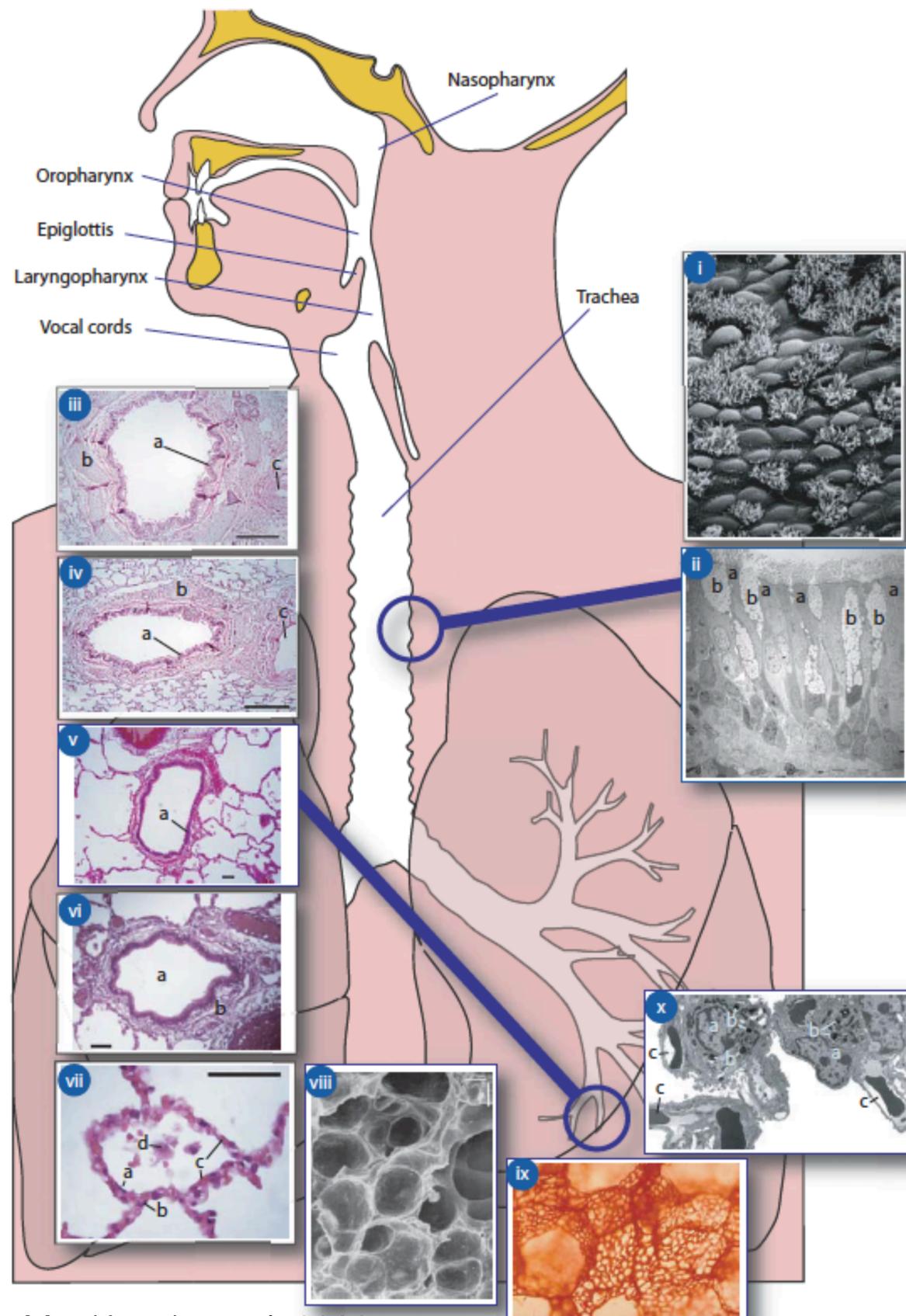
Принципы респираторной поддержки. Прон позиция. Мониторинг

Е.В. Григорьев

Острая дыхательная недостаточность

Респираторные функции легких

- Обеспечение аэробного дыхания путем доставки кислорода тканям
- Удаление CO₂ как продукта метаболизма тканями



- i - микроскопия, реснитчатый (цилиарный) эпителий трахеи.
- ii - поперечный срез бронхиолярного эпителия, реснитчатые клетки (а) и безреснитчатые клетки, секретирующие слизь.
- iii - поперечное сечение бронхов, (а) псевдопласты эпителия, (б) окружены гиалиновым хрящом.
- iv - (а) крошечные островки гиалина, что доказывает в срезе бронхи, а не бронхиолы, (б) легочная вена.
- v - бронхиола, что подтверждается отсутствием хряща и серомукозных желез, окружены гладкими мышцами (а).
- vi - бронхиолы малого диаметра (а), окруженные гладкими мышцами (б).
- vii - альвеолы с тонким слоем пневмоцитов I типа (а) и кубовидные сурфактант-секретирующими пневмоцитами II типа (б) и сетью капилляров (с), сращенными со стенками капилляров.
- viii - альвеолы - соты
- ix - сеть капилляров, оплетающих альвеолы
- x - альвеолоциты (а) большие кубовидные клетки пневмоциты II типа, внутри везикулы, содержащие сурфактант (б). Капилляры содержат эритроциты (с)

Газообмен

- Воздух в ходе вдоха попадает в через носовые ходы в трахею через гортано- и ротоглотку
- При превышении потока воздуха через глотку более 40 л/мин работа дыхания возрастает настолько, что требуется включение рта для забора воздуха

- Гортань - выдерживает внутреннее давление до 120 мм рт ст
- Высокочувствительная рецепторная зона
- Трахея - одновременно структура эластичная (кольца) и растяжимая (задняя стенка без хрящей)
- Трахея делится на два бронха - первый порядок дыхательных путей

- Бронхи - между 2 и 4 порядком (сегментарные)
- Могут коллабировать при достижении внутригрудного давления > 50 см вод ст (критический уровень такого давления может быть ниже при наличии ХОБЛ или БА)
- Бронхи между 5 и 11 порядком коллабируют редко (хрящи и всегда положительное давление в ДП)
- Бронхиолы (12-16 порядок) не имеют хрящей, однако поддерживают проходимость из-за связи с паренхимой легких. Максимально низкое сопротивление

- Респираторные бронхиолы (17-19 порядок деления) поддерживаются фактом расправления паренхимы и уже имеют альвеолы для газообмена
- Бронхиолы 20-22 порядка - на одну бронхиолу 20 альвеол

Кровообращение альвеол

- Газообмен осуществляется через альвеоло-капиллярную мембрану и через поры Кона между альвеолами напрямую
- Сеть капилляров окутывает альвеолы, эндотелий и эпителий альвеол интимно связан между собой
- Давление в капиллярах малого круга составляет 20% от давления в большом круге
- Стенка легочных артериол не содержит гладкой мускулатуры
- Выражен гравитационный компонент кровообращения (зоны выше плохо кровоснабжаются, зоны ниже - хорошо)

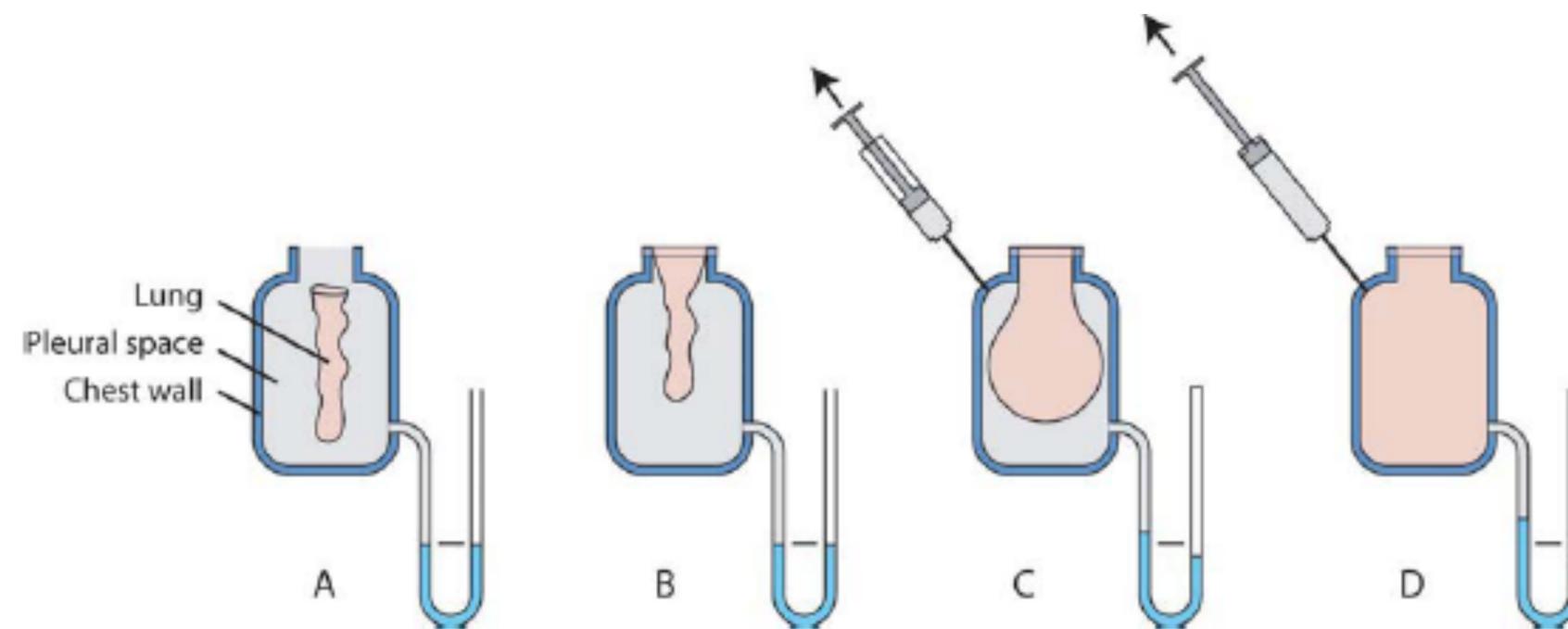
Механика легких

- Воздух поступает в легкие из-за наличия отрицательного внутригрудного давления в легких (спонтанная вентиляция) или из-за создания положительного давления на входе в ДП (ИВЛ)
- Работа направлена прежде всего на преодоление сопротивления ДП и эластических свойств легких/грудной стенки

Эластичность легких

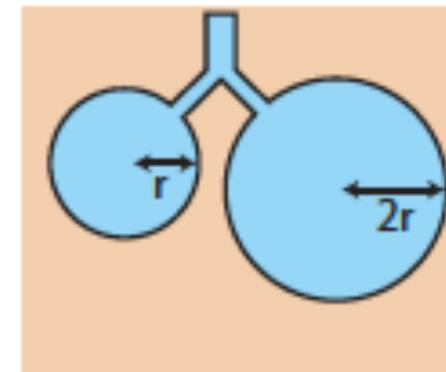
- Обусловлено наличием эластиновых волокон паренхимы легких ($1/3$ сил эластического расправления легких) и поверхностное натяжение альвеол ($2/3$ сил эластического расправления легких)
- При полном расправлении легких в плевральной полости давление составляет $-5,5$ см вод ст
- На пике самостоятельного вдоха давление достигает -30 мм вод ст

Модель спонтанного дыхания

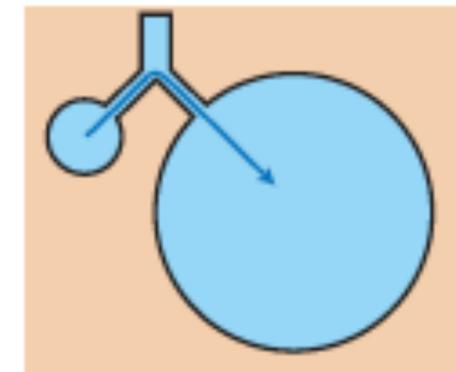


Закон Лапласа для альвеол

- $P_a = (2 \times T_s) / r$
- r - радиус
- T - поверхностное натяжение альвеолы
- При постоянном уровне поверхностного натяжения стенки альвеолы давление будет обратно пропорционально радиусу или давление будет максимальным в альвеолах с минимальным размером с быстрым опорожнением воздуха в альвеолы большего размера

