

# 5. RESPIRACE

**výměna plynů mezi tělem a prostředím, zejména O<sub>2</sub> a CO<sub>2</sub>**

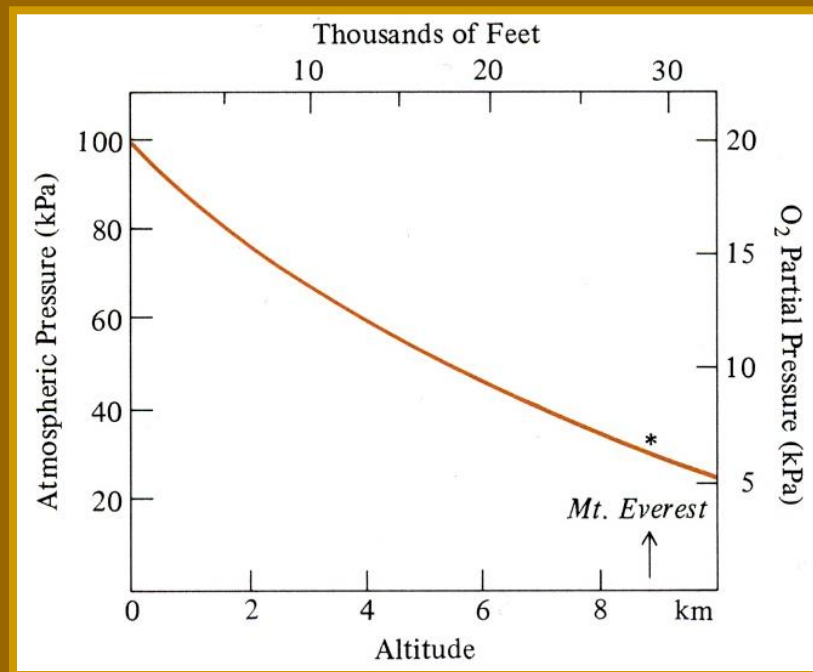
- vnější respirace (dýchací cesty, výměna plynů v tkáních)
- vnitřní respirace (na úrovni buněčného metabolismu)

**prakticky všechny chemické reakce provázející život**

**se odehrávají ve vodě => rozpustnost O<sub>2</sub> a CO<sub>2</sub> ve vodných roztocích**

Zastoupení jednotlivých plynů  
ve vzduchu (0 m n.m.)

kyslík	20,948
oxid uhličitý	0,0315
dusík	78,084
argon	0,934
neon	0,002
helium	0,005
ostatní	< 0,0002
metan	
krypton	



## Změny barometrického a parciálního O<sub>2</sub> a CO<sub>2</sub> v různém prostředí (kPa)

vzduch	pO <sub>2</sub>	%O <sub>2</sub>	pCO <sub>2</sub>	%CO <sub>2</sub>	P <sub>b</sub>
<b>8848 m n.m.</b>	6,9	21	0,01	0,03	250
<b>5500 m n.m.</b>	10,6	21	0,01	0,03	380
<b>0 m n.m.</b>	21,1	21	0,03	0,03	760
<b>-10 m</b> (H <sub>2</sub> O, ppm)	41,1	21	0,06	0,03	1520
<b>-100 m</b> (H <sub>2</sub> O, ppm)	231,5	21	0,33	0,03	8360
<b>-1000 m</b> (H <sub>2</sub> O, ppm)	2135,8	21	3,06	0,03	76760

### zvířecí nory

<b>sysel 1</b>	15,9	15,5	3,85	3,8	760
<b>sysel 2</b>	10,9	13,7	6,25	6,2	760
<b>rypoš</b>	14,1	14	4,78	4,8	760
<b>klokaní kapsa</b>	15,8	15,7	5,32	5,3	760

voda	ppm O <sub>2</sub>	ppm CO <sub>2</sub>
<b>normálně</b>	8-10	0,02
<b>-1000 m</b>	8-10	0,02

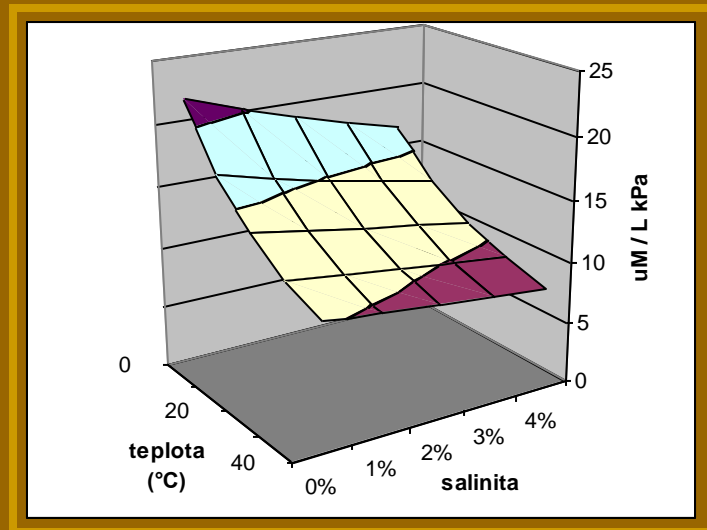


(ppm – parts per million, 1ppm = 1miliontina ~ 1% = 10 000 ppm)

# Rozpustnost plynů ve vodě v závislosti na teplotě a salinitě

Rozpustnost plynů ve vodě v závislosti na teplotě ( $\mu\text{M}/\text{kPa}$ )

°C	O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	He
0	21,7	767,5	-	-
10	16,9	531,2	-	-
20	13,7	386,8	6,82	-
30	11,6	294,9	-	-
37	10,6	250,5	5,61	3,75
40	10,2	234,8	-	-



Srovnání rozpustnosti a koncentrace plynů ve vodě a jejich kapacitance/koncentrace ve vzduchu (20°C)

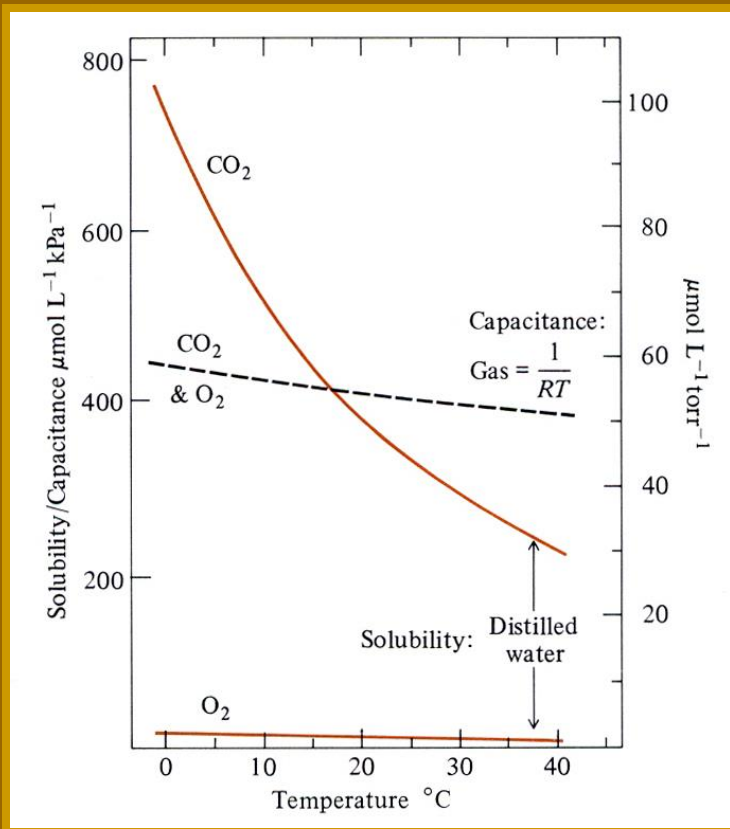
	rozpustnost / kapacitance*		koncentrace**	
	voda	vzduch	voda	vzduch
O <sub>2</sub>	0,331	9,88	6,98	209,5
CO <sub>2</sub>	9,30	9,88	0,31	0,3
N <sub>2</sub>	0,164	9,88	13,5	790,2

\*ml / litr kPa

\*\*ml / litr

Rozpustnost O<sub>2</sub> ve vodě v závislosti na salinitě a teplotě ( $\mu\text{M}/\text{kPa}$ )

°C	Salinita	0%	1%	2%	3%	4%
0		21,7	20,2	18,9	17,7	16,6
10		16,9	15,8	14,8	13,9	13,1
20		13,7	12,9	12,2	11,5	10,8
30		11,6	11,0	10,4	9,86	9,33
40		10,2	9,71	9,26	8,73	8,35



Grafické vyjádření závislosti rozpustnosti / kapacitance  $O_2$  a  $CO_2$  na teplotě ve vodě a vzduchu.

