

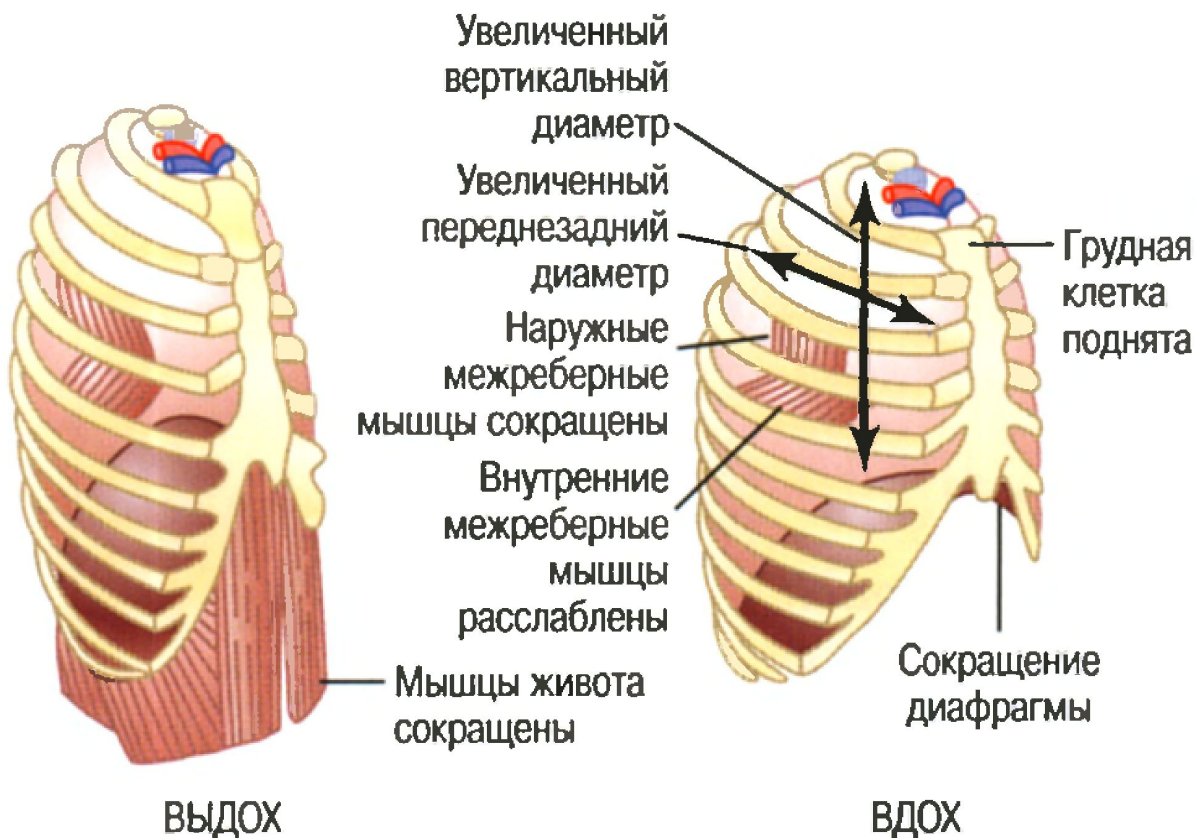
Дыхание

Дыхание

- Совокупность процессов, направленных на доставку кислорода к клеткам и удаления углекислого газа из организма (а не только вдох и выдох)
- Этапы дыхания: см. учебник

- Для поступления воздуха в легкие необходимо, чтобы давление внутри альвеол стало меньше атмосферного. В соответствии с законом Бойля-Мариотта $pV = \text{const}$ при увеличении объема давление понижается и наоборот. При увеличении объема грудной клетки альвеолярное давление уменьшается примерно на 1 мм.рт.ст., что достаточно для поступления 0,5 л воздуха в легкие.
- Объем легких изменяется вслед за изменением объема грудной клетки, а объем грудной клетки изменяется благодаря сокращению дыхательных мышц

- Грудная клетка имеет вертикальный, поперечный и передне-задний размеры.
- Вертикальный размер изменяется при сокращении диафрагмы, поперечный и передне-задний при сокращении наружных межреберных мышц.



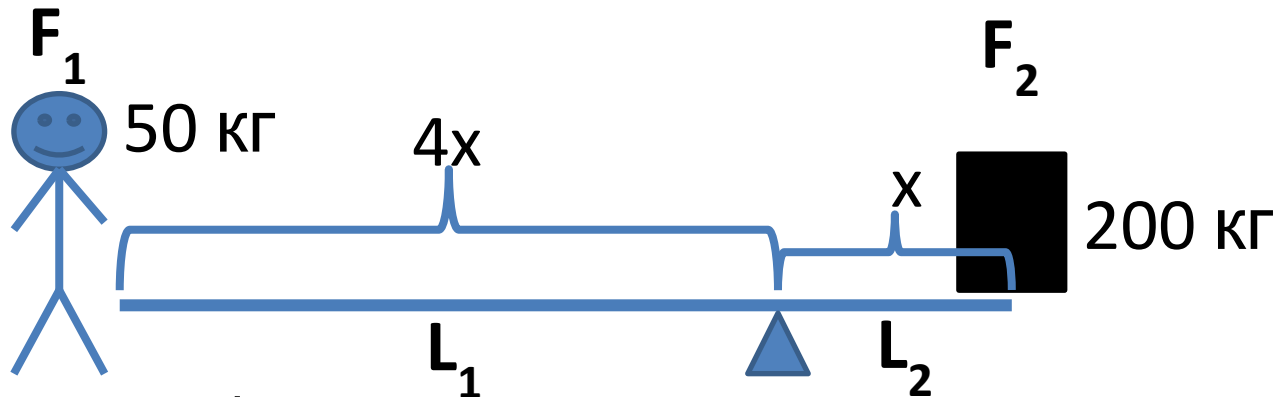
Классификация дыхательных МЫШЦ

- Основные инспираторные – диафрагма, наружные межреберные.
- Дополнительные инспираторные (все, которые так или иначе способствуют поднятию ребер) – грудиноключичнососцевидная, зубчатые, лестничные, большая и малая грудные, трапециевидная, дельтовидные. Все они работают только при форсированном дыхании.
- Экспираторные – абдоминальные, внутренние межреберные. Также работают только при форсированном дыхании.
- При спокойном дыхании вдох активен, выдох пассивен.

