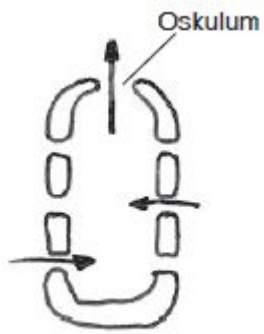
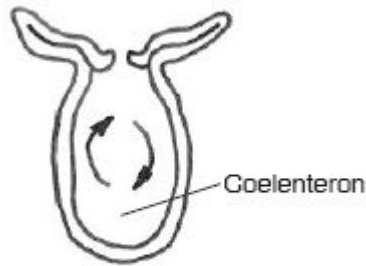


# CIRKULACE

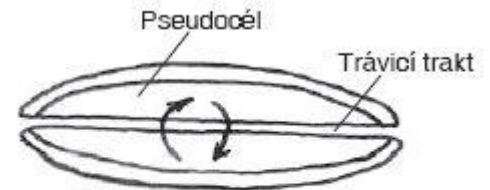
- Zajištění transportu a oběhu látek/živin, energie, tepla, regulačních informací, kontakt mezi buňkami/tkáněmi/orgány, hydrostatická funkce
- Nezbytné u mnohobuněčných, zvyšující se nároky s rostoucí složitostí organismů (strukturní i regulační)
  - **gastrovaskulární cirkulace** (*Porifera, Cnidaria, 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)



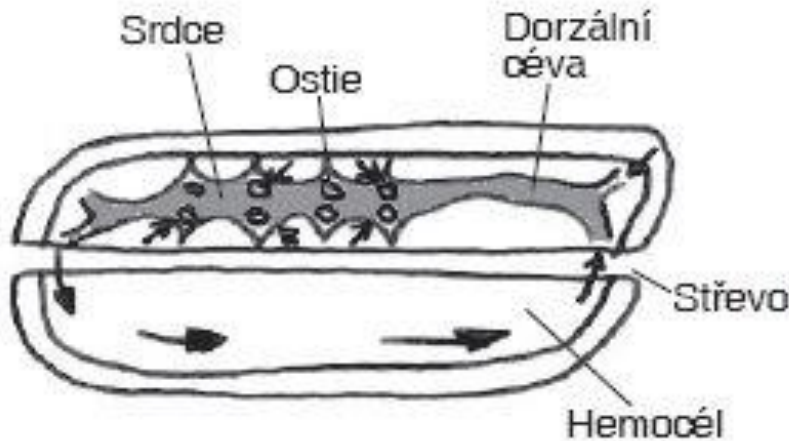
a) Houbovci



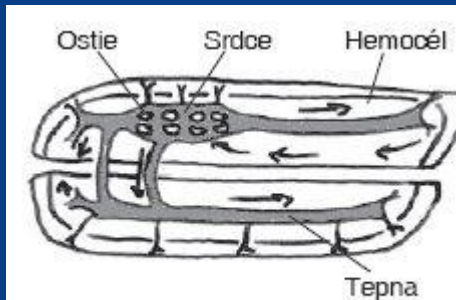
b) Žahavci



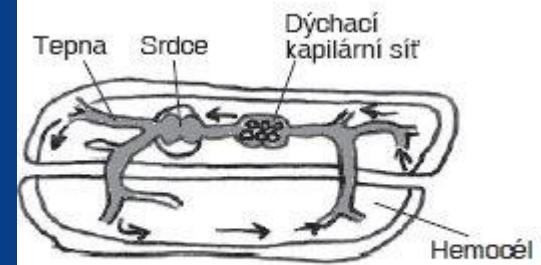
c) Hlístice



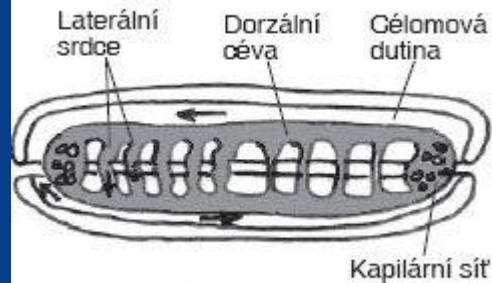
d) Hmyz



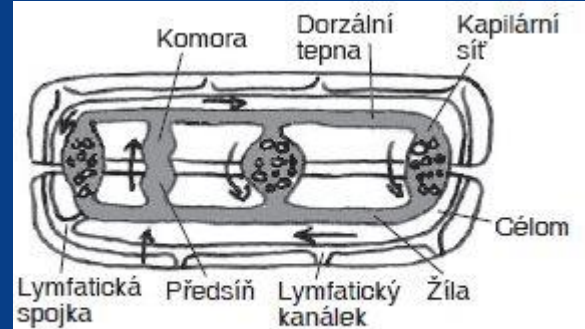
e) Korýši



f) Měkkýši



g) Kroužkovci



h) Savci

# KARDIOVASKULÁRNÍ SYSTÉM

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

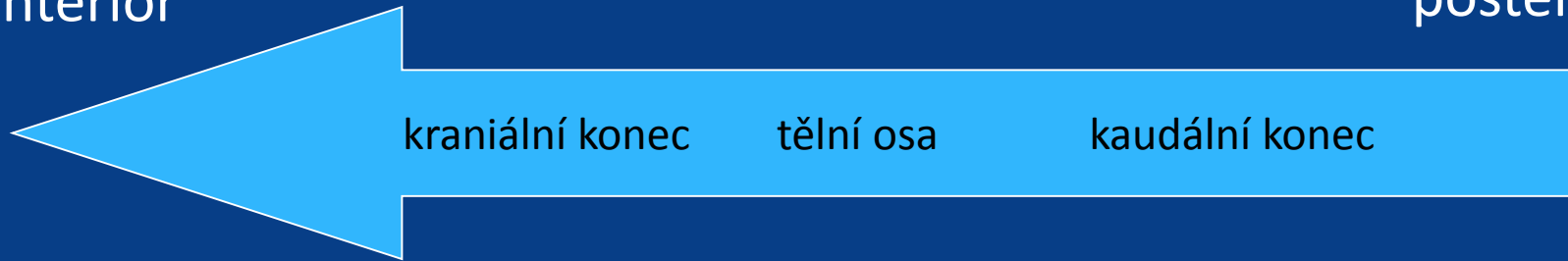
sinistra x dextra  
vlevo x vpravo

ascendens - vzestupný

descendens - sestupný

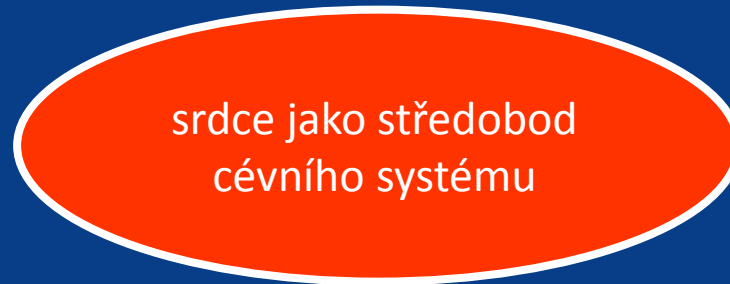
anterior

posterior



prekardinální-

postkardinální-



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 (žábra) 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

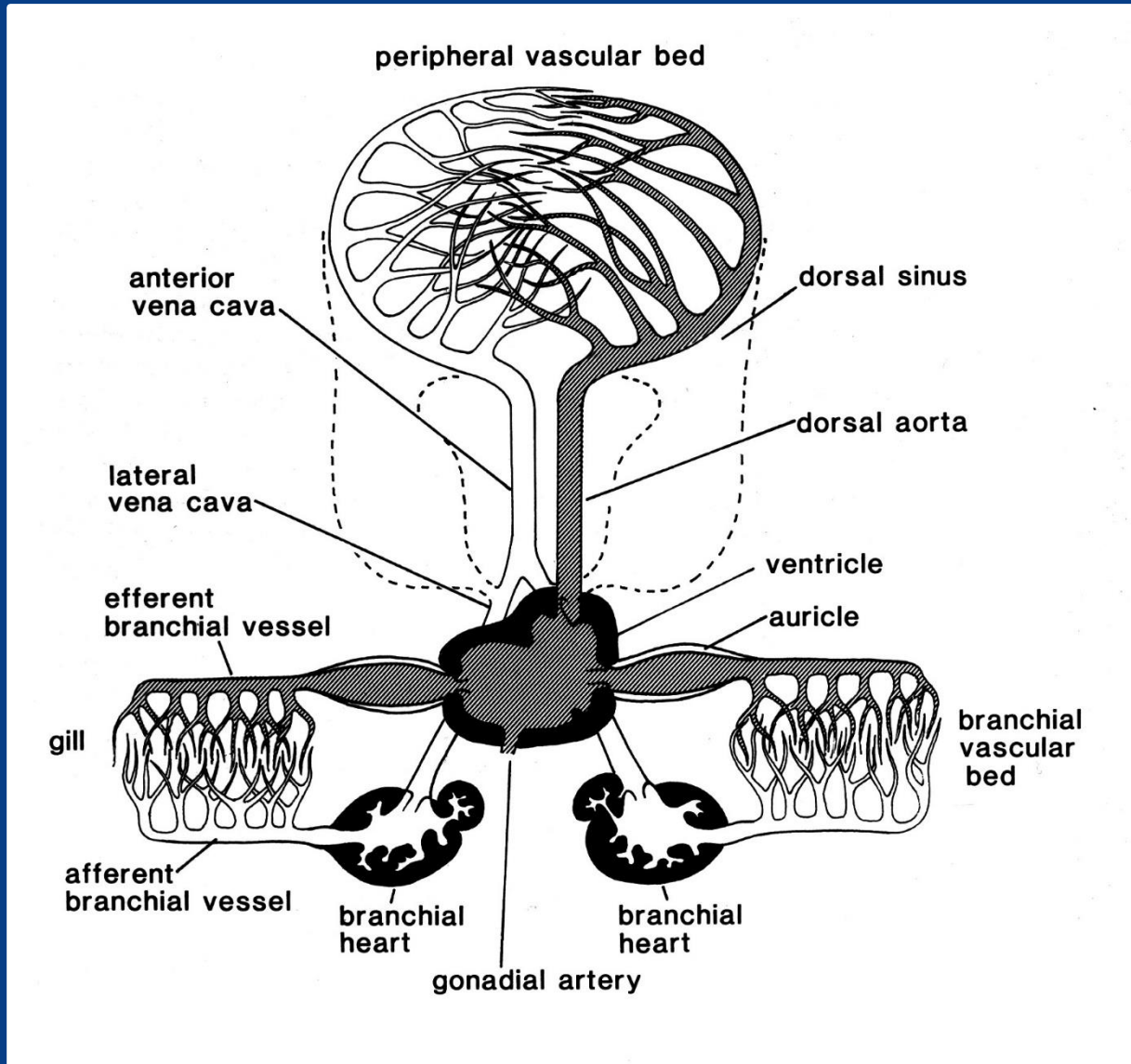
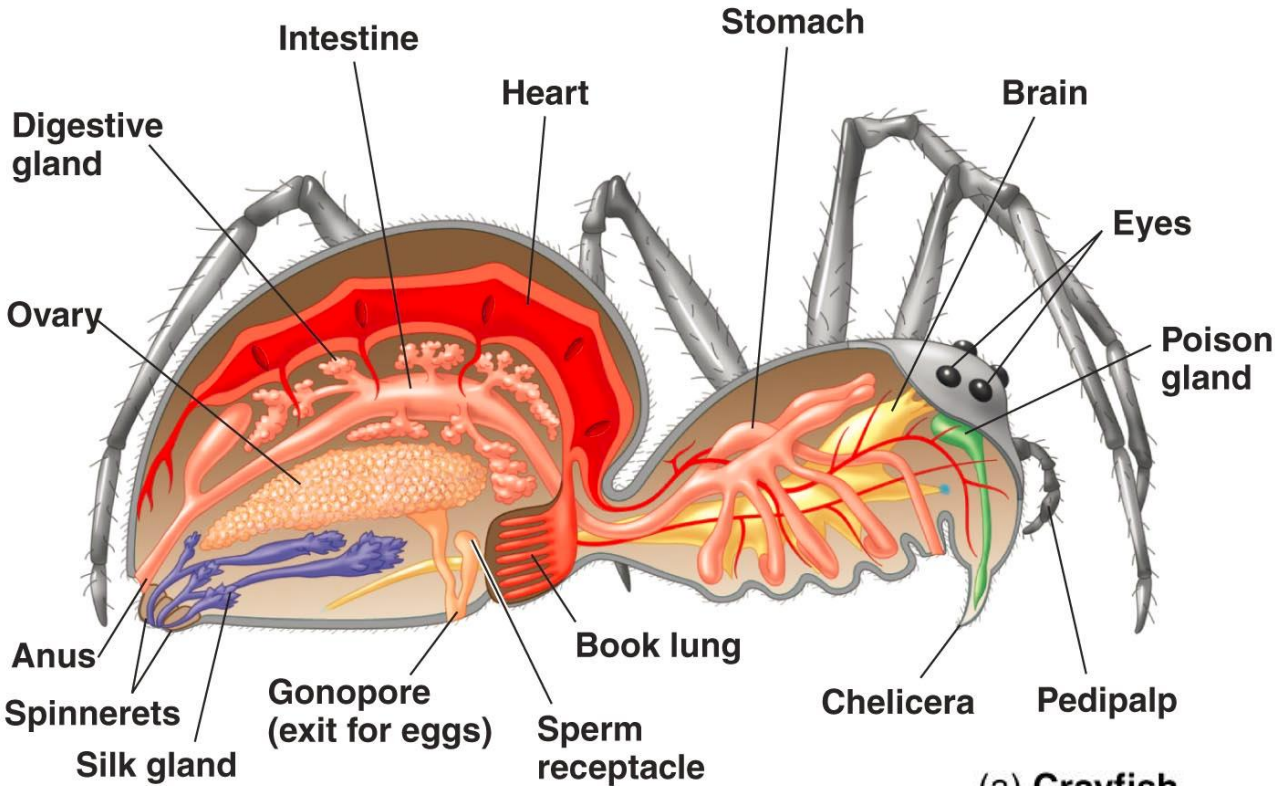


Fig. 6 Generalized cephalopod circulatory system (after Smith & Boyle 1983).

