# HYPOXIE

Ústav patofyziologie, LF UK v Plzni

Jan Cendelín, 2017

**Hypoxie** = nedostatek kyslíku ve tkáních

**Hypoxémie** = nedostatek kyslíku v krvi

**Asfyxie** = nedostatek kyslíku + hromadění $CO_2$

**Hyperkapnie** = ↑ PaCO2

**Hypokapnie** = ↓ PaCO2

**Dodávka kyslíku:**

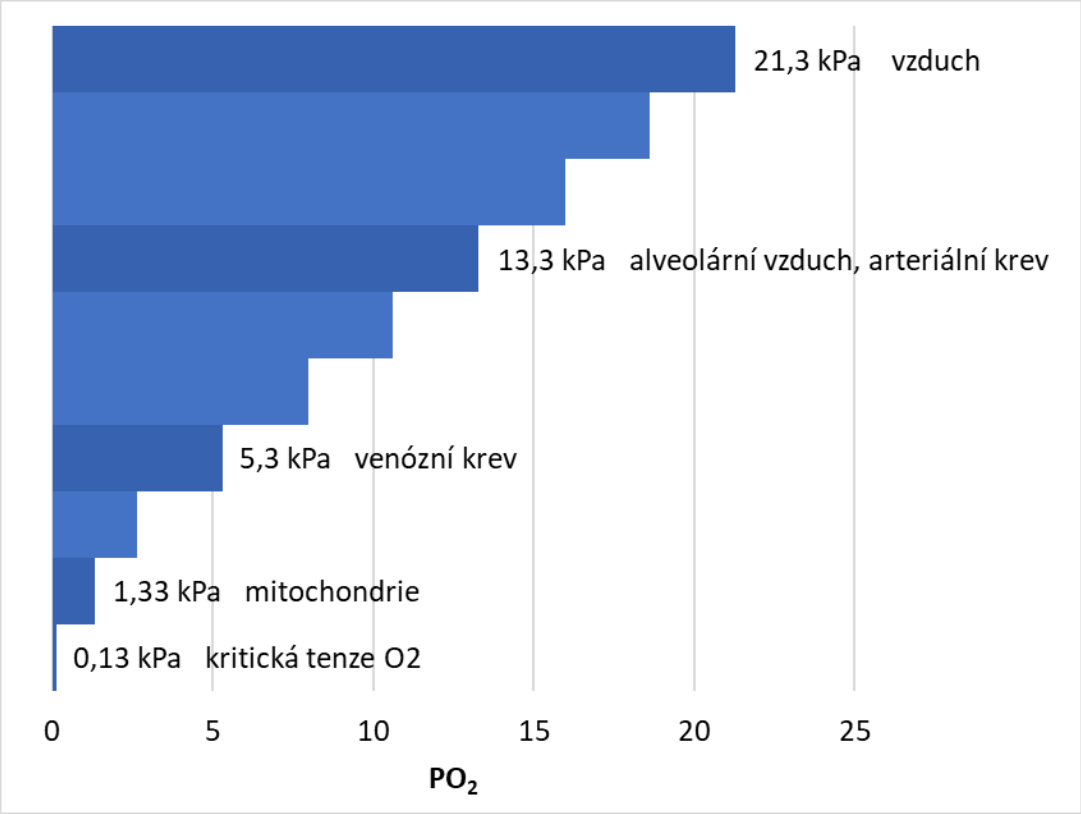
- atmosféra (složení vzduchu, tlak), dýchací systém, oběh, krev (hemoglobin)

