

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 % O₂

5.3 CO₂

Газовый состав альвеолярного воздуха

Газ	Атмосферный	Альвеолярный	Выдыхаемый
O ₂	20,85 (160)	13,5 (104)	15,5 (120)
CO ₂	0.03 (0,2)	5.3 (40)	3.7 (27)
N ₂	78.62 (596)	74.9 (569)	74.6 (566)
H ₂ 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

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

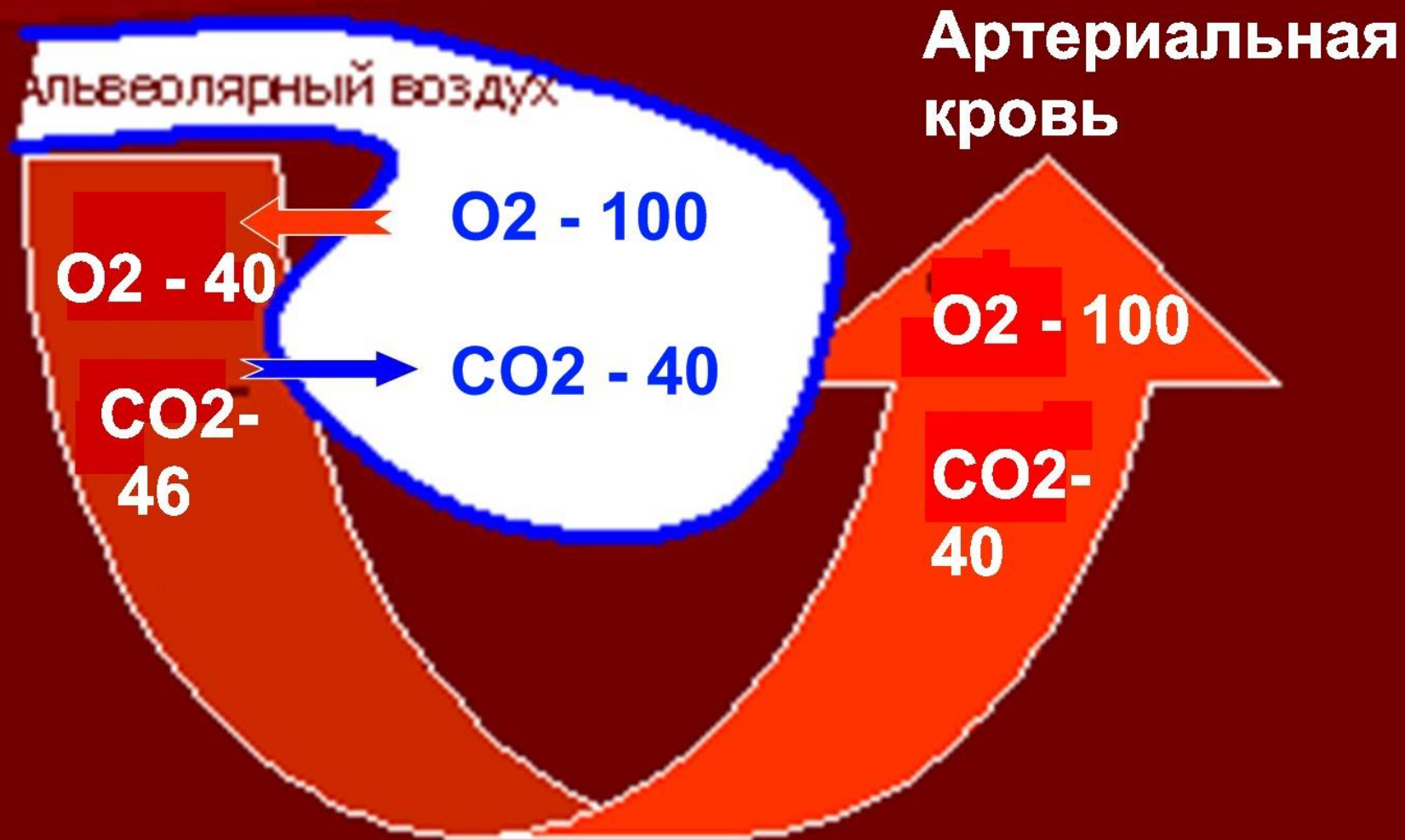
Для кислорода

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

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

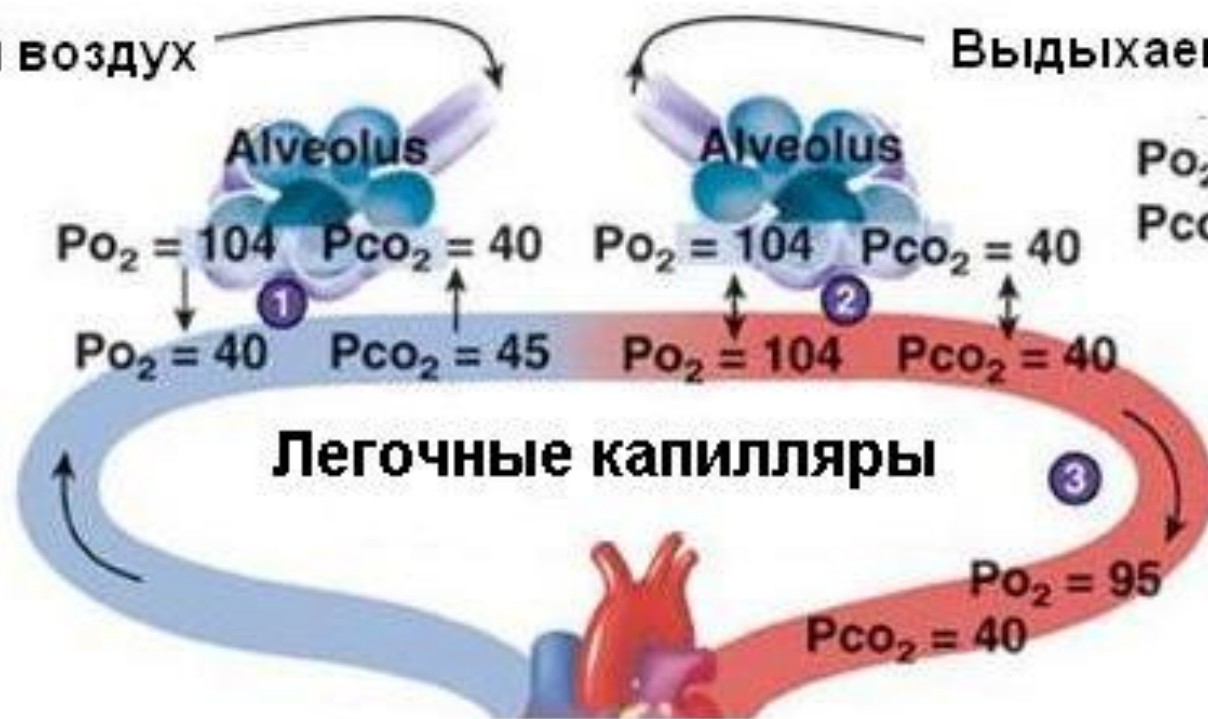
- Высокая плотность капилляров
- Низкое АД
- Низкая скорость тока крови
- Высокая проницаемость для CO₂

