

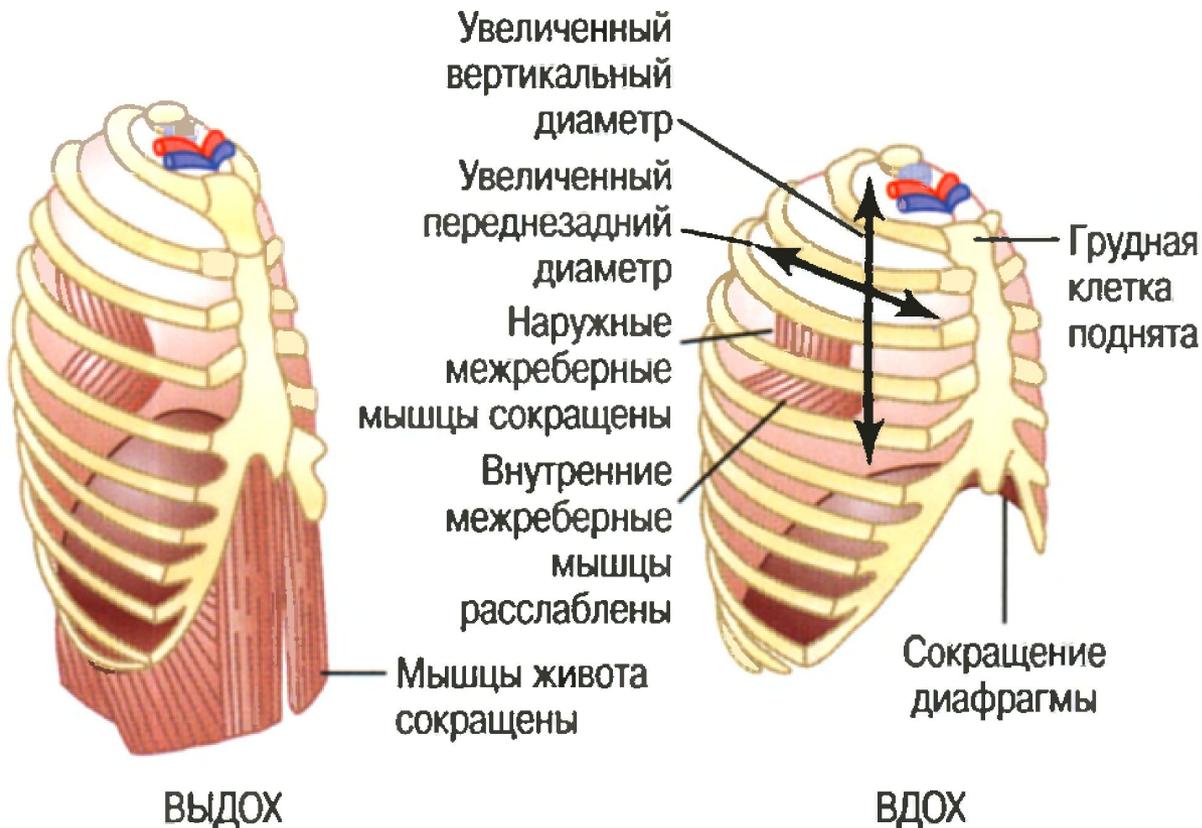
Дыхание

# 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.



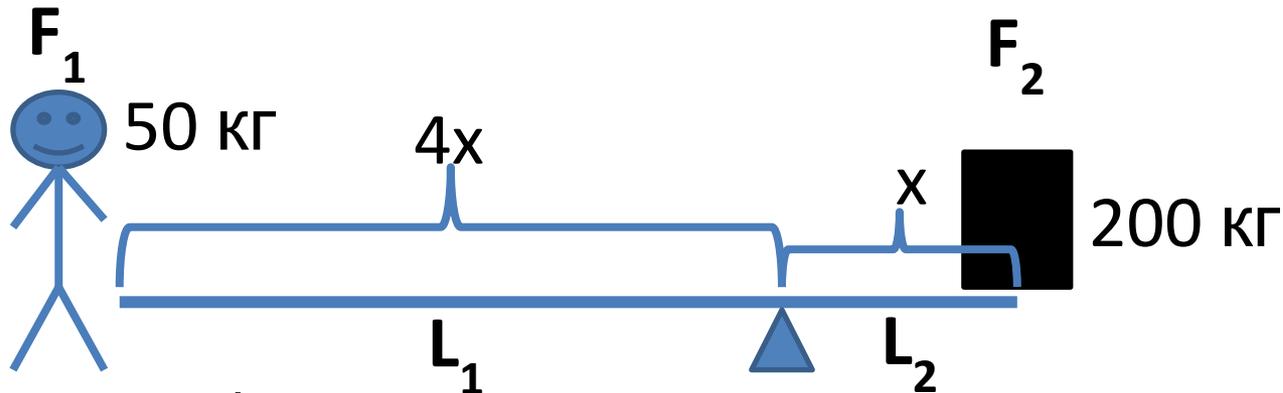
# Классификация дыхательных МЫШЦ

- 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

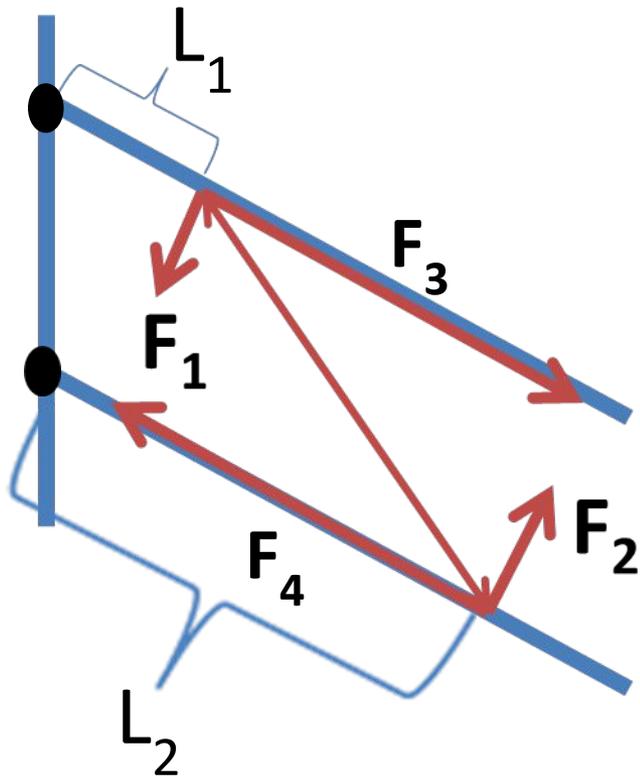
# Рычаг 1-го рода



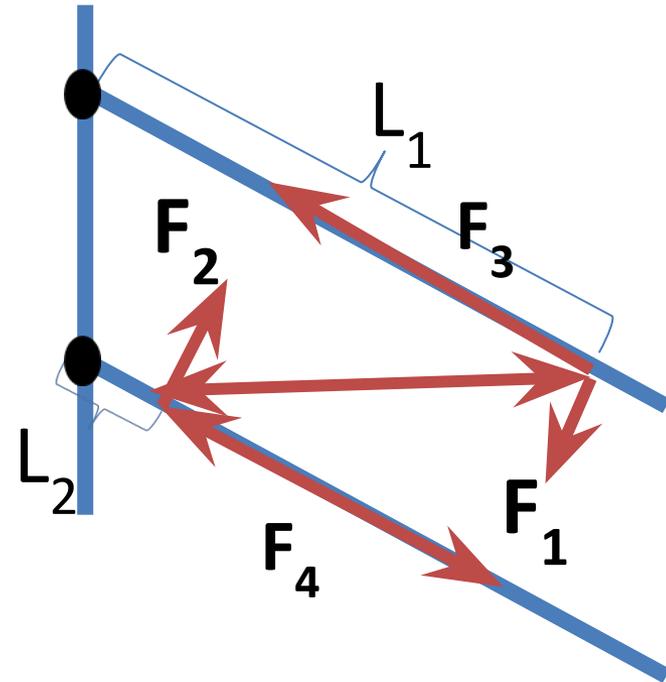
