

# Transport $O_2$ a $CO_2$ v krvi

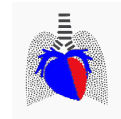
vaclav.hAMPL@lf2.cuni.cz

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

<http://vh.cuni.cz>

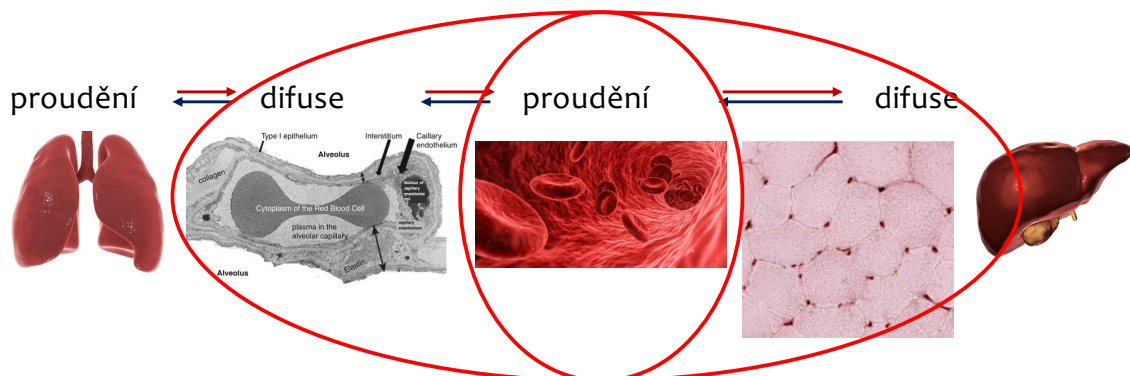


UNIVERZITA KARLOVA  
2. lékařská fakulta



1

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



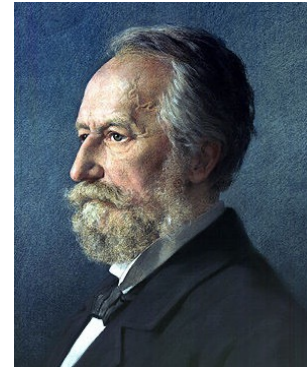
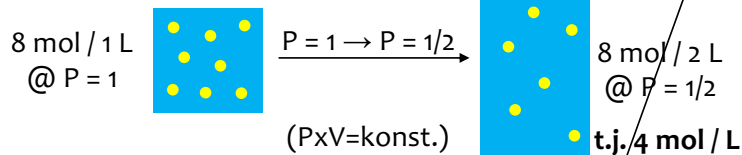
2

## 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

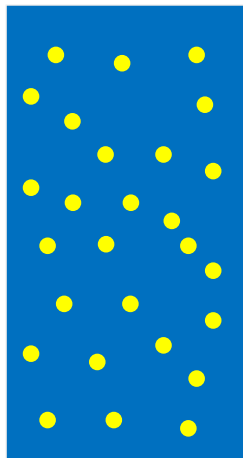
→ proto parciální tlak ( $C \times P$ )



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  $P_B \sim 760 \text{ mmHg}$

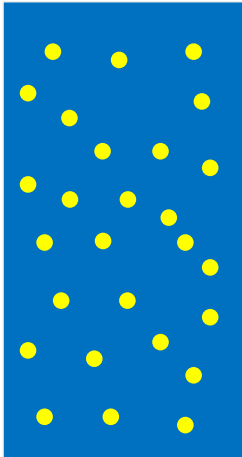
$$P_{O_2} = 0.21 \times 760 \text{ mmHg} \\ = 160 \text{ mmHg}$$




5

## Vliv vodní páry

37°C



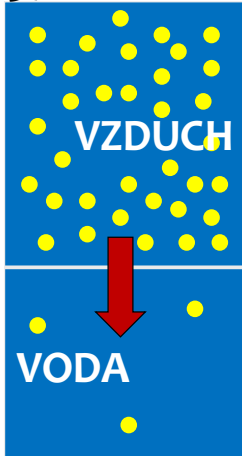
$P_B \sim 760 \text{ mmHg}$   
 $P_{H_2O} = 47 \text{ mmHg (při } 37^\circ\text{C)}$   
 $P_{DRY} = 713 \text{ mmHg}$   
 $P_{O_2} = 0.21 \times 713 \text{ mmHg}$   
 $\quad = 150 \text{ mmHg}$





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



37°C

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

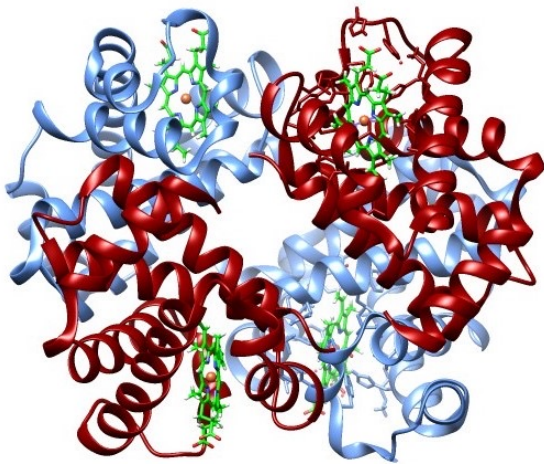
**Ale potřeba  $O_2$  je 3000 ml/min!**

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



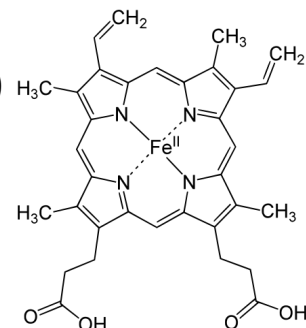
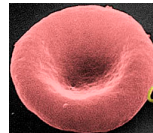
8

## Hemoglobin (Hb)



oxyHb A:  $\alpha_2\beta_2$

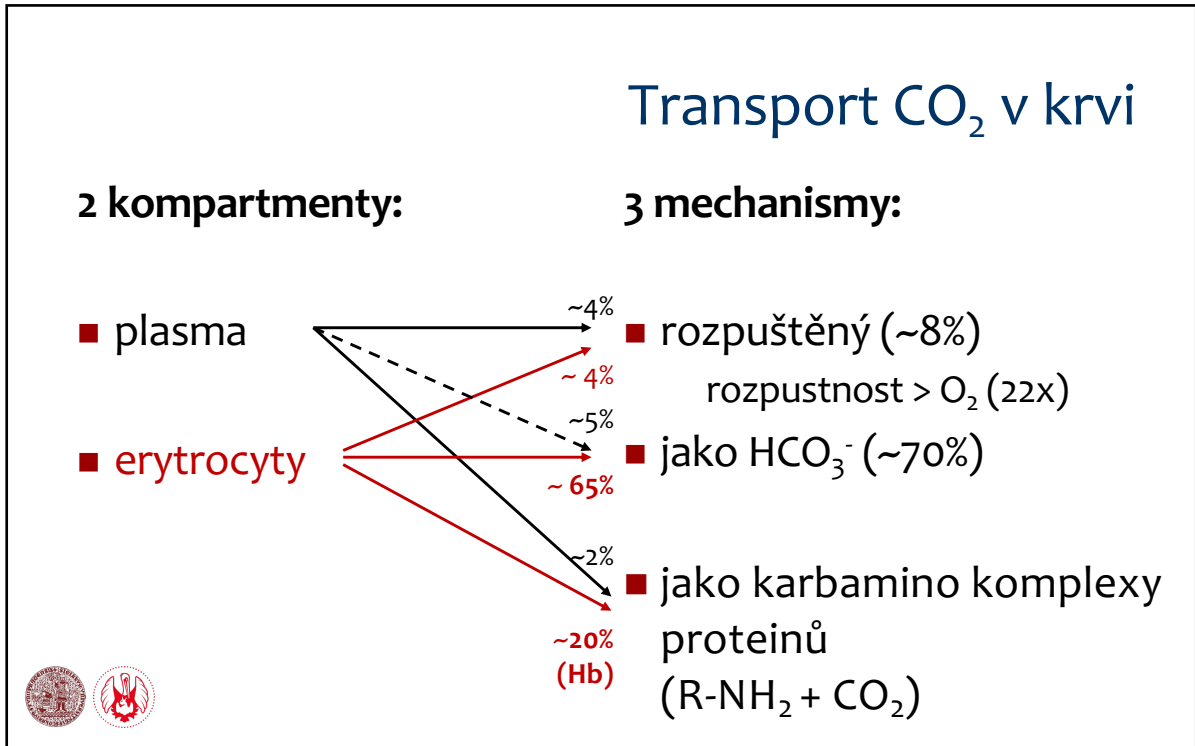
- Transport  $CO_2$  i  $O_2$ 
  - $NH_2$  skupiny N-terminálních val
  - $Fe^{2+}$  hemů
- Erythrocyty (35%)