Типы дыхания

- Брюшной – при большой нагрузке на плечевой пояс
- Грудной – в последнем триместре беременности
- Смешанный – основной тип дыхания

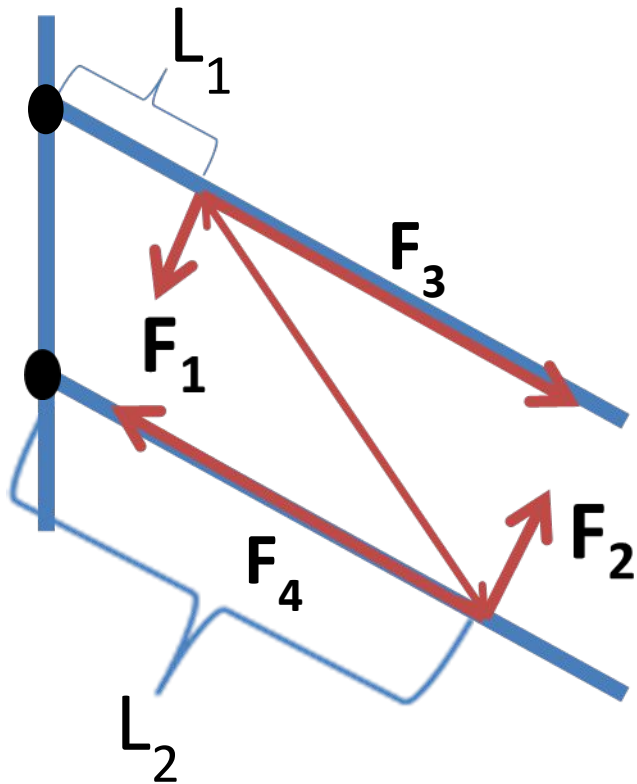
Рычаг 1-го рода



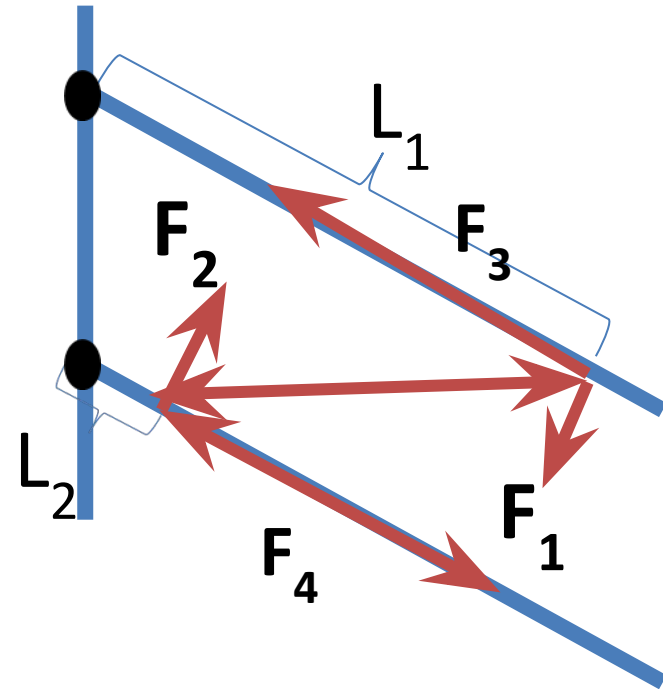
Для того чтобы сдвинуть неподъемный груз необходимо воспользоваться рычагом, который развивает большее усилие на коротком плече с помощью меньшего усилия на длинном плече. Причем усилие тем меньше, чем больше длина плеча, и определяется соотношением моментов сил $F_1 L_1$ и $F_2 L_2$ (произведение FL называется моментом силы). В данном примере для смещения груза в 200 кг при длине длинного плеча в 4 раза большей, чем короткого, необходимо приложить усилие не менее 50 кг.

На рисунке представлен **рычаг первого рода**, так как действующие силы находятся по обе стороны от точки опоры.

Биомеханика наружных дыхательных мышц



Поскольку $F_1 L_1 < F_2 L_2$, т.е., момент силы, которая поднимает ребра больше, чем момент силы, которая опускает ребра, при сокращении наружных межреберных мышц ребра поднимаются



Поскольку $F_1 L_1 > F_2 L_2$, т.е., момент силы, которая опускает ребра больше, чем момент силы, которая поднимает ребра, при сокращении внутренних межреберных мышц ребра опускаются



Работа, которая совершается при сокращении дыхательных мышц

- Против давления органов брюшной полости
- Против силы тяжести грудной клетки
- Против силы тяжести плечевого пояса
- Против эластической тяги легкого

Эта работа совершается при вдохе, выдох происходит при расслаблении этих мышц, при этом все эти силы возвращают грудную клетку в исходное положение – **выдох пассивен!**

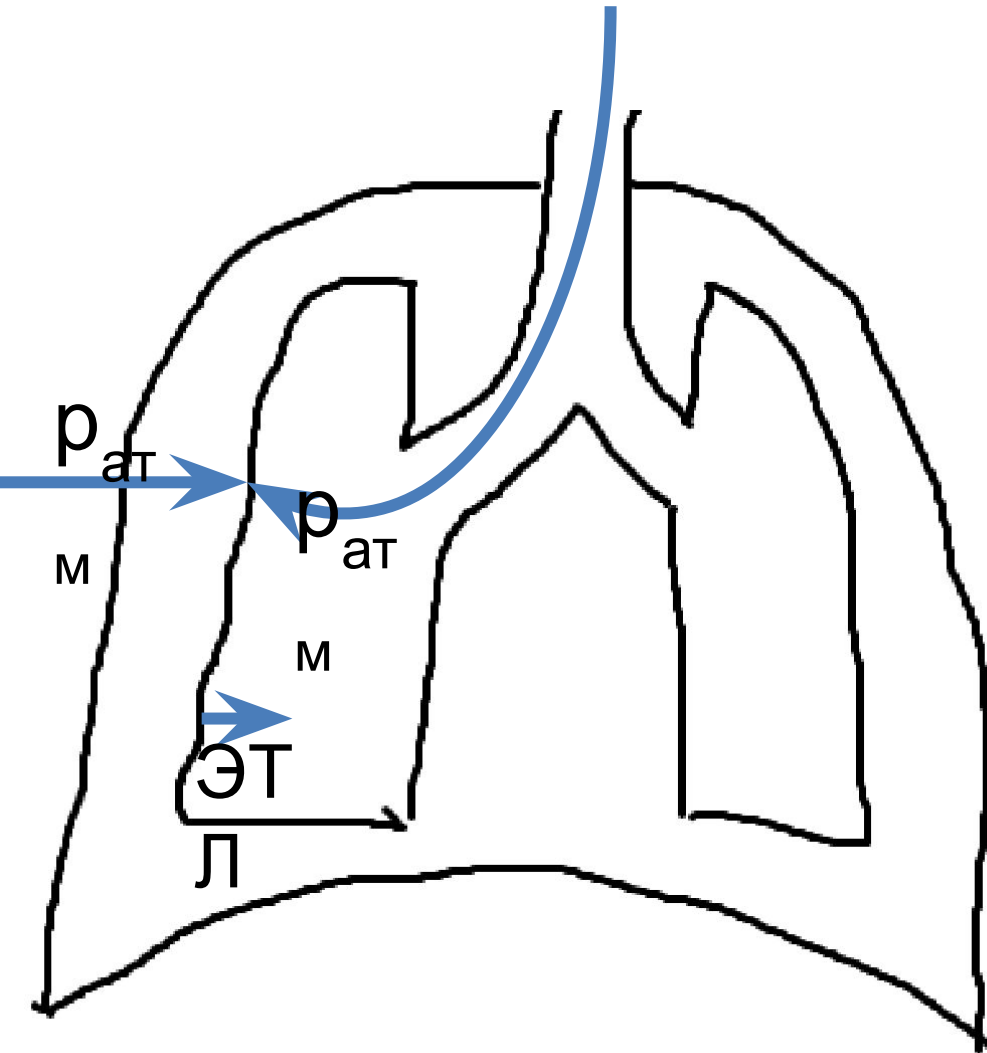
Эластическая тяга легких (ЭТЛ)

