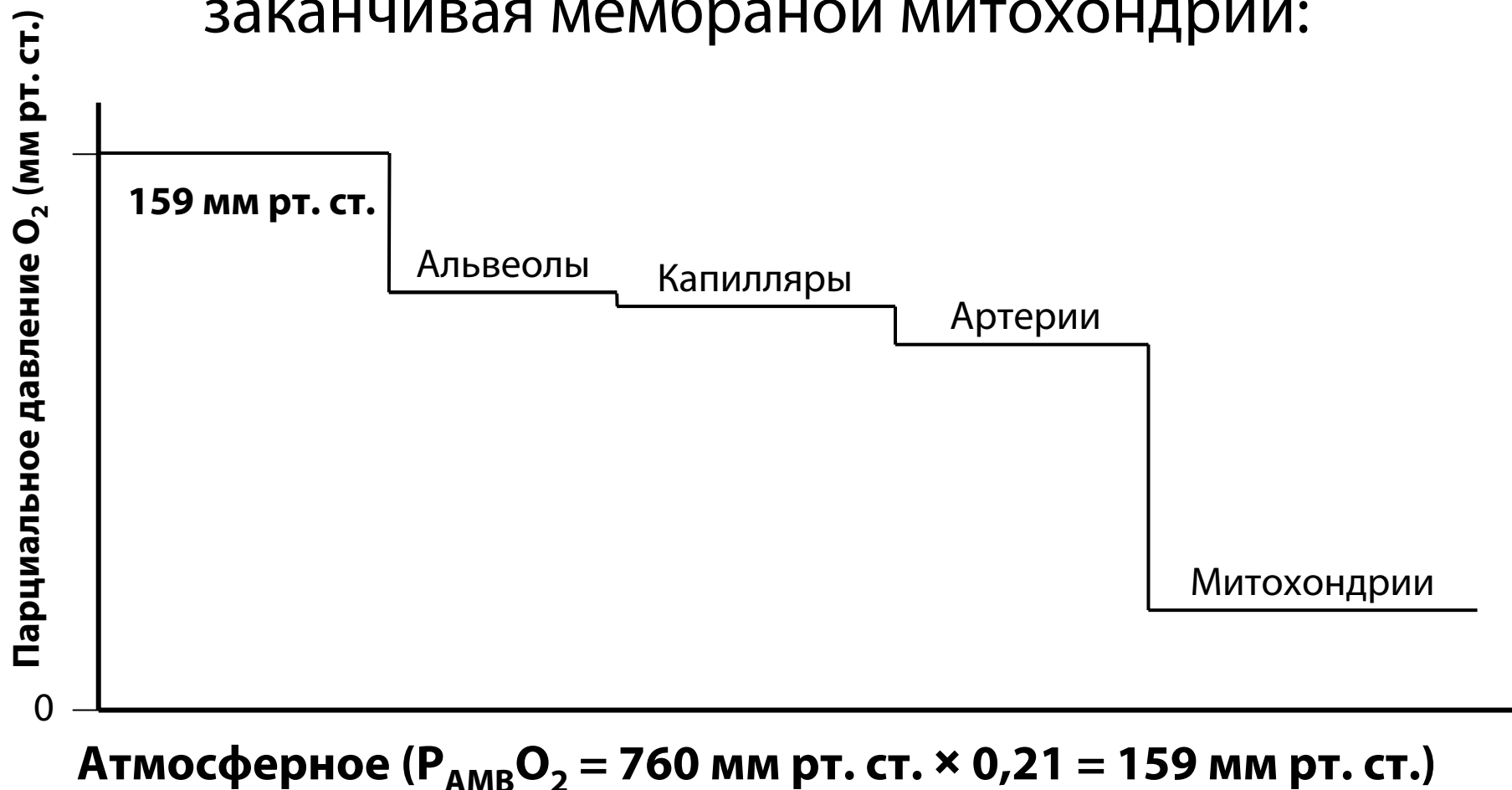


# **Транспорт кислорода и оксиметрия**

Мельников А.Л. MD, PhD, DESA  
Rikshospitalet National University Hospital  
Осло, Норвегия

# Кислородный каскад

Описывает падение парциального давления кислорода, начиная от атмосферного воздуха и заканчивая мембраной митохондрий:



# Кислородный каскад

## Уравнение альвеолярного газа:

- $PAO_2 = (P_{ATM} - P_{нас. пара}) \times 0,21 - PACO_2/RQ$
- $P$  насыщенного пара при  $37^\circ C = 47$  мм рт. ст.
- $RQ = VCO_2/VO_2 (0,8)$
- $PAO_2 = (760 - 47) \times 0,21 - (38/0,8) = \underline{102}$  мм рт. ст.