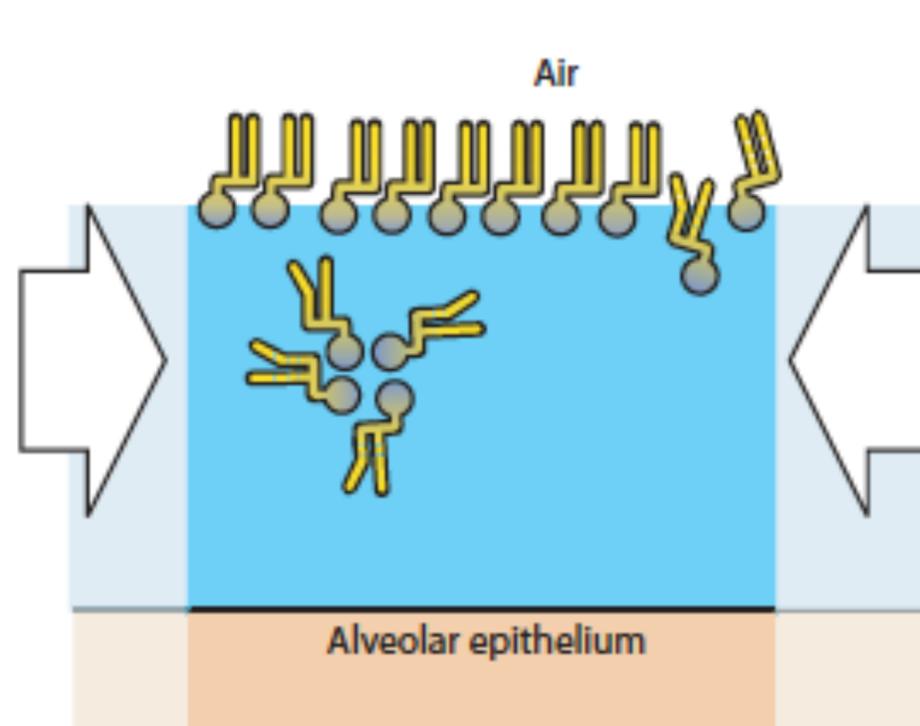
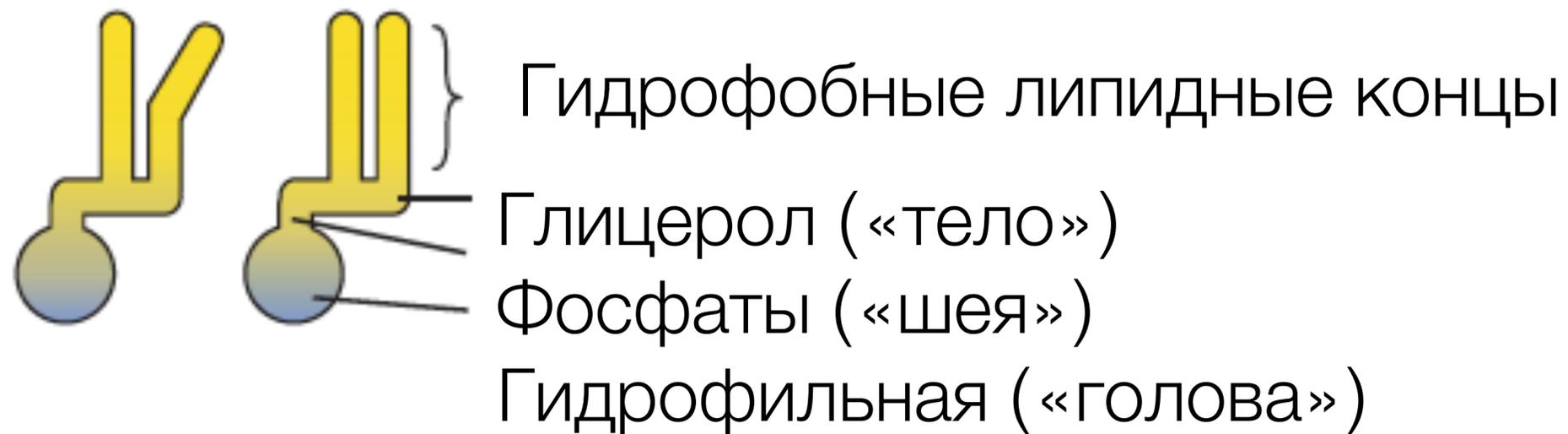


A



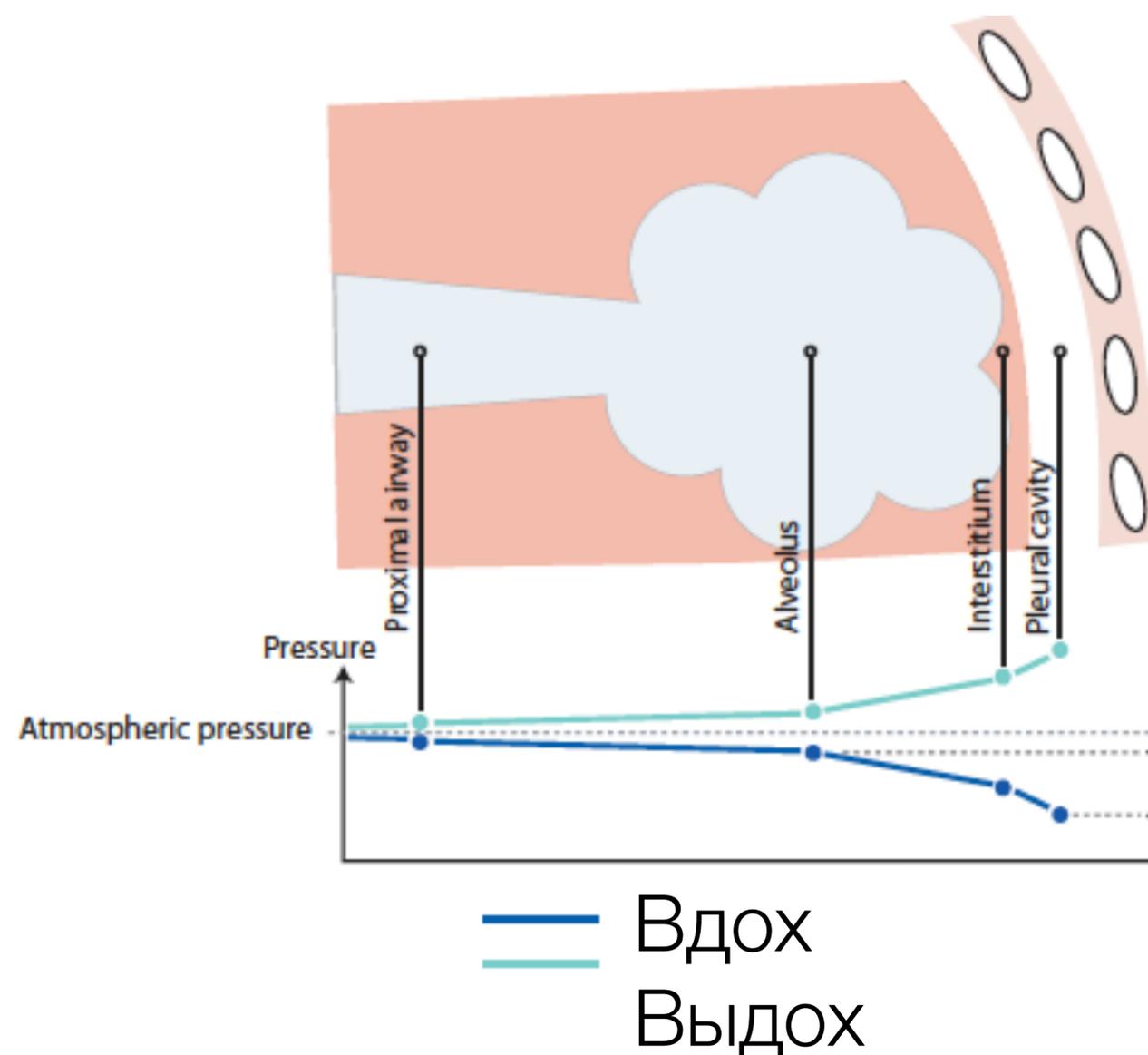
B

- В формуле Лапласа поверхностное натяжение может увеличиваться за счет сурфактанта
- МЕНЬШАЯ поверхность альвеолы - БОЛЬШЕЕ снижение поверхностного натяжения
- Этот процесс при нормальном синтезе сурфактанта позволяет сохранить газ в альвеолах малого размера и сохранить равномерность наполнения легких



Выдох
Уменьшается площадь поверхности альвеолы, происходит временное смещение фосфолипидов в гипофазу, что ведет к повышению их силы натяжения. На вдохе - обратный процесс

Сурфактант и эластиновые
волокна отвечают за комплайнс
(растяжимость) легких

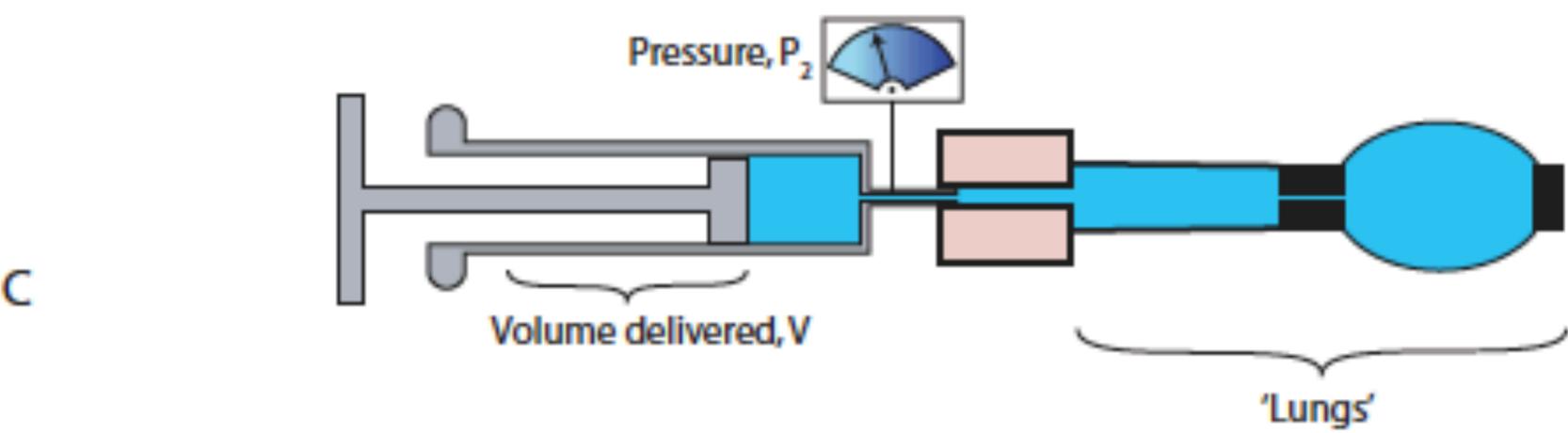
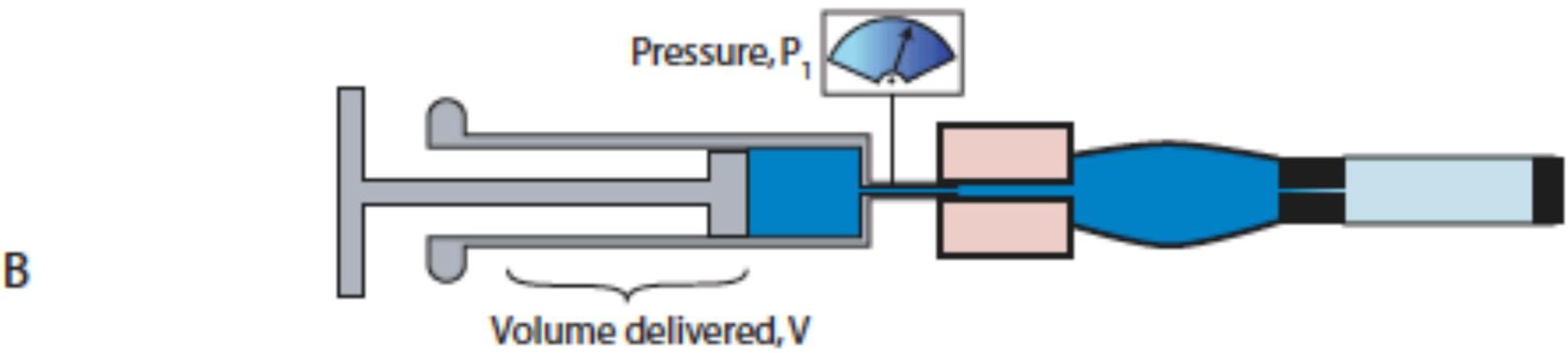
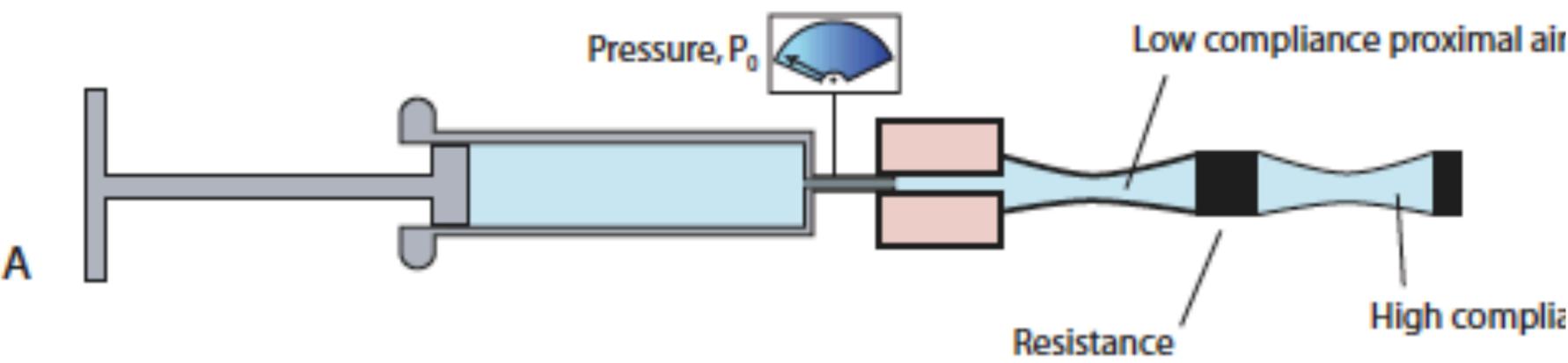


