

# 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 <sub>2</sub>	14,0	100	40
CO <sub>2</sub>	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**

$O_2=40$

$CO_2=46$

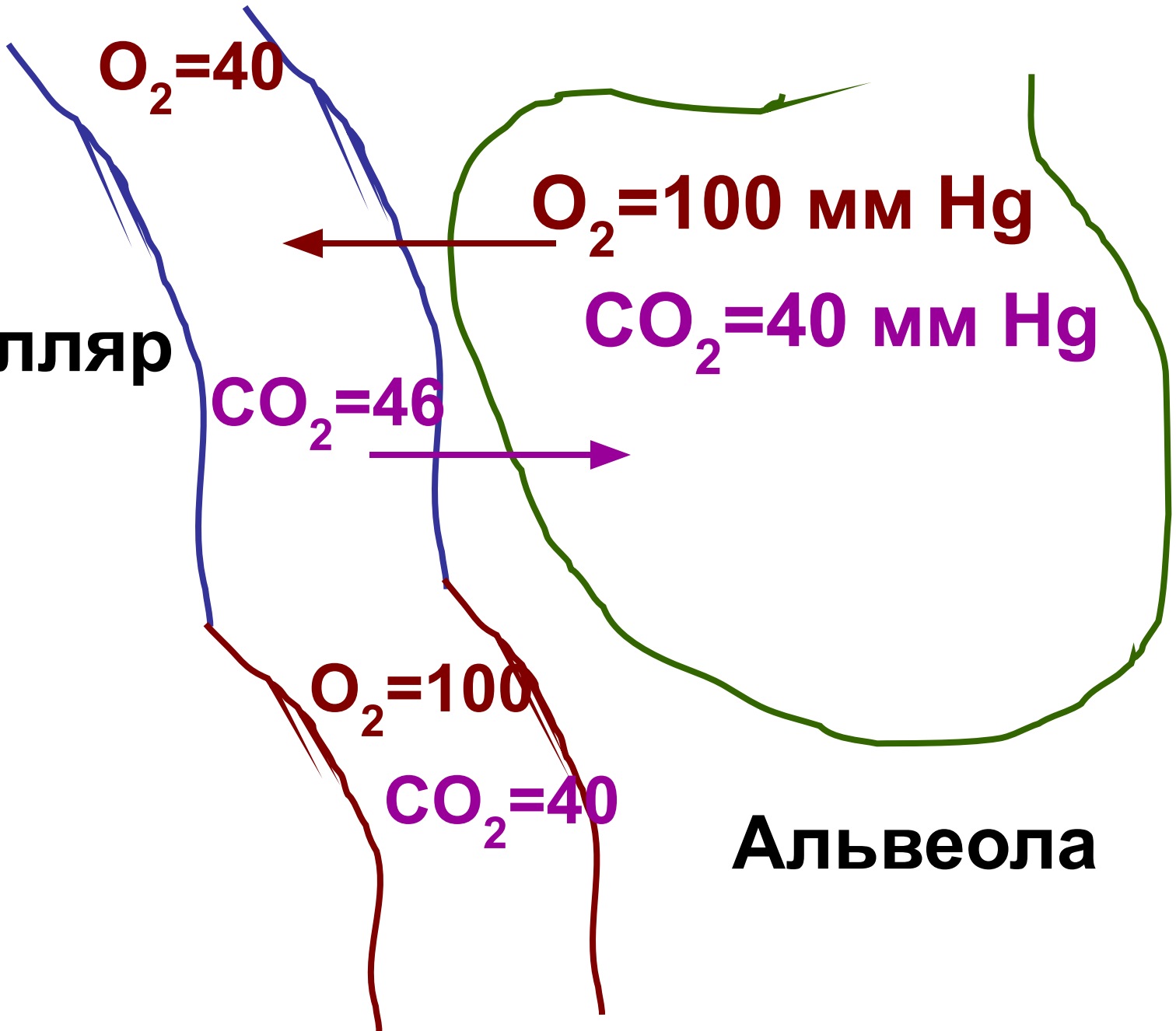
$O_2=100$

$CO_2=40$

$O_2=100$  мм Hg

$CO_2=40$  мм Hg

**Альвеола**



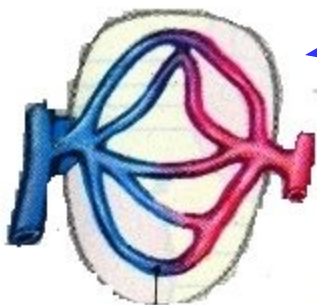
## 2) Отношение вентиляции к перфузии (вентиляционно-перфузионные отношения) (ВПО)