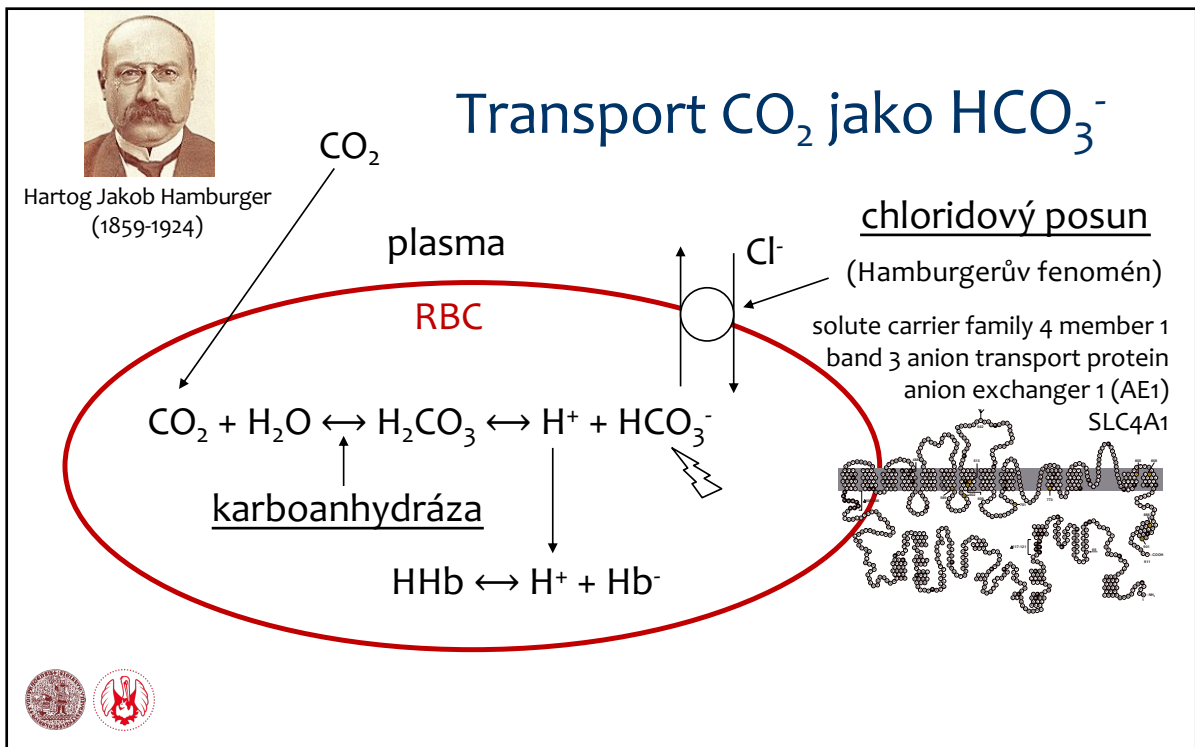
- 4 globiny + 4 hemy ( $Fe^{2+}$  v porfyrinovém kruhu)



