

Физиология транспорта кислорода

Фурманчук Д.А.

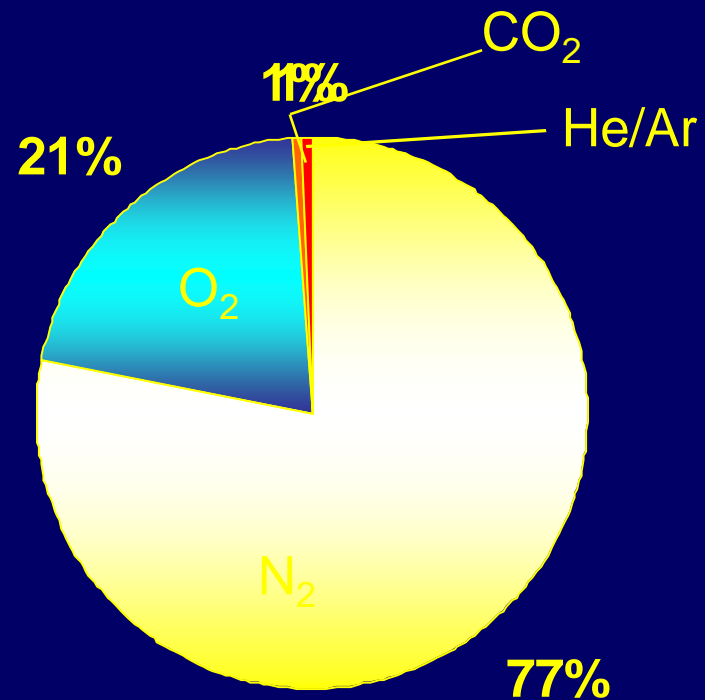
Причины транспорта газов

- Газы перемещаются из области высокой концентрации (давления) в зону низкой концентрации (давления) в соответствии с градиентом давления
- Газообмен это пассивная диффузия обусловленная наличием градиента парциального давления газов по обе стороны альвеоло-капиллярной мембраны
- В отсутствие градиента транспорт газов невозможен

Парциальное давление

- Если в резервуаре имеется смесь газов, то давление каждого газа (парциальное *part* давление) равняется давлению, при котором находился бы газ, будь он в резервуаре один

$$P_{\text{атм}} = P_{\text{бар}} \text{O}_2 + P_{\text{бар}} \text{N}_2 + P_{\text{бар}} \text{CO}_2 + \dots$$



Барометрическое давление O₂

$$P_{\text{bar}} \text{O}_2 = 760 - \frac{79 \times 760}{100} = 159.6 \text{ mmHg}$$

$$\text{FiO}_2 = 0.21$$

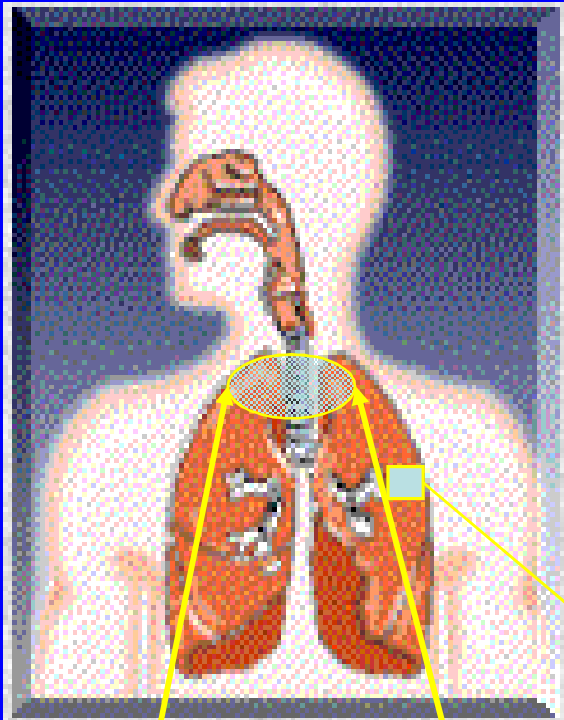
$$P_{\text{bar}} \text{O}_2 = 760 - \frac{50 \times 760}{100} = 380 \text{ mmHg}$$