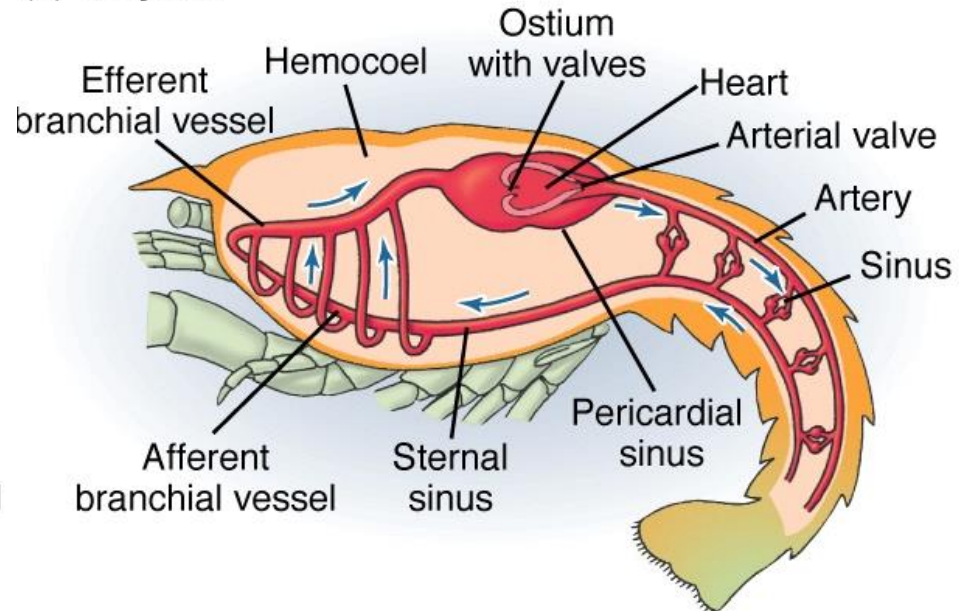
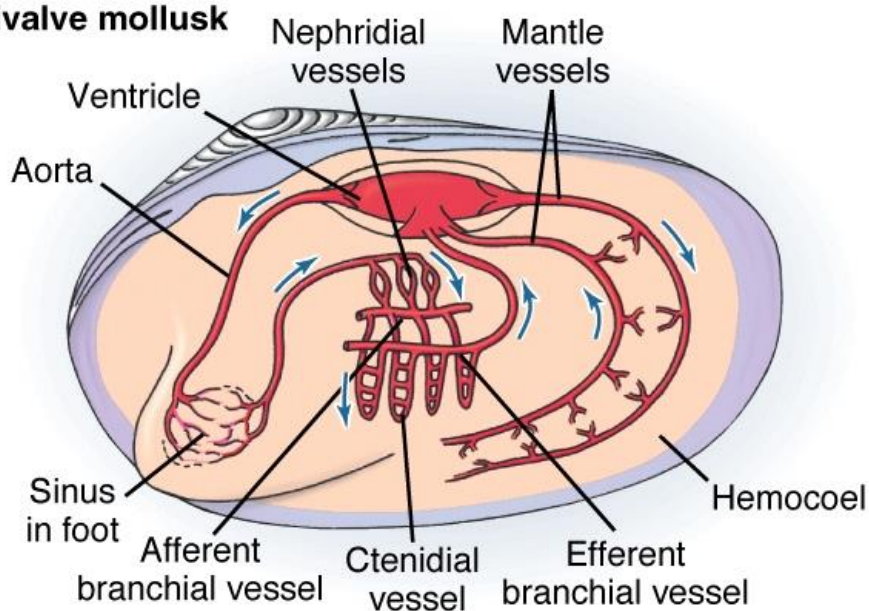




(a) Crayfish

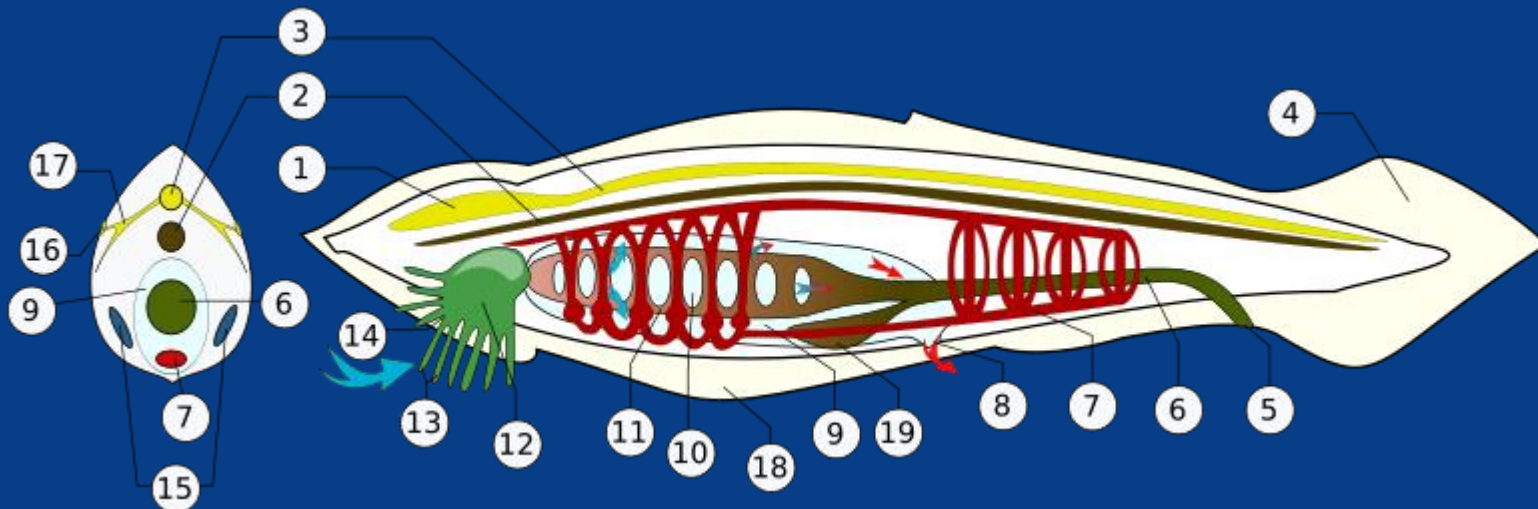
Další příklady otevřených cévních soustav

(b) Bivalve mollusk



# 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)





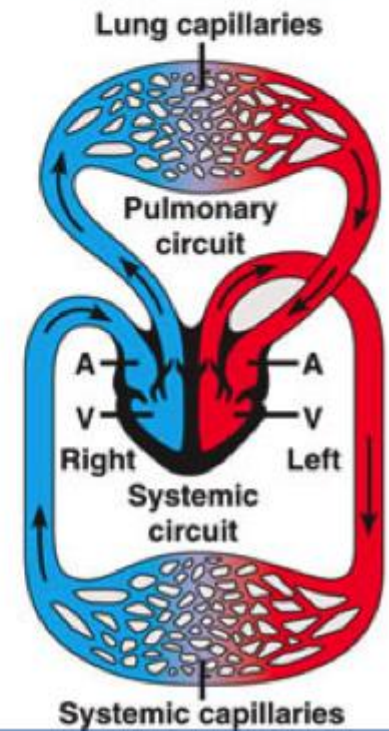
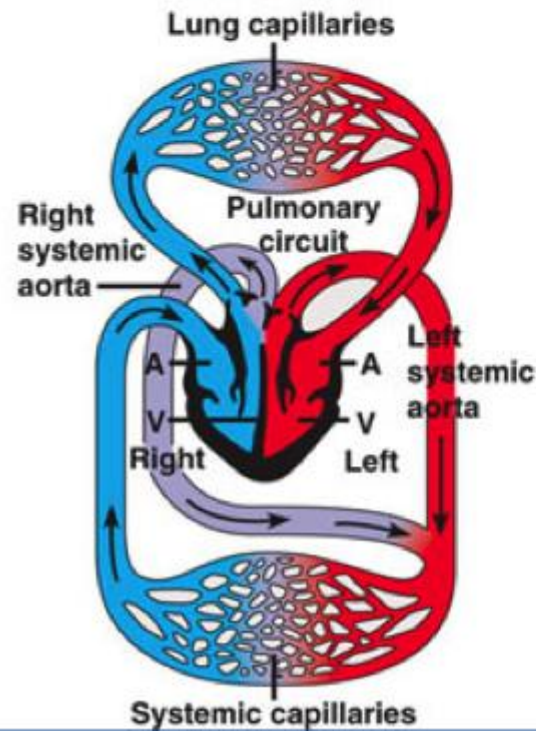
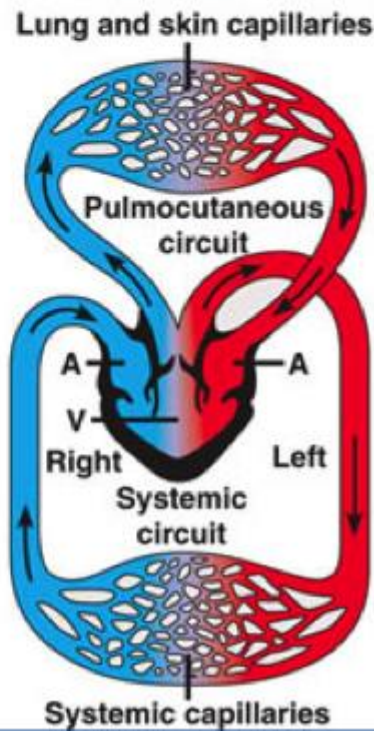
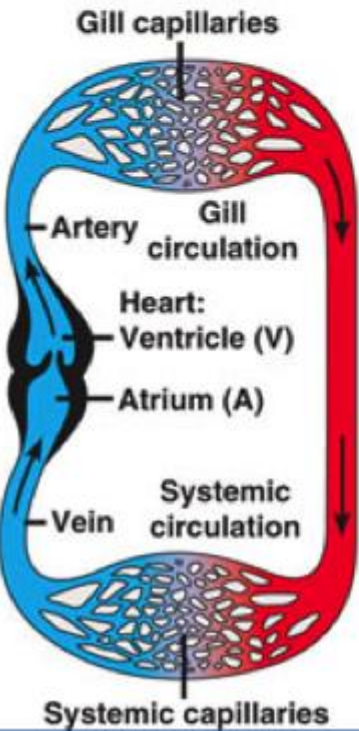


