

2 этап

# Диффузия газов через аэрогематический барьер

# Альвеолярная вентиляция

## Коэффициент вентиляции альвеол

В альвеолах к концу спокойного выдоха находится около 2500 мл воздуха (ФОЕ), во время вдоха в альвеолы поступает 350 мл воздуха, следовательно, обновляется лишь  $1/7$  часть альвеолярного воздуха ( $2500/350 = 7.1$ ).

Низкий КАВ обеспечивает  
постоянство газовой среды  
организма

**13,5 %  $O_2$**

**5.3  $CO_2$**

# Газовый состав альвеолярного воздуха

Газ	Атмосферный	Альвеолярный	Выдыхаемый
O <sub>2</sub>	20,85 (160)	<b>13,5 (104)</b>	15,5 (120)
CO <sub>2</sub>	0.03 (0,2)	<b>5.3 (40)</b>	3.7 (27)
N <sub>2</sub>	78.62 (596)	74.9 (569)	74.6 (566)
H <sub>2</sub> O	0.5 (3.8)	6.3 (47)	6.2 (47)
Общий	100 (760)	100 (760)	100 (760)

# Напряжение газов в венозной крови

$O_2 = 40$  мм рт ст

$CO_2 = 46$  мм рт ст

# Диффузия газов через аэрогематический барьер

$$Q \text{ газа} = S \times DK \times (P1-P2) / T$$

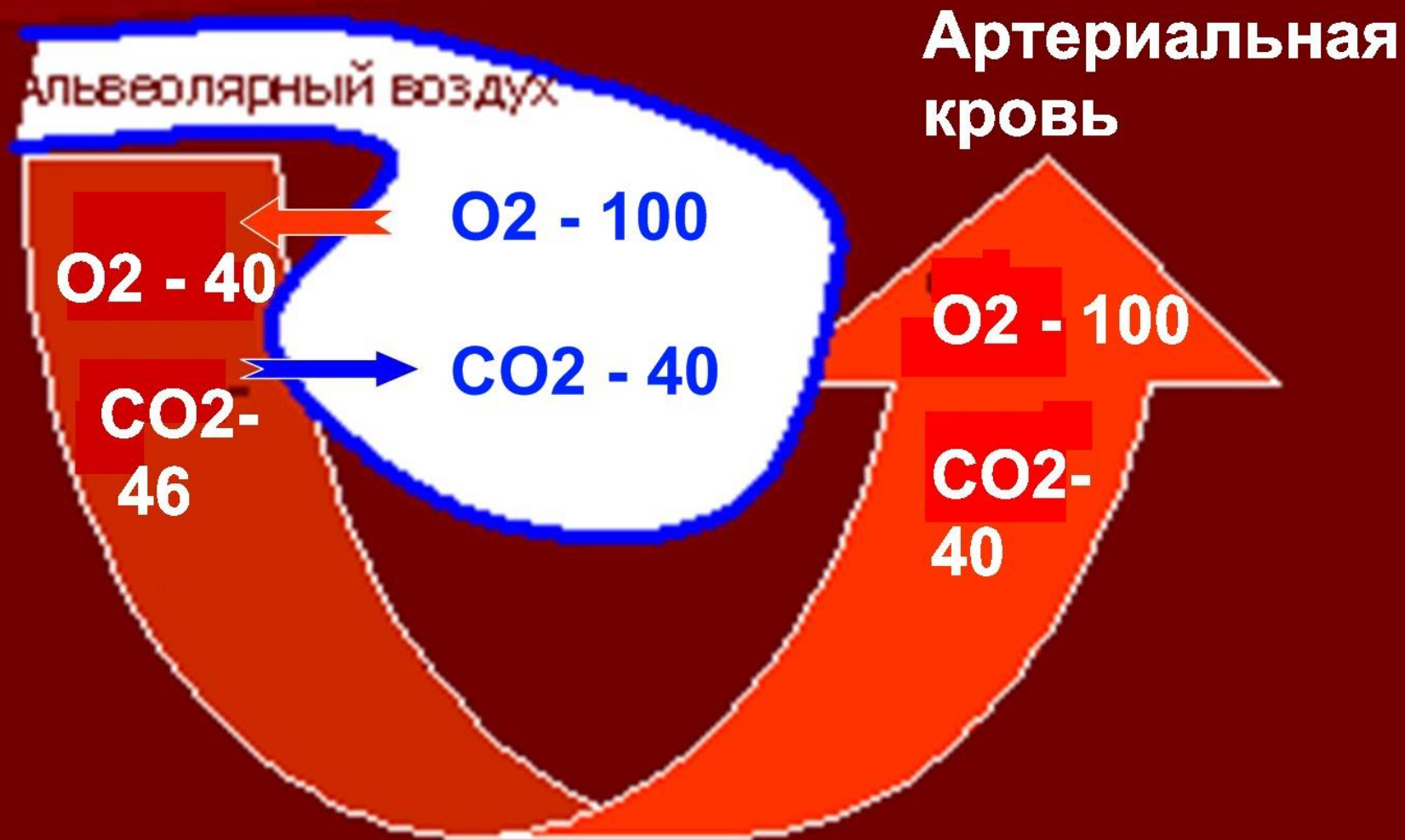
Для кислорода

$$P1-P2 = 100 - 40 = 60 \text{ мм рт.ст}$$

Для углекислого газа

$$P1-P2 = 46 - 40 = 6 \text{ мм рт.ст}$$

# Направление диффузии газов по градиентам парциальных давлений



# Условия уравнивания парциальных давлений кислорода и углекислого газа

- Высокая плотность капилляров
- Низкое АД
- Низкая скорость тока крови
- Высокая проницаемость для CO<sub>2</sub>

