

ФИЗИОЛОГИЯ ДЫХАНИЯ

- **Дыхание** — синоним и неотъемлемый признак жизни. «Пока дышу — надеюсь», утверждали древние римляне, а греки называли атмосферу «пастбищем жизни». Человек в день съедает примерно 1,24 кг пищи, выпивает 2 л воды, но вдыхает свыше 9 кг воздуха (более 10 000 л).
- **Дыхание** — это совокупность процессов, обеспечивающих потребление организмом кислорода и выделение двуокиси углерода.

ЭТАПЫ ДЫХАНИЯ:

- 1. **Внешнее дыхание** — обмен газов между атмосферой и альвеолами.
- 2. **Обмен газов** между альвеолами и кровью легочных капилляров.
- 3. **Транспорт газов кровью** — процесс переноса O_2 от легких к тканям и CO_2 от тканей — к легким.
- 4. Обмен O_2 и CO_2 между кровью капилляров и **клетками тканей организма**.
- 5. **Внутреннее, или тканевое, дыхание** — биологическое окисление в митохондриях

ГАЗООБМЕН МЕЖДУ ВНЕШНЕЙ СРЕДОЙ И ОРГАНИЗМОМ (ТРИ ЭТАПА ДЫХАНИЯ)

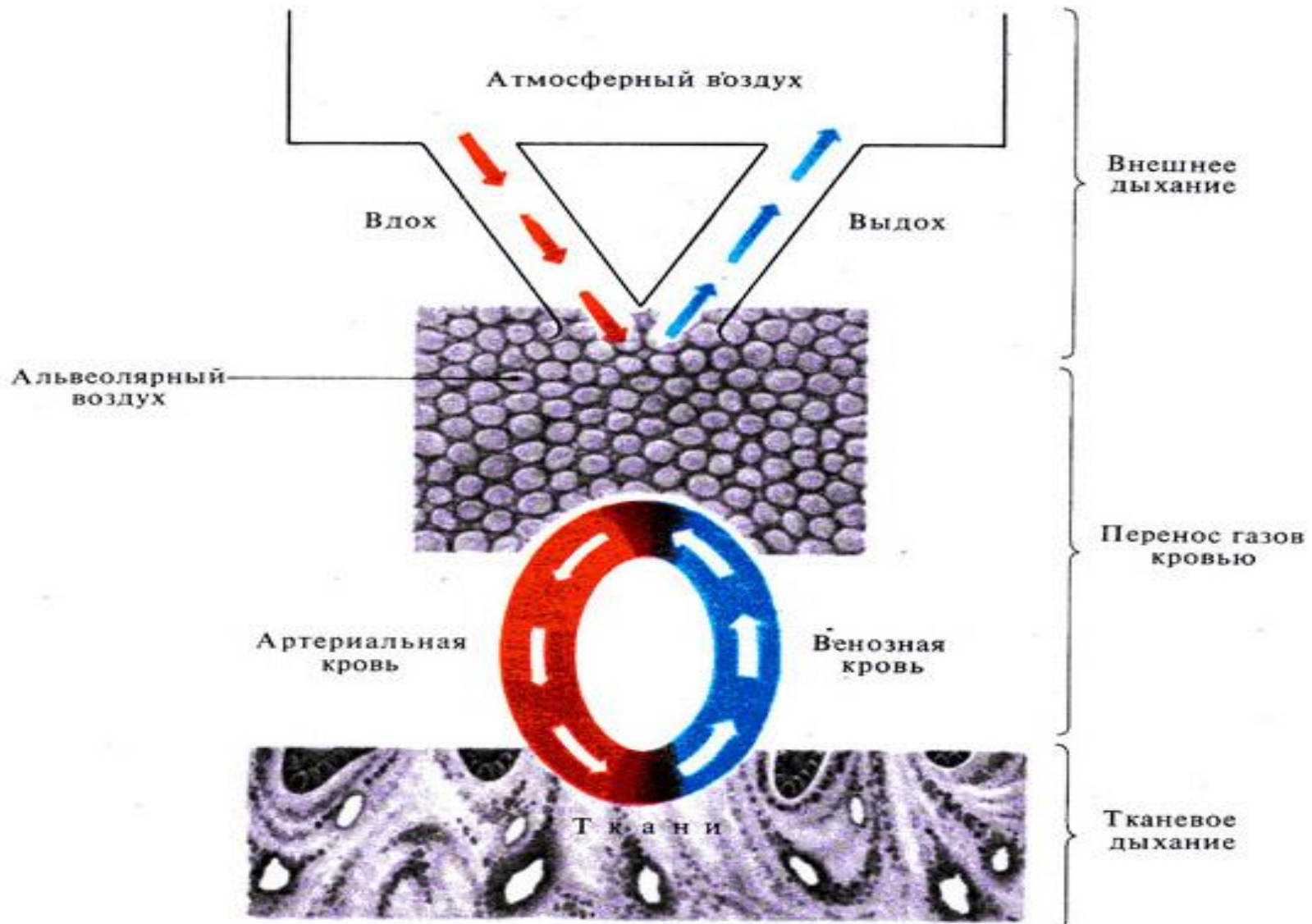


Таблица. Средние величины парциальных давлений, напряжения и процентного содержания газов в воздухе и различных средах организма

Воздух и среды организма	Парциальное давление ¹ и напряжение газов, мм рт.ст.		Содержание газов, %	
	O ₂	CO ₂	O ₂	CO ₂
Атмосферный воздух	158	0,2	20,9	0,03
Выдыхаемый воздух	124	30	16,4	4
Альвеолярный воздух	110	40	14,5	5,5
Артериальная кровь	100	40	20	52
Венозная кровь	40	46	12	57
Ткани:				
клетки	0	60—70		
межтканевая жидкость	20—40	70—46		

¹ Цифры даны без поправки на давление водяного пара.

