

6. KREV

- transport látek

- živiny
- plyny

- regulace homeostázy

- pH
- osmotický tlak
- rozvod tepla

- obranná funkce

- imunita (buněčná – humorální)
- obranné toxiny (ropušníci - *Phrynosoma*)

- vzácně mechanická funkce

- tlak v očním sinu usnadňuje plazům čištění povrchu oka

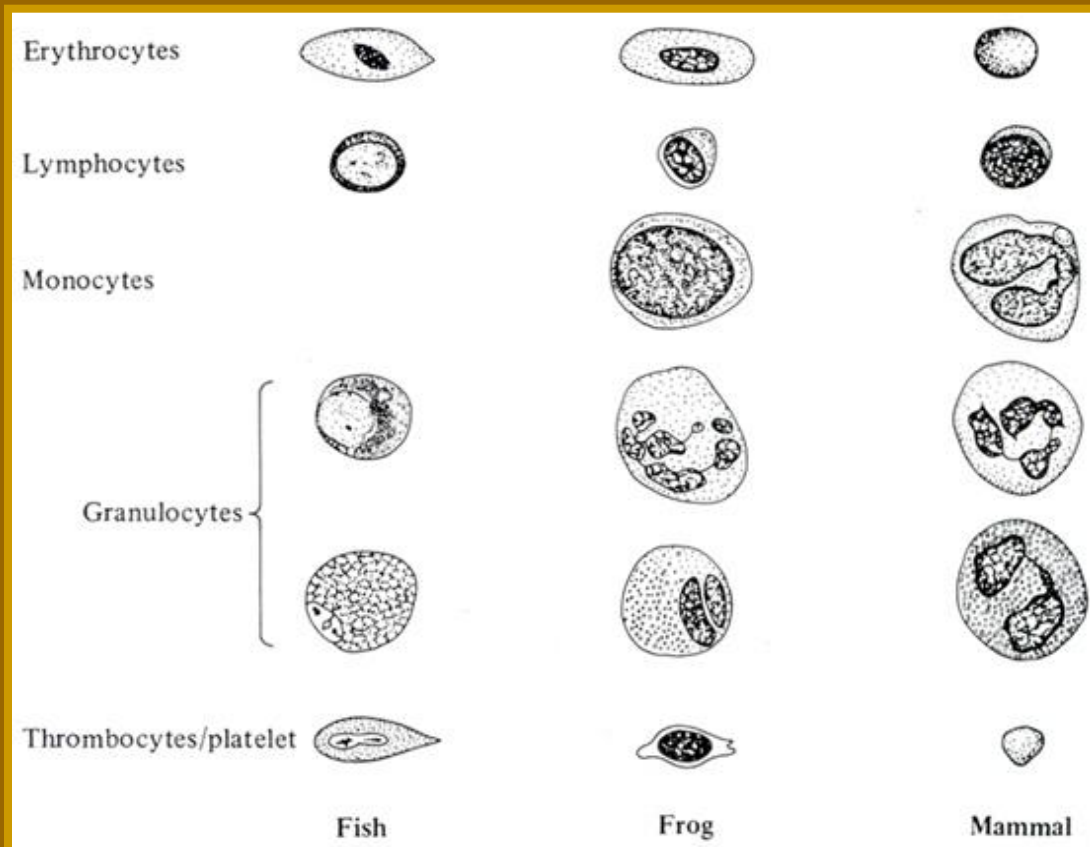


Krevní objem: 3-16 % (obratlovci)

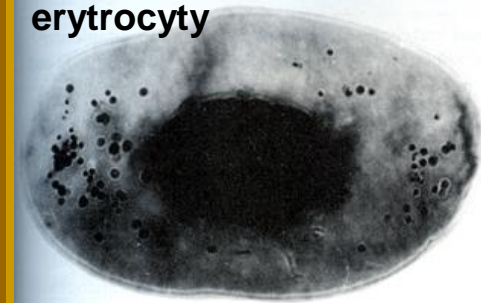
- objem v cirkulačním systému
 - hematokrit (objem buněk)
 - objem plasmy

Složení krve

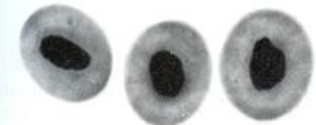
- Ionty – potenciál na membránách, pH
- neelektrolyty – močovina, glukóza,.. (metabolismus)
- proteiny - koloidní osmotický tlak
 - pufrční schopnosti – pH
 - transport látek
- metabolity, toxiny,..
- buňky



erythrocyty



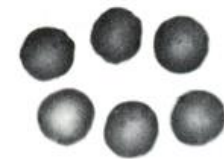
Salamander



Snake



Ostrich



Red Kangaroo



Camel

10 μ

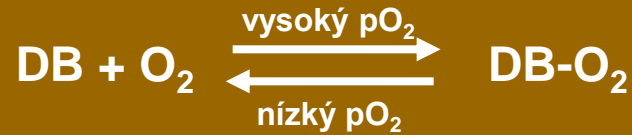
Hematologické parametry některých obratlovců

Ery – objem erytrocytu/velikost; EryK – počet erytrocytů v 1 litru krve; Hct – hematokryt; Hb – koncentrace hemoglobinu; PHEry – množství hemoglobinu na buňku; PHEryK – koncentrace hemoglobinu v buňce; OK – kapacita krve pro O₂

| | Ery fL | EryK 10 ¹² /L | Hct % | Hb g/L | PHEry pg | PHEryK g/L | OK ml O ₂ /L |
|------------------------------------|-----------|-----------------------------|----------|-----------|-------------|---------------|----------------------------|
| mlok (<i>Amphiuma</i>) | 10800 | 0,027 | 29 | 76 | 2830 | 262 | 102 |
| skokan | 845 | 0,296 | 25 | 70 | 232 | 285 | 94 |
| želva | 394 | 0,52 | 21 | 69 | 133 | 335 | 92 |
| velbloud | 319 | 11,0 | 35 | 158 | 14 | 494 | 211 |
| slon africký | 141 | 3,03 | 43 | 153 | 51 | 356 | 205 |
| krocan | 136 | 2,72 | 37 | 123 | 45 | 336 | 165 |
| běluha | 134 | 3,34 | 46 | 193 | 57 | 427 | 259 |
| člověk | 90 | 4,99 | 44 | 146 | 29 | 335 | 196 |
| myš | 60 | 8,3 | 50 | 159 | 19 | 320 | 213 |
| pytlouš | 45 | 11,8 | 54 | 193 | 17 | 367 | 259 |
| rejsek | 31 | 11,5 | 36 | 162 | 15 | 477 | 217 |
| koza | 18 | 16,1 | 29 | 104 | 7 | 356 | 139 |
| kančil | 6 | 55,9 | 31 | 117 | 2 | 380 | 154 |



Dýchací barviva (DB)



- u obratlovců zejména svalový **myoglobin** (1x globin) a jeho krevní derivát **hemoglobin** (4x globin)

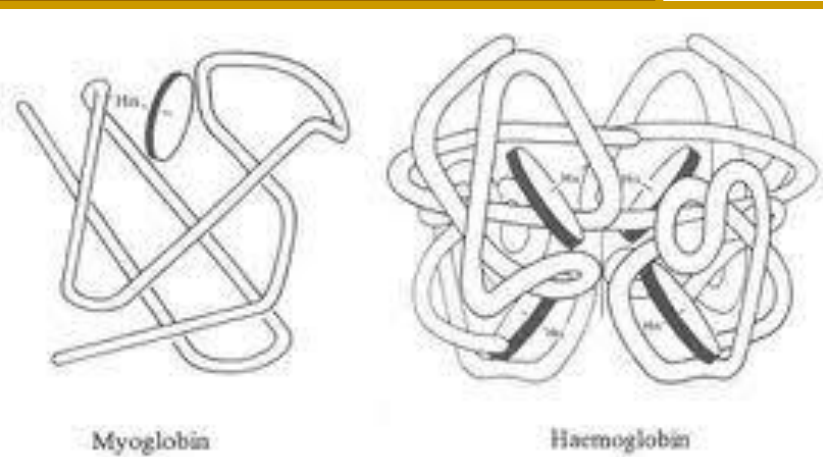
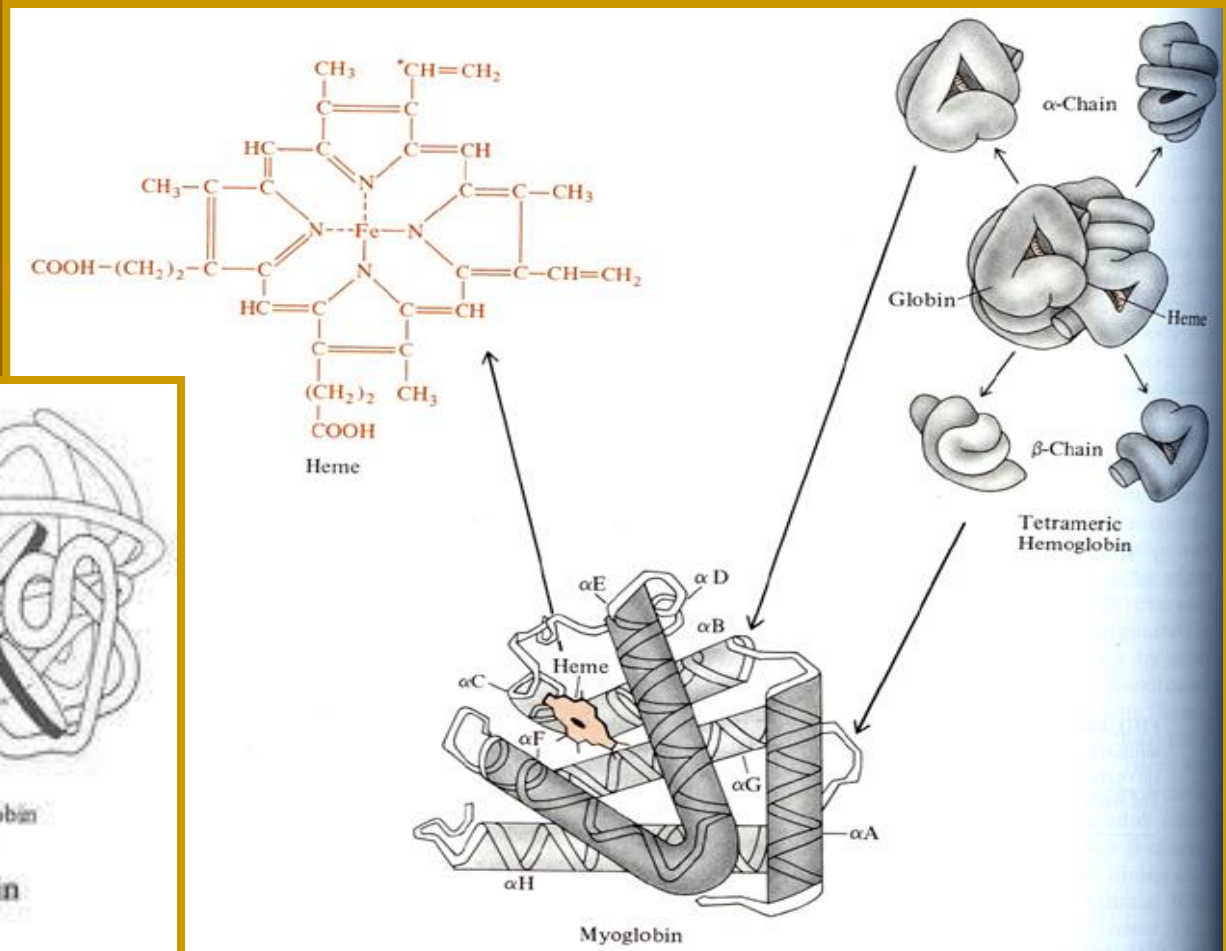
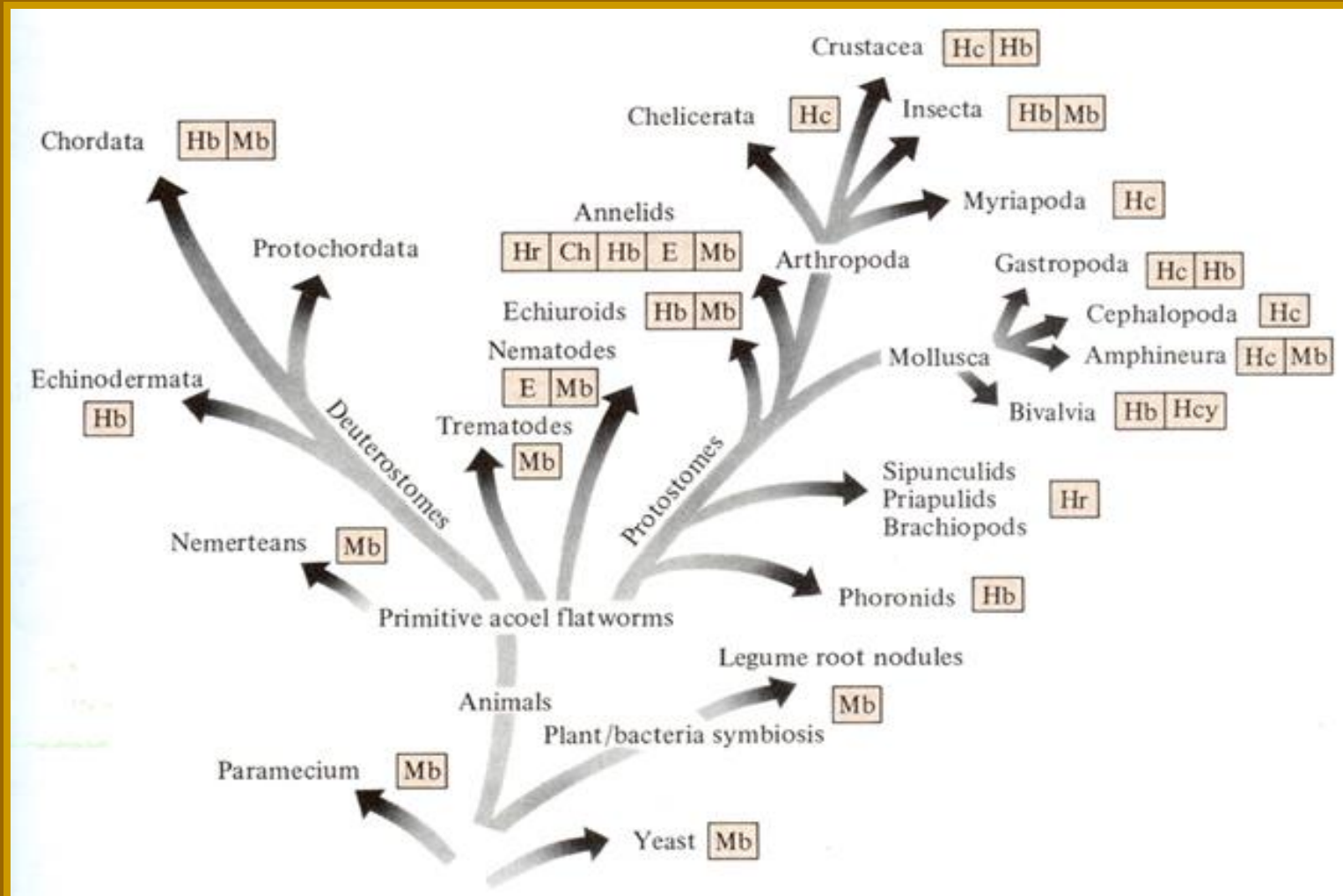


Figure 3 Myoglobin versus haemoglobin



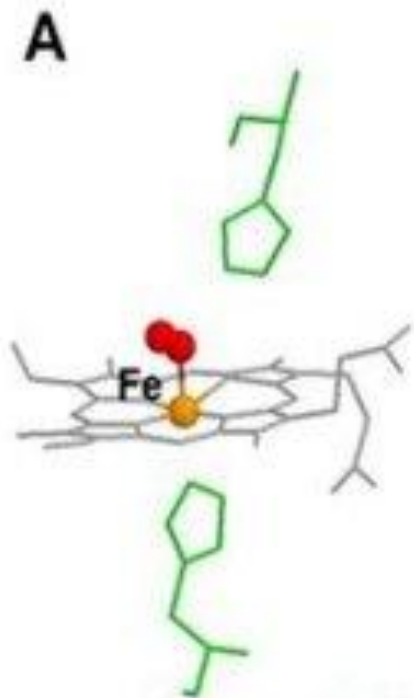
Fylogeneze dýchacích barviv u živočichů



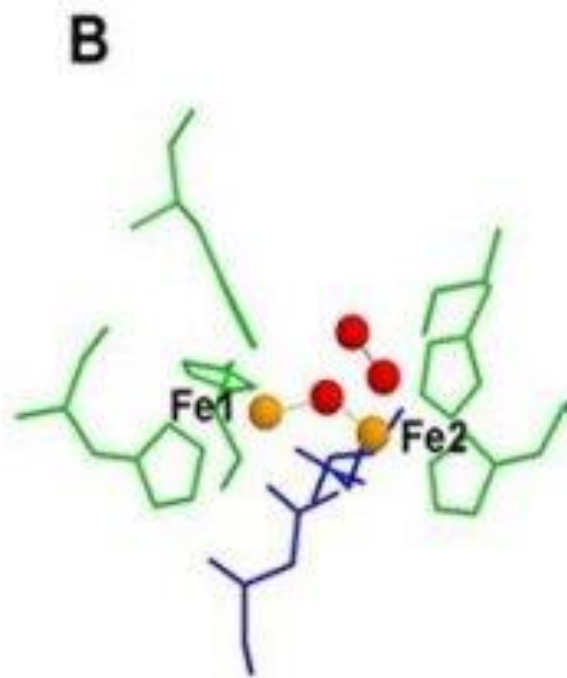
Hb – hemoglobin; **Mb** – myoglobin; **E** – erytrokrurin (hemoglobin bezobratlých); **Ch** – chlorokrurin (zelený); **Hr** – hemerytrin (bez hemu, bezbarvý → fialový); **Hc** – hemocyanin (Cu^{2+} , bez hemu, bezbarvý → modrý)