- это сила, с которой легкие стремятся к спадению (легкие можно сравнить со слабой резинкой, для растяжения которой необходимо приложить минимальные усилия), примерно равна **4 мм.рт.ст.**
- На $\frac{1}{3}$ ЭТЛ определяется **эластическими силами** самой легочной ткани (эластические и коллагеновые волокна)
- На $\frac{2}{3}$ ЭТЛ определяется поверхностным натяжением (ПН), которое создает **слой жидкости** на поверхности альвеол. Этот слой жидкости необходим для создания оптимальных условий для работы альвеолярных клеток, так как все реакции проходят в водной среде (организм на 60% состоит из воды). Что такое ПН и что оно делает? Жидкость всегда стремится принять форму шара, так как это энергетически наиболее выгодное состояние. В альвеолах слой жидкости стремится собраться в

Сурфактант

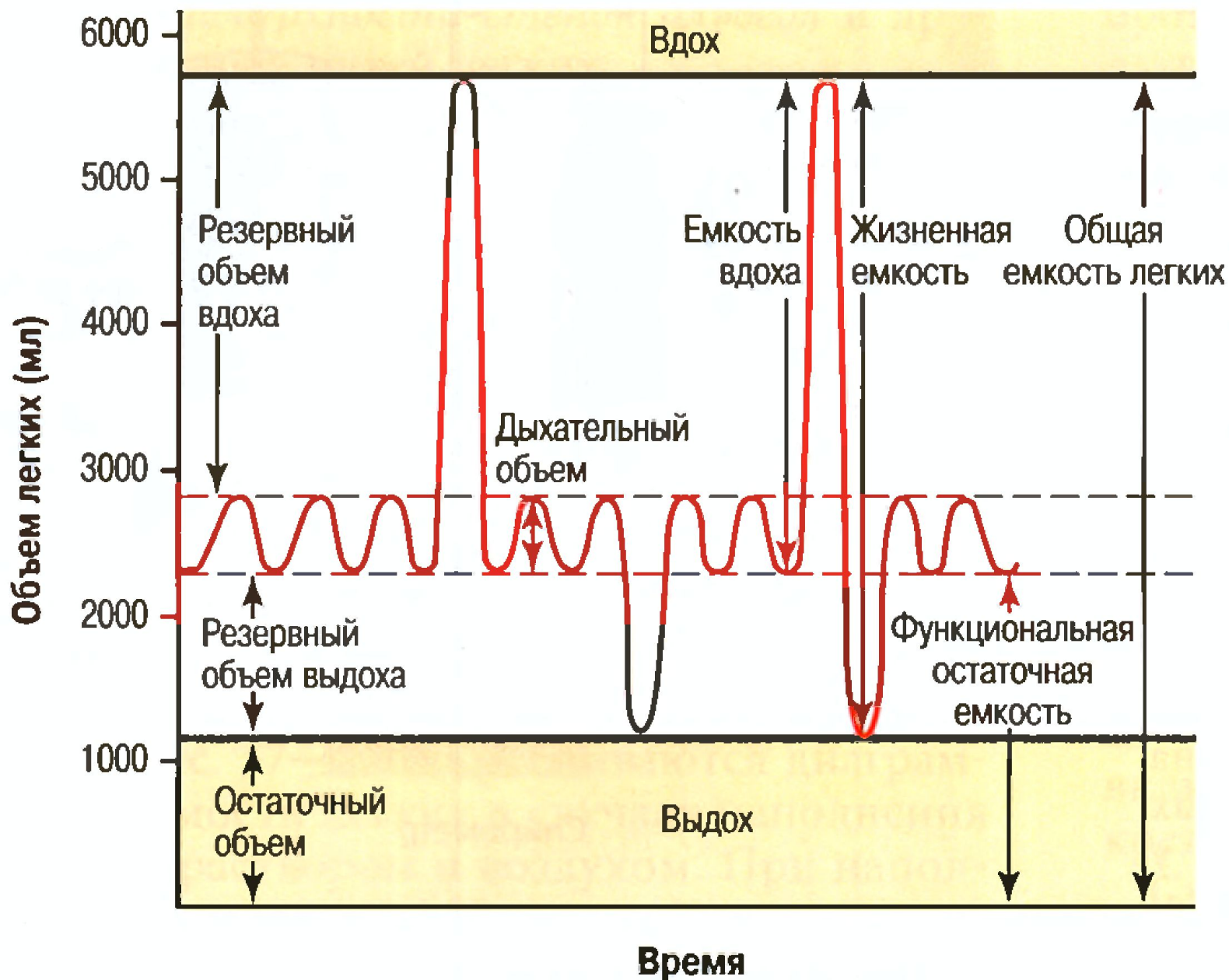
- Для уменьшения поверхностного натяжения слоя жидкости в альвеолах природа создала сурфактант – вещество, основным компонентом которого является дипальмитоилфосфатидилхолин. Сурфактант уменьшает поверхностное натяжение жидкости в **2-12 раз**. Вырабатывается на 6-7 мес внутриутробного развития, а иногда и позже.
- Давление, с которым альвеолы стремятся к спадению, определяется формулой Лапласа $p=2\sigma/r$, где σ – величина поверхностного натяжения, r – радиус альвеол. Это необходимо помнить при рождении недоношенных детей, у которых сурфактанта крайне мало или его выработка не началась, а радиус альвеол в 2 раза меньше, чем у доношенных. Таким образом, создаются предпосылки невозможности ребенка дышать вследствие того, что не хватает сил расправить легкие.

Плевральное давление



Изнутри на легкие действует атмосферное давление, которое растягивает легкие. Снаружи на легкие также действует атмосферное давление. Эти две силы равны по величине и противоположны по направлению, следовательно, они компенсируют друг друга. Есть также **эластическая тяга легких (ЭТЛ)**, которая направлена внутрь грудной клетки; с этой силой легкие стремятся к спадению. Получается, для того чтобы легкие находились в расправленном состоянии действующее снаружи на легкие атмосферное давление необходимо уменьшить на величину **ЭТЛ** – она примерно равна **4 мм.рт.ст.**, следовательно, плевральное давление будет меньше, как минимум, на 4 мм.рт.ст. атмосферного давления (отсюда отрицательное значение, атмосферное принимается за ноль).