# **Альвеоло-артериальная разность $PO_2$**

При нормальной функции легких градиент  $PO_2$   
невелик:

$$(PAO_2 - PaO_2) = 2-5 \text{ мм рт. ст.}$$

Любое увеличение толщины диффузионного барьера (отек легких, фиброз) или шунт будет увеличивать это значение

# Диффузия $O_2$ из альвеол в кровь

Скорость переноса газа через альвеолокапиллярную мембрану  
зависит от:

- Свойств газа (растворимость и мол. вес)
- Свойств мембраны (площадь поверхности [A] и толщина [D])
- Градиента парциальных давлений ( $\Delta P$ ) на мембране

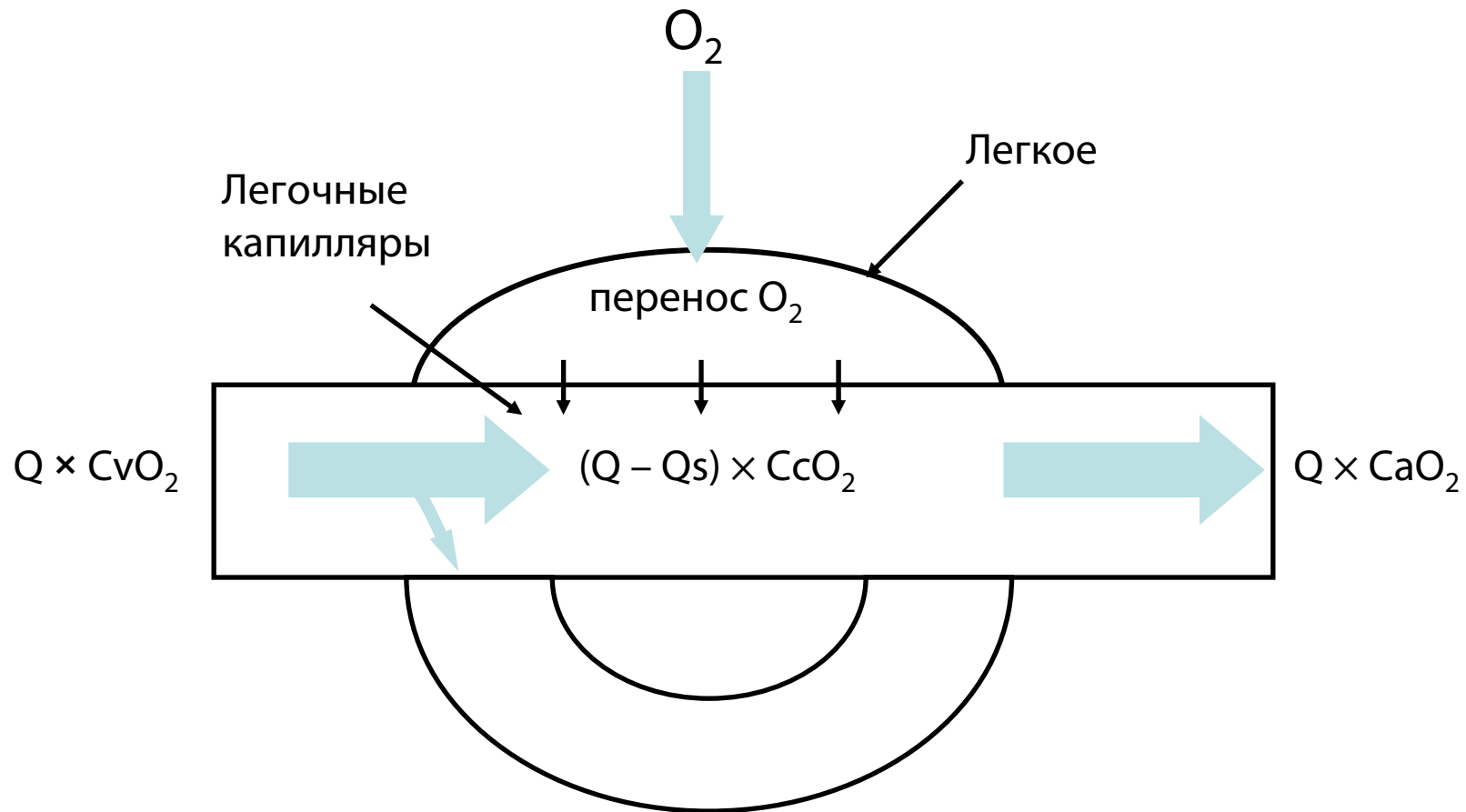
# Закон Фика (Fick)