На уровне моря нормальное атмосферное давление составляет 760 мм рт.ст.

Согласно закону Дальтона эта величина складывается из парциальных давлений всех газов, входящих в состав воздуха.

Атмосферный воздух содержит также пары воды. В умеренном климате при температуре 22°C парциальное давление водяного пара в воздухе составляет 20 мм рт.ст.

Парциальное давление водяного пара, уравновешенного в легких с кровью при атмосферном давлении 760 мм рт.ст. и температуре тела 37°C, составляет 47 мм рт.ст.

Учитывая, что давление водяных паров в организме выше, чем в окружающей среде, в процессе дыхания организм теряет воду.

ВНЕШНЕЕ ДЫХАНИЕ

Внешнее дыхание осуществляется благодаря изменениям объема грудной клетки и сопутствующим изменениям объема легких.

Во время вдоха объем грудной клетки увеличивается, а во время выдоха — уменьшается.

В дыхательных движениях участвуют:

- 1. Дыхательные пути, которые по своим свойствам являются слегка растяжимыми, сжимаемыми и создают поток воздуха.
- 2. Эластическая и растяжимая легочная ткань.
- Респираторный отдел представлен альвеолами.
- В легких имеется три типа альвеолоцитов (пневмоцитов), выполняющих разную функцию.
- Альвеолоциты второго типа осуществляют синтез липидов и фосфолипидов легочного сурфактанта.
- Общая площадь альвеол у взрослого человека достигает 80—90 м², т.е. примерно в 50 раз превышает поверхность тела человека.

- **3. Грудная клетка, состоящая из пассивной костно-хрящевой основы, которая соединена соединительными связками и дыхательными мышцами, осуществляющими поднятие и опускание ребер и движения купола диафрагмы.**
- **За счет большого количества эластической ткани легкие, обладая значительной растяжимостью и эластичностью, пассивно следуют за всеми изменениями конфигурации и объема грудной клетки.**

Дыхательная система состоит из тканей и органов, обеспечивающих легочную вентиляцию и легочное дыхание (воздухоносные пути, легкие и элементы костно-мышечной системы).

К воздухоносным путям, управляющим потоком воздуха, относятся: нос, полость носа, носоглотка, гортань, трахея, бронхи и бронхиолы.

Легкие состоят из бронхиол и альвеолярных мешочков, а также из артерий, капилляров и вен легочного круга кровообращения.

К элементам костно-мышечной системы, связанным с дыханием, относятся

ребра, межреберные мышцы, диафрагма и вспомогательные дыхательные мышцы.

Нос и полость носа служат проводящими каналами для воздуха, где он нагревается, увлажняется и фильтруется.

Полость носа выстлана богато васкуляризированной слизистой оболочкой.

В верхней части полости носа лежат обонятельные рецепторы.

Носовые ходы открываются в носоглотку.

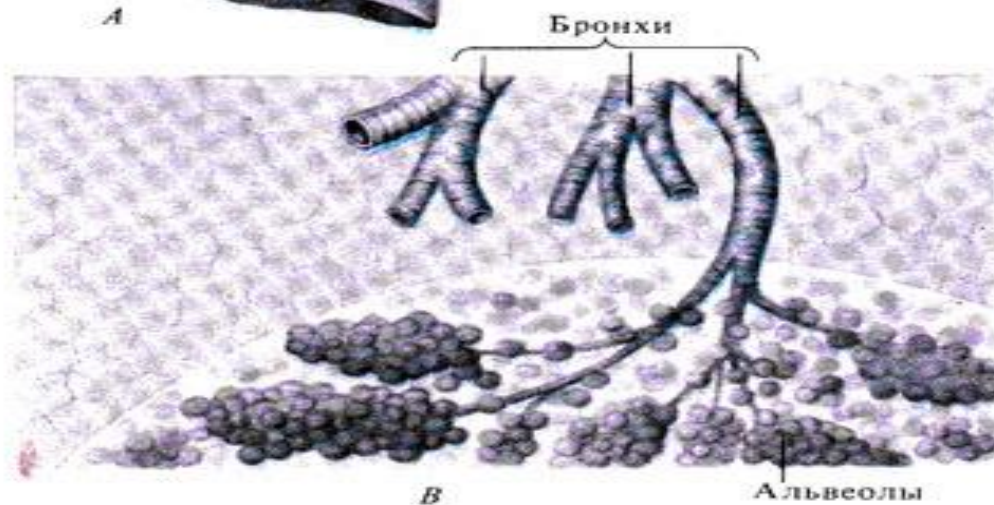
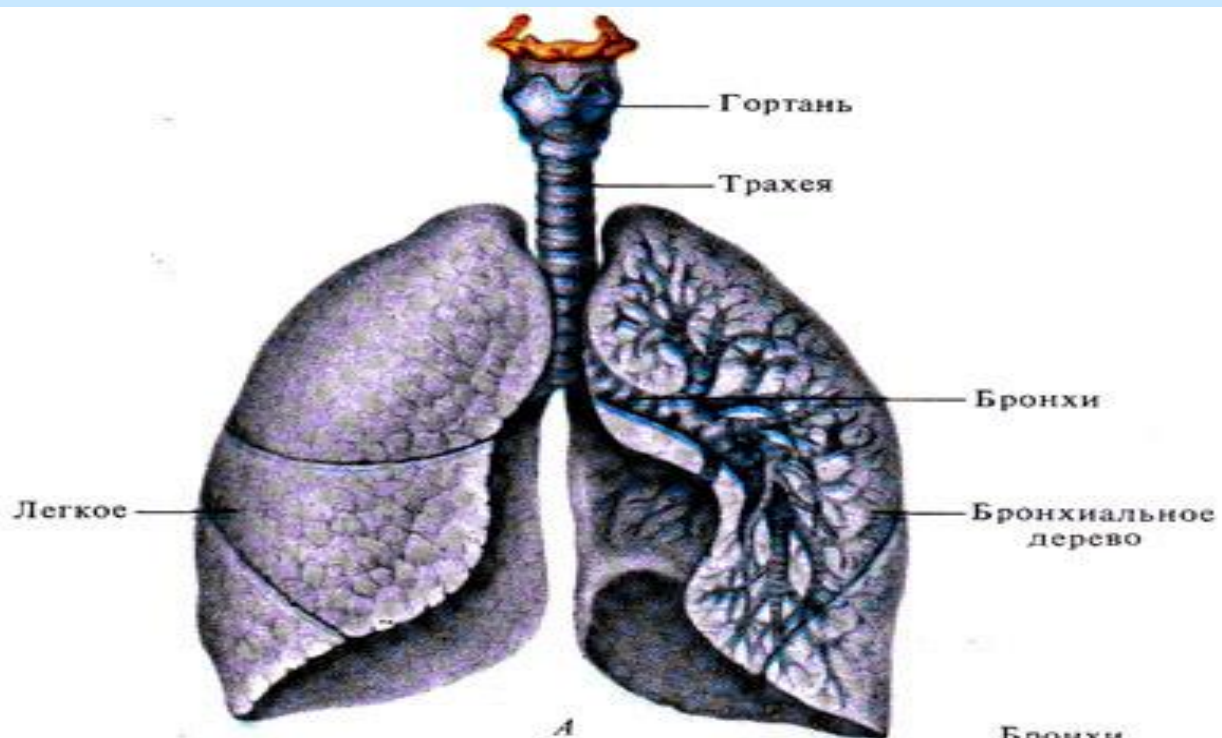
- Гортань лежит между трахеей и корнем языка.
- У нижнего конца гортани начинается трахея и спускается в грудную полость, где делится на *правый и левый бронхи*.
- **Установлено, что дыхательные пути от трахеи до конечных дыхательных единиц (альвеол) ветвятся (раздваиваются) 23 раза.**
- Первые 16 «поколений» дыхательных путей — бронхи и бронхиолы выполняют проводящую функцию.

