

# Transport $O_2$ a $CO_2$ v krvi

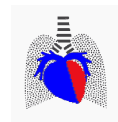
vaclav.hampel@lf2.cuni.cz

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

<http://vh.cuni.cz>

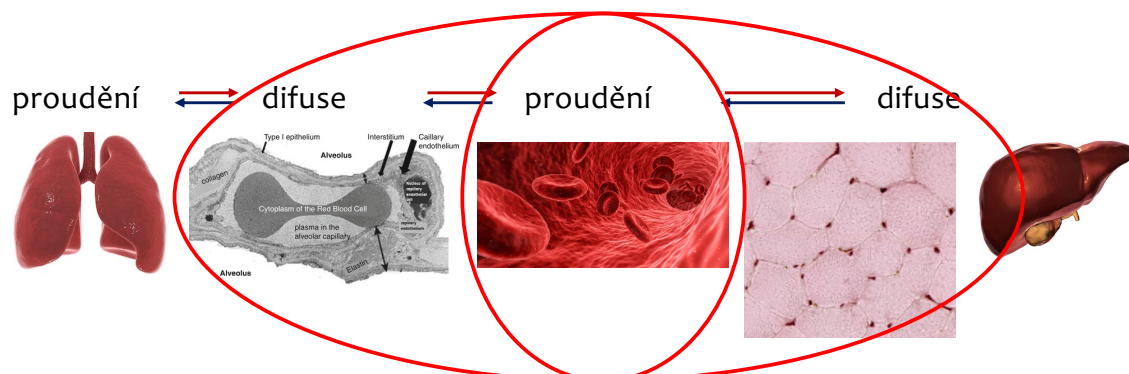


UNIVERZITA KARLOVA  
2. lékařská fakulta



1

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



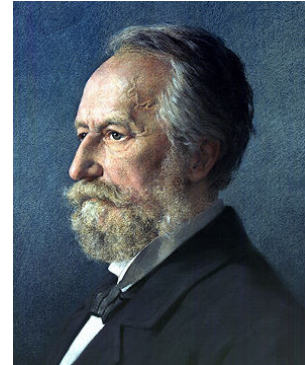
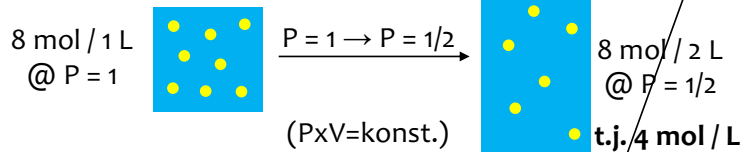
2

## Difuze v plynech

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

■ kapaliny: rozdíl koncentrací ( $C_2 - C_1$ )

■ plyny: STLAČITELNOST



Adolf Eugen Fick  
1829-1901

t.j. u plynů koncentrace bez údaje o tlaku  
není moc užitečná

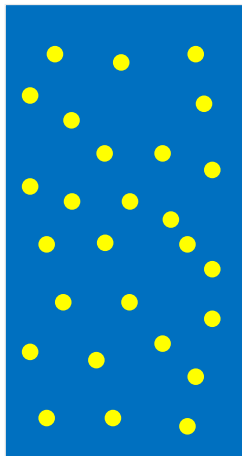
→ proto parciální tlak ( $C \times P$ )



3

## Koncentrace a parciální tlak

molekuly  $O_2$  ve vzduchu



Suchý vzduch: 21% je  $O_2$

$$F_{O_2} = 0.21$$

$$[O_2] = 210 \text{ ml/l}$$

Protože  $P_B \sim 760 \text{ mmHg}$

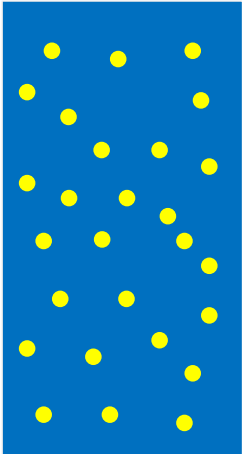
$$P_{O_2} = 0.21 \times 760 \text{ mmHg} \\ = 160 \text{ mmHg}$$




5

## Vliv vodní páry

37°C



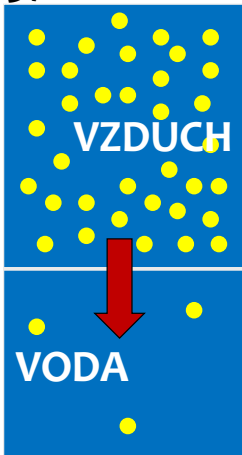
$P_B \sim 760 \text{ mmHg}$   
 $P_{H_2O} = 47 \text{ mmHg (při } 37^\circ\text{C)}$   
 $P_{\text{DRY}} = 713 \text{ mmHg}$   
 $P_{O_2} = 0.21 \times 713 \text{ mmHg}$   
 $\quad = 150 \text{ mmHg}$



6

## O<sub>2</sub> v roztoku

37°C





Po equilibraci:

VZDUCH:  $P_{O_2} = 150 \text{ mmHg}$   
VODA:  $P_{O_2} = 150 \text{ mmHg}$

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

Rozpustnost O<sub>2</sub>  
 $= 4.5 / 150 = 0.003 \text{ ml/(dl.mmHg)}$

7

## Transport $O_2$ v roztoku při námaze

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

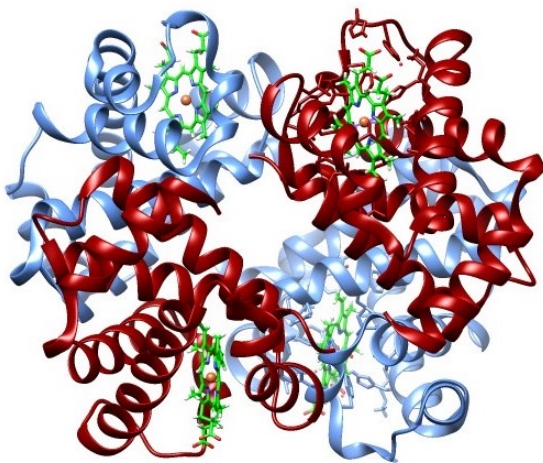
**Ale potřeba  $O_2$  je 3000 ml/min!**

$CO_2$  podobně (rozpustnost 0.067 ml/(dl.mmHg))



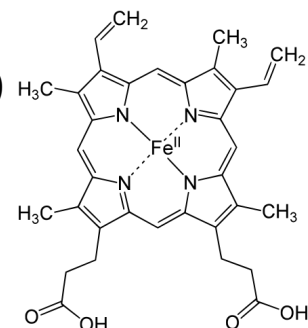
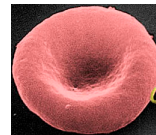
8

## Hemoglobin (Hb)



oxyHb A:  $\alpha_2\beta_2$

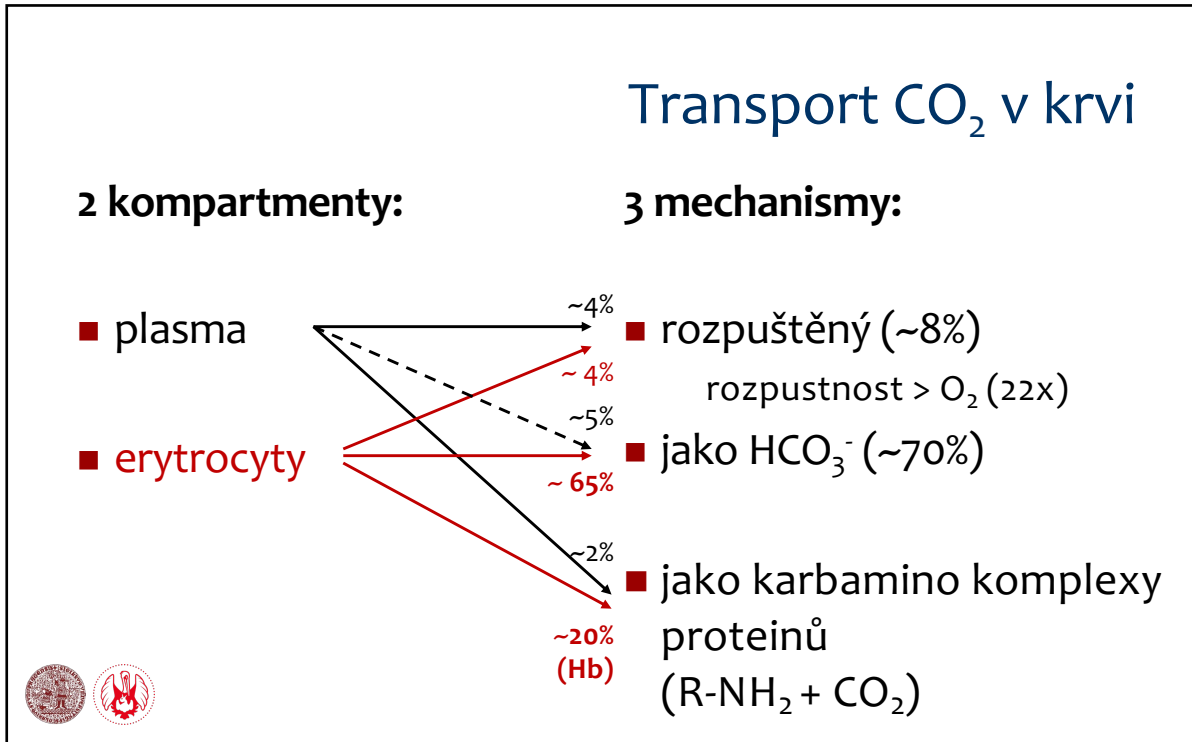
- Transport  $CO_2$  i  $O_2$ 
  - $NH_2$  skupiny N-terminálních val
  - $Fe^{2+}$  hemů
- Erythrocyty (35%)



