



Лекция № 17 (к занятию № 17)

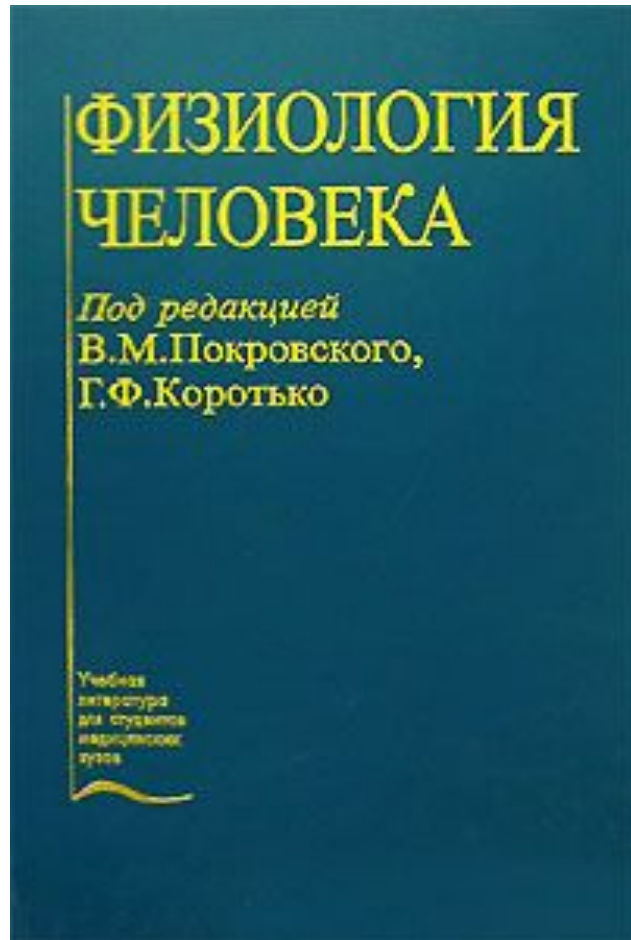
Тема:

Газообмен в лёгких. Внутреннее дыхание.

Медицинский факультет
Специальности: лечебное дело,
педиатрия
2008 / 2009 учебный год

23 декабря 2008 г.

Литература основная



Физиология человека

Под редакцией

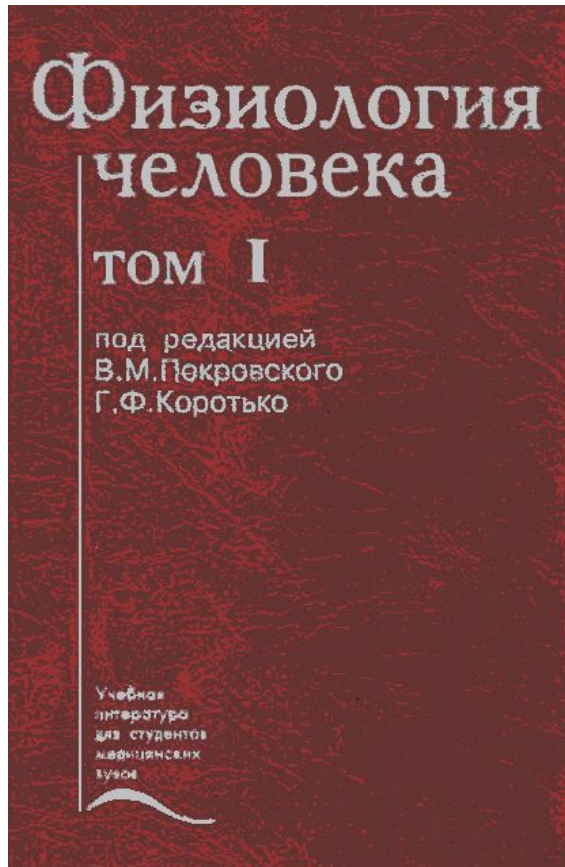
В.М.Покровского,

Г.Ф.Коротко

Медицина, 2003 (2007) г.

C. 358-365.

Литература основная



Физиология человека В двух томах . Том I.

Под редакцией
В. М. Покровского,
Г. Ф. Коротько

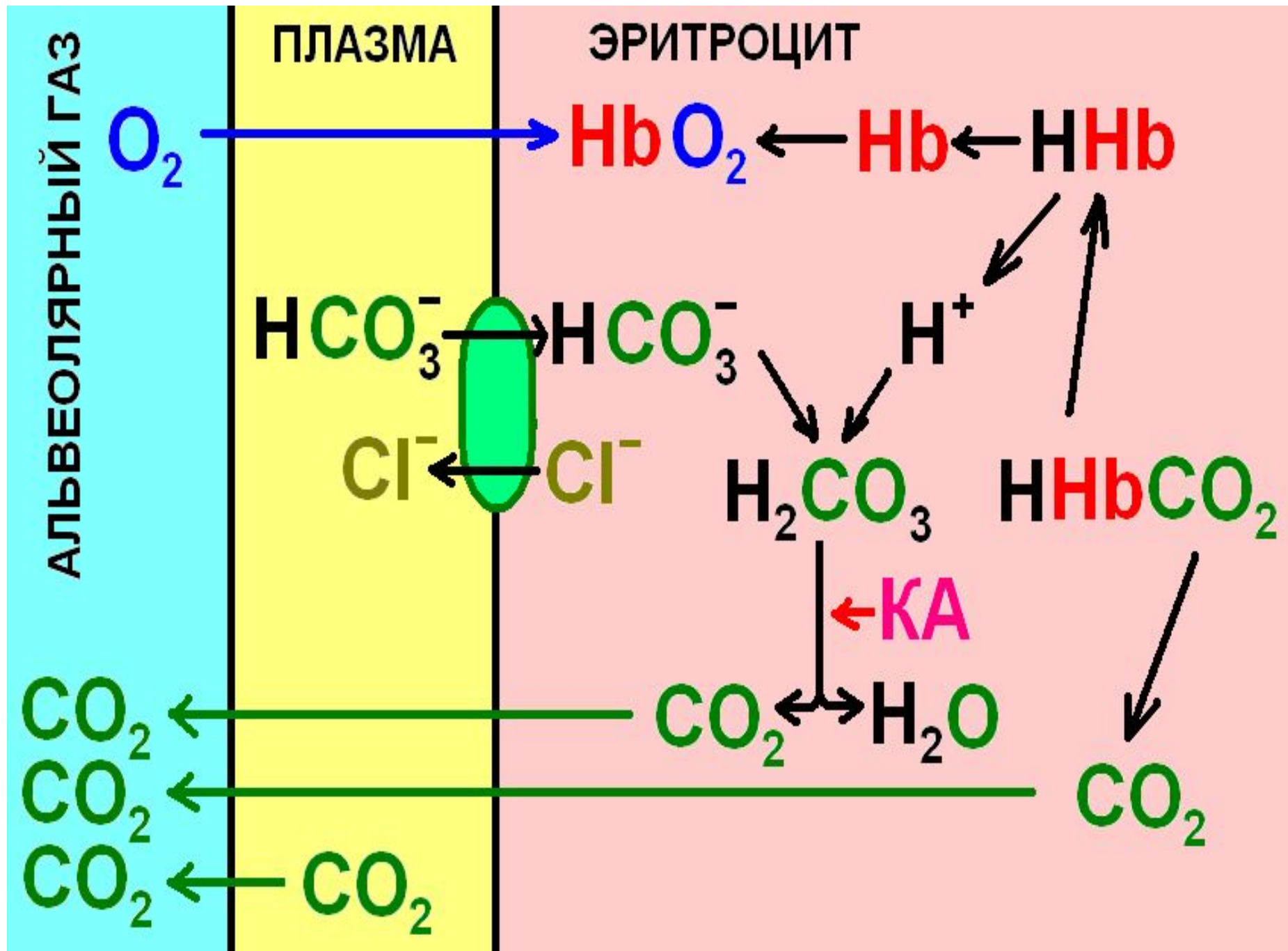
- Медицина, 1997 (1998, 2000, 2001) г.

С. ???

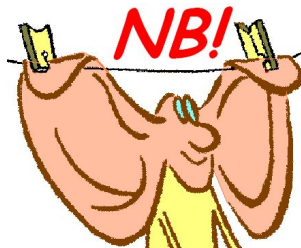
Вопрос **1**



- Подробнее Учебник.

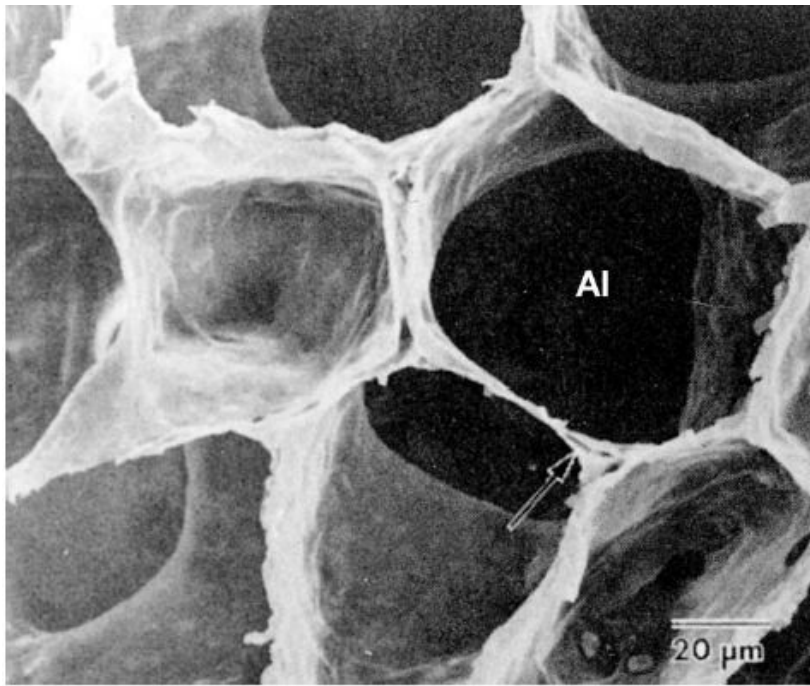


Вопрос 2

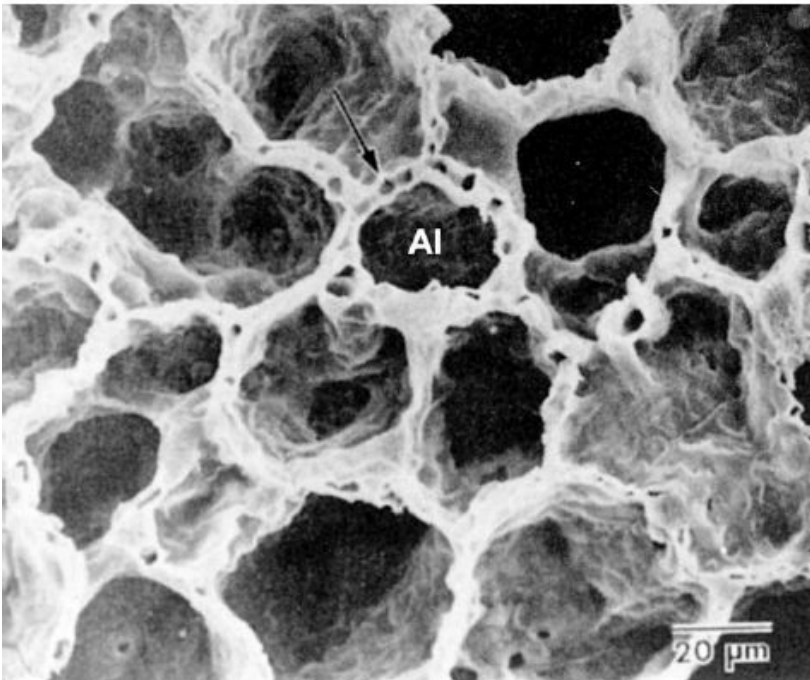


Подробнее Учебник,.