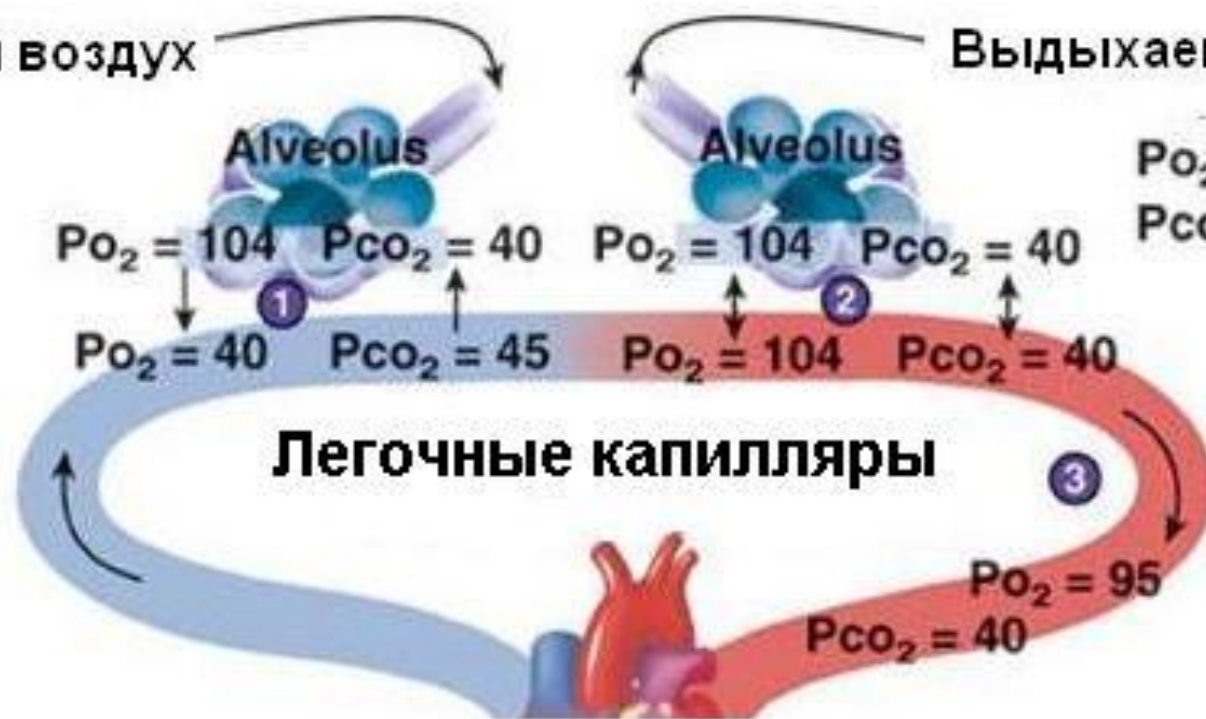


Вдыхаемый воздух

$P_{O_2} = 160$   
 $P_{CO_2} = 0.3$

Выдыхаемый воздух

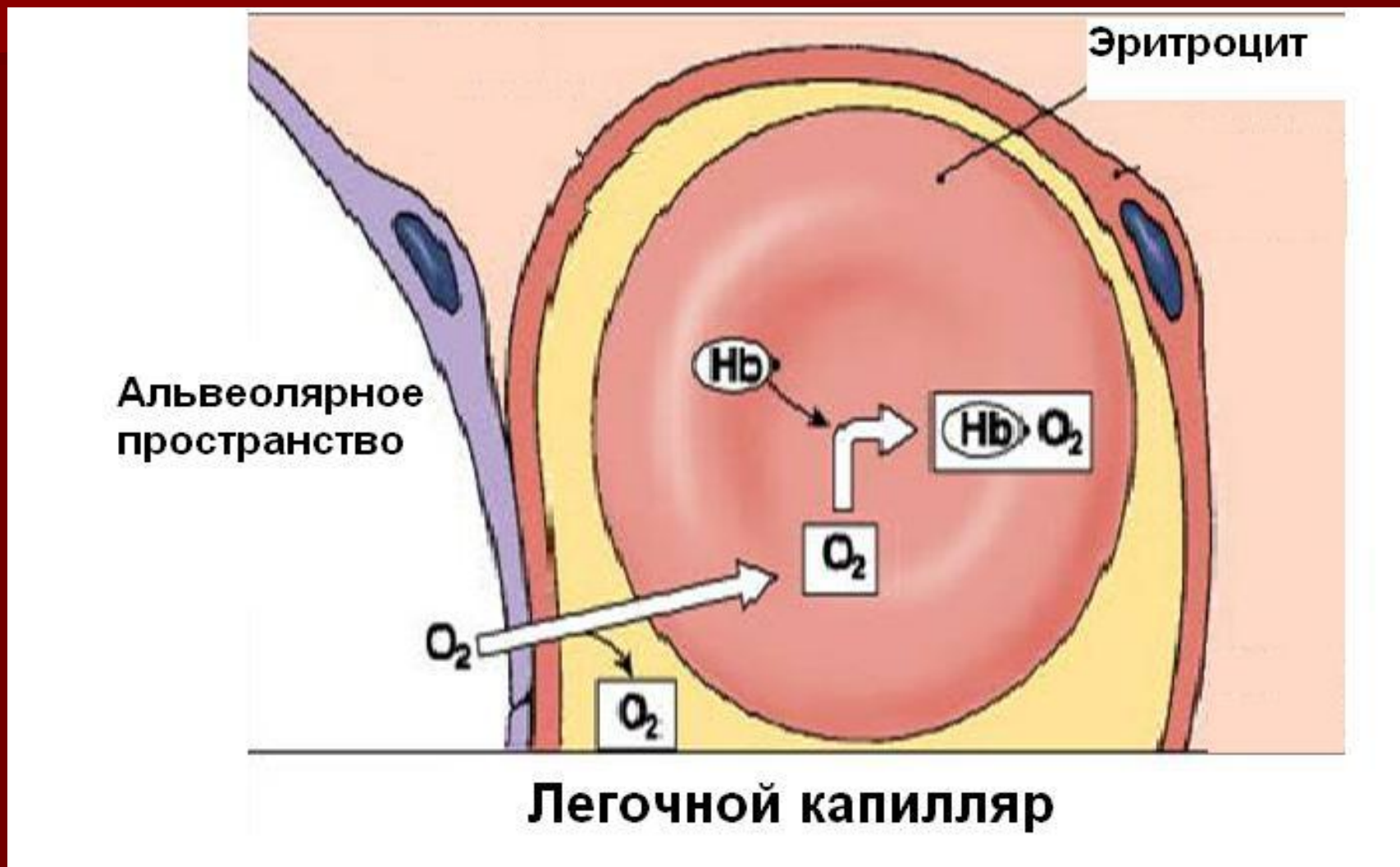
$P_{O_2} = 120$   
