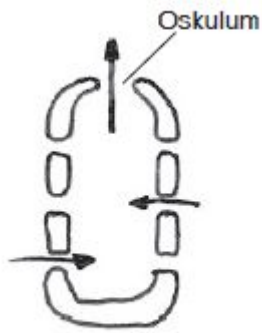
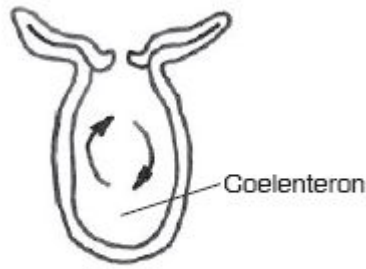


# CIRKULACE

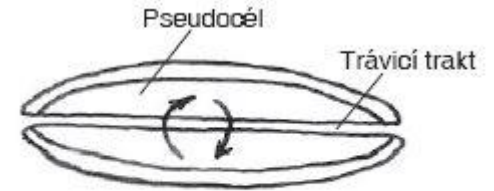
- Zajištění transportu a oběhu látek/živin, energie, tepla, regulačních informací, kontakt mezi buňkami/tkáněmi/orgány, hydrostatická funkce
- Nezbytné u mnohobuněčných, zvyšující se nároky s rostoucí složitostí organismů (strukturní i regulační)
  - **gastrovaskulární cirkulace** (*Porifera, Cnidaria, Ctenophora*, někteří *Plathelminets*) + archeocyty (*Porifera*)
  - vývoj **cévních soustav**, lakuny, siny, cévy, s rostoucí složitostí požadavky na specializované pumpy = **srdce**
    - **otevřené cévní soustavy** (primitivnější, od *Arthropoda* výše)
    - **uzavřené cévní soustavy** (pokročilejší)



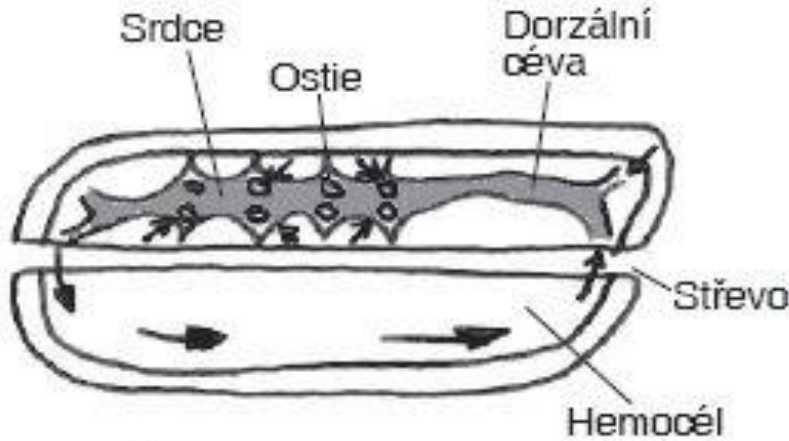
a) Houbovci



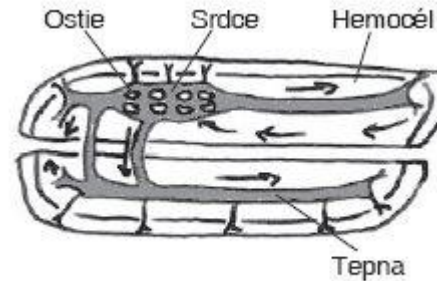
b) Žahavci



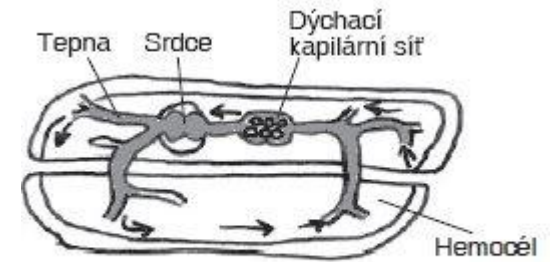
c) Hlístice



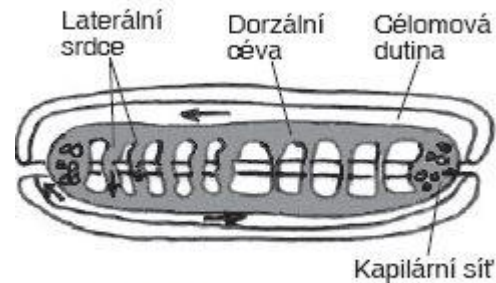
d) Hmyz



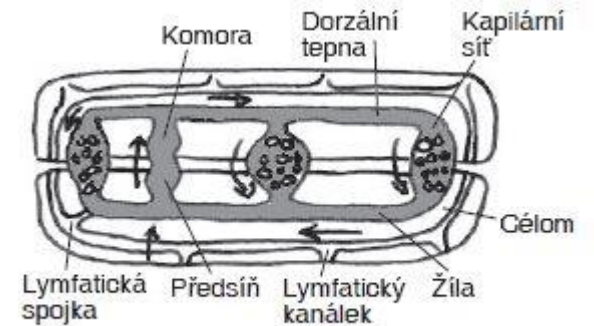
e) Korýši



f) Měkkýši



g) Kroužkovci



h) Savci

# KARDIOVASKULÁRNÍ SYSTÉM

Terminologie cév vychází z jejich polohy vůči srdci, funkce, a orgánů které spojují

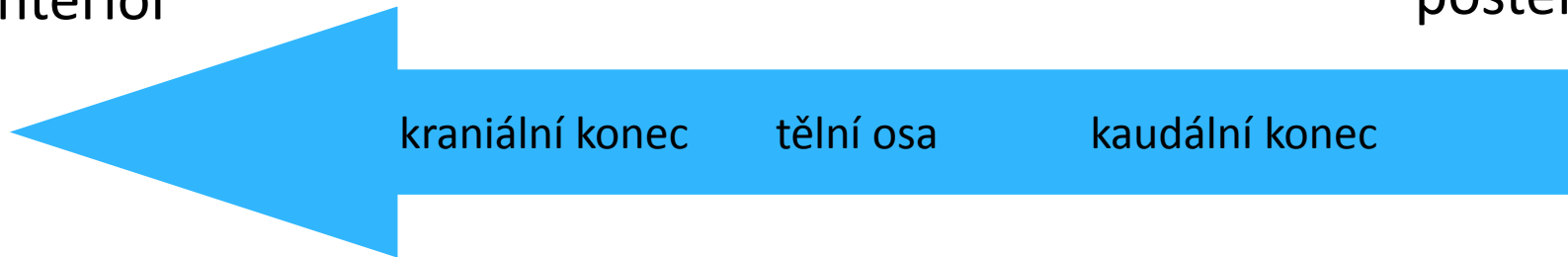
sinistra x dextra  
vlevo x vpravo

ascendens - vzestupný

descendens - sestupný

anterior

posterior



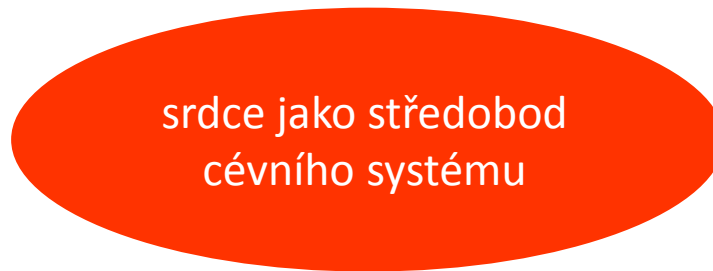
kraniální konec

tělní osa

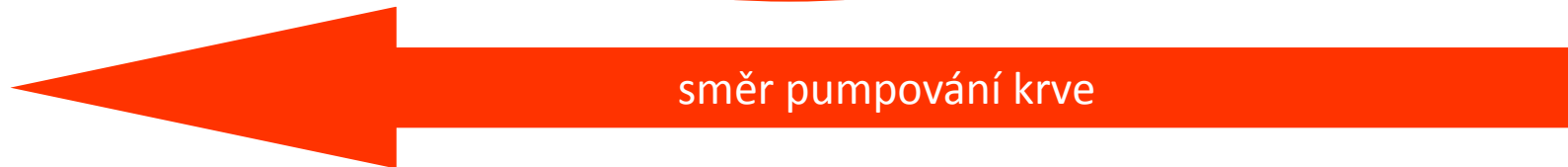
kaudální konec

prekardinální-

postkardinální-



srdce jako středobod  
cévního systému



směr pumpování krve

arterie

veny

# Otevřená cévní soustava

- Nosné médium – **Hemolymfa** (jediná tělní tekutina, analogie s krví/tkáňovým mokem, buňky - hemocyty)
- Pohyb zajištěn srdcem, distribuce různě vyvinutými cévami, lakunami, siny
- Složitost a struktura v korelaci s vývojem dýchací soustavy, často pomocná srdce/pulsující orgány
  - nižší korýši, redukce, *Cladocera* jen srdce, *Copepoda* bez srdce
  - vyšší korýši (žábry) a pavoukovci (plicní vaky) dobře vyvinuté cévy
  - hmyz s trachejemi, cévy značně redukované

---

## Rozdíly proti uzavřené cévní soustavě

- Malý rozdíl mezi systolickým a diastolickým tlakem
- Malý periferní odpor, malá srdeční aktivita i výkon
- Proudění hemolymfy není plynulé
- Menší celková plocha styku tkání a hemolymfy = horší podmínky pro výměnu látek
- Celkově transport méně energeticky náročný, ale také o to méně výkonný

Nejdokonalejší cévní systém u bezobratlých s téměř uzavřenou cévní soustavou mají hlavonožci

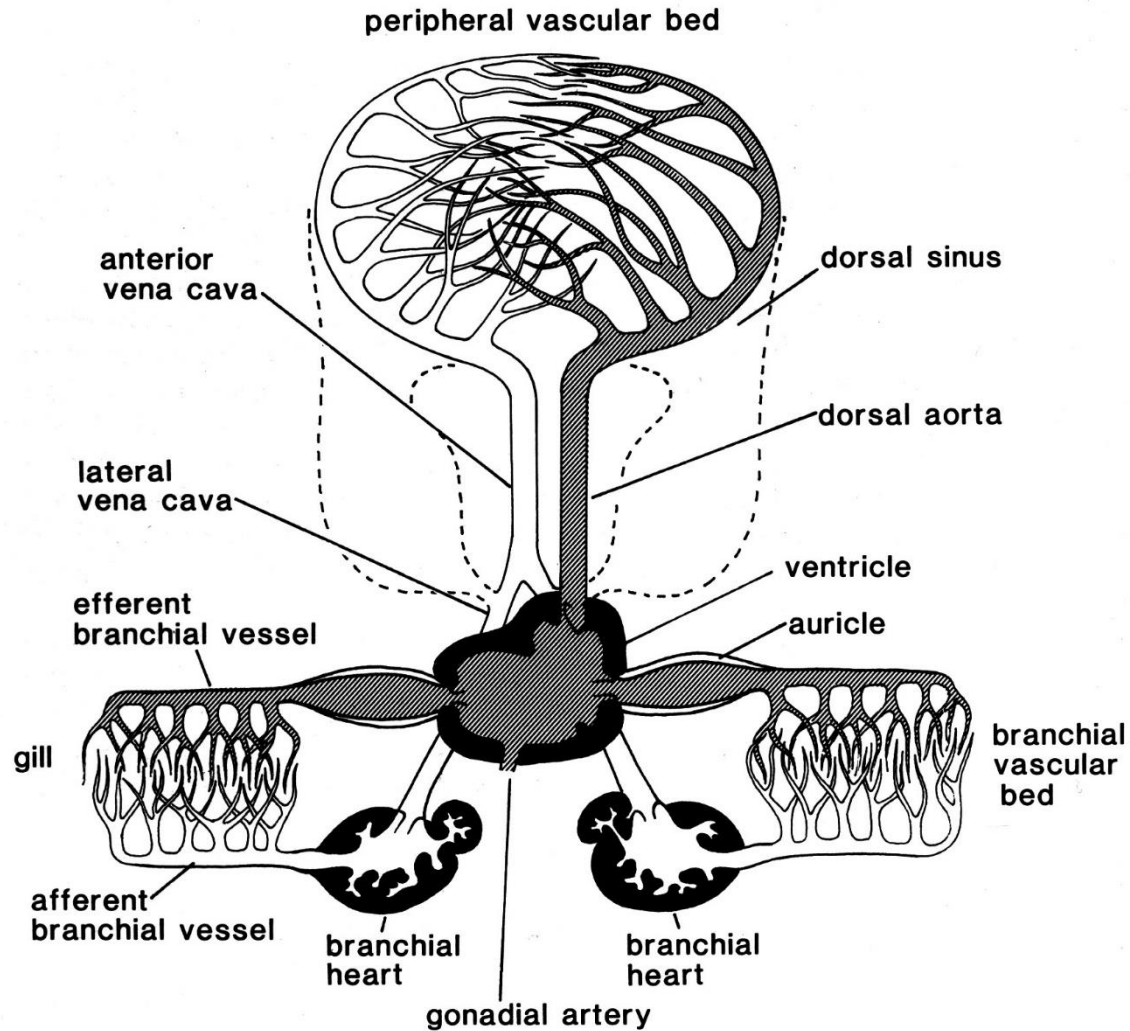
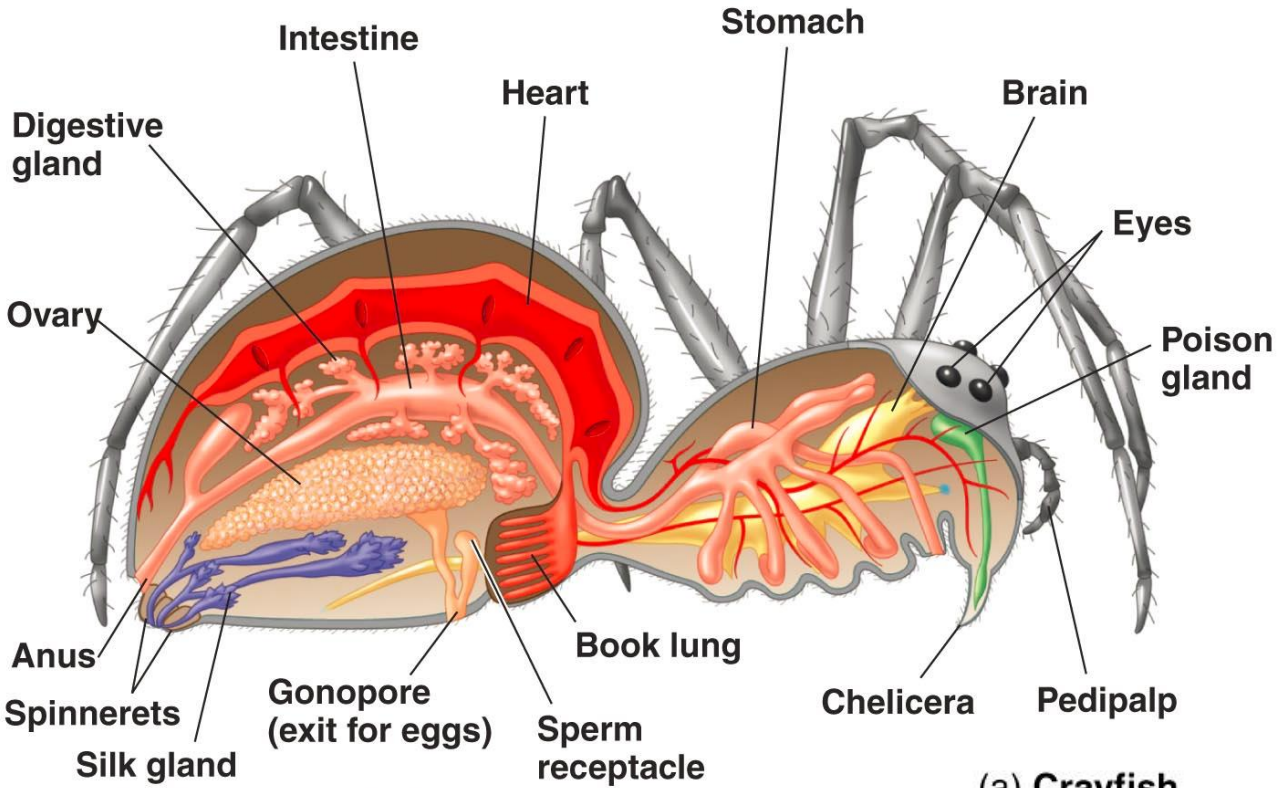
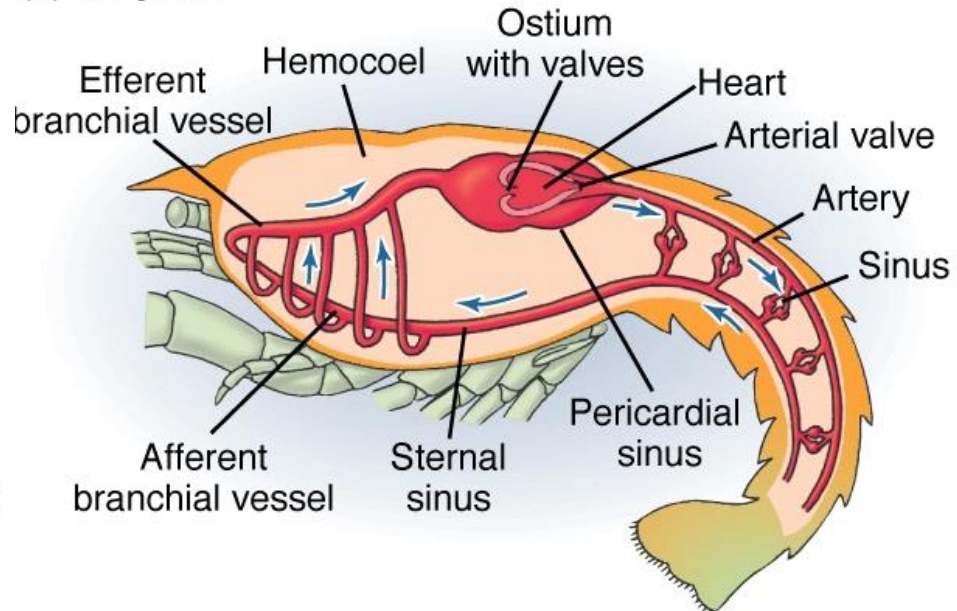
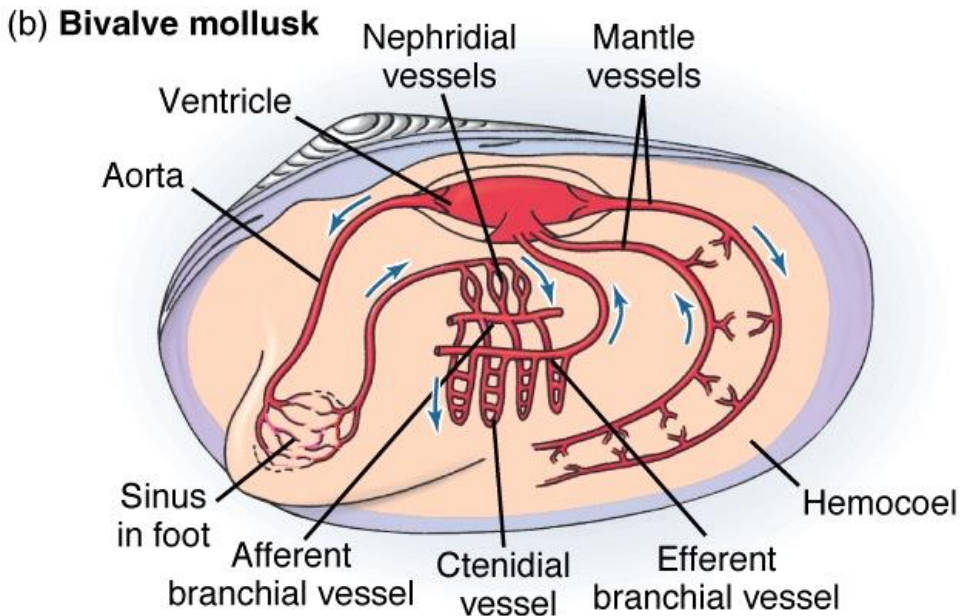