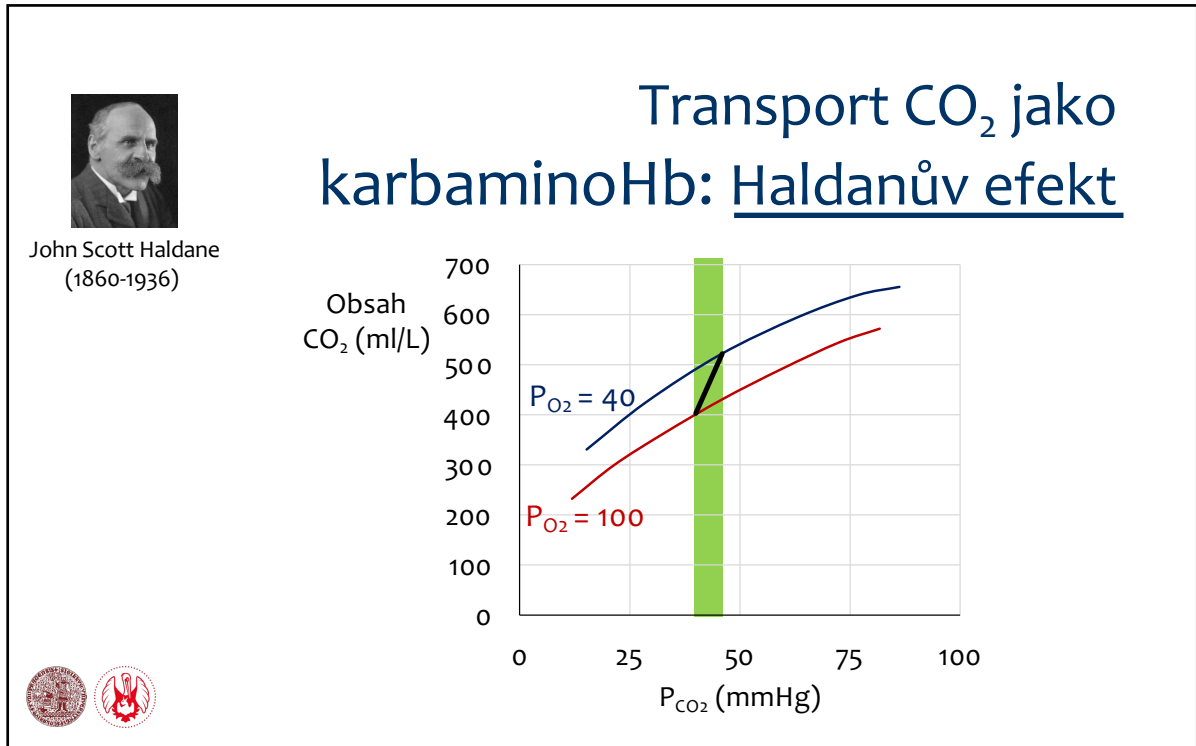
9




10



11




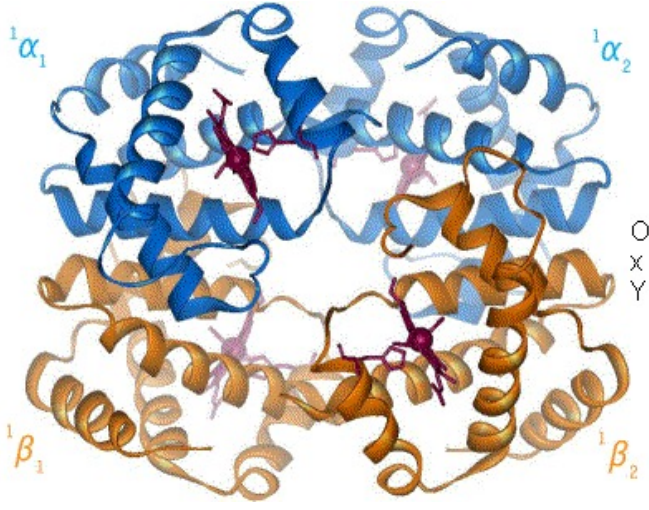
12



## 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>







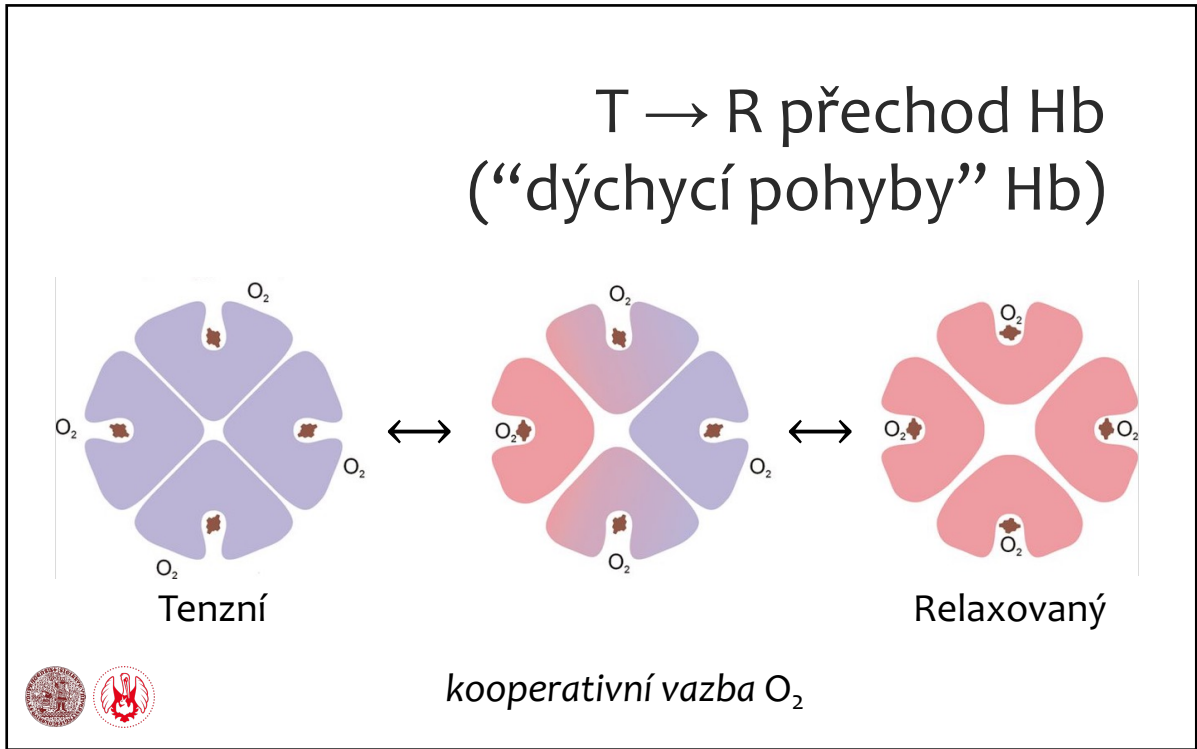
O  
X  
Y

<sup>1</sup>α<sub>1</sub>    <sup>1</sup>α<sub>2</sub>  
<sup>1</sup>β<sub>1</sub>    <sup>1</sup>β<sub>2</sub>

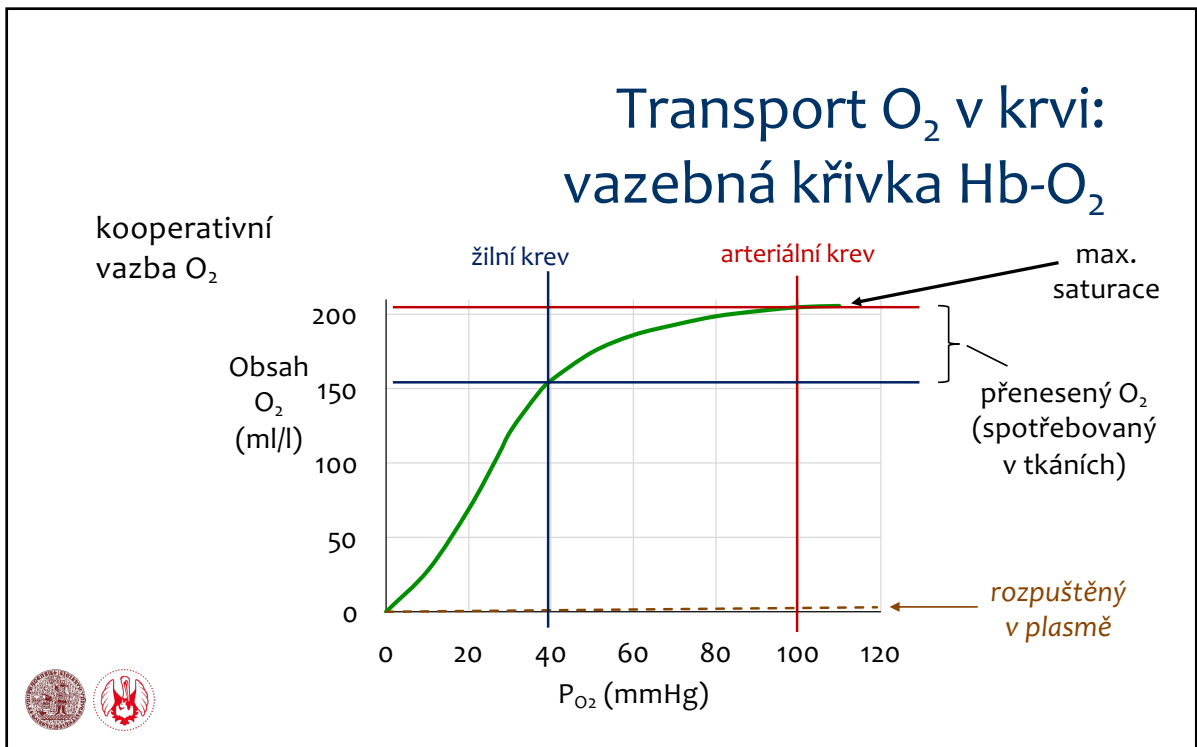
protonace NH<sub>3</sub> skupin → + náboj → iontové interakce s blízkými COOH skupinami

13



14



15

**alza.cz**

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

Václav Hampl

Zobrazit katalog

Home > 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%, přesné malé rozměry, automatické vypnutí, displej, napájení: 2x AAA baterie (balení obsahuje 2x AAA baterie)

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,-**

18

## 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
- pulzaticí + nepulzaticí 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\*mmol)

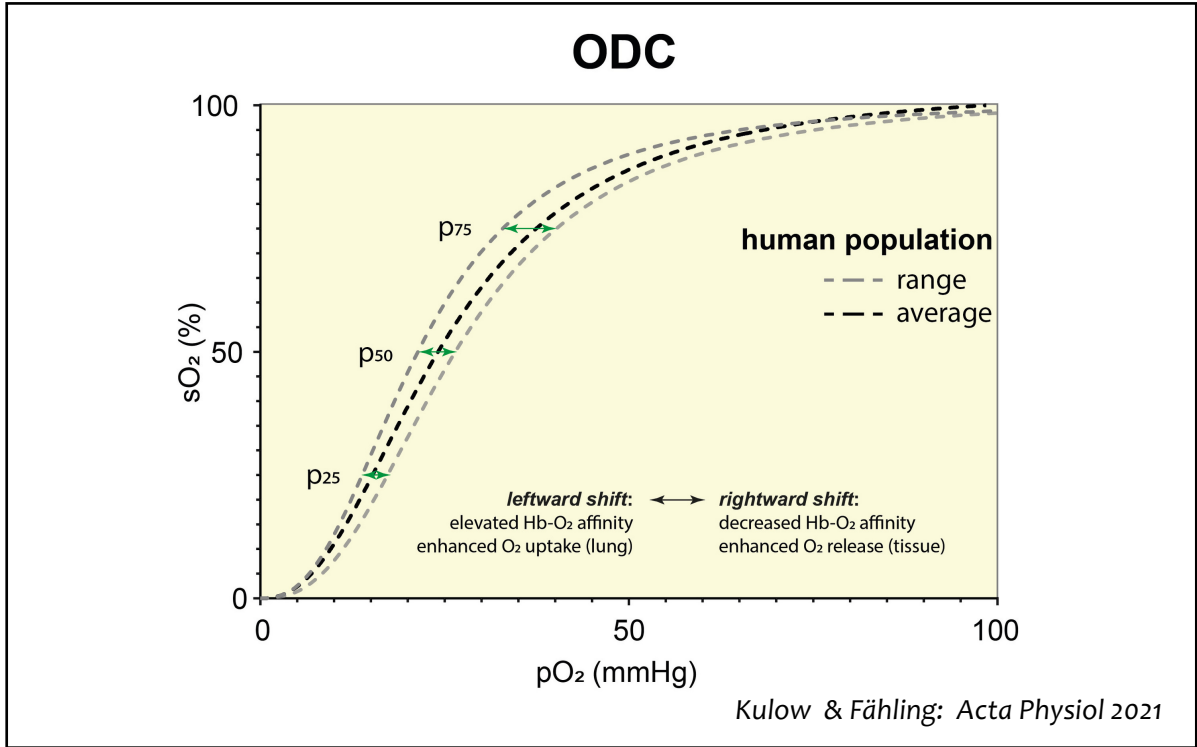
Wavelength (nm)