 $P_{CO_2} = 27$

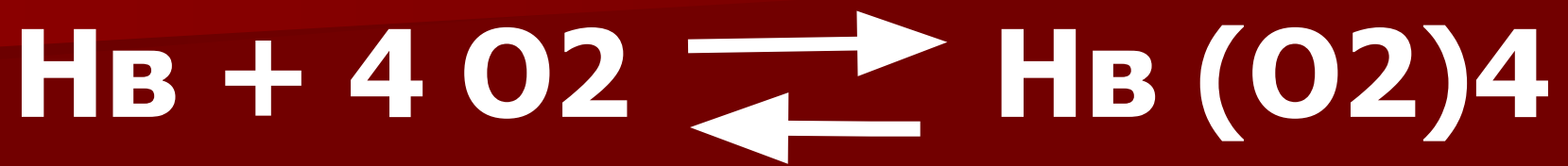


Легочные капилляры

# 3 этап

## Транспорт кислорода кровью

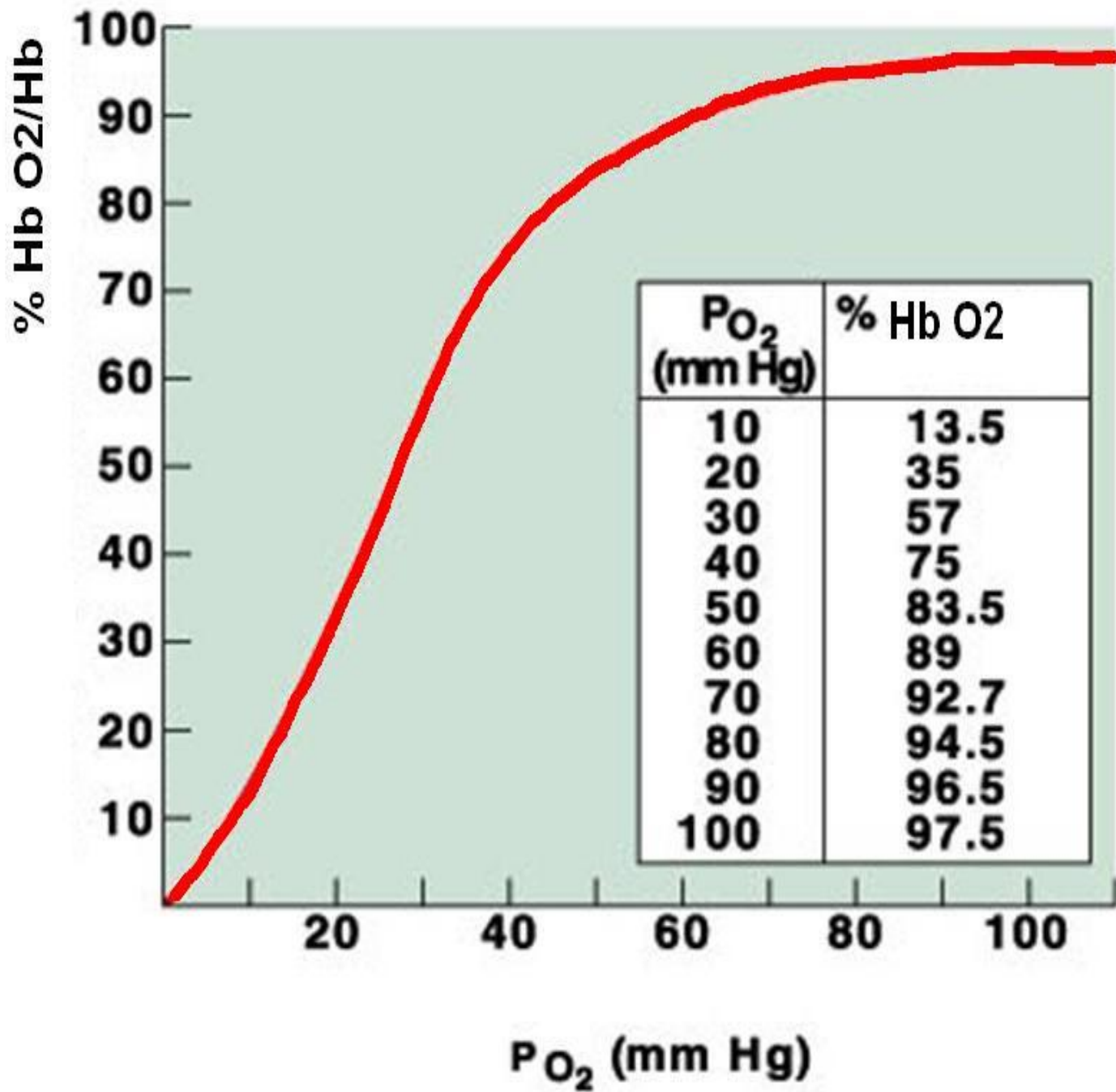




?

