

Transport O_2 a CO_2 v krvi

vaclav.hampl@lf2.cuni.cz

<http://fyziologie.lf2.cuni.cz>

<http://vh.cuni.cz>

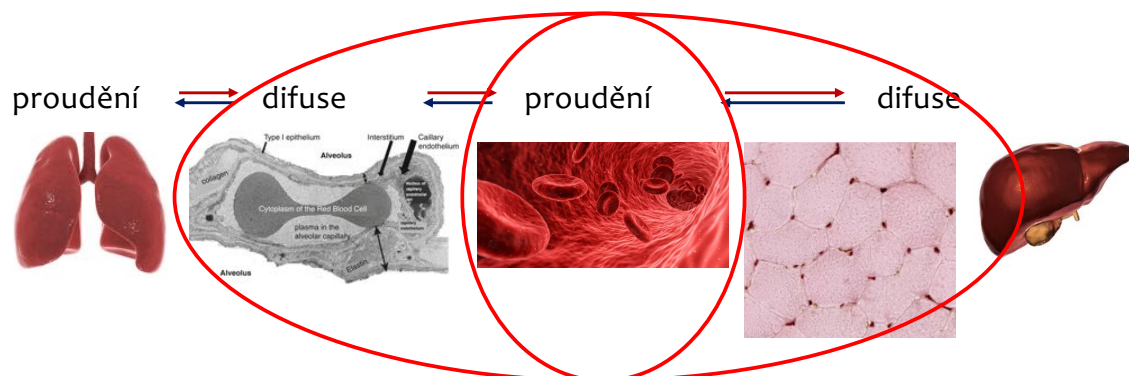


UNIVERZITA KARLOVA
2. lékařská fakulta



1

Transport O_2 & CO_2 („krevní plyny“) v těle



3

Difuse

■ První Fickův zákon (1855): $J = -D/RT \times \Delta P / \Delta x$

- velké plochy
- krátké vzdálenosti
- velké rozdíly parciálních tlaků



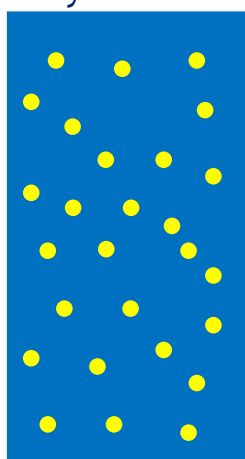
■ CO₂ 20x rychlejší než O₂



4

Koncentrace a parciální tlak

molekuly O₂ ve vzduchu



Suchý vzduch: 21% je O₂

FO₂ = 0.21

[O₂] = 210 ml/l

Protože P_B ~ 760 mmHg

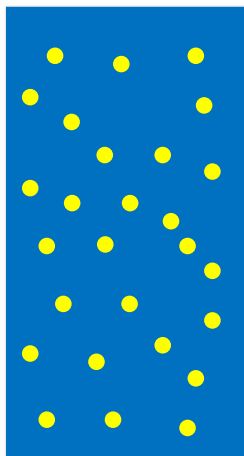
PO₂ = 0.21 x 760 mmHg
= 160 mmHg



6

Vliv vodní páry

37°C



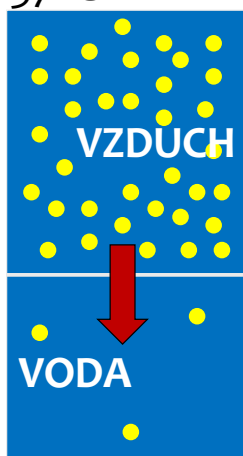
$$\begin{aligned}
 P_B &\sim 760 \text{ mmHg} \\
 P_{H_2O} &= 47 \text{ mmHg (při } 37^\circ\text{C)} \\
 P_{\text{DRY}} &= 713 \text{ mmHg} \\
 PO_2 &= 0.21 \times 713 \text{ mmHg} \\
 &= 150 \text{ mmHg}
 \end{aligned}$$



7

O₂ v roztoku

37°C



Po equilibraci:
 VZDUCH: $PO_2 = 150 \text{ mmHg}$
 VODA: $PO_2 = 150 \text{ mmHg}$

VZDUCH: $[O_2] = 210 \text{ ml/l}$
 VODA: $[O_2] = 4.5 \text{ ml/l}$

Rozpustnost O₂
 $= 4.5 / 150 = 0.003 \text{ ml/(dl.mmHg)}$



37°C

8

Transport O_2 v roztoku při námaze

- rozpustnost = $0.003 \text{ ml}/(\text{dl} \cdot \text{mmHg})$
- PO_2 v arteriální krvi = 100 mmHg
- $[O_2] = 3 \text{ ml/l}$
- srdeční výdej = 30 l/min
- max. O_2 k dispozici = 90 ml/min

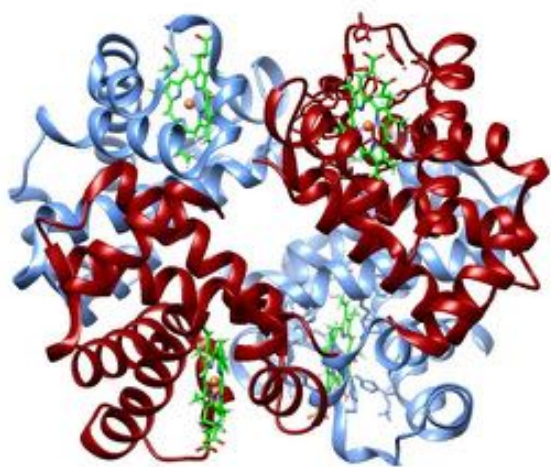
Ale potřeba O_2 je 3000 ml/min !

