

КЛИНИЧЕСКАЯ ФИЗИОЛОГИЯ ДЫХАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ. --- ОСОБЕННОСТИ У ДЕТЕЙ.

БелМАПО

Кафедра Детской Анестезиологии и Реаниматологии

Разумович Иван Михайлович

2014

План:

- Анатомия ДС и её особенности у детей.
- Основы физиологии дыхания
- Легочное кровообращение
- Вентиляция на боку

АНАТОМИЯ СИСТЕМЫ ДЫХАНИЯ.

Общая информация

- Основная функция – газообмен
- Требования предъявляемые уже взрослым организмом к системе газообмена-поставка от 250 мл/мин O₂ в покое до невероятных 5500мл/мин при максимальной аэробной нагрузке (для среднего взрослого человека).
- Для этого ДС должна иметь специфическую структуру:

- В легких взрослого человека около 300 млн. альвеол, а диаметр каждой из них составляет около $1/3$ мм.
- Если бы альвеолы имели строго сферическую форму, то общая площадь их поверхности составила бы 85 м^2 (50-100) а общий объем— лишь 4 л.(2,5-3)
- Внутренняя площадь одиночной сферической структуры такого объема составила бы лишь $0,01 \text{ м}^2$

Трахея и бронхи у детей

- Старшие дети и взрослые – наиболее узкое место трахеи – голосовая щель, младшие дети - подсвязочное пространство (кольцо перстеневидного хряща)
- Главные бронхи – у взрослых левый длиннее и отходит под более тупым углом, диаметр его меньше, у детей до года углы отхождения от карины- одинаковые

Трахея:

У взрослых диаметр ~ 20мм

- Дети первого года жизни – ~ 3.5 мм у новорожденного (и менее для недоношенных), к 1 году – 6-6,5 мм, далее растет в диаметре чуть менее 1 мм за год жизни.
- Что обозначает номер интубационной трубки?

Номер интубационной трубки и ее размеры:

- Трубки Portex, без манжеты.



REF	Ø int.mm	Ø ext.mm	Fr	L.mm
520.40A	4.0	5.7	17	230
520.45A	4.5	6.2	18	230
520.50A	5.0	7.0	21	230
520.55A	5.5	8.0	24	270
520.60A	6.0	8.5	26	270
520.65A	6.5	9.0	27	270

Внешний диаметр производитель регулирует самостоятельно:

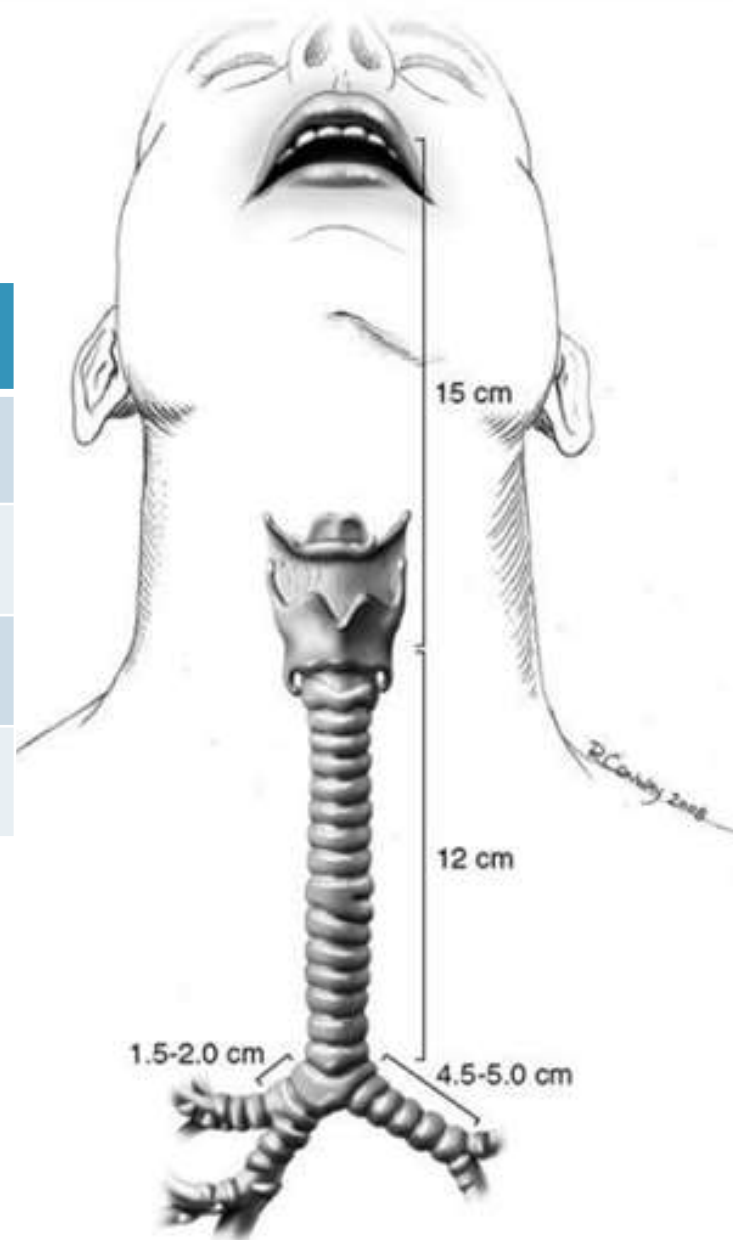
Innendurchmesser ID (mm)	Außendurchmesser (mm)			
	Microcuff Pädiatrie- tubus (mit Cuff)	Mallinckrodt Hi-/Lo- Contour (mit Cuff)	Mallinckrodt Contour (ohne Cuff)	Mallinckrodt Safety-Flex (mit Cuff)
3,0	4,1	4,3	4,3	5,0
3,5	4,8	4,8	4,9	5,2
4,0	5,4	5,6	5,6	6,2
4,5	6,1	6,2	6,2	6,7
5,0	6,7	6,9	6,9	6,9
5,5	7,3	7,5	7,5	7,5
6,0	8,0	8,2	8,2	8,2
6,5	8,7	8,8	8,8	8,8
7,0	9,3	9,6	9,6	9,6

Анатомия дыхательных путей

Заключение.

Ориентировочные анатомические размеры трахеи у детей

Возраст	длина	диаметр
новорожденные	4 см	3,5 мм
1 год	4,5	6
6 лет	6 см	9 мм
12 лет	7-8 см	10-12 мм



**Размеры дыхательных путей
соответствуют росту
больше, чем возрасту.**

Сопряжение между легкими и грудной клеткой

- Грудная клетка новорожденных в 2-6 раз более растяжима, чем легкие (у недоношенных – еще больше)
- С созреванием респираторной системы показатели растяжимости для легких и грудной стенки выравниваются
- У новорожденных остаточный объем легких поддерживается в том числе прерыванием потока выдыхаемого воздуха до полной релаксации дыхательных мышц. С 1-2 лет – этот механизм исчезает по причине уплотнения грудной стенки.

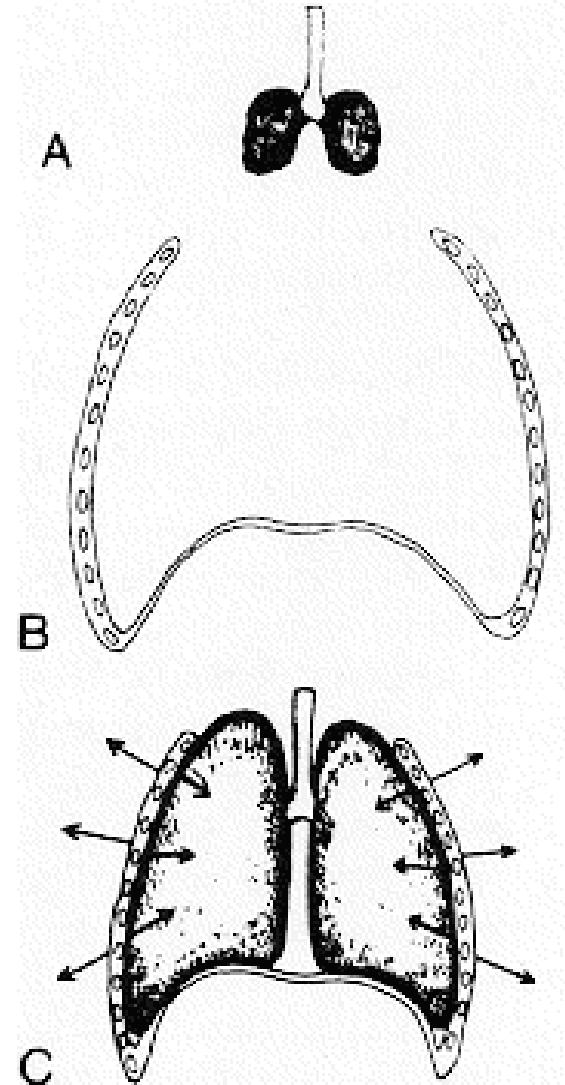


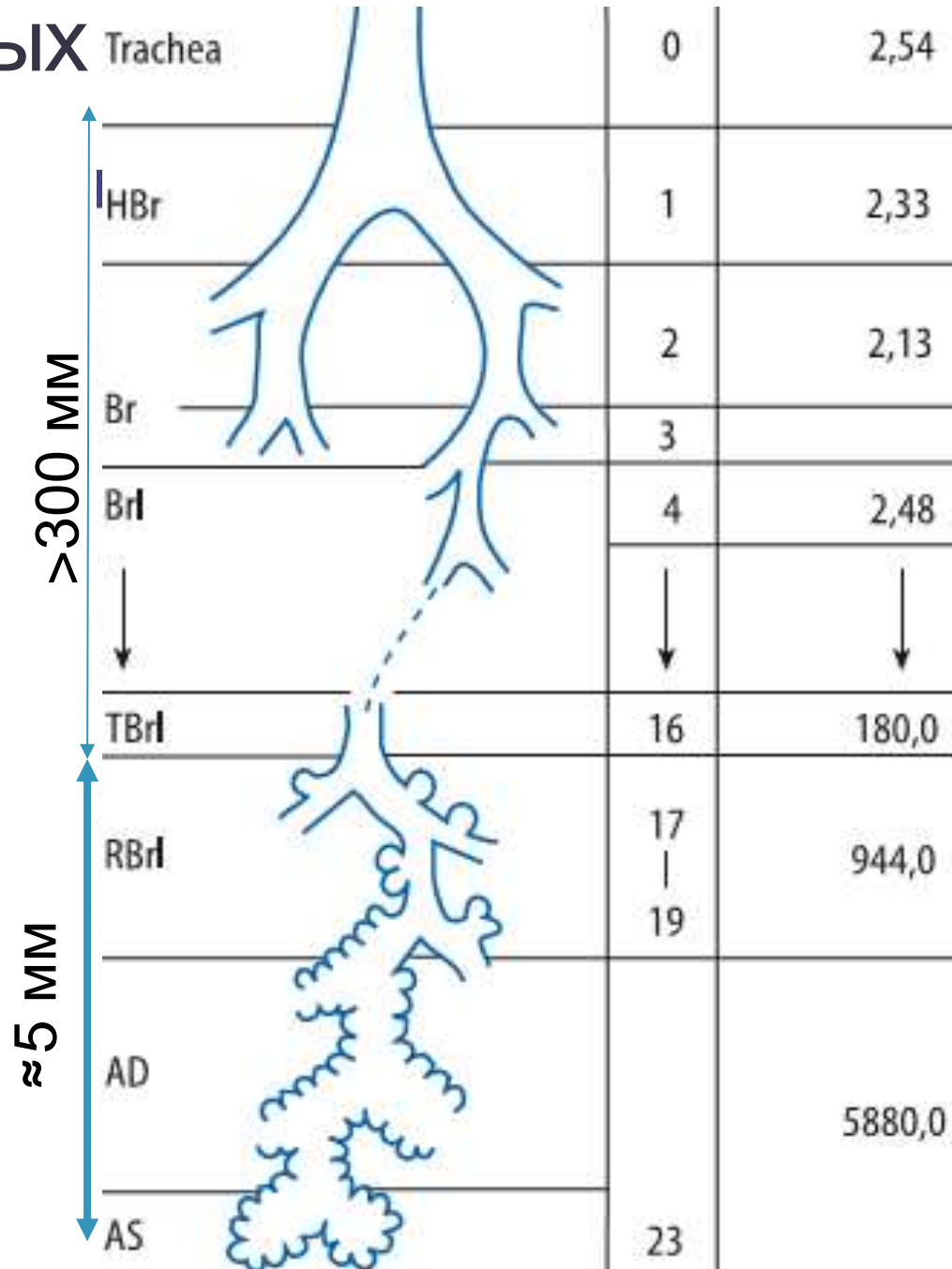
Схема воздухоносных путей по Вейбелю:

1) проводящая зона - дыхательные пути 0—16 порядков. Анатомическое мертвое пространство.

2) дыхательная зона - дыхательные пути 17—23 порядков.

Ацинус - анатомическая единица легких.

Расстояние от конечной бронхиолы до самой дальней альвеолы составляет порядка 5 мм