NIR region

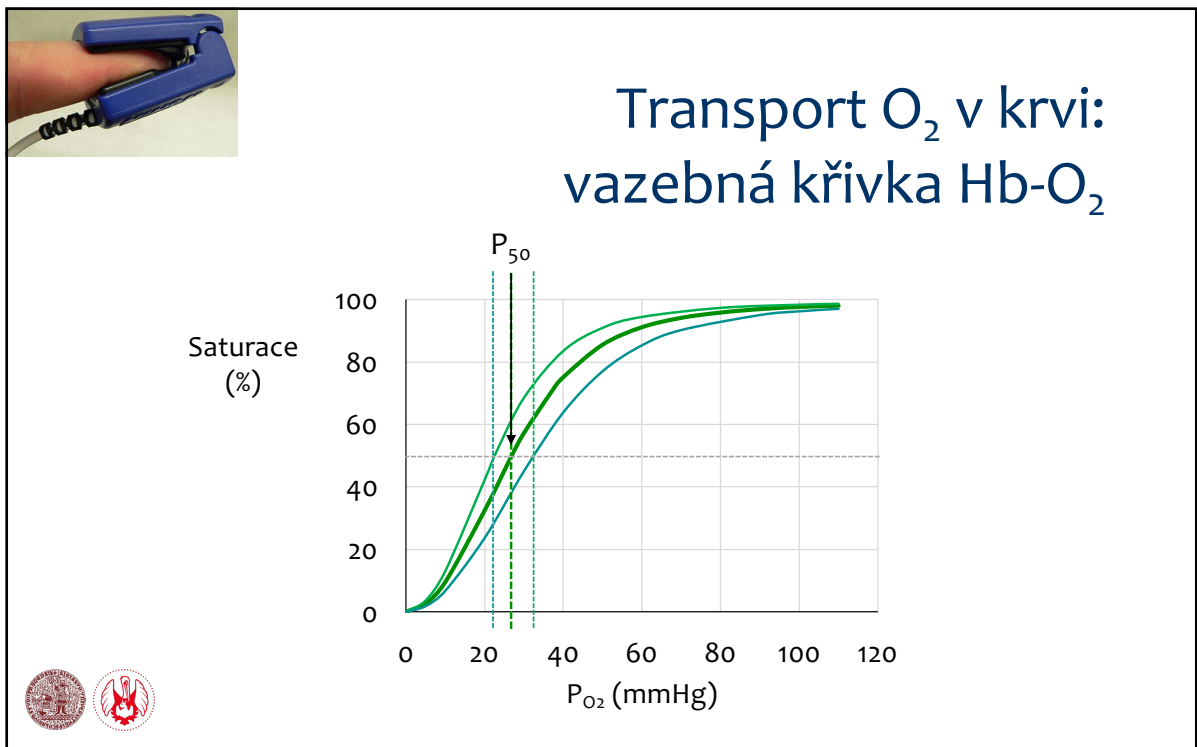
Legend: HbO<sub>2</sub> (red), Hb (blue)

19





20

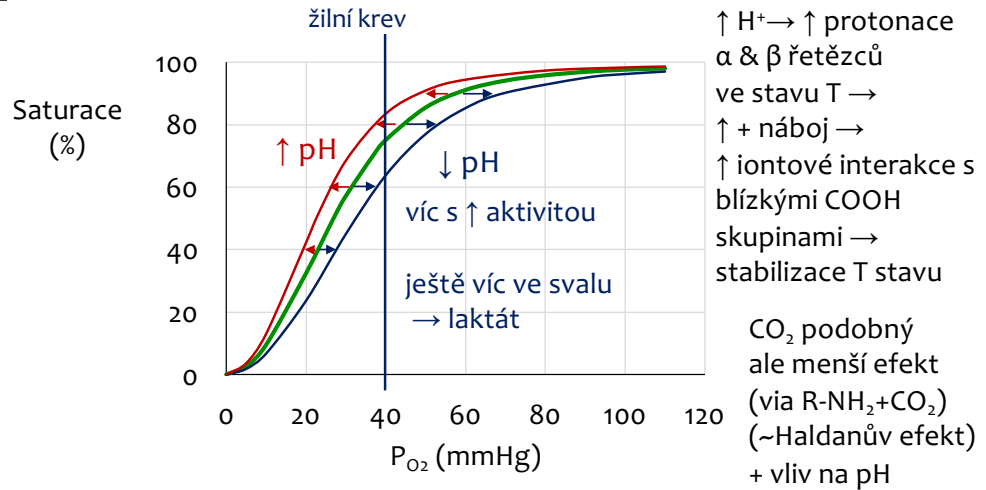


21



Christian Bohr  
1904

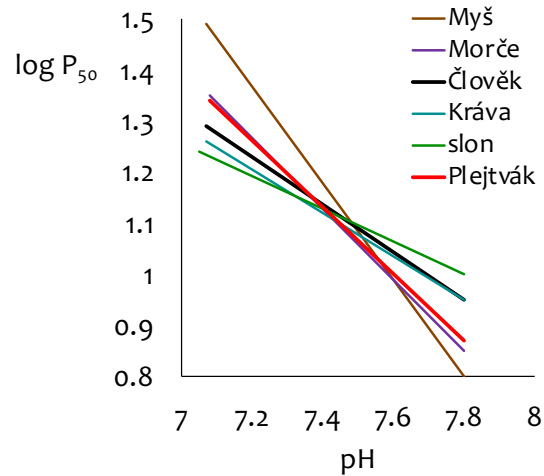
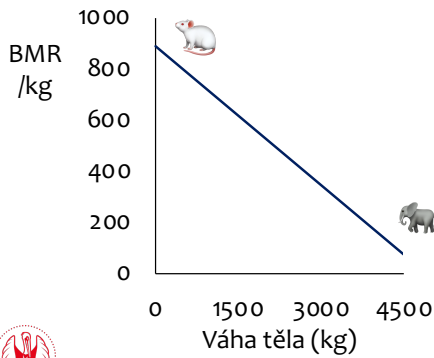
## $H^+ \rightarrow \downarrow$ afinitu Hb-O<sub>2</sub>: Bohrův efekt



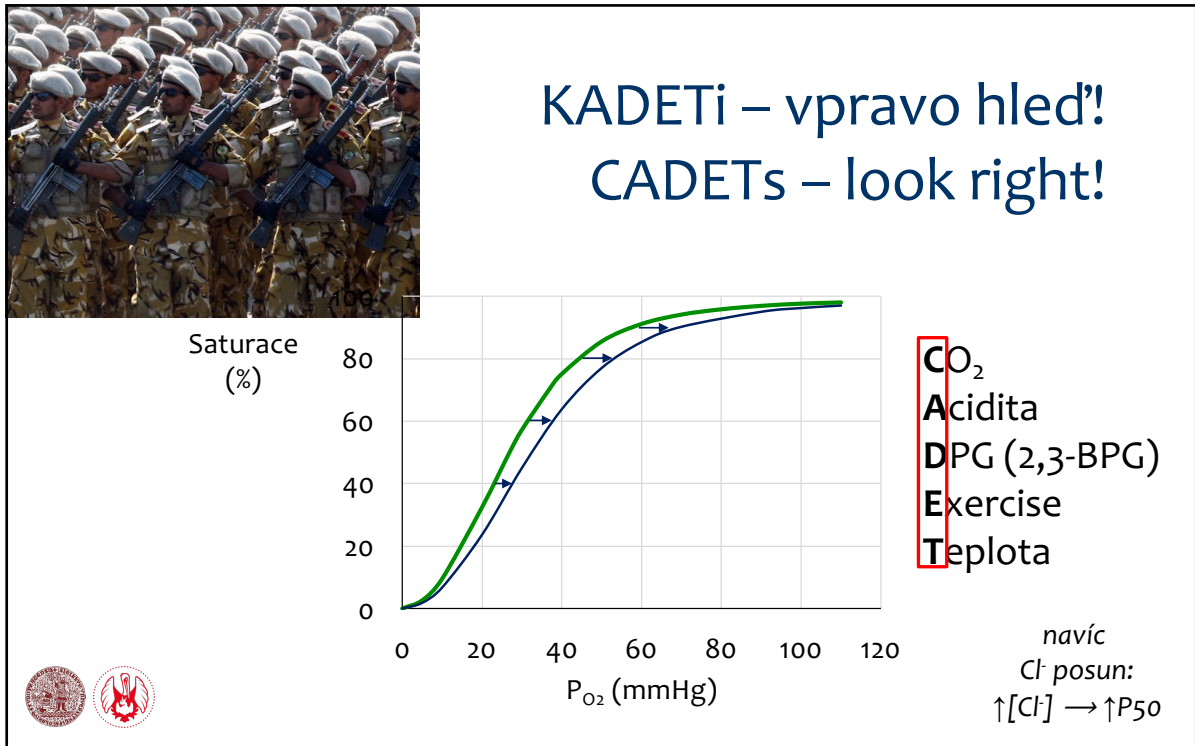
22



## Silnější Bohrův efekt u menších savců



23



24

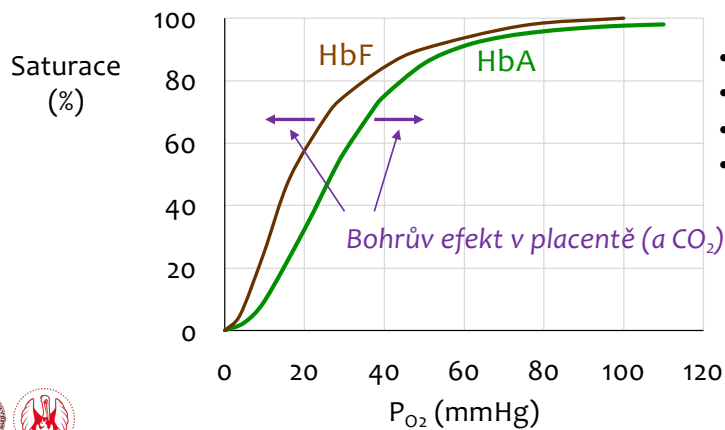
## 2,3-bisfosfoglycerát (2,3-BPG) (2,3-difosfoglycerát, 2,3-DPG)

