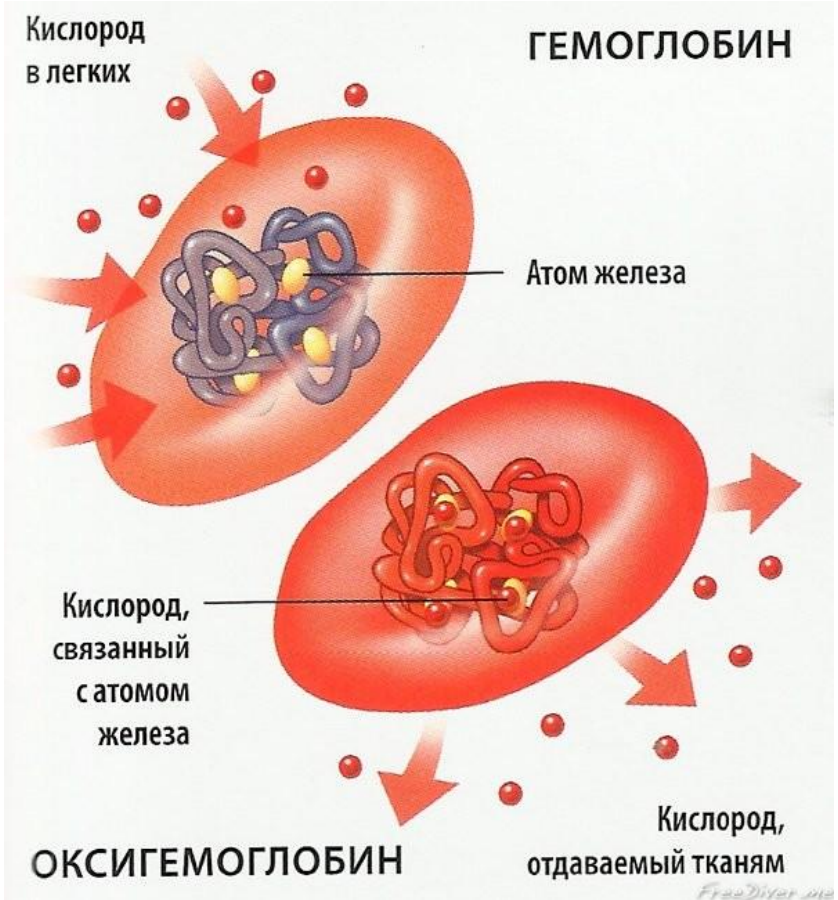


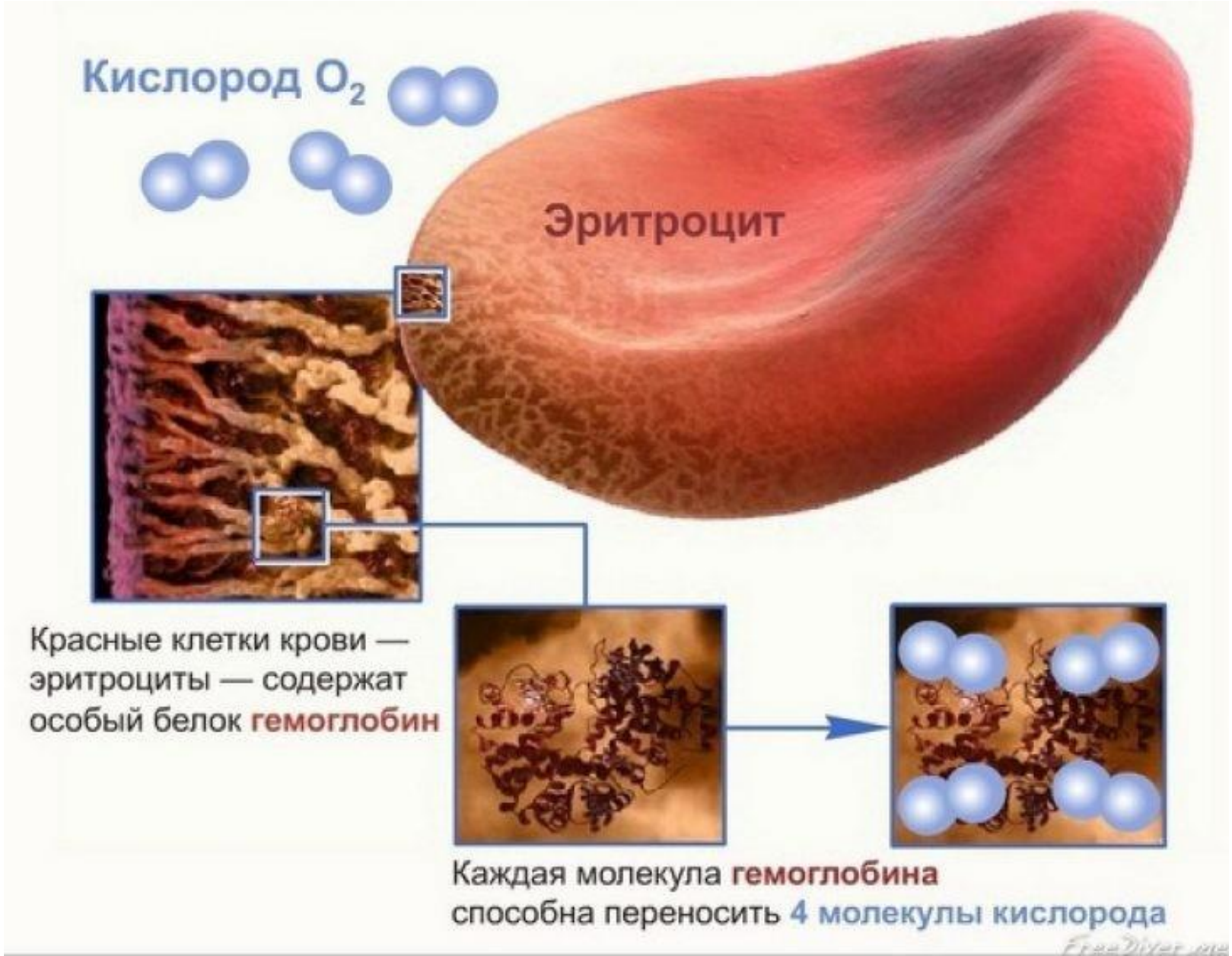
SATBAYEV UNIVERSITY

Алимбаев Чингиз Абдраимович

Транспорт углекислого газа и кислорода в крови

Транспорт кислорода





Большая часть кислорода (примерно 98%) транспортируется в крови в связанном с гемоглобином виде