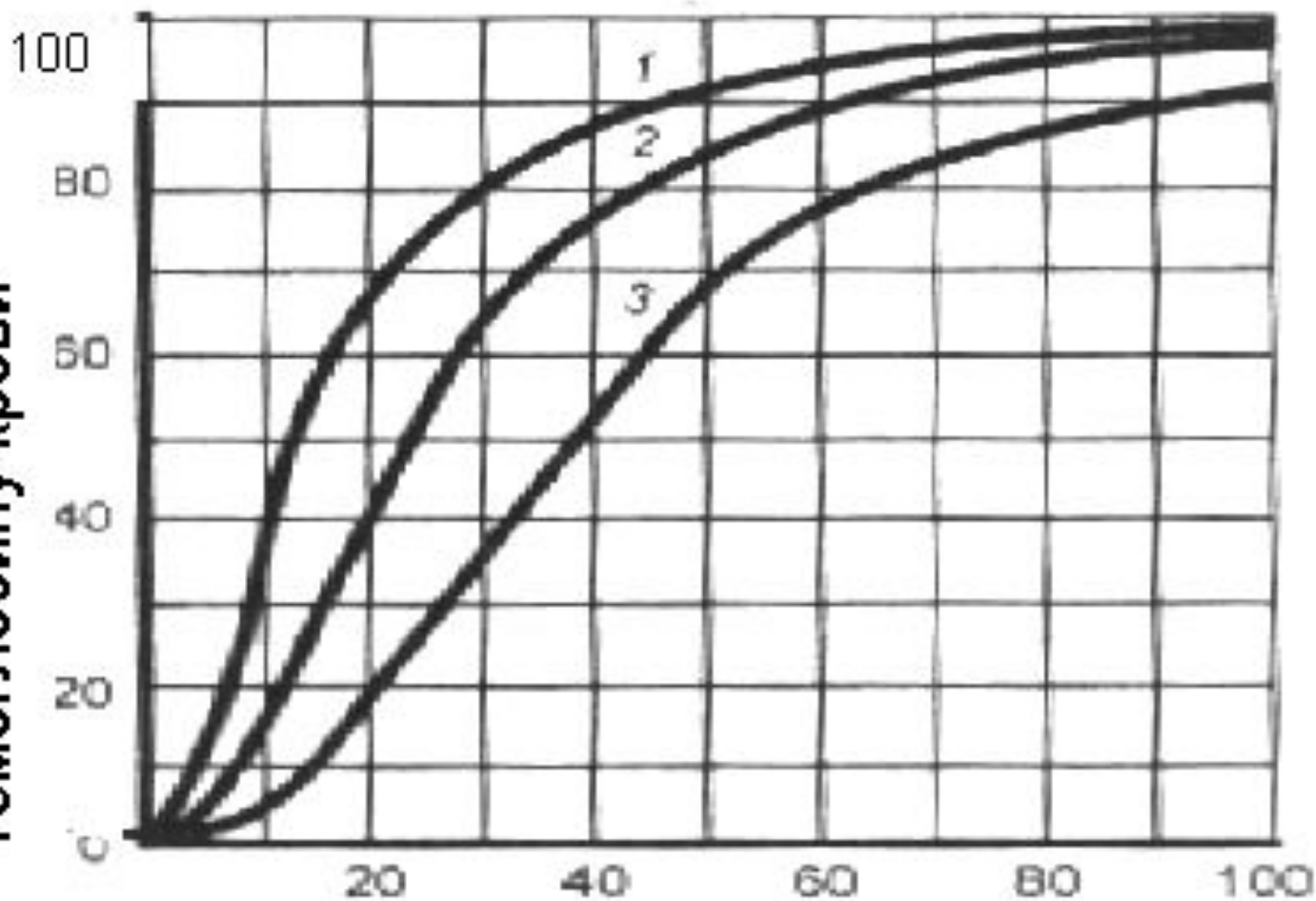
В какой ситуации Hb связывает, а  
в какой отдает O<sub>2</sub>

1. **Условия** связывания кислорода и условия отдачи принято изображать графически.
2. Этот график называется «Кривая диссоциации оксигемоглобина».



# Изменение свойств Hb

Оксигемоглобин в % ко всему гемоглобину крови



Парциальное давление кислорода в мм рт.ст.

Сдвиг кривой диссоциации  
вправо  
(снижение способности  
удерживать  $O_2$ )

- при высоком содержании  $CO_2$  ,
- низком pH,
- высокой температуре,
- высокой концентрации 2-3 ДФГ

Плод развивается в условиях  
значительно более низкого  
содержания кислорода в  
артериальной крови, чем у  
взрослых.



