

# Přednáška

## Kardiovaskulární systém

- Celkový koncept
- Cévy
- Artérie - Tepny
- Mikrocirkulace
- Vény - Žíly
- Lymfatické cévy
- Srdce
- Převodní systém srdce

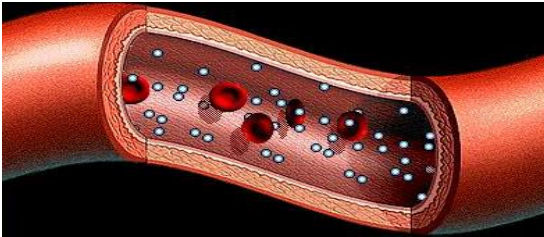
Brno, Květen 2023

# Kardiovaskulární systém

= součást oběhového systému

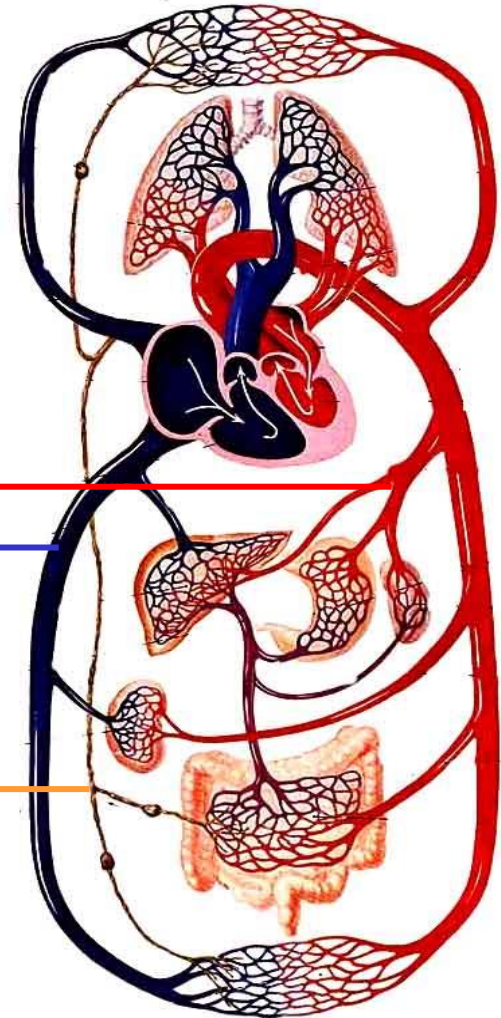
**Oběhový systém = Uzavřený systém „trubic“**

(rozdává tekutiny (krev, lymfu) ve specializovaných „trubicích“)