Один молекула гемоглобина связывает четыре молекулы кислорода, образуя оксигемоглобин

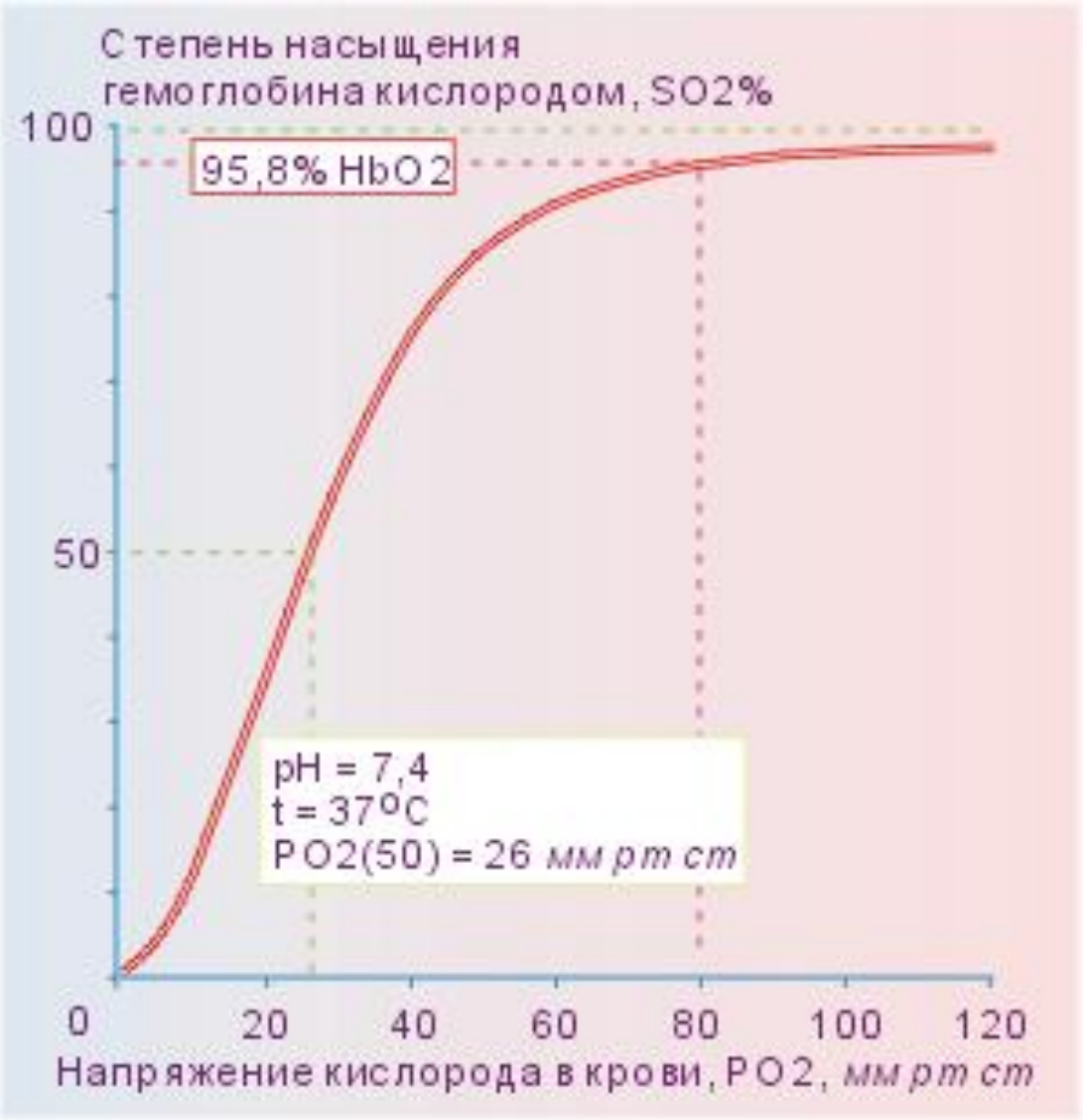
Более высокое парциальное давление кислорода (**PO_2**) в легких способствует связыванию кислорода, а более низкое PO_2 в тканях — его высвобождению