FISH

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 automacie

- 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 automacie

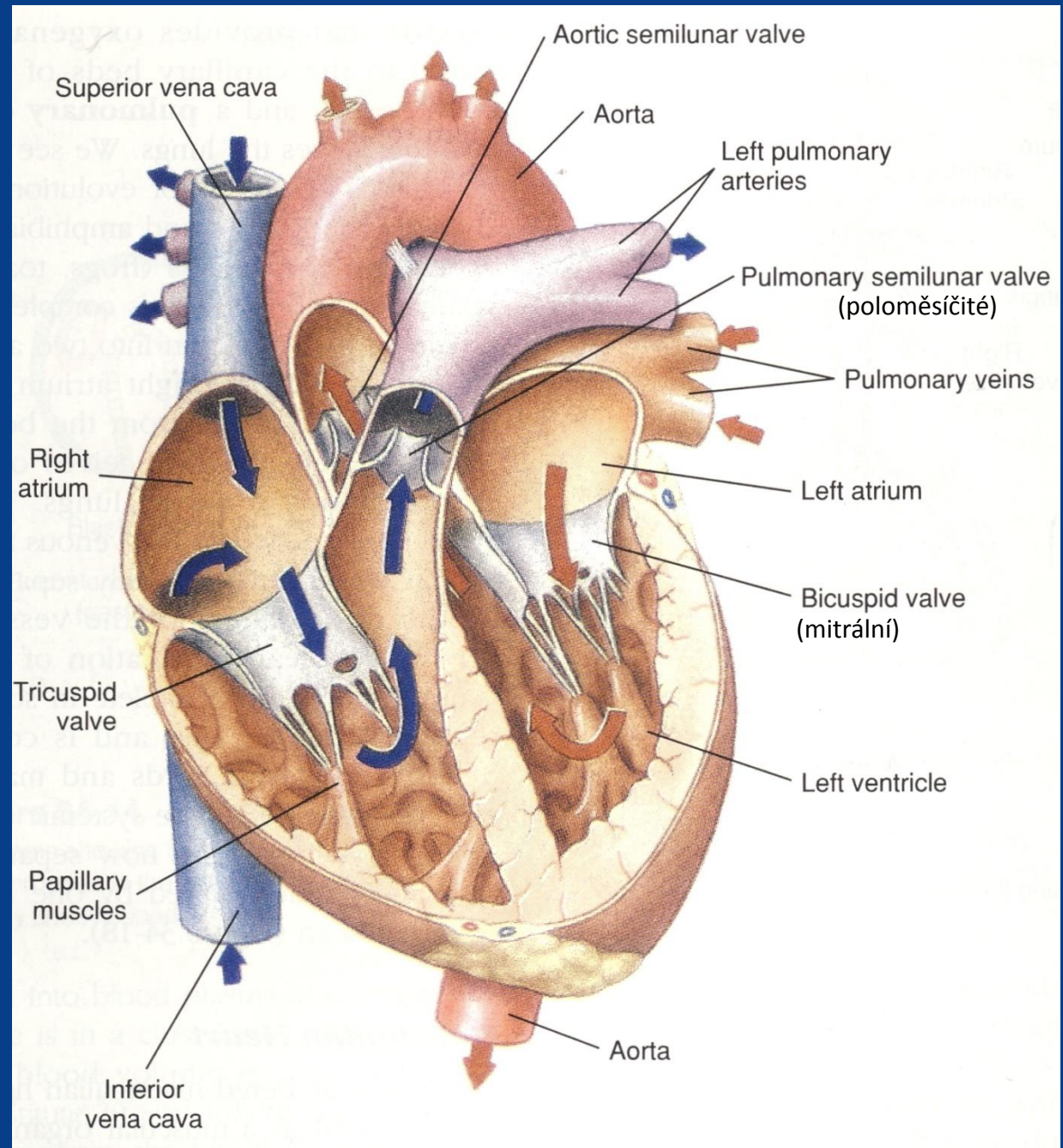
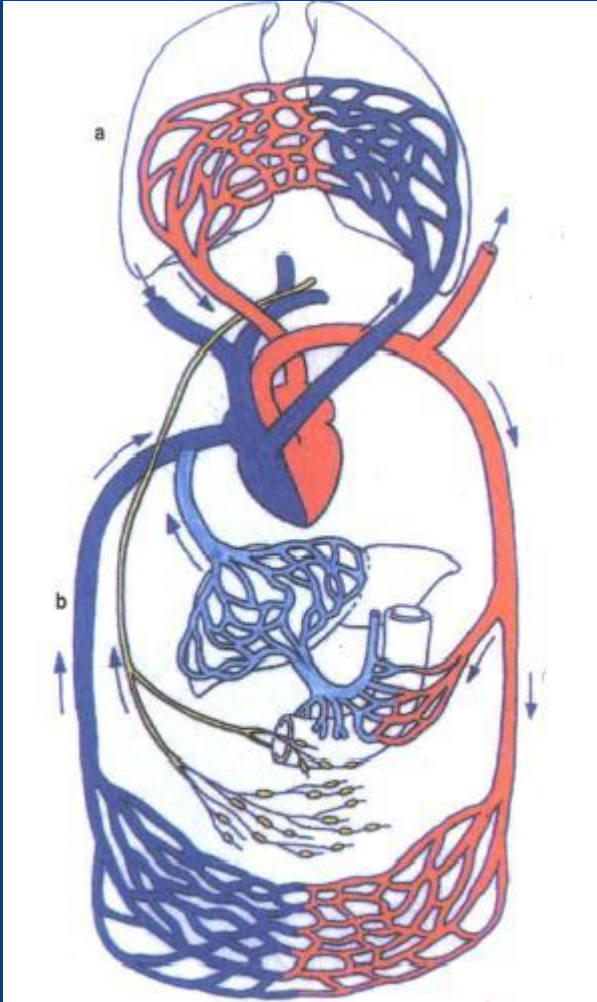
(pláštěnci, plži, některý hmyz a obratlovci), i myogenní srdce ale podléhají hormonální a nervové regulaci.

