ОСНОВЫ ФИЗИОЛОГИИ ДЫХАНИЯ

УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
УрГАУ
ОСНОВАН В 1940 ГОДУ

ЕКАТЕРИНБУРГ
2018

ОСНОВЫ ФИЗИОЛОГИИ ДЫХАНИЯ

ДЫХАНИЕ – СВОЙСТВО ВСЕГО ЖИВОГО

Дыхание – это процесс горения, в действительности - очень медленного горения, но в остальных аспектах в точности сходного с горением древесного угля.

А. Лавуазье

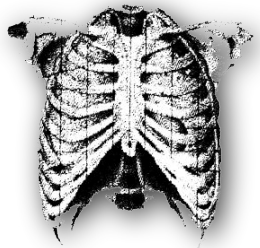
Dum spiro spero.

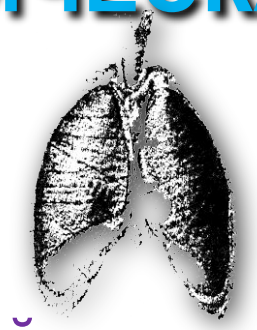
П.Овидий. «Скорбные

АНАТОМО - ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОТЛИЧИЯ НОВОРОЖДЁННЫХ и ВЗРОСЛЫХ

ОСНОВЫ ФИЗИОЛОГИИ ДЫХАНИЯ

КРАТКАЯ АНАТОМО – ФИЗИОЛОГИЧЕСКАЯ СПРАВКА





Поверхности лёгких называют реберной, диафрагмальной или средостенной.

Правое легкое имеет 3 и левое — 2 доли. Соотношение объёмов долей правого лёгкого: верхняя — 20 %, средняя — 8 %, нижняя — 25 % и левого: верхняя — 23 %, нижняя — 24 % объёма обоих лёгких.

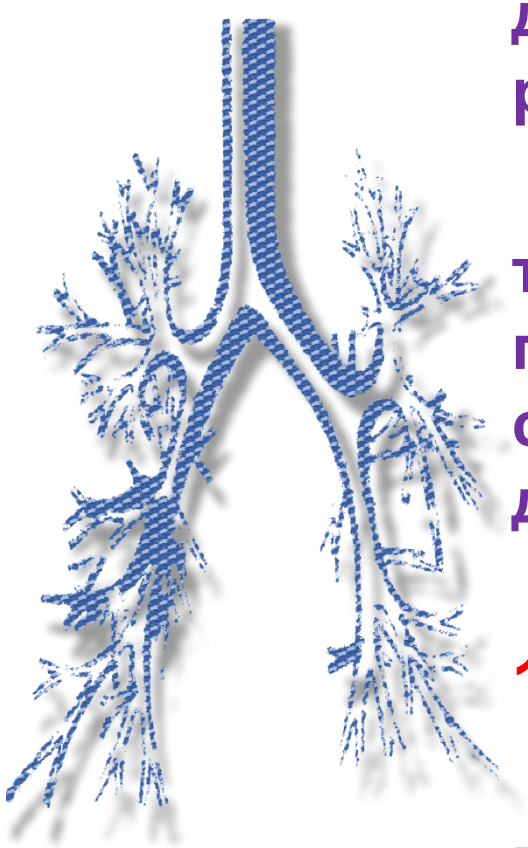
Косая щель в правом легком отделяет верхнюю и среднюю доли от нижней, в левом — верхнюю долю от нижней, и горизонтальная в правом легком отделяет среднюю долю от верхней.

Правое легкое состоит из 10, и левое — из 9 сегментов.

Лёгкие и лёгочная поверхность полостей грудной клетки покрыты, соответственно, висцеральной и париетальной плеврой, которые разделяет

ОСНОВЫ ФИЗИОЛОГИИ ДЫХАНИЯ

КРАТКАЯ АНАТОМО – ФИЗИОЛОГИЧЕСКАЯ СПРАВКА



Трахея — воздухоносная трубка между гортанью и бронхами. Место деления на бронхи –бифуркация. Бронхи делят на главные (правый и левый), долевые и их разветвления (бронхиальное дерево).

Правый главный бронх отходит от трахеи под более тупым углом, он короче и шире левого. Главные бронхи (1 порядка) делятся на долевые (2 порядка), долевые — на сегментарные (третьего порядка). Сегментарные бронхи делятся на субсегментарные вплоть до 9-10 порядка.

Бронх, входящий в дольку лёгкого, делится внутри неё на 18-20 терминальных (концевых) бронхиол.

С удалением «вглубь» бронхиального дерева, при постоянном дихотомическом делении бронхов, уменьшаются дина и диаметр бронхов каждой следующей генерации.

ОСНОВЫ ФИЗИОЛОГИИ ДЫХАНИЯ

КРАТКАЯ АНАТОМО – ФИЗИОЛОГИЧЕСКАЯ СПРАВКА

Респираторный отдел — вершина внешнего дыхания. Здесь осуществляется газообмен: кислород воздуха обменивается на углекислоту крови. Примером других важных функций является поддержание температурного гомеостаза, синтез физиологически активных веществ, участвующих в регуляции свертывания крови, обмена белков, жиров и углеводов.

Альвеолярная поверхность - около 100 кв. метров, примерно в 50 раз больше площади поверхности тела.

Количество альвеол оценивается примерно в 700 млн. Каждая альвеола в среднем имеет «диаметр» 0,2 мм и толщину стенки 0,5 мкм.

Альвеолы в действительности представляют собой не сферы, а многогранники.

Если бы альвеолы имели строго сферическую форму, то общая

ОСНОВЫ ФИЗИОЛОГИИ ДЫХАНИЯ

КРАТКАЯ АНАТОМО – ФИЗИОЛОГИЧЕСКАЯ СПРАВКА

Объём крови лёгочных капилляров составляет 80-150 мл при толщине её слоя в них всего 5-8 мкм. Газообмен осуществляется на уровне аэрогематического барьера, на границе раздела фаз воздуха и крови. Процесс этот со вдохом усиливается благодаря уменьшению с нарастающим вдохом толщины аэрогематического барьера.

Толщина альвеолярнокапиллярной мембраны составляет 0,5 мкм. Средний диаметр лёгочных капилляров (7 мкм) почти равен диаметру эритроцита. При прохождении по капиллярам лёгких эритроциты плотно прилегают к альвеолярнокапиллярной мембране и путь диффузии в самом эритроците оказывается длиннее пути через мембрану.

Из 5 л крови, протекающих через лёгкие за 1 мин, в лёгочных капиллярах одномоментно находятся и участвует в газообмене только 70-100 мл. Этот объём крови образует на альвеолокапиллярной мембране пленку площадью 50-100 $м^2$ и толщиной в один эритроцит.

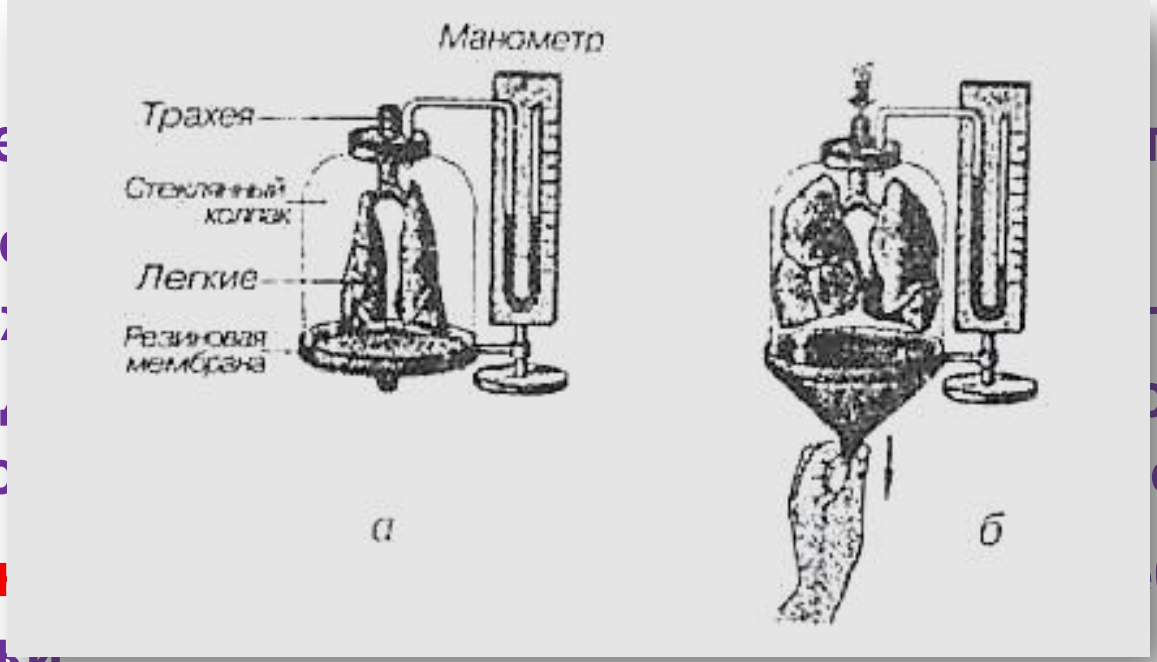
Для обеспечения полноценного газообмена каждый капилляр контактирует не с одной, а с несколькими альвеолами.

Ёмкость капилляров лёгких относительно постоянна, но общий внутрилёгочный объём крови может изменяться от 500 до 1000 мл.

Таким образом, лёгкие играют роль резервуара для системного кровообращения.

