

# Cirkulační, cévní systém obratlovců

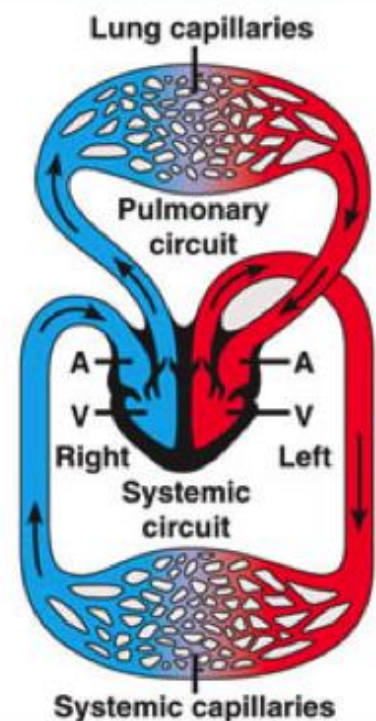
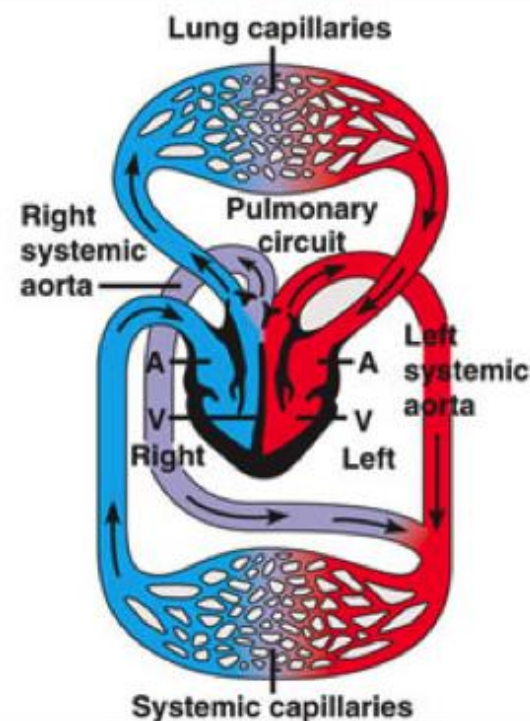
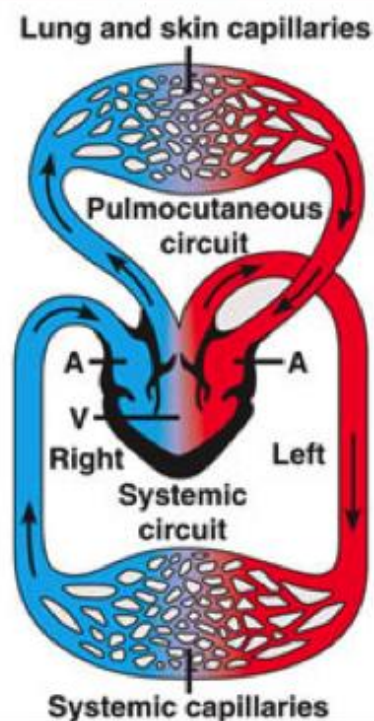
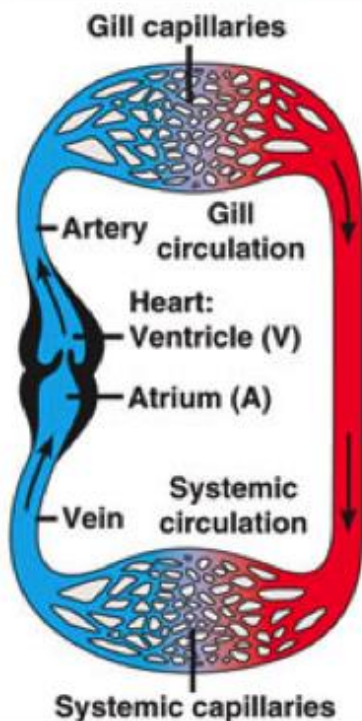


FISH

AMPHIBIAN

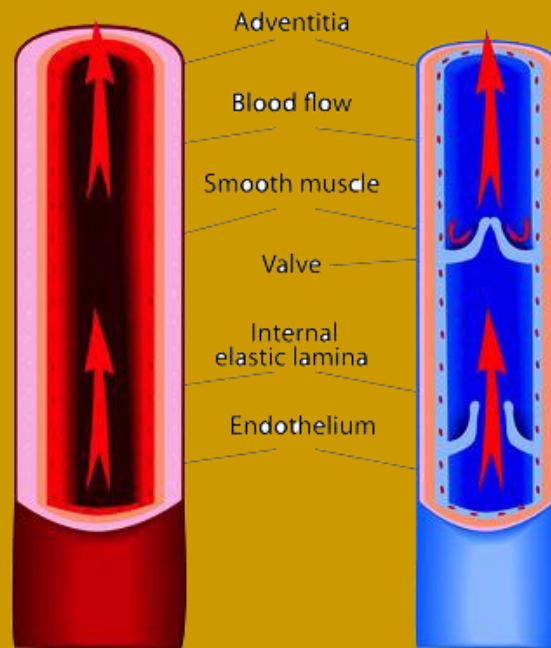
REPTILE

MAMMAL OR BIRD



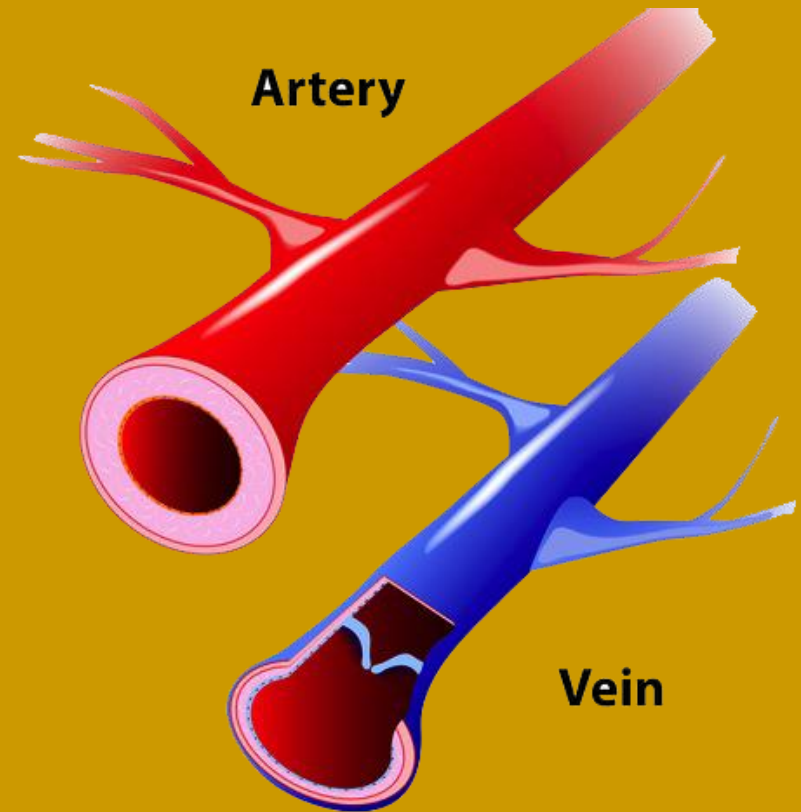
# Základem cirkulačního systému jsou

- arterie (tepny), vedou krev od srdce
- vény (žíly), vedou krev do srdce
- srdce - hlavní hnací motor/pumpa



**Artery**

**Vein**

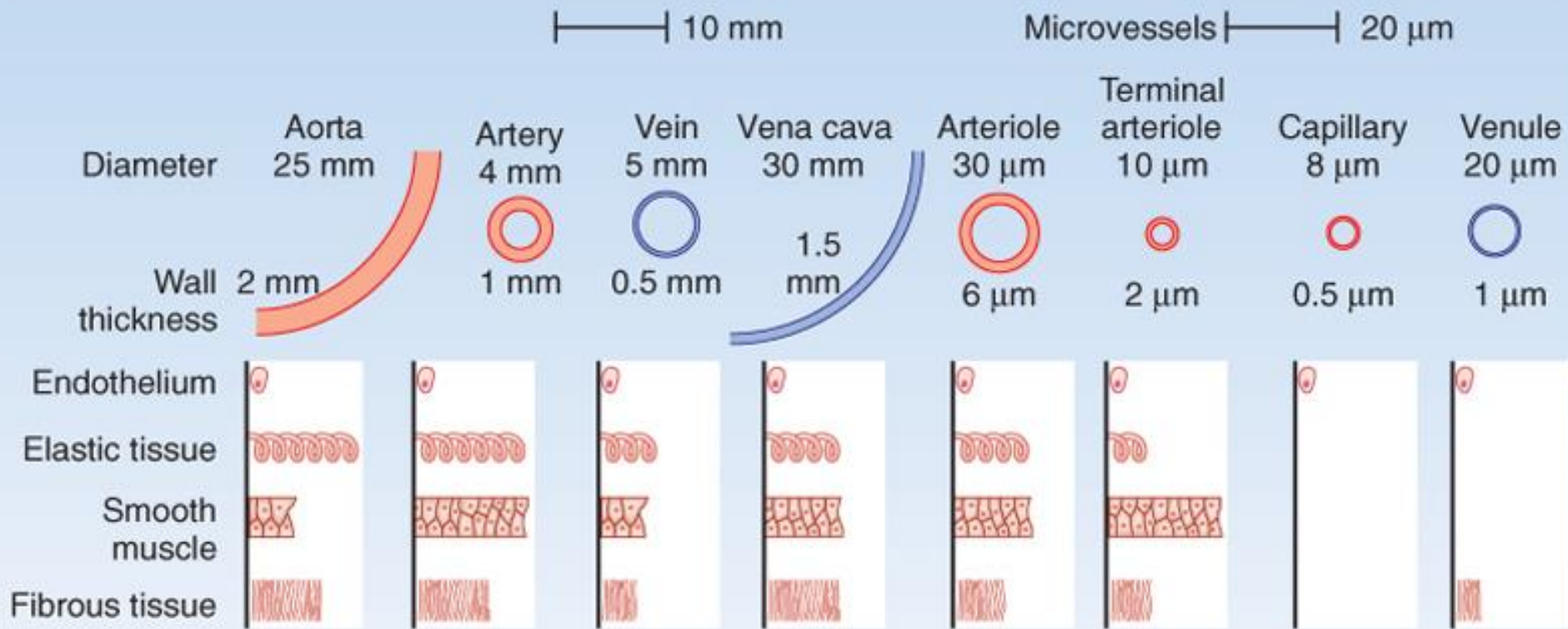


**Artery**

**Vein**

## Struktura arterií a vén, velmi podobná

- Arterie k danému průměru silnější stěna -> odolávají větším tlakům
- Velké vény mají chlopně

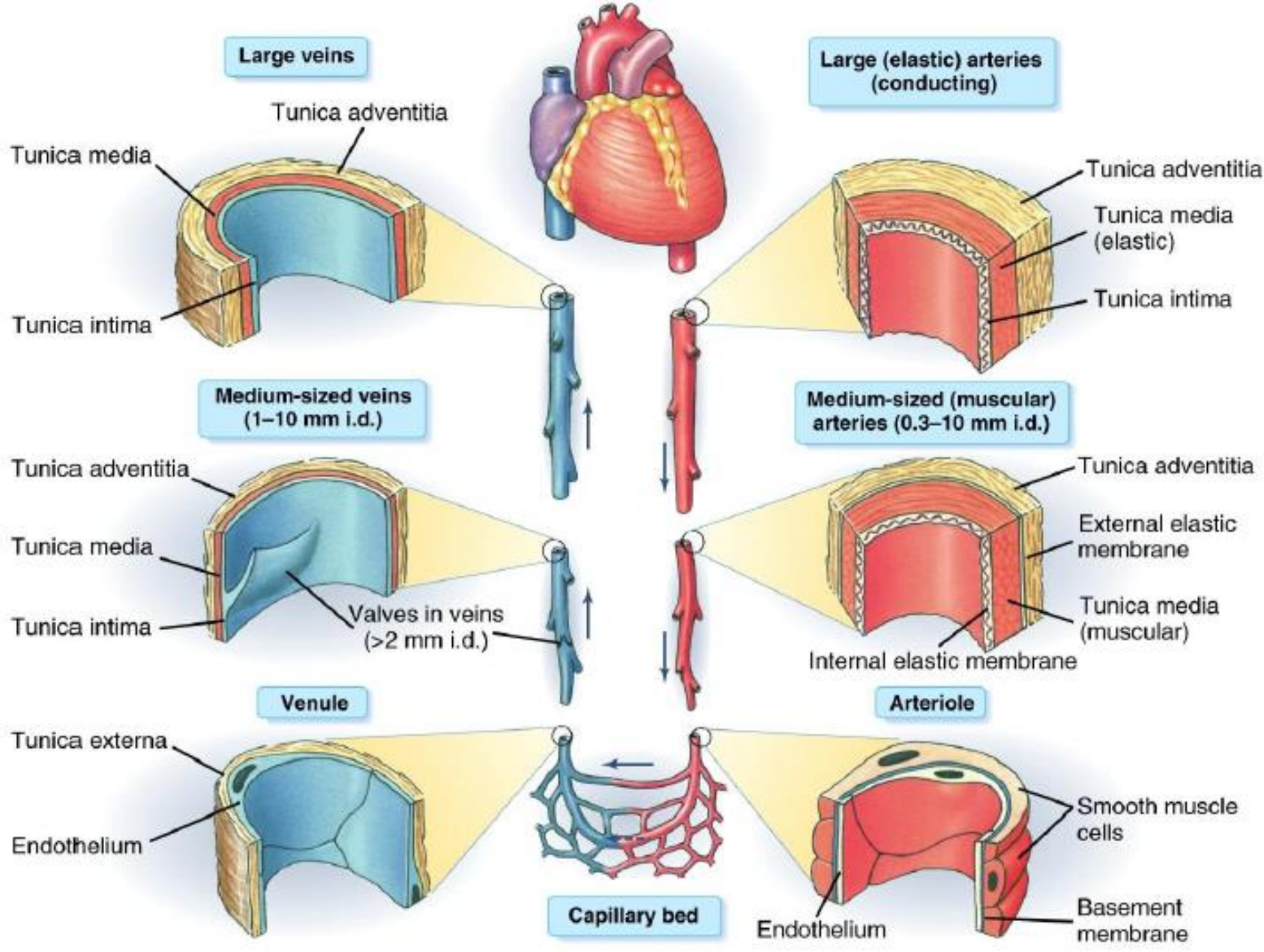


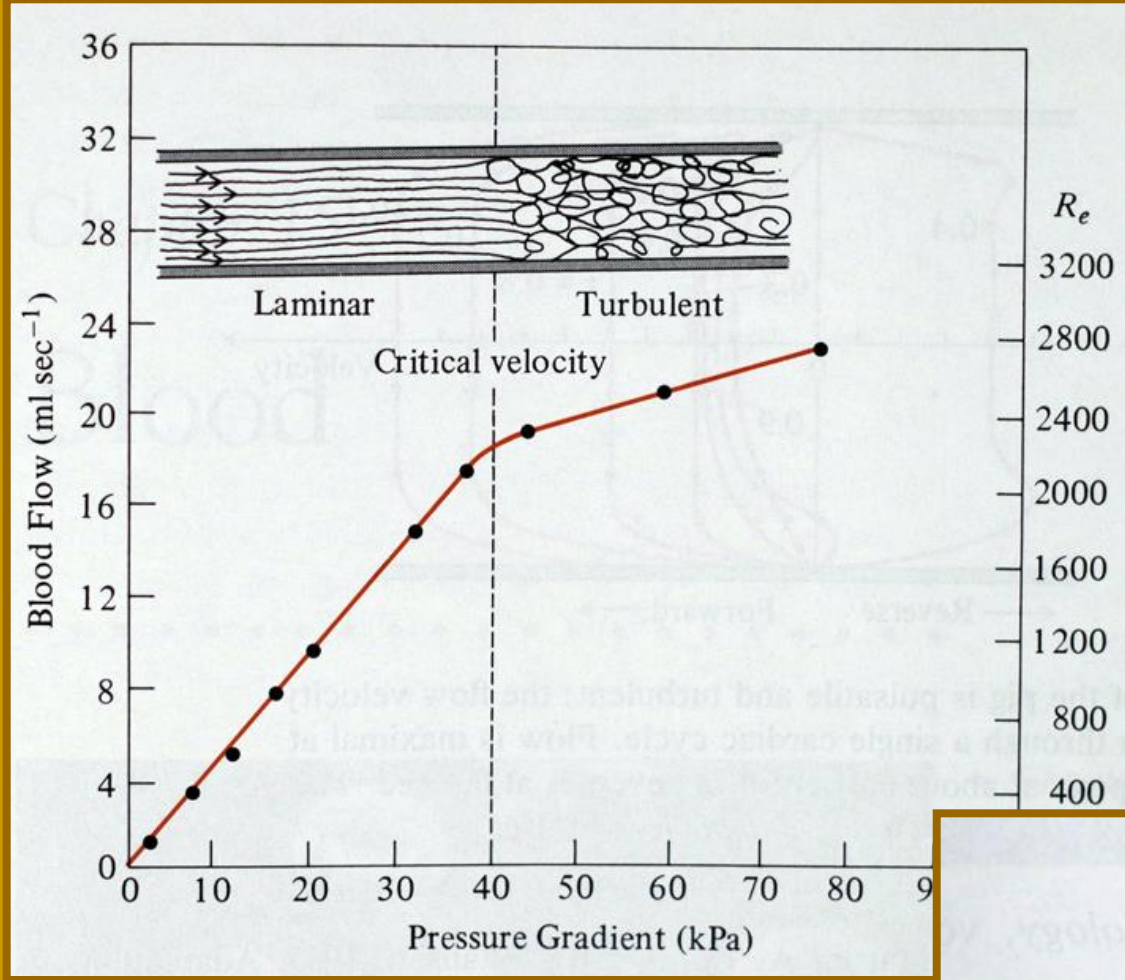
Koepfen & Stanton: Berne and Levy Physiology, 6th Edition.

Copyright © 2008 by Mosby, an imprint of Elsevier, Inc. All rights reserved

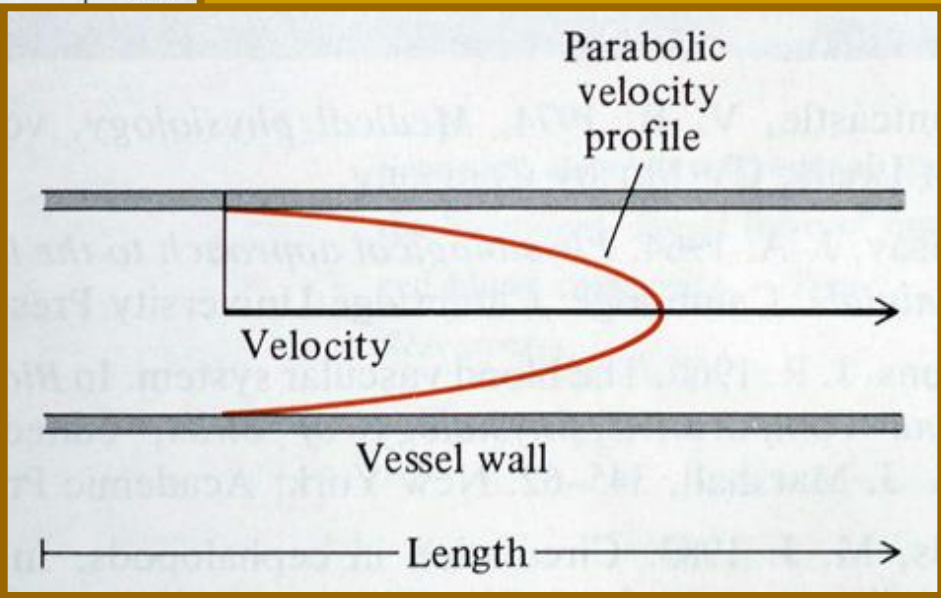
Vždy endotel - bariéra, zdroj růstových faktorů, místo pro adhezi imunitních buněk, zdroj NO (eNOS - endoteliální NO syntáza) - vazodilatční efekt na svalovinu cév