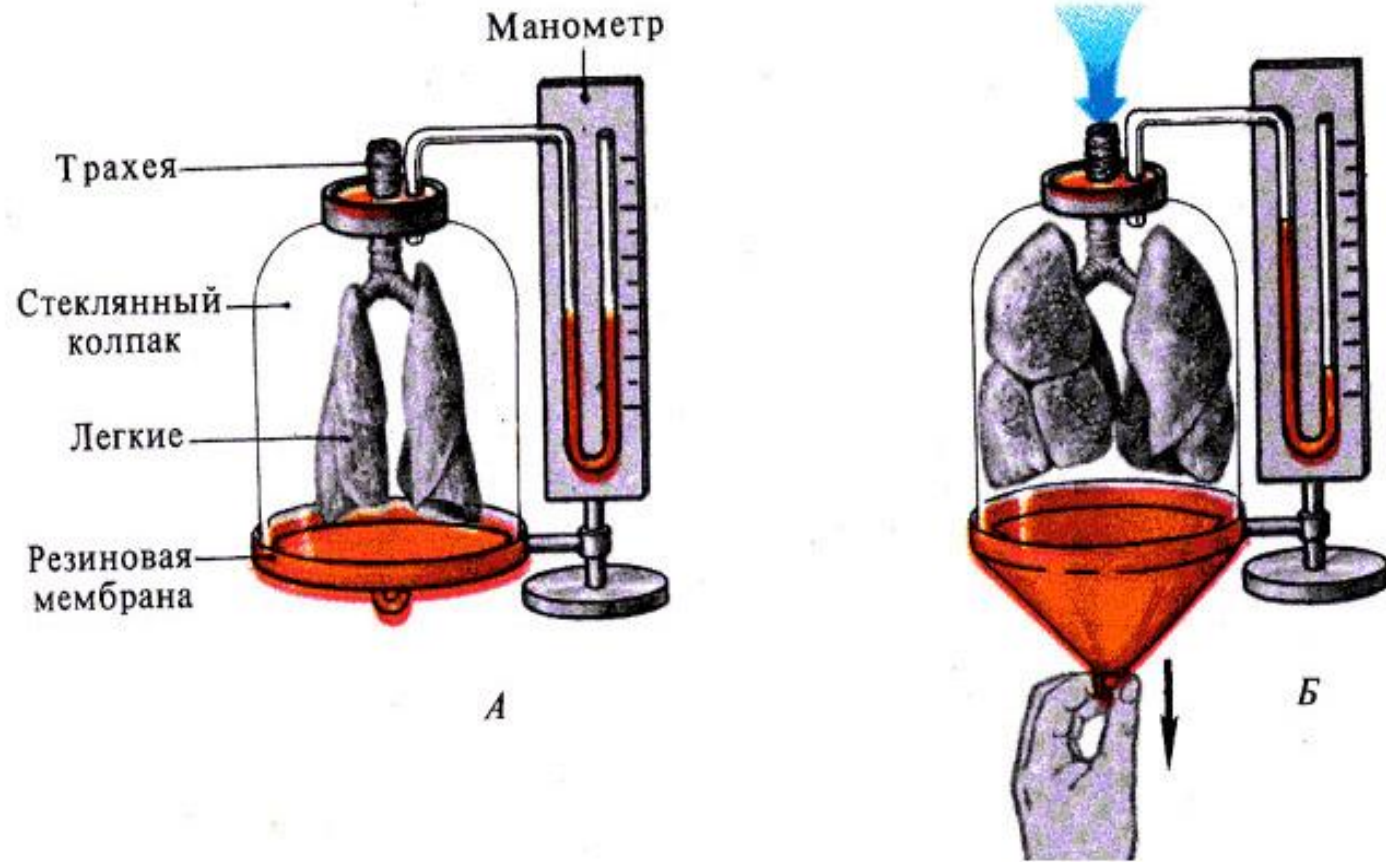
«Поколения» 17—22 — респираторные бронхиолы и альвеолярные ходы, составляют переходную (транзиторную) зону, и только 23-е «поколение» является дыхательной респираторной зоной и целиком состоит из альвеолярных мешочков с альвеолами.