ОСНОВЫ ФИЗИОЛОГИИ ДЫХАНИЯ

КРАТКАЯ АНАТОМО – ФИЗИОЛОГИЧЕСКАЯ СПРАВКА

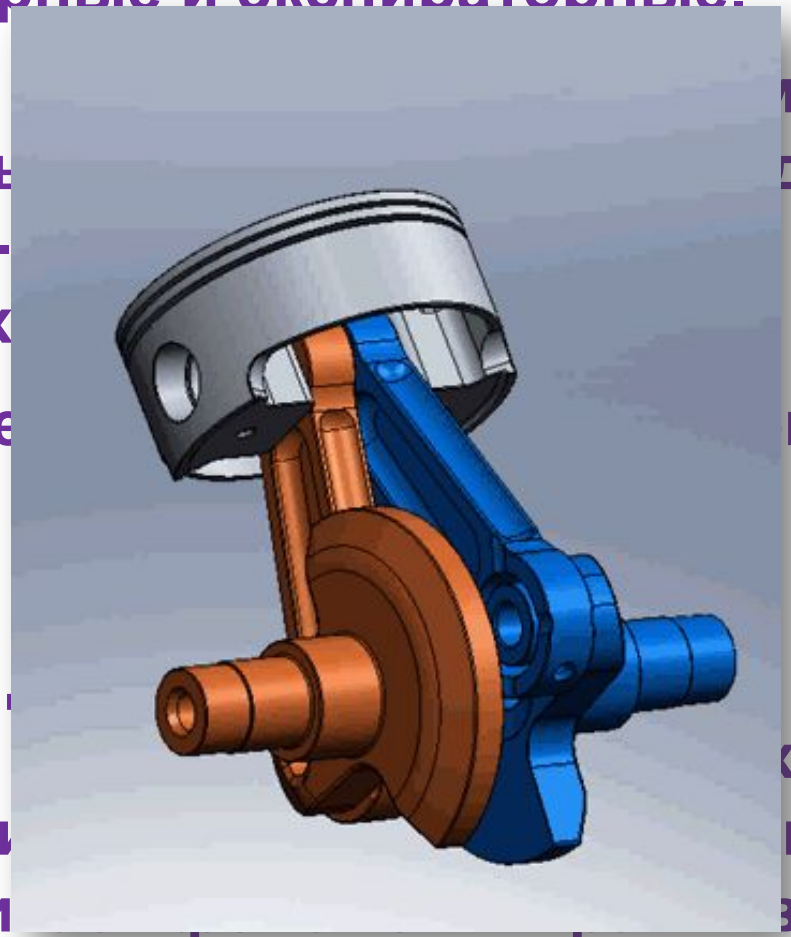


Ре пираторные и экспираторные.

Ос щами а и
нару нитель дные,
пере очично- (они
вклю ом дых

Эк берные шной
стенки.

Сокращение диафрагмы заставляет купол вниз
без изменения формы; этот эффект подобен этом
наибольшие изменения объёма происходят в к, где
имеет место преобладание перфузии над венти нном
дыхании (особенно при форсированном) возни вания
вентиляционно-перфузионных отношений именно в наиболее



ОСНОВЫ ФИЗИОЛОГИИ ДЫХАНИЯ

КРАТКАЯ АНАТОМО – ФИЗИОЛОГИЧЕСКАЯ СПРАВКА

Дыхание - совокупность процессов, обеспечивающих перенос из атмосферного воздуха к тканям организма и потребление ими свободных электронов и O_2 с удалением в атмосферу CO_2, насыщенного водородными ионами и микрочастицами воды и слизи.

В покое организмом потребляется 250-300 мл·мин$^{-1}$ O_2 и выделяется 200-250 мл·мин$^{-1}$ CO_2. При тяжелом физическом стрессе максимальное потребление O_2 может достигать 6-7 л·мин$^{-1}$.

Вдох является однофазным процессом – это наполнение лёгких воздухом при увеличении объёма грудной полости за счет сокращения инспираторных мышц. Вдох всегда активен.

Выдох, в отличие от вдоха, двухфазный. Он состоит из фаз пассивного и активного выдоха.

Пассивный выдох — это пассивный выход воздуха из лёгких при уменьшении объёма грудной полости за счет расслабления инспираторных мышц, и активный — выход воздуха из лёгких при дальнейшем уменьшении объёма грудной полости

ОСНОВЫ ФИЗИОЛОГИИ ДЫХАНИЯ

КРАТКАЯ АНАТОМО – ФИЗИОЛОГИЧЕСКАЯ СПРАВКА

ЁМКОСТИ и ДЫХАТЕЛЬНЫЕ ОБЪЁМЫ ЛЁГКИХ.

анатомическое мёртвое пространство

остаточный объём

резервный объём выдоха

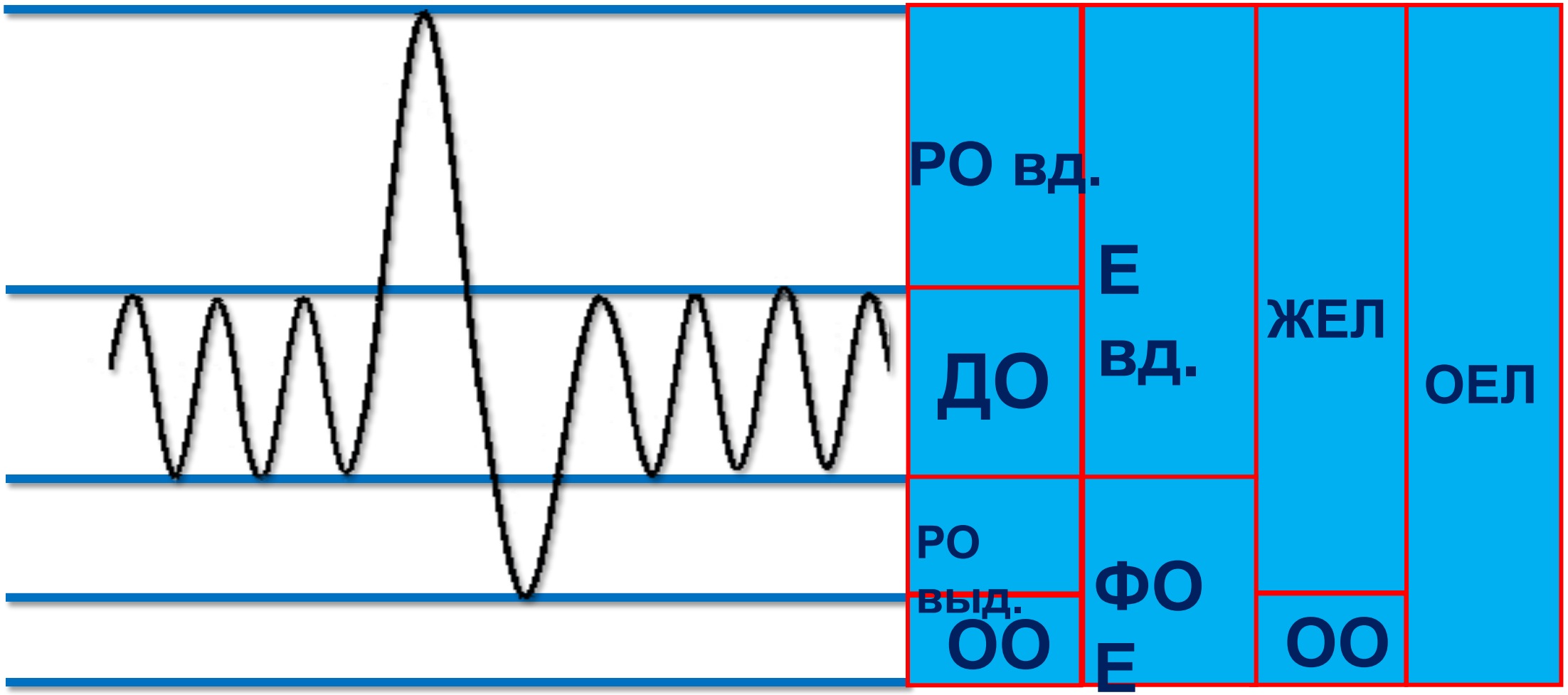
дыхательный объём

резервный объём вдоха

ОСНОВЫ ФИЗИОЛОГИИ ДЫХАНИЯ

КРАТКАЯ АНАТОМО – ФИЗИОЛОГИЧЕСКАЯ СПРАВКА

ЁМКОСТИ и ДЫХАТЕЛЬНЫЕ ОБЪЁМЫ ЛЁГКИХ.



ОСНОВЫ ФИЗИОЛОГИИ ДЫХАНИЯ

КРАТКАЯ АНАТОМО – ФИЗИОЛОГИЧЕСКАЯ СПРАВКА

ЁМКОСТИ И ДЫХАТЕЛЬНЫЕ ОБЪЁМЫ ЛЁГКИХ.

Количественно эти объёмы усреднённо характеризуются следующим образом: ДО ≈ 380 мл; ЖЕЛ ≈ 4300 мл; $РО_{вд}$ ≈ 3700 мл; $РО_{выд}$ ≈ 1100 мл; ОО ≈ 1500 мл; ОМП ≈ 2,22 мл·$кг^{-1}$.

Важно понимание того, что объёмом лёгких, в котором происходит собственно газообмен, является ФОЕ – сумма ОО (т.е. того объёма, который уже не может быть выдохнут после завершения максимального выдоха) и $РО_{выд}$, а объёмом, который не участвует в газообмене в условиях спонтанного дыхания и конвективной вентиляции лёгких, выступает анатомическое мёртвое пространство.