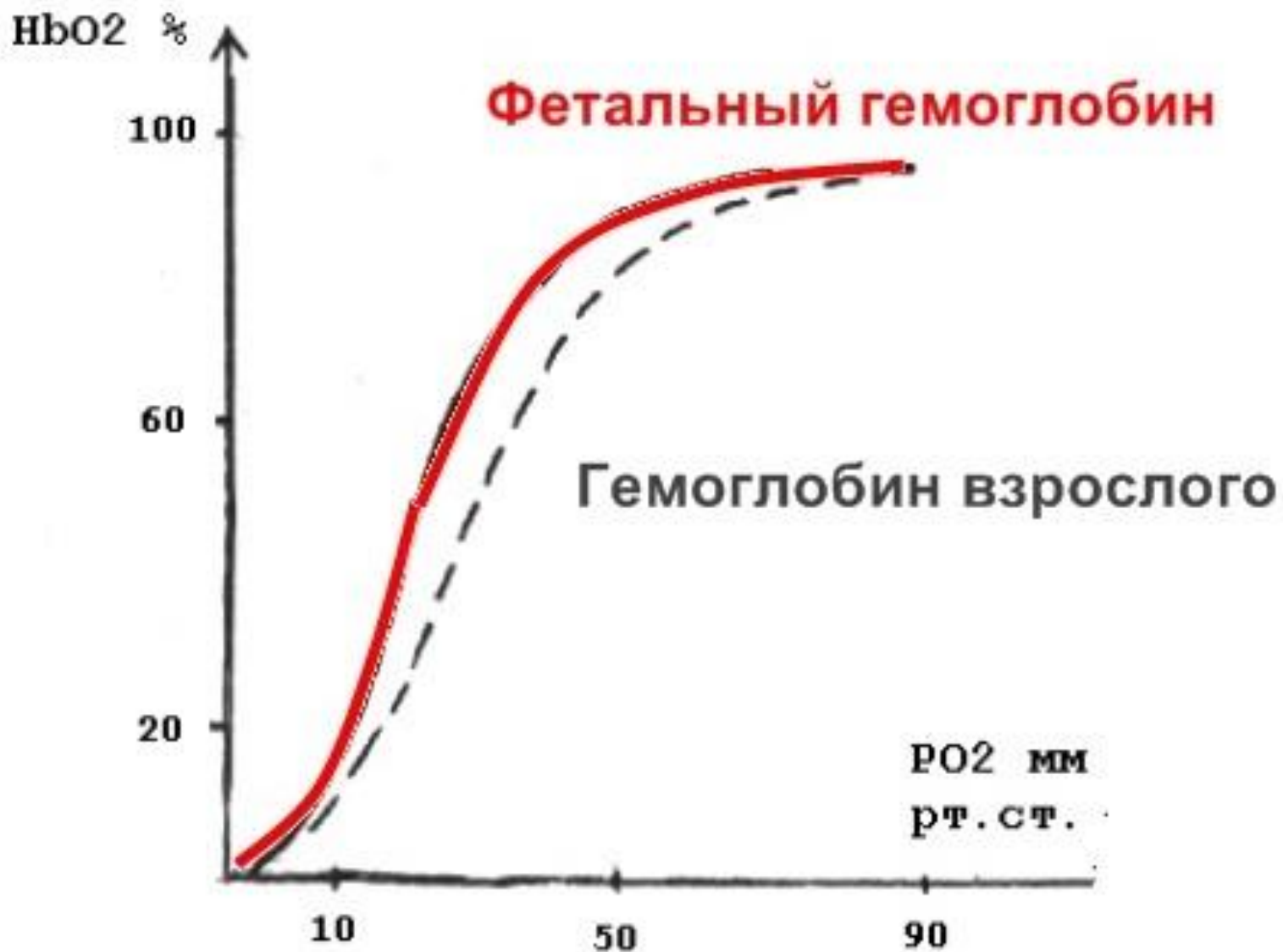
# Особенности гемоглобина плода

- В эмбриональном периоде гемоглобин синтезируется в эритроцитах желточного мешка в виде **примитивного** гемоглобина (HbP).
- На 9 неделе появляется **фетальный** (зародышевый) гемоглобин (HbF), синтезируемый в эритроцитах печени.

# Кривая диссоциации оксигемоглобина плода.

- Кривая диссоциации оксигемоглобина в своей верхней части сдвинута влево и для нее характерна большая крутизна
- Следовательно полное насыщение гемоглобина кислородом происходит при низком напряжении кислорода в крови

# Кривая сдвинута влево



# Возрастные изменения состава альвеолярного и выдыхаемого воздуха и процента извлечения кислорода кровью из альвеолярного воздуха

Возраст	O <sub>2</sub>			CO <sub>2</sub>	
	Альвеолярный	Выдыхаемый	Процент извлечения O <sub>2</sub>	Альвеолярный	Выдыхаемый
1 мес.	17.8	18.2	3.1	2.8	2.0
6 мес.	17.3	17.9	3.6	3.0	2.2
1 год	17.2	17.8	3.7	3.0	2.4
3 года	16.8	17.7	4.1	3.6	2.8
6 лет	16.5	17.4	4.4	3.9	2.9
10 лет	16.1	17.2	4.8	4.2	3.1
14 лет	15.5	16.9	5.4	4.9	3.5
Взрослые	14.0	16.0	6.9	5.5	4.0

# С началом легочного дыхания

- насыщение гемоглобина кислородом в артериальной крови возрастает и в первые сутки после рождения достигает 98 %.
- Быстроте этого процесса способствует большое сродство НЬF к кислороду. НЬF в это время еще составляет 70 %.
- Во второй половине первого месяца жизни ребенка кислородная емкость крови уменьшается до 14—15 об.% в результате разрушения эритроцитов и уменьшения содержания гемоглобина в крови (происходит замена НЬF на НЬА).

**Количество кислорода,  
которое может связать  
гемоглобин при условии его  
полного насыщения, называется  
кислородной емкостью  
крови (КЕК)**

1грамм Нв связывает 1,39 мл O<sub>2</sub> ,  
 $140 * 1,39 = 194,6$  мл O<sub>2</sub>/1 литр крови