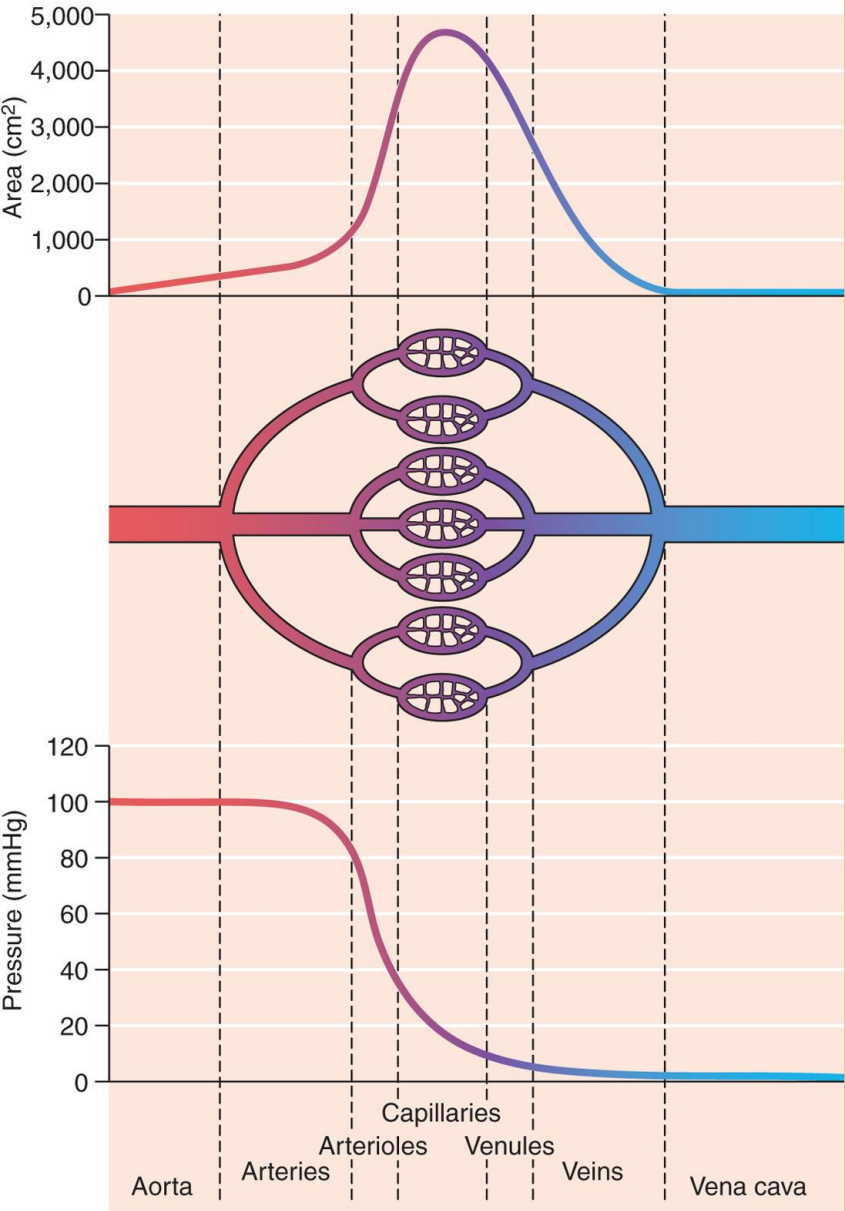
	<i>Mean diameter</i>	<i>Mean wall thickness</i>	<i>Endothelium</i> <i>Elastic tissue</i> <i>Smooth muscl</i> <i>Fibrous tissue</i>	
<b>Artery</b>	4.0 mm	1.0 mm		
<b>Arteriole</b>	30.0 $\mu\text{m}$	6.0 $\mu\text{m}$		
<b>Capillary</b>	8.0 $\mu\text{m}$	0.5 $\mu\text{m}$		
<b>Venule</b>	20.0 $\mu\text{m}$	1.0 $\mu\text{m}$		
<b>Vein</b>	5.0 mm	0.5 mm		



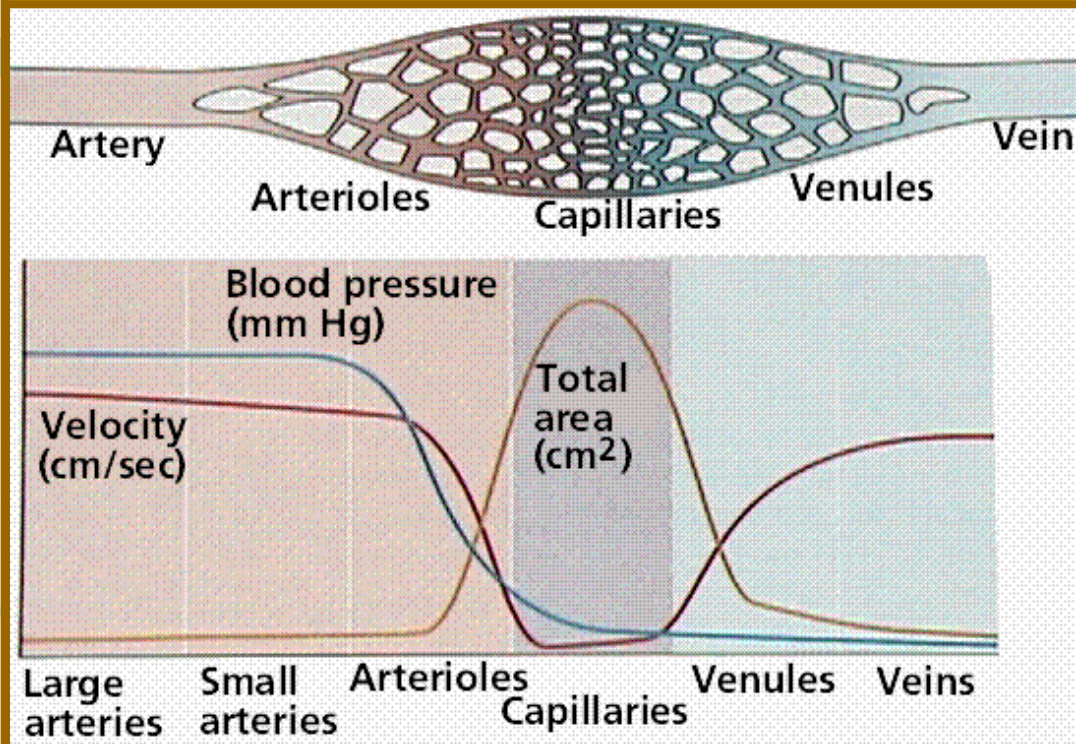


Limity krevního průtoku

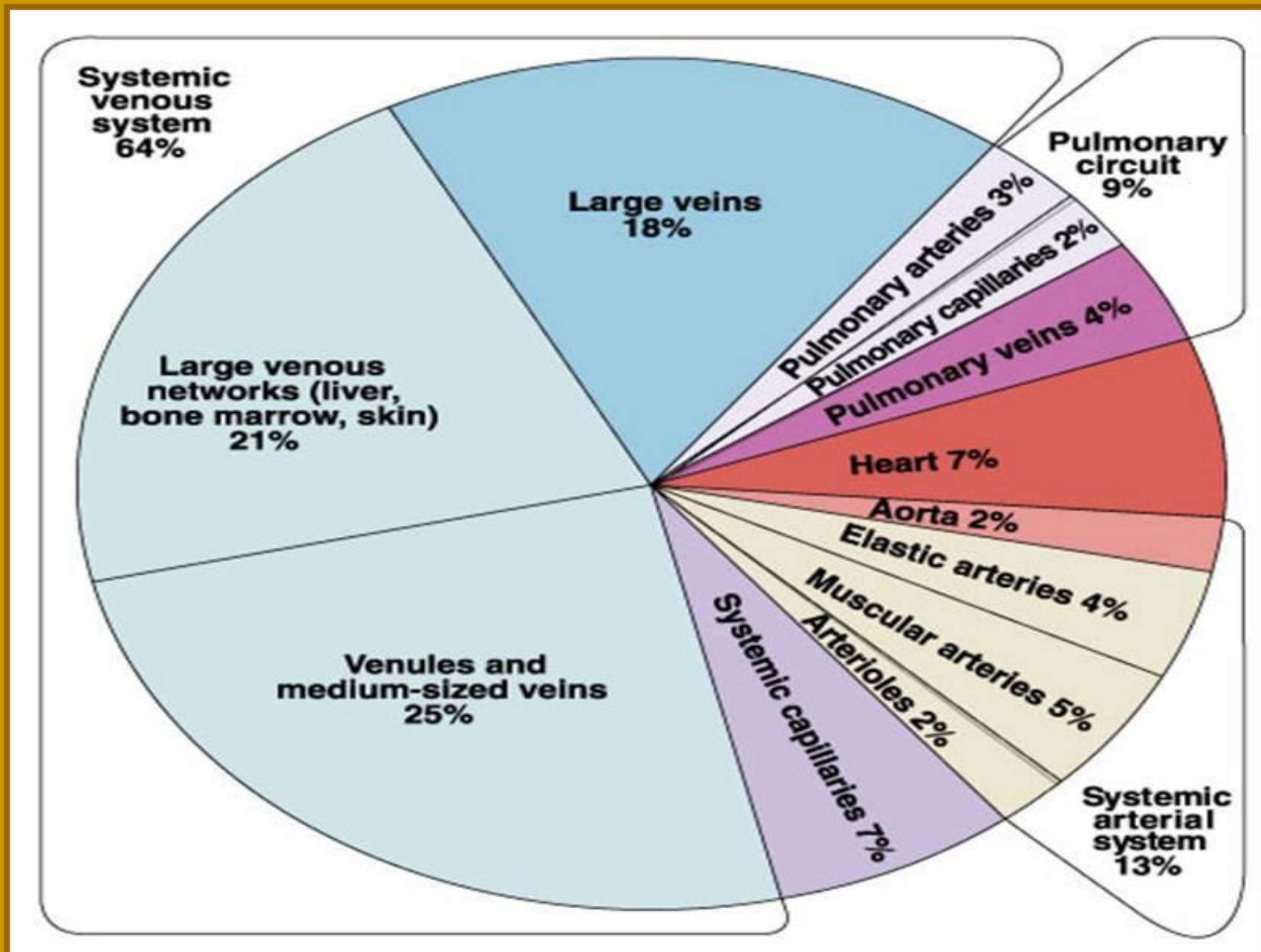




# Celková plocha, průtok a příslušné tlaky v cévním systému

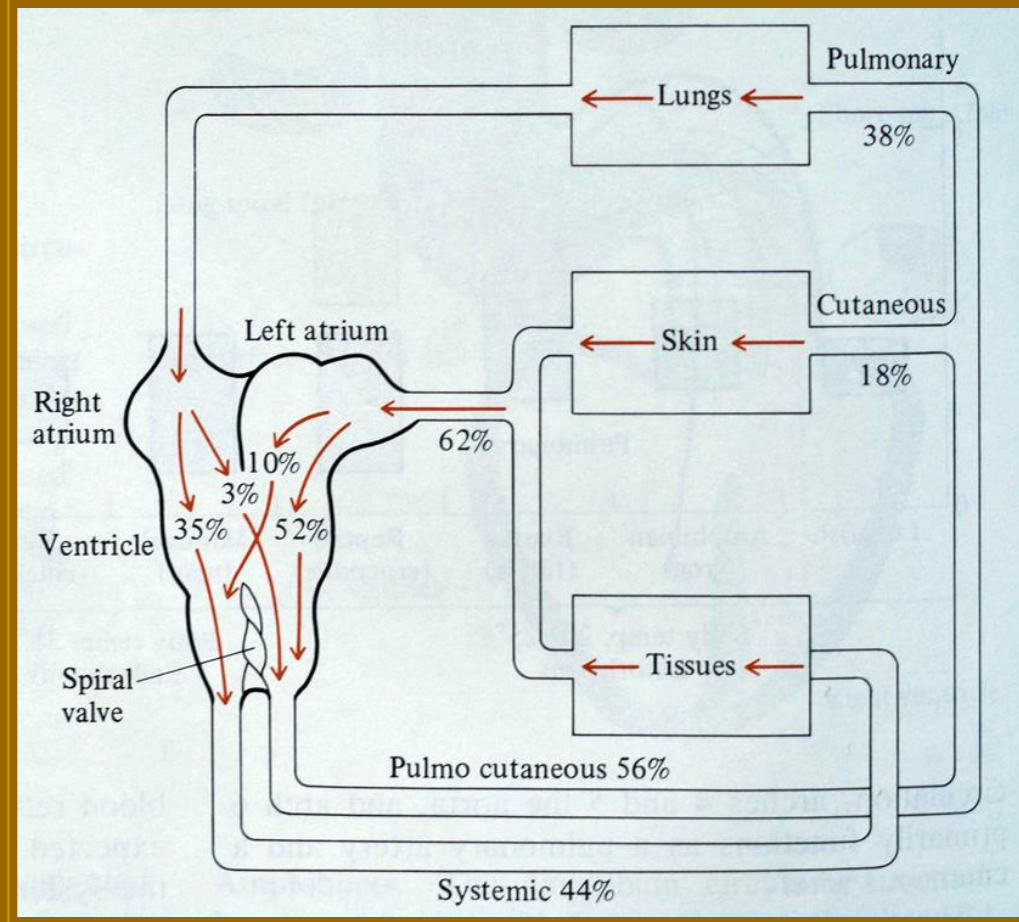
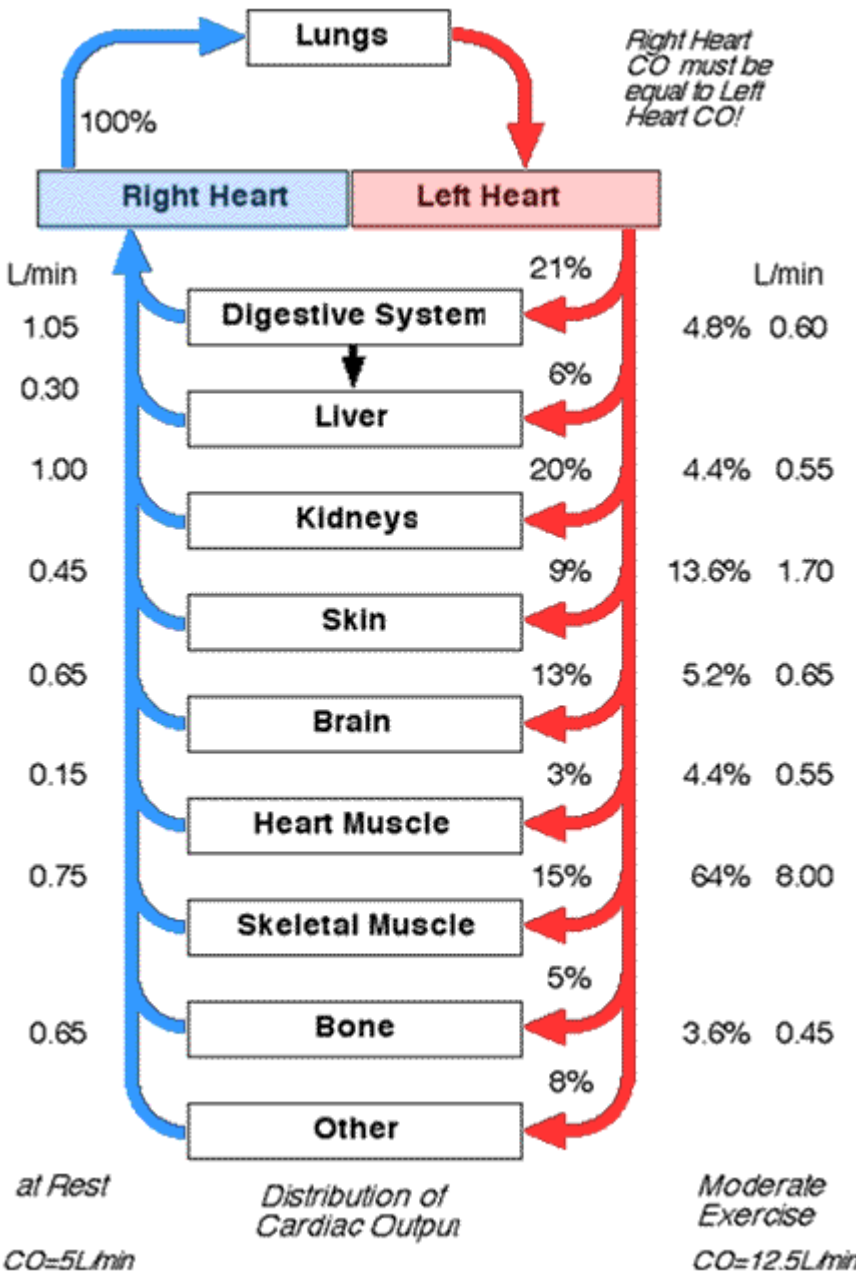