$$\text{FiO}_2 = 0.5$$

Атмосфера- альвеолы

$$P_{tr}O_2 = P_{bar}O_2 - P_{tr}H_2O = \frac{760-47}{100} \times 21 = 150 \text{ mmHg}$$

$$P_AO_2 = P_{tr}O_2 - P_{alv}CO_2 = 150 - 45 = 105 \text{ mmHg}$$



$P_{tr}H_2O = 47 \text{ mmHg}$

$P_ACO_2 = 35-45 \text{ mmHg}$

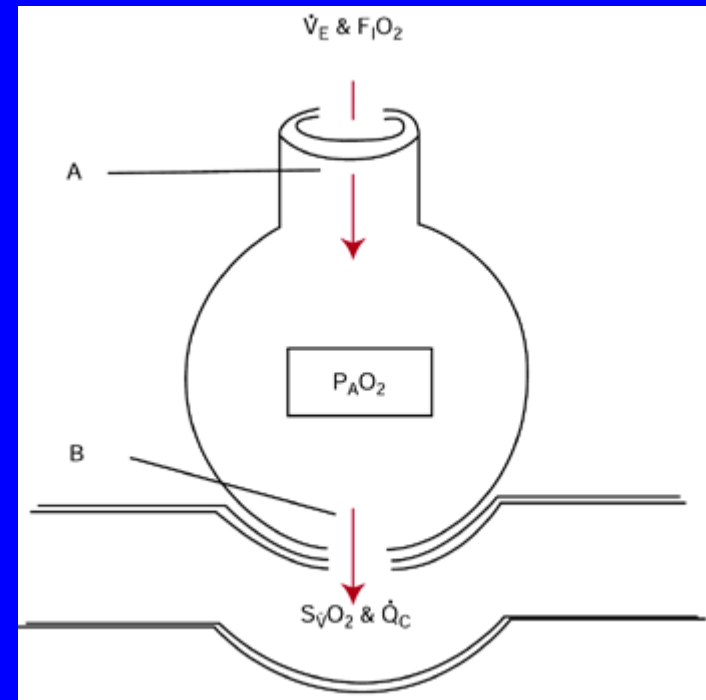
$T^\circ = 37^\circ\text{C}, RH = 100\%$

Значительная гиперкапния ($pCO_2 > 75 \text{ mm Hg}$) быстро приводит к гипоксии за счет снижения $P_{alv}O_2$

$P_{A}O_2$

парциальное давление O_2 в альвеолах ($P_{A}O_2$) зависит от:

- Напряжения O_2 во вдыхаемом воздухе
- Напряжения CO_2 в альвеолах
- Температуры и влажности вдыхаемой смеси