Spotřeba $O_2$: 200 - 250 ml/min

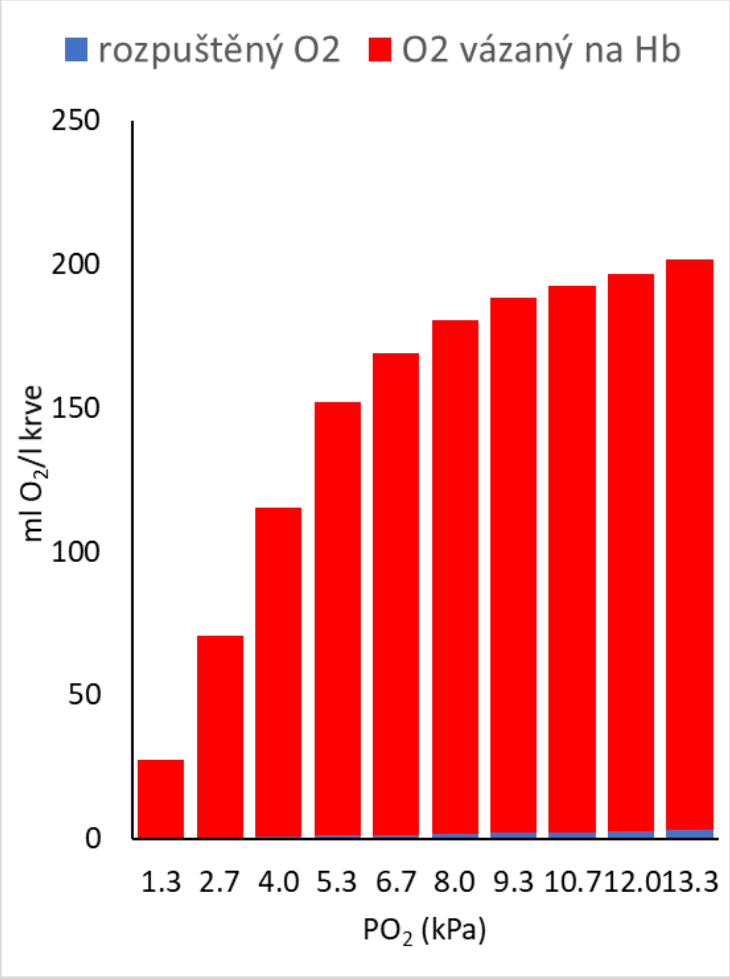
- tvorba ATP v mitochondriích, oxidace látek

Zásoby $O_2$ na cca 5 min: plíce, krev, myoglobin

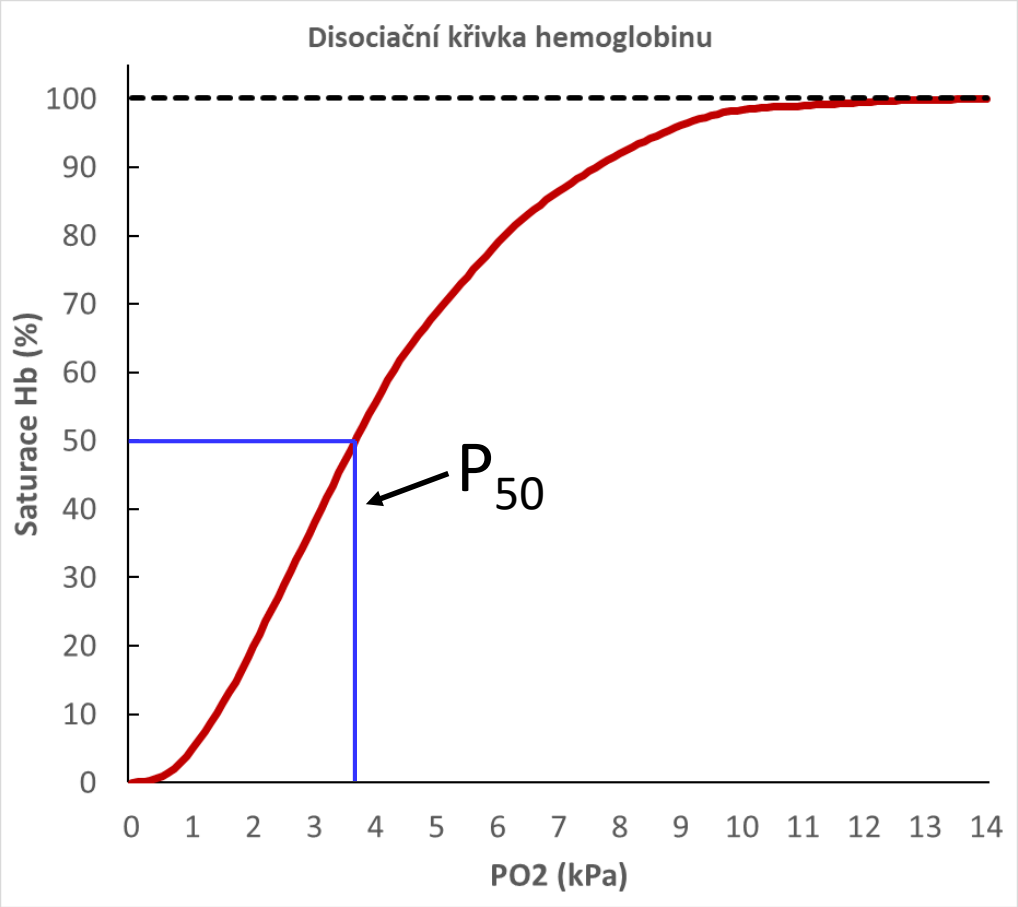
## Gradient kyslíku z atmosféry k mitochondriím