Трансмуральное р -
 градиент между
 плевральным давлением и
 альвеолами

Вдох - растет
 трансмуральный градиент

Комплајнс (податливост, растяжимост)

- Высокий комплајнс - значит что легкие легко расширяются
- норма 130 мл/см вод ст
- 1/2 усилий вдоха идет на преодоление эластичности легких, 1/2 - грудной клетки



А. Аппарат ИВЛ - шприц. Модель легких состоит из двух компартментов. Проксимальный компартмент = дыхательные пути, низкий комплайнс (C). Дистальная камера = альвеолы, высокий комплайнс. Давление P_0

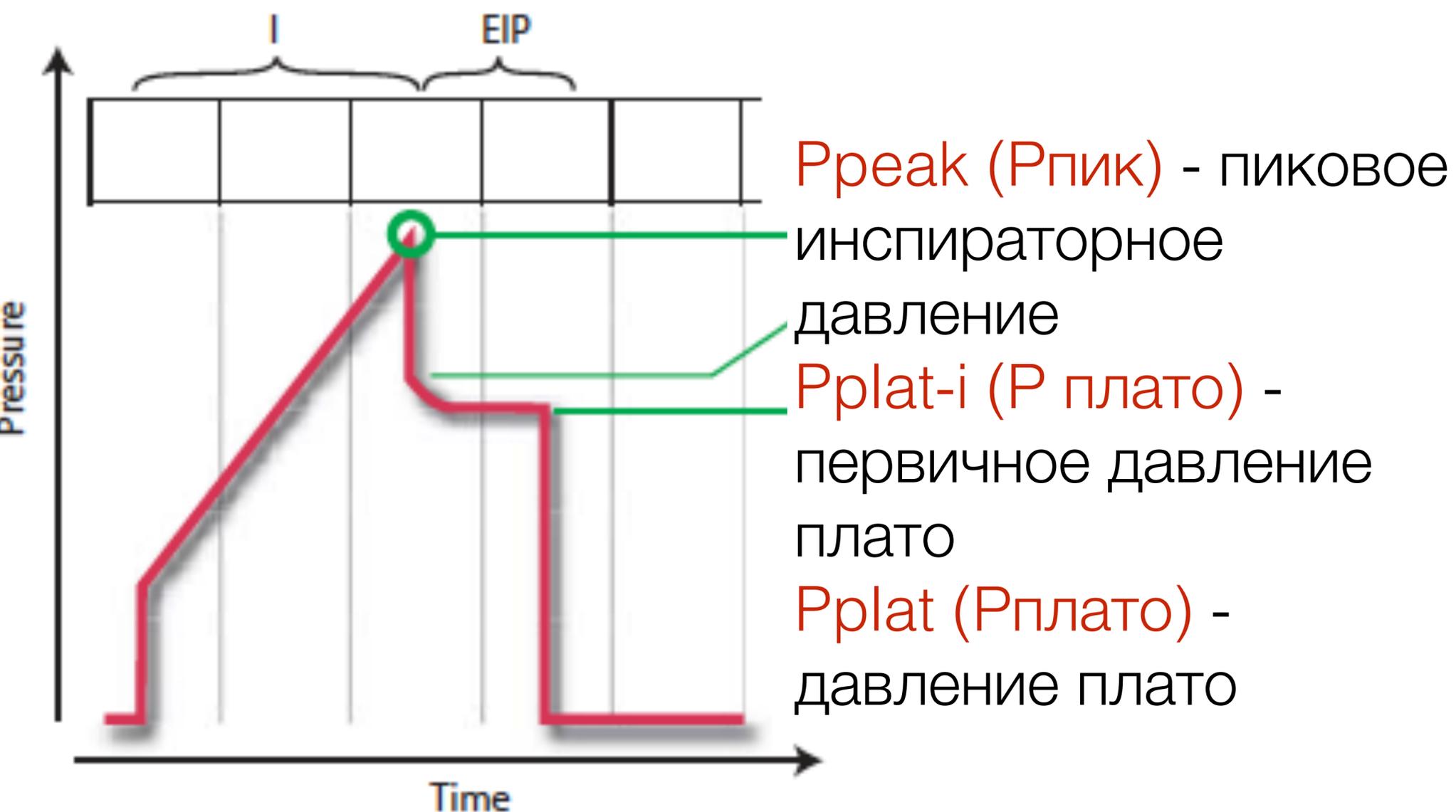
В. Вдох. Давление в шприце растет, растет в ДП, в альвеолах уровень давления низкий (P_1). $C = V/P_1$

С. Объем газа не меняется, поршень шприца не двигается. Объем начинает расти в дистальной камере. Газ перераспределяется из области с высоким давлением в область низкого давления. $C = V/P_2$

Двухкомпартментная МОДЕЛЬ

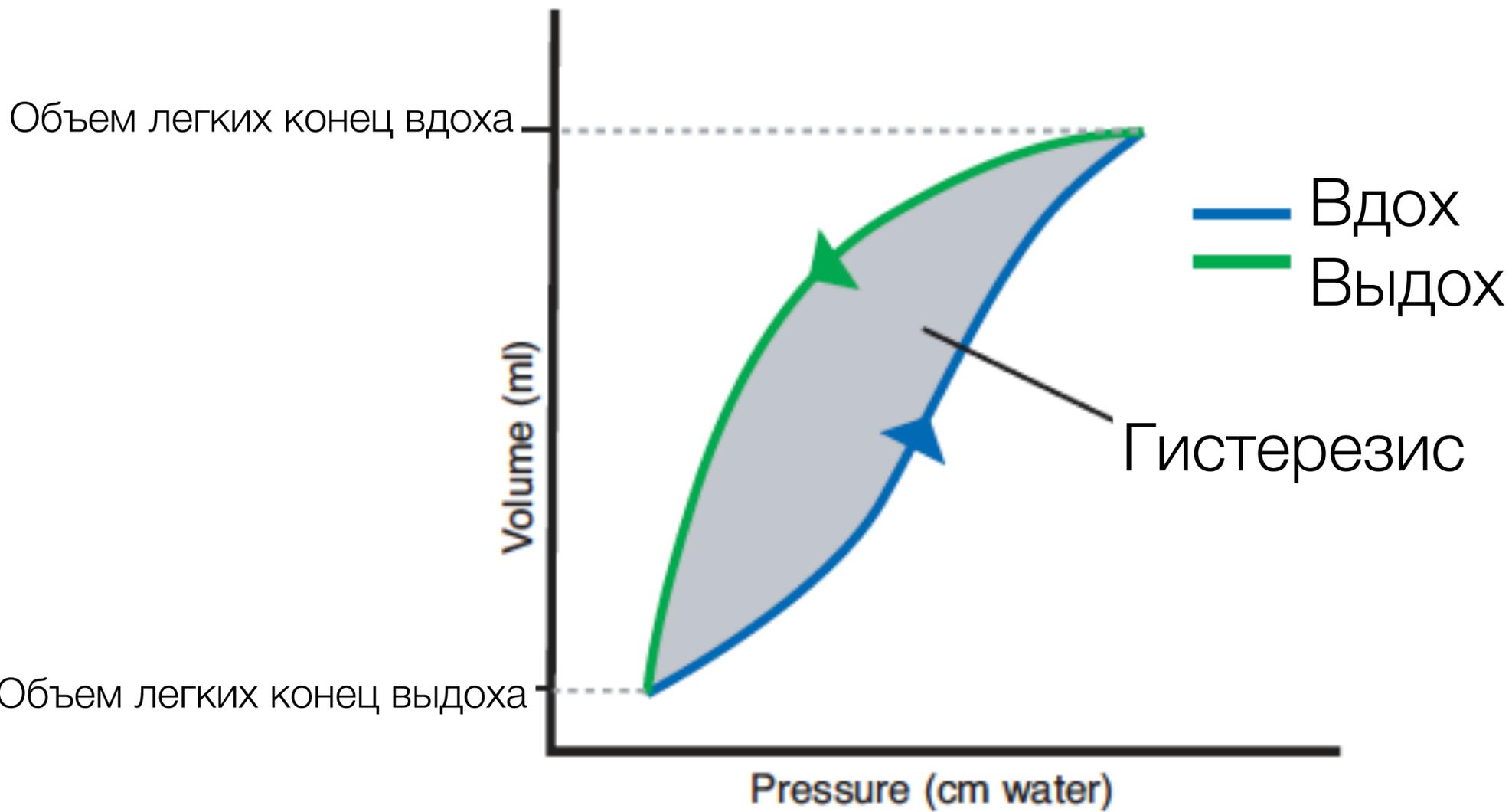
- Первичное давление или P_1 - давление по преодолению сопротивления. Комплајнс на этом этапе - динамический.
- Вторичное давление или P_2 - давление по преодолению эластичности легких-грудная клетка. Комплајнс на этом этапе - статический.

Аналогия с искусственным дыхательным циклом



Динамический комплайнс - V/P_{reak} .
Статический комплайнс - V/P_{plat} .
Разница между P_{reak} и P_{plat-i} из-за сопротивления дыхательных путей.
Разница между P_{plat} и P_{plat-i} из-за маятника (пендлюфта) и гистерезиса.