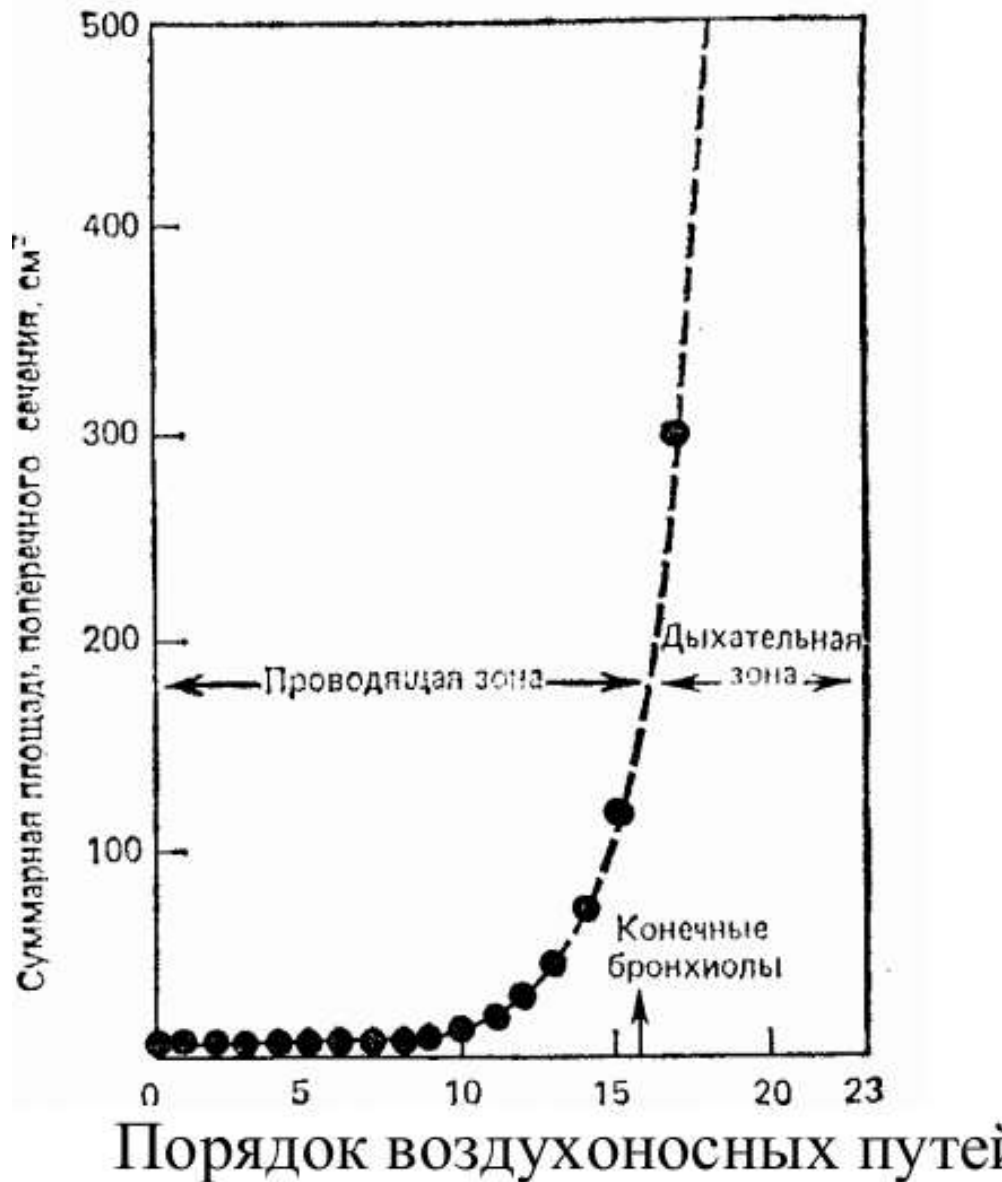


Сопротивление в дыхательных путях

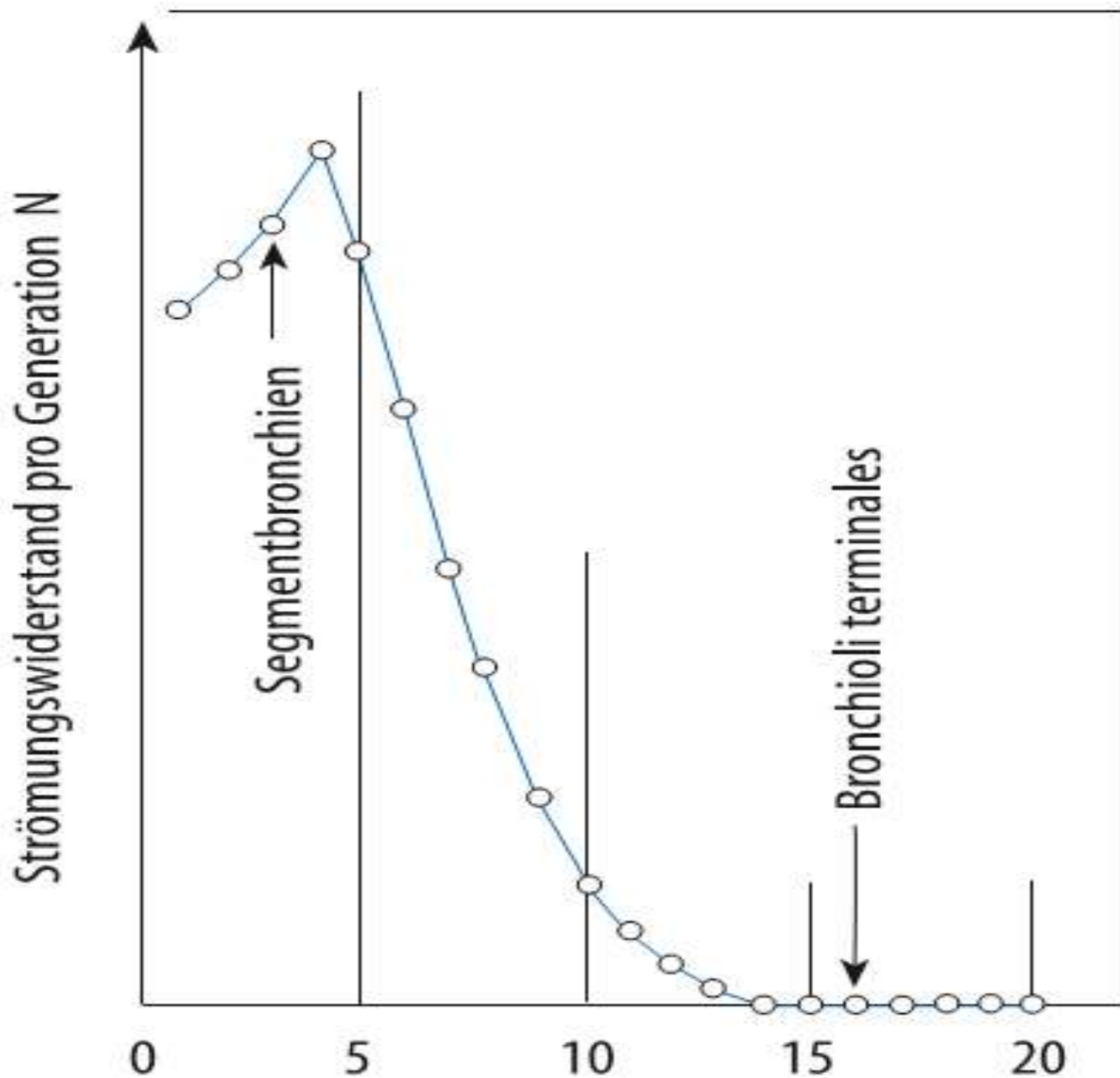
- По мере погружения в легочную ткань воздухоносные дыхательные пути сужаются, укорачиваются и увеличиваются в числе, их суммарная площадь возрастает, особенно значительно в дыхательной зоне.
- Они не участвуют в газообмене - анатомическое мертвое пространство (150 мл или 2 мл/кг).

Сопротивление дыхательных путей.

- Суммарная площадь дыхательных путей в дыхательной зоне резко возрастает, скорость потока воздуха замедляется (оседание пылевых частиц) перемещение воздуха – небольшое, основная роль в изменении газового состава переходит к диффузии. Разница концентраций газов в пределах ацинуса исчезает за 1 сек.



Суммарное сопротивление (резистенс) дыхательных путей в зависимости от генерации.



Сопротивление. Поток газа.

$$Q = \frac{\pi R^4 (p_1 - p_2)}{8\eta L}$$

- Q – скорость движения жидкости, газа
- R – радиус трубы
- $p_1 - p_2$ – разность давлений
- η – вязкость жидкости, газа
- L – длина трубы

Уравнение Хагена-Пуазейля (Poiseuille–Hagen equation)

- Универсальный физический закон
- Значение в клинике:
- Поток (жидкости или газа) \sim градиенту давлений

радиусу трубки⁴

1/ \sim

вязкости (жидкости или газа)

длине трубки

Водная реанимация!

Дыхательные пути маленьких детей!

ФИЗИОЛОГИЯ ВНЕШНЕГО ДЫХАНИЯ

Физиология дыхания:

Дыхание – сумма 3-х относительно независимых , но тесно взаимосвязанных процессов:

- Вентиляция
- Газообмен
- Кровообращение (перфузия)

Вентиляция

- Вентиляция – процесс доставки и удаления газа из альвеол.
- Из-за физико-химических свойств CO_2 обмен его прямо пропорционален альвеолярной вентиляции.

Альвеолярная вентиляция

- АВ-это часть V_t свежего газа за минуту который достигает альвеол и участвует в газообмене
- В газообмене участвует только та часть дыхательного объема (V_t) который достигает альвеол (V_A).
- Этот объем взятый за минуту и называется альвеолярной вентилиацией (\tilde{V}_A).
- Оставшаяся часть V_t – **анатомическое** мертвое пространство (V_D).
- Таким образом:

$$\tilde{V}_A = \text{МОД} (\tilde{V}_E) - \tilde{V}_D$$

$$\tilde{V}_E = V_t * \text{ЧД}$$

Значение:

- При неизменном МОД с увеличением частоты \tilde{V}_A уменьшится, значение мертвого пространства возрастает.

Пример:

- МОД=8 л/мин ЧД=16, тогда при $V_D=0,15$ л \tilde{V}_A составит 5.6Лл л/мин или 70% МОД.

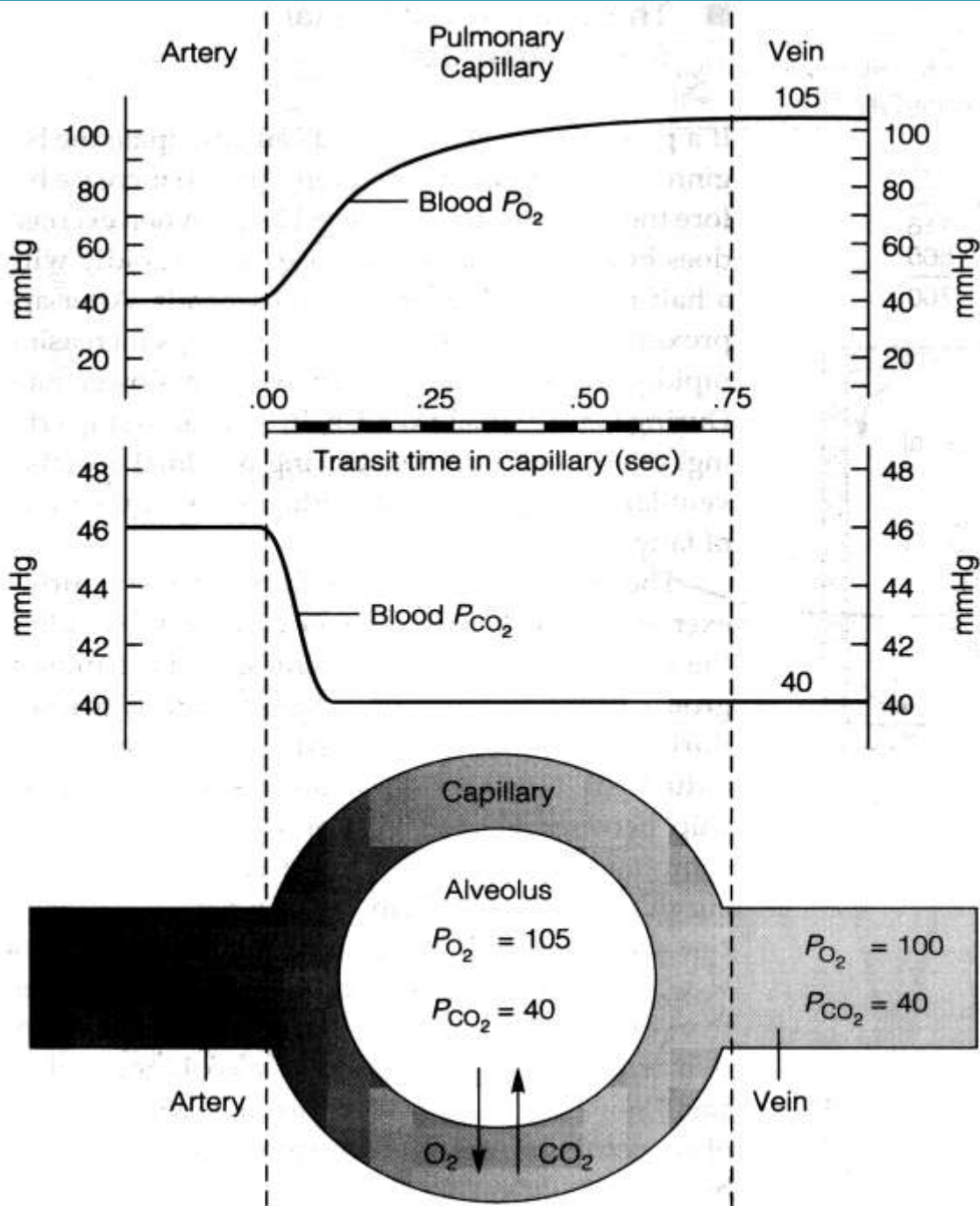
Теперь ЧД выросла ВДВОЕ до 32 в мин, тогда при неизменных МОД и V_D

\tilde{V}_A составит лишь 3.2 л/мин или **40%**МОД

Высокая частота с низким V_t – приведут к усталости дыхательных мышц, гипоксии и гиперкапнии.

Обмен CO₂

- Из-за физико-химических свойств CO₂ обмен его прямо пропорционален альвеолярной вентиляции.
- При нормальных легких CO₂ диффундирует практически НЕМЕДЛЕННО сквозь альвеоло-капиллярную мембрану, поэтому альвеолярное CO₂ (PACO₂) практически эквивалентно АРТЕРИАЛЬНОМУ напряжению CO₂ (PaCO₂).
- Исключение- наличие выраженного шунтирования.



Газообмен в легочных капиллярах: O_2 и CO_2

Скорость диффузии CO_2 в **23 раза** больше чем у O_2 .

Значение физиологического мертвого пространства. Уравнение Бора

$$\frac{V_d}{V_t} = \frac{P_a\text{CO}_2 - P_e\text{CO}_2}{P_a\text{CO}_2}$$

V_d – объем физиологического мертвого пространства

V_t – дыхательный объем

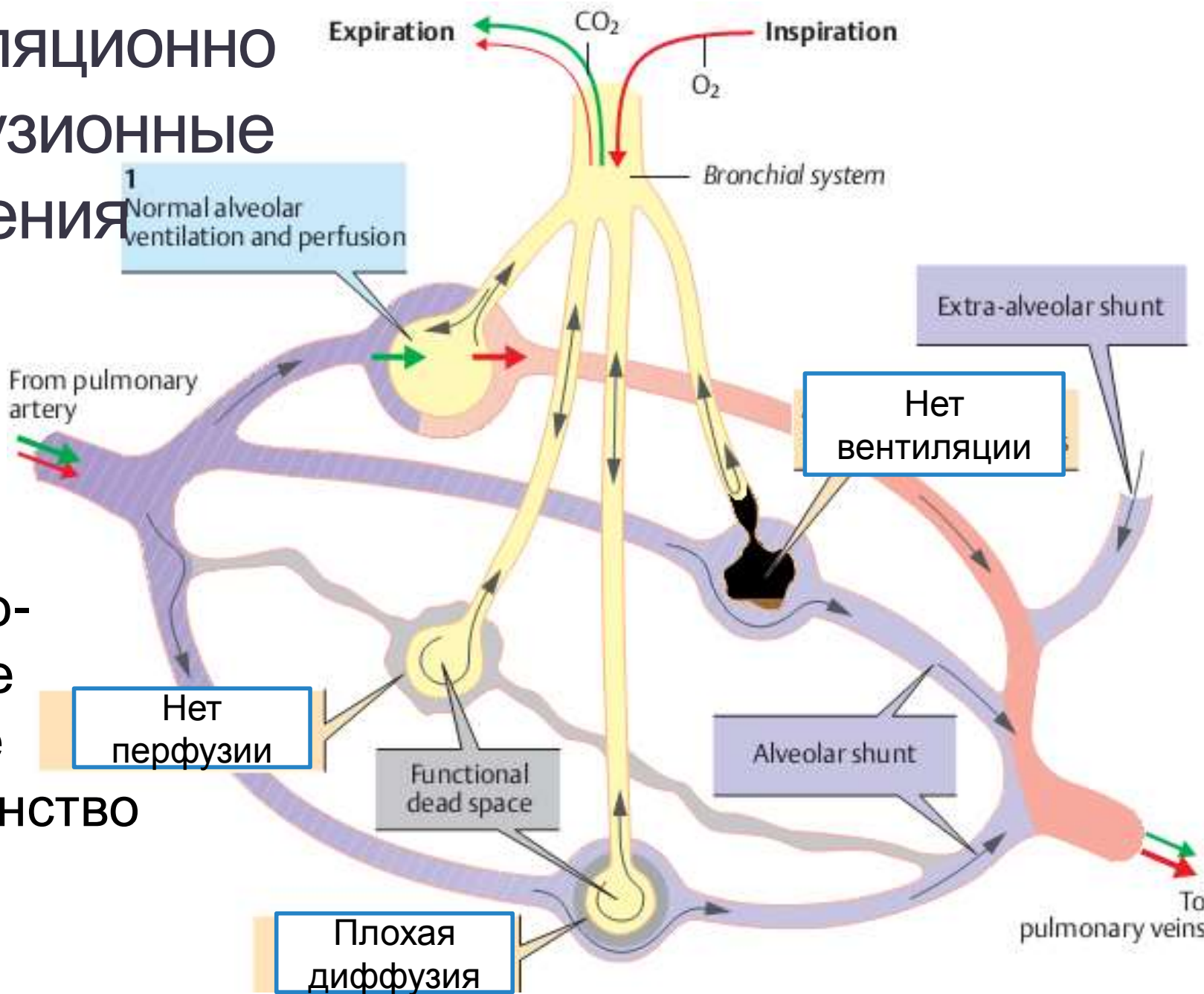
$P_a\text{CO}_2$ - артериальное PCO_2

$P_e\text{CO}_2$ - PCO_2 в выдыхаемом воздухе

При неизменном дыхательном объеме $P_a\text{CO}_2$ прямо пропорционально V_d , т.к. скорость диффузии CO_2 велика.