**Kardiovaskulární systém**

**Lymfatický systém**

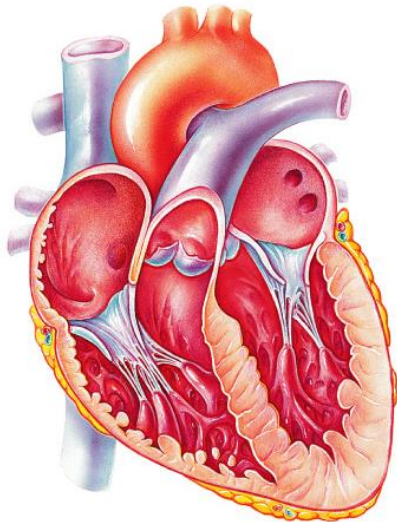


# Kardiovaskulární systém – obecná stavba

## Srdce

### PUMPA

- žene krev se všemi jejími elementy do celého těla



## Krevní cévy

### „TRUBICE“

- distribuují krev k buňkám **v celém těle** a vedou ji zpět do srdce

## Tři základní typy cév

### Arterie - Tepny

- přivádějí krev ze srdce do kapilár

### Kapiláry

- v těsné blízkosti buněk ve tkáních – místo výměny látek mezi krví a tkání

### Vény - Žíly

- vedou krev zpět do srdce

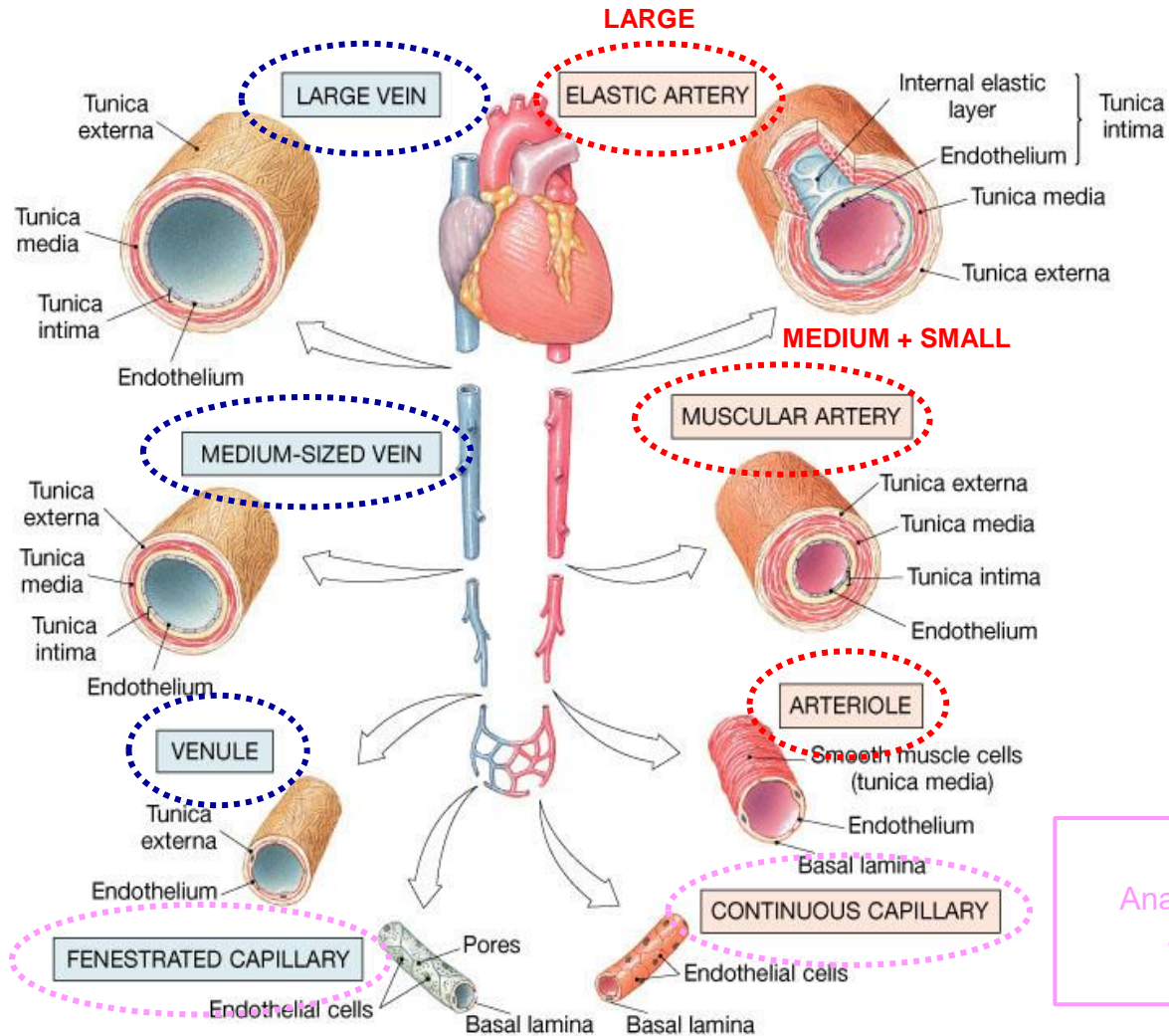
# Krevní cévy – několik různých podob

**Žily**  
Vždy vracejí krev do srdce  
(v každém čase obsahují 2/3 objemu krve)

**Arterie**  
Vždy vedou krev ze srdce do periferie

Makrovaskulatura – diametr >0.1 mm