## Obsah kyslíku v 1 l krve v závislosti na $PO_2$

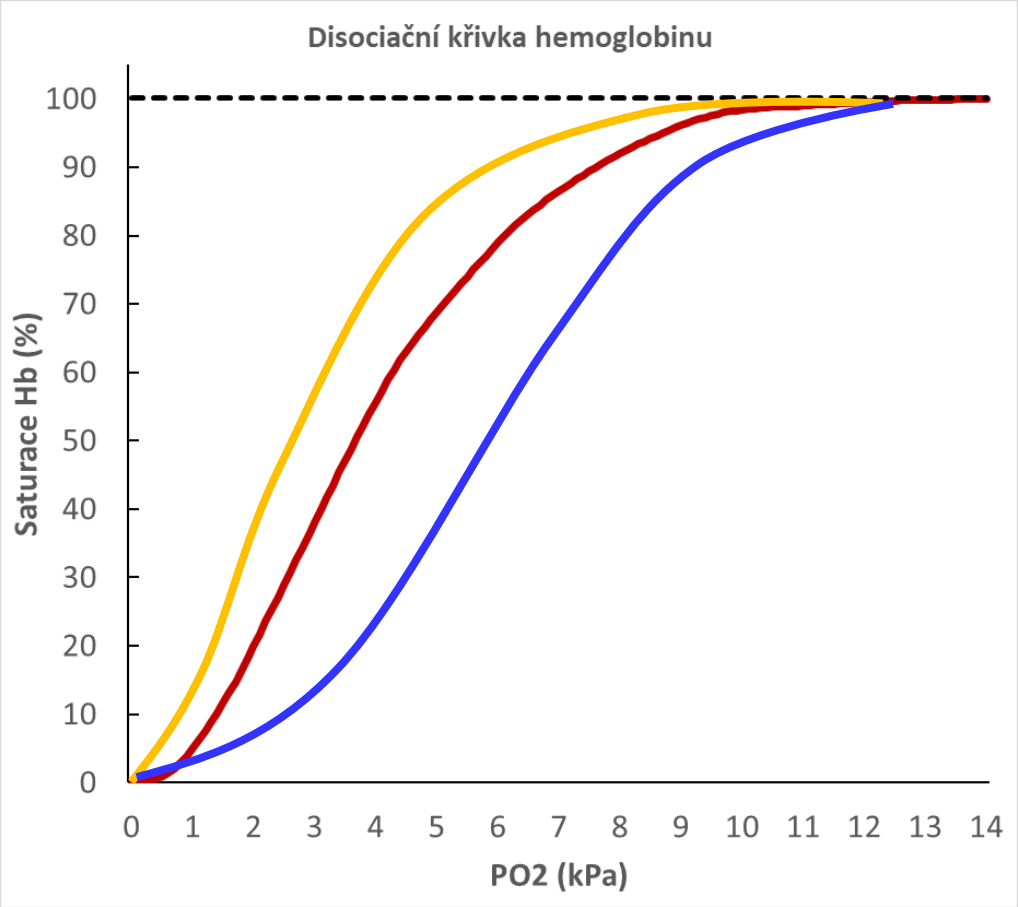



1 g $HbO_2$ → 1,34 - 1,39 ml $O_2$


Disociační křivka hemoglobinu
Saturace Hb (%)
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14
PO2 (kPa)
P50