Общая площадь поперечного сечения дыхательных путей по мере ветвления возрастает более чем в 4,5 тысячи раз. Правый бронх обычно короче и шире левого.

Строение легких.

- **А**—воздухоносные пути и респираторные отделы;
- **Б**—легочные альвеолы и их кровоснабжение;
- **В** — долька легкого





Чем больше разность между давлением воздуха внутри и снаружи легкого, тем больше они будут растягиваться. Для иллюстрации этого положения служит **модель Дондерса.**

Существуют два механизма, вызывающие изменение объема рудной клетки: поднятие и опускание ребер и движения купола диафрагмы.

Дыхательные мышцы подразделяются на ***инспираторные и экспираторные***.

Инспираторными мышцами являются диафрагма, наружные межреберные и межхрящевые мышцы.

При спокойном дыхании объем грудной клетки изменяется в основном за счет сокращения диафрагмы и перемещения ее купола.

Опусканию диафрагмы всего на 1 см соответствует увеличение емкости грудной полости примерно на 200 — 300 мл.

При глубоком форсированном дыхании участвуют **дополнительные мышцы вдоха**: трапециевидные, передние лестничные и грудино-ключично-сосцевидные мышцы. Они включаются в активный процесс дыхания при значительно больших величинах легочной вентиляции, например, при восхождении альпинистов на большие высоты или при дыхательной недостаточности, когда в процесс дыхания вступают почти все мышцы туловища.

- ***Экспираторными мышцами*** являются внутренние межреберные и мышцы брюшной стенки, или мышцы живота.
- Каждое ребро способно вращаться вокруг оси, проходящей через две точки подвижного соединения с телом и поперечным отростком соответствующего позвонка.
- Верхние отделы грудной клетки на вдохе расширяются преимущественно в переднезаднем направлении, а нижние отделы больше расширяются в боковых направлениях, так как ось вращения нижних ребер занимает сагиттальное положение.

В фазу вдоха наружные межреберные мышцы, сокращаясь, поднимают ребра, а в фазу выдоха ребра опускаются благодаря активности внутренних межреберных мышц.

При обычном спокойном дыхании выдох осуществляется пассивно, поскольку грудная клетка и легкие спадаются — стремятся занять после вдоха то положение, из которого они были выведены сокращением дыхательных мышц.

Однако при кашле, рвоте, натуживании мышцы выдоха активны.

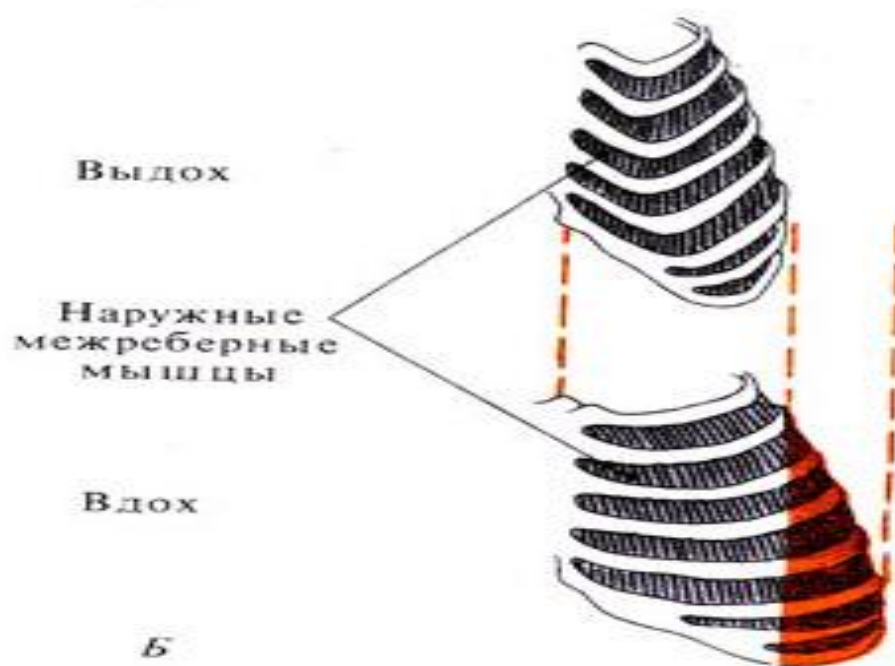
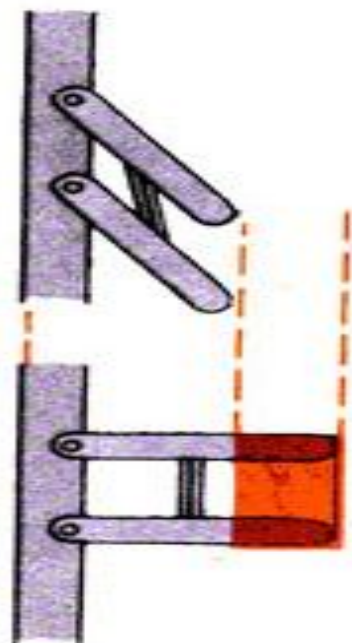
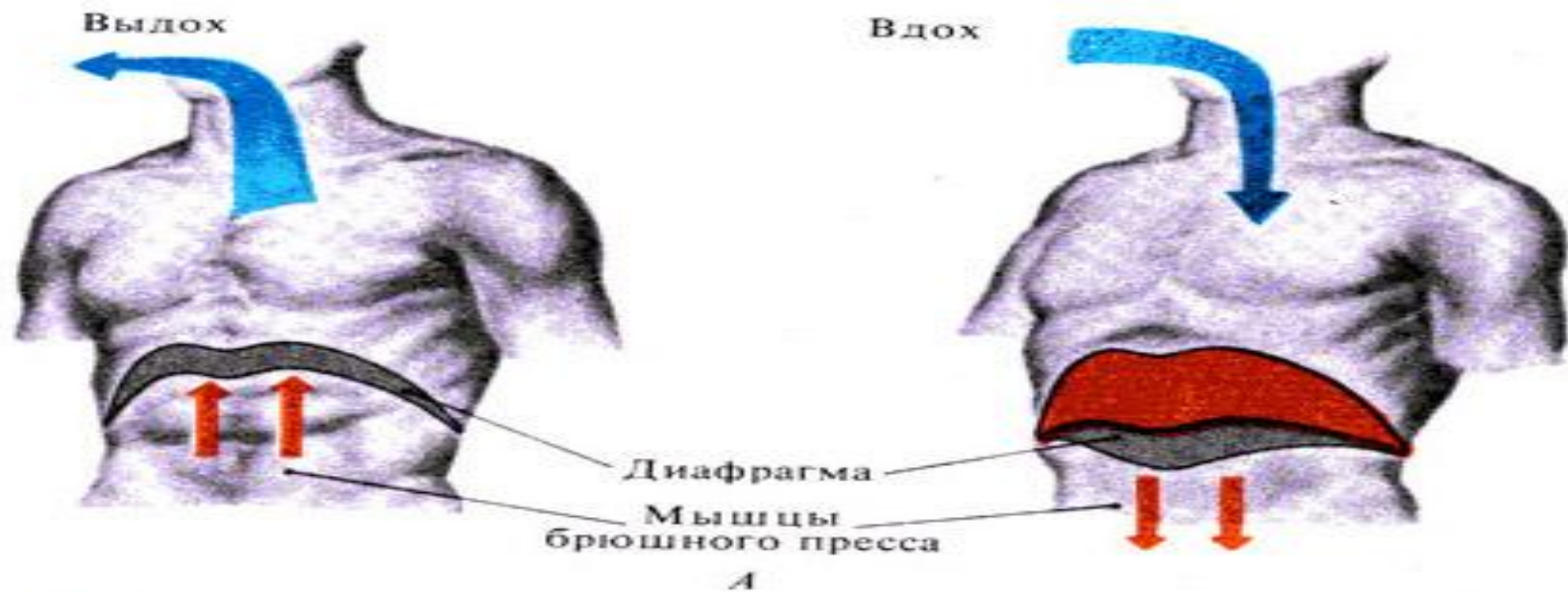
При спокойном вдохе увеличение объема грудной клетки составляет примерно 500 — 600 мл.