Tepová frekvence u obratlovců klesá s rostoucí velikostí,

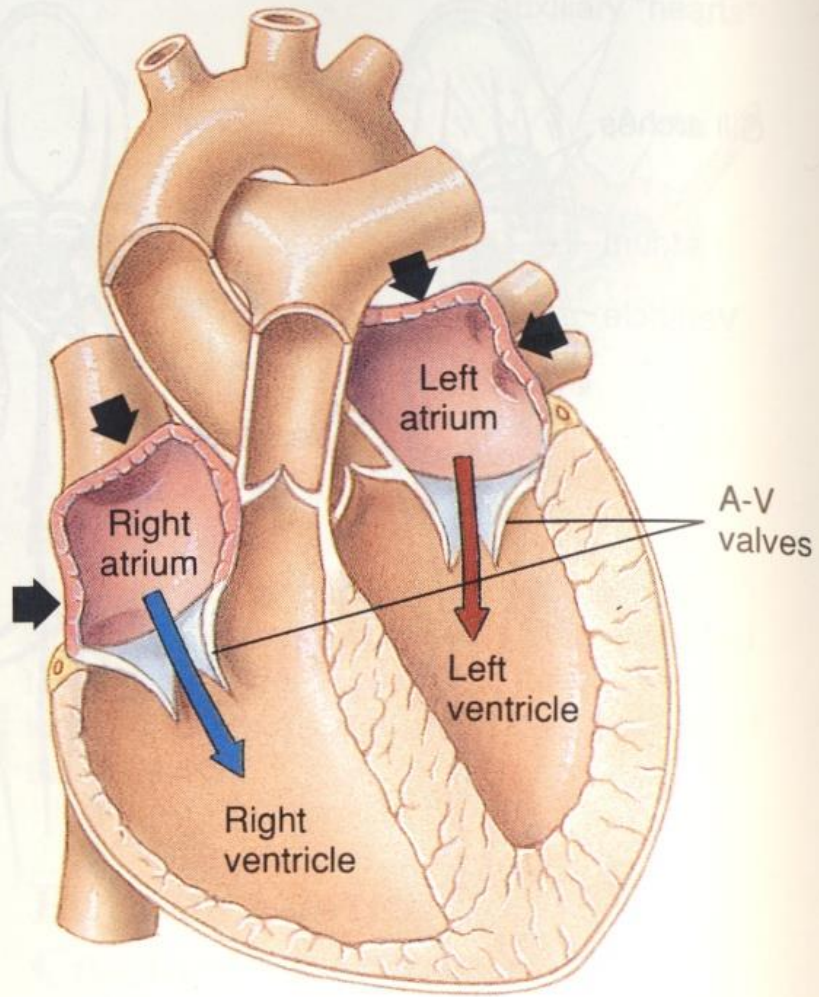
nižší frekvence = bradykardie

vyšší frekvence = tachykardie

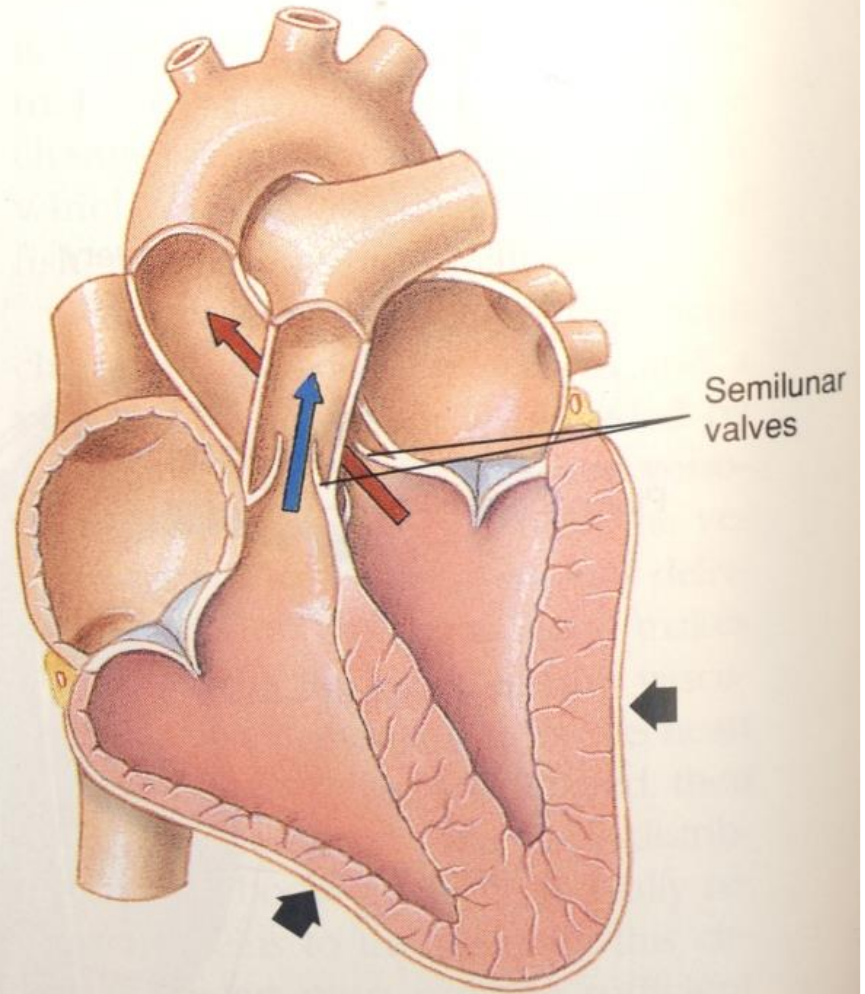
# Srdce savců







**Heart at rest  
(diastole)**

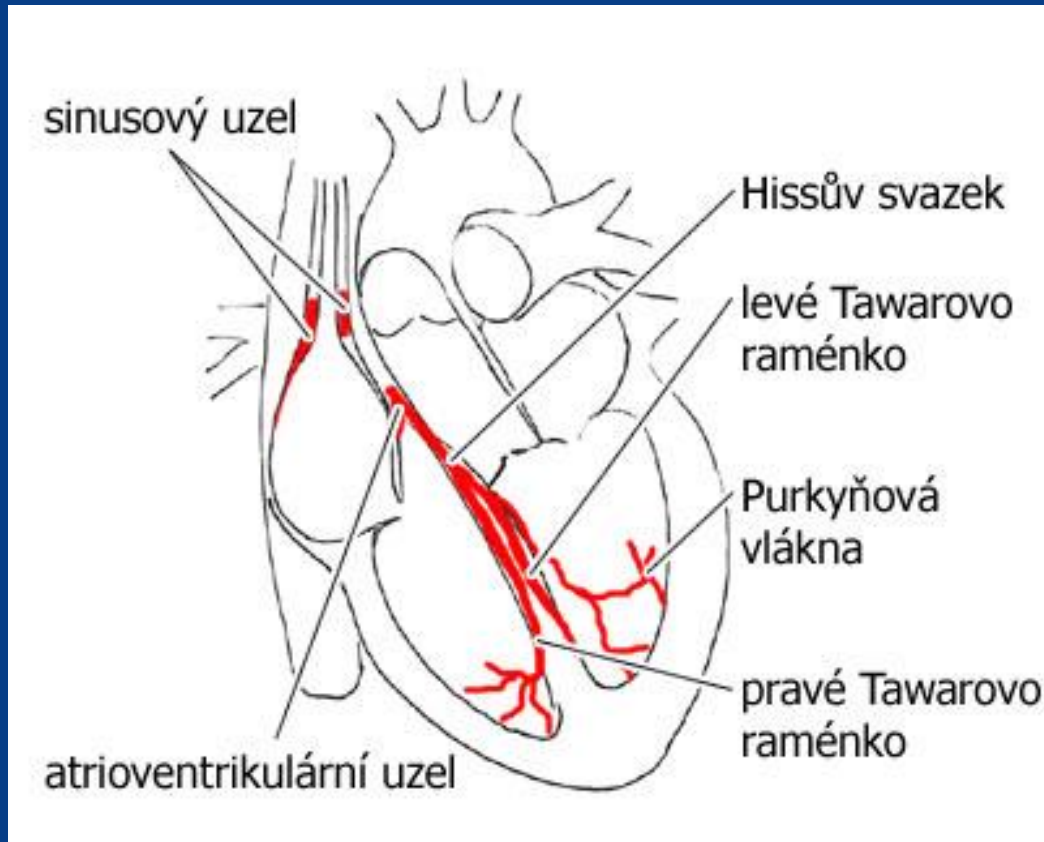


**Heart during contraction  
(systole)**

# 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

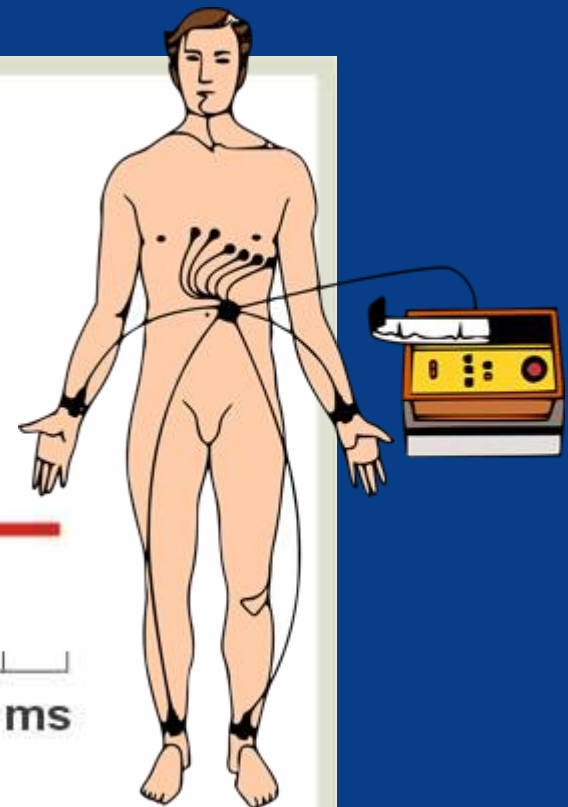
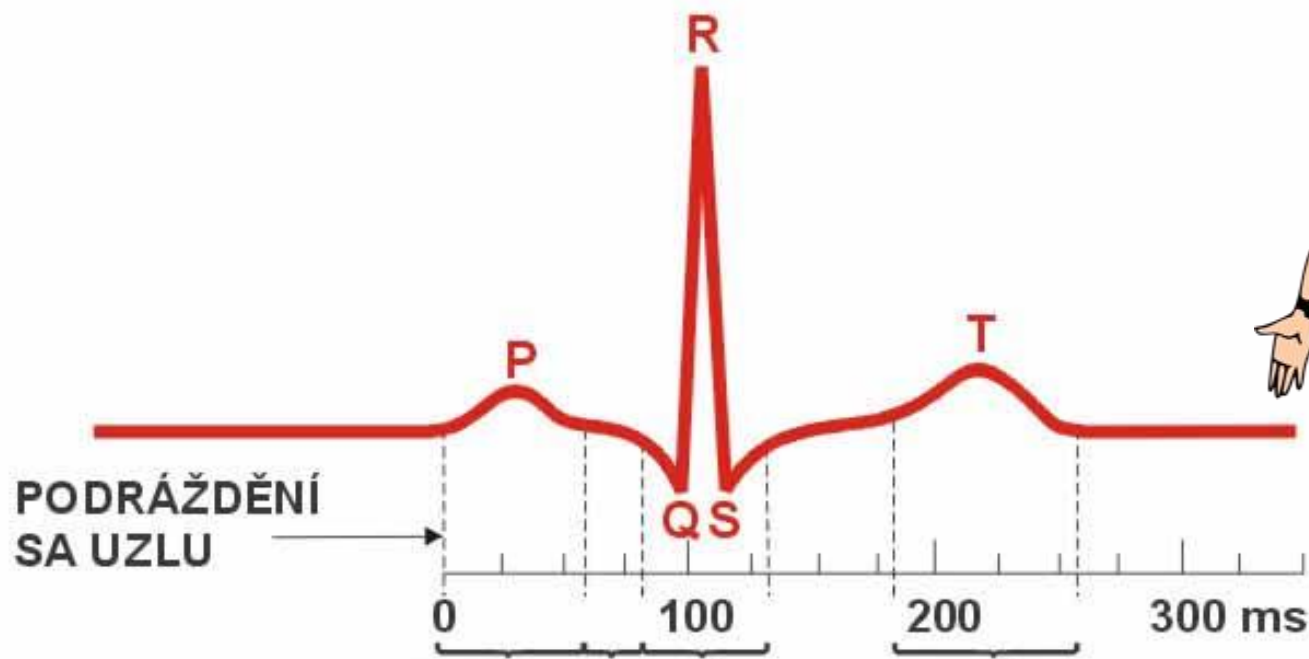
1. Dráždivost – vše nebo nic
2. Automacie (myogenní a neurogenní kontrola)
3. Rytmicita
4. Vodivost – gap junctions (nexus) – syncitium
5. Neunavitelnost

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

=> atrioventrikulární uzel + Hisův svazek



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



DEPOLARIZACE SÍŇÍ  
POMALÉ VEDENÍ  
RYCHLÁ REPOLARIZACE KOMOR  
REPOLARIZACE KOMOR

**Typický průběh EKG křivky**

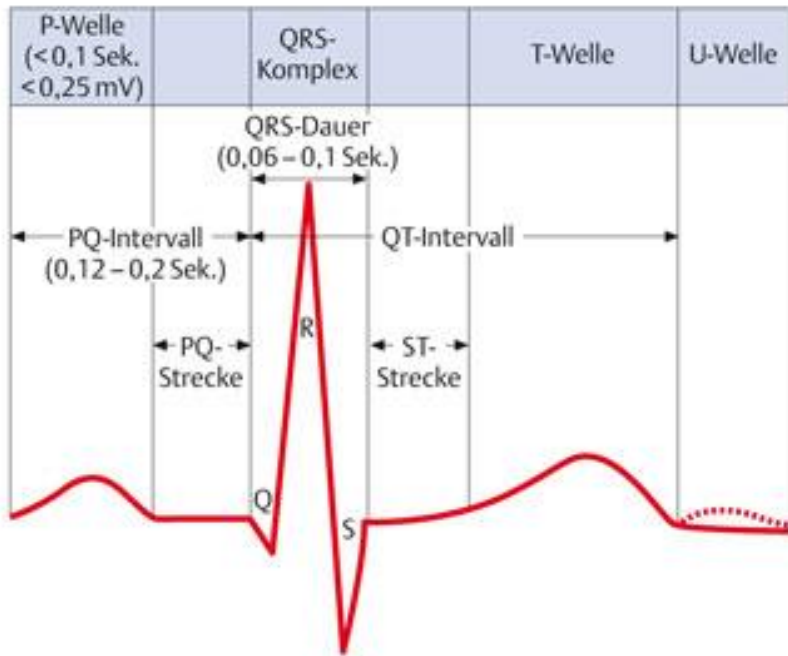


Abb. 3.5 Normales EKG.

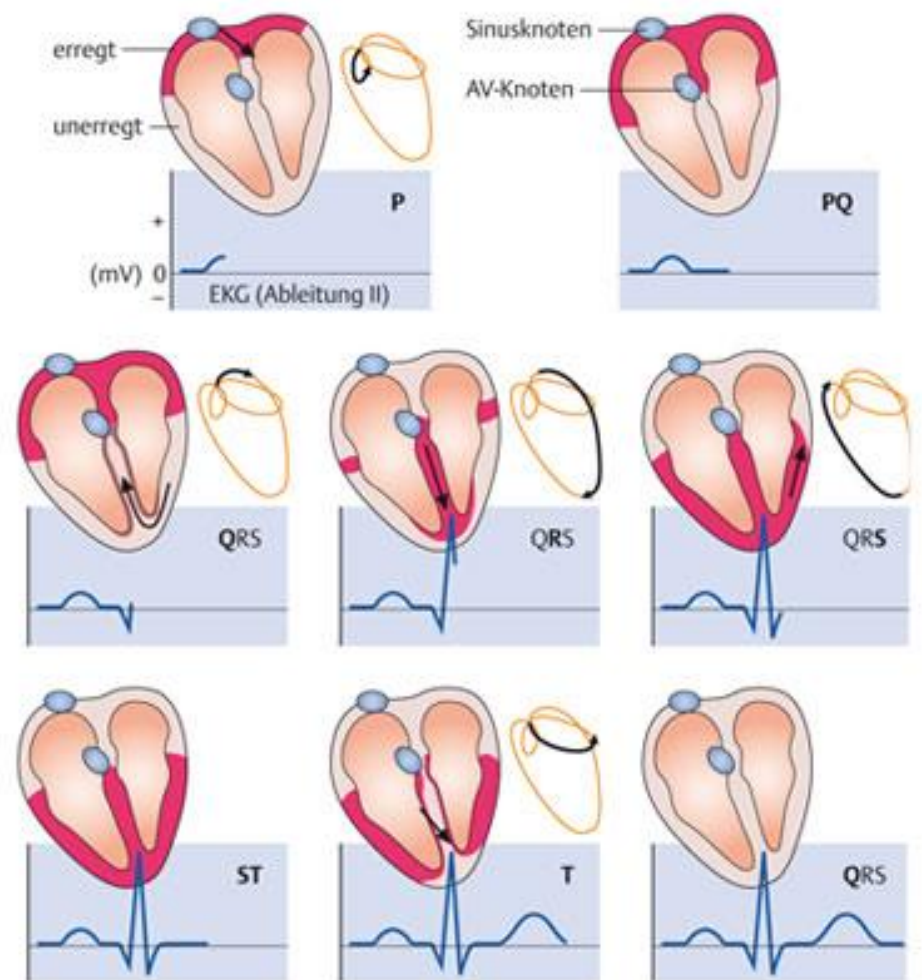


Abb. 3.6 Vorhof- und Ventrikel-erregung und die Entsprechung im EKG. Einzelheiten siehe im Text.

# 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

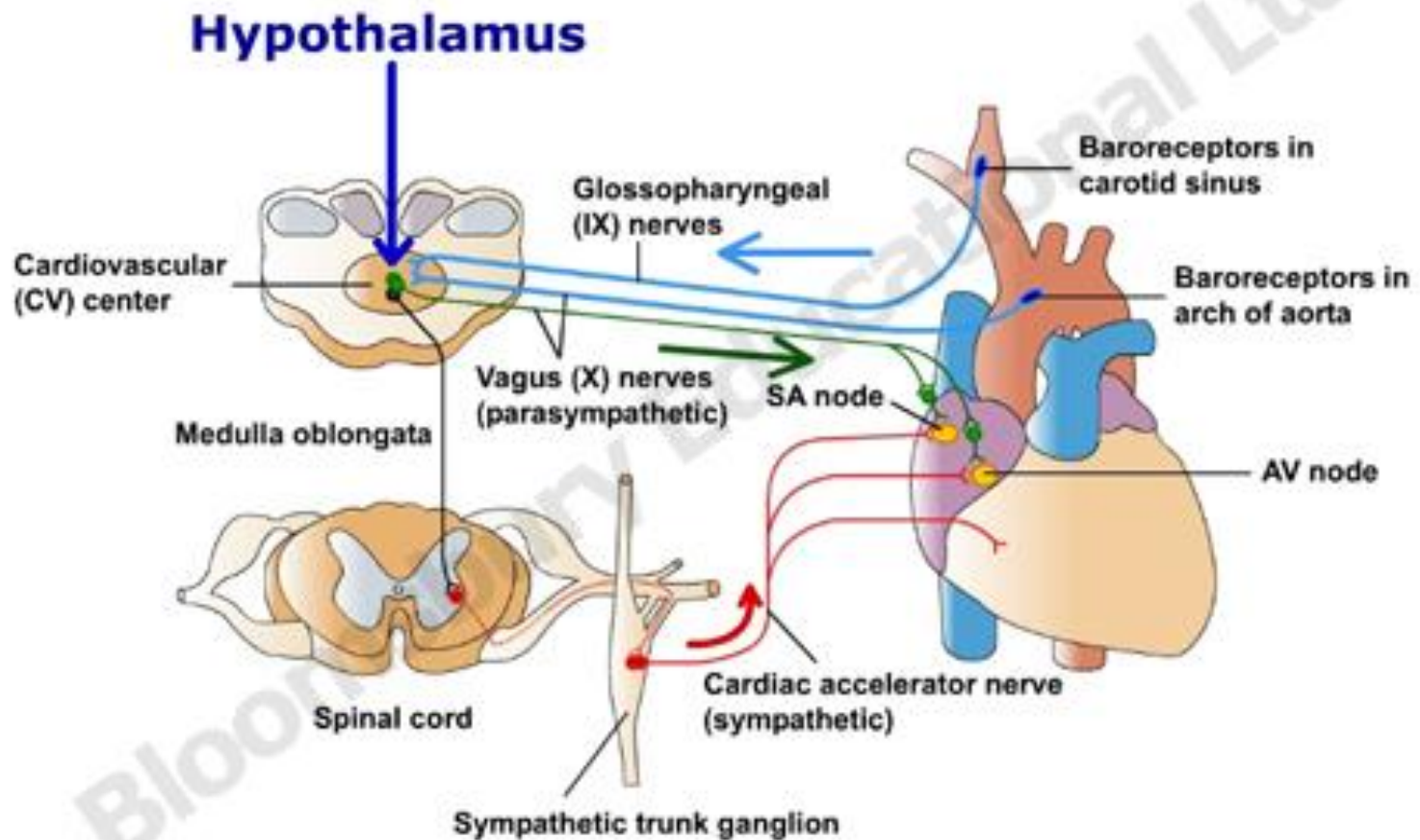
\*\* hibernanti hlavně celkovou průměrnou, série tepů

