

Транспорт газов кровью и газообмен в организме

При изучении внешнего дыхания используют следующие понятия:

Альвеолярный
воздух

Содержится
в легких
после
нормального
выдоха

Выдыхаемый
воздух

Первые порции
выдохнутого.
воздуха.
Это смесь воздуха
альвеолярного и
мертвого
пространства.

Состав воздуха в %

газ	Атмосфер- ный	Выдыха- емый	Альвеоляр- ный
O_2	20,93	16	14
CO_2	0,03	4,5	5,5
N_2	79,04	75,5	80,5

Факторы, определяющие диффузию газов в легких.

- 1. Альвеолярно – капиллярный градиент (АКГ).
- 2. Отношение вентиляции к перфузии.

- 3. Длина пути диффузии.
- 4. Диффузионная способность газов.
- 5. Площадь диффузии.

1. Альвеолярно-капиллярный градиент

Это разность парциального
давления газов
в альвеолярном воздухе
и напряжения газов в крови.

Парциальное давление (P_{O_2} или P_{CO_2})

- Это часть давления смеси газов,
- приходящаяся на долю одного газа.
- Парциальное давление зависит:
- а) от % содержания газа в смеси газов;
- б) от величины общего давления.
- Измеряется в мм рт.ст.

Расчет парциального давления газов

- Например PO_2 в атмосферном воздухе.
- 100% газ – 760 мм рт. ст.
21% O_2 – X мм рт. ст.
- $x = 21 \cdot 760 / 100 = 159$ мм рт. ст.
 PO_2 в атмосферном воздухе.

- При расчете парциального давления газа в альвеолярном воздухе
- нужно учитывать давление
- находящихся там водяных паров = 47 мм рт.ст.
- Их нужно вычитать из общего давления газовой смеси.

Парциальное напряжение газа

- – это сила, с которой
- растворенный в жидкости газ
- стремится покинуть ее.
- Обычно устанавливается
- динамическое равновесие
- между газом в жидкости и над жидкостью.

Величина парциального давления и напряжения газов в мм рт. ст.

Газ	% содержание в альвеолах	Парциальное давление в легких и напряжение в артериальной крови	Парциальное напряжение в венозной крови
O ₂	14,0	100	40
CO ₂	5,5	40	46

Направление диффузии газов в легких.

- В малом круге кровообращения O_2 из легких идет в венозную кровь (АКГ для $O_2 = 60$ мм рт. ст.).
- а CO_2 из крови в легкие.
АКГ для $CO_2 - 6$ мм рт. ст.

Капилляр

$O_2=40$

$CO_2=46$

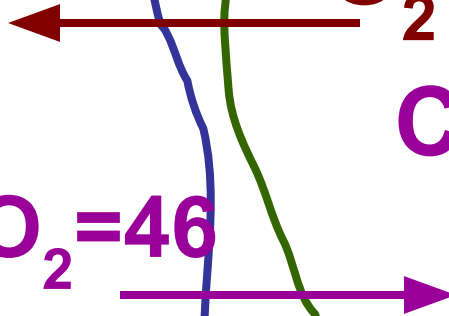
$O_2=100$

$CO_2=40$

$O_2=100$ мм Hg

$CO_2=40$ мм Hg

Альвеола



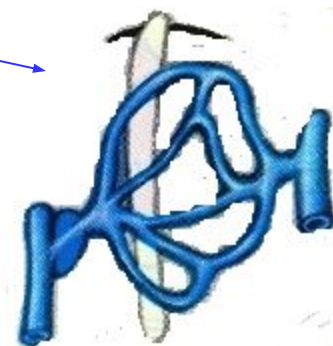
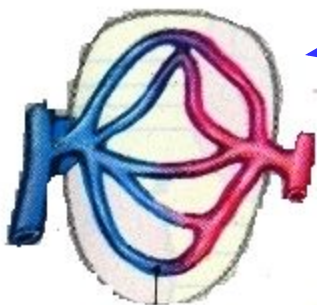
2) Отношение вентиляции к перфузии (вентиляционно-перфузионные отношения) (ВПО)

- 1. ВПО = МАВ/МОК = 4 – 6л / (4,5 – 5л) = 0,8 – 1,1.
- В норме МАВ составляет в среднем 0,8 от МОК.

