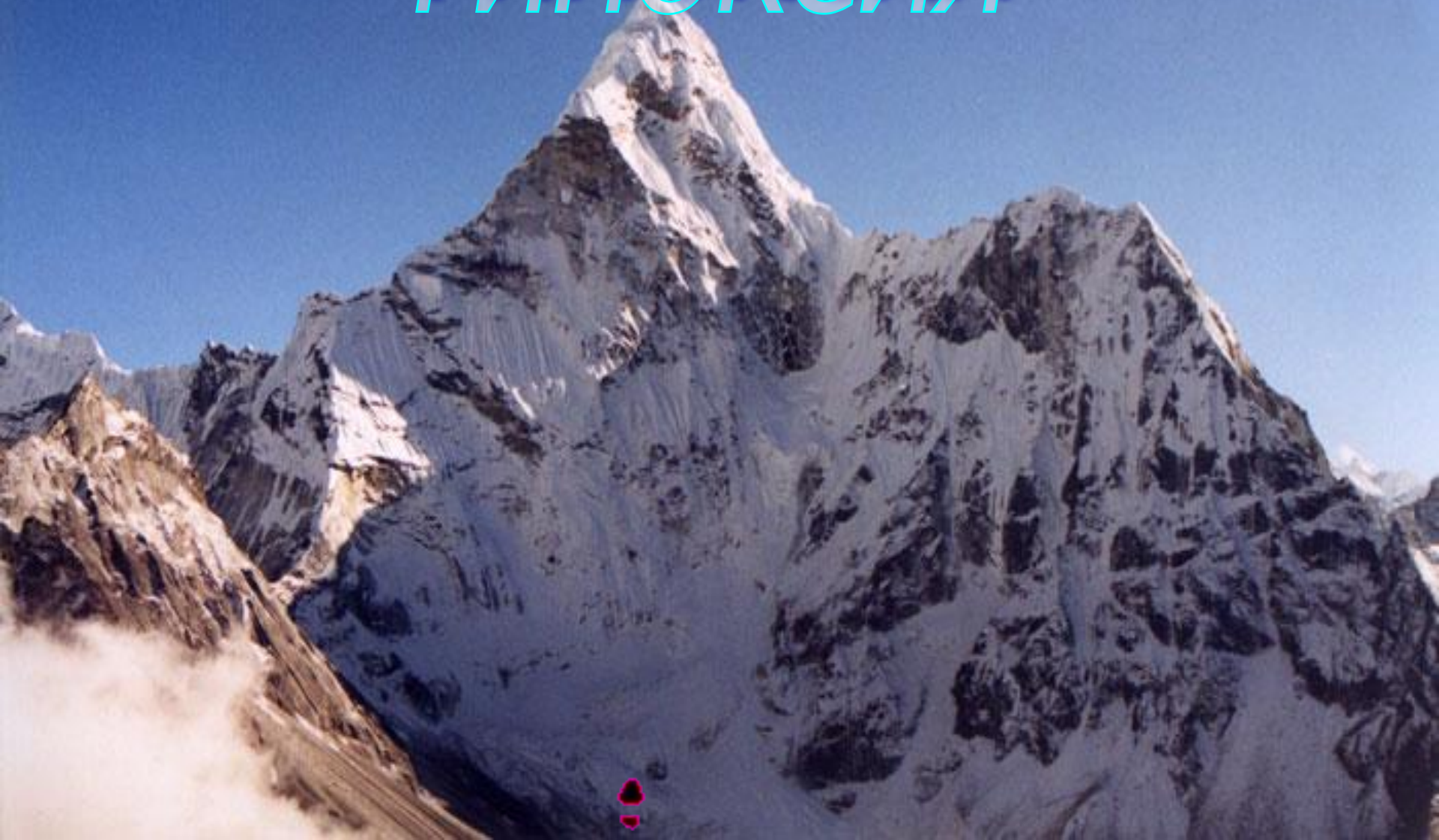


# ГИПОКСИЯ



## ***План***

1. Определение понятия «Гипоксия».
2. Классификация гипоксий.
3. Характеристика различных видов гипоксий (причины, патогенез, показатели газового состава крови).
4. Срочные и долговременные механизмы адаптации при гипоксии.
5. Изменения в органах и системах при гипоксии.