*Difúzní koeficienty ( $cm^2 / s$ ) pro  $O_2$  a  $CO_2$  pro různé biologické materiály*

	$O_2$	$CO_2$
<b>vzduch</b> ( $0^\circ C$ )	0,178	0,139
( $20^\circ C$ )	0,20	
<b>voda</b> ( $20^\circ C$ )	$20 \times 10^{-6}$	$18 \times 10^{-6}$
( $37^\circ C$ )	$33 \times 10^{-6}$	
<b>lidské plíce</b> ( $37^\circ C$ )	$23 \times 10^{-6}$	
<b>svaly</b> ( $20^\circ C$ )	$14 \times 10^{-6}$	
<b>kůže mloka</b> ( $25^\circ C$ )	$14 \times 10^{-6}$	
<b>pojivová tkáň</b> ( $20^\circ C$ )	$12 \times 10^{-6}$	
<b>rosol žabího vajíčka</b> ( $20^\circ C$ )	$10,2 \times 10^{-6}$	
<b>obal žraločího vajíčka</b> ( $15^\circ C$ )	$3,0 \times 10^{-6}$	
<b>kůže úhoře</b> ( $14^\circ C$ )	$2,4 \times 10^{-6}$	
<b>obal lososí jikry</b> ( $5-15^\circ C$ )	$1,8 \times 10^{-6}$	
<b>Chitin</b> ( $20^\circ C$ )	$0,7 \times 10^{-6}$	

Příjem plynů je také ovlivněn jejich **difúzí**, náhodným tepelným přesunem z jednoho místa na druhé, pohybem závislejícím na vlastnostech materiálu, teplotě, tlaku a koncentračním gradientu.

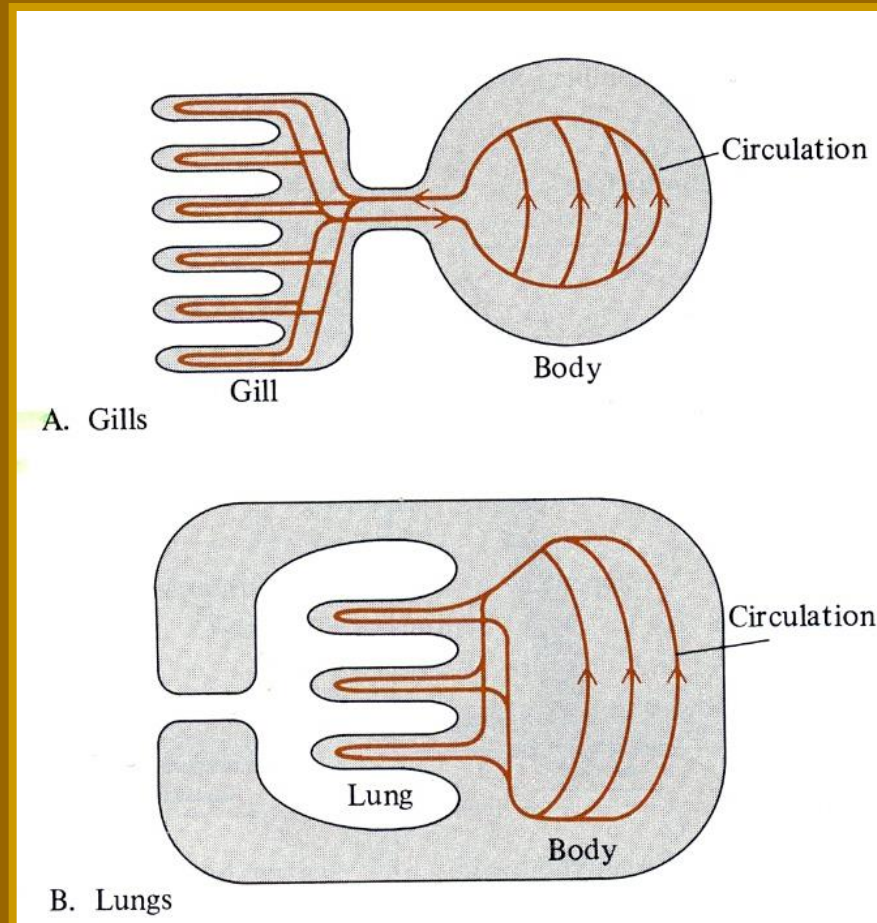
- v organismech se uplatňuje jen na velmi malé vzdálenosti

# RESPIRAČNÍ SYSTÉM OBRATLOVCŮ

Zobecněné schématické znázornění respiračního systému

A) vnější žábry

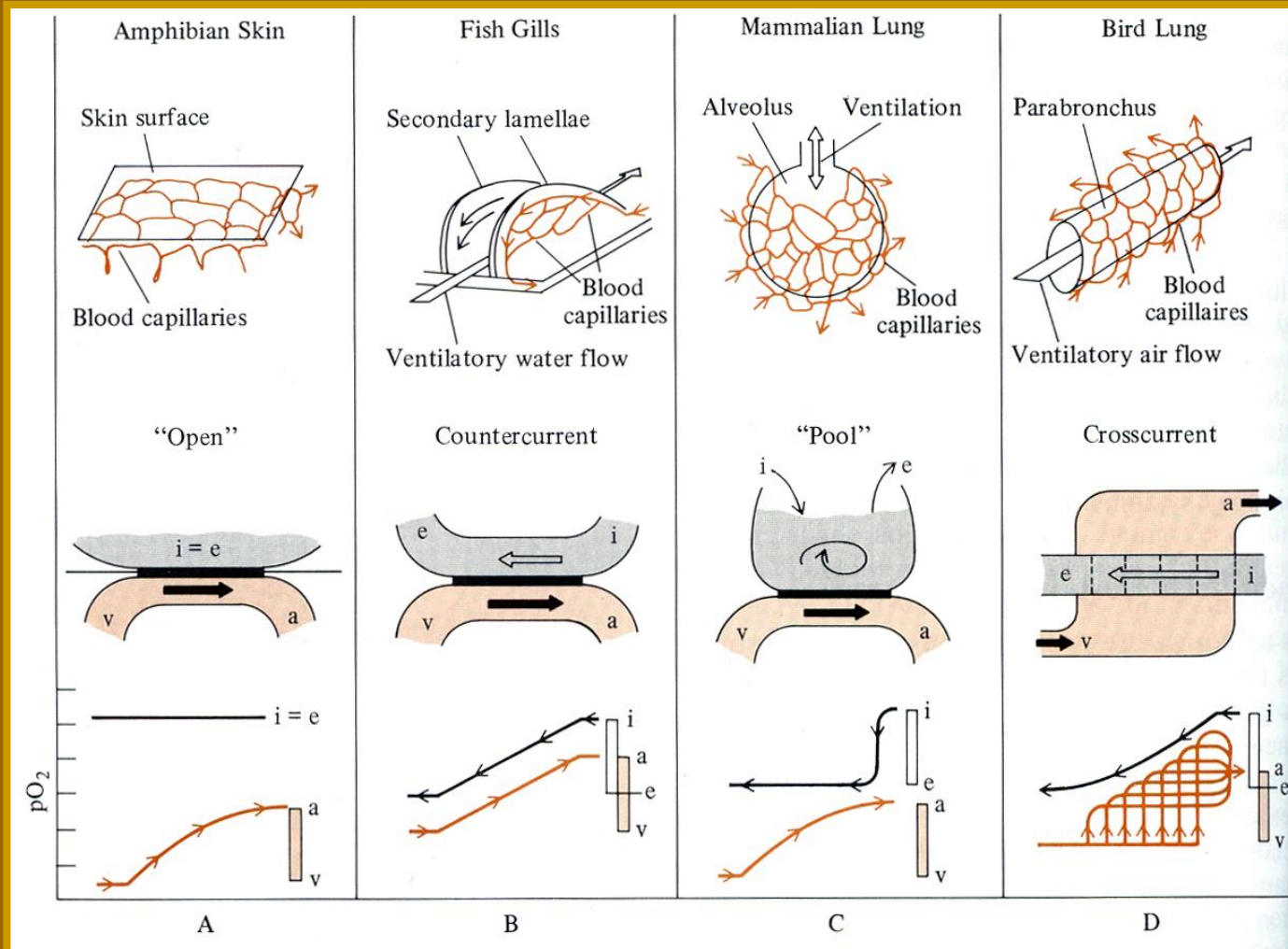
B) vnitřní plíce



# Způsoby výměny plynů u obratlovců

hladina  $O_2$  na : i – přijmu; e – výdeji;