Гистерезис



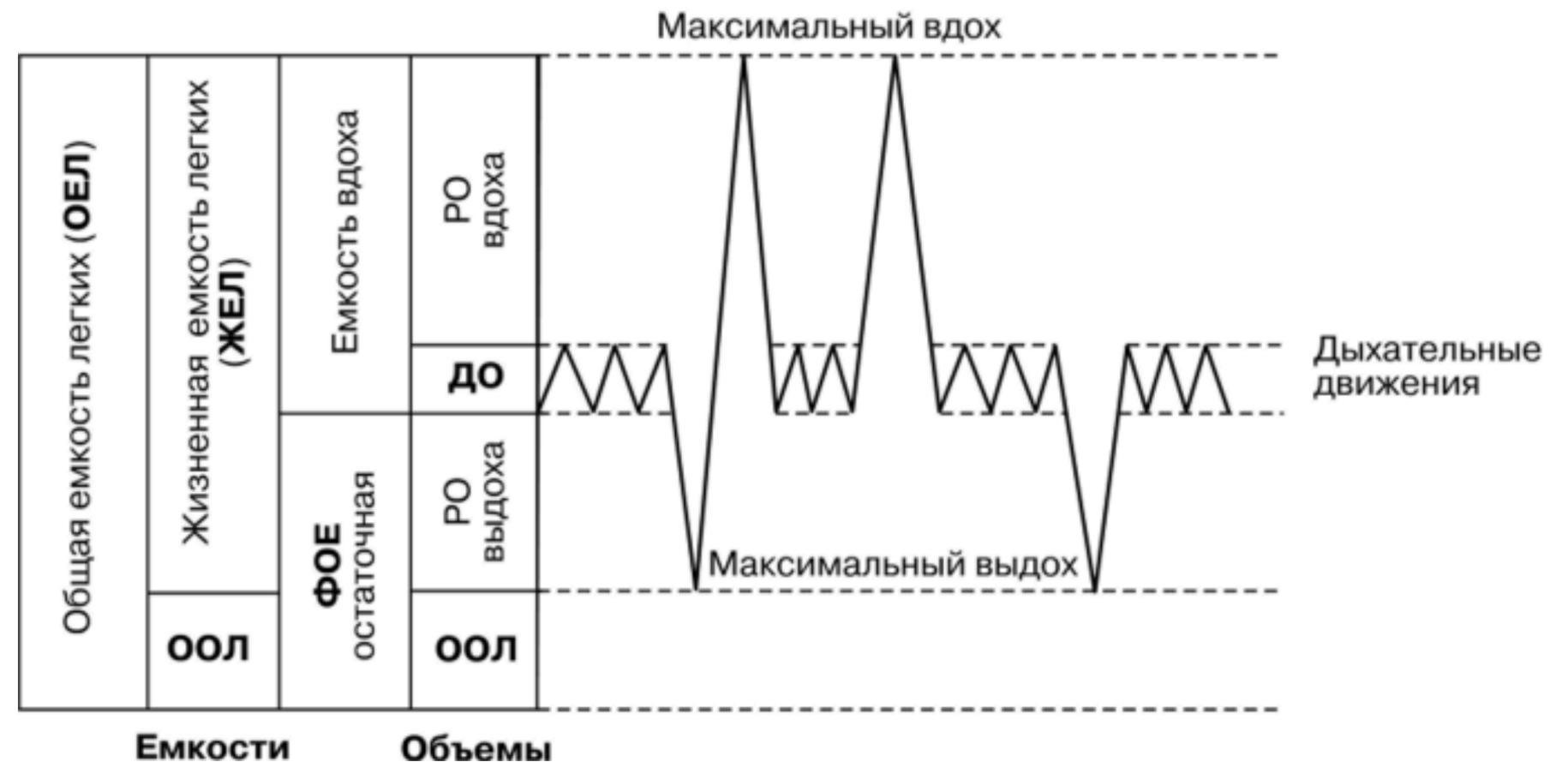
- Инерционность системы легких в ответ на приложение давления вдоха и выдоха

Влияние на гистерезис

- Рекрутирование коллабированных ранее альвеол
- Перемещение объемов крови в легочном русле
- Стресс-релаксация эластических волокон легких
- Реализация эффекта сурфактанта по сохранению поверхностного натяжения

Легочные объемы

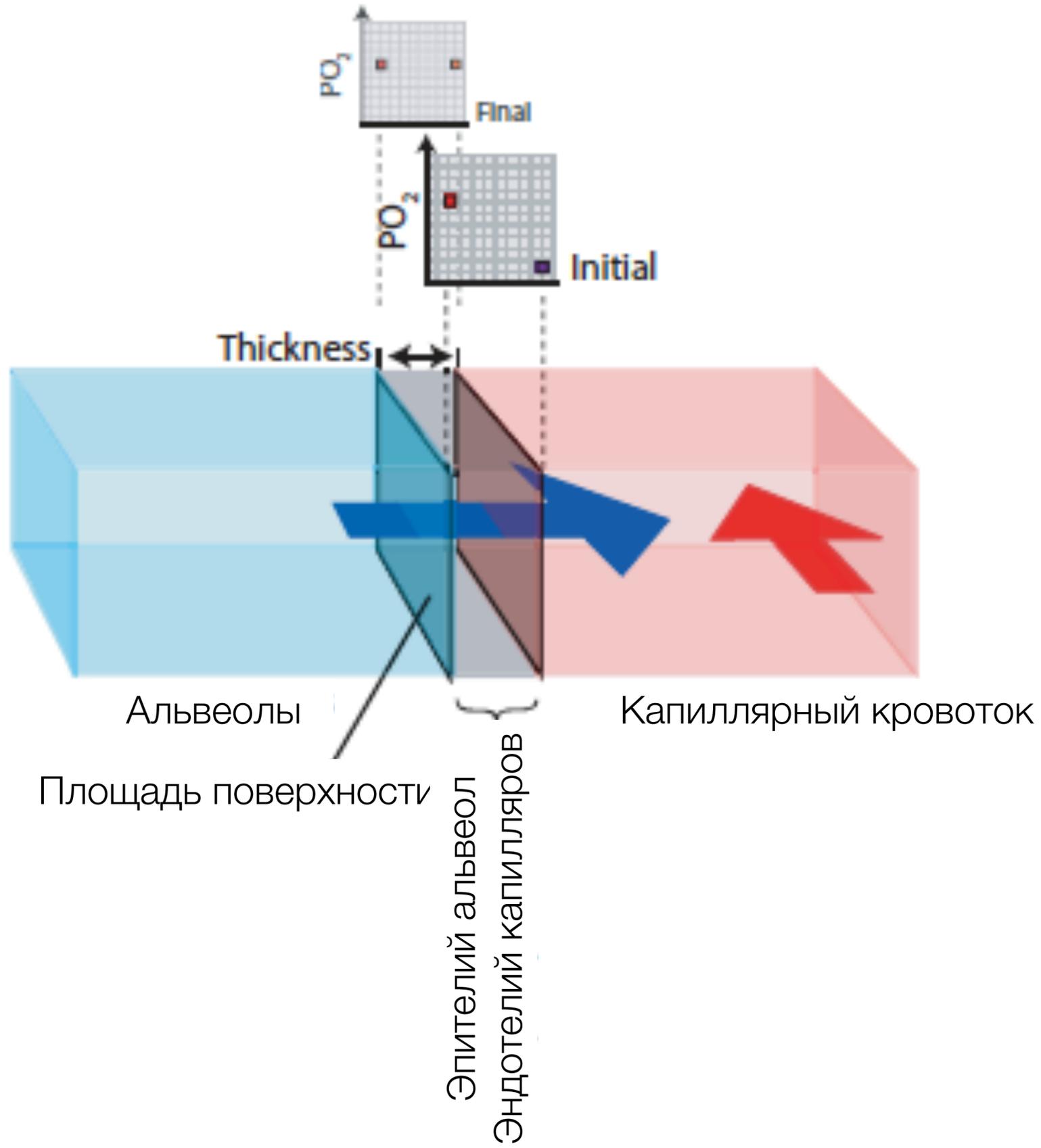
- Общая емкость легких - объем газа в легких на конец максимального выдоха
- функциональная емкость легких - объем, остающийся в легких в конце нормального выдоха
- На фоне ИВЛ ФОЕ = конечно-экспираторный объем легких (снижается при ОРДС, фиброзе)



Кислородный обмен

- Обмен кислорода в легких - диффузия по градиенту парциального давления (P_{aO_2})
- Дистанция для кислорода $< 0,3$ мкм

Что влияет на диффузию кислорода:
-площадь поверхности диффузии
-время контакта/скорость диффузии



Скорость диффузии

- Градиент парциального давления кислорода между альвеолой и капилляром (самое главное)
- Толщина аэрогематического барьера
- Растворимость кислорода в этом барьере.

- Парциальное давление кислорода в альвеоле \neq парциальное давление во вдыхаемом воздухе

$$P_{AN_2} + P_{AO_2} + P_{ACO_2} + P_{AH_2O} = 101 \text{ kPa}$$

Парциальное давление кислорода в альвеолах

- Азот не участвует в газообмене
- CO₂ диффундирует из венозной крови в альвеолу
- Учесть респираторный коэффициент - что больше окисляется (жиры или углеводы)

$$P_{A_{O_2}} = [F_{I_{O_2}} \times (P_b - 6.3)] - \frac{P_{a_{CO_2}}}{0.8}.$$

$$P_{A_{O_2}} = [F_{I_{O_2}} \times (P_b - 6.3)] - \frac{P_{a_{CO_2}}}{0.8}.$$

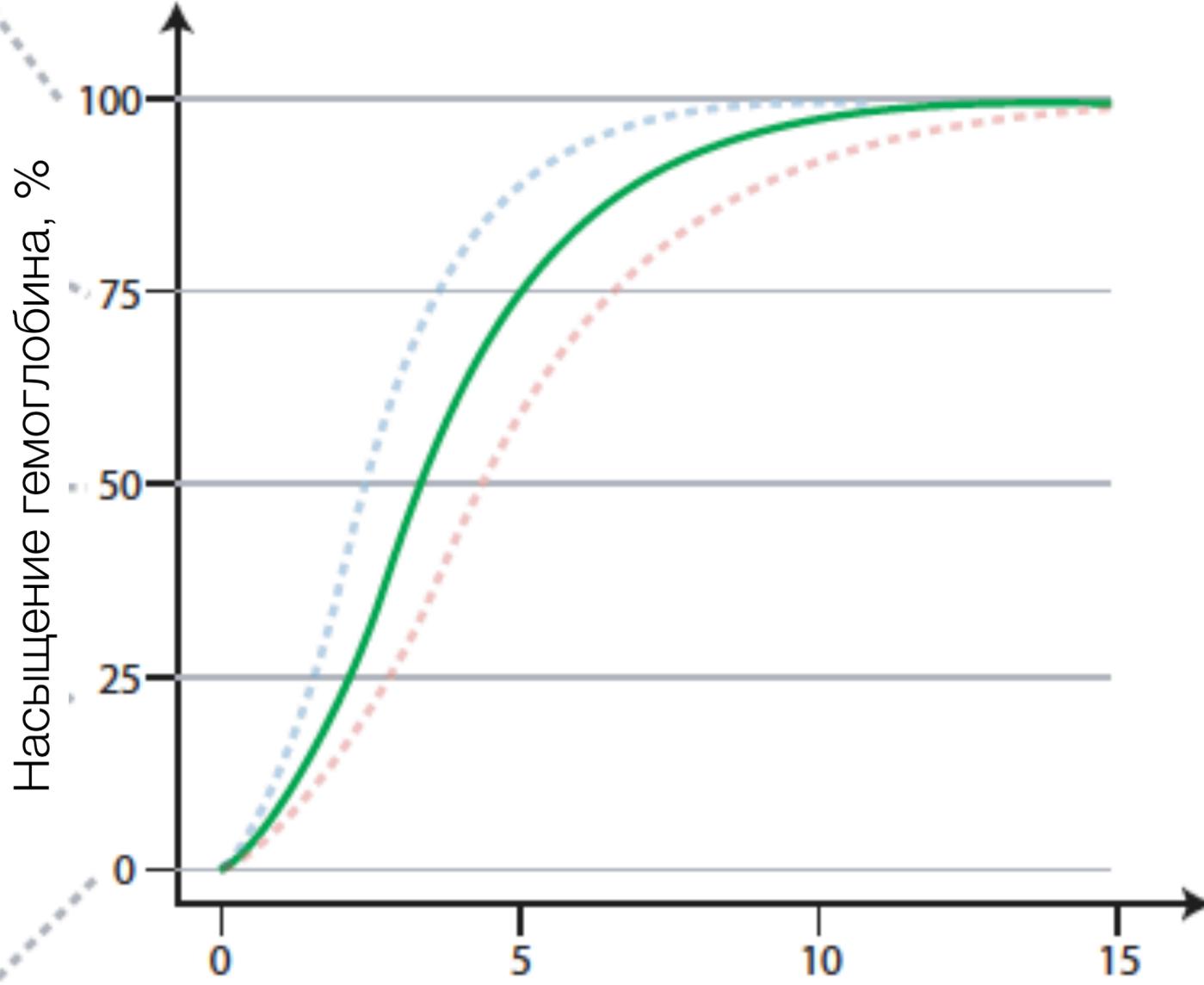
Что влияет:

фракция кислорода во вдыхаемом воздухе
атмосферное давление кислорода
CO₂ артериальной крови

Диффузионный градиент кислорода 8 кПа или 60 мм рт ст

- Толщина аэрогематического барьера - аккумуляция воды (отек легких), коллагена (фиброз) как в альвеоле, так и в капилляре

Кривая диссоциации оксигемоглобина (КДО)



Область фиксации кислорода

Гемоглобин

Кислородные молекулы

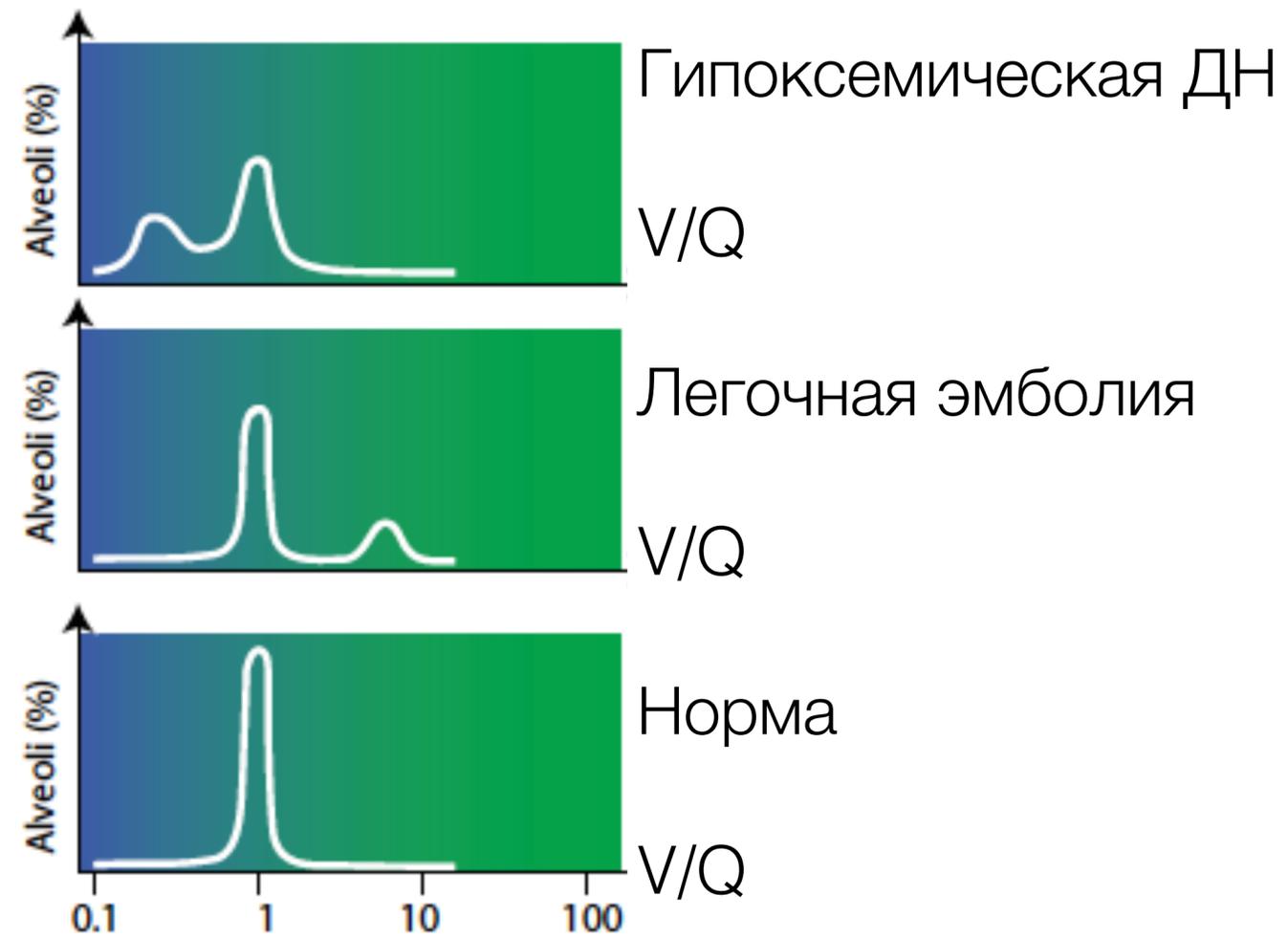
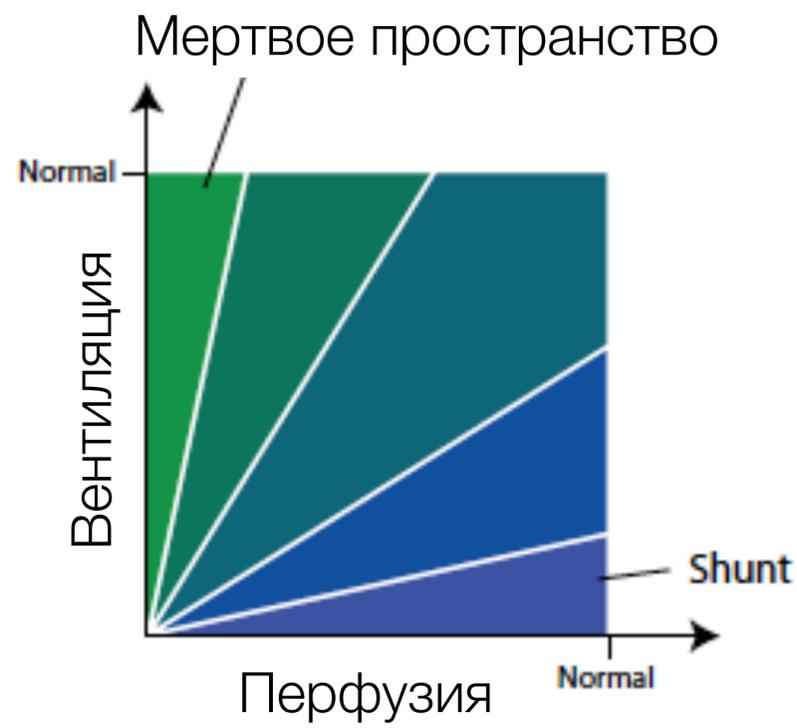
Парциальное давление кислорода, кПа

КДО

- Молекула гемоглобина состоит из четырех субъединиц
- Каждая молекула кислорода, присоединенная к кислороду, замедляет аффинитет свободных субъединиц молекулы гемоглобина
- Смещение влево КДО: алкалоз, гипотермия, 2,3 ДФГ
- Смещение вправо КДО: ацидоз, гипертермия, 2,3 ДФГ

Что снижает p_aO_2

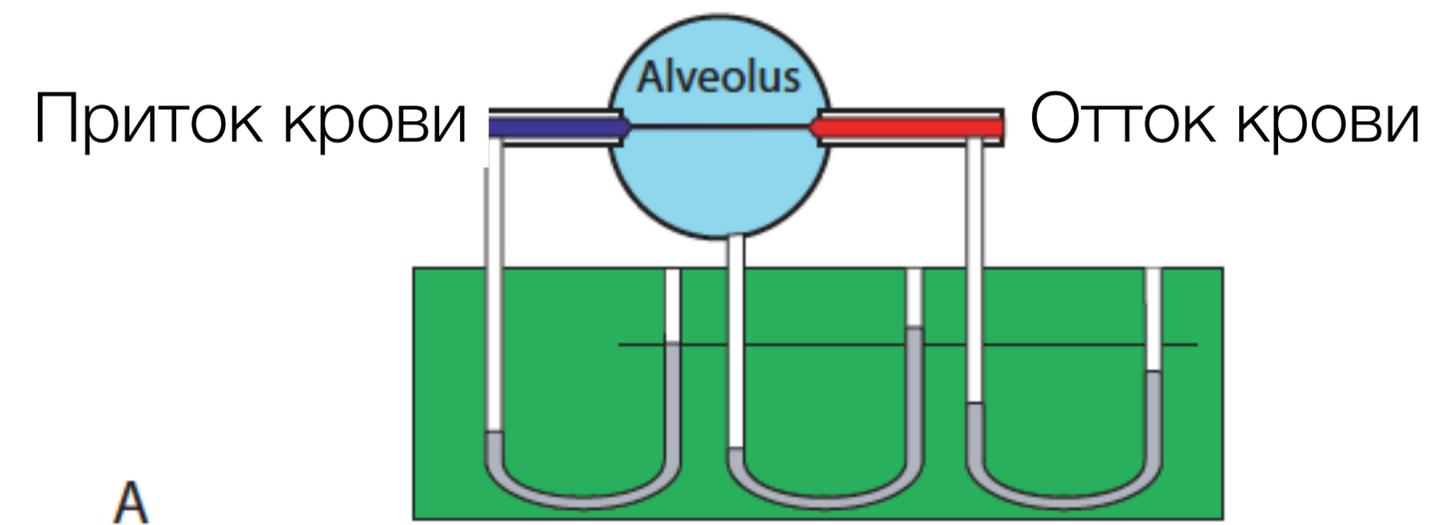
- барометрическое давление газа
- фракция кислорода во вдыхаемой смеси
- парциальное давление CO_2 в альвеолах.
- Гиповентиляция
- Диффузионные нарушения
- Патологические шунты (анатомические)
- Альвеолярные шунты (псевдошунты, не-анатомические)
- Коллапс легких
- Перфузионные нарушения



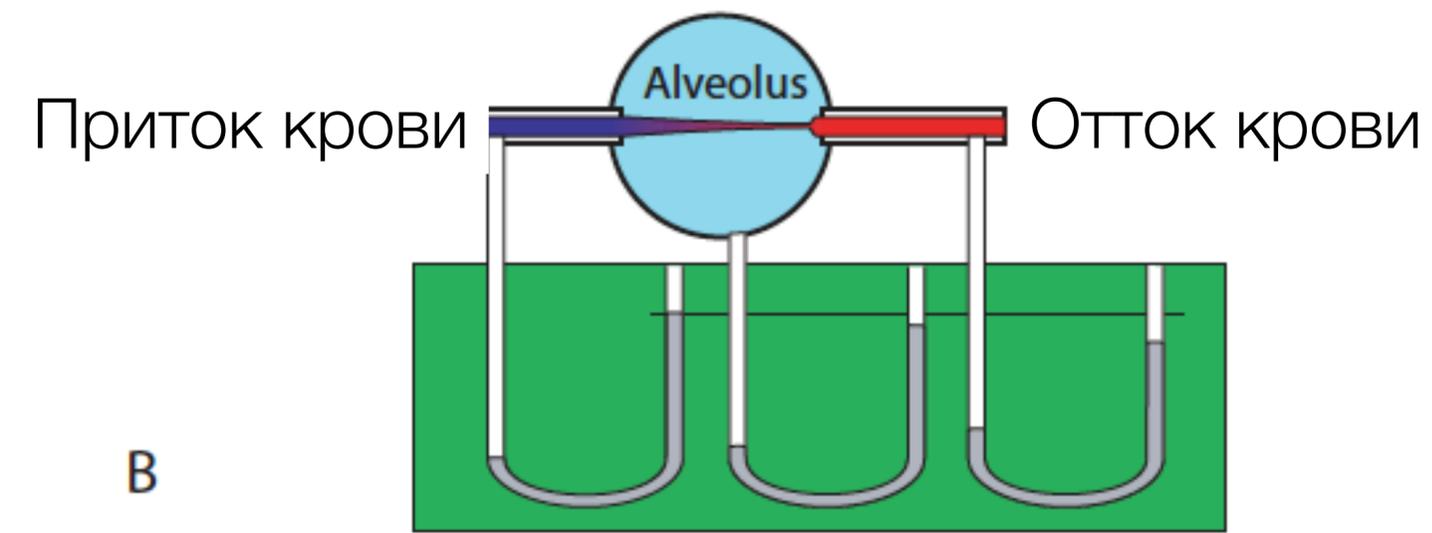
Шунт - это альвеола с перфузией и без вентиляции