Снижение **pH** снижает аффинитет гемоглобина к кислороду, что помогает отдаче кислорода тканям

Более высокая **температура** также снижает аффинитет гемоглобина к кислороду

Аффинитет гемоглобина — это способность молекулы гемоглобина связываться с кислородом.

КРИВАЯ ДИССОЦИАЦИИ ОКСИГЕМОГЛОБИНА



Кривая диссоциации оксигемоглобина - это график, отображающий зависимость от напряжения кислорода в крови скорости реакций связывания (ассоциации, стрелка вправо) кислорода гемоглобином в лёгких и высвобождения (диссоциации, стрелка влево) кислорода оксигемоглобином в тканях.

Эта кривая имеет S -образную форму. Простейшим её параметром может служить значение независимой переменной (проекция точки кривой на ось абсцисс), характеризующая её положение. Эта точку обозначили как напряжение полунасыщения гемоглобина кислородом, PO2(50). Это такое напряжение кислорода в крови, при котором насыщение гемоглобина кислородом, SO2 составляет 50%. В норме (при pH =7,4 и t = 37oC) PO2(50) артериальной крови составляет около 26 мм рт ст (3,46 кПа).

Транспорт углекислого газа в крови

ТРИ ФОРМЫ ТРАНСПОРТА :

- физически растворенный газ - 25 мл в 1 литре крови
- химически связанный в бикарбонатах (510 мл в 1 литре крови): бикарбонатов плазмы - 340 мл, эритроцитов - 170 мл
- связанный в карбаминовых соединениях гемоглобина: $Hb{\cdot}NH_2 + CO_2$ - около 45 мл в 1 литре крови
- **Всего в венозной крови содержится 58 об%** CO_2

Примерно 5–10% CO_2 растворяется в плазме и переносится в этой форме.