# ГИПОКСИЯ

(греч. *hypo* – под ниже + англ. *oxidation* – окисление)

- \* **Типовой патологический процесс.**
- \* **Развивается в результате недостаточности биологического окисления.**
- \* **Обуславливает нарушение энергетического обеспечения функций и пластических процессов в организме.**



# ГИПОКСЕМИЯ

(греч. *hupo* – под ниже + лат. *oxy* (*oxygenium*) – кислород  
+ греч. *haima* - кровь)

**\* Снижение, по сравнению с должным, уровня напряжения и содержания кислорода в крови.**

## Обозначения и нормативные величины дыхательной функции крови.

$P_{\text{атм.}} O_2$  - парциальное давление кислорода в атмосферном воздухе 150-160 мм рт.ст.

$P_A O_2$  - парциальное давление кислорода в альвеолярном пространстве 100-110 мм рт.ст.

$P_a O_2$  - напряжение кислорода, растворённого в плазме артериальной крови 85-100 мм рт.ст.

$P_v O_2$  - напряжение кислорода, растворённого в плазме венозной крови 35-40 мм рт.ст.

$S_aO_2$  –насыщение гемоглобина кислородом в артериальной крови 96-98%

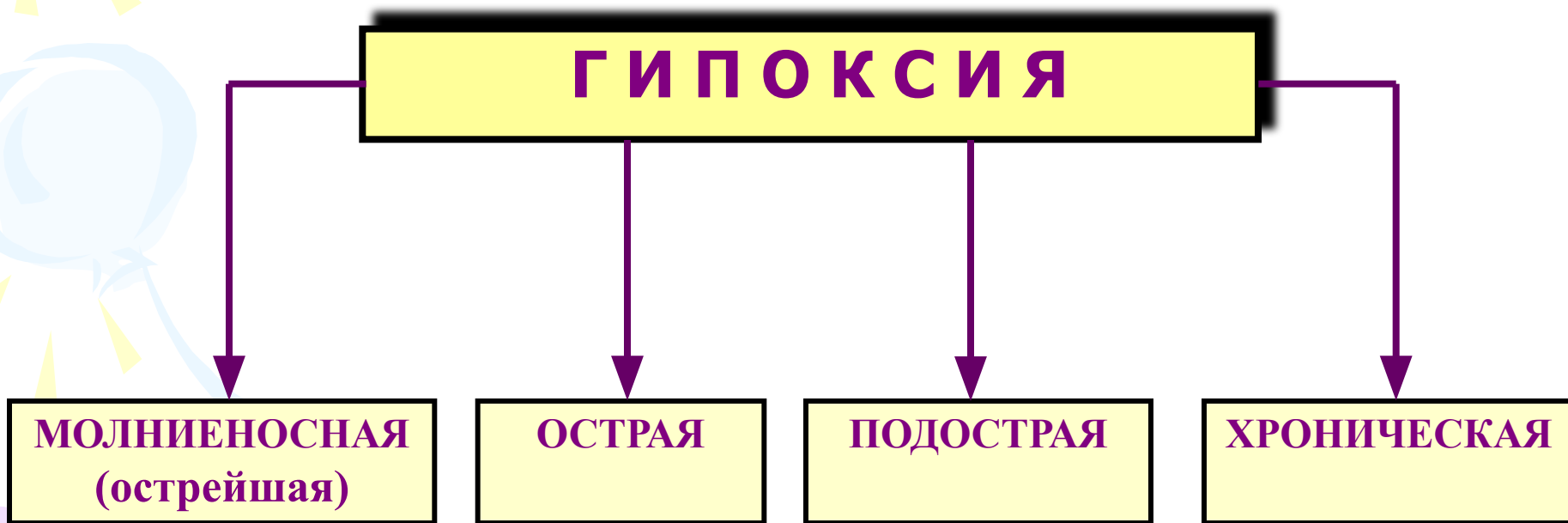
$S_vO_2$  –насыщение гемоглобина кислородом в венозной крови 58-62%

$V_aO_2$  –объёмное содержание кислорода в артериальной крови 19-20 об%

$V_vO_2$  –объёмное содержание кислорода в венозной крови 12-15 об%

$P_aCO_2$  –напряжение двуокиси углерода  $CO_2$  в плазме артериальной крови 35-45мм рт.ст.