Нормальный минутный объем дыхания, равен приблизительно 6,5 л/мин. Это полный объем свежего воздуха, поступающего в дыхательные пути каждую минуту и равен дыхательному объему (V_T), умноженному на частоту дыхания.

Нормальное значение V_T составляет 380 мл, нормальная частота дыхания — 12

ОСНОВЫ ФИЗИОЛОГИИ ДЫХАНИЯ

ЖИЗНЕННАЯ ЁМКОСТЬ ЛЁГКИХ. ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ОСТАТОЧНАЯ ЁМКОСТЬ ЛЁГКИХ.

Первое исследование ЖЕЛ у человека проведено *J. Hutchinson* в 1846 году, который установил зависимость ЖЕЛ от пола, роста, веса и возраста и постоянство этой величины для каждого человека. Зависимость ЖЕЛ от роста, веса, пола и возраста выражается в так называемой <u>должной ЖЕЛ</u> - ДЖЕЛ

(*A. J. Anthony*, 1937)

для <u>мужчин</u>: ДЖЕЛ = 0,052 × рост — 0,029 × возраст — 3,20

для <u>женщин</u>: ДЖЕЛ = 0,049 × рост — 0,019 × возраст — 3,76,

где *рост — в см, возраст — в годах, ДЖЕЛ — в л.*

ДЛЯ ДЕТЕЙ в ВОЗРАСТЕ от 4 до 16 ЛЕТ

<u>мальчики</u>: ДЖЕЛ (л) = 4,53 × рост — 3,9 *при росте от* 1,00 *до* 1,64 м;

ДЖЕЛ (л) = 10,00 × рост — 12,85 *при росте от* 1,65 м;

<u>девочки</u>: ДЖЕЛ (л) = 3,75 × рост — 3,15 *при росте от* 1,00 *до*

ОСНОВЫ ФИЗИОЛОГИИ ДЫХАНИЯ

ЖИЗНЕННАЯ ЁМКОСТЬ ЛЁГКИХ. ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ОСТАТОЧНАЯ ЁМКОСТЬ ЛЁГКИХ.

Расчёт дыхательного объема по предсказанной массе тела (ПМТ):

Мужчины: ПМТ (*кг*) = 50 + 0,91 × (рост, см – 152,4)

Женщины: ПМТ (*кг*) = 45,5 + 0,91 × (рост, см – 152,4)

Malhotra A. NEJM 2007;357:1113-1120
Yilmaz M., Gajic O. Eur J Anaesth 2008;25:89-96

По росту (Р) и массе тела (МТ) больного рассчитывают площадь поверхности тела в м^2 (S) по формуле:

$$S = 0{,}0235 \times P^{0{,}42246} \times MT^{0{,}51456},$$

затем определяют требуемый минутный объем вентиляции (МОВ) по формуле:

$$МОВ\ (л) = (В/10 + 1) + 0{,}7 \times S$$

ОСНОВЫ ФИЗИОЛОГИИ ДЫХАНИЯ

ЖИЗНЕННАЯ ЁМКОСТЬ ЛЁГКИХ. ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ОСТАТОЧНАЯ ЁМКОСТЬ ЛЁГКИХ.

Формулы расчёта ФОЕ в положении <u>сидя</u>:

$$FRC\ (литры) = 2{,}34 \times H + 0{,}01 \times A - 1{,}09 \quad \text{(для мужчин)},$$

$$FRC\ (литры) = 2{,}24 \times H + 0{,}001 \times A - 1{,}00 \quad \text{(для женщин)},$$

Где *«Н» – рост в метрах, «А» – возраст в годах*.

Формулы расчёта ФОЕ в положении <u>на спине</u>:

$$FRC\ (литры) = (2{,}34 \times H + 0{,}01 \times A - 1{,}09) \times 0{,}7 \quad \text{(для мужчин)},$$

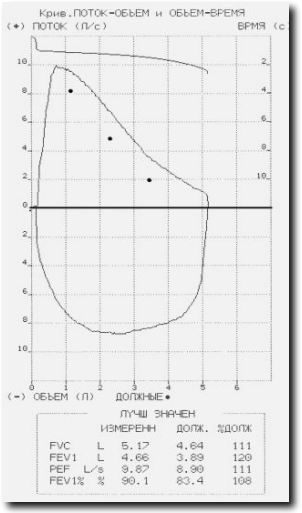
$$FRC\ (литры) = (2{,}24 \times H + 0{,}001 \times A - 1{,}00) \times 0{,}7 \quad \text{(для женщин)}.$$

Минимальным сопровождающим расчет ФОЕ показателем является растяжимость аппарата внешнего дыхания (Cst), снижение которой следует расценивать как перерастяжение альвеол, что требует корректировки инициирующих рост ФОЕ параметров вентиляции.

Руннна Е.В. Расчет функциональной остаточной емкости легких как инструмент настройки параметров вентиляции (16.10.2013).

ОСНОВЫ ФИЗИОЛОГИИ ДЫХАНИЯ

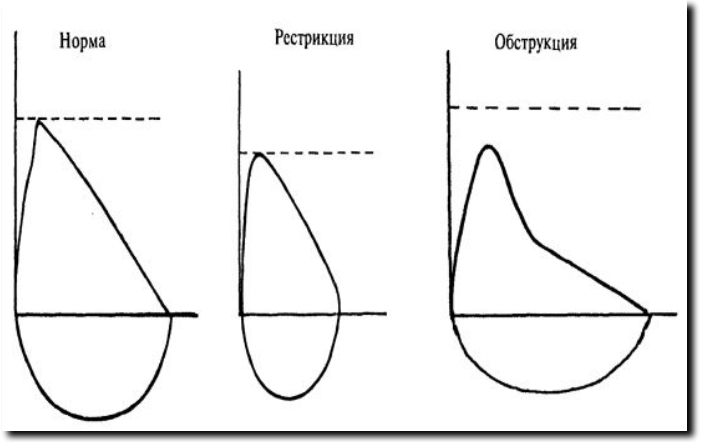
КРАТКАЯ АНАТОМО – ФИЗИОЛОГИЧЕСКАЯ СПРАВКА



Клинически важные измерения вентиляционной функций включают определение лёгочных объёмов в статических условиях и оценку скоростей потока газа при вдохе и выдохе в динамических условиях. Так как скорости газа тесно связаны с лёгочными объёмами, принято откладывать скорости потока на вдохе и выдохе по вертикальной оси и лёгочный объём – по горизонтальной оси, получая этим кривую «поток-объём».

Известны **обструктивные** и **рестриктивные** нарушения дыхания, связанные с изменением механических свойств лёгких и/или грудной стенки.

Обструктивные расстройства - сужение просвета дыхательных путей из-за воспаления, бронхоспазма, скопления мокроты, опухолевого роста в просвет бронхов и возрастанием сопротивления потоку дыхательной смеси.



Рестриктивные (ограничительные) нарушения - следствие интраторакальных (заболевания лёгочного интерстиция, отёк лёгких, фиброз, плеврит) и экстраторакальных состояний

ОСНОВЫ ФИЗИОЛОГИИ ДЫХАНИЯ

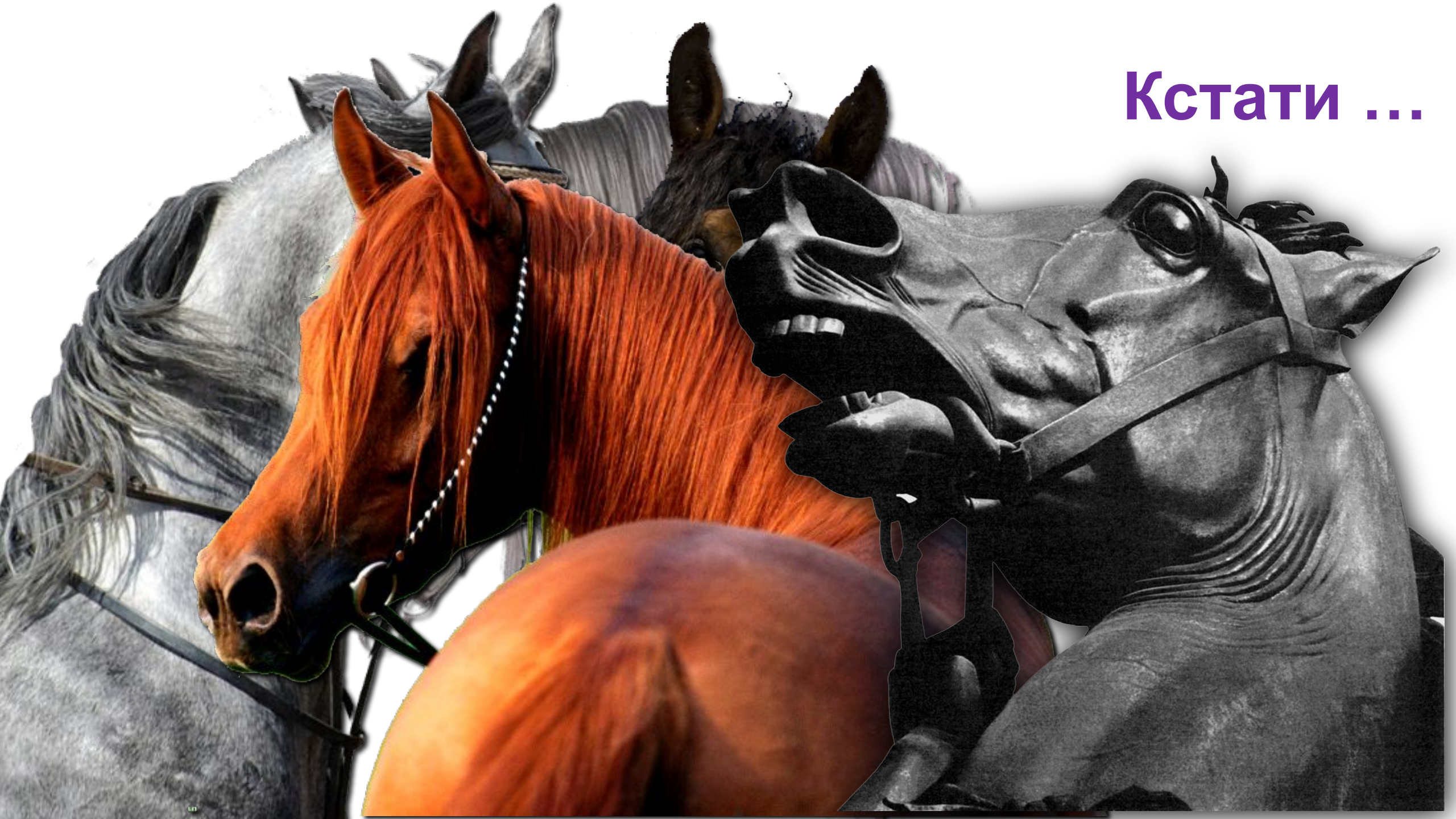
КРАТКАЯ АНАТОМО – ФИЗИОЛОГИЧЕСКАЯ СПРАВКА