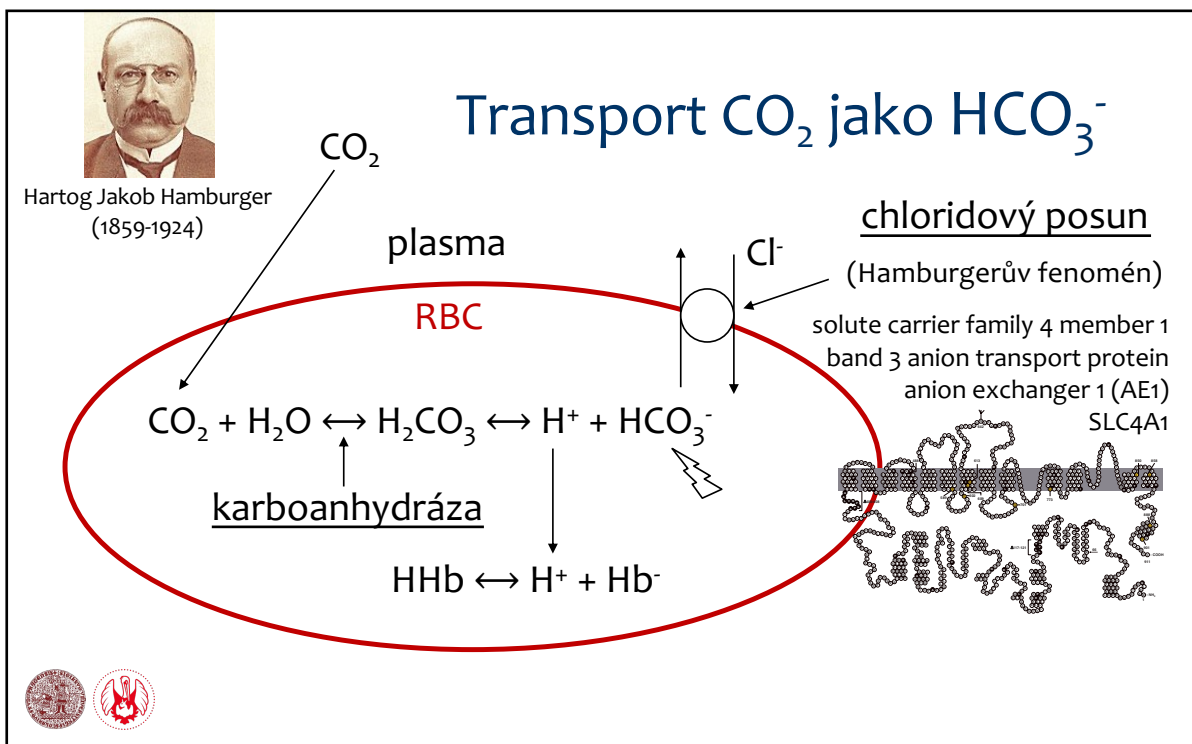
- 4 globiny + 4 hemy ( $Fe^{2+}$  v porfyrinovém kruhu)



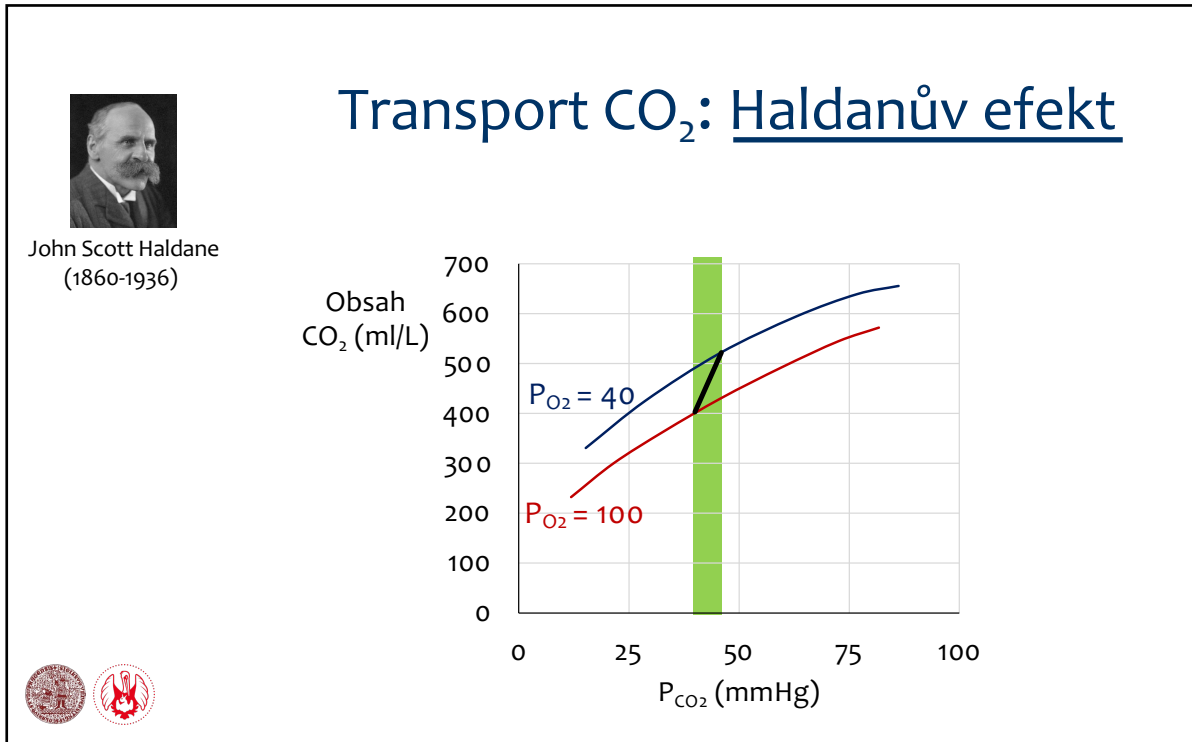
9




10



11




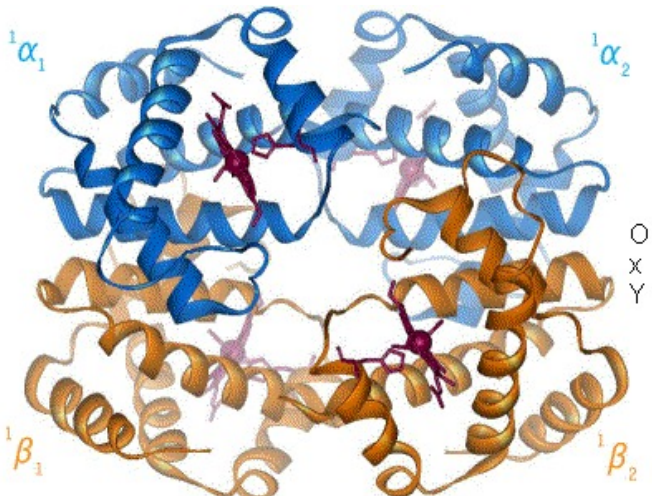
12



## Transport O<sub>2</sub>: 2 konformační stavy Hb

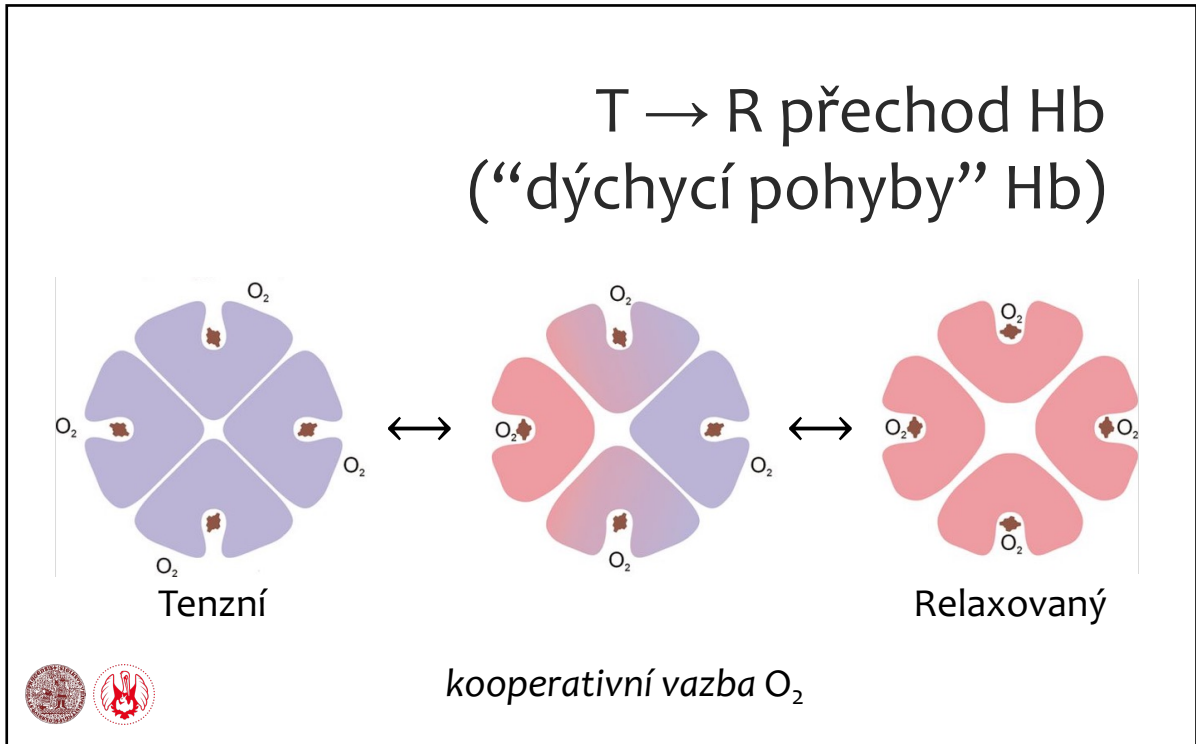
- **R (relaxovaný):**
  - při ↑O<sub>2</sub>
  - ↑ afinita k O<sub>2</sub>
  - stabilizováno ↑pH
  
- **T (tenzní)**
  - při ↓O<sub>2</sub>
  - ↓ afinita k O<sub>2</sub>
  - stabilizováno CO<sub>2</sub> & H<sup>+</sup>