CO_2 podobně (rozpustnost $0.067 \text{ ml}/(\text{dl} \cdot \text{mmHg})$)



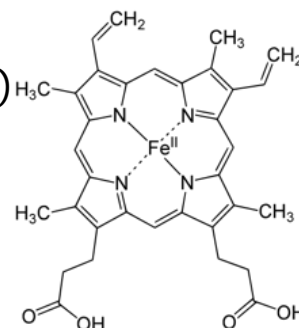
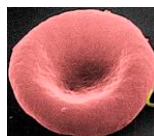
9

Hemoglobin (Hb)



oxyHb A: $\alpha_2\beta_2$

- Transport CO_2 i O_2
 - NH_2 skupiny N-terminálních val
 - Fe^{2+} hemů
- Erytrocyty (35%)

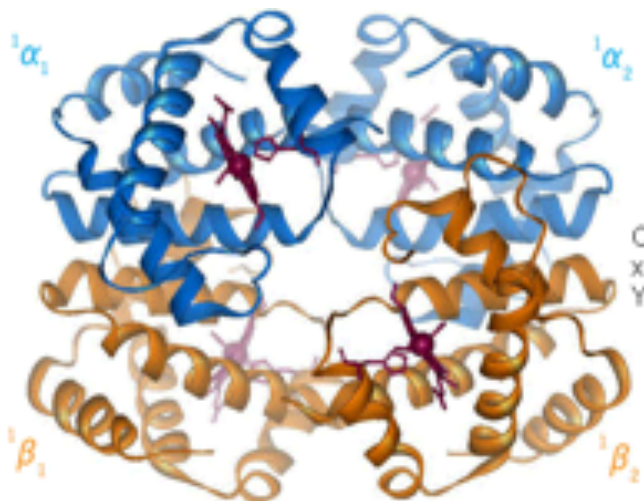


- 4 globiny + 4 hemy (Fe^{2+} v porfyrinovém kruhu)

11

2 konformační stavy Hb

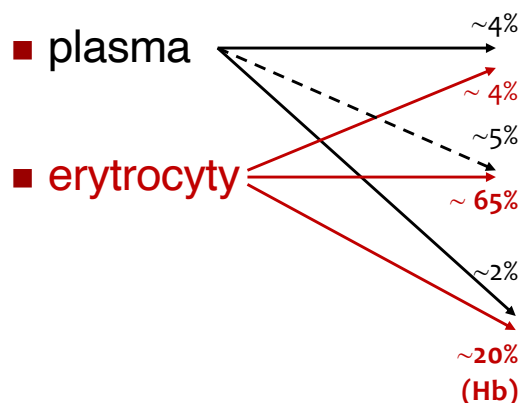
- **R (relaxed):**
 - vysoká afinita k O_2
 - stabilizováno $\uparrow pH$
- **T (tense)**
 - nízká afinita k O_2
 - stabilizováno CO_2 & H^+



12

Transport CO_2 v krvi

2 kompartmenty:



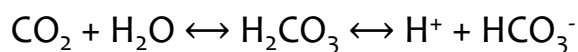
3 mechanismy:

- rozpuštěný (~8%)
rozpustnost $> O_2$ (22x)
- jako HCO_3^- (~70%)
- jako karbamino komplexy proteinů ($R-NH_2 + CO_2$)

13

Transport CO₂ jako HCO₃⁻

Karboanhydráza v erytrocytech:



Hb rychle pufruje volné H⁺

(↓pH → ↓ transport jako HCO₃⁻)

Část HCO₃⁻ difunduje z erytrocytů x Cl⁻ dovnitř

(elektroneutralita, osmotická =):

chloridový posun



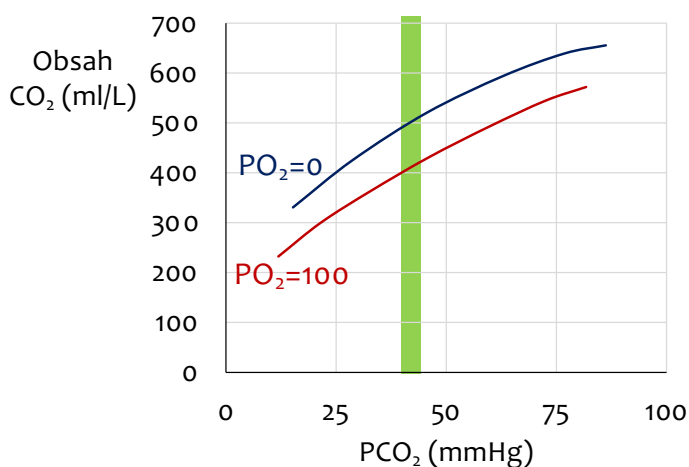
14



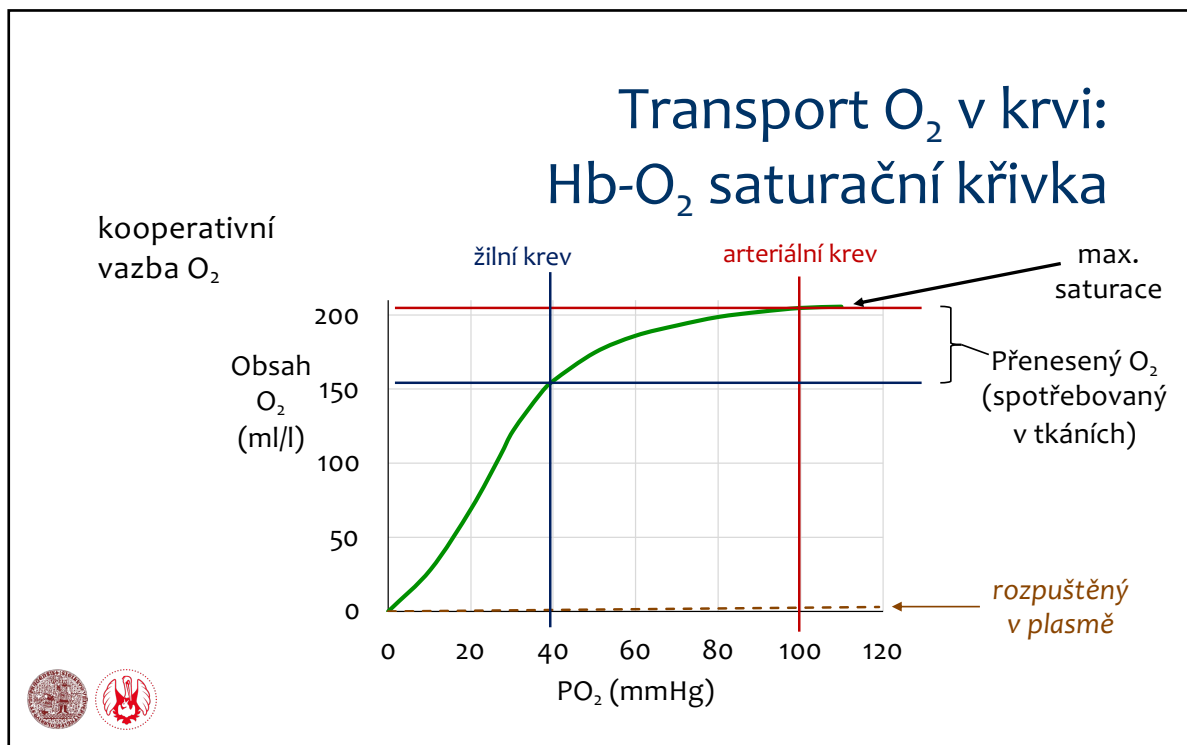
John Scott Haldane
(1860-1936)