Struktura některých hemových skupiny globinů

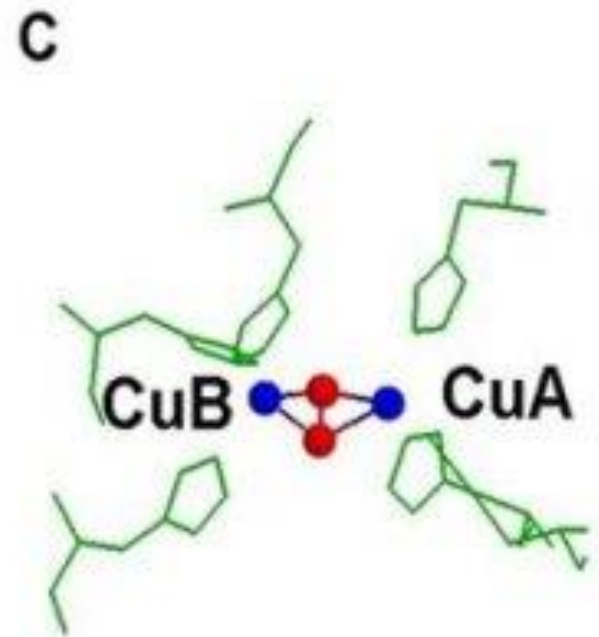
KYSLÍK - ●



Hemoglobin








Hemerythrin



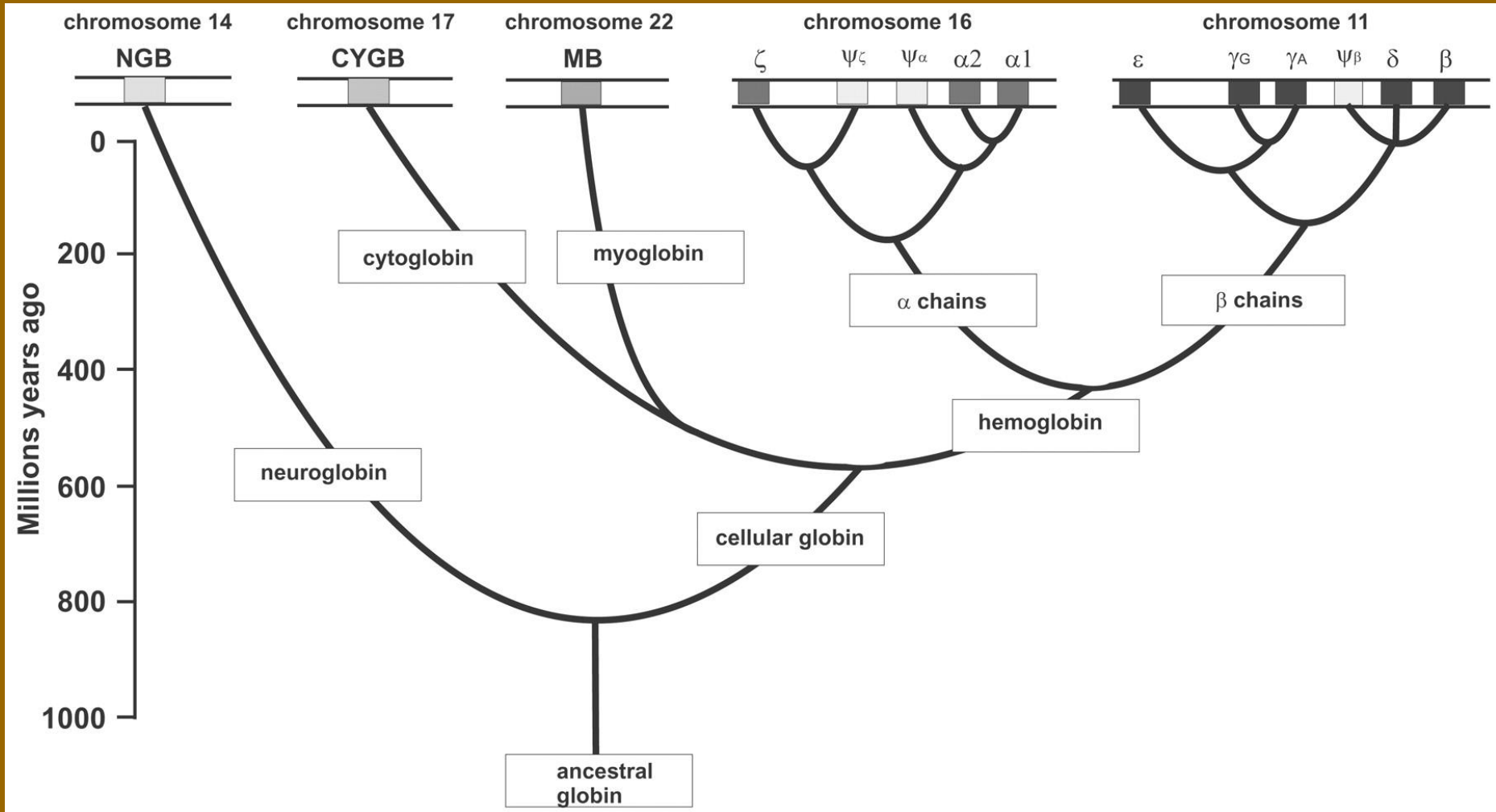
Hemocyanin

(kov kotvící aminokyselina – histidin)

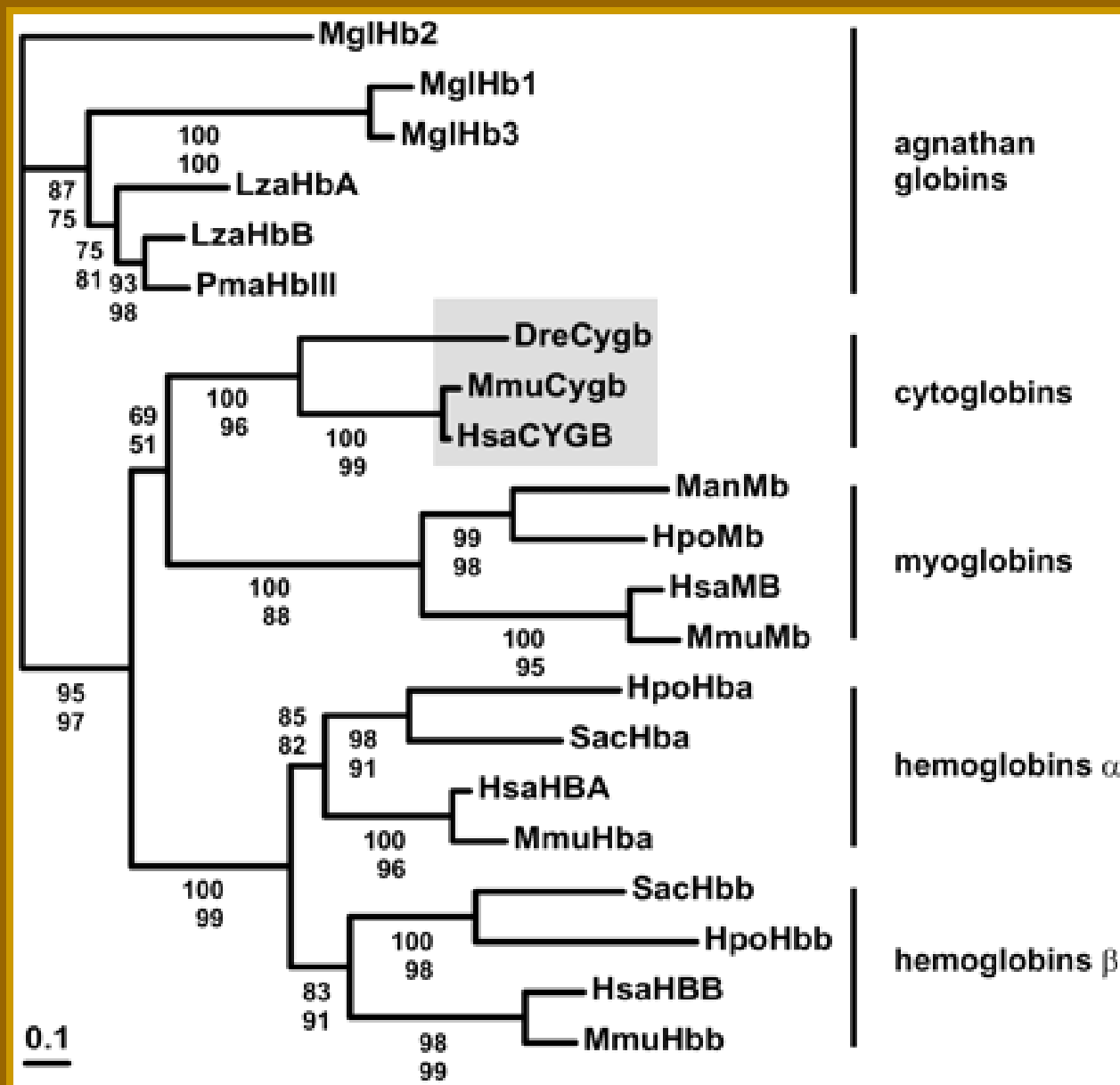
Základní skupiny globinů u savců

| | hemoglobin | myoglobin | cytoglobin | neuroglobin |
|--|--|--|---|---|
| |  |  |  |  |
| expression sites | red blood cells | skeletal muscle heart smooth muscle | fibroblast cell lineage liver stellate cells CNS/PNS | neurons (CNS,PNS) retina endocrine tissue fish gills |
| Fe-atom coordination | penta | penta | hexa | hexa |
| oxygen affinity (P₅₀(O₂) in torr) | 26 | 1 | 1 | 1 |
| gene location (human) | α-cluster 16p13 β-cluster 11p15 | 22q13 | 14q24 | 17q25 |
| locus link | (α) 83587 (β) 64162 | 4151 | 114757 | 58157 |
| phylogeny | HBA HBB | MB | CYGB | NGB |
| |  | | | |

Evolve globinů (chromosomy člověk)

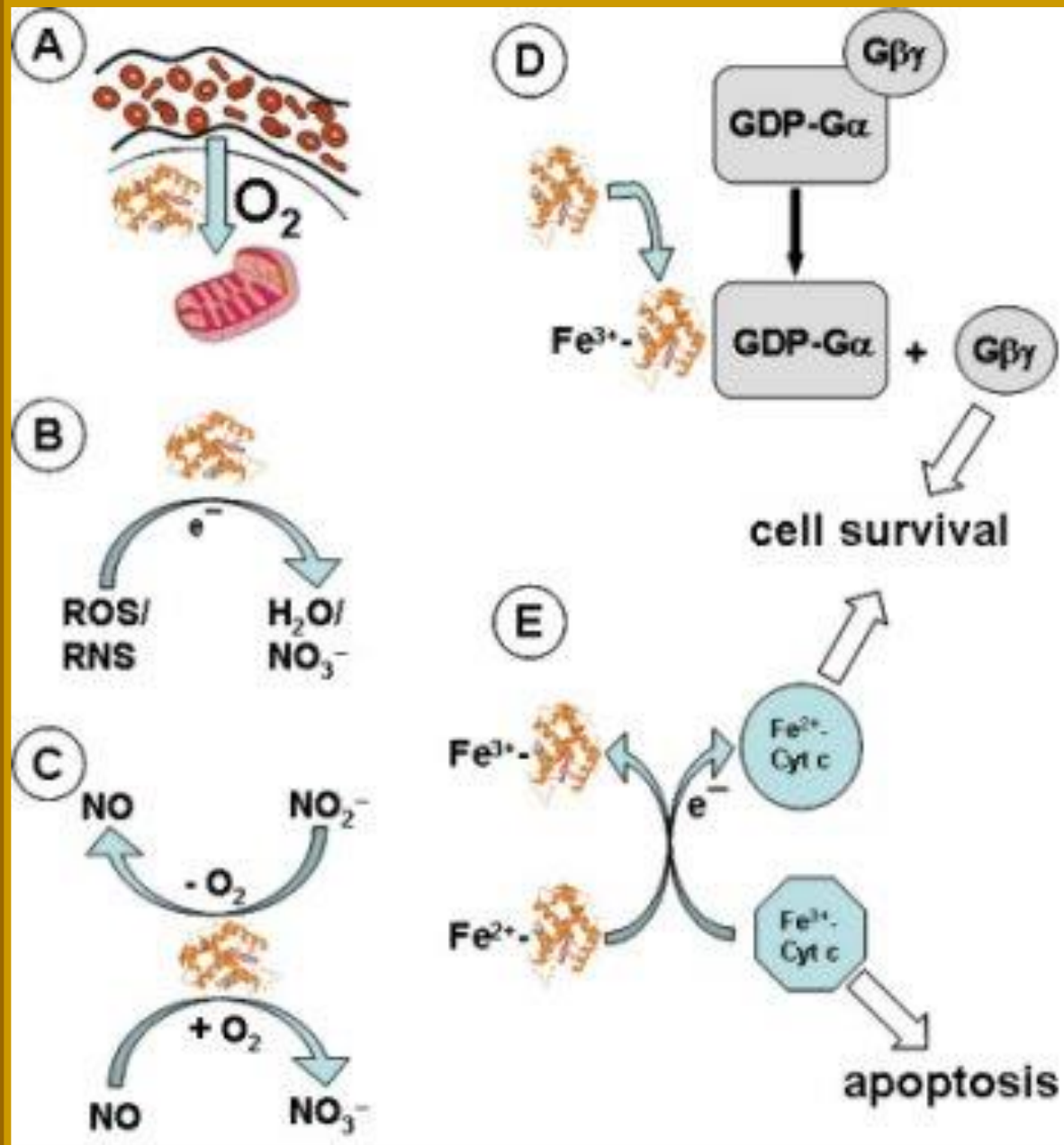


Podobnost jednotlivých globinů u obratlovců

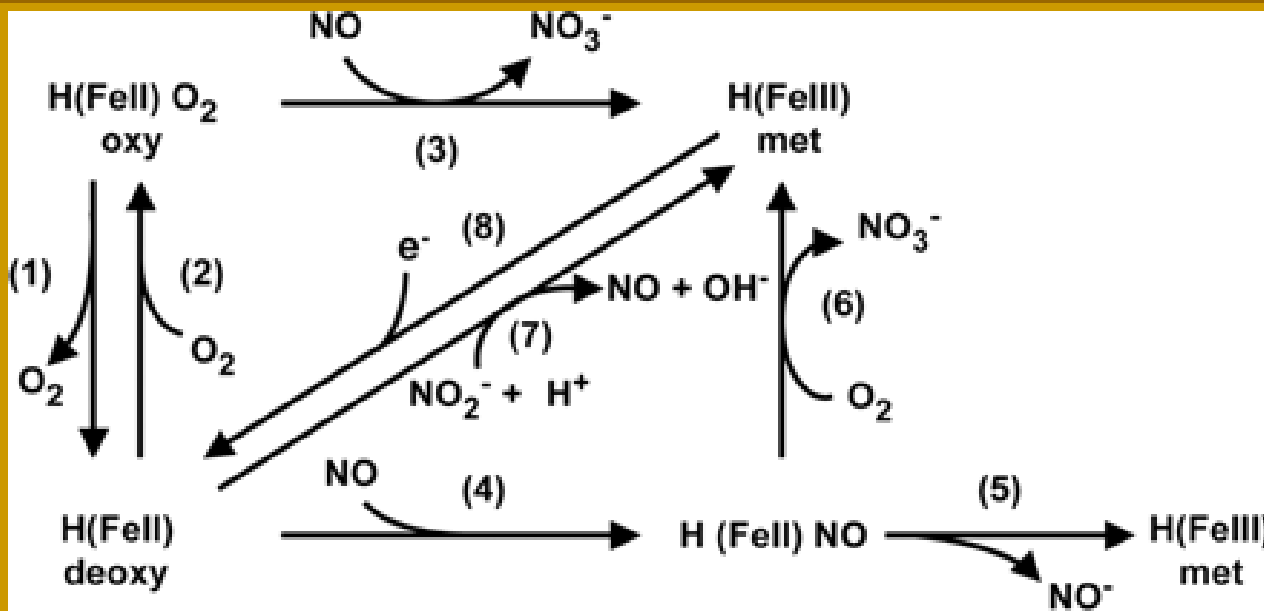


Úloha globinů

- A) Vazba a přenos O_2
- B) Redukce ROS a RNS
(reactive species – tzv. radikálů)
- C) Metabolismus NO_x ů
- D) Regulace GTPás
- E) Oxidačně redukční
reakce s cytochromy

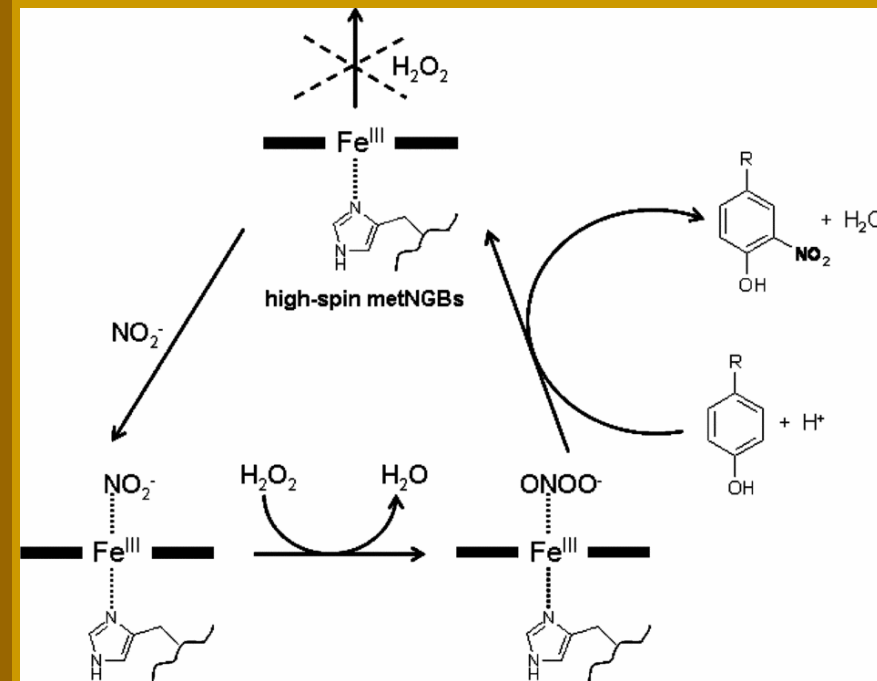


Metabolismus NOx Katalyzované hemoglobinem



- Reakce 1 – odkysličování
- Reakce 2 – okysličování
- Reakce 3 – NO dioxygenace
- Reakce 4 – nitrosylace
- Reakce 5 – NO redukce
- Reakce 6 – O₂ nitrosylace (hem denitrosylace)
- Reakce 7 – NO₂⁻ redukce
- Reakce 8 – MetHb redukce