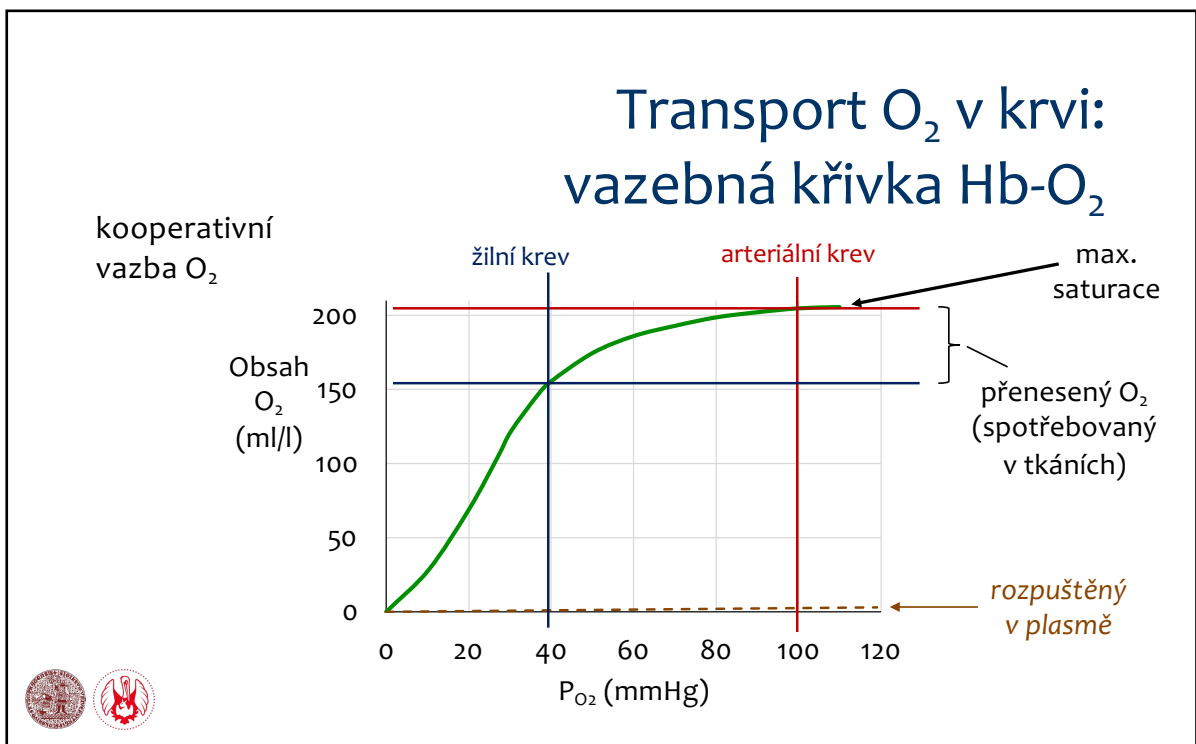


protonace NH<sub>3</sub> skupin → + náboj → iontové interakce s blízkými COOH skupinami

14



15



16



**alza.cz**

Co hledáte? Např. kabel AlzaPower... **Hledat**

Václav Hampl

Zobrazit katalog

Zdraví > Zdravotnické potřeby > Zdravotnické přístroje > Oxymetry > MG Pulse X6, Pulzný oxymetr

## MG Pulse X6, Pulzný oxymetr

Oxymetr - zobrazuje hodnotu krevního kyslíku a tepovou frekvenci, bezdrátově na prstu, rozsah měření PR: 30 bpm - 250 bpm, SPO2: 35 ~ 99%, přesný, malé rozměry, automatické vypnutí, displej, napájení: 2x AAA baterie (balení součástí balení)

**Výměna nevhodného dárku za poukaz do 31.1.2024** Nyní  
Zboží by mělo být nepoužité, nepoškozené a v originálním obale

**Skladem > 10 ks u dodavatele**


Zjistit termín doručení do AlzaBoxu

**Středa 15.11. od 17:00 na prodejně Alza Showroom Praha 5 Zličín**

**Středa 15.11. u Vás (ul. V Aleji 1083/17)**

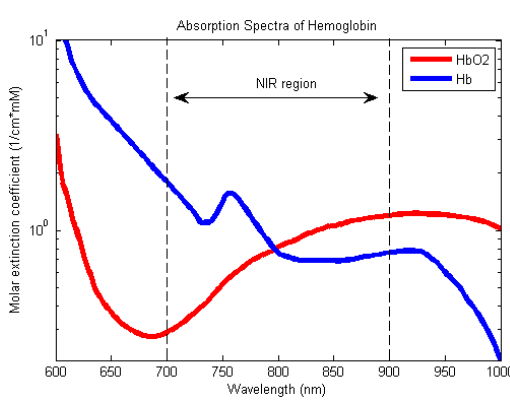
**359,-**

20



## Pulsní oxymetrie

- bezpečná, snadná, neinvazivní, levná, užitečná při intenzivní péči
- ne vždy shodná s arteriální  $\text{SaO}_2$ 
  - ale dobrá korelace
- světlo 2 vlnových délek skrz tenkou část těla do fotodetektoru
- měří absorbanci při každé z vlnových délek
- pulzatilní + nepulzatilní komponenta
- $\Rightarrow$  měří  $\text{S}_{\text{O}_2}$ , ne  $[\text{O}_2]$  ani  $\text{P}_{\text{O}_2}$ 
  - < 93%  $\rightarrow$  !
  - < 90%  $\rightarrow$  !!!



Absorption Spectra of Hemoglobin

Molar extinction coefficient (l/cm\*mm)

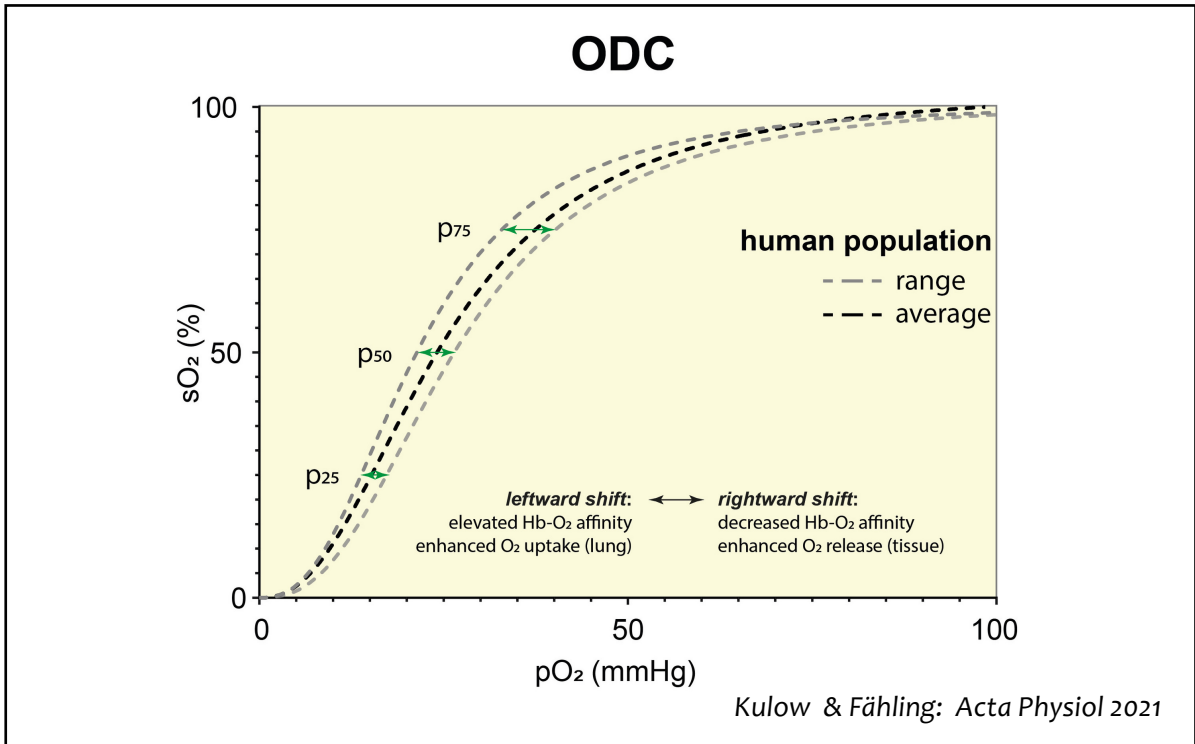
Wavelength (nm)

