

Механизмы развития дыхательной недостаточности

1. Центральные расстройства дыхания
2. Нарушения работы грудных мехов
3. Обструктивные расстройства дыхания
4. Рестриктивные расстройства дыхания
5. Диффузионные расстройства
6. Вентиляционно-перфузионные нарушения

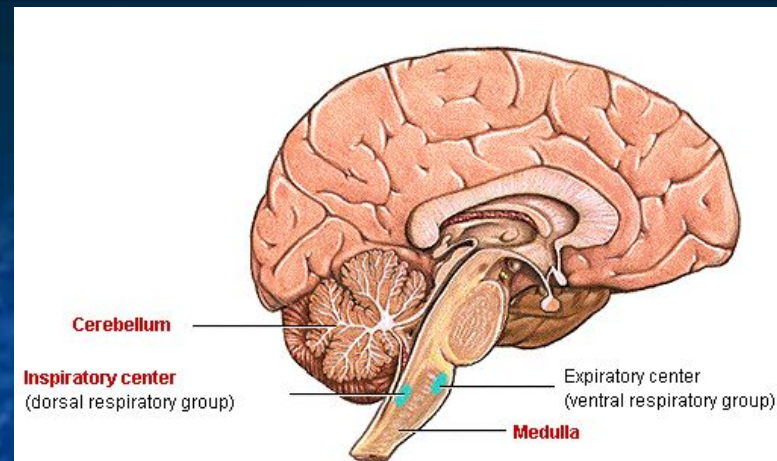
Центральные расстройства дыхания

- Поражения коры ГМ
- Поражение варолиевого моста
- Поражение продолговатого мозга
- Поражение ядер диафрагмальных нервов
- Поражение СМ

Критерии оценки инспираторной активности ЦНС:

P_{100} — 1,5-2 мбара

«Дыхательные центры»



Отдел ЦНС	Группа нейронов	Предполагаемая функция
Кора больших полушарий	—	Произвольная (волевая) модуляция частоты и глубины дыхания
Варолиев мост	Пневмотаксический центр	Регулятор времени вдоха (прерыватель вдоха)
	Центр апноэ	Главный стимулятор вдоха, работающий непрерывно
Продолговатый мозг	Дорсальная дыхательная группа (ДДГ)	Водитель ритма дыхания (запуск очередного вдоха)
	Вентральная дыхательная группа (ВДГ)	Непосредственный регулятор вдоха – выдоха: активен в обеих фазах
Спинной мозг	Инспираторные и экспираторные спинальные мотонейроны	Иннервация дыхательной мускулатуры

Основные группы рецепторов, участвующих в регуляции дыхания

Группа	Расположение	Функция
Центральные хеморецепторы	Продолговатый мозг - дно IV желудочка	Увеличение МОД в ответ на снижение рН и увеличение PCO_2 ликвора (<i>замедленный ответ</i>)
Периферические хеморецепторы	Дуга аорты, каротидные гломусы	Увеличение МОД в ответ на снижение рН и PaO_2 и увеличение $PaCO_2$ (<i>немедленный ответ</i>)
Рецепторы растяжения	Мелкие бронхи и бронхиолы	Прекращение вдоха при увеличении объема легких
J-рецепторы	Юкстакапиллярно в малом <i>круге</i>	Тахипноэ в ответ на растяжение стенки капилляра
Механорецепторы	Дыхательные мышцы и их сухожилия	Дают афферентную информацию о положении и объеме грудной клетки, формируют чувство диспноэ
Рецепторы слизистой	Дыхательные пути	Защитные рефлексы в ответ на неспецифическое раздражение

Физиологическая шкала P_aCO_2

P_aCO_2 мм рт ст	Оценка состояния
0	
10	
20	• Выраженный спазм сосудов мозга
30	• Нижний уровень безопасности по мозговому кровотоку
40	• Средняя норма
50	
60	• Необходимость механической респираторной поддержки
70	
80	• Угнетение сознания («гиперкапническая кома»)
90	
100	
110	
120	
130	
140	• Угнетение дыхания

Типы дыхательных дисритмий

1. **Асинхрония** - пояс перекрытия более 15% от цикла вдоха и выдоха.
2. **Альтернирующее дыхание** – нарушение соотношения I:E, вплоть до выпадения вдоха.
3. **Абдоминальный парадокс** – одновременная активация мышц вдоха и выдоха
 - может быть при рвоте у здоровых людей
 - роды в момент изгнания
 - повреждение СМ на уровне С6- Т2 (травма, гематома, опухоль)Во время вдоха – живот сокращается, на выдохе расслабляется. Чем больше усилий, тем меньше дыхательный объем. На вдохе – килевидный живот, на выдохе – плоский

Стволовые расстройства дыхания сопровождаются угнетением защитных рефлексов!

Двигательные расстройства дыхания

- Асинхрония работы мышц-антагонистов
- Ограничения расширения грудной клетки (*нарушение каркасности грудной клетки, тораксы, боль*)
- Паралич диафрагмы (*поражения на уровне продолговатого мозга, диафрагмальных моторных ядер, демиелинизирующие процессы периферических нервов, нервно-мышечных синапсов, поражение мышц*)
- Синдром абдоминальной компрессии
- Мышечный каскад

Обструктивные расстройства :

внутригрудная и внегрудная обструкция ДП

- нарушение пассажа газа по дыхательным путям
- высокая кислородная цена дыхания

1. Изменение диаметра дыхательных путей

- Нервная (АХ, α , β -адренорецепторы) и гуморальная регуляция тонуса гладких мышц бронхов
- отек слизистой бронхов (воспаление)
- Слизистая дыхательных путей – объем и кровенаполнение сосудов бронхиального круга кровообращения (анастомозы между бронхиальными и легочными артериями);