v : a – arteriích; v – vénách



# RESPIRACE VE VODĚ

## 1) Povrchem těla, kožní dýchání

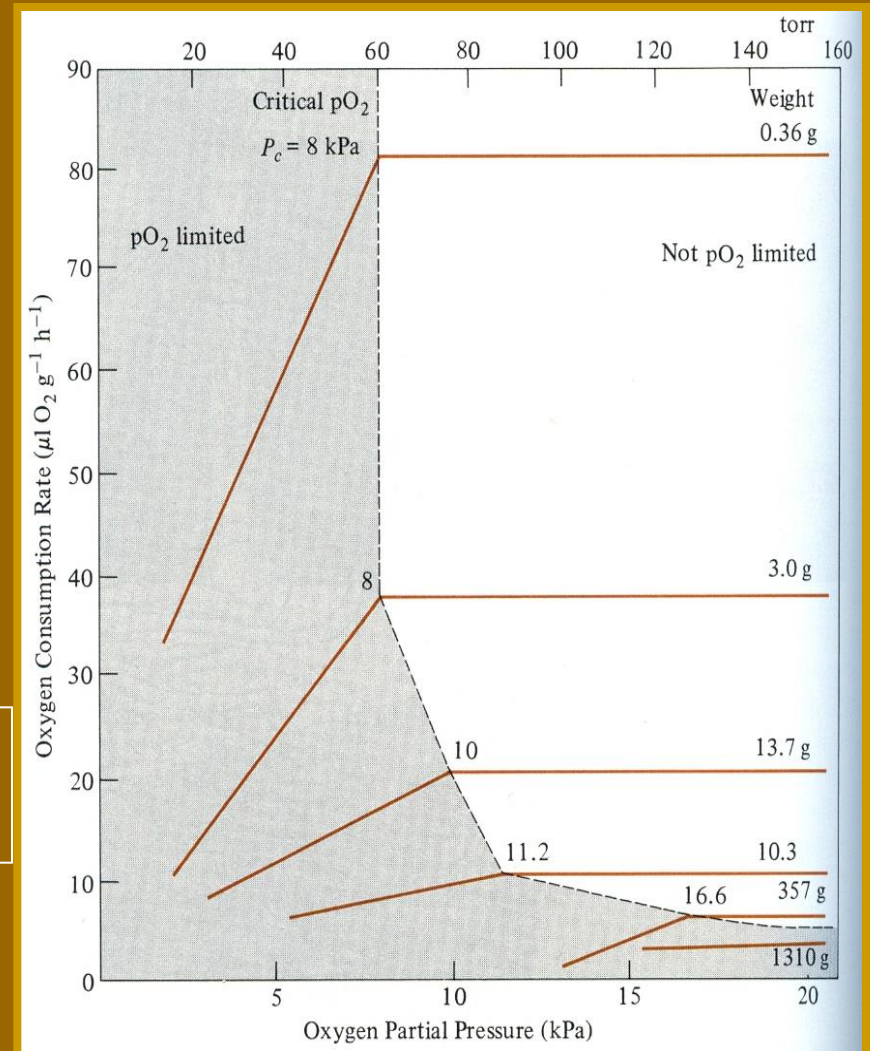
- mnohé ryby
  - úhoři a murény, sumci, vranky
  - mnohé rybí larvy
- mnozí obojživelníci
- někteří plazi



Mlok surýn (*Siren*), má malé plíce i žábry,  $O_2$  přijímá hlavně povrchem těla – hustá síť vlásečnic, tenká kůže + celkově větší plocha povrchu než plíce s žábry, dobře vyvinutý cirkulační systém.



Vliv velikosti těla ~ proporce hmota x povrch u surýna (*Siren*) a jeho schopnost přijímat  $O_2$  kožním dýcháním





Největší vodní obratlovci nemající dostatečně vyvinuté spec. dýchací orgány

(plíce jsou malé a prakticky nefunkční)

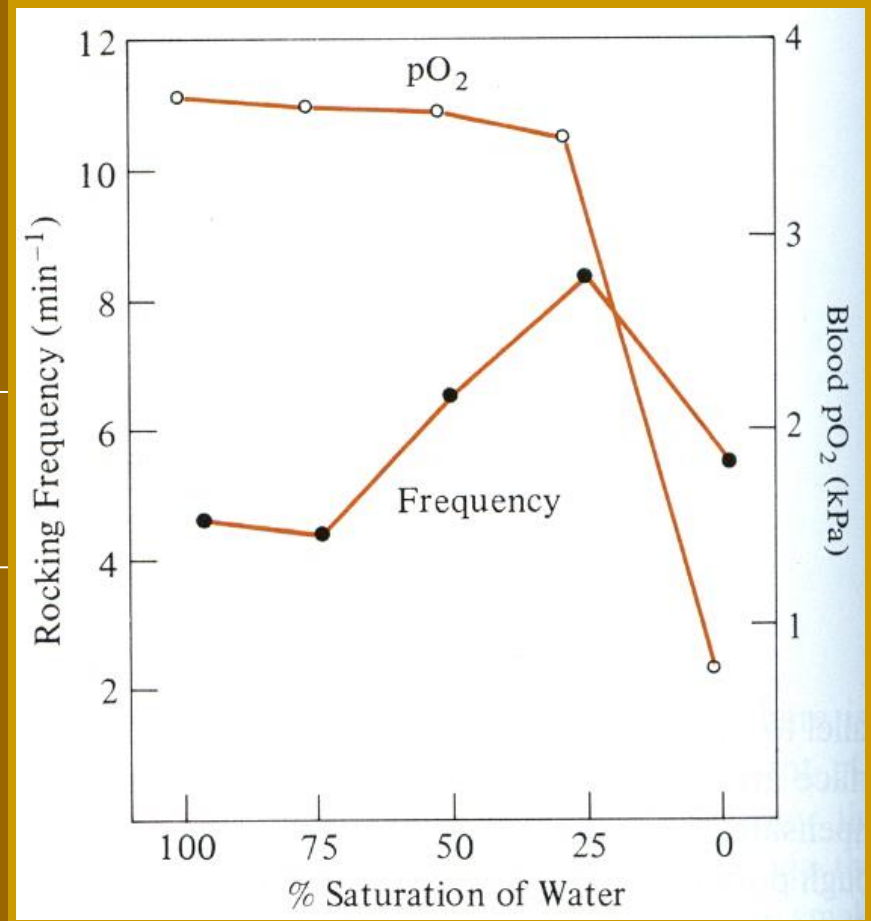
Velemloci - *Cryptobranchus*, obývají intenzivně tekoucí vody