**Posun doleva:**

- ↑ pH
- ↓ $CO_2$
- ↓ teploty
- ↓ 2,3-DPG




**Posun doprava:**

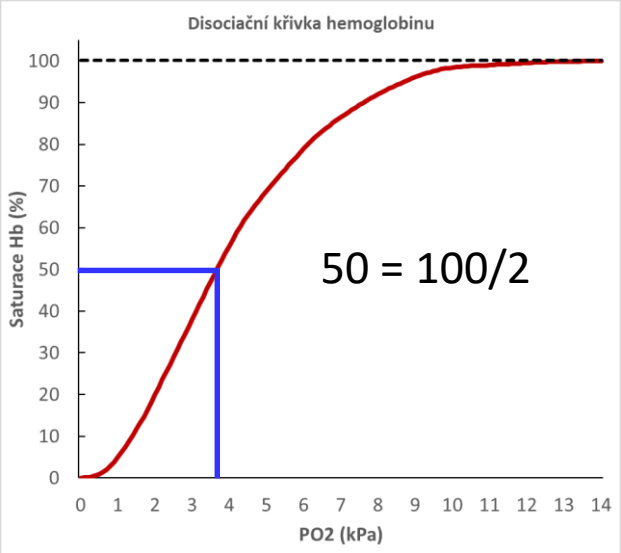
- ↓ pH
- ↑ $CO_2$
- ↑ teploty
- ↑ 2,3-DPG

# CYANÓZA

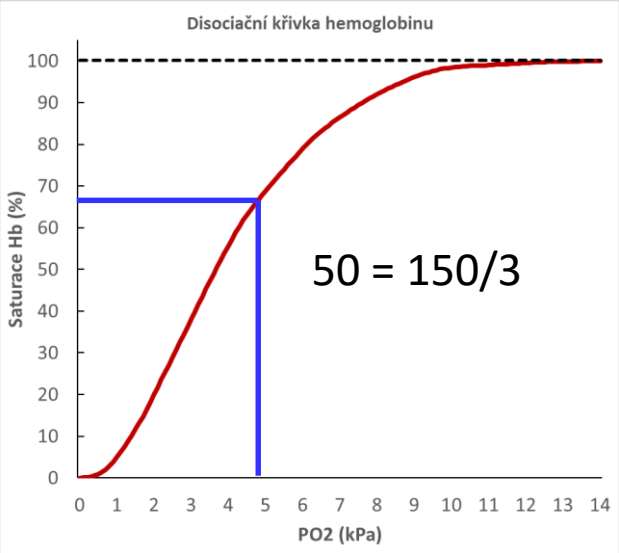
= modravé zbarvení sliznic a kůže způsobené redukovaným hemoglobinem

- Při koncentraci redukovaného hemoglobinu nad 50 g/l
- Záleží na
  - saturaci hemoglobinu kyslíkem
  - celkové koncentraci hemoglobinu → snáze při polycytémii (polyglobulii)
    → obtížně při anemii

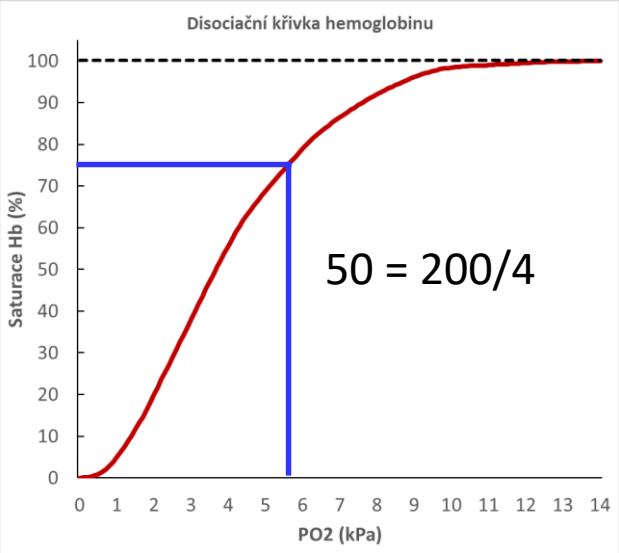
Anemie




Norma




Polyglobulie



# CYANÓZA

- **Periferní**
  - omezená část těla
  - stagnace krve (zejm. žilní příčiny)
- **Centrální**
  - celé tělo, lépe patrná na sliznicích
  - hypoxická hypoxie – poruchy dýchání, pravo-levé zkraty

# TYPY HYPOXIE

- Hypoxická
- Transportní, anemická
- Cirkulační
- Histotoxická

# Hypoxická hypoxie

= hypoxie se sníženým $PaO_2$

→ snížená saturace hemoglobinu

→ snížený obsah $O_2$ v krvi

→ snížený $PvO_2$ – vyšší extrakce $O_2$ ve tkáních

Postihuje celý organismus.