* СЕС – эрекция бронхов

2. Нарушения эвакуации мокроты

- Мукоцилиарный клиренс.
- Нарушение кашлевого механизма

3. Высокая объемная скорость потока, ЭЗДП

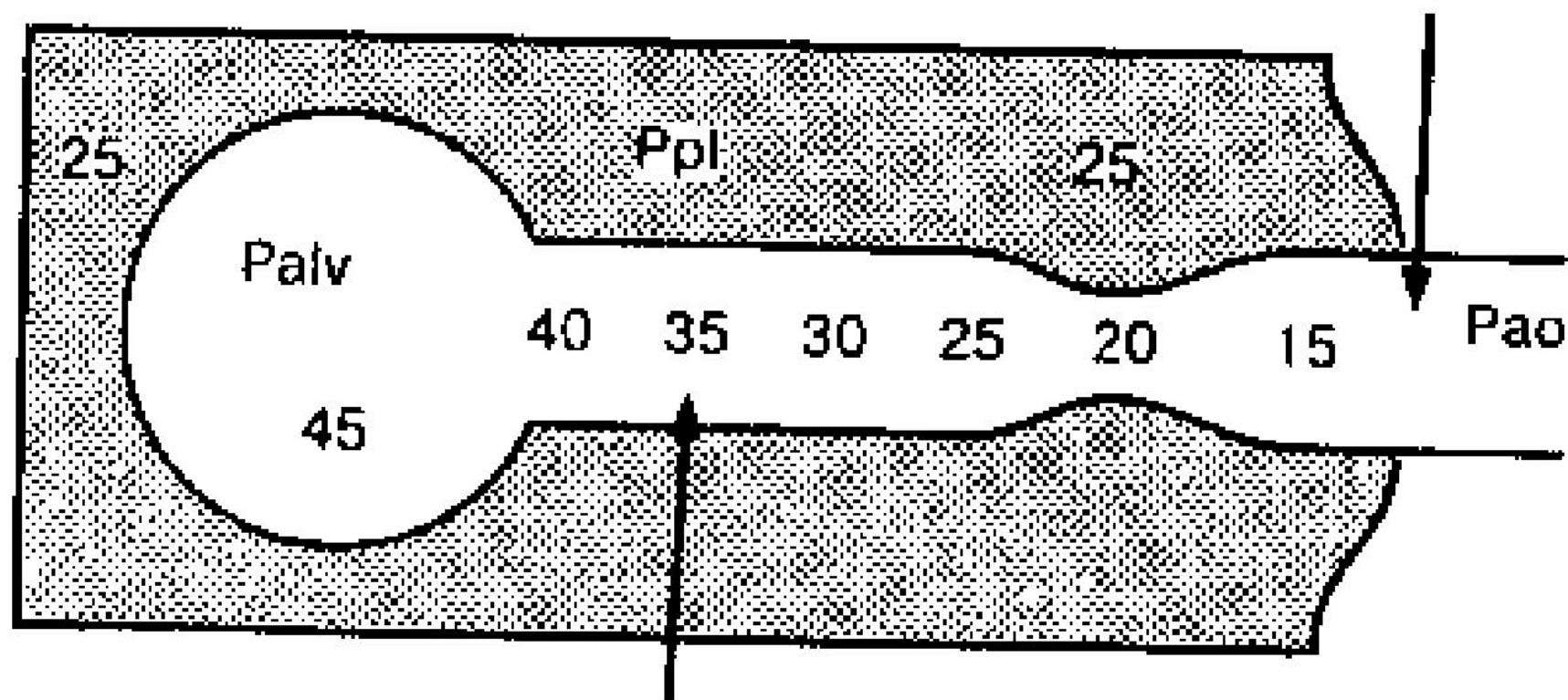
4. Тип потока

5. Перегибы контура

Течение газа в трахеобронхиальном дереве

Порядок деления i	Число ветвей n	Диаметр ветви d , см	Средняя объемная скорость $\dot{V}$, см ³ /с	Средняя линейная скорость V , см/с	Величина критерия Re
0	1	1,800	1000,0000	393,0	4715,7
1	2	1,220	500,0000	427,7	3478,8
2	4	0,830	250,0000	462,1	2556,7
3	8	0,560	125,0000	507,5	1894,7
4	16	0,450	62,5000	393,0	1178,9
5	32	0,350	31,2500	324,8	757,9
6	64	0,280	15,6250	253,8	473,7
7	128	0,230	7,8125	188,0	288,3
8	256	0,186	3,9063	143,8	178,3
9	512	0,154	1,9531	104,9	107,7
10	1 024	0,130	0,9766	73,6	63,8
11	2 048	0,109	0,4883	52,3	38,0
12	4 096	0,095	0,2441	34,4	21,8
13	8 192	0,082	0,1221	23,1	12,6
14	16 384	0,074	0,0610	14,2	7,0
15	32 768	0,066	0,0305	8,9	3,9
16	65 536	0,060	0,0153	5,4	2,2
17	131 072	0,054	0,0076	3,3	1,2
18	262 144	0,050	0,0038	1,9	0,6
19	524 288	0,047	0,0019	1,1	0,3
20	1 048 576	0,045	0,0010	0,6	0,2
21	2 097 152	0,043	0,0005	0,3	0,1
22	4 194 304	0,041	0,0002	0,2	0,0
23	8 388 608	0,041	0,0001	0,1	0,0

Сегмент ниже коллабируемого участка трубки



Сегмент выше коллабируемого участка трубки

Вязкости газов при атмосферном давлении и температуре 0°C.

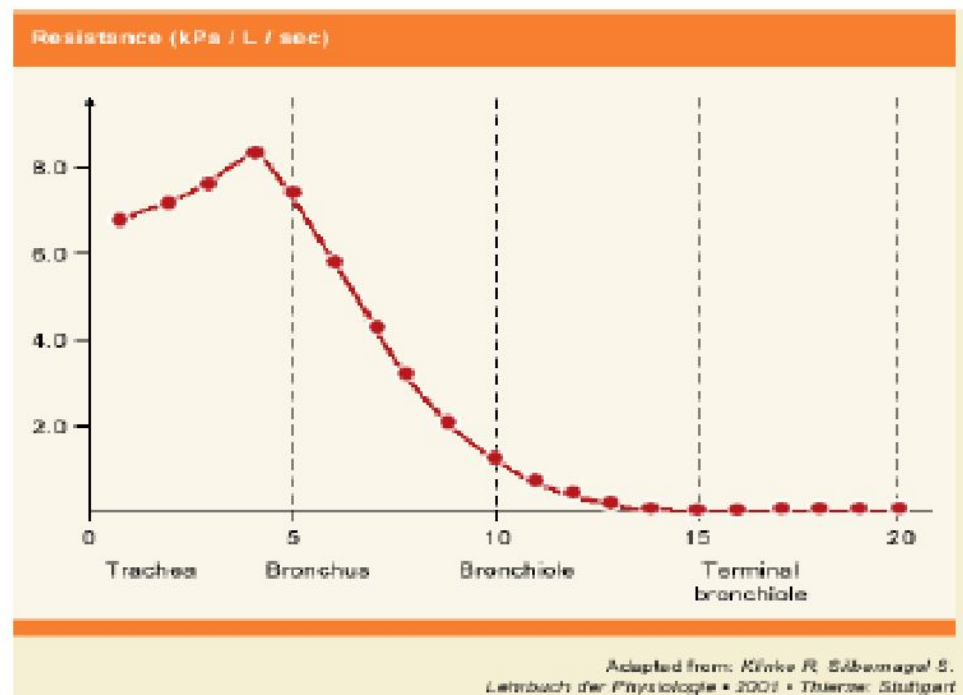
■ Азот	$16.7 \cdot 10^{-6}$
■ Аммиак	$9.3 \cdot 10^{-6}$
■ Водород	$8.4 \cdot 10^{-6}$
■ <u>Воздух (без CO₂)</u>	<u>$17.2 \cdot 10^{-6}$</u>
■ <u>Гелий</u>	<u>$18.9 \cdot 10^{-6}$</u>
■ Оксид (закись) азота N ₂ O	$13.8 \cdot 10^{-6}$
■ Кислород	$19.2 \cdot 10^{-6}$
■ Окись азота NO	$17.2 \cdot 10^{-6}$
■ Окись углерода CO	$16.7 \cdot 10^{-6}$
■ Углекислый газ CO ₂	$14.0 \cdot 10^{-6}$