Вдыхаемый воздух

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

Выдыхаемый воздух

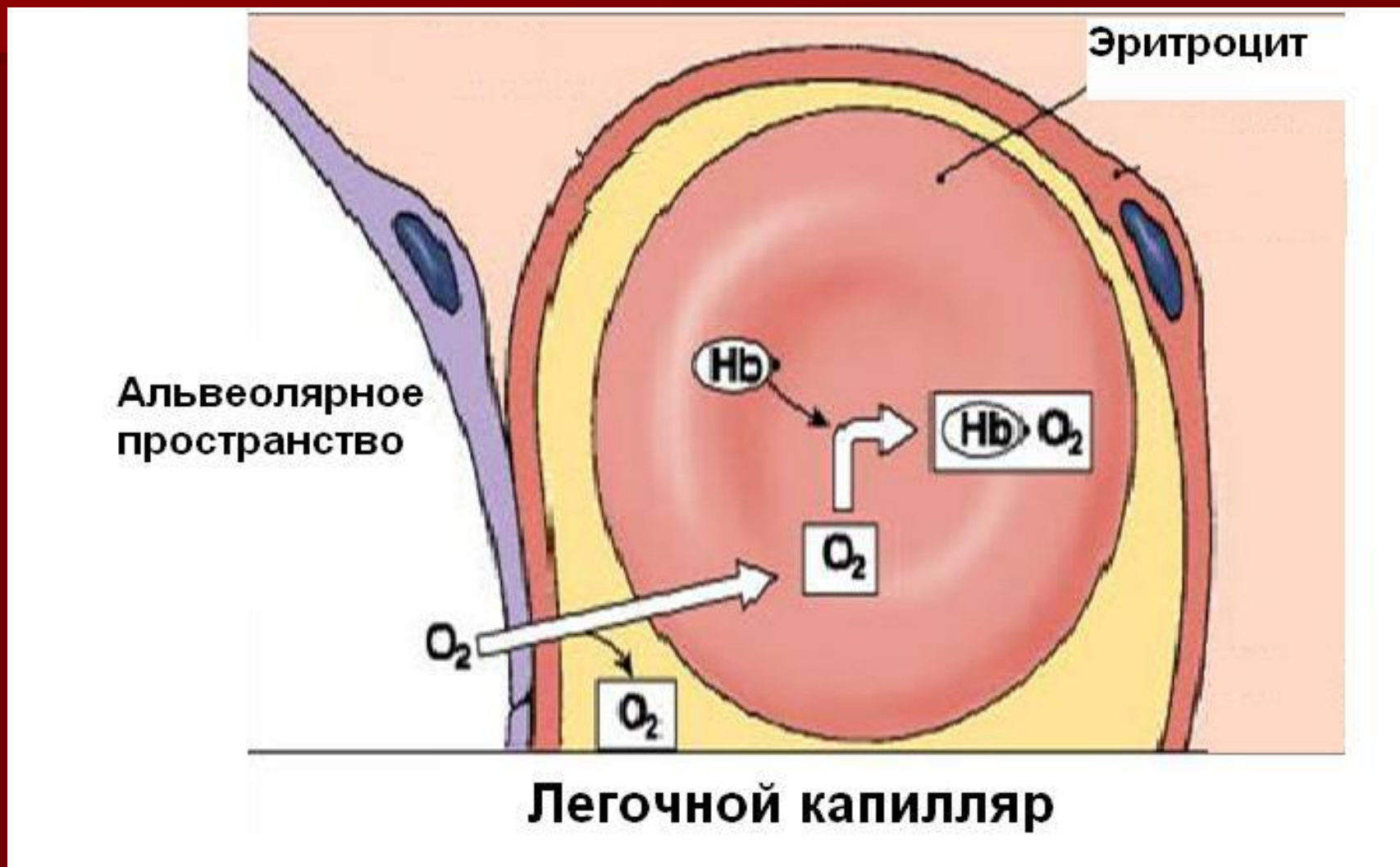
$P_{O_2} = 120$