Шунт

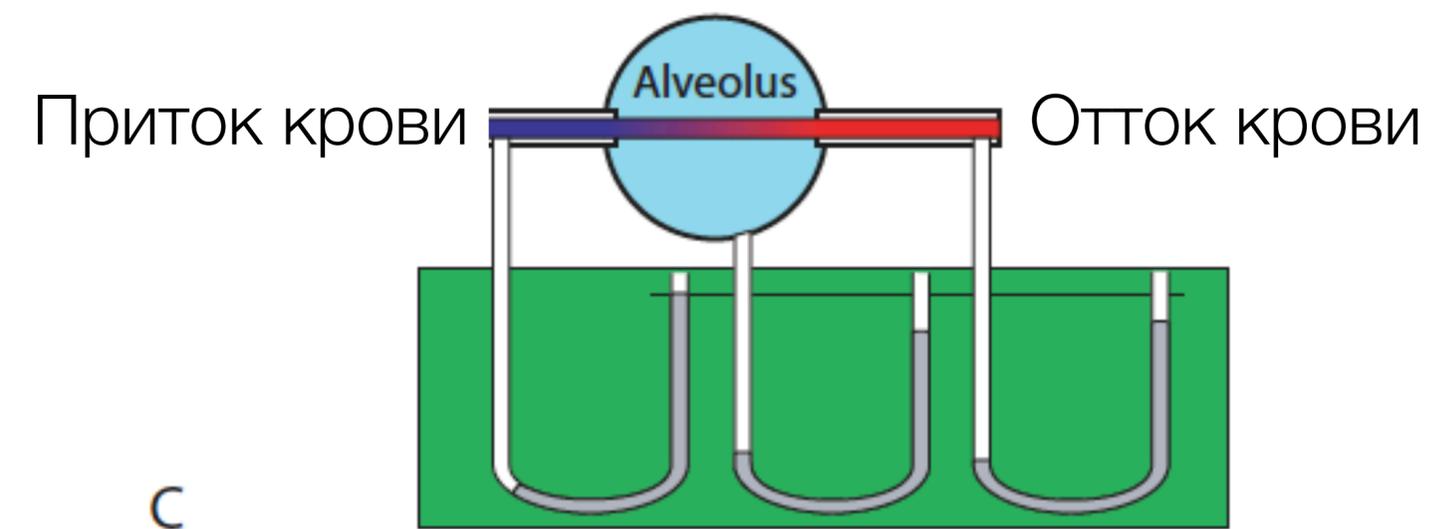
- Анатомический - кровь переходит напрямую справа налево через анатомические дефекты (септальные чаще всего, тебезиевы вены)
- Физиологический - кровь проходит через невентилируемые альвеолы (особенность - при неработающим механизме гипоксической вазоконстрикции)



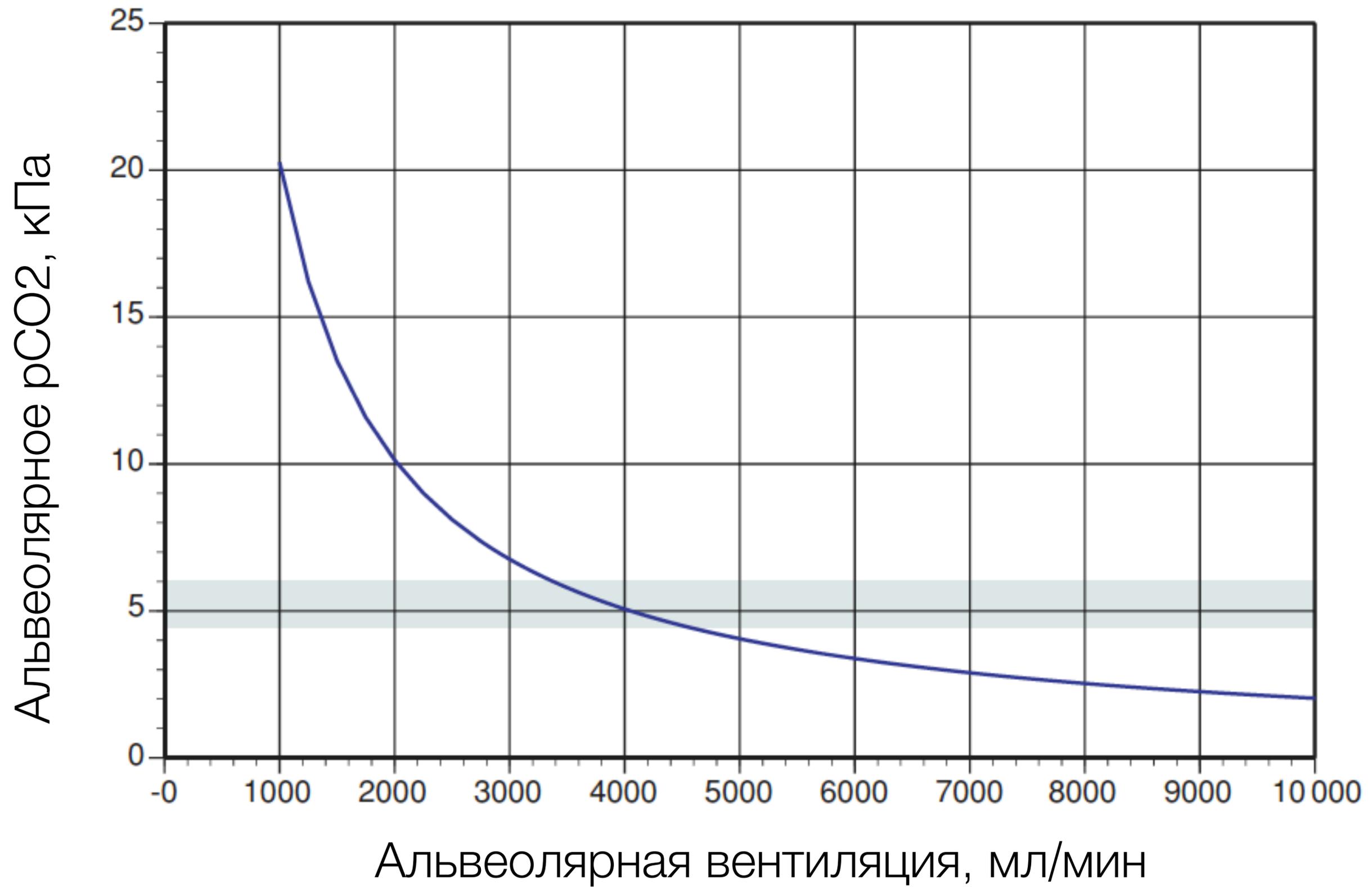
Зона 1. Вертикально, верхушка легких, конечно-инспираторное давление в альвеолах превышает капиллярное. Кровоток через капилляры только в конце выдоха и начала вдоха



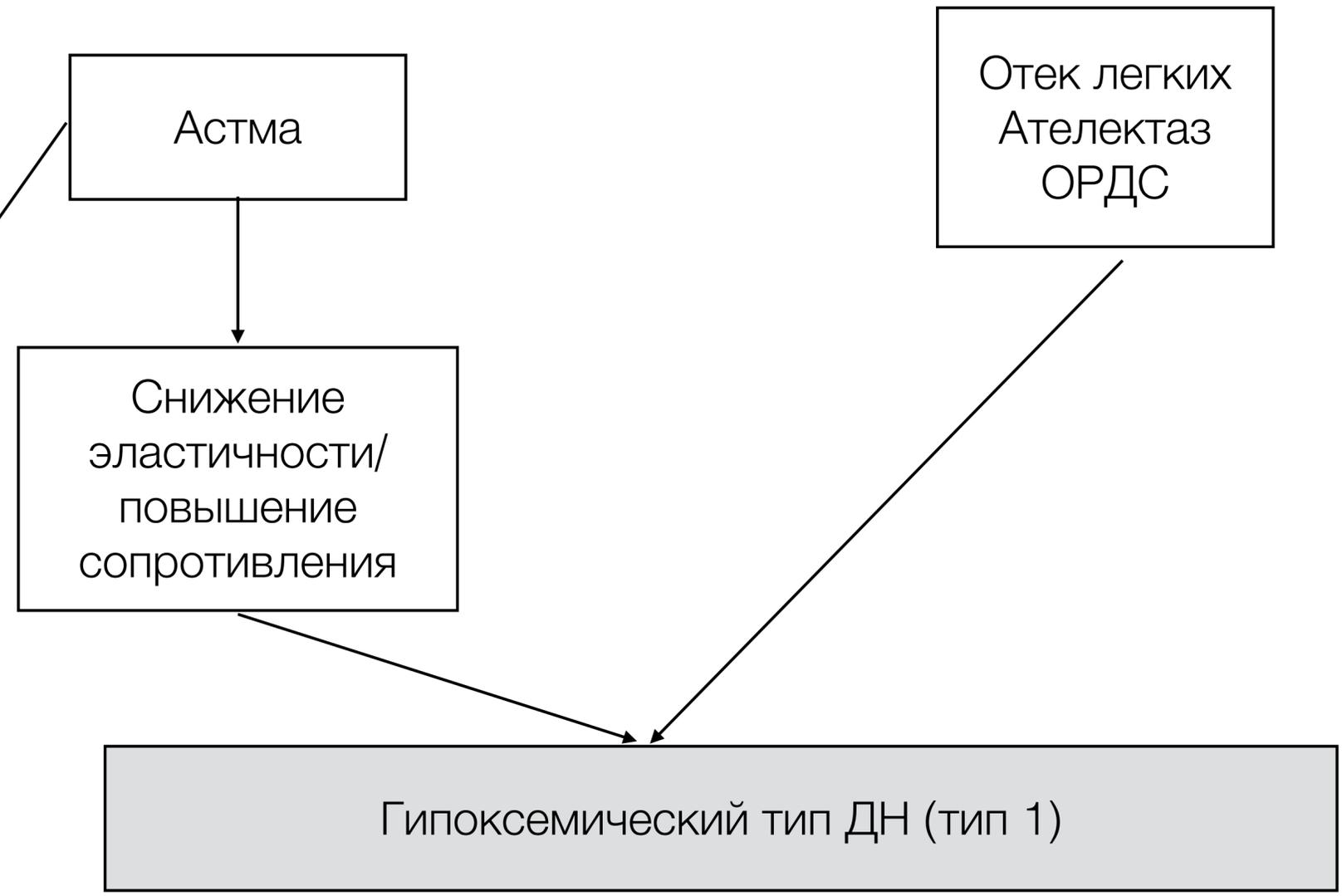
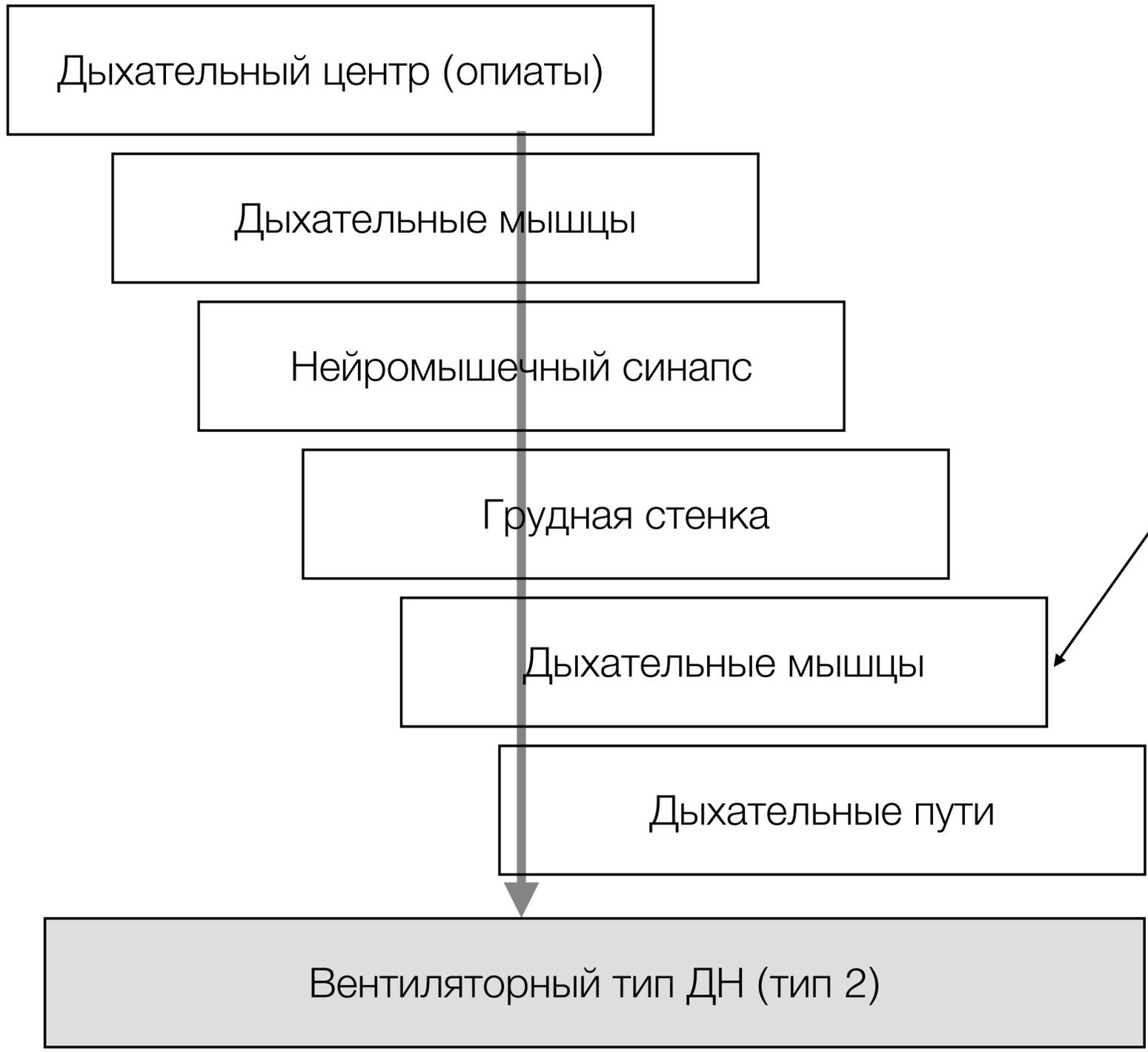
Зона 2. Середина легких. Давление притока капилляров выше альвеолярного, альвеолярное давление выше давления оттока. Транскапиллярный кровоток останавливается в конце вдоха и возобновляется во время начала выдоха