Плотности газов при атмосферном давлении и температуре 0°C.

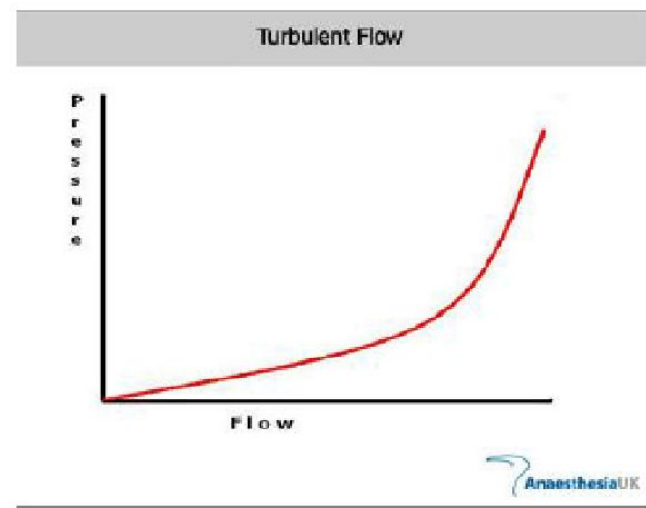
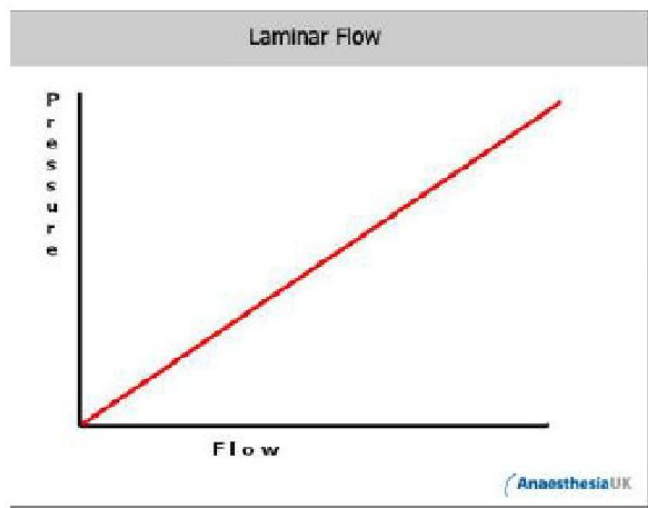
Единицы измерения плотности (ρ) – (1 г/л = 1 кг/м³)

- Азот 1.2505
- Воздух 1.2928
- Кислород 1.42904
- Гелий 0.1785

По мере уменьшения диаметра бронхов, сопротивление потоку увеличивается (Пуазейль). Но наибольшее падение давления происходит до уровня бронхов 7-го поколения (их количественный перевес). Важно: поздний диагноз ХОЗЛ из-за преимущественного поражения мелких бронхиол (20% общего сопротивления)



Ламинарный поток всегда эффективнее турбулентного – прямая пропорциональность ($Q \sim P_1 - P_2$) для ламинарного; $Q \sim \sqrt{P_1 - P_2}$ – для турбулентного. Для достижения такой-же скорости, при турбулентном потоке давление следует увеличить в 4 раза!



Рестриктивные расстройства дыхания

- нарушение раскрытия легких
- высокая кислородная цена дыхания

- **Легочный комплайнс** – растяжимость легких (*мл/мбар*)
 - оптимальная воздухонаполненность
 - кровенаполнение
 - степень гидратации легких
 - ПН
 - эластический каркас (*соотношение коллагена к эластину*)
- **Внелегочные механизмы** –
 - в/плевральное давление (*тораксы*)
 - рост в/брюшного давления (*САК*)
 - податливость грудной клетки (*анкилозирующий спондилит, циркулярные ожоги грудной клетки, карсеты*)