- **Снижение ВПО**
происходит в результате:
- **а) отсутствия кровотока в некоторых альвеолах;**
- **б) сниженной вентиляции альвеол или полное ее отсутствие;**

Возможные отношения вентиляции и перфузии в альвеолах

Альвеола



Нормальная
оксигенация крови.
Есть вентиляция и
кровоток

Спавшиеся
капилляры, но
есть вентиляция

Спавшаяся
альвеола,
но есть
кровоток

Оксигенации крови нет

Приспособление вентиляции к перфузии

- При изменении газового состава
- альвеолярного воздуха
- возникают альвеолярно-капиллярные рефлексy,
- приводящие в соответствие вентиляцию и перфузию:

а) вазомоторные реакции.

- При снижении PO_2
или $\uparrow PCO_2$
- в альвеолах
возникает
вазоконстрикция.

б) Бронхомоторные реакции.

- При \downarrow PCO_2 в альвеолярном воздухе возникает бронхоконстрикция.

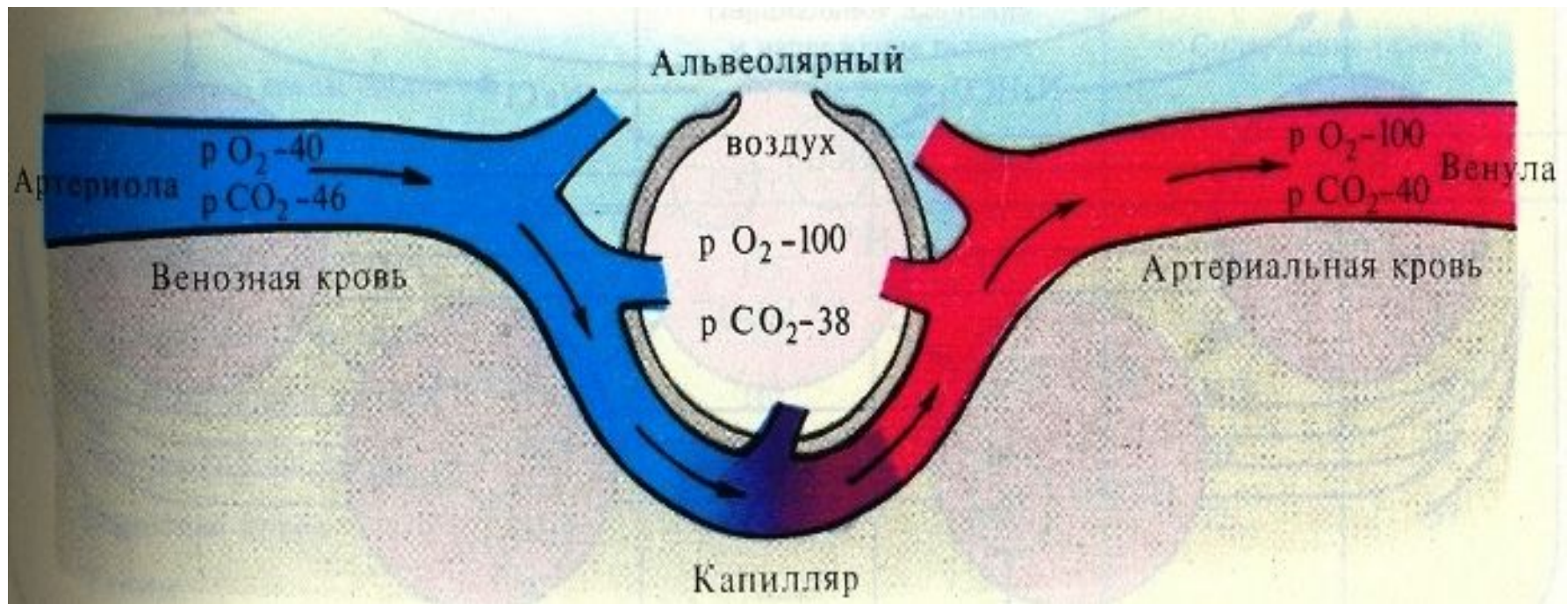
Физиологическое мертвое пространство

- Часть легких, где не происходит
- газообмена между альвеолярным воздухом и кровью
- называется альвеолярным мертвым пространством.