 $P_{CO_2} = 27$

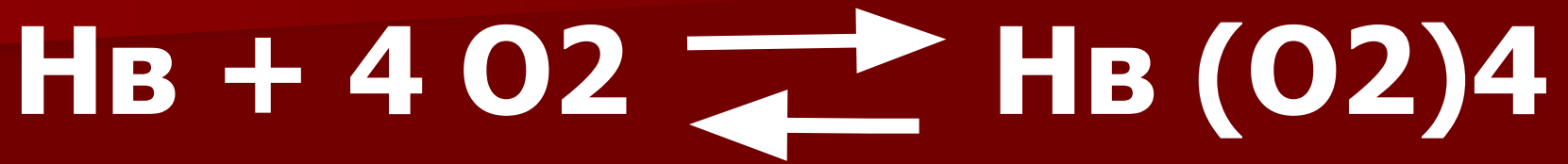


Легочные капилляры

3 этап

Транспорт кислорода кровью

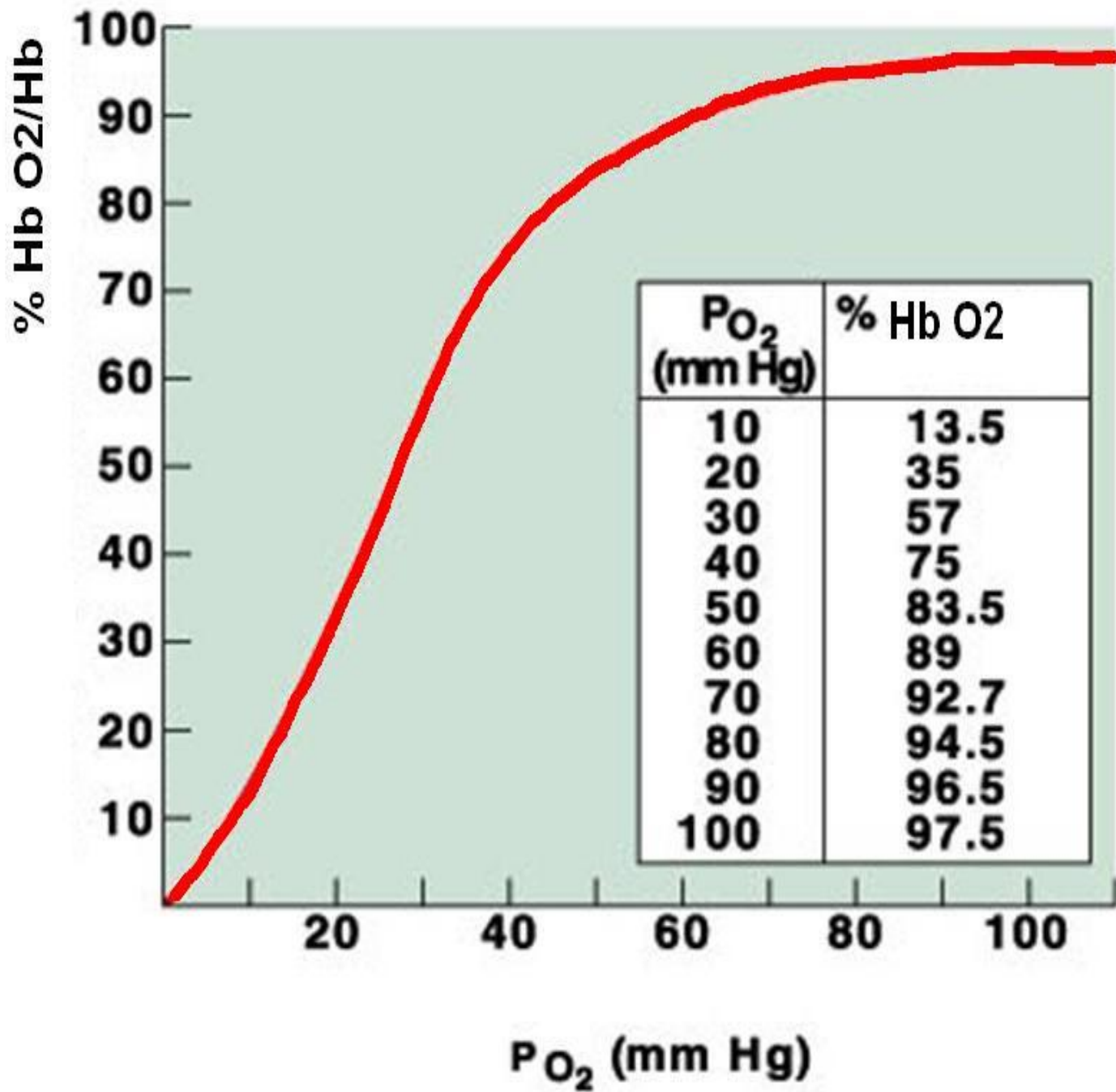




?