NIR region

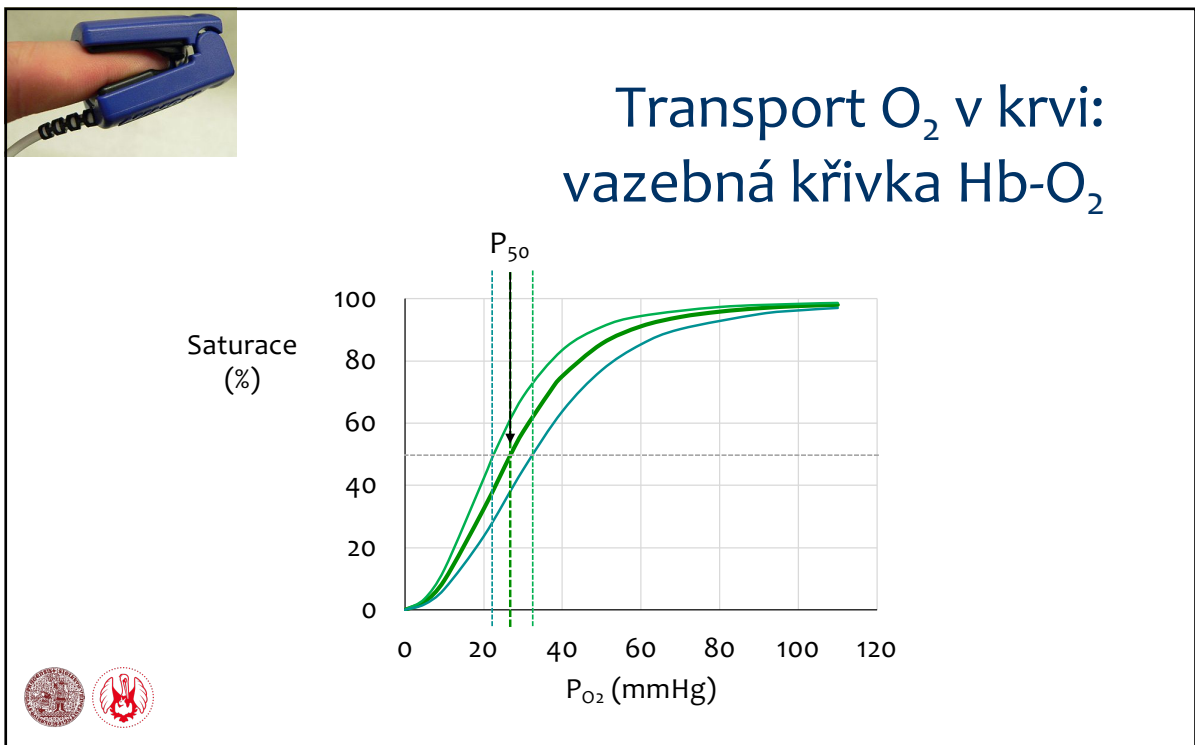
HbO2  
Hb

21

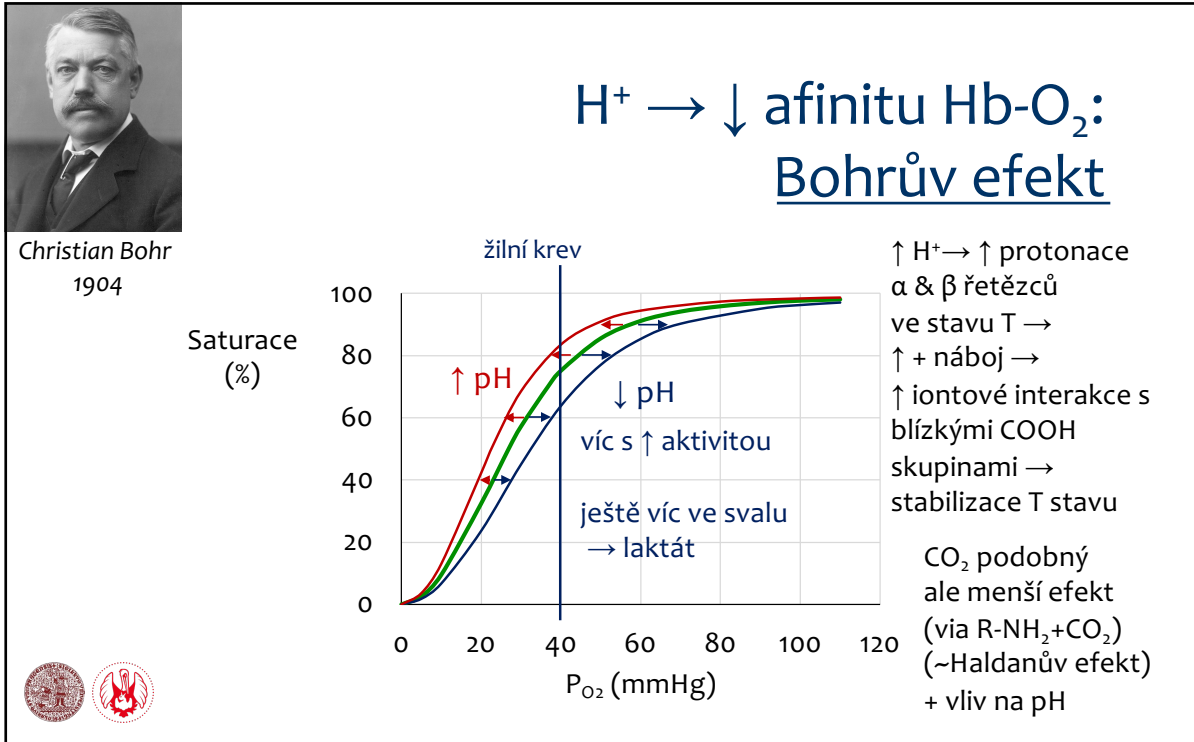




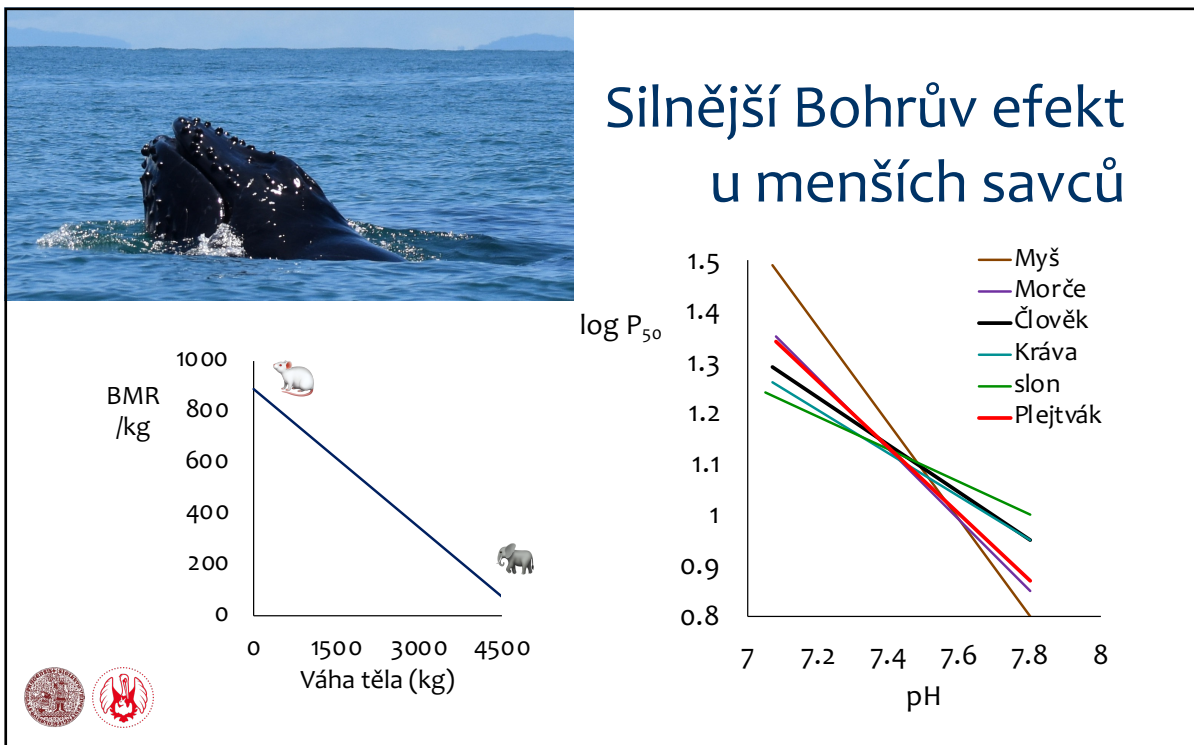
22



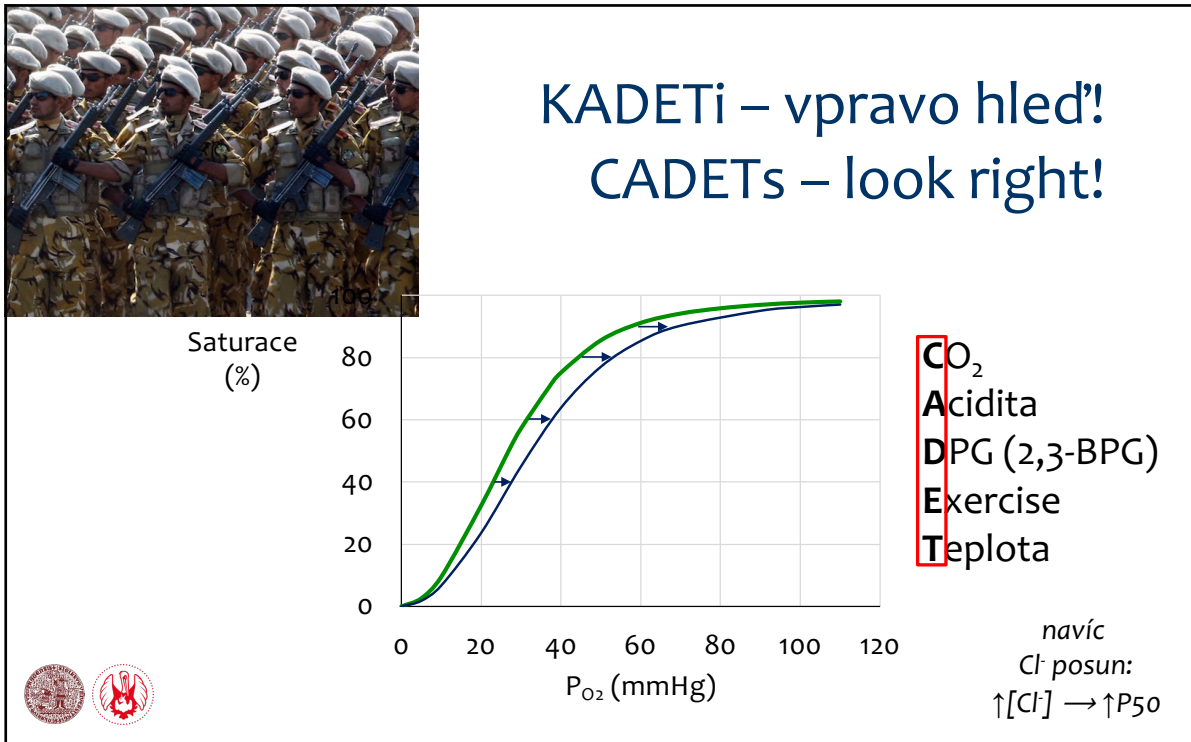
23



24



25



26

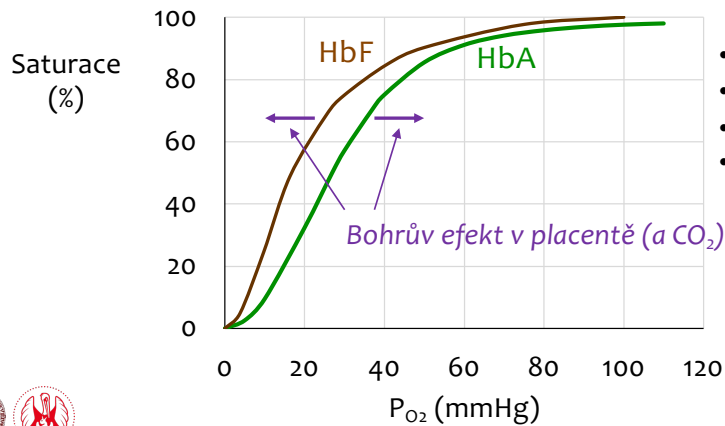
## 2,3-bisfosfoglycerát (2,3-BPG) (2,3-difosfoglycerát, 2,3-DPG)