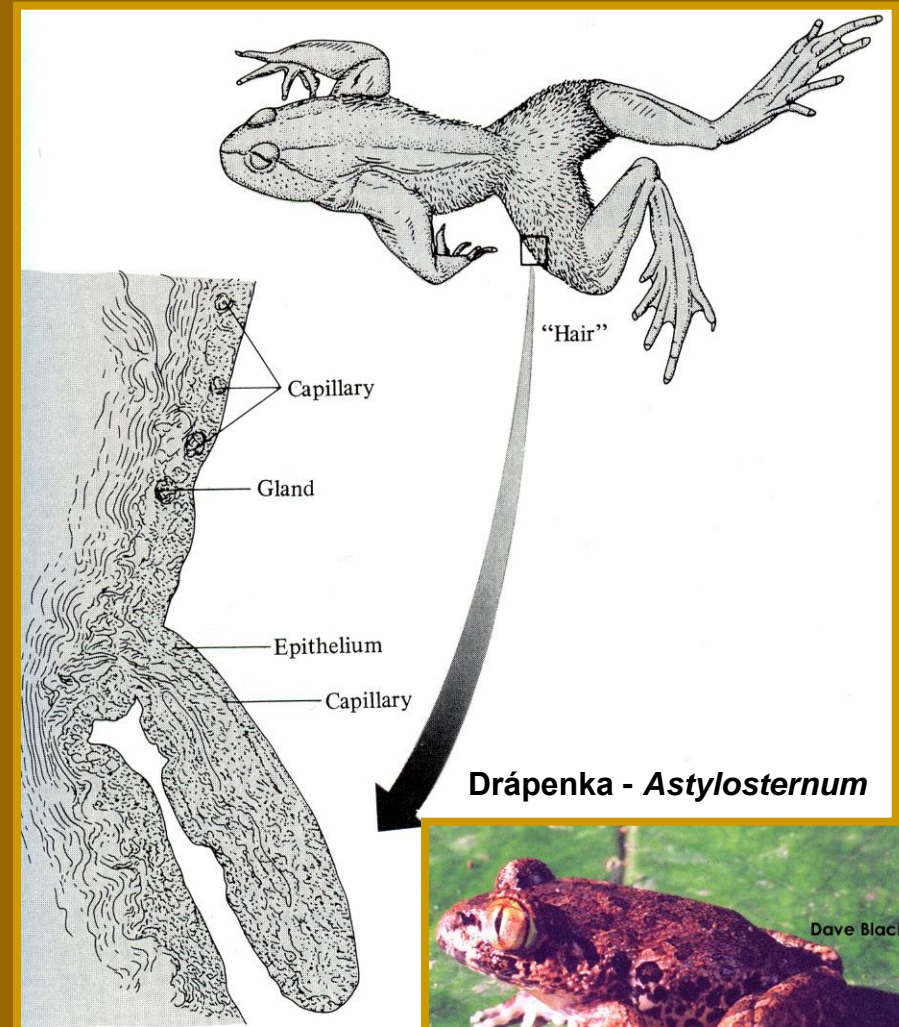
Intenzita vlnění mlouka  
*Cryptobranchus* a hladina  
 $O_2$  v jeho krvi



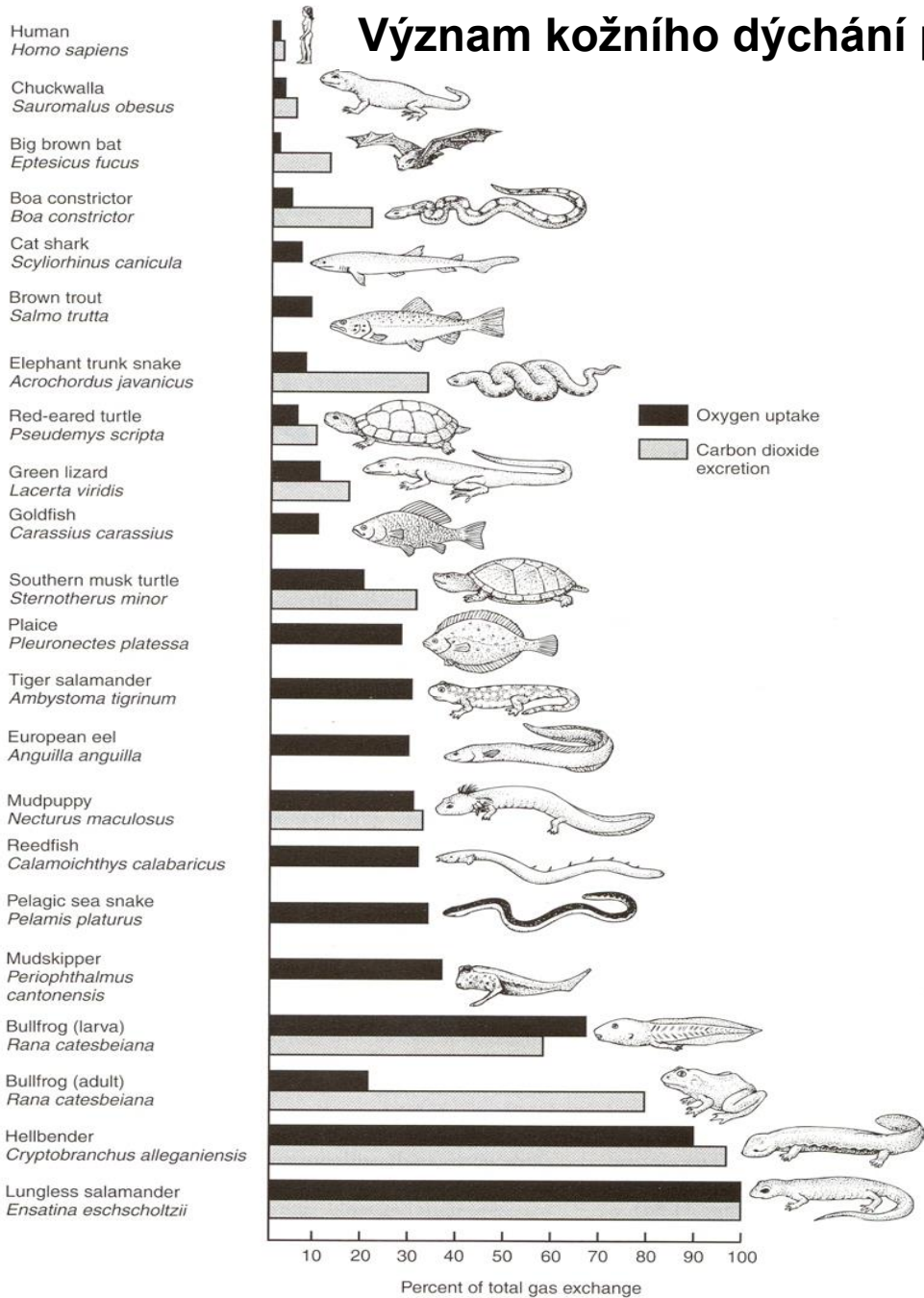
Missouri; photo by E. Routman



Také některé žáby zvětšují svůj tělní povrch záhyby kůže (americké Vodnice) nebo vláskovitými útvary (africké Drápenky) s bohatou sítí krevních kapilár



# Význam kožního dýchání pro různé skupiny obratlovců



## 2) vnější vláknité žábry

- často během zvýšené aktivity nebo při nedostatku  $O_2$
- v průběhu embryonálního vývoje (příčnoústí / *Elasmobranchii* – žraloci a rejnoci)
  - také nutriční funkce
- někteří sumci, jeseteři, veslonosi, lezouni, samice dvojdyšných ryb (*Lepidosiren*) při hlídání hnízda
- mnozí vodní mloci
- larvy většiny ryb