Параметром, который отражает сопротивление воздушному потоку, является сопротивление дыхательных путей (Raw), нормальное значение для людей среднего роста составляет менее 2,5 см вод.ст.·$с^{-1}$·$л^{-1}$.

Сопротивление естественных дыхательных путей обычно менее 2,5 см вод.ст·$л^{-1}$·$с^{-1}$, но эндотрахеальные трубки имеют значительно более высокое сопротивление воздушному потоку. Оно составляет приблизительно 20, 10 и 6 см вод.ст·$л^{-1}$·$с^{-1}$ для трубок размерами 6, 7 и 8 мм соответственно.

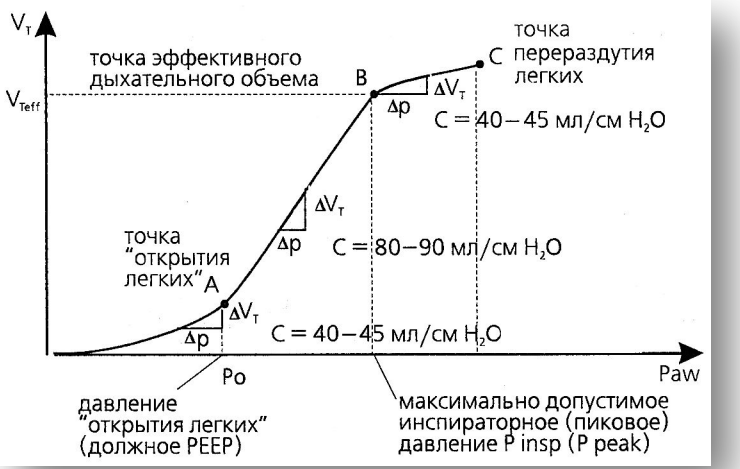
Как и следует ожидать, большая трубка имеет меньшее

Кстати …



ОСНОВЫ ФИЗИОЛОГИИ ДЫХАНИЯ

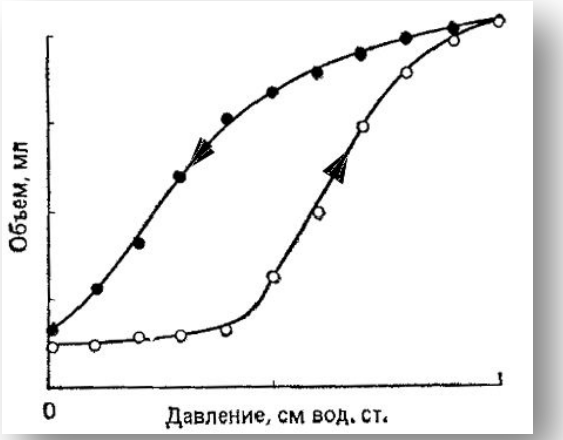
КРАТКАЯ АНАТОМО – ФИЗИОЛОГИЧЕСКАЯ СПРАВКА



Кривая объём-давление, описывающая взаимосвязь между введённым в лёгкие объёмом газовой смеси и необходимым для этого давлением имеет своеобразную S-образную форму, и именно форма этой кривой позволяет судить о механических свойствах лёгких или адекватности и безопасности выбранных параметров проводимой ИВЛ. Более того, наклон этой кривой позволяет судить о величине податливости лёгких (C_{st}), т.е. об угрозе развития динамической гиперинфляции (перераздувания) лёгких.

Очевидно, что наиболее эффективной и безопасной будет искусственная вентиляция с давлениями и объёмами, укладывающимися на линейную возрастающую часть кривой.

На практике (и на экране респираторного монитора) кривая объём-давление приобретает вид замкнутой петли, поскольку отражает не только кривую вдоха, но и кривую выдоха.



ОСНОВЫ ФИЗИОЛОГИИ ДЫХАНИЯ
КРАТКАЯ АНАТОМО – ФИЗИОЛОГИЧЕСКАЯ СПРАВКА

Эффективность лёгочной вентиляции определяется не абсолютной величиной V_E, а величиной альвеолярной вентиляции (V_A), т. е. разностью между V_E и минутным объёмом вентиляции дыхательного мёртвого пространства, которое, в свою очередь, состоит из анатомического (V_D) и альвеолярного (V_{AD}) мёртвого пространства.

Объем анатомического мёртвого пространства составляет объем дыхательного газа, не дошедшего до альвеол. У здорового взрослого человека это примерно 150-200 мл (2,22 мл·кг$^{-1}$).

Альвеолярное мёртвое пространство представляет собой суммарный объём вентилируемых, но не перфузируемых (или недостаточно перфузируемых) альвеол. Т.е. альвеолярную вентиляцию следует рассматривать исключительно как вентиляцию полноценно перфузируемых альвеол.

Уменьшение альвеолярной вентиляции может быть следствием уменьшения V_E или увеличения объёма мёртвого пространства (V_{AD}).

Определяющим фактором является не столько величина дыхательного объема (V_T), сколько её отношение к непостоянной величине дыхательного мёртвого

ОСНОВЫ ФИЗИОЛОГИИ ДЫХАНИЯ

КРАТКАЯ АНАТОМО – ФИЗИОЛОГИЧЕСКАЯ СПРАВКА

Диффузионная способность лёгких (ДСЛ) - количество газа, проникающего через аэрогематический барьер за 1 минуту при величине среднего градиента парциальных давлений между альвеолярным воздухом и кровью лёгочных капилляров. Этот показатель различен для разных газов.

ДСЛ для O_2 составляет 25 — 30 мл·мин$^{-1}$·мм рт.ст.$^{-1}$, для CO_2 — 600 мл·мин$^{-1}$·мм рт.ст.$^{-1}$ (выше в 24 раза).

На ДСЛ влияют площадь диффузионной поверхности (альвеол), диффузионное расстояние (толщина аэрогематического барьера через который диффундирует газ, и его функциональное состояние (отек, фиброз), характеристика тканей на пути диффузии при неизменной толщине лёгочной мембраны (бериллиоз, гиалиновые мембраны) и время диффузии O_2 и CO_2 в эритроциты и из них ≈ 0,3 с.

Основным клиническим проявлением нарушения диффузионной способности лёгких является <u>артериальная гипоксемия</u>.

Гипоксемию, возникающую вследствие нарушения диффузии, обычно легко корректировать ингаляцией 30% O_2.

Большой лёгочный шунт приводит к глубокой артериальной гипоксемии,

ОСНОВЫ ФИЗИОЛОГИИ ДЫХАНИЯ

КРАТКАЯ АНАТОМО – ФИЗИОЛОГИЧЕСКАЯ СПРАВКА

Обычно поглощение O_2 зависит от состояния лёгочного кровотока, но в некоторых случаях диффузионная способность лёгких становится определяющей, например, при отеке лёгких.

У здорового человека диффузионная способность лёгких для O_2 в покое превышает 15 мл·мин$^{-1}$·мм рт.ст.$^{-1}$, или 2 мл·мин$^{-1}$· кПа$^{-1}$.

Из всего O_2 вдыхаемого воздуха (21% от всего объёма) в кровь через аэрогематический барьер в лёгких поступает только 1/3.

Нормальное парциальное давление газов в альвеолярном воздухе поддерживается в том случае, если лёгочная вентиляция равна 25-кратной величине потребляемого O_2.

ОСНОВЫ ФИЗИОЛОГИИ ДЫХАНИЯ

КРАТКАЯ АНАТОМО – ФИЗИОЛОГИЧЕСКАЯ СПРАВКА

Кровоток в системе малого круга кровообращения зависит от степени вентиляции отдельных участков лёгких.

В ответ на снижение PaO_2 или повышение $PaCO_2$ происходит сужение сосудов. Лёгочная гипоксическая вазоконстрикция — важнейший физиологический механизм, уменьшающий внутрилёгочное шунтирование и предотвращающий гипоксемию.

Время протекания крови через лёгочные капилляры составляет около 1 с.