- Часто **аэрогематический барьер** называют ***диффузионным барьером***

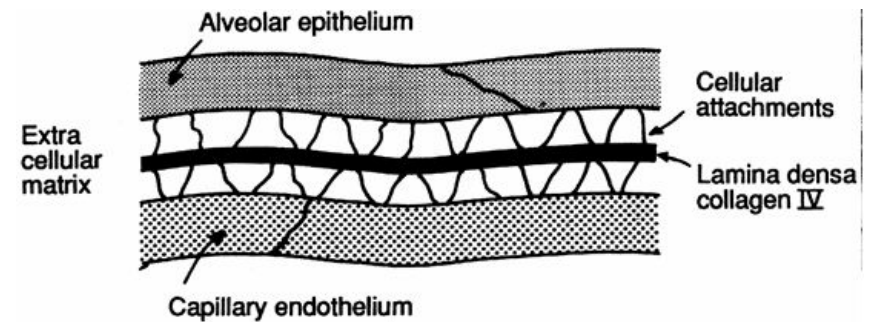
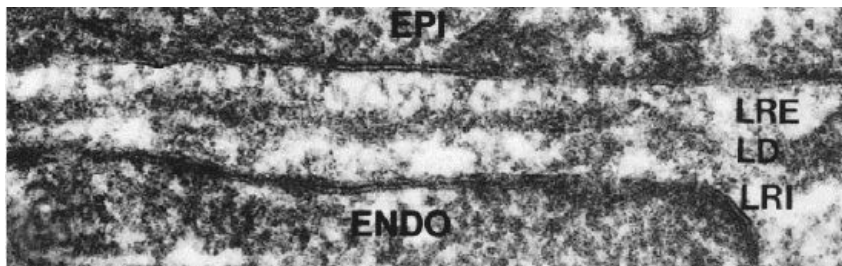
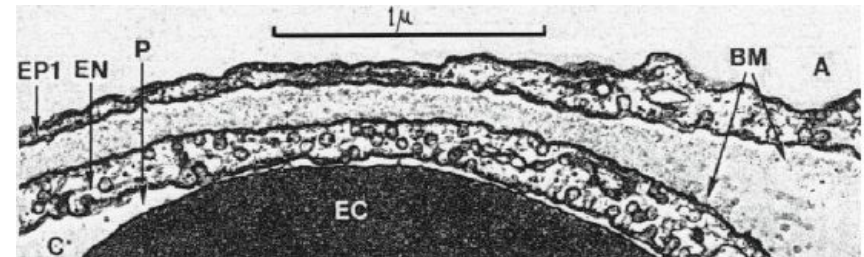
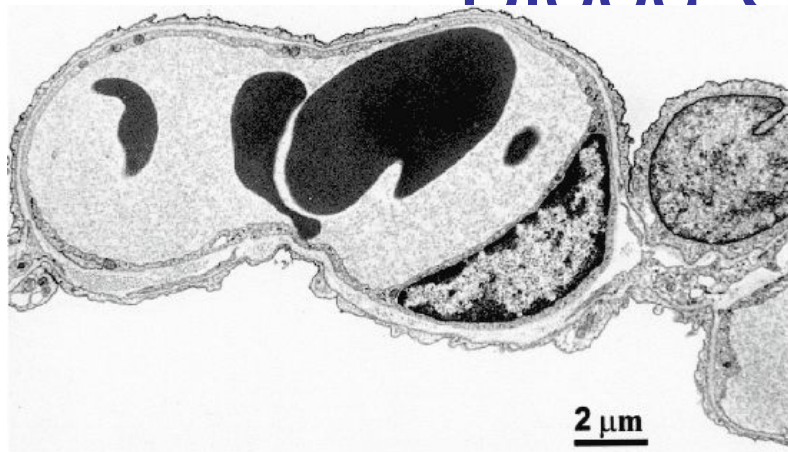


- Газообмен осуществляется в 16-23 генерациях ДП

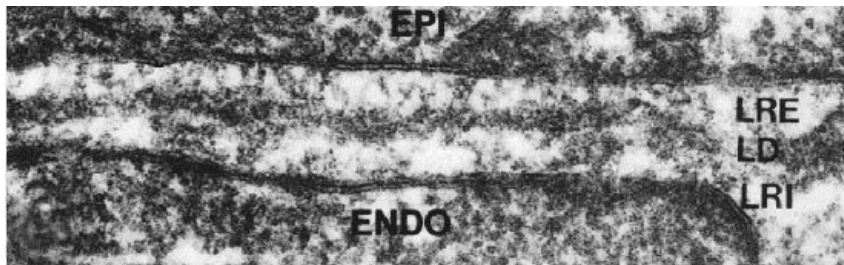
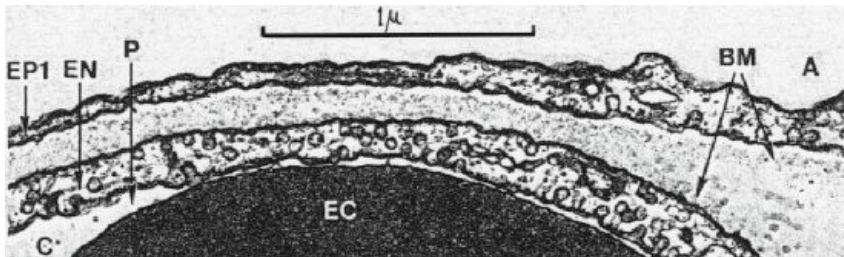


Аэрогематический барьер

Blood-Gas Barrier

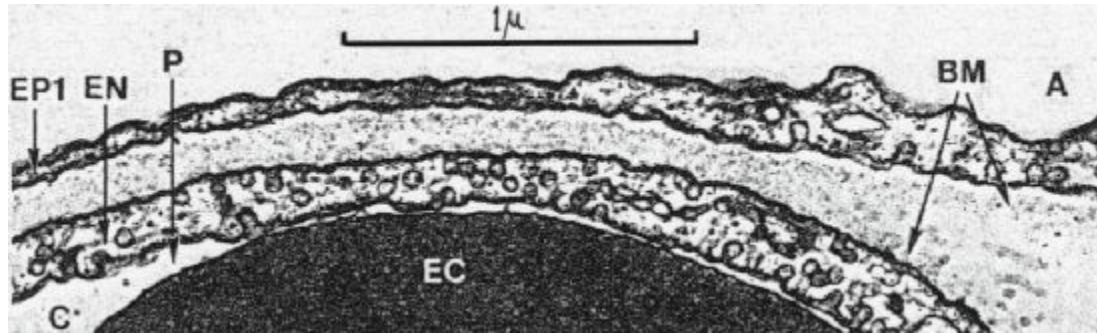


Аэрогематический барьер включает следующие основные структуры:



- эпителий альвеолы
- две основные мембраны
- интерстициальное пространство
- эндотелий капилляра

Аэрогематический барьер



Толщина – около 0,5 - 1 мкм

Площадь – около 80 м² (50-100 м²)

Вопрос 3



Подробнее Учебник,.С.358-359.

Движущая сила газообмена в лёгких



- ***разность парциальных давлений*** (напряжений) O_2 и CO_2 в крови и в альвеолярном газе.
- молекулы газа путём ***диффузии*** переходят из области большего его парциального давления в область более низкого парциального давления.

Парциáльное давление

— лат. *partialis* — частичный, от лат. *pars* — часть

— давление, которое имел бы газ, входящий в состав газовой смеси, если бы он один занимал объём, равный объёму смеси при той же температуре.



Закон Фика



$$V_g = -D \cdot \frac{S}{d} \cdot \Delta P$$

где

V_g — скорость диффузии (скорость переноса газа);

D — константа диффузии;

S — площадь барьера;

ΔP — разность парциальных давлений газа по обе стороны барьера;

d — толщина барьера

Закон Фика

- Газообмен осуществляется путем простой диффузии по закону Фика:
- диффузия газа прямо пропорциональна градиенту его парциального давления и площади барьера, обратно пропорциональна толщине барьера:

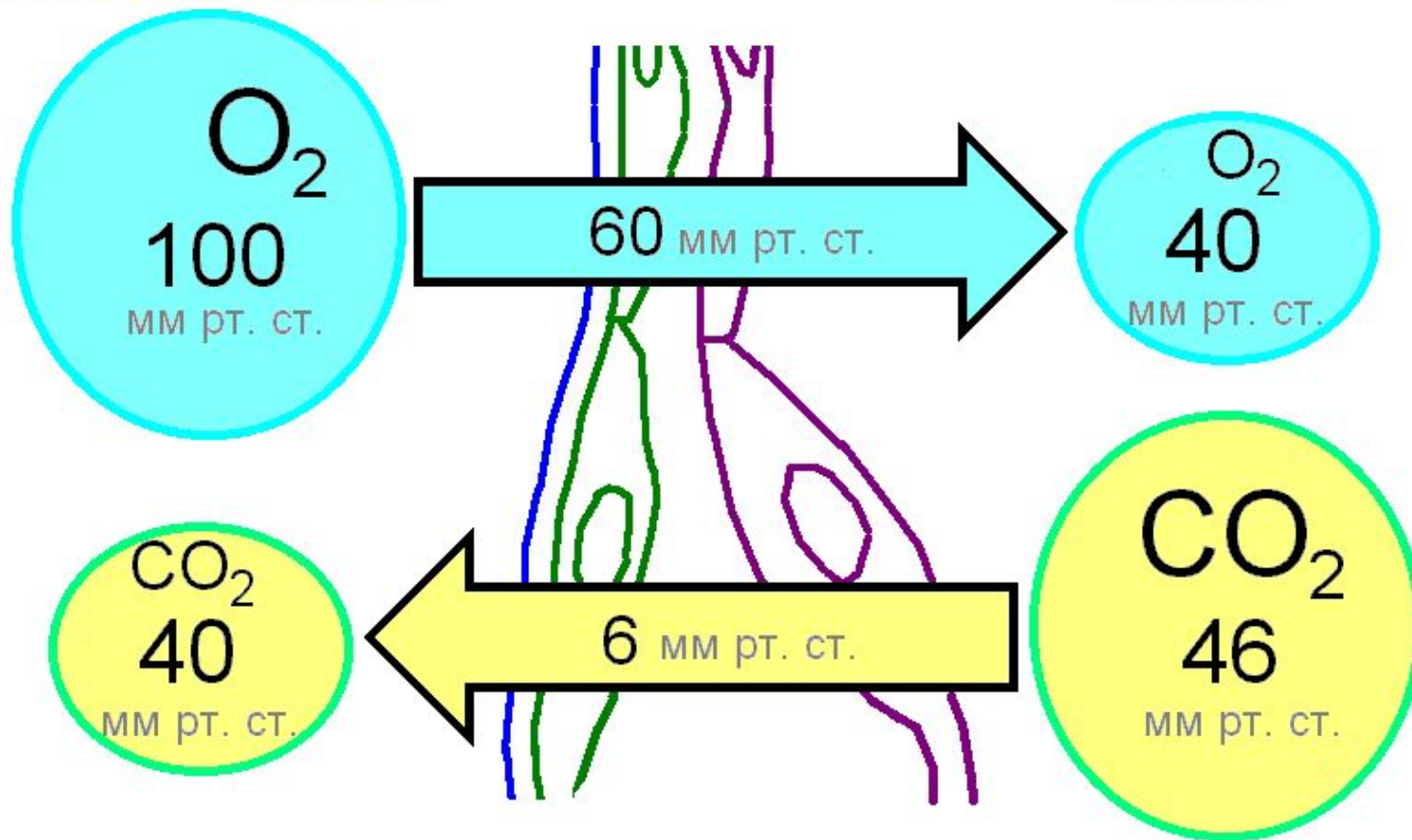
Градиент давления

газов - ΔP



АЛЬВЕОЛЯРНЫЙ ГАЗ

КРОВЬ



D — константа диффузии



Зависит от

- природы (свойств) газа
- свойств барьера в данный момент

Зависимость константы диффузии D от свойств газа



$$D \sim \frac{\alpha}{\sqrt{MM}}$$

D прямо пропорциональна
растворимости газа (α)
и обратно пропорциональна
квадратному корню из молекулярной
массы (MM) газа

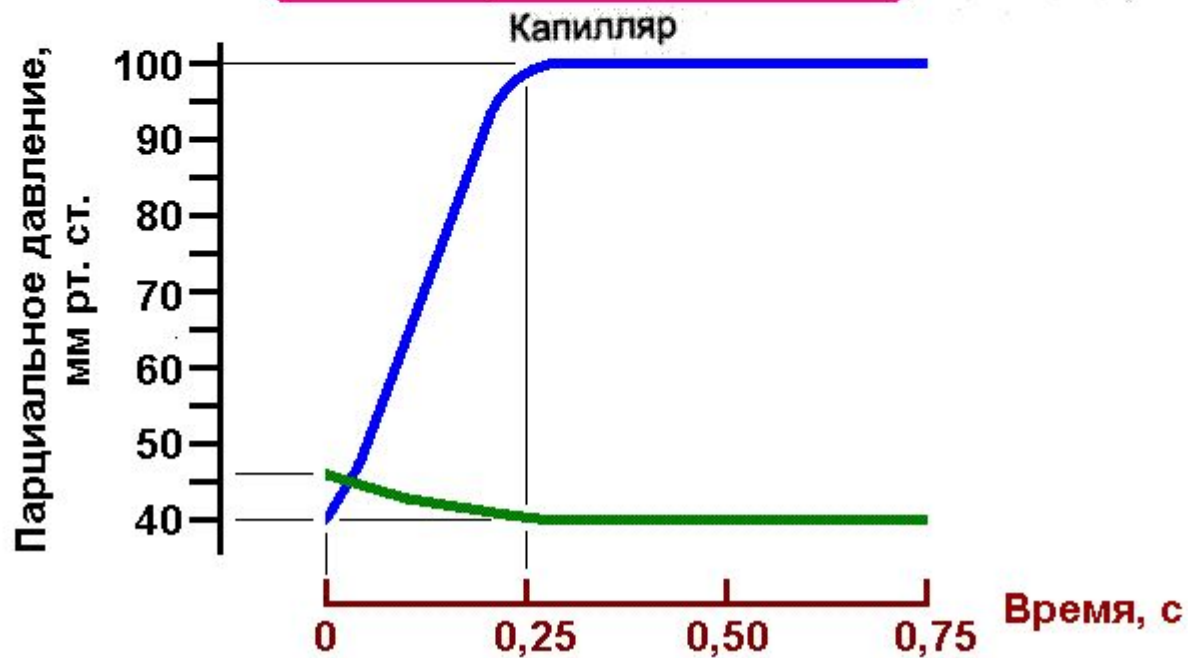
Зависимость константы диффузии D от
свойств газа



- Растворимость CO_2 значительно **выше** чем у O_2
- Молекулярные массы CO_2 и O_2 различаются незначительно
- Поэтому CO_2 диффундирует примерно в **20 раз быстрее**, чем O_2

Вопрос 4





Диффузия дыхательных газов по ходу лёгочного капилляра



- Эритроцит проходит капилляр лёгких в среднем за 0,75 с.

Изменение pO_2 по ходу капилляра



- В начале капилляра pO_2 в эритроците уже составляет примерно 40 % от pO_2 в альвеолярном газе.
- В условиях покоя pO_2 в капиллярной крови становится практически таким же, как в альвеолярном газе, когда эритроцит проходит треть капилляра

Изменение $p\text{CO}_2$ по ходу капилляра

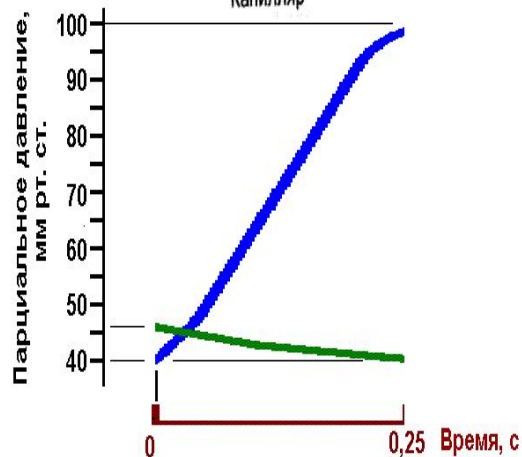
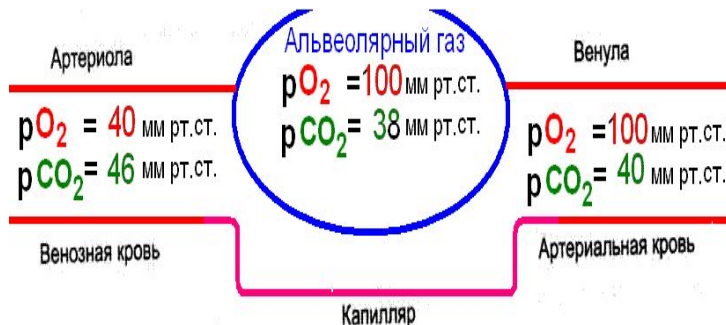


- В начале капилляра $p\text{CO}_2$ в крови составляет примерно 46 мм рт. ст., а в альвеолярном газе 40 мм рт. ст.
- В условиях покоя $p\text{O}_2$ в капиллярной крови становится практически таким же, как в альвеолярном газе, когда эритроцит проходит треть капилляра



При физической нагрузке

- Время прохождения эритроцита через капилляр может уменьшится в 3 раза.
- У здоровых людей pO_2 практически не снижается



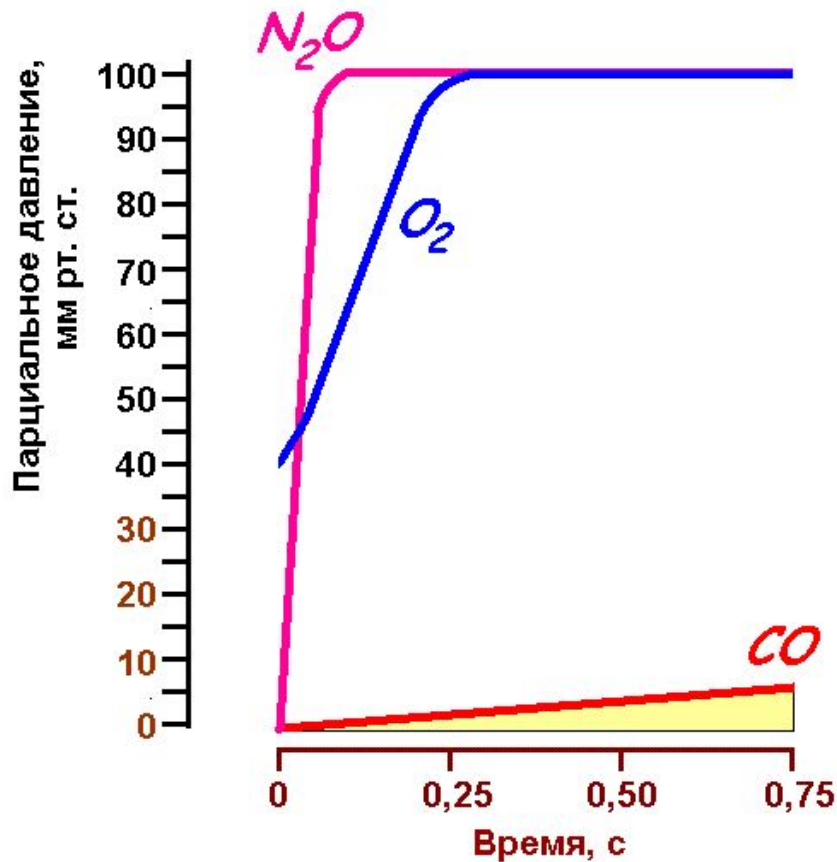
Диффузия дыхательных газов по ходу лёгочного капилляра

- Таким образом диффузия CO_2 и O_2 через аэрогематический барьер имеет достаточный запас времени.