Легочные объемы



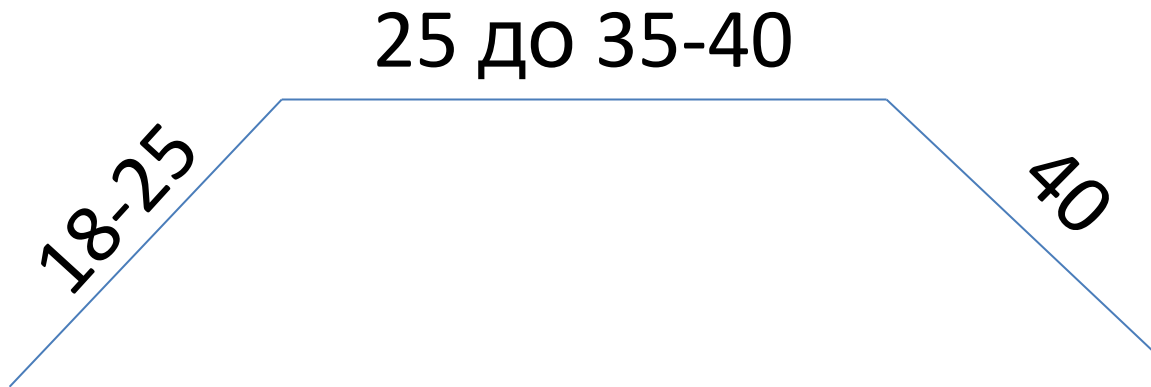
Особое внимание обратить на!

- **Остаточный объем**, складывающийся из коллапсного и минимального. Судебно-медицинское значение знания минимального объема
- **Функциональная остаточная емкость**, ее объем около 2,5 л. Учитывая, что с каждым вдохом к альвеолам приходит 350 мл (дыхательный объем минус объем анатомически мертвого пространства), полное обновление газового состава этой емкости произойдет через 7-8 вдохов. Следовательно, быстрого обновления газового состава легких благодаря этой емкости не происходит, что поддерживает постоянство газового состава крови, ее рН.

- Жизненная емкость легких (ЖЕЛ) – максимальное количество воздуха, которое человек выдыхает после максимального вдоха. Складывается из РОВыд, ДО, РОВд. Определяется при спирометрии.
- Должная ЖЕЛ (ДЖЕЛ) – ЖЕЛ, которая должна быть у человека в зависимости от его пола, возраста и роста.
- ЖЕЛ уменьшается при **рестриктивных заболеваниях**, при которых легкие не могут увеличиваться до нормальных объемов (туберкулез, силикоз – происходит замещение значительного количества легочной ткани фиброзной тканью; кифоз, сколиоз, фибротический плеврит – снижение способности

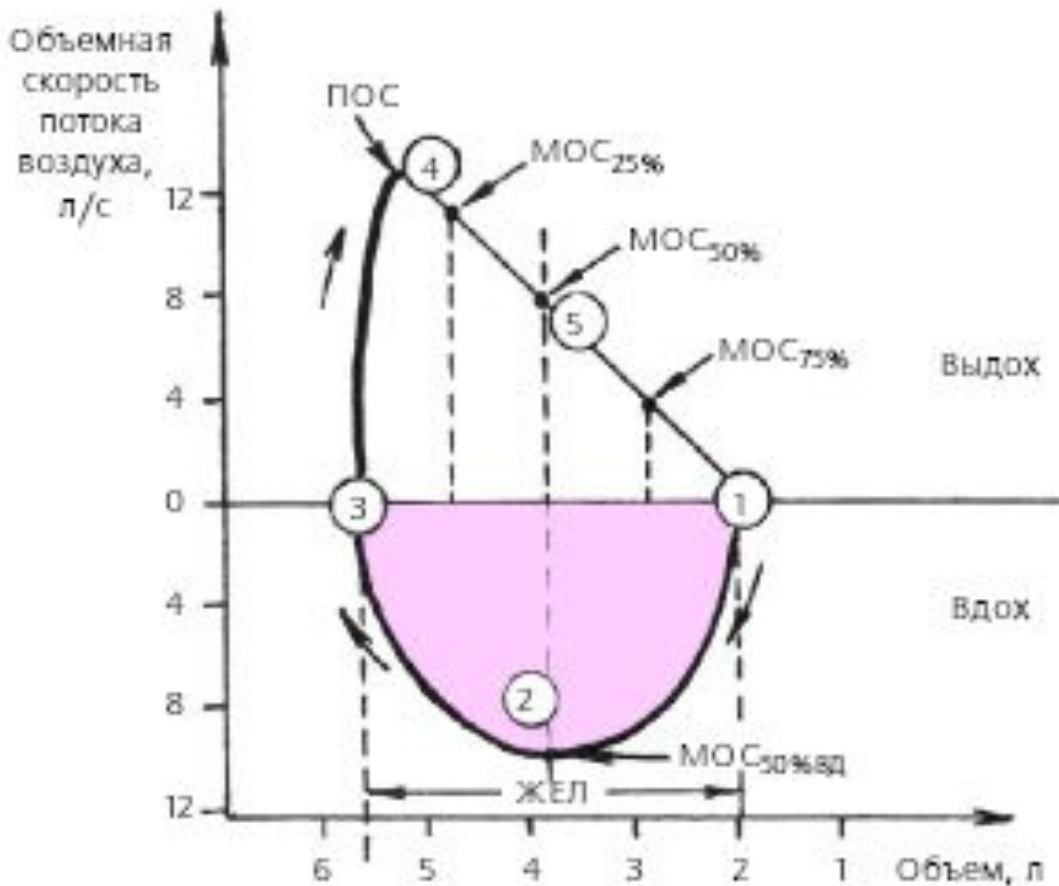
Возрастные изменения ЖЕЛ

- До 18-25 лет увеличивается, с 25 до 35-40 остается на стабильно максимальном уровне, после 40 снижается