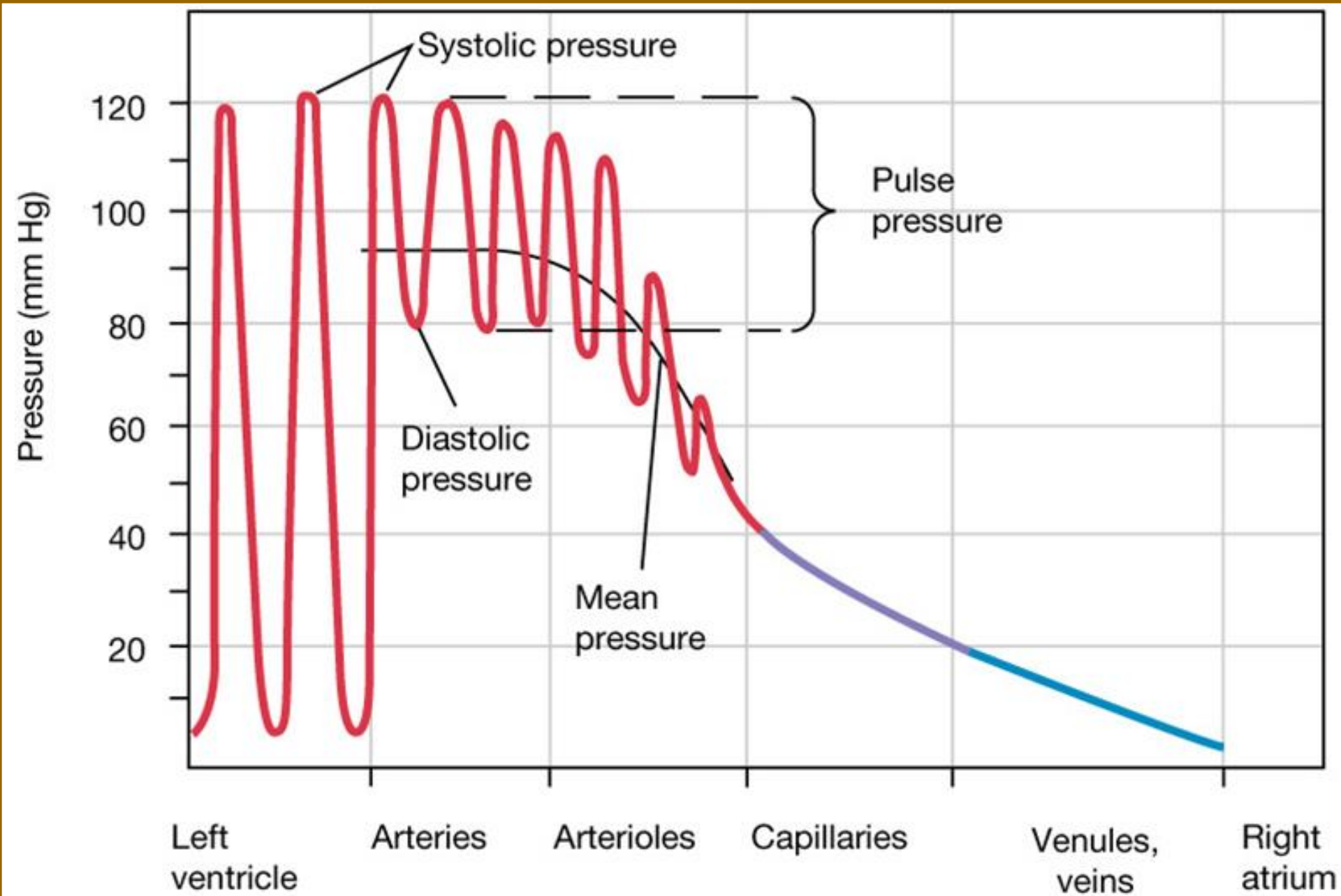
# Distribuce krve v jednotlivých cévách



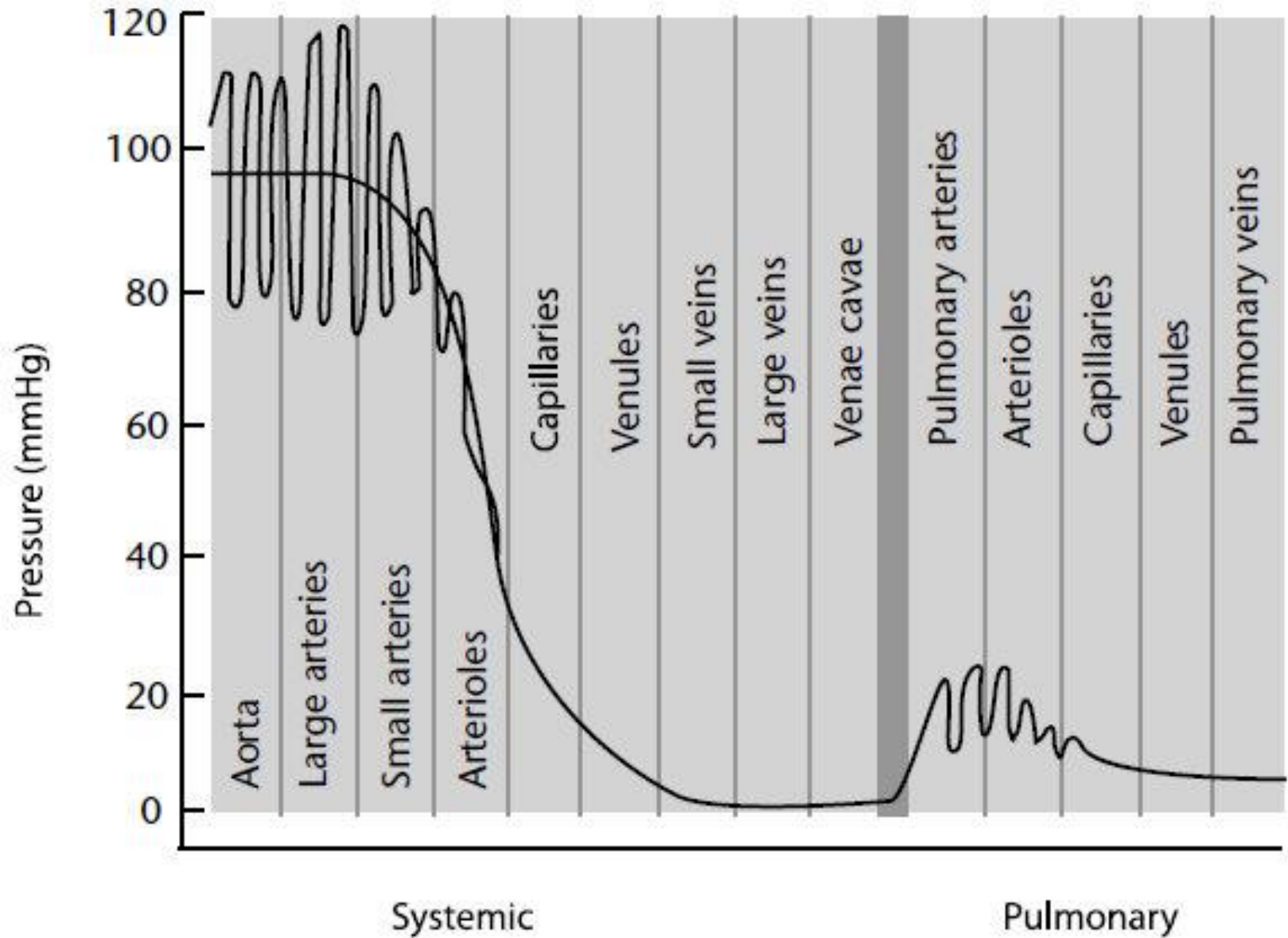


# Procentuální distribuce krve u člověka a skokana

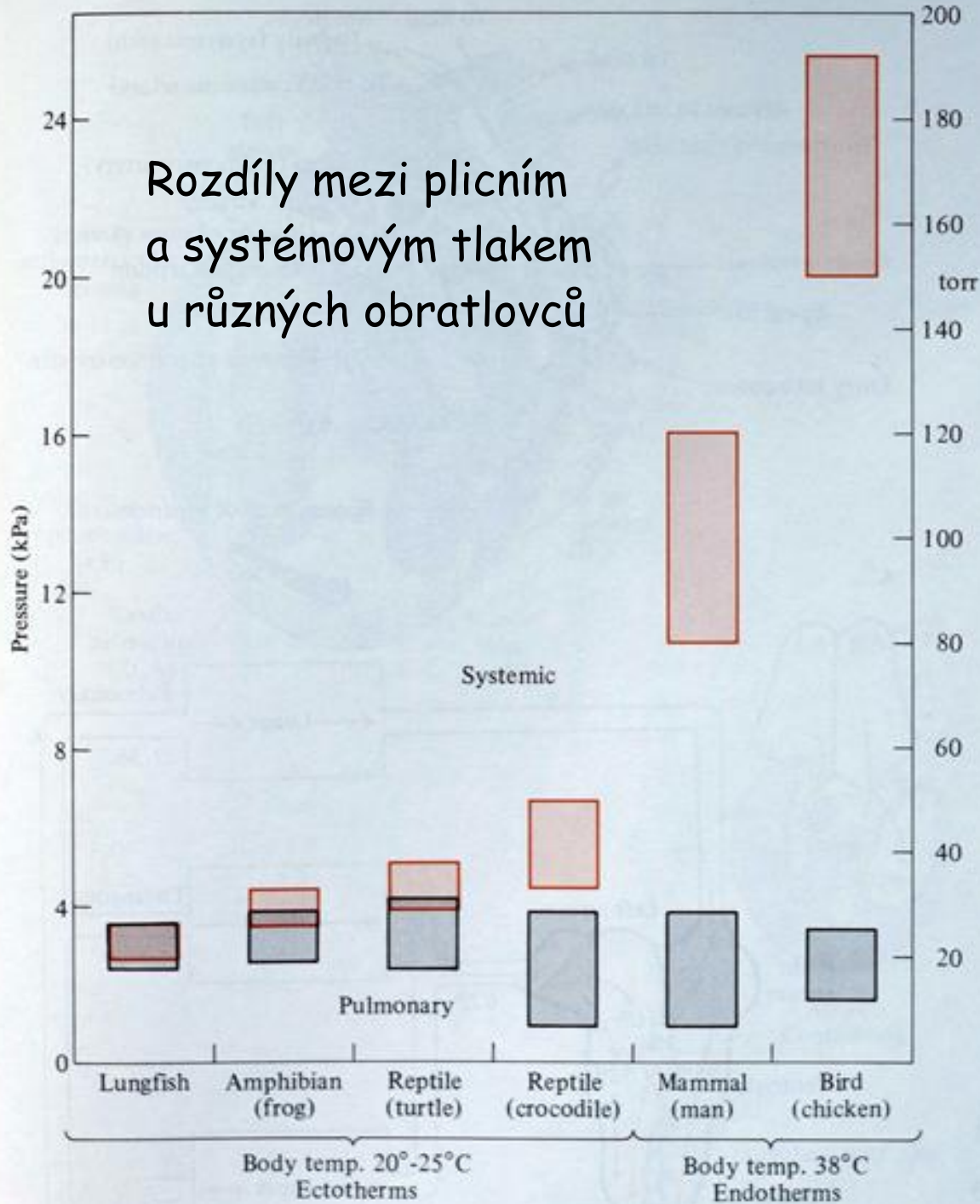




# Tlaky v cévním systému

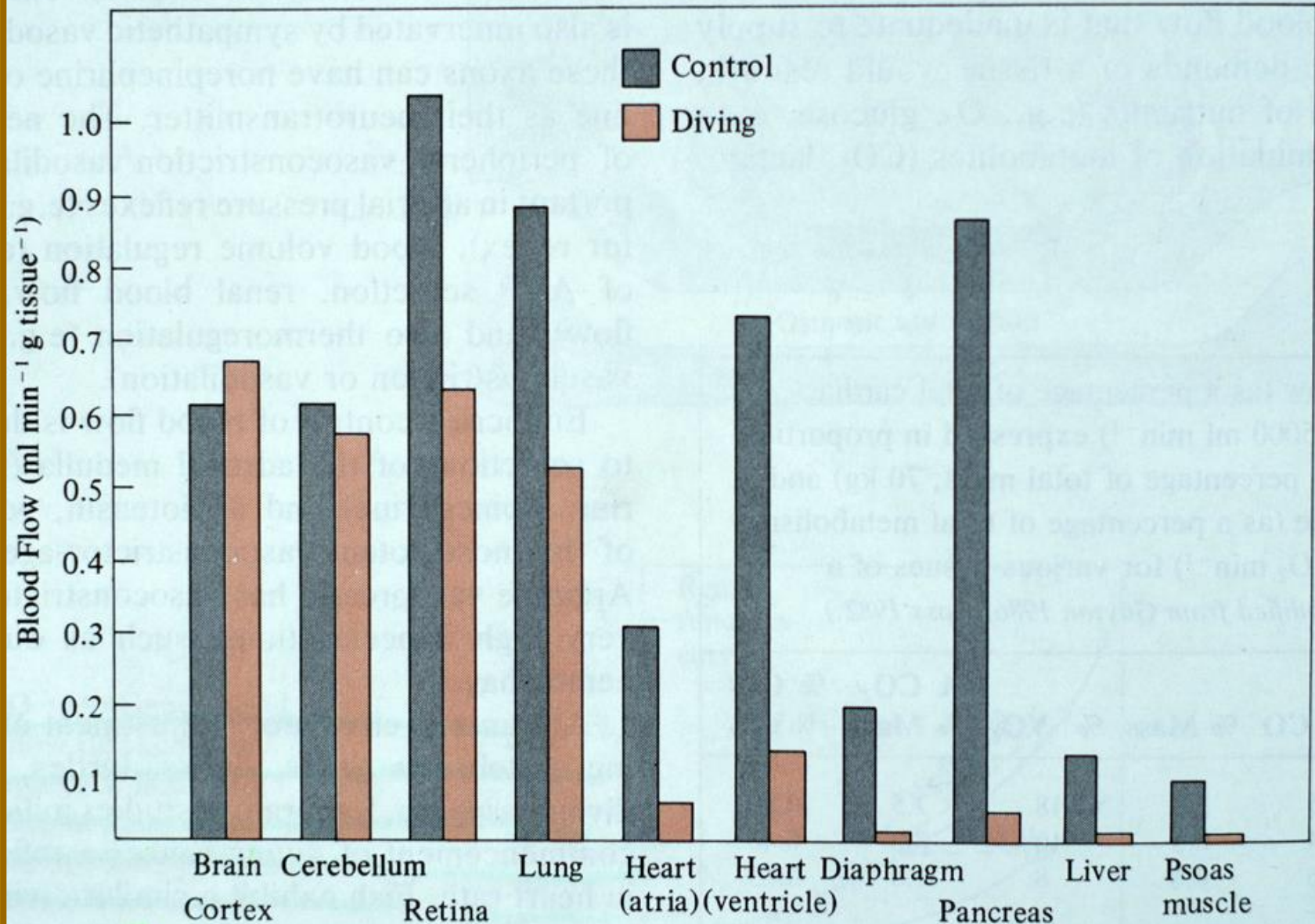


# Rozdíly mezi plicním a systémovým tlakem u různých obratlovců



# Selektivní distribuce krve u potápějícího se tuleně

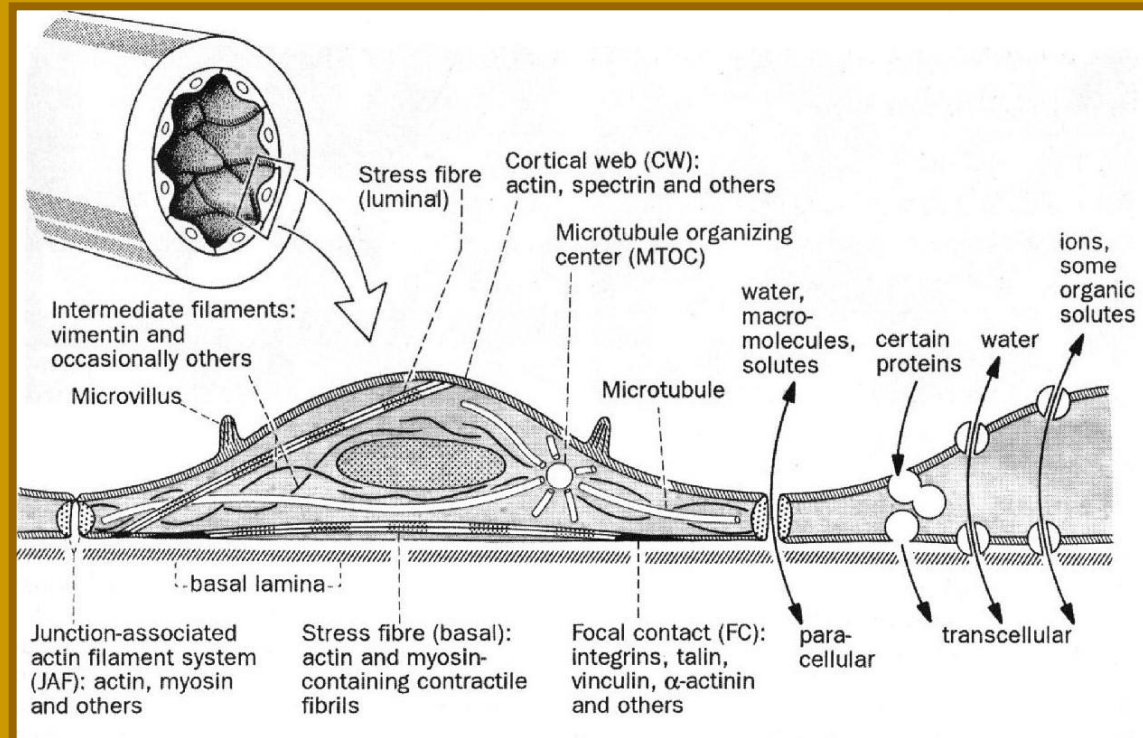
-> hospodaření s kyslíkem



# Význam - distribuce živin, metabolitů, tepla

Transport látek přes cévní stěnu

- v důsledku vyššího tlaku = filtrace, hlavně voda a některé ionty
- osmotickým tlakem plasmových koloidů (bílkoviny)
- aktivě transport vezikuly a membránovými transportéry (větší molekuly,...)
- regulace hlavně endotelem, nervy a hormony
- regulace ovlivňuje tlak, permeabilitu, aktivitu transportérů a přenašečů
- změnu tlaku zprostředkovává srdeční a hladká svalovina
  - tunica media
  - prekapilární svěrače

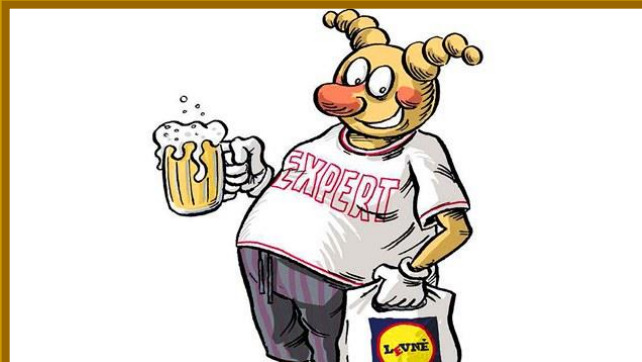


## Relativní permeabilita svalových kapilár pro různé látky (pro proteiny jsou prakticky nepropustné)

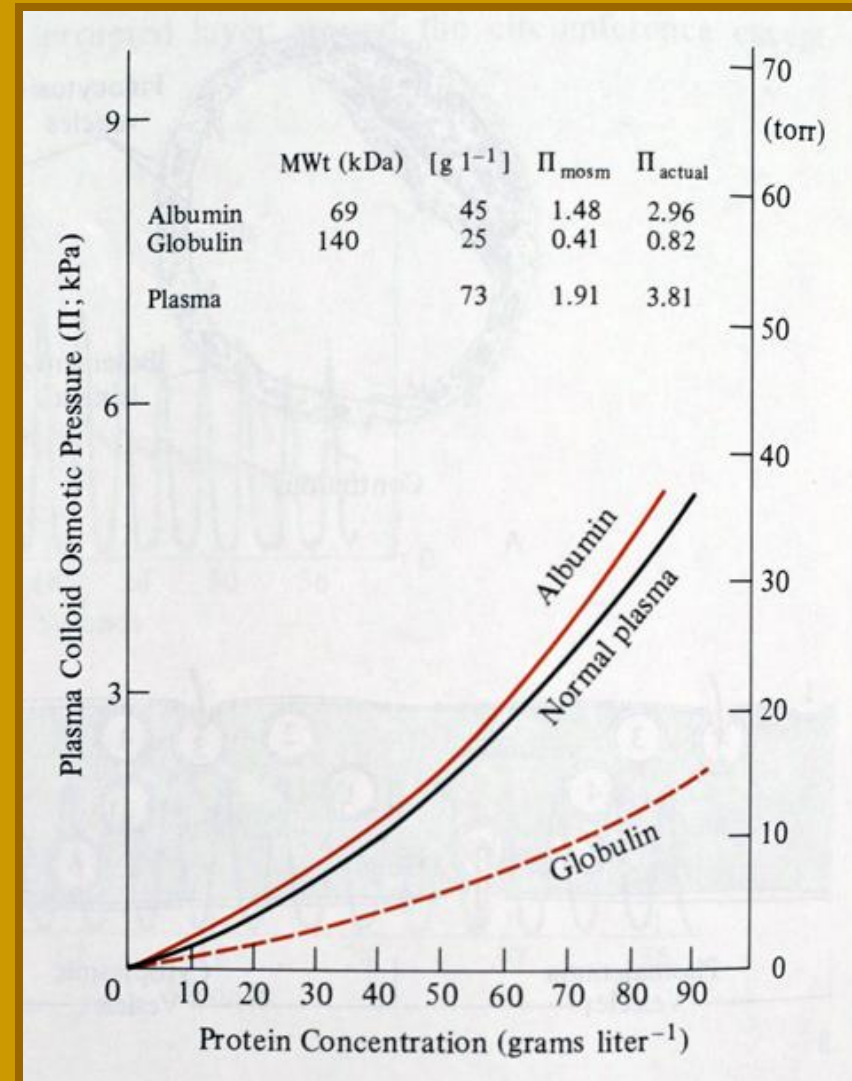
	Velikost (Da)	Ekvivalent sferoidu (nm)	Relativní permeabilita
Voda	18	-	1,00
NaCl	59	14	0,96
Urea	60	16	0,8
Glukósa	180	36	0,6
Sacharóza	342	44	0,4
Myoglobin	17600	190	0,03
Hemoglobin	68000	310	0,01
Albumin	69000	-	<0,0001

# Průměrné hodnoty onkotických tlaků u různých živočichů

Cnidaria	0,005
Urochordata	0,05
Paryby	0,31 (0,2-0,5)
Kroužkovci	0,45 (0,09-1,02)
Obojživelníci	1,01 (0,5-1,6)
Plazi	1,16 (0,5-1,6)
Kruhoústí	1,30 (1,2-1,4)
Ptáci	1,30 (1,1-1,5)
Kostnaté ryby	1,32 (0,4-2,7)
Savci	2,88 (2,1-3,7)
Hmyz	8,35 (3,1-13,6)