Вопрос 5

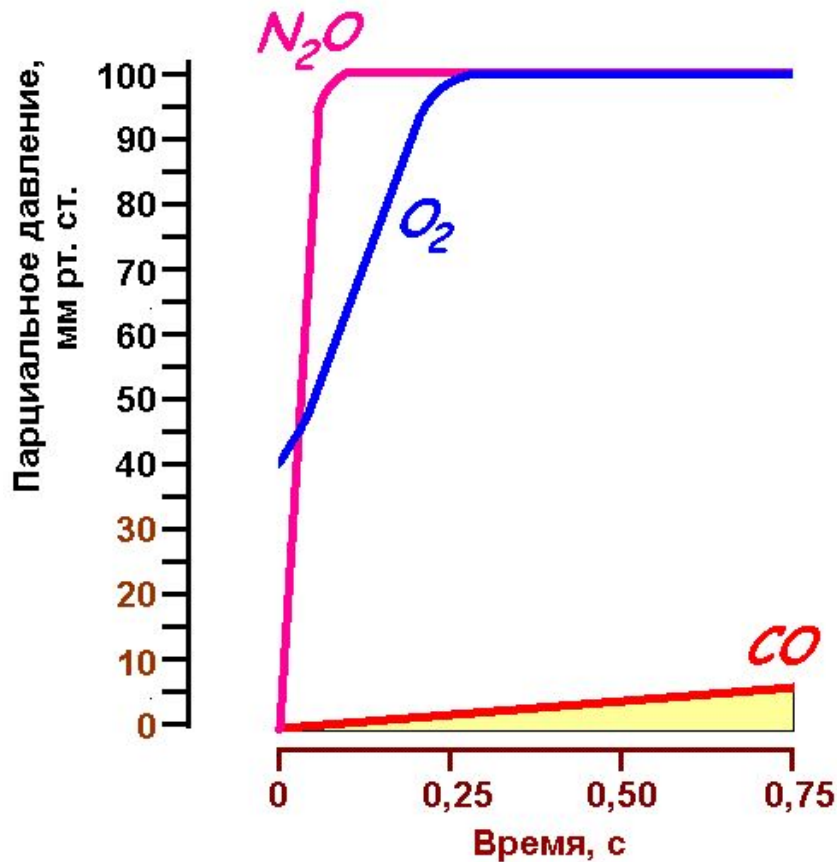


Диффузия *CO* - ограничена диффузией



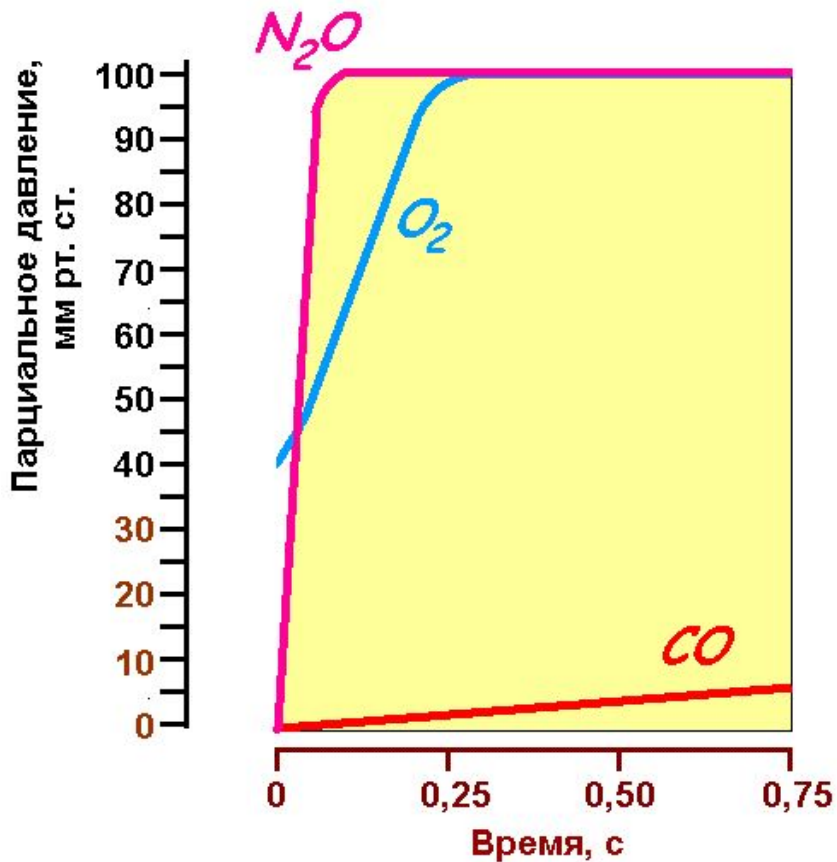
- *CO* способен очень прочно и в большом количестве связываться с гемоглобином практически без повышения его парциального давления в крови

Транспорт CO - ограничен диффузией



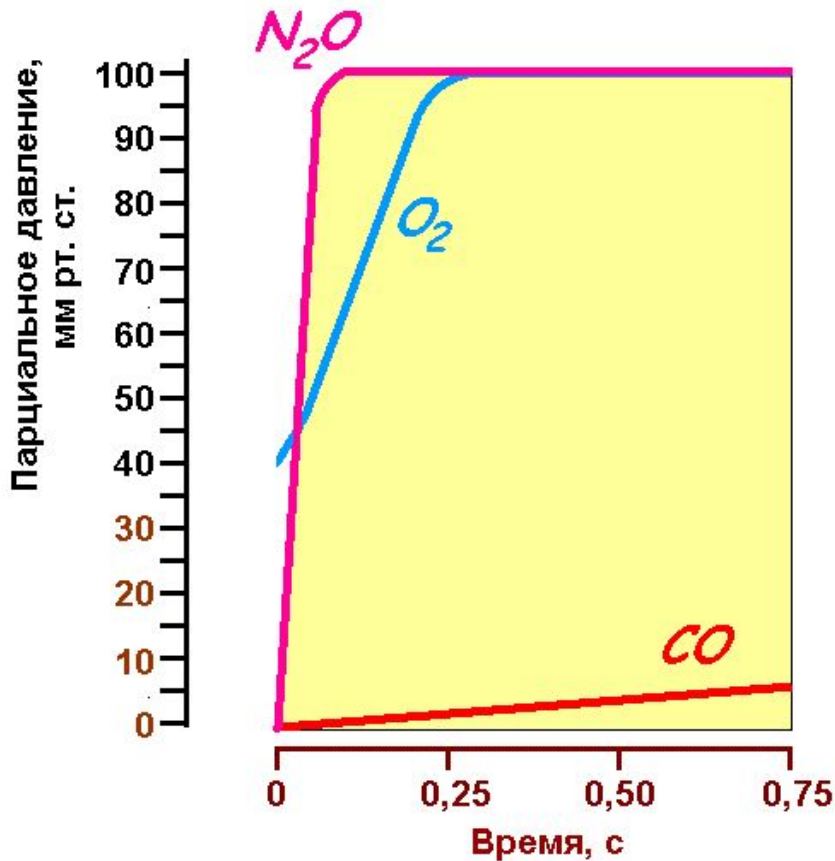
- CO по мере продвижения эритроцита по капилляру p_{CO} возрастает мало и
- препятствий для дальнейшего перехода CO в кровь не возникает

Транспорт N_2O - ограничен перфузией



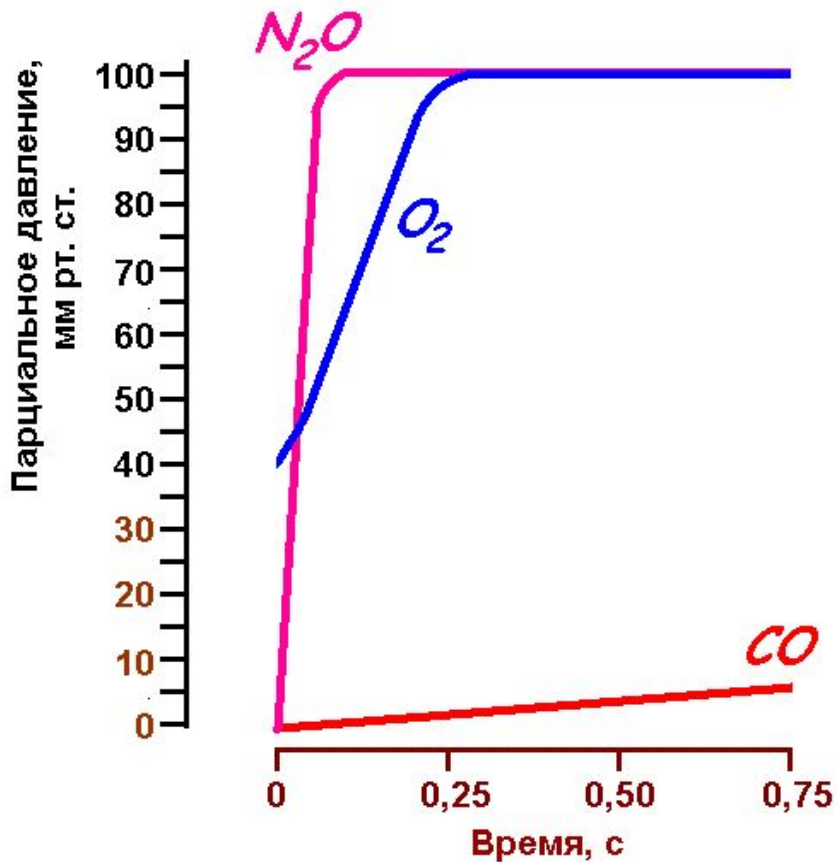
- N_2O не связывается с гемоглобином
- p_{N_2O} в в крови быстро возрастает

Диффузия N_2O - ограничена перфузией



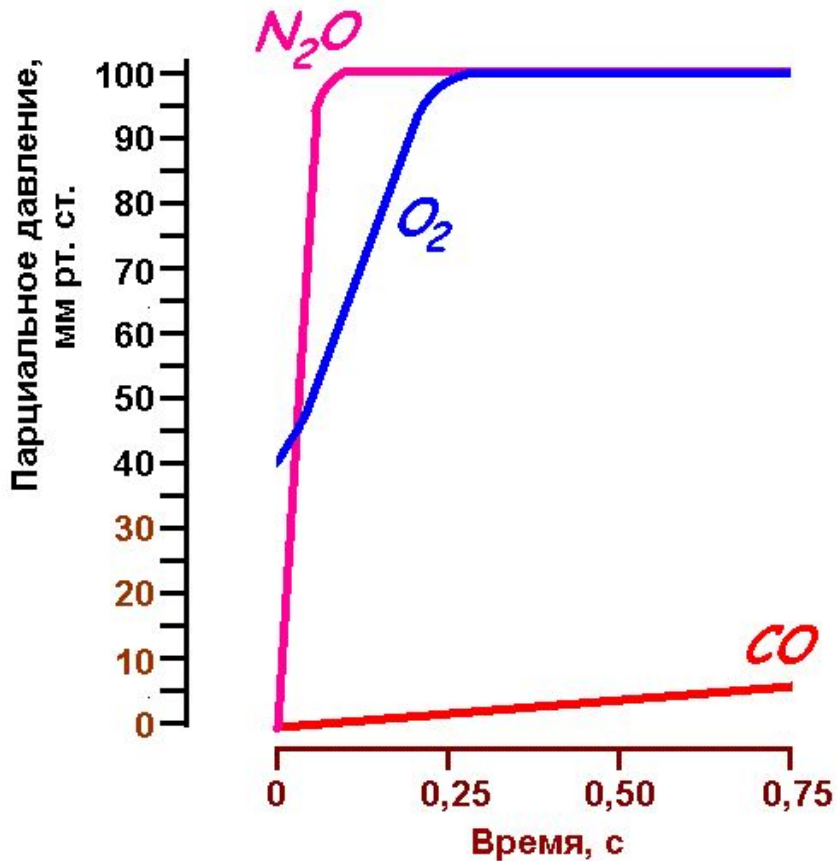
- при прохождении эритроцитом лишь 1/10 общей длины капилляра pN_2O достигает уровня альвеолярного газа.
- После этого переход N_2O в кровь прекращается

Диффузия O_2



- Кривая переноса занимает промежуточное положение между кривыми CO и N_2O .