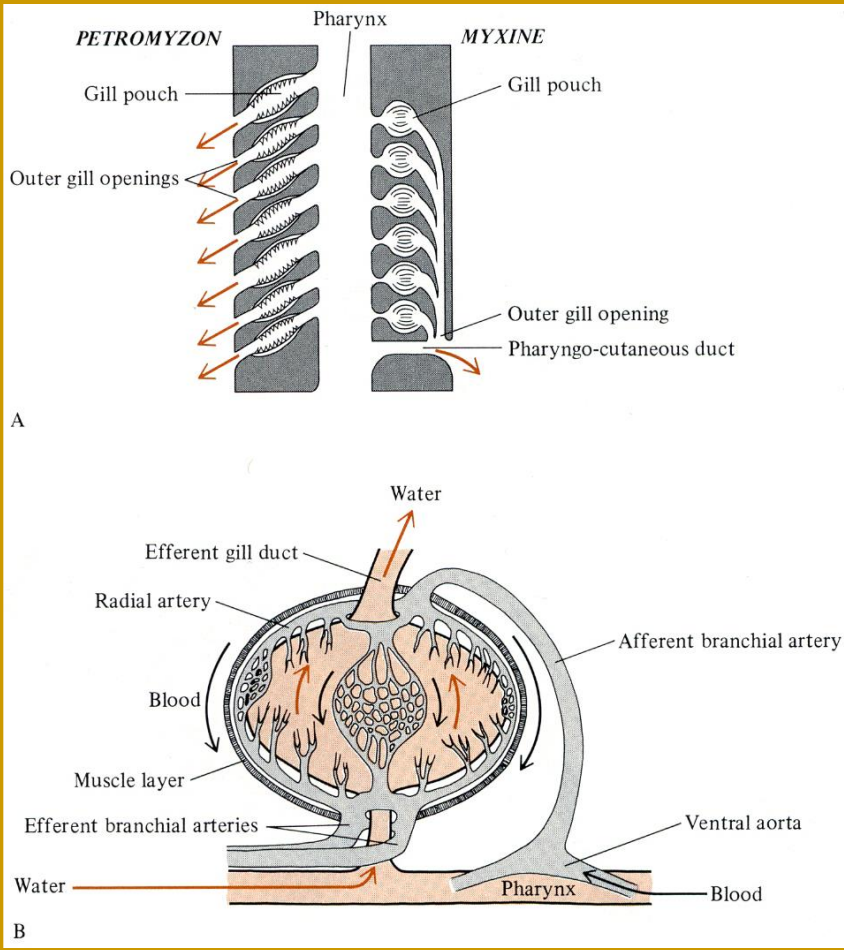
Velmi dobře vyvinutá keříčkovité/vláknité žábry, kterými je schopen za nedostatku  $O_2$  ve vodě mávat, zvyšovat tak proudění vody kolem nich a tím zlepšovat příjem  $O_2$ .  
Intenzita pohybu žaber koreluje s přístupností  $O_2$  ve vodě  
=> čím méně  $O_2$ , tím intenzivnější pohyby.

Žábronoš skvrnitý (*Necturus maculosus*)



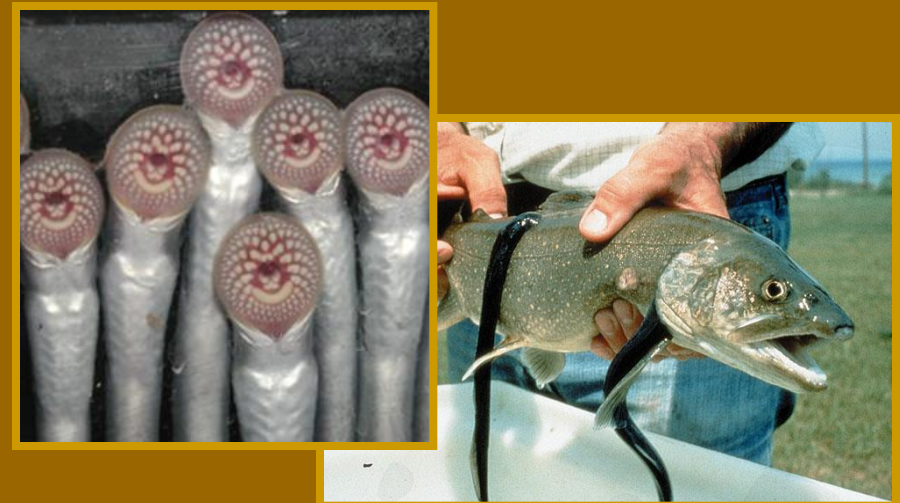
### 3) Vnitřní lamelární žábry - většina ryb

- přesto příjem  $O_2$  pokožkou u např. kapra může tvořit 6%-20% (nízký  $pO_2$  – vysoký  $pO_2$ ), u mnoha ryb a paryb příjem a výdej  $O_2$  a  $CO_2$  pokožkou je pod 5% - metabolismus pokožky



Žábry kruhových (mihule a sliznatky)  
5-15 párů žaberních váčků napojených na hltan

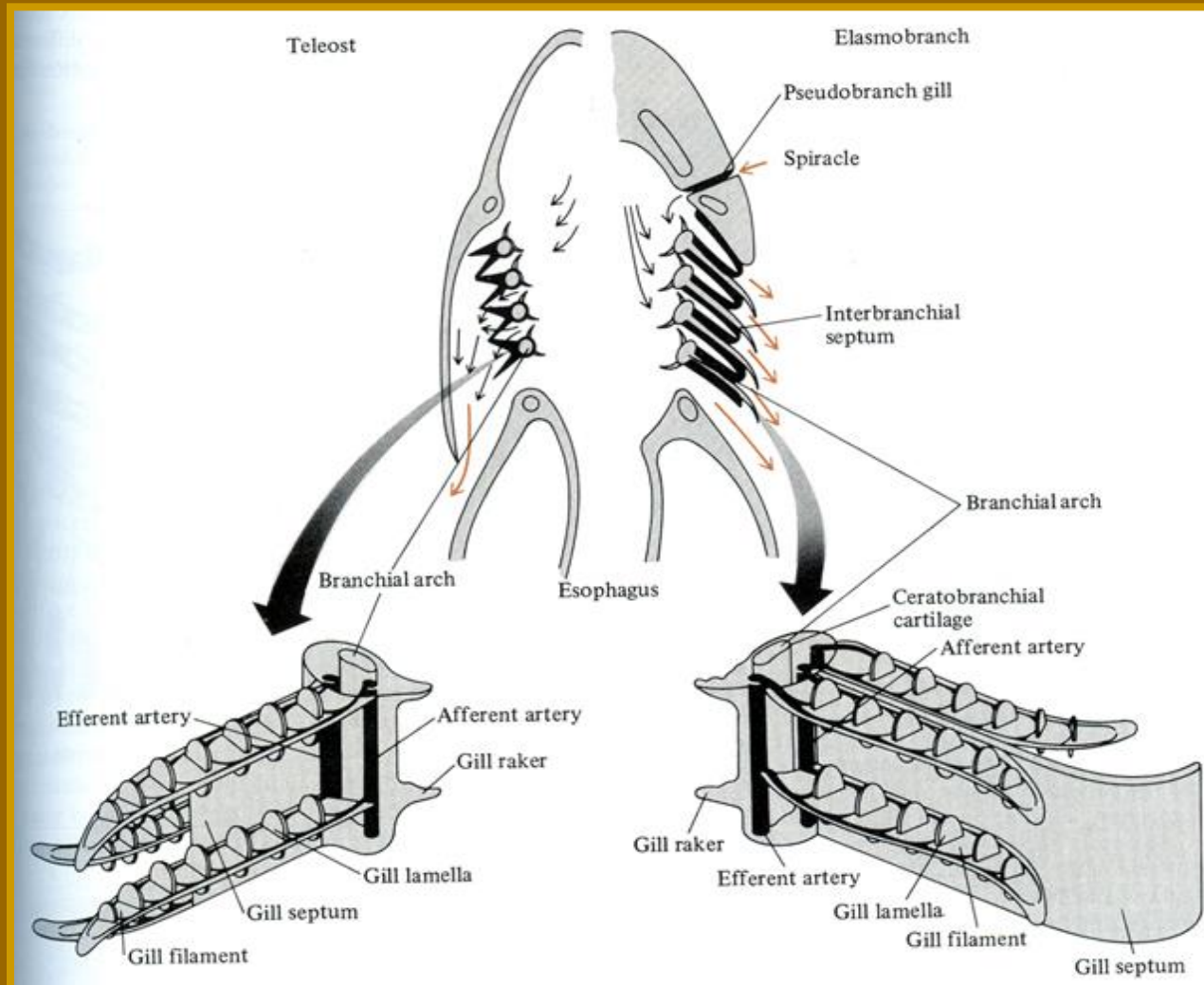
Mihule (*Petromyzon*) – příjem vody i přes žaberní otvory  
Sliznatky (*Myxine*) – příjem vody přes hltan