- 1.  $\text{ВПО} = \text{МАВ} / \text{МОК} = 4 - 6 \text{ л} / (4,5 - 5 \text{ л}) = 0,8 - 1,1.$
- 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.

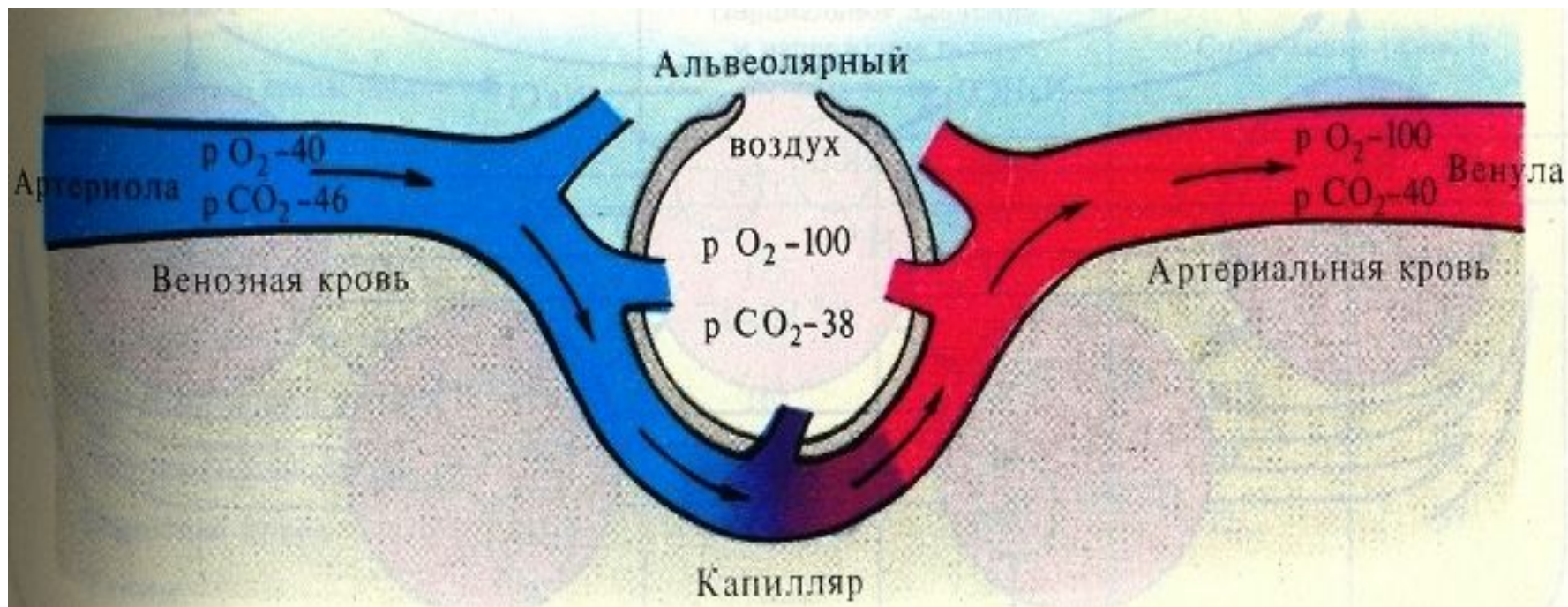
# Физиологическое мертвое пространство

- 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.

- $\text{CO}_2$  и  $\text{O}_2$  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  $\text{CO}_2$  она выше чем у  $\text{O}_2$ ,
- т.к. АКГ для  $\text{CO}_2$  составляет
- 6 мм рт. ст.,
- а для  $\text{O}_2$  – 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 –  $\text{HbO}_2$

- В таком виде в 1000мл крови содержится 180 – 200мл O<sub>2</sub>;
- КЕК = Нв(г/л) • 1,34мл.