- Сумма анатомического
- и альвеолярного МП
- называется физиологическим мертвым пространством.

- ВПО в разных областях легких зависят от положения тела.

- В результате газообмена между кровью и альвеолярным воздухом происходит превращение венозной крови в артериальную.



3) Длина пути диффузии газа.

- CO_2 и O_2 проходят путь:
- альвеолярная стенка
- + межклеточное пространство
- + базальная мембрана капилляра
- + эндотелий капилляра
- + слой плазмы + мембрана эритроцита.

- Увеличение длины пути диффузии
- приводит к ухудшению оксигенации крови.

4) Диффузионная способность газа

- У CO_2 она выше чем у O_2 ,
- т.к. АКГ для CO_2 составляет
- 6 мм рт. ст.,
- а для O_2 – 60 мм рт. ст.

5) Площадь диффузии

- Зависит от поверхности альвеол и капилляров,
- через которые идет диффузия (зависимость прямая).

Транспорт газов кровью.

- 1) Перенос кислорода кровью осуществляется:
 - а) в физически растворенном состоянии (0,3мл в 100мл плазмы).
 - б) в виде оксигемоглобина – HbO_2

- В таком виде в 1000мл крови содержится 180 – 200мл O₂;
- КЕК = Нв(г/л) • 1,34мл.

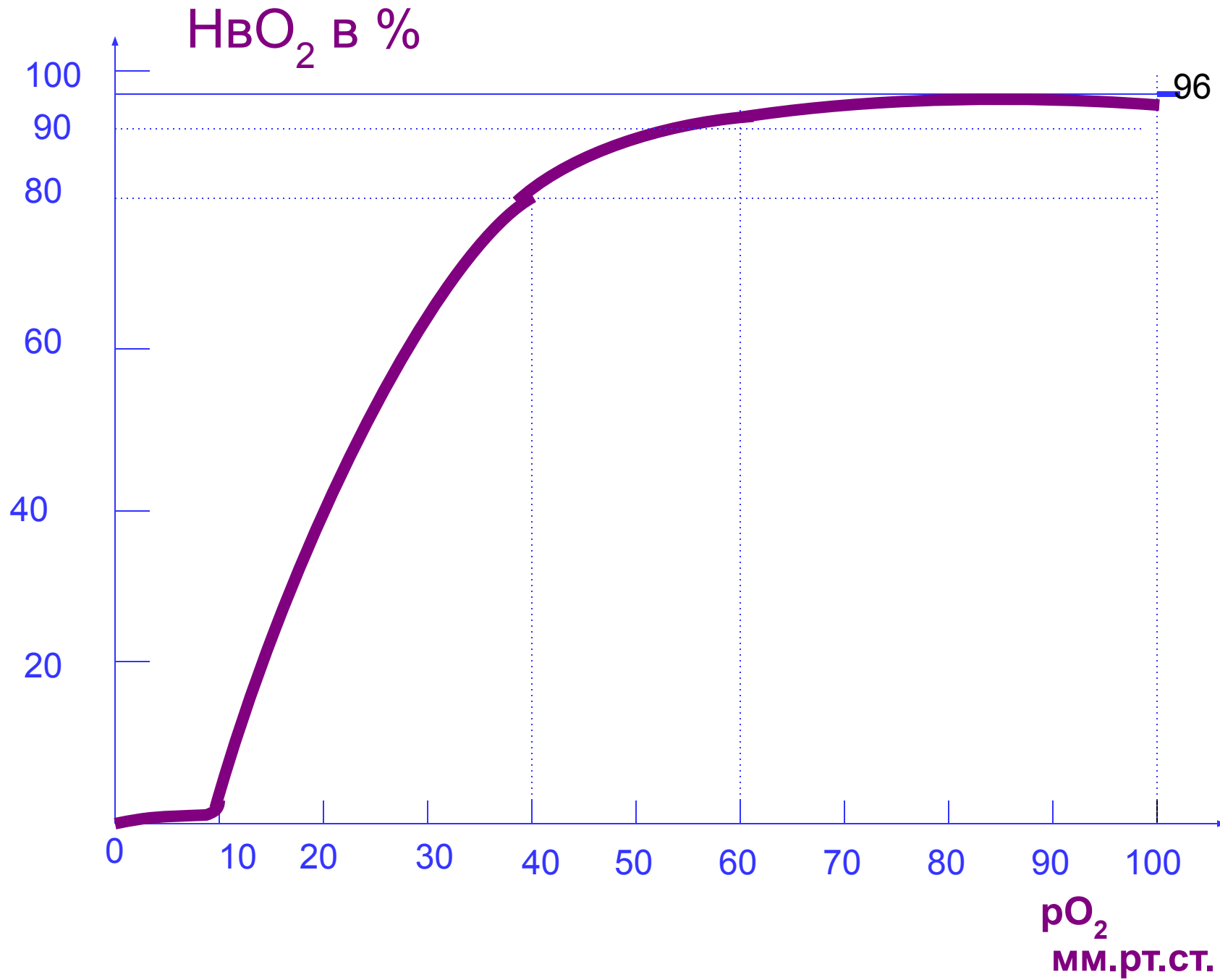
Факторы влияющие на образование HbO_2 .