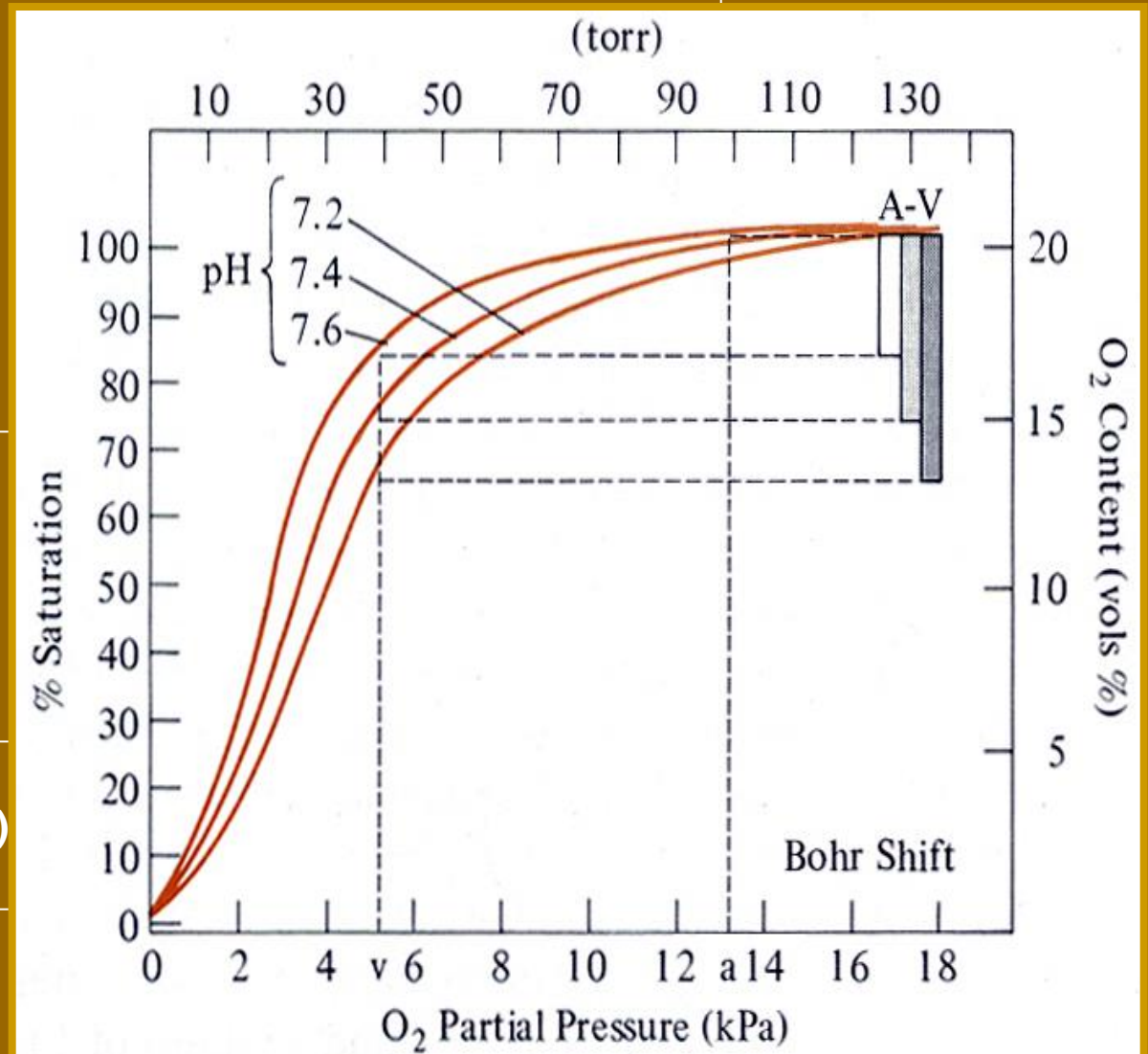
Nitrace fenolů zprostředkovaná neuroglobinem



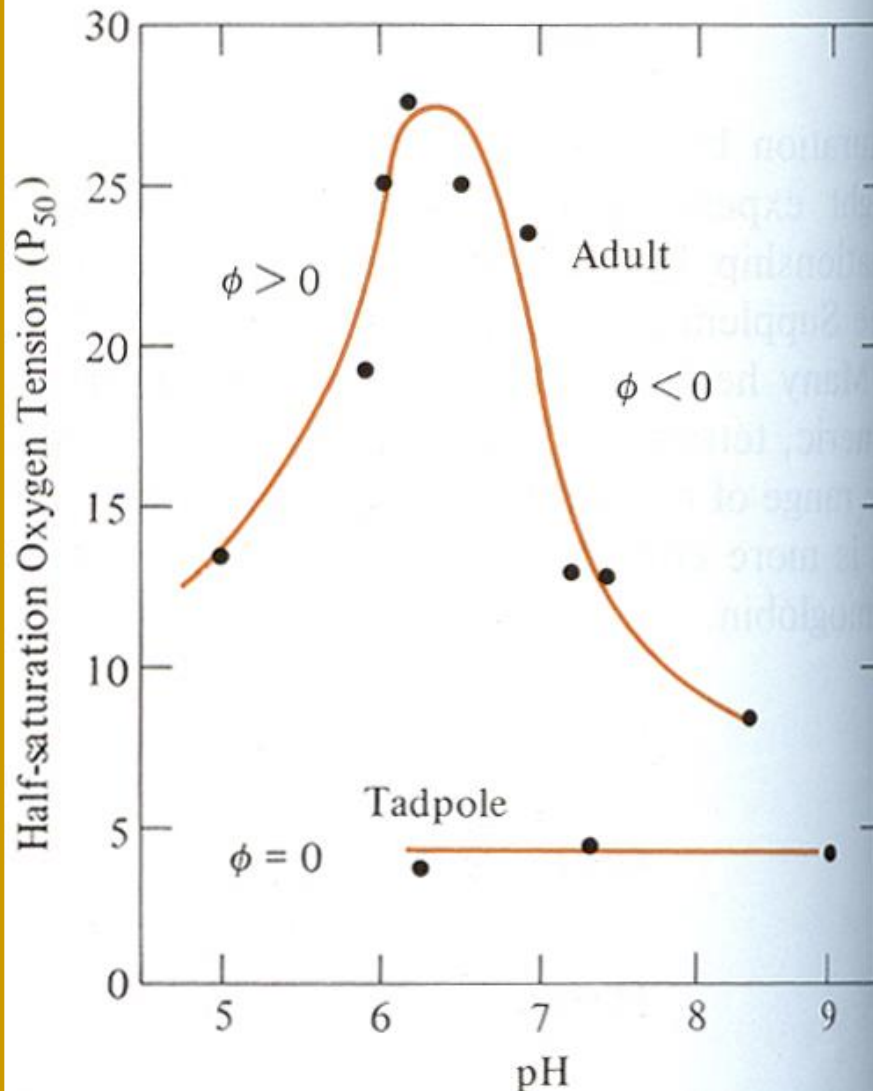
Saturační kapacita krve pro různé skupiny obratlovců a vody v ml O_2 na 100 ml média při plné saturaci a při $pO_2 = 21,8$ kPa pro vodu

| | |
|---------------|-------------|
| voda (20°C) | 0,65 |
| kruhoústí | 1 – 1,2 |
| paryby | 4,4 – 4,5 |
| ryby | 4,9 – 19,7 |
| obojživelníci | 6,3 – 10,4 |
| plazi | 6,6 – 12,5 |
| ptáci | 10 - 22 |
| savci | 14 - 32 |

Saturační křivka hemoglobinu kyslíkem a (negativní = normální) Bohrův efekt u člověka



Změny v 50% saturaci hemoglobimu kyslíkem (P₅₀) v závislosti na pH (Bohrův efekt - ϕ) u dospělého skokana volského (*R. catesbeiana*) a jeho pulce



Faktor Bohrova efektu ($\phi = \Delta \log P_{50} / \Delta pH$) pro hemoglobiny obratlovců.

| | |
|---------------|----------------|
| ryby | -0,54 až -0,31 |
| obojživelníci | -0,29 až 0 |
| plazi | -0,52 až -0,13 |
| ptáci | -0,5 až -0,4 |
| savci | -0,96 až -0,32 |

Bez Bohrova efektu

- hemoglobin sliznatek (*Polistotrema*)
- myoglobiny



Vazbu O₂ k hemoglobinu dále ovlivňují

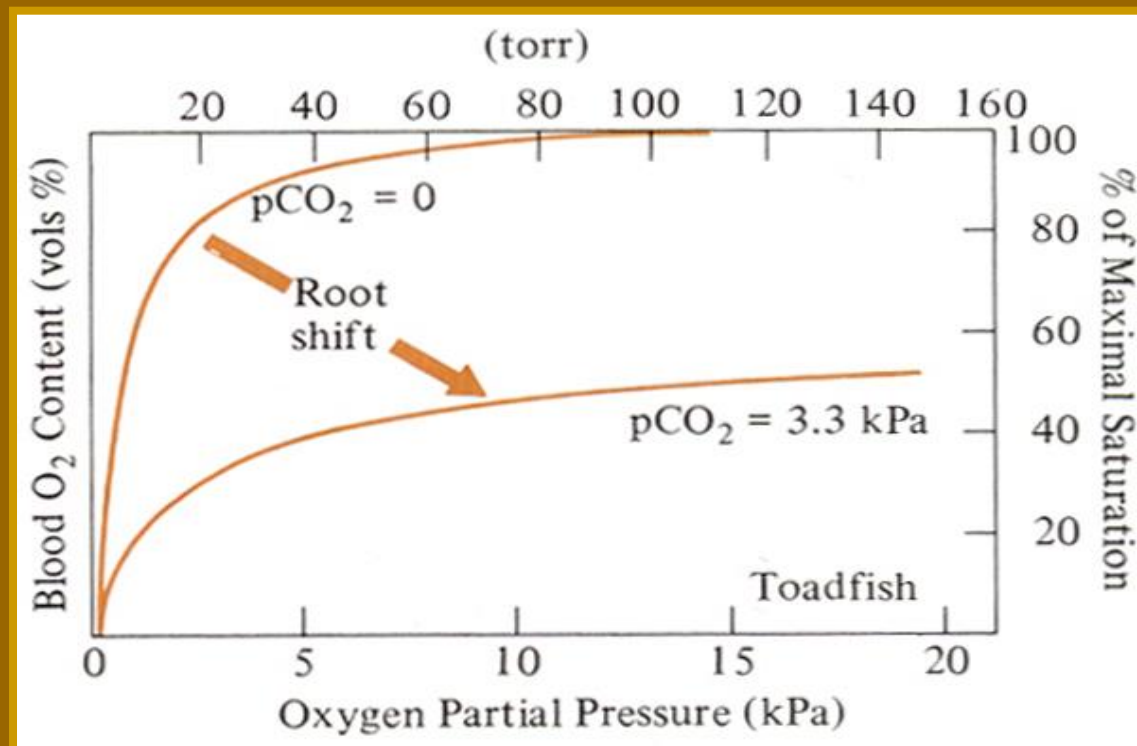
- *parciální tlak CO₂* => Rootův efekt

- u ryb napomáhá uvolňování plynů do plynového měchýře

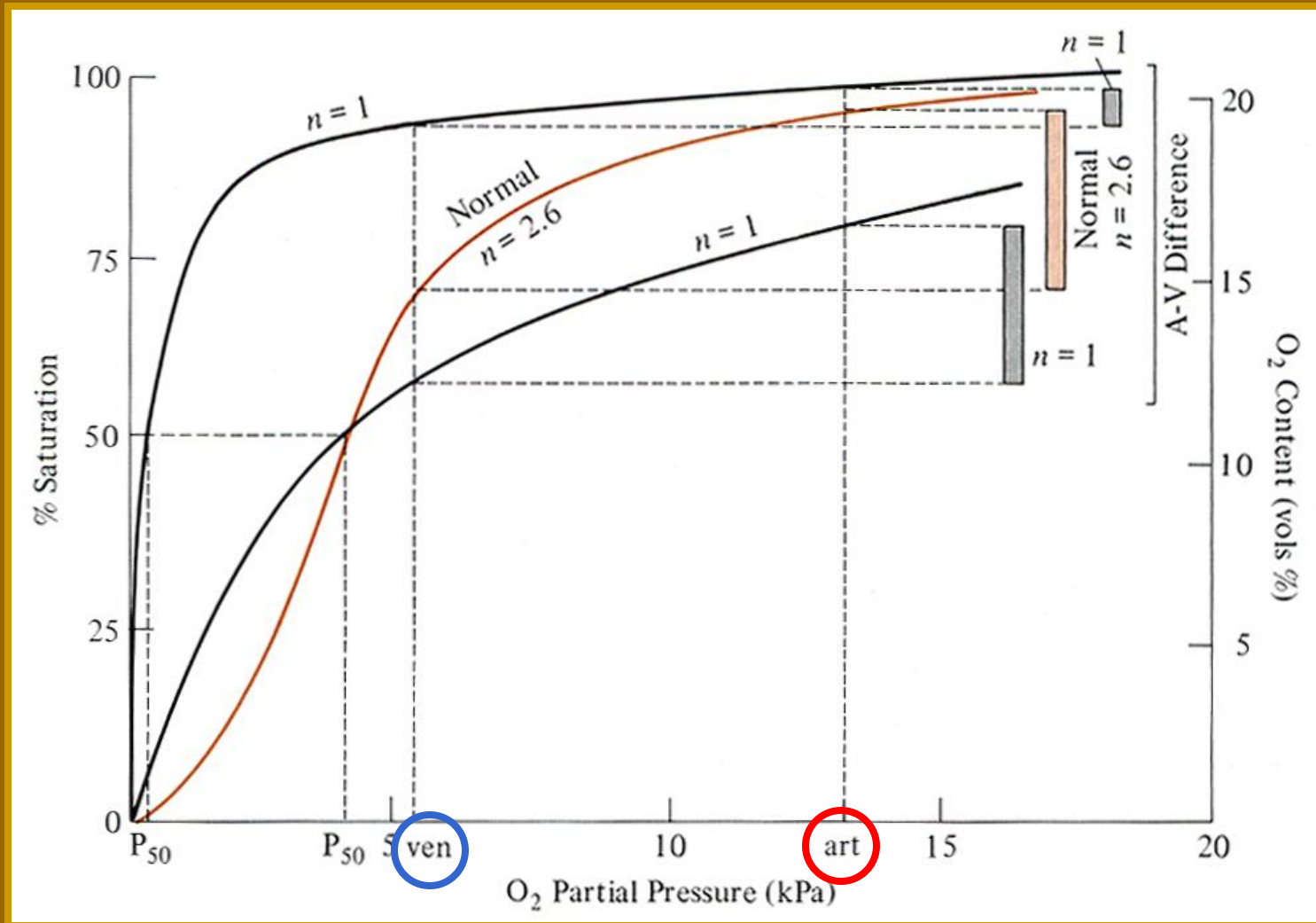
- *koncentrace iontů* – vyšší koncentrace = vyšší P₅₀ / nižší vazebnost (savci)

- *koncentrace organických fosfátů* (intracelulárně) - vyšší koncentrace = vyšší P₅₀ /
nižší vazebnost (savci)

- *teplota* – vyšší teplota = vyšší P₅₀ / nižší vazebnost

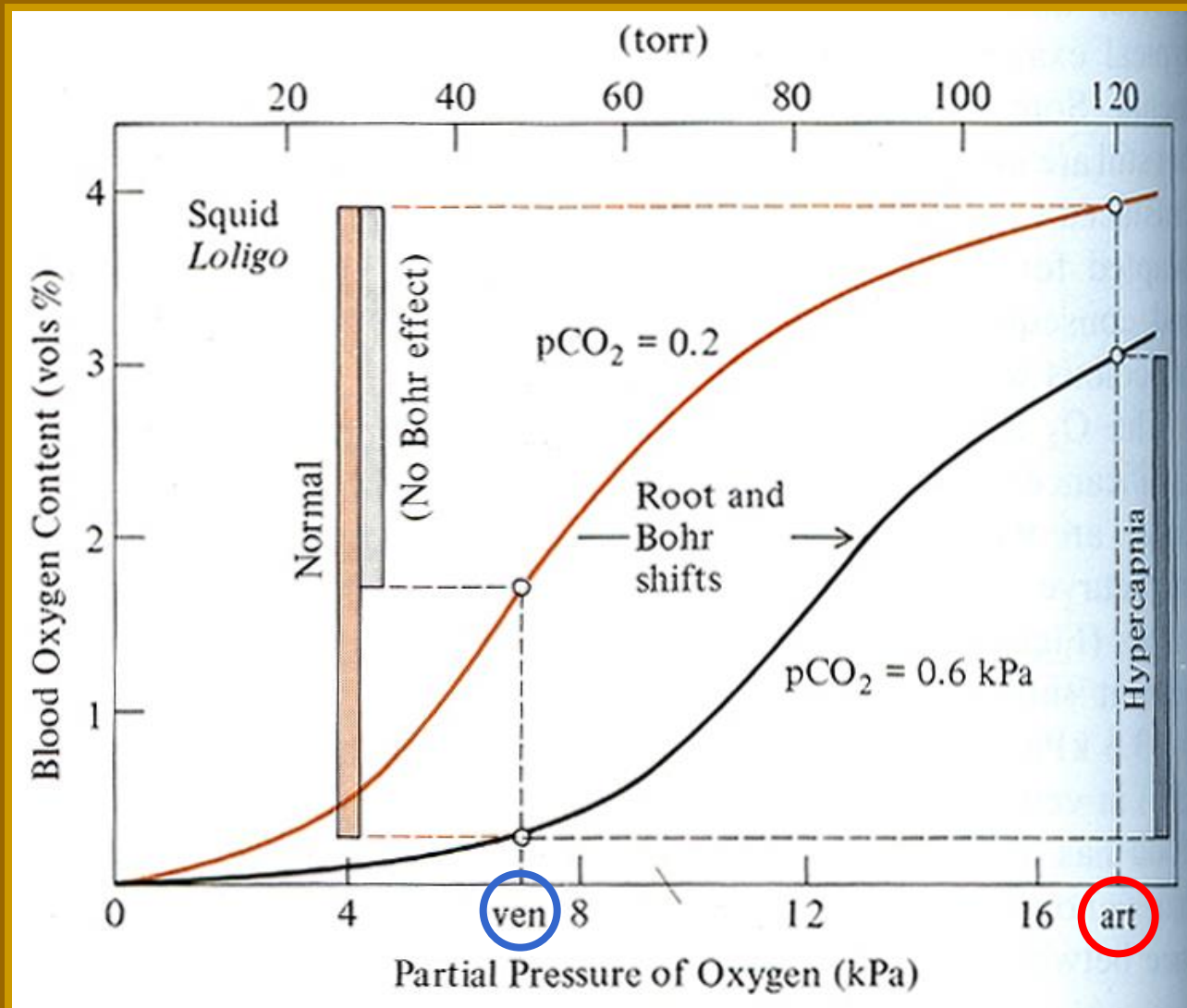


Význam normální sigmoidní křivky pro transport O_2 krví; $P_{50} = 3,8$ kPa, $n = 2,6$.
 Srovnání s hyperbolami pro $n = 1$ při „stejně“ arteriální saturaci O_2 ($P_{50} = 0,4$ kPa)
 a pro stejné P_{50} .