Сопротивление сосудов малого круга кровообращения в 10 раз меньше общего периферического сопротивления.

При повышении скорости кровотока в сосудах лёгких отмечается пассивное снижение сопротивления за счет их расширения и открытия

ОСНОВЫ ФИЗИОЛОГИИ ДЫХАНИЯ

КРАТКАЯ АНАТОМО – ФИЗИОЛОГИЧЕСКАЯ СПРАВКА

Вне зависимости от положения тела альвеолярная вентиляция в лёгких происходит неравномерно.

Правое легкое вентилируется лучше, чем левое (53 % и 47 % соответственно), и нижерасположенные зоны обоих лёгких вентилируются лучше, чем вышерасположенные.

Лёгочный кровоток так же неравномерен, как и вентиляция. Независимо от положения тела, в нижерасположенные отделы лёгких поступает больше крови, чем в вышерасположенные.

Давление в малом круге кровообращения низкое, поэтому сила тяжести имеет значительное влияние на лёгочный кровоток.

ОСНОВЫ ФИЗИОЛОГИИ ДЫХАНИЯ

КРАТКАЯ АНАТОМО – ФИЗИОЛОГИЧЕСКАЯ СПРАВКА

Лёгочная перфузия - кровоток в лёгких. В покое он составляет 5-6 л·мин.$^{-1}$ и обеспечивается градиентом давлений крови лёгочной артерии и левого предсердия (в норме около 8 мм рт.ст.).

Средняя скорость кровотока в ЛА в покое ≈ 0,18 м·с$^{-1}$. В лёгочных капиллярах она снижается до уровня, сравнимого со скоростью в системном кровообращении и повышается в лёгочных венах.

Через лёгочные сосуды протекает вся кровь, выбрасываемая правым желудочком, плюс небольшое количество венозной крови, поступающей в лёгочные вены из бронхиальных сосудов (около 2 % выброса левого желудочка).

Среднее давление в лёгочной артерии менее 25 мм рт.ст., *систолическое* — около 30 мм рт.ст.

ОСНОВЫ ФИЗИОЛОГИИ ДЫХАНИЯ

КРАТКАЯ АНАТОМО – ФИЗИОЛОГИЧЕСКАЯ СПРАВКА

В нормальных условиях **лёгочный шунт** не превышает величины в **7%** лёгочного кровотока. Этим объясняется, что насыщение артериальной крови кислородом (SaO_2) меньше **100%** и равно **97,1%**.

В норме альвеолярная вентиляция (V_A) составляет **4 л/мин**, лёгочный капиллярный кровоток (**Q**) — **5 л/мин**, а их соотношение **V/Q**, которое называют вентиляционно-перфузионным соотношением, соответственно **0,8**.

Для отдельной лёгочной единицы (комплекс "альвеола-капилляр") **V/Q** может варьировать от **0** (отсутствие вентиляции) до бесконечности (отсутствие кровотока); первое состояние представляет собой внутрилёгочный шунт, второе — альвеолярное мёртвое пространство.

В отдельных лёгочных единицах **V/Q** варьирует от **0,3** до **3,0**, но в большинстве случаев близко к **1,0**. И кровоток, и вентиляция возрастают от верхушек лёгких к основаниям, но кровоток — в большей степени, поэтому в апикальных отделах лёгких V/Q выше, чем в базальных.

ОСНОВЫ ФИЗИОЛОГИИ ДЫХАНИЯ

КРАТКАЯ АНАТОМО – ФИЗИОЛОГИЧЕСКАЯ СПРАВКА

В основе всех типов патологии газообмена в лёгких лежит нарушение вентиляционно-перфузионных отношений, но в ряде случаев оно имеет первостепенное значение.

При вентиляционной недостаточности с гипоксемией V/Q меньше 0,8, что обусловлено сохранением перфузии в зонах гиповентиляции лёгких или связано с их гиперперфузией, например, в фазе гиперемии («прилива») развивающейся острой пневмонии.

При этом формируется веноартериальный шунт: кровь, прошедшая через невентилируемый участок лёгкого, остается венозной и в таком виде переходит в артериальную систему большого круга кровообращения.

V/Q становится больше 1, если перфузия уменьшена в зонах, где вентиляция сохранена или даже усилена (при тромбозе или эмболии ветвей лёгочной артерии, лёгочном васкулите, ангиосклерозе).

Преобладание вентиляции над кровотоком может вызывать гипервентиляцию, сочетающуюся с гипокапнией.

ОСНОВЫ ФИЗИОЛОГИИ ДЫХАНИЯ

КРАТКАЯ АНАТОМО – ФИЗИОЛОГИЧЕСКАЯ СПРАВКА

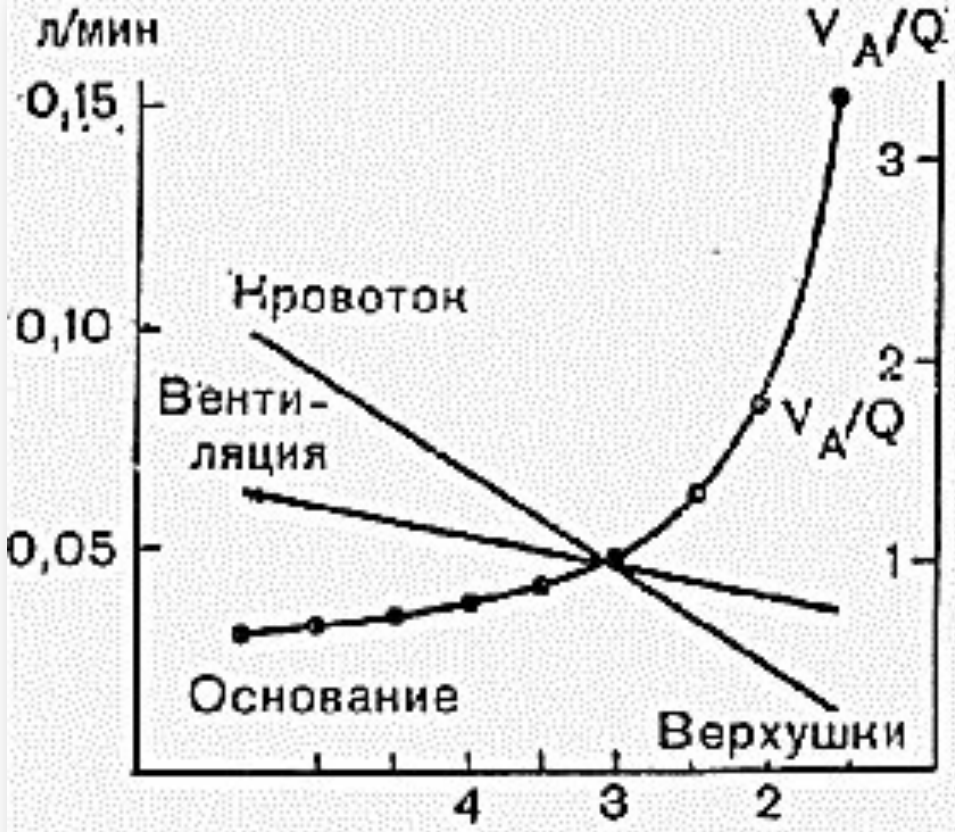
Известны два основных вида нарушения V_A/Q:

- **преобладание вентиляции над кровотоком — эффект увеличения альвеолярного мёртвого пространства**

и, наоборот,

- **преобладание кровотока над вентиляцией — эффект веноартериального лёгочного шунтирования (шунтирование справа налево).**

Кстати …



Объем легких, %	V_A	Q	V_A/Q	P_{O_2}	P_{CO_2}	P_{N_2}
	л/мин			мм рт.ст.		
7	0,24	0,07	3,3	132	28	553
11	0,52	0,50	1,0	108	39	556
13	0,82	1,29	0,63	89	42	582

ОСНОВЫ ФИЗИОЛОГИИ ДЫХАНИЯ

КРАТКАЯ АНАТОМО – ФИЗИОЛОГИЧЕСКАЯ СПРАВКА

КИСЛОРОДНЫЙ КАСКАД.

По мере продвижения кислорода из атмосферного воздуха к митохондриям клетки, напряжение кислорода снижается с 150 до 2,0-2,3 мм рт.ст. Это явление носит название кислородного каскада.

Снижение напряжения кислорода (PO_2) на этапе атмосфера-альвеола связано с появлением в газовой смеси паров воды и с потреблением кислорода при диффузии через альвеоло-капиллярную мембрану.

Снижение PO_2 на этапе альвеола-капилляр обусловлено неравномерностью вентиляционно-перфузионных соотношений: преобладание альвеолярного кровотока (Q_T) над альвеолярной вентиляцией (V_A).

Снижение PO_2 на этапе капилляр-артерия объясняется наличием анатомического шунта: венозное примешивание через вено-венозные бронхопульмональные анастомозы, артериовенозные внутрилёгочные анастомозы, сброс крови по тебезиевым венам.