# Pokročilé žábry kostnatých ryb (*Teleostei*) a příčnoústých (*Elasmobranchii*)

nejčastěji 4 páry žaberních oblouků

- 5-7 párů žaberních štěrbin

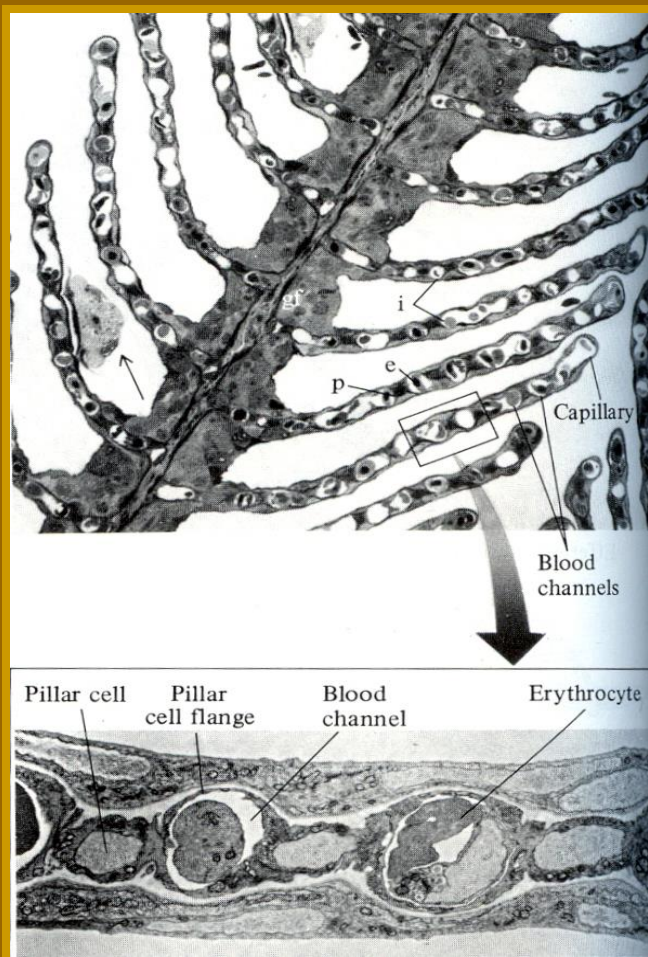


## Celková plocha žaber - počet žaberních oblouků

- počet žaberních filament a lamel
- plocha jednotlivých lamel (místo výměny plynů)

- aktivní ryby => více filament a lamel

(oproti pomalým a vzduch dýchajícím rybám)

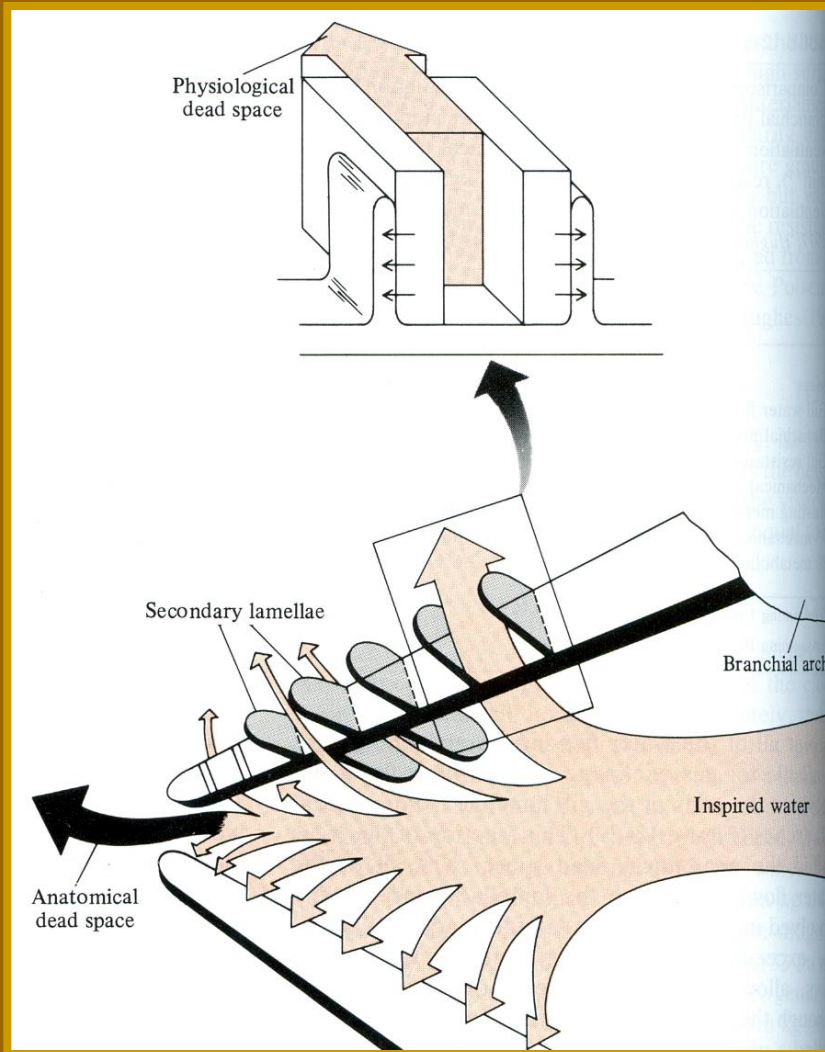


Mikroskopická struktura žaberních lamel tresky (*Gadus*)