**Скорость  
переноса газа**  $\sim \frac{k \times A \times \Delta P}{D}$

Где:

**Константа  
диффузии, k**  $\sim \frac{\text{растворимость}}{\sqrt{\text{молекулярная масса}}}$

# Физиологический шунт



$C_aO_2$  = содержание  $O_2$  в артериальной крови

$C_vO_2$  = содержание  $O_2$  в смешанной венозной крови

$C_cO_2$  = содержание  $O_2$  в крови легочных капилляров

$Q$  = сердечный выброс

$Q_s$  = фракция (кровоток) шунта

$(Q - Q_s)$  = кровоток через легочные капилляры

# Уравнение шунта

Физиологический шунт может быть рассчитан как фракция от общего легочного кровотока (Q)

$$\frac{\text{(кровоток шунта)}}{\text{(общ. кровоток)}} = \frac{\text{(снижение содержания O}_2 \text{ из-за шунта)}}{\text{(общее содержание кислорода)}}$$

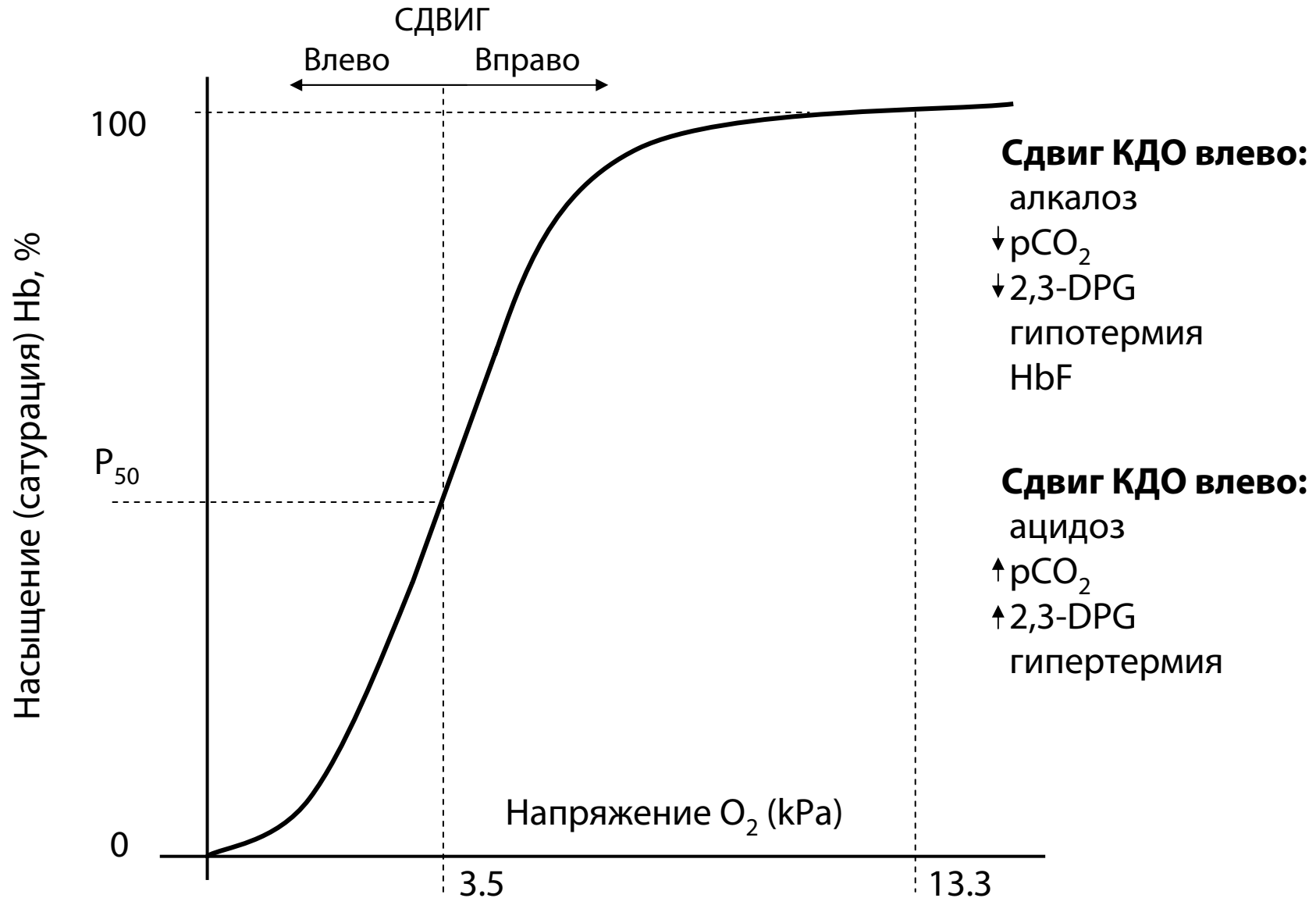
$$\frac{(Q_s)}{(Q)} = \frac{(C_{cO_2} - C_{aO_2})}{(C_{cO_2} - C_{vO_2})}$$