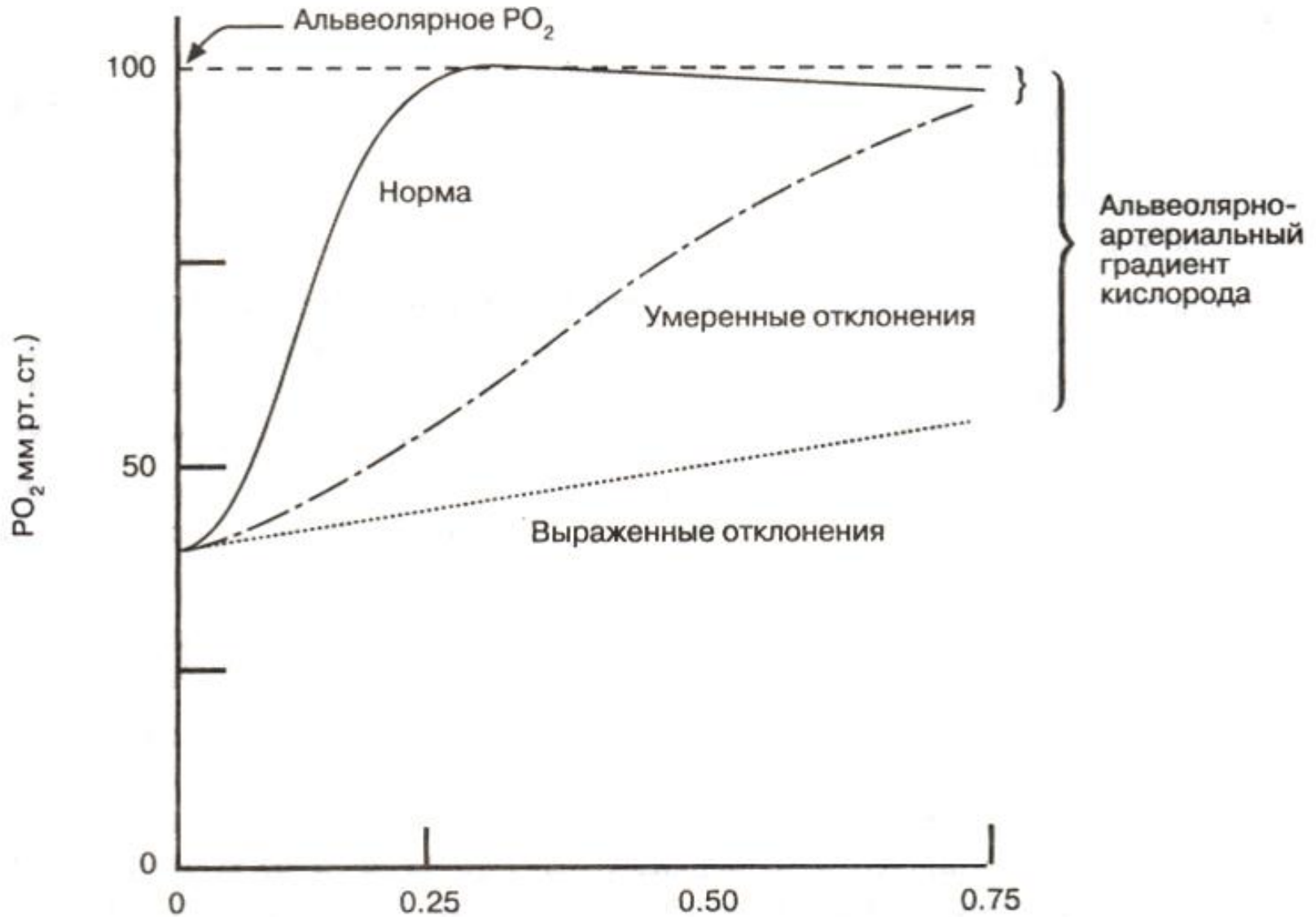


Диффузионные расстройства

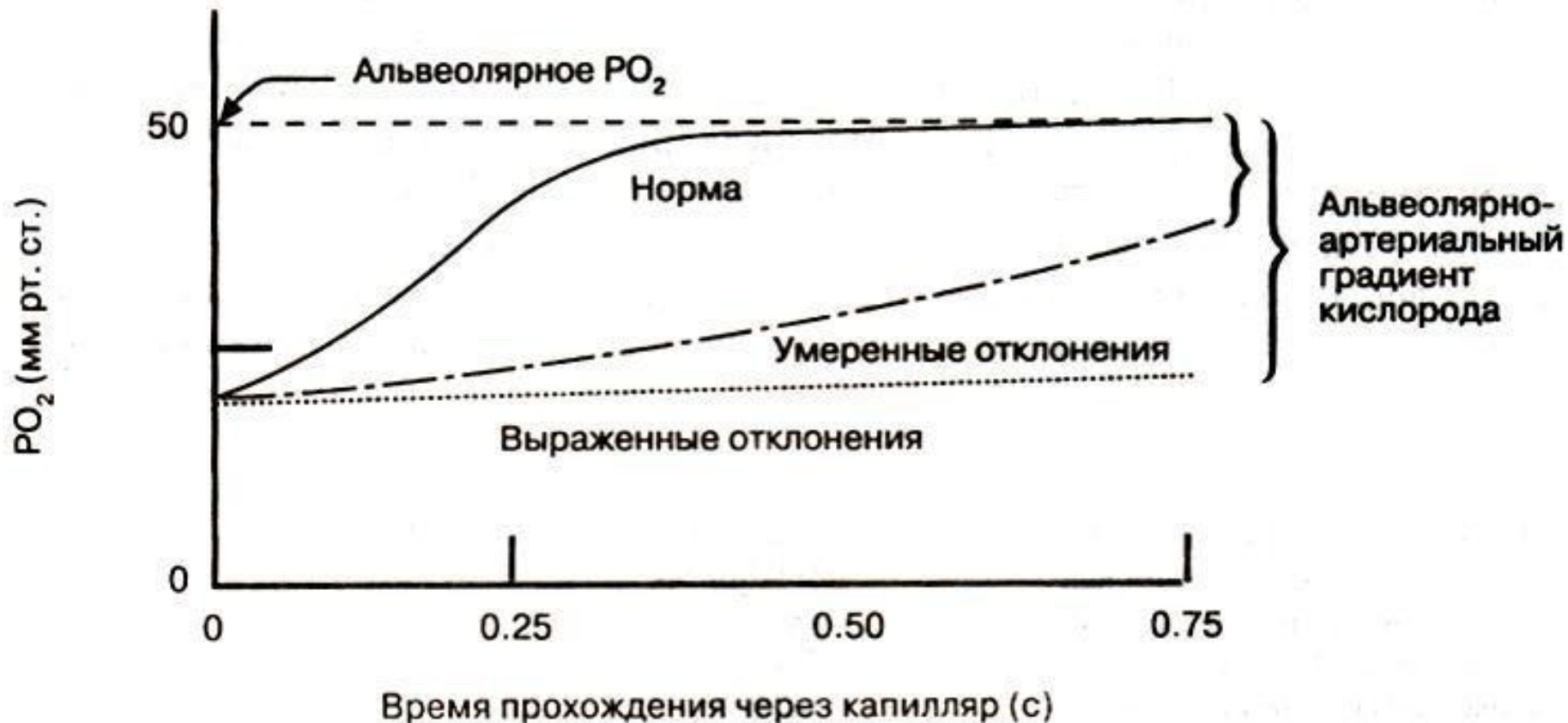
- снижение проницаемости кислорода для АКМ

- **Уменьшение эффективной площади диффузии** (зависит от объема ФМП, ФОЕ)
 - **Утолщение АКМ** (гиалиноз, фиброз, белковый отек)
 - **Снижение градиента pO_2 по обе стороны АКМ**
 - **Повышение скорости кровотока** (диффузия кислорода ограничена перфузией → ограничение диффузией)
 - **Уменьшение скорости реакции с гемоглобином** (особенности гемоглобина, смещение КДОГ вправо).
 - нарушение выработки сурфактанта (который препятствует отечности АКМ, облегчает диффузию O_2 , снижает ПН и увеличивает площадь диффузии)
- ! При FiO_2 более 40% начинается окисление сурфактанта
При FiO_2 более 60-70% происходит химический ожог альвеолоцитов I и II типов