## Znázornění fyziologického a anatomického mrtvého prostoru lamelárních rybích žaber

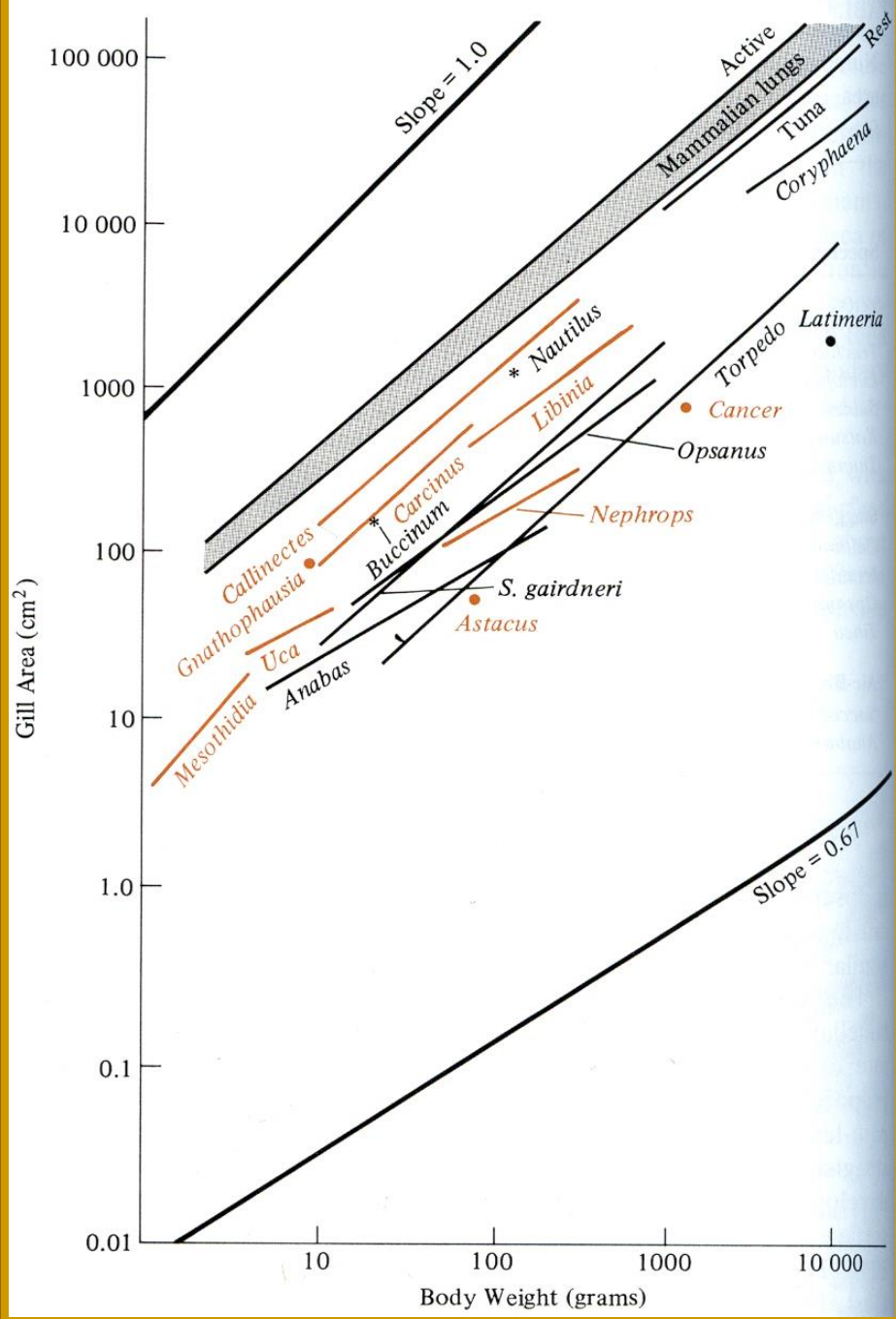


- Některé ryby (např. karasi) za nedostatečného nasycení vody  $O_2$  nabírají do úst kyslík
- zvyšují nasycenost vody v ústech  $O_2$
  - polykají ho => vstřebávání  $O_2$  v trávicím systému

## Počty žaberních filament, lamel, plocha žaber a difuzní vzdálenosti *voda-krev* pro různě aktivní druhy ryb

	velikost (kg)	počet filament (total)	počet lamel (na mm, jedna strana)	plocha (cm <sup>2</sup> /g)	difúzní vzdálenost (μ)
<b>aktivní druhy</b>					
kranas ( <i>Trachurus</i> )	0,03	1665	39	7,8	2,2
candát ( <i>Lucioperca</i> )	0,07	1811	15	18	-
pstruh ( <i>Salmo</i> )	0,4	1606	19	2,0	6,4
tuňák ( <i>Katsuwonus</i> )	3,3	6066	32	13,5	0,6
tuňák ( <i>Thunnus</i> )	26,6	6480	24	8,9	-
<b>pomalé druhy</b>					
vřetenka ( <i>Callionymus</i> )	0,04	478	16	2,1	-
sumeček ( <i>Ictalurus</i> )	0,25	-	10	1,2	-
dřas mořský ( <i>Opsanus</i> )	0,25	660	11	1,9	5
lín ( <i>Tinca</i> )	0,27	1764	22	1,8	2,5
<b>vzduch dýchající ryby</b>					
lezoun ( <i>Anabas</i> )	0,06	567	21	0,6	10
keříčkovec ( <i>Saccobranhus</i> )	0,04	658	23	0,7	3,6

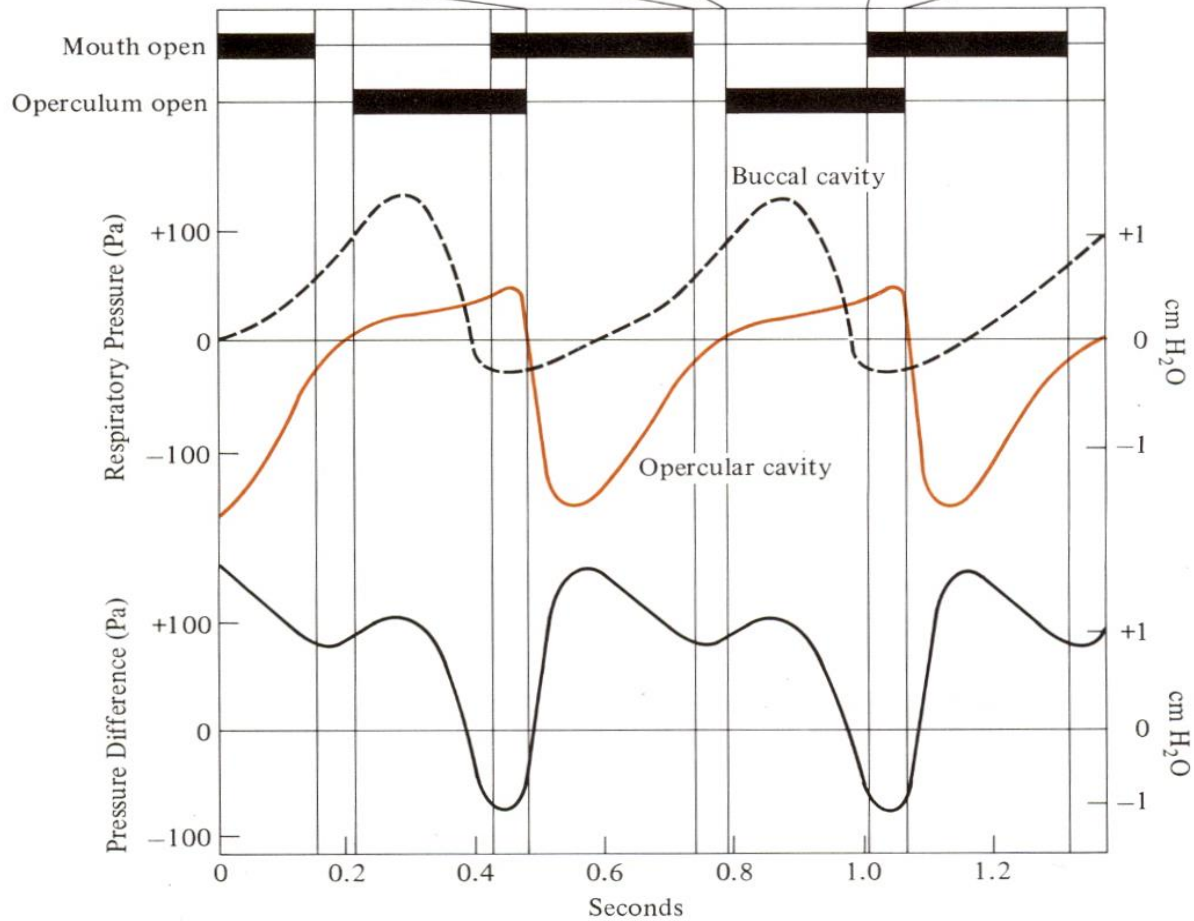
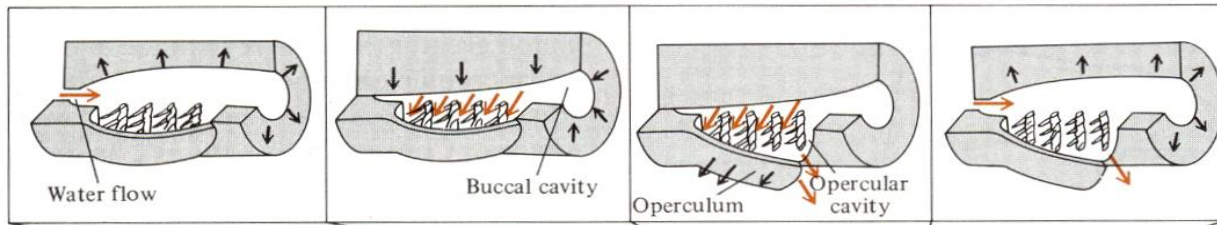
# Závislost velikosti těla a celkové plochy žaber u ryb, korýšů a měkkýšů(\*)