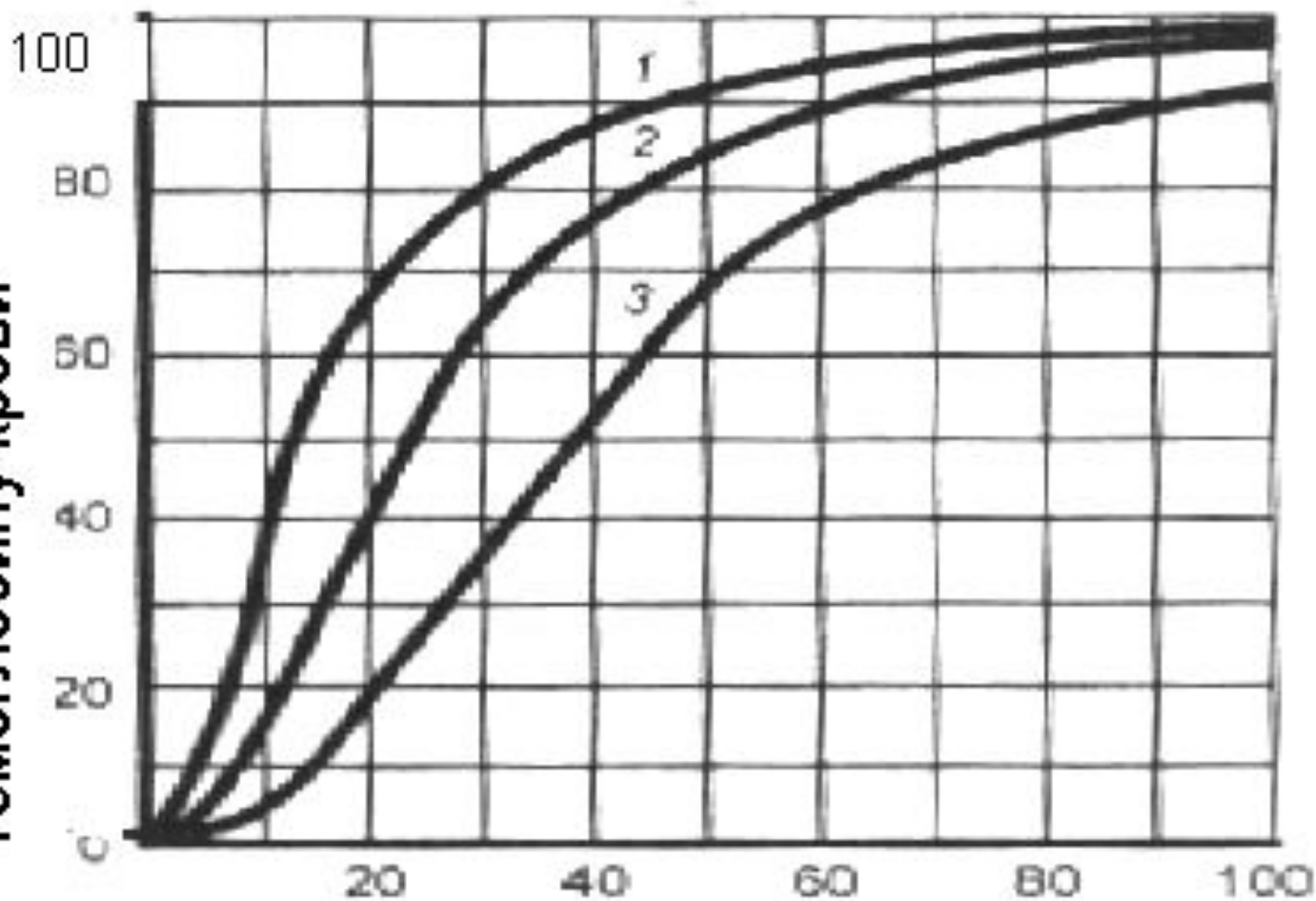
В какой ситуации Hb связывает, а
в какой отдает O₂

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.