Снижение PO_2 на уровне тканевых капилляров и митохондрий связано с активной экстракцией кислорода этими клеточными структурами и путем окислительного фосфорилирования реализующих выработку энергии для

ОСНОВЫ ФИЗИОЛОГИИ ДЫХАНИЯ

КРАТКАЯ АНАТОМО – ФИЗИОЛОГИЧЕСКАЯ СПРАВКА

КИСЛОРОДНЫЙ КАСКАД

Сухой атмосферный воздух: 160

Увлажнённый газ в трахее: 150

Альвеолярный газ: 105

Артериальная кровь: 100

Капиллярная кровь: 45

Митохондрии : 5

Венозная кровь: 45

ОСНОВЫ ФИЗИОЛОГИИ ДЫХАНИЯ

РЕГУЛЯЦИЯ ДЫХАНИЯ

Отдел ЦНС	Группа нейронов	Предполагаемая функция
Кора больших полушарий	—	Произвольная (волевая) модуляция частоты и глубины дыхания
Варолиев мост	Пневмотаксический центр	Регулятор времени вдоха (прерыватель вдоха)
	Центр апноэ	Главный стимулятор вдоха, работающий непрерывно
Продолговатый мозг	Дорсальная дыхательная группа (ДДГ)	Водитель ритма дыхания (запуск очередного вдоха)
	Вентральная дыхательная группа (ВДГ)	Непосредственный регулятор вдоха-выдоха; активен в обеих фазах
Спинной мозг	Инспираторные и экспираторные спинальные мотонейроны	Иннервация дыхательной мускулатуры

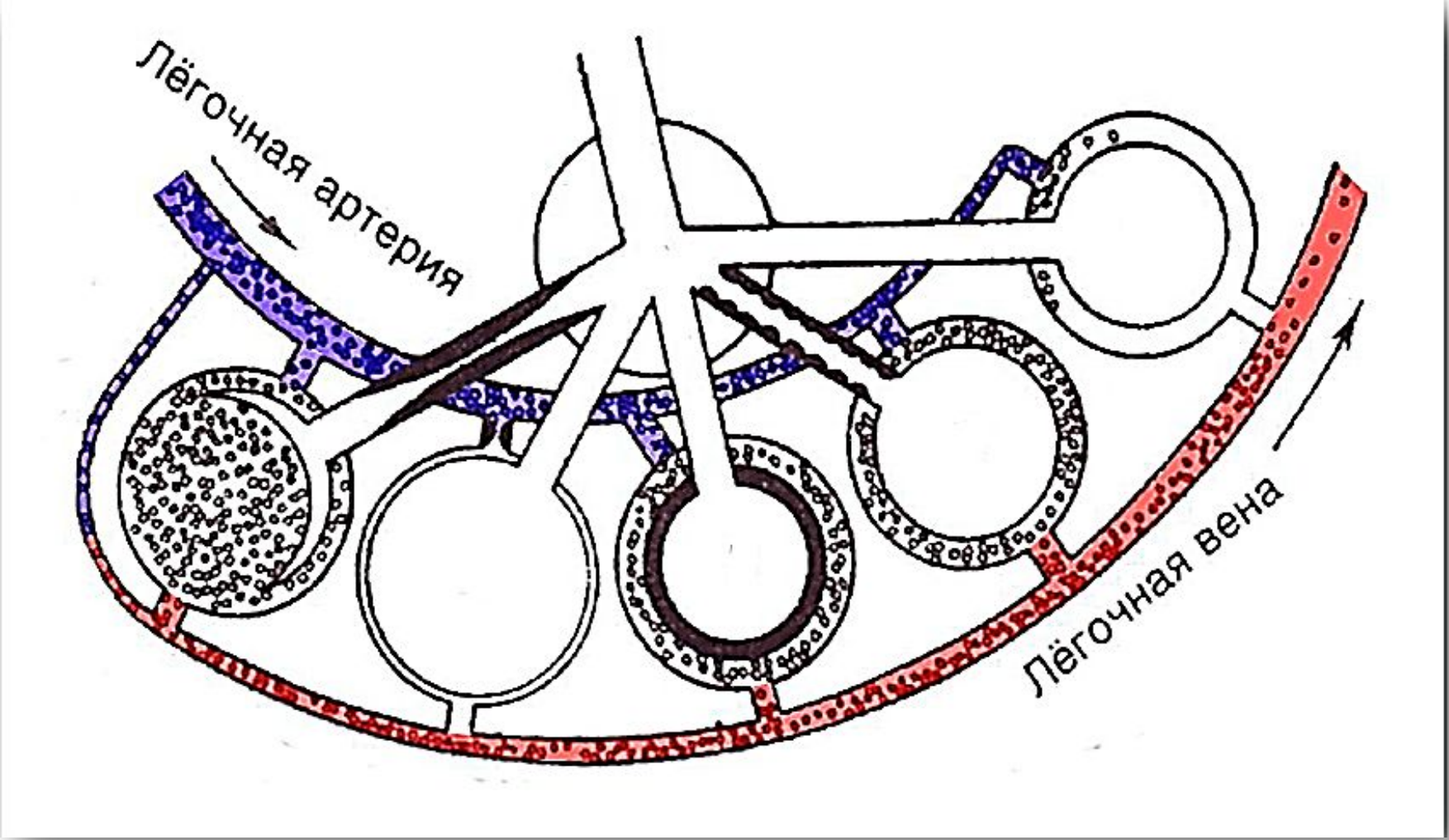
ОСНОВЫ ФИЗИОЛОГИИ ДЫХАНИЯ

ДЫХАТЕЛЬНАЯ НЕДОСТАТОЧНОСТЬ

- Термин предложен Винтрихом в 1854 году
- Дыхательные нарушения, расстройства дыхания – явно затрудненная вентиляция легких или вентиляция, требующая дополнительных дыхательных усилий, клинически проявляющаяся нарушениями вентиляции и/или оксигенации.
- Дыхательная недостаточность - состояние организма, при котором возможности легких и аппарата вентиляции обеспечить нормальный газовый состав артериальной крови ограничены (Зильбер А.П., 1996).
- Дыхательная недостаточность – неспособность дыхательной системы обеспечить адекватную доставку кислорода для удовлетворения метаболических потребностей организма и/или экскретировать углекислоту, продуцируемую

ОСНОВЫ ФИЗИОЛОГИИ ДЫХАНИЯ

ПРИЧИНЫ РАССТРОЙСТВ ГАЗОБМЕНА



ОСНОВЫ ФИЗИОЛОГИИ ДЫХАНИЯ

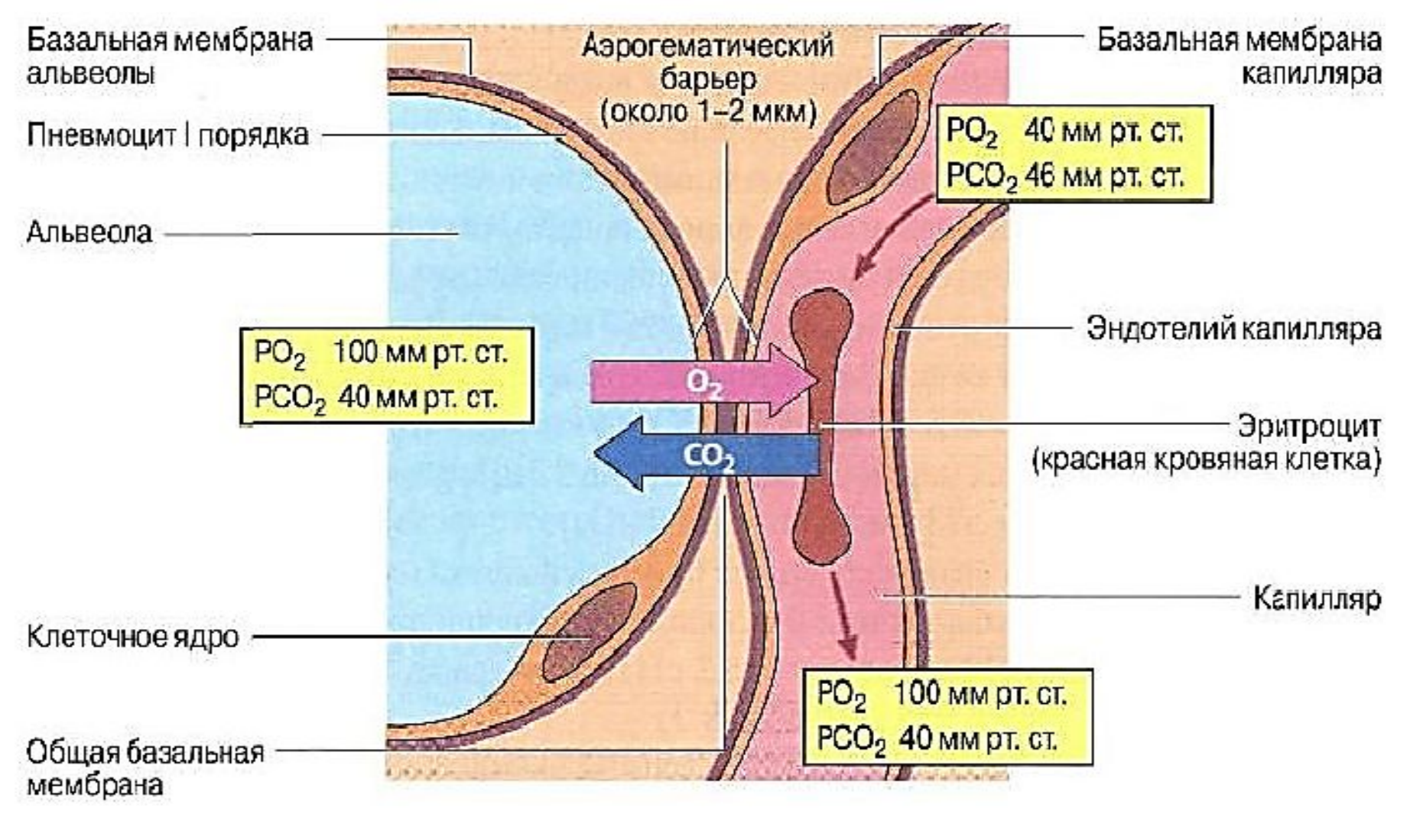
ГИПОВЕНТИЛЯЦИЯ

Гиповентиляция – снижение количества воздуха, поступающего из внешней среды в альвеолы в единицу времени (снижение альвеолярной вентиляции).