Для того чтобы сдвинуть неподъемный груз необходимо воспользоваться рычагом, который развивает большее усилие на коротком плече с помощью меньшего усилия на длинном плече. Причем усилие тем меньше, чем больше длина плеча, и определяется соотношением моментов сил  $F_1 L_1$  и  $F_2 L_2$  (произведение  $FL$  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!**

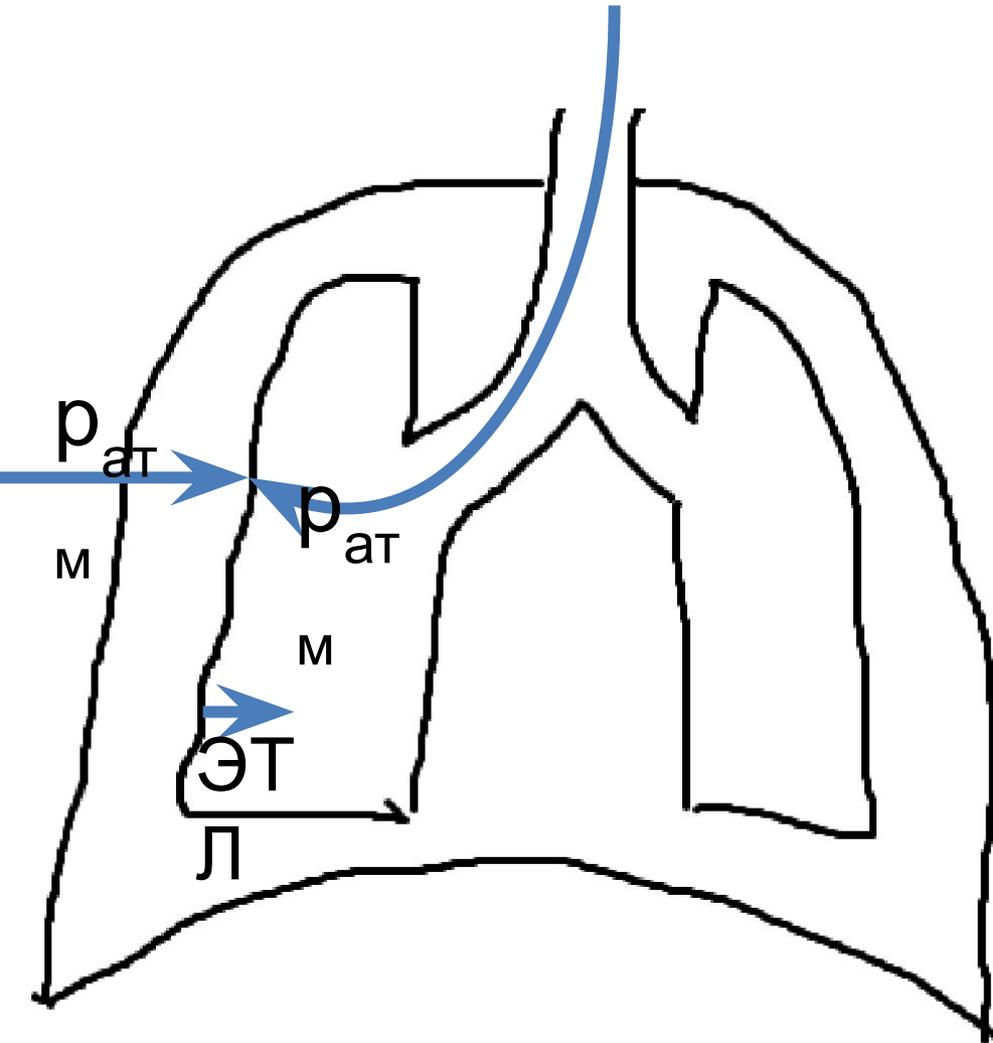
# Эластическая тяга легких (ЭТЛ)