# ВИДЫ ГИПОКСИИ ПО СКОРОСТИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ И ДЛИТЕЛЬНОСТИ ТЕЧЕНИЯ





# **По распространённости гипоксического состояния**

а) местная (локальная);

б) общая (генерализованная).



# ВИДЫ ГИПОКСИИ ПО ВЫРАЖЕННОСТИ РАССТРОЙСТВ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОРГАНИЗМА

**ГИПОКСИЯ**

```
graph TD; A[ГИПОКСИЯ] --> B[ЛЕГКАЯ]; A --> C[СРЕДНЕЙ ТЯЖЕСТИ (умеренная)]; A --> D[ТЯЖЕЛАЯ]; A --> E["КРИТИЧЕСКАЯ" (летальная)];
```

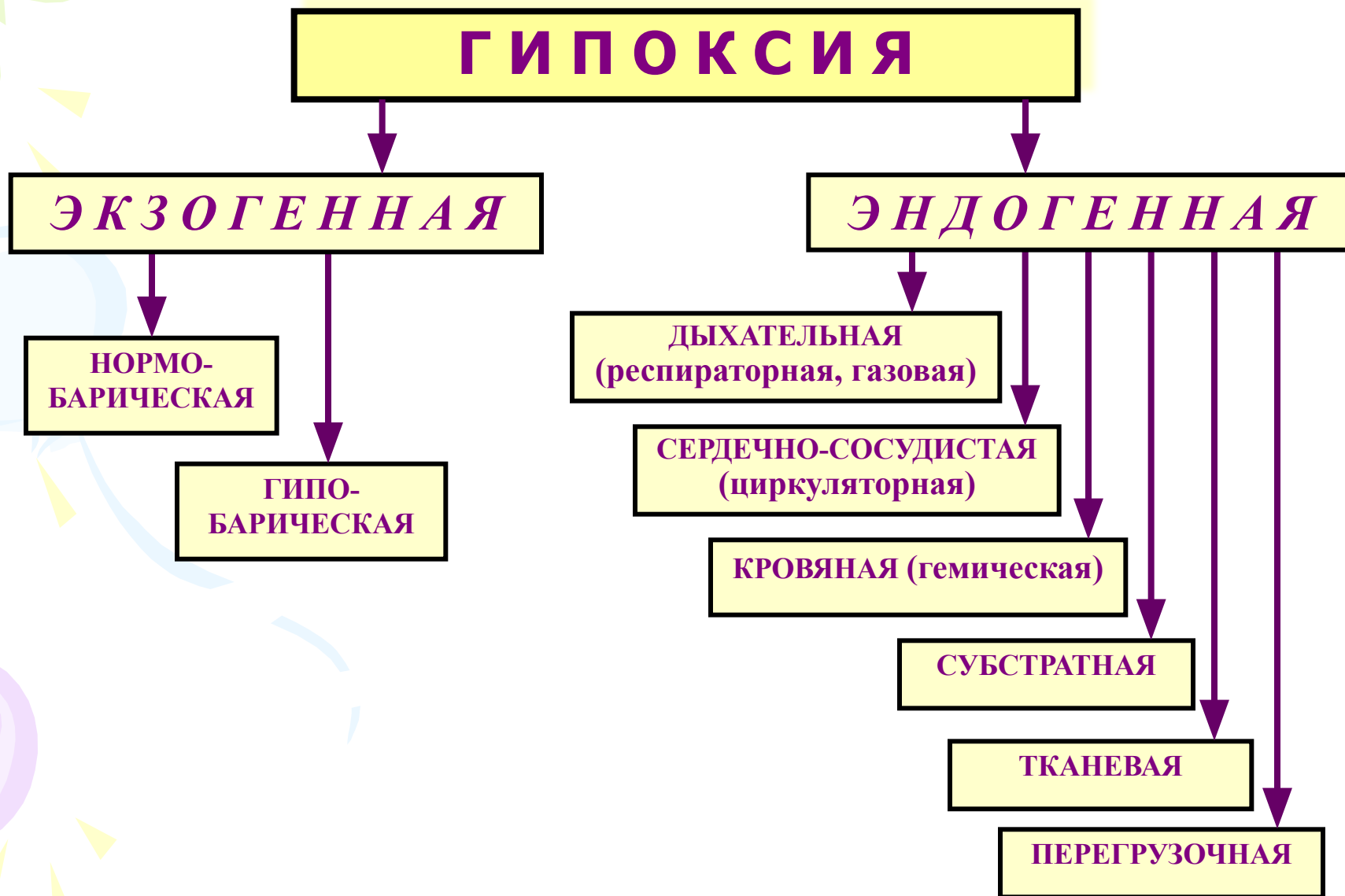
**ЛЕГКАЯ**

**СРЕДНЕЙ ТЯЖЕСТИ**  
(умеренная)

**ТЯЖЕЛАЯ**

**“КРИТИЧЕСКАЯ”**  
(летальная)

# ТИПЫ ГИПОКСИИ ПО ЭТИОЛОГИИ



# ***Внутриутробная гипоксия плода***

1. Заболевания ССС матери.
2. tbc, хроническая дыхательная недостаточность матери.
3. Травмы плаценты, нарушения плацентарного кровообращения (отслойка плаценты).
4. Токсикозы беременности.
5. Инфекционные и вирусные заболевания матери в период беременности.
6. Аномалии развития ССС плода (пороки сердца и сосудов).
7. Rh-конфликт.