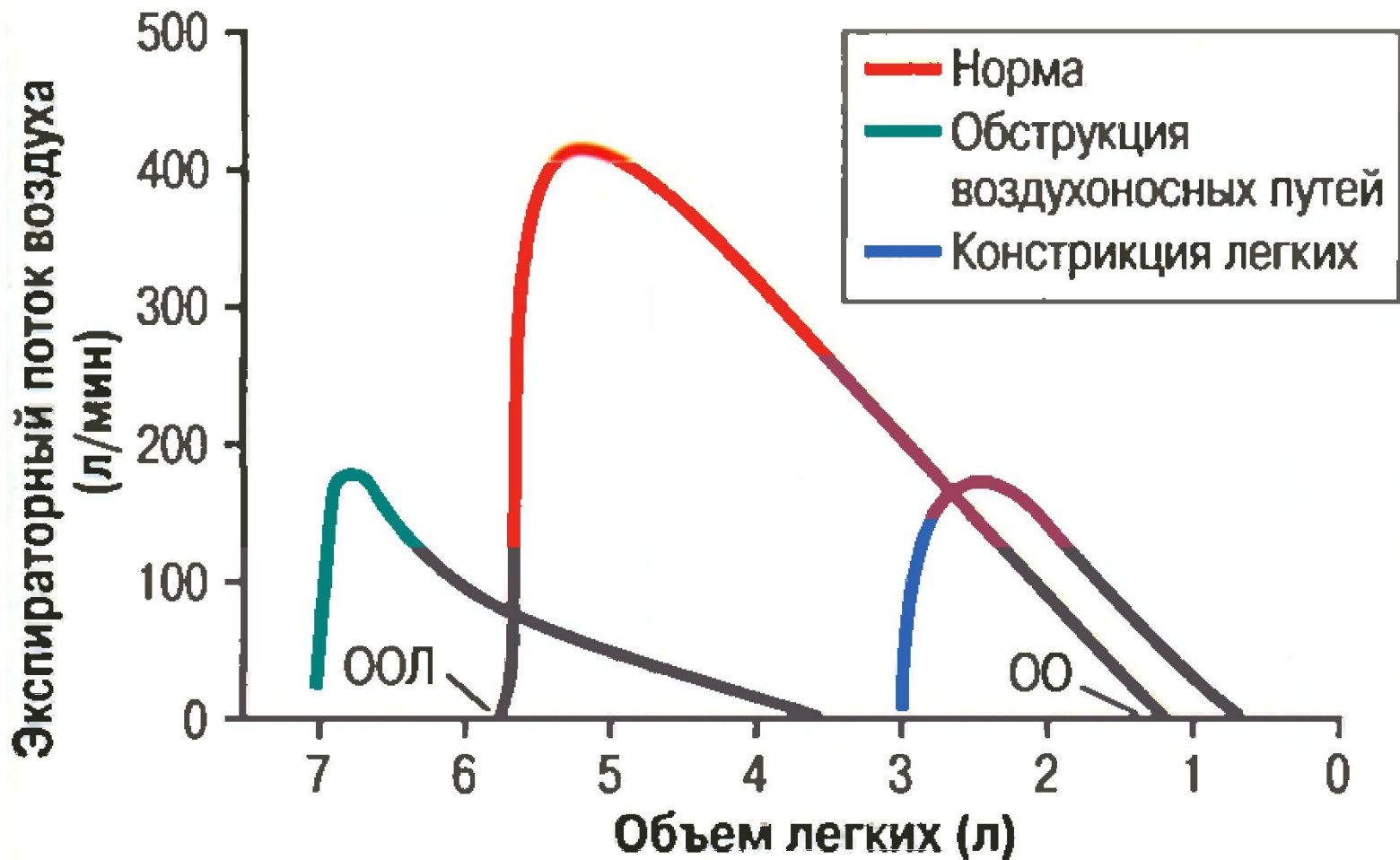


- При нарушении проходимости дыхательных путей будет изменяться скорость выдыхаемого воздуха при практически неизменной ЖЕЛ. Для оценки проходимости дыхательных путей используется индекс Тиффно (ИТ). $ИТ = ОФВ_1 / ЖЕЛ$; $ИТ \geq 75\%$, т.е. $ОФВ_1$ должен быть равным или больше 75% от ЖЕЛ. Например, если ЖЕЛ=5л, то $ОФВ_1$ должен быть не меньше 3,75л.
- Заболевания, которые сопровождаются нарушением проходимости дыхательных путей, называются **обструктивными** (так как возникает обструкция воздухоносных путей различного генеза).
- Таким образом, все заболевания легких, сопровождающиеся изменением легочных объемов и емкостей, можно разделить на 2 группы: **рестриктивные** (сопровождаются снижением ЖЕЛ – статические показатели изменяются) и **обструктивные** (снижение ИТ – динамические

Петля «объем-поток»



Кривая инспираторной части (на рисунке внизу, сиреневая область) имеет симметричный характер, максимальная объемная скорость достигается на уровне 50% ЖЕЛ. Кривая экспираторной части имеет несимметричный характер, а максимальная объемная скорость достигается в самом начале форсированного выдоха. Кривая петли «объем-поток» изменяется при различных обструктивных и рестриктивных



Обратите внимание, при обструкции возрастают общий объем легких (ООЛ) и остаточный объем (ОО), а кривая экспираторного потока имеет меньшее максимальное значение и носит пологий характер, так как затруднен выдох. При этом **индекс Тиффно меньше 75%**.

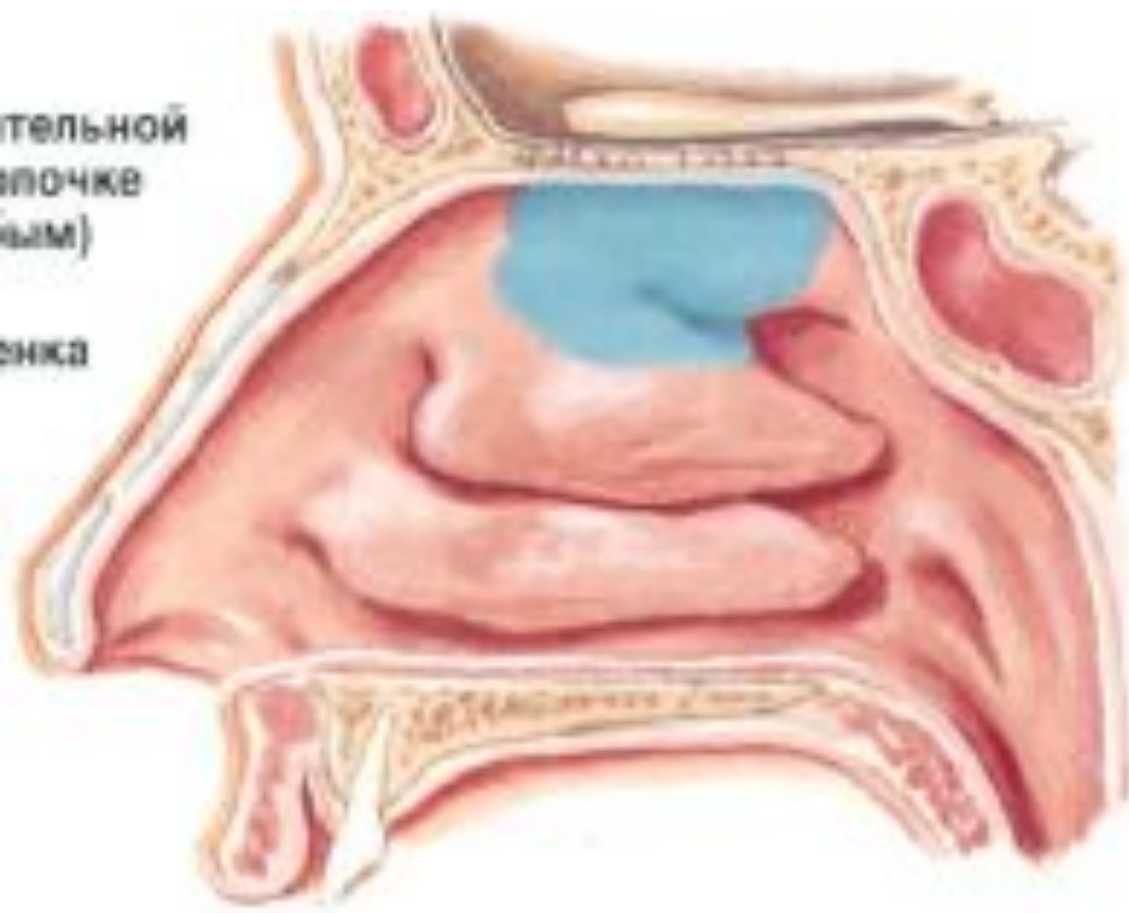
При рестрикционных заболеваниях снижен ООЛ и ОО, так как способность к растяжению легочной ткани снижена, при этом кривая экспираторного потока имеет нормальный вид (**индекс Тиффно имеет нормальное значение**).