Движение диафрагмы во время дыхания обуславливает до 80% вентиляции легких.

У спортсменов высокой квалификации во время глубокого дыхания купол диафрагмы может смещаться до 10—12 см.

Механизм дыхательных движений

- Механизм дыхательных движений (изменение объема грудной клетки) за счет диафрагмы и мышц брюшного пресса (**А**) и сокращения наружных межреберных мышц (**Б**) (слева — модель движения ребер)



ВНУТРИПЛЕВРАЛЬНОЕ И ВНУТРИЛЕГОЧНОЕ ДАВЛЕНИЕ

Внутригрудное пространство, в котором находятся легкие, герметично замкнуто и с внешней средой не сообщается.

Легкие окружены листками плевры: **париетальный листок** плотно спаян со стенками грудной клетки, диафрагмы, **а висцеральный** — с наружной поверхностью ткани легкого.

Листки плевры увлажнены небольшим количеством **серозной жидкости**, играющей роль своеобразной смазки, облегчающей трение — скольжение листков при дыхательных движениях.

Внутриплевральное давление,

или давление в герметично замкнутой плевральной полости между висцеральными и париетальными листками плевры, в норме является отрицательным относительно атмосферного.

При открытых верхних дыхательных путях давление во всех отделах легких равно атмосферному.

Перенос атмосферного воздуха в легкие происходит при появлении разницы давлений между внешней средой и альвеолами легких.

При каждом вдохе объем легких увеличивается, давление заключенного в них воздуха, или **внутрилегочное давление**, становится ниже атмосферного, и воздух засасывается в легкие.

При выдохе объем легких уменьшается, внутрилегочное давление повышается и воздух выталкивается из легких в атмосферу.

Внутриплевральное давление обусловлено эластической тягой легких или стремлением легких уменьшить свой объем.