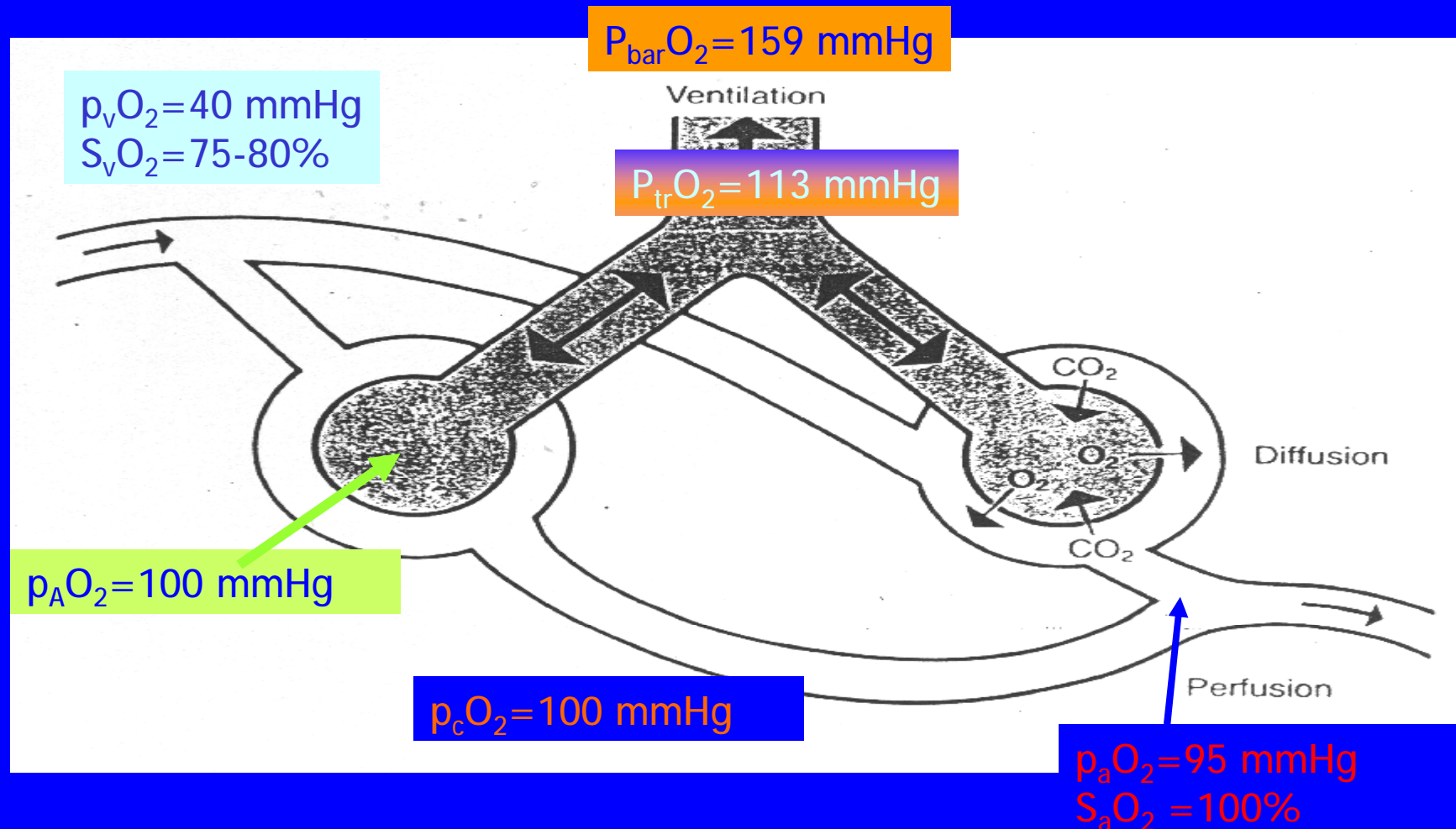
Простой способ посчитать $P_{A}O_2$ в клинических условиях:

$$FiO_2(\%) \times 6 :$$

$$FiO_2 = 0.5 \quad 50\% \times 6 = 300 \text{ ммHg}$$

PaO₂/FiO₂

Газообменная зона



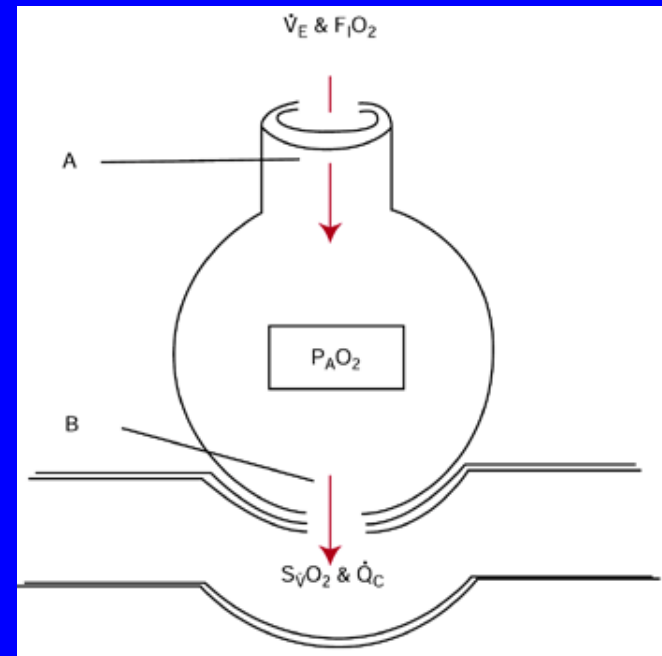
Смешанная венозная кровь

- Истинная смешанная венозная кровь – кровь легочной артерии (**ВПВ+НПВ+коронарное русло**)
- Содержание O_2 в смешанной венозной крови:
 $pvO_2 = 40 \text{ mmHg}$
 $SvO_2 = 72-78\%$

Альвеолокапиллярная мембрана

Альвеоло-капиллярная мембрана

- Толщина 0,4-0,7 мкм
 - Площадь у взрослого 75 - 180 м² (300 млн альвеол)
 - Площадь у ребенка 8 лет 32 м²
 - Площадь у новорожденного 2,8 м² (20 млн альвеол)



- Время капиллярного транзита эритроцита 0,8 сек
- Время насыщения Hb кислородом 0,3 сек

Альвеолярное $p_A O_2$ определяется динамической разницей альвеолярной доставки и Альвеолярной экстракции O₂

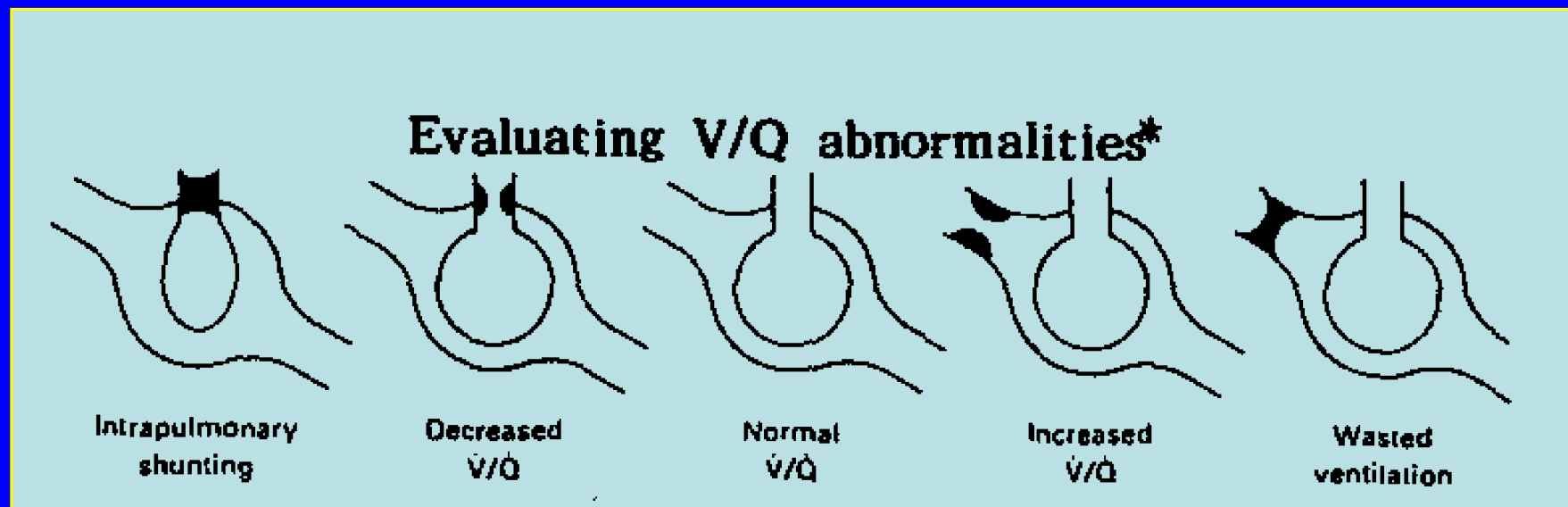
«идеальное легкое»

$$P_{pv}O_2 (P_aO_2) = P_AO_2$$

Три фактора делают P_{O_2} артериальной крови ниже альвеолярного:

- нарушение вентиляционно/перфузионных (V/Q) отношений,
- шунтирование (внутри или внелегочное)
- замедленная диффузия (скорость связывания гемоглобина с O_2)

вентиляционно/перфузионные (V/Q) отношения



Внутрилегочный шунт

Ателектаз

Отек легких

СДР

ОРДС

Сниженное V/Q

Бронхит

Астма

Обструкция ВДП

Увеличенное V/Q

Гиповолемия

Эмфизема

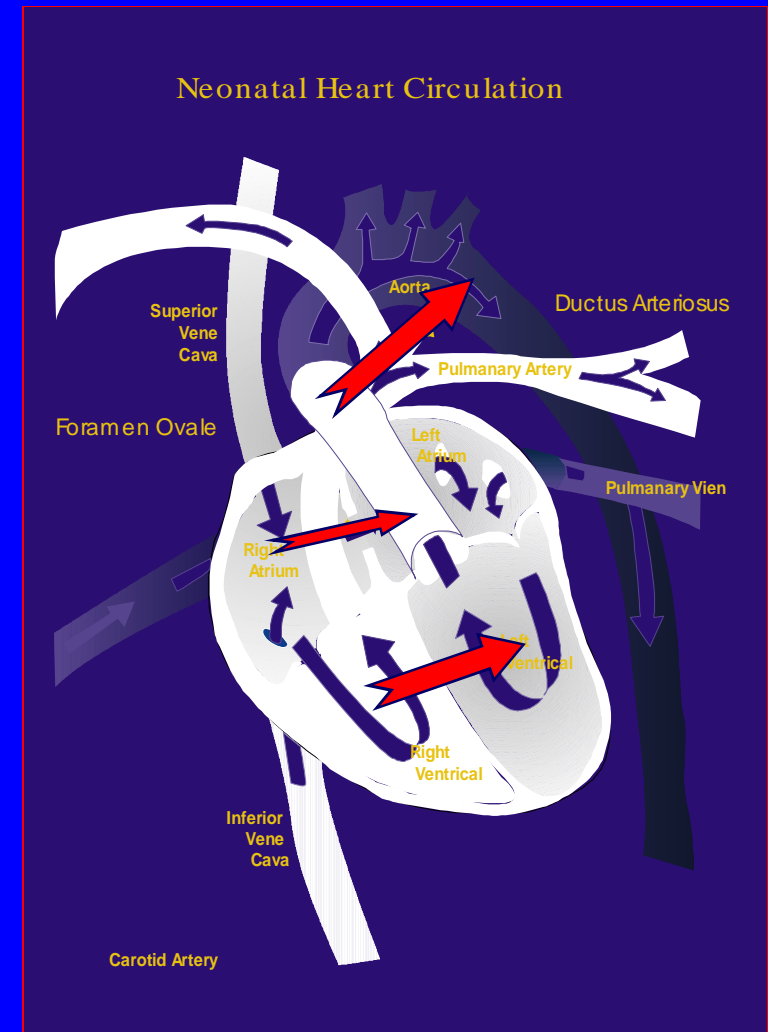
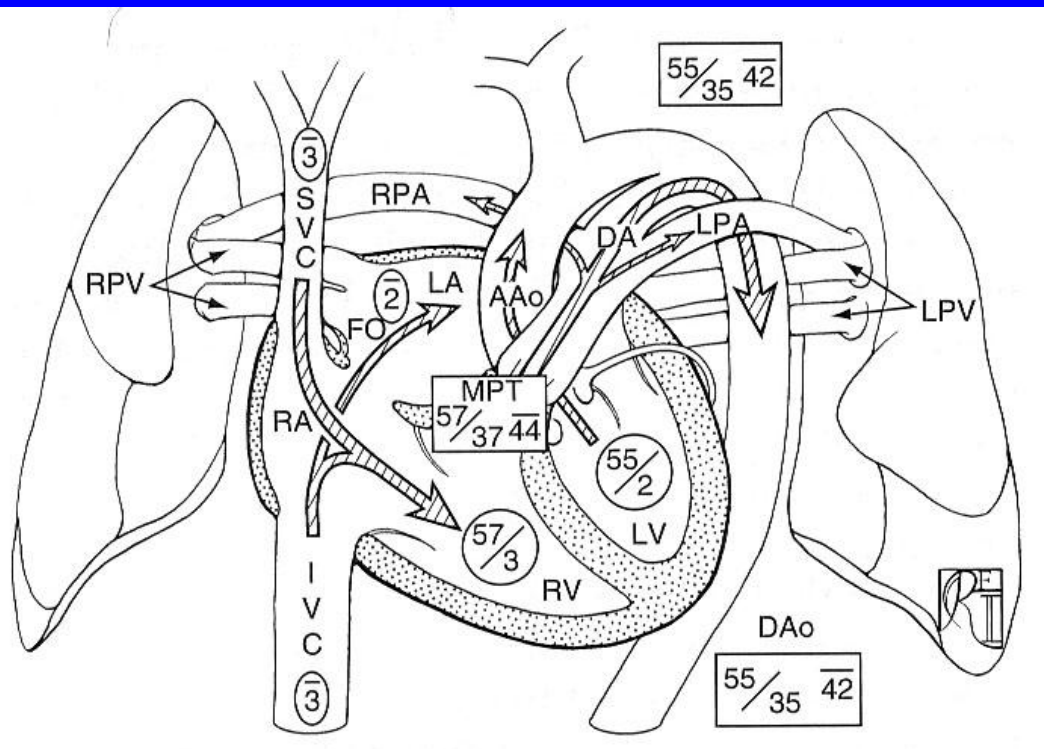
Эмболия