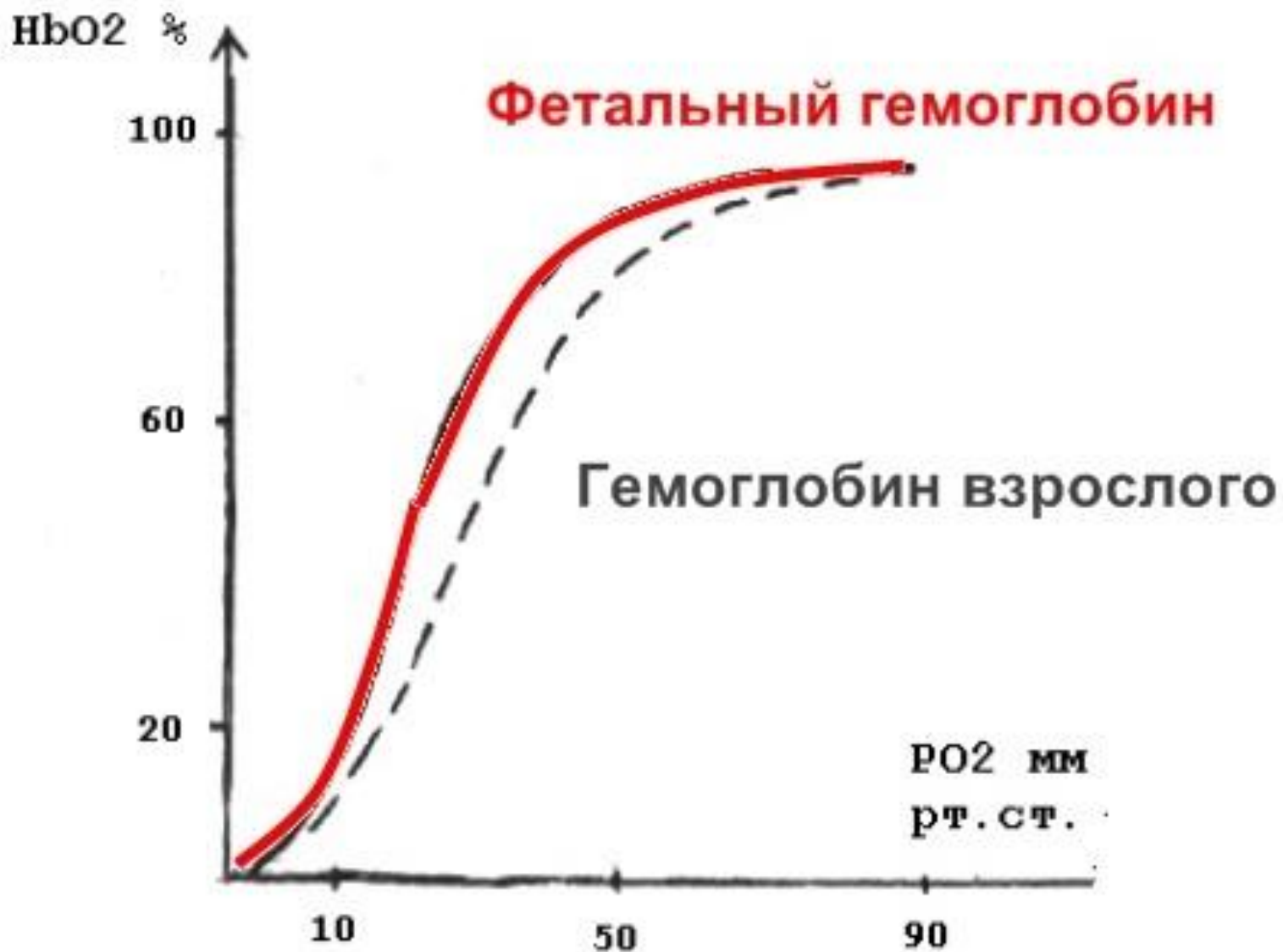
Особенности гемоглобина плода

- 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 ₂			CO ₂	
	Альвеолярный	Выдыхаемый	Процент извлечения O ₂	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 O₂ ,
 $140 * 1,39 = 194,6$ мл O₂/1 литр крови