Диффузия по ходу легочного капилляра



Диффузия по ходу легочного капилляра при альвеолярной гипоксии



Диффузия CO_2 по ходу легочного капилляра



Диффузионная способность легких (D_L) для O_2 и CO_2

- $DLO_2 = 25-30$ мл O_2 на 1 мм рт. ст./мин
- $DLCO_2 = 600$ мл CO_2 на 1 мм рт. ст./мин

Функциональная остаточная емкость (ФОЕ, FRC)

- Количественное выражение «антиателектатического потенциала» легких

Снижают ФОЕ:

Возраст

Положение на спине

Анестезия

Торако- и лапаротомия

Пневмофиброз

Отек легких

Ожирение

САК

Аномалии грудной клетки

Сниженный тонус мышц

Повышают ФОЕ:

Повышение внутригрудного давления – СРАР, ПДКВ

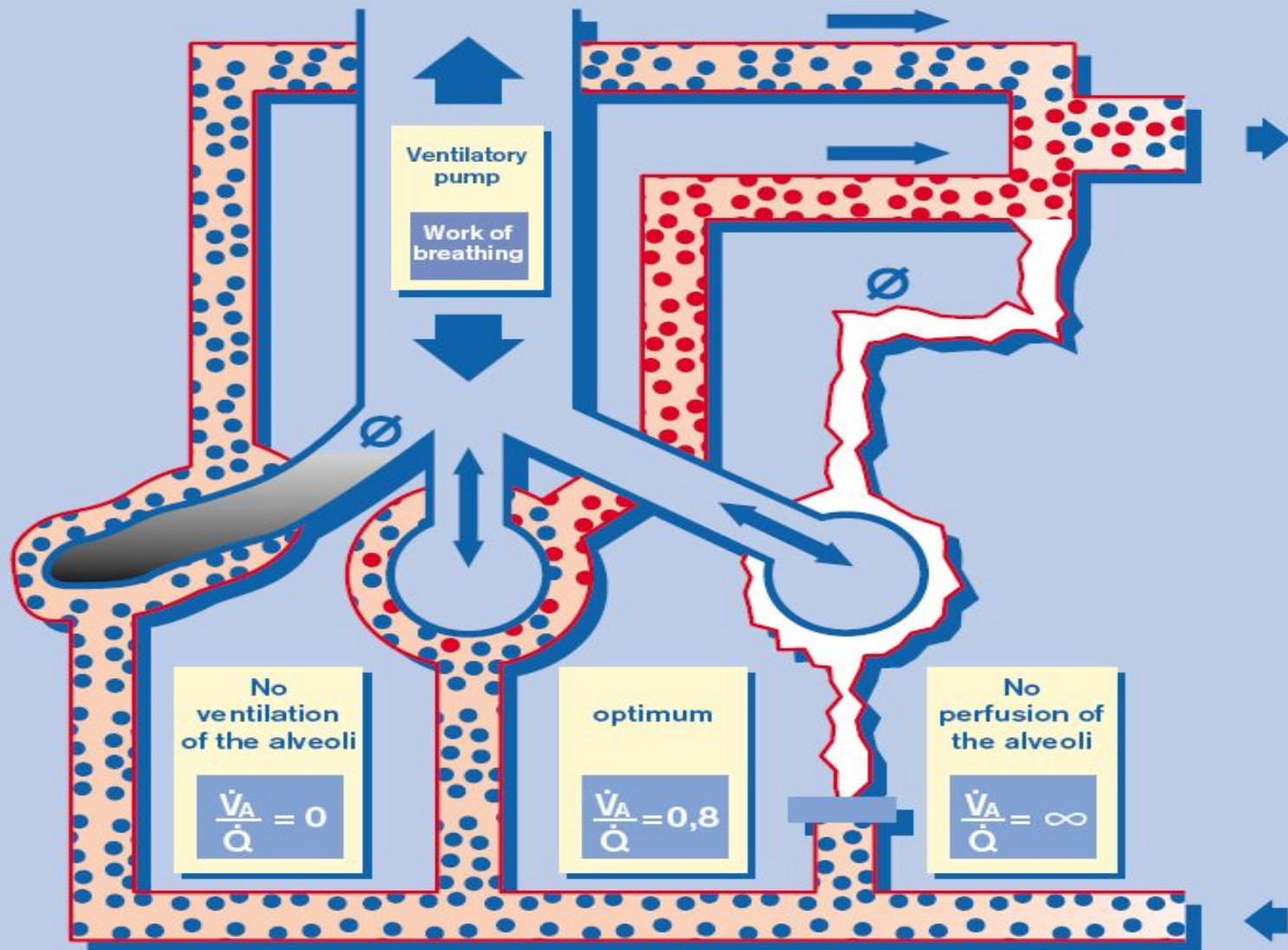