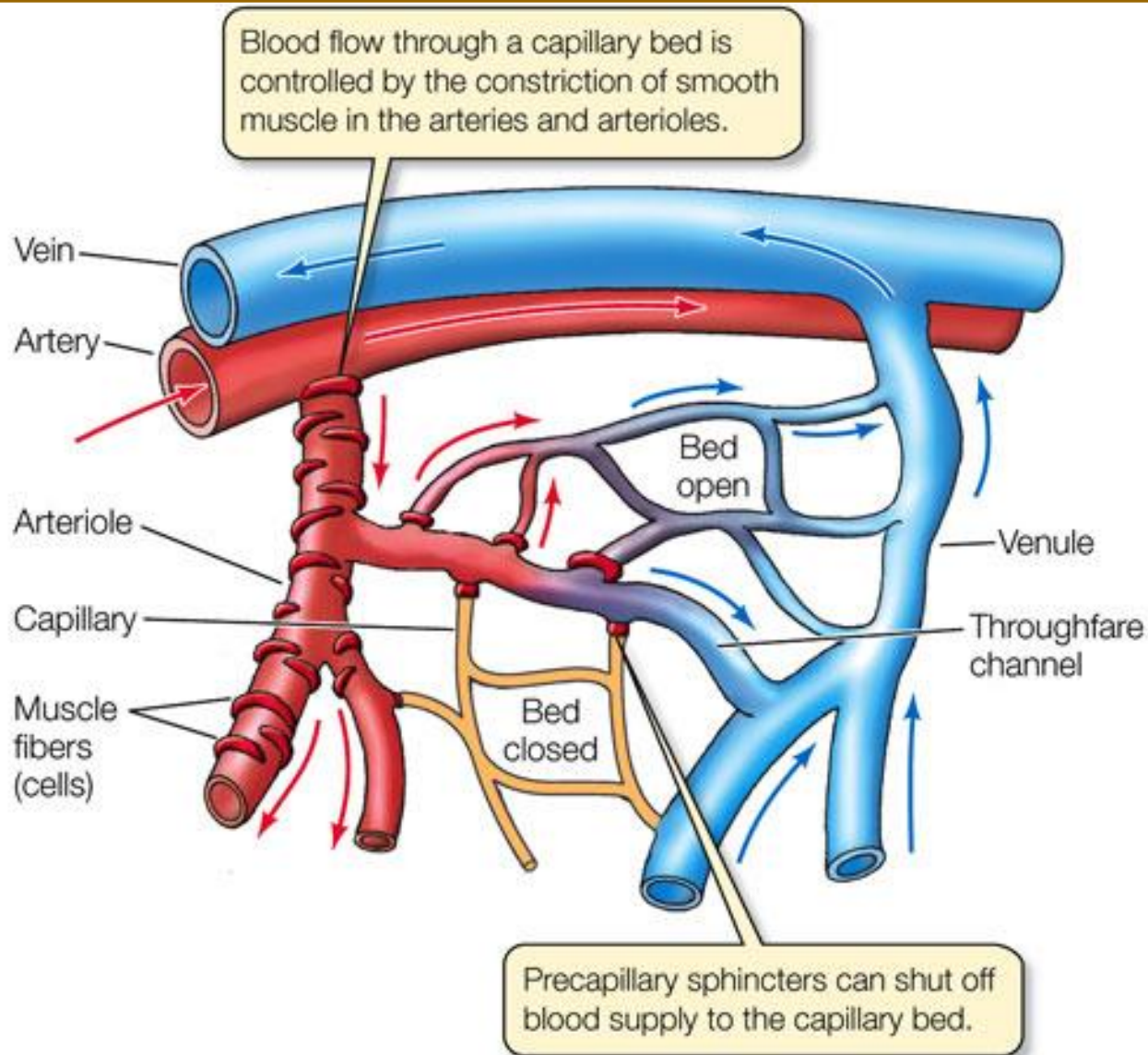


**Závislost okotického tlaku na koncentraci proteinů**  
(Důležitá je molární koncentrace)

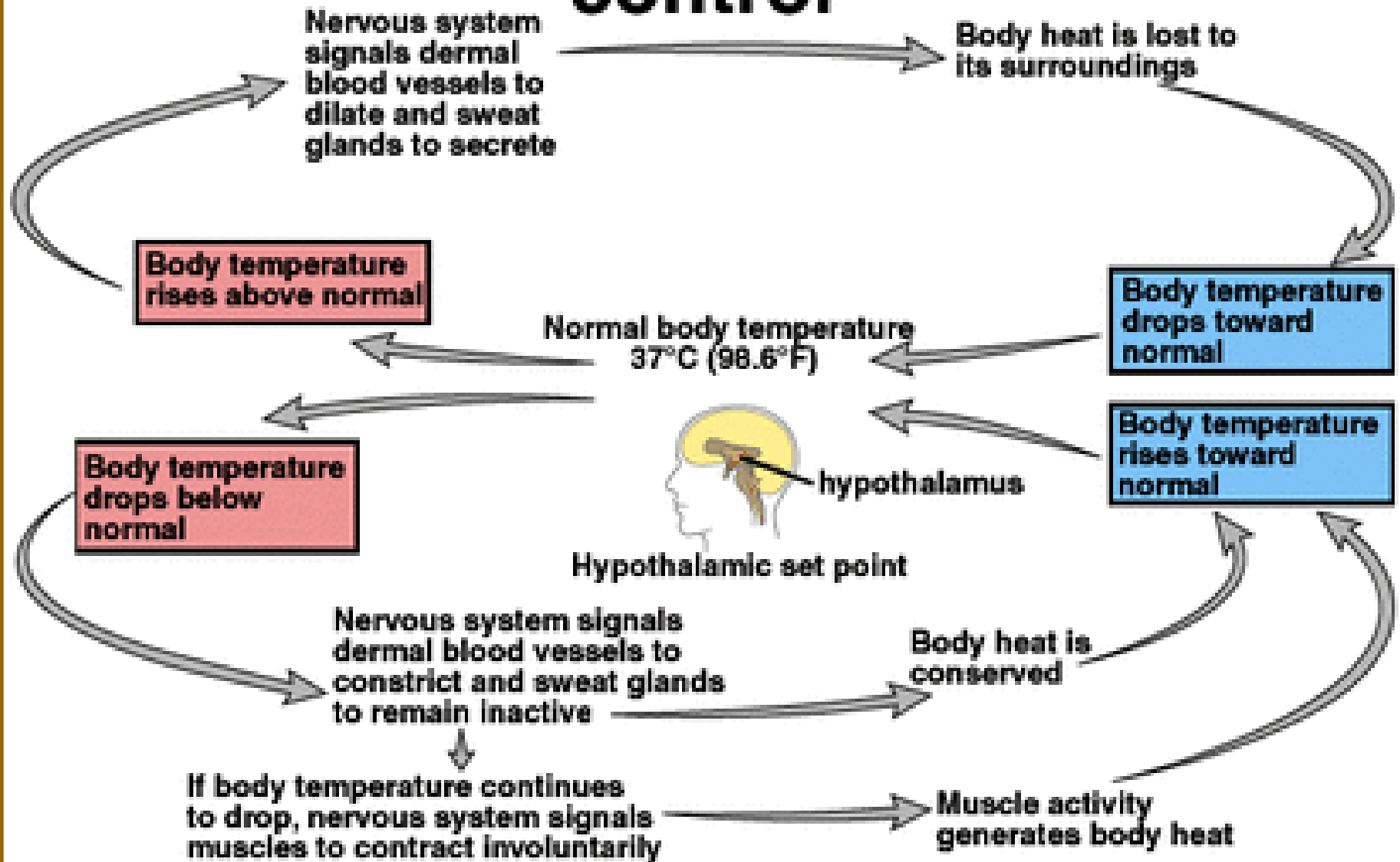




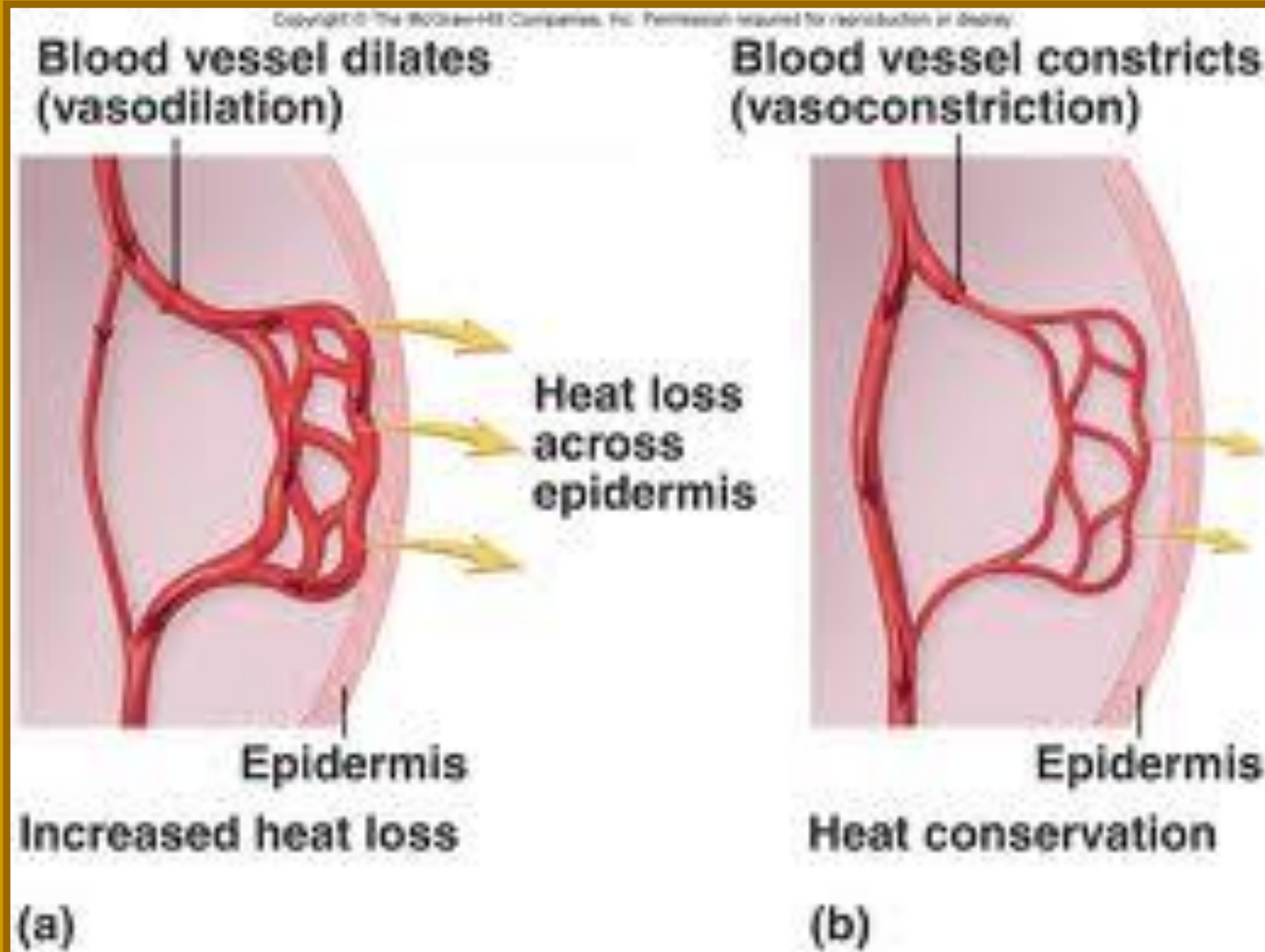
# Prekapilární svěrače regulují tlak a průtok krve



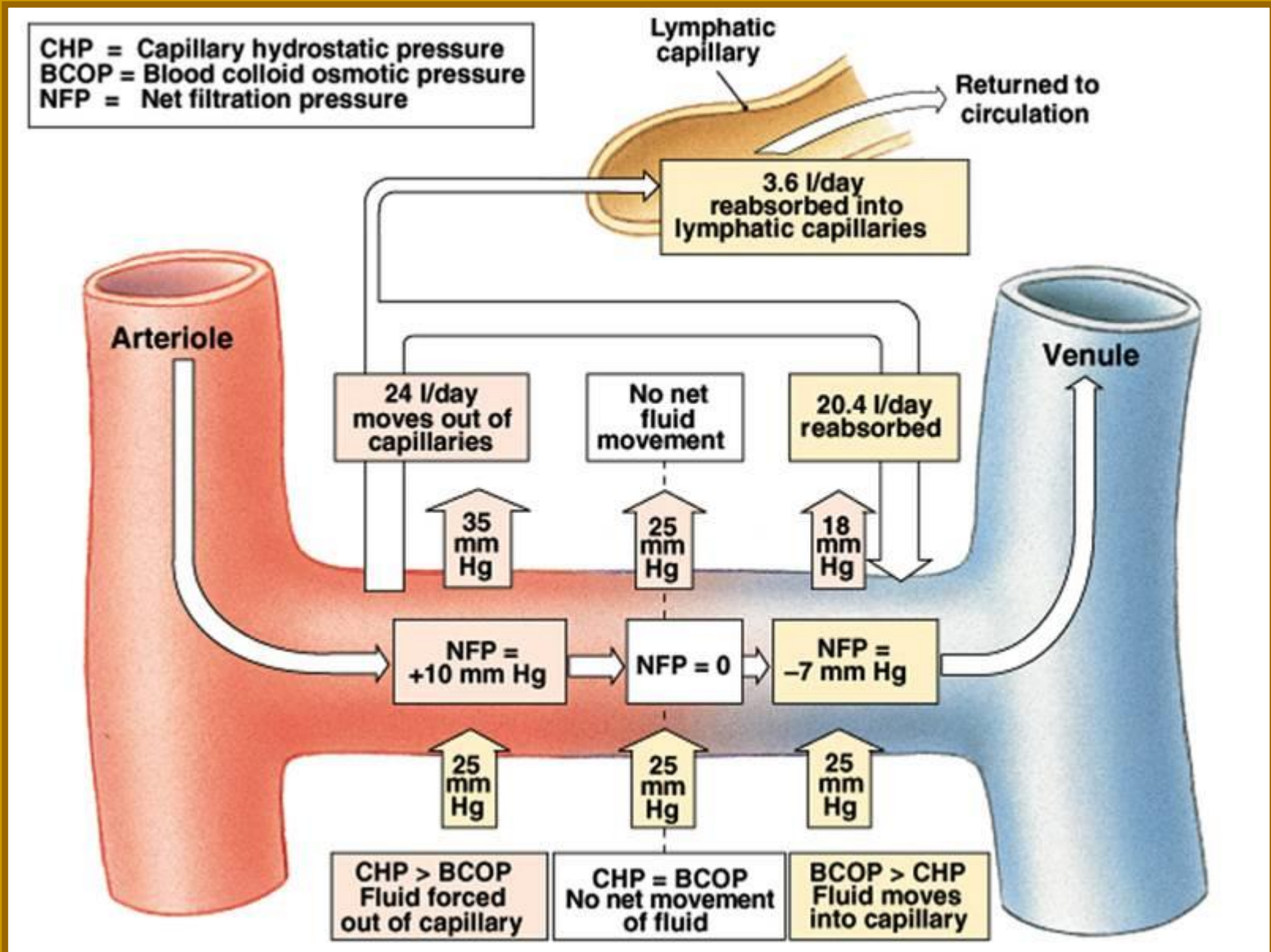
# Homeostasis and temperature control

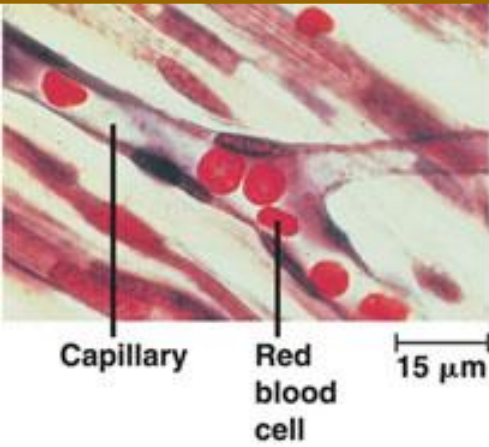


# Vasodilatace a vasokonstrikce periferních cév v regulaci hospodaření s teplem

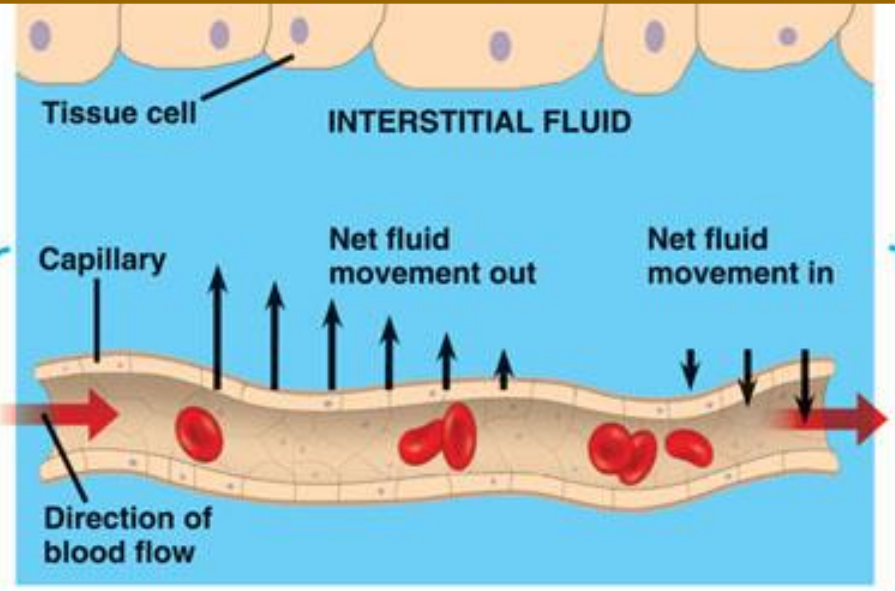


# Tlaky zprostředkovávající výměnu látek mezi cévami a okolím

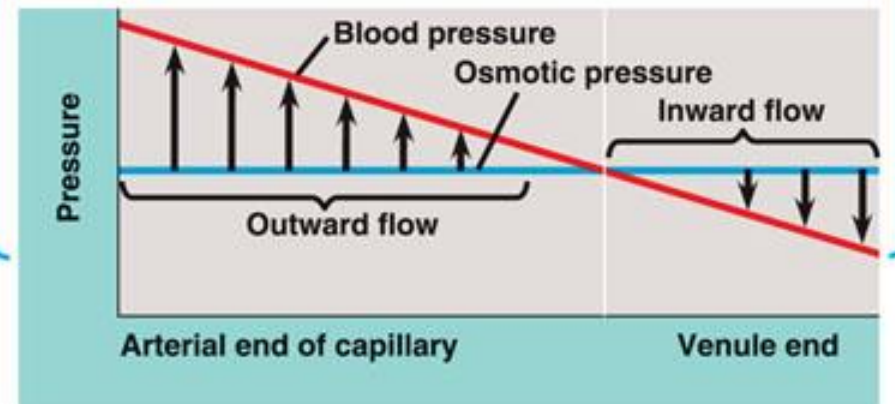




At the arterial end of a capillary, blood pressure is greater than osmotic pressure, and fluid flows out of the capillary into the interstitial fluid.



At the venule end of a capillary, blood pressure is less than osmotic pressure, and fluid flows from the interstitial fluid into the capillary.



# Endothelial Function Assessment

- Vascular Tone
  - Vascular reactivity
  - Vasoconstrictors: ET-1
  - Vasodilators: Nitric oxide products
- Markers of Endothelial Activation
  - Adhesion molecules (VCAM, ICAM, selectin)
- Markers of Coagulation/Fibrinolysis
  - PAI-1/tPA, fibrinogen, thrombomodulin, VWF
- Markers of Inflammation
  - CRP, TNF- $\alpha$ , IL-1, IL-6
- Hormones and Metabolic Products with Known Vascular Effects
  - Adiponectin, FFA

Caballero AE. *Obes Res.* 2003;11:1278-89.

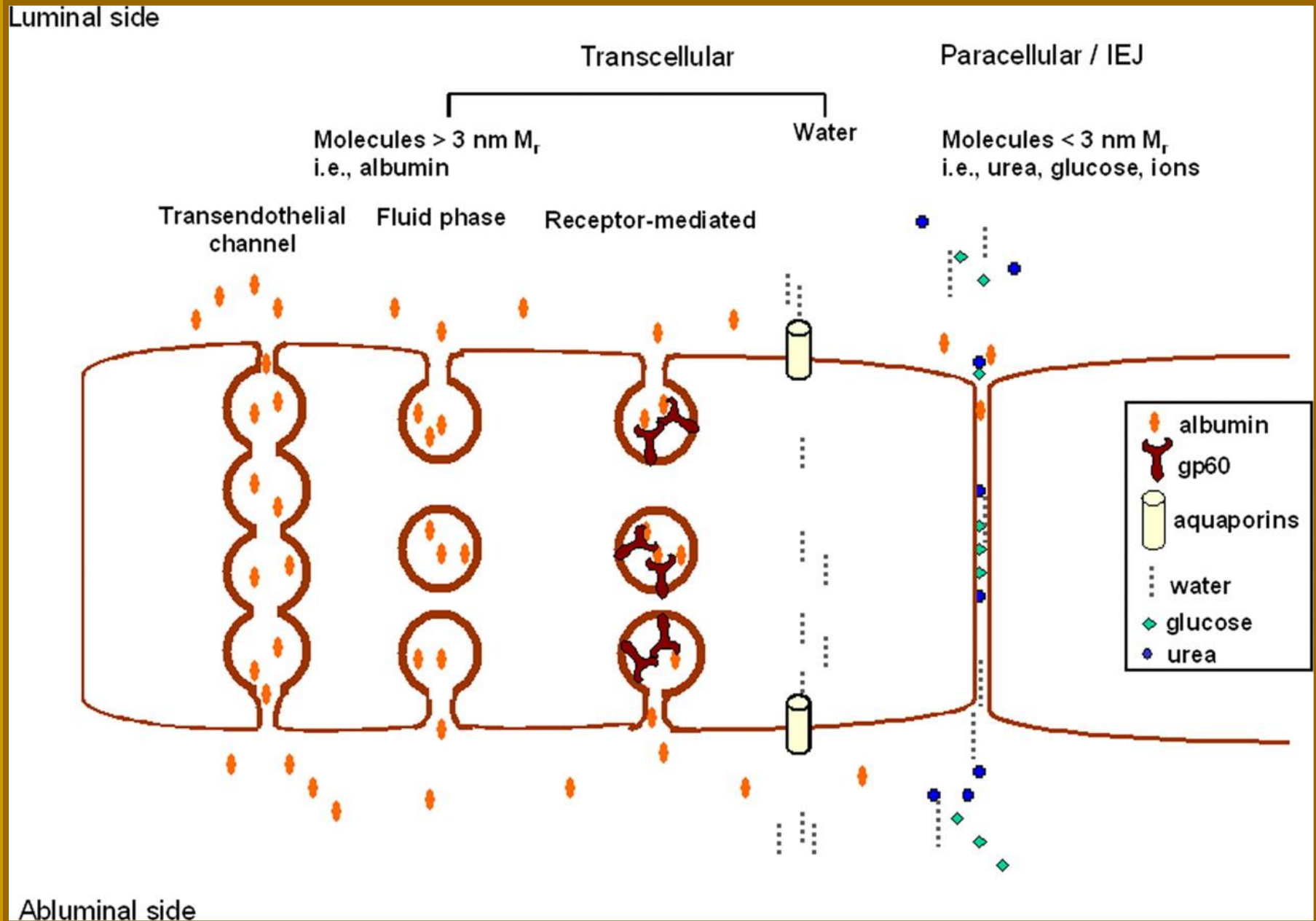
Endotel

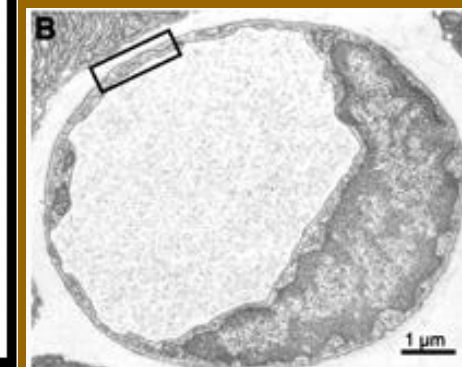
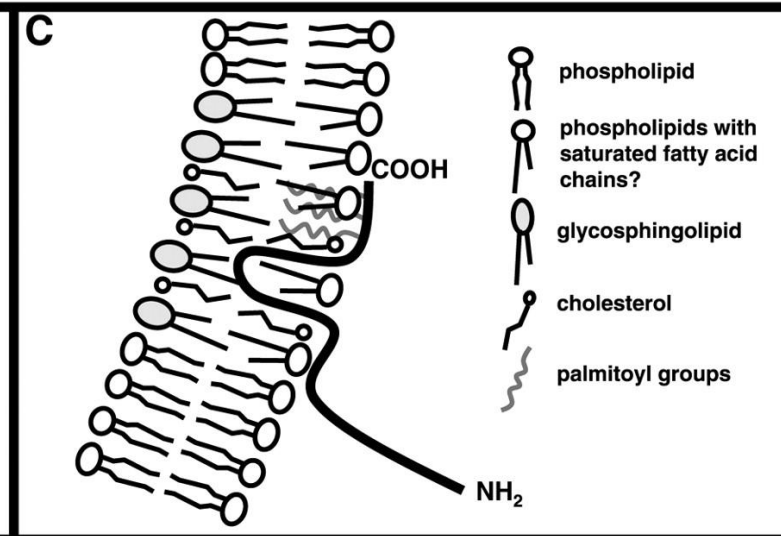
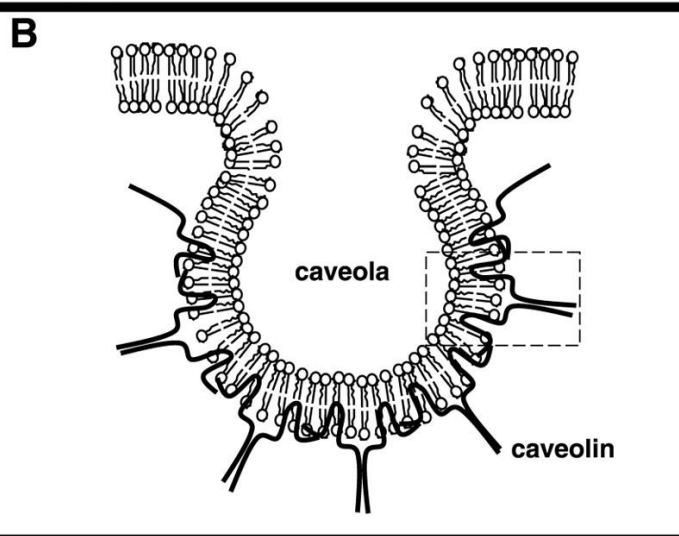
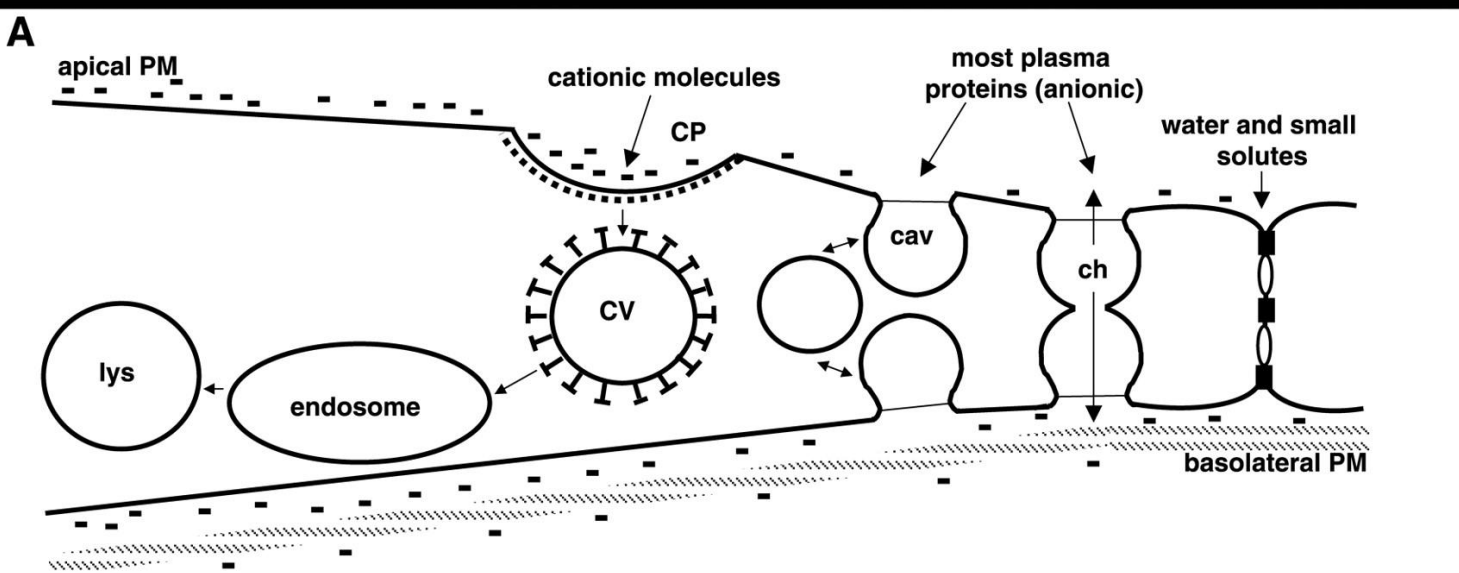
## Normal Endothelial Function