# Коэффициент утилизации кислорода

Артериальная кровь - 180 мл

Венозная кровь – 120 мл

Коэффициент утилизации  
кислорода в норме = 33%

При физической работе до 60 %

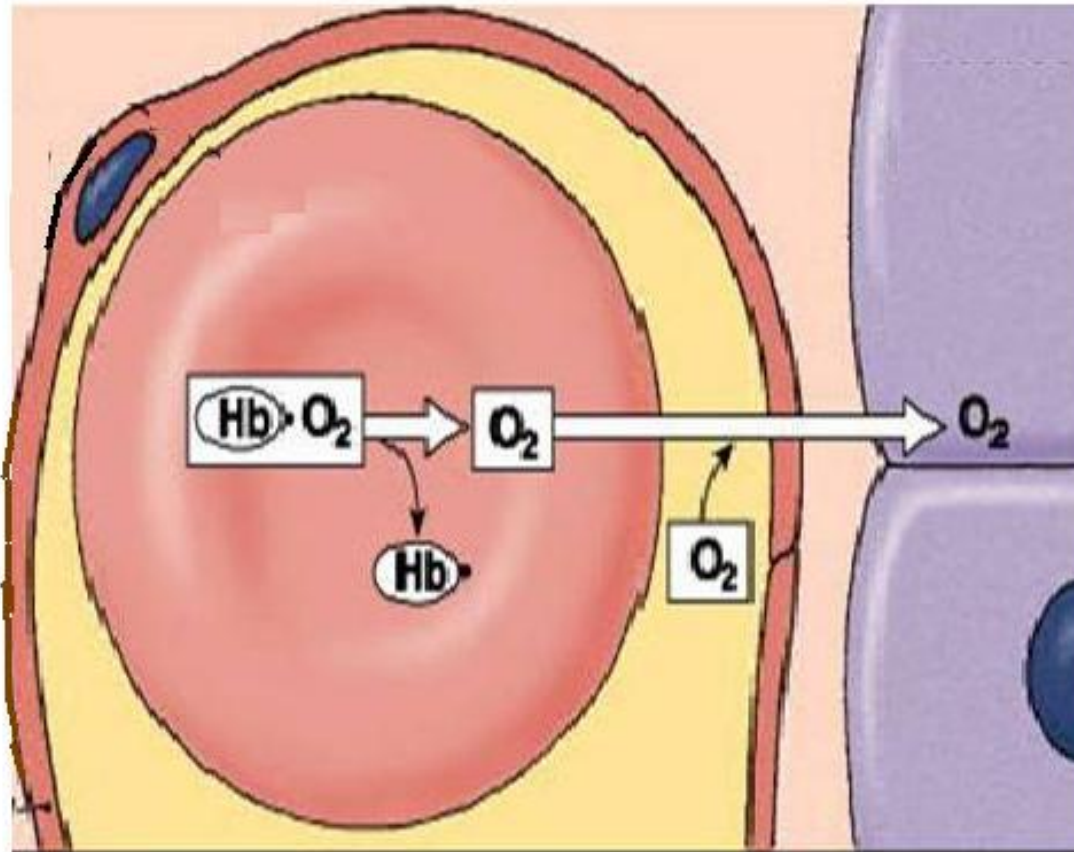
# Коэффициент утилизации зависит

- От градиента напряжения кислорода
- Скорости тока крови
- Суммарного просвета открытых капилляров
- Свойств гемоглобина (сдвига кривой диссоциации)