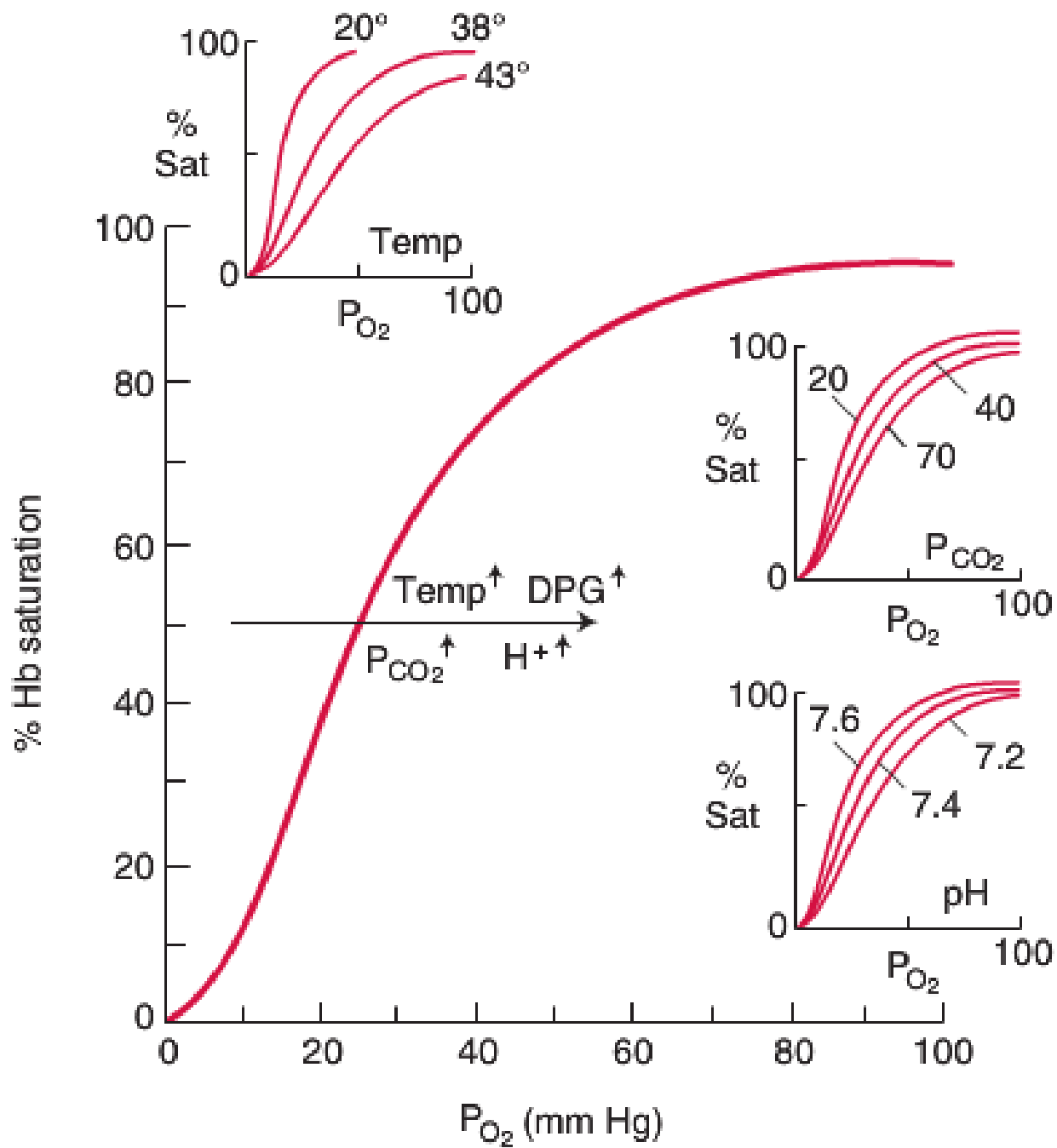


n – kooperativní koeficient interakce molekul hemu při vazbě O_2 , závislost na počtu hemových molekul; $n = 1$ pro 1 molekulu Hb (monomer); $n = 2,6$ pro 4 molekuly Hb (tetramer); 200mer – $n \sim 8$ (*Arenicola*); některé hemoglobiny $n > 8$

Účinek Bohrova a Rootova efektu/posunu na transport O_2 krví

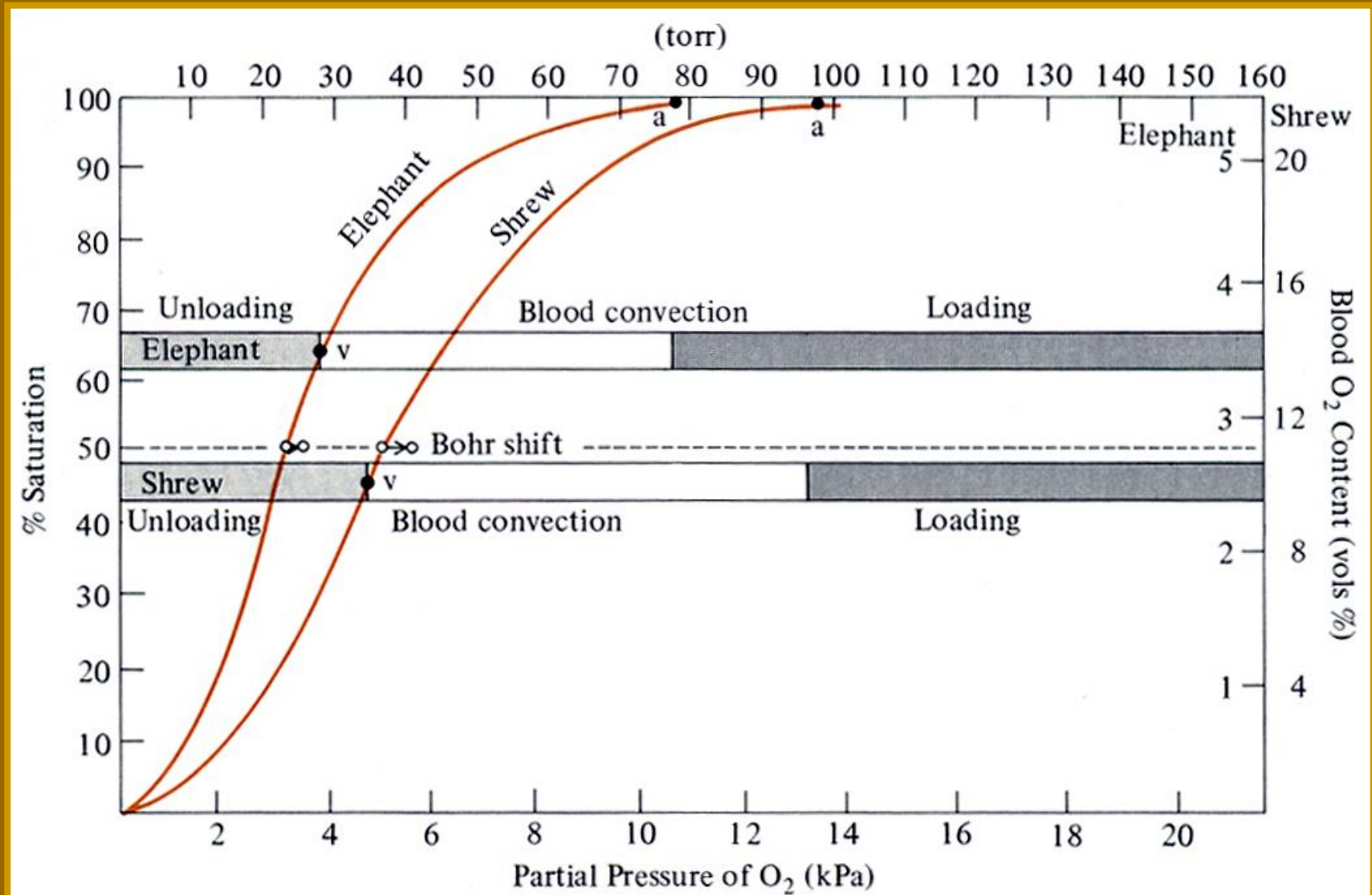


DPG(BPG) – 2,3 bifosfoglycerát

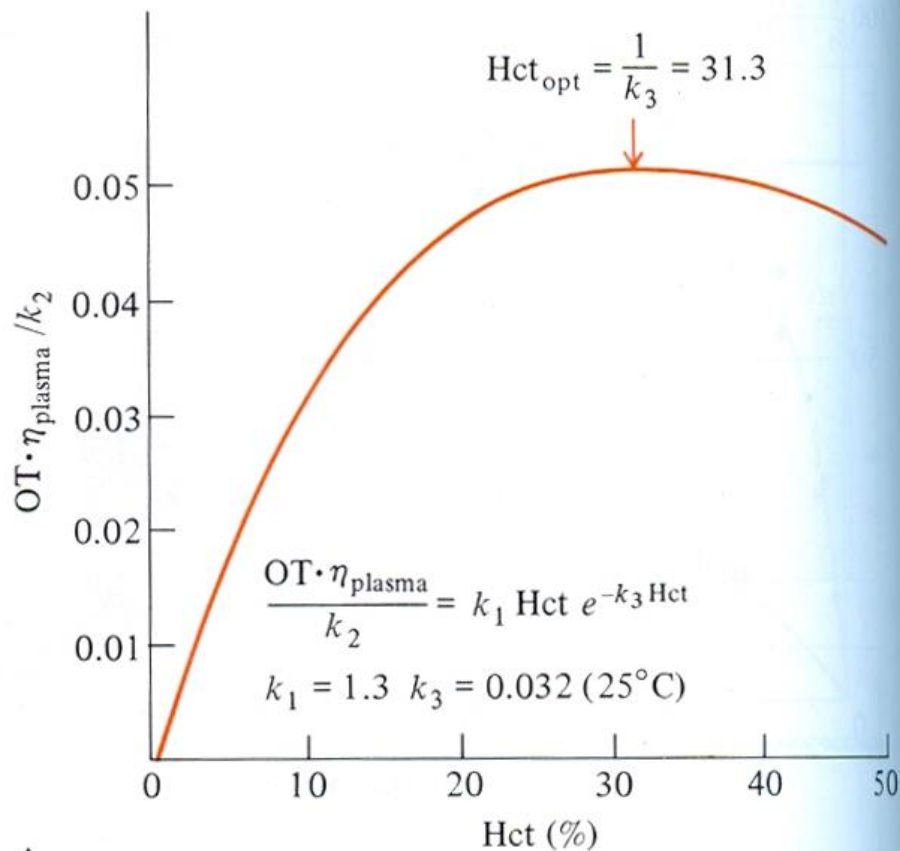


Vliv intenzity metabolismu na disociační křivku hemoglobinu pro O₂.

Menší živočichové mají intenzivnější metabolismus = větší spotřeba O₂ na 1g tkáně, rejsek (shrew) přibližně 40x větší než slon (elephant) => větší nároky na přenos O₂ z krve do tkání.



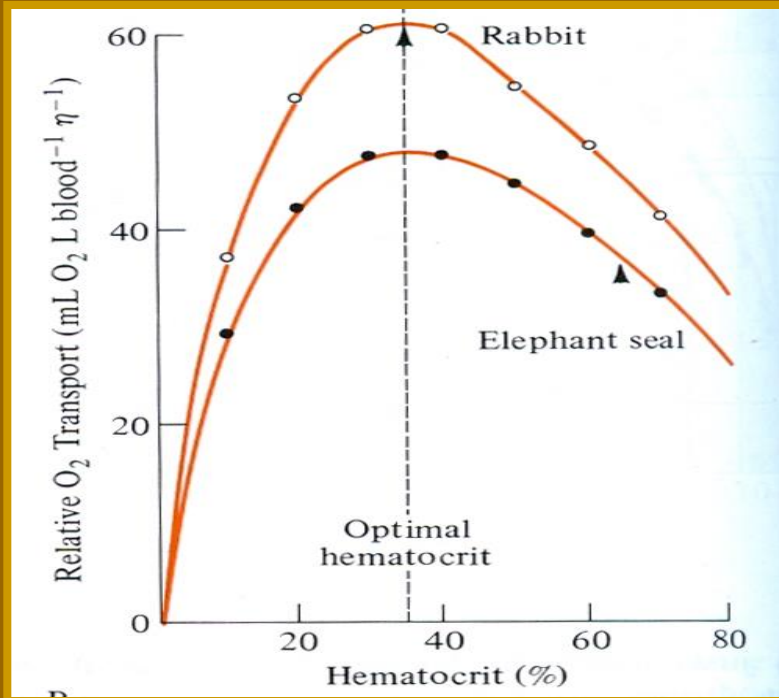
Účinnost transportu kyslíku krví v závislosti na hematokritu / koncentraci hemoglobinu



Hct – hematokrit
 OT – transportní kapacita O₂
 $\text{OT} = V_{\text{bl}} \cdot k_1 \cdot \text{Hct}$
 V_{bl} – průtok krve (ml za minutu)
 k₁ – relativní kapacita vazby O₂ krví
 v závislosti na Hct (ml O₂ / ml krve * Hct)
 $\eta_{\text{krve}} - \text{viskozita krve} = \eta_{\text{plasma}} e^{k_3 \text{Hct}}$
 k₂ – konstanta charakterizující tlak a odpor cév
 k₃ - konstanta