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

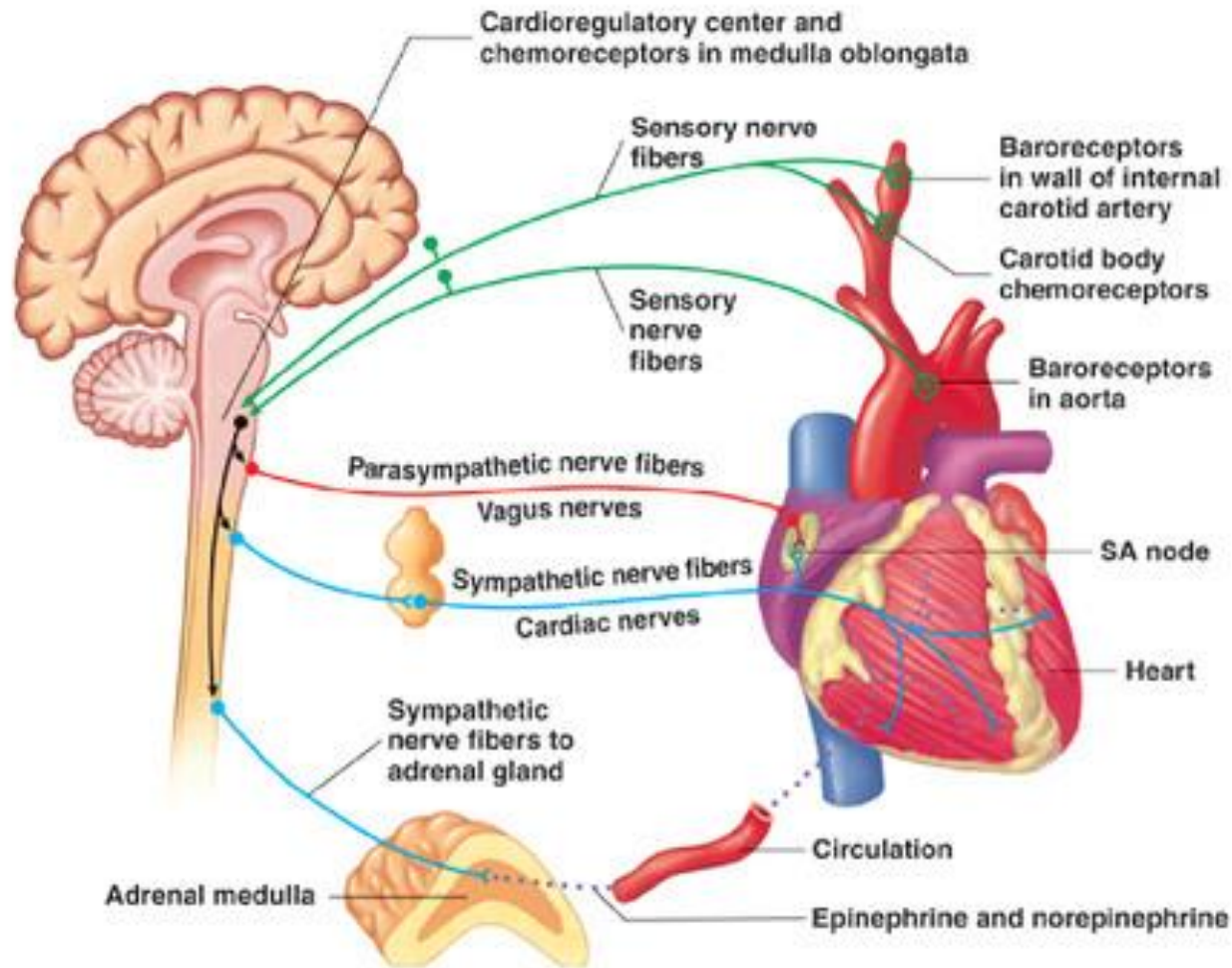
/ vyšší systolický výdej

# Řízení krevního oběhu

## Regulation of heart rate and force







Hormonálně: Muscarinové receptory – acetylcholin

Adrenergní receptory – adrenalin / noradrenalin

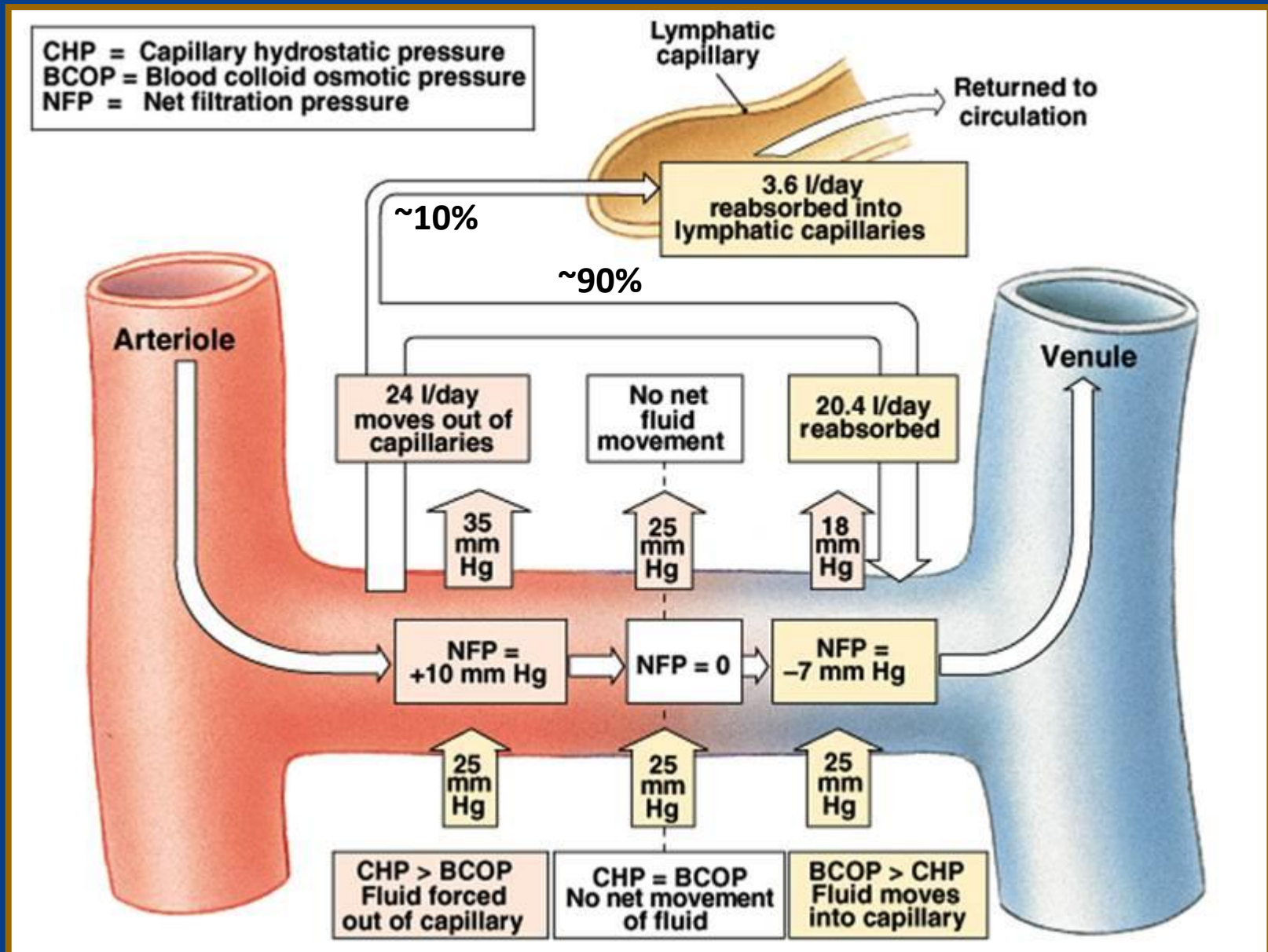
(epinefrin / norepinefrin)

# 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

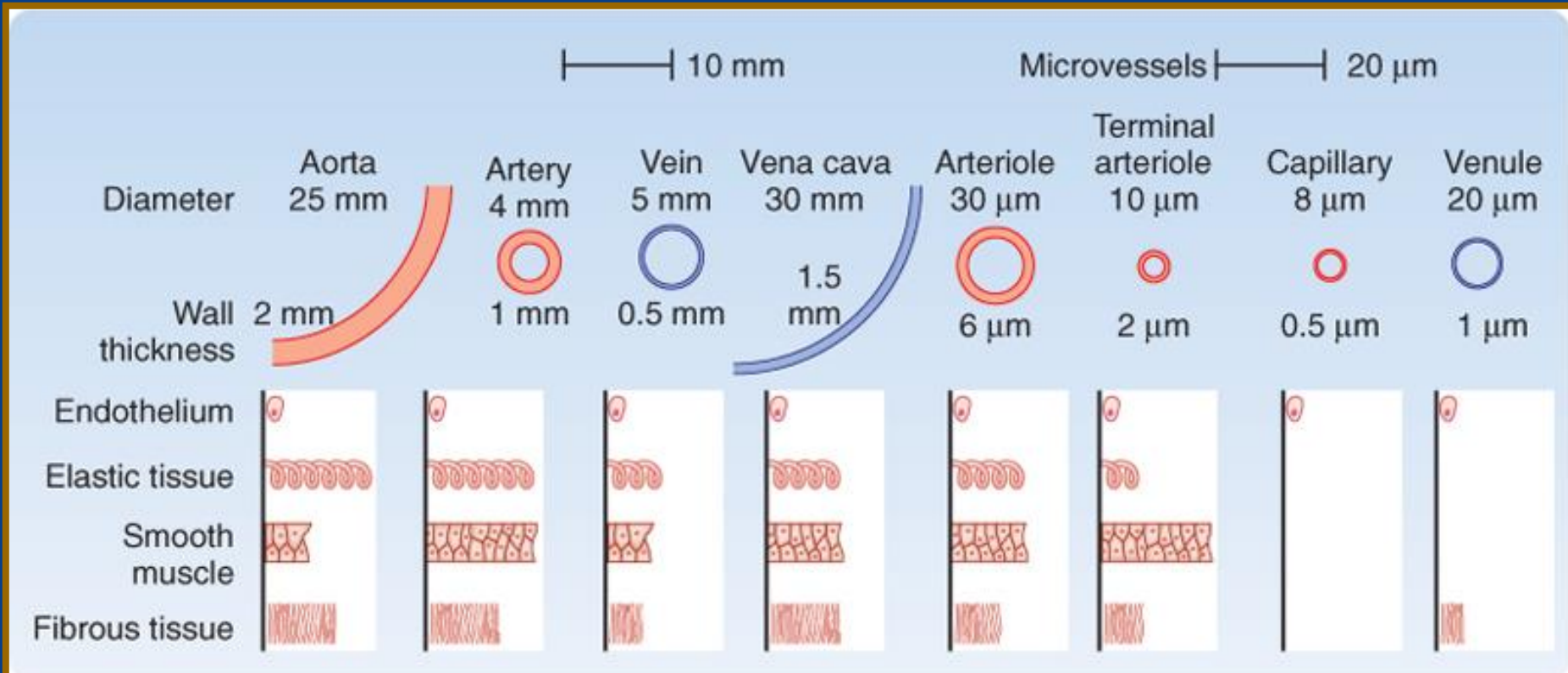
\* Zejména lidoopi, sudokopytníci, hlodavci odolní (úloha věku?)

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

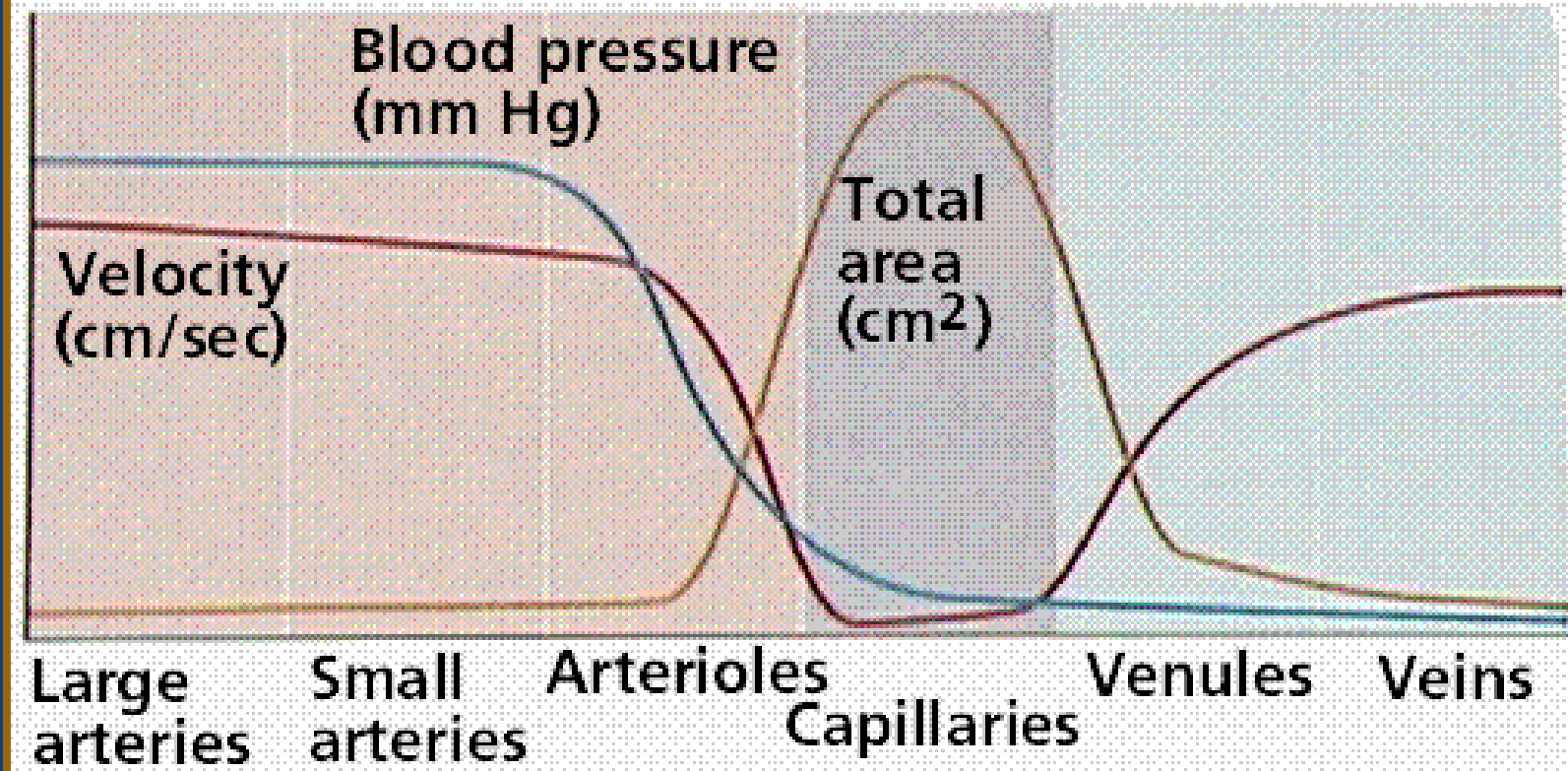
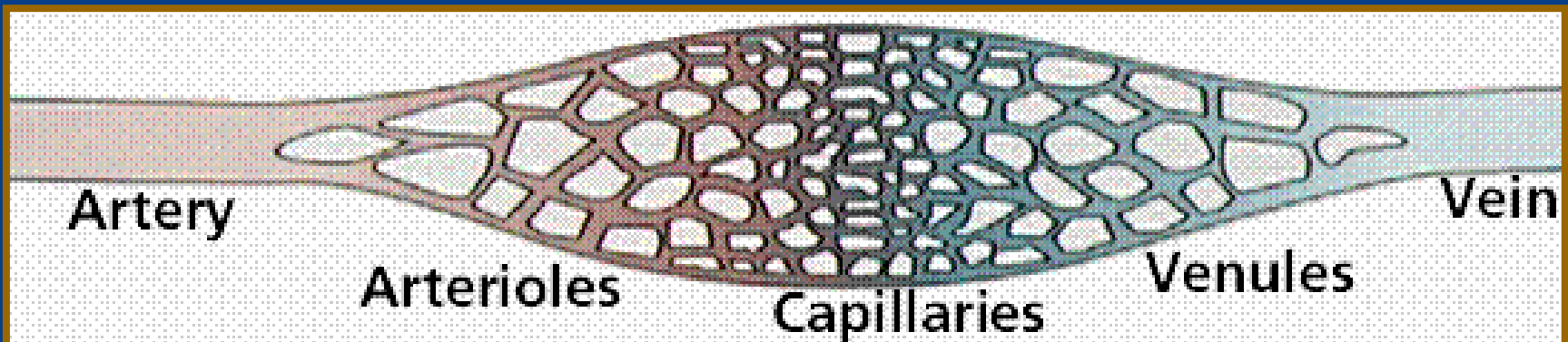