Mikrovaskulatura – <0.1 mm

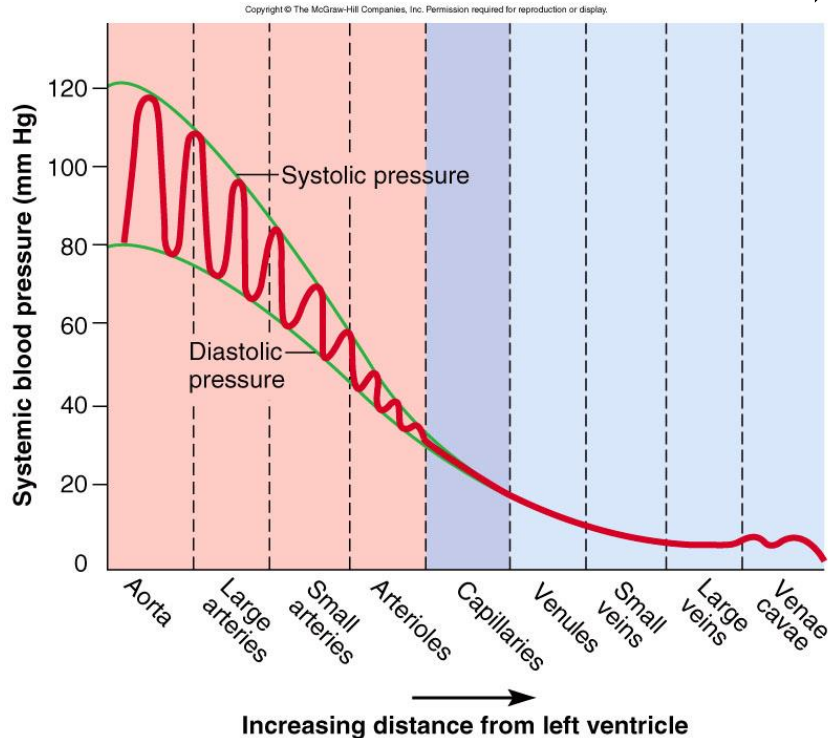


**Kapiláry**  
Anastomózující spojky mezi arteriemi and vénami  
= terminální řečiště

# Krevní cévy – tok krve

Pulzace

Spojité tok



Díky specifické morfologii cév

## Například

### V diastole:

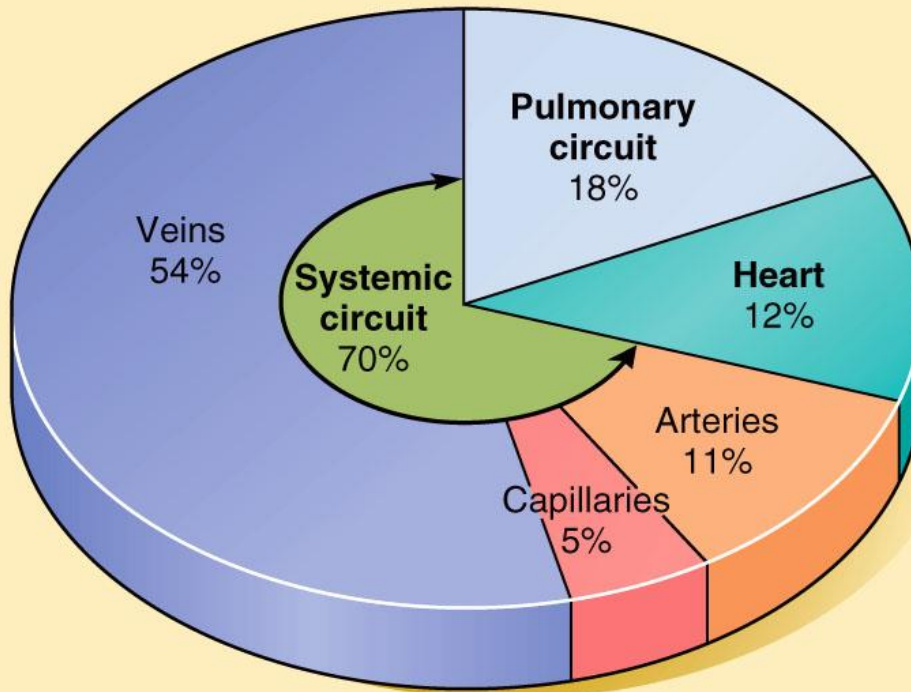
- poloměsičité chlopně jsou uzavřeny
- arterie nejsou plněny krví ze srdce
- krev proudí díky působení elasticity arterií

Typ cévy	Diametr (mm)	Rychlost proudění krve (mm/sec)
Aorta	25	1 200 (systola)
Arterioly	0.02-0.05	15
Kapiláry	0.005-0.010	0.4
Venuly	0.02	5
Vena cava inferior	30	80

# ...odráží se v nejednotné distribuci krve v cévách

Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. Permission required for reproduction or display.