- 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

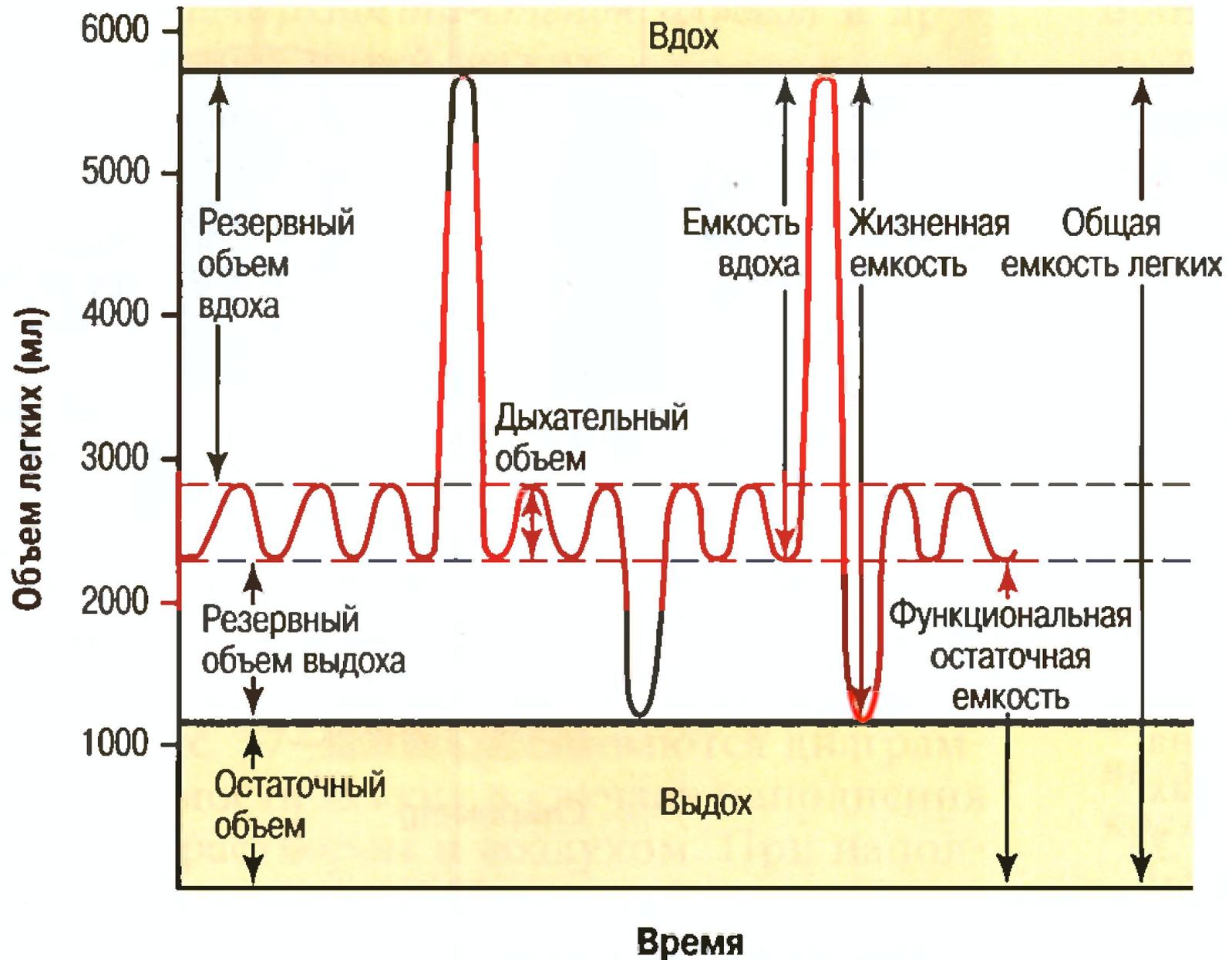
- Для уменьшения поверхностного натяжения слоя жидкости в альвеолах природа создала сурфактант – вещество, основным компонентом которого является дипальмитоилфосфатидилхолин. Сурфактант уменьшает поверхностное натяжение жидкости в **2-12 раз**. Вырабатывается на 6-7 мес внутриутробного развития, а иногда и позже.
- Давление, с которым альвеолы стремятся к спадению, определяется формулой Лапласа  $p=2\sigma/r$ , где  $\sigma$  – 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