Fig. 6 Generalized cephalopod circulatory system (after Smith & Boyle 1983).



Další příklady otevřených cévních soustav

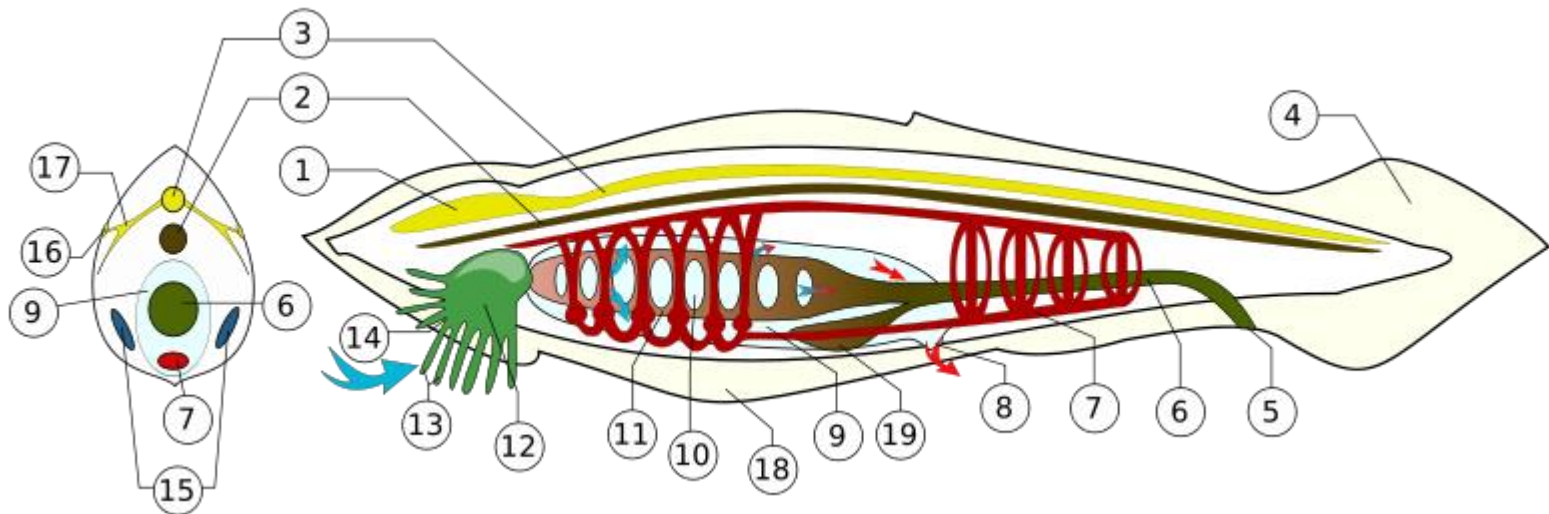
(a) Crayfish





# Uzavřená cévní soustava

- Oddělení tkáňového moku (tekutina tvořící prostředí buněk) od krve uzavřené v síti cév
- Krev nekomunikuje s buňkami v tkáních přímo, ale přes stěny kapilár (tvořeno buňkami endotelu)
  - => systém vyžaduje relativně velký tlak => výkonná pumpa / **SRDCE**
- Výjimka kroužkovci a pásnice – kontrakce větších cév
- Dokonale uzavřená cévní soustava – OBRATLOVCI, první kopínatec
  - (srdce není, stažitelné orgány na bázi žaberních cév)
- Tendence oddělit odkysličenou od okysličené krve – dva okruhy malý plicní a velký tělní, požadavky na 4dílné srdce (ptáci & savci)



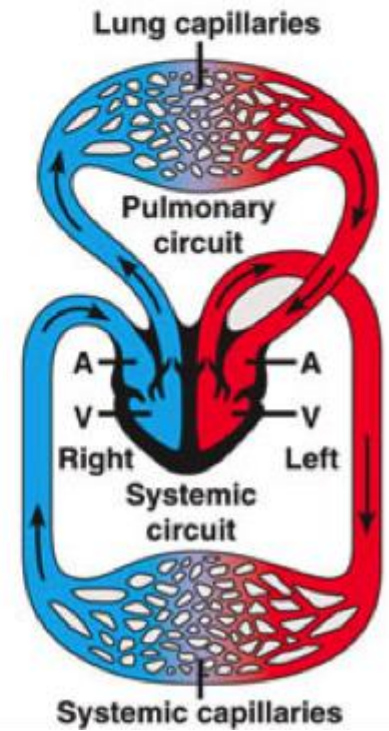
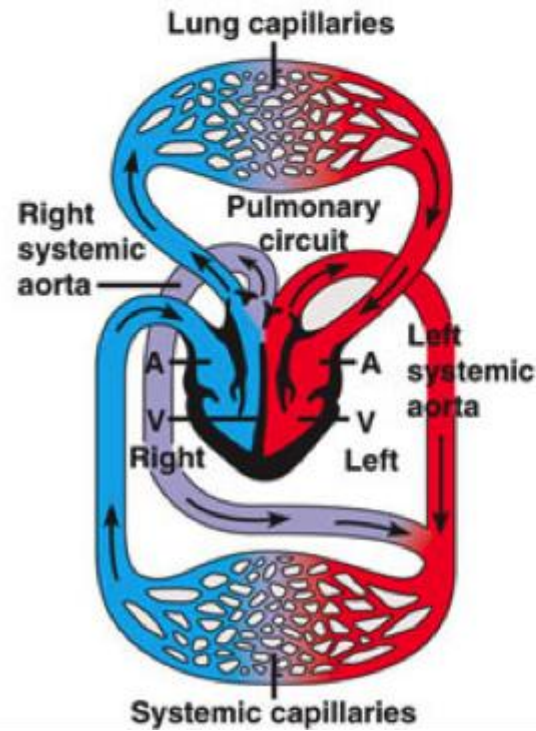
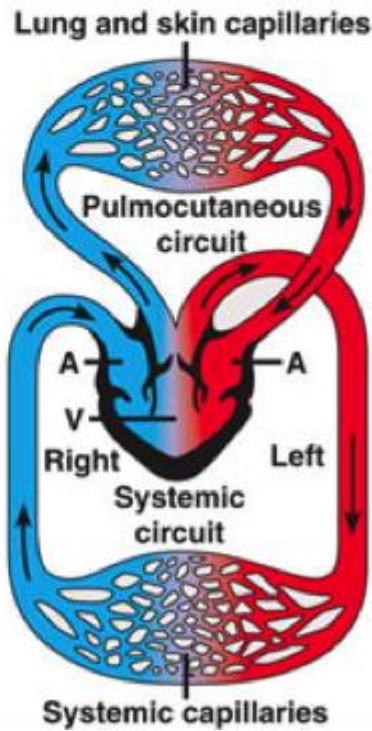
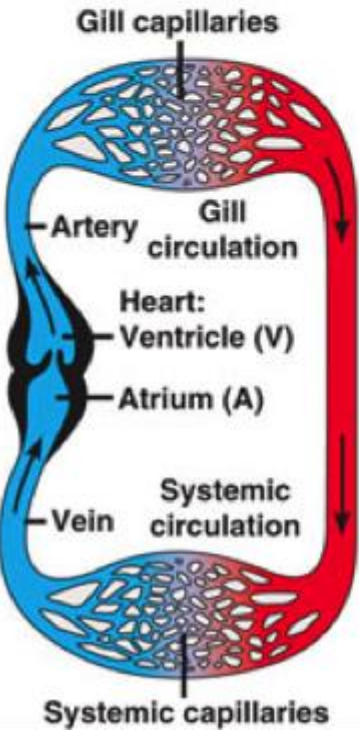


FISH

AMPHIBIAN

REPTILE

MAMMAL OR BIRD





# SRDCE

Velikost srdce se odvíjí od způsobu života organismu a aktivity jedince

- aktivnější, větší požadavky na cirkulaci => větší a výkonnější srdce

## Srdeční automatice

- rytmické stahy – **systoly** a uvolnění/klid - **diastoly**

**Neurogenní srdce** – podobné kosternímu svalu, aktivace vnější, nervová stimulace

(korýši, pavoukovci, některý hmyz, lymfatická srdce obojživelníků a ryb)

**Myogenní srdce** – pacemaker (udavatel rytmu) a automatice

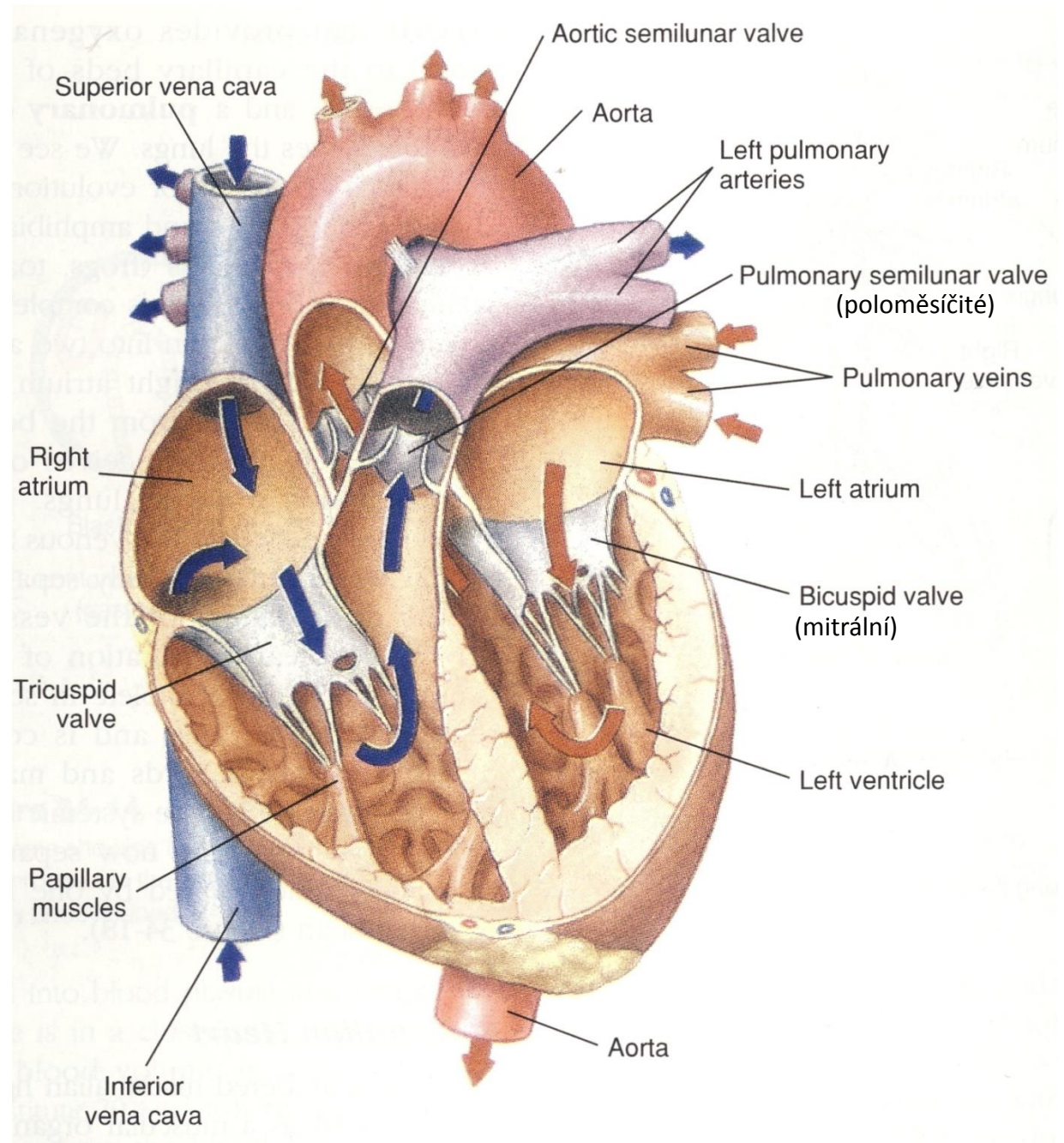
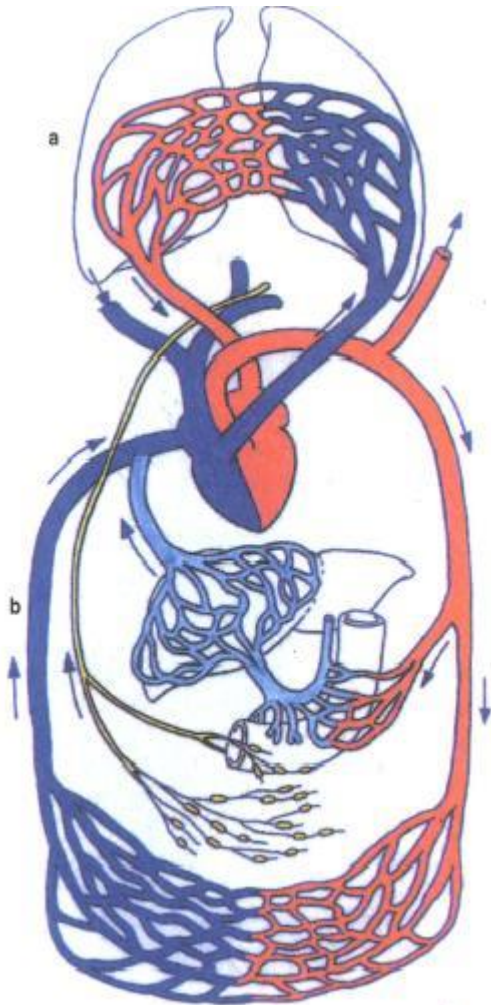
(pláštěnci, plži, některý hmyz a obratlovci), i myogenní srdce ale podléhají hormonální a nervové regulaci.