Transport CO₂ jako karbaminoHb: Haldanův efekt

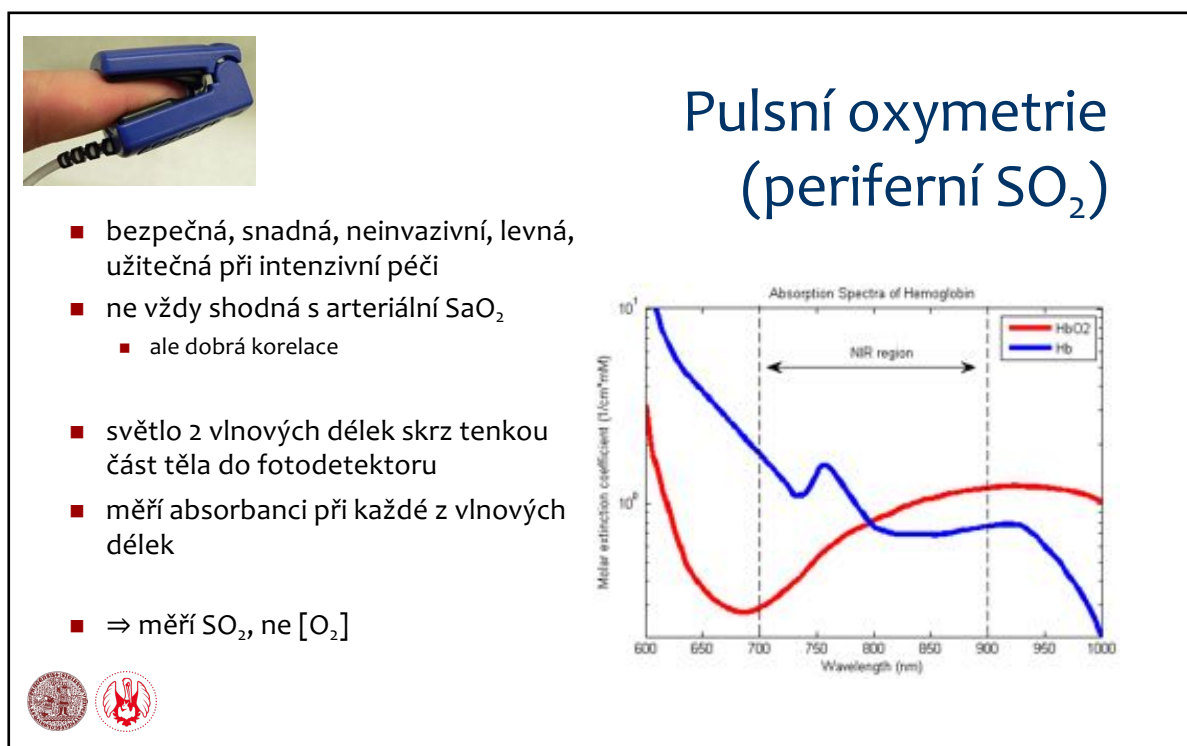
CO₂ + NH₂ skupiny
N-terminálních val
deoxyHb α & β
řetězců
→ 1 molekula Hb
přenáší až 4
molekuly CO₂