Зона 3. Основание легких. Давление притока и оттока капилляров выше альвеолярного. Кровоток в течение всего цикла дыхания



Патофизиология ОДН



Цели респираторной поддержки

- Улучшение оксигенации и удаление CO₂
- Снизить работу дыхания
- Снизить риск осложнений

Клиническая оценка

- Два типа ОДН - вентиляторная и гипоксемическая (типы 1 и 2)
- Следует оценить два компонента: насос (дыхательную систему по доставке кислорода в легкие) и обмен газов в легких

- Анамнез
- Респираторный паттерн (частота и дыхательный объем)
- Респираторный паттерн (торако-абдоминальный компонент)
- Дыхательные объемы
- Газовый состав крови и пульсоксиметрия

Показания для переводу в ОРИТ для респираторной поддержки

- частота дыхания более 30 в мин
- p/F менее 300
- нарушения сознания (ажитация, делирий)
- ШОК
- отрицательная картина по визуализации легких

Оксигенотерапия, CPAP и НИВЛ

- Наиболее частое мероприятие для коррекции гипоксемической дыхательной недостаточности
- Нормальная сатурация как наиболее часто используемый параметр не исключает гипоксемии

Обоснование ОКСИГЕНОТЕРАПИИ

- Комнатный воздух имеет F (fraction - фракция) i (inspiratory - вдыхаемый) O_2 (кислорода) или FiO_2 21% или 0,21
- Данный показатель можно довести до 100% или до 1,0
- Доставка кислорода гемоглобином детерминируется альвеолярным pO_2
- В норме при повышении pAO_2 наблюдается рост paO_2
- При развитии гипоксемического типа ДН такой зависимости нет



1-4 л/мин,
точного
контроля F_iO_2
осуществить
НЕВОЗМОЖНО



4-15 л/мин, F_iO_2 примерно
от 30 до 70%, но
определить также точно
НЕВОЗМОЖНО



+ эффект
Вентури, поток
до 35 л/мин,
ТОЧНЫЙ
контроль F_iO_2

Цель оксигенотерапии (маска)

- Плавающая величина
- Критическое соотношение $p/F < 300$, определить истинное значение можно только при точном определении F_iO_2 , следовательно только на атмосферном воздухе можно знать соотношение p/F (или это можно делать на ИВЛ!)
- Обращать внимание на косвенные признаки гипоксемии (ажитация, делирий, признаки нарушения периферической перфузии)

СРАР и НИВЛ

- В условиях COVID 19 своей эффективности и - более того - показали свою опасность аэрозольного загрязнения

Мониторинг газового состав крови и КОС

Напряжение кислорода в крови

- Эквивалент парциального давления кислорода в крови
- Зависит от парциального давления кислорода в альвеолах, альвеоло-капиллярной диффузии, фракции шунта и температуры
- Ключевой параметр
- Связан с сатурацией через кривую диссоциации оксигемоглобина (замена понятий возможна при знании информации о реальном p_{50})

Напряжение углекислого газа в крови

- Эквивалент парциального давления
- Зависит от альвеолярной вентиляции, продукции CO₂, температуры и метаболических показателей
- Не зависит от шунта
- Альвеоло-капиллярный градиент незначителен (высокий коэффициент Бунзена)
- Ключевой параметр как газового состава, так и КОС
- Ассоциирован с концентрацией CO₂ во внеклеточной жидкости

Общее содержание кислорода в крови

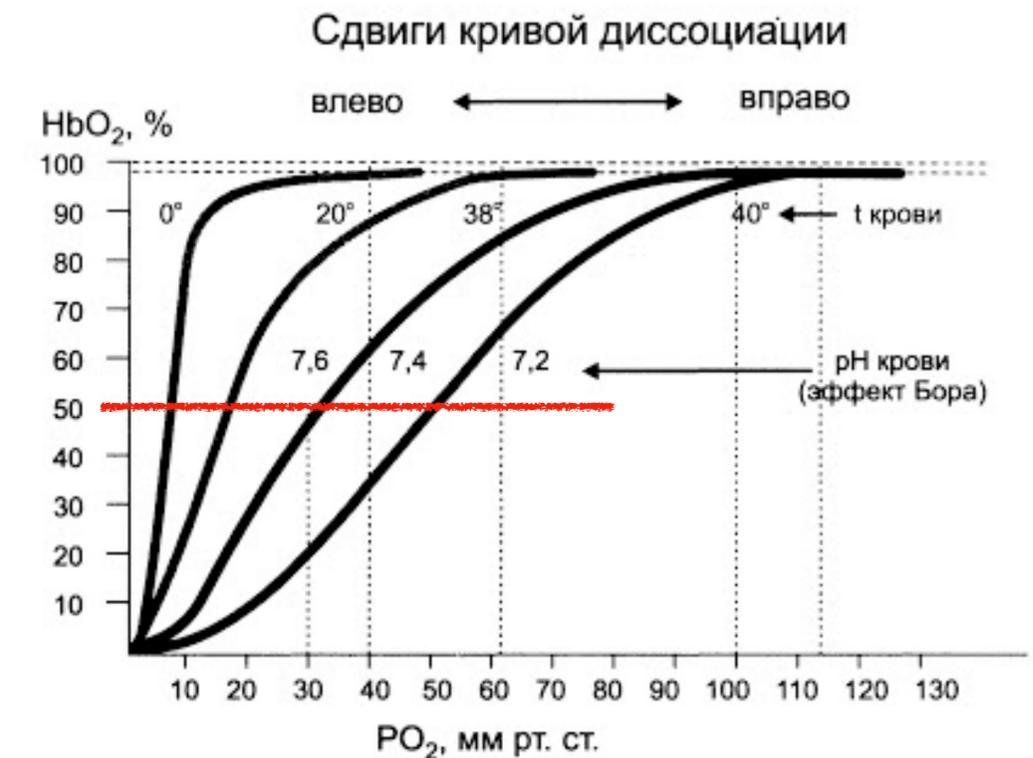
- При измерении сердечного выброса позволяет рассчитать DO_2
- Объемные проценты = кол-во газа в мл в 100 мл крови
- Нужны данные из уравнения
- $ctO_2 = PaO_2 \times 0,0039 + 1,39 \times Hb \times (So_2/100)$ (content total - ct)

Респираторный индекс в анализе газового состава крови

- Не идентичен индексу Горовицу (p/F)!
- Результат в процентах
- Чем выше, тем хуже газообмен
- **$RI = [(PAO_2 - paO_2) / PaO_2] \times 100$**

p50

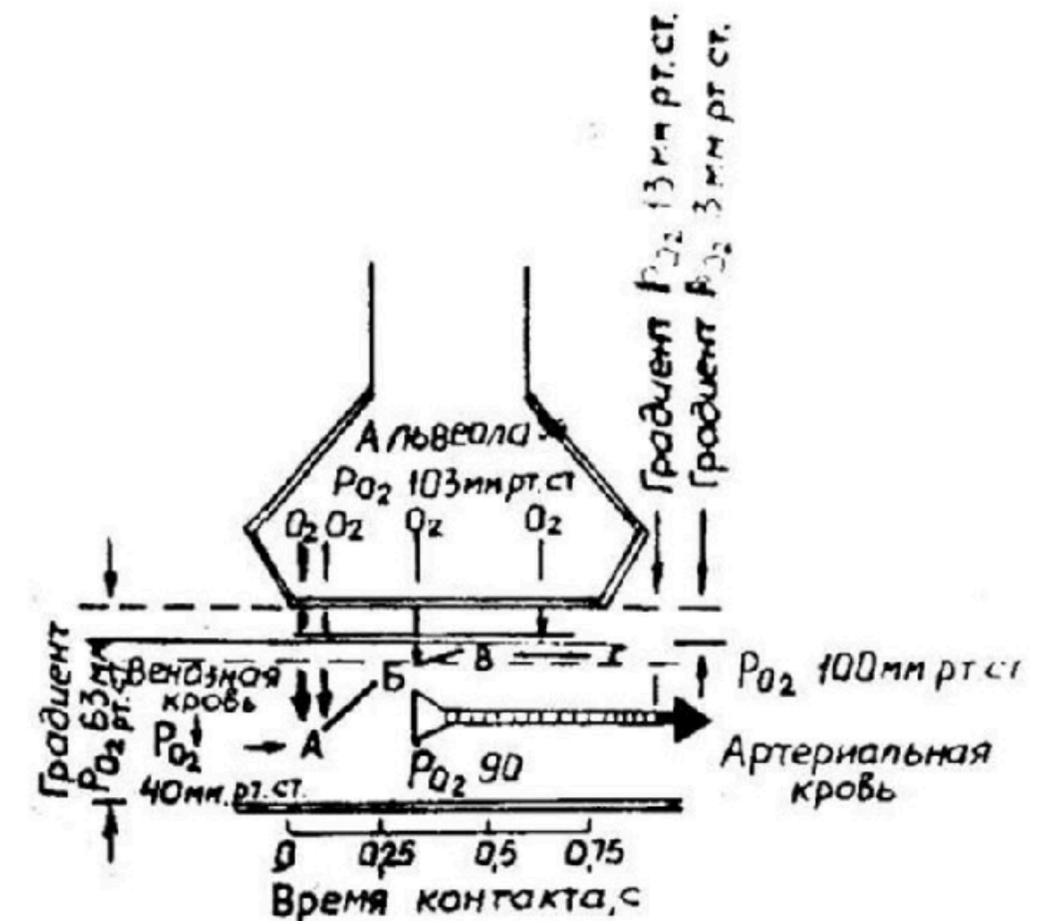
- Характеристика сдвига кривой диссоциации оксигемоглобина
- Норма 24-28 мм рт ст
- Напряжение кислорода, обеспечивающее 50% сатурацию
- Показатель снижается при алкалозе, гипотермии, гипокапнии, метгемоглобине, карбоксигемоглобине и снижении концентрации 2,3-ДФГ