Коэффициент утилизации кислорода

Артериальная кровь - 180 мл

Венозная кровь – 120 мл

Коэффициент утилизации
кислорода в норме = 33%

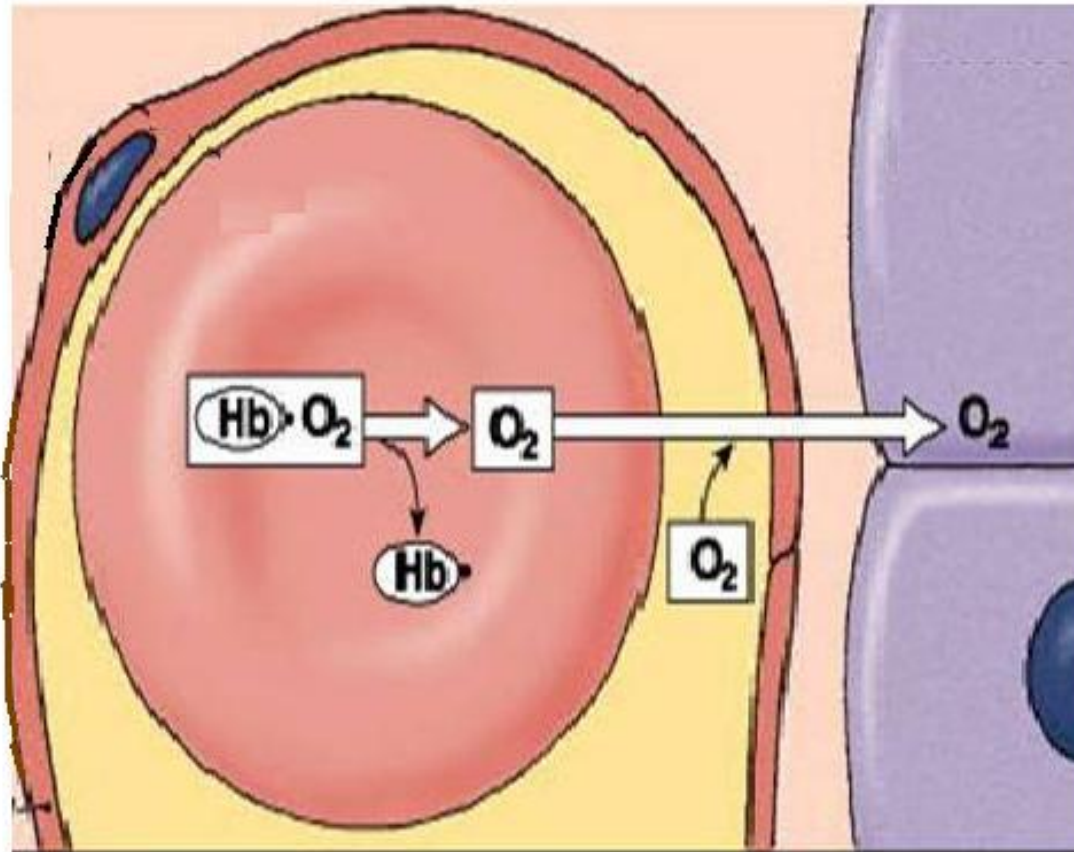
При физической работе до 60 %

Коэффициент утилизации зависит

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

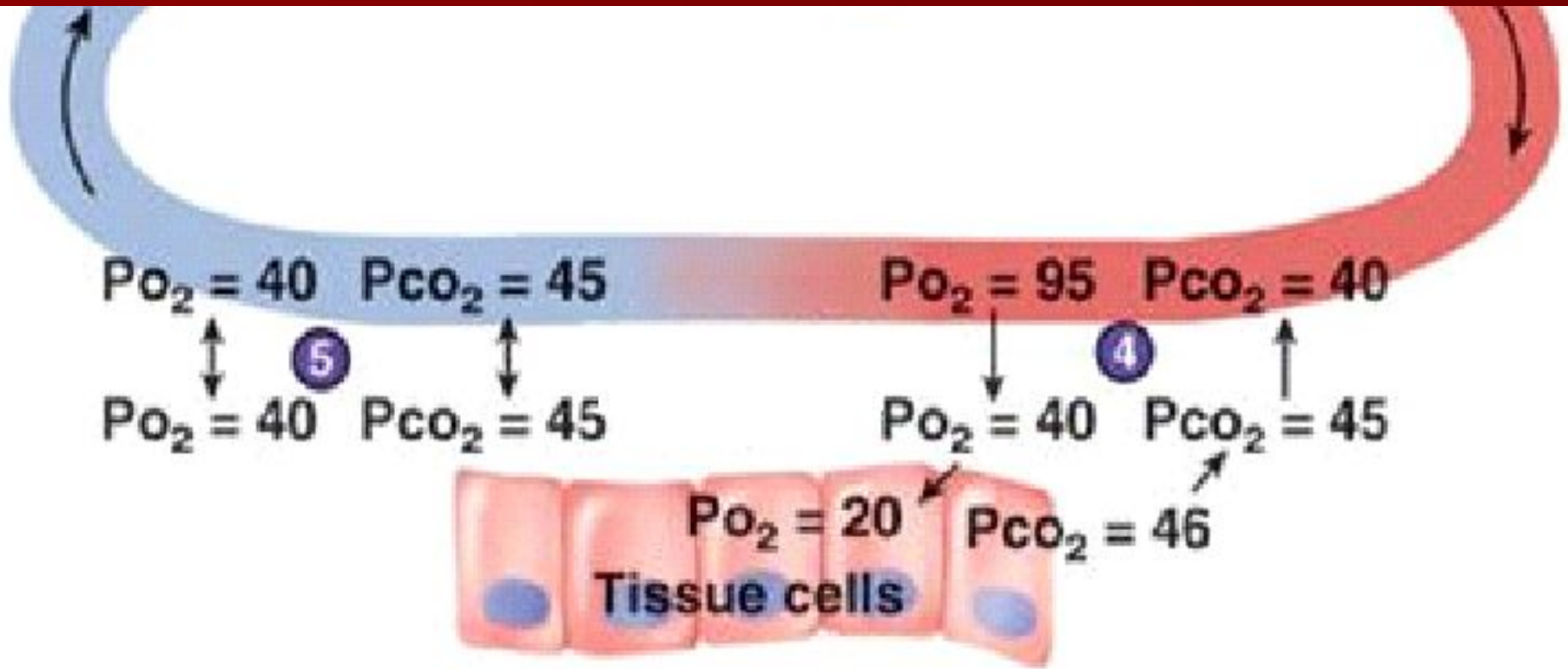
4 этап