Диффузия O_2



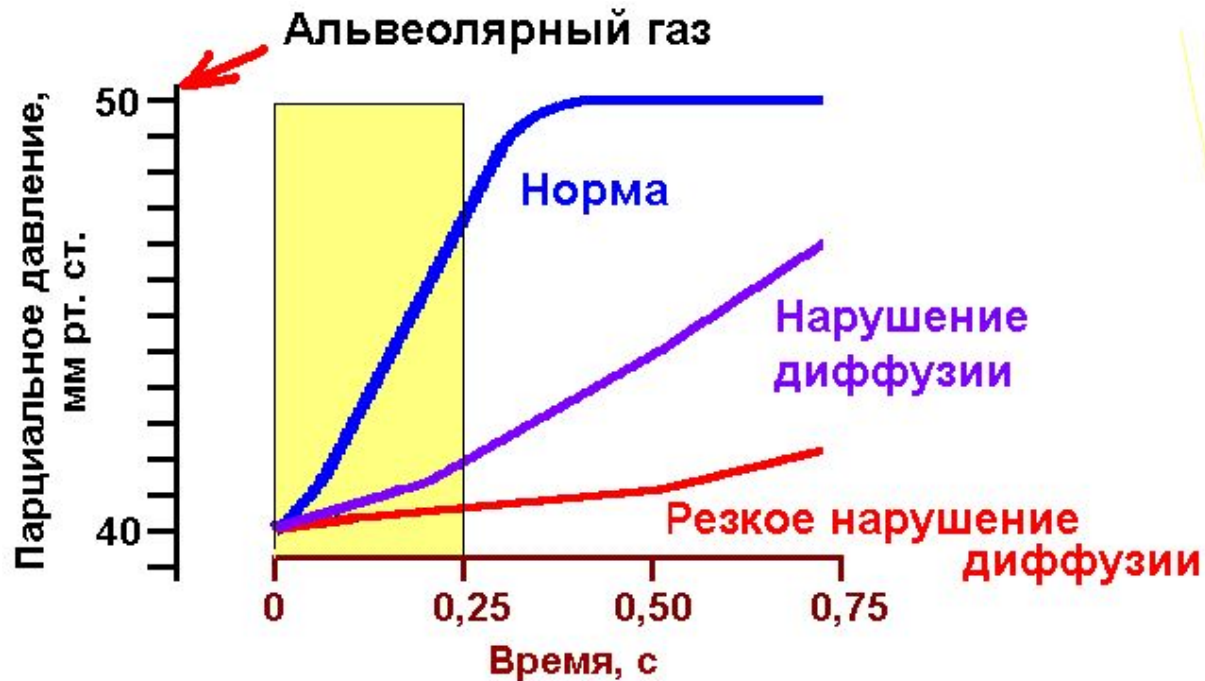
- В условиях покоя перенос O_2 через АГБ ограничен перфузией.

Диффузия O_2 по ходу лёгочного капилляра при нарушении диффузии



- Ограничивается отчасти

Диффузия O_2 по ходу лёгочного капилляра при понижении pCO в альвеолярном газе

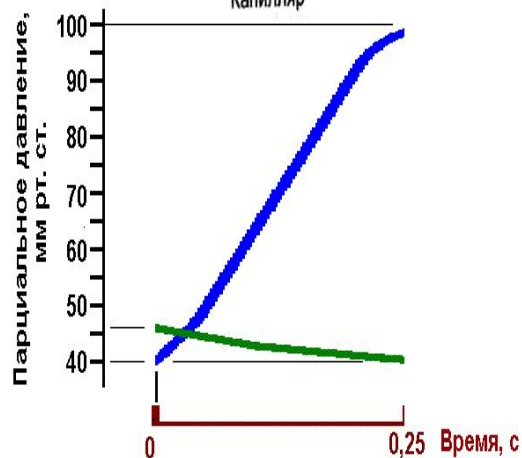


- Ограничивается отчасти диффузией

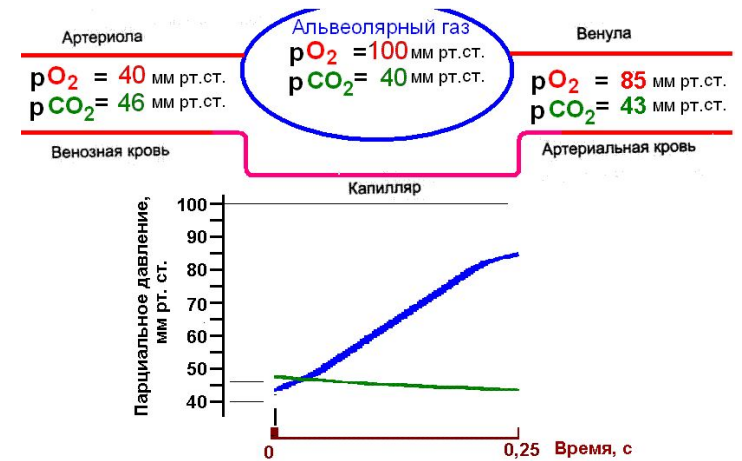
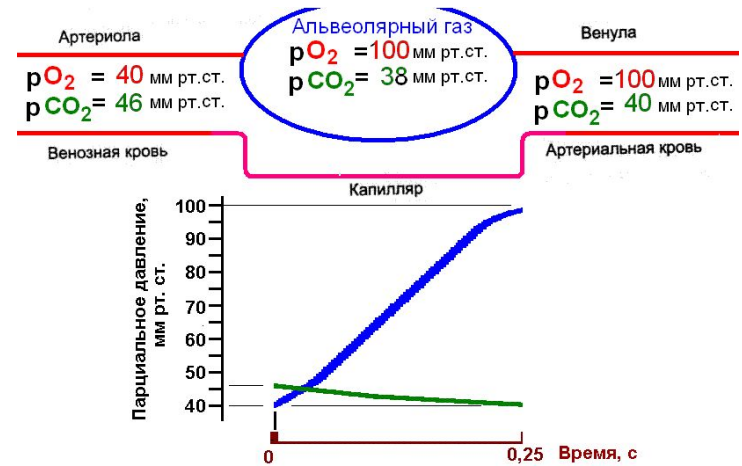


При физической нагрузке

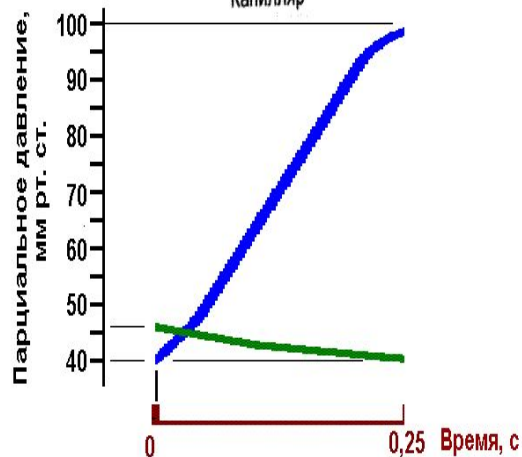
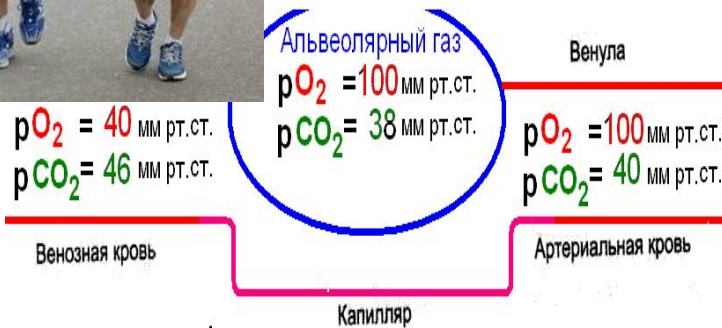
- Время прохождения эритроцита через капилляр может уменьшится в 3 раза.
- У здоровых людей pO_2 практически не снижается



При физической нагрузке



При физической нагрузке



- Время прохождения эритроцита через капилляр может уменьшится в 3 раза.
- У здоровых людей p_{O_2} практически не снижается

Вопрос 6



Подробнее Учебник, С.359

Вернемся к закону Фика

$$V_g = -D \cdot \frac{S}{d} \cdot \Delta P$$

где

V_g — скорость диффузии (скорость переноса газа);

D — константа диффузии;

S — площадь барьера;

ΔP — разность парциальных давлений газа по обе стороны барьера;

d — толщина барьера

- Сложное строение АГБ не позволяет прижизненно определять

S — площадь барьера;

d — толщину барьера

Рассмотрим изменённое уравнение Фика

$$Vg = D_L \cdot \Delta P$$

где

$$D_L = -D \cdot \frac{S}{d}$$

Показатель D_L назван
показателем диффузионной
способности лёгких

- Учитывает площадь, толщину и константу диффузии данного газа в данной ткани в определённых условиях

Рассмотрим изменённое уравнение Фика

$$D_L = \frac{Vg}{\Delta P}$$

где

D_L — диффузионной способности

Vg — скорость диффузии
(скорость переноса газа);

ΔP — разность парциальных давлений газа по обе стороны барьера;

Определение D_L для CO

- D_L обычно определяется для CO , потому что его транспорт через АГБ ограничен только диффузией, но не перфузией
- Поскольку p_{CO} в крови мало вместо ΔP используется p_{CO} в альвеолярном газе.