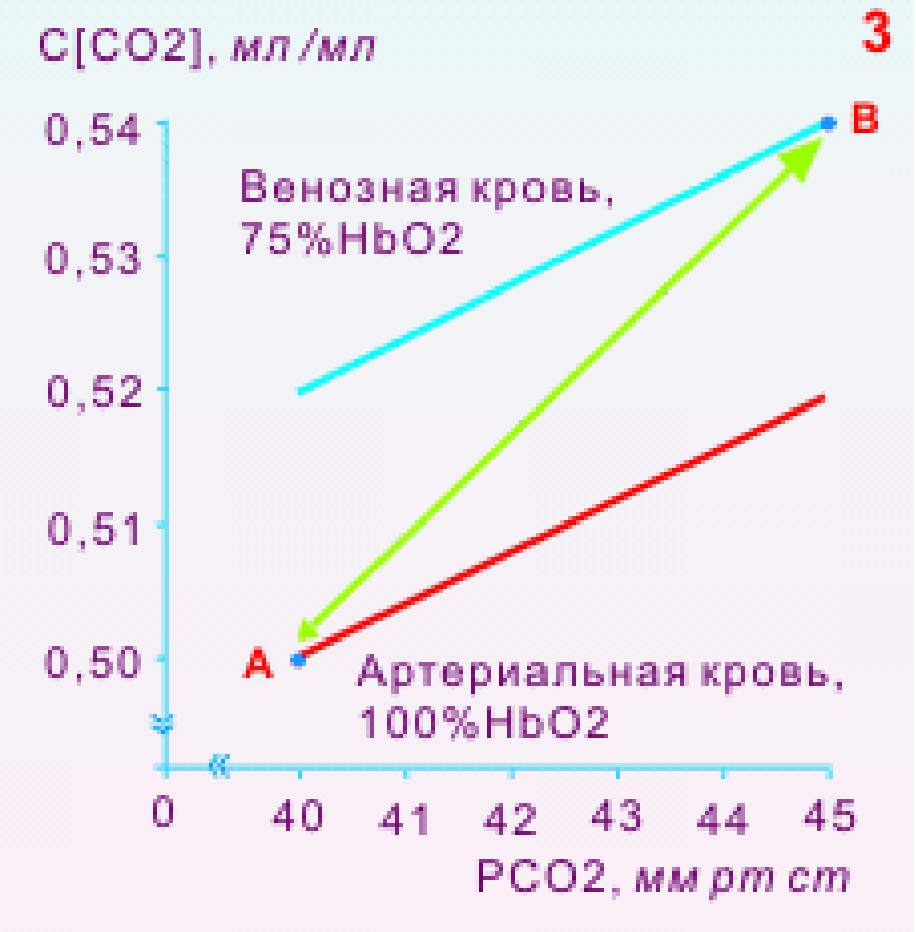
Около 70% CO_2 преобразуется в ионы бикарбоната в эритроцитах, где углекислый газ вступает в реакцию с водой (катализируется ферментом карбоангидразой).

Примерно 20–25% CO_2 связывается с аминогруппами гемоглобина, образуя карбгемоглобин.

Эффект Холдейна

Существует одна зависимость - зависимость концентрации двуокиси углерода в крови от степени оксигенации крови. Эта зависимость по имени первооткрывателей называется **зависимостью Христиансена-Дугласа-Холдейна**, а её проявление **эффектом Христиансена-Дугласа-Холдейна**