Эмфизема

Бронхиальная астма

Вентиляционно-перфузионные расстройства

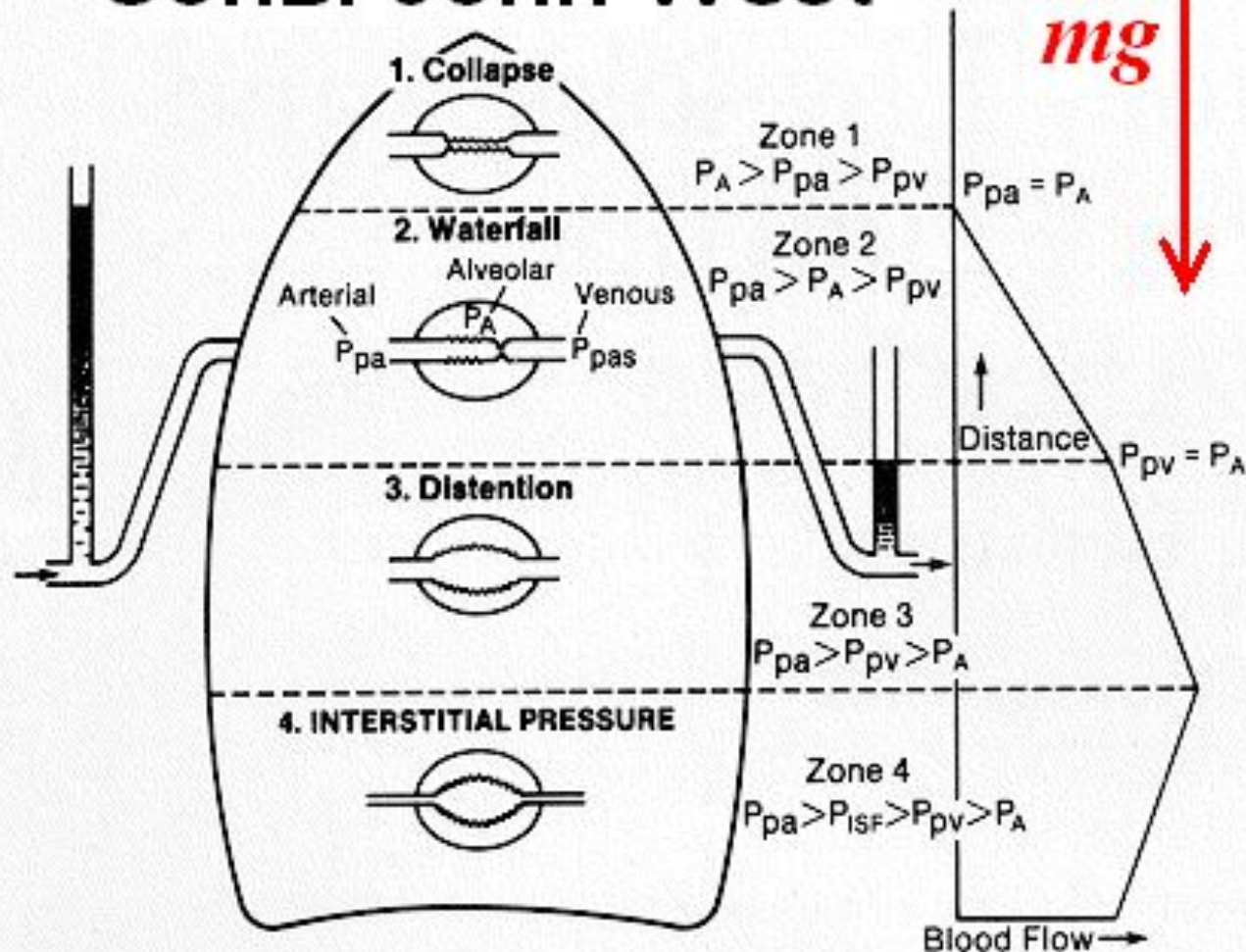
- Альвеолярное мертвое пространство (альвеолярный шунт)
- Сосудистый шунт

КОМПОНЕНТЫ ВНУТРИЛЁГОЧНОГО ГАЗООБМЕНА



V/Q: норма и патология

Зоны John West



Зона 1 – геморрагический шок,
ИВЛ, особенно их сочетание =
мёртвое пространство.

Зона 3 – шунт.

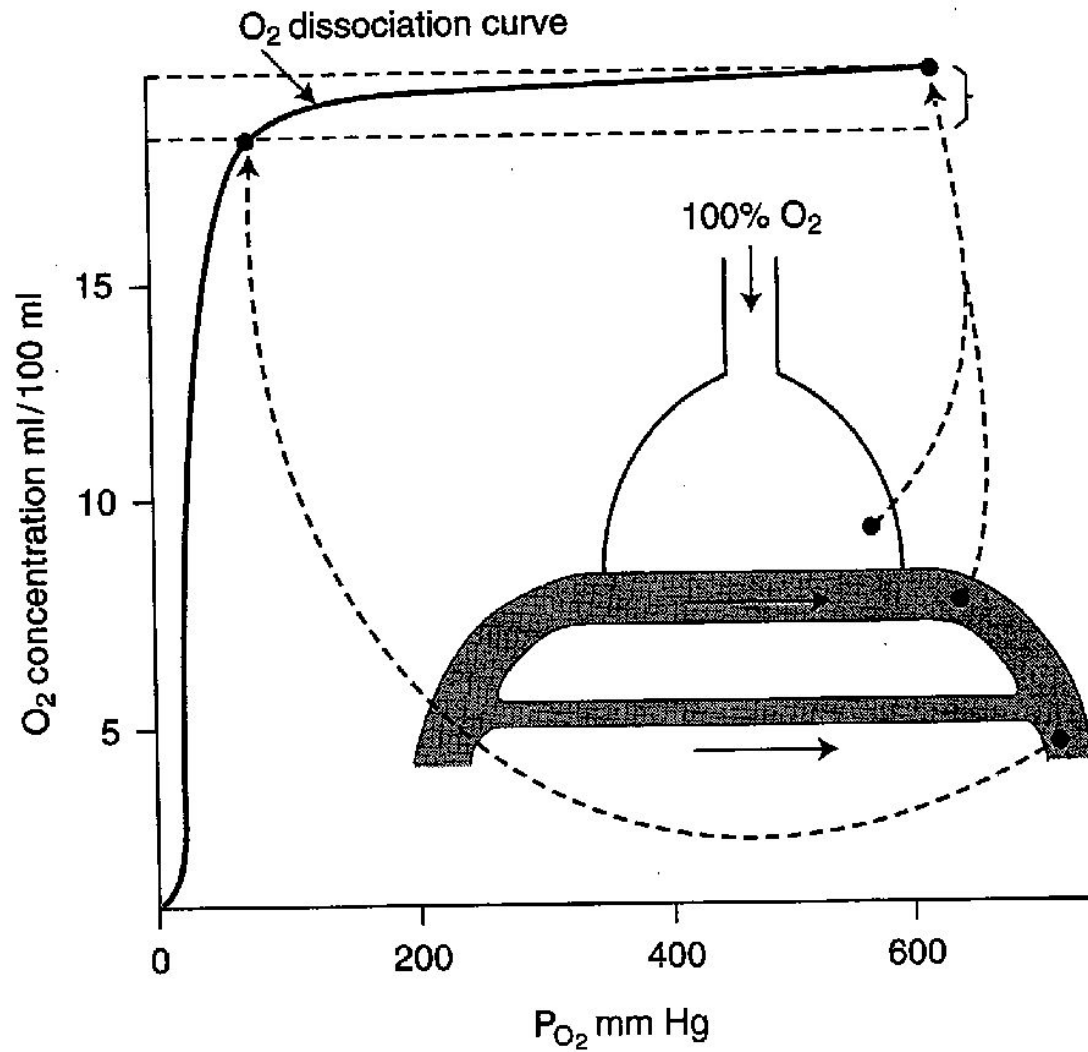
Нарушение вентиляции

- Дыхание гипоксической смесью
- Ателектазы, коллапс легкого
- Обструкция дренирующего бронха
(объемное образование, пена, кровь, сгусток, секрет, экссудат, транссудат)
- Компрессия и др причины ограничения расправления альвеол
- Пенделлюфт