# Факторы влияющие на образование $\text{HbO}_2$ .

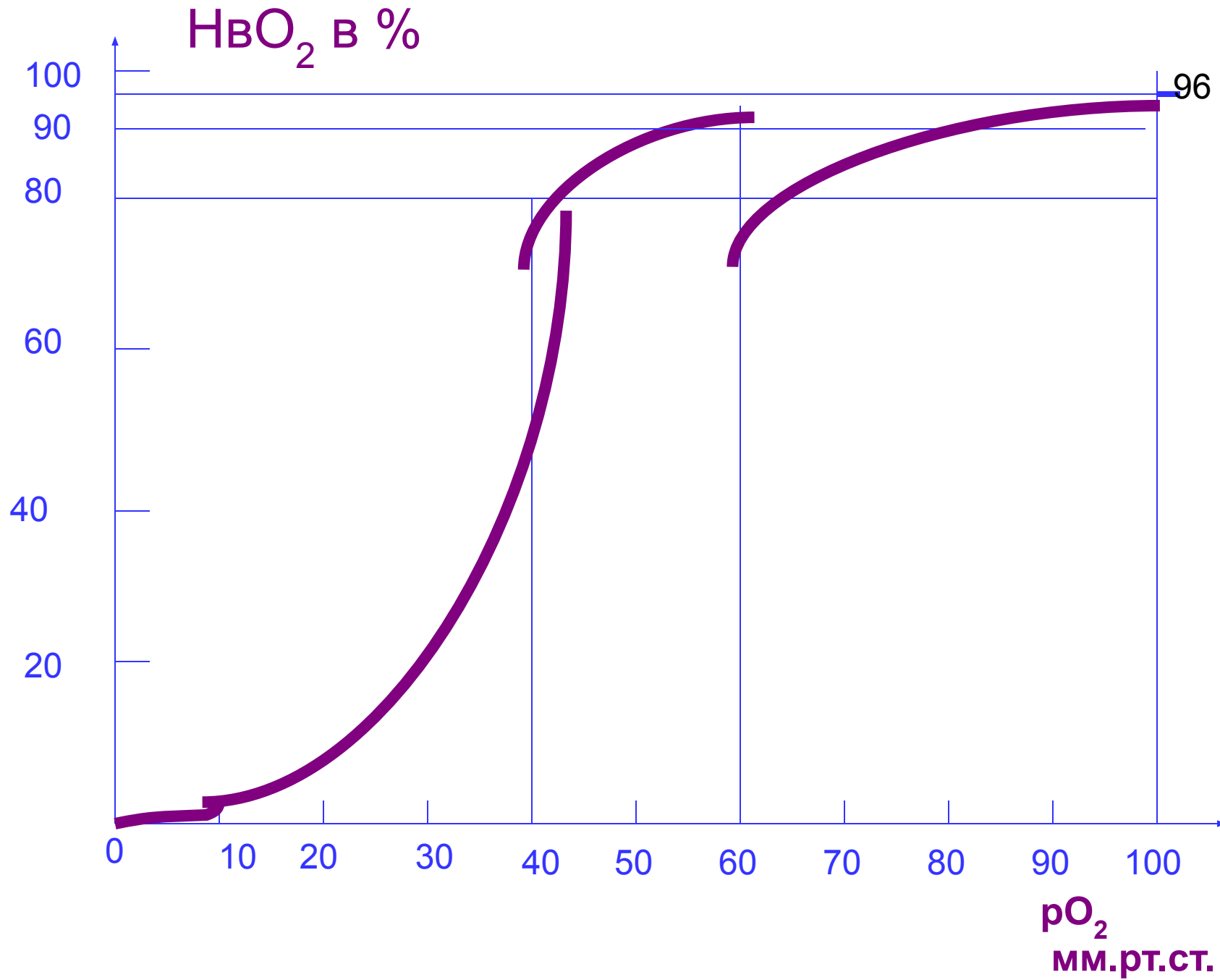
- 1) Напряжение  $\text{O}_2$  в крови.
- Графически зависимость количества  $\text{HbO}_2$  от напряжения  $\text{O}_2$  можно представить в виде кривой диссоциации оксигемоглобина.
- Кривая носит S – образный характер.