Вентиляционно-перфузионные отношения

Физиологическое мертвое пространство



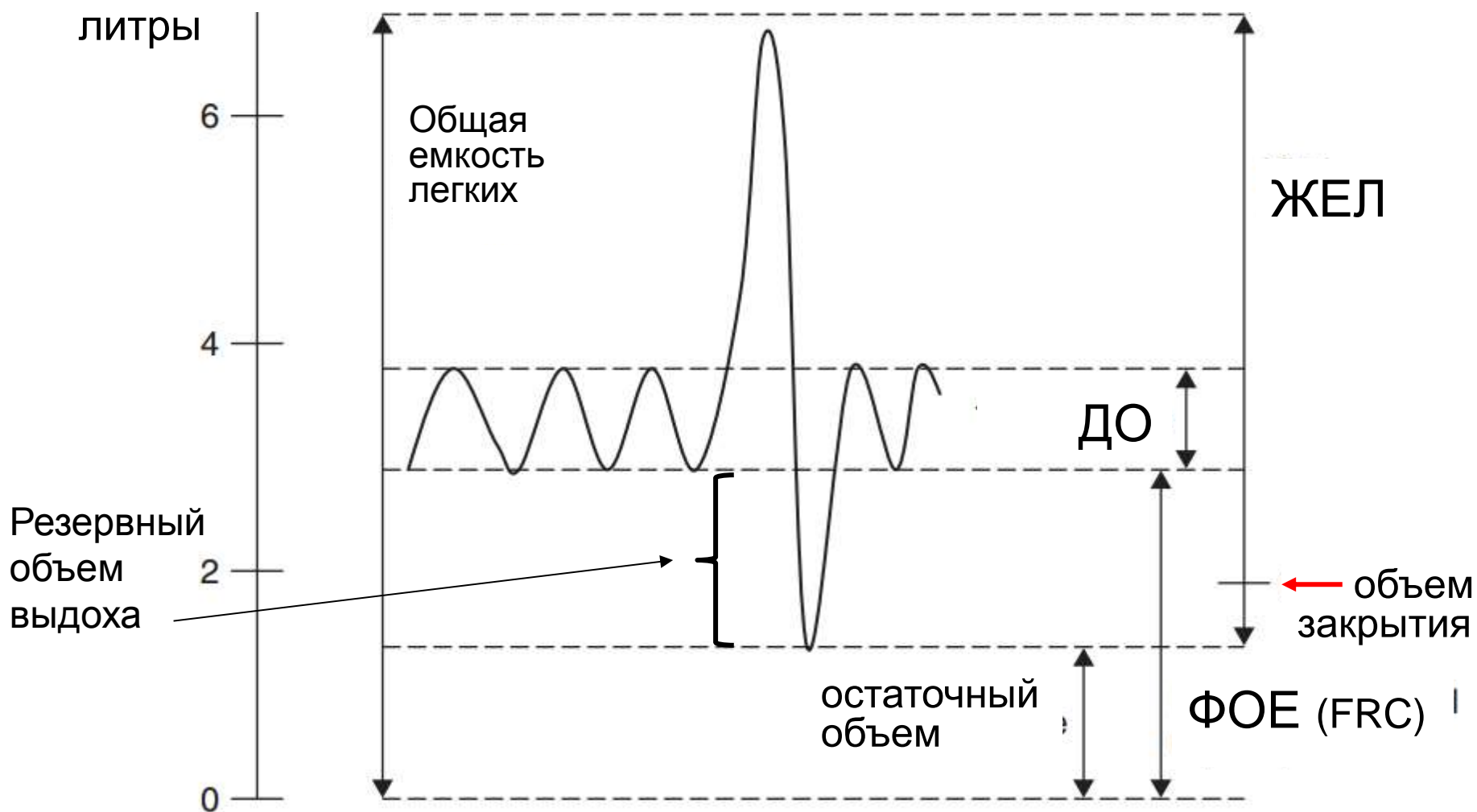
Практический вывод:

- $EtCO_2$ прямо пропорционально и адекватно отображает альвеолярную вентиляцию легких
- $EtCO_2$ зависит от шунтирования
- $EtCO_2$ практически не меняется при нарушениях диффузии

Основные показатели вентиляции:

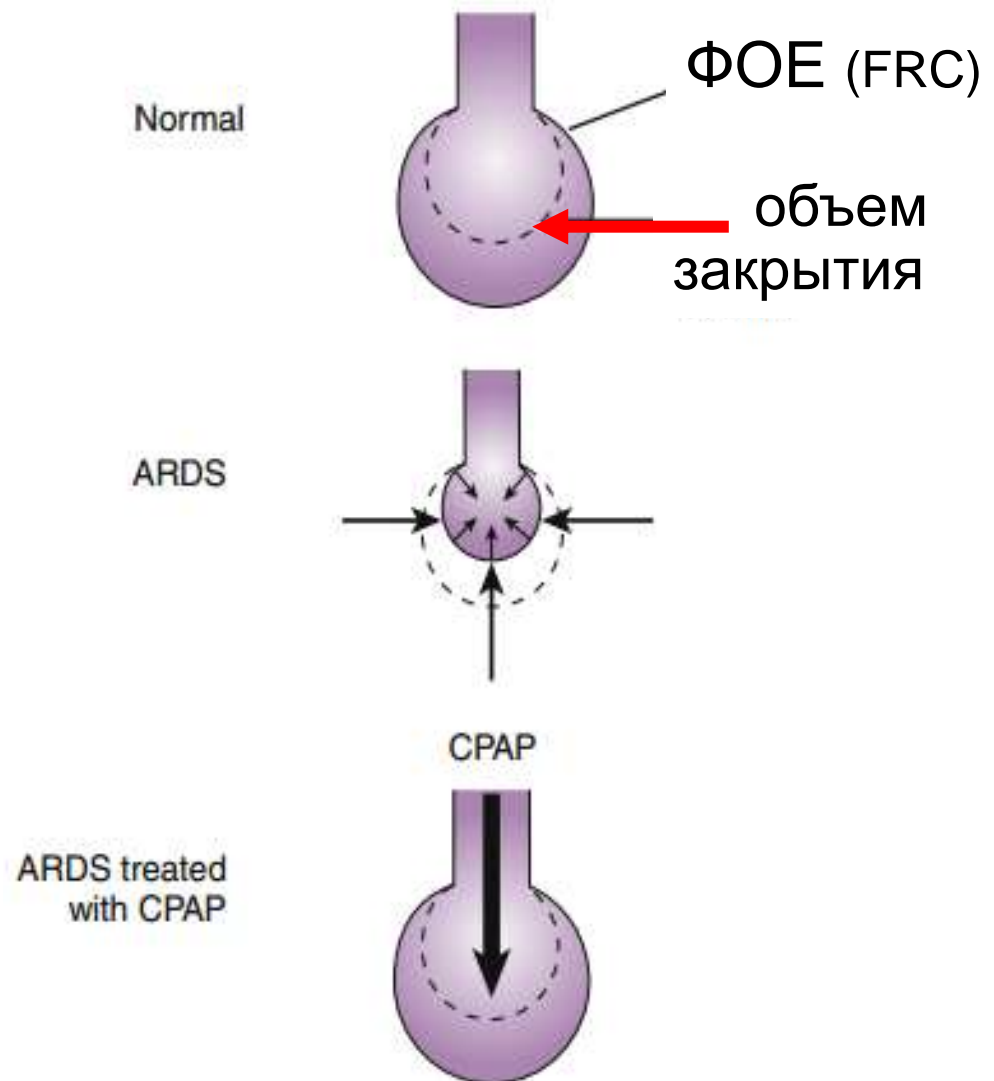
	Новорожденные	дети	взрослые
Vt -Объем вдоха	4–8 мл/кг Недонош:3-5 мл/кг	4–8 мл/кг	6–8 мл/кг
F- частота дыхания	20-60	20-30	12-20
MV – минутная вентиляция легких	240–480 мл/kg/min	240–480 мл/kg/min	5–8 л/ мин
C- комплайнс, (растяжимость)	1.5–2.0 мл/cmH ₂ O/кг	2.5–3.0 мл/cmH ₂ O/кг	100 мл/cmH ₂ O
R- резистенс (сопротивление)	20–40 cmH ₂ O/L/сек	20–40 cmH ₂ O/L/сек (до 2 лет)	1–2 cmH ₂ O/L/сек
ФОЕ – функциональная остаточная емкость легких	20–25 мл/кг	20–25 мл/кг	1.9–2.4 L

Основные параметры вентиляции:



Значение ПДКВ для поддержания ФОЕ и ОЗ

- ФОЕ (FRC) - функциональная остаточная емкость легких
- При уменьшении ФОЕ возможно закрытие части альвеол.

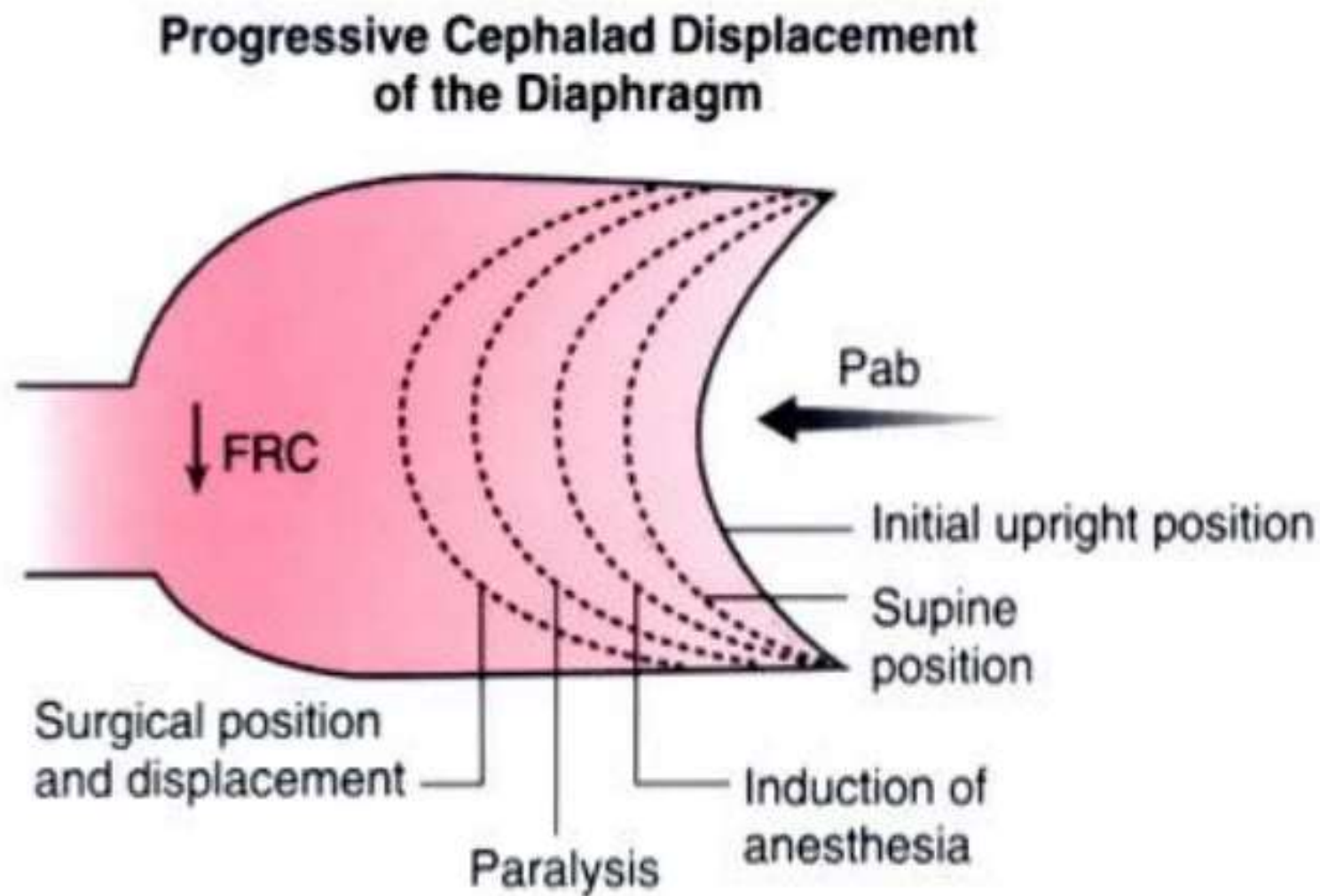


Функциональная остаточная емкость легких

ФОЕ (FRC – functional residual capacity)–
(2.5 л у взрослого, 20-25 мл/кг у детей) – основной
резервуар O₂ в организме – 21% от 2,5 л или 100%
после преоксигенации.