**Příčiny:**

- Nízký parciální tlak O2 ve vdechovaném vzduchu
  - vysoká nadmořská výška, dýchání v uzavřeném prostoru, zvýšený obsah jiných plynů ve vzduchu
- Poruchy ventilace
  - obstrukční a restrikční poruchy
- Poruchy difuse v plicích
  - restrikční poruchy (↓ difusní plochy), emfyzém, plicní edém, pneumonie, ARDS
- Poruchy perfuse plic
  - embolie do a. pulmonalis, změny poměru ventilace/perfuse
- Srdeční vady s pravo-levým zkratem + A-V zkraty v plicích

# Hypoxická hypoxie

**Projevy:** - záleží na příčině a mechanismu vzniku hypoxie

- Centrální cyanóza
- Dušnost
- Únavnost, snížená fyzická výkonnost
- Poruchy funkce orgánů (mozek)
- Laktátová acidóza (spíše při současné svalové práci)

## Respirační insuficience

**Parciální, 1. typu**

- Hypoxie bez hyperkapnie (může být dokonce hypokapnie)

**Globální, 2. typu**

- Hypoxie + hyperkapnie
- Porucha ventilace

$PaCO_2$ závisí zejména na ventilaci plic.
Pro dobrou rozpustnost je $CO_2$ méně postižen poruchami difuse než $O_2$.

**Manifestní** – změny hodnot dýchacích plynů i v klidu
**Latentní** – hodnoty dýchacích plynů v klidu normální, projeví se až při námaze

# Transportní (anemická) hypoxie

= hypoxie ze snížené kapacity krve vázat kyslík

→ normální $PaO_2$

→ normální saturace hemoglobinu (pokud je schopen vázat kyslík)

→ snížený obsah $O_2$ v krvi

Postihuje celý organismus.

**Příčiny:**

- Anemie – málo hemoglobinu
- Otrava CO
- Methemoglobinemie = otrava dusičnany

**Projevy:**

- Bledost při anémii, červená kůže při otravě CO, cyanóza s našedlým odstínem při methemoglobinemii
- Únava, dušnost, tachykardie, palpitace, funkční srdeční šelest
- V těžkých případech (zejm. otrava CO) orgánové poruchy, poruchy vědomí, smrt

# Cirkulační hypoxie

= hypoxie ze snížené perfuse tkáně krví

→ normální $PaO_2$

→ normální saturace hemoglobinu

→ normální obsah $O_2$ v arteriální krvi

→ obvykle snížený $PvO_2$ (↑ extrakce $O_2$ tkáněmi )

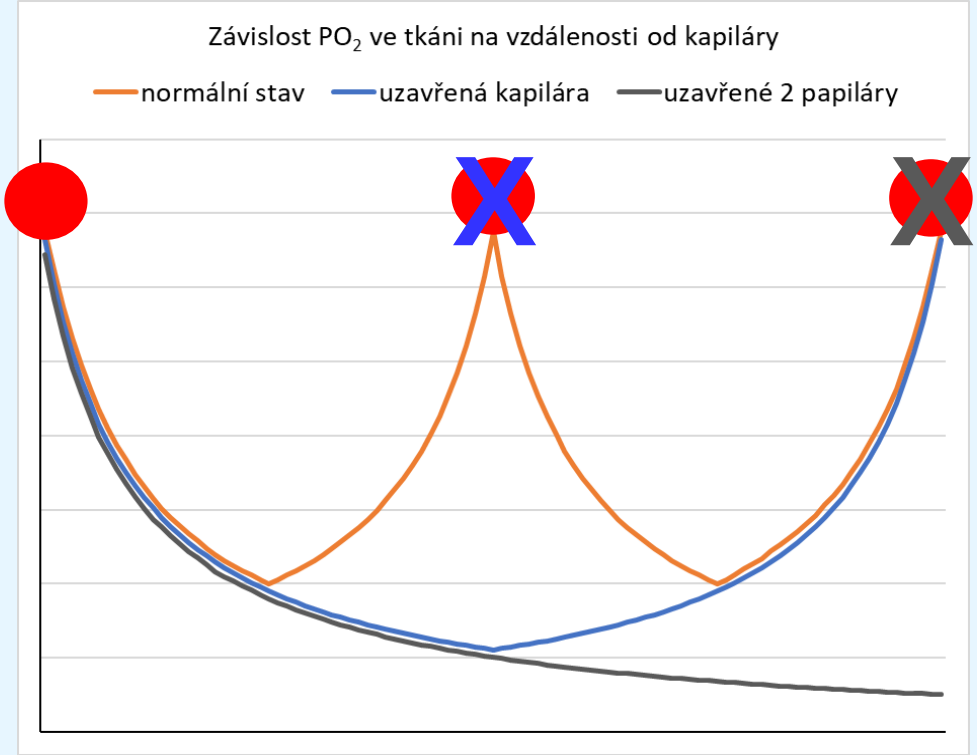
Celkově nebo lokálně.