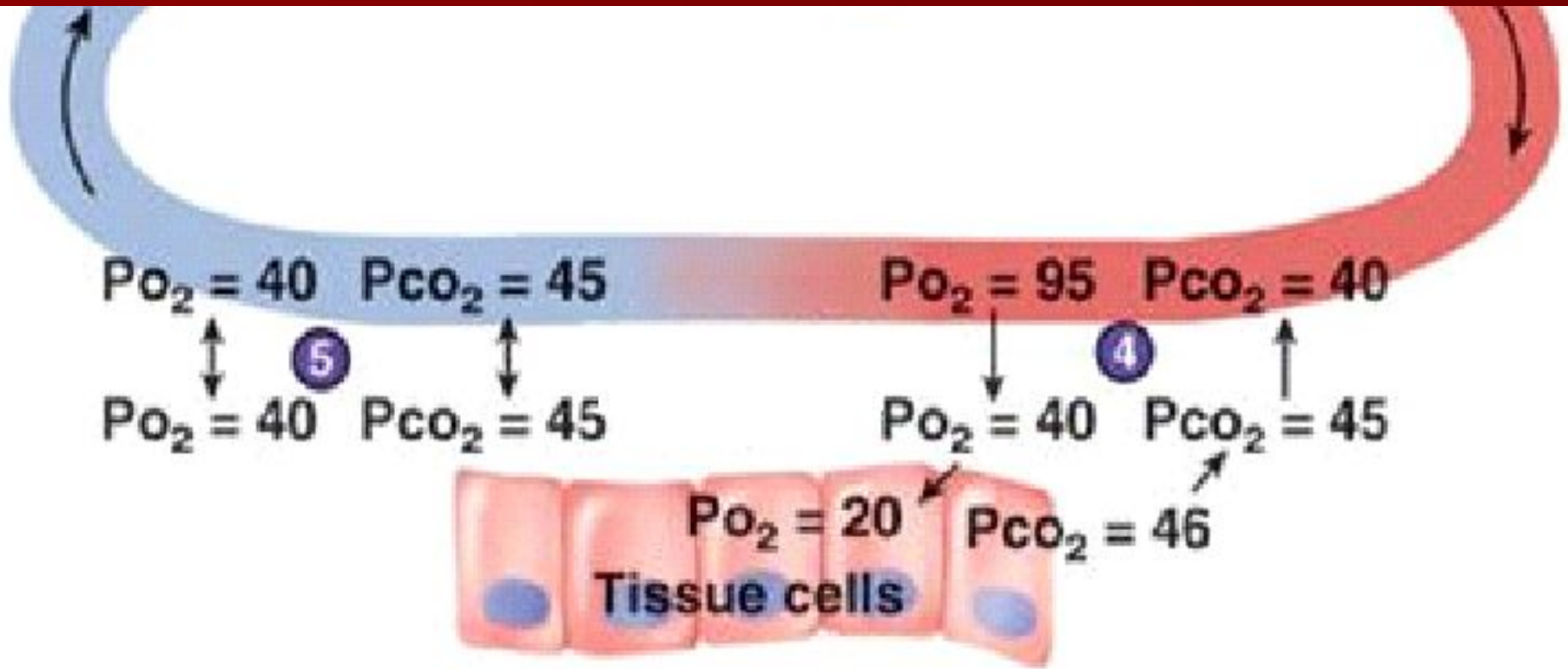
# 4 этап

## Диффузия кислорода в ткани

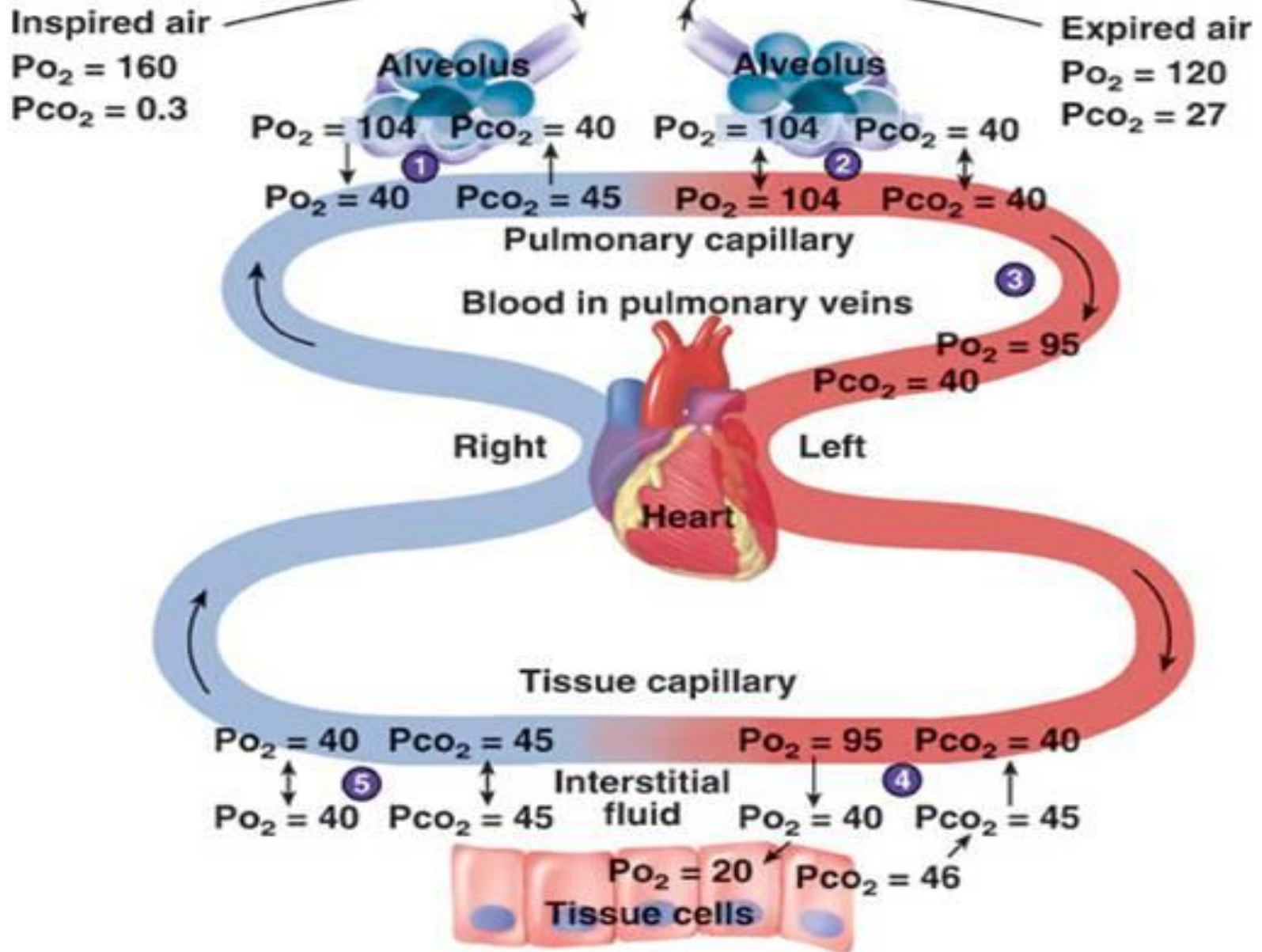


Клетки  
периферических  
тканей

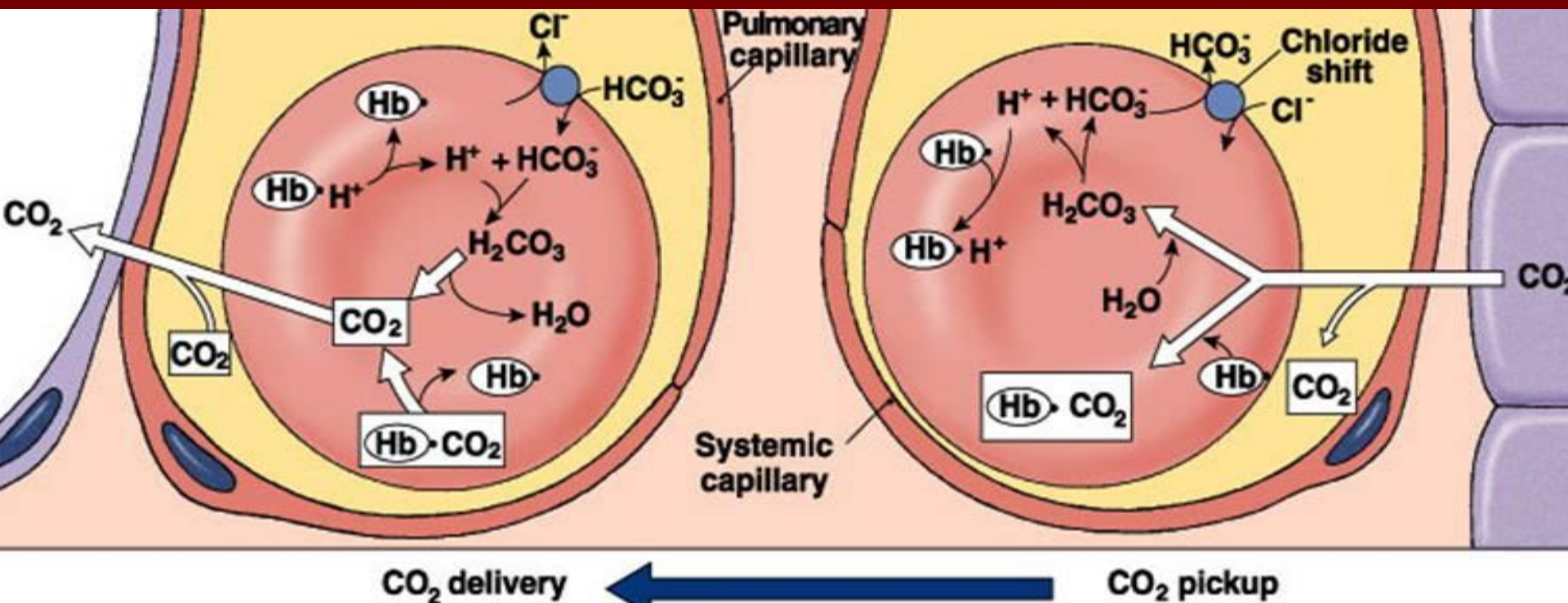
Капилляр тканей



# Транспорт углекислого газа



# В периферических капиллярах $\text{CO}_2$ связывается, а в капиллярах легких – освобождается и выводится



CO<sub>2</sub> диффундирует  
в кровь

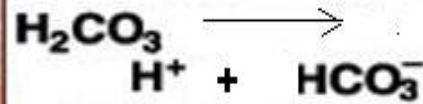
5 - 7% растворено  
в плазме

93% в эритроциты

23% связывается с  
Hb,  
карбаминогемоглобин