- meziprodukt glykolýzy v erytrocytech (~ 5 mM)
- rychle spotřebováván při normálním  $P_{O_2}$ , hromadí se při  $\downarrow P_{O_2}$
- přednostně se váže na  $\beta$  řetězce
- ~9 Å
  - pasuje do deoxyHb formy (11 Å kapsa)
  - hůř do oxyHb formy (5 Å kapsa)

27

## Fetální Hb (Hb F: $\alpha_2\gamma_2$ )

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



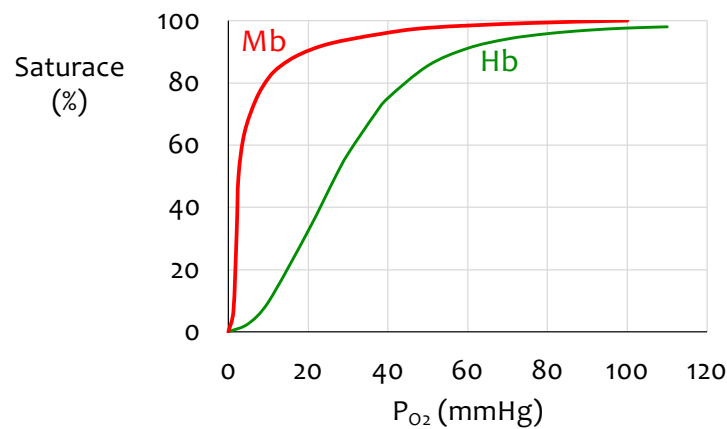
- od 6. týdne: embryonální Hb (vč. F)
- od 3. měsíce dominuje F
- A od 40. týdne
- při \* 50-95% F
- od 6. měsíce dominuje A



28

## Myoglobin (Mb)

1 řetězec  $\rightarrow$  není kooperativní vazba  $O_2$  ("vše nebo nic")



29

## Dyshemoglobinemie

Formy Hb, které nemohou transportovat O<sub>2</sub>:

- 1) **Kompetice s O<sub>2</sub> o Fe:** karboxy-Hb (karbonyl-Hb; CO-Hb)  
- afinita Fe k CO ~240x vyšší než k O<sub>2</sub>
- 2) **Oxidace Fe<sup>2+</sup> → Fe<sup>3+</sup>:** metHb
- 3) **Nekompetitivní blokáda** vazby O<sub>2</sub> na Fe: sulf-Hb  
(S ireverzibilně váže pyrolové jádro hemu, „překáží“ vazbě O<sub>2</sub>)  
- H<sub>2</sub>S, sulfonamidy, sumatriptan,...
- 4) **Hemoglobinopatie** – mutace globinu ovlivní vazbu O<sub>2</sub> (velmi vzácné; většinou ovlivňují životnost a vlastnosti RBC - thalasémie, srpkovitá anémie) – ↑P<sub>50</sub> (Chesapeake) nebo ↓P<sub>50</sub> (Beth Israel)



30

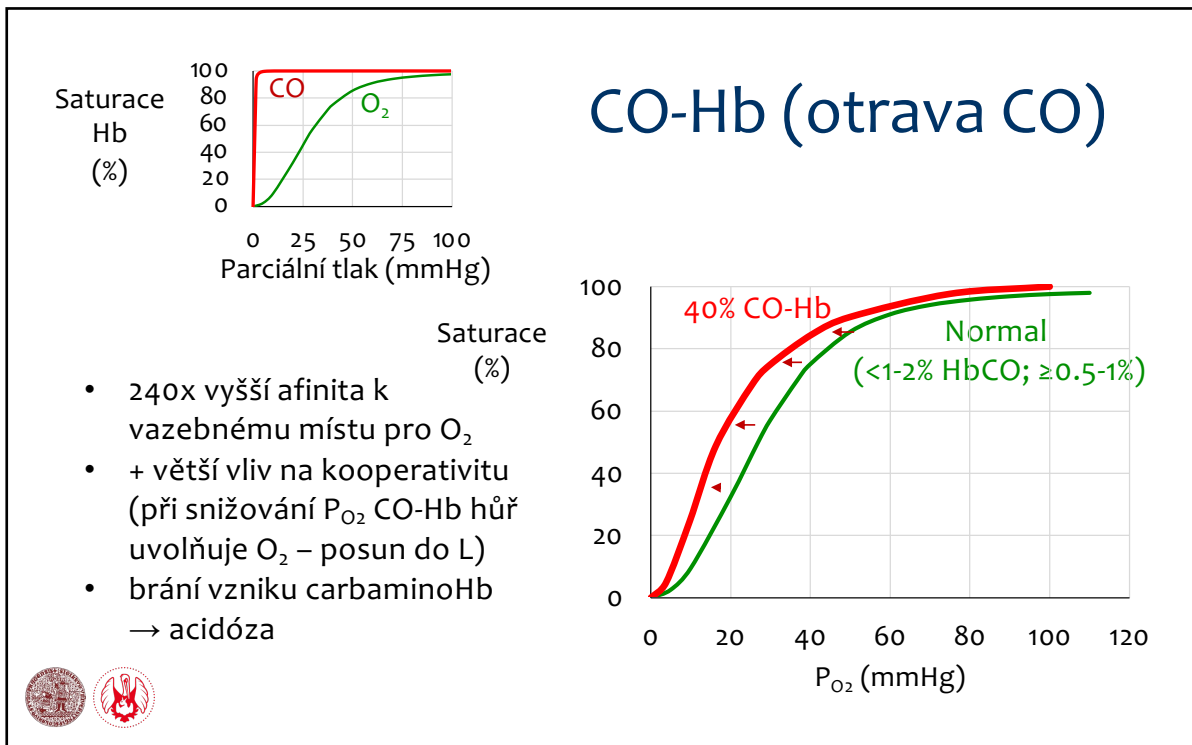
## CO-Hb (otrava CO)



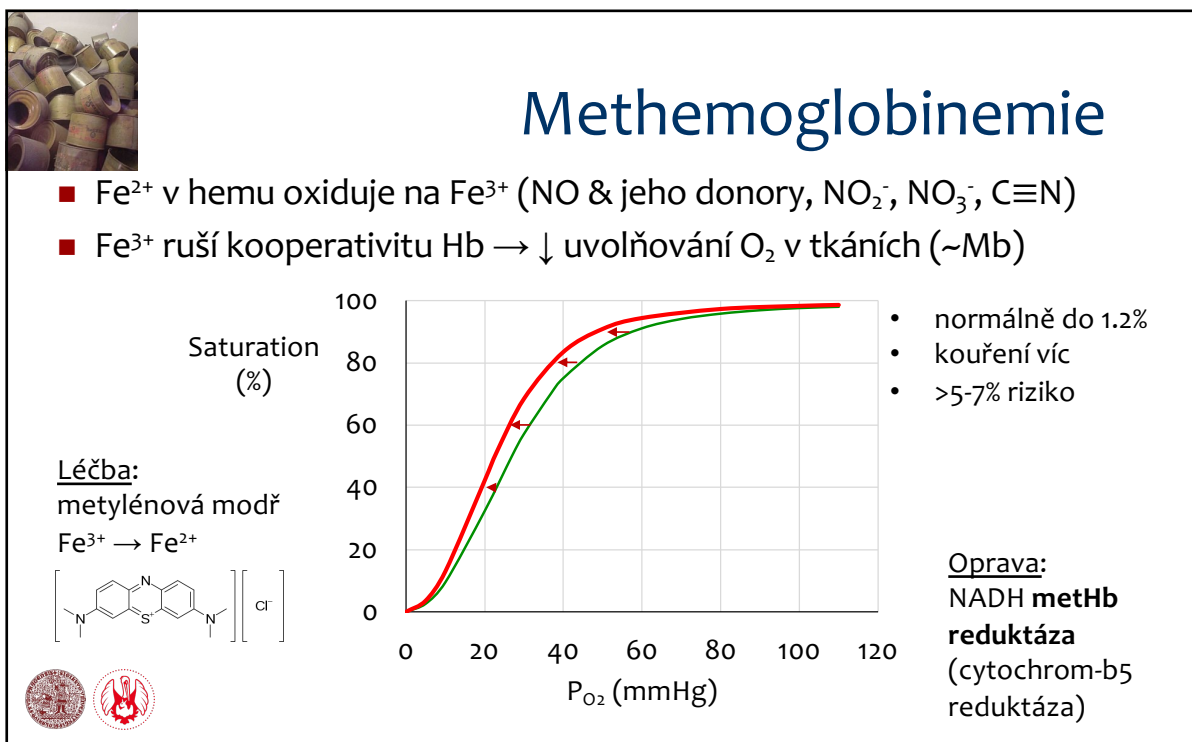
- požáry, výfuky, kouření, znečištění, topení, sopky, ...
- ale i endogenní – metabolismus hemu (hl. Hb):  
hem → biliverdin + Fe + CO (heme oxygenase)
- normálně 0.5-2 % celk. Hb je CO-Hb (město ≤5%)
- při kouření ≤10– max 15%, novorozenci ≤12%
- ≤2.5% OK, >15% problém, >30% jde o život
- 85% CO se váže na Hb (je ho nejvíc), zbytek hl. Mb, CytC oxidázu (inhibice), NADPH reduktáza
- poločas CO Hb normálně ~ 5 hod  
(při 100% O<sub>2</sub> ~80-90 min)