**Příčiny:**

- Ischemická
  - uzávěr tepny
  - levostranné srdeční selhání
  - šok
- Stagnační
  - uzávěr žíly
  - pravostranné srdeční selhání

**Projevy:**

- Bolest
- Bledost (ischémie)
- Cyanóza (stagnace)
- Poškození orgánů




Snížené plnění mikrocirkulace vede ke kolapsu některých kapilár.

# Histotoxická hypoxie

= hypoxie z neschopnosti buněk využít kyslík (mitochondrie, cytochromoxidázový systém)

→ normální $PaO_2$

→ normální saturace hemoglobinu

→ normální obsah $O_2$ v arteriální krvi

→ zvýšený obsah $O_2$ ve venózní krvi

Spíše celkově.

**Příčiny:**

- Otrava kyanidy
- Otrava kobaltem

**Projevy:**

- Není cyanóza, spíše červená kůže (okysličená krev i v žilách)

# Kompenzační reakce na hypoxii

- Aktivace různých reakcí u jednotlivých typů hypoxií
  - záleží na $PaO_2$ a obsahu $O_2$ v arteriální krvi
    - → aktivace periferních (aortální a karotická tělíska, ledviny, cévy, erytrocyty) a centrálních chemoreceptorů (dýchací centrum)
      - → aktivace sympatiku, ovlivnění činnosti dýchacího centra, produkce erytropoetinu, vazomotorika, tvorba 2,3-DPG

- Lokálně nebo na celkové úrovni
- Různá účinnost u jednotlivých typů hypoxií
- Mohou situaci komplikovat

# Kompenzační reakce na hypoxii

**Lokální reakce:**

- Vazodilatace - vyvolána snížením $PaO_2$ a zvýšením $PaCO_2$
  - přívod více krve

  Ale: generalizovaná vazodilatace → pokles periferní rezistence – faktor rozvoje šoku

  Ale: V plicích hypoxie navozuje vazokonstrikci → plicní hypertenze

- Posun disociační křivky Hb doprava → snížení afinity Hb ke kyslíku → uvolnění $O_2$

- Anaerobní metabolismus → laktátová acidóza

- Exprese VEGF (vascular endothelial growth factor) → novotvorba cév

- Exprese p53 → omezení proliferace buněk

# Kompenzační reakce na hypoxii

**Systémové reakce:**

- Hyperkinetická cirkulace - akutní reakce
  - aktivace sympatiku
  - účinná u transportní hypoxie

- Zvýšení ventilace - akutní reakce
  - neúčinná u anemie, účinná při sníženém $PO_2$ ve vzduchu
  → hypokapnie → respirační alkalóza

- Erytropoetin (ledviny, játra) - dlouhodobá reakce
  - polyglobulie, korekce anemie
  - zejm. u hypoxické, příp. u cirkulační hypoxie

# Literatura

Nečas a kol.: Obecná patologická fyziologie

Rokyta a kol.: Fyziologie a patofyziologie pro klinickou praxi

Ganong: Přehled lékařské fyziologie

Klener a kol: Vnitřní lékařství