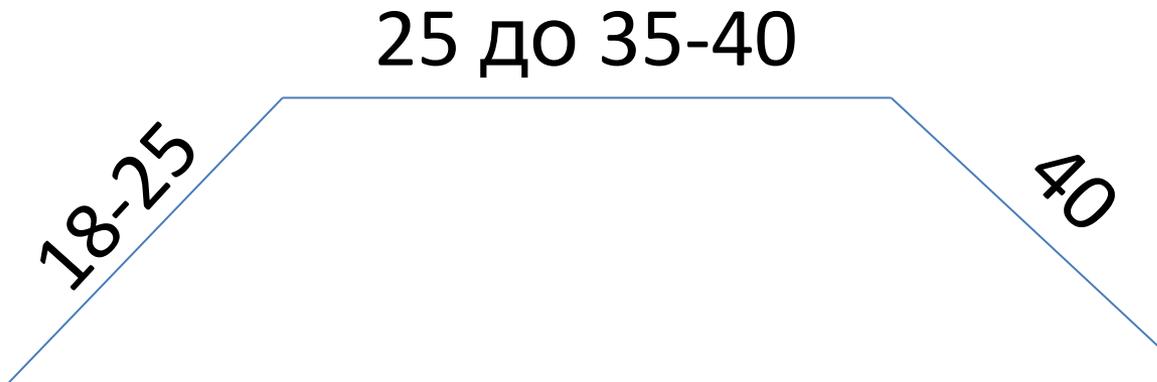
# Особое внимание обратить на!