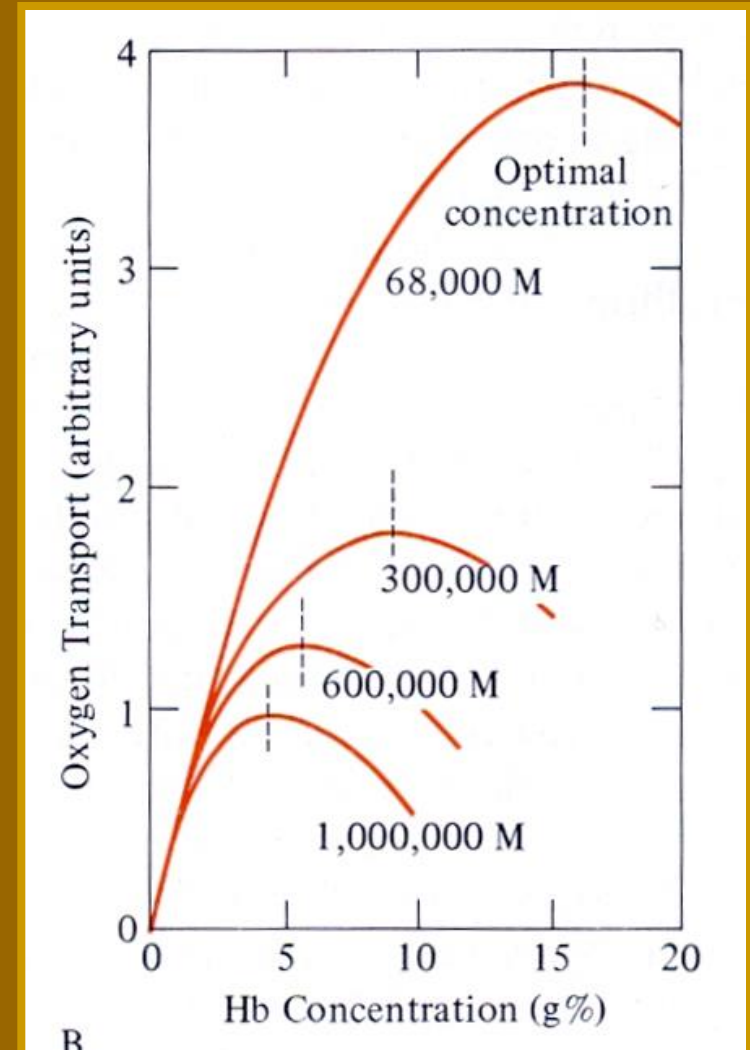
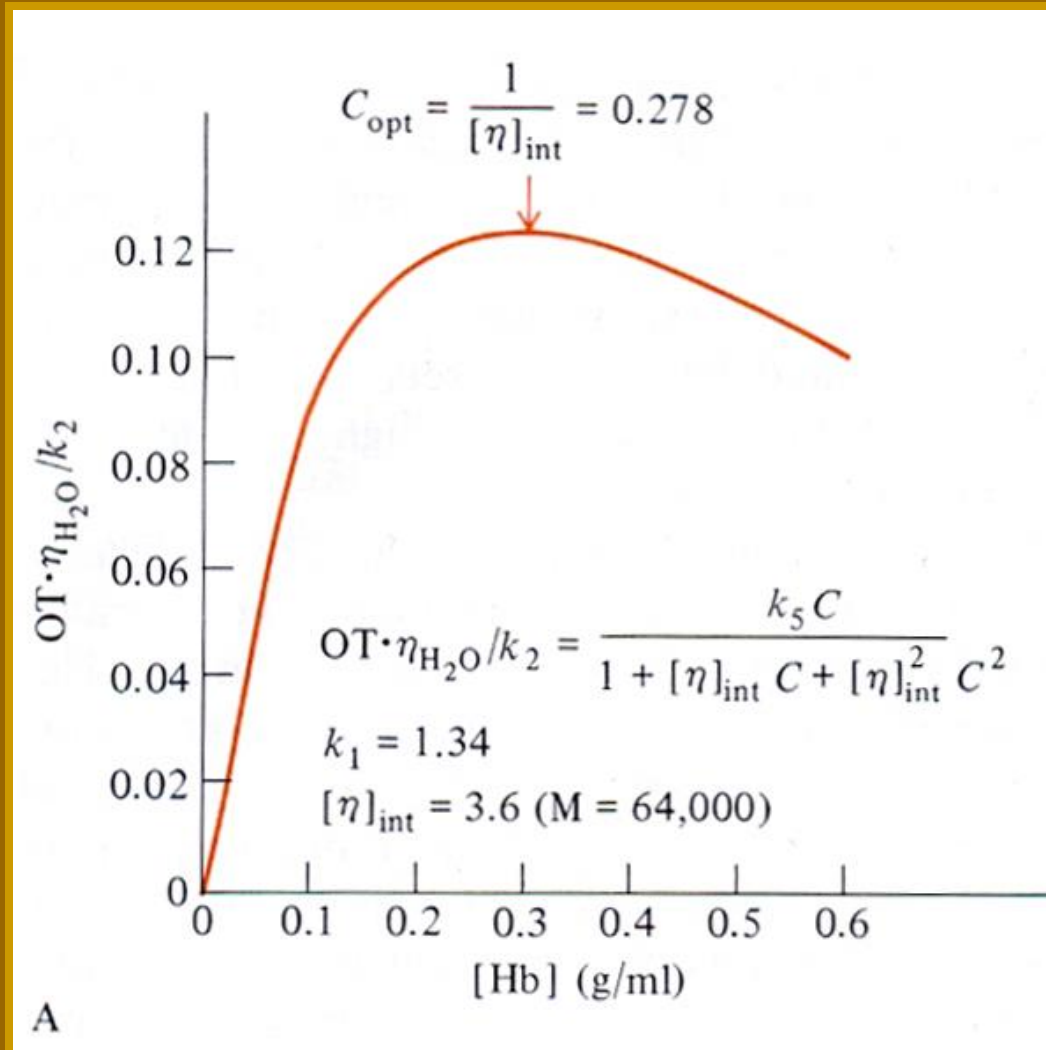
▲ OT *in vivo* x Opt. hematokrit
 →
 Posun umožňuje větší zásoby kyslíku v krvi



Vztah mezi transportní kapacitou O₂ (OT) a

A) koncentrací hemoglobinu

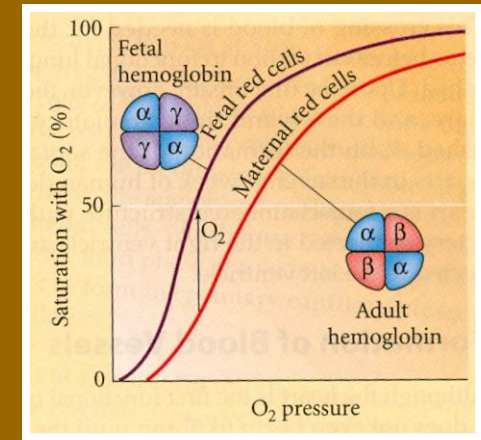
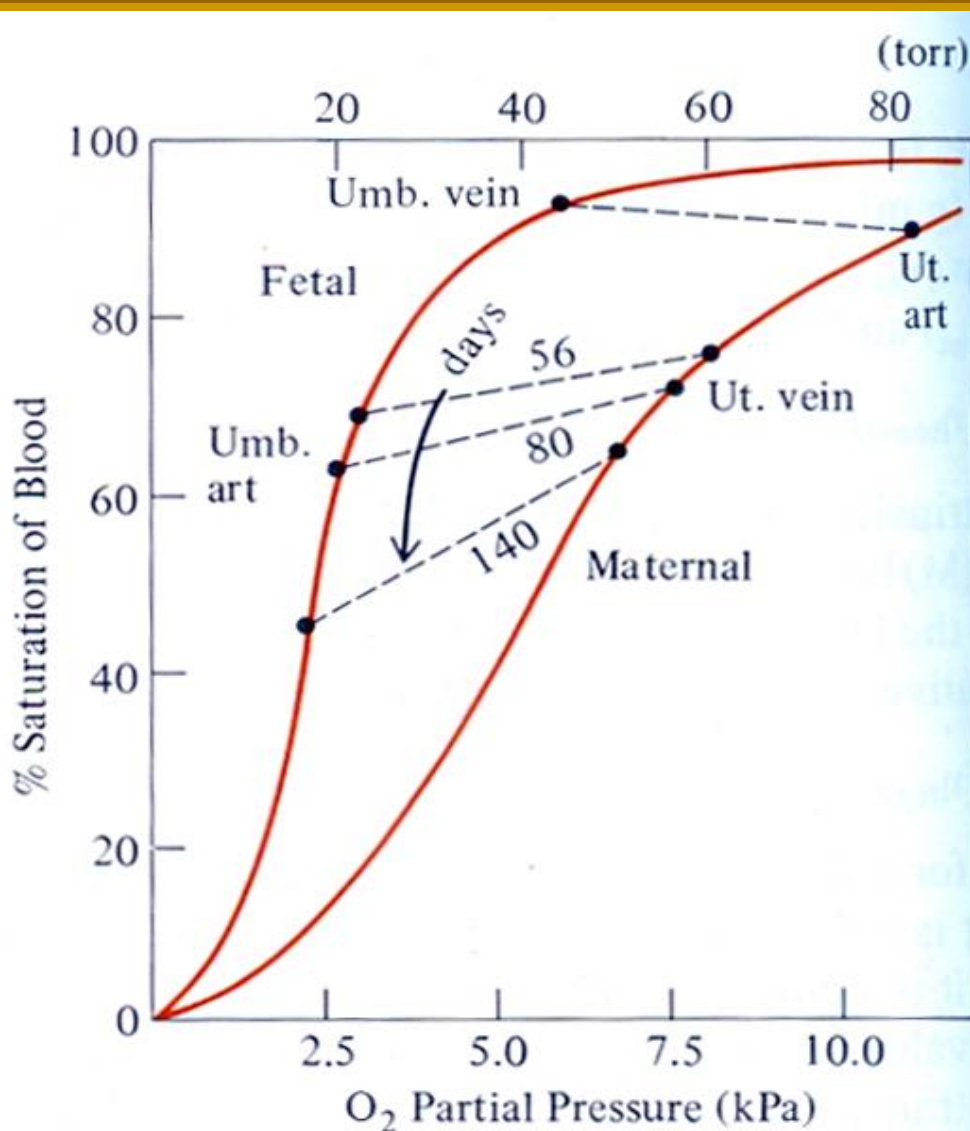
B) Molekulární hmotností hemoglobinu (M = Mr !!!)



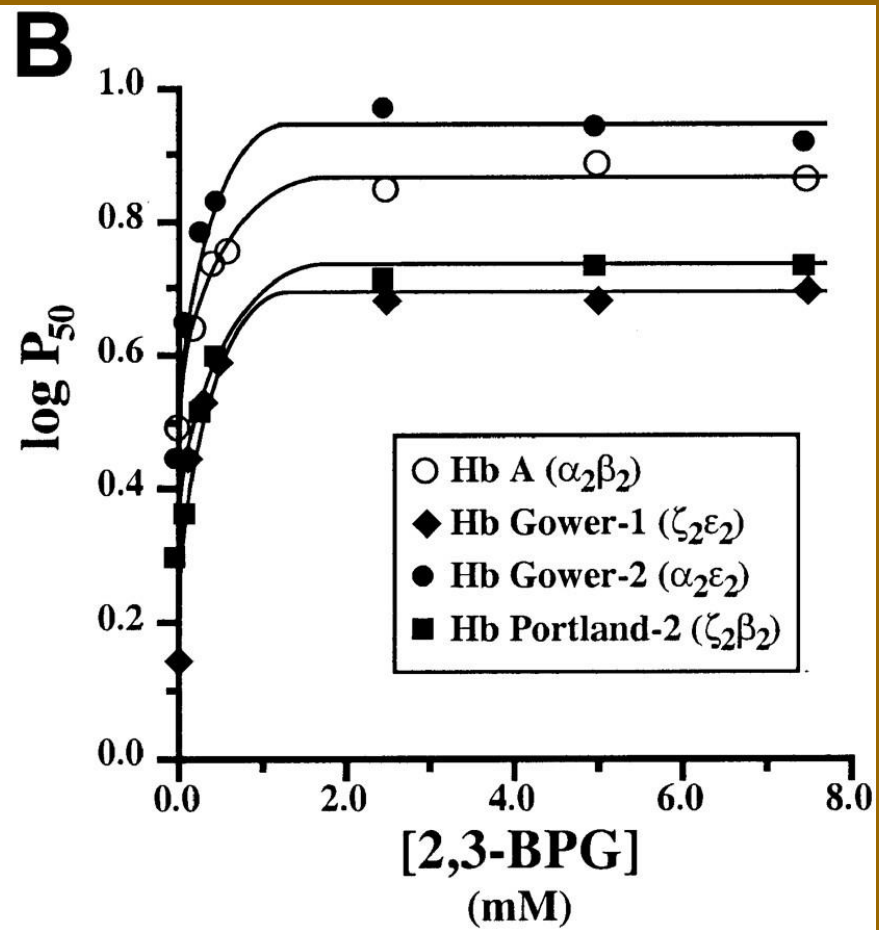
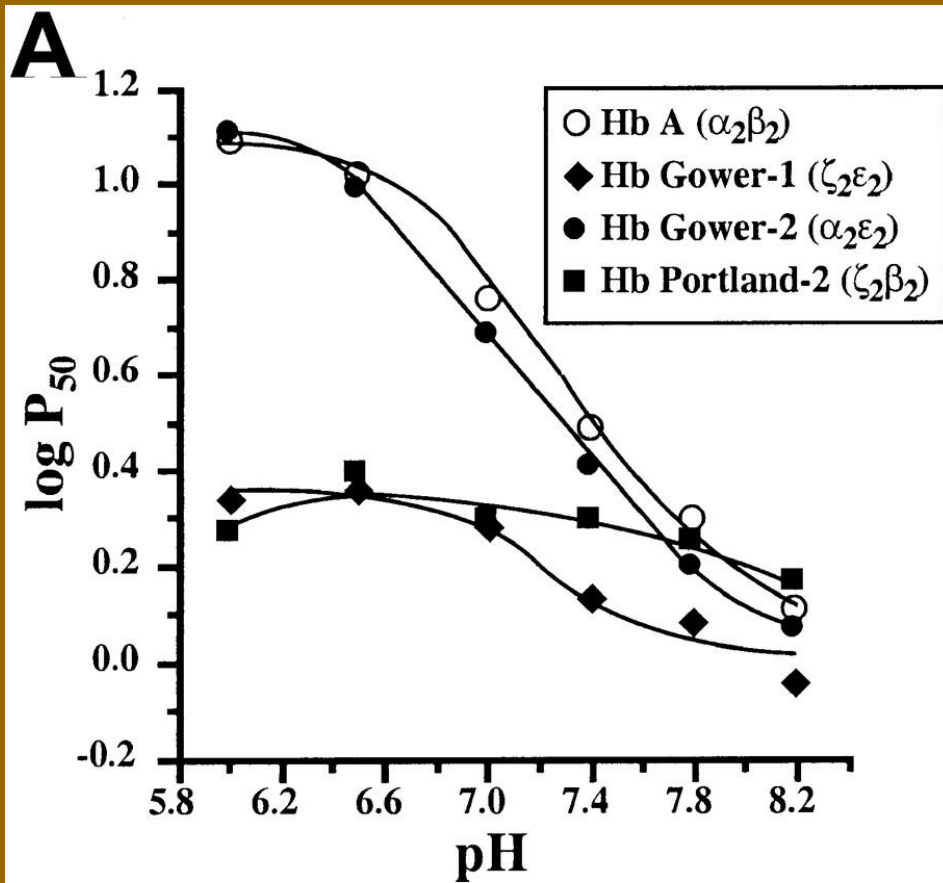
viskozita x koncentrace (molární koncentrace)

Saturační křivky krve O₂ u matky a plodu

- různé hemoglobiny
- podobný vztah i mezi dalšími O₂ přenášejícími barvivy, dle parciálního tlaku O₂ (př. myoglobin x hemoglobin)



Senzitivita jednotlivých typů hemoglobinu člověka k změně pH



Zásoby O₂ - významné zejména pro potápějící se savce a ptáky

Hemoglobin jako zásobárna O₂

- 1,3 ml O₂ na 1g hemoglobinu
- > 15 g% hemoglobinu v krvi
- objem krve > 10 % tělní hmoty

Myoglobin jako zásobárna O₂

- koncentrace ve svalu > 5 %
- svaly 20-40 % tělní hmoty



Plicní zásoby O₂ – malý význam v důsledku redukce objemu vzduchu před potopením

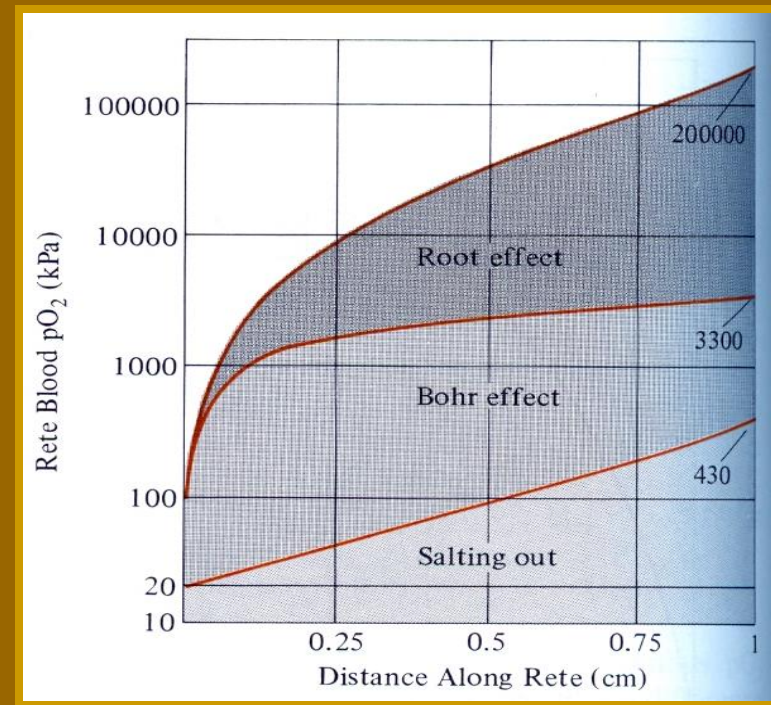
| | Objem ml O ₂ na kg tkáňové masy | | | | | |
|-------------------|--|-----------------|------------|-------|------------|--------|
| | pľíce | arteriální krev | žilní krev | svaly | rozpuštěno | celkem |
| člověk | 12,2 | 2,8 | 10,1 | 0,9 | 1,9 | 27,9 |
| kachna divoká | 12,3 | 4,7 | 10,2 | 1,8 | 2 | 31,0 |
| lvoun | 16,5 | 5,0 | 7,2 | 8,1 | 2 | 39,4 |
| polák chocholačka | 19,8 | 6,3 | 13,6 | 1,8 | 2 | 43,5 |
| mrož | 17,4 | 7,7 | 11,5 | 10,0 | 2 | 48,6 |
| lachtan medvědí | 21,8 | 6,7 | 9,9 | 11,7 | 2 | 52,1 |
| tuleň obecný | 13,6 | 12,2 | 18,8 | 18,6 | 2 | 65,2 |
| vydra mořská | 51,2 | 6,1 | 9,4 | 8,8 | 2 | 77,5 |
| tuleň pruhovaný | 12,6 | 14,3 | 22,6 | 27,2 | 2 | 78,7 |

Výměna O₂ v plovacím měchýři u kostnatých ryb

- objem je závislý na hloubce ponoření (10 m = 1 atm = 101 kPa)
- mechanismy pro uvolňování plynů do měchýře a zachování jeho konstantního objemu, mnohé druhy pak ještě žlázy pro zpětnou resorpci plynů
- problematické ve velkých hloubkách, parciální tlaky plynů v krvi obecně malé, parc. tlaky v měchýři značně narůstají s hloubkou
- nejsou mechanismy aktivního transportu, jen pasivně
- uplatnění Rootova (pCO₂) efektu

Plynové žlázy se sítí cév napojených na plynový měchýř

- navození Root efektu anaerobním metabolismem (produkce H⁺, laktátu, CO₂)
- vytěsnění O₂ z hemoglobinu
- zvýšení rozpuštěného pO₂
- část O₂ přejde do plynového měchýře



Transport CO₂ a jeho důsledky

za normálního stavu převažují hydrogen-uhličitanové ionty



zvyšující se pH zvyšuje množství uhličitanových iontů



CO₂ se také váže na –NH₂ skupiny proteinů (významné u odkysličené krve)



Obecně jsou malé rozdíly*) mezi obsahem CO₂ v arteriální a venózní krvi – 1.8 objem.%