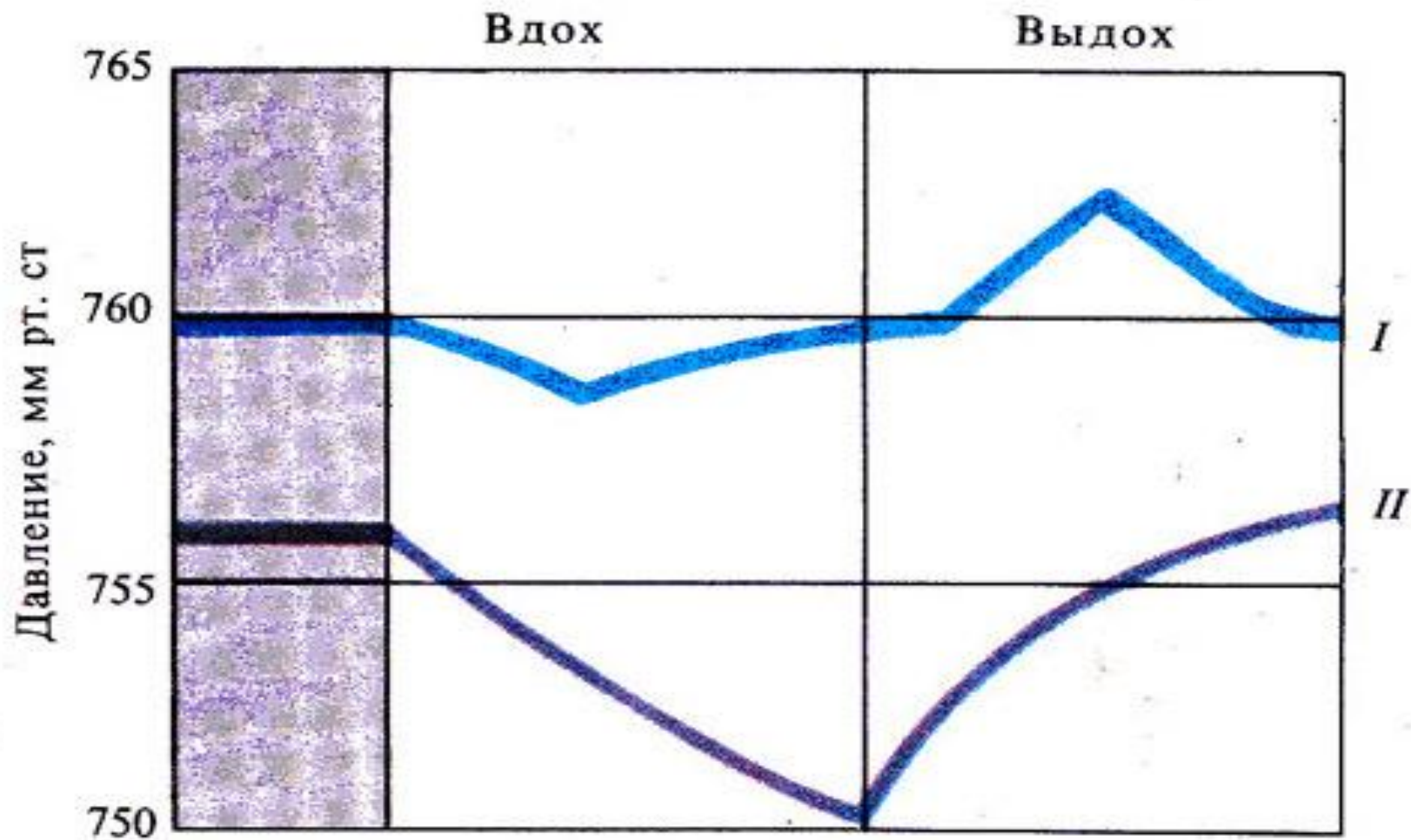
При обычном спокойном дыхании внутриплевральное давление ниже атмосферного:

**в инспирацию — на 6—8 см вод. ст.,
а в экспирацию — на 4—5 см вод. ст.**

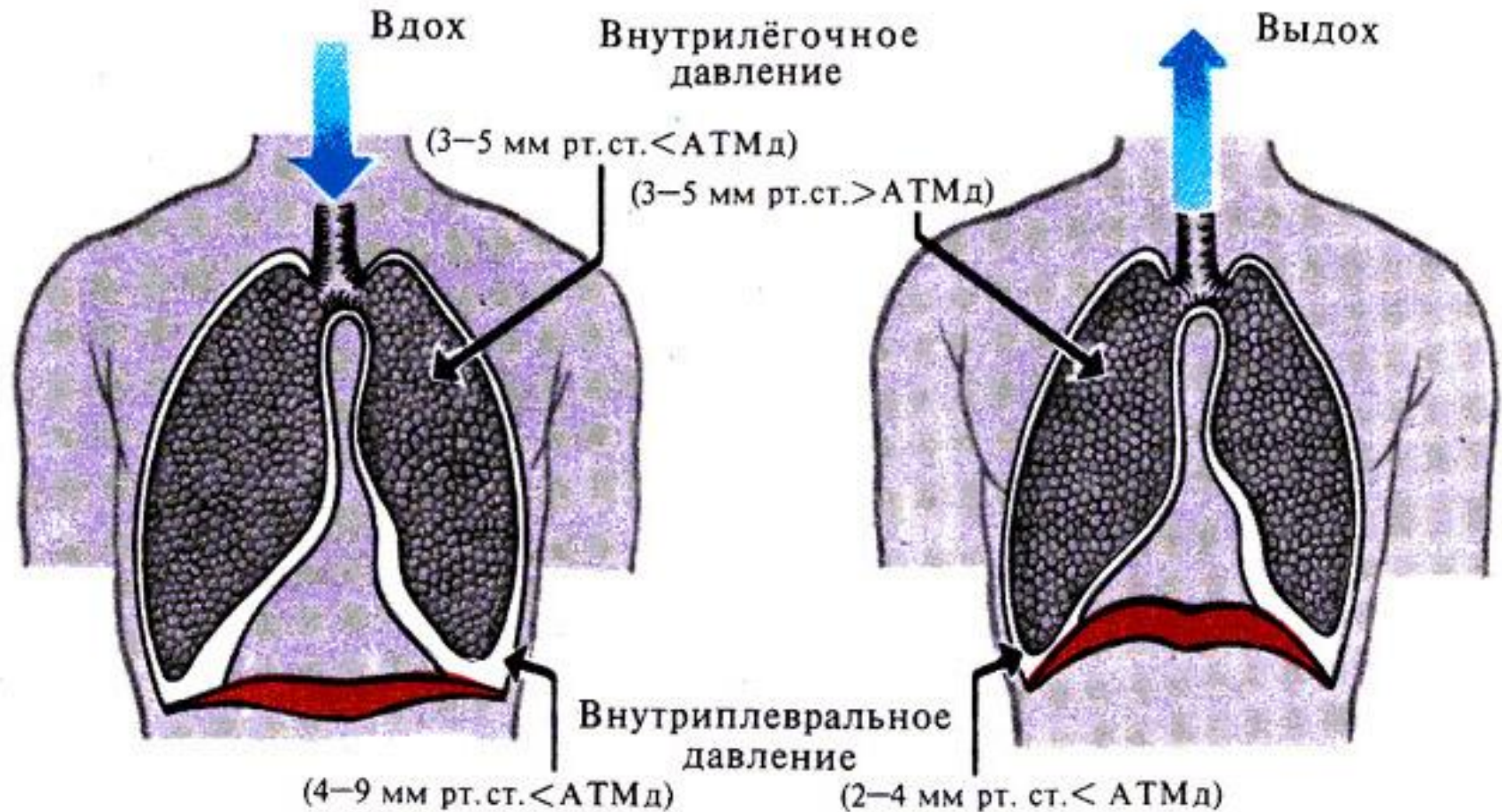
Прямые измерения показали, что внутриплевральное давление в апикальных частях легких ниже, чем в прилегающих к диафрагме базальных отделах легких.