# Оксигенация гемоглобина

- Каждая молекула Hb связывает 4 молекулы O<sub>2</sub>
- Определяется локальным давлением (напряжением) O<sub>2</sub> (РАO<sub>2</sub>)
- Зависит от состояния местных тканей (рН, температура, 2,3-DPG, CO<sub>2</sub>)
- Связывание O<sub>2</sub> с каждым новым узлом связи молекулы Hb усиливает процесс связи в оставшихся узлах за счет аллостерических изменений (“релаксированная” и “напряженная” формы)

# Кривая диссоциации оксигемоглобина



# Четыре нужных значения...

- **97%** и **80** мм рт. ст. (10 кПа) –  $SO_2$  и  $PO_2$  артериальной крови в норме
- **75%** и **40** мм рт. ст. (5,3 кПа) –  $SO_2$  и  $PO_2$  венозной крови в норме
- **50%** и **25** мм рт. ст. (3,5 кПа) – значение  $P_{50}$
- **10%** - **10** мм рт. ст. (1,3 кПа)

**ЕСЛИ ВЫ НЕ МОЖЕТЕ НАРИСОВАТЬ КРИВУЮ  
ДИССОЦИАЦИИ ОКСИГЕМОГЛОБИНА –  
ВСЕ ПРОПАЛО!!!**

# Перенос $O_2$ кровью

- 97%  $O_2$  переносится с кровью в связанном с Hb виде
- Количество растворенного  $O_2$  находится в линейной зависимости от  $PAO_2$  и составляет 0,003 мл/мм рт. ст./100 мл плазмы
- При  $PAO_2$  100 мм рт. ст. количество растворенного  $O_2$  составляет всего лишь 0,3 мл (1,5 %)

# Содержание $O_2$ в крови

Транспортная способность Hb  $\sim 1,34$  мл  $O_2$  / грамм Hb

**Таким образом, содержание  $O_2$  в крови:**

( $O_2$ , связанный с Hb) + (растворенный  $O_2$ )

$= (Hb \times 1.34 \times SO_2 \times 0,001) + (0,003 \times PO_2)$

**При  $SaO_2 = 100\%$ ,  $Hb = 150$  г/л и  $PaO_2 = 100$  мм рт. ст.:**

•  $CaO_2 = 20,1 + 0,3 = 20,4$  мл/100 мл крови

**При  $SvO_2 = 75\%$  и  $PvO_2 = 45$  мм рт. ст.:**

•  $CvO_2 = 15,1 + 0,1 = 15,2$  мл/100 мл крови

# Доставка и потребление кислорода

Доставка  $O_2$  это объем  $O_2$ , доставленный периферическим тканям =  $Q \times CaO_2$

для  $CaO_2 = 20,1$  мл/100 мл и  $Q = 5,0$  л/мин  
Доставка  $O_2$  ( $DO_2$ ) = 1005 мл/мин

для  $CvO_2 = 15,2$  мл/100 мл и  $Q = 5,0$  л/мин  
Возврат  $O_2 = 760$  мл/мин

Потребление  $O_2 =$  доставка  $O_2 -$  возврат  $O_2 =$   
1005 мл – 760 мл = 245 мл/мин

Таким образом, коэффициент экстракции  $O_2 \sim 25\%$

# Пульсоксиметрия

Использует свет, с двумя длинами волны: красный (660 нм) и инфракрасный (940 нм) для измерения абсорбции пульсирующим кровотоком.