34



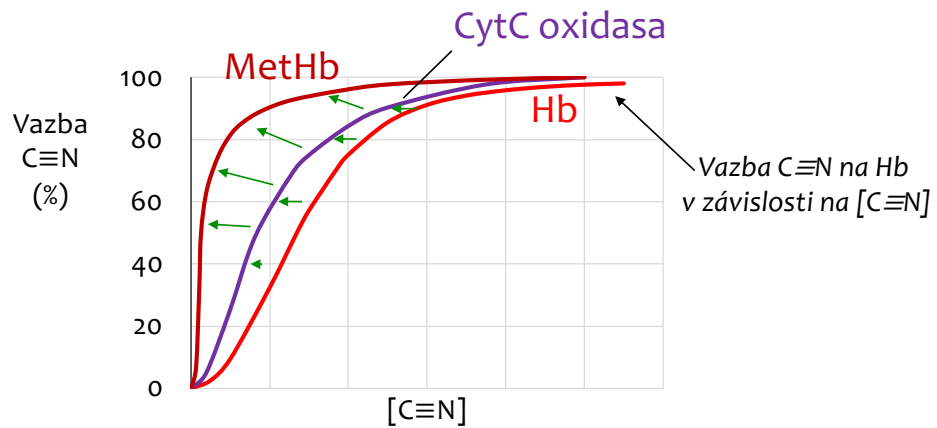
35



37

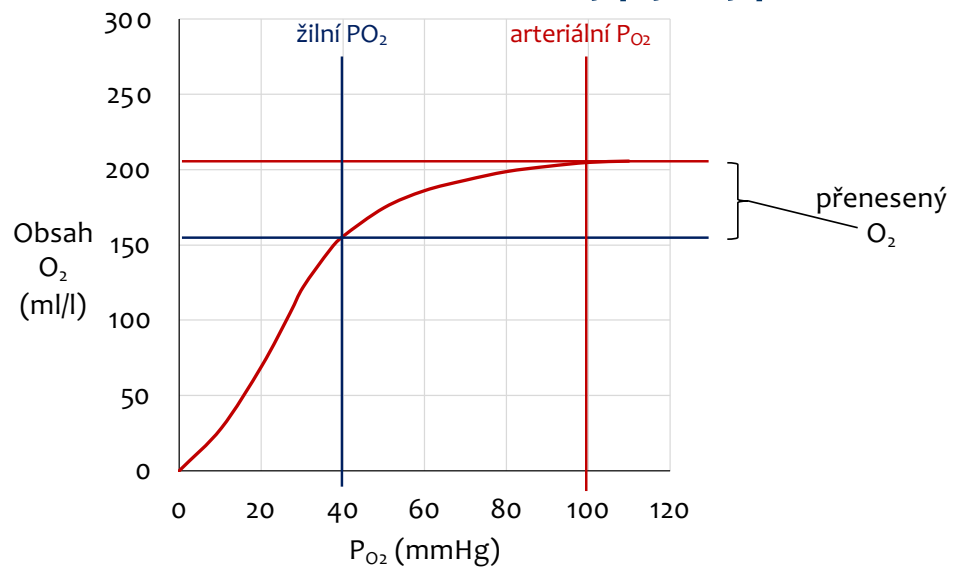
## Kdy je methemoglobinemie dobře?