- 1) Напряжение O_2 в крови.
- Графически зависимость количества HbO_2 от напряжения O_2 можно представить в виде кривой диссоциации оксигемоглобина.
- Кривая носит S – образный характер.

- При напряжении $O_2 = 0$
 $HbO_2 = 0$.
- Повышение содержания O_2
вызывает не совсем
пропорциональный рост
количества HbO_2 .

- При повышении P_{O_2} с 10 до 40 мм рт ст.
- количество HbO_2 быстро нарастает до 80%.
- При 60 мм рт ст. Hb насыщается O_2 на 90%.
- При дальнейшем увеличении P_{O_2} количество HbO_2 увеличивается до 96%.

- Кривая диссоциации оксигемоглобина показывает сродство Hb к O₂



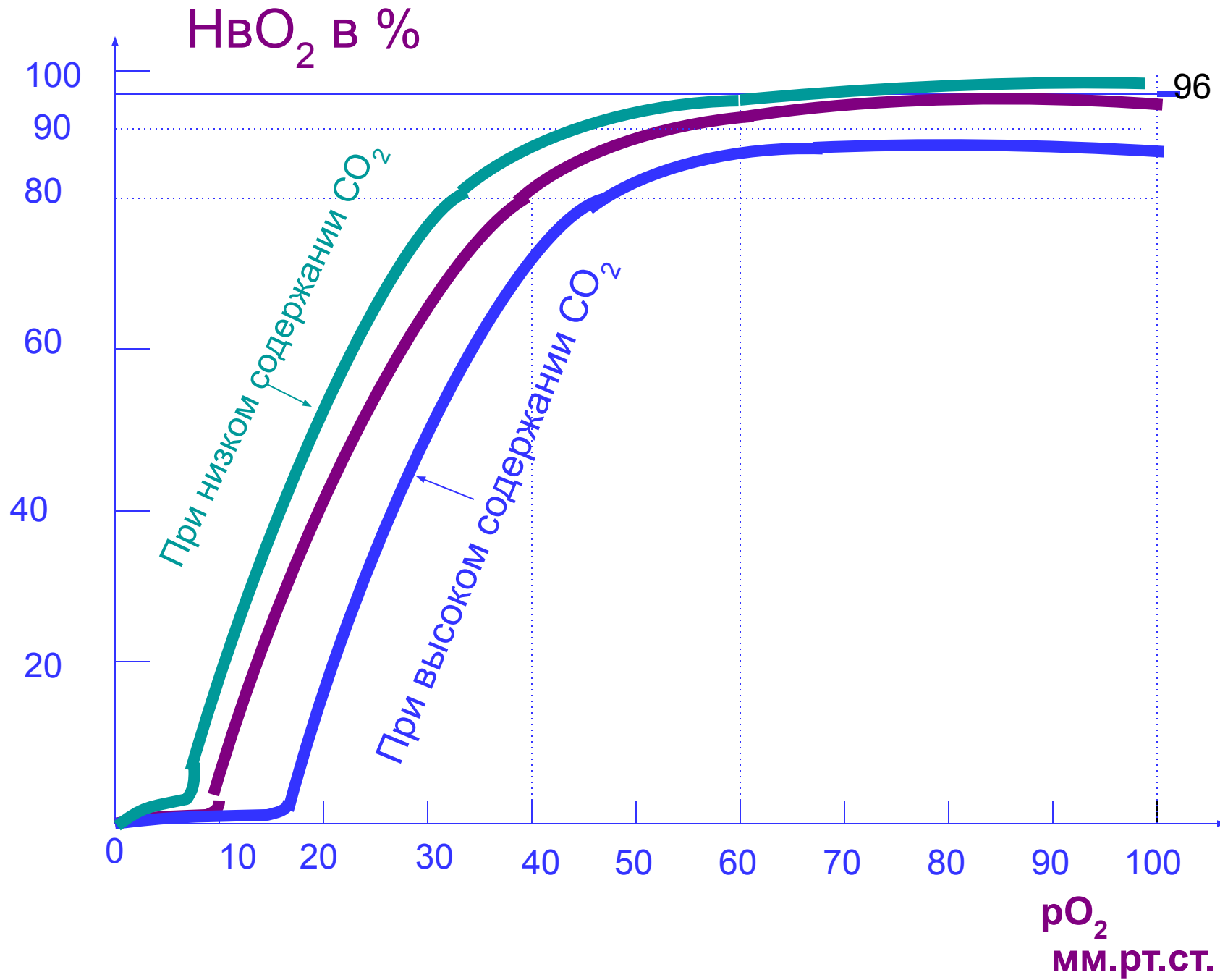
Изменение сродства Hb к кислороду

- Снижение сродства Hb к O_2 и сдвиг кривой диссоциации HbO_2 вправо вызывают:
- а) снижение pH (защелачивание крови)..
- б) Увеличение напряжения CO_2 в митохондриях – (эффект Вериге²).
- в) Повышение t^0 .

г) Повышение активности 2,3 дифосфоглицерата

- Это фермент в эритроците, ускоряющий отдачу гемоглобином O_2
- (активен при гипоксии).

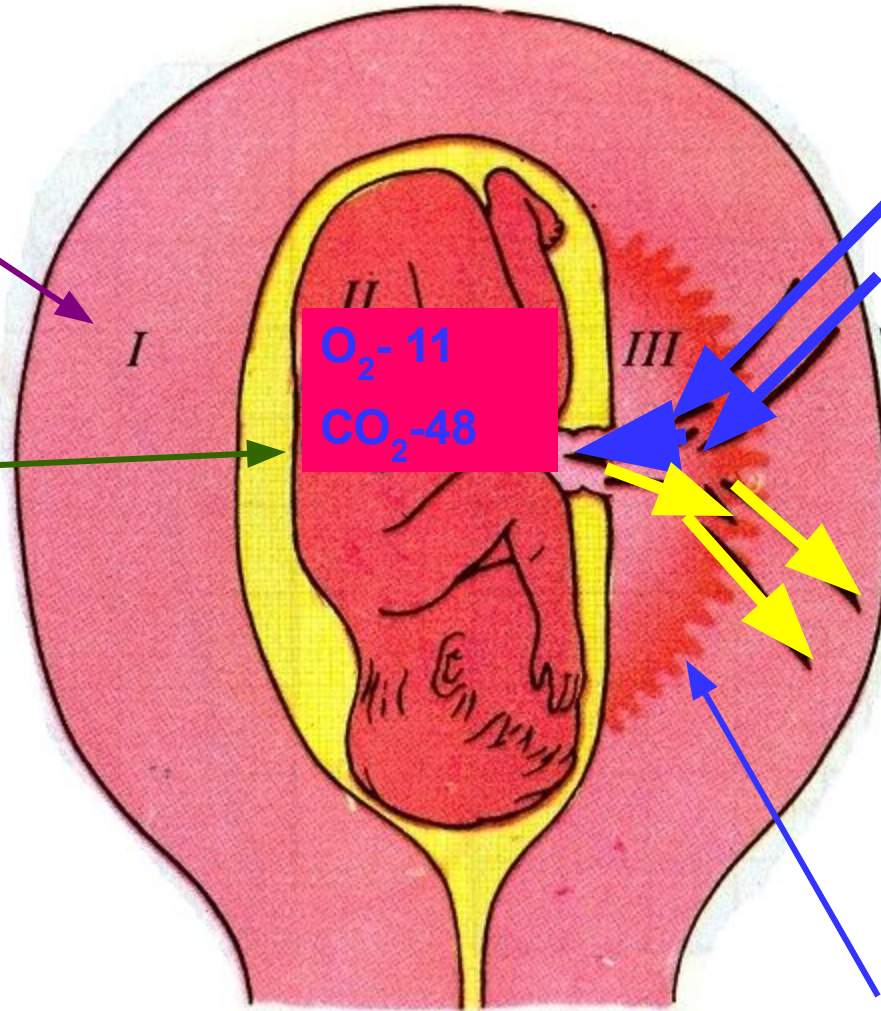
- При работе тканей все эти факторы вызывают распад HbO_2 и отдачу тканям кислорода.