- 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)

25

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

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



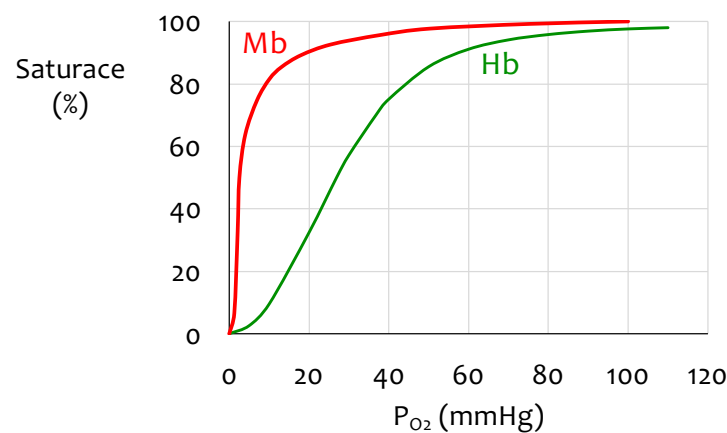
- od 6. týdne: embryonální Hb (vč. F)
- od 3. měsíce dominuje F
- A od 40. týdne
- při \* 50-95% F
- od 6. měsíce dominuje A



26

## Myoglobin (Mb)

1 řetězec → není kooperativní vazba O<sub>2</sub> ("vše nebo nic")



27

## 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)



28

## CO-Hb (otrava CO)

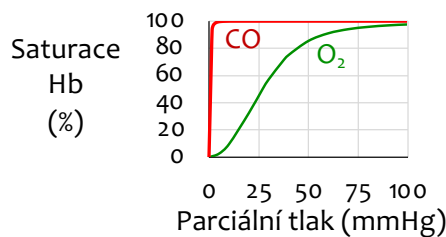


- požáry, výfuky, kouření, znečištění, topení, sopky, ...
- ale i endogenní – metabolismus hemu (hl. Hb):  
hem → biliverdin + Fe + CO (heme oxygenase)
- normálně 0.5-2 % celk. Hb je CO-Hb (město ≤5%)
- při kouření ≤10– max 15%, novorozenci ≤12%
- ≤2.5% OK, >15% problém, >30% jde o život
- 85% CO se 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)



32

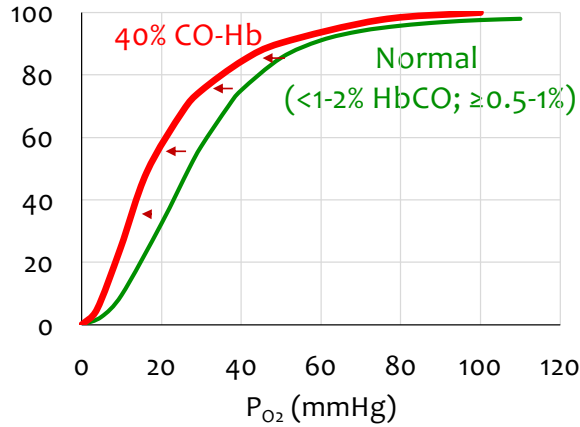
## CO-Hb (otrava CO)



Saturace Hb (%)



Parciální tlak (mmHg)

- 240x vyšší afinita k vazebnému místu pro O<sub>2</sub>
- + větší vliv na kooperativitu (při snižování P<sub>O<sub>2</sub></sub> CO-Hb hůř uvolňuje O<sub>2</sub> – posun do L)
- brání vzniku carbaminoHb → acidóza




Saturace (%)

P<sub>O<sub>2</sub></sub> (mmHg)

33

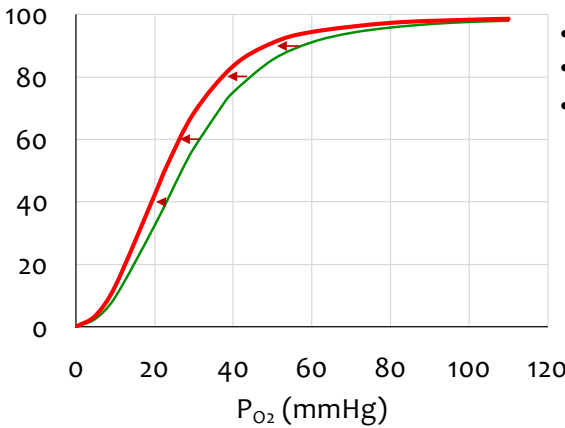


## Methemoglobinemie

- Fe<sup>2+</sup> v hemu oxiduje na Fe<sup>3+</sup> (NO & jeho donory, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, C≡N)
- Fe<sup>3+</sup> ruší kooperativitu Hb → ↓ uvolňování O<sub>2</sub> v tkáních (~Mb)

**Léčba:**  
metylénová modř  
Fe<sup>3+</sup> → Fe<sup>2+</sup>

CN1C=NC2=C(S1)N=CN=C2N





Saturation (%)

P<sub>O<sub>2</sub></sub> (mmHg)

- normálně do 1.2%
- kouření víc
- >5-7% riziko

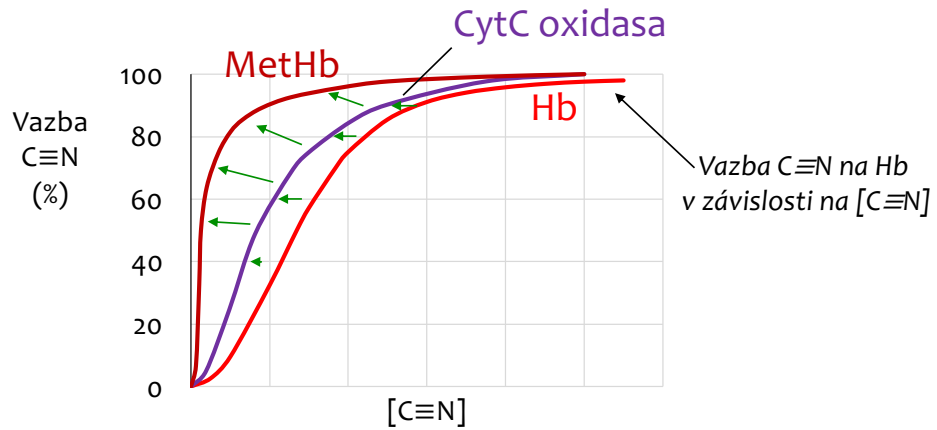
**Oprava:**  
NADH **metHb** reduktáza  
(cytochrom-b5 reduktáza)

35

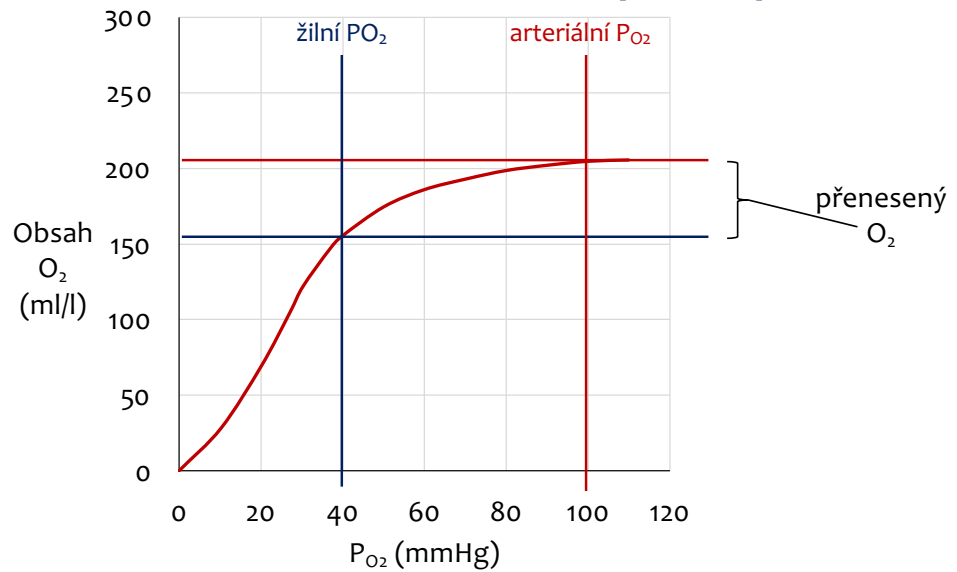
# Kdy je methemoglobinemie dobře?