1. Медикаментозное угнетение активности дыхательного центра
2. Поражения продолговатого мозга
3. Поражение спинного мозга
4. Поражение нейронов передних рогов спинного мозга
5. Нарушения иннервации дыхательной мускулатуры
6. Нарушения нервно-мышечной передачи
7. Поражения дыхательной мускулатуры
8. Повреждения каркаса грудной клетки
9. Обструкция верхних дыхательных путей
10. Синдром Пиквика
11. Сонные апноэ
12. Полицитемия

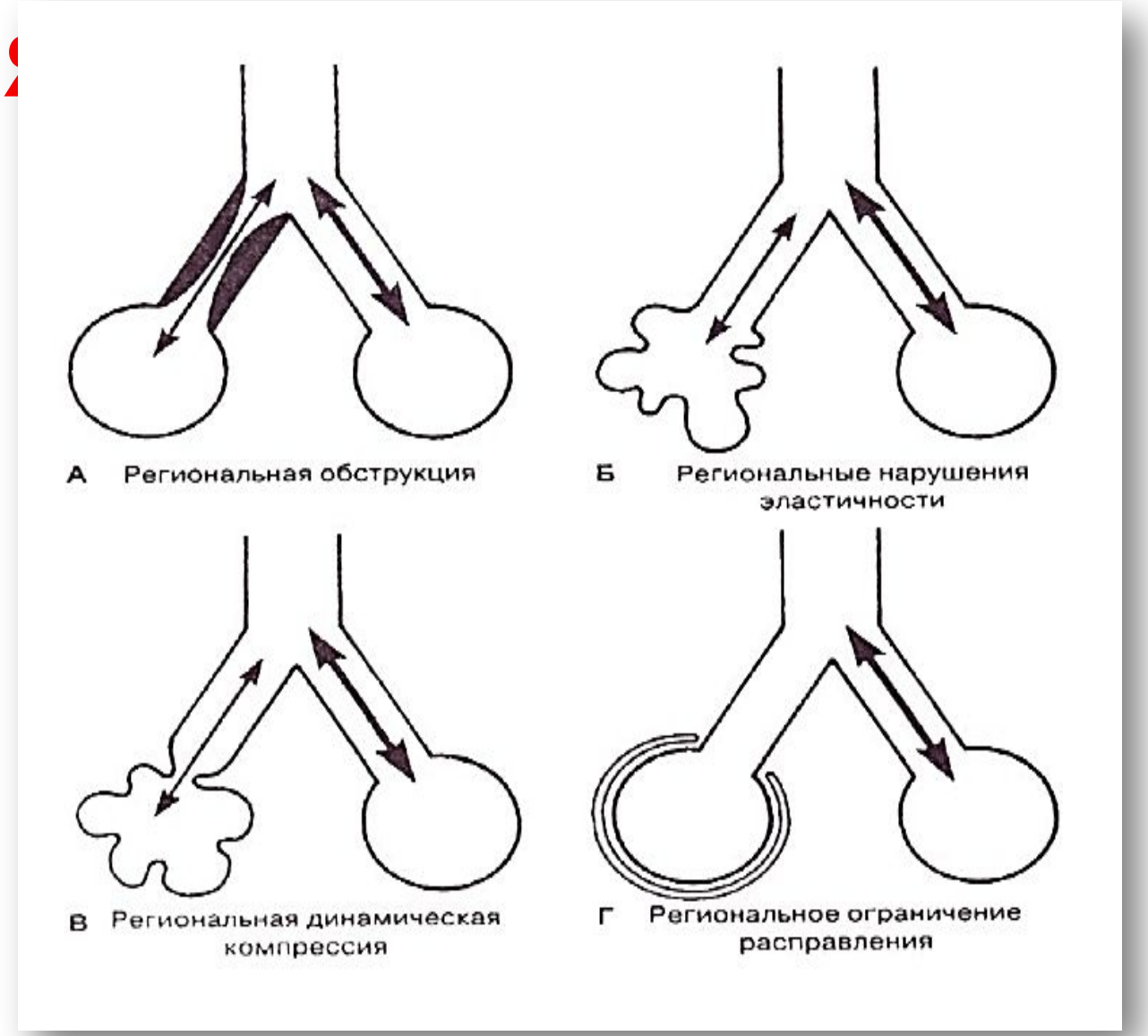
ОСНОВЫ ФИЗИОЛОГИИ ДЫХАНИЯ

НАРУШЕНИЯ ДИФФУЗИИ



ОСНОВЫ ФИЗИОЛОГИИ ДЫХАНИЯ

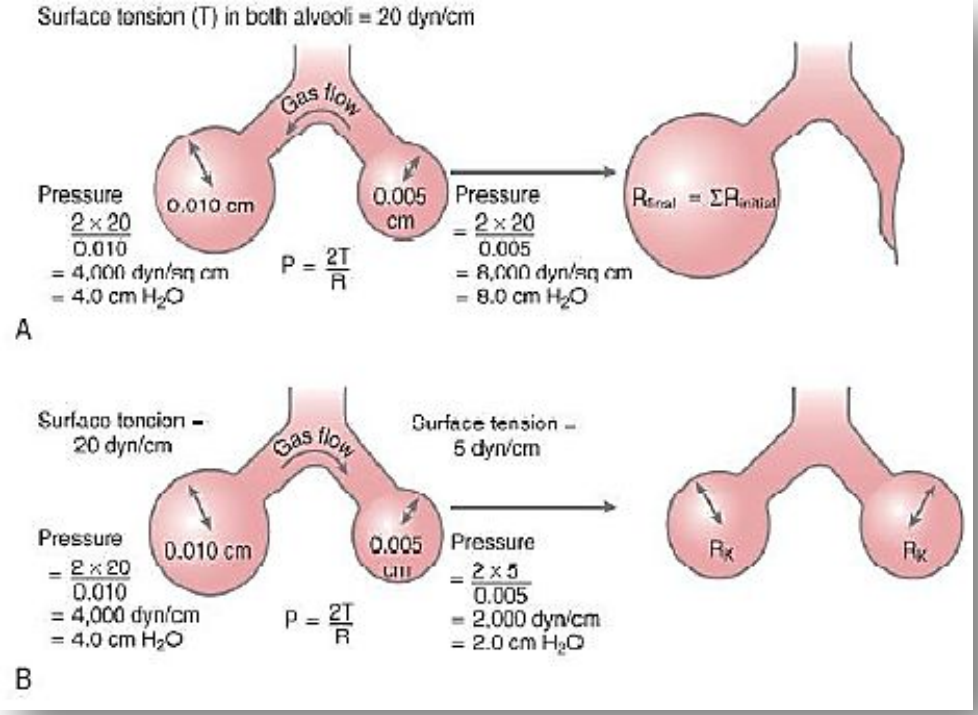
РАССТРОЙСТВА РЕГИОНАРНОЙ ВЕНТИЛЯ

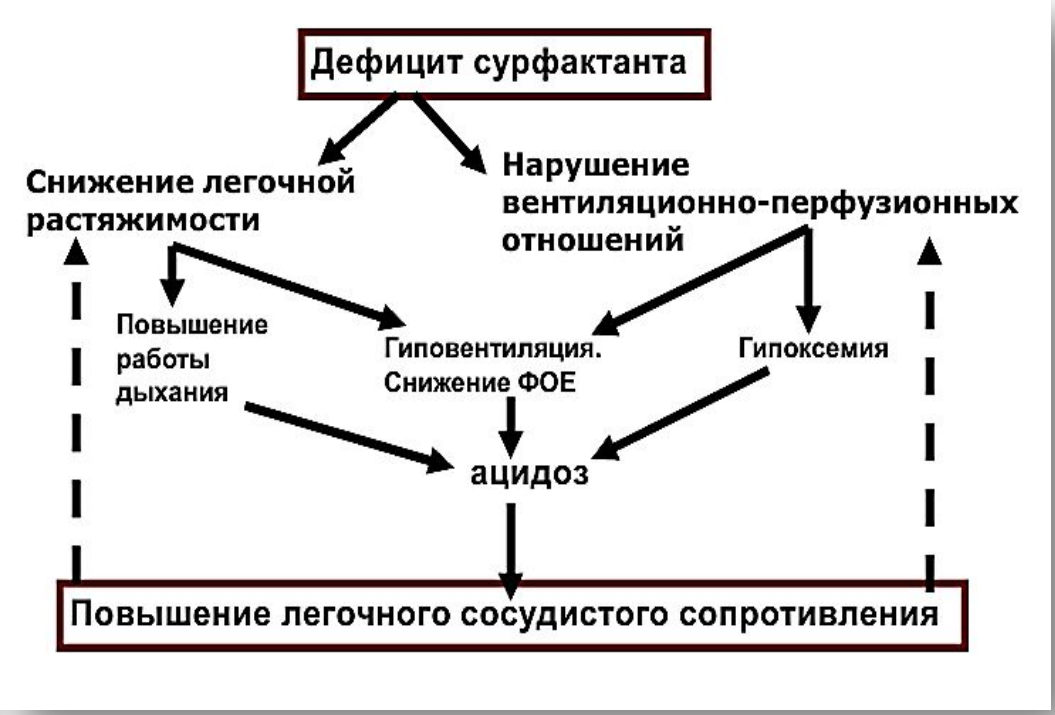


ОСНОВЫ ФИЗИОЛОГИИ ДЫХАНИЯ

ЗАКОН ЛАПЛАСА и СУРФАКТАНТ

$$\Delta p = \sigma \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$





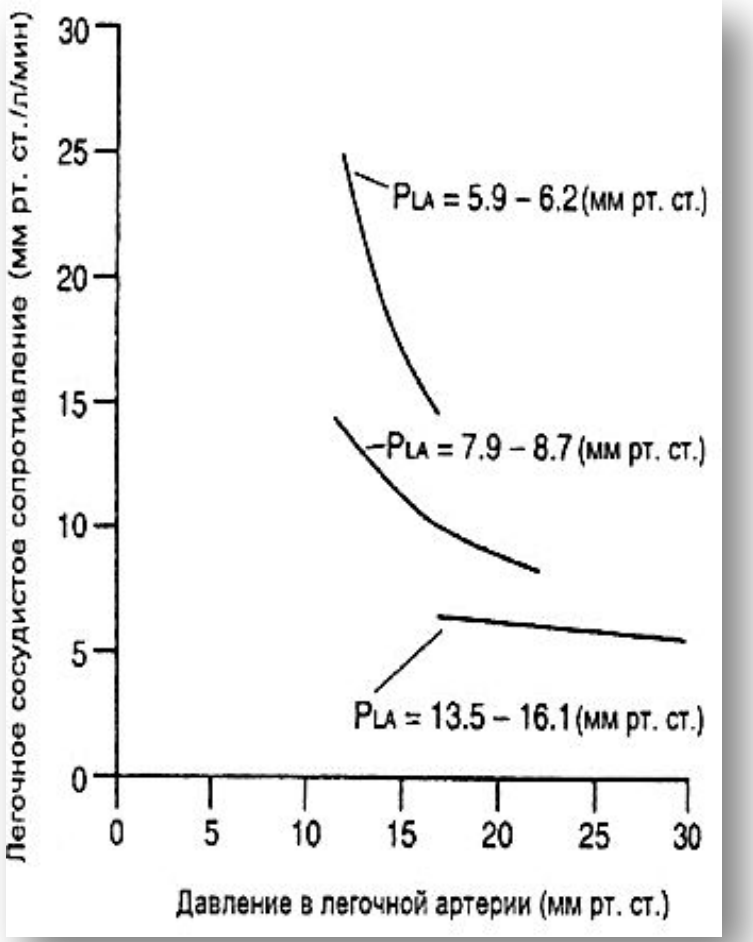
ОСНОВЫ ФИЗИОЛОГИИ ДЫХАНИЯ

ОСОБЕННОСТИ ГЕМОДИНАМИКИ В СИСТЕМЕ МАЛОГО КРУГА КРОВООБРАЩЕНИЯ

1. Малый круг кровообращения – контур большого объёма с низким сопротивлением
2. Вмещает в себя весь объём сердечного выброса как в состоянии покоя, так и при физической нагрузке
3. Большая часть объёма малого круга кровообращения обеспечивает перфузию базальных отделов лёгких
4. Имеется большое количество нефункционирующих сосудов
5. Низкое ОПСС независимо от объёма кровотока
6. Отсутствуют механизмы ауторегуляции кровяного давления
7. Объём крови в системе малого круга кровообращения непостоянен и зависит от величины кровотока, трансторакального давления и положения тела

ОСНОВЫ ФИЗИОЛОГИИ ДЫХАНИЯ

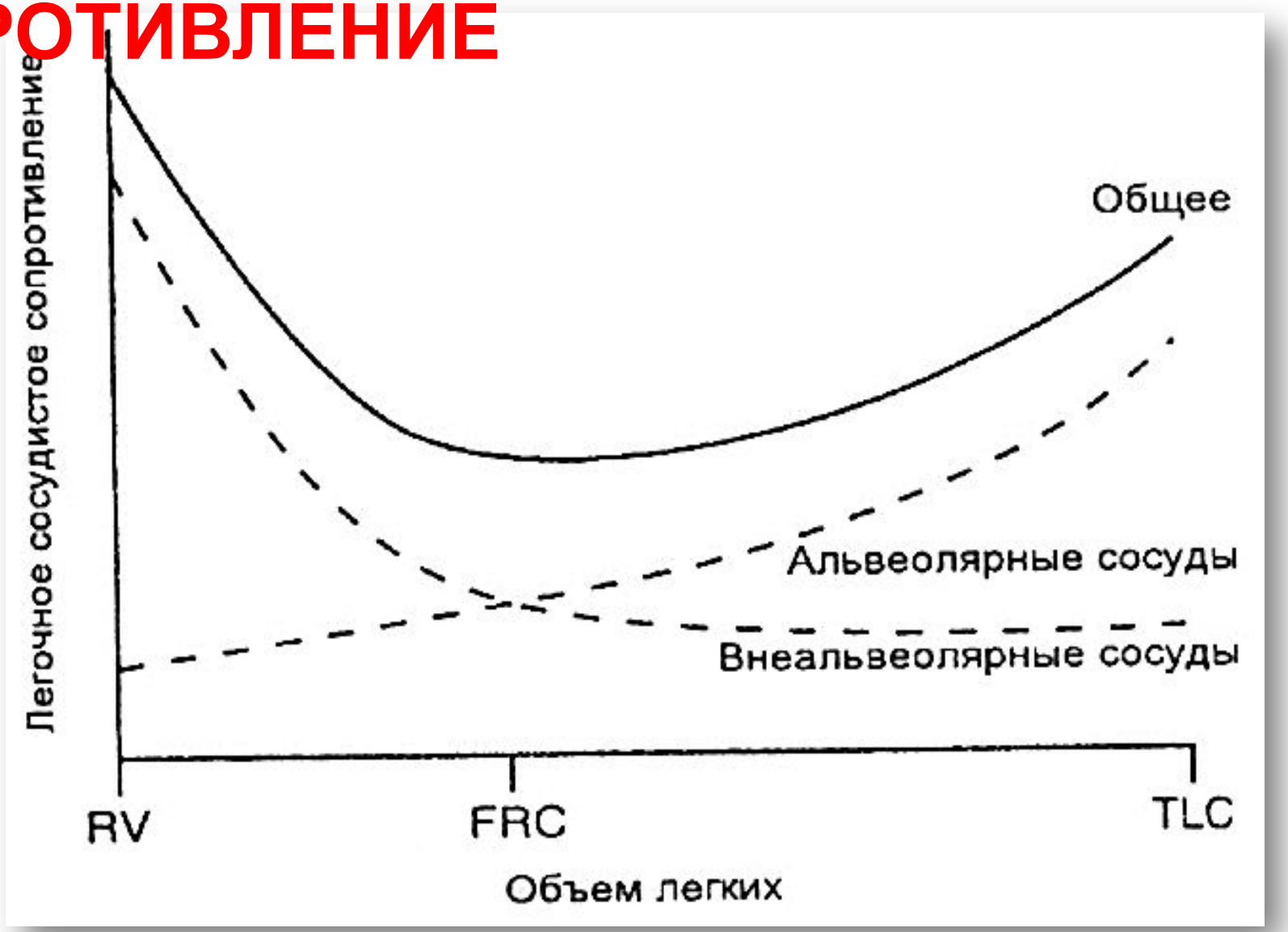