Сдвиг влево - легче насыщение кислородом: <t; <Pco₂; <2,3-ДФГ; >рН
Сдвиг вправо - легче отдача кислорода: >t; >Pco₂; >2,3-ДФГ; <рН,

Альвеоло-артериальная по кислороду AaDO₂

- Характеристика между парциальным давлением в альвеолярном газе (расчетным) и напряжением кислорода в артериальной крови
- Норма на воздухе 7-13 мм рт ст (молодые)
- на 100% кислороде 35-45 мм рт ст
- Чем выше, тем хуже
- $AaDO_2 = PAO_2 - PaO_2$



Динамика перехода кислорода из альвеолы в капилляр

pH

- Молярная концентрация ионов водорода
- Чем больше, тем ниже концентрация H в крови
- Норма 7,35-7,45
- Жесткая константа

BE - избыток (недостаток) оснований

- Количество сильного основания или сильной кислоты, необходимое добавить для приведения pH к 7,4 при $p\text{CO}_2$ 40 мм рт ст
- Метаболический компонент КОС
- Зависит от суммарной емкости всех буферов
- Используется для расчета растворов коррекции КОС

Показатель ВЕ на внеклеточную жидкость

- VE_{esf} - метаболический компонент КОС
- Не зависит от концентрации гемоглобина и белка
- $VE_{esf} = 16,2 \times (pH - 7,4) - 24,8 + cHCO_3$

ВВ - суммарный вклад в КОС всех буферов

- Сумма фиксированных катионов минус сумма фиксированных анионов
- Норма 48-49 ммоль/л

Бикарбонат - молярная концентрация гидрокарбонатного иона

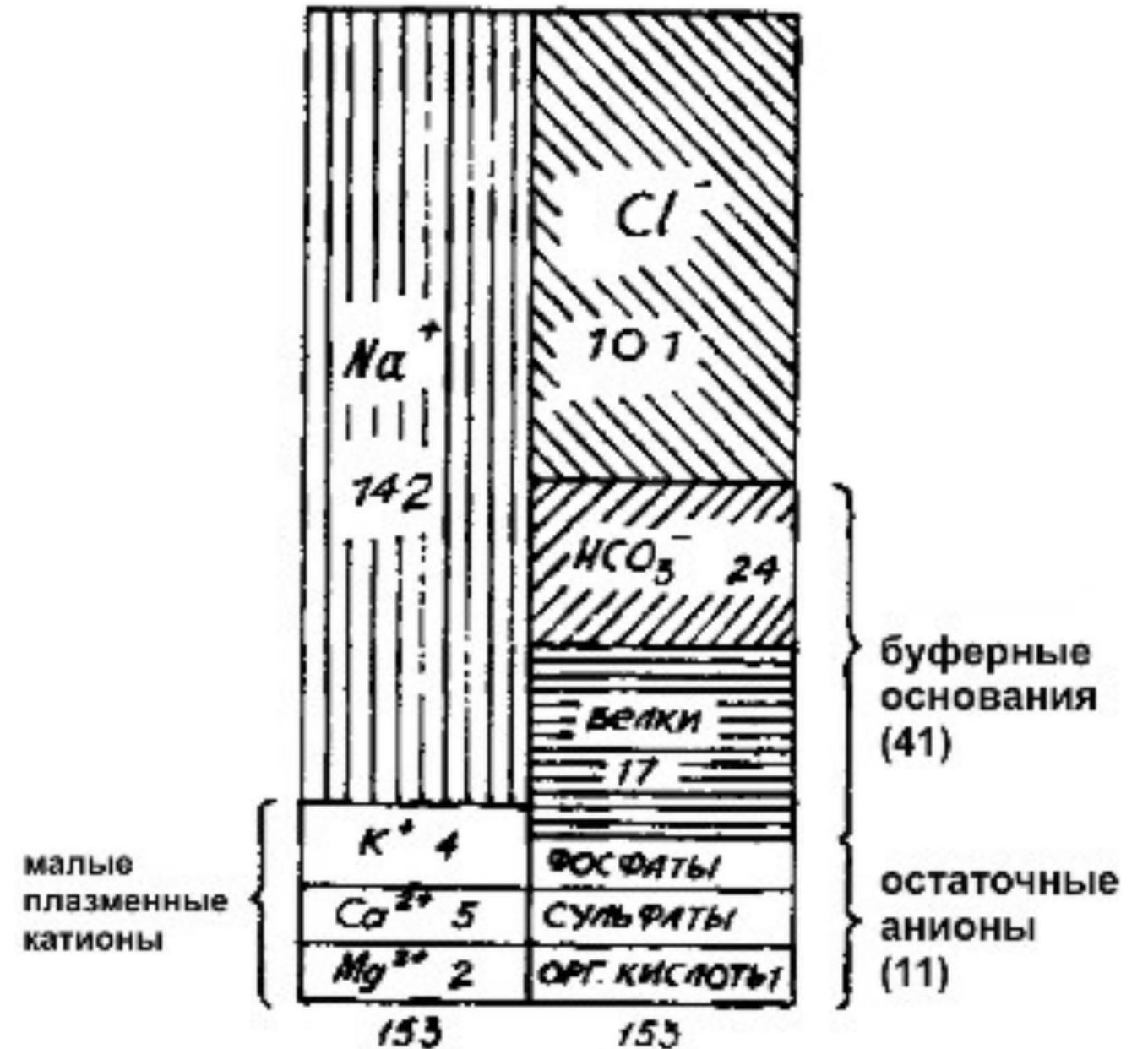
- Ключевой показатель метаболического компонента КОС
- Расчетный показатель
- Норма 24-26 ммоль/л
- **$\text{HCO}_3 = \text{PaCO}_2 \times 0,0307 \times 10 \text{ (pH-6,1)}$**

Параметры

- act - actual (при данной фактическом уровне газового состав крови)
- st - standard (приведенный к стандартным условиям, то есть pCO₂ 40 мм рт ст и температура 37С)
- ecf - extracellular fluid (перерасчет на внеклеточную жидкость)
- t - temperature (перерасчет на температуру)
- ct - content total (общее содержание)

Диаграмма Гембла

- Закон электронейтральности



Концепция Стюарта

- Кислота - то что повышает уровень ионов водорода
- Количество ионов H не прямо пропорционально pH
- Плазма содержит сильные ионы, слабые кислоты и летучие буферы
- Плазматические мембраны могут быть полунепроницаемы, что создает вероятность вариабельность ионной разницы

Уравнение электронейтральности

- Разница сильных ионов (SID)
- $SID = Na + K - Cl - I_{ac}$ - неопределяемые ионы

Нарушения КОС по Ван-Слайку

- Метаболический ацидоз (гипокапния да/нет)
- Метаболический алкалоз (гиперкапния да/нет)
- Острый респираторный ацидоз
- Хронический респираторный ацидоз (с компенсаторным повышением гидрокарбоната)
- Острый респираторный алкалоз
- Хронический респираторный алкалоз (с компенсаторным снижением гидрокарбоната)
- Метаболический ацидоз в сочетании с гиперкапнией
- Метаболический алкалоз в сочетании с гипокапнией

**Первичные
респираторные
нарушения**



**Пройодимость ДП
Параметры вентиляции
Исправность ИВЛ**

**Первичные
метаболические
нарушения**



**Ацидоз или алкалоз
Компенсация
Что компенсирует
Гидрокарбонат, хлориды, SID**

Прон позиция

- Положение тела на животе

Обоснование

- При ОРДС наиболее ателектазированы дорсальные участки лёгких. При повороте больных на живот происходит расправление поражённых альвеол, что ведёт к улучшению газообмена и увеличению оксигенации артериальной крови. В prone-позиции вначале (в среднем в течение первых четырёх часов) происходит увеличение индекса PaO_2/FiO_2 , которое коррелирует с количеством расправленных альвеол.
- На альвеолы, как и на кровь, действует сила тяжести. Чем отечнее альвеолы, тем значительнее влияние градиента гравитации, и тем больше отличается плотность нижележащих альвеол от плотности вышележащих. Большее влияние силы тяжести на нижележащие альвеолы приводит к их большей деформации, ателектазированию и выключению из процесса вентиляции (феномен «губчатого легкого»)
- При повороте больного на живот наблюдается постепенное перераспределение плотности стенок альвеол от дорсальных к вентральным частям лёгких. Наступает состояние, оптимальное с точки зрения соотношения вентиляции и перфузии.
- Дальнейшее снижение оксигенации происходит из-за ателектазирования уже вентральных участков. Вентральных альвеол меньше, чем дорсальных, PaO_2/FiO_2 остаётся выше исходного уровня.

P Repare

- 7 personnel
- 1 slide sheet
- 5 ECG dots
- 6 pillows
- Tube tie
- 1 bedsheet
- 1 spigot
- Red bungs
- Head jelly
- Eye tape & pads

P Lan

- Sedated + paralysed?
- Eyes taped closed?
- Anchorfast removed + tube tied?
- NG feed stopped and disconnected?
- CVP transducer disconnected?
- Urinary catheter disconnected and spigoted?
- Removed unnecessary infusions?
- Remove ECG dots and leads?
- Disconnect BP cuff / BIS / Temp cables
- Disconnect and spigot arterial line

P Perform

- Count in and go!
- Check ventilation
- Reconnect all monitoring once complete

P Protect

- Check all pressure areas
- Ensure no trapped cables
- Rotate head every 2h / ensure raised arm swapped frequently

P Perfect

Pillows

- Pillows central?
- Unimpeded abdominal expansion?
- Toes off bed?

Head & Tubes

- ET tube / NG kink free & position OK?
- Patient's head on jelly / ring?
- Eyes / nose free and no pressure?
- Ventilation OK?

Catheter

- Reconnect - running?

Arms

- Pressure points
- No over extension

Proned Patient

Airway control person

Tallest person

Next Tallest person

Shortest person

2 pillows

2 pillows

2 pillows

CRITICALCARE NORTHAMPTON.COM

@wilkinsonjonny

Персонал и подготовка
 План
 Перформанс
 (выполнение)
 Проверка

Особенности

- Дискомфорт для больного - договориться или обеспечить седацию
- Пролежни - подготовка валиков
- Сложность поворота больного - сбор команды
- Контроль за девайсами - сбор команды
- Тренировка!!!
- Контроль за гемодинамикой - возможность коллапса

Резюме

- Критический пациент - это сложная сумма десяти синдромов критических состояний
- При знании клинической патофизиологии синдромов критических состояний и возможности мониторинга мы можем лечить любого тяжелого больного!

Спасибо за внимание!