Dilatation	Constriction
Growth inhibition	Growth promotion
Antithrombosis	Prothrombosis
Anti-inflammation	Proinflammation



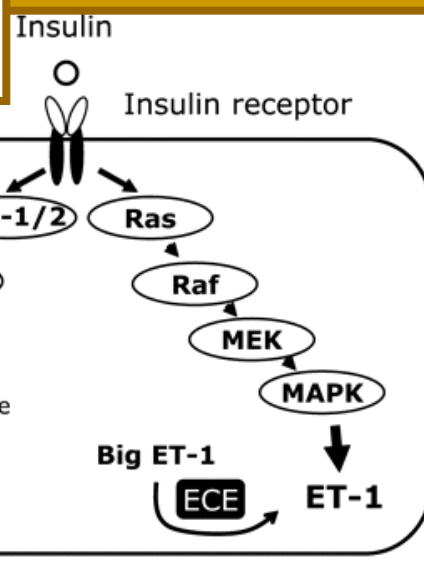
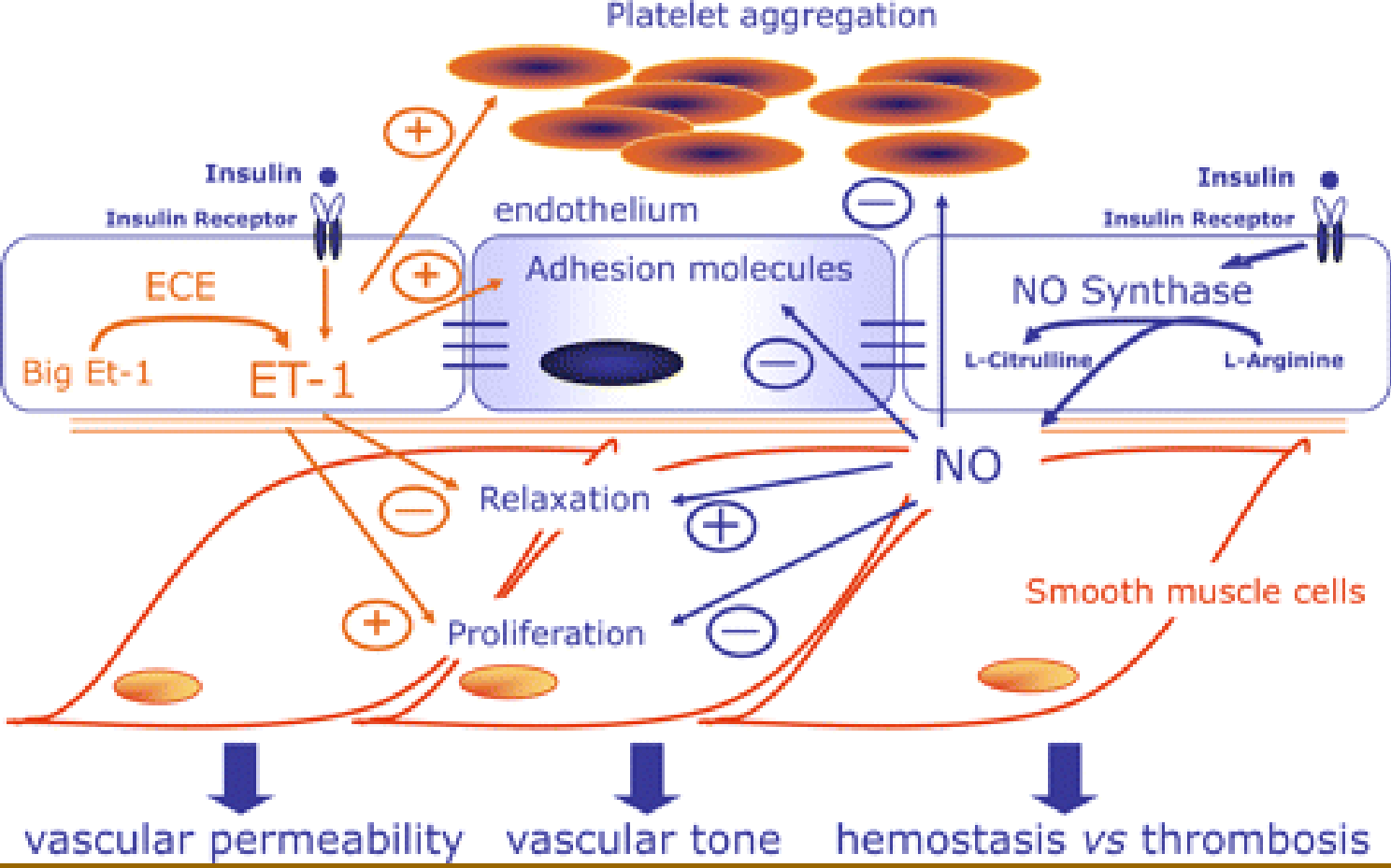
# Transport látek endoteliemi





Caveolin - mediátor transcytósý





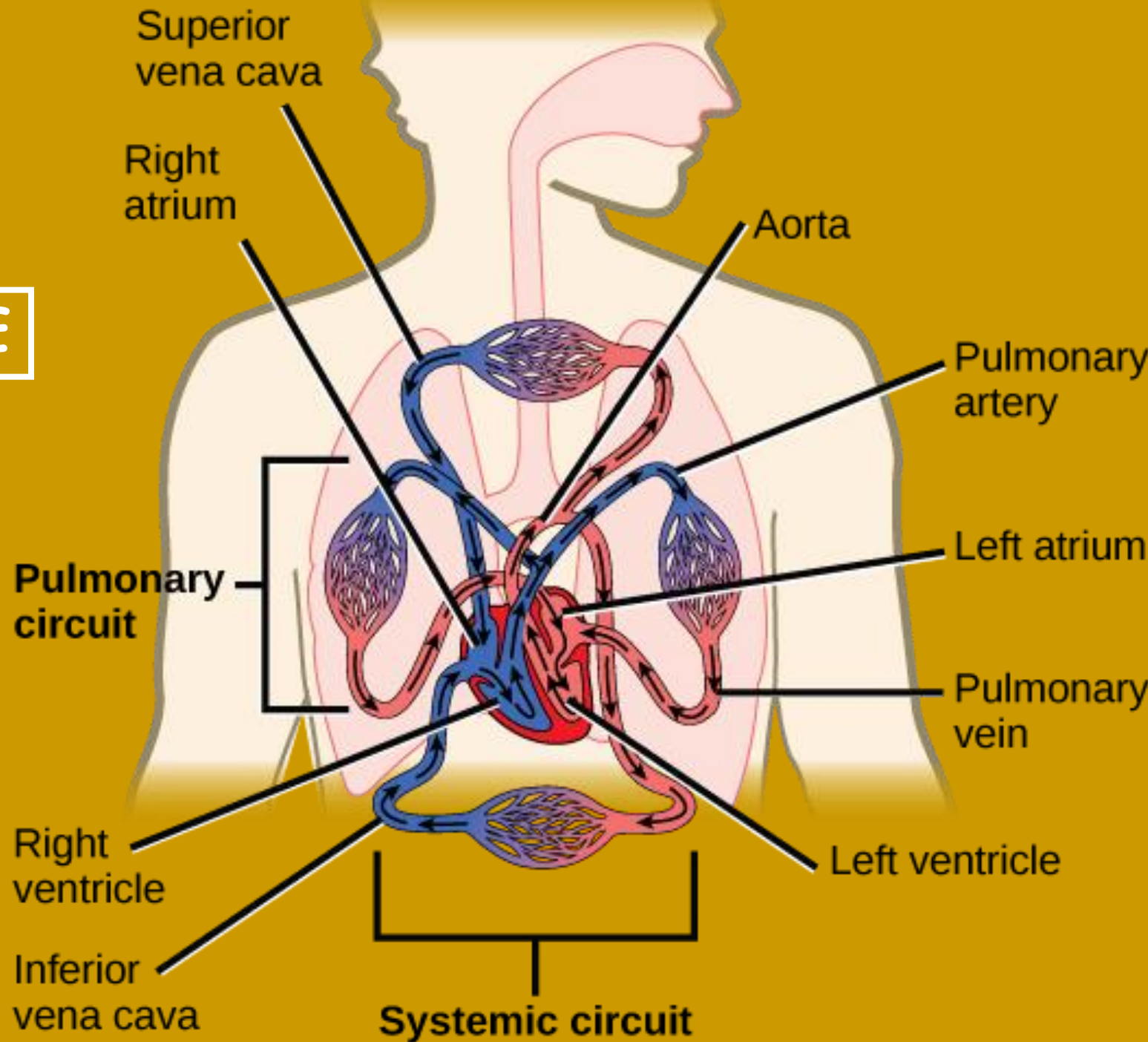
Insulinem řízená rovnováha ve funkcích endotelu

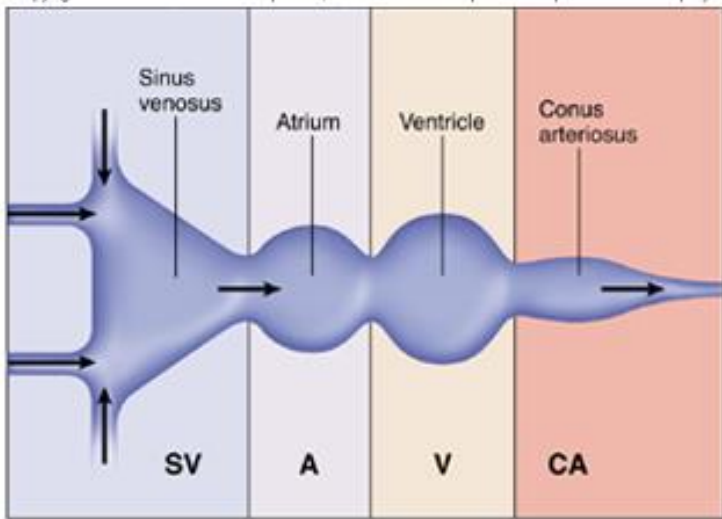
Mediátory :

NO (oxid dusnatý) x ET-1 (endotelin-1)

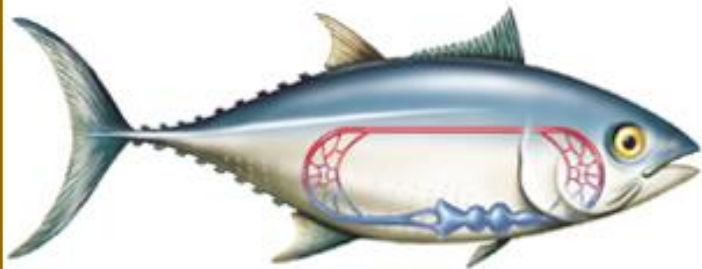
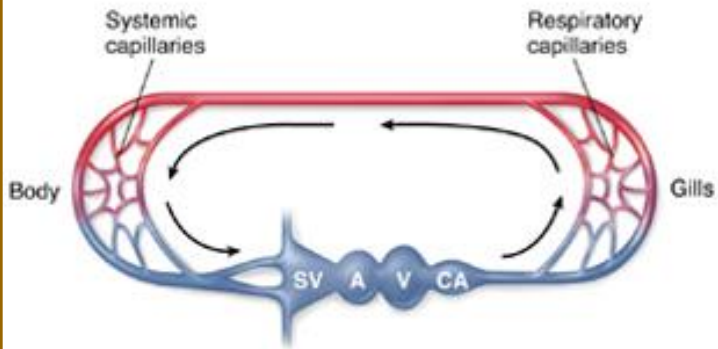
Endothelial cells

**SRDCE**



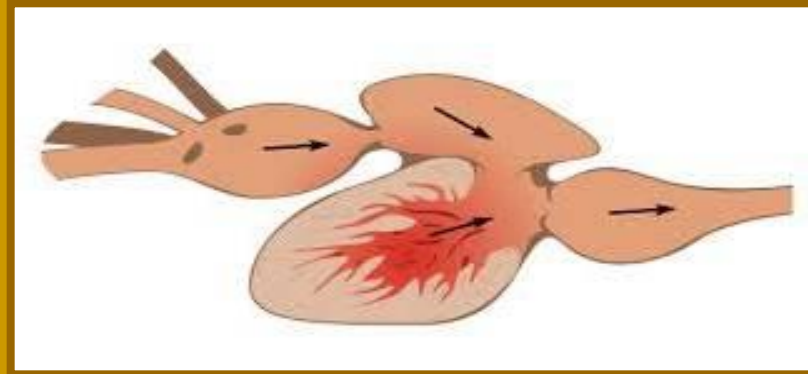


(a)

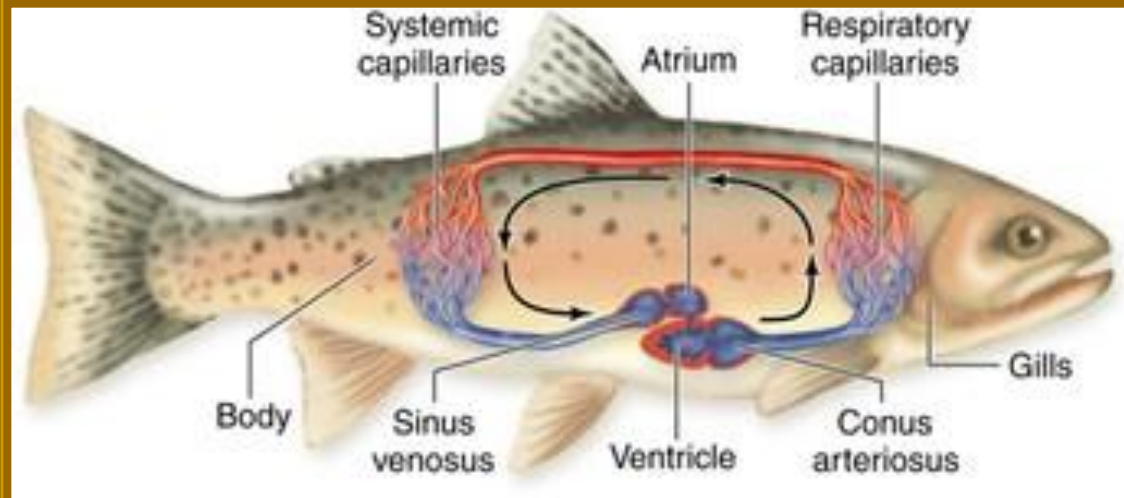


(b)

# Ryby

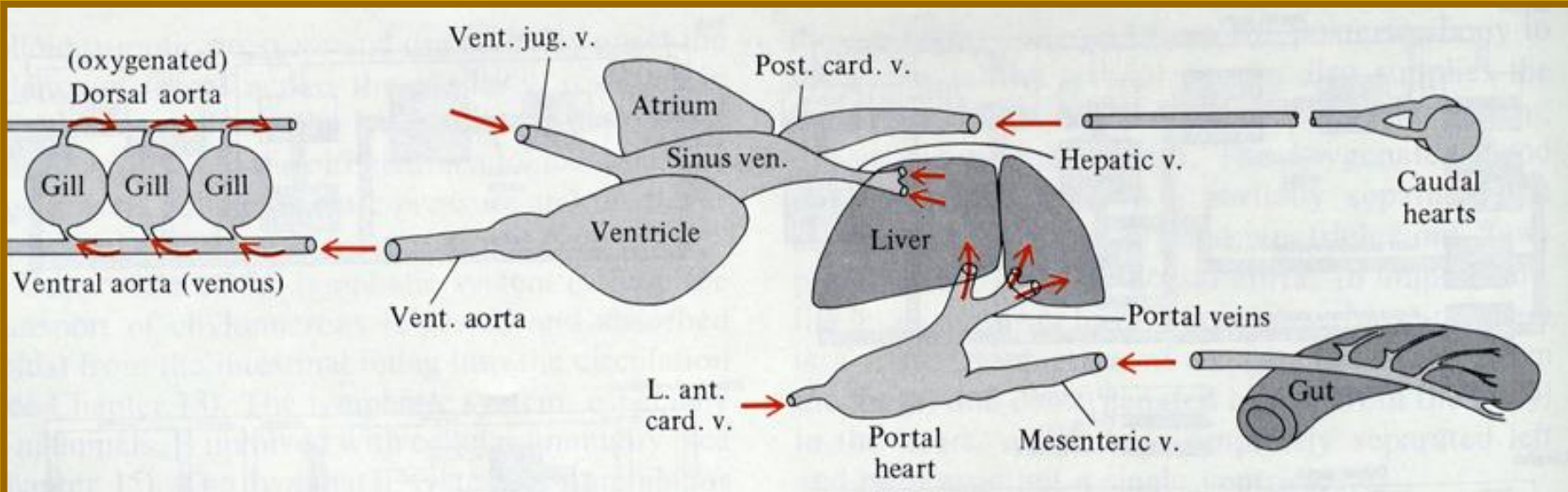
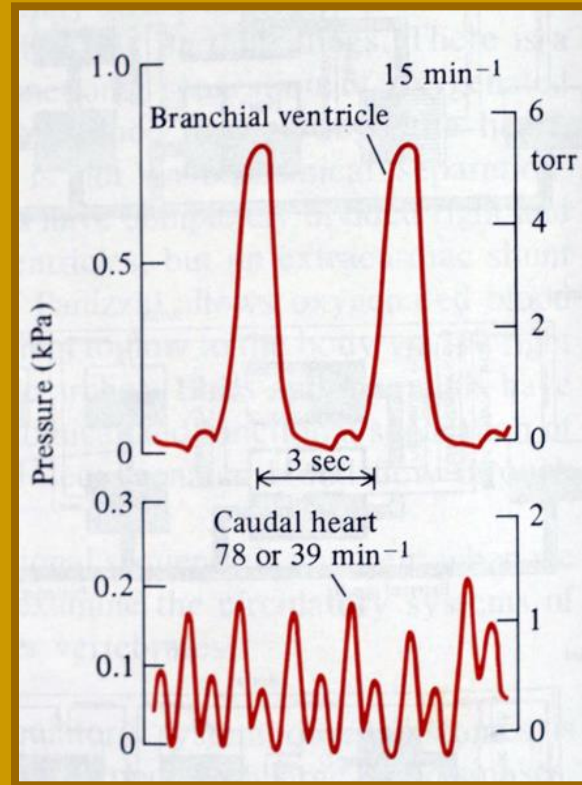


- dvoukomorové srdce
- srdcem prochází jen odkysličená krev
- některé (např. Sliznatky, *Myxini*) pomocná srdce



# Srdce sliznatek

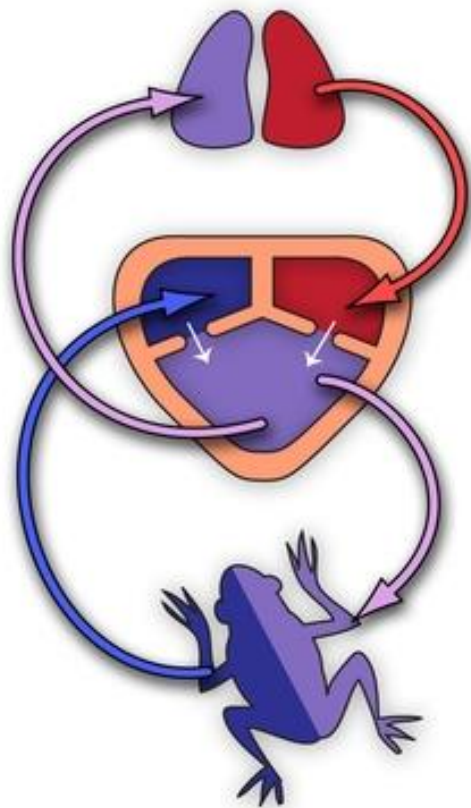
Jednotlivá srdce tepou různou frekvencí,  
v závislosti na výkonu?