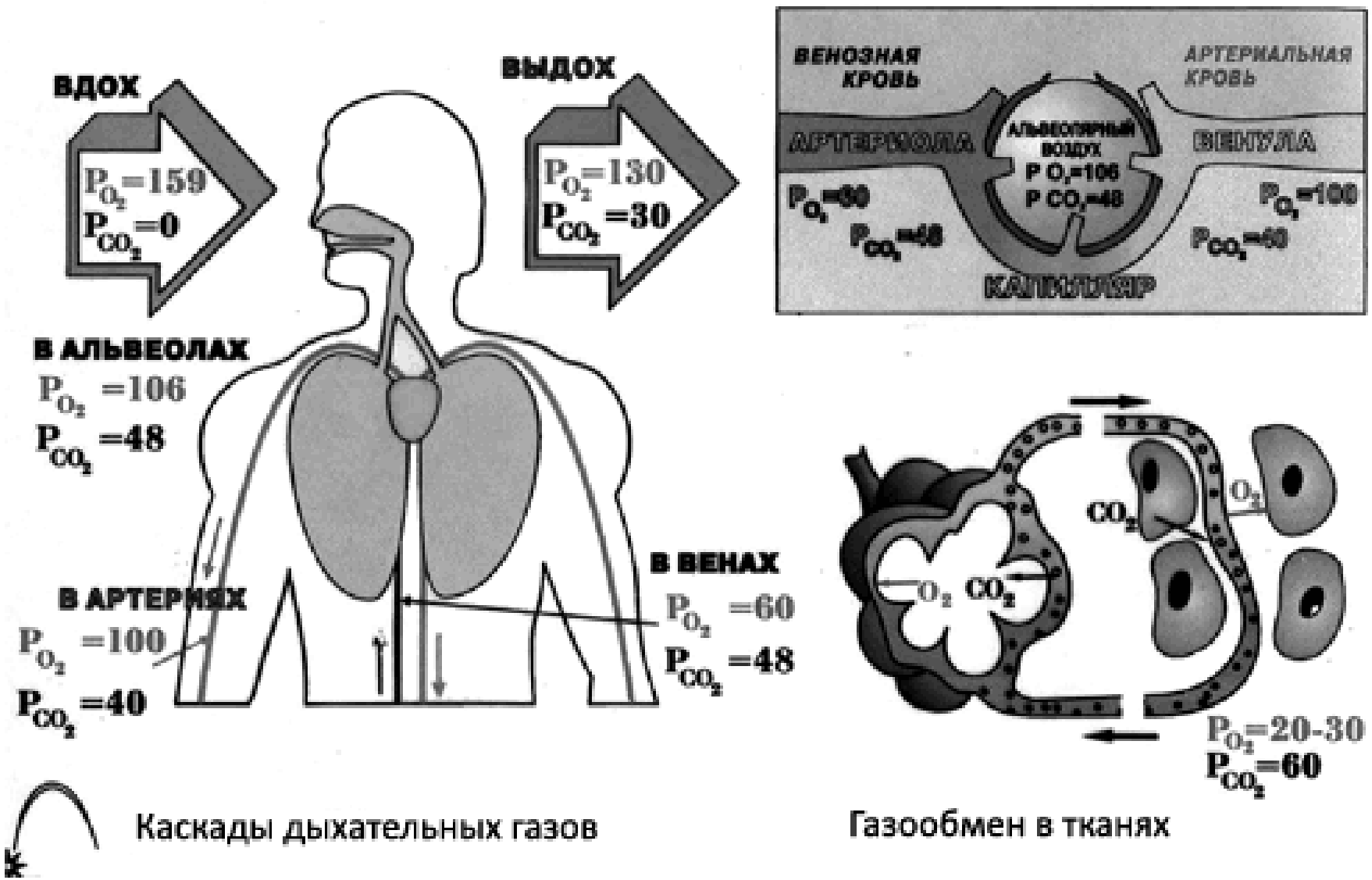
На графике показан участок зависимости концентрации двуокиси углерода от напряжения углерода, **PCO2** для значений от ~40 до ~45 *мм рт ст*. Синяя линия - участок зависимости, соответствующий венозной крови микрогемациркуляторного русла тканей. Для такой крови степень насыщения гемоглобина кислородом составляет 75%. Красная линия - участок той же зависимости, соответствующий артериальной крови микрогемациркуляторного русла лёгких. Для такой крови степень насыщения гемоглобина кислородом составляет 100%.



Точка B на линии синего цвета показывает, что нормальному значению **PCO2** = 45 *мм рт ст* в тканях соответствует концентрация связанного кровью **CO2** равная ~54 *мл* **CO2** / *мл* крови. При входе крови в микрогемациркуляторное русло лёгких **PCO2** уменьшается до значений ~40 *мм рт ст*. Если бы степень насыщения гемоглобина кислородом оставалась равной 75% (синяя линия) при **PCO2** ~40 *мм рт ст* концентрация **CO2** стала бы ~0,52 *мл* / *мл*. Призошло бы снижение концентрации **CO2** на ~0,02 *мл* / *мл*. Однако, поскольку степень насыщения гемоглобина кислородом в лёгких увеличивается до 100%, проявляет себя зависимость Христиансена-Дугласа-Холдейна и реально концентрация **CO2** снижается до ~0,5 *мл* / *мл*, то есть в двое больше (точка A на линии красного цвета). Зеленая линия на графике, отображающая реальные процессы переноса **CO2** из тканей и из легких, называется **эффективной кривой связывания и высвобождения CO2** .

Таким образом, эффект Холдейна приблизительно удваивает количество двуокиси углерода, высвобождаемое кровью в альвеолярную смесь газов и приблизительно удваивает количество двуокиси углерода высвобождаемое в кровь в тканях. Другими словами, приблизительно ~50% всей двуокиси углерода выводится из организма за счет снижения напряжения двуокиси углерода на 5 *мм рт ст*, а остальное количество двуокиси углерода выводится за счет наличия зависимости Христиансена-Дугласа-Холдейна, то есть за счет повышения напряжения кислорода (от 40 *мм рт ст* до 100 *мм рт ст*), степени насыщения гемоглобина кислородом (от 75% до 100%).