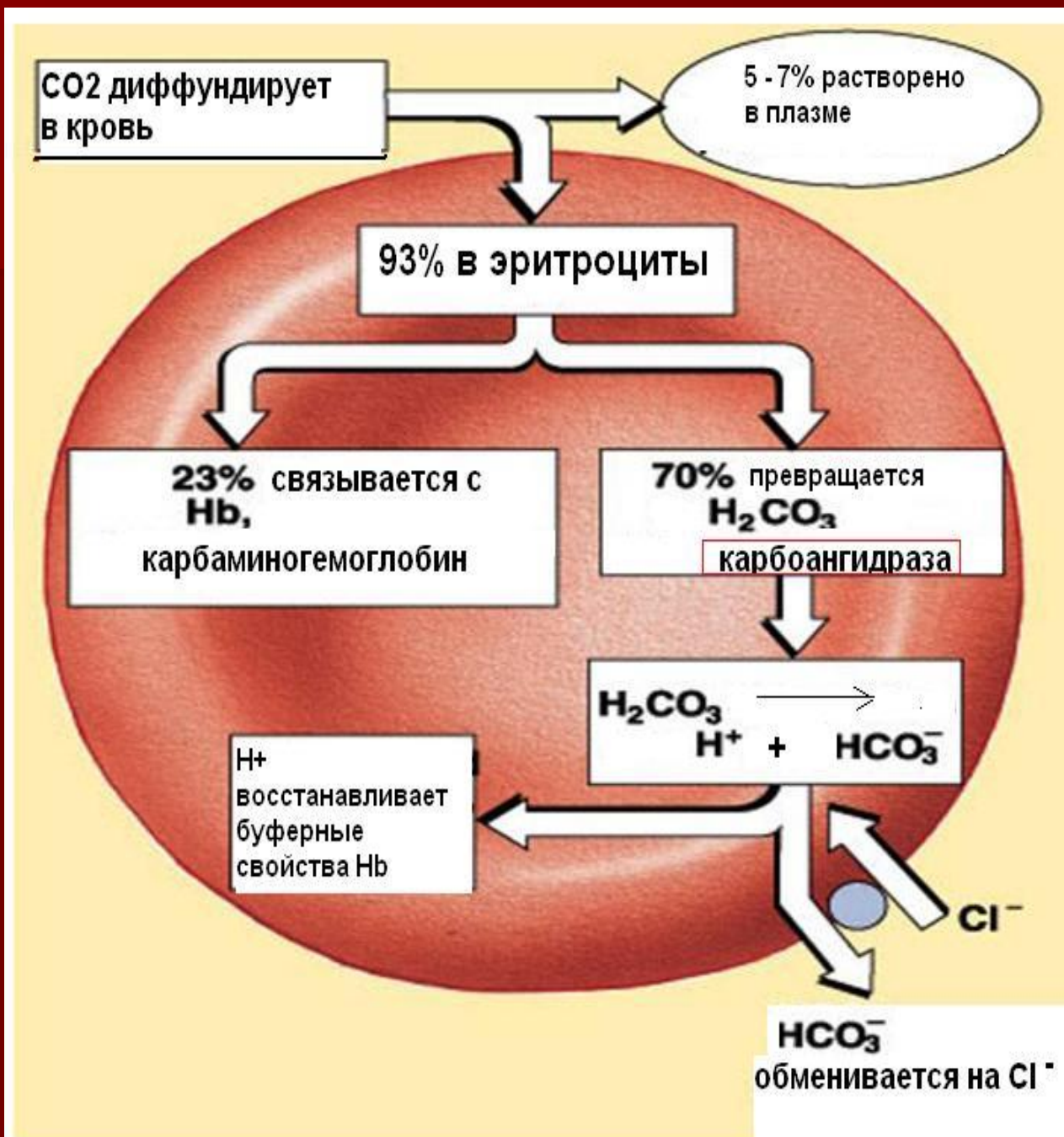
70% превращается  
H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>  
карбоангидраза

H<sup>+</sup>  
восстанавливает  
буферные  
свойства Hb



Cl<sup>-</sup>

HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>  
обменивается на Cl<sup>-</sup>



# Основные транспортные формы углекислого газа:

1. в виде бикарбонатов калия и натрия в эритроцитах и плазме 80 – 90 %
2. в виде карбаминных соединений гемоглобина – 5 – 15 %
3. в физически растворенном виде – 5 – 10 %