Srdce pumpuje od- i okysličenou krev od obojživelníků výše

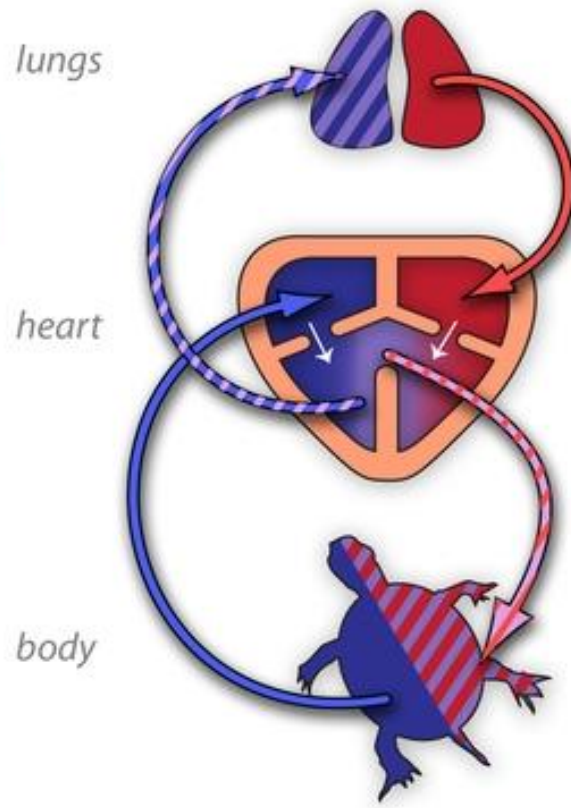
- u savců a ptáků již nedochází v srdci k míchaní od- s okysličenou krví
- u krokodýlů možnost přechodně kompletně oddělit

**3-CHAMBERED**



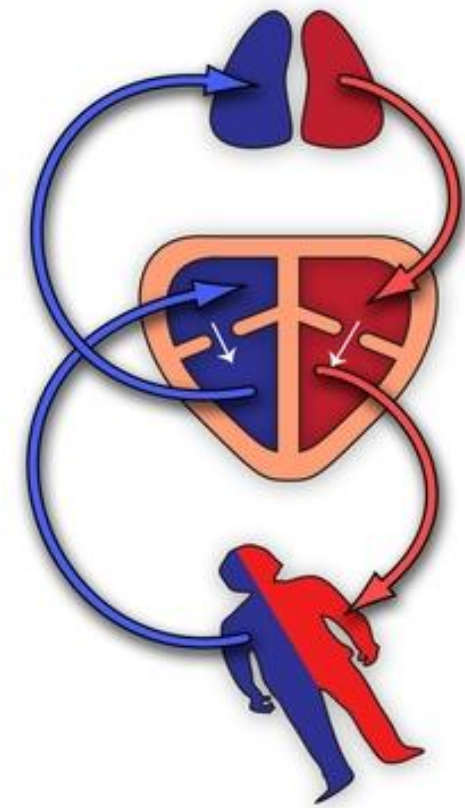
AMPHIBIANS

**3-CHAMBERED (SEPTATED)**



TURTLES

**4-CHAMBERED**



BIRDS AND MAMMALS



Oxygenated blood

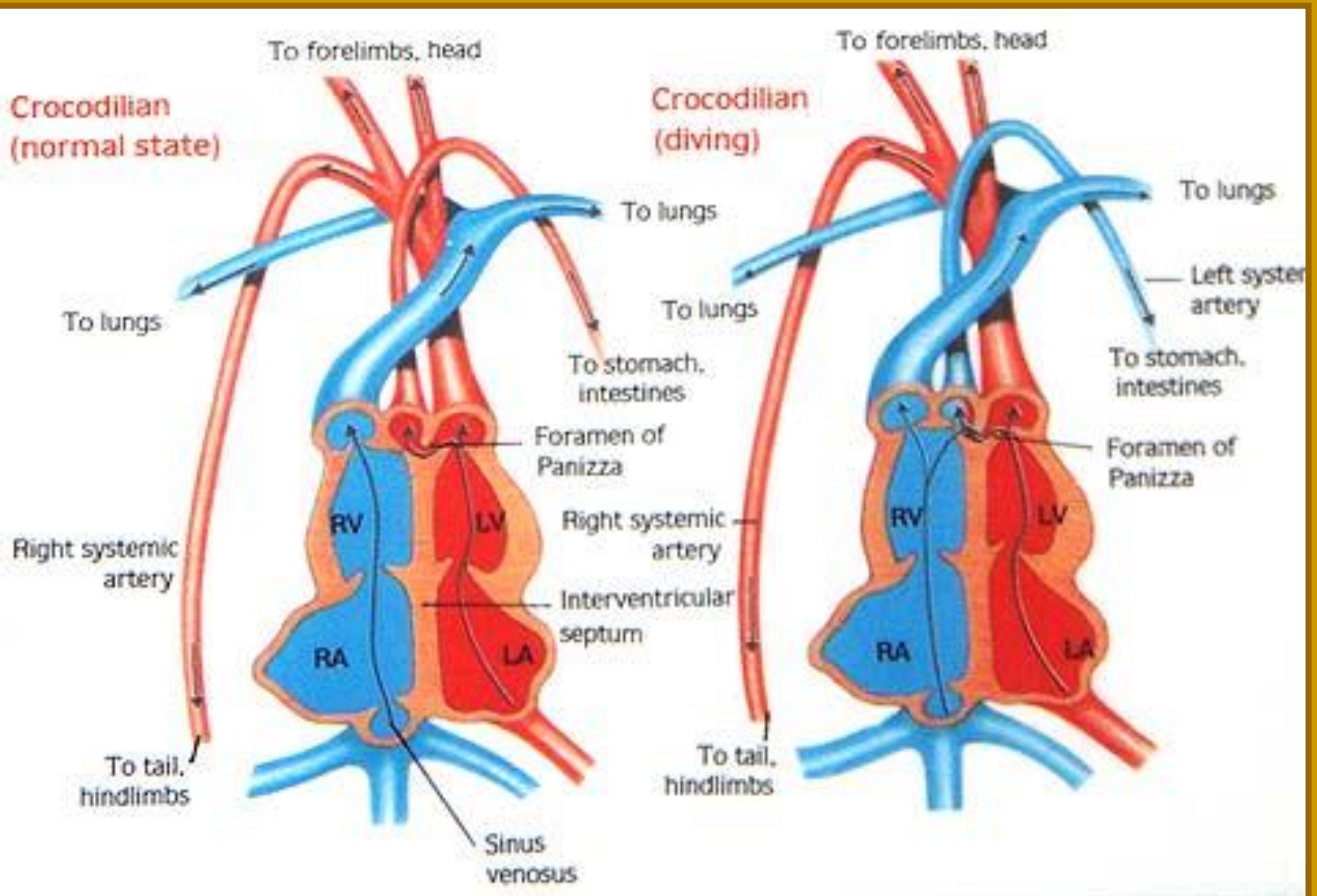


Deoxygenated blood

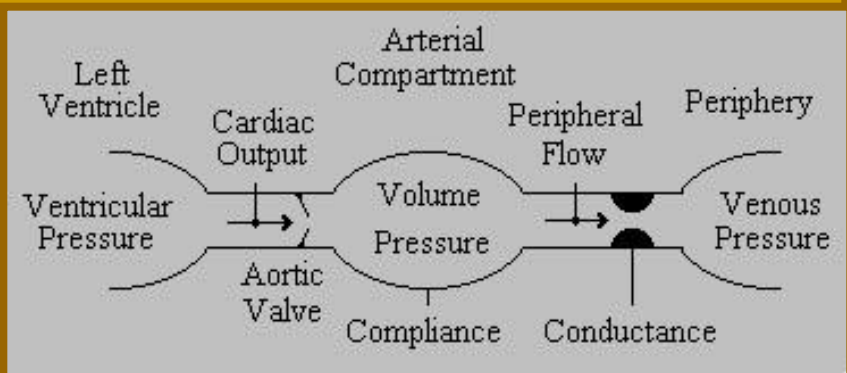
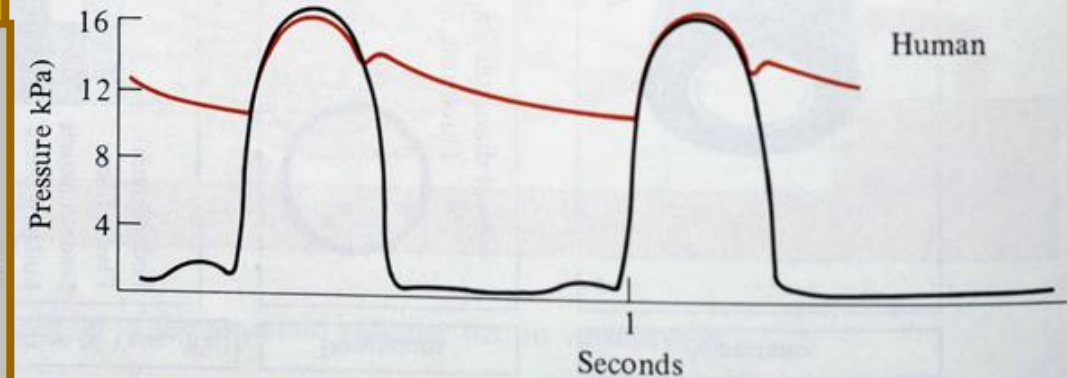
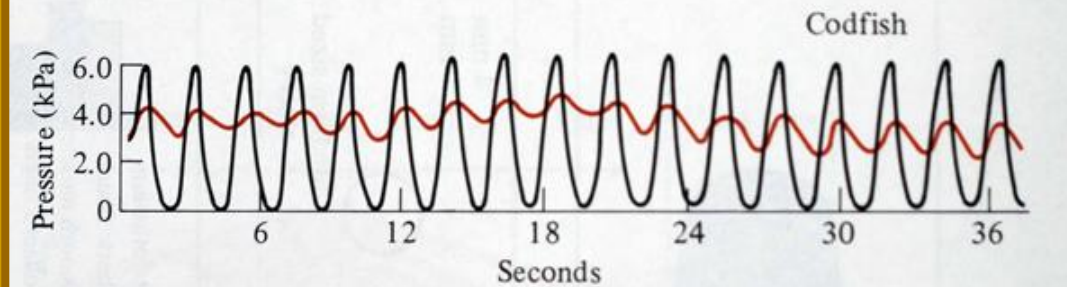
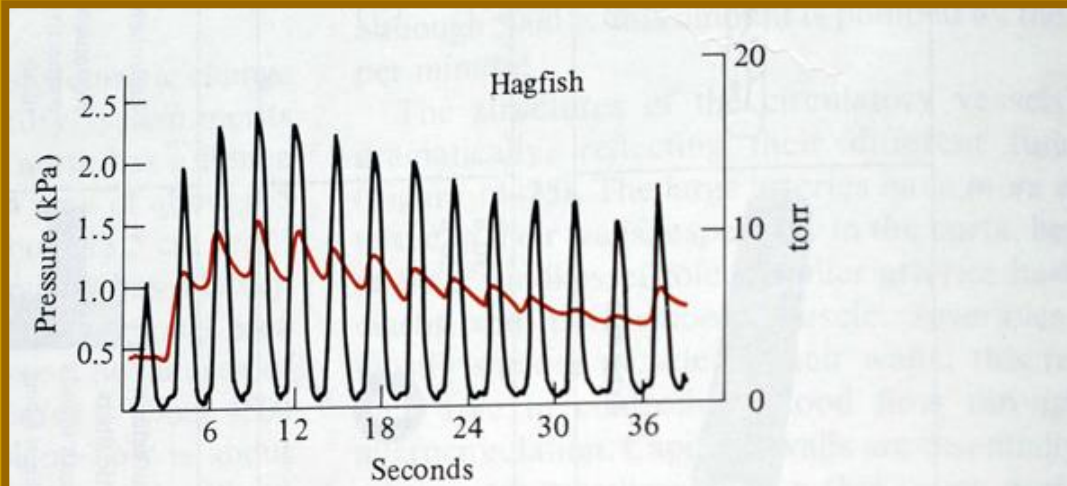


Mixed blood

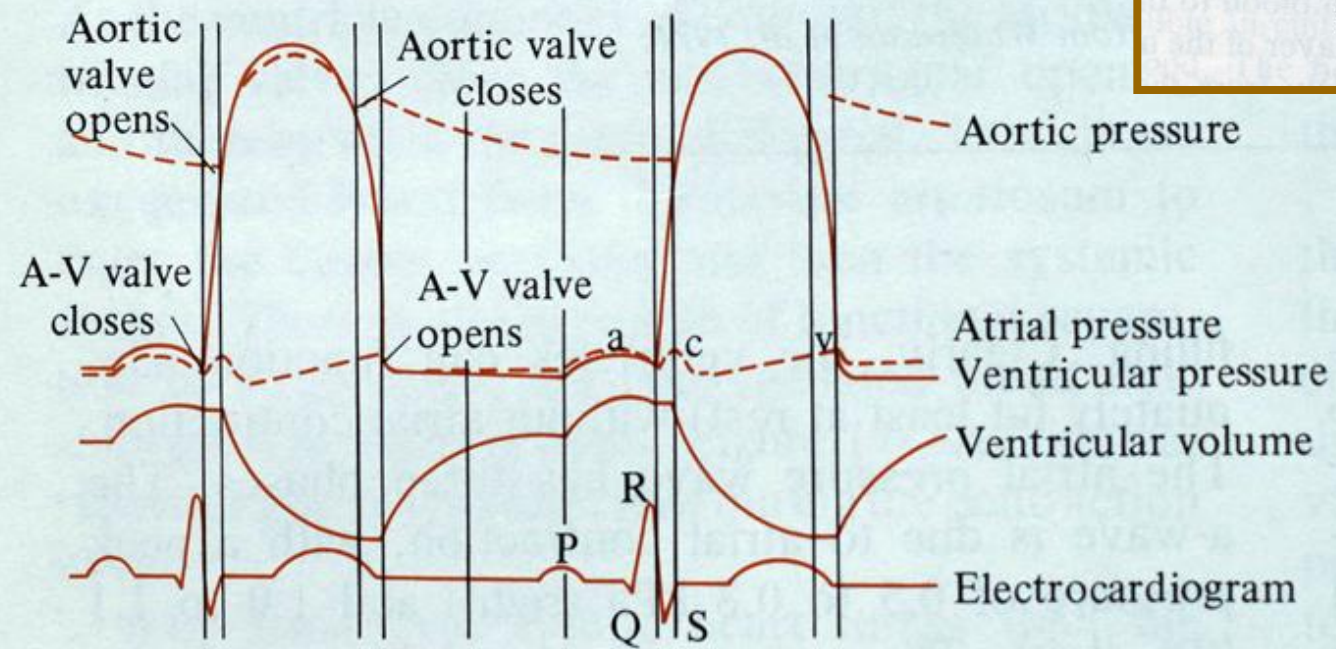
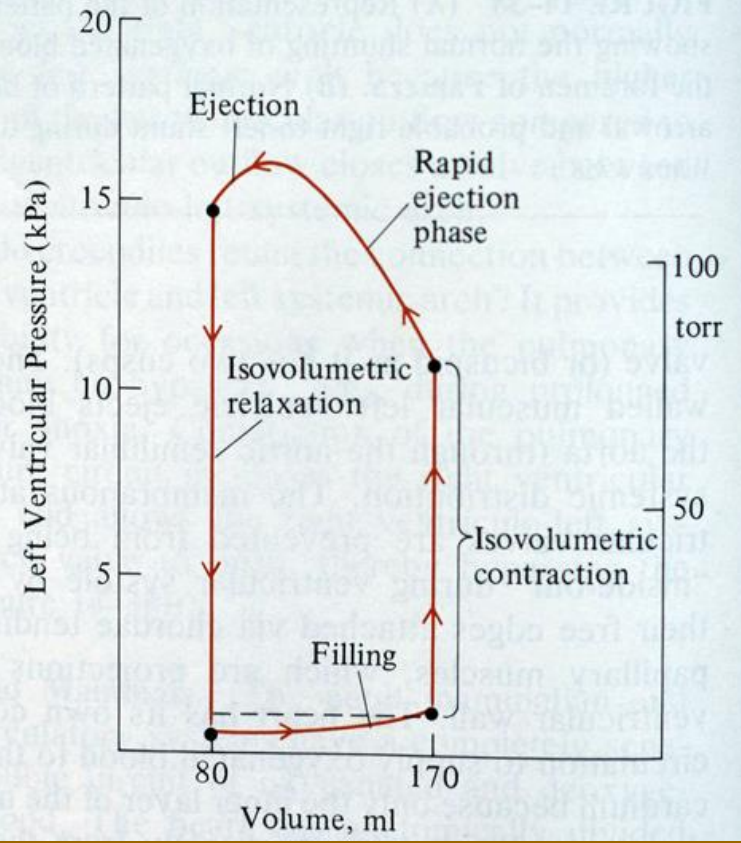
# Distribuce krve srdcem u dýchajícího a potápějícího se krokodýla



# Rozdíly v tlaku v komoře a v aortě (Windkessel efekt)



# Porovnání dynamiky jednotlivých parametrů srdeční činnosti a isovolumetrická kontrakce





Srovnání systolického a diastolického tlaku v arteriích s hodnotou onkotického tlaku  
 Přes relativně velké (násobky) rozdíly v arteriálním tlaku, jsou si poměry arteriálního tlaku ku onkotickému blízké. Vyrovnáno hodnotou onkotického tlaku.

Výjimka jsou ptáci - velmi nízký onkotický tlak, proč?

		Arteriální tlak (systola/diastola, kPa)	Onkotický tlak (kPa)	Arteriální tlak / onkotický tlak
<b>Savci</b>	Člověk	16,3/10,9	3,81	3,6
	Ovce	18,4/15,2	2,99	5,6
	Pes	15,2/7,6	2,72	4,2
<b>Ptáci</b>	Kur	20,3/5,8	1,50	8,7
	Holub	18,4/14,3	1,10	14,8
<b>Plazi</b>	Želva	5,7/4,4	0,87	5,8
<b>Obojživelníci</b>	Skokan	4,1/2,7	0,69	4,9
	Ropucha	4,4/2,6	1,28	2,5
<b>Ryby</b>	treska	3,9/2,5	1,13	2,8

# Srovnání kardiovaskulárních parametrů v klidu a během aktivity u obratlovců

V závislosti na vývojové „vyspělosti“ při aktivitě stoupá tepová frekvence, oproti primitivnějším skupinám, kde se zvětšuje i tepový objem, s výjimkou obojživelníků.