ГАЗООБМЕН В ЛЕГКИХ И ТКАНЯХ



Каскады дыхательных газов

Газообмен в тканях

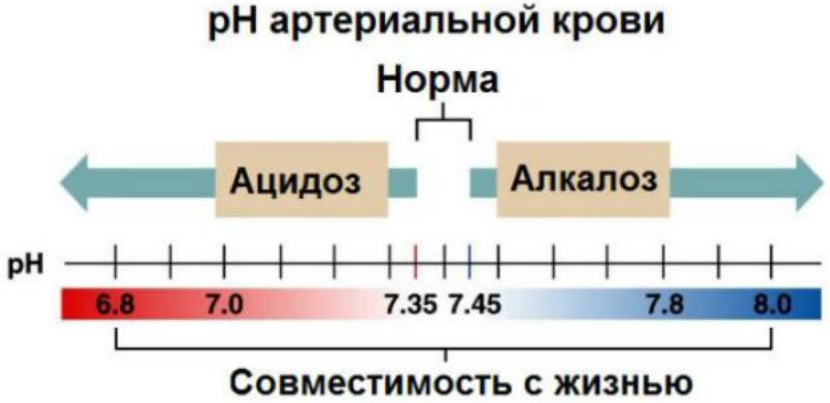
В альвеолах высокий PO_2 и низкий PCO_2, что способствует связыванию кислорода с гемоглобином и высвобождению CO_2 из крови

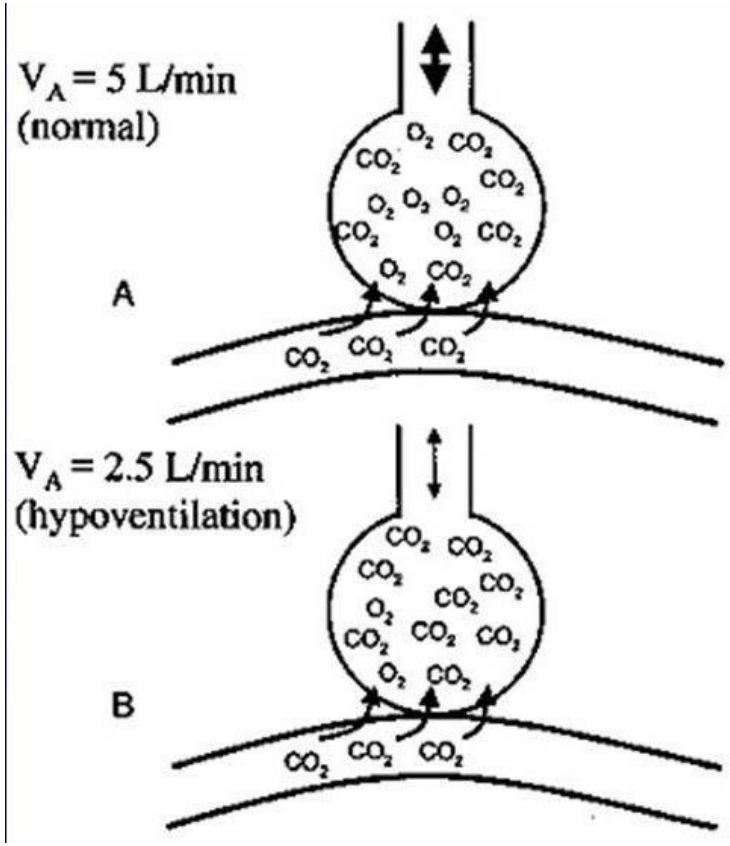
Ткани имеют низкий PO_2 и высокий PCO_2, что вызывает высвобождение кислорода из гемоглобина и связывание CO_2

Клинические аспекты и патологии

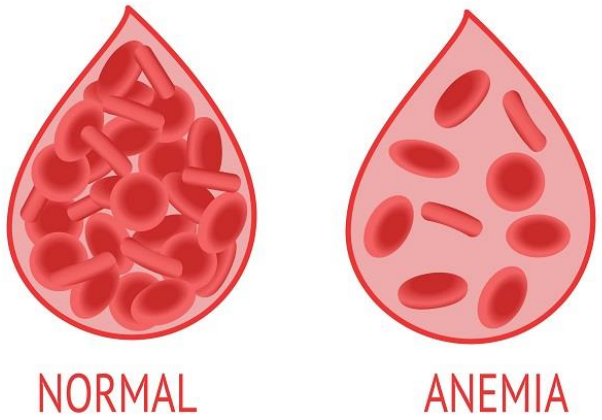
Гипокси́я, или **кислоро́дная недоста́точность** — пониженное содержание кислорода в организме и ли отдельных органах и тканях