# ЭКЗОГЕННАЯ ГИПОКСИЯ

причина:  $\downarrow pO_2$  в воздухе

*НОРМОБАРИЧЕСКАЯ:*  
 $\downarrow pO_2$ , норма  $P_{atm}$

*ГИПОБАРИЧЕСКАЯ:*  
 $\downarrow P_{atm}$ ,  $\downarrow pO_2$

## П Р И М Е Р Ы:

\* замкнутое пространство

\* нарушение регенерации воздуха

\* гиповентиляция при ИВЛ

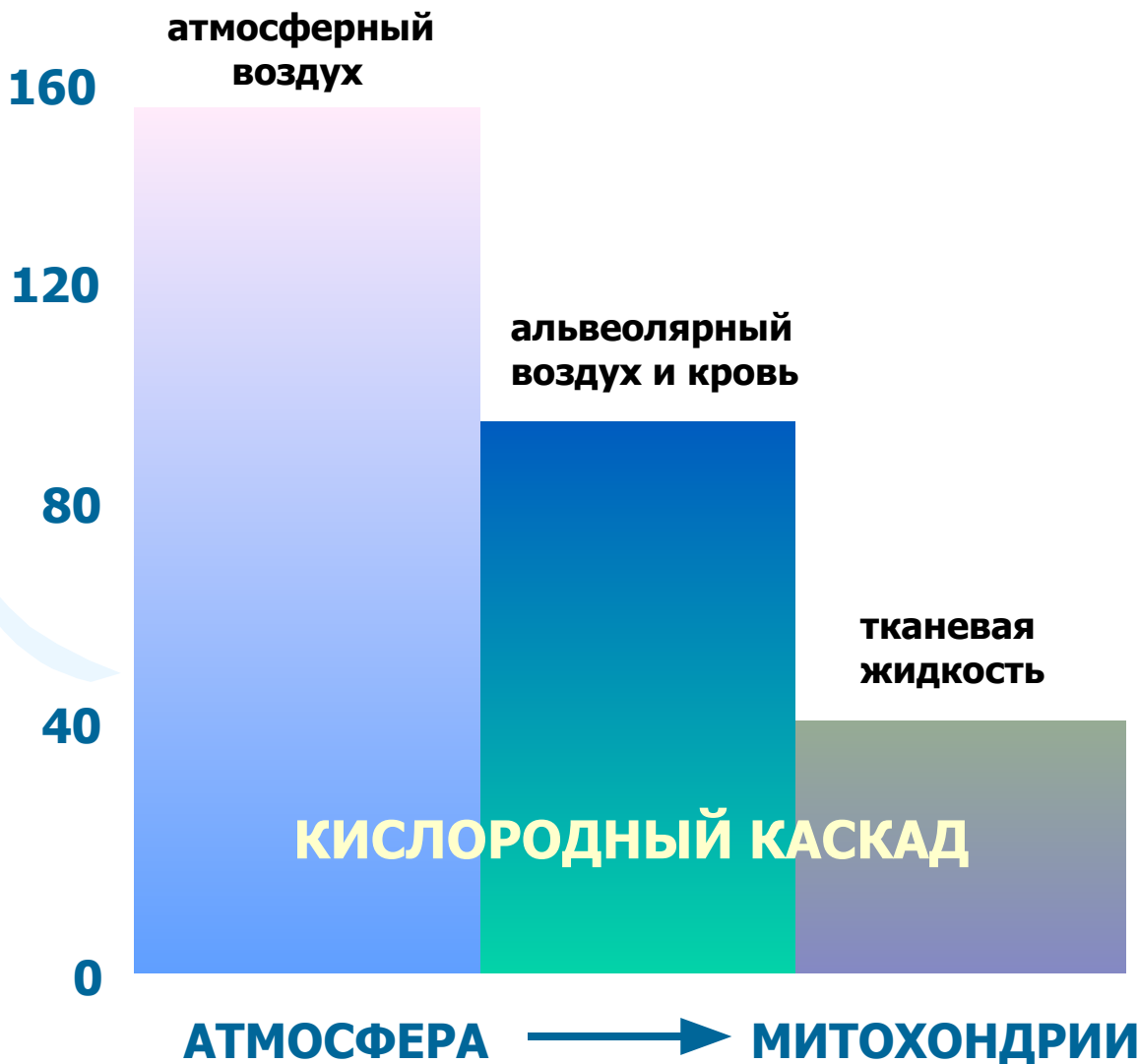
\* горная болезнь

\* высотная болезнь

\* декомпрессионная болезнь

# Каскад кислорода (по В.Б.Брин)

$pO_2$  (mm Hg)



↓

# 1. Экзогенный тип гипоксии

а. **Гипобарическая** (горная, высотная болезнь, декомпрессионная болезнь)

**Патогенез:** снижение атмосферного давления

- ↓ порциального давления  $O_2$  во вдыхаемом воздухе ( $P_{атм}O_2$ ) → ↓  $P_{AO_2}$  → ↓  $P_aO_2$  (гипоксемия)
- ↓ объемной скорости диффузии  $O_2$  из капилляров в ткани → ↓ интенсивности фосфорилирования
- ↓ образования АТФ → энергодефицит = гипоксия

При гипобарической гипоксии гипоксемия ( $\downarrow P_aO_2$ ) сопровождается гипокапнией ( $\downarrow P_aCO_2$ ).

***Гипокапния может утяжелять течение гипоксии:***

1. Приводить к развитию дыхательного алкалоза, ионному дисбалансу ( $Na \uparrow$ ,  $K \downarrow$ ,  $Ca \downarrow$ ).
2. Уменьшению мозгового и коронарного кровотока, увеличению кровообращения в скелетных мышцах.