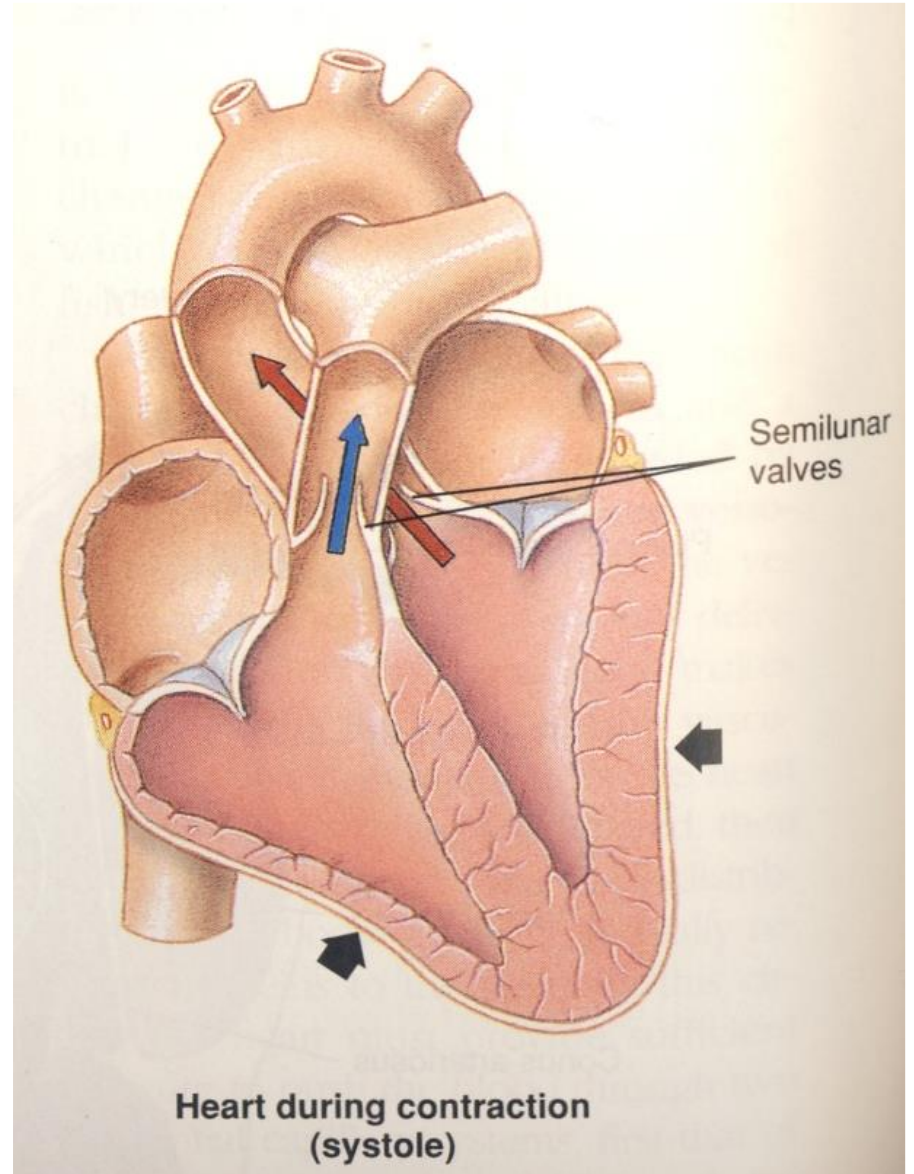
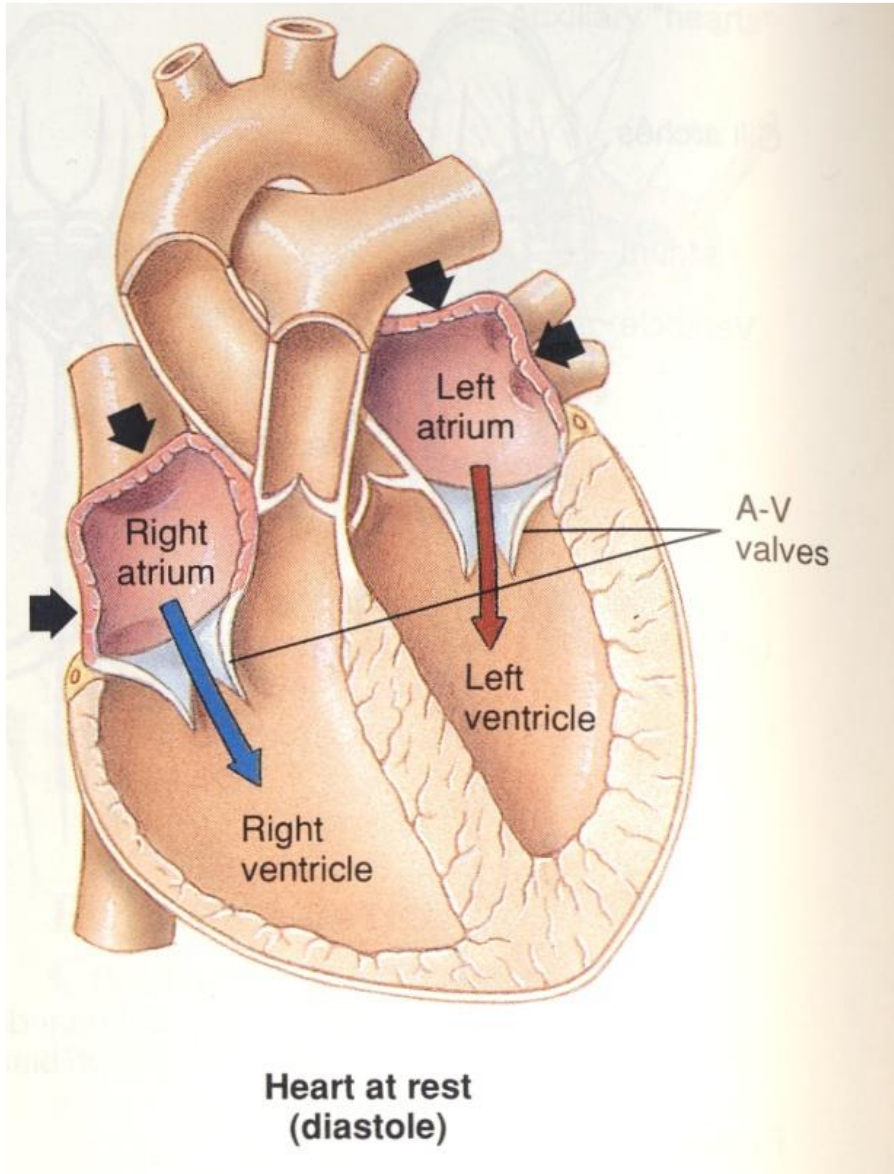
Tepová frekvence u obratlovců klesá s rostoucí velikostí,

nižší frekvence = bradykardie

vyšší frekvence = tachykardie

# Srdce savců



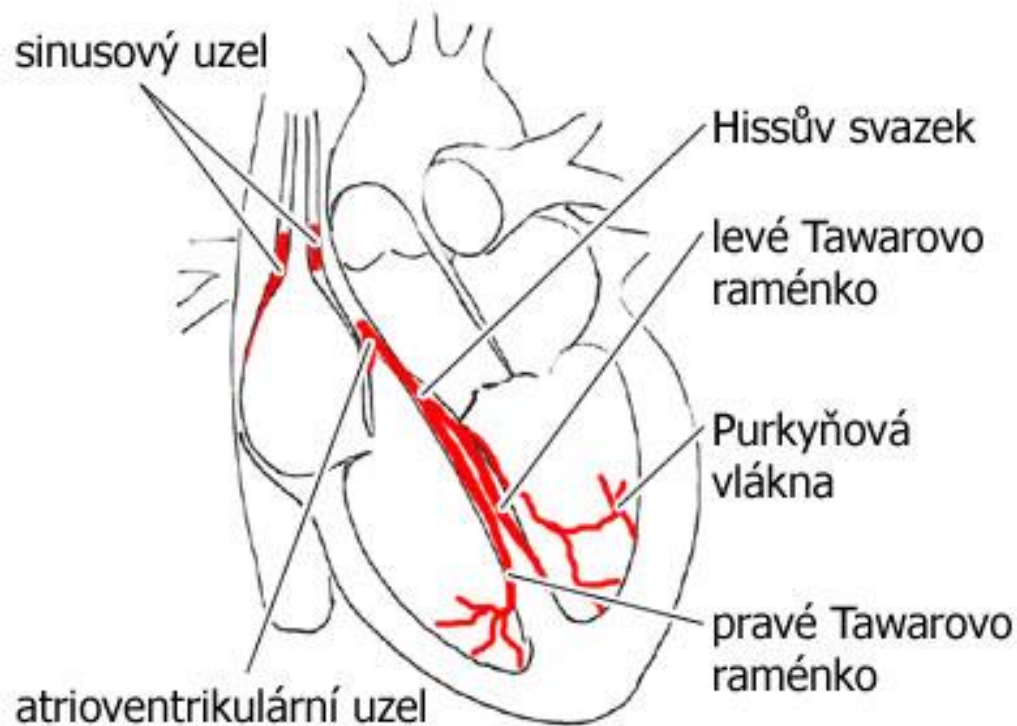




# Elektrická aktivita srdce

## Srdeční převodní soustava

- specializovaná svalová vlákna schopná generovat a vést vzruch, stažitelnost ale omezená
  - Nejsou motorické jednotky -> odpověď vše nebo nic
  - Nelze téměř regulovat sílu stahu, není sumace jak u kosterního
- ochrana před tetanickým sevřením a snížení rizika fibrilací (velmi rychlé a chaotické povrchní stahy)



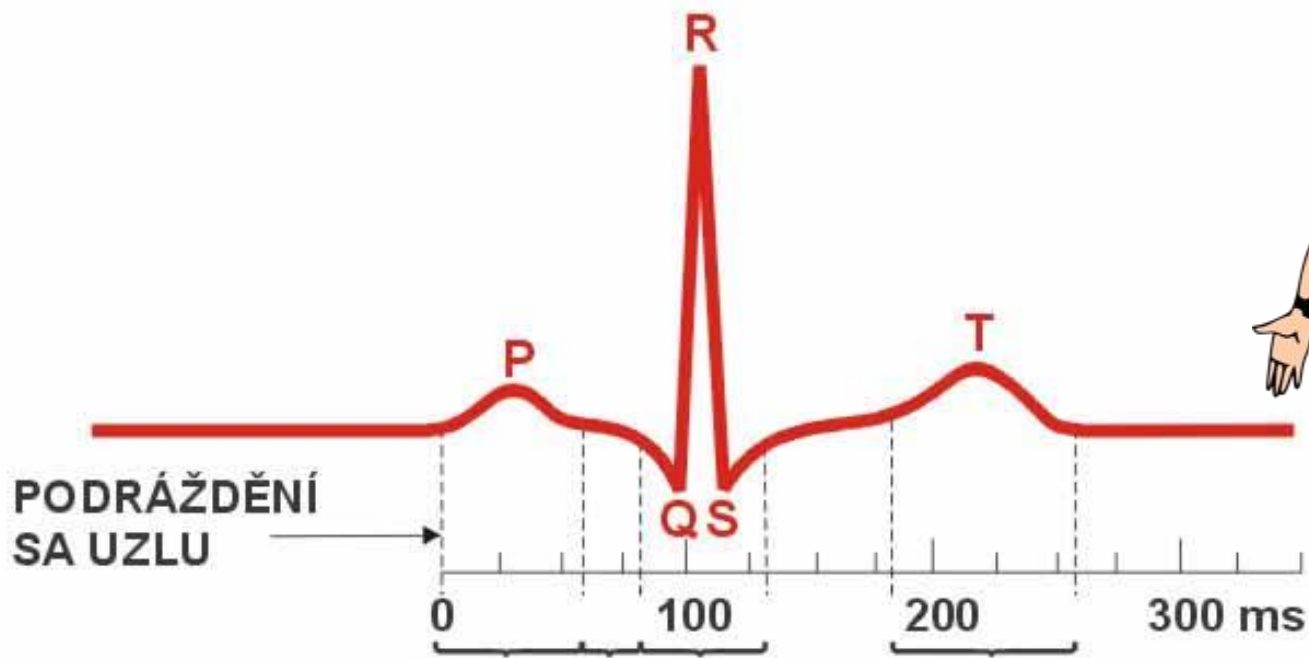
## Myokard – srdeční sval

1. Dráždivost – vše nebo nic
2. Automacie (myogenní a neurogenní kontrola)
3. Rytmicita
4. Vodivost – gap junctions (nexus) – syncitium
5. Neunavitelnost

Savčí a ptačí srdce – vazivo (nevodivé) mezi předsíněmi a komorami

=> atrioventrikulární uzel + Hissův svazek

**Elektrokardiogram** – sledování průběhu stahu a diagnostika/lokalizace poruch  
(Elektrokardiografie –**EKG**) (ischemické oblasti, infarkt. ložiska )