D_L для CO

- Составляет около

25 мл·мин⁻¹·мм рт. ст.⁻¹

- В норме диффузия газов в ацинусах осуществляется уже в первой трети легочных капилляров.
- Значение диффузионной способности легких составляет примерно

25 мл O_2 /(мин · 1 мм рт. ст.)

600 мл CO_2 /(мин · 1 мм рт. ст.)

Вопрос 7



Размер тела

- D_L возрастает с увеличением размеров тела: веса, роста и площади диффузионной поверхности

Возраст

- D_L возрастает по мере взросления и достигает максимума к 20 годам.
- После 20 лет снижается на 2 % ежегодно

Пол

- Женщины при сравнимых возрасте и размерах тела имеют D_L 10 % ниже, чем у мужчин

Объём лёгких

- D_L растёт с увеличением объёма лёгких
- Отношение D_L к объёму лёгких – константа Крога
- Константа Крога нормализует D_L по отношению к объёму лёгких

Физическая нагрузка

- D_L увеличивается во время физической нагрузки
- Предполагается или рост площади контакта вследствие расширения капилляров или «рекрутирование капилляров»

Положение тела

- D_L больше в положении лёжа на спине, чем стоя

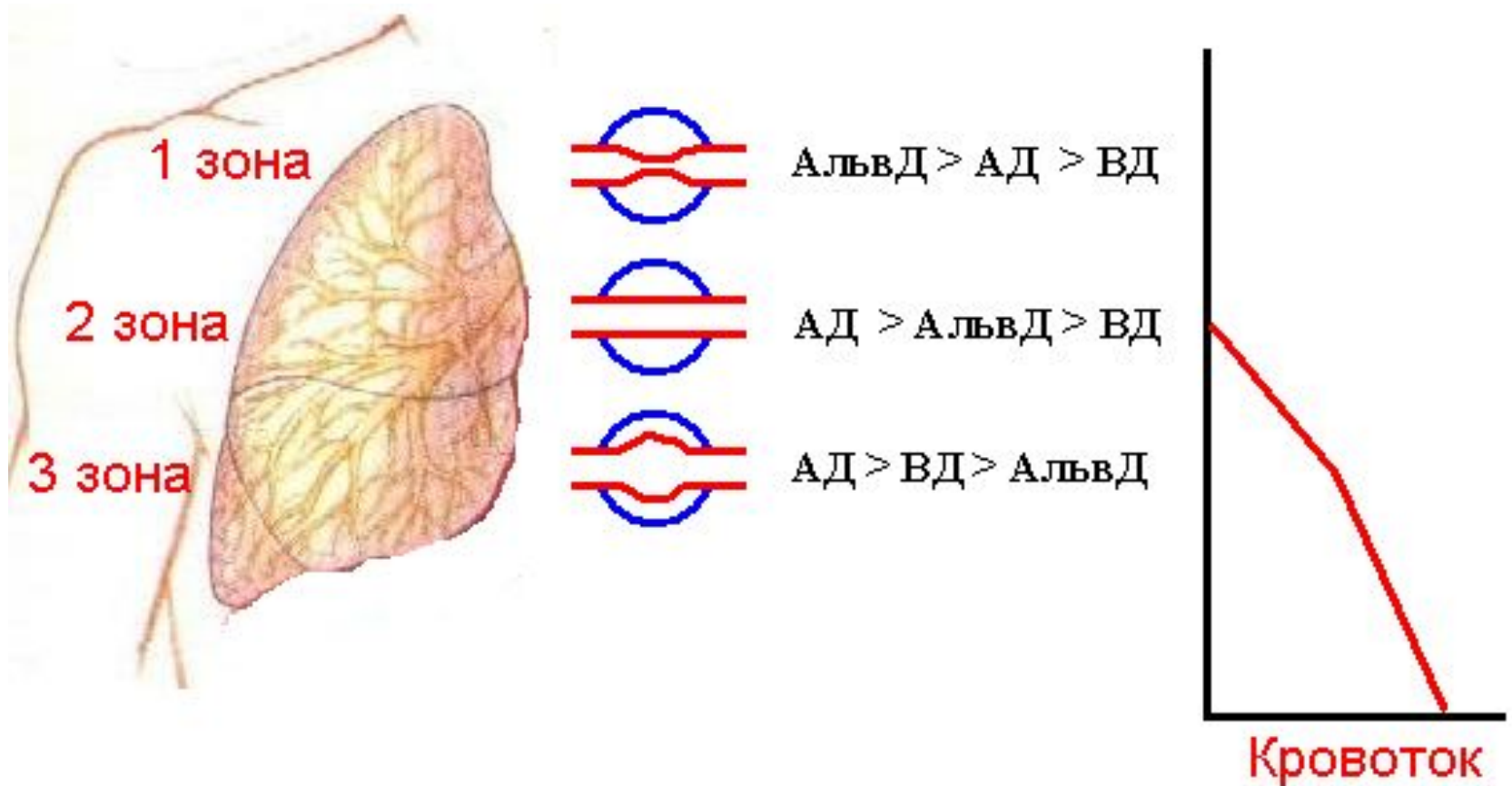
Вопрос 8

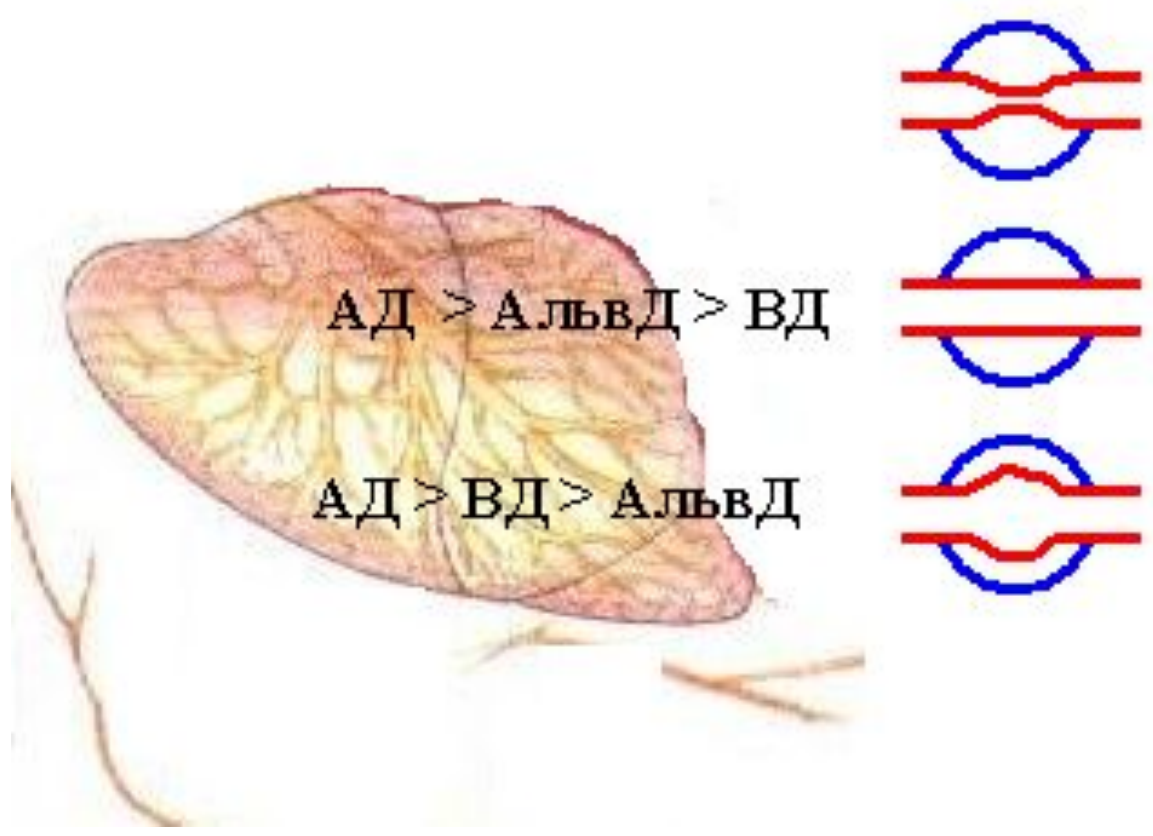


- Легкие являются единственным органом, через который проходит весь МОК.
- Легочные сосуды обладают большой растяжимостью и могут вместить МОК в 5 раз больше, чем в покое.
- В горизонтальном положении объем крови (-600 мл) в сосудах легких больше, чем стоя (это способствует развитию отека легких в патологии). (При активном вдохе кровенаполнение легких увеличивается до 1 000 мл, при активном выдохе снижается до 200 мл.)
- Легочные сосуды являются сосудами малого давления: систолическое АД равно 20 — 25 мм рт. ст., диастолическое — 10 — 15, среднее — 14—18 мм рт. ст.
- Поэтому на кровоток легких в вертикальном положении сильно влияет гидростатическое давление столба крови (в легких нулевое гидростатическое давление крови находится на уровне правого предсердия, т.е. корня легкого; на каждые 1,3 см выше корня легких артериальное и венозное давления снижаются на 1 мм рт. ст., ниже корня легкого повышаются).

- На кровоток в легких влияет альвеолярное давление (АльвД), которое в зависимости от зоны легкого может быть выше, равно или ниже артериального (АД) и венозного (ВД) давлений.

В зависимости от соотношении АльвД, Рап и ВД легких выделяют в положении стоя три функциональные зоны (сверху вниз).





В зависимости от соотношений АльвД, Рап и ВД легких выделяют в положении стоя три функциональные зоны (сверху вниз).

- В 1-й зоне верхушки легких
- АльвД > АД > ВД.
- В результате компрессии сосудов микроциркуляции кровотоков в этой зоне минимален и возникает только во время систолы правого желудочка.

В зависимости от соотношений АльвД, Раp и ВД легких выделяют в положении стоя три функциональные зоны (сверху вниз).

- Во 2-й зоне
- $АД > АльвД > ВД$
- кровоток осуществляется в результате разности между артериальным и альвеолярным давлением и существенно зависит от последнего.

В зависимости от соотношений АльвД, Рар и ВД легких выделяют в положении стоя три функциональные зоны (сверху вниз).