## Struktura arterií a vén, velmi podobná

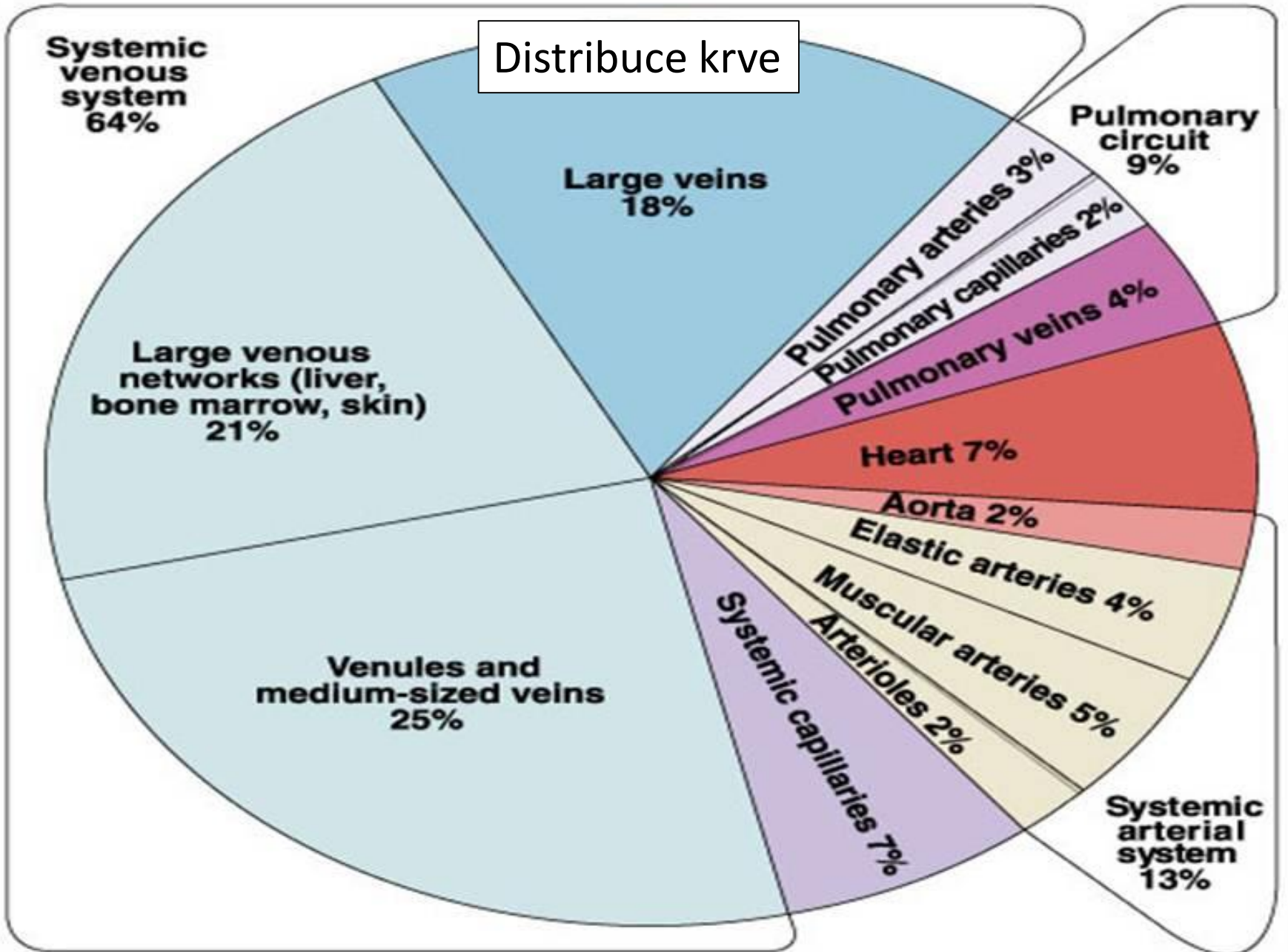
- Arterie k danému průměru silnější stěna + více elastické tkáně → odolávají větším tlakům, pružnickový efekt → kontinuální proudění
- Vény (kapacitní cévy, reservoár), velké vény mají chlopně – bránění zpětnému toku krve
- Arterioly – velký podíl na periferním odporu (odporové cévy), vazomotorické řízení: 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

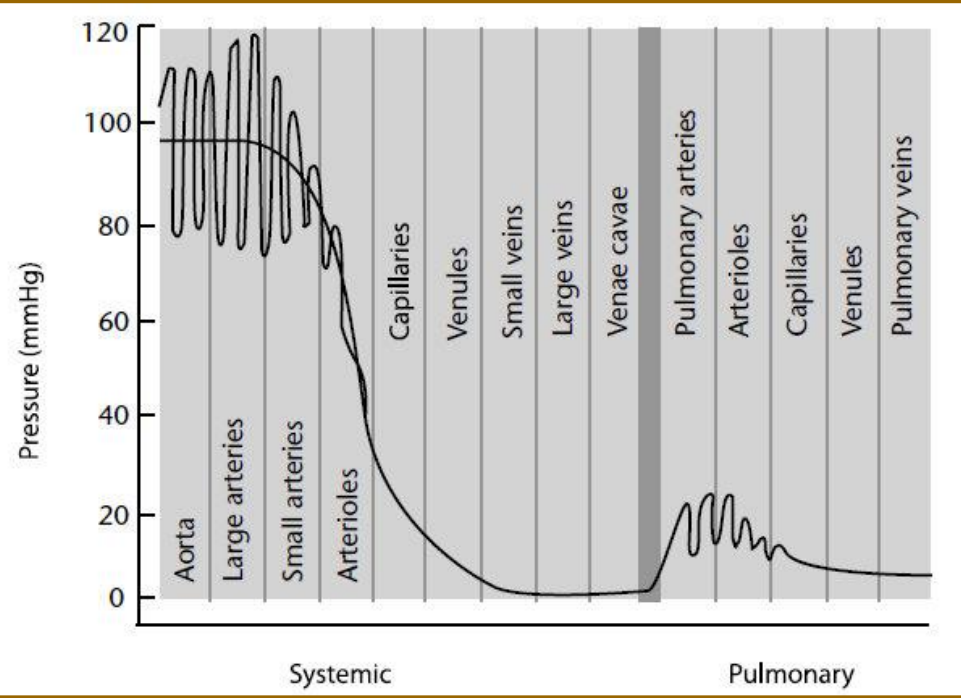
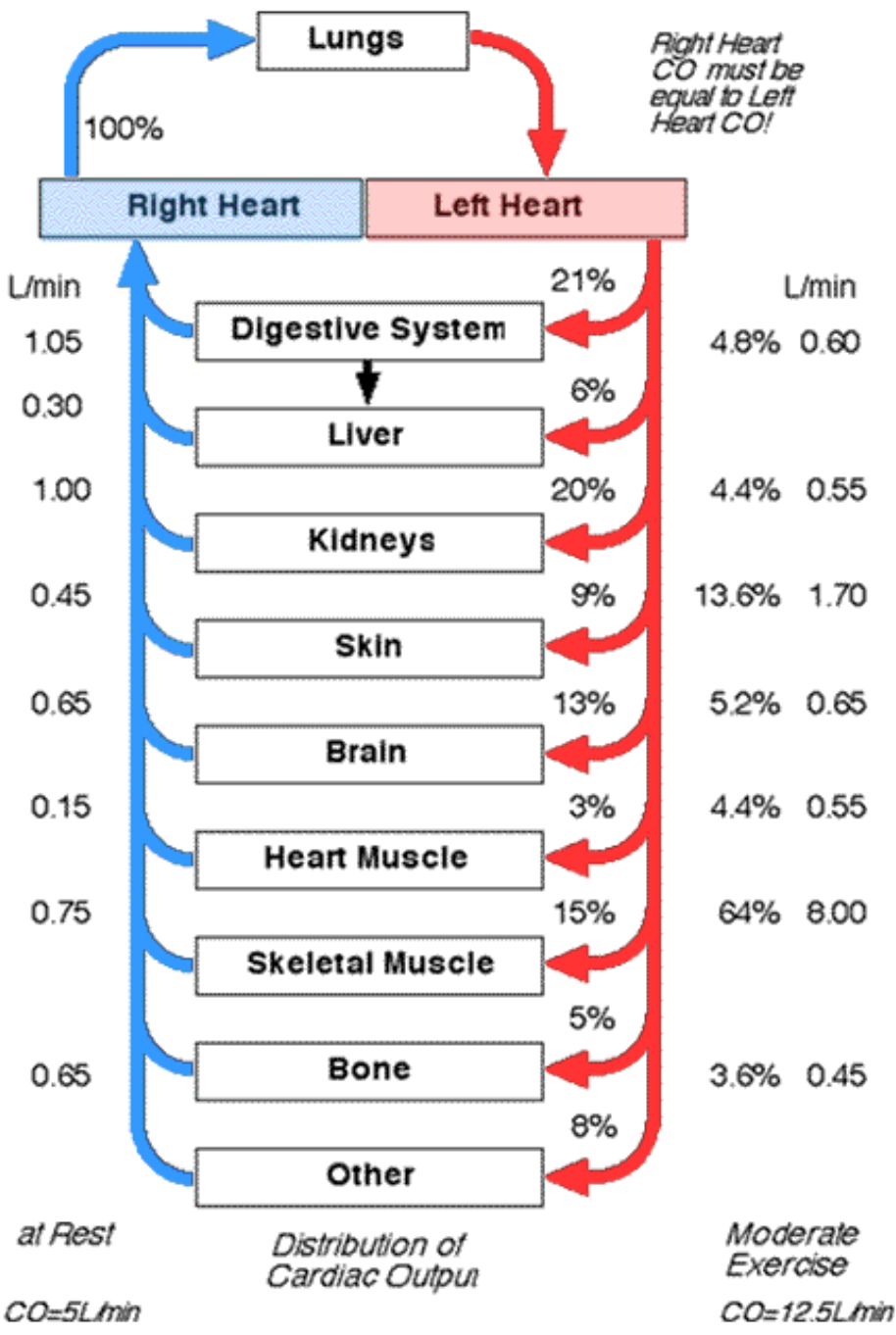


# Distribuce krve u člověka (v klidu)

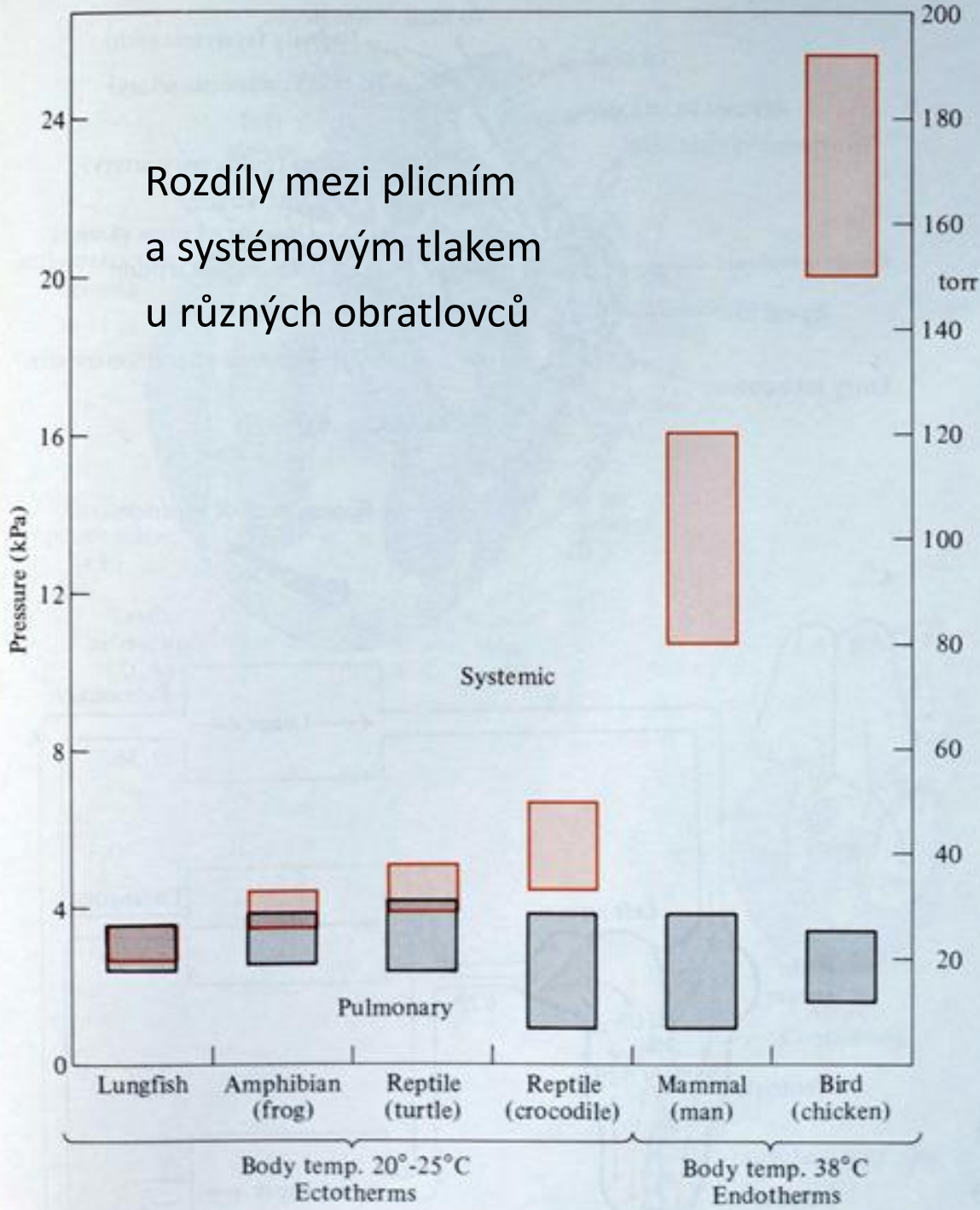
Minutový srdeční výdej (MSV)