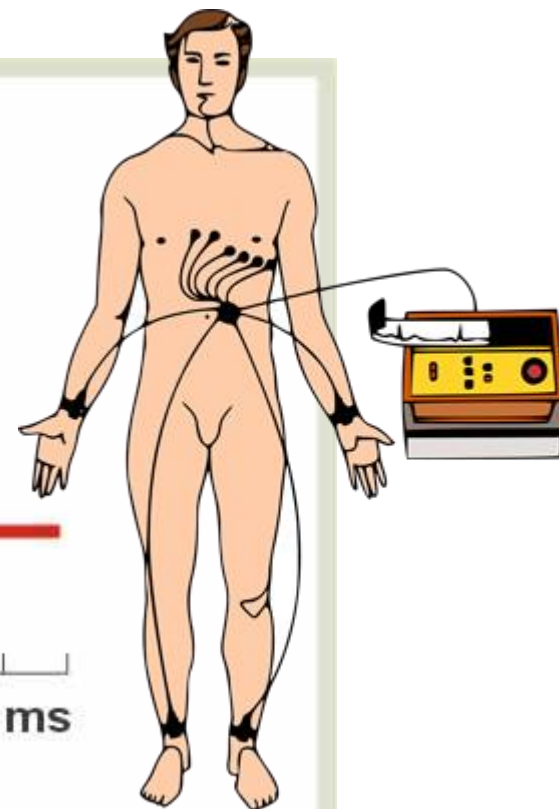
PODRÁŽDĚNÍ  
SA UZLU

DEPOLARIZACE SÍŇÍ

POMALÉ VEDENÍ

REPOLARIZACE KOMOR

RYCHLÁ REPOLARIZACE KOMOR



**Typický průběh EKG křivky**



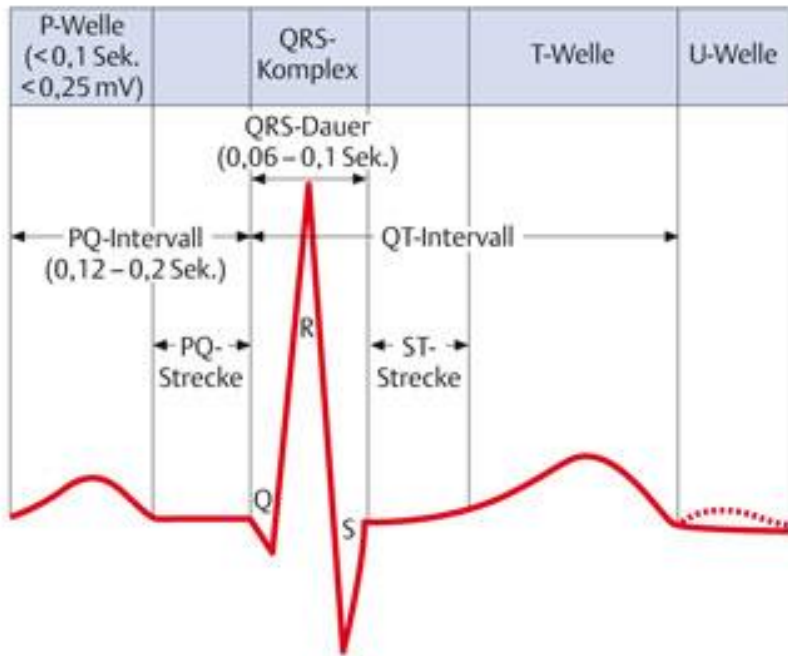


Abb. 3.5 Normales EKG.

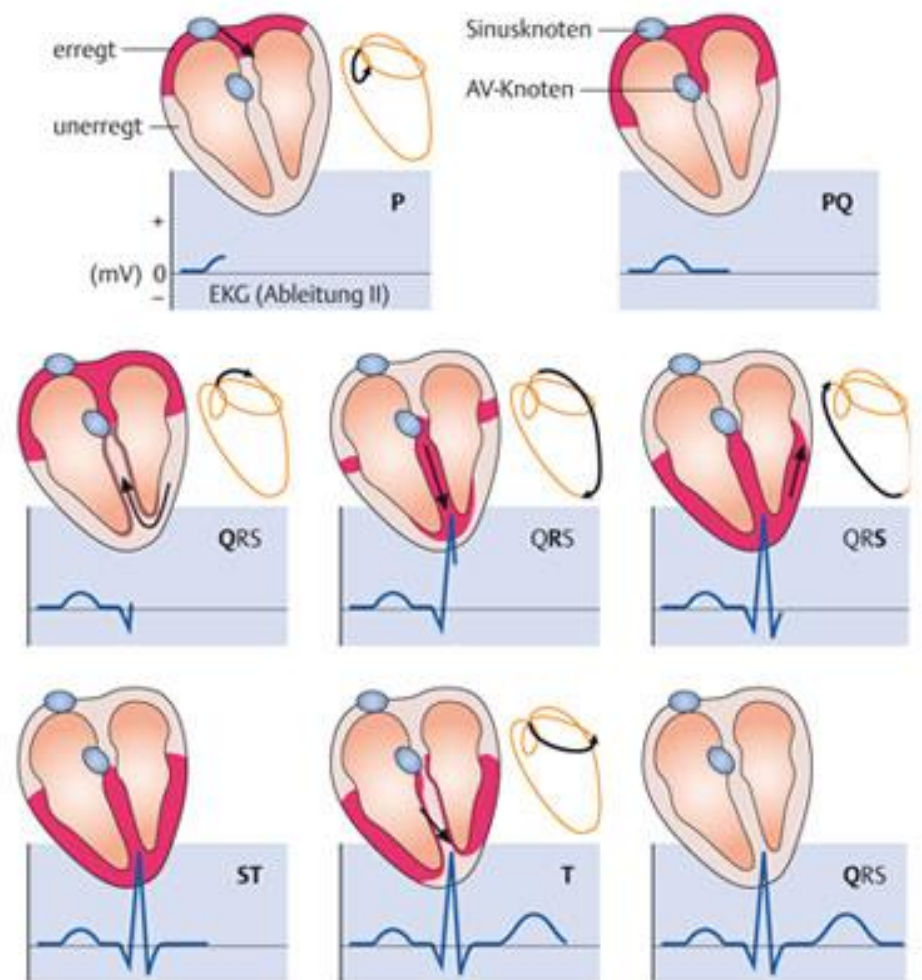


Abb. 3.6 Vorhof- und Ventrikel-erregung und die Entsprechung im EKG. Einzelheiten siehe im Text.

# Frekvence srdečního tepu a regulace srdečního výkonu

Frekvence je relativně stálá, druhově specifická, u teplokrevných koreluje s velikostí těla\* a stupněm ontogenetického vývoje. Menší vyšší frekvence, než větší, mláďata větší frekvence než dospělí. U živočichů s proměnlivou teplotou těla, je frekvence celkově nižší\*\*

Frekvence závisí i na aktivitě organismu, jeho trénovanosti, tělesné teplotě

Výkon srdce – **minutový srdeční výkon** (MSV) = tepový objem x minutová frekvence  
(u člověka v klidu ~ 5L, při vysoké aktivitě až ~ 30L, tep až 220/minutu)

Regulace – **nervová** (vegetativní nervstvo), **humorální, celulární** (buněčná) \*\*\*

\* rejsci, kolibříci, malí netopýři,... > 600-1000 tepů za minutu; kytovci < 30 tepů za minutu

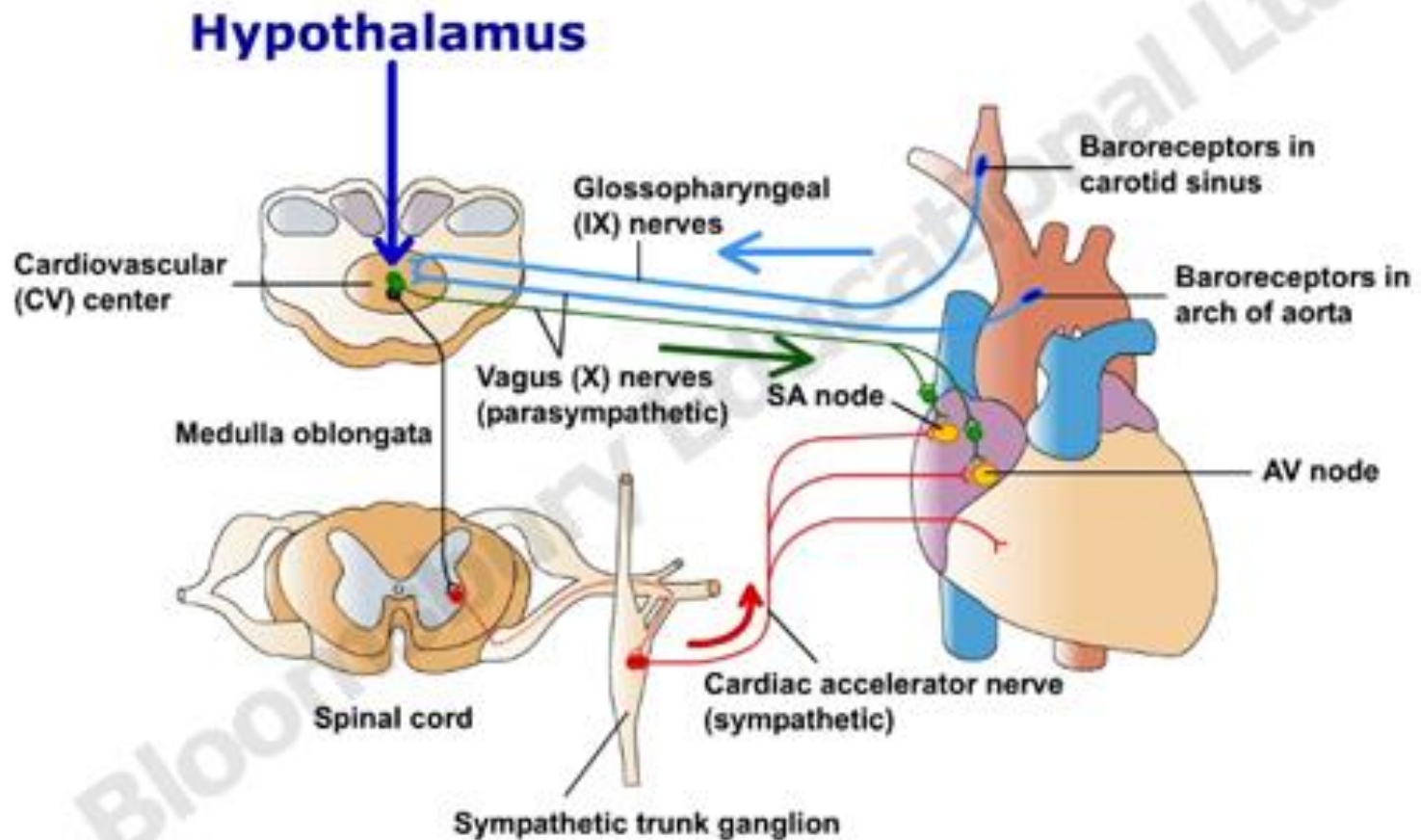
\*\* hibernanti hlavně celkovou průměrnou, série tepů

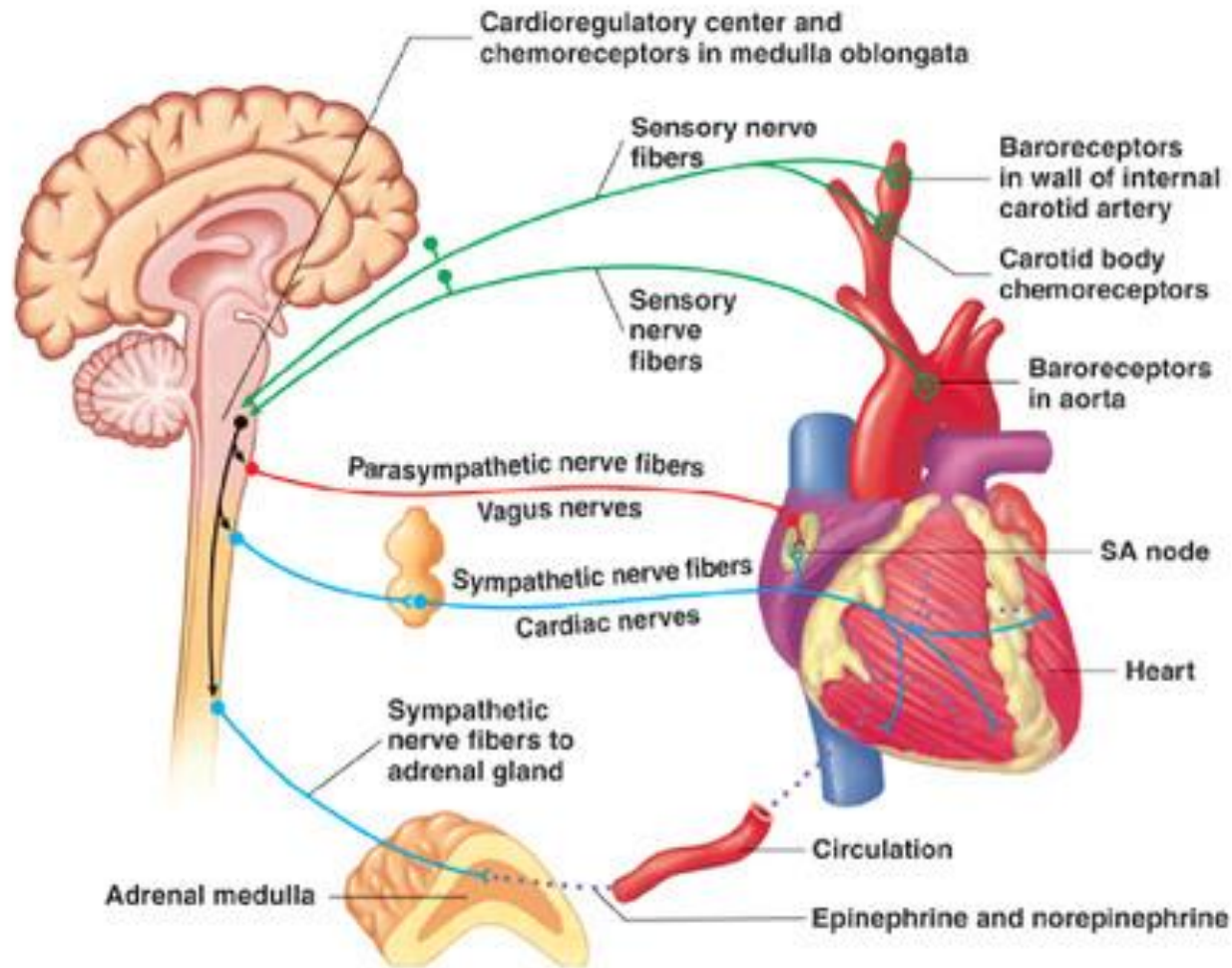
\*\*\* Starlingův zákon, čím víc se svalová vlákna natáhnou (diastola), tím větší silou se stáhnou (systola) => zvýšení jednotkového objemu vede k silnější kontrakci

/ vyšší systolický výdej

# Řízení krevního oběhu

## Regulation of heart rate and force





Hormonálně: Muscarinové receptory – acetylcholin

Adrenergní receptory – adrenalin / noradrenalin

(epinefrin / norepinefrin)