Принимая концентрацию Hb и интенсивность света за константы,  $SaO_2$  может быть рассчитана как логарифмическая функция абсорбции света кровью.

# Пульсоксиметрия

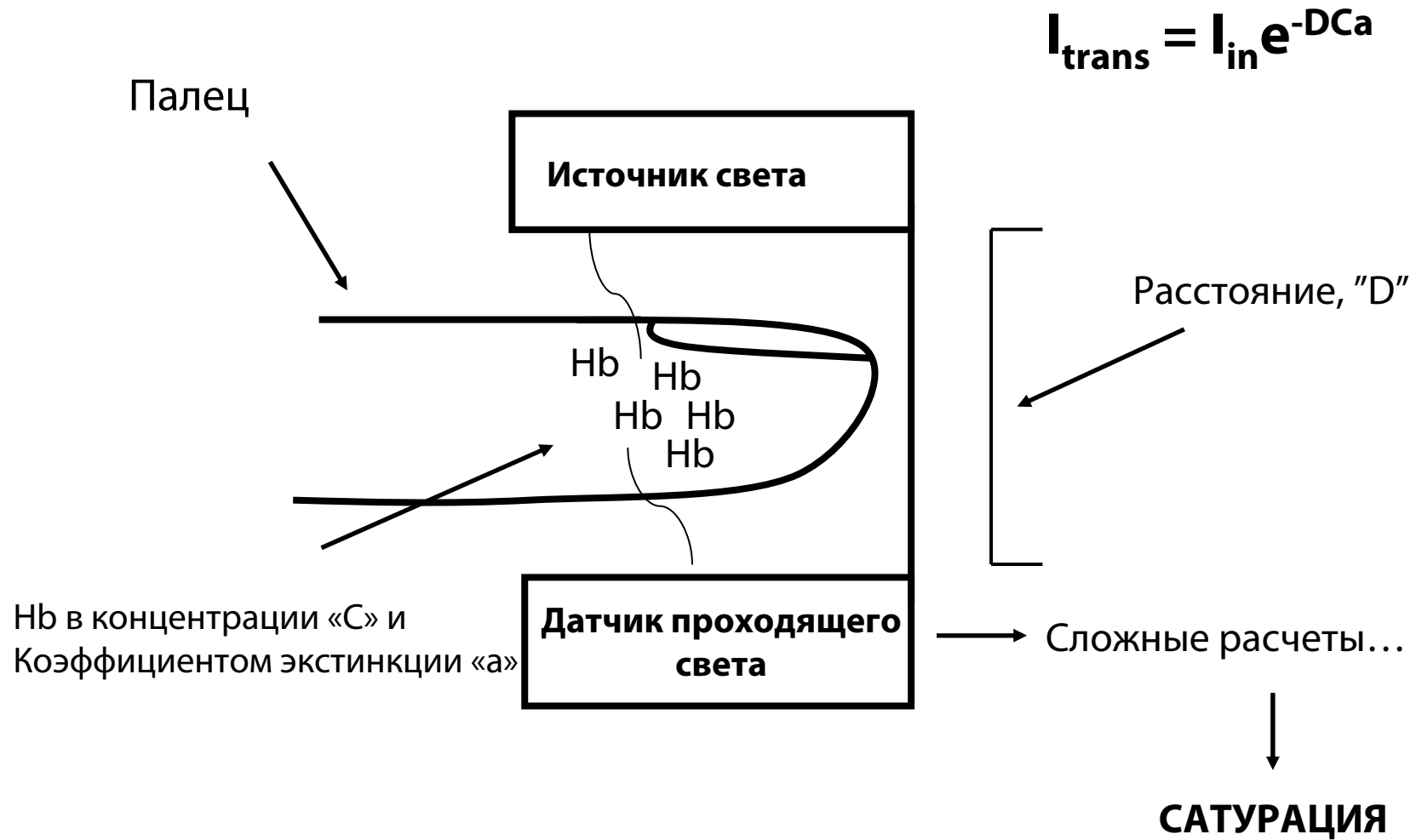
Закон Ламберта-Бира (Beer-Lambert):