3. Снижению системного АД.
4. Повышению нервно-мышечной возбудимости (вплоть до приступов, судорог).
5. Сдвиг кривой диссоциации  $HbO_2$  влево.

## б.) Нормобарическая

Снижение  $P_{\text{атм}}\text{O}_2$  при нормальном барометрическом давлении  $\rightarrow \downarrow P_{\text{А}}\text{O}_2$

$\rightarrow \downarrow P_{\text{а}}\text{O}_2$  (гипоксемия)  $\rightarrow$  гипоксия.

При нормобарической гипоксии гипоксемия ( $\downarrow P_{\text{а}}\text{O}_2$ ) сопровождается гиперкапнией ( $\uparrow P_{\text{а}}\text{CO}_2$ )



# ТИПИЧНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ГАЗОВОГО СОСТАВА И pH КРОВИ ПРИ ЭКЗОГЕННОЙ ГИПОКСИИ

## ЭКЗОГЕННАЯ ГИПОКСИЯ

$\downarrow p_a O_2$

$\downarrow p_a CO_2$

$\uparrow pH$

$\downarrow S_a O_2$

$\downarrow p_v O_2$

$\downarrow S_v O_2$

$\uparrow p_a CO_2$        $\downarrow pH$   
в замкнутом  
пространстве

- \* артериальная гипотензия
- \* коронарная недостаточность
- \* недостаточность мозгового кровообращения

## ***Респираторный (дыхательный) тип гипоксии.***

Патогенетическую основу дыхательного типа гипоксии составляет уменьшение газообменной функции лёгких (дыхательная недостаточность), ведущей к развитию гипоксемии ( $\downarrow P_A O_2$ ) и, как правило, гиперкапнии ( $\uparrow P_a CO_2$ ).