Otrava kyanidy

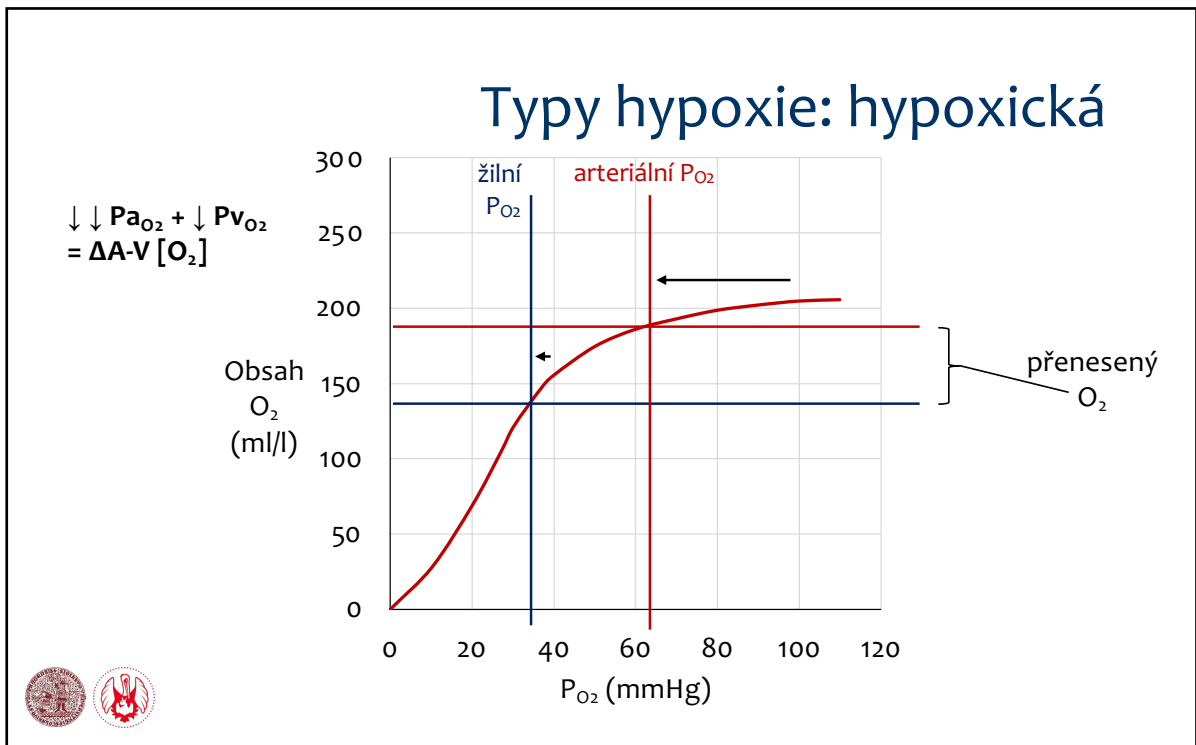


38

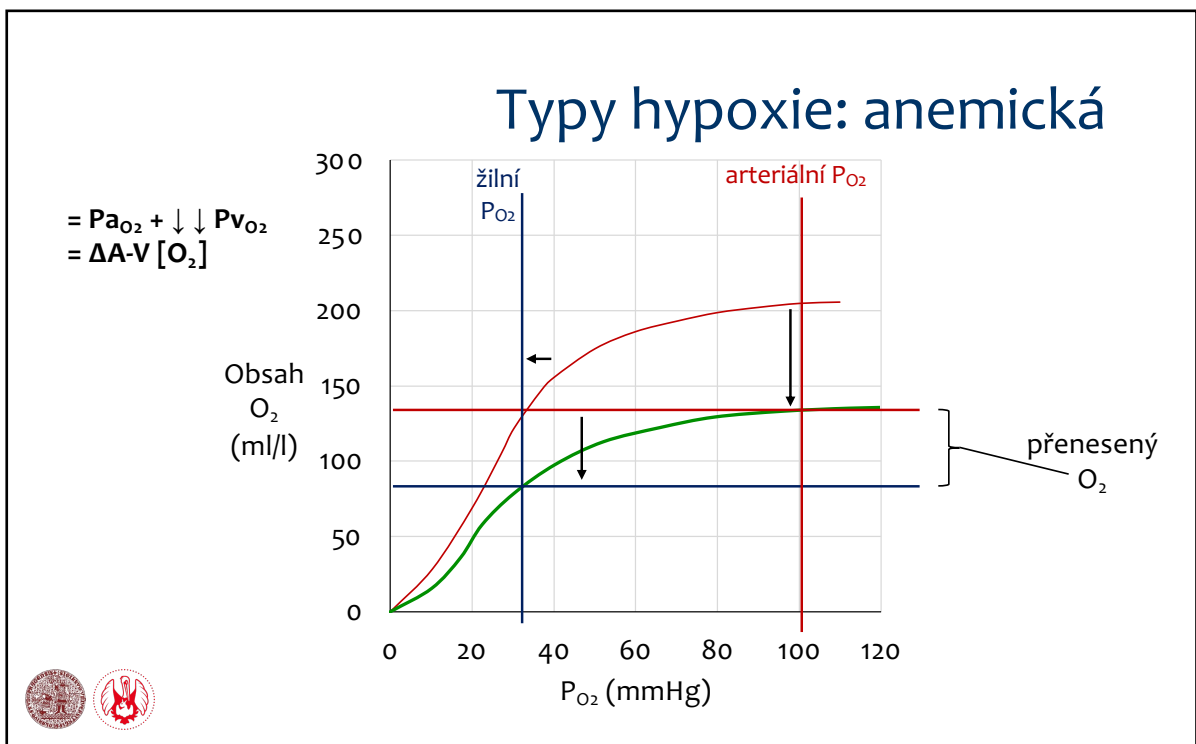
## Typy hypoxie



39

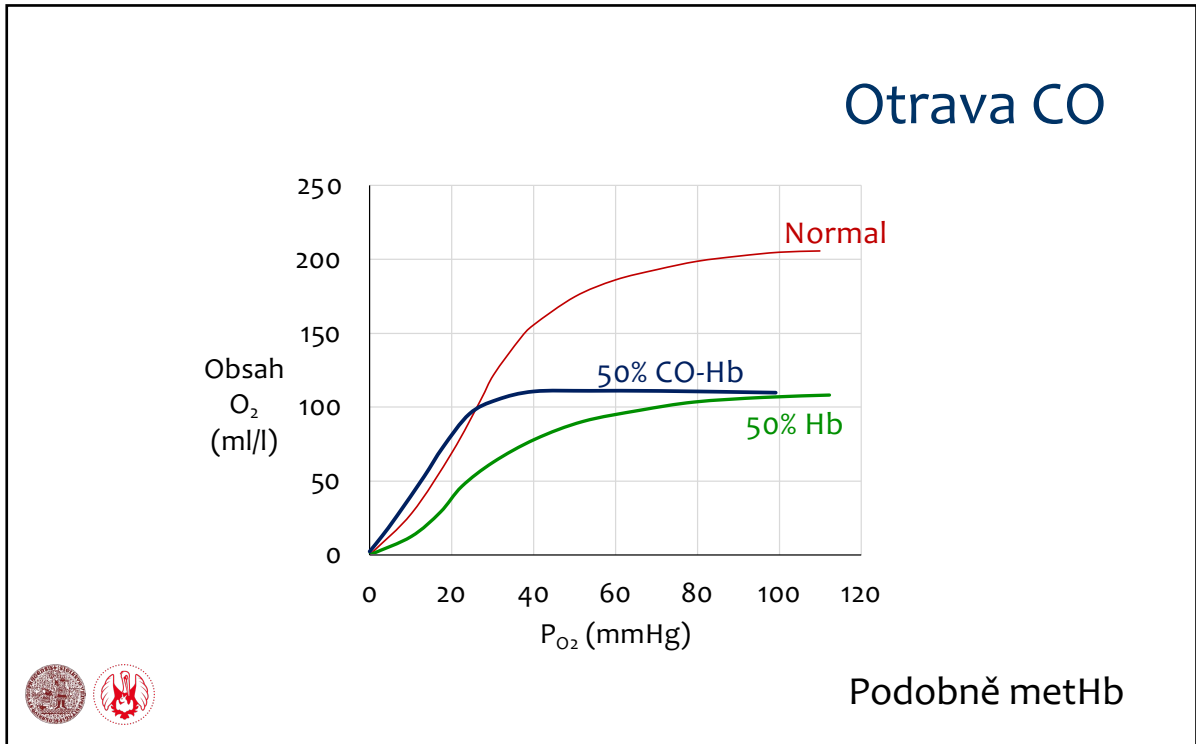


40

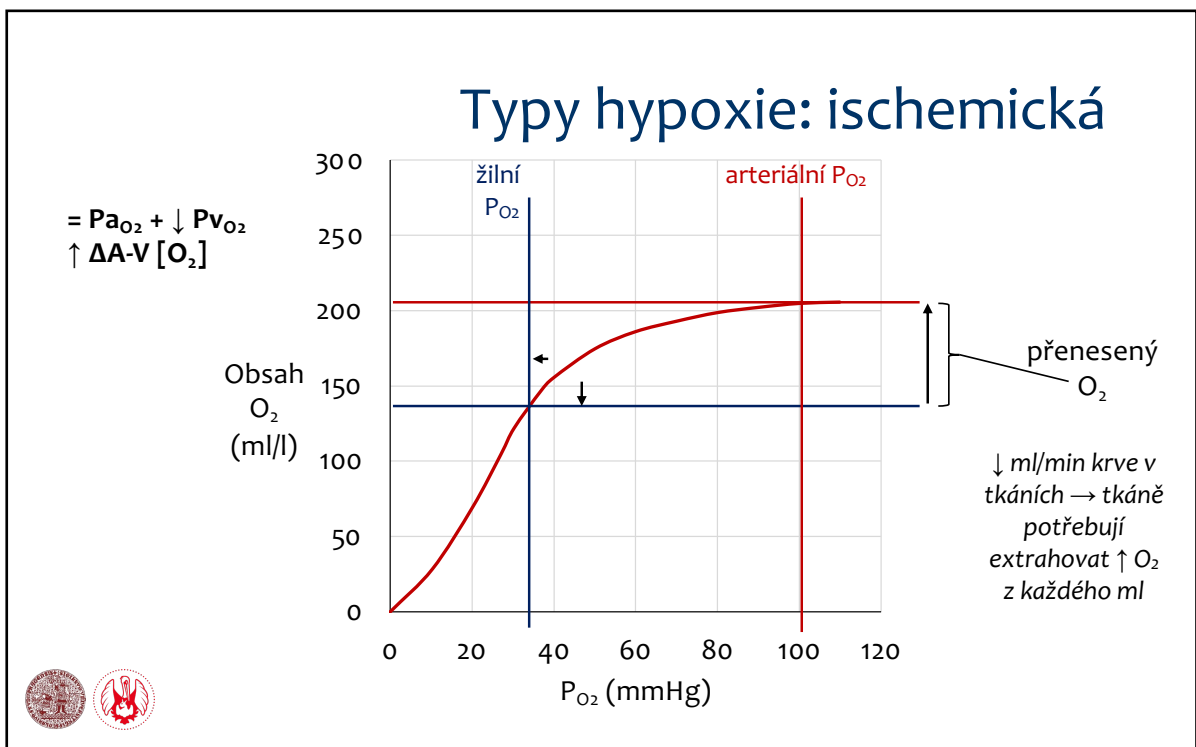


41

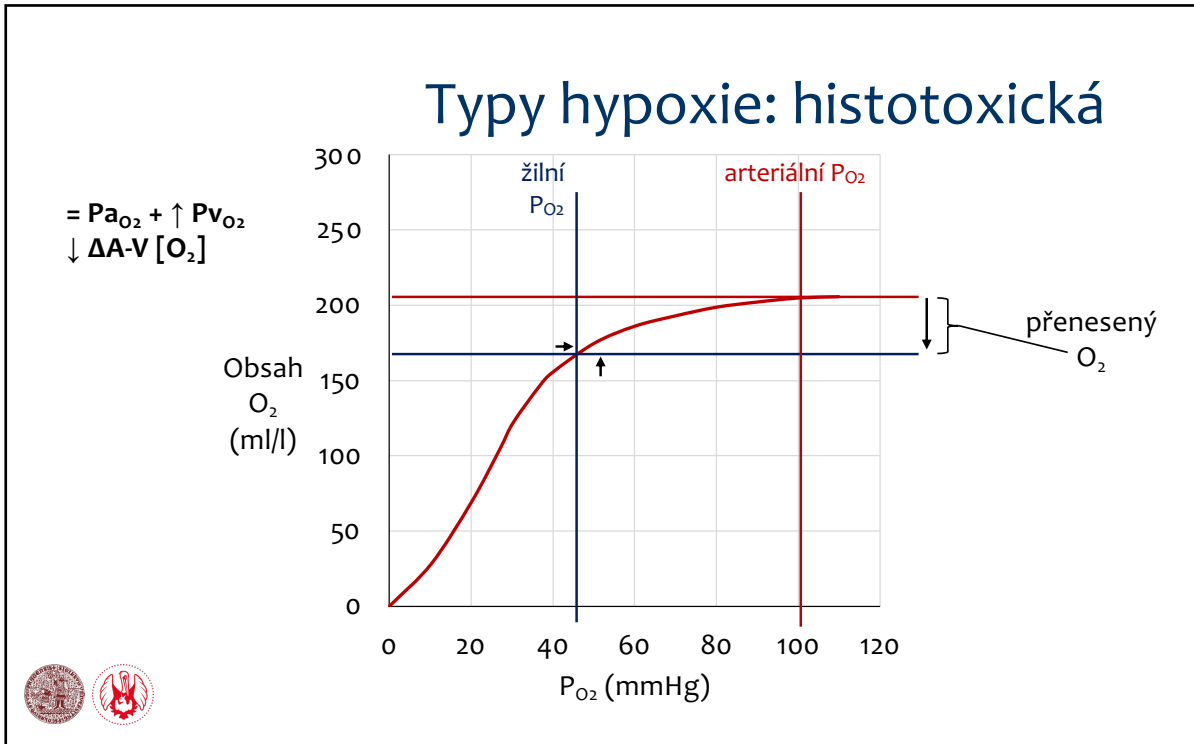




42



43

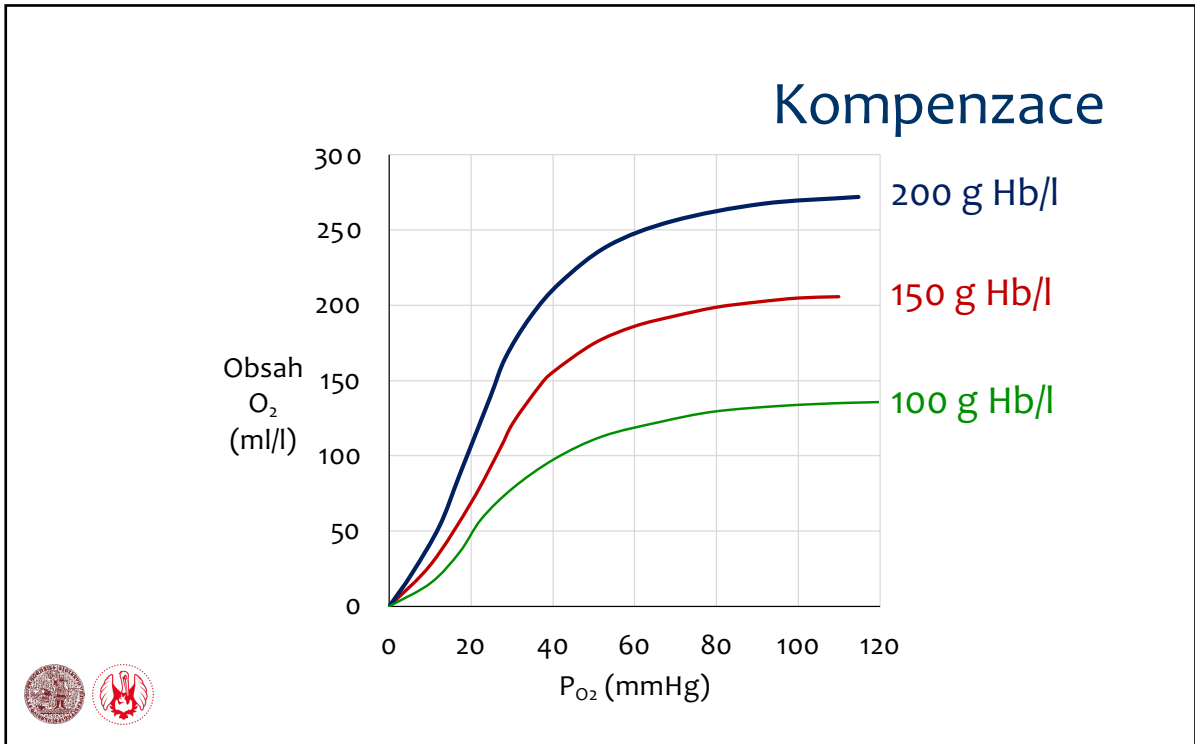


44

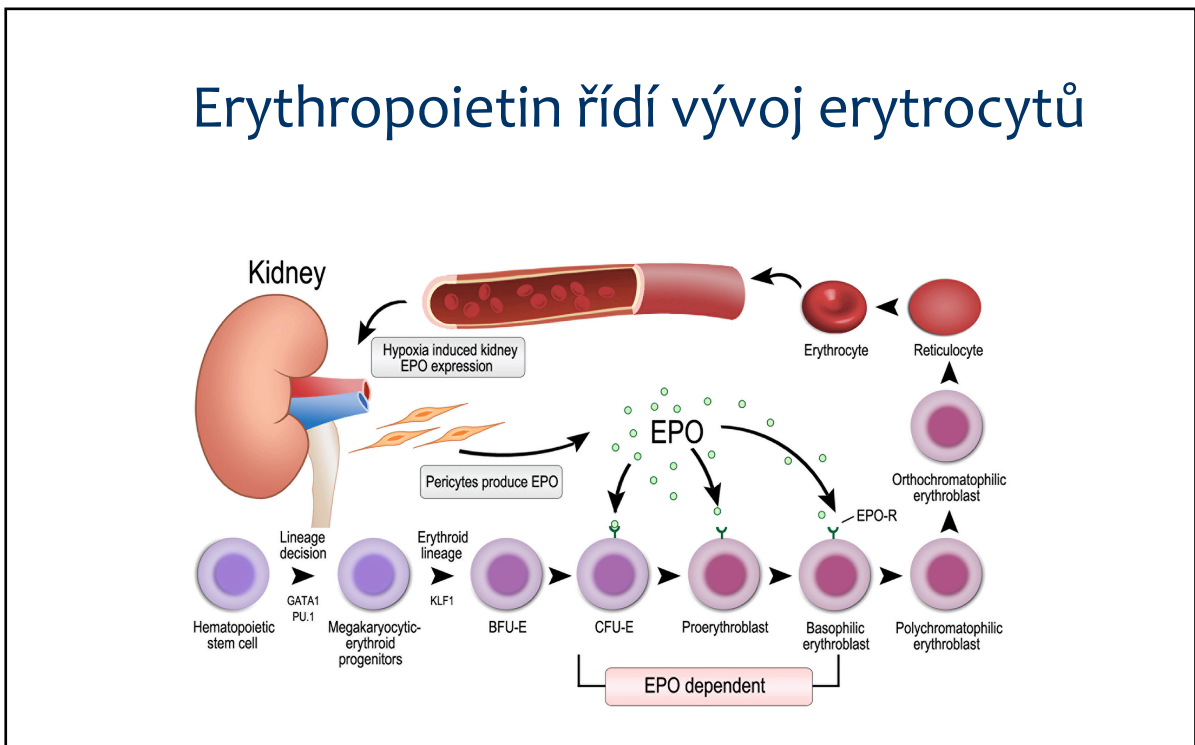