**В нем проблема
преоксигенации детей!**

Влияние анестезии на ФОЕ



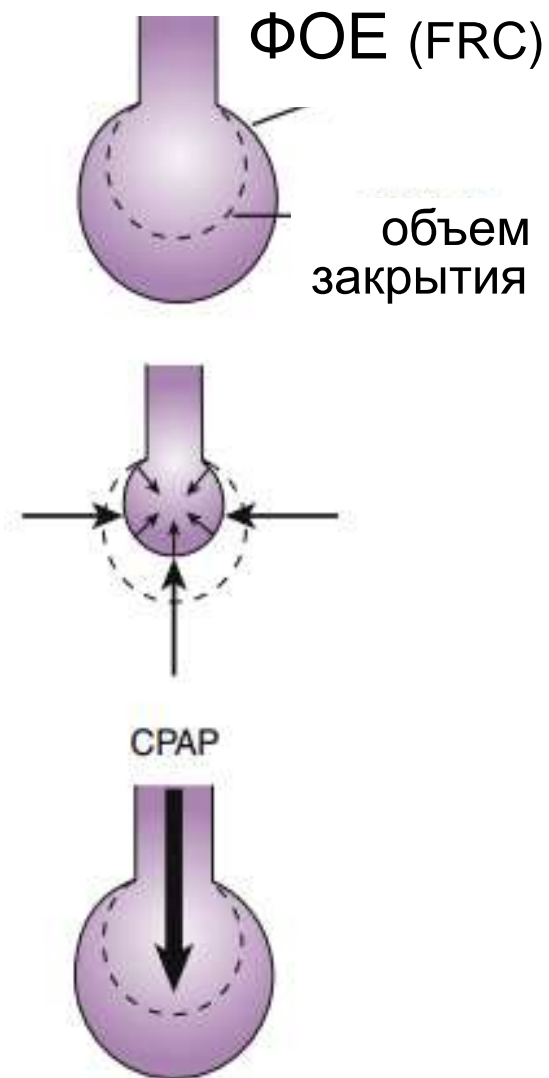
↓ ФОЕ

Положение на спине

- Ожирение
- Беременность
- Анестезия, даже при ИВЛ
- Рестриктивные поражения лёгких, отёк лёгких, пневмония, ателектаз, ОРДС и т.д.
- Новорождённые и маленькие дети (не развит каркас грудной клетки)

↑ФОЕ

- ПДКВ
- Повышение резистентности (преждевременного закрытия) ДП – астма, эмфизема
- Физические нагрузки (из-за постоянно повышенного тонуса мышц вдоха)



Дополнительные сложности:

Некоторые особенности физиологии дыхания новорожденных:

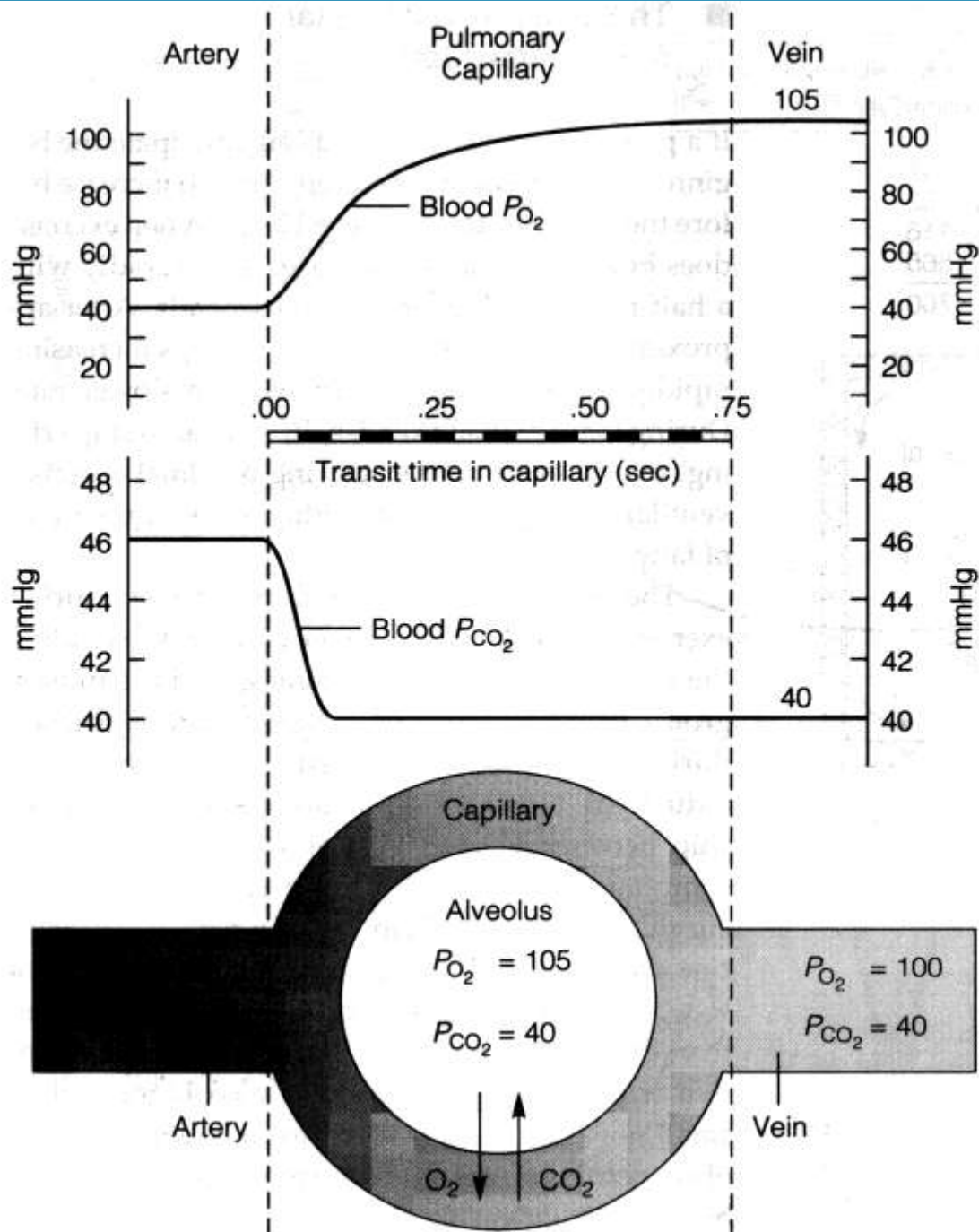
- У новорожденных периоды апноэ 2-10 сек это норма. У недоношенных они могут быть длиннее, исчезают в первые месяцы жизни.
- Потребление O₂ у детей – 6-7 мл/кг/мин, что в 1,5-2 раза больше чем у взрослых

Клинически важно:

1. Преоксигенировать ребенка до года получится на очень короткий период – (время на 1 попытку интубации).
2. ПДКВ в физиологических пределах облегчит вентиляцию и уменьшит вероятность ателектазирования.

Газообмен:

- Газообмен – переход (т.е. обмен) O_2 и CO_2 через альвеолокапиллярную мембрану путем диффузии.
- Первый закон Фика: Диффузия газа (объем диффузии газа) прямо пропорциональна площади и обратно пропорциональна толщине мембраны.
- Имеет значение время на диффузию, т.к. кровь в легочном капилляре в состоянии покоя находится 0,75 с.
- При максимальной нагрузке это время сокращается втрое.



Газообмен в легочных капиллярах (O_2 и CO_2)
Для транспорта O_2
 критично состояние альвеоло-капиллярной мембраны и кровообращения.

ЛЕГОЧНОЕ КРОВООБРАЩЕНИЕ

Физиология легочного кровообращения.

Легочное кровообращение:

- Система для большого потока с малым сопротивлением
- Строение: Альвеолярные и неальвеолярные сосуды

Неальвеолярные – проходят в паренхиме,

P крови в них зависит от объема легких и их эластической тяги на стенки сосудов

Альвеолярные – в основном капилляры - P крови в них зависит от соотношения внутрисосудистого и альвеолярного давлений

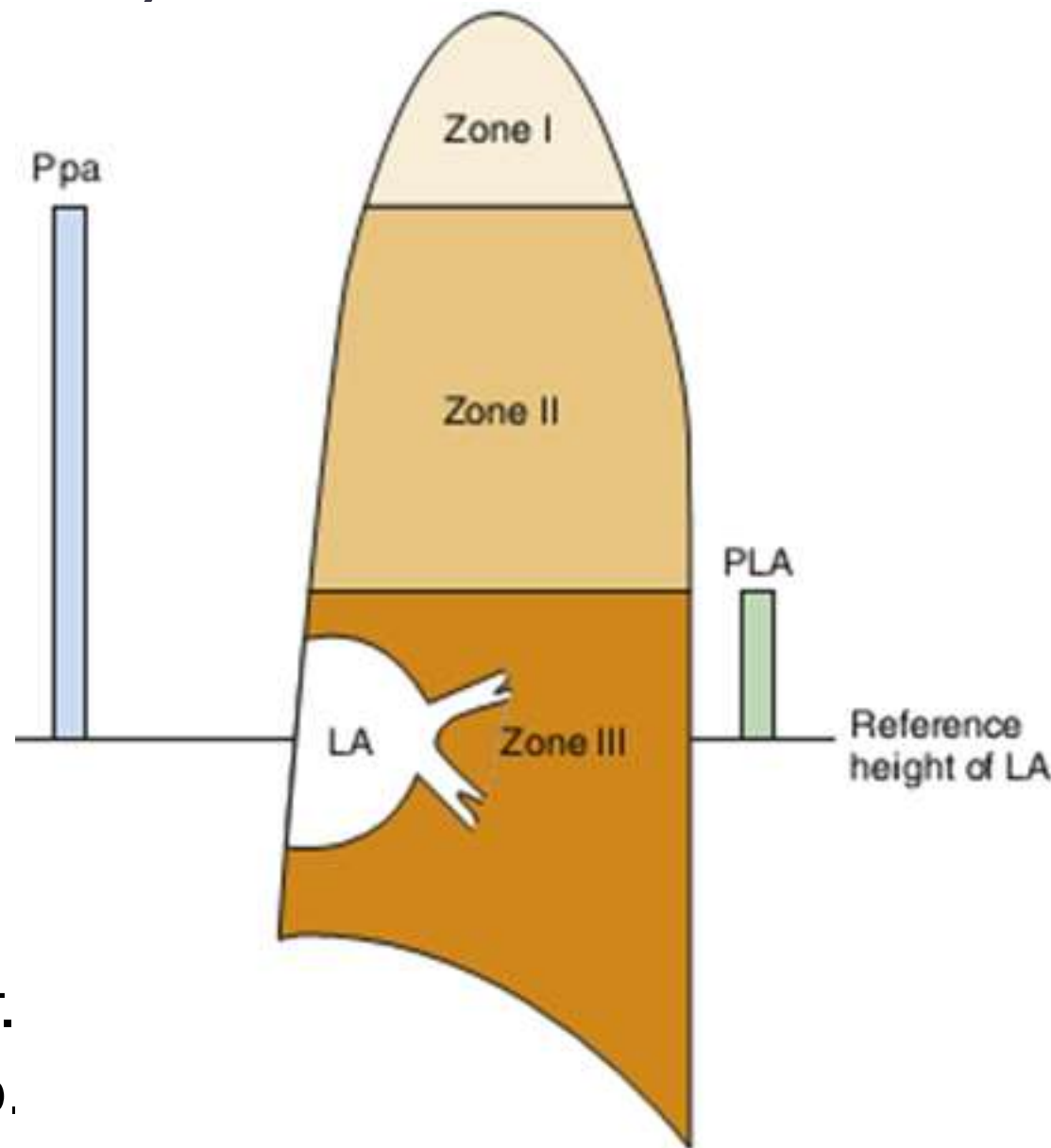
Зоны Уэста (West)

Распределение альвеолярных сосудов по факторам влияющим на давление в них.

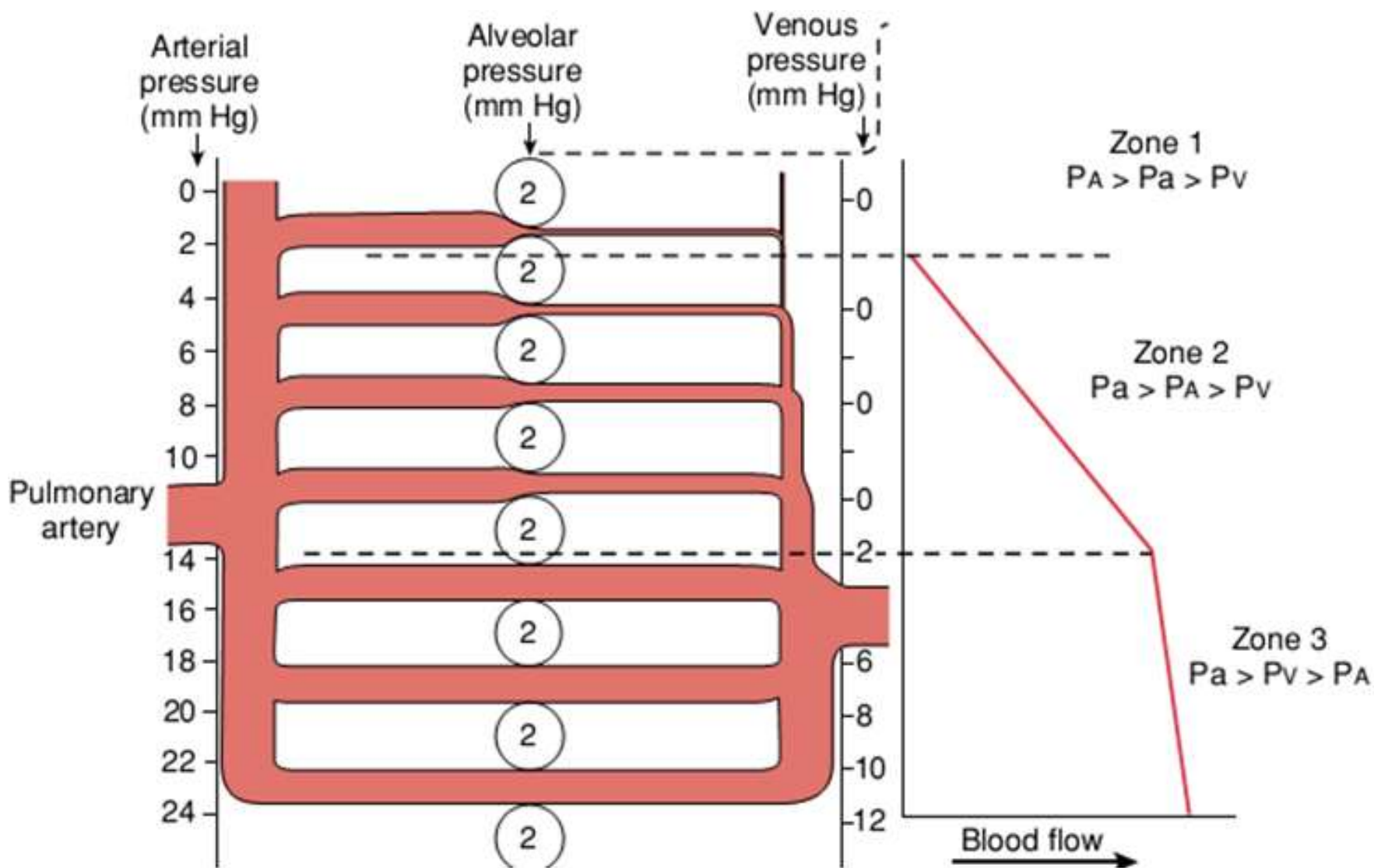
Важнейшая роль гравитации!