$$I_{\text{trans}} = I_{\text{in}} e^{-DCa}$$

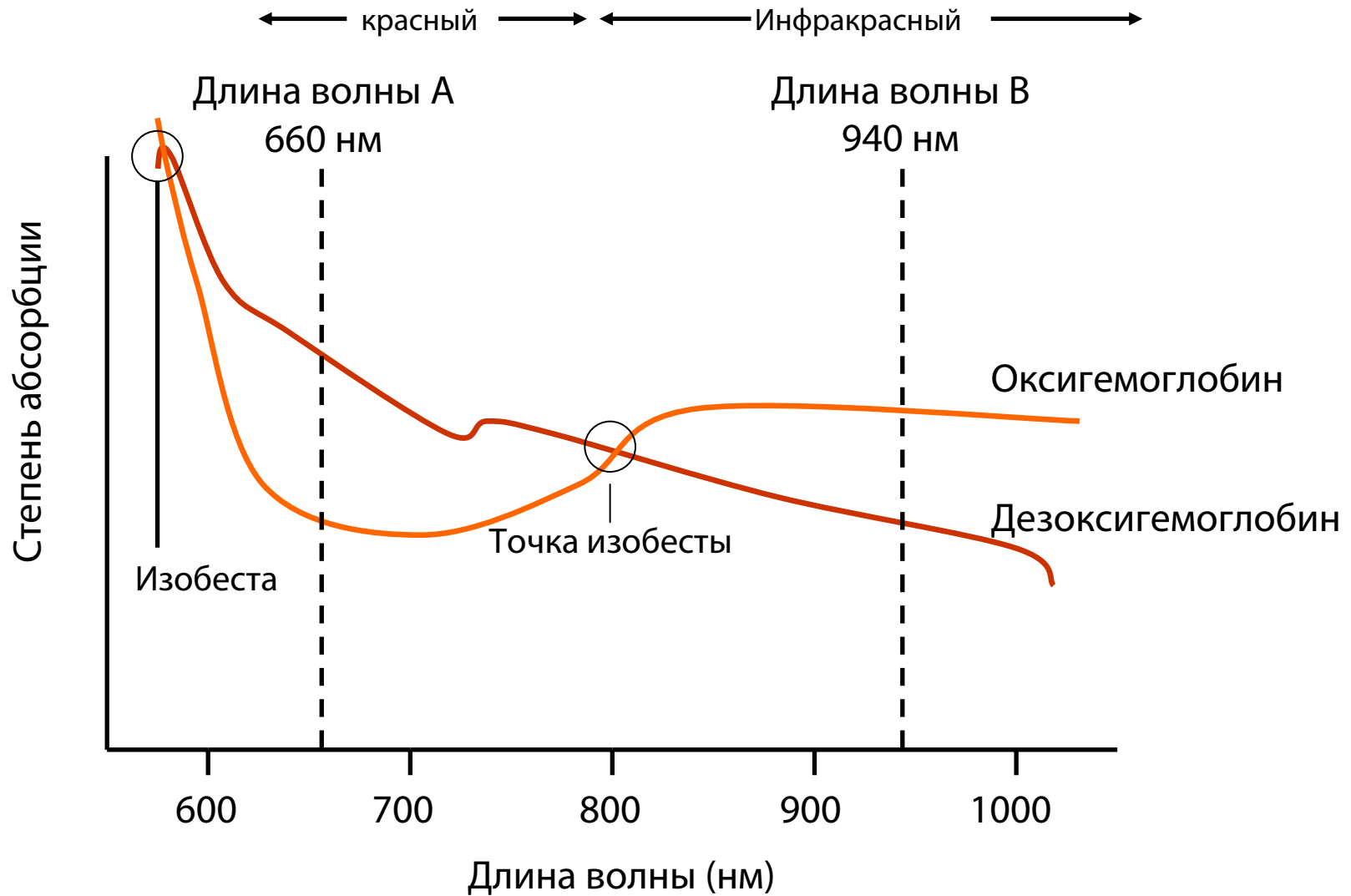
$I_{\text{trans}}$	интенсивность проходящего света
$I_{\text{in}}$	интенсивность свечения источника
$D$	расстояние, пройденное светом через среду
$C$	концентрация растворенного вещества (гемоглобин)
$a$	константа специфичная для вещества при данной длине волны