- 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 40мм рт ст.
- количество  $HbO_2$  быстро нарастает до 80%.
- При 60мм 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 O<sub>2</sub>



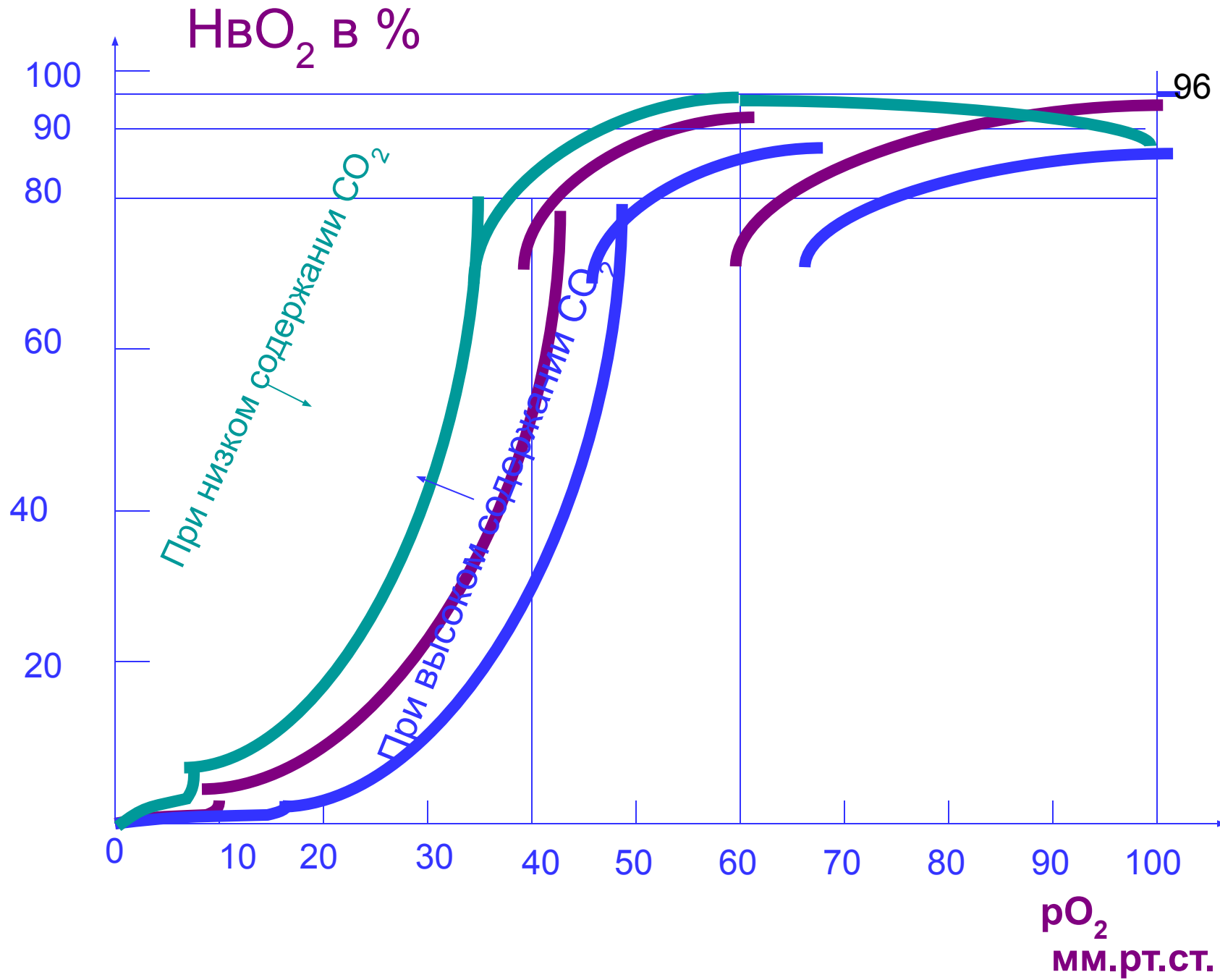
# Изменение сродства Hb к кислороду

- 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 Вериге<sup>2</sup>).
- в) Повышение  $t^0$ .