ΔP гидростатического верхушки и основания—
30 cmH₂O (23 mmHg)

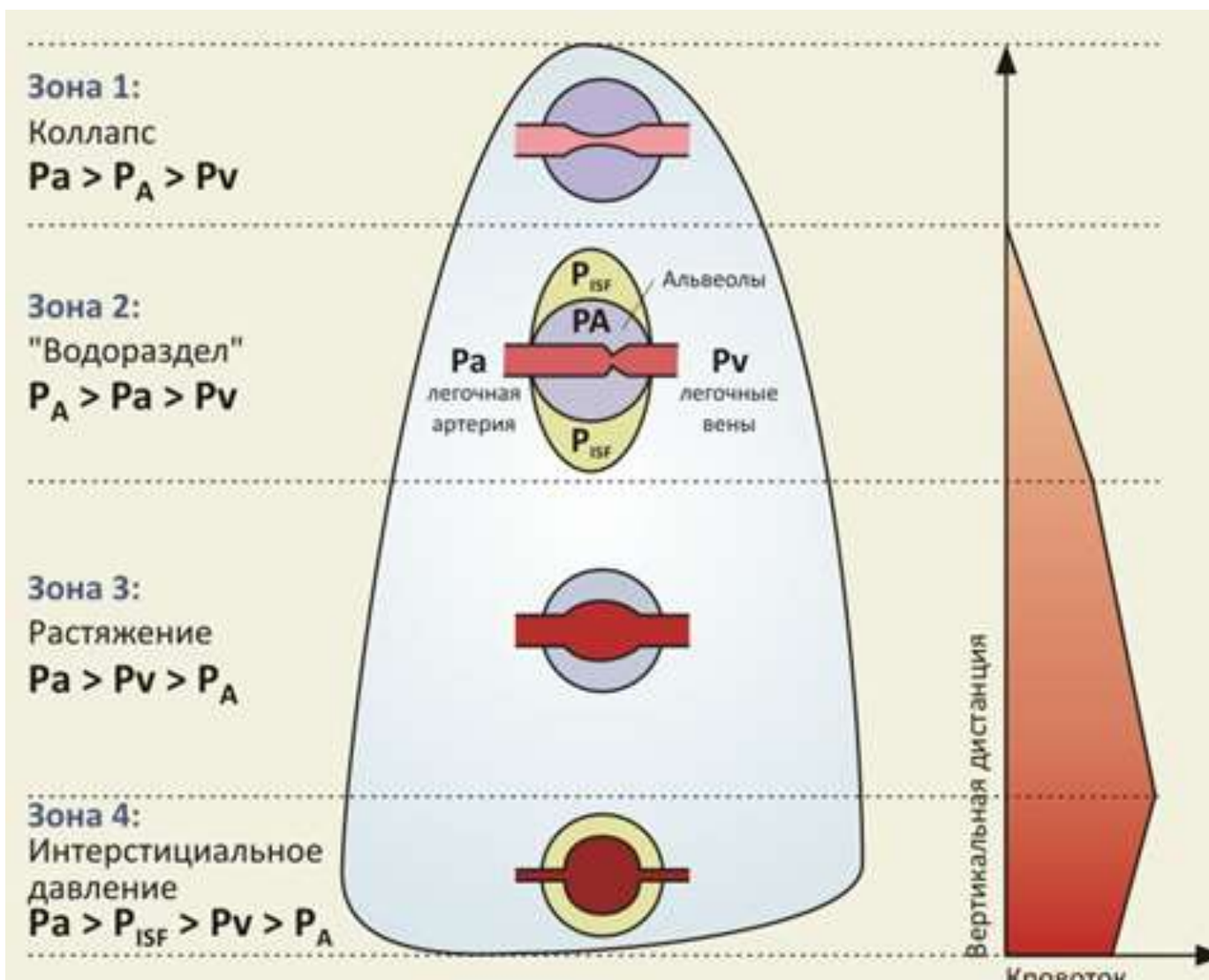
P_{pa} - давление в Лег.Арт.
 P_{LA} - давление в Лев.Пр.



Зоны Уэста (West)

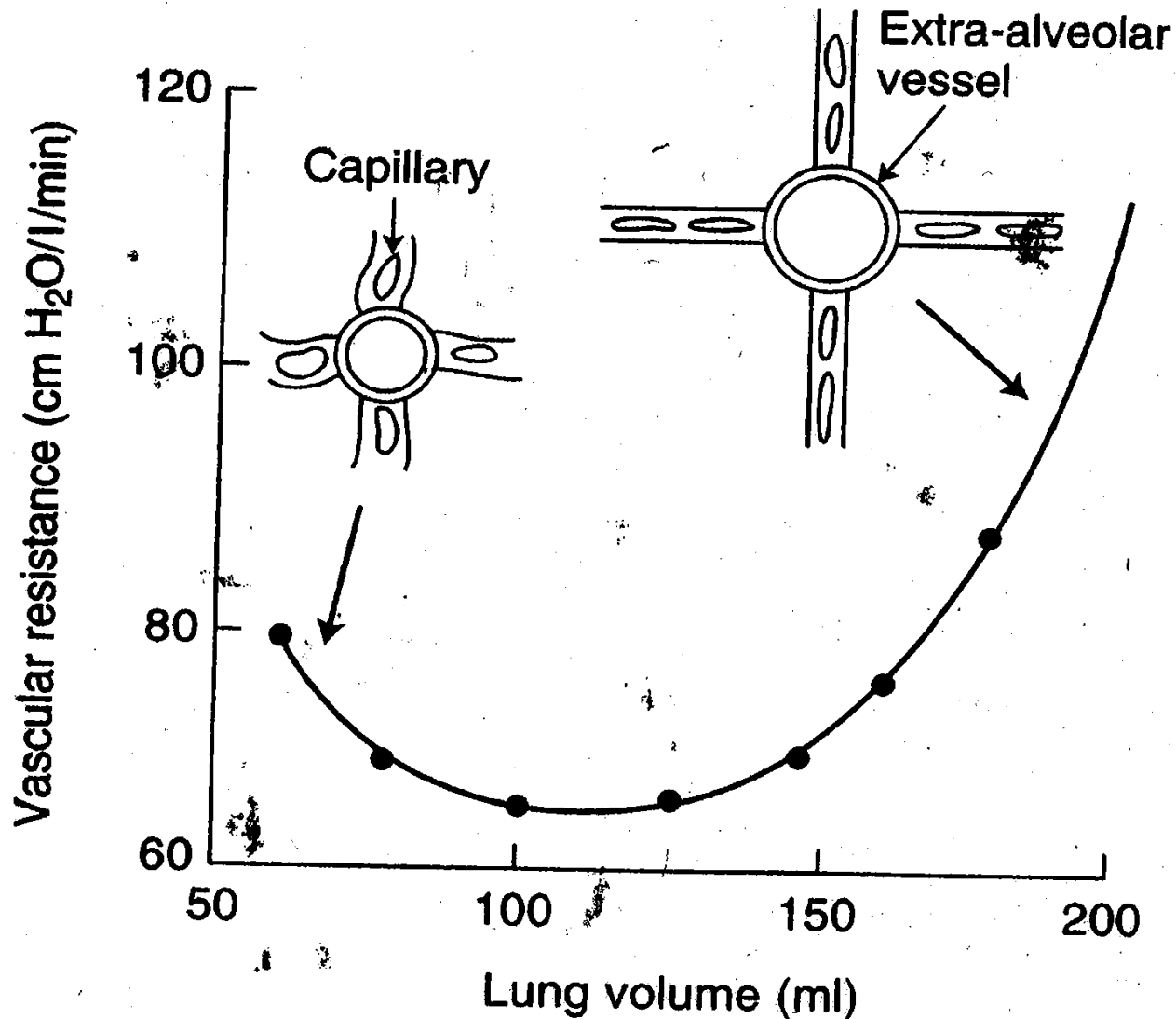


Зоны West-Gibson



Соотношение сосудистого сопротивления и объема легких

Оптимальный
объем 6-8 мл/кг



Практические выводы:

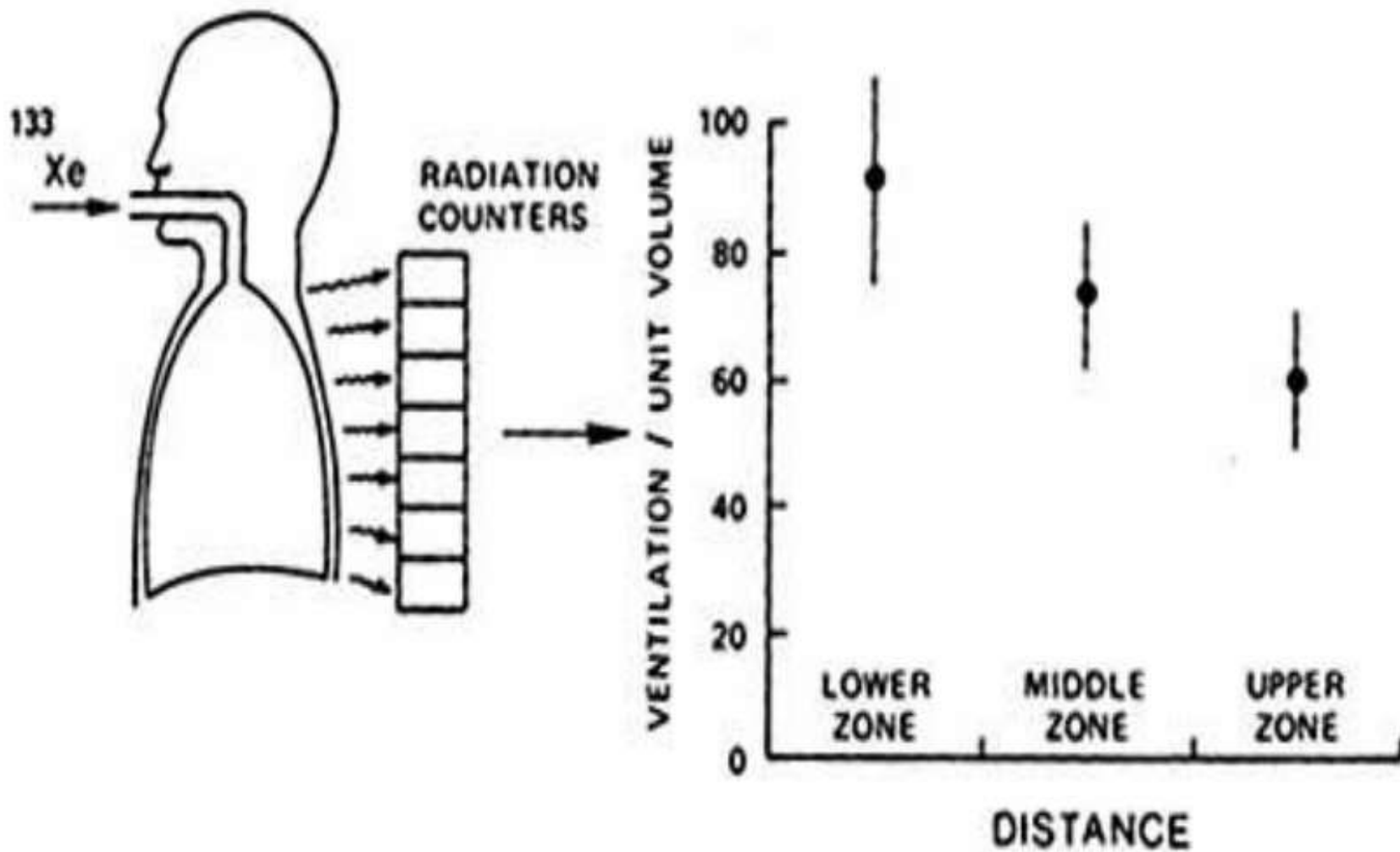
1) Гиповолемиа- расширение зоны I, шунт, умеренная гипоксия, коллапс гемодинамики **при ИВЛ**.

Гипоксия при гиповолемии на фоне здоровых легких лечится не только O₂ но и объемной нагрузкой + кардиотоник/вазопрессор в экстренных ситуациях.

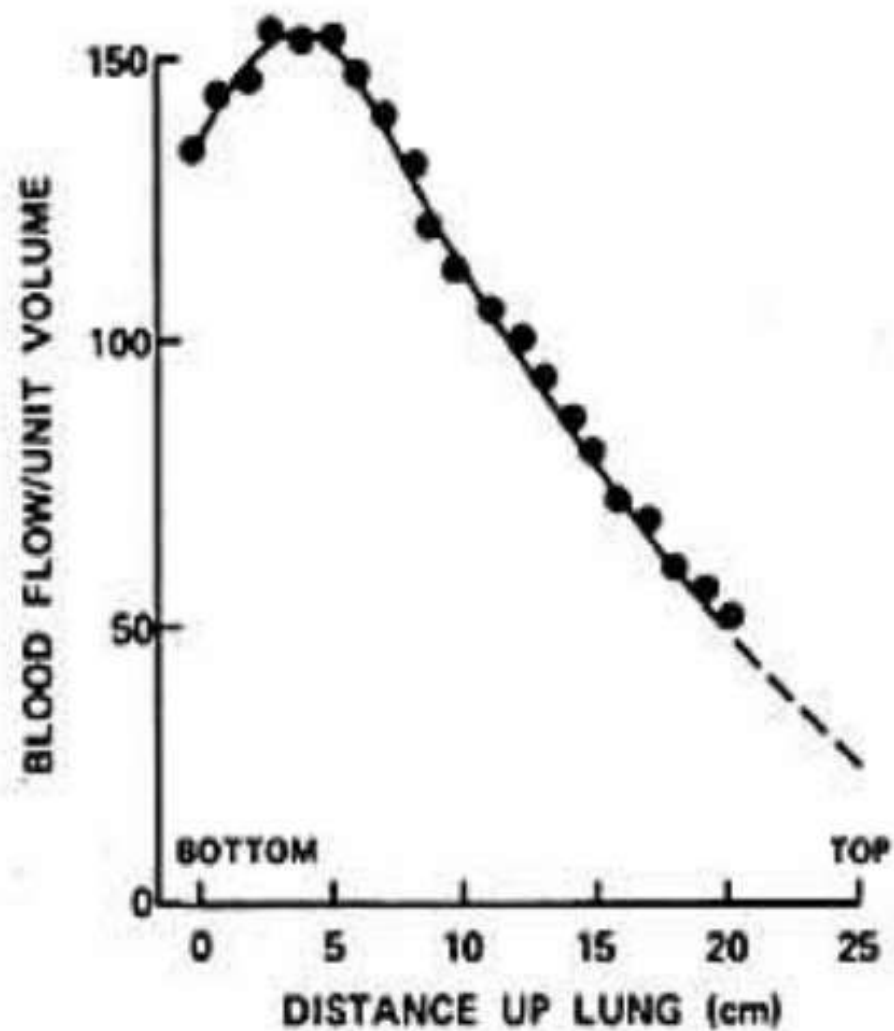
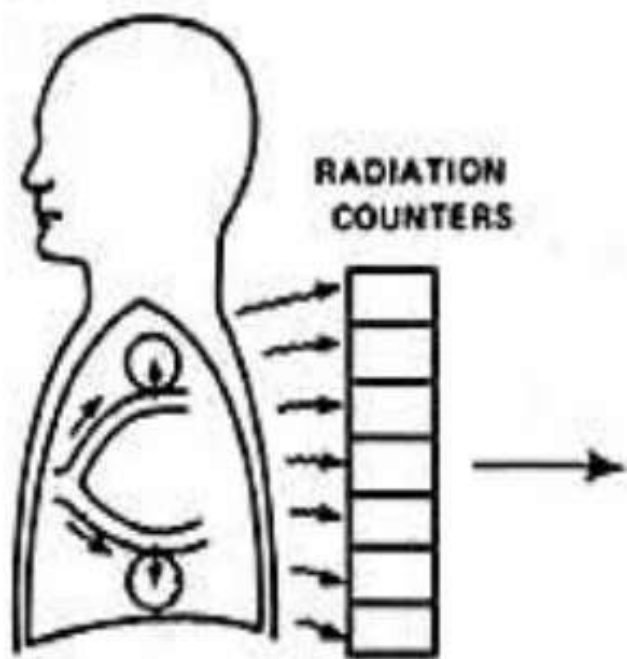
2) Шунтирование в зонах West 3-4. При значительном шунтировании (ОРДС) или нарушении соотношений V/Q- эффект от увеличения FiO₂ минимален – убрать факторы подавляющие ГЛВ.