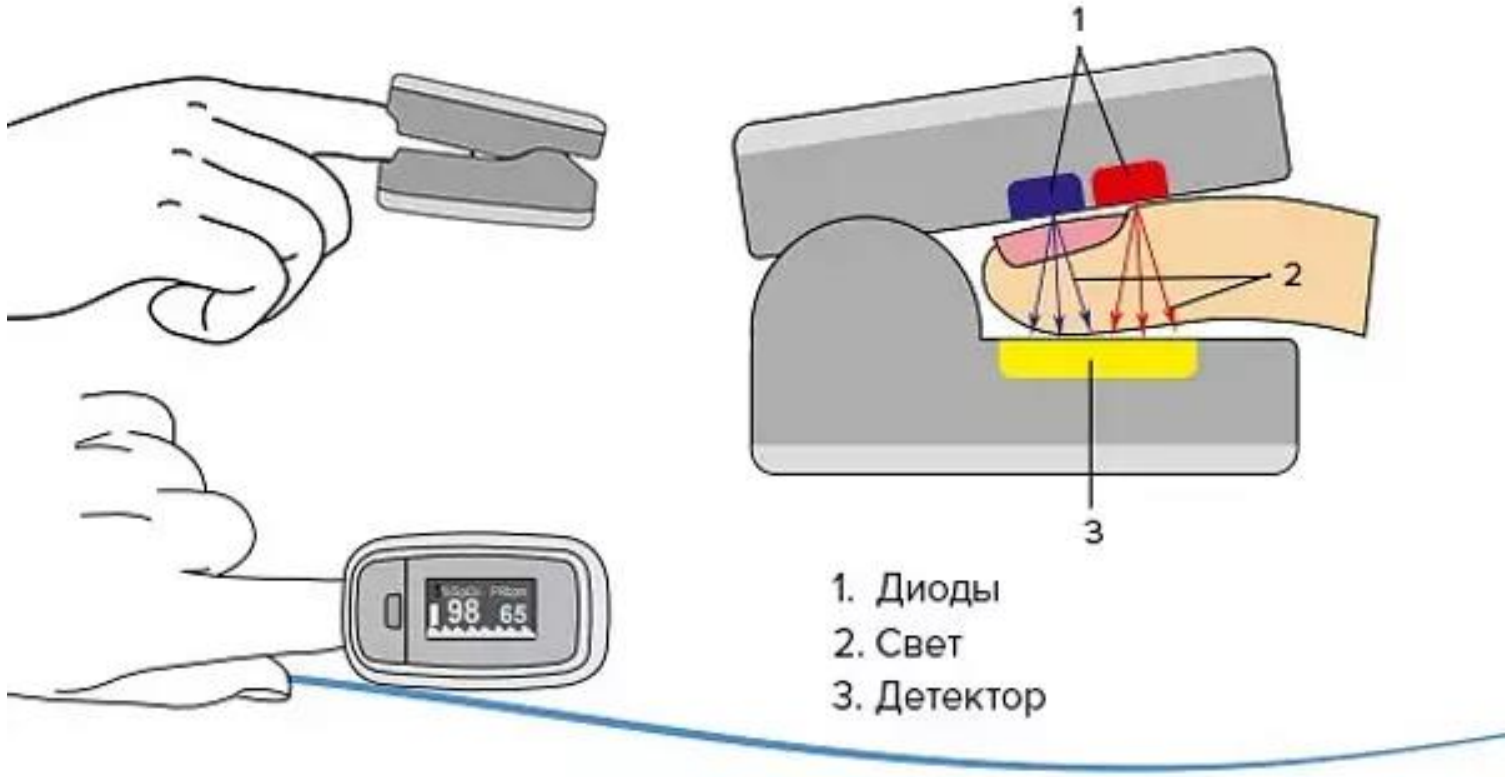


Гиперкапни́я — состояние, вызванное избыточным количеством CO_2 в крови; отравление углекислым газом



Анемия – патологическое состояние, характеризующееся уменьшением количества эритроцитов и гемоглобина крови

Пульсоксиметры





Устройство постоянно измеряет разницу между поглощением сигнала в красной и инфракрасной области. При прохождении через ткани кровь пульсирует. Прибор рассчитывает число этих колебаний, подсчитывая пульс.

Анализаторы газов крови

Кислород (PO_2) измеряется с помощью полярографического или гальванического электрода. При попадании кислорода на специальный электрод возникает электрохимическая реакция, величина тока от которой пропорциональна концентрации кислорода в крови.