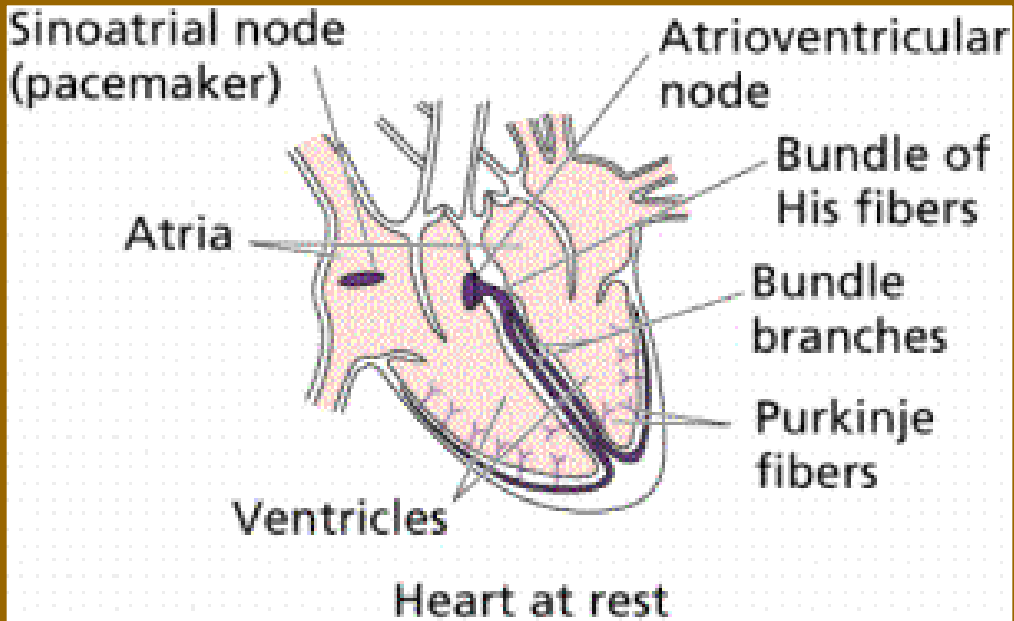
**Tep** – min<sup>-1</sup>

**Tepový objem** – ml

**VO<sub>2</sub>** – ml O<sub>2</sub> / min

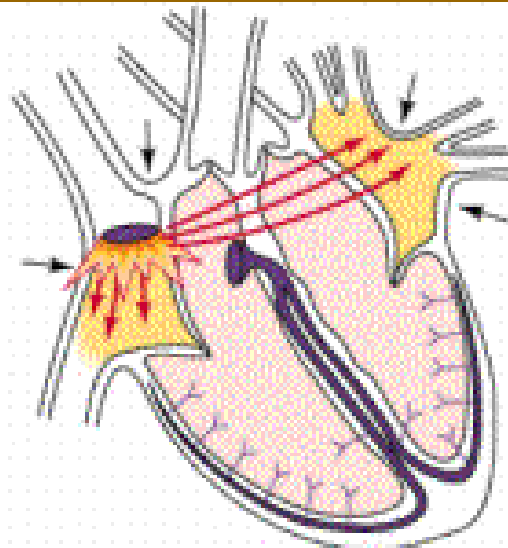
**AV diference** – množství O<sub>2</sub> v arteriální oproti venózní krvi (intenzita odebrání O<sub>2</sub> tkání)

		V klidu	Při aktivitě	Násobek zvýšení	% podíl na zvýšení VO <sub>2</sub>
<b>Possum</b> (1,48 kg)	Tep	143	321	2,2x	51%
	Tepový objem	2,43	2,29	0,9x	-2%
	AV diference	4,5	10,1	2,2x	51%
	VO <sub>2</sub>	19,5	100	5,1x	
<b>Holub</b> (0,44 kg)	Tep	115	670	5,8	87%
	Tepový objem	1,70	1,59	0,9x	-1%
	AV diference	4,6	8,3	1,8x	14%
	VO <sub>2</sub>	8,9	88	9,9x	
<b>Ještěr</b> (1,03 kg)	Tep	50	108	2,2x	41%
	Tepový objem	2,3	3,1	1,3x	12%
	AV diference	2,6	6,1	2,3x	47%
	VO <sub>2</sub>	3,3	21,6	6,6x	
<b>Ropucha</b> (0,25 kg)	Tep	26	47	1,8x	16%
	Tepový objem	0,34	0,32	0,9x	-1%
	AV diference	2,1	10,2	4,9x	84%
	VO <sub>2</sub>	0,18	1,53	8,5x	
<b>Pstruh</b> (1,00 kg)	Tep	38	51	1,4x	11%
	Tepový objem	0,46	1,03	2,2x	39%
	AV diference	3,2	8,3	2,6x	50%
	VO <sub>2</sub>	0,56	4,35	7,8x	

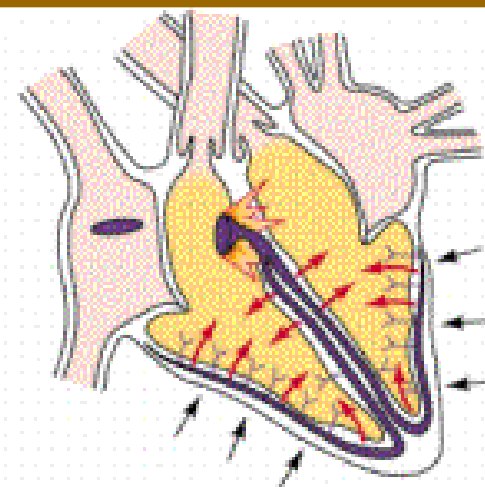


## Autonomní řídicí centra srdeční činnosti

- Sino-atriální uzlík (pacemaker)
- Atrio-ventrikulární uzlík
- Hisův svazek + Purkyňova vlákna

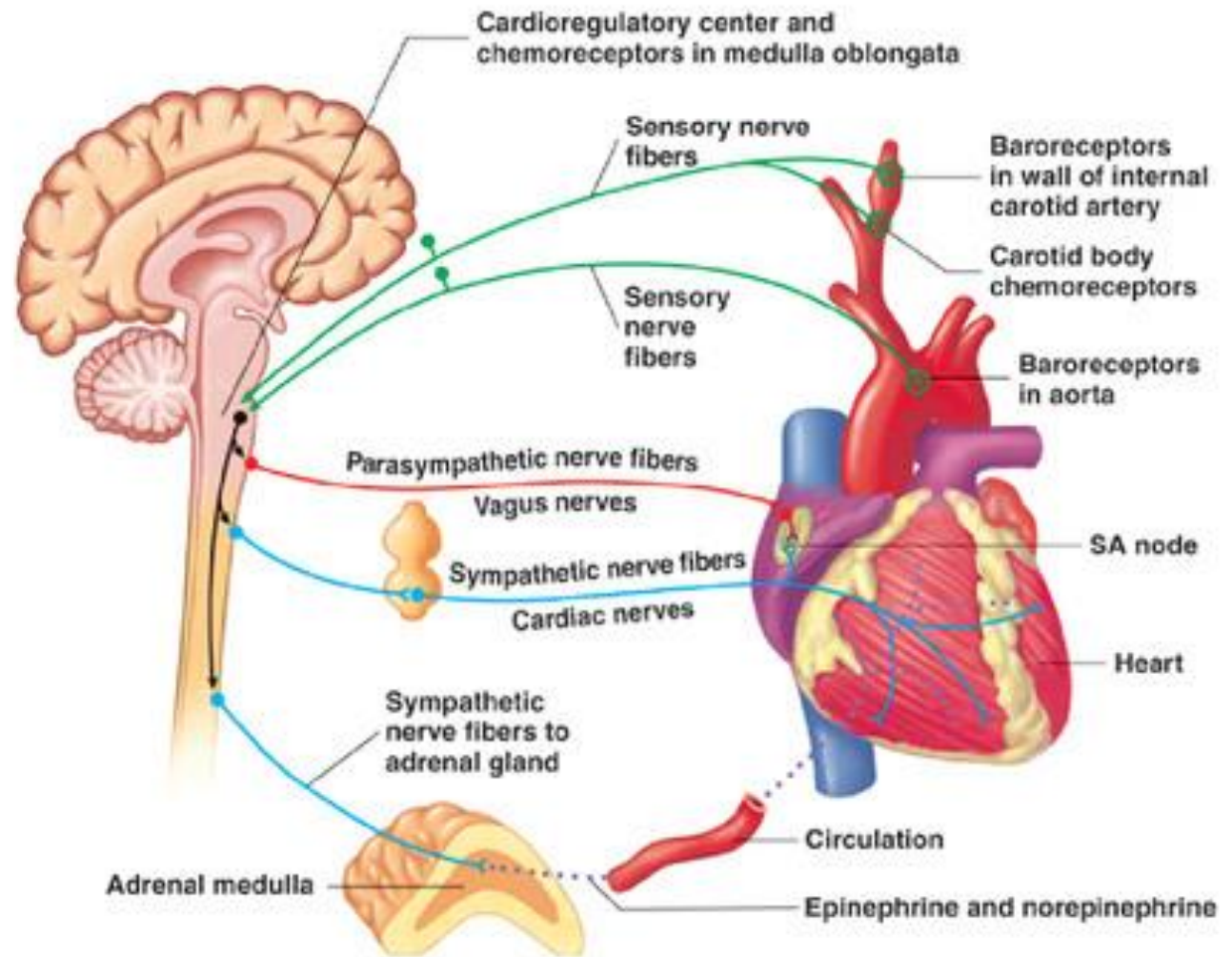


Sinoatrial node fires, action potentials spread through atria which contract



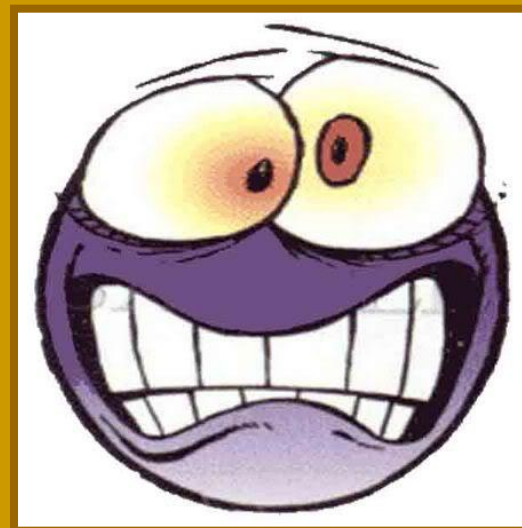
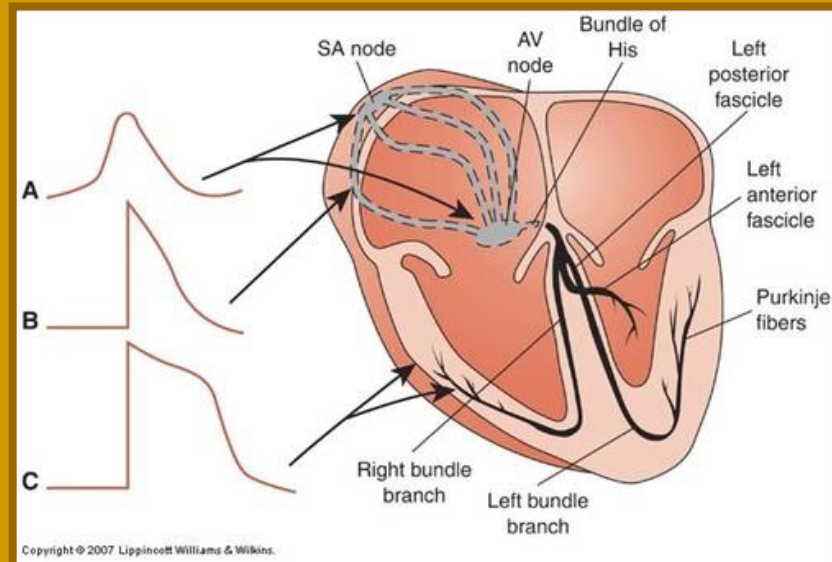
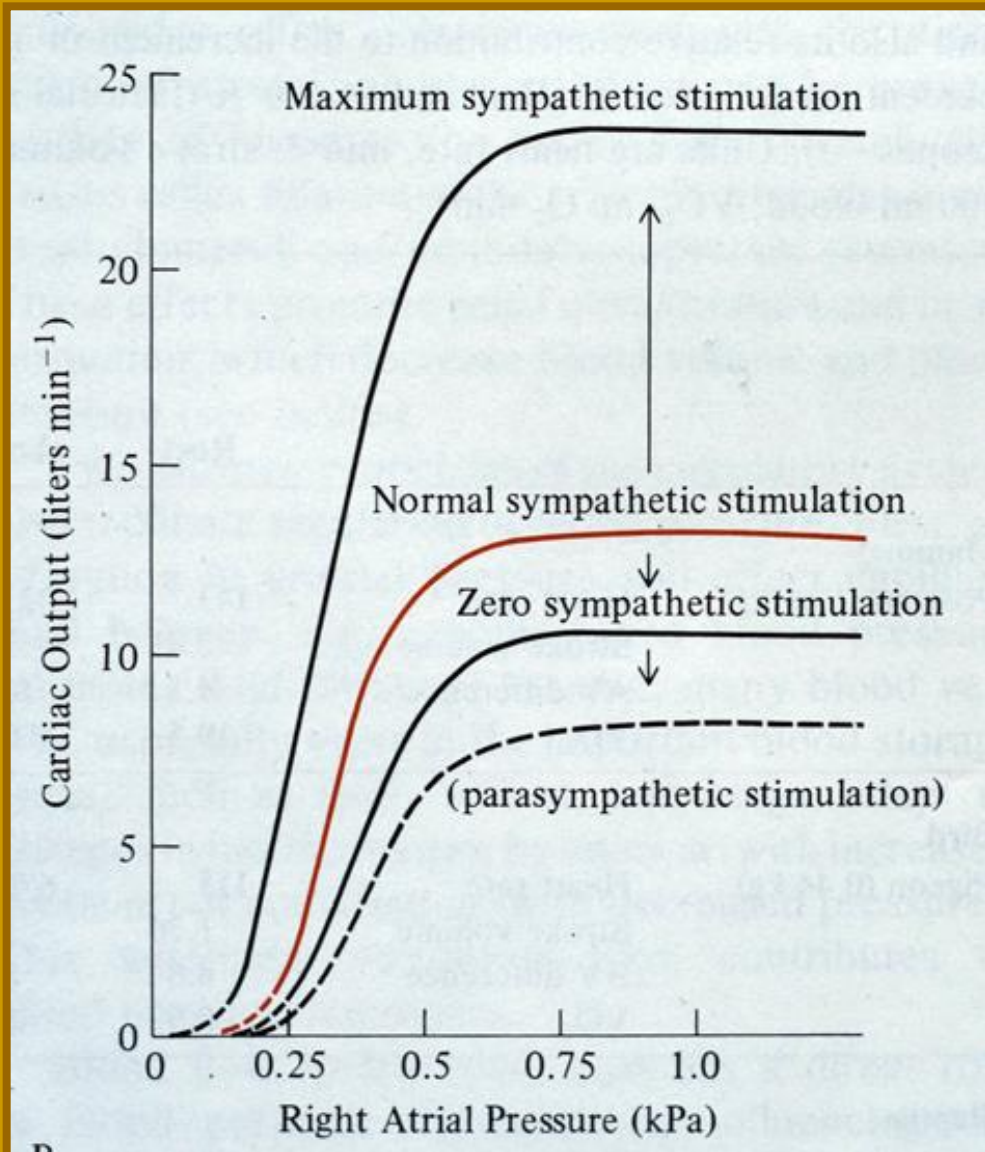
Atrioventricular node fires, sending impulses along conducting fibers; ventricles contract

# Hlavní body regulace srdeční činnosti



2. The cardioresgulatory center controls the frequency of action potentials in the parasympathetic (*red*) neurons extending to the heart through the vagus nerves. The parasympathetic neurons decrease the heart rate.

# Rozsah nervové stimulace srděční činnosti u člověka a charakter jednotlivých akčních potenciálů u jednotlivých převodních systémů



Glossopharyngeal nerve

Vagus nerve

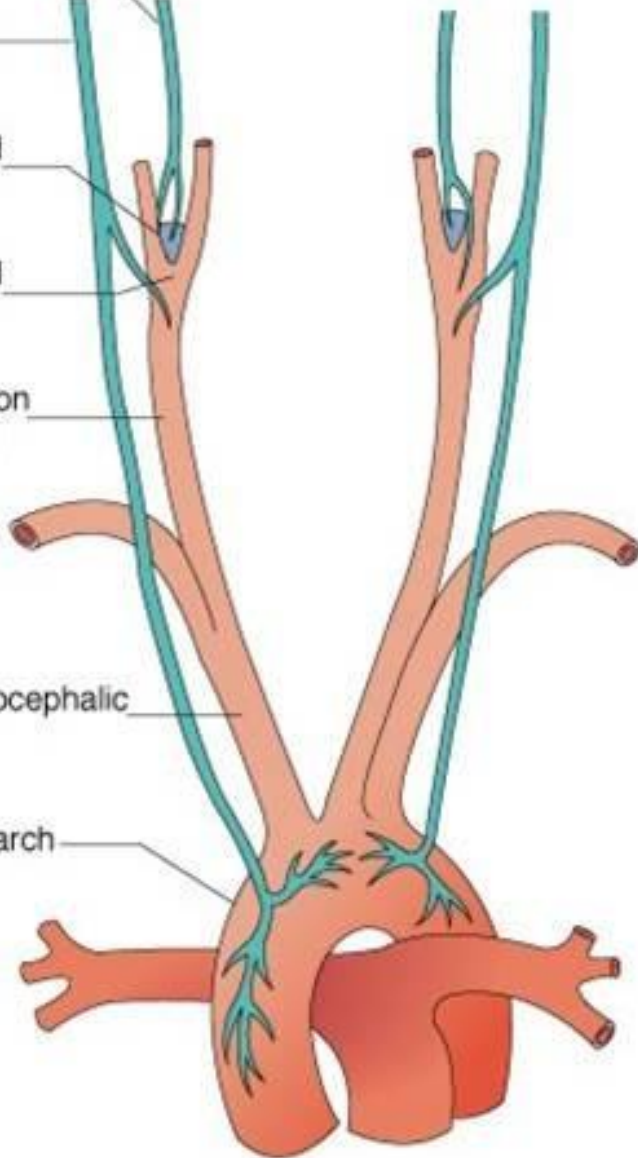
Carotid body

Carotid sinus

Common carotid artery

Brachiocephalic artery

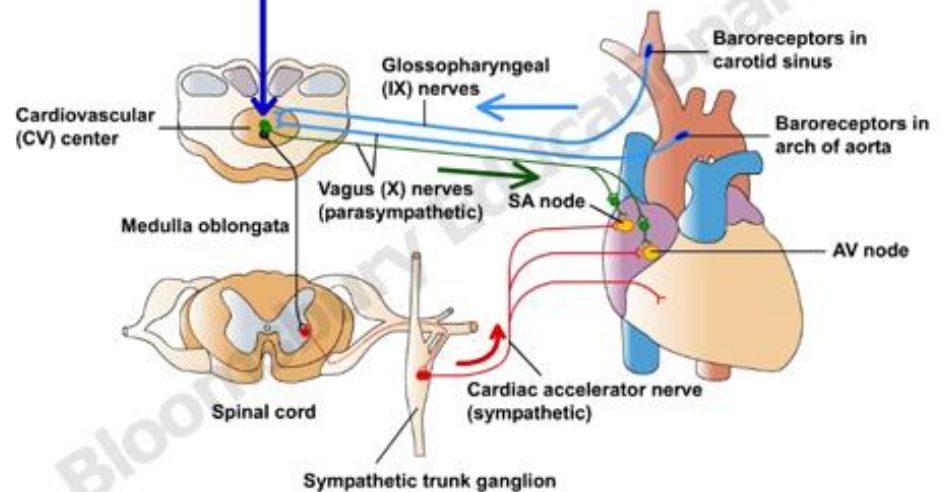
Aortic arch



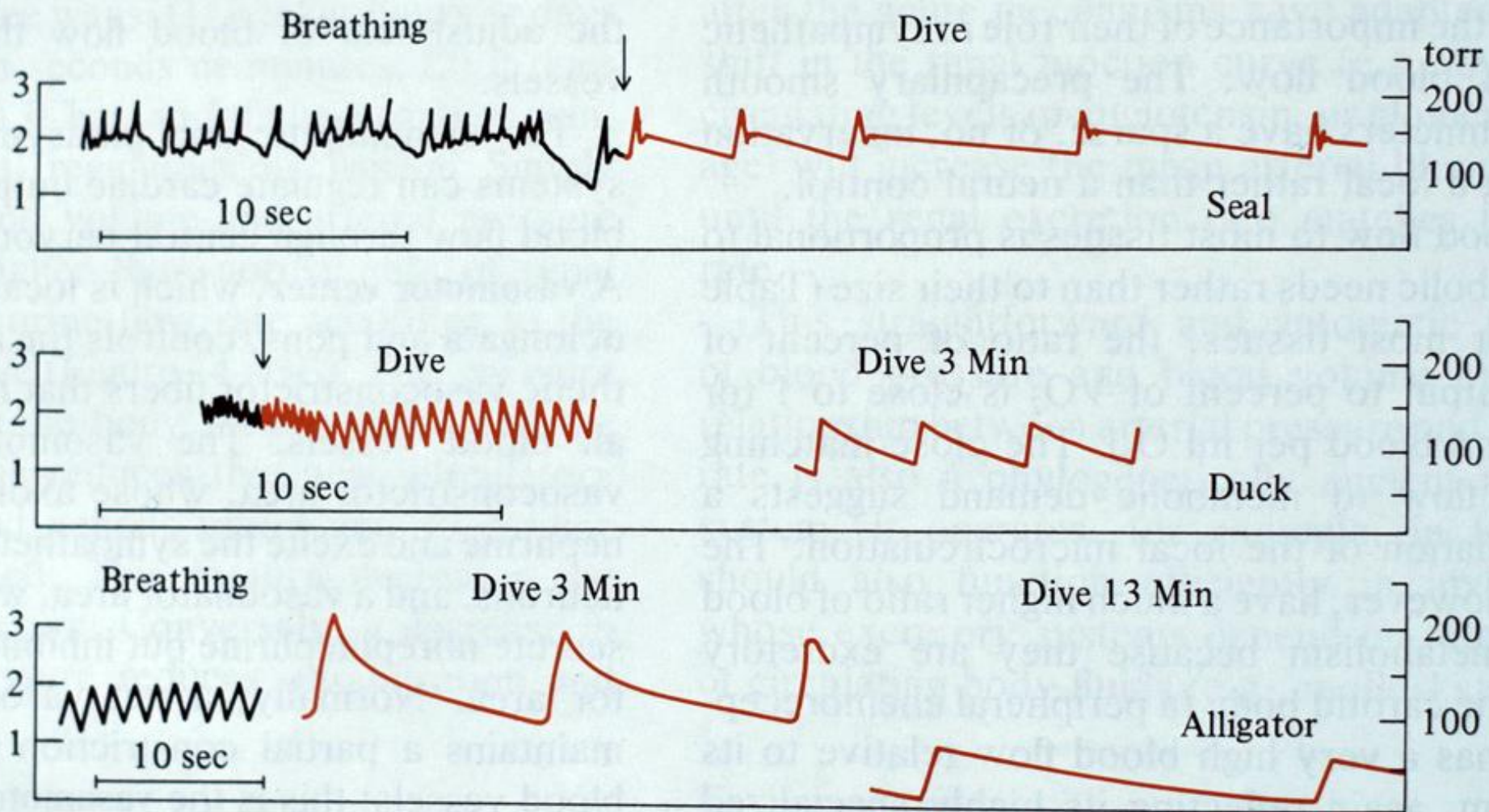
Zapojení baroreceptorů karotického sinu (karotická tělíska) a oblouku aorty