16



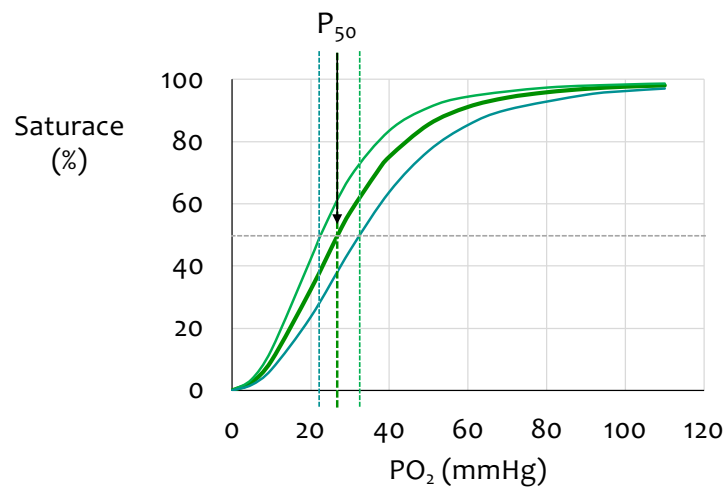
17



18



Transport O_2 v krvi: Hb- O_2 saturační křivka

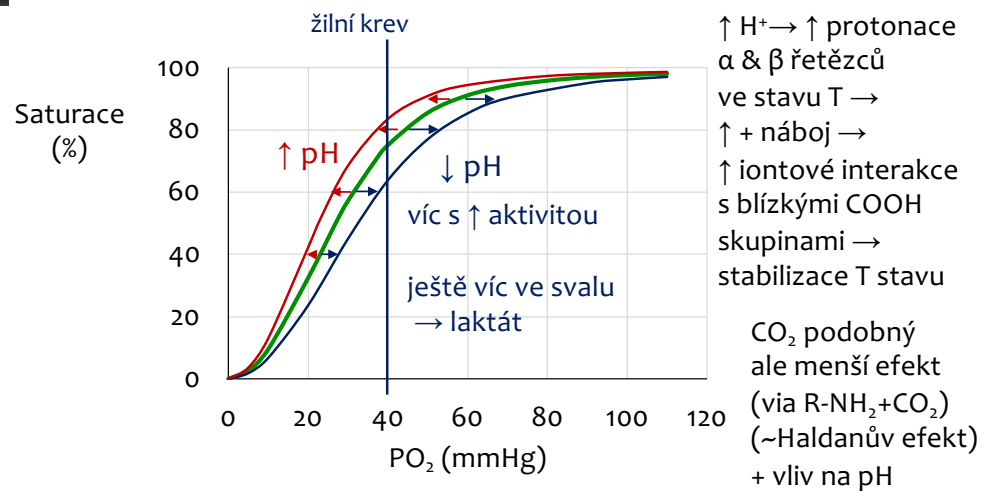


19

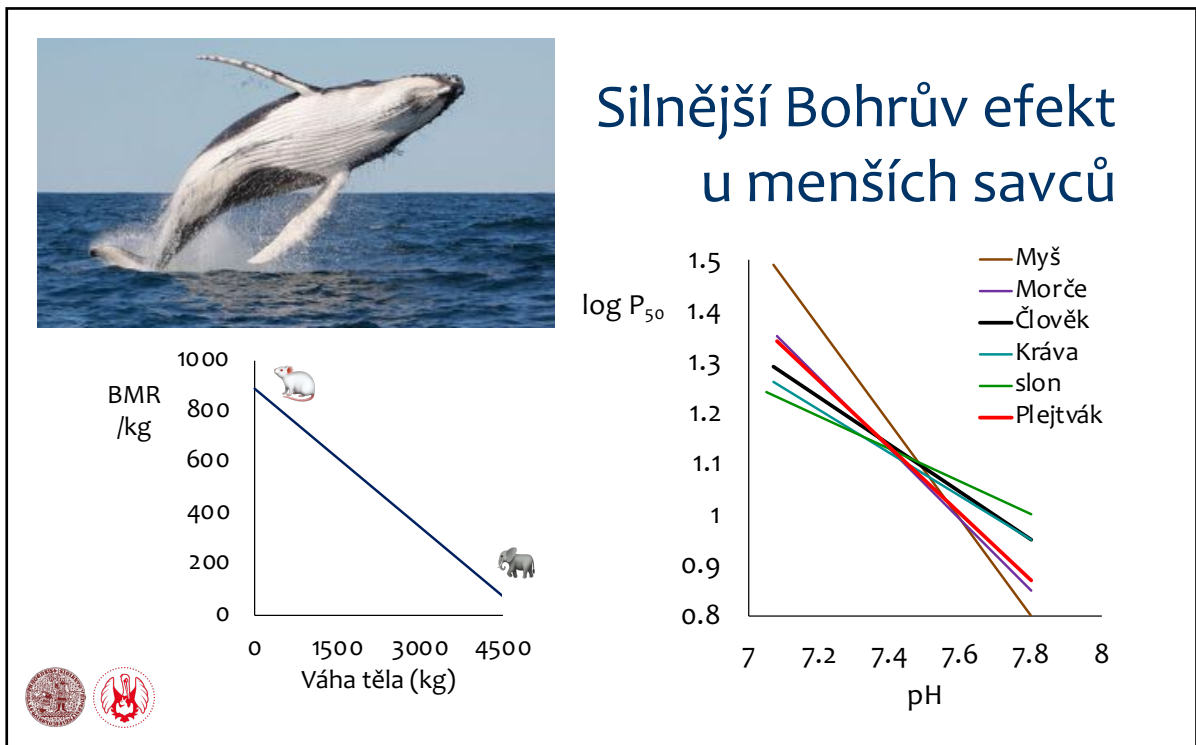


Christian Bohr
1904

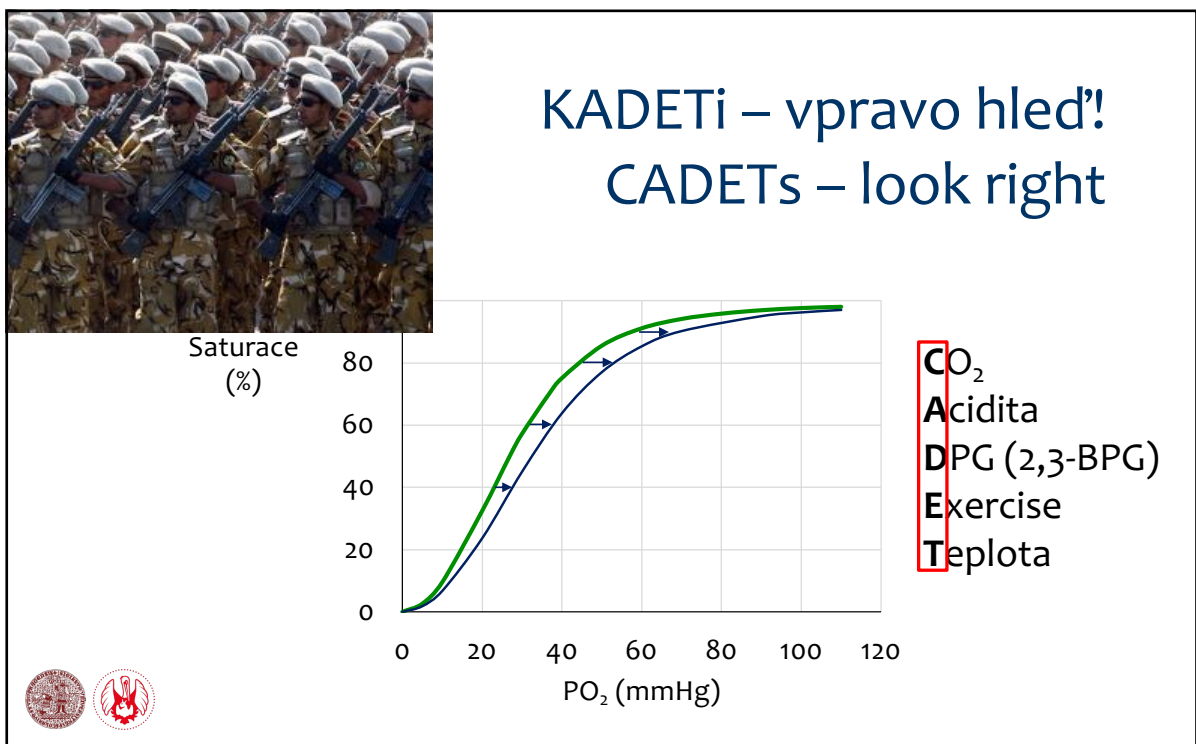
$H^+ \rightarrow \downarrow$ afinitu Hb- O_2 : Bohrův efekt



20

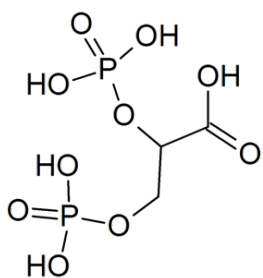


21



22

2,3-bisfosfoglycerát (2,3-BPG) (2,3-difosfoglycerát, 2,3-DPG)