## г) Повышение активности 2,3 дифосфоглицерата

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

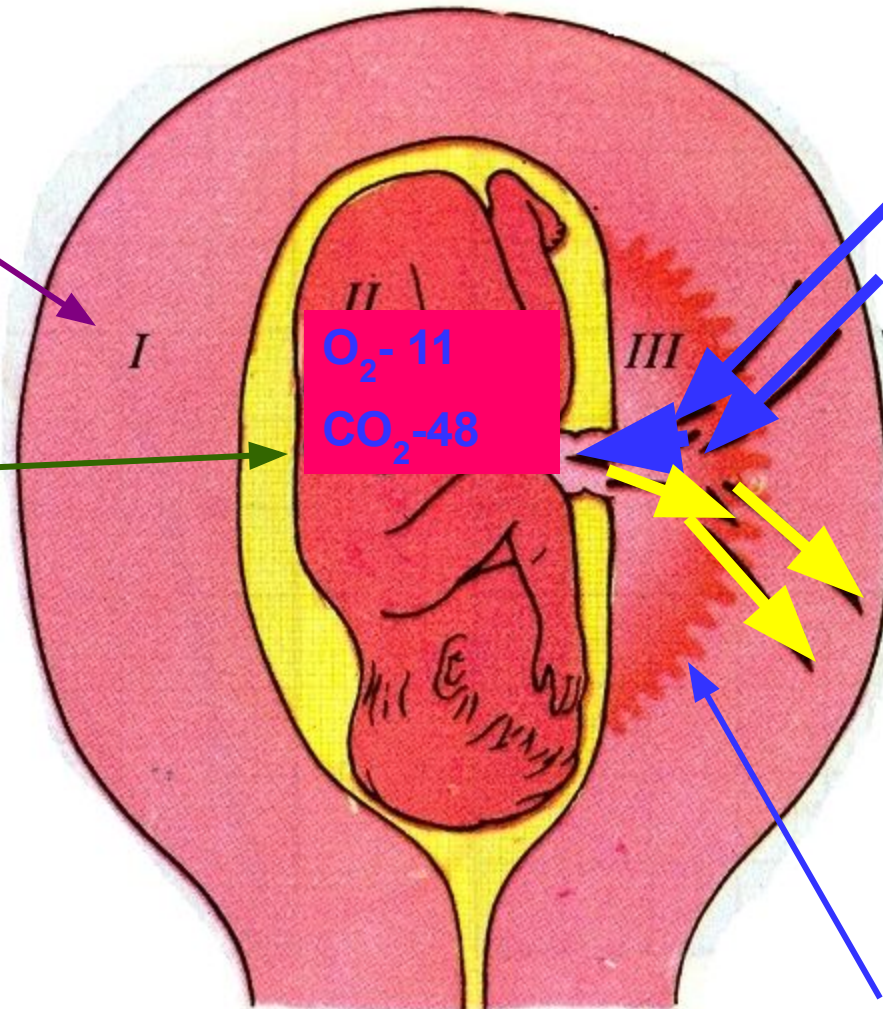
- При работе тканей все эти факторы вызывают распад  $\text{HbO}_2$  и отдачу тканям кислорода.



# Газообмен плода (мм рт. ст.)

Организм матери

Организм плода



O<sub>2</sub> – 70 мм  
CO<sub>2</sub> – 41 мм

O<sub>2</sub> - 11  
CO<sub>2</sub> - 48

O<sub>2</sub> – 41  
CO<sub>2</sub> - 46

Плацента

Транспортные формы  $\text{CO}_2$ .



- 1) В виде  $\text{H}_2\text{CO}_3$  – 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  $\text{CO}_2$ .

# Газообмен в тканях.

- Осуществляется путем диффузии по градиенту концентрации:
- $\text{CO}_2$  в кровь,  $\text{O}_2$  в ткани.

- При чем удаление  $\text{CO}_2$
- происходит легче,
- чем насыщение  $\text{O}_2$ ,
- т. к.  $\text{CO}_2$  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  
 $\text{CO}_2$ .

# 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