- **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

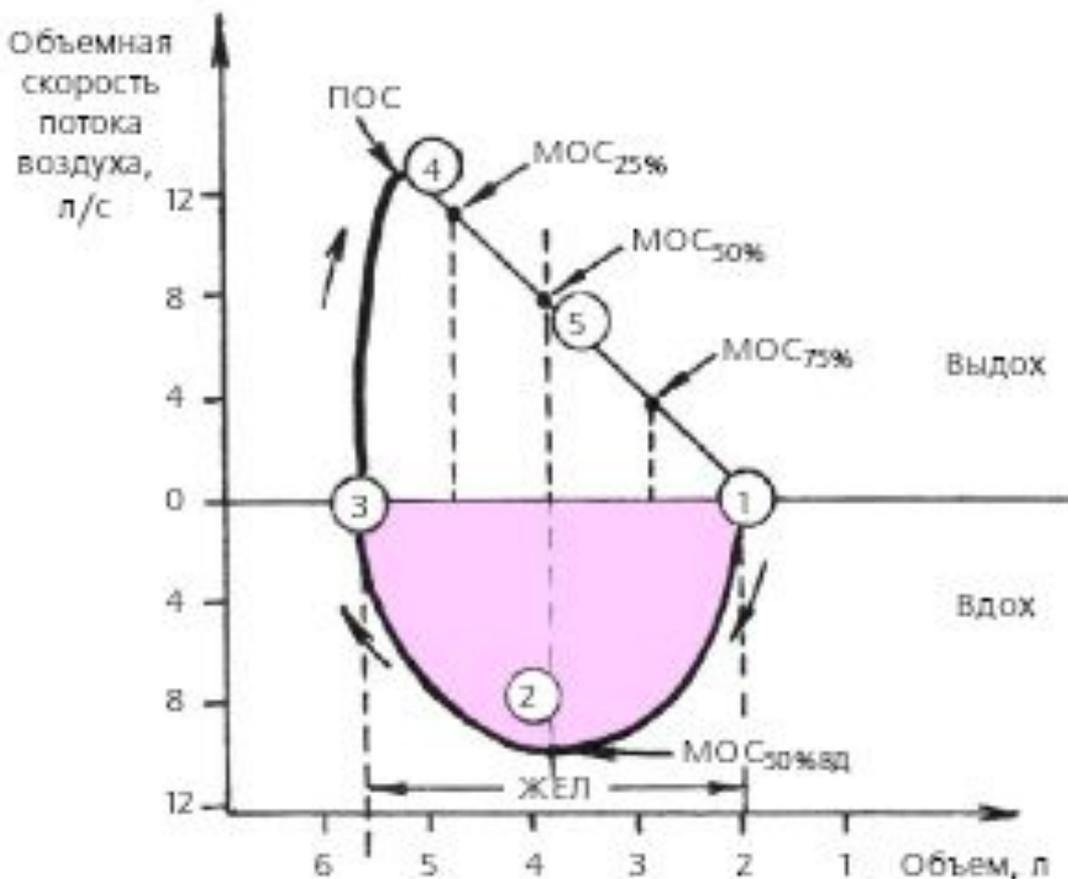
# Возрастные изменения ЖЕЛ

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

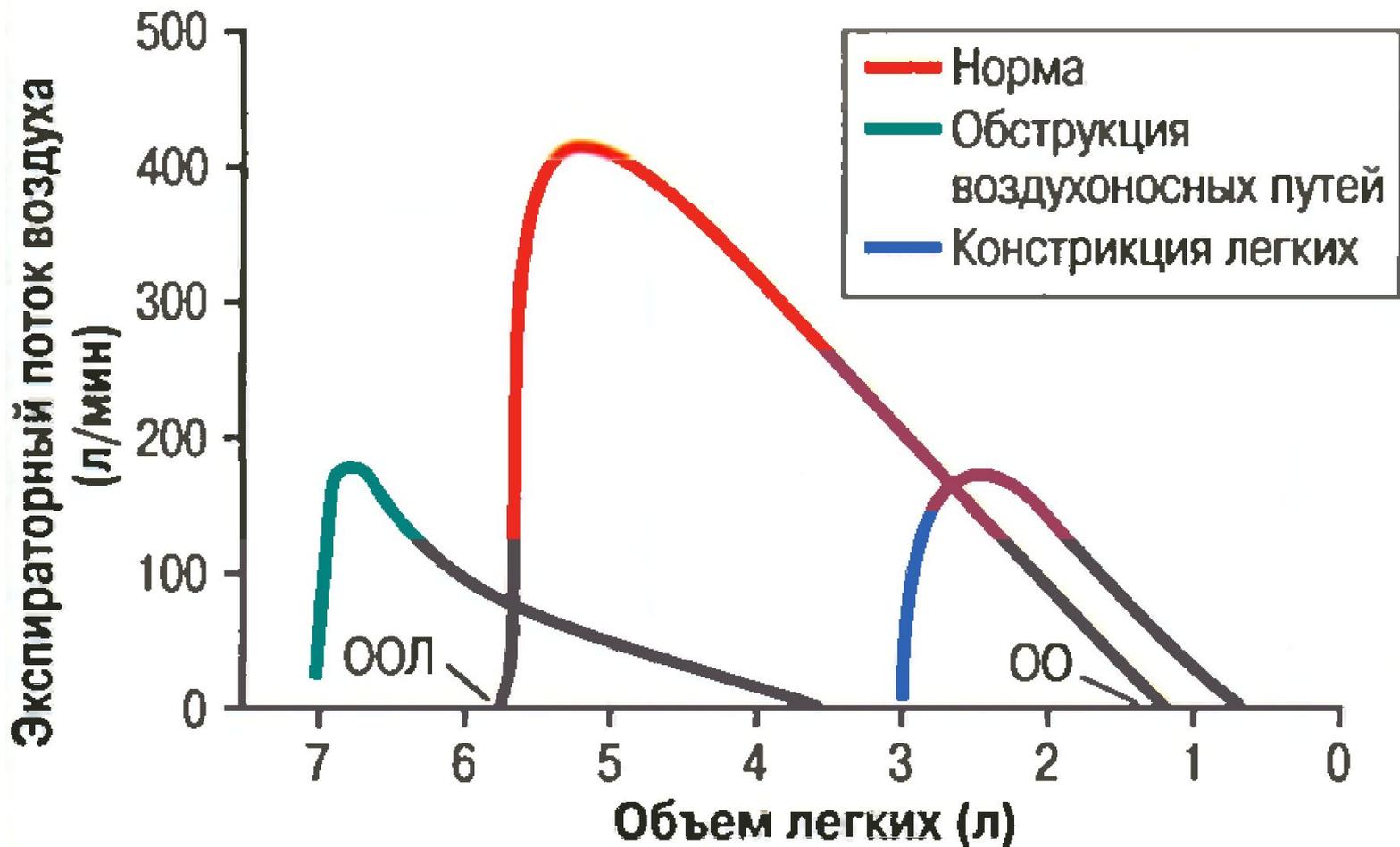


- При нарушении проходимости дыхательных путей будет изменяться скорость выдыхаемого воздуха при практически неизменной ЖЕЛ. Для оценки проходимости дыхательных путей используется индекс Тиффно (ИТ).  $ИТ = ОФВ_1 / ЖЕЛ$ ;  $ИТ \geq 75\%$ , т.е.  $ОФВ_1$  должен быть равным или больше 75% от ЖЕЛ. Например, 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%**.

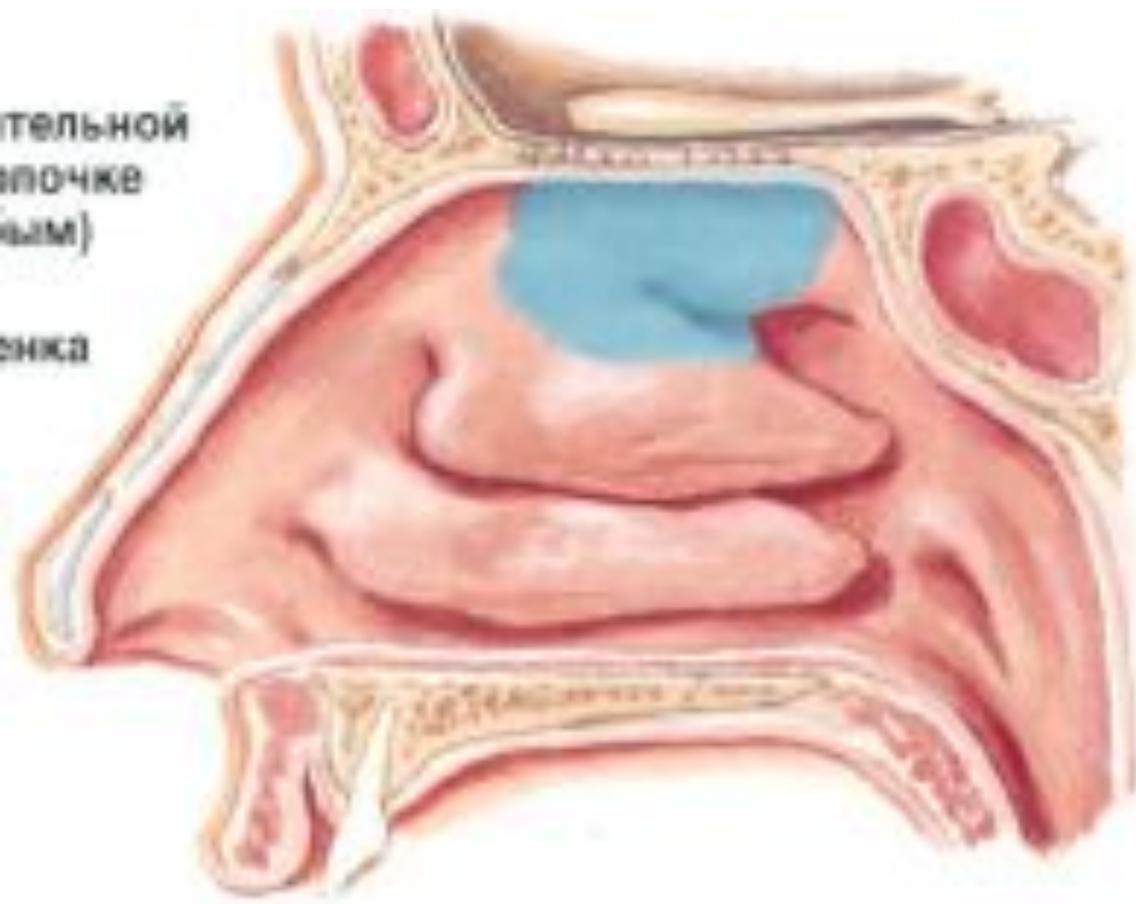
При рестрикционных заболеваниях снижен ООЛ и ОО, так как способность к растяжению легочной ткани снижена, при этом кривая экспираторного потока имеет нормальный вид (**индекс Тиффно имеет нормальное значение**).