Otrava kyanidy

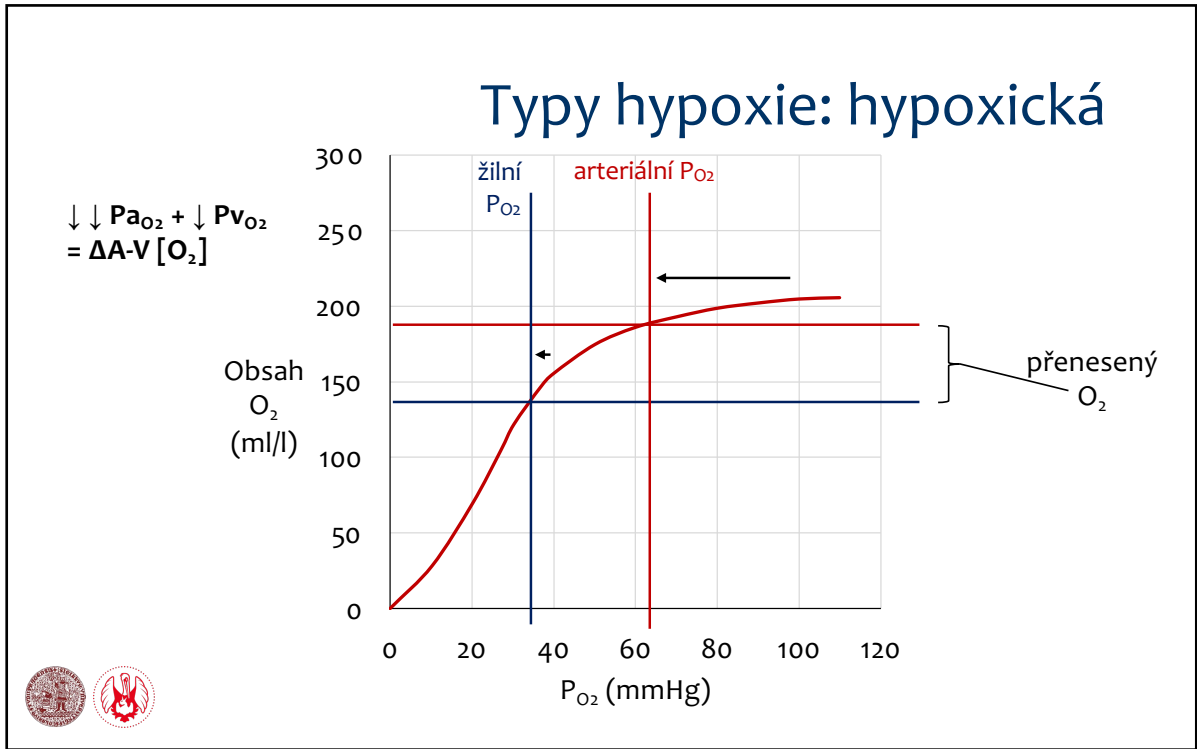


36

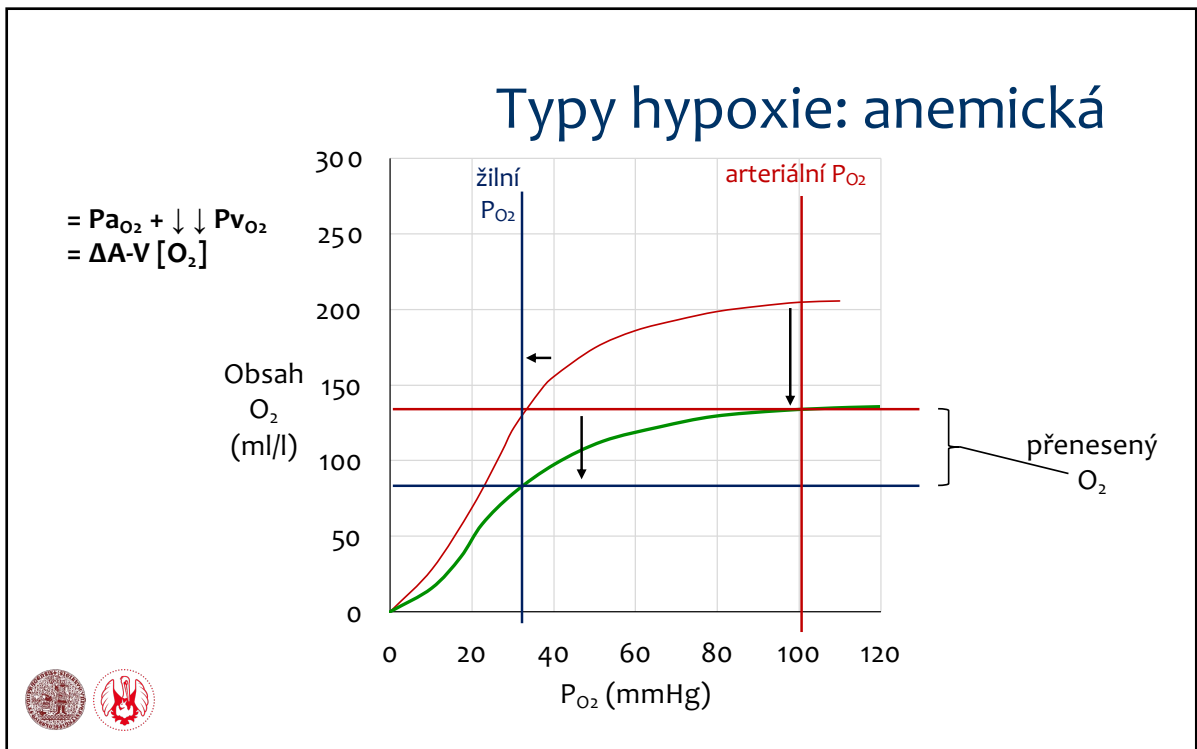
# Typy hypoxie



37

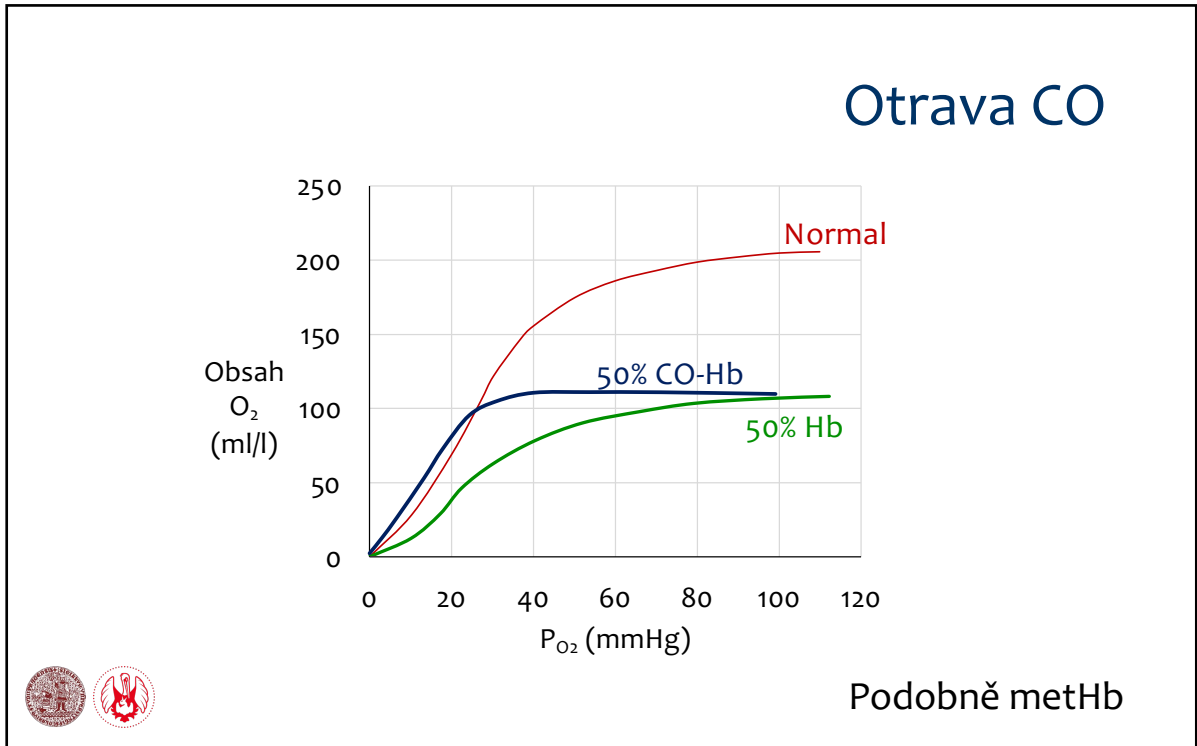


38