Анатомически мертвое

пространство

- пространство, в котором не происходит газообмен – воздухоносные пути, объем около 150 мл.
- Функции: **очищение, согревание и увлажнение** поступающего воздуха (все эти процессы происходят в основном в верхних дыхательных путях)
- Механизмы очищения – **турбулентная** (в носовой полости) и **гравитационная** (в бронхах) **преципитация**. На поверхности каждой ресничной клетки эпителия воздухоносных путей около 200 ресничек, совершающих около 20 колебательных движений в секунду в направлении глотки. Получается, реснички верхних воздухоносных путей работают сверху вниз, а нижних – снизу вверх.
- Согревание – температура поступающего в трахею воздуха отличается от температуры тела не более чем на $0,36^{\circ}\text{C}$ (отличие около 1%). Согревание происходит в основном благодаря носовой полости, ее раковинам, увеличивающим площадь согревающей поверхности (можно сравнить с батареей с большим количеством секций)
- Увлажнение также в основном в носовой полости.
- Отсюда становится понятным, почему дыхание через рот очень часто приводит к респираторным заболеваниям. Также

Анатомическое строение носовой полости и носовых раковин



Учитывая объем мертвого пространства, глубокое и редкое дыхание более эффективно, чем поверхностное и частое

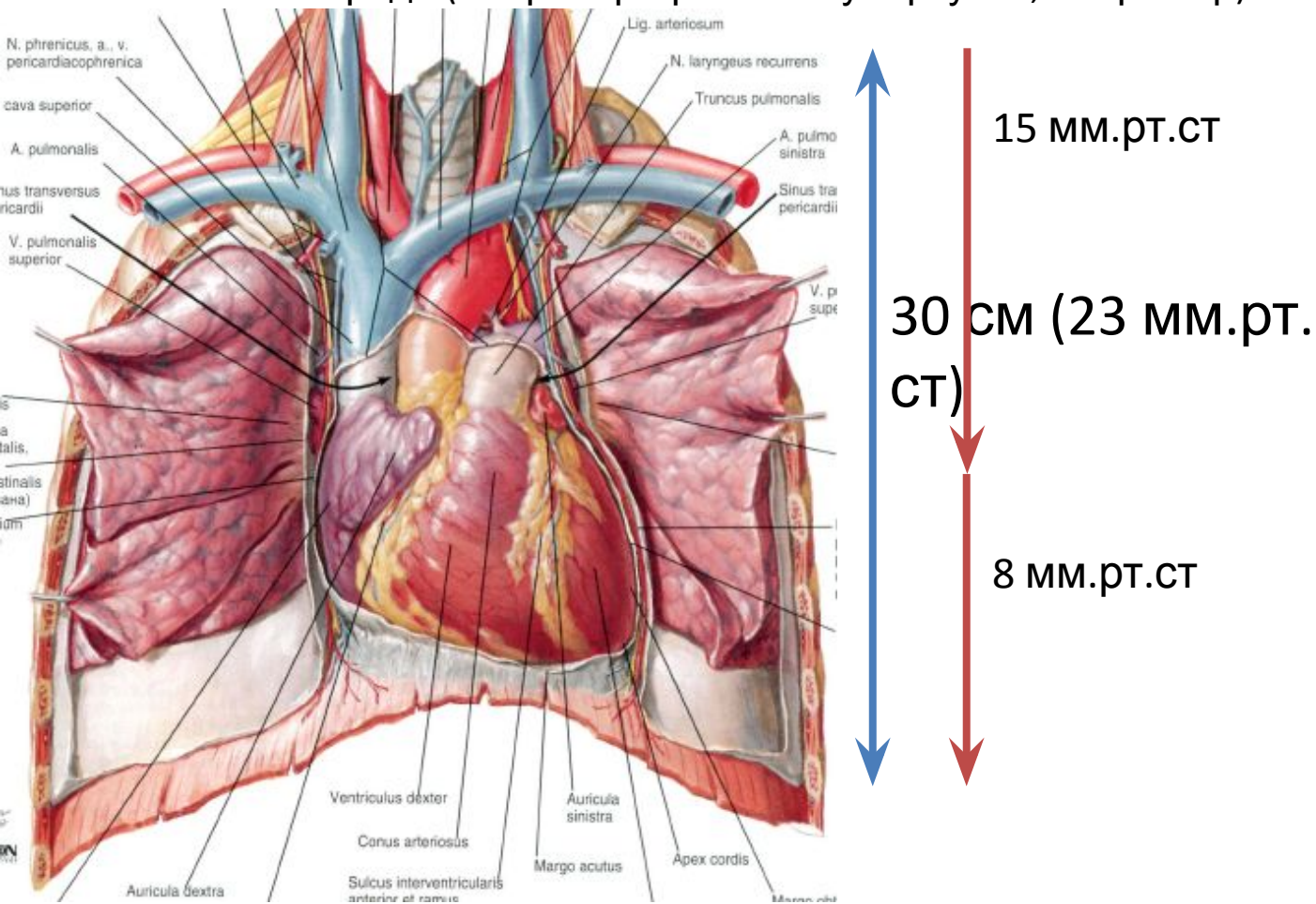
Объяснение

МОД=ЧДД*ДО: $8=16*0,5$; с каждым спокойным вдохом поступает 0,5л воздуха, из них только 350 мл принимает участие в газообмене, т.к. 150 мл приходится на мертвое пространство. Следовательно, из 8л, поступающих в легкие, участие в газообмене принимают $16*0,35=5,6$ л. При поверхностном дыхании при МОДе 8л предположим, что ЧДД составляет 32, тогда ДО будет 250 мл. Тогда из 8л, поступающих в легкие, участие в газообмене будут принимать только