# 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

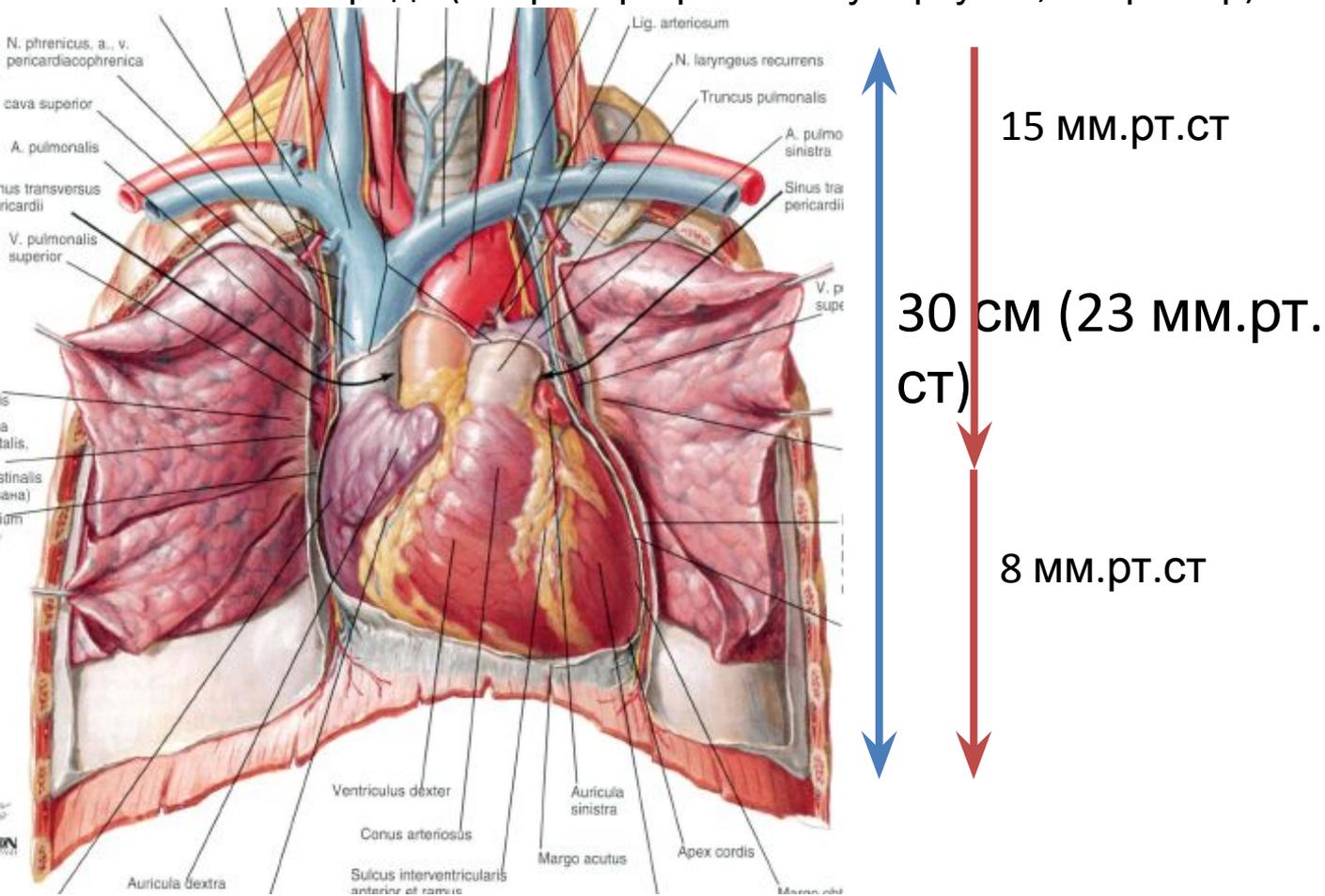
Объяснение

$МОД = ЧДД \cdot ДО$ :  $8 = 16 \cdot 0,5$ ; 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  $16 \cdot 0,35 = 5,6$ 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