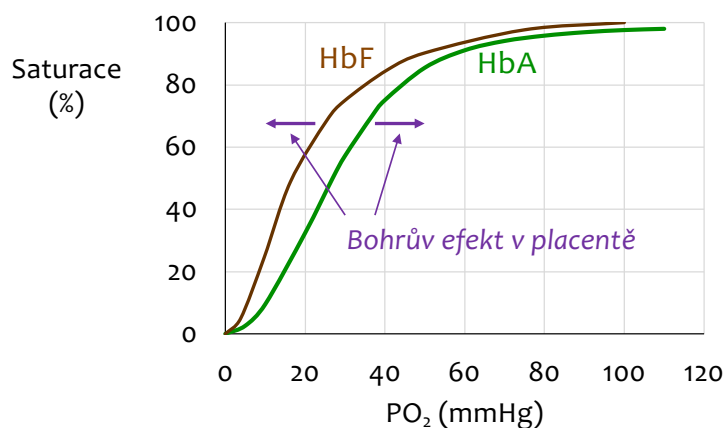


- meziprodukt glykolýzy v erytrocytech (~ 5 mM)
- rychle spotřebováván při normálním PO_2 , hromadí se při $\downarrow PO_2$
- přednostně se váže na β řetězce
- ~9 Å
 - pasuje do deoxyHb formy (11 Å kapsa)
 - hůř do oxyHb formy (5 Å kapsa)

23

Fetální Hb (Hb F: $\alpha_2\gamma_2$)

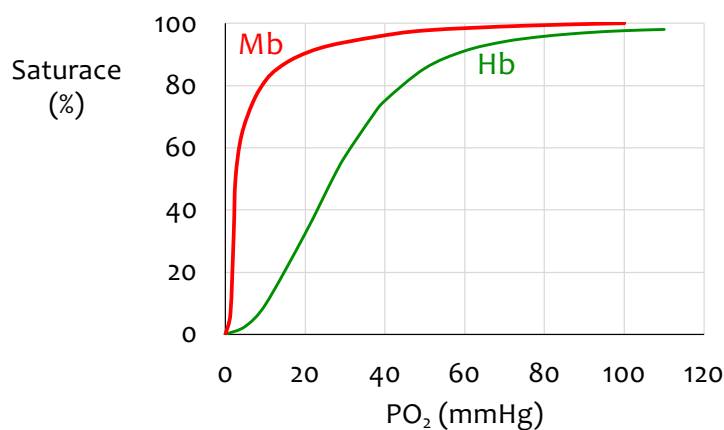
- Vazba BPG: $\gamma < \alpha < \beta$
- γ má méně + nábojů, které atrahují - náboje na BPG
- $\uparrow$ tvorba BPG v placentě



24

Myoglobin (Mb)

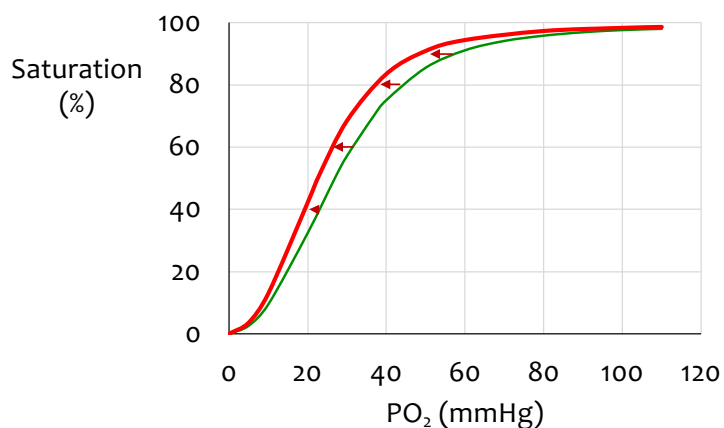
1 řetězec → není kooperativní vazba O_2 (“vše nebo nic”)



25

Methemoglobinemie

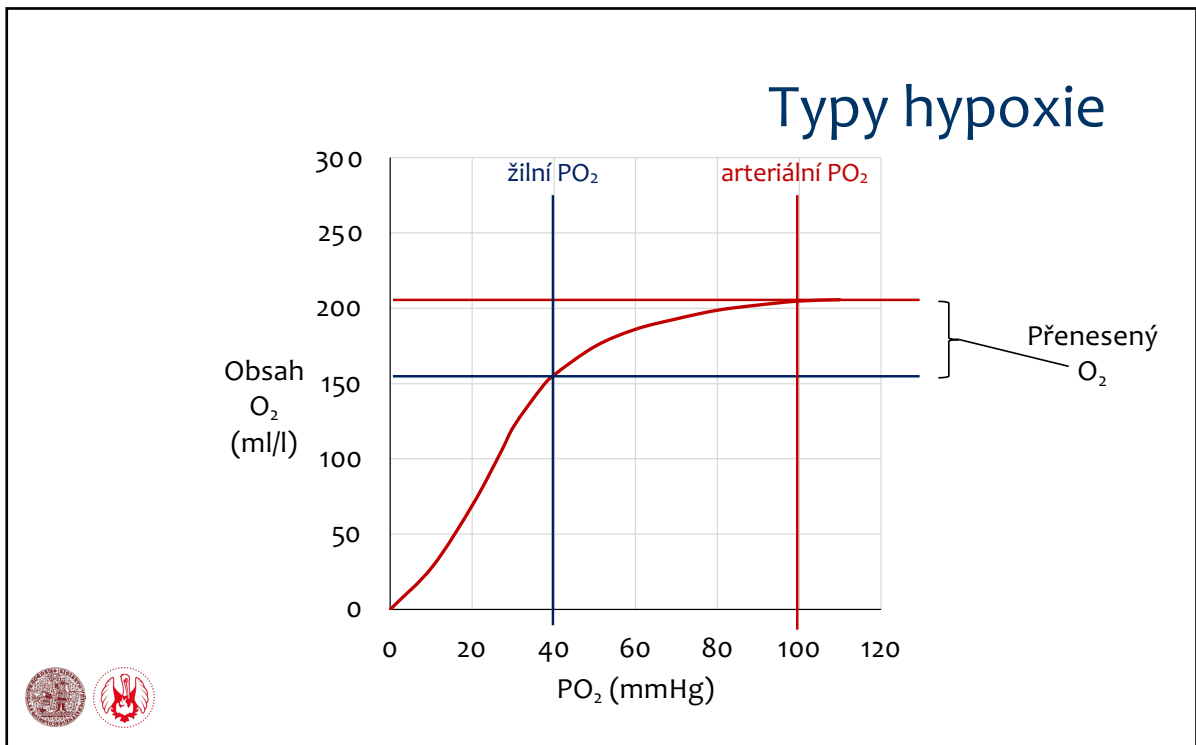
- Fe^{2+} v hemu oxiduje na Fe^{3+} (NO & jeho donory, CO, $C\equiv N$)
- Fe^{3+} ruší kooperativitu Hb → ↓ uvolňování O_2 v tkáních (~Mb)