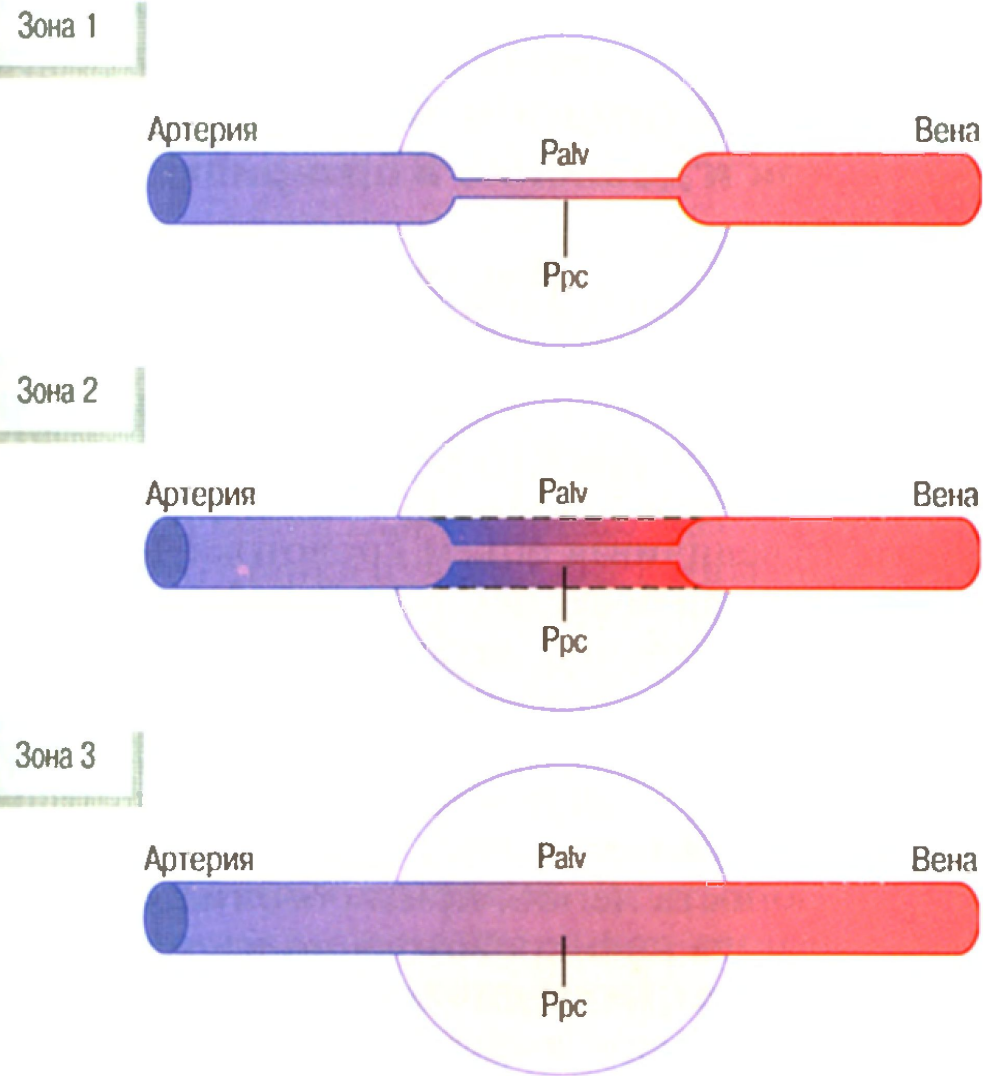
Альвеолярное мертвое пространство

- не перфузируемые кровью альвеолы, в которых, следовательно, не происходит газообмен
- Сумма анатомического и альвеолярного мертвых пространств называется **физиологическим мертвым пространством**. У здорового человека анатомическое и физиологическое мертвые пространства практически равны

У здорового человека в положении стоя расстояние между верхней и нижней точками легкого составляет 30 см, что обеспечивает градиент давления в **23 мм.рт.ст.** **15** из 23 мм.рт.ст. приходится на уровень выше сердца (они препятствуют движению крови в эти отделы легкого), **8** мм.рт.ст. приходится на уровень ниже сердца (способствуют движению крови в эти отделы легкого). Учитывая, что давление в малом круге во время систолы составляет 25 мм.рт.ст., а во время диастолы всего 8 мм.рт.ст., кровоток в верхушках легких будет осуществляться во время систолы и отсутствовать во время диастолы. Эта особенность создает условия для размножения микроорганизмов, требующих сниженное количество кислорода (микроаэрофилов – туберкулез, например).

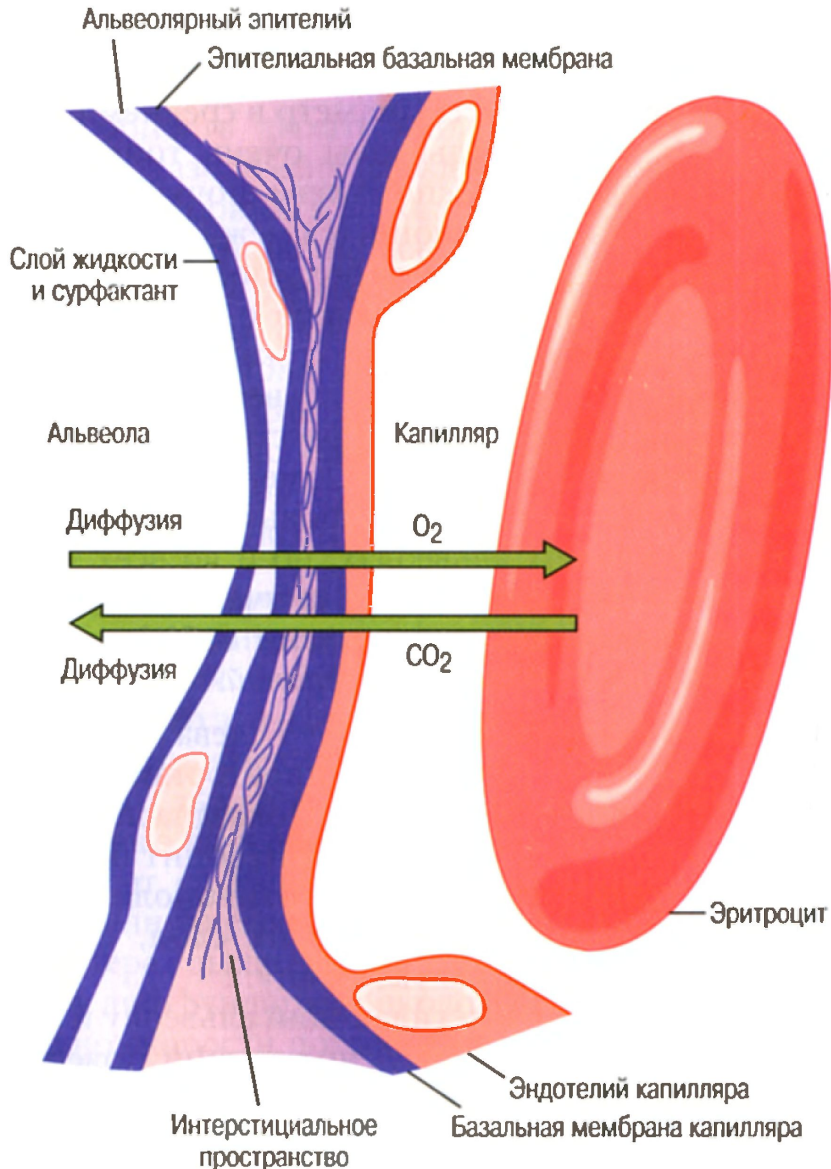


Три зоны кровотока в легких



Механика кровотока в трех зонах кровотока легкого: зона 1 – кровоток отсутствует – давление альвеолярного воздуха (P_{alv}) больше артериального давления; зона 2 – прерывистый кровоток – систолическое артериальное давление поднимается выше давления альвеолярного воздуха, но диастолическое артериальное давление падает ниже давления альвеолярного воздуха; зона 3 – постоянный кровоток – артериальное давление и давление в легочных капиллярах (P_{pc}) остаются все время выше давления альвеолярного воздуха