В положении стоя этот градиент практически линейный и не изменяется в процессе дыхания.

ИЗМЕНЕНИЕ ВНУТРИЛЕГОЧНОГО (I) И ВНУТРИ ПЛЕВРАЛЬНОГО (II) ДАВЛЕНИЯ В ПРОЦЕССЕ ДЫХАНИЯ



ВНУТРИЛЁГОЧНОЕ И ВНУТРИПЛЕВРАЛЬНОЕ ДАВЛЕНИЕ ПРИ ВДОХЕ И ВЫДОХЕ (ATM_D — АТМОСФЕРНОЕ ДАВЛЕНИЕ)



Важным фактором, влияющим на эластические свойства и растяжимость легких, является поверхностное натяжение жидкости в альвеолах.

Спадению альвеол препятствует антиателектатический фактор, или сурфактант, выстилающий внутреннюю поверхность альвеол, препятствующий их спадению, а также выходу жидкости на поверхность альвеол из плазмы капилляров легкого.

Синтез и замена поверхностно-активного вещества — сурфактанта происходит довольно быстро, поэтому нарушение кровотока в легких, воспаление и отеки, курение, острая кислородная недостаточность (гипоксия) или избыток кислорода (гипероксия), а также различные токсические вещества, в том числе некоторые фармакологические препараты (жирорастворимые анестетики), могут снизить его запасы и увеличить поверхностное натяжение жидкости в альвеолах.

Все это ведет к их ателектазу, или спадению.

В профилактике и лечении ателектазов определенное значение имеют аэрозольные ингаляции лекарственных средств, содержащих фосфолипидный компонент, например лецитин, который способствует восстановлению сурфактанта.

Пневмоторакс

- называется поступление воздуха в межплевральное пространство, возникающее при проникающих ранениях грудной клетки, нарушающих герметичность плевральной полости.
- При этом легкие спадаются, так как внутриплевральное давление становится одинаковым с атмосферным.

ВЕНТИЛЯЦИЯ ЛЕГКИХ И ЛЕГОЧНЫЕ ОБЪЕМЫ

- Величина легочной вентиляции определяется глубиной дыхания и частотой дыхательных движений. Количественной характеристикой легочной вентиляции служит минутный объем дыхания (МОД) — объем воздуха, проходящий через легкие за 1 минуту.
- В покое частота дыхательных движений человека составляет примерно 16 в 1 минуту, а объем выдыхаемого воздуха — около 500 мл.
- Умножив частоту дыхания в 1 минуту на величину дыхательного объема, получим МОД, который у человека в покое составляет в среднем 8 л/мин.

Максимальная вентиляция легких (МВЛ) — объем воздуха, который проходит через легкие за 1 минуту во время максимальных по частоте и глубине дыхательных движений.

Максимальная вентиляция возникает во время интенсивной работы, при недостатке содержания O_2 (гипоксия) и избытке CO_2 (гиперкапния) во вдыхаемом воздухе.

В этих условиях МОД может достигать 150 — 200 л в 1 минуту.

При спокойном вдохе и выдохе через легкие проходит сравнительно небольшой объем воздуха.

Это дыхательный объем (ДО), который у взрослого человека составляет примерно 500 мл.

При этом акт вдоха проходит несколько быстрее, чем акт выдоха.

Обычно за 1 минуту совершается 12—16 дыхательных циклов.

Такой тип дыхания обычно называется «эйпноэ» или «хорошее дыхание».

- При форсированном (глубоком) вдохе человек может дополнительно вдохнуть еще определенный объем воздуха.
- Этот резервный объем вдоха [$RO_{вд}$] — максимальный объем воздуха, который способен вдохнуть человек после спокойного вдоха.
- Величина резервного объема вдоха составляет у взрослого человека примерно 1,8—2,0л.

- После спокойного выдоха человек может при форсированном выдохе дополнительно выдохнуть еще определенный объем воздуха.
- Это резервный объем выдоха (Р_Овыд), величина которого составляет в среднем 1,2 — 1,4 л.

- Объем воздуха, который остается в легких после максимального выдоха и в легких мертвого человека, — **остаточный объем легких (ОО).**

Величина остаточного объема составляет 1,2 — 1,5 л. У аборигенов высокогорья более высокие величины этого показателя, благодаря чему удается сохранить в организме необходимое содержание CO_2 , достаточное для регуляции дыхания в этих условиях.