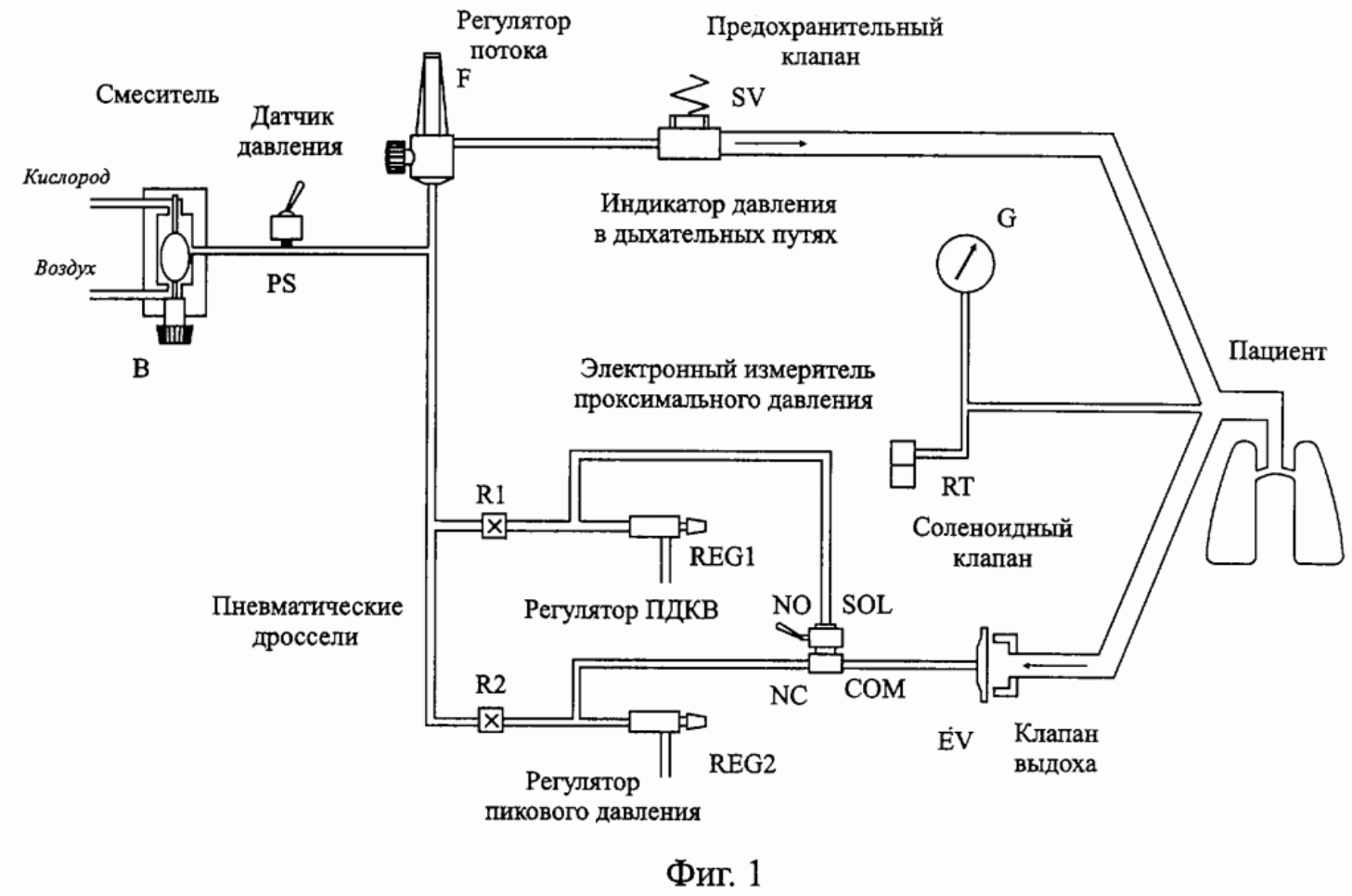
Углекислый газ (PCO_2) измеряется с помощью pH-электрода в специальной камере, которая реагирует на CO_2. Когда CO_2 растворяется в растворе, он образует угольную кислоту, влияющую на pH. Изменения pH дают представление об уровне CO_2.

pH крови измеряется с помощью стеклянного pH-электрода, который реагирует на концентрацию ионов водорода, определяя кислотность пробы.



Аппарат искусственной вентиляции легких

Искусственные дыхательные аппараты, обеспечивающие насыщение кислородом и вывод углекислого газа при дыхательной недостаточности



Фиг. 1