ВЕНТИЛЯЦИОННО- ПЕРФУЗИОННЫЕ СООТНОШЕНИЯ

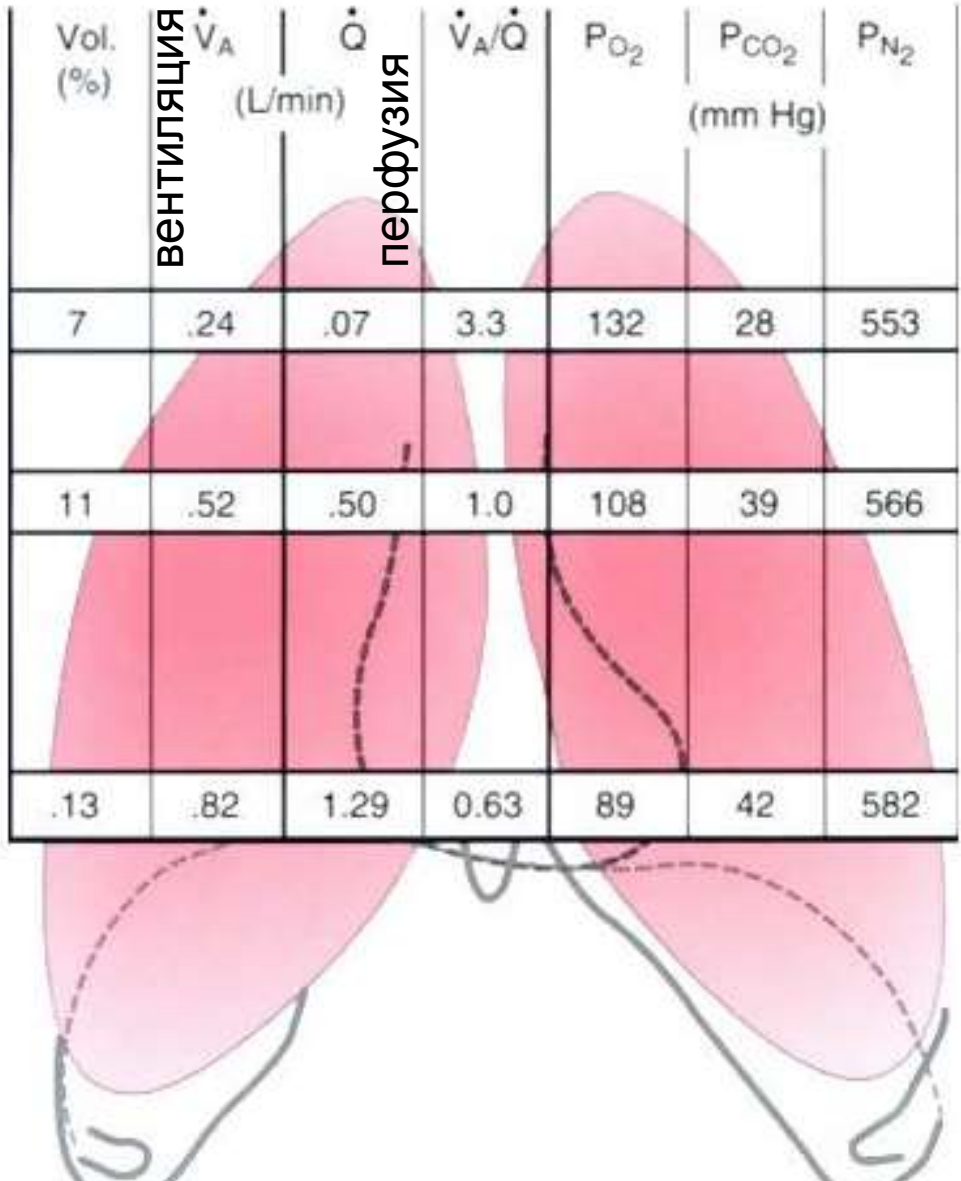
Вентиляция.



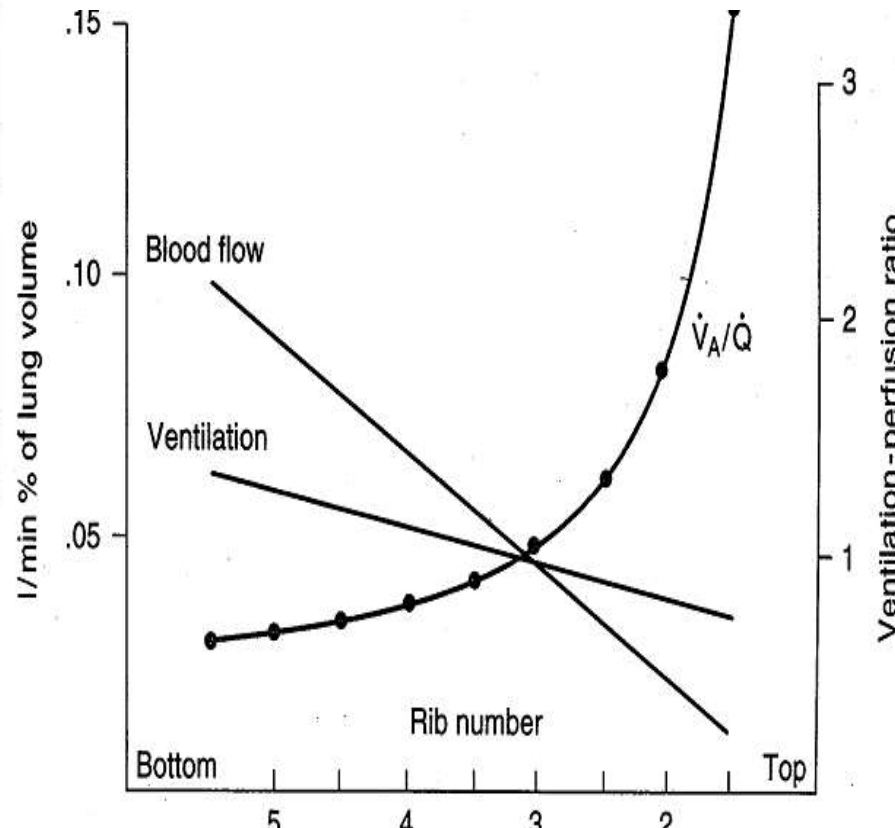
Перфузия



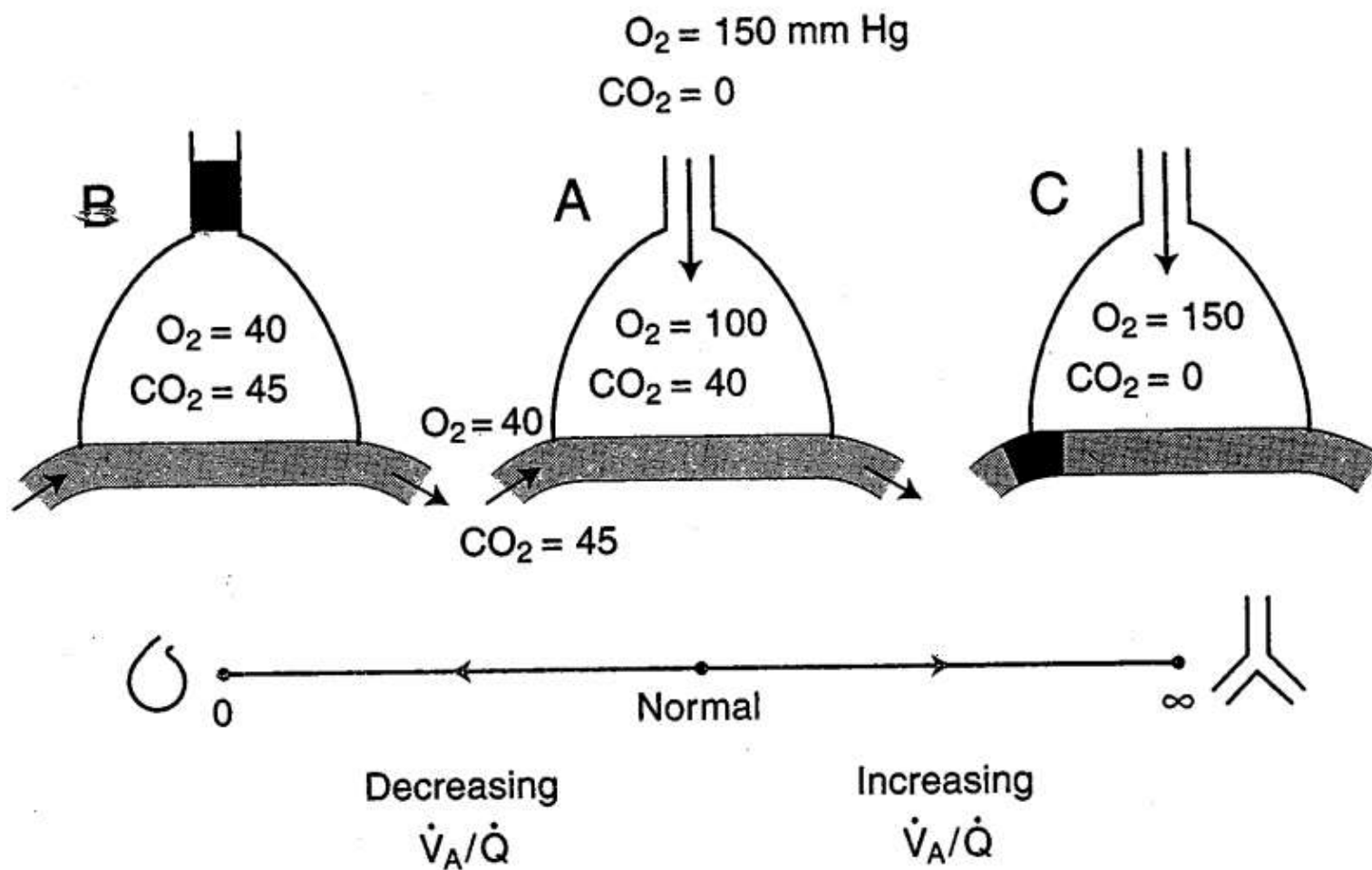
Вентиляционно-перфузионные соотношения:



От вершечек к основанию легких:
 Вентиляция ↑ в 4 раза
 Перфузия- ↑ в 18 раз



Классика. Виды \dot{V}_A/\dot{Q} соотношений.



V/Q

**Основным фактами отвечающими за
вентиляционно-перфузионное соотношение
являются:**

- Гипоксическая вазоконстрикция
- Сила тяжести: гравитационные преимущества у нижележащих отделов легкого.

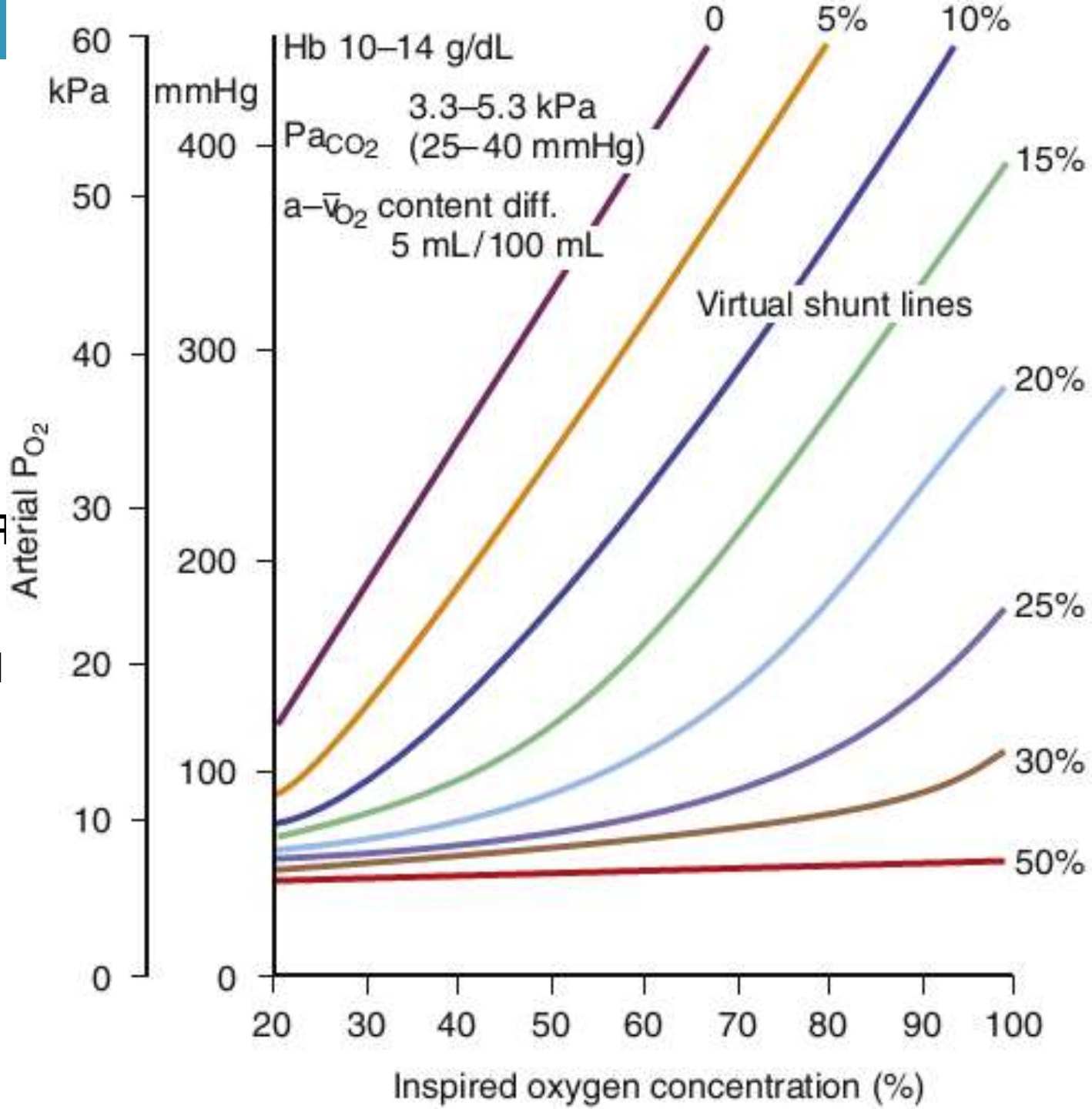
Механизм ГЛВ.

1. Свойства сосудистой системы легких: уменьшение просвета при уменьшении объема легкого.
2. Рост сосудистого сопротивления при наличии в альвеолах гипоксической смеси.

При сохранной ГЛВ кровоток в невентилируемых участках уменьшается вдвое!

Значение ГЛВ:

Соотношения
фракции
внутрилегочн
ого шунта,
 FiO_2 и PaO_2



Нарушают (ослабляют) ГЛВ:

Напрямую: - Ингаляционные анестетики.