Диффузия кислорода в ткани

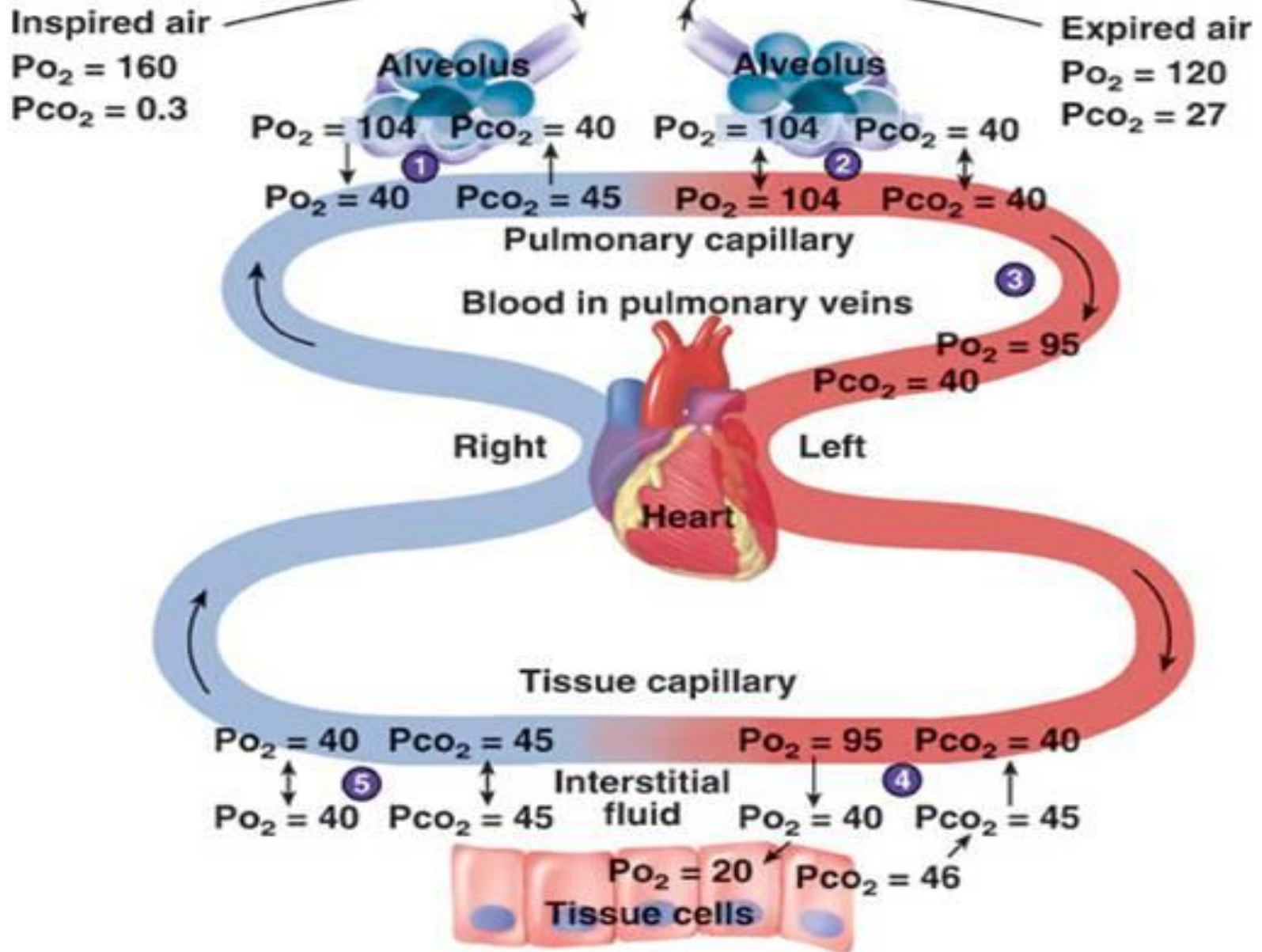


Клетки
периферических
тканей

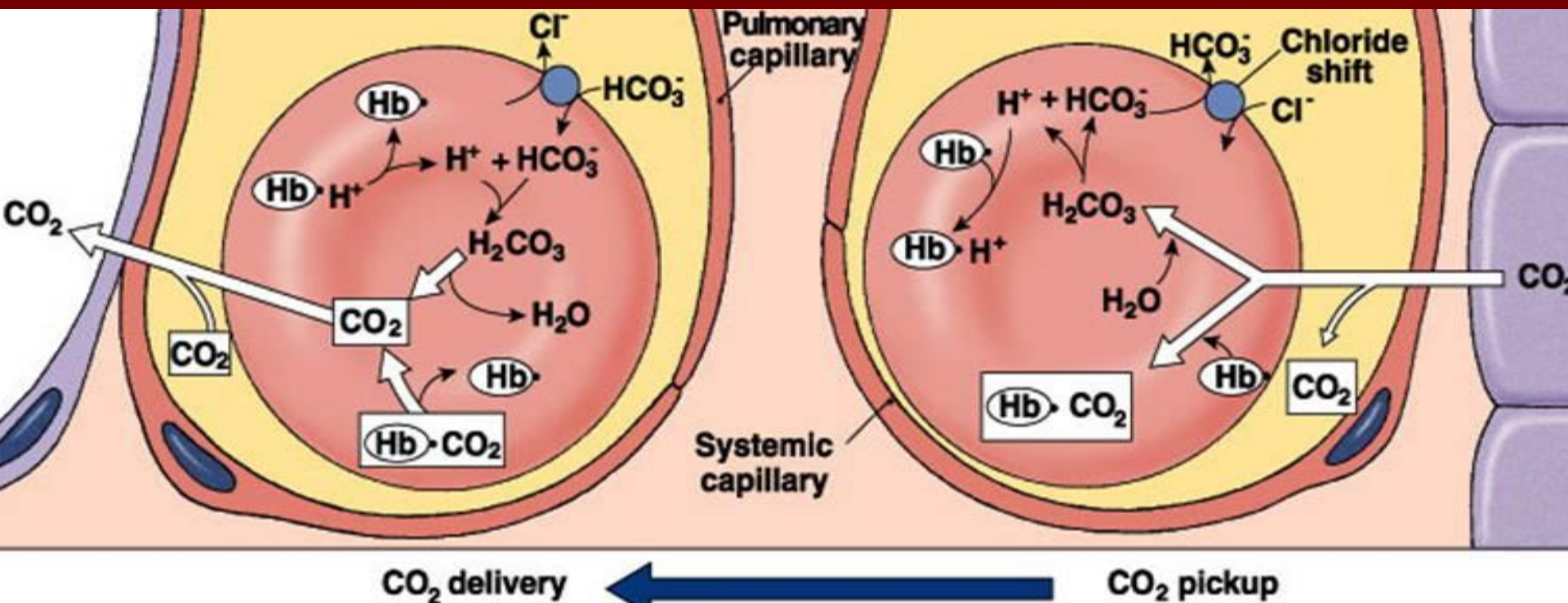
Капилляр тканей



Транспорт углекислого газа



В периферических капиллярах CO_2 связывается, а в капиллярах легких – освобождается и выводится



CO₂ диффундирует
в кровь

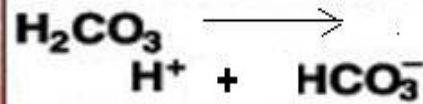