ДВС

Высокое MAP

Альвеолярное МП

Шунтирование внелегочное



Причины внутрилегочного шунтирования

- Ателектазы (коллабированные альвеолы)
- Обструкция дыхательных путей малого калибра
- Отек альвеолярного пространства
- Уменьшение площади АКМ

? Альвеолярная гипоксическая вазоконстрикция ?

- Оксигенация тканей первично зависит от количества мл O_2 доставленных на единицу объема/массы ткани

$$DO_2 = CaO_2 \times C.O. \text{ (мл/мин} \times \text{м}^2\text{)}$$

$$DO_2 = (\text{содержание } O_2, \text{ мл/л}) \times (\text{сердечный выброс, л/мин})$$

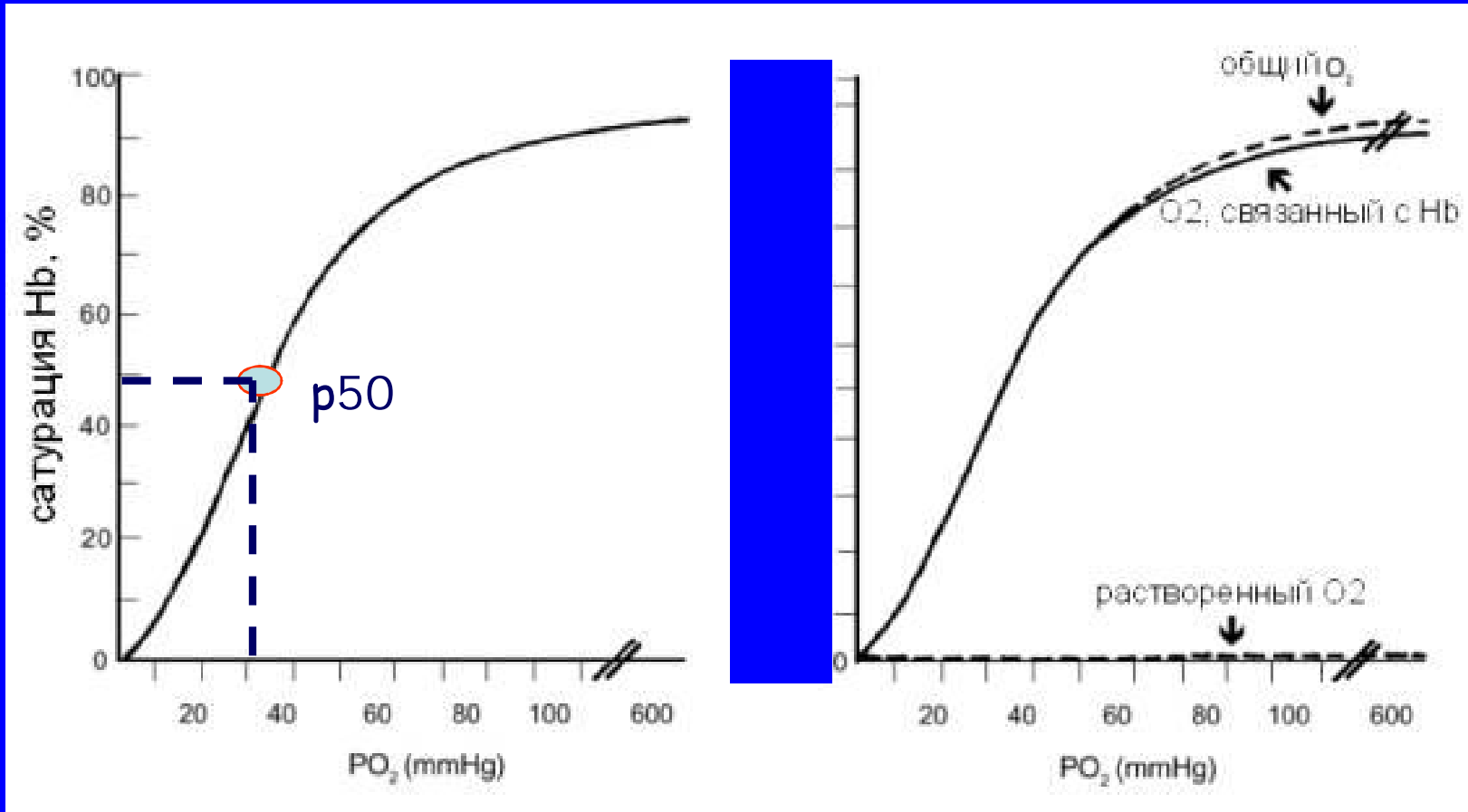
Содержание кислорода

$$CaO_2 = [Hb(\text{г/л}) \times SaO_2 / 100\% \times 1.34] + [p_aO_2 \times 0,003]$$