### 4 typy hypoxie

	$Pa_{O_2}$	$\Delta A-V [O_2]$	$Pv_{O_2}$	
hypoxická	$\downarrow \downarrow$	=	$\downarrow$	
anemická	=	=	$\downarrow \downarrow$	
ischémická	=	$\uparrow$	$\downarrow$	
histotoxická	=	$\downarrow$	$\uparrow$	

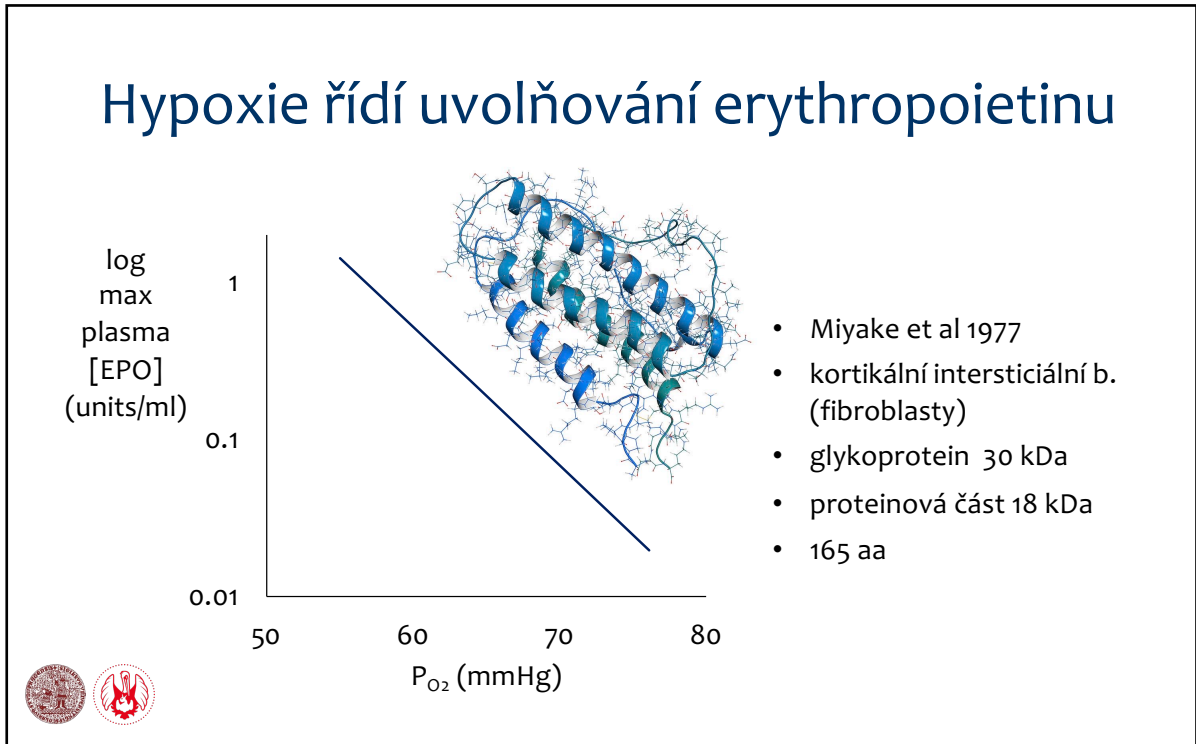
45



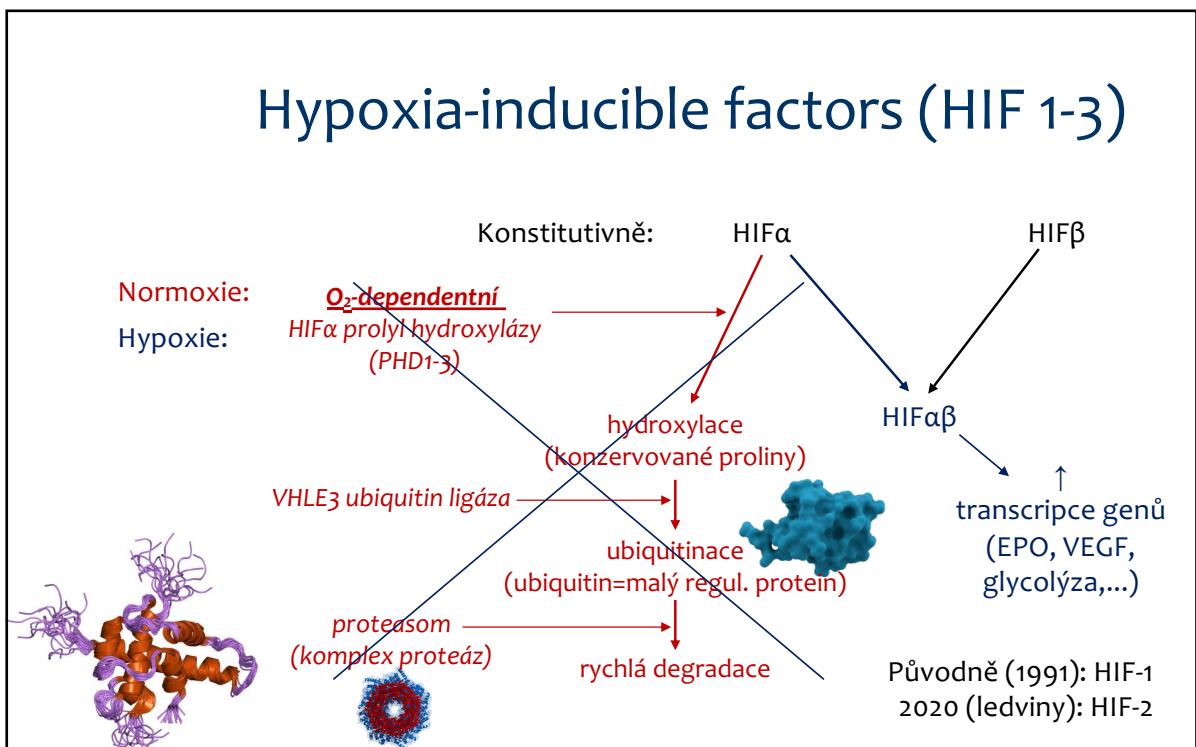
46



47



48



49



50