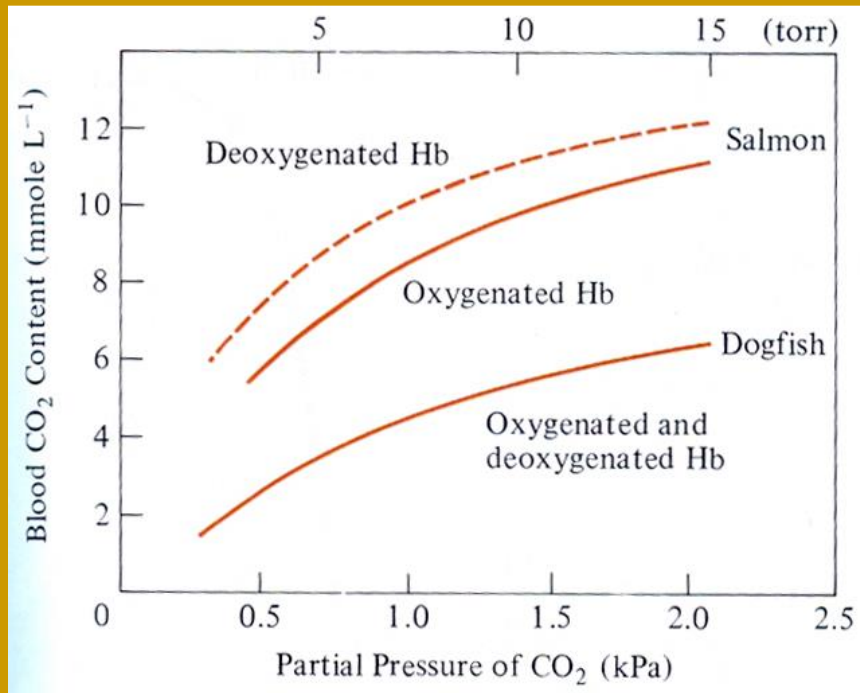
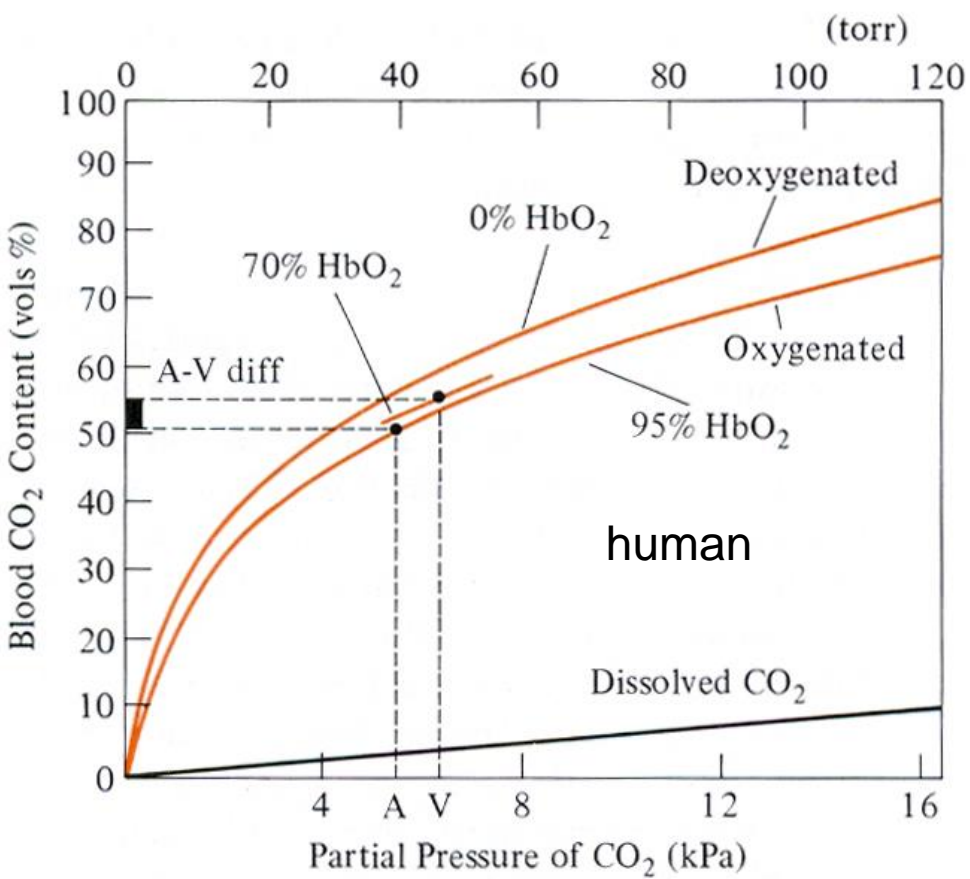
- okysličená krev: 48,2 objem.%, pCO₂ = 5,4 kPa (arterie)

- odkysličená krev: 50 objem.%, pCO₂ = 6,3 kPa (vény)

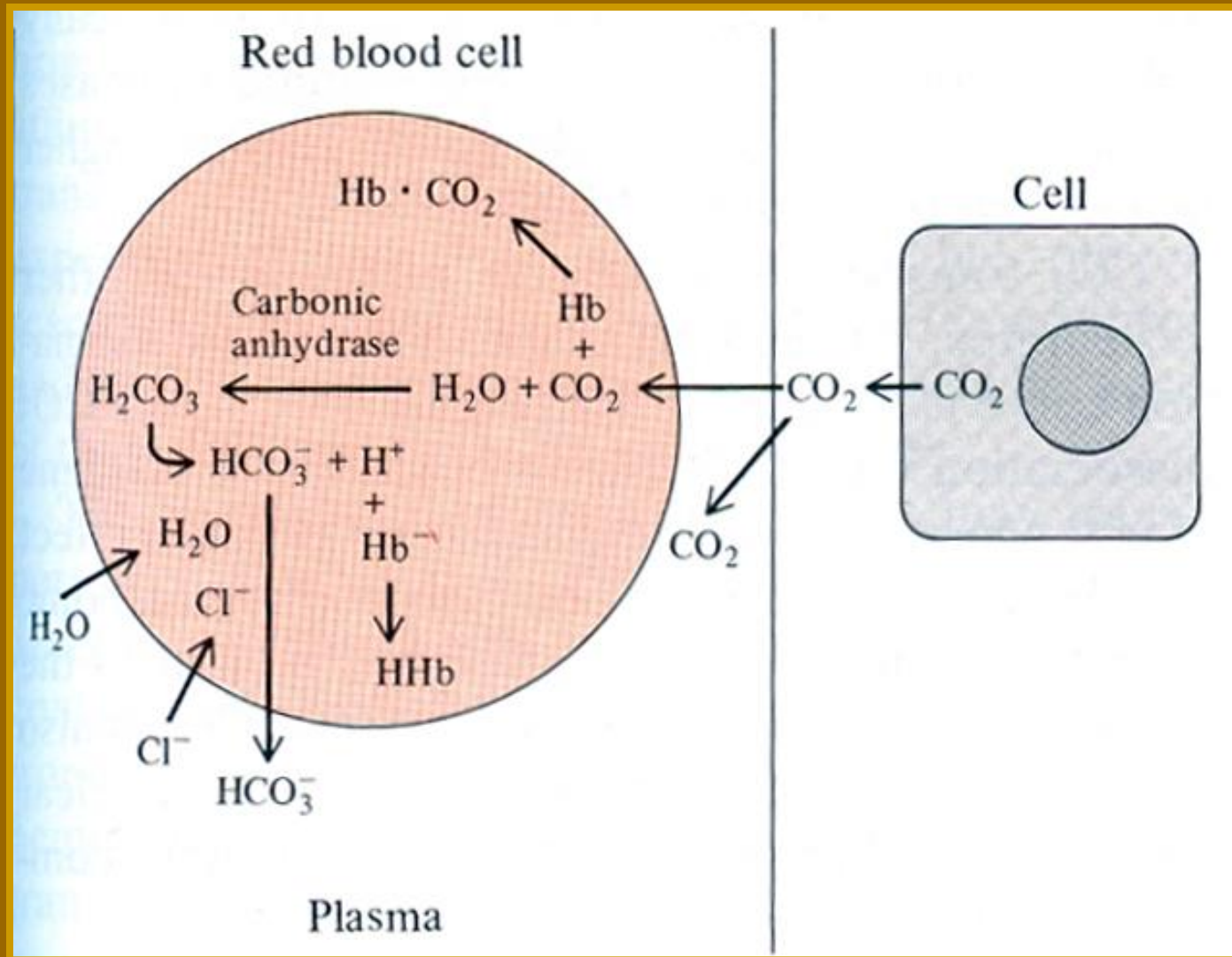
Odkysličená krev má vyšší obsah CO₂ pro stejný pCO₂ -> Haldanův efekt

*) – parametry lidské krve, ale nejsou moc odlišné od ostatních obratlovců

Haldanův efekt



Úloha erytrocytů v transportu CO₂



Membrána erytrocytů je málo prostupná pro kationty. Vznikající HCO₃⁻ je měněn za Cl⁻ (chloridový / Hamburgerův efekt), s Cl⁻ vstupuje i H₂O => větší erytrocyty = vyšší hematokryt

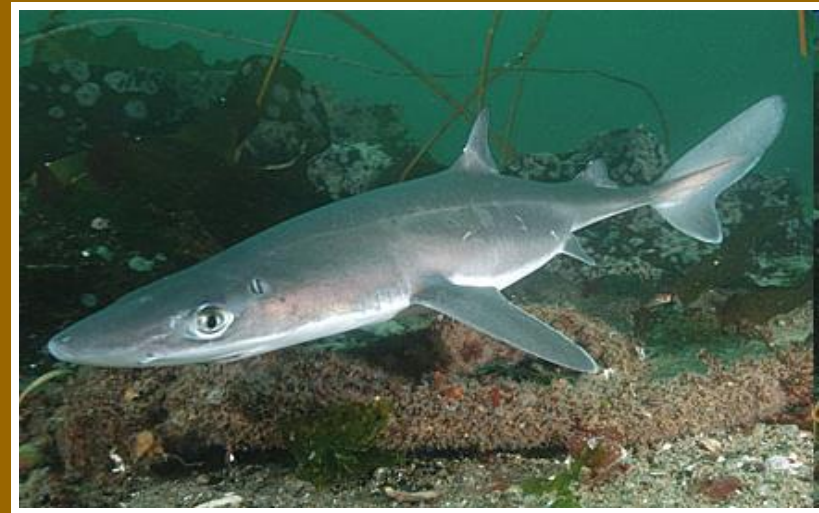
Acido-bazická rovnováha

- voda má pH = 7 při 25°C
- pH tělních tekutin člověka ~ 7,6
- intracelulární pH ~ 7



$$\text{pH} = \text{pK} + \log \frac{[\text{A}^-]}{[\text{HA}]} \quad (\text{pK} = \text{pH pro } [\text{A}^-] = [\text{HA}])$$

β - pufrční kapacita; $\beta = \Delta \text{mmol} / \Delta \text{pH}$



Pufrační základ

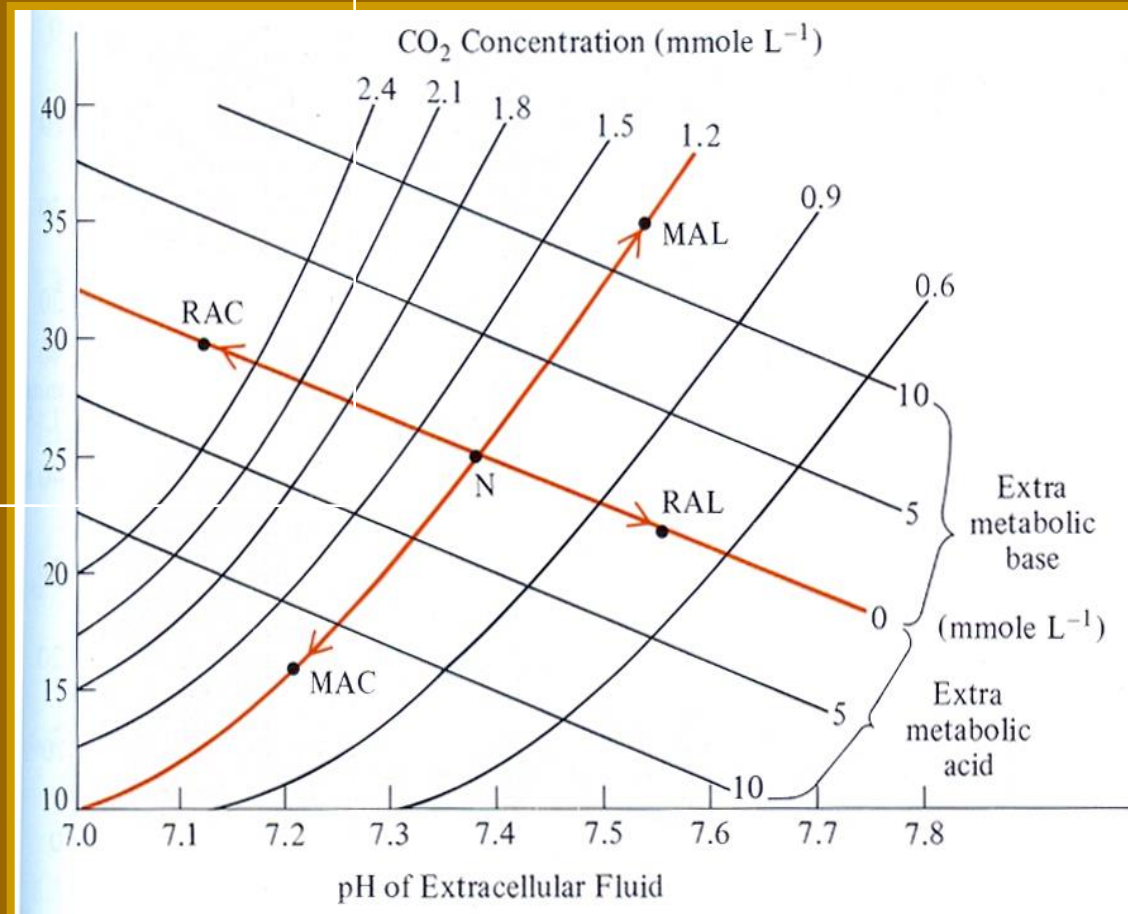
tělních tekutin tvoří celková koncentrace HCO_3^- , fosfátů a proteinových anionů.

Ostatní ionty (tzv. silné ionty) jsou plně disociovány a nepodílí se na pH.

Pufrační kapacita plasmy a krve u různých druhů

| | | β |
|-------------------------------|--------|---------|
| Bahník (<i>Protopterus</i>) | | 15,2 |
| Žralok (<i>Squalus</i>) | plasma | 6,5 |
| | krev | 9 |
| Ďas (<i>Opsanus</i>) | | 6,7 |
| Makrela (<i>Scomber</i>) | | 14,8 |
| Žábronoš (<i>Necturus</i>) | | 8,0 |
| Skokan (<i>Rana</i>) | | 16,4 |
| Aligátor | | 22,6 |
| Bobr | | 27 |
| Člověk | plasma | 6,5 |
| | krev | 30,8 |