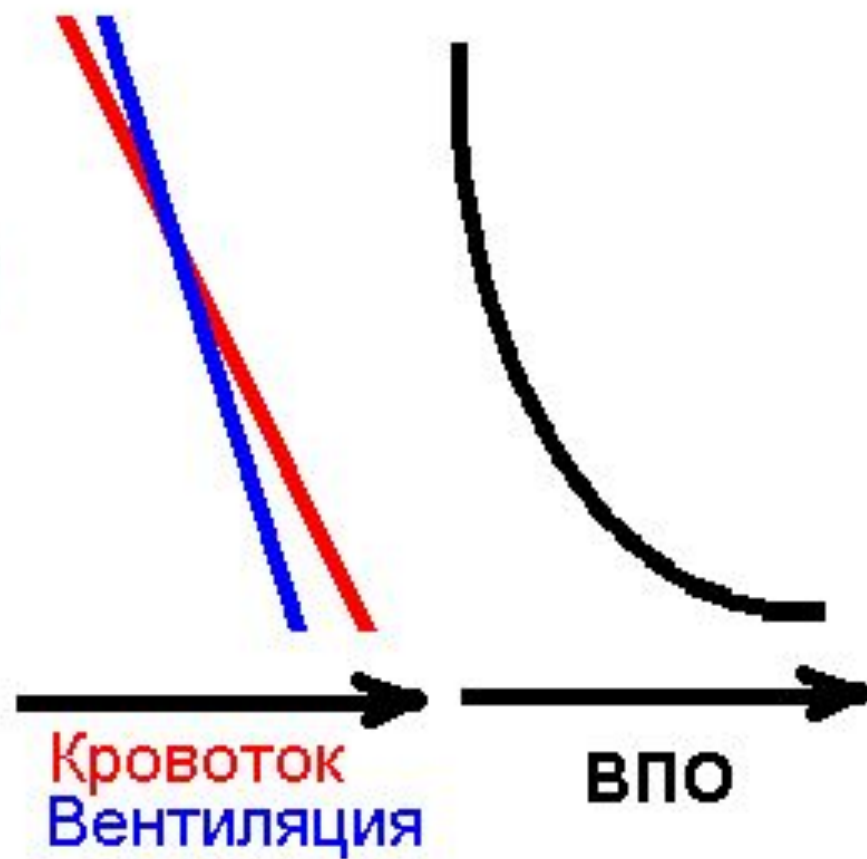
- В 3-й зоне
- $A_D > V_D > A_{\text{львД}}$,
- кровоток осуществляется в результате разницы между артериальным и венозным давлением и существенно не зависит от альвеолярного

Вопрос 8



Вентиляционно - перфузионные отношения

- Для идеального обмена O_2 и CO_2 необходимо, чтобы соотношение между вентиляцией и кровотоком в легких было равно единице.

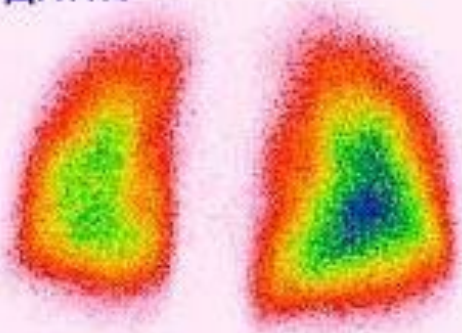


Перфузионно-вентиляционные отношения

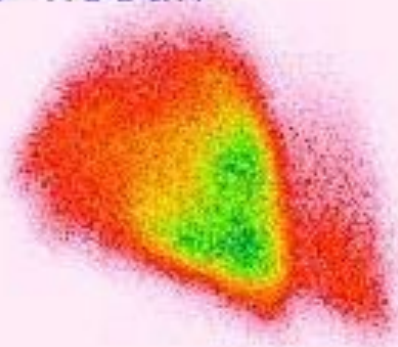
Однако в норме имеется неодинаковое отношение вентиляции и кровотока (В/К) в разных отделах легких в вертикальном положении:

- в верхних отделах вентиляция превышает кровоток ($V/K \approx 3$);
- в средних отделах они примерно равны ($V/K \approx 0,9$);
- в нижних отделах кровоток превышает вентиляцию ($V/K \approx 0,7$).

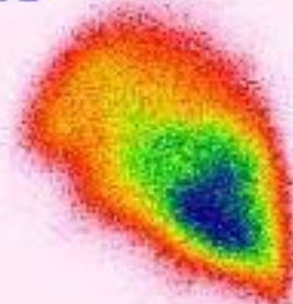
Задняя



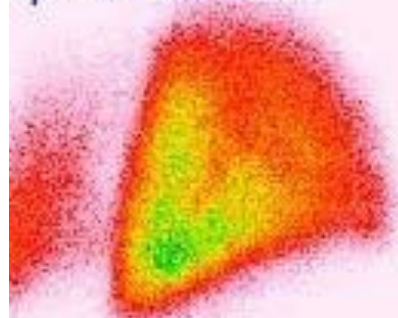
Л 3 Косая



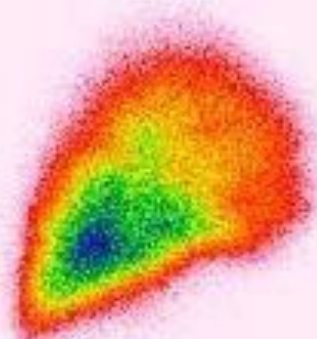
Л Боков



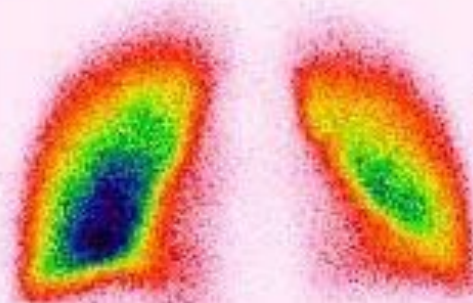
Пр 3 Косая



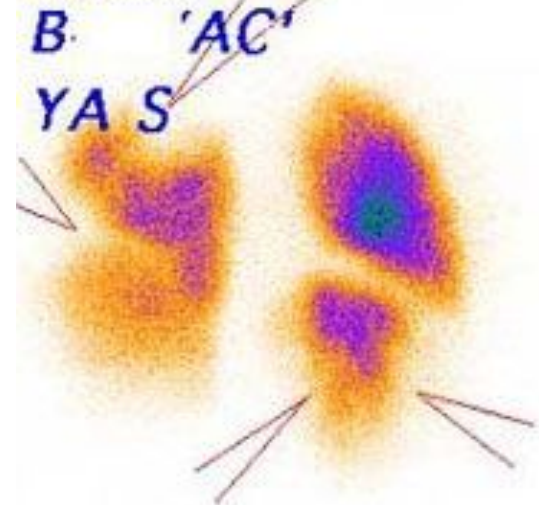
Пр Боков



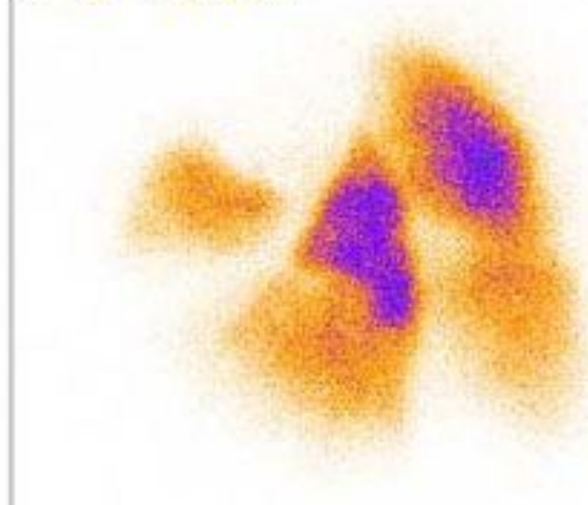
Передняя



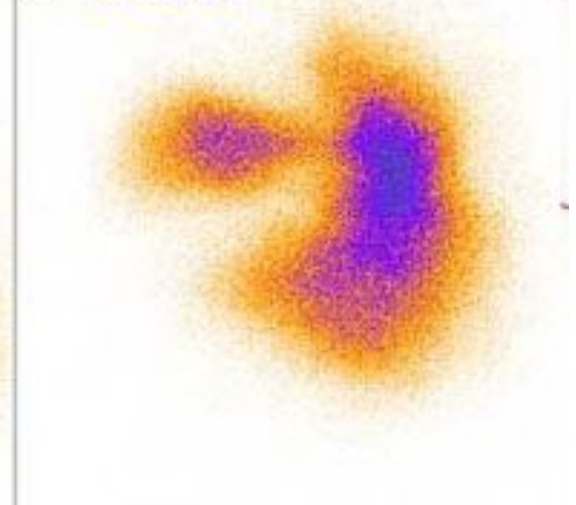
Задняя



Л 3 Косая



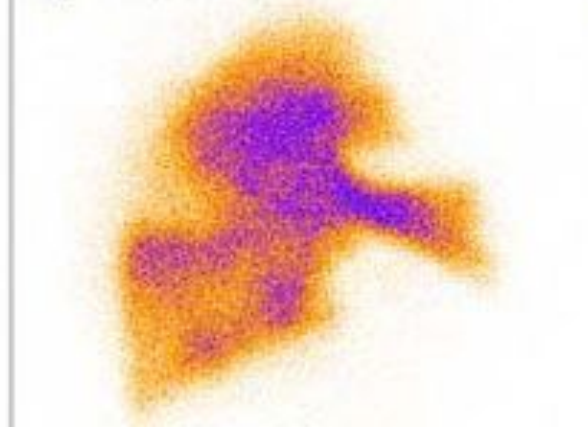
Л Боков



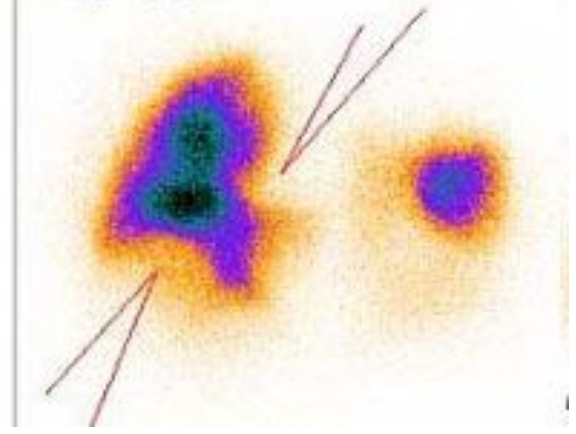
Пр 3 Косая



Пр Боков



Передняя



Вопрос 9



Кислородная ёмкость крови

- 1 г гемоглобина способен максимально связывать 1,34 мл O_2
- Учитывая, что нормальное содержание гемоглобина составляет 15 г/100 мл, можно рассчитать, что в 100 мл крови максимально может содержаться 20,1 мл O_2 , связанного с гемоглобином.
- Данная величина называется кислородной емкостью крови (КЕК):

$$\text{КЕК} = [\text{Hb}] \times 1,34 \text{ мл } O_2/\text{гHb}/100 \text{ мл крови.}$$

Кислородная ёмкость крови

- Наиболее важным параметром, определяющим количество кислорода, связанного с гемоглобином, является насыщение гемоглобина кислородом — сатурация (**SaO₂**), который рассчитывают по формуле:

$$SaO_2 = \frac{O_2, \text{ связанный с Hb}}{КЕК} \times 100 \%$$

Кислородная ёмкость крови

- При P_{aO_2} SaO_2 , равном 100 мм рт.ст., насыщение гемоглобина кислородом артериальной крови составляет около 97 %.
- В венозной крови ($P_{O_2} = 40$ мм рт.ст.) SaO_2 приблизительно равна 75 %.