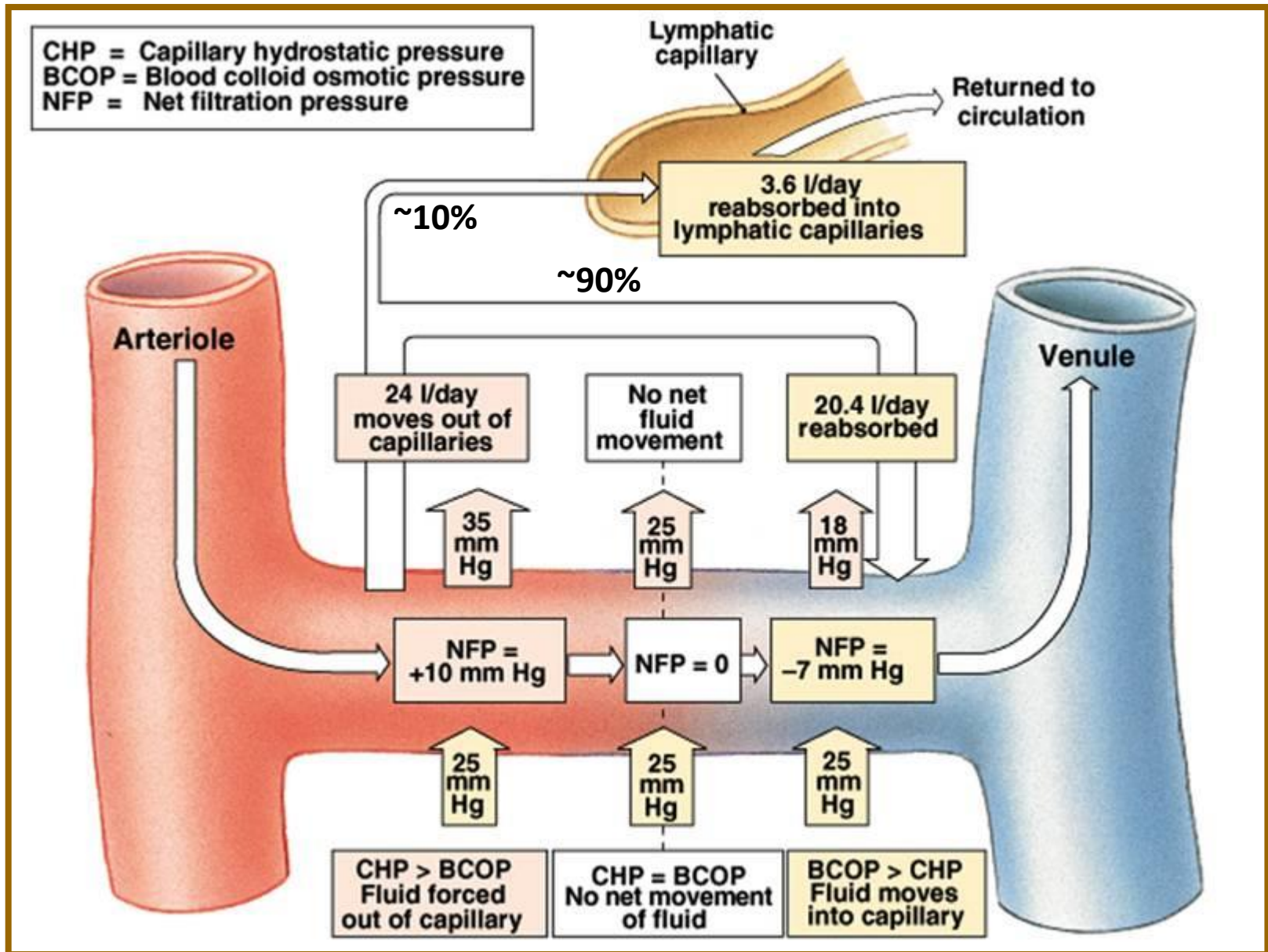
# Krevní tlak

- Tlak na stěny cév (myšlen ve velkých tepnách, blízko srdce)
- Má zásadní vliv na distribuci látek/živin (živiny, kyslík, metabolity, teplo..)
  - Vyšší tlak => účinnější transport (zvyšování při námaze, potřeba větší látkové výměny)
- Regulován
  - Srdečním výkonem/frekvencí (srdce může až téměř zdvojnásobit jednotkový objem)
  - Světlostí cév/periferním odporem
- S věkem se mění : snížení elasticity cév, snížení jejich průsvitu (aterosklerotické změny)\*  
    snížením výkonu srdce (např. ischemie a její následky) => pozitivní zpětná vazba)
- Význam i objem krve / tekutin
- Změny hlavně pod kontrolou recepce baroreceptorů a chemoreceptorů

\* Zejména lidoopi, sudokopytníci, hlodavci odolní (úloha věku?)

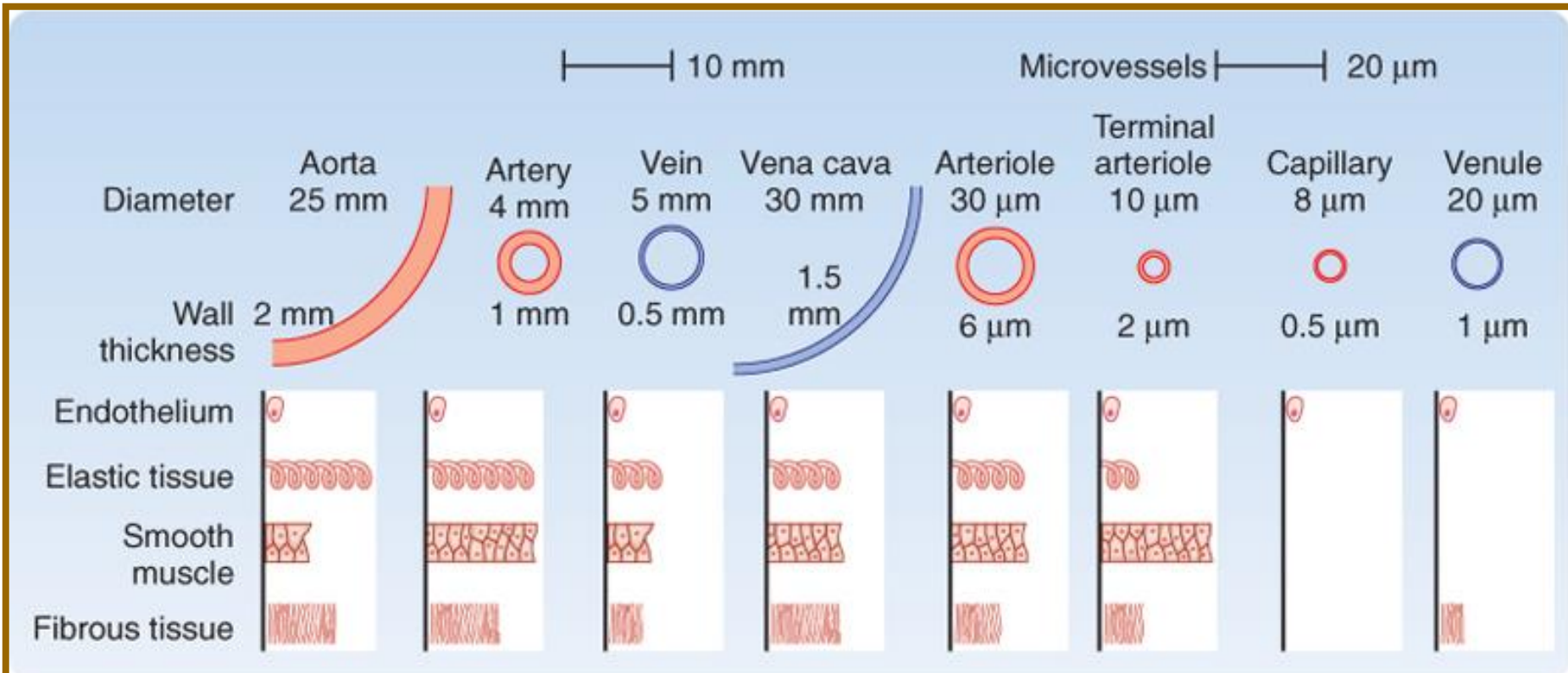


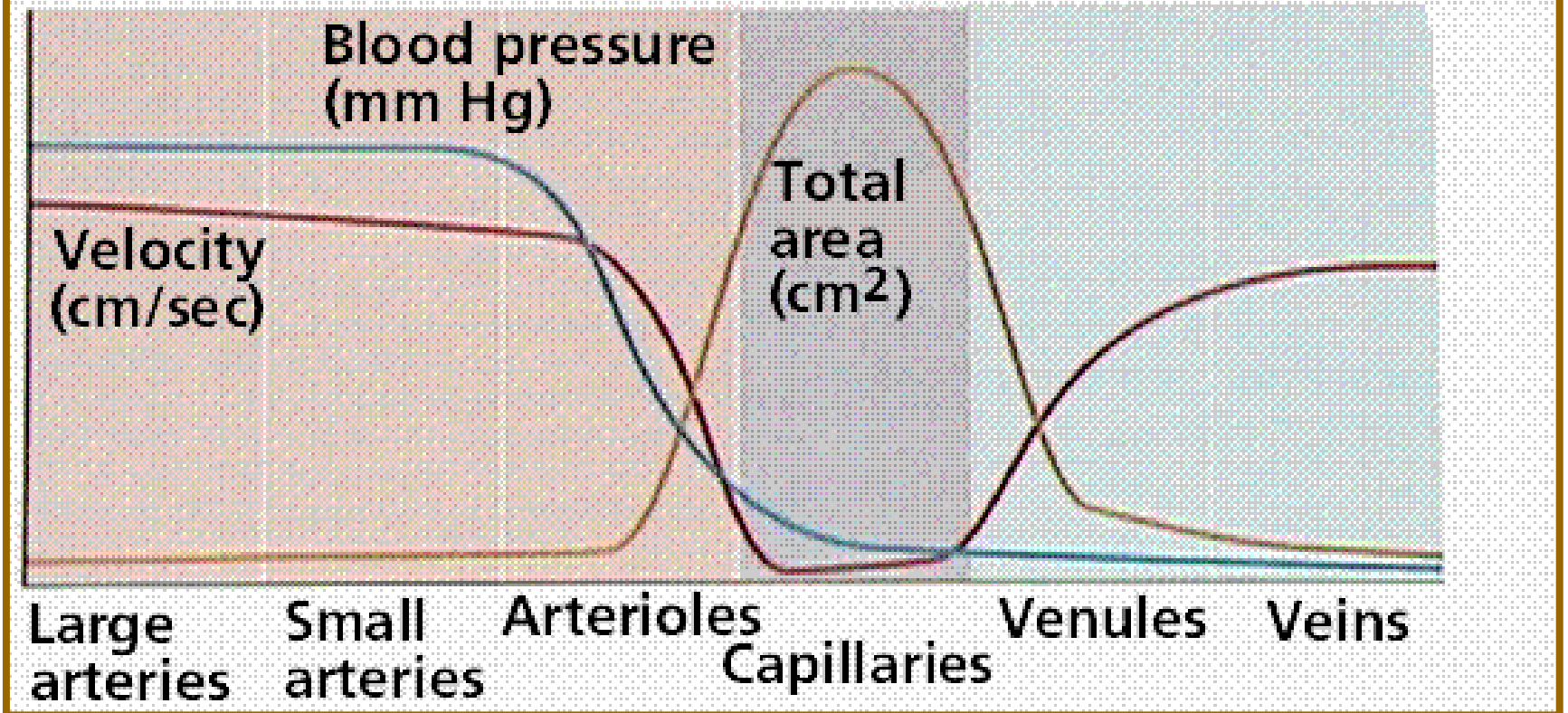
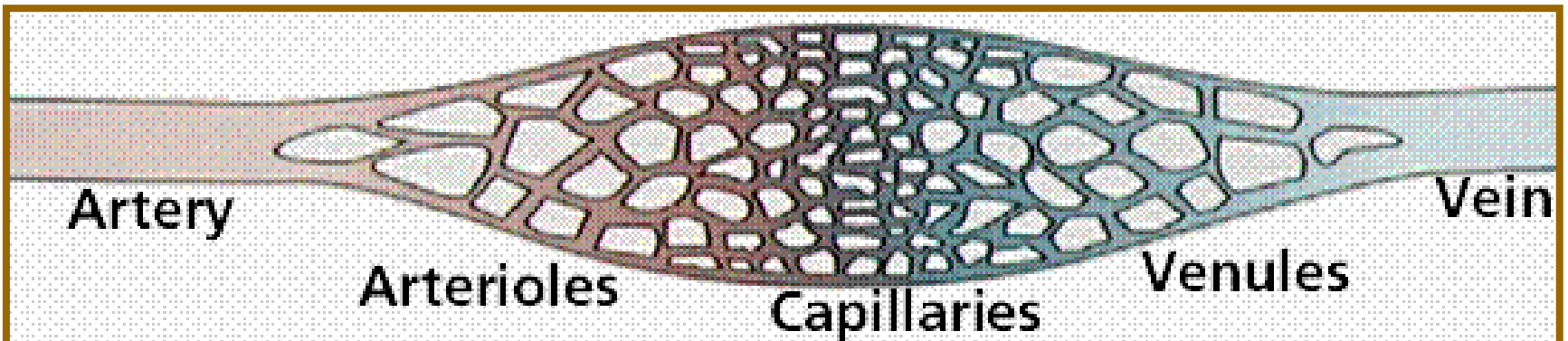
# Tlaky zprostředkovávající výměnu látek mezi cévami a okolím, výměna tekutin v kapilárách – hydrostatický x onkotický (osmotický tlak bílkovin) tlak



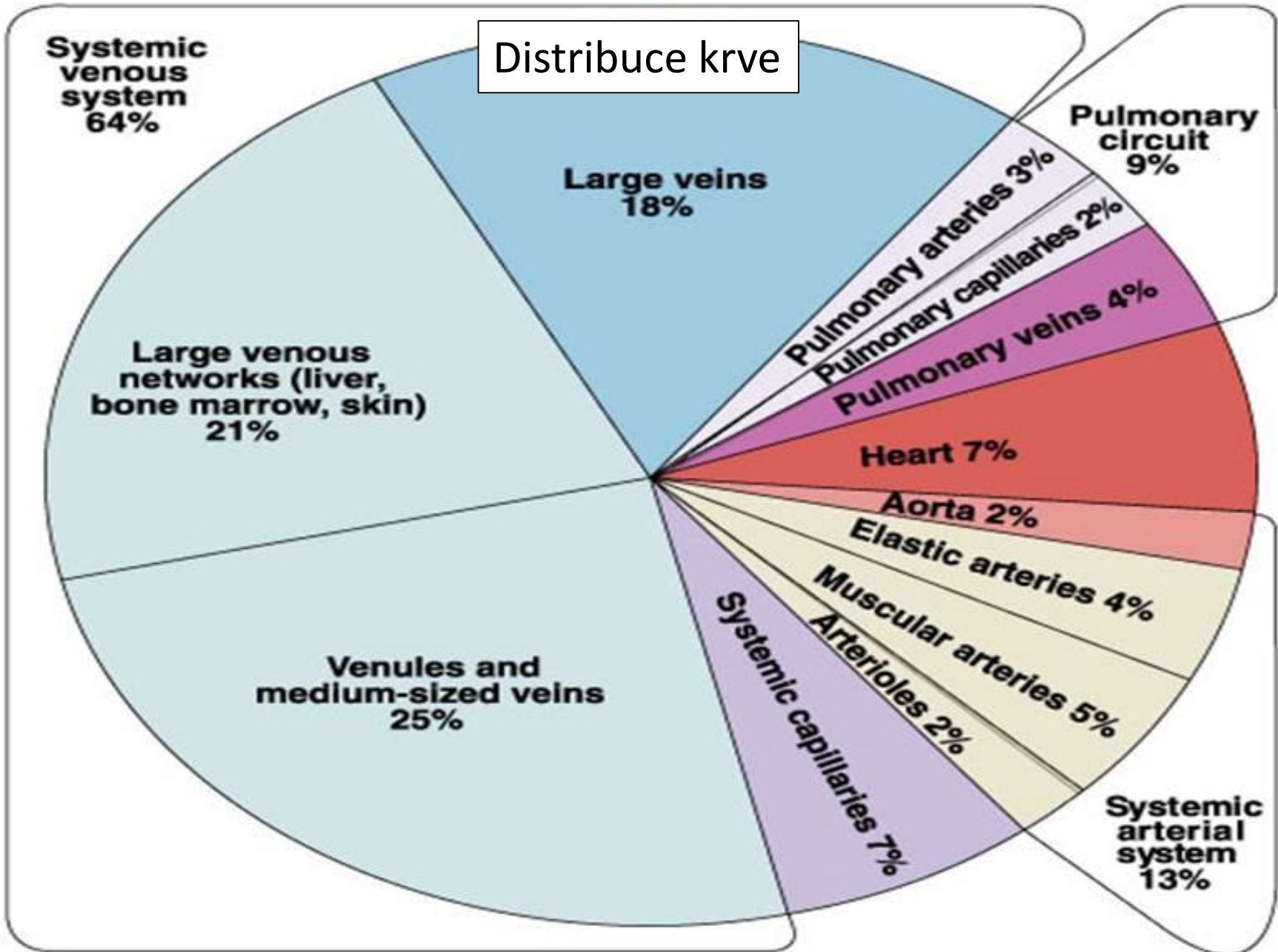
## Struktura arterií a vén, velmi podobná

- Arterie k danému průměru silnější stěna + více elastické tkáně → odolávají větším tlakům, pružnickový efekt → kontinuální proudění
- Vény (kapacitní cévy, reservoár), velké vény mají chlopně – bránění zpětnému toku krve
- Arterioly – velký podíl na periferním odporu (odporové cévy), vazomotorické řízení: vazodilatace x vazokonstrikce (okružní hladká svalovina + prekapilární svěrače)
- **Portální oběhové systémy:** vena – kapiláry – vena, portální žíla do jater z trávicího traktu, kapilární řečiště ledvin, portální oběh adenohipofýzy.