### **Основные причины:**

- Альвеолярная гиповентиляция
- Нарушение перфузии лёгких
- Нарушения альвеолярно-капиллярной диффузии
- Нарушения регуляции вентиляционно-перфузионных отношений

# *Изменения показателей дыхательной функции крови при респираторной гипоксии*

## **показатели**

$P_A O_2$	N
$P_a O_2$	↓
$S_a O_2$	↓
$P_v O_2$	↓
$S_v O_2$	↓
$V_a O_2$	N
$a/vO_2$	N
$P_a CO_2$	↑

# Циркуляторная (сердечно-сосудистая)

## ГИПОКСИЯ

**Причины:** -сердечная недостаточность,  
-сосудистая недостаточность.

**Патогенез.** При сердечной недостаточности

→ ↓ УО сердца → ↓ МОС → ↓ скорости кровотока → гипоксия

При сосудистой недостаточности →

→ ↓ сосудистого тонуса →

→ ↑ ёмкости сосудистого русла →

→ ↑ депонирование крови →

→ ↓ ОЦК → ↓ АД → гипоксия.

# ТИПИЧНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ГАЗОВОГО СОСТАВА И pH КРОВИ ПРИ ГИПОКСИИ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОГО ТИПА

**ГИПОКСИЯ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОГО ТИПА**  
причина: недостаточность кровообращения

↑ АВР\*  
по  $O_2$

↓  $p_v O_2$

↓  $S_v O_2$

↓ pH

\* АВР по  $O_2$  - артериовенозная разница по кислороду



## по распространенности:

-местная

- Ишемическая
- застойная (венозная гиперемия)

-общая



Показатели	Циркуляторная гипоксия
$P_A O_2$	N
$P_a O_2$	N
$S_a O_2$	N
$P_v O_2$	↓
$S_v O_2$	↓
a/v $O_2$	↑
$V_a O_2$	N
$P_a CO_2$	N
цианоз	+

# ***Гемическая(кровеная) гипоксия***

1. Уменьшение кислородной ёмкости крови ( $\downarrow V_a O_2$ )
  - а)  $\downarrow$  количества Hb, (анемия),
  - б) гемоделиция.
2. Образование соединений Hb не способных связывать и отдавать  $O_2$  (HbCO, MtHb)
3. Гемоглобинопатии
4. Нарушение способности Hb связывать и отдавать  $O_2$  при изменении pH крови, температуры и др.
5. При агрегации эритроцитов и развитии сладжа.



Показатели	Гемическая гипоксия
$P_A O_2$	N
$P_a O_2$	N
$P_v O_2$	↓ или N
$S_a O_2$	N или ↓
$V_a O_2$	↓
$V_v O_2$	↓
$P_a CO_2$	N
a/v $O_2$	N
pH	↓
бледность	+

# **Тканевая (гистотоксическая) гипоксия**

Нарушается утилизация кислорода тканями.

I. Снижение активности ферментов окислительного фосфорилирования (ФОФ).

- ↓ Образования ФОФ (недостаток витаминов  $B_1, B_2, PP$ ).

- Блокада окислительных ферментов (ФОФ):

а) специфическое связывание активных центров (цианистый калий),

б) связывание функциональных групп белковой части молекулы (соли тяжёлых металлов  $Ag^{2+}, Hg^{2+}, Cu^{2+}$

- конкурентное торможение ФОФ (малоновая кислота ингибирует сукцинатдегидрогеназу; авитаминозы гр. «В», гормональные расстройства и др.),

- уменьшение проницаемости гематопаренхиматозных барьеров.

-изменение активности ФОФ при изменении  $t$ , pH, ионного состава

II. Повреждение биологических мембран

(↑ ↓  $t$ , экзо -эндотоксины, ионизирующая радиация, перерастяжение при набухании клеток).

III. Повреждение митохондрий; уменьшение их числа.

IV. Разобщение биологического окисления

(набухание митохондрий под действием разобщителей: свободные ЖК,  $H^+$ ,  $Ca^{++}$ ,  $T_3$ ,  $T_4$ , адреналин токсины некоторых микроорганизмов, 2,4 а-динитрофенол, грамицидин, дикумарин и др.)