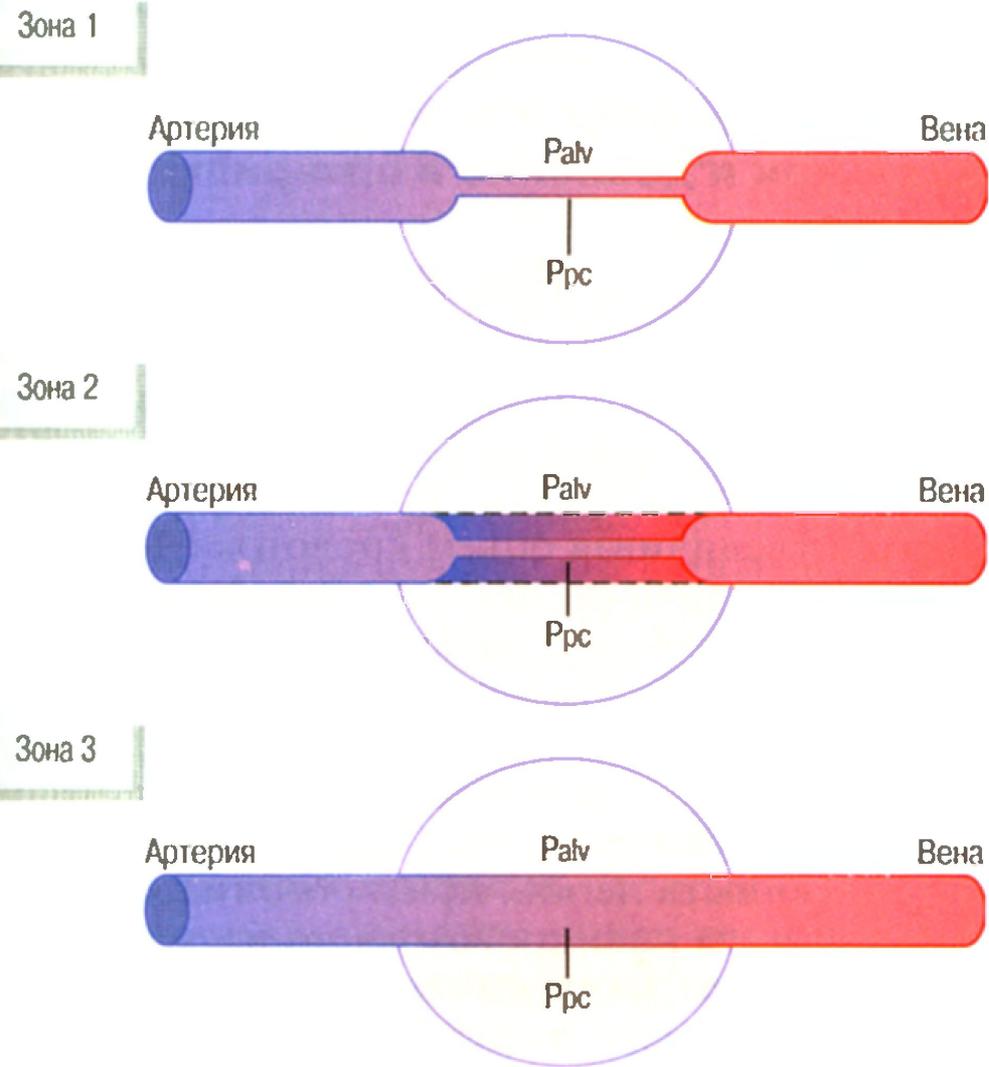
# Альвеолярное мертвое пространство

- 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).