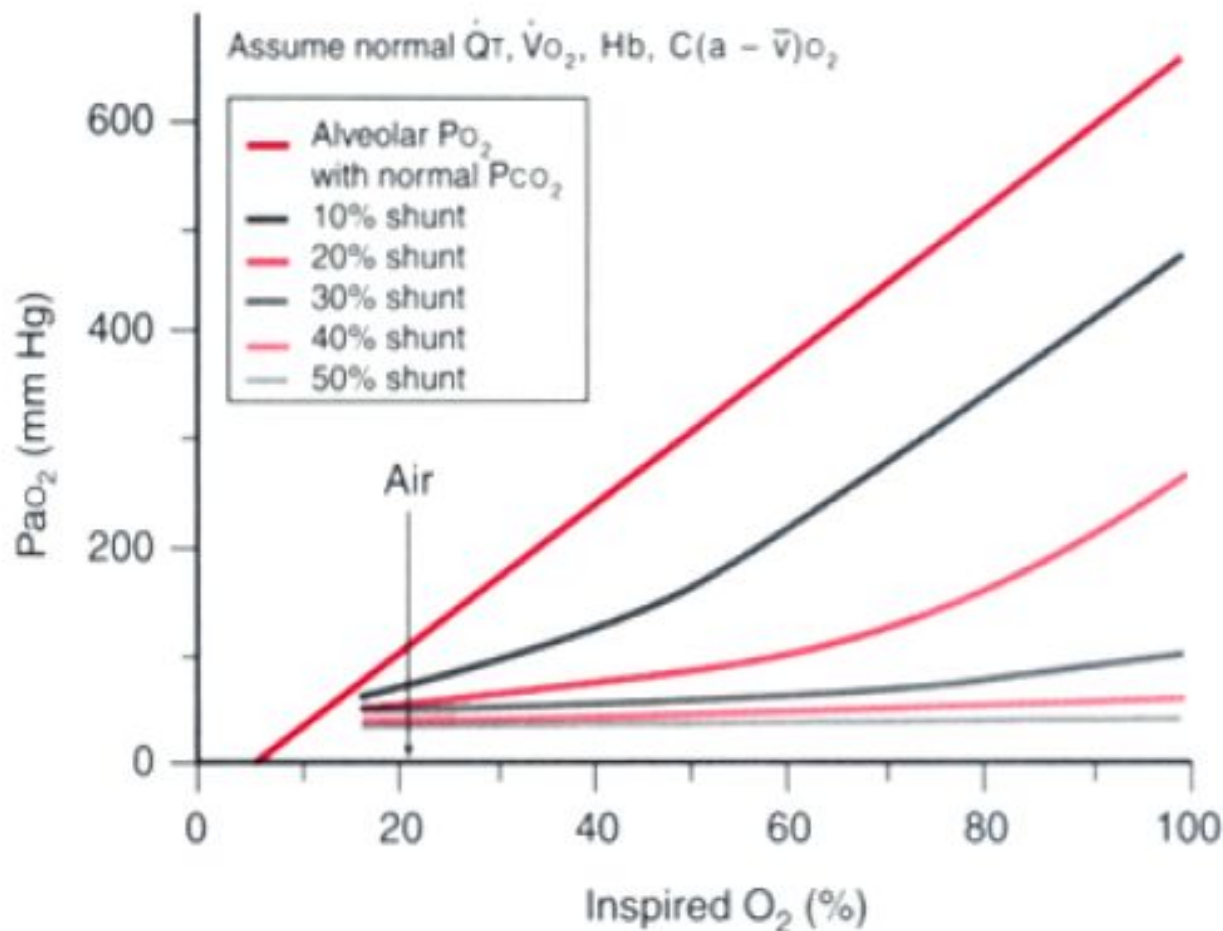
Нарушения легочной перфузии

- Эмболии системы ЛА
- Правожелудочковая недостаточность
- Гиповолемия
- Регионарная компрессия легочных капилляров
(увеличение зон 1 West)
- Гипоксия - мощный стимул легочной вазоконстрикции (в противоположность сосудорасширяющему действию гипоксии в большом круге кровообращения)
- Гиперкапния и ацидоз вызывают легочную вазоконстрикцию, а гипокапния - вазодилатацию