Различают следующие емкости легких:

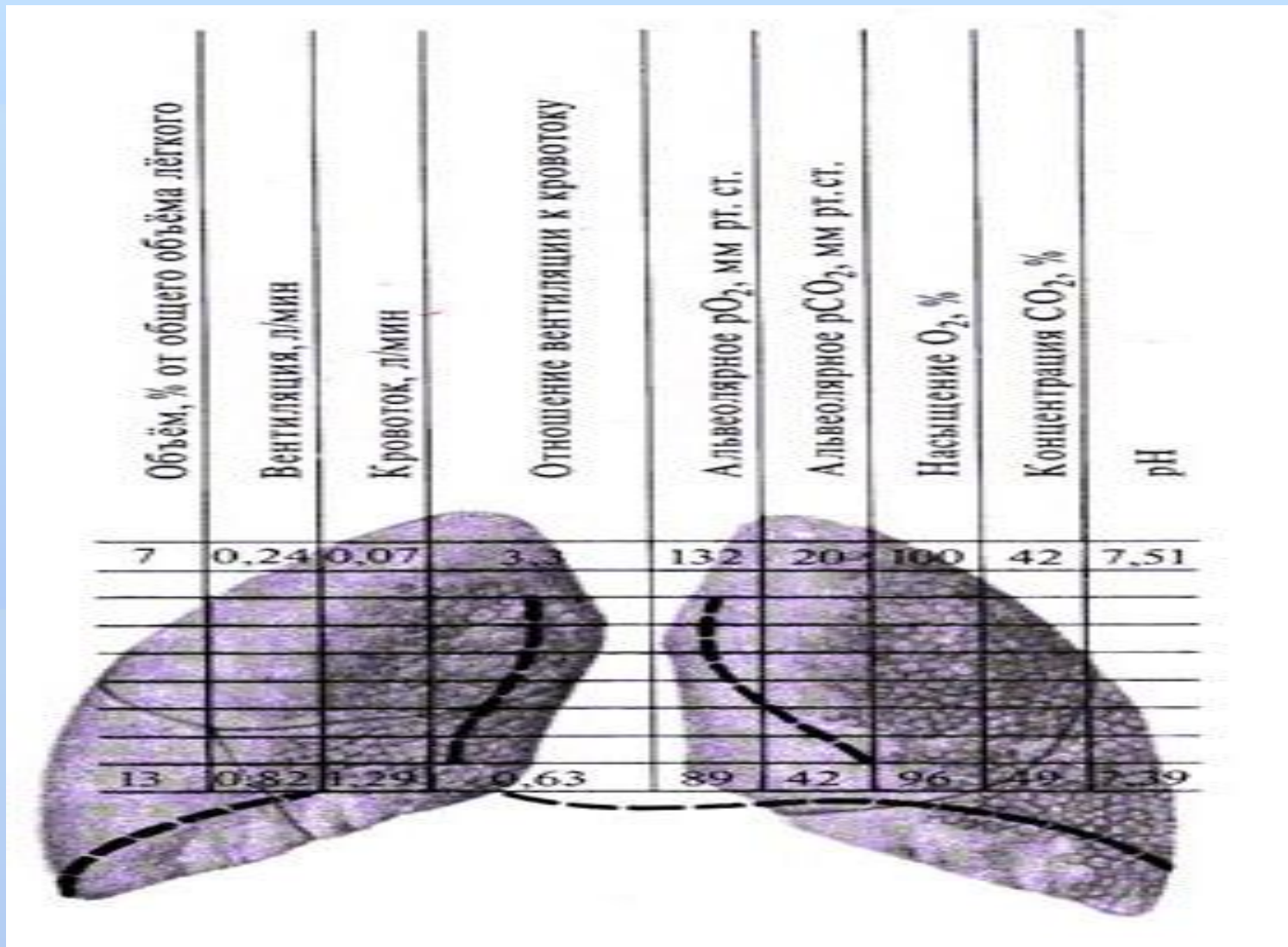
- 1) общая емкость легких (ОЕЛ) — объем воздуха, находящегося в легких после максимального вдоха — все четыре объема;
- 2) жизненная емкость легких (ЖЕЛ) включает в себя дыхательный объем, резервный объем вдоха, резервный объем выдоха.
- ЖЕЛ — это объем воздуха, выдохнутого из легких после максимального вдоха при максимальном выдохе.
- ЖЕЛ = ОЕЛ — остаточный объем легких. ЖЕЛ составляет у мужчин 3,5 — 5,0 л, у женщин — 3,0—4,0л;

- 3) емкость вдоха (E) равна сумме дыхательного объема и резервного объема вдоха, составляет в среднем 2,0 — 2,5 л;
- 4) функциональная остаточная емкость ($\Phi O E$) — объем воздуха в легких после спокойного выдоха.

В легких при спокойном вдохе и выдохе постоянно содержится примерно 2500 мл воздуха, заполняющего альвеолы и нижние дыхательные пути.

Благодаря этому газовый состав альвеолярного воздуха сохраняется на постоянном уровне.

- Схема вентиляции кровотока и газообмена верхнего и нижнего горизонтальных слоев нормального легкого (по Дж. Весту, 1970)



Исследование легочных объемов и емкостей как важнейших показателей функционального состояния легких имеет не только для диагностики заболеваний **большое медико-физиологическое значение** (ателектаз, рубцовые изменения легких, поражения плевры), но и для экологического мониторинга местности и оценки состояния функции дыхания популяции в экологически неблагоприятных зонах.

Для сопоставимости результатов измерений газовых объемов и емкостей материалы исследований должны быть приведены к стандартному состоянию BTPS, т.е. соотноситься с условиями в легких, где температура альвеолярного воздуха соответствует температуре тела, кроме того, воздух находится при определенном давлении и насыщен водяными парами.

Воздух, находящийся в воздухоносных путях (полость рта, носа, глотки, трахеи, бронхов и бронхиол), не участвует в газообмене, и поэтому пространство воздухоносных путей называют ***мертвым дыхательным пространством.***

Во время спокойного вдоха объемом 500 мл в альвеолы поступает только 350 мл вдыхаемого атмосферного воздуха.

Остальные 150 мл задерживаются в анатомическом мертвом пространстве.

Составляя в среднем треть дыхательного объема, мертвое пространство снижает на эту величину эффективность альвеолярной вентиляции при спокойном дыхании.