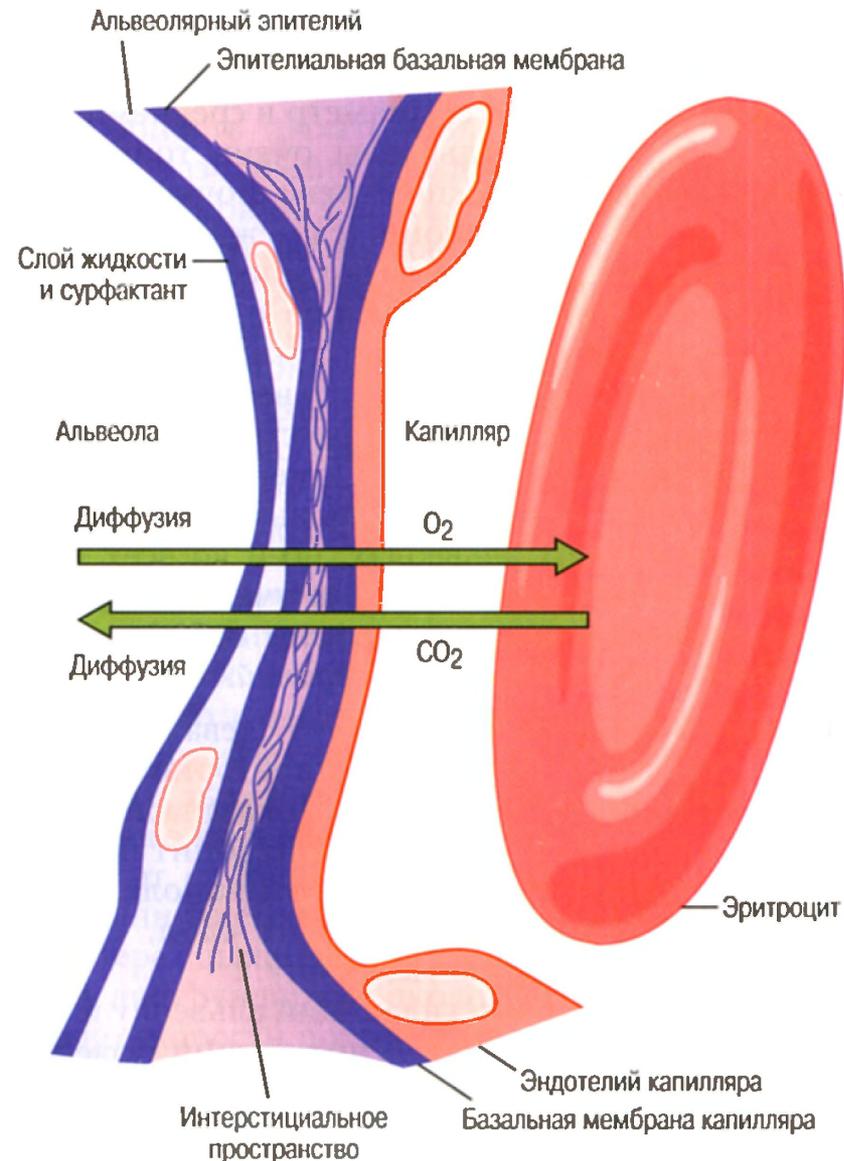


# Три зоны кровотока в легких



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 м<sup>2</sup>**, 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 <sub>2</sub>	20,93	14,5	16,3
CO <sub>2</sub>	0,03	5,5	4,0
N <sub>2</sub>	79,04	80	79,7

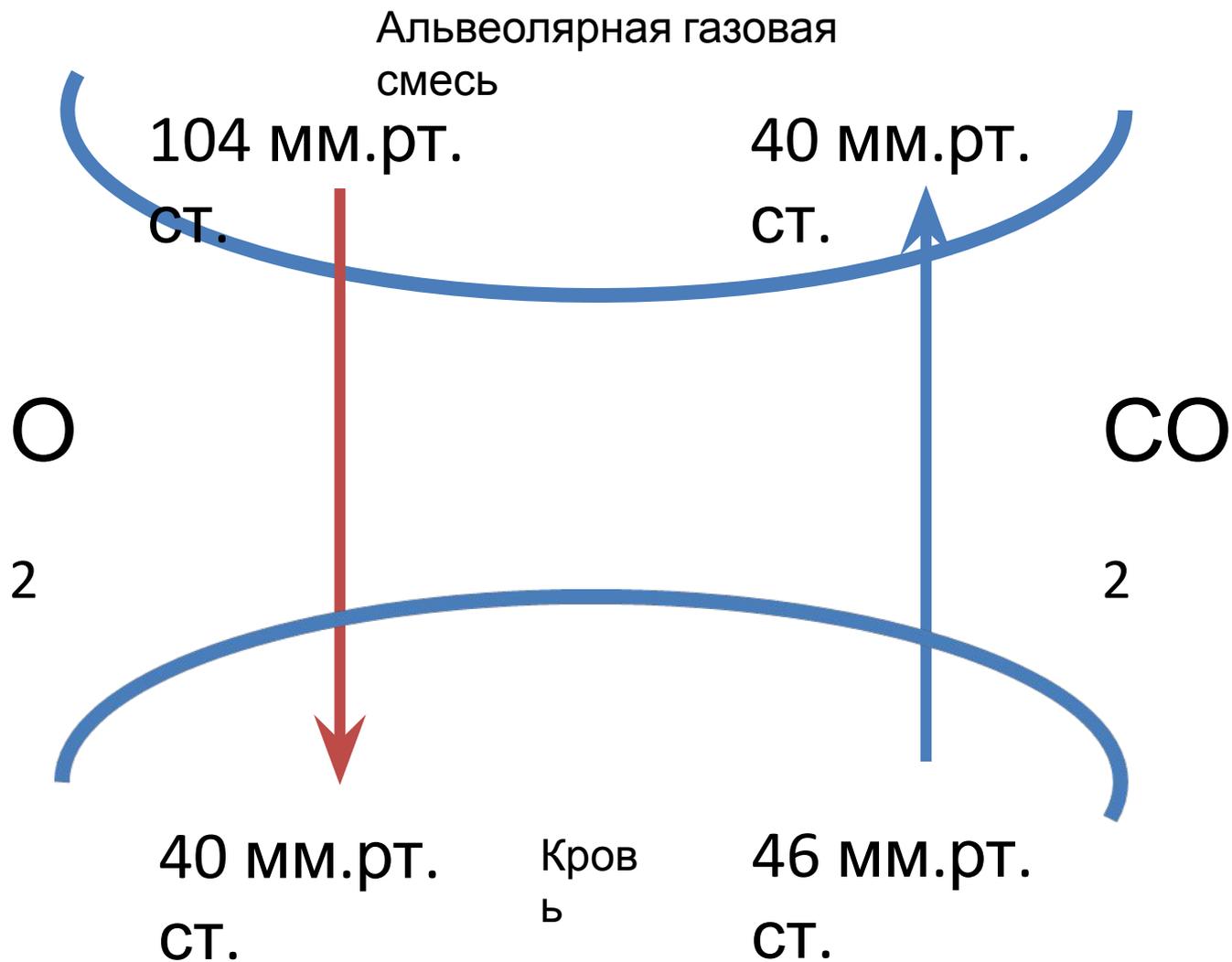
Изменение процентного соотношения азота носит относительный характер по причине изменения соотношения углекислого газа и кислорода (углекислого газа выделяется меньше, чем поглощается кислорода), т.е., при неизменном количестве азота и снижения других газов процентное значение азота увеличивается.

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

$\Delta P$  – 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)