Velký oběh – rozděleno do tkání a orgánů

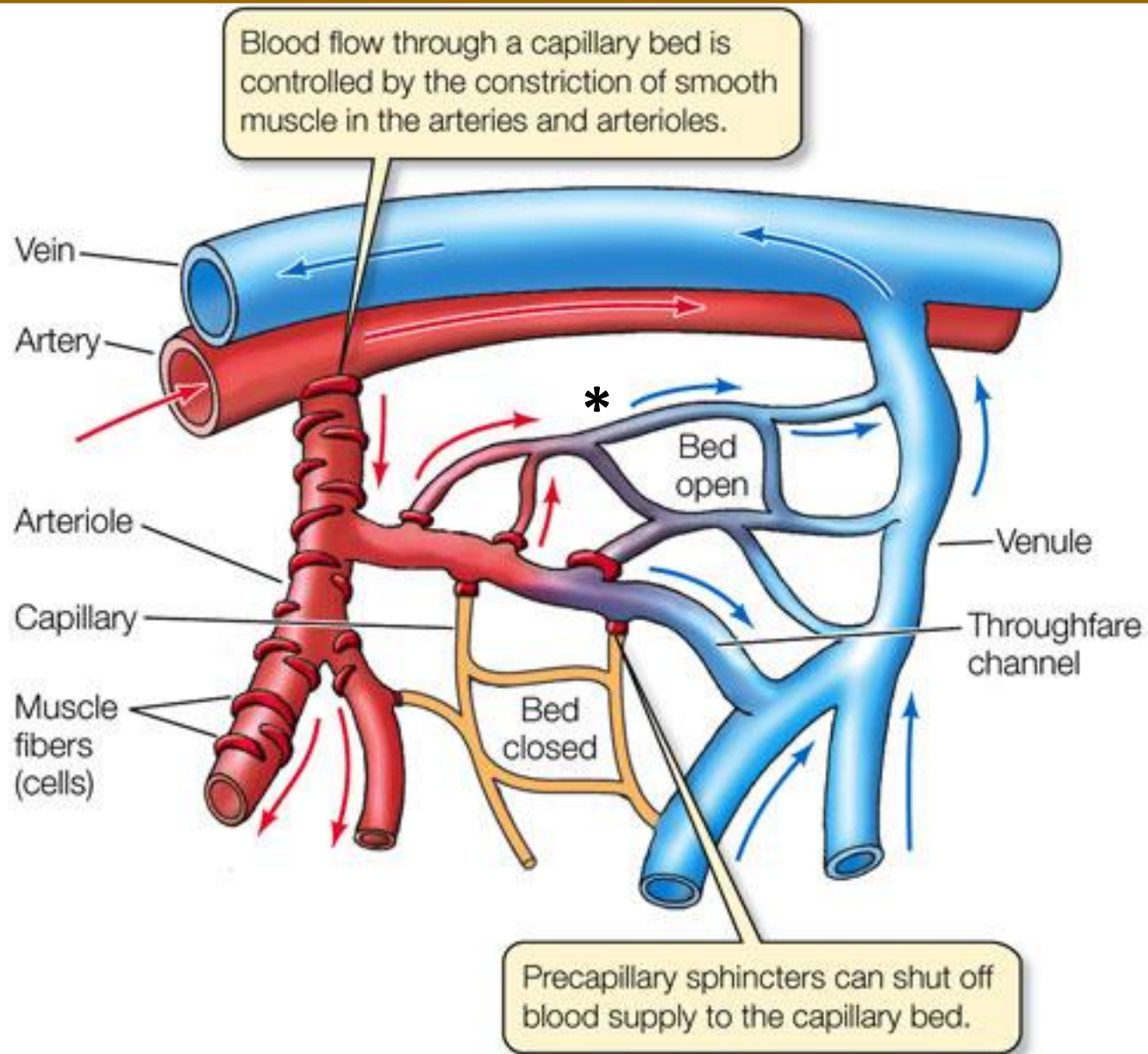
Malý plicní oběh – 100%



Rozdíly mezi plicním a systérovým 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.

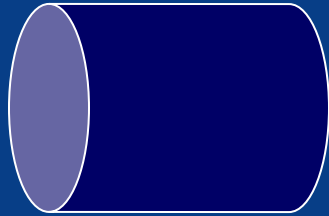
\* Zkratky – arteriovenózní anastomózy

# 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

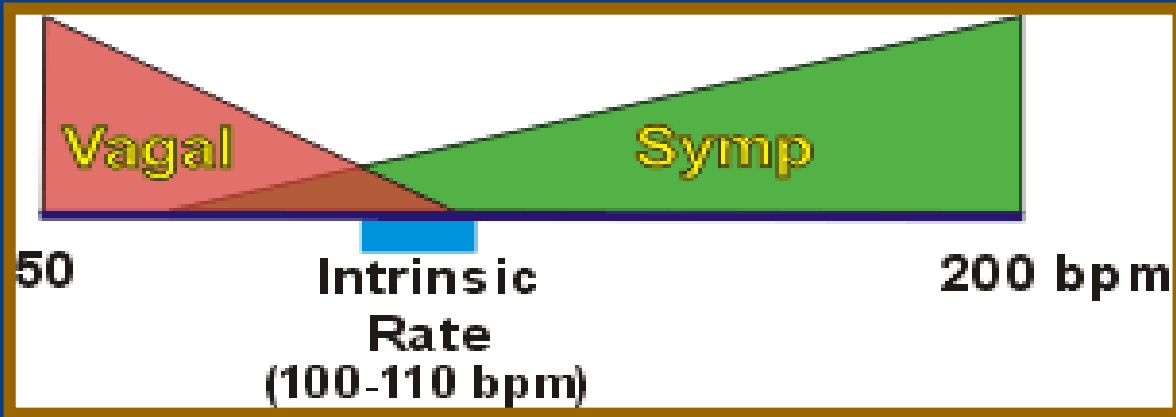
adrenalin a<sub>1</sub>

vazopresin

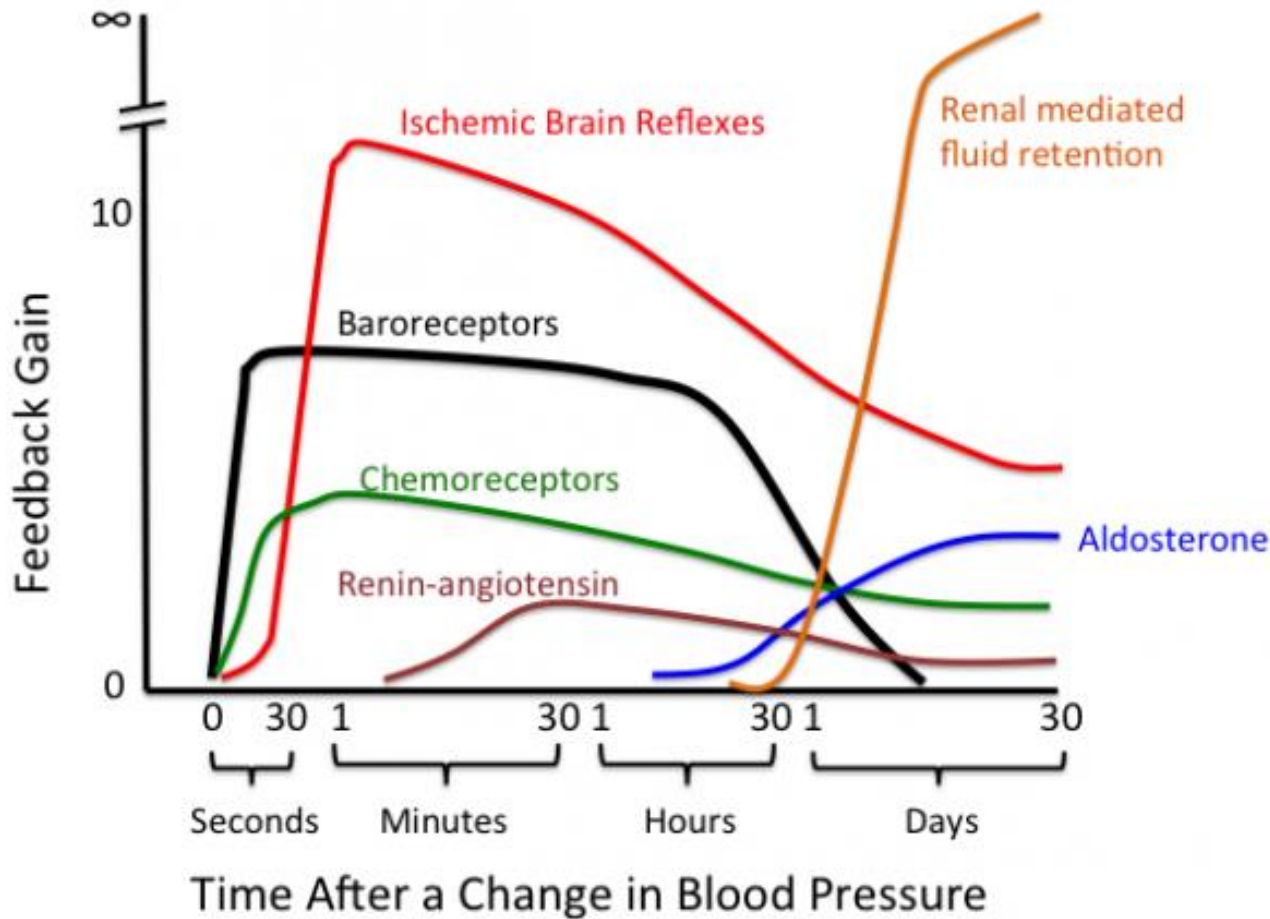
cGMP a cAMP v hladkém svalu stimuluje Ca<sup>2+</sup> pumpu sarkoplazmatického retikula  
pokles koncentrace Ca<sup>2+</sup> v buňce

Pomalejší  
„odklízení“ Ca<sup>2+</sup>

IP<sub>3</sub> uvolňuje Ca<sup>2+</sup> ze  
sarkoplazma-  
tického retikula



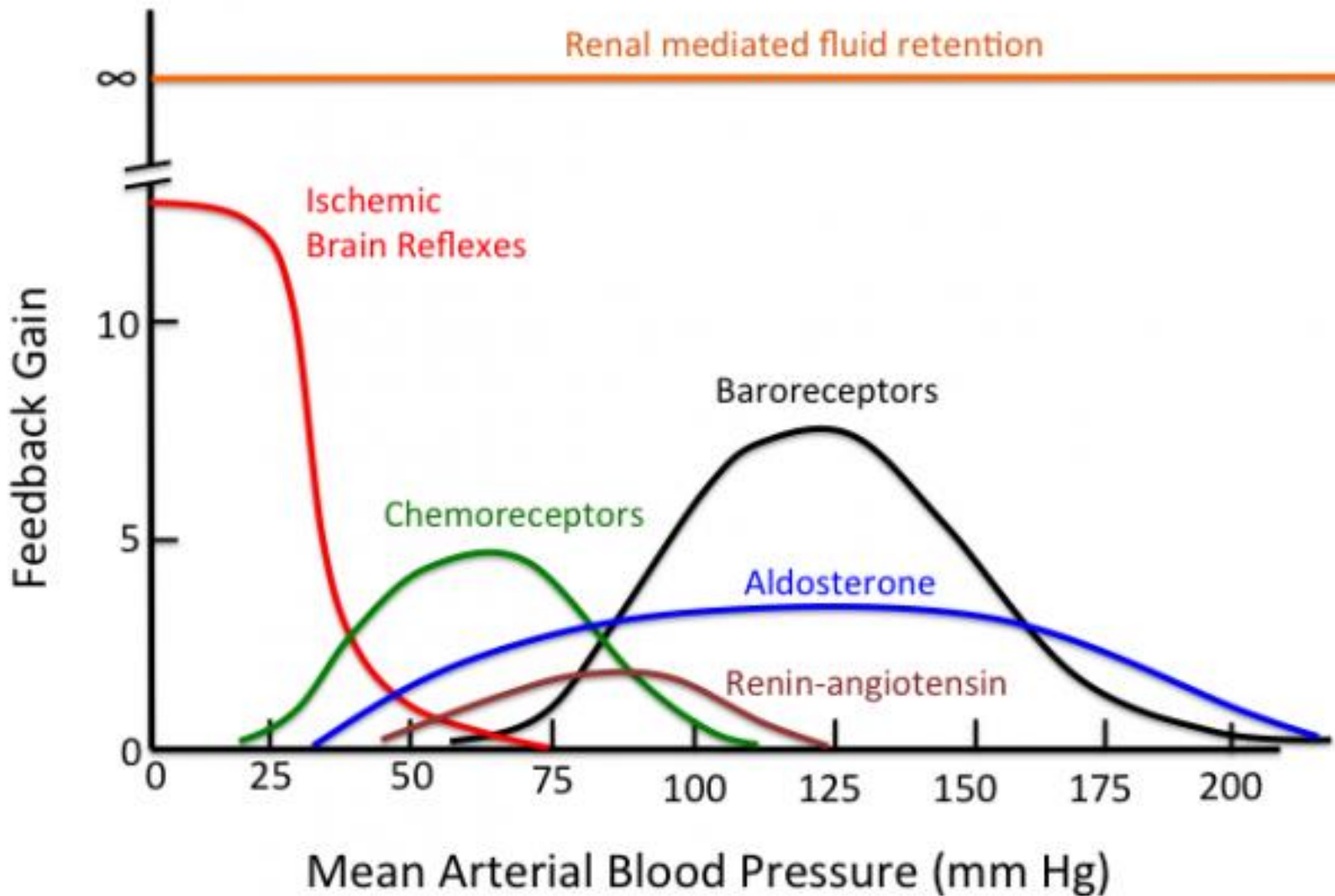
Podíl parasympatické a sympatické regulace srdečního tepu