5 - 7% растворено
в плазме

93% в эритроциты

23% связывается с
Hb,
карбаминогемоглобин

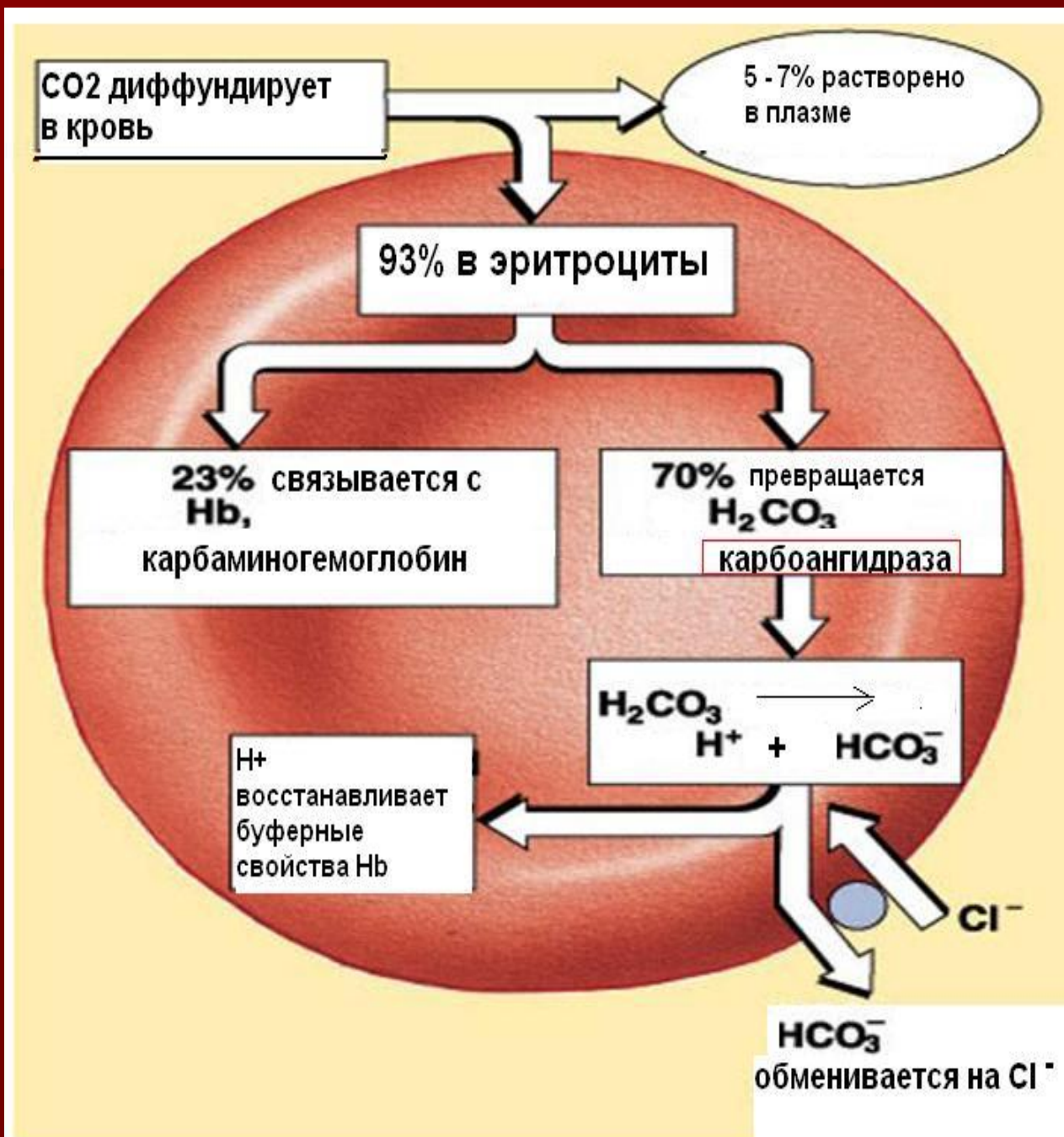
70% превращается
H₂CO₃
карбоангидраза

H⁺
восстанавливает
буферные
свойства Hb



Cl⁻

HCO₃⁻
обменивается на Cl⁻



Основные транспортные формы углекислого газа:

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