## Regulation of heart rate and force

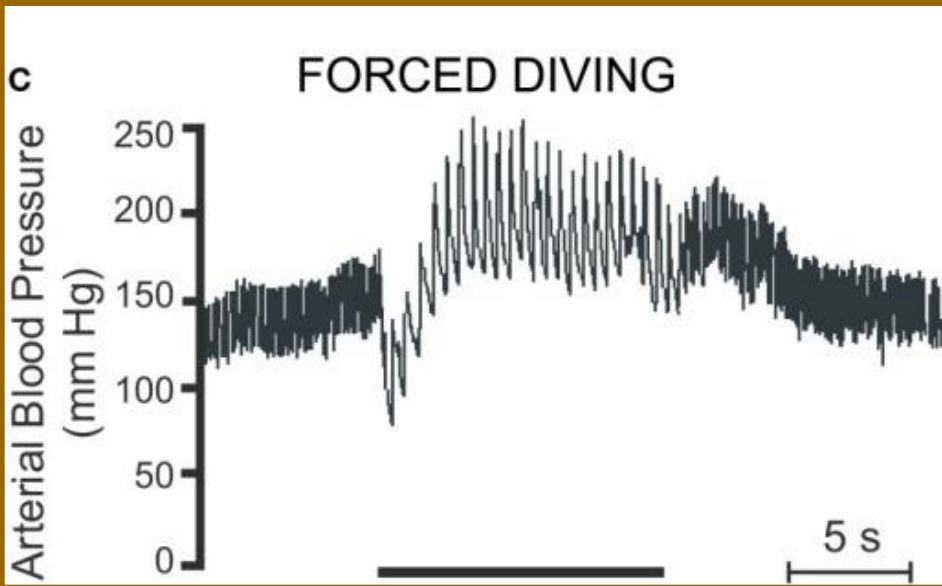
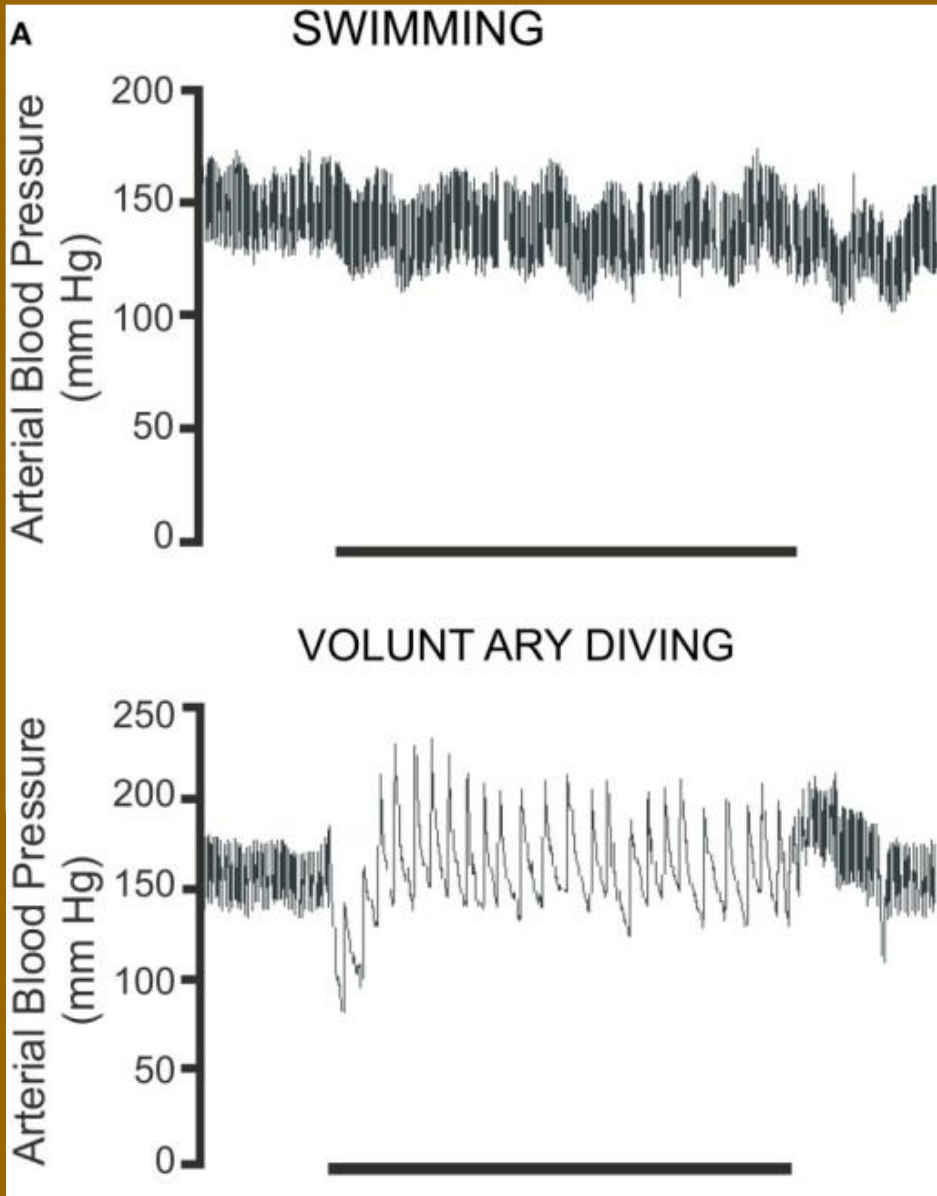
### Hypothalamus



Změny tepové frekvence a krevního tlaku v důsledku potápění u tuleně, kačeny a aligátora. S ponořením klesá frekvence, ale může i tlak.



Přesto, že po ponoření se snižuje tepová frekvence, stresová stimulace stále funguje a je tak nadřazená. Demonstrováno na trénovaném (b) a netrénovaném potkanu (c).





# Shrnutí mechanismů regulujících krevní tlak

Krátkodobé

srdce

cévní odpor  
&  
poddajnost

Baroreflex

objem krve

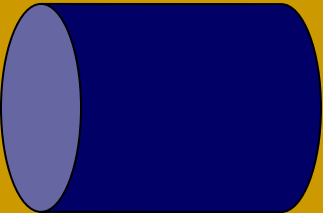

Hypertrofie

Angiotensin II  
Vazopresin  
NO  
ANP  
Endotelin  
Sympatický nervový  
systém

Příjem tekutin  
Renální exkrece  
Příjem Na

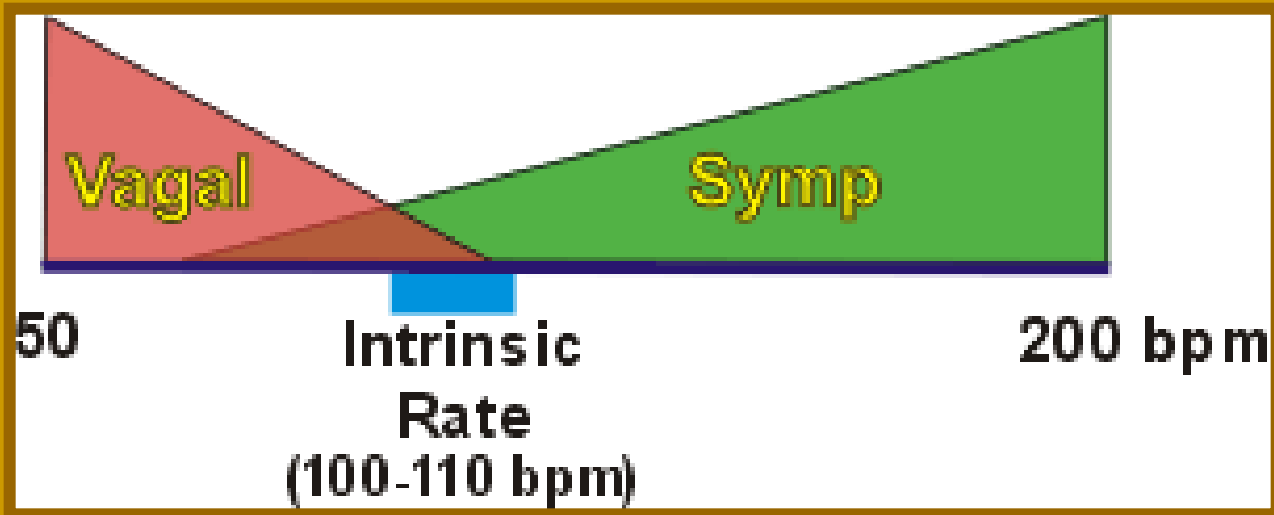
Dlouhodobé

# Regulace tlaku v cévách

Vazodilatace		Vazokonstrikce	
			
Stimulací tvorby cGMP	Stimulací tvorby cAMP	Inhibicí tvorby cAMP	Stimulací tvorby IP <sub>3</sub>
NO ANP (atriální natriuretický peptid)	adenosin A <sub>2</sub> histamin H <sub>2</sub> adrenalin b <sub>2</sub> VIP	serotonin  adrenalin a <sub>2</sub> angiotensin II	serotonin  adrenalin a <sub>1</sub> vazopresin
cGMP a cAMP v hladkém svalu stimuluje Ca <sup>2+</sup> pumpu sarkoplazmatického retikula pokles koncentrace Ca <sup>2+</sup> v buňce		Pomalejší „odklízení“ Ca <sup>2+</sup>	IP <sub>3</sub> uvolňuje Ca <sup>2+</sup> ze sarkoplazmatického retikula

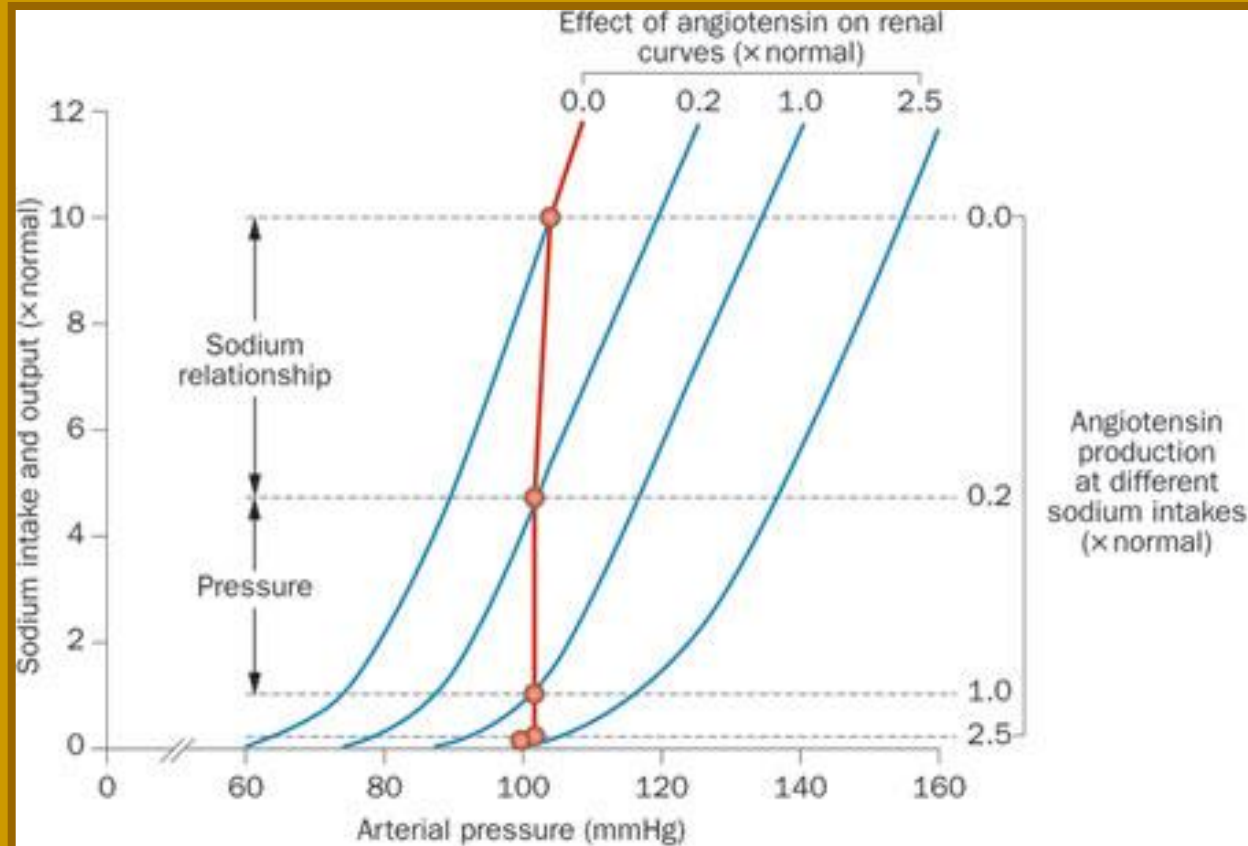
# Regulace cévního průtoku

Myogenní autoregulace	Napětí cévní stěny aktivuje kationtové kanály - depolarizace - vazokonstrikce
Metabolická	Produkty metabolismu vyvolávají vazodilataci ( $\text{CO}_2$ , AMP, ADP, $\text{H}^+$ , kyselina mléčná)
„shear“ dependentní	Vazodilatace zprostředkovaná působením NO, který se tvoří v cévním endotelu
Nervová	<ul style="list-style-type: none"><li>• Sympatické vazokonstrikční nervy ve většině tkání</li><li>• Parasympatické vazodilatační nervy v sekrečních a spongiformních tkáních</li></ul>
Humorální	<ul style="list-style-type: none"><li>• Vazokonstrikční účinek angiotensinu II, noradrenalinu, vazopresinu, serotoninu</li><li>• Vazodilatační účinek ANP, histaminu, mediátorů zánětu</li></ul>
Fyzikální	Teplota, zvýšení vede k vazodilataci

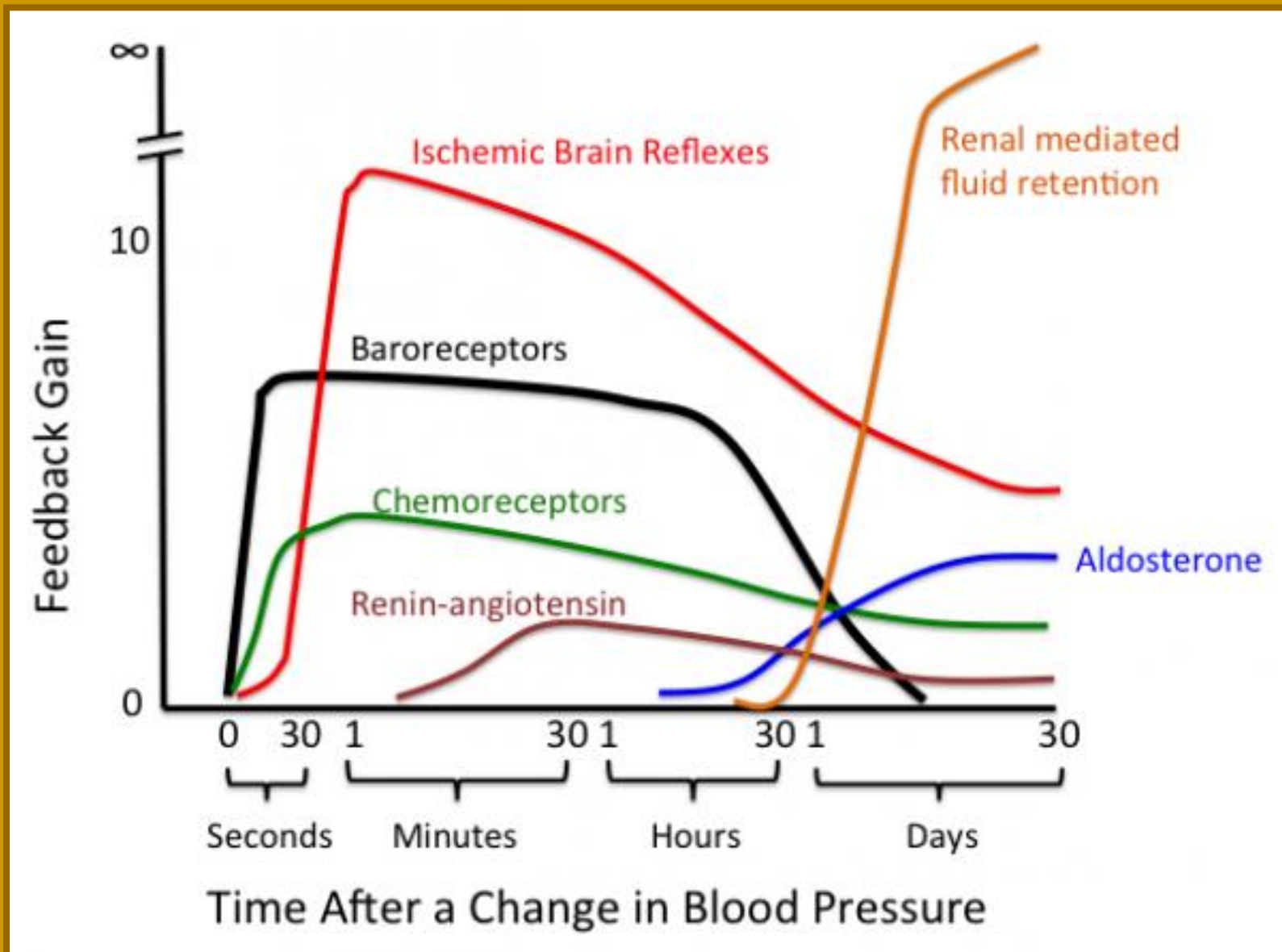


Podíl parasymptatické a sympatické regulace srdečního tepu

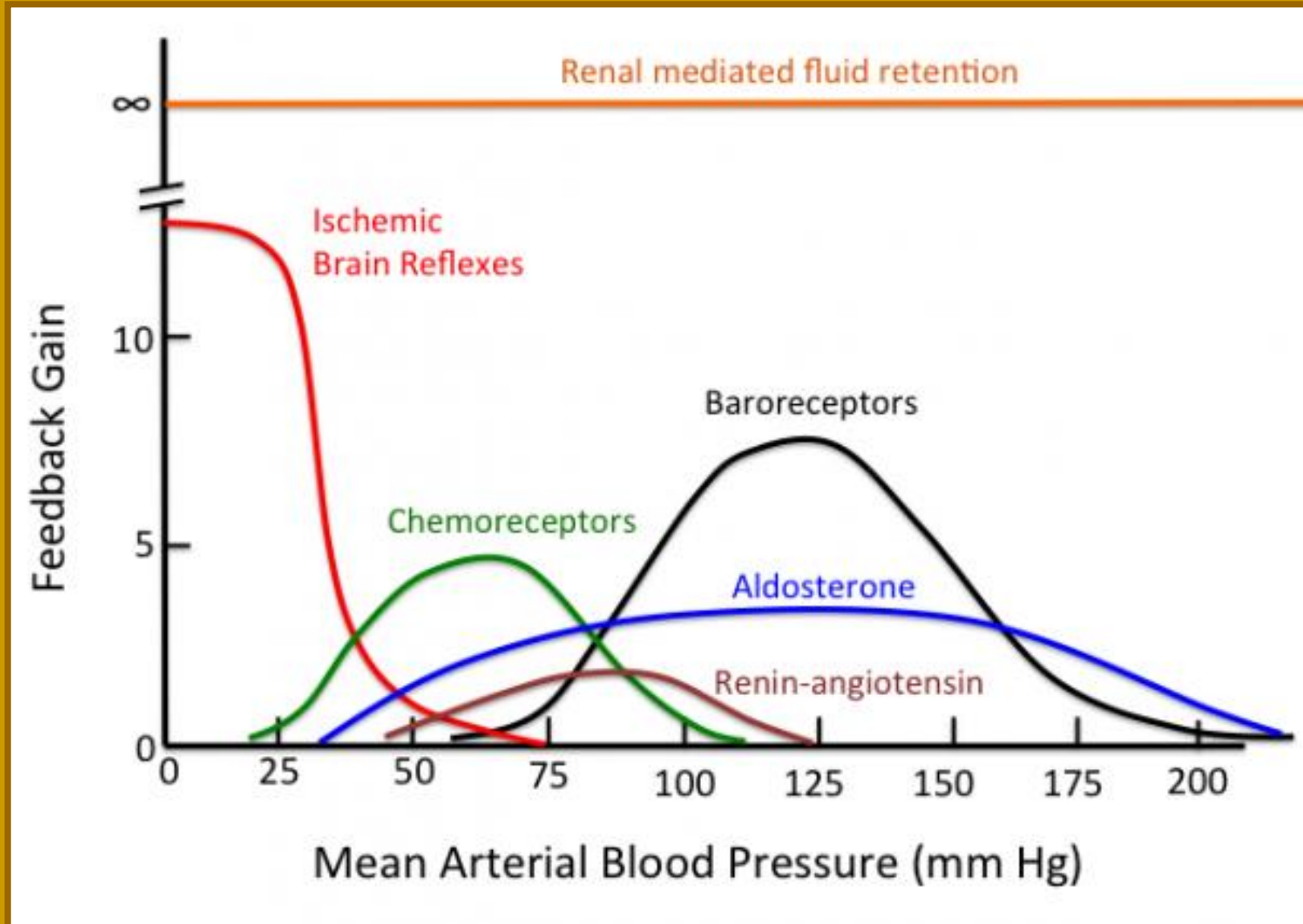
Ukázka účinku angitensinu na příjem Na iontů



# Časová dynamika zapojení jednotlivých regulátorů a senzorů při odpovědi na změnu krevního tlaku



# Úloha jednotlivých regulátorů a receptorů při odpovědi na změnu krevního tlaku



# Zapojení srdce v hormonální regulaci cévního systému a hospodaření s vodou

Cardiac distension  
Sympathetic stimulation  
Angiotensin II  
Endothelin

Atriální (A) a mozkový (B) natriuretický peptid