ЛЁГОЧНОЕ СОСУДИСТОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ



1. При увеличении давления в лёгочной артерии ЛСС значительно уменьшается;
2. При постоянном давлении в лёгочной артерии повышение давления в левом предсердии сопровождается снижением ЛСС

ОСНОВЫ ФИЗИОЛОГИИ ДЫХАНИЯ

ЛЁГОЧНОЕ СОСУДИСТОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ



ОСНОВЫ ФИЗИОЛОГИИ ДЫХАНИЯ

ЛЁГОЧНОЕ СОСУДИСТОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ

АКТИВНЫЕ И ПАССИВНЫЕ ФАКТОРЫ	
Увеличение	**Уменьшение**
Колебания транспульмонального давления	Увеличение давления в левом предсердии
Повышение вязкости крови	Увеличение давления в легочной артерии
Альвеолярная гипоксия (рефлекс Эйлера-Лилиестранда)	Увеличение объема крови в системе малого круга кровообращения (перераспределение)
Ацидемия	Ацетил-холин
Альвеолярная гиперкапния	Брадикинин
Катехоламины	Е-простагландины
F-простагландины	Простациклин
Эндотелины	Окись азота
Ангиотензин	Уменьшение объема легких до FRC

ЛЁГОЧНАЯ ГИПЕРТЕНЗИЯ

1. Diaphragmatic hernia – диафрагмальная грыжа, гипоплазия лёгкого
2. Infection - пневмония
3. Aspiration syndromes – аспирационный синдром
4. Hyperviscosity – повышенная вязкость крови (полицитемия, гиперфибриногенемия)
5. Respiratory distress syndrome – респираторный дистресс-синдром
6. Asphyxia – асфиксия
7. Air leak – синдром утечки воздуха (пневмоторакс, интерстициальная эмфизема)
8. Idiopatic («black Lung» PPHN) – идиопатическая стойкая лёгочная гипертензия («чёрное лёгкое»)
9. Congenital anovalies of the lung – врожденные аномалии лёгких, альвеолярно-капиллярная дисплазия