Показатели	Тканевая гипоксия
$P_A O_2$	N
$P_a O_2$	N
$P_v O_2$	↑
$S_a O_2$	N
$S_v O_2$	↑
$V_a O_2$	N
$V_v O_2$	↑
$P_a CO_2$	N
a/v $O_2$	↓
pH	↓
бледность	+

# Перегрузочная гипоксия

-катастрофическое несоответствие между потребностью органа в  $O_2$  и функциональными возможностями систем кислородообеспечения

Показатели	Перегрузочная гипоксия
$P_A O_2$	N
$P_a O_2$	N
$P_v O_2$	↓
$S_a O_2$	N
$S_v O_2$	↓
$V_a O_2$	N
$P_v CO_2$	↑
a/v $O_2$	↑
pH	↓

# ТИПИЧНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ГАЗОВОГО СОСТАВА И pH КРОВИ ПРИ ГИПОКСИИ СУБСТРАТНОГО ТИПА

**ГИПОКСИЯ СУБСТРАТНОГО ТИПА**  
причина: дефицит в клетках субстрата окисления

↑  $p_v O_2$

↑  $S_v O_2$

↑  $V_v O_2$

↓ АВР  
по  $O_2$

↓ pH

# **Срочные механизмы компенсации при гипоксии.**

## **Регуляторные**



### **Гемодинамические**

- ↑ УО сердца,
- ↑ ОЦК
- ↑ ЧСС,
- ↑ МО кровотока,
- Перераспределение (централизация) кровотока,
- ↑ системного АД.

### **Дыхательные**

- ↑ диспное,
- ↑ МО альвеолярной вентиляции,
- ↑ лёгочной капиллярный кровоток,
- ↑ соответствия альвеолярной вентиляции капиллярному кровотоку.

### **Тканевые**

- ↑ увеличение анаэробного гликолиза,
- ↑ степени диссоциации Hb ,
- ↑ активности дыхательных ферментов,
- ↑ способности Hb связывать O<sub>2</sub>,
- ↑ эритроцитоз перераспределительный.

# **Долговременные механизмы компенсации**

## **Система дыхания**

- гипертрофия лёгких и дыхательных путей,
- ангиогенез в лёгких.

## **Система кровообращения**

- ↑ ангиогенез в миокарде,
- ↑ гипертрофия миокарда,
- ↑ мощность адренергической регуляции сердца.

## **Система крови**

- ↑ эритропоэза → истинная полицитемия,
- ↑ кислородной ёмкости крови.

## **Тканевые механизмы**

- ↑ митохондриопоз, ↑ синтез оксимиоглобина, ↑ синтез ферментов гликолиза.



# Повреждающее действие гипоксии

## Метаболические изменения при гипоксии.

### Углеводный и энергетический обмен

- **ДЕФИЦИТ МАКРОЭРГОВ**
- ↑ Анаэробный гликолиз
- ↑ Гликогенолиз
- ↑ Содержание в крови недоокислённых продуктов обмена молочной кислоты(!) и др. кислот
- **Метаболический ацидоз**

### Белковый обмен

- Катаболизм/  
↓ Анаболизм белков
- **ОТРИЦАТЕЛЬНЫЙ АЗОТИСТЫЙ БАЛАНС**
- Окислительное дезаминирование
- Аммиак в крови

### Электролитный обмен

- **ГИПЕРКАЛИЕМИЯ**
- **Гиперкальцийиония**
- **Гипернатриемия**  
(внутриклеточная)

### Жировой обмен

- ↑ Липолиз
- ↓ Липогенез
- **Гиперкетонемия**
- **Активация ПСОЛ**

# ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ.

**Нервная система – наиболее чувствительна к гипоксии!**

(в коре головного мозга обнаруживаются очаги некроза спустя ~3-5 мин. После прекращения поступления кислорода)

**Пищеварительная система, почки**  
(в целом, снижение функций в связи с гормональными сдвигами, с нарушениями системного и регионарного кровообращения, ацидозом, расстройствами электролитного обмена...)

## Сердечно-сосудистая система

- Частота и ритм сердечных сокращений: тахикардия → брадикардия (не всегда); аритмии -разные, вплоть до фибрилляции желудочков
- Ударный/минутный объёмы сердца: вначале –увеличение → затем – снижение
- Артериальное давление: повышение → снижение, вплоть до коллапса

## **Дыхательная система**

- Характер дыхания: тахипноэ → диспноэ; апноэ → терминальное дыхание «вздохами» - гаспинг → остановка дыхания
- Отёк лёгких ( при подъёме в горы обусловлен легочной гипертензией; на уровне моря- левожелудочковой недостаточностью)