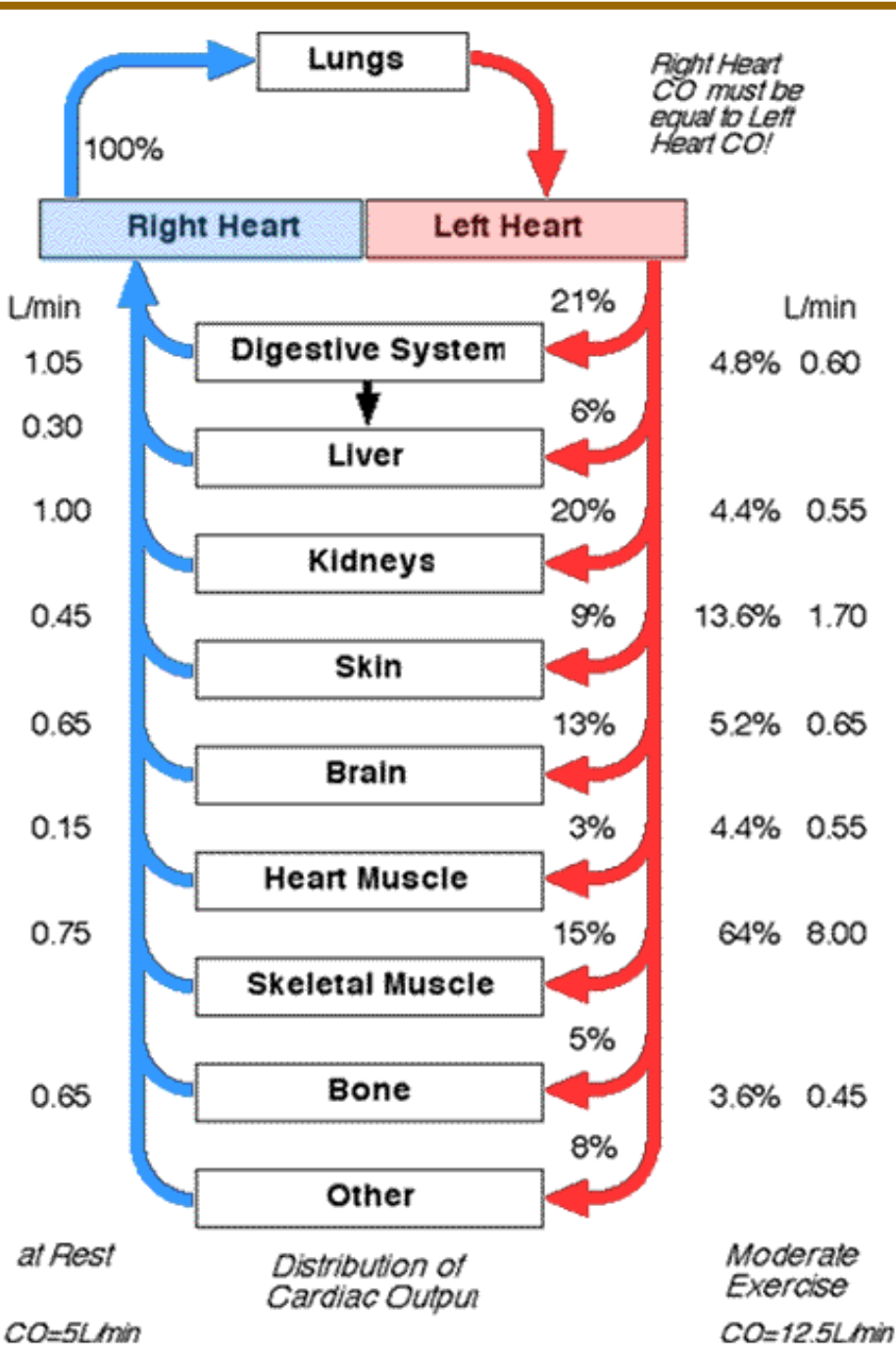




Distribuce krve





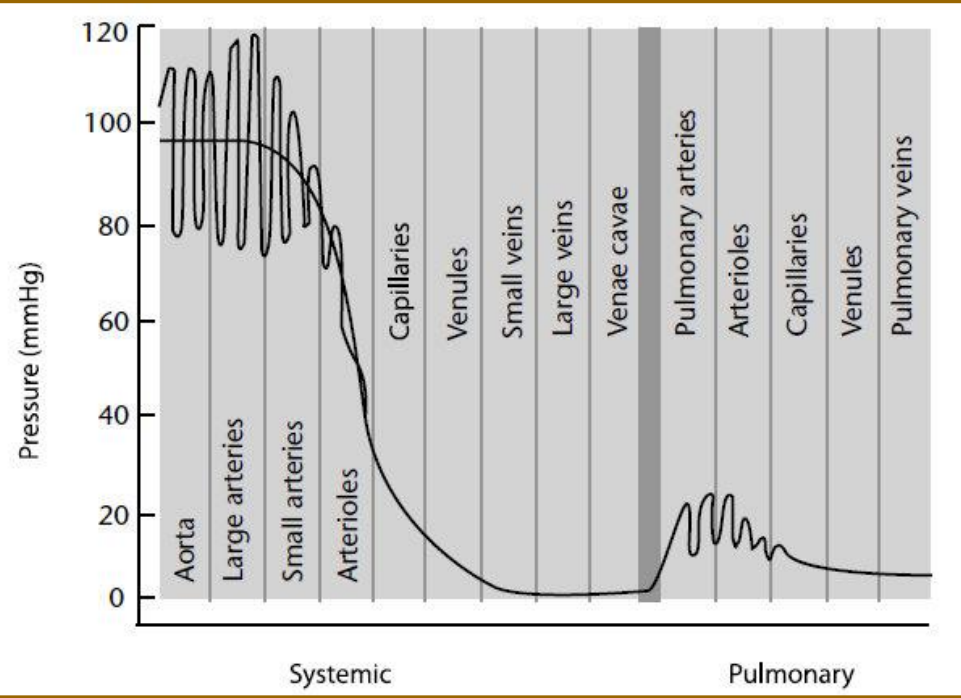


Distribuce krve u člověka (v klidu)

Minutový srdeční výdej (MSV)

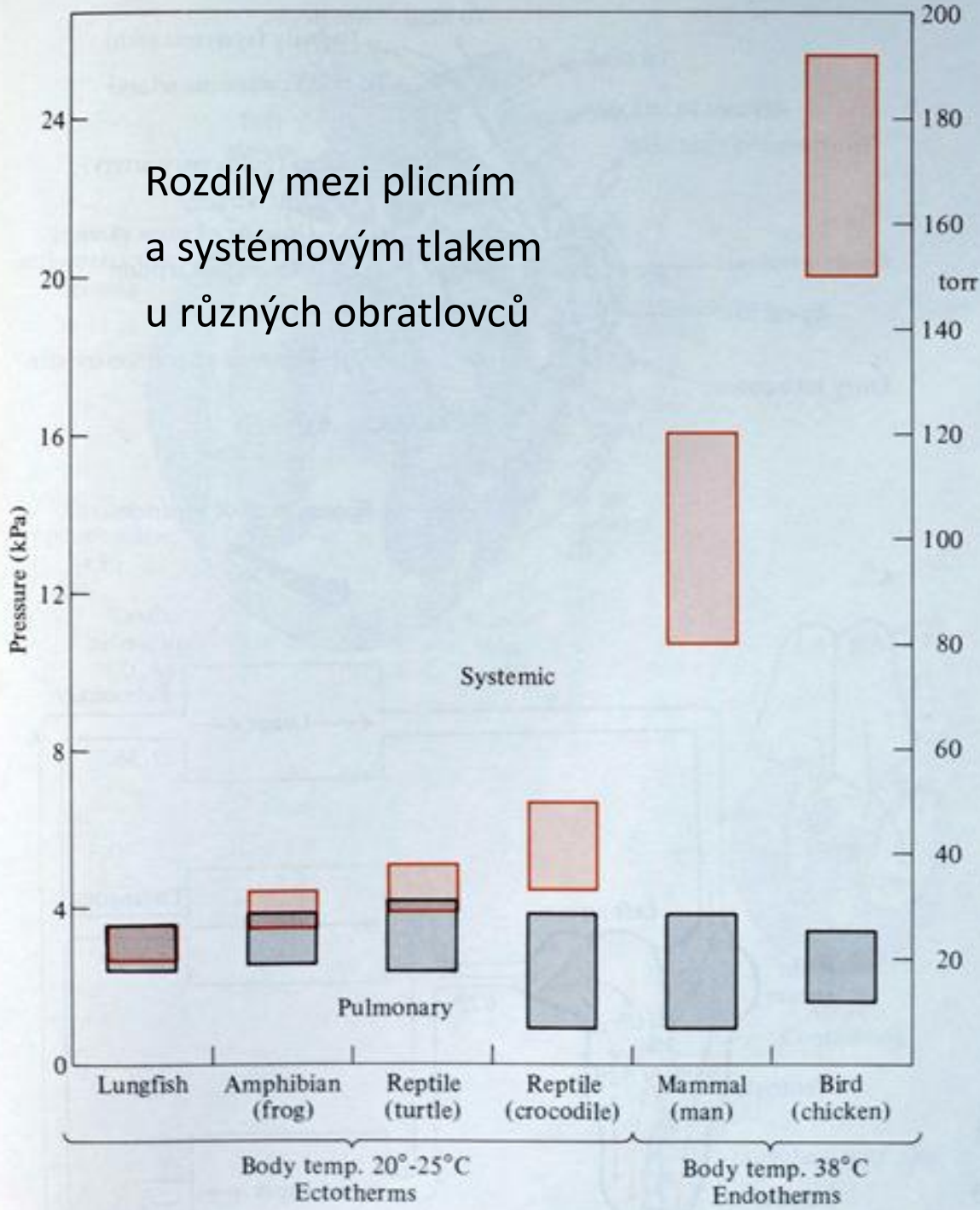
Velký oběh – rozděleno do tkání a orgánů

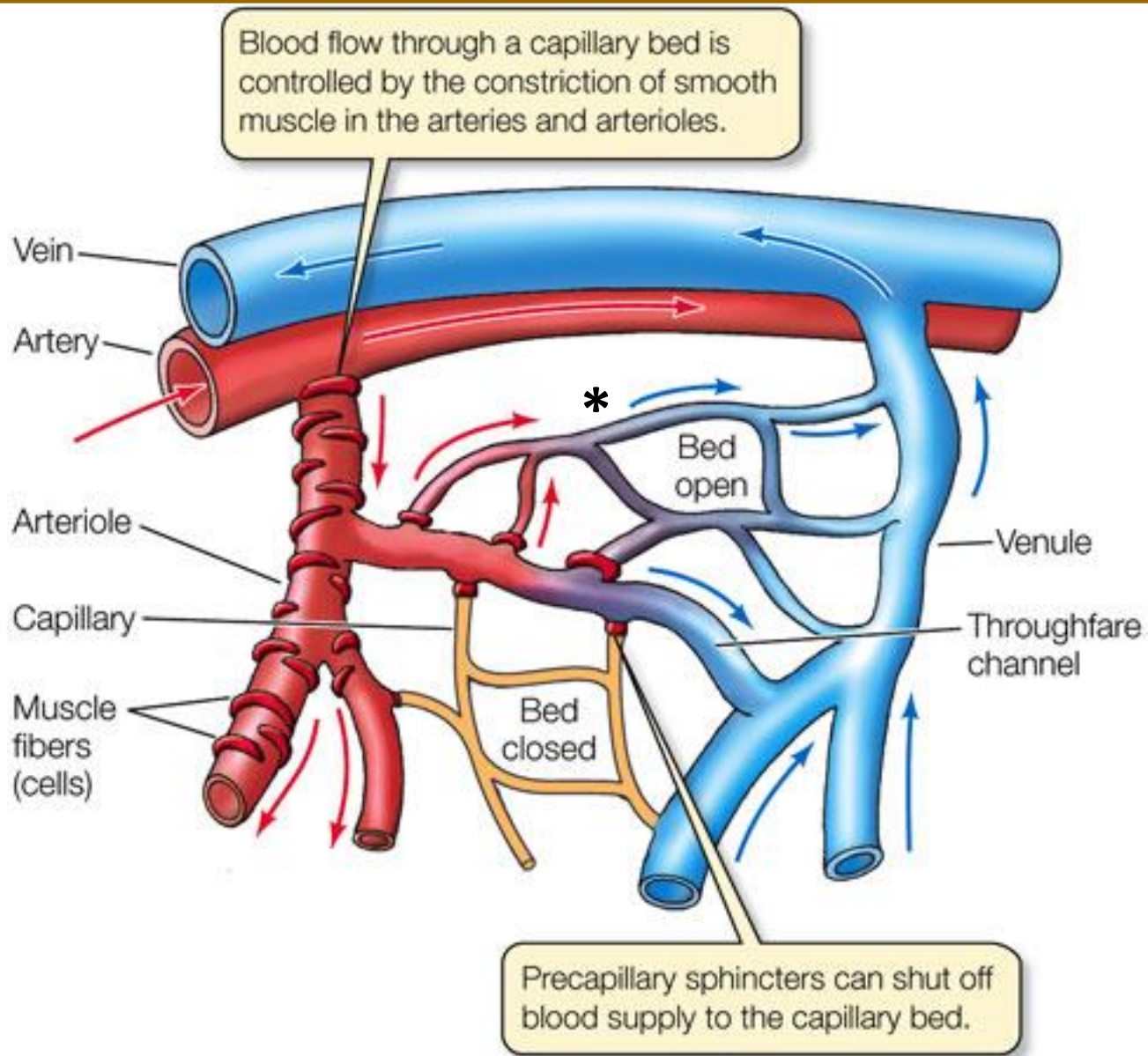
Malý plicní oběh – 100%





Rozdíly mezi plicním a systémovým tlakem u různých obratlovců





**LIFE 8e, Figure 49.16**

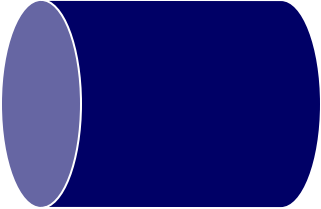

LIFE: THE SCIENCE OF BIOLOGY, Eighth Edition © 2007 Sinauer Associates, Inc. and W. H. Freeman & Co.