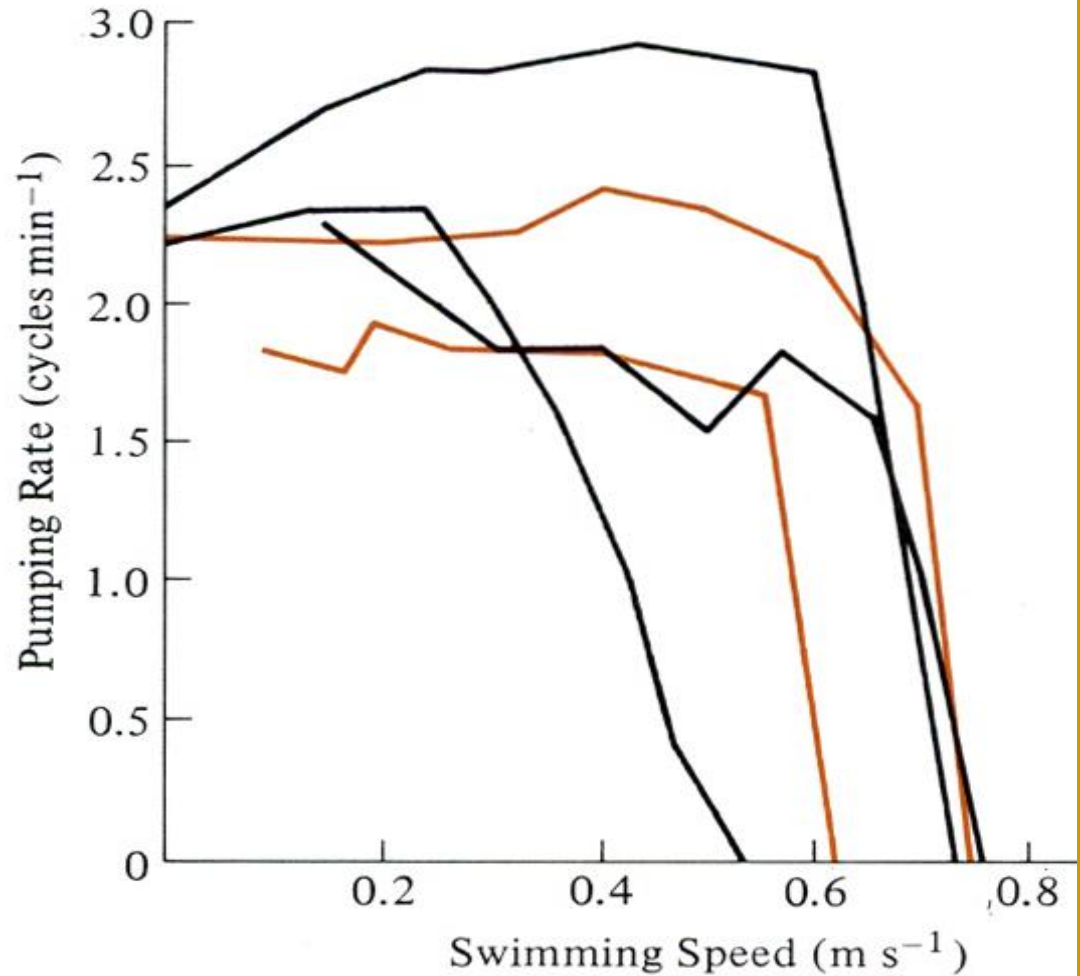
- přenos  $O_2$  z vody do krve difúzí
- ochranný sliz na povrchu žaber má stejný difúzní koeficient pro  $O_2$  jako voda (s poklesem pH se ale snižuje)
- přívod vody k žábrům - podtlakem v ústní dutině (kontrakce svaloviny)
  - pohybem skřelí
  - nárazová ventilace (aktivně se pohybující žraloci a ryby)
    - nárazová ventilace je účinnější než pumpování ústa/skřele (bukální pumpování)
- účinnost extrakce  $O_2$  pro rybí žábry je 20-60%
- odhadovaná energetická náročnost respirace: 5-15% klidového metabolismu
- energetická spotřeba  $O_2$  na respirační práci při aktivitě se může zvýšit až 30x při 5 násobném navýšení celkové spotřeby  $O_2$  (pro pstruha)



# Ventilační cyklus pumpy ústa/skřele ryb (bukální pumpování)



# Přechod mezi pumpováním ústa/skřele a nárazovou ventilací v závislosti na rychlosti plavání u makrel



# Lockheed SR-71 Blackbird (1962 - )

Náporové motory, stále nejrychlejší letadlo bez raketového pohonu.



## Regulace respirace

- skupina neuronů v centrálním nervovém systému, centrum v prodloužené míše – pacemaker (společné všem obratlovcům), u ryb však nejsou další pomocná ganglia, narozdíl od vyšších obratlovců
- sensory citlivé zejména na parciální tlak  $O_2$  v krvi (parciální tlak  $CO_2$  se ve vodním prostředí mění jen velmi málo, vysoká rozpustnost  $CO_2$ )
- lokalizace senzorů není úplně jasná, u ryb mohou být: v ústní dutině, v žaberní dutině, v cévách, nebo v mozku.
- ventilační pohyby dále ovlivňují stresové situace: osmotický stres, mechanický stres, chemické stimuly, znepokojení/vylekání, teplota
- samotná změna teploty mozkového kmene vede ke změně rytmu ventilačních pohybů

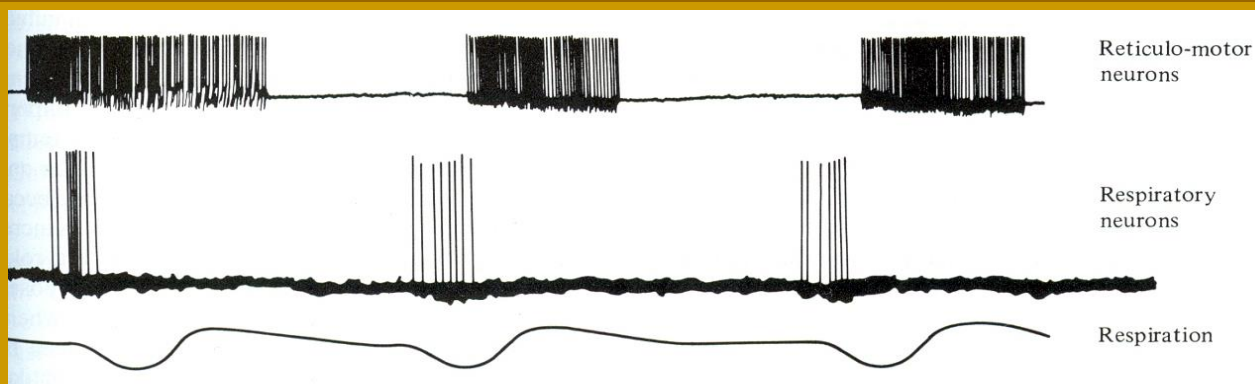


## Pstruh duhový

- O<sub>2</sub> receptory podílející se na regulaci ventilace v mozku a aortě
- receptory regulující tepovou frekvenci jsou ale v žaberní dutině



## Záznam neurální aktivity regulace žaberní ventilace u žraloka (*Squalus*)



## FYZIOLOGICKÉ DŮSLEDKY VODNÍ RESPIRACE

	<i>voda</i>	<i>vzduch</i>
<b>hustota</b> (kg/l)	0,999	0,00123
<b>viskozita</b> (centiPoise)	1,14	0,018
<b>O<sub>2</sub> difúzní koeficient</b> (cm <sup>2</sup> /s)	0,000025	0,198
<b>obsah O<sub>2</sub></b> (ml/l)	1-6	210
<b>specifické teplo</b> (J/l °C)	4184	1,234
<b>tepelná vodivost</b> (mJ/cm/s/°C)	6025	252



- vysoká viskozita => pomalý, energeticky náročný průtok media (vody)
- malý obsah O<sub>2</sub> => je potřeba aby celkově protekl velký objem média  
vodní => pro 1ml O<sub>2</sub> ~ 1l (1kg) vody  
suchozemský => pro 1ml O<sub>2</sub> ~ 25ml (25mg) vzduchu
- velká tepelná kapacita: 1ml O<sub>2</sub> - metabolické teplo = 0,005°C /1l vody  
= 800°C /vydechovaný vzduch

**celkově malý příjem O<sub>2</sub> => nízký metabolický obrat / snadná unavitelnost  
=> prakticky nemožná termoregulace~termogeneze**