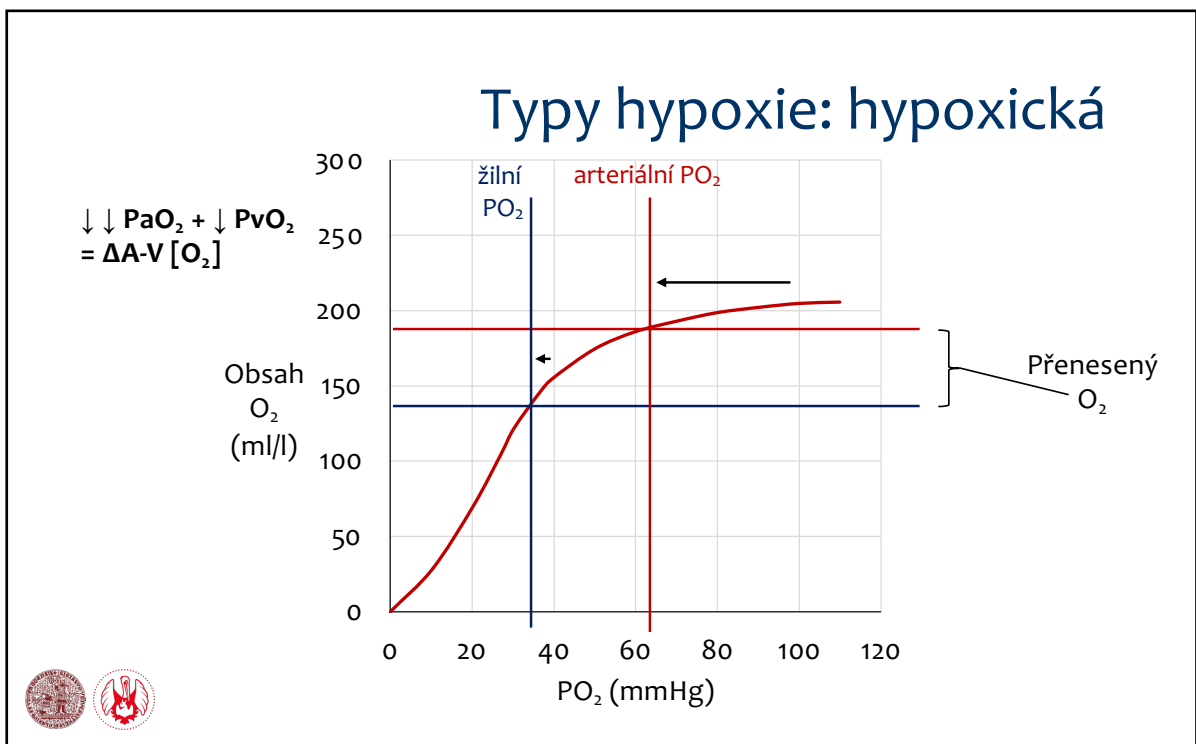
- normálně 1-2%
- >5-7% riziko
- kouření <10%

Oprava:
NADH **metHb**
reduktáza
(cytochrom-
b5 reduktáza)