- Вазодилаторы (**нитроглицерин**, нитропруссид, **добутамин**, β 2-миметики) – преимущественная дилатация сосудов гипоксических областей
- Сепсис
- Гипокапния (гипервентиляция!), метаболический алкалоз

Опосредованно: - ПДКВ

- Вазоконстрикторы (адреналин, допамин) – преимущественная констрикция сосудов нормоксических областей
- Перегрузка жидкостью, отек легкого, ТЭЛА
- Гипотермия

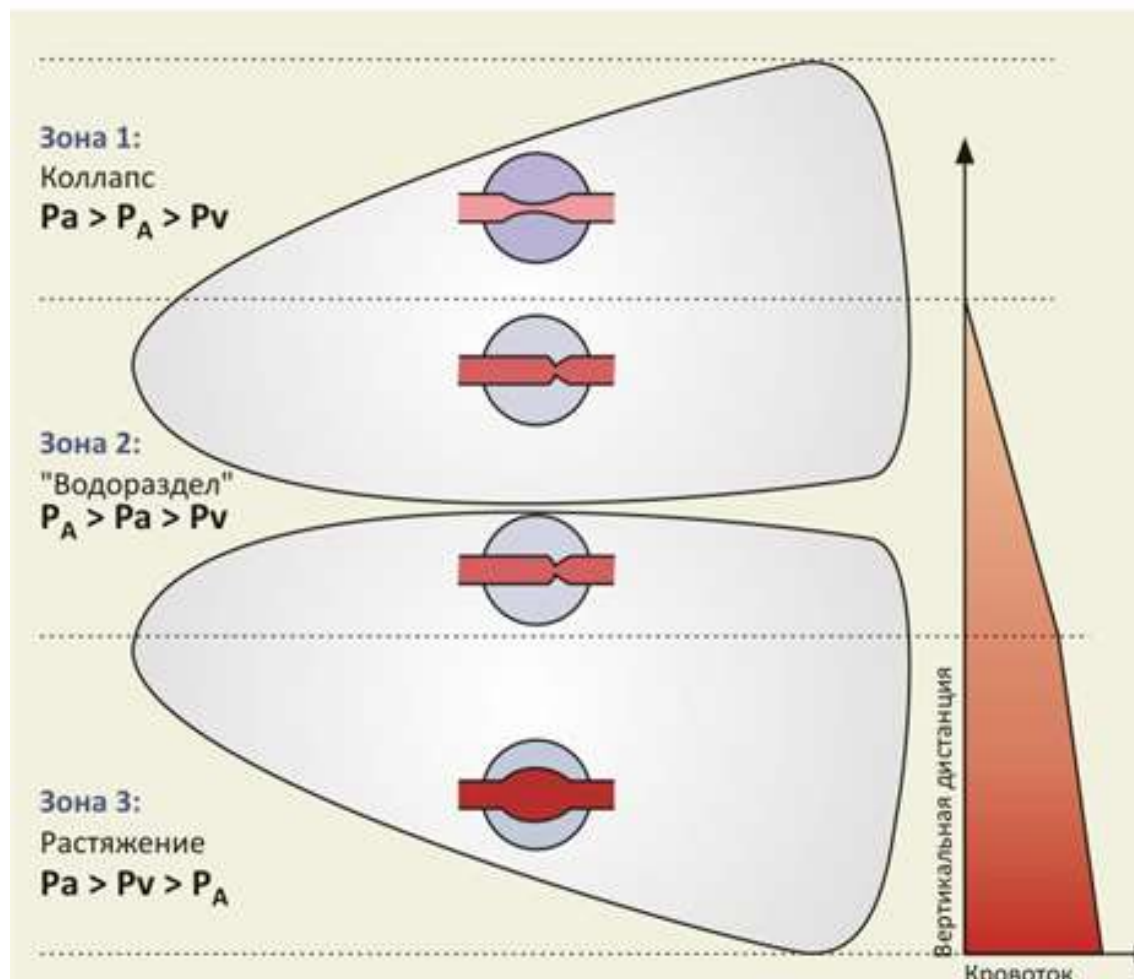
Усиливают ГЛВ:

- **Гиперкапния** напрямую усиливает ГЛВ, NO также и усиливает вазоконстрикцию в вентилируемом лёгком + гиповентиляция – усиление ателектазирования перенаправление крови в невентилируемое лёгкое - ↑фракции шунта
- NO
- Ингибиторы ЦОГ (диклофенак)
- ацетилхолин

ФИЗИОЛОГИЯ ВЕНТИЛЯЦИИ В ПОЛОЖЕНИИ НА БОКУ

Что происходит?

- Закономерности те же:



Вентиляция обоих легких, открыта грудная клетка

Нижнее легкое

> перфузируется

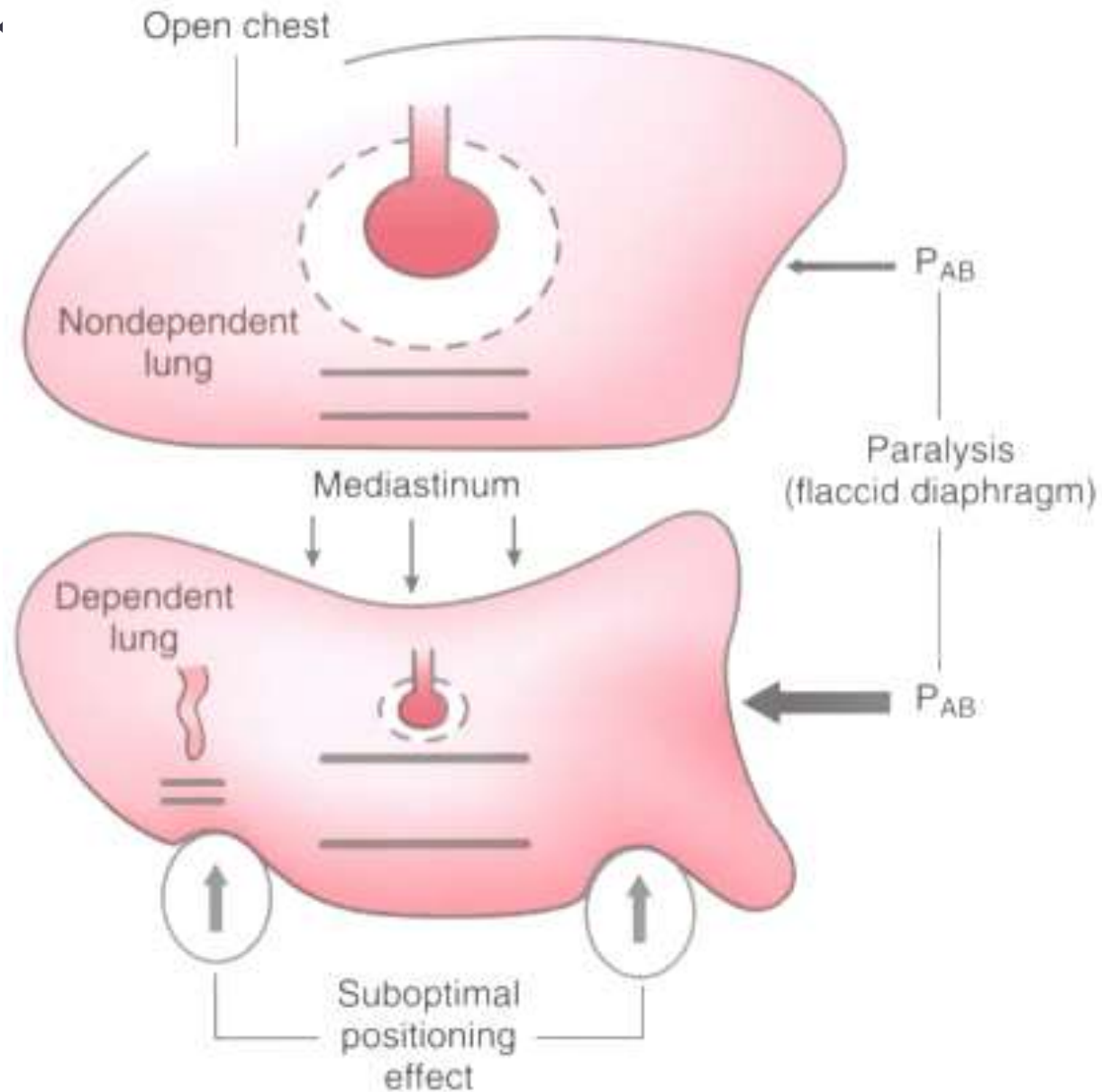
Верхнее

> вентилируется.

С открытием гр.

клетки нарушения

усугубляются.



У самых маленьких – не так!

- Новорожденные и дети до года (на спонтанном дыхании и ИВЛ) - улучшают оксигенацию, когда больное легкое снизу, здоровое сверху
- Причина- мягкость, ластичность грудной стенки, которая плохо поддерживает объем зависимого(нижнего) легкого, оно спадается и перфузия в нем – меньше.
- В п/о периоде надо подобрать позу оптимального газообмена – на спине или пораженной стороной вниз.

Заключение:

Анатомия:

Размеры детей соответствуют росту больше, чем возрасту.

Физиология:

Максимум перфузии и оксигенации – в нижележащих отделах легких.

Пользуемся гипоксической вазоконстрикцией.

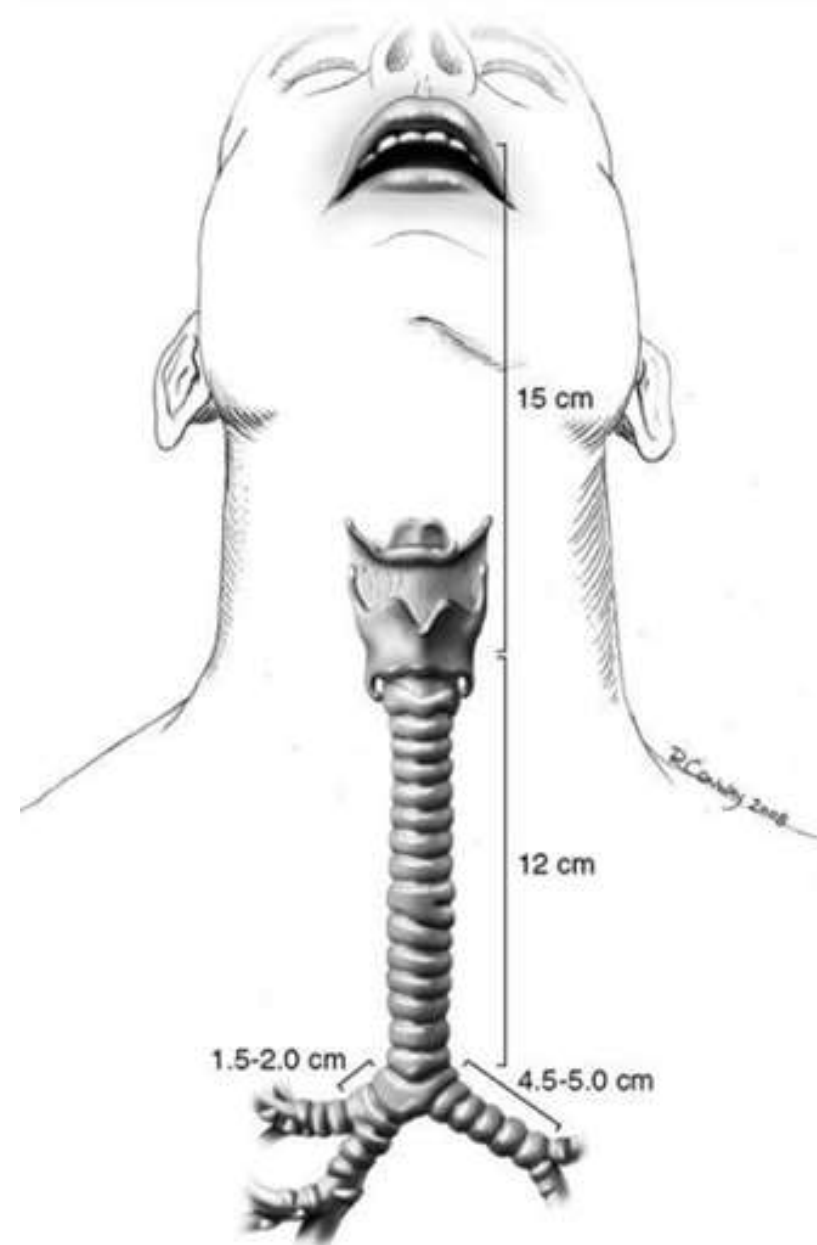
Спасибо за внимание!





Анатомия:

- Общие сведения
- Дыхательные пути
- Дыхательные мышцы
- Газообменная поверхность
- Сурфактант
- Сосуды легких



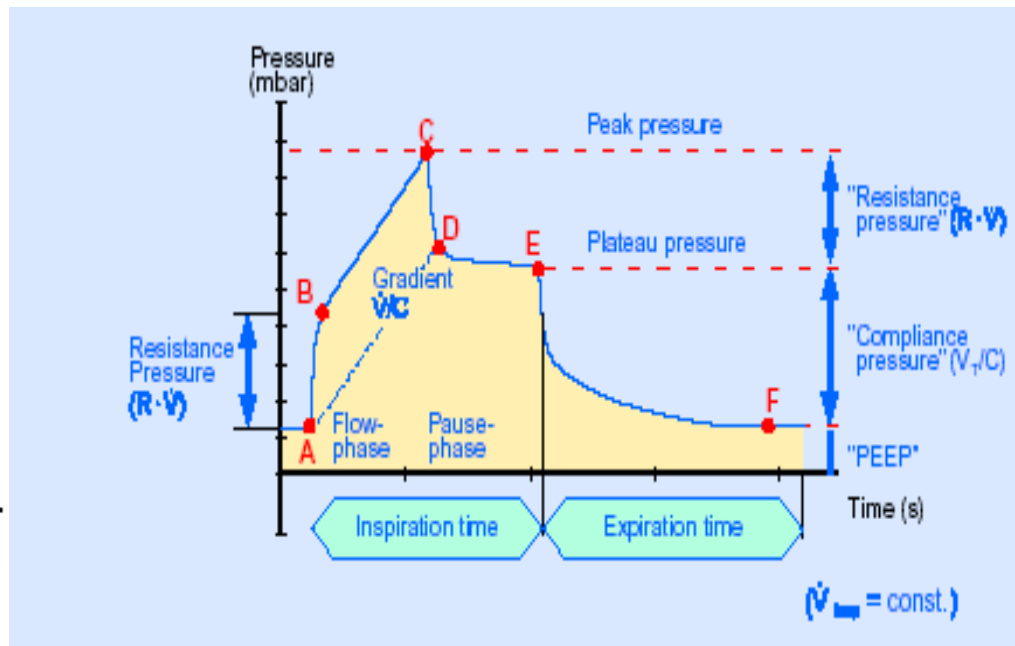
Дыхательная система в целом – основные характеристики