ШУНТ



Влияние FiO2 на оксигенацию при различных фракциях шунта

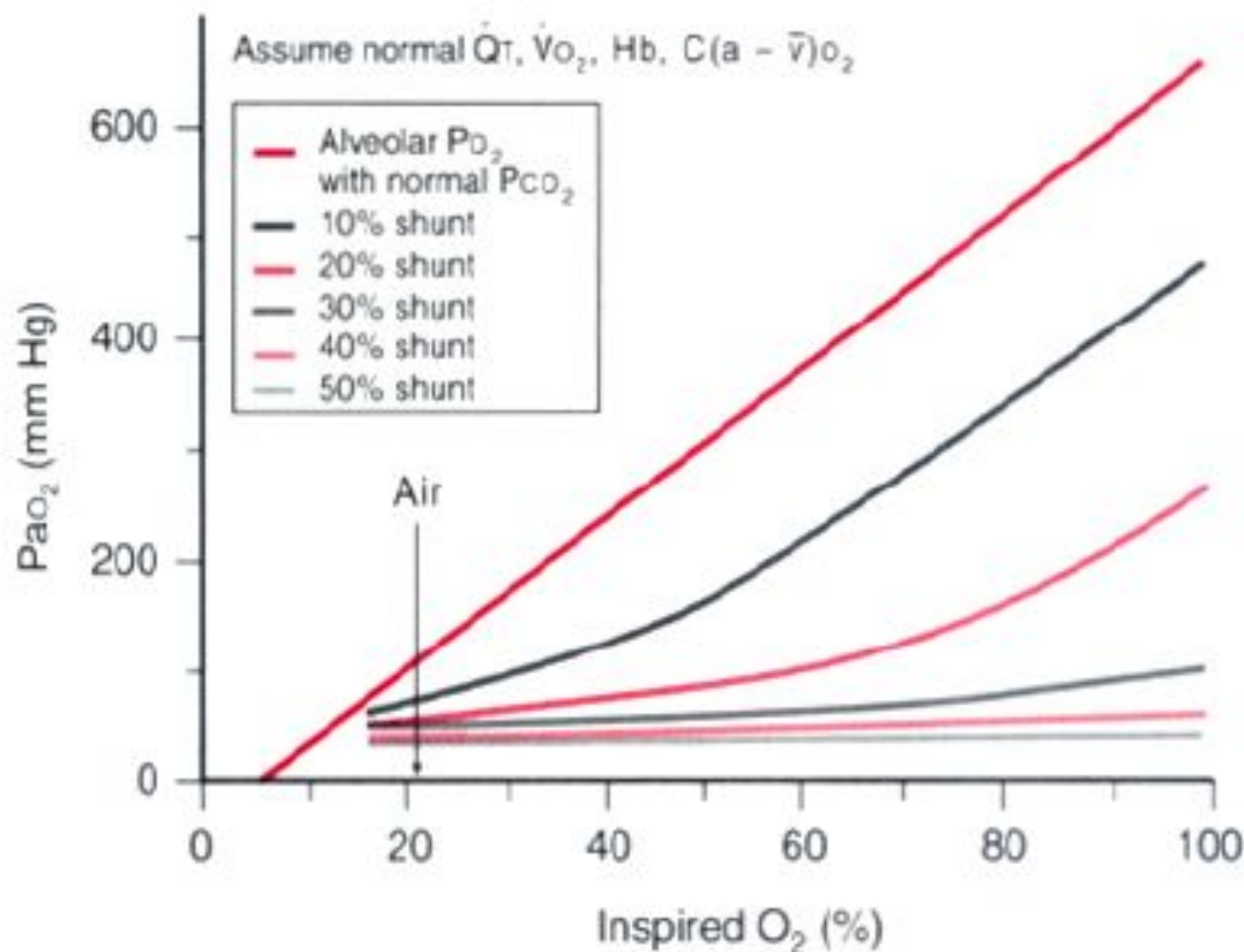


Расчет венозного шунта

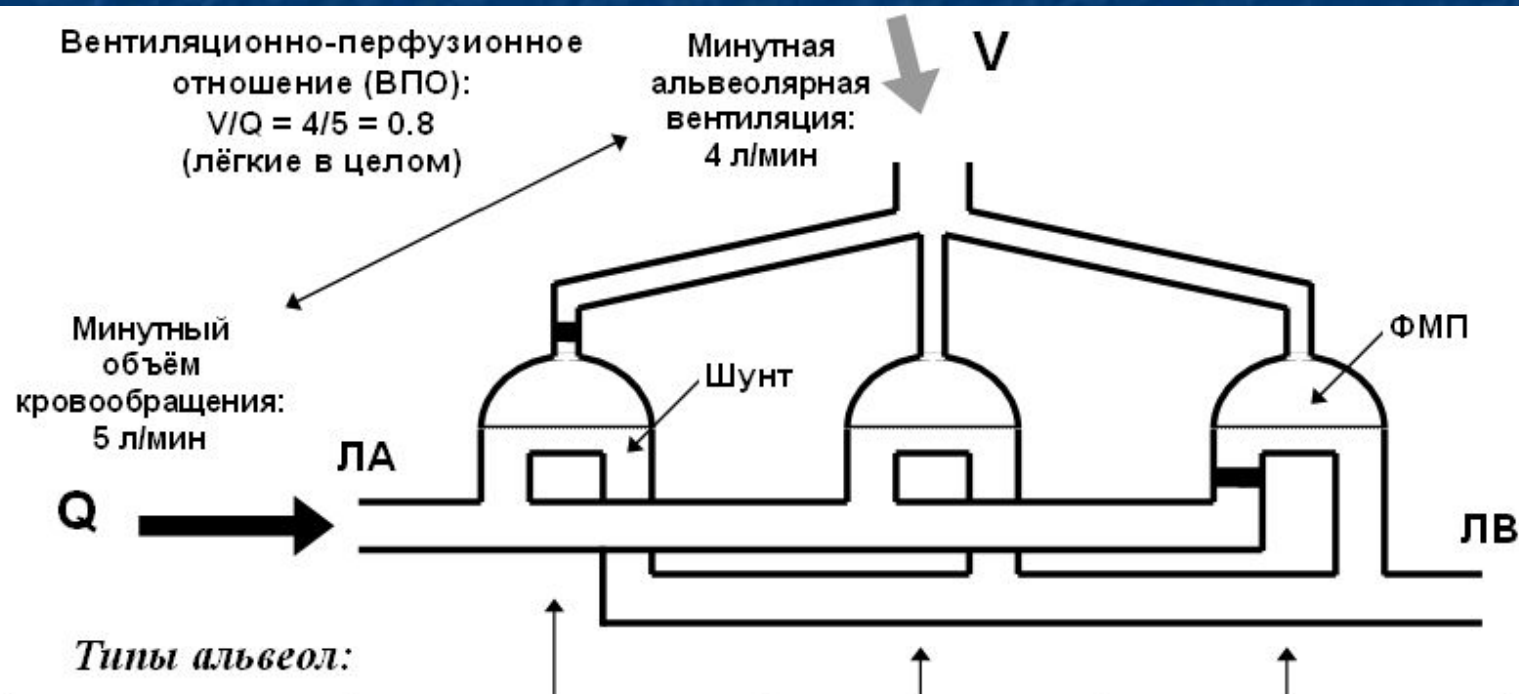
$$\frac{Q_s}{Q_T} = \frac{CcO_2 - CaO_2}{CcO_2 - CvO_2},$$

$$CcO_2 = 0,39 \times Hb + 0,03 \times PaCO_2,$$

Влияние FiO2 на оксигенацию при различных фракциях шунта



V/Q: норма и патология



ВПО →	Перфузируется, но не вентилируется: <i>ШУНТ</i>	НОРМА: $V/Q \approx 0,8$	Вентилируется, но не перфузируется: <i>ФИЗИОЛОГИЧЕСКОЕ МЁРТВОЕ ПРОСТРАНСТВО</i>
PAO_2	40 торр	100 торр	100 торр
$PACO_2$	46 торр	40 торр	около 0
Кровь на выходе	Венозная	Артериальная	Нет

Механизмы поддержания

V/Q

1. Феномен von Euler–Liljestrand (1946): ↓ вентиляции → вазоконстрикция
2. Феномен Severinghouse–Swenson (1961): ↓ перфузии → бронхоспазм
3. Механическое сопряжение стенок сосудов и бронхов
4. Коллатеральная вентиляция:
 - поры Cohn (альвеола ↔ альвеола)
 - каналы Martin (бронхиола ↔ бронихола)
 - каналы Lambert (бронхиола ↔ альвеола)
5. Влияние кровотока на выработку сурфактанта
6. Однонаправленное действие большинства БАВ на бронхи и сосуды
7. Гравитация (J.West): кровоток больше внизу, где лучше вентиляция

*Из-за действия этих механизмов
режимы кровотока и вентиляции
в альвеолах с неоптимальными ВПО
НЕУСТОЙЧИВЫ !*

ИНДЕКС ОКСИГЕНАЦИИ

$PaO_2/FiO_2 < 300$

**ОСТРОЕ ЛЁГОЧНОЕ
ПОВРЕЖДЕНИЕ**

$PaO_2/FiO_2 < 200$

**ОСТРЫЙ РЕСПИРАТОРНЫЙ
ДИСТРЕСС СИНДРОМ**