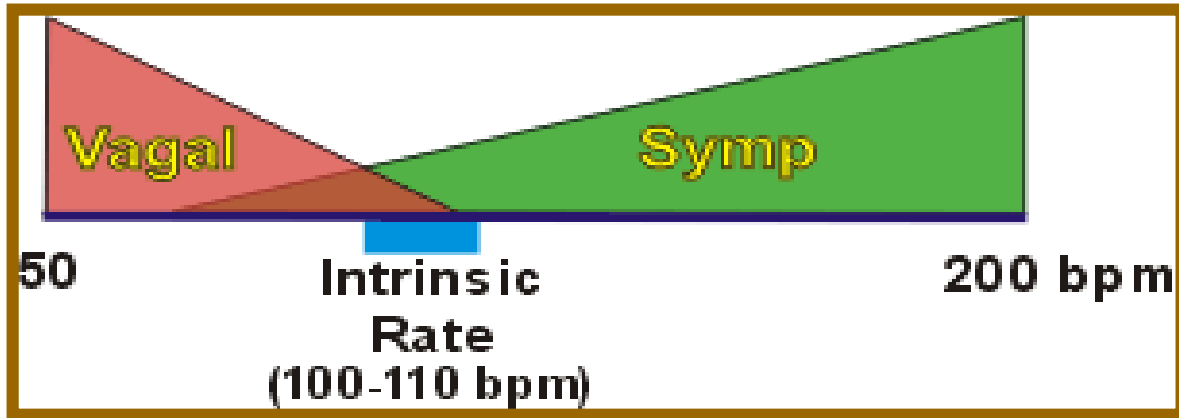
\* Zkratky – arteriovenózní anastomózy

# Regulace cévního průtoku

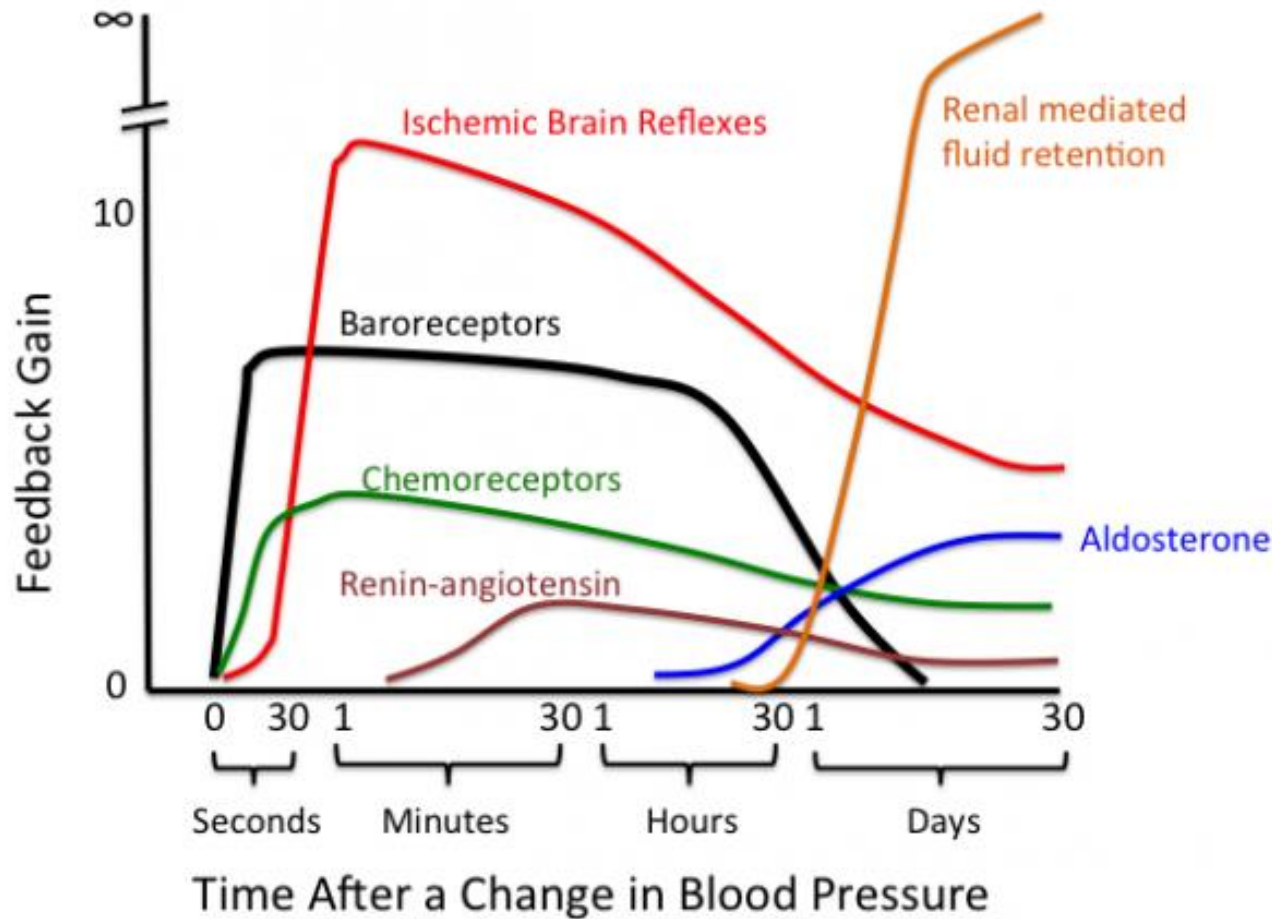
Myogenní autoregulace	Napětí cévní stěny aktivuje kationtové kanály - depolarizace - vazokonstrikce
Metabolická	Produkty metabolismu vyvolávají vazodilataci (CO <sub>2</sub> , AMP, ADP, H <sup>+</sup> , kyselina mléčná)
„shear“ dependentní („tření/smýkání“ krve o endotel)	Vazodilatace zprostředkovaná 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

# 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



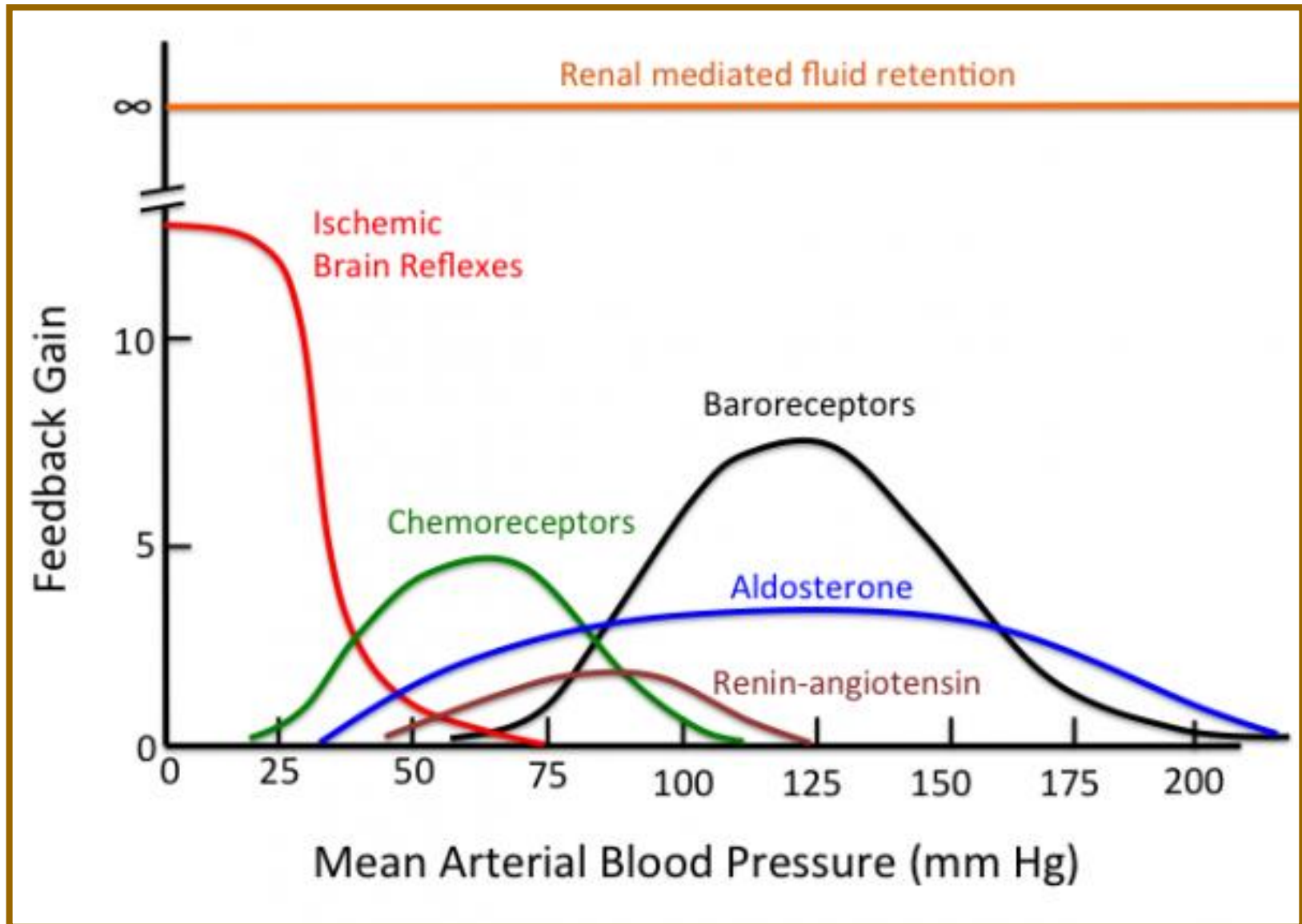
Podíl parasympatické a sympatické regulace srdečního tepu



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

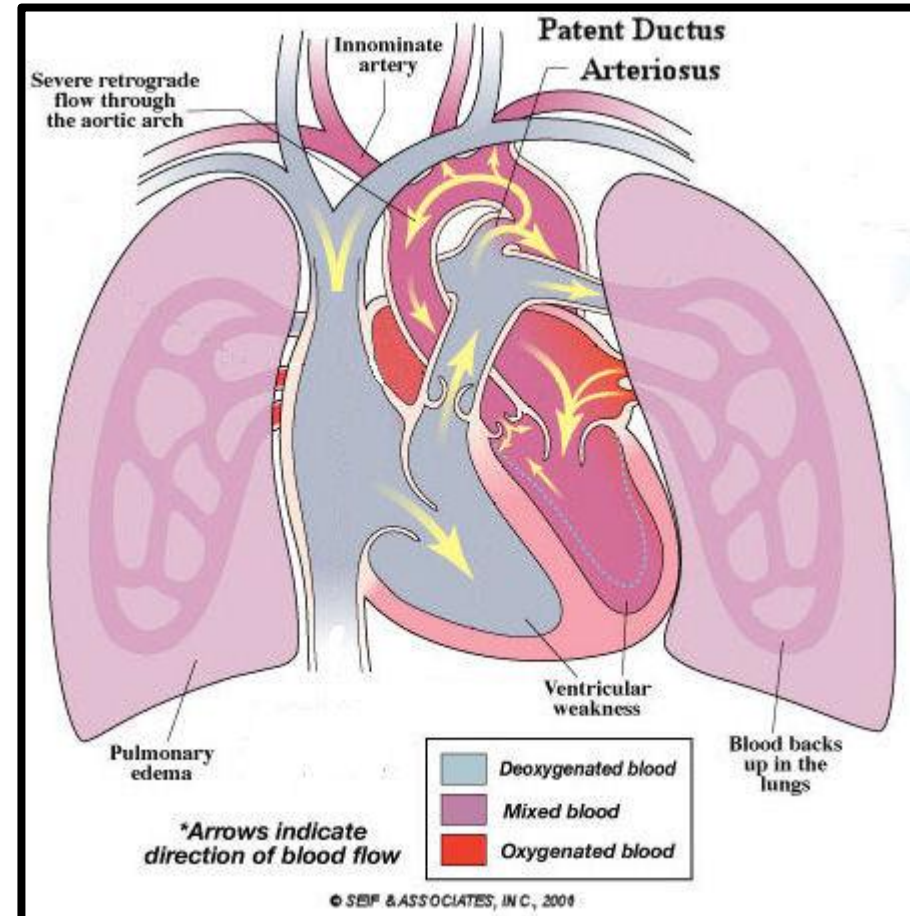
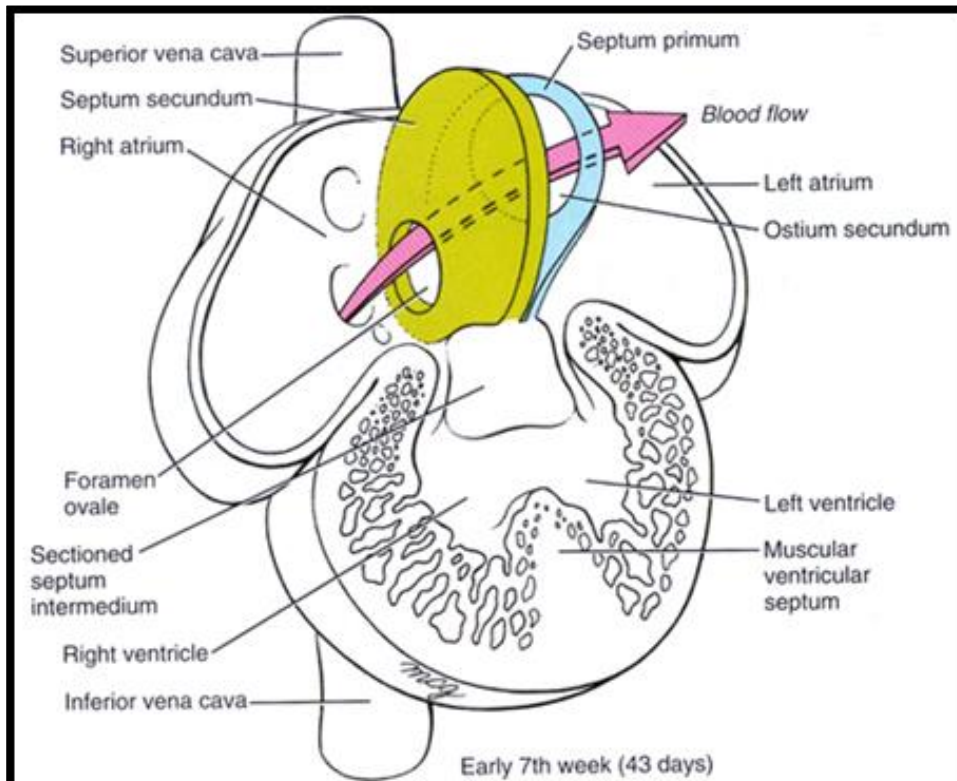