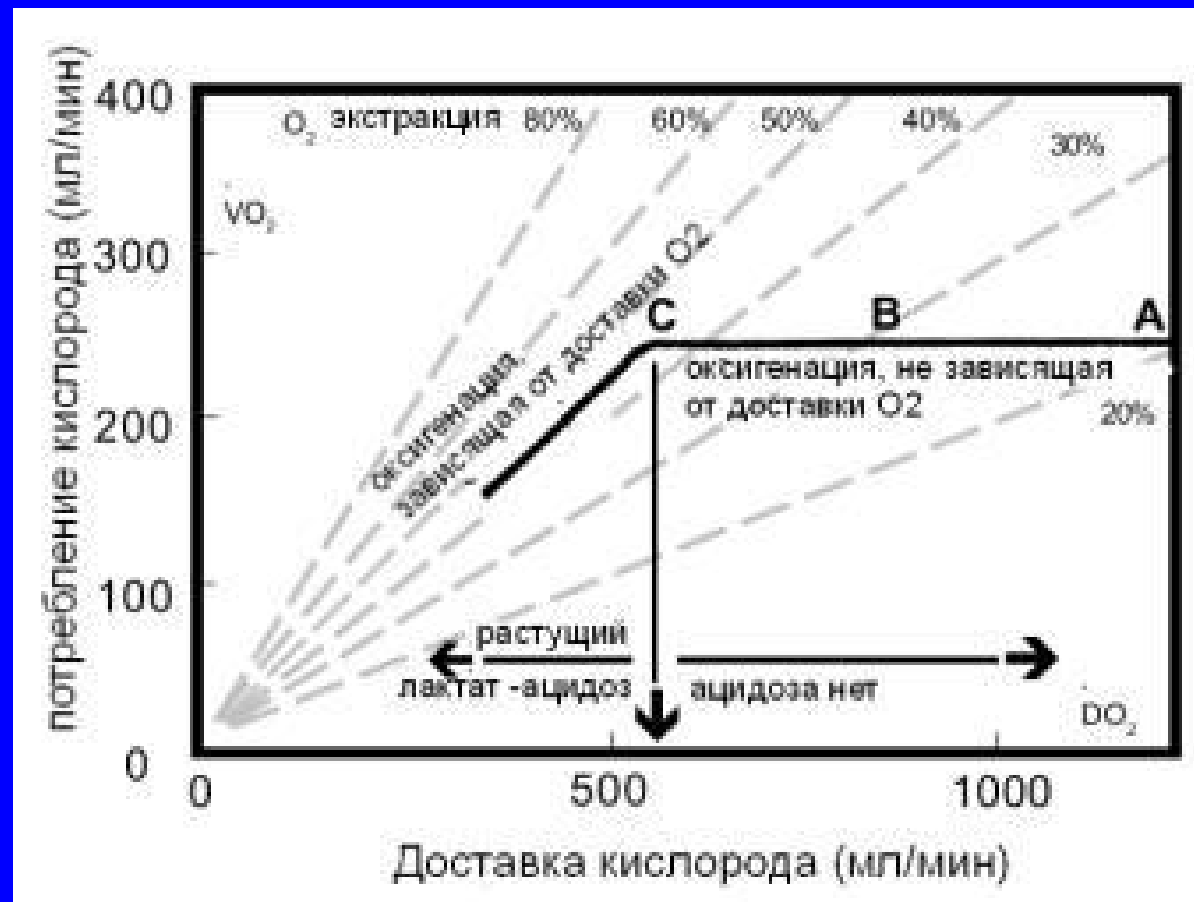
- 1 г полностью насыщенного Hb переносит 1,34 мл кислорода.
[Hb 150г/л \times (100SaO₂/100%) \times 1.34 = 201 мл O₂ /1 л крови]
[Hb 70 г/л \times (94SaO₂/94%) \times 1.34 = 88.2 мл O₂ /1 л крови]
- 0.003 – коэффициент растворимости кислорода, т.е. каждый 1 мл плазмы содержит 0.003 мл O₂ на 1 ммHg p_aO₂ (т.е. 3 мл O₂ на 1 л плазмы)

- Гипоксемия – клинический термин, означающий низкое содержание O_2 в артериальной крови (при нормальном уровне P_v p_aO_2 -ниже 80 ммHg)
- Гипоксия – клинический термин, означающий низкое содержание O_2 в тканях, прямое измерение в обычных условиях невозможно

Кривая диссоциации оксигемоглобина



диссоциация HbO₂ при pH=7,4, PCO₂= 40 ммHg и 37°C.



горизонтальной линией показан лимит, до которого снижение доставки O_2 не вызовет снижение его потребления (оксигенация, не зависящая от доставки) (A-B). Ниже указанного критического значения доставки O_2 потребление становится зависимым от доставки и возникают признаки гипоксии. Положение точки C зависит от значения максимально возможной экстракции кислорода.

Кислородный каскад

Атмосфера
 PO_2 159

Трахея
 PO_2 113

Альвеола
 PO_2 100

Артерия
 PO_2 100

Митохондрия
 PO_2 4-20

Guidelines for Estimating Inspired Oxygen Concentrations With Low-Flow Oxygen Devices

Скорость потока 100% O ₂		FIO ₂
Назальные канюли		
1		0.24
2		0.28
3		0.32
4		0.36
5		0.40
6		0.44
Простая O₂ маска		
5–6		0.40
6–7		0.50
7–8		0.60
Кислородная маска с резервуаром		
6		0.60
7		0.70
8		0.80
9		≥0.80
10		≥0.80