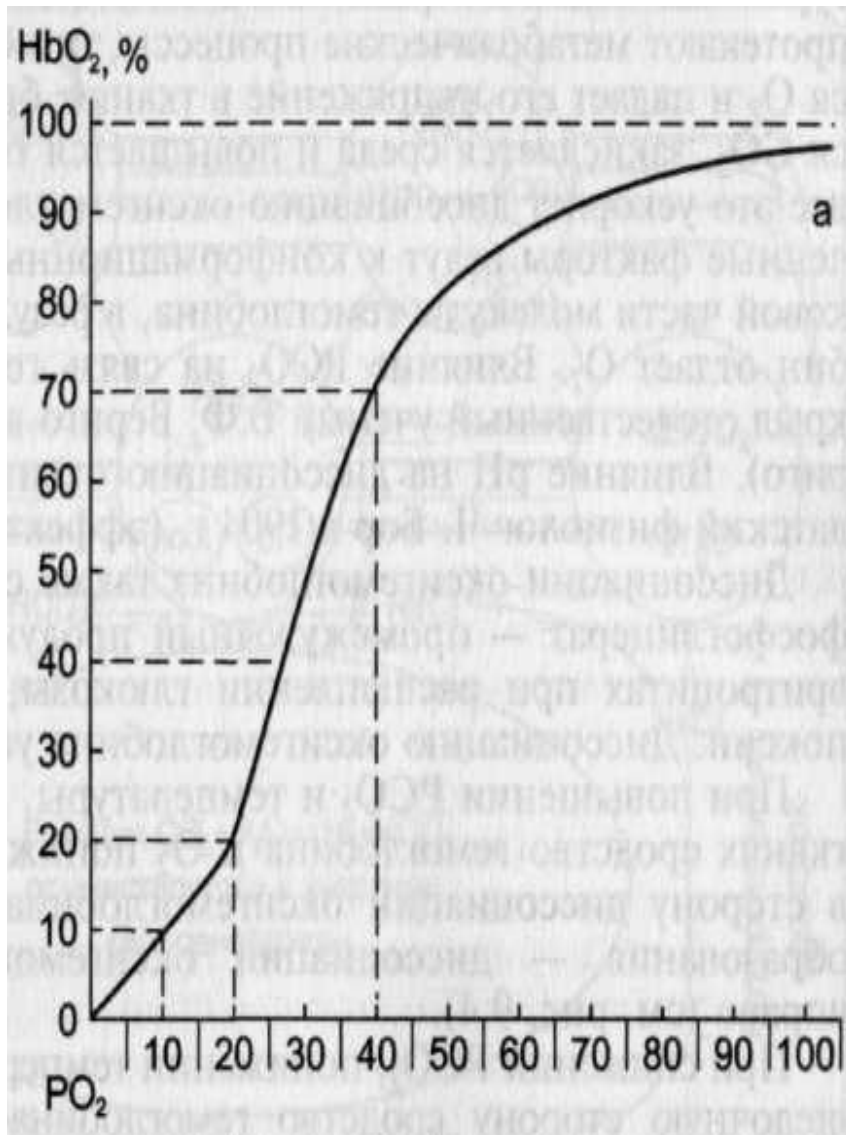
- **сатурация** ([лат.](#)) - насыщение;
- в медицине - насыщение жидкостей и тканей организма тем или иным газом (иногда насыщение создается искусственно - ИВЛ, оксигенация крови и т.д.)

Вопрос **10**



Подробнее Учебник С. 361-363

Кривая диссоциации оксигемоглобина



На кривой имеется 4

характерных отрезка

1 — от 0 до 10 мм рт. ст.

2 — от 10 до 40 мм рт. ст.

3 — от 40 до 60 мм рт. ст.

4 — свыше 60 мм рт. ст.

- 1 — при напряжении O_2 в крови от 0 до 10 мм рт. ст. в крови находится восстановленный гемоглобин, оксигенация крови идет медленно;
- 2 — от 10 до 40 мм рт. ст. — насыщение гемоглобина кислородом идет очень быстро и достигает 75 %;
- 3 — от 40 до 60 мм рт. ст. — насыщение гемоглобина кислородом замедляется, но достигает 90 %
- 4 — при возрастании PO_2 свыше 60 мм рт. ст. дальнейшее насыщение гемоглобина идет очень медленно и постепенно приближается к 96—98 %, никогда не достигая 100 %. Однако такое высокое насыщение гемоглобина кислородом наблюдается только у молодых людей. У пожилых людей эти показатели ниже.

Вопрос **11**



Методы исследования газового состава крови

- *Полярнографические методики*
- *Оксигемометрия и оксигемография*

Полярографические методики

- В камере, куда в микродозах помещают исследуемую кровь, находятся электроды, имеющие избирательную чувствительность к H^+ (электрод рН), O_2 (электрод PO_2) и CO_2 (электрод PCO_2)
- Поляризационные напряжения, которые возникают на электродах, пропорциональны значениям концентрации исследуемых веществ.
- На цифровом индикаторе непосредственно отсчитывается значения рН в единицах, а значения напряжений газов — в миллиметрах ртутного столба.

Оксигемометрия и оксигемография

- позволяют оценить кислородтранспортную функцию крови.
- Основаны на том, что в красной части спектра коэффициент поглощения света для восстановленного гемоглобина в несколько раз больше, чем для оксигемоглобина.
- При этом значение насыщения гемоглобина кислородом получают в процентах.
- Для того чтобы вычислить содержание O_2 в пробе крови, нужно знать количество в ней гемоглобина.
- Используя кислородную емкость 1 г гемоглобина (1,34 мл O_2), можно вычислить содержание O_2 в крови.

Оксигемометрия и оксигемография

- Комбинированные оксигемометры кроме кюветного определения оксигемоглобина в пробах крови снабжены ушным датчиком для проведения непрерывной бескровной оксигемометрии.
- При этом прибор регистрирует относительное значение насыщения гемоглобина крови кислородом по отношению к исходной величине
- В некоторых оксигемометрах вносится поправка на значение оптической плотности ткани без крови и регистрируют абсолютные величины оксигемоглобина циркулирующей крови.
- Оксигемометры, снабженные самописцем, позволяют проводить оксигемографию — записывать динамику изменения оксигемоглобина в крови.

Вопрос **12**



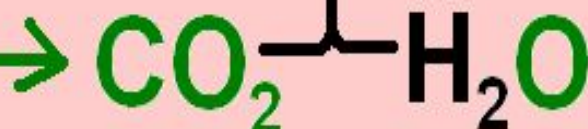
ТКАНИ

ПЛАЗМА

ЭРИТРОЦИТ



←КА



Диффузионные градиенты

- P_{O_2} притекающей к тканям крови -95 мм рт. ст.;
- в межклеточной жидкости -45,
- на поверхности клеток -20;
- в митохондриях -1 мм рт. ст.
- Эти градиенты обеспечивают поступление кислорода из крови в клетки тканей.
- P_{CO_2} в притекающей к тканям крови -40 мм рт. ст., в клетках - 60 мм рт. ст., что обеспечивает поступление CO_2 из клеток тканей в кровь.

Диффузионные градиенты

- P_{CO_2} в притекающей к тканям крови -40 мм рт. ст.,
- в клетках - 60 мм рт. ст., что обеспечивает поступление CO_2 из клеток тканей в кровь.

Количественная характеристика обмена O_2 между кровью и тканями

- Количественно обмен между кровью и тканями характеризует артериовенозная разница по O_2 , равная 50 мл O_2 /л крови,
- и коэффициент использования O_2 , характеризующий долю O_2 поступившего из крови в клетки ткани

Значения коэффициентов утилизации кислорода

- Каждые 100 мл артериальной крови, содержащие 18—20 мл O_2 , отдают тканям в среднем около 4,5 мл O_2 , т.е. 20—30 %.
- В миокарде, сером веществе мозга и печени коэффициент утилизации достигает 50—60 %.

Основной механизм регуляции **газообмен между кровью и тканями**

- сдвиги кривой диссоциации оксигемоглобина,
- изменение объемного кровотока в тканях и органах.

Вопрос **13**



Потребление O_2

- Показателем тканевого дыхания в организме является потребление O_2 (PO_2), л/мин:

$$PO_2 = \text{Артериовенозная разница } O_2 \cdot \text{МОК.}$$

- Это наиболее адекватный показатель значения физической нагрузки.
- В целом организме минимальное PO_2 равно

Потребление O_2

В целом организме

- Минимальное **ПО₂** равно 0,2 л/мин
- В покое – 0,3 л/мин
- Максимальное – 3,0 л/мин

Основные пути потребления



- **Митохондриальный путь** (40 — 85%);
- **Микросомальный путь** в гладкой ЭПС (10 — 40 %)
- **Образование активных продуктов неполного восстановления O_2** (5—15 %) (в нейтрофилах — до 90 %)
- **Миоглобин** (много в красных мышцах и миокарде).

Основные пути потребления



- *Митохондриальный путь* (40 — 85% всего O_2); восстановление четырех электронов O_2 до воды под действием цитохрооксидазы, основная функция — аккумуляция энергии в виде АТФ.
- *Микросомальный путь* в гладкой ЭПС (10 — 40 % всего потребляемого O_2); монооксигеназная реакция (с участием цитохрома P450) внедряет атом кислорода в молекулу окисляемого вещества, что приводит к образованию полярных (т. е. водорастворимых) веществ. Основные функции этого пути — синтез и инактивация стероидных гормонов, детоксикация ксенобиотиков, в том числе лекарств.
- *Образование активных продуктов неполного восстановления O_2* (супероксидный анион, перекись водорода, гидроксильный радикал, пероксид водорода, синглетный кислород) — 5—15 % (в нейтрофилах — до 90 %) всего потребляемого O_2 . Функциональная роль: фагоцитарная активность лейкоцитов, вазомоторное действие, лизис клеточных мембран (например, при овуляции) и др.
- *Миоглобин* (много в красных мышцах и миокарде). Депонирует и транспортирует O_2 в клетке. Обладает высоким сродством к O_2 ($P_{50} = 8$ мм рт. ст.) и отдает его только при низком P_{O_2} в клетке (меньше 10 мм рт. ст., например при сокращении мышц).