# Úloha jednotlivých regulátorů a receptorů při odpovědi na změnu krevního tlaku

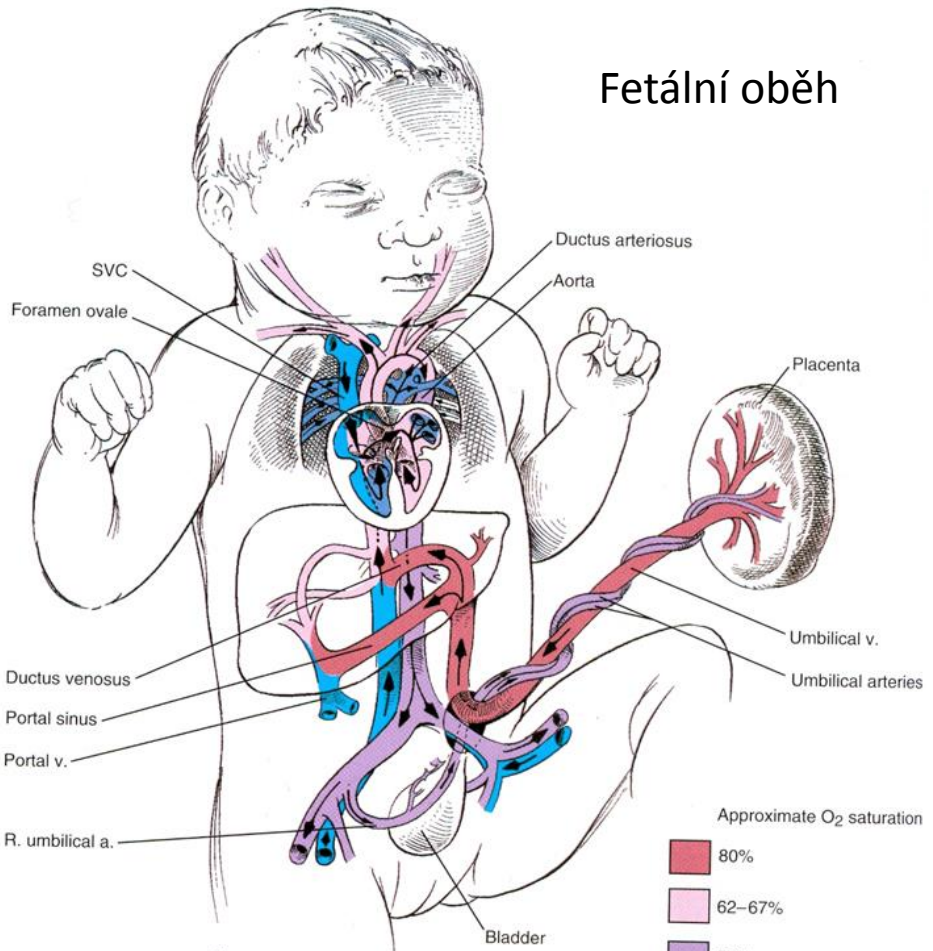


# Fetální oběh plodu

- Plicní oběh je uzavřen, plíce nejsou funkční
- Přemostění v srdci – *Foramen ovale* + *ductus arteriosus*
- Při narození, první nádech -> nárůst tlaku v plicích => změna tlaku v levé předsíni => uzavření *Foramen ovale*, zámik *ductus arteriosus* => kompletně oddělené oběhy



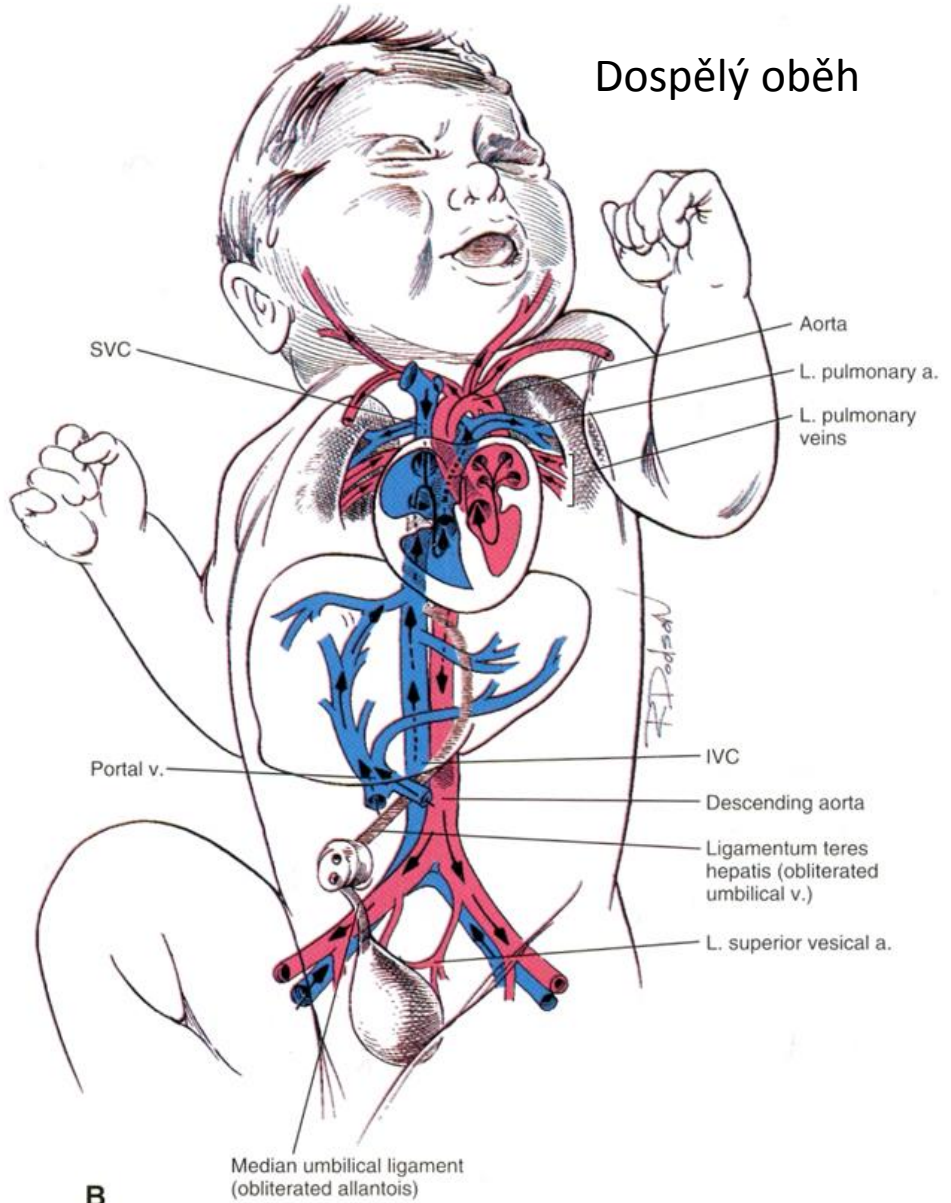
# Fetální oběh



Approximate O<sub>2</sub> saturation

80%
62-67%
57%
52%
25-30%

# Dospělý oběh



**B**

# Lymfatický (mízní) systém

- Cévní systém stahující mízu/lymfu z tkáňového moku do krevního řečiště (drenáž)
- Mízní kapiláry (slepé, téměř ve všech tkáních), mízní cévy, mízovody, vyústění do vén v oblasti krku
- Stěny cév velmi propustné (i proteiny), tkáňový mok nasáván vlastním tlakem tkáňové tekutiny
- Zpětnému toku brání chlopně, tok podporován pohybem
- Složení podobné krevní plazmě, avšak menší množství proteinů
- Transport živin z tenkého střeva
- Přítomny lymfocyty a monocyty
- Lymfatické (mízní) uzliny + slezina – filtrace mízy, akumulace buněk imunitního systému

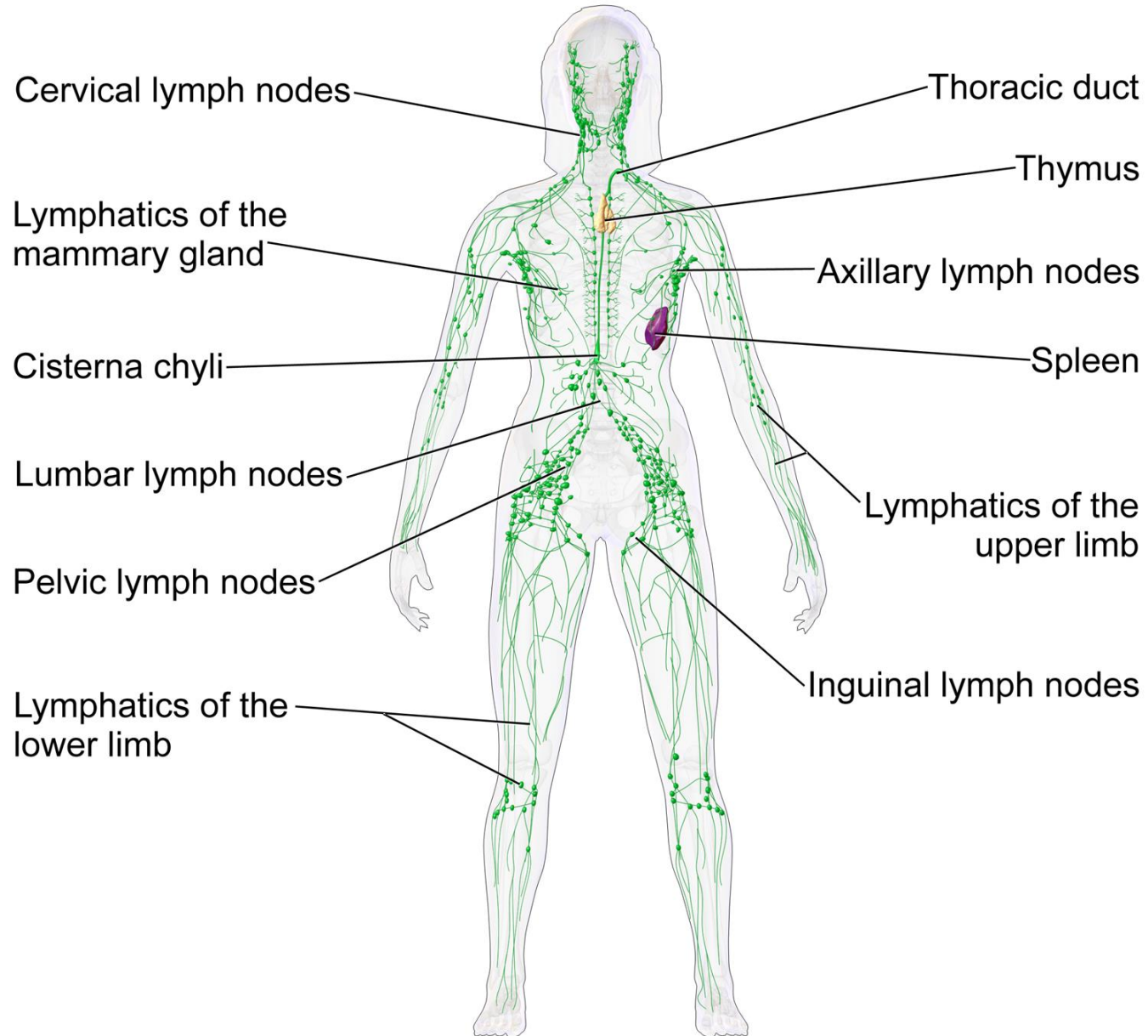
(viz. Imunitní systém)

*U některých druhů - mízní srdce – úhoři, obojživelníci, plazi*

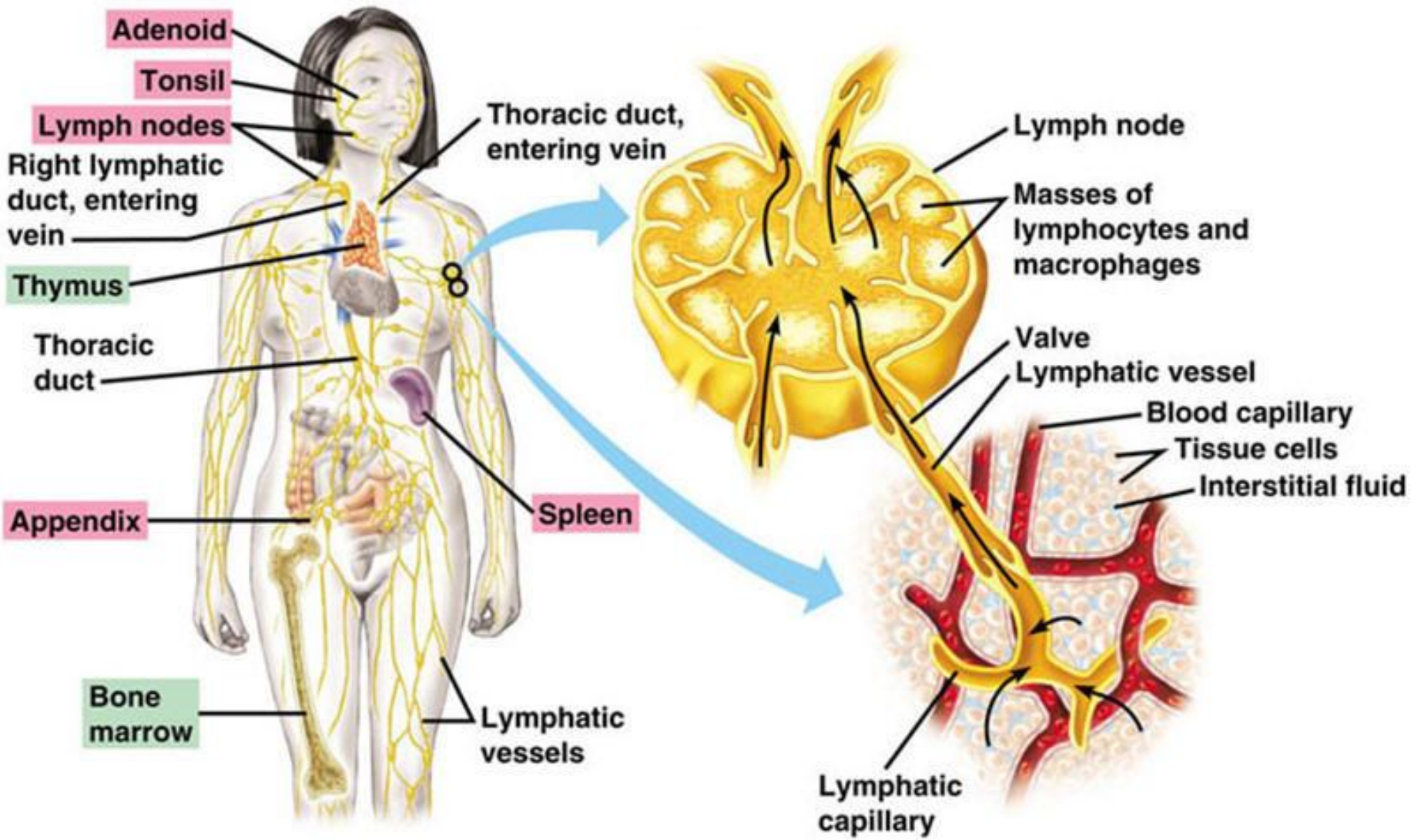
*- pulzující uzliny – vrubozobí, pštrosovití*



# The Lymphatic System







Adenoid

Tonsil

Lymph nodes

Right lymphatic duct, entering vein

Thymus

Thoracic duct

Appendix

Bone marrow

Thoracic duct, entering vein

Spleen

Lymphatic vessels

Lymph node

Masses of lymphocytes and macrophages

Valve  
Lymphatic vessel

Blood capillary

Tissue cells

Interstitial fluid

Lymphatic capillary