Газообмен плода (мм рт. ст.)

Организм матери

Организм плода



O₂ – 70 мм
CO₂ – 41 мм

O₂ – 11
CO₂ – 48

O₂ – 41
CO₂ – 46

Плацента

Транспортные формы CO_2 .

- 1) В виде H_2CO_3 – 25 мл/л ;
- $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \xrightleftharpoons{\text{КА}} \text{H}_2\text{CO}_3$
-
- 2) В виде карбгемоглобина – 50 мл.
- 3) В виде натриевой соли угольной кислоты в плазме и К – соли в эритроцитах - 480 мл.
- 4) В растворенном в плазме состоянии – 25 мл.
-

Итого в 1 литре венозной
крови содержится
580 мл CO_2 .

Газообмен в тканях.

- Осуществляется путем диффузии по градиенту концентрации:
- CO_2 в кровь, O_2 в ткани.

- При чем удаление CO_2
- происходит легче,
- чем насыщение O_2 ,
- т. к. CO_2 лучше диффундирует.

На газообмен в тканях влияют те же факторы, что и в легких.

- 1) Разность парциального напряжения газов в крови, межклеточном пространстве и клетке.

2) Площадь диффузии.

- Зависит от площади поверхности работающих капилляров,
- Числа эритроцитов.

3) Длина пути диффузии

- Она меньше при хорошо развитой капиллярной сети.

- 4) Скорость кровотока.

- 5) pH, температура,
парциальное напряжение
 CO_2 .

Коэффициент утилизации кислорода (КУК)

- КУК это количество потребленного O_2 в % от общего содержания его в артериальной крови.
- $КУК = [(O_{2a} - O_{2в}) / O_{2a}] \cdot 100$
- $КУК = [(20 - 12) / 20] \cdot 100 = 40 \%$

В разных тканях КУК различен.

- В миокарде, сером веществе мозга, печени = 40 – 60%.
- При работе КУК растет.
- В мышцах сердца и скелета может увеличиваться до 90%.

Миоглобин

- Депонирует O_2 в мышцах.
- Близок по строению к Hb.
- Имеет более высокое сродство к O_2 .
- При PO_2 3 – 4 мм рт. ст. 50% миоглобина переходит в оксигемоглобин,
- а при PO_2 40мм рт. ст. - 95% .

- Отдает мышце O_2 , когда PO_2 в мышцах падает ниже $10 - 15$ мм рт. ст.

Содержание газов в крови

Газ	Артериальная кровь		Растворено Мл газов в 100 мл плазмы	Венозная кровь	
	Содержание газов (мл в 100 мл крови)	Парциальное Напряжение (мм рт. ст.)		Содержание газов (мл в 100 мл крови)	Парциальное напряжение (мм рт. ст.)
O_2	18-20	100	0.3	12-14	40
CO_2	52-54	40	2,5	58	46