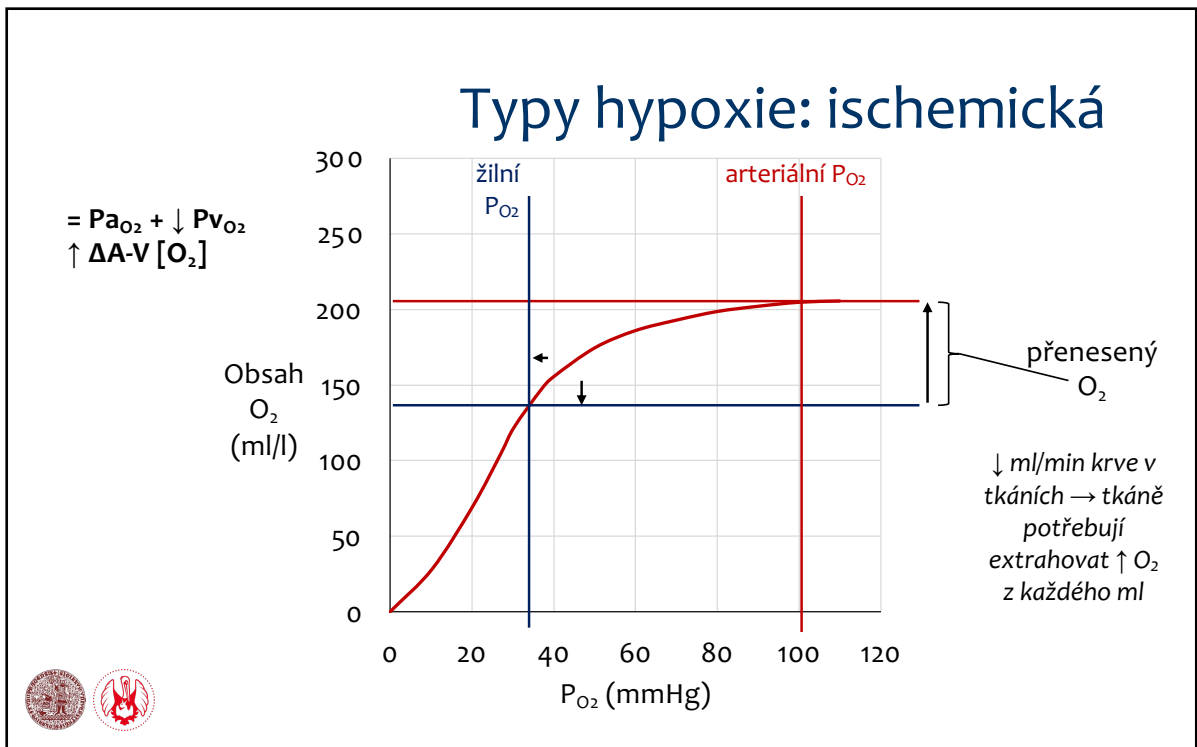


39

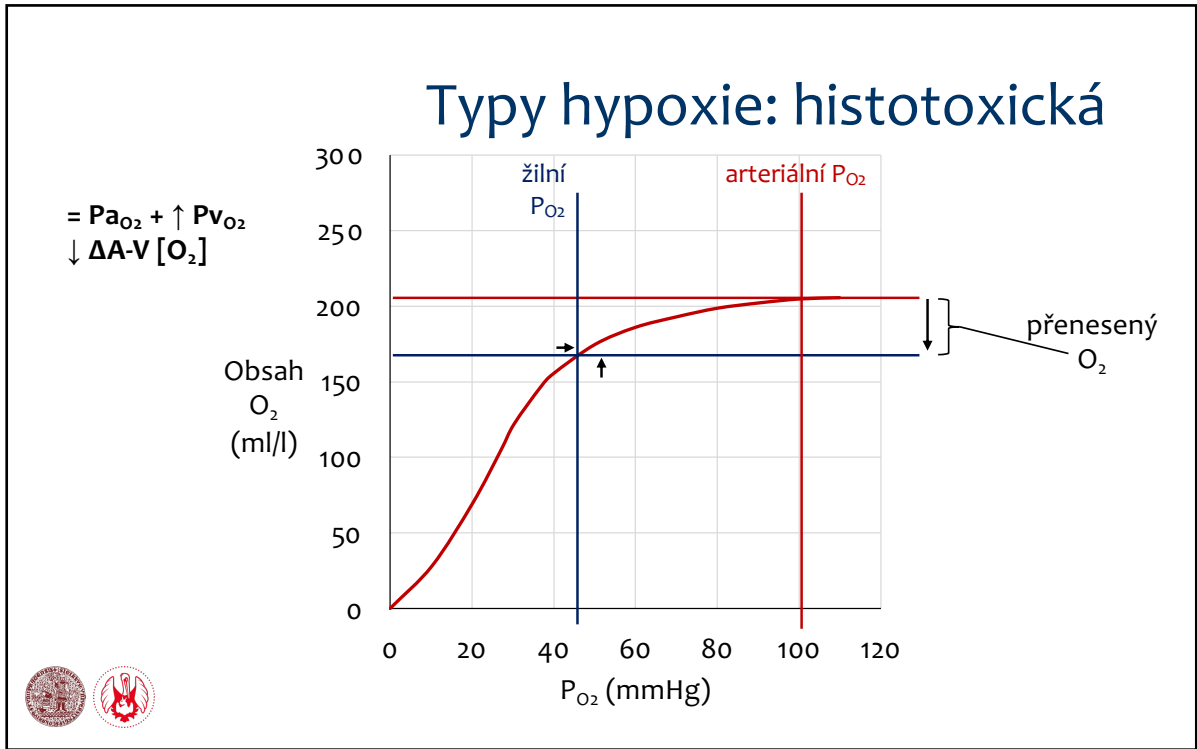




40



41

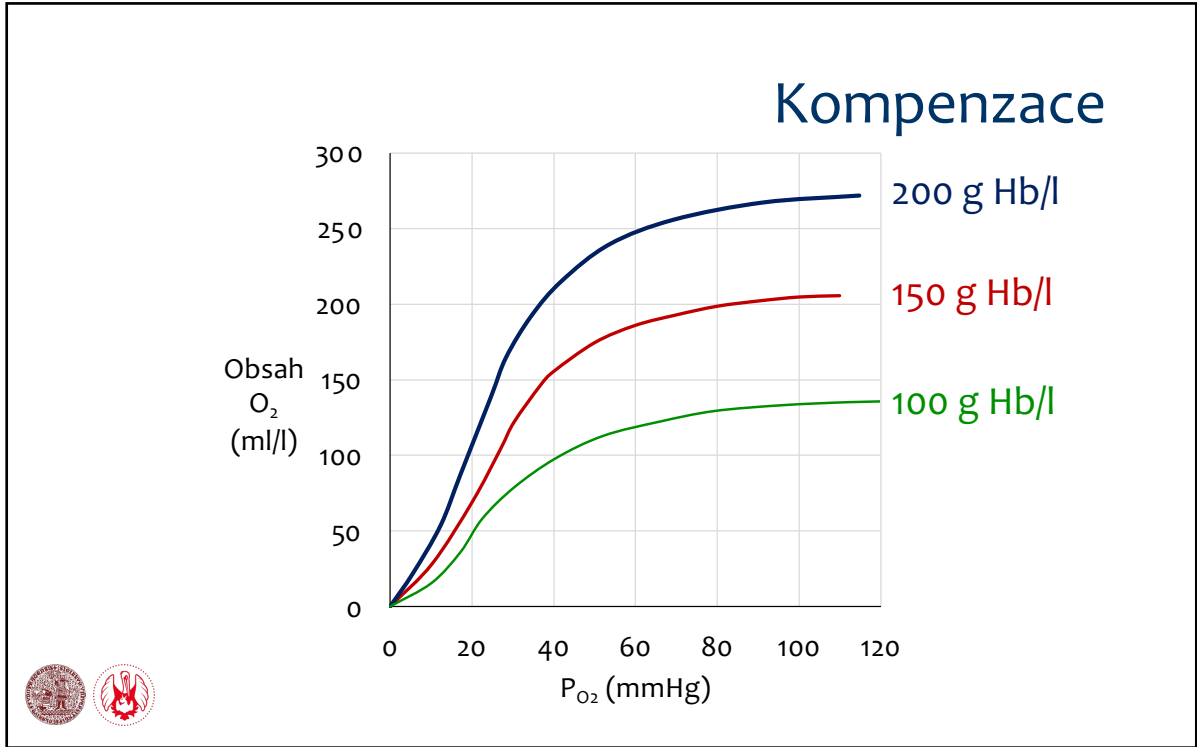


42

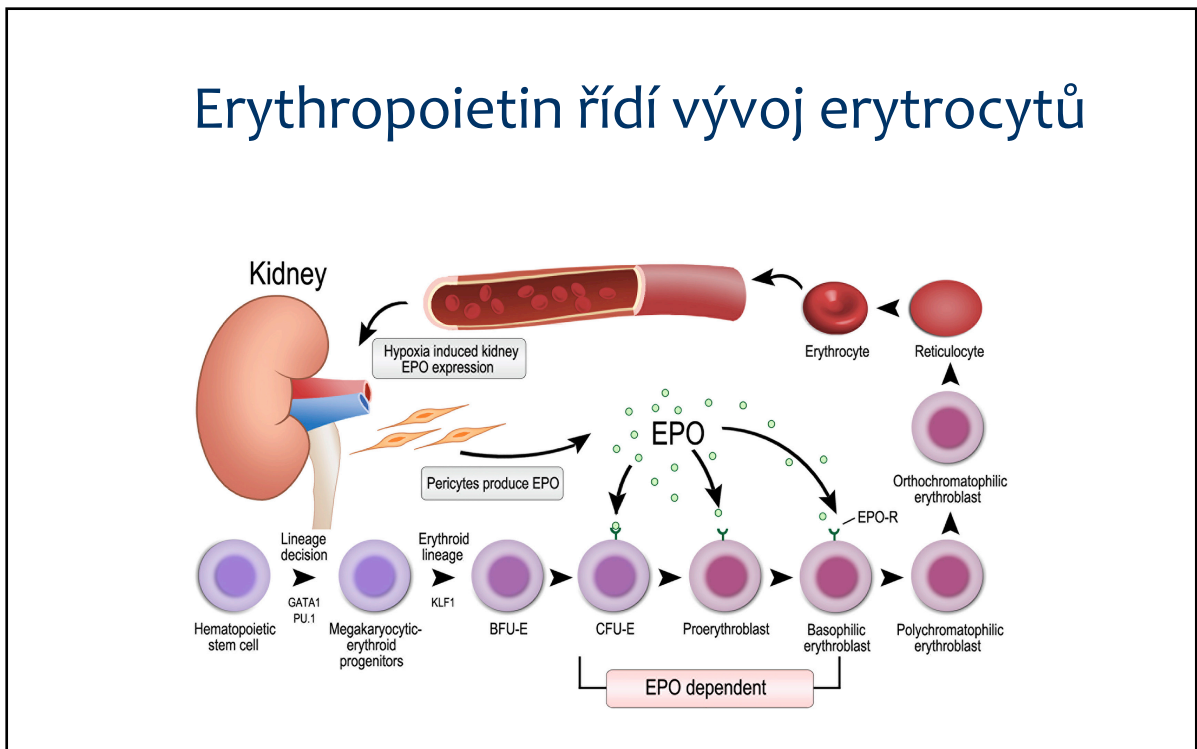