## Distribution of Blood



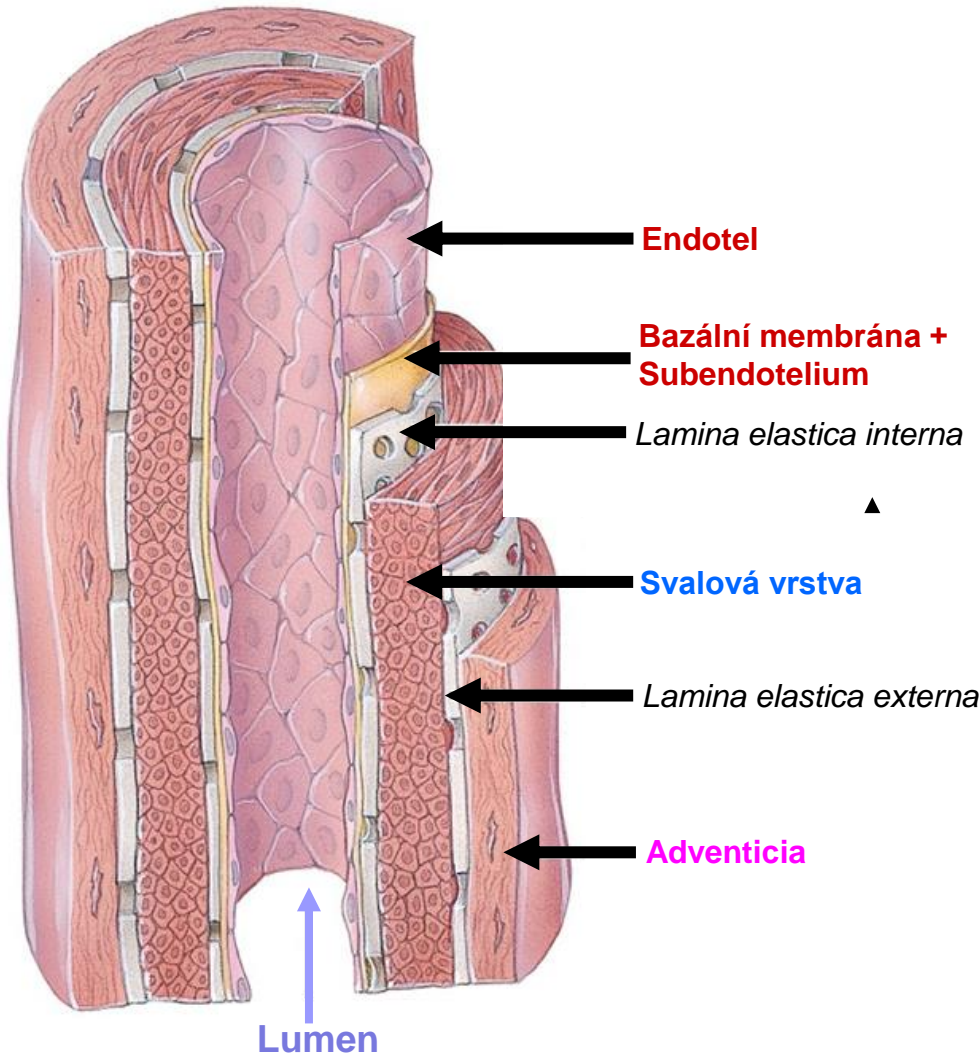
### 65 – 70% v žilách

- zásobárna krve
- lumen je větší než u korespondujících arterií

### Kapiláry

~ 100 tisíc km (odhad)  
&  
pouze 5% objemu krve  
&  
největší povrch (~ 600 m<sup>2</sup>)  
&  
většina buněk není dále než  
50 μm od kapiláry

# Krevní cévy – jednotný stavební plán (trojvrstevnost)



## Tunica intima

### Endotelové buňky:

- polygonální, dlaždicovité, protáhlé
- negativně nabitá glycocalyx (0.5  $\mu\text{m}$ )
- odpudivý povrch (neadherentní)
- glycocalyx – vazebné místo pro regulátory, regulátor permeability, ...
- produkuje regulační molekuly (interleukiny,...)