- Сопротивление дыхательных путей на вдохе (inspiratory airway resistance)

$$R_{aw} = (\text{peak } P_{aw} - \text{plat } P_{aw}) / \dot{V}$$

- Статическая податливость (static compliance):

$$C_{rs} = V / (\text{plat } P_{aw} - \text{PEEP})$$

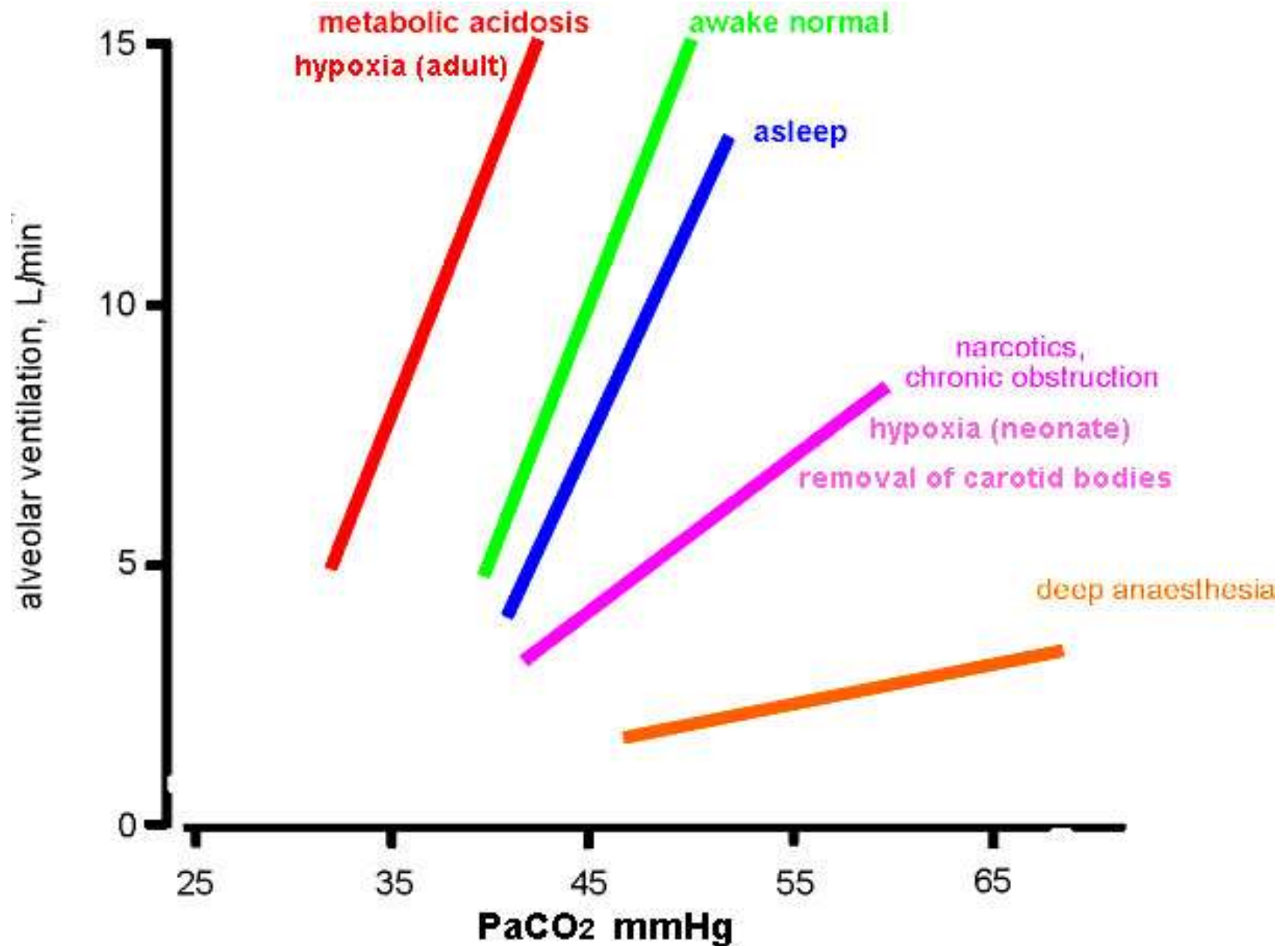


Динамическая податливость –
комбинированный эффект

$$R_{aw} \text{ и } C_{rs}$$

$$C_{dyn} = V / (\text{peak } P_{aw} - \text{PEEP})$$

Кривые ответа на содержание CO_2



Гемоглобин

- *Эффект Бора* – O_2 связывающая способность изменяется при колебаниях:
 - Температуры
 - pH
 - P_{O_2}
 - P_{CO_2}
 - 2,3-DPG (дифосфоглицерат)

Compliance

- Compliance- мера элластичности ткани. Определяется изменением объема в ответ на изменение трансмурального давления. $C = \Delta V / \Delta P$
- Нам важен C легких и C грудной клетки (отдельные показатели)

Сурфактант

- Гистерезис
- лаплас

ФИЗИОЛОГИЯ.

Физиология

- Процессы вентиляции и оксигенации
- Зоны Уэста
- Сопряжение вентиляции и перфузии. Вентиляционно-перфузионные соотношения
- Основные моменты дыхательной механики.
- Положение на боку.
- Открытая плевральная полость

Альвеолярная вентиляция

- За дыхательный цикл

Альвеолярная вентиляция = $V_t - V_d$

- Минутная альвеолярная вентиляция (мл/мин)

$$(V_t - V_d) * BR$$

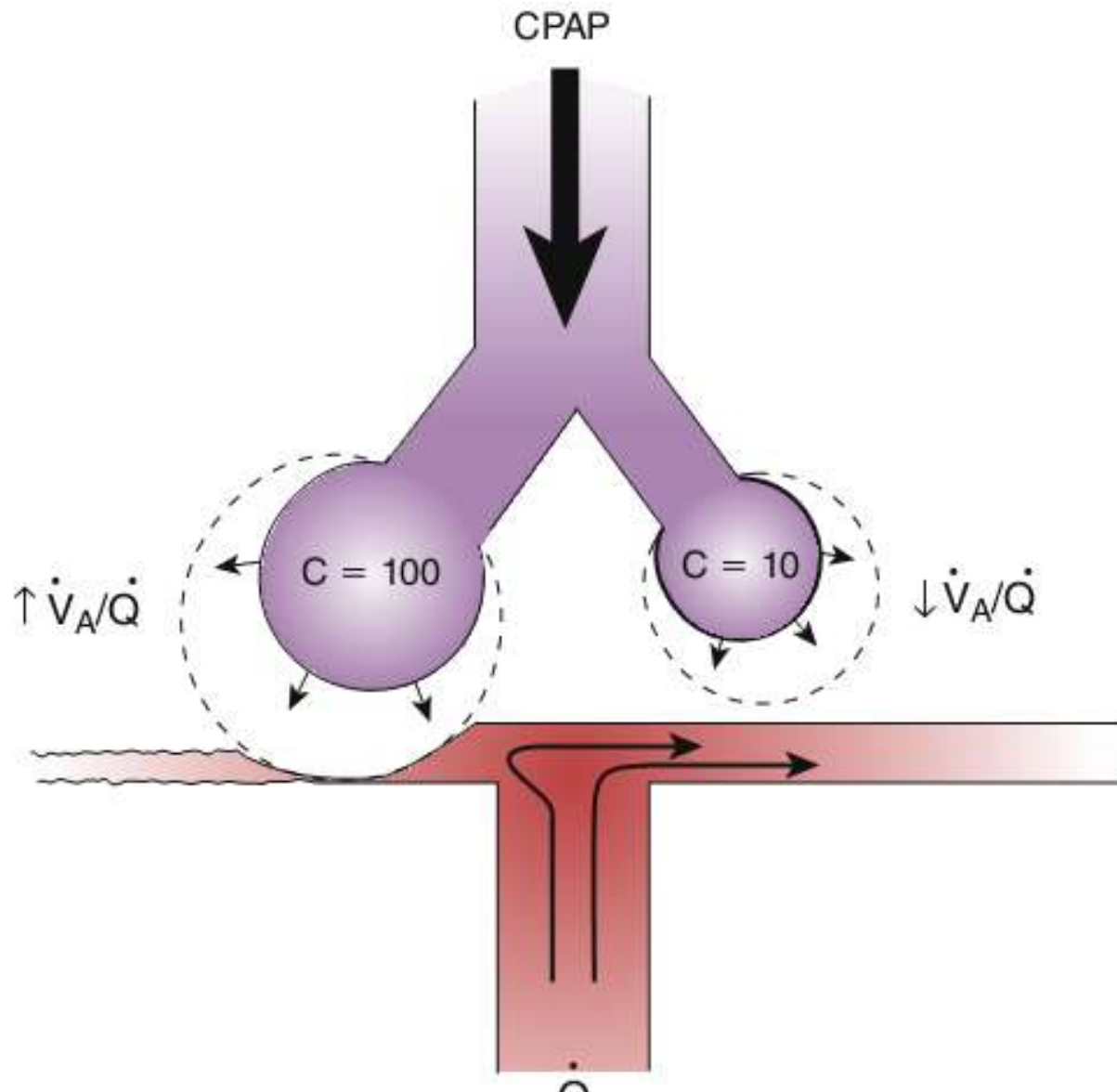
BR – частота дыхания, мин⁻¹

V_t - дыхательный объем

V_d – объем мертвого пространства

Эффект ПДКВ. Баланс.

- РвЛМД



Цели лекции

- Понимание основ физиологии дыхания
- Понимание механизмов дыхательной недостаточности
- Когда и какой тип респираторной поддержки необходимо начинать
- Понимание эффектов ИВЛ, как положительных, так и отрицательных

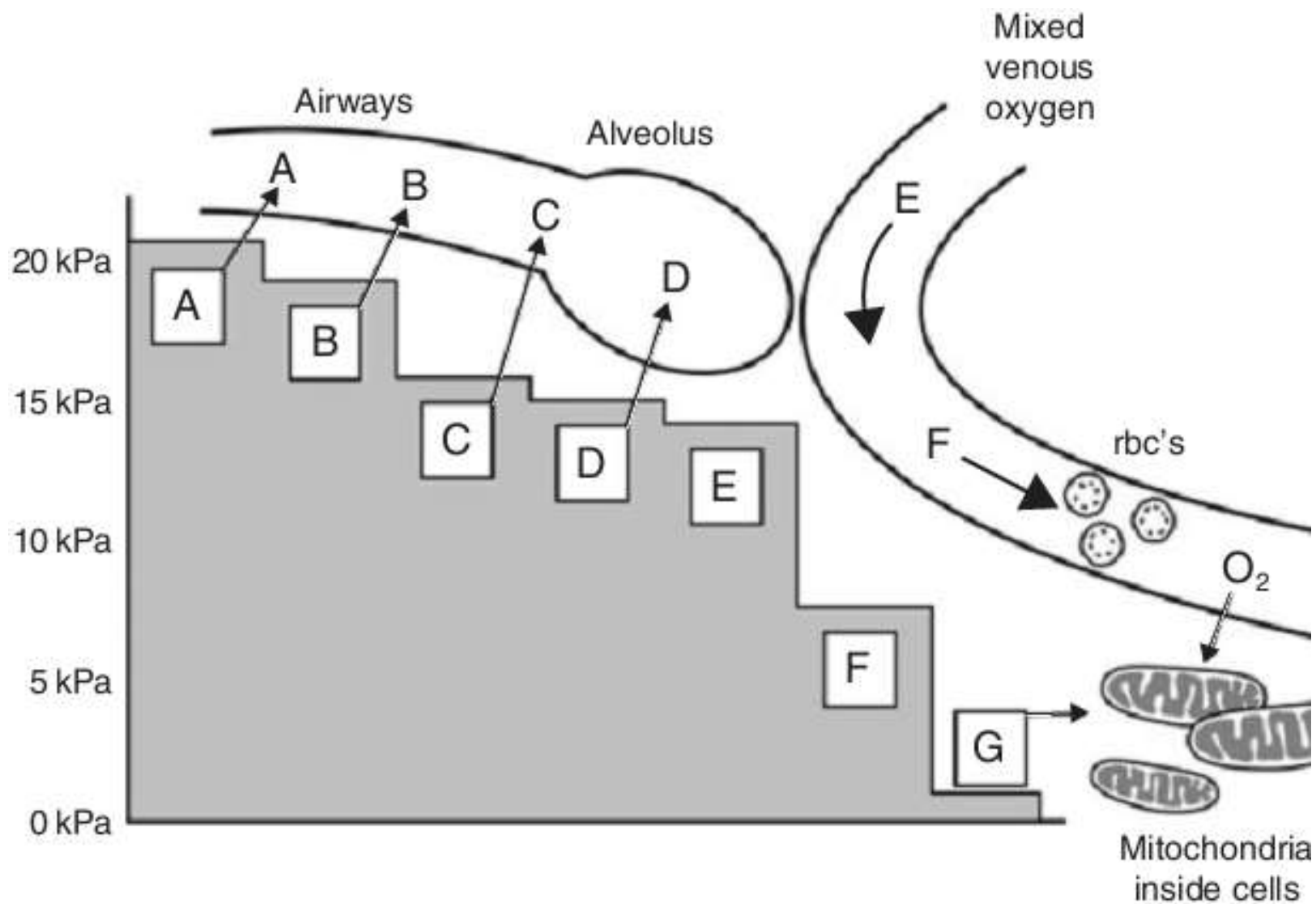
- Развитие дыхательной недостаточности возможно по 2м путям-
- Нарушение вентиляции
- нарушение оксигенации (т.е.газообмена?)

Нарушения вентиляции

Причины роста P_aCO_2 :

- Альвеолярная гиповентиляция (не то же самое, что сниженная частота дыхания. Альвеолярная вентиляция - это часть альвеол, которые участвуют в газообмене)
- Нарушение V/Q соотношений: кровоток распределяется в пользу невентилируемых альвеол и пациент не может компенсировать это увеличением общей альвеолярной вентиляции.
- Повышенная продукция CO_2 – сепсис, злокачественная гипертермия, инфузия бикарбоната – при условии что пациент не может увеличить свою вентиляцию пропорционально
- Увеличение концентрации CO_2 на вдохе

Кислородный каскад



Механика дыхания

- Организм должен совершить работу для того, чтобы воздух из окружающей среды к газообменной поверхности.
- Важнейшие компоненты совершаемой работы или «препятствия» которые активно преодолевает поток воздуха, могут быть описаны «уравнением движения»
- (equation of motion):

$$P_{tp} = P_{Compliance} + P_{Resistance} + P_{Inertance} + P_{Frictional\ resistance}$$

- (P_{tp}) – суммарное давление, необходимое для преодоления всех сил противодействующих вдоху.
- $P_{compliance}$ – давление для преодоления комплайнс ДС. Нам важен C легких и C грудной клетки.
- $P_{resistance}$ – давление преодоления резистенс (сопротивления) дыхательных путей.
- $P_{inertance}$ – давление преодоления инерционности газа (мизерно по сравнению с другими компонентами)
- $P_{frictional}$ -давление деформации легких, тканей грудной стенки и органов брюшной полости.

Работа дыхания

- Работа дыхания в физиологических условиях:
- Вся работа – на вдохе, половина резервируется как потенциальная энергия (в эластических элементах ДС), половина рассеивается в виде тепла.

Вдох

Выдох

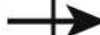
**Общая
работа
дыхатель-
ных мышц**

**Рассеиван
ие в виде
тепла 50%**

**Переход в
потенциальну
ю энергию
выдоха**

Normal
resistance
to breathing

**Рассеивание
в виде тепла**



Клиническое значение:

- Понимание, на что тратится дыхательная работа и когда она увеличивается.
- Преодоление Complens
- Resistance
- Преодоление давления деформации легких, тканей грудной стенки и органов брюшной полости.