Vztah mezi HCO_3^- (y; mM) a pH
(Daven-port diagram) - člověk



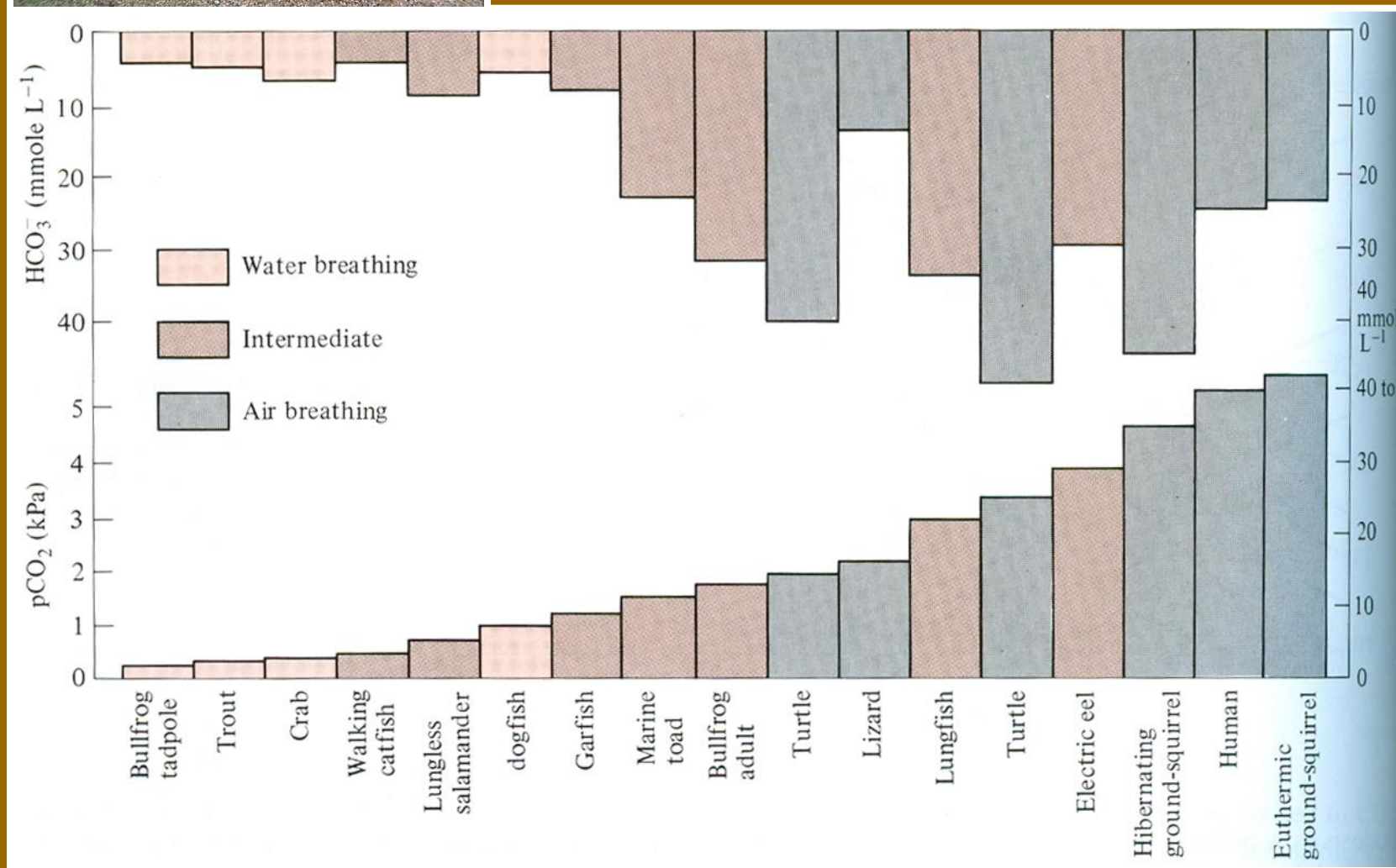
RAC / RAL

Respirační acidóza / alkalóza

MAC / MAL

Metabolická acidóza / alkalóza

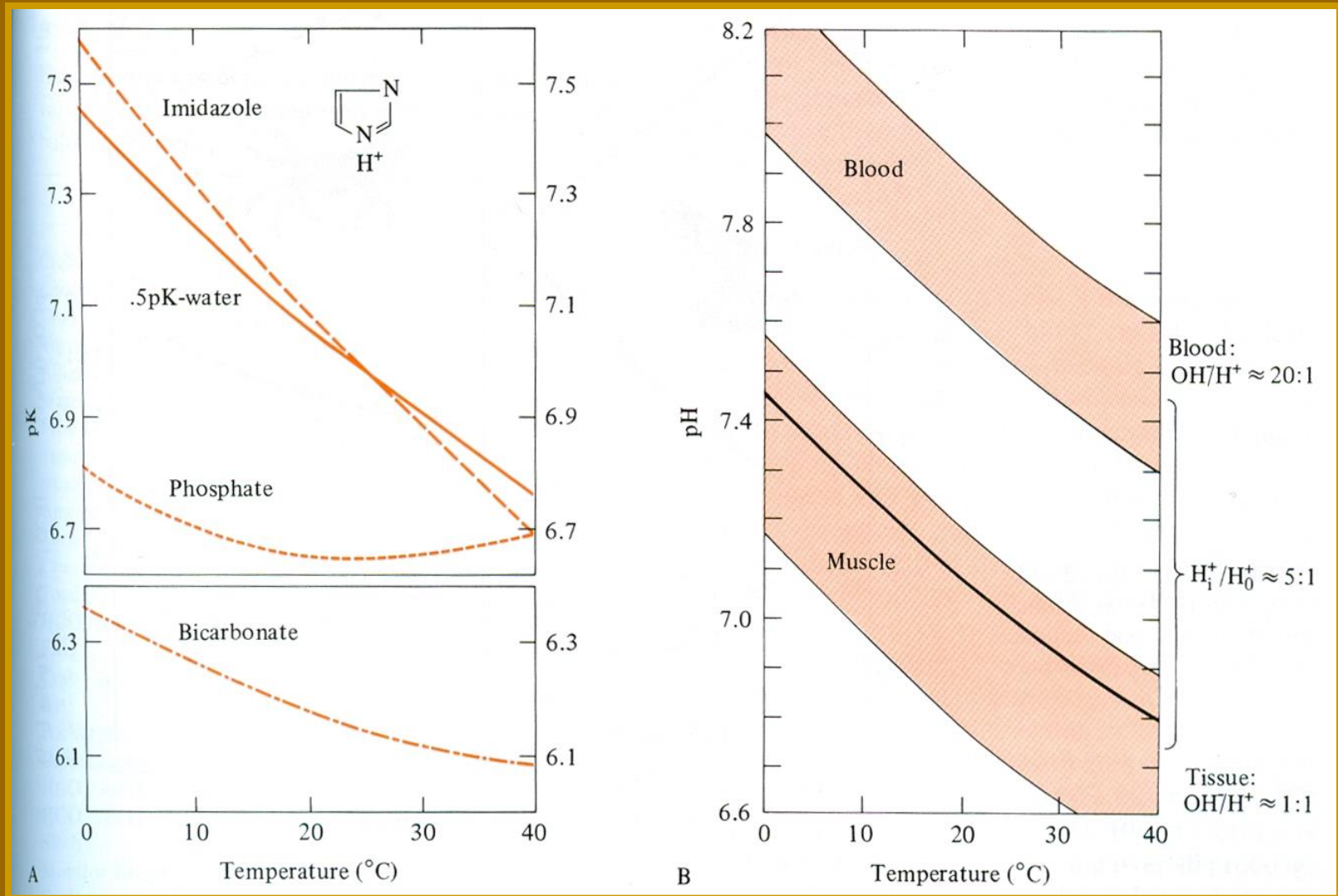
$p\text{CO}_2$ a koncentrace HCO_3^- u některých obratlovců,
- srovnání pro vodní a vzdušné dýchání



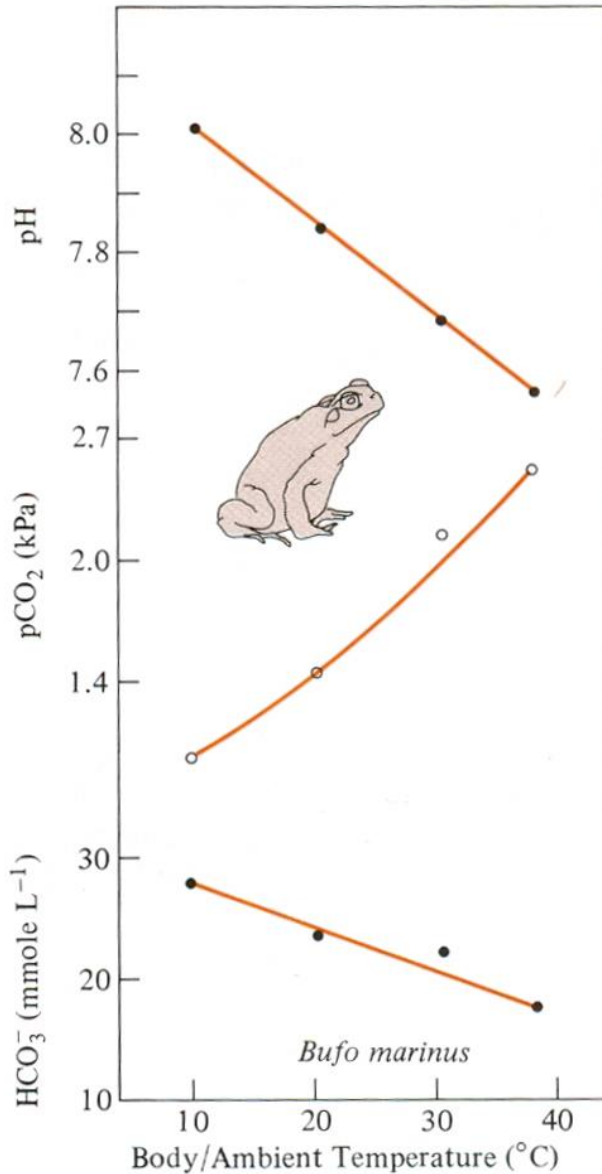
mM
mmole L⁻¹
torr

Závislost disociační konstanty na teplotě pro vodu a různé pufrы (A)

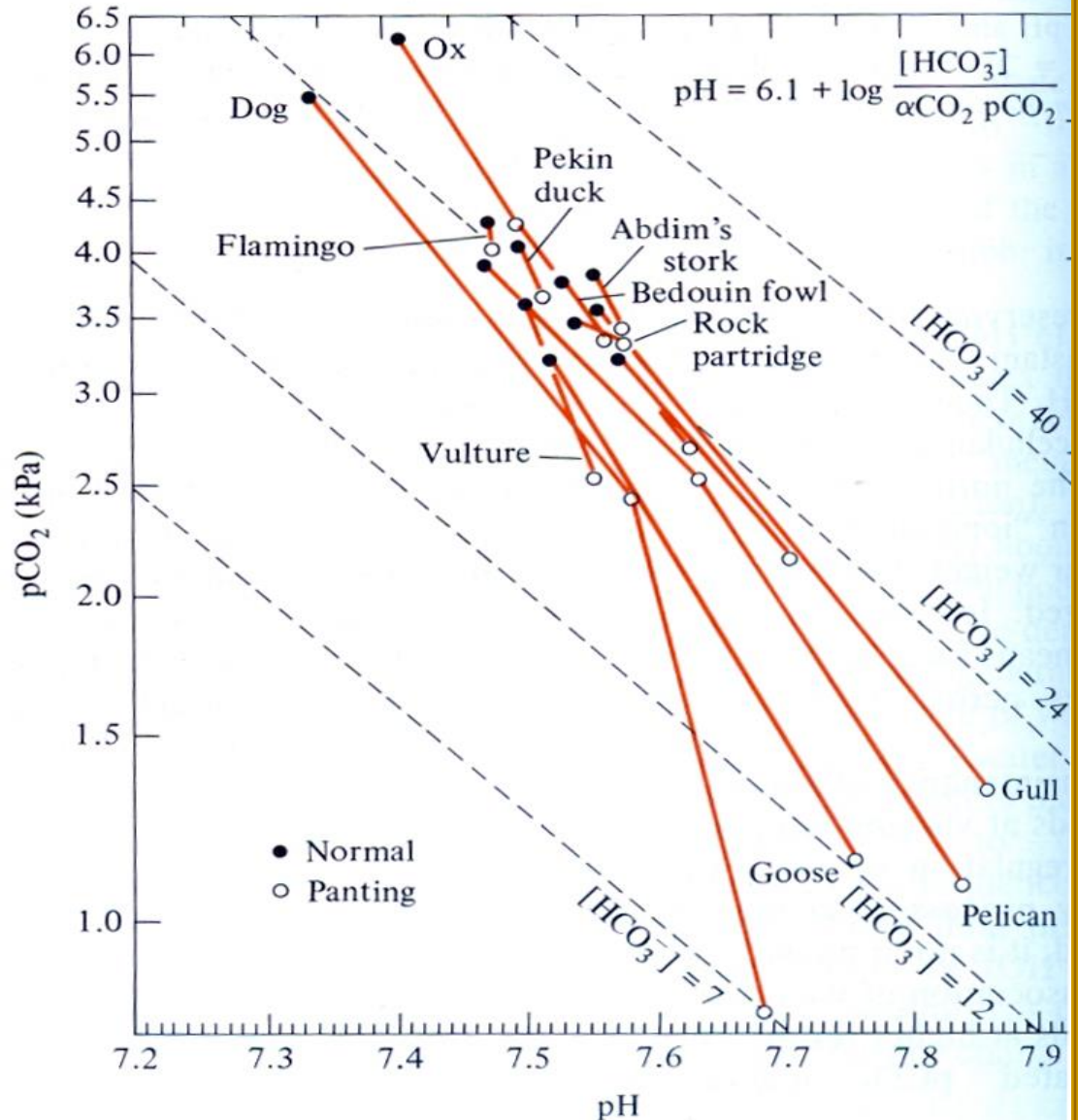
Závislost intracelulárního (svaly) a extracelulárního (krev pH) na teplotě (B)



pH krve, $p\text{CO}_2$ a HCO_3^- versus teplota těla/okolí



Vtáh mezi $p\text{CO}_2$ a pH krve u některých savců a ptáků v klidu „●“ a při oddechování (po výkonu) „○“
Přerušovaná linie nekompenzovaný poměr pro danou koncentraci HCO_3^-



Změna pH v závislosti na teplotě (organismy x pufr)



| | $\Delta\text{pH}/\Delta^\circ\text{C}$ |
|--|--|
| Kapr | -0,019 |
| Aligátor | -0,018 |
| Voda | -0,017 |
| Žába | -0,017 |
| Pstruh | -0,017 |
| Mořská želva | -0,016 |
| Ropucha | -0,016 |
| HCO_3^- /imidazol pufr (25mM + 20mM) | -0,015 |
| Žába | -0,013 |
| netopýr | -0,009 |
| myš | -0,009 |
| Pouštní leguán | -0,008 |
| HCO_3^- pufr (25mM) | -0,005 |
| $\text{HCO}_3^-/\text{PO}_4^{3-}$ pufr (25mM + 20mM) | -0,004 |
| Lenochod | -0,003 |
| Ještěrka | -0,002 |
| Hibernující ježek | -0,002 |
| Hibernující křeček | -0,002 |
| Hibernující netopýr | 0 |
| Hibernující pozemní veverka | 0 |

IMUNITA



- základní homeostatický mechanismus
- udržování integrity organismu:
 - - obranyschopnost
 - - autotolerance
 - - imunitní dohled
- už u fylogeneticky nejstarších druhů

IMUNITNÍ MECHANIZMY:

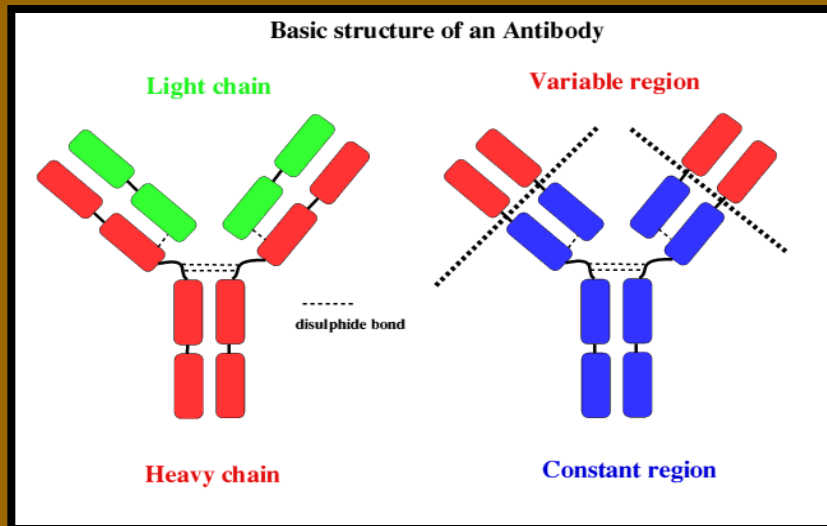
Nespecifické

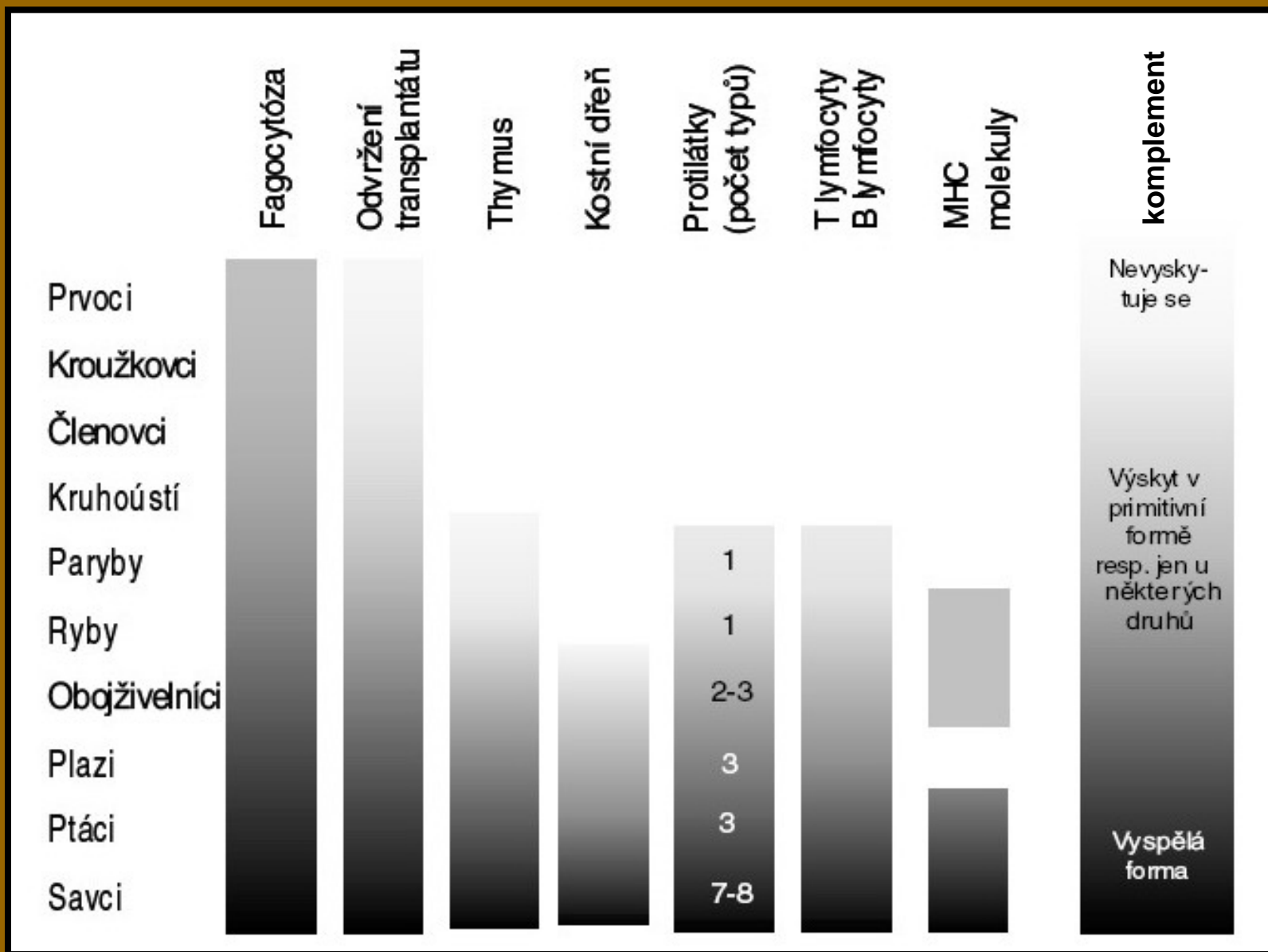
- evolučně starší
- bez imunologické paměti
- reakce na antigen (Ag) řádově v min.
- **bariéry** – mechanické, chemické (**lysozym**), mikrobiální
- složky: **buněčná** (fagocyty, NK) + **humorální** (komplement, interferony, lektiny, další sérové proteiny)

Specifické

- evolučně mladší
- imunologická paměť
- reakce na Ag: dny – týdny
- složky: **buněčná** (T-lymfocyty) + **humorální** (protilátky – Ab)
- Úrovně → geny → molekuly → buňky → orgány (primární + sekundární)

| Fakta z roku 1980 (1992) | reakce | imun. spec. reakce | imun. paměť | fago-cytóza | enkap-sulace | nespec. humor. faktory | ameboid. fagocyty | diferen-ciace leuko-cytů | protilát ky |
|--------------------------|--------|--------------------|-------------|-------------|--------------|------------------------|-------------------|--------------------------|-------------|
| Protozoa | A | N | N | A | N | N | N | N | N |
| Porifera | A | A | A | N | A | N | N | N | N |
| Cnidaria | A | A | A | N | A | N | N | N | N |
| Annelida | A | A | ? | A | A | A | A | asi A | N |
| Mollusca | A | ? | ? | A | A | A | A | N | N |
| Arthropoda | A | ? | A | A | A | A | A | N | N |
| Echinodermata | A | A | A | A | A | A | A | A | N |
| Tunicata | A | asi A | A | A | A | A | A | A | N |
| Vertebrata | A | A | A | A | N | A | A | A | A |





A. Bezčelistnatci (*Agnatha*)

Sliznatky (*Myxinoidea*) nemají organizovaný thymus a jsou vybaveny jen jednoduchými hematopoetickými a lymfopoetickými tkáněmi; krevní „lymfoidní hemoblasty“ zajišťují funkce jak krvinek, tak zánětlivých buněk. Sliznatky jsou schopny „senzibilizovanými lymfocyty“ vypudit cizí štěpy a projevit známky imunologické paměti. V séru se nachází několik bílkovin s vlastnostmi imunoglobulinů.