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

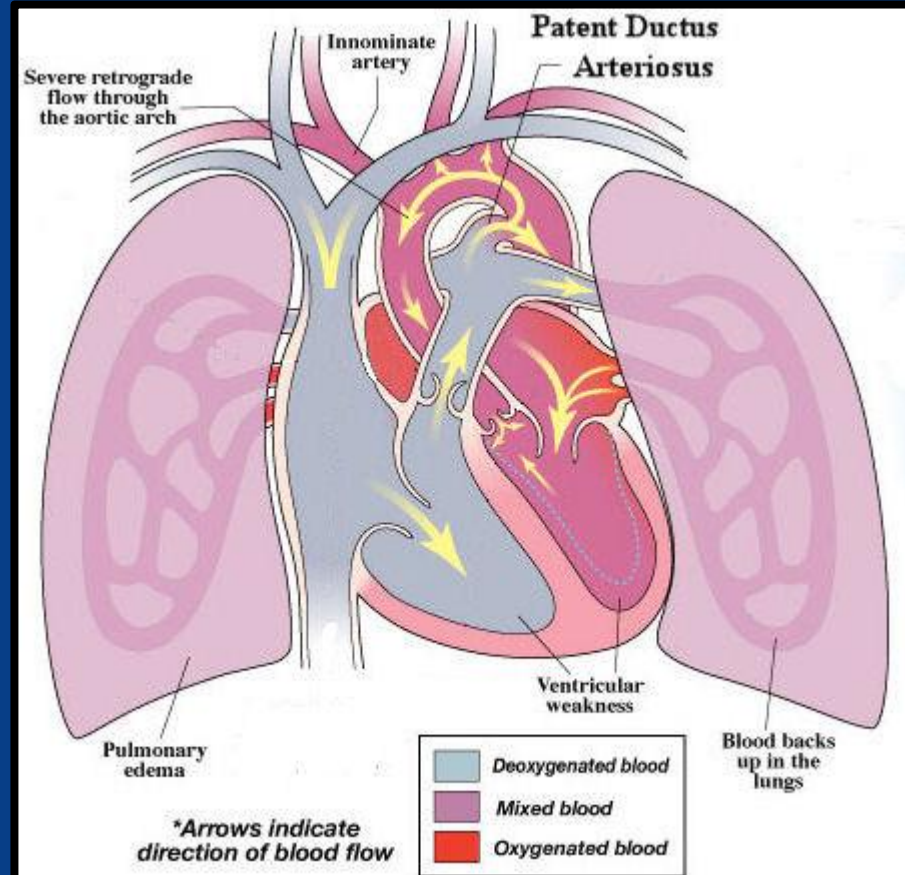
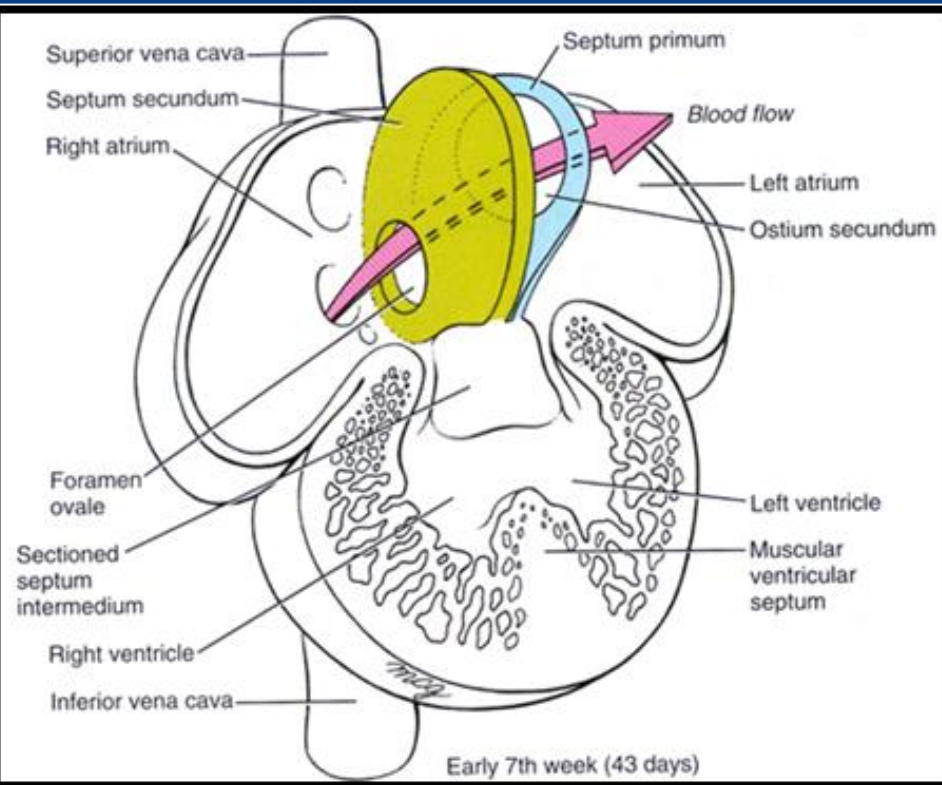


# Úloha jednotlivých regulátorů a receptorů při odpovědi na změnu krevního tlaku

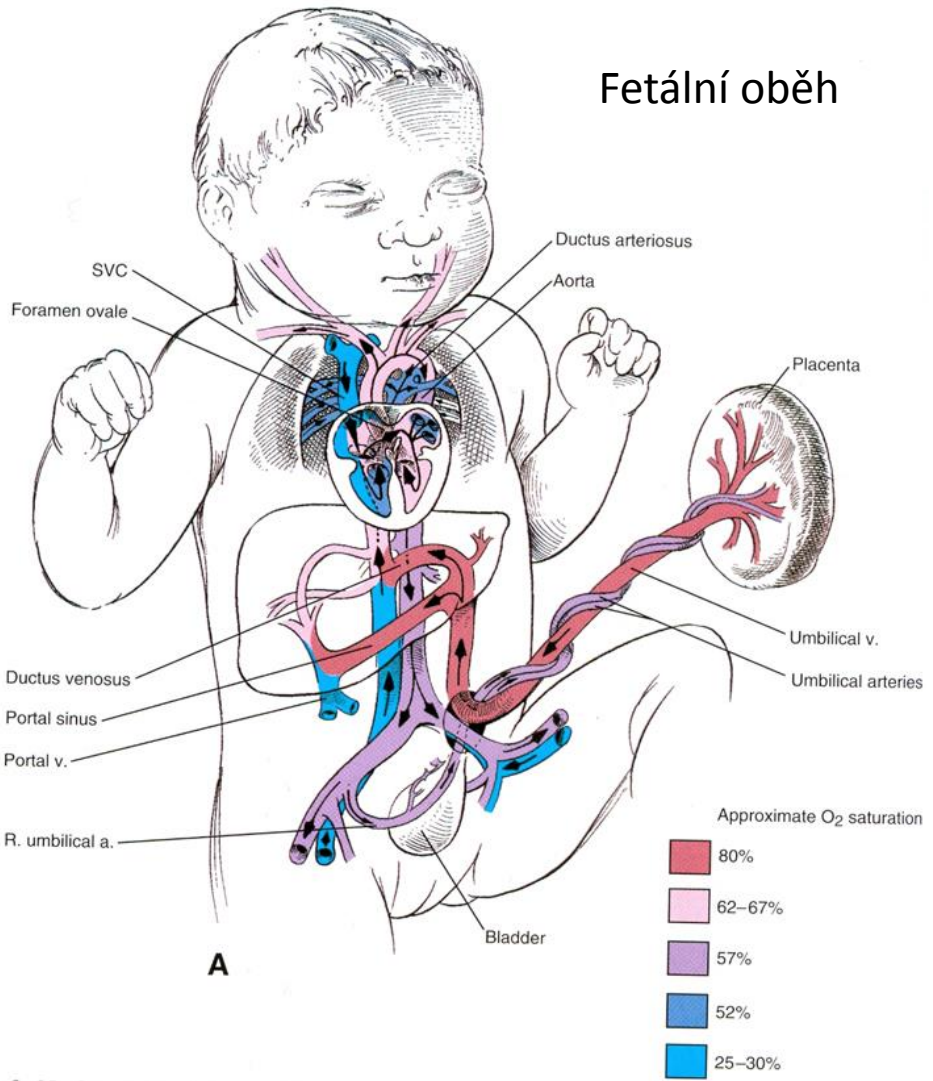


# Fetální oběh plodu

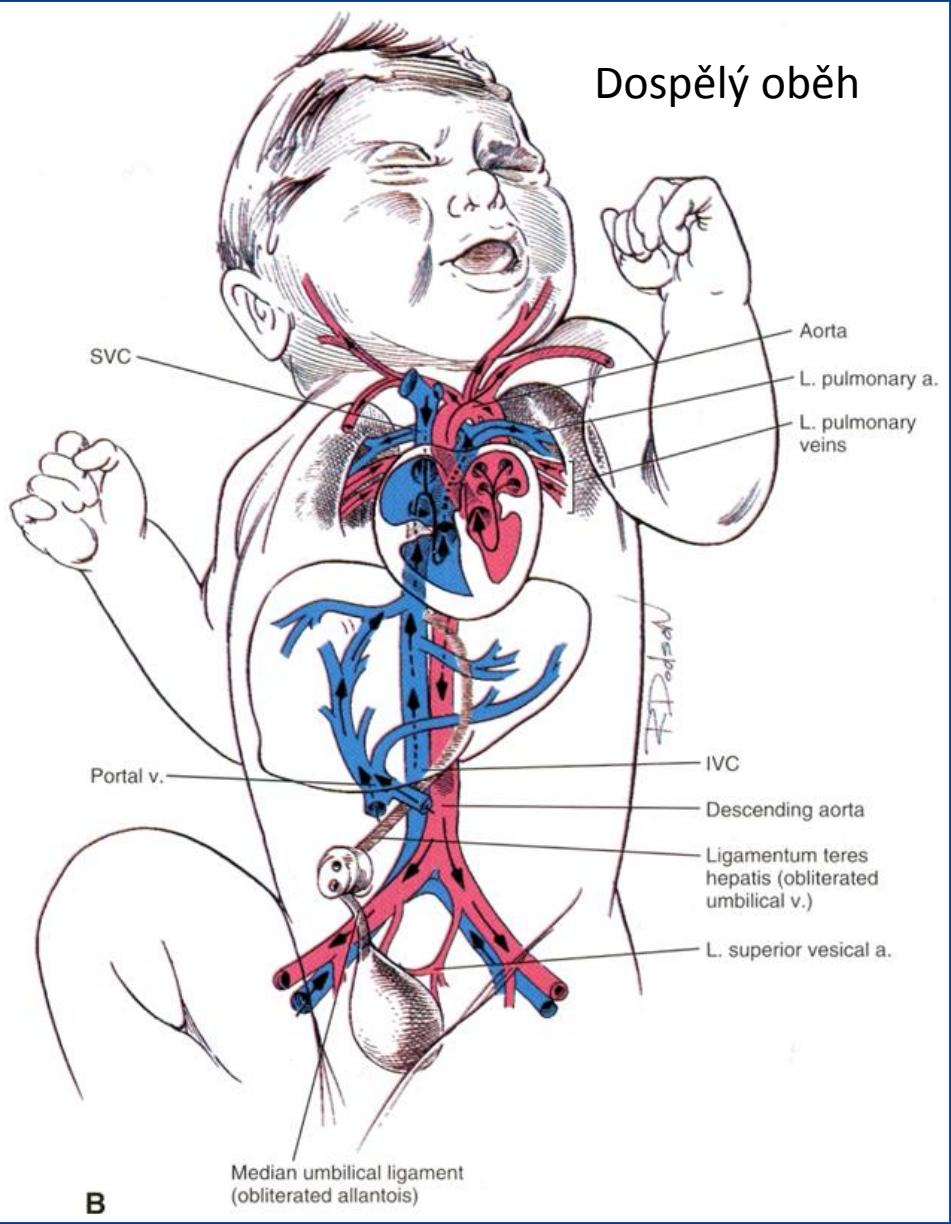
- Plicní oběh je uzavřen, plíce nejsou funkční
- Přemostění v srdci – *Foramen ovale* + *ductus arteriosus*
- Při narození, první nádech -> nárůst tlaku v plicích => změna tlaku v levé předsíni => uzavření *Foramen ovale*, zámik *ductus arteriosus* => kompletně oddělené oběhy



# Fetální oběh



# Dospělý oběh



# 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