26

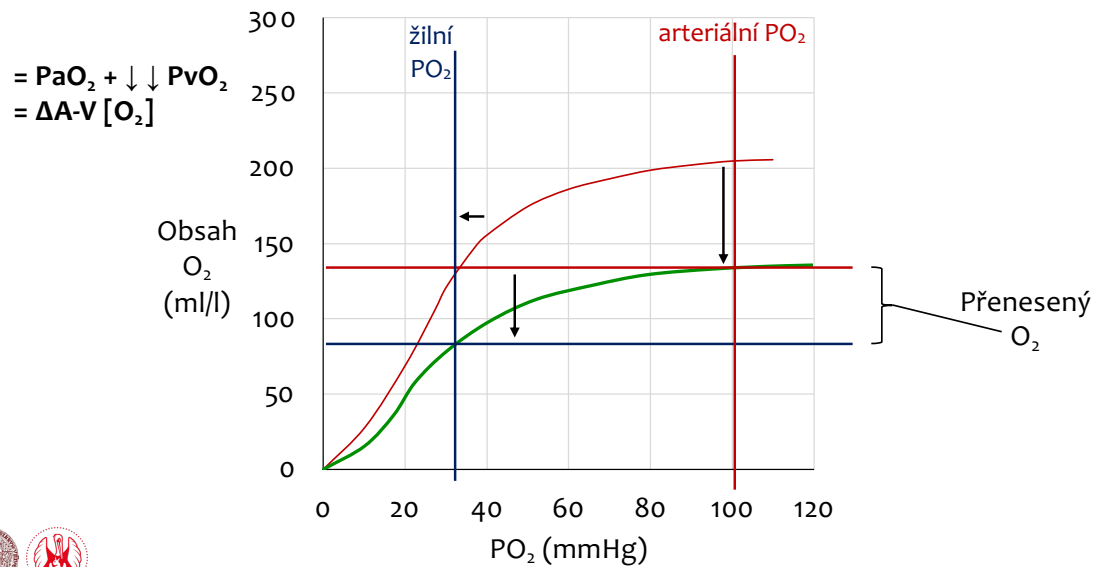


28



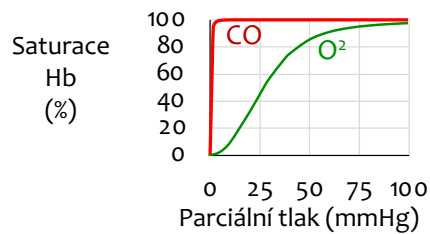
29

Typy hypoxie: anemická

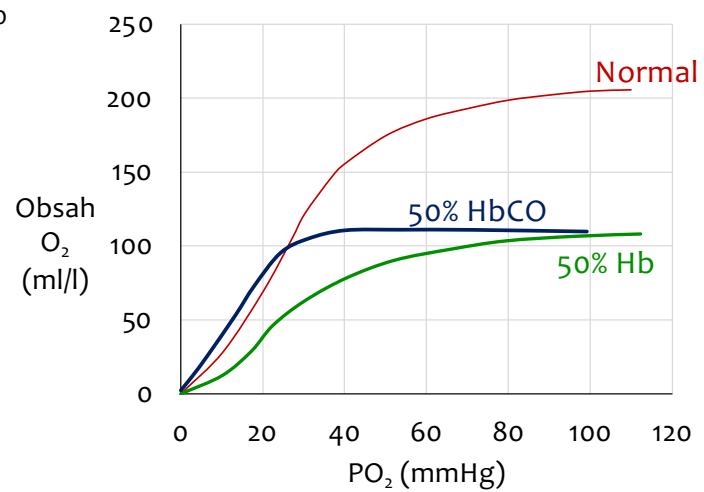


30

Otrava CO



CO se váže na
stejném místě jako O₂

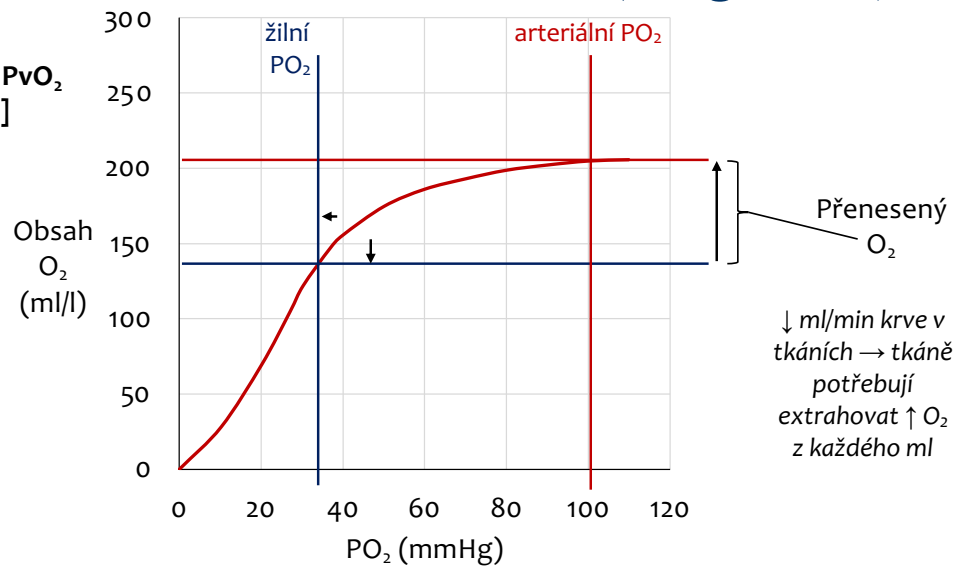


31

Typy hypoxie: ischemická (stagnační)