## Tunica media

- hladkosvalové buňky (cirkulárně ve vrstvách)
- kolagenní a elastická vlákna (lamely), retikulární vlákna
- proteoglykany
- pevnost a vasomotorika cév

## Tunica externa

- pojivová tkáň (kolagen 1 + elastin)
- *vasa vasorum* a nervová vlákna
- přechází do stromatu okolní tkáně

# Arterie

Několik kategorií podle jejich: **velikosti + struktury + funkce**

## **Velké arterie elastického typu**

(*aorta, truncus pulmonalis, a. carotis, a. subclavia, ....*)

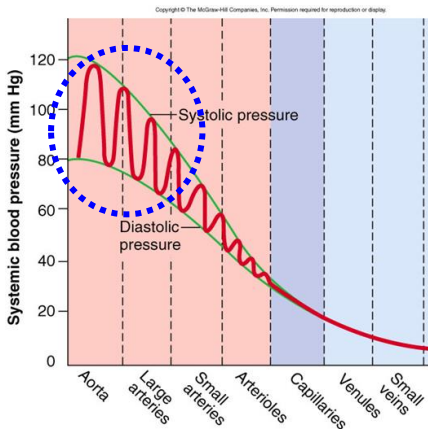
## **Arterie svalového typu** ( $D > 1 \text{ mm}$ )

(*a. brachialis, a. ulnaris, a. femoralis, a. renalis, ...*)

## **Malé arterie** ( $D = 0.1 - 1 \text{ mm}$ )

## **Arterioly** ( $D < 0.1 \text{ mm}$ )



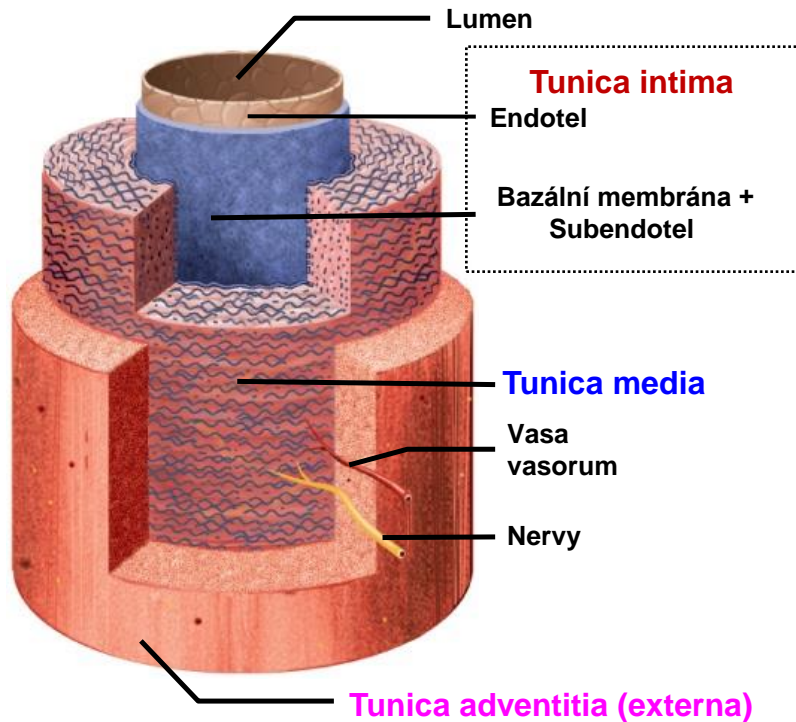


## Arterie elastického typu

- vedou krev ze srdce
- absorbují a ukládají kontraktilní energii komor a vyhlazují pulzatilní tok krve
- během kontrakce komor (systola) se rozpíná elastická vrstva arterií a omezuje tak změny tlaku
- během relaxace komor (diastola) klesá tlak v komorách a tlak krve v arteriích je udržován tenzí dilatovaných arterií
- arteriální tlak a rychlost proudění krve tak méně kolísá s rostoucí vzdáleností od srdce

# Arterie elastického typu

Relativně tenká stěna ve srovnání s vnitřním průměrem (1/10 průměru).



## Endotel

- protáhlé buňky – v podélné ose cévy

## Subendotelové vazivo (vrstva)

- řídké vazivo
- mnoho jemných podélně orientovaných elastických vláken
- podélně orientovaná hladkosvalová vlákna na hranici s t. media
- místo aterosklerotických změn

## Lamina elastica interna