Диффузия газов происходит через аэрогематический барьер



Количество альвеол в обоих легких составляет примерно 300 млн, диаметр каждой альвеолы около 0,2 мм. Площадь всех альвеол составляет около **100 м²**, а объем крови в прилегающих к этим альвеолам капиллярах около 70 мл. Отсюда становится понятным, насколько тонкий слой крови прилегает к альвеолам, обеспечивая быструю диффузию газов. Толщина аэрогематического барьера составляет около **0,6 мкм**, в наиболее тонких местах 0,2 мкм, а где ядра альвеолярных клеток около 1,5 мкм.

- Направление диффузии газов определяется разницей между парциальным давлением газа в альвеолярной газовой смеси и напряжением этого газа в крови
- Парциальное давление – давление газа в газовой смеси, пропорциональное его процентному содержанию в этой смеси
- Напряжение газа – это давление растворенного в жидкости газа.

Содержание газов в атмосферном, альвеолярном и выдыхаемом воздухе

	Атмосферный	Альвеолярный	Выдыхаемый
O ₂	20,93	14,5	16,3
CO ₂	0,03	5,5	4,0
N ₂	79,04	80	79,7

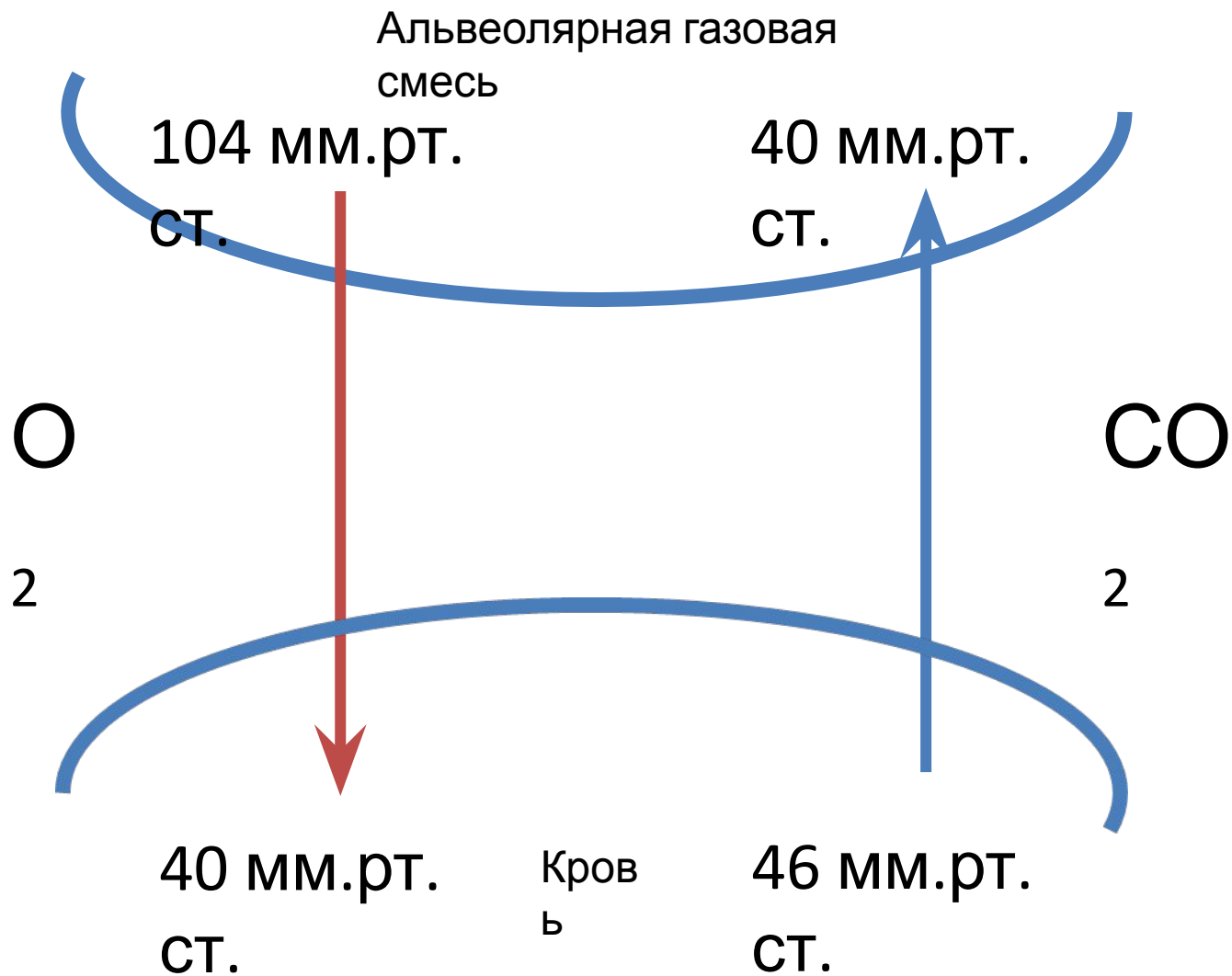
Изменение процентного соотношения азота носит относительный характер по причине изменения соотношения углекислого газа и кислорода (углекислого газа выделяется меньше, чем поглощается кислорода), т.е., при неизменном количестве азота и снижения других газов процентное значение азота увеличивается.

Пример расчета парциального давления: в атмосферном воздухе

$$p_{O_2} = 0,2093 * 760;$$

$$p_{O_2} = 159$$

Направление диффузии



Скорость диффузии газов

- определяется законом Фика: $v = \Delta P \cdot S \cdot s / d \cdot \sqrt{M_r}$

ΔP – градиент давления газа; S – площадь мембраны, через которую происходит диффузия; s – растворимость газа; d – толщина мембраны; M_r – молекулярная масса газа

Из формулы следует, что любое утолщение мембраны приводит к снижению скорости диффузии газа (например, фиброзные поражения легких, когда аэрогематический барьер замещается утолщенной соединительной тканью). Учитывая тот факт, что диффундирующие газы растворимы в жирах, любое увеличение интерстициального пространства в результате отека приводит к значительному снижению скорости диффузии газов.

Диффузионная емкость легочной мембраны

- Вся дыхательная поверхность легких за минуту при разнице парциального давления по обе стороны мембраны в 1 мм.рт.ст. может пропустить около 25 мл O_2 (25 мл/мм.рт.ст. за 1 мин)