### 4 typy hypoxie

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

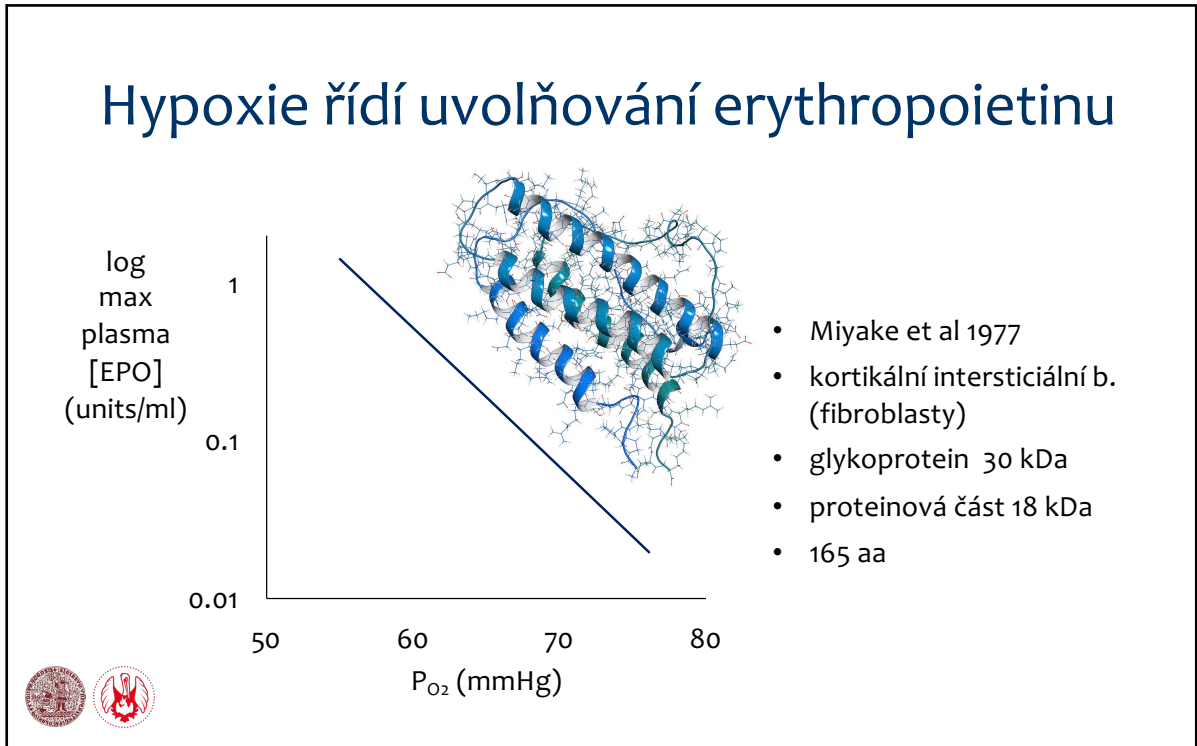
43



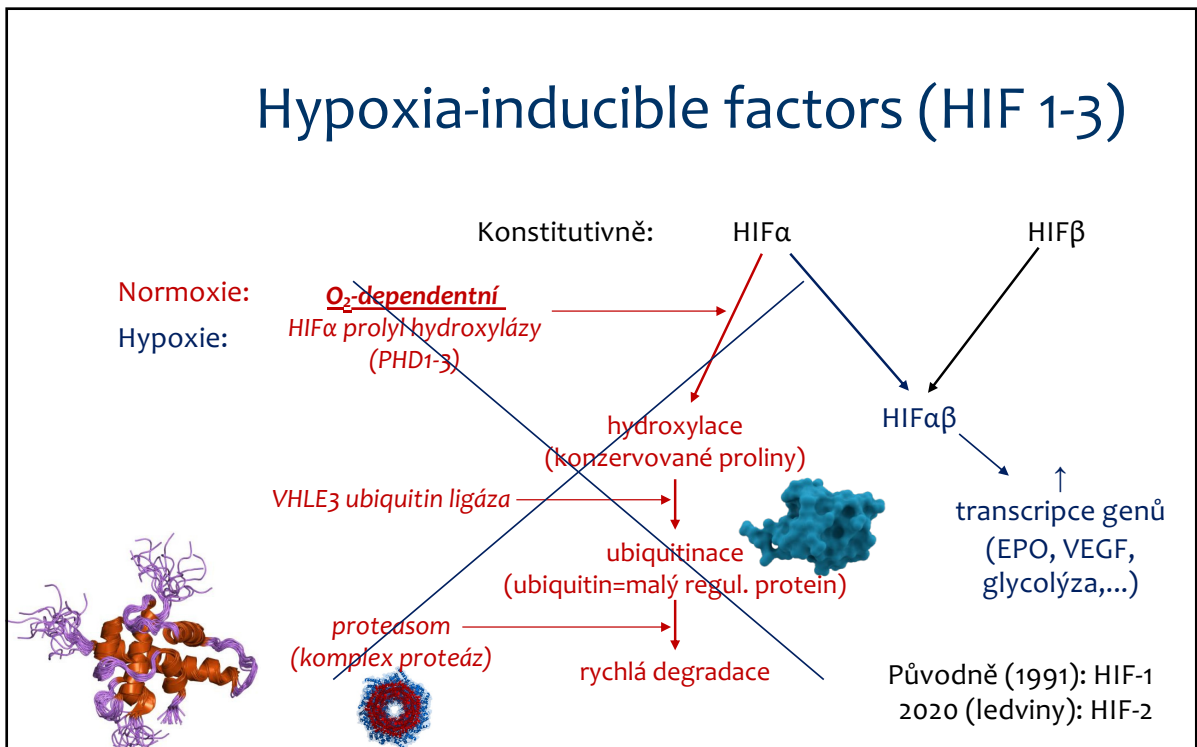
44



45



46



47



48