$$= PaO_2 + \downarrow PvO_2$$

$$\uparrow \Delta A-V [O_2]$$

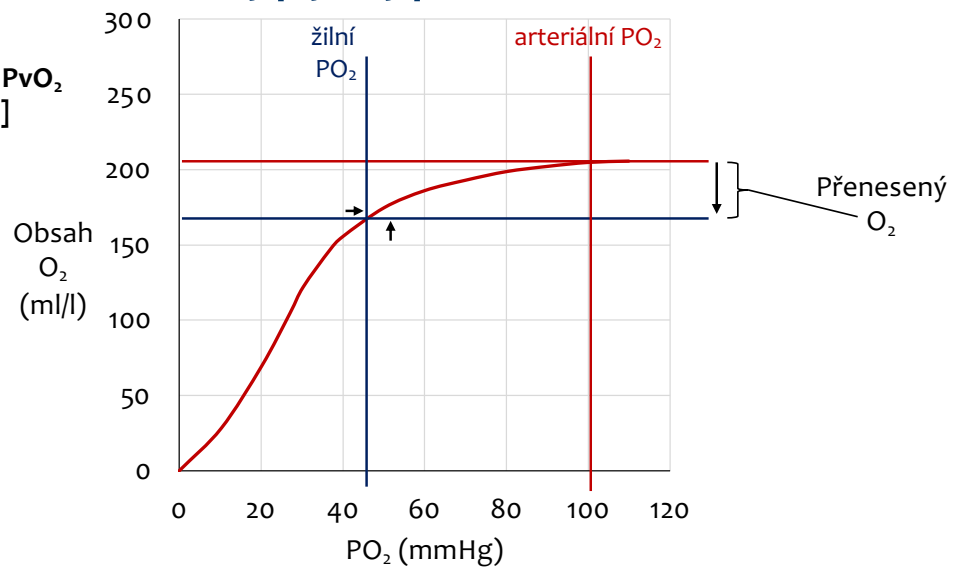


32

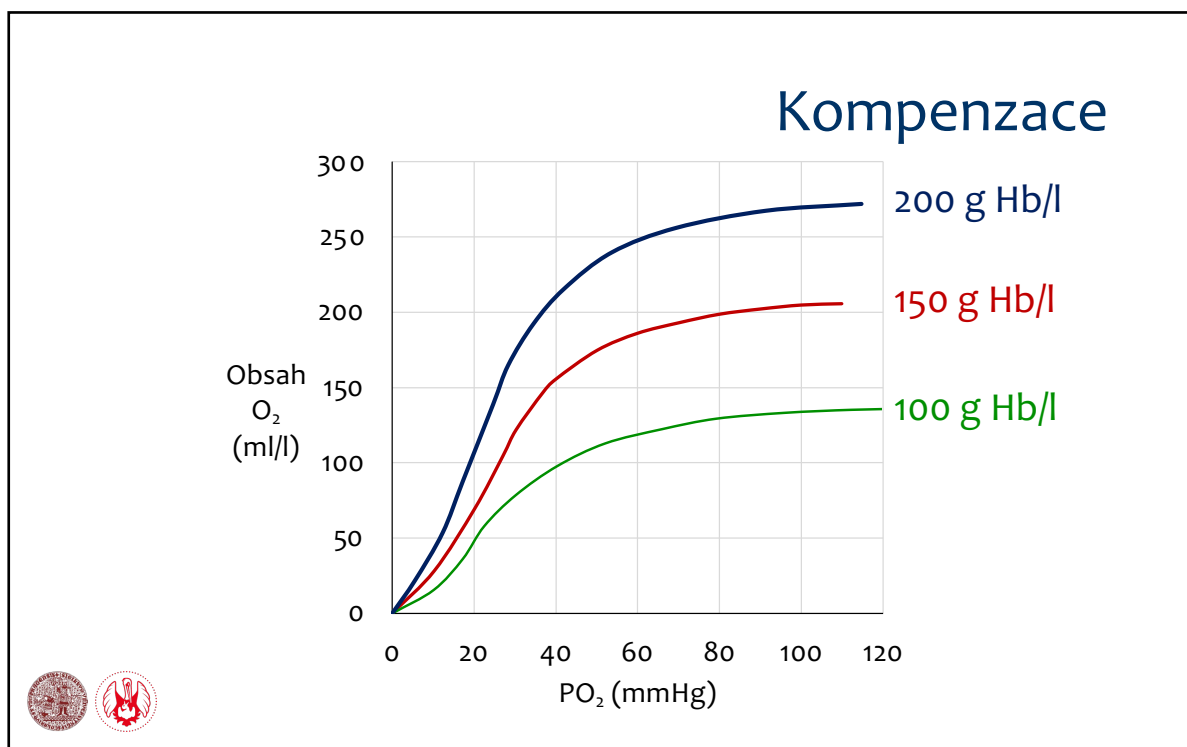
Typy hypoxie: histotoxická

$$= PaO_2 + \uparrow PvO_2$$

$$\downarrow \Delta A-V [O_2]$$

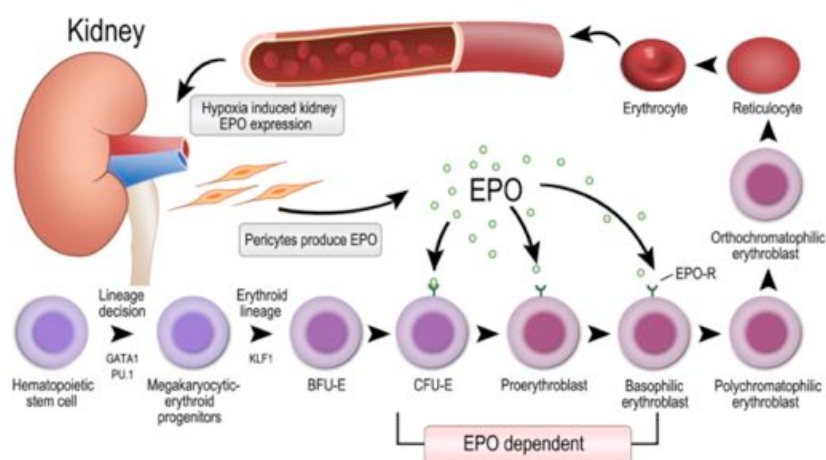


33



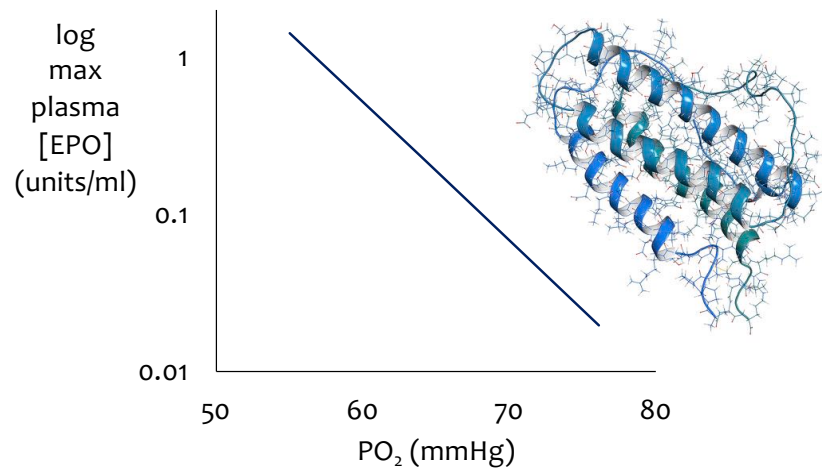
34

Erythropoietin řídí vývoj erytrocytů



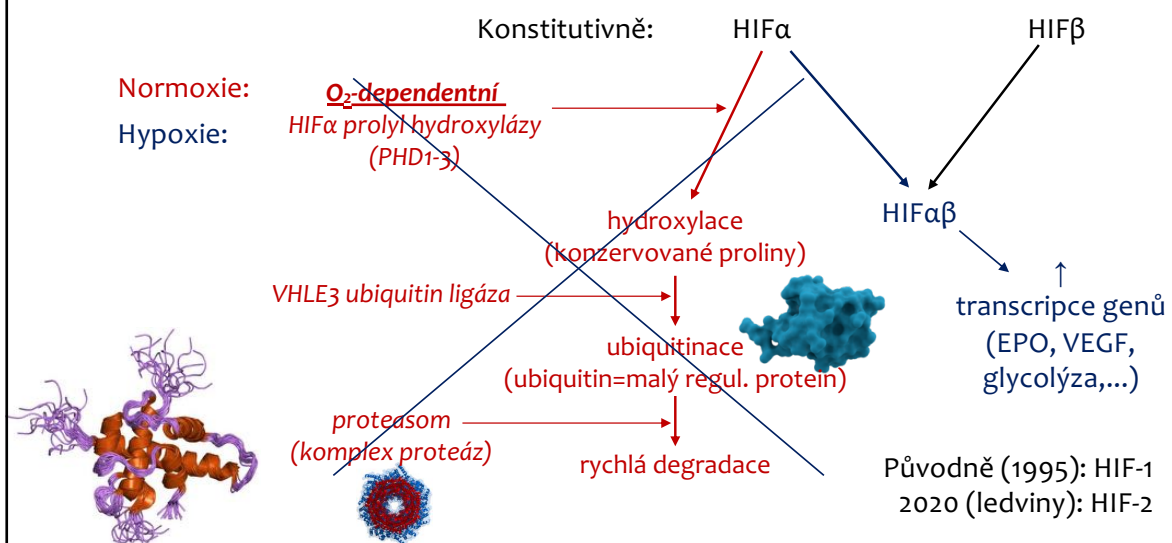
35

Hypoxie řídí uvolňování erythropoietinu



36

Hypoxia-inducible factors (HIF 1-3)



37



38