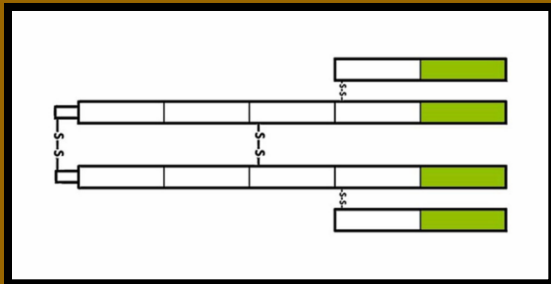


Mihule (*Petromyzones*) - v krvi hemaglutininy a antibakteriální látky odpovídající Ig vyšších obratlovců, fylogenetický přechod mezi protilátkami bezobratlých a obratlovců.



B. Čelistnatci (*Gnathostomata*)

Mají již zřetelný thymus, slezinnou bílou pulpu a dokonalejší tkáňové i krevní lymfocyty, a objevují se u nich **poprvé i plazmatické buňky**. Aloštěpová reakce je velmi účinná, v krvi přibývá imunoglobulinů, prudčeji probíhají reakce zprostředkované protilátkami IgM.





Paryby (*Chondrichthyes*)

- typické Ig (2 lehké + 2 těžké řetězce),
1 typ Ab – IgM.
- u žraloků brzlík a slezina

Ryby (*Pisces*)

- tkáňové Ag – MHC
- aktivita IgM závisí na teplotě (jako u všech poikilotermů)
- proteiny komplementu uniformní
- plně diferencovaný brzlík a slezina



Obojživelníci (*Amphibia*)

V souvislosti s přechodem z vody na souš

- Kvalitativně vyšší stupeň imunity
- Jsou vytvořeny uzliny a již existuje systém T i B lymfocytů
- Ve střevní tkáni lze nalézt velké množství plazmocytů.



Mloci (*Urodela*)

- nejsou MHC
- hematopoéza v kostní dřeni neprokázána, probíhá v ledvinách a játrech



Žáby (*Anura*)

- Silný MHC
- 2 druhy Ab (IgM a IgG)
- prokázána alergická reakce
- hematopoéza v kostní dřeni
- sekundární lymfat. org. (slezina, ledviny, lymfatické uzliny)
- GALT (gut associated lymphoid tissue).

Plazi (*Reptilia*)

- Podobnost s IS obojživelníků
- Jsou zde přítomny protilátky IgM a objevují se předchůdci IgG, navíc i „slizničního“ IgA.
- Hematopoéza – kostní dřeň, slezina, thymus (s přibývajícím věkem involvuje), v hltanu tonzily
- Není spolehlivě prokázán MHC
- GALT v podobě kloakálního komplexu (anatomicky podobný Fabriciově burze ptáků, ale není jejím ekvivalentem)



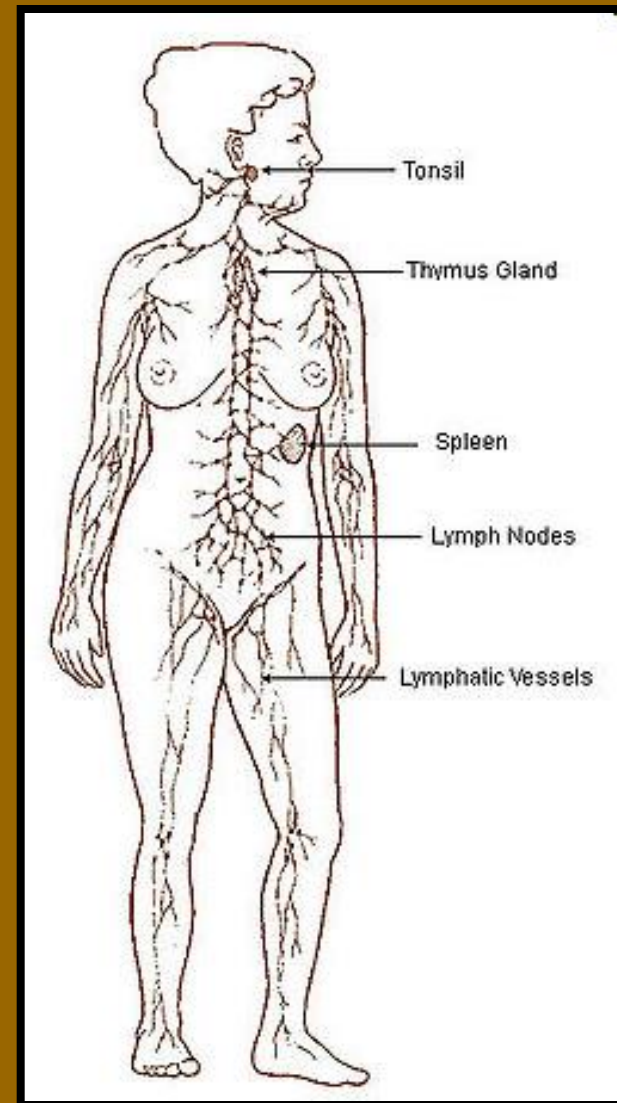
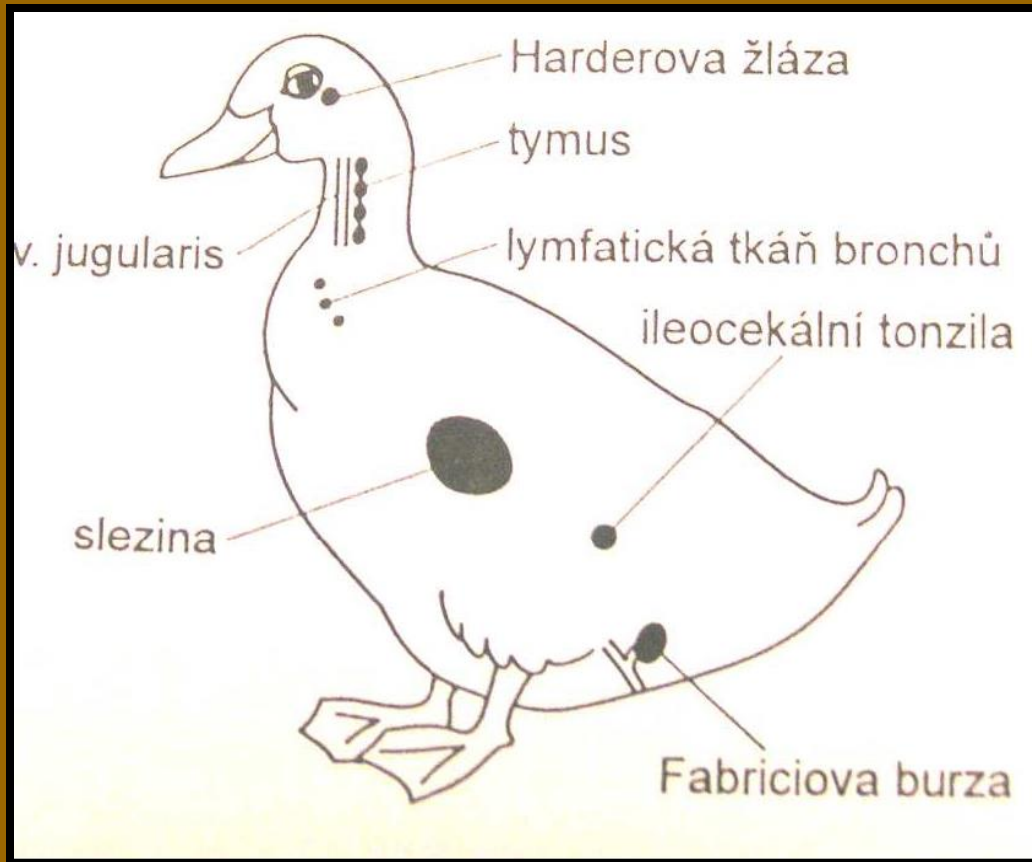
- Krokodýli (*Crocodylia*) mají velmi účinné baktericidní proteiny v krvi (odolnost i proti *Staphylococcus aureus*...)

Ptáci (Aves)

- Zdokonalení lymfoidního systému. Vedle plně vyvinutého thymu (všechny 3 typy T lymfocytů – Th, Tc i Ts) a kostní dřeně se vytvořila Fabriciova burza (bursa Fabricii) - hlavní orgán humorální imunity.
- Dále slezina, lymfat. uzliny (nejsou u kurovitých), Peyerovy plaky, Harderova a pineální žláza.
- Lymfat. tkáň má také difúzní podobu, její ohniska téměř ve všech orgánech – např. myokard, endokrinní org., játra, ledviny, pankreas i příčně pruhovaná svalovina
- BALT (bronchus associated lymphoid tissue)



Lokalizace lymfatických orgánů ptáků a savců

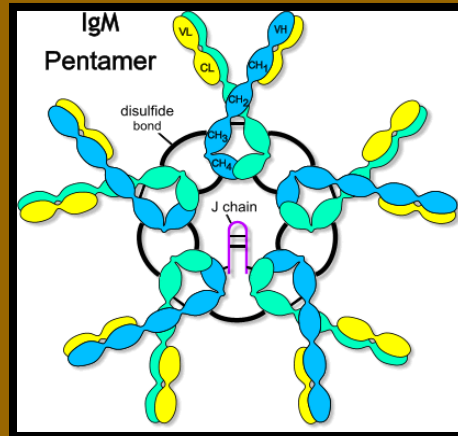


System lymfatických cév (*vasa lymphatica*) není u ptáků tak vyvinut jako u savců. Sbírají lymfu z pletení tvořených lymfatickými kapilárami a odvádějí ji do doprovodných krevních žil. Lymfatické srdce a lymfatické uzliny se vyskytují pouze u kachen a hus.

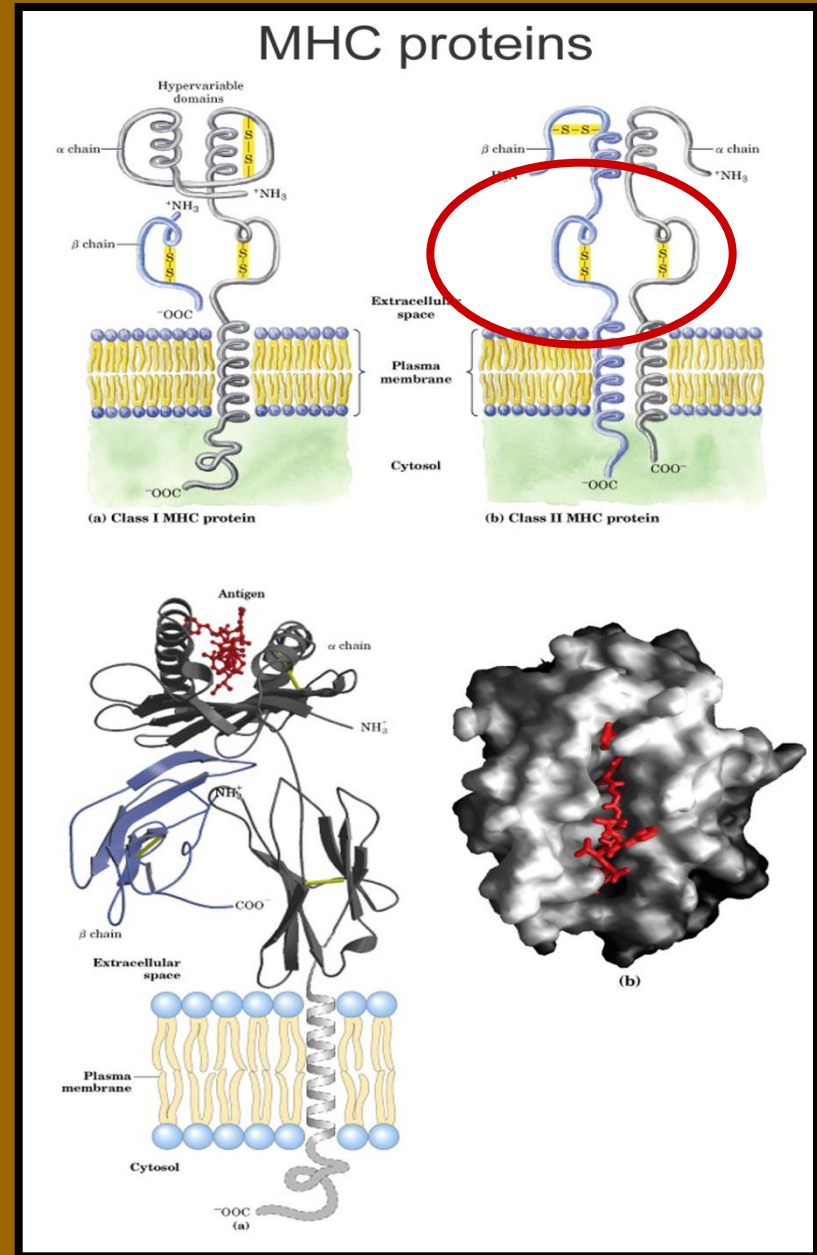
Savci

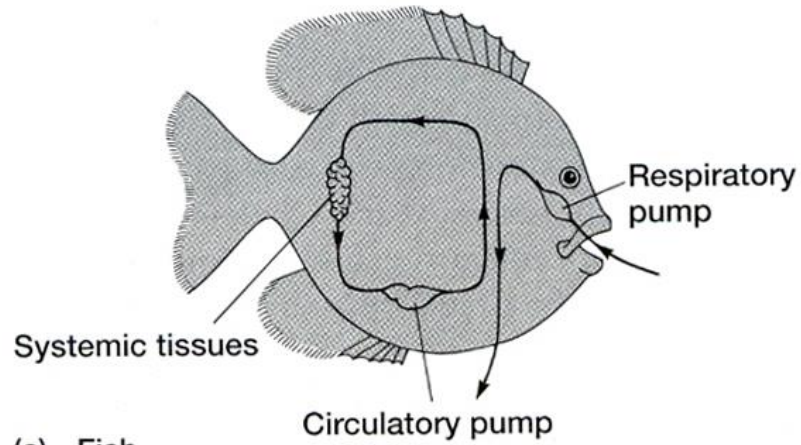
- Savci včetně člověka mají dokonale vybudovaný thymus a systém buněčné imunity. Ig 5 resp. 9 typů (IG1-4, IgM, IgA1-2, IgD, IgE).
- Společný původ řady významných povrchových znaků a receptorů dokazují přesvědčivě analogie a podobnosti v jejich struktuře u nízkých živočišných forem a savců (člověka). Platí to pro druhové, diferenciační i histokompatibilitní znaky i pro receptory fagocytů, dendritických buněk a NK buněk i T a B lymfocytů.
- Geny pro receptory T-lymfocytů a geny pro receptory B-lymfocytů (imunoglobuliny) se začaly odštěpovat od původních pragenů asi před miliardou let a osamostatňovat se před zhruba 600 milióny let. Vývojové zmnožování a rozrůžňování probíhalo pomalu, ale trvale. K divergenci histokompatibilitních znaků I. a II. třídy došlo asi před 200 milióny let.
- Základem vzniku nejspíše selekční tlak vnějšího + vnitřního prostředí, hlavní hnací síla: vztah parazit-hostitel.

Savci (zajímavosti)

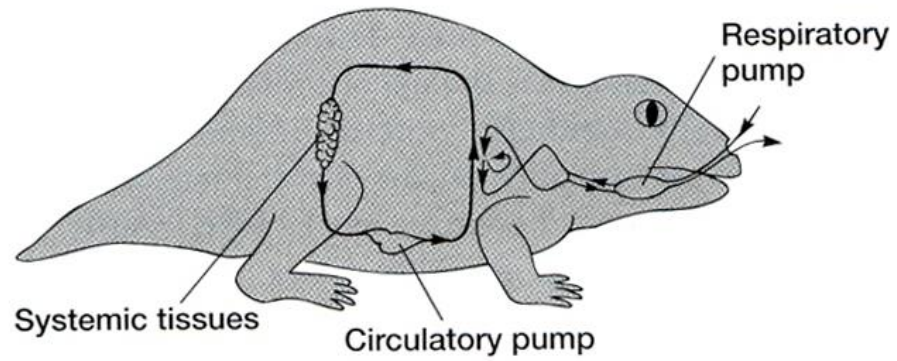


- IgM – 1. Ig ve fylogenezi i ontogenezi
- velbloudi nemají lehké řetězce Ig
- gepard – nízký polymorfismus MHC (bottle neck effect) => genet. homogenizace => citlivost k infekcím, vysoká úspěšnost transplantací (~inbrední kmeny laboratorních zvířat)
- primáti – transplacentární přenos IgG, ostatní skupiny – IgG přes sliznice do mateř. mléka





(a) Fish



(b) Tetrapod