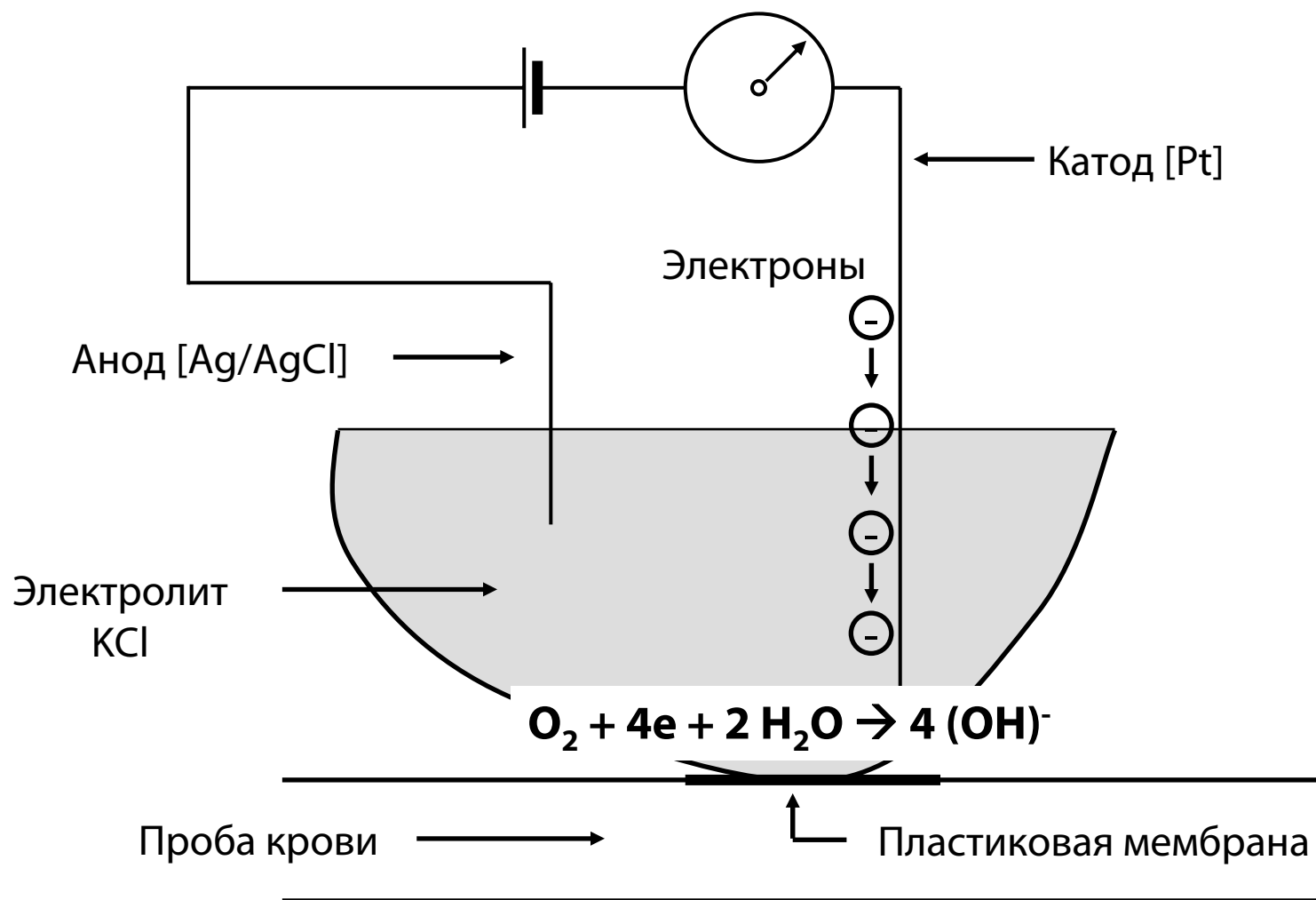
# Пульсоксиметрия



# Вариабельность абсорбции света



# Электрод Кларка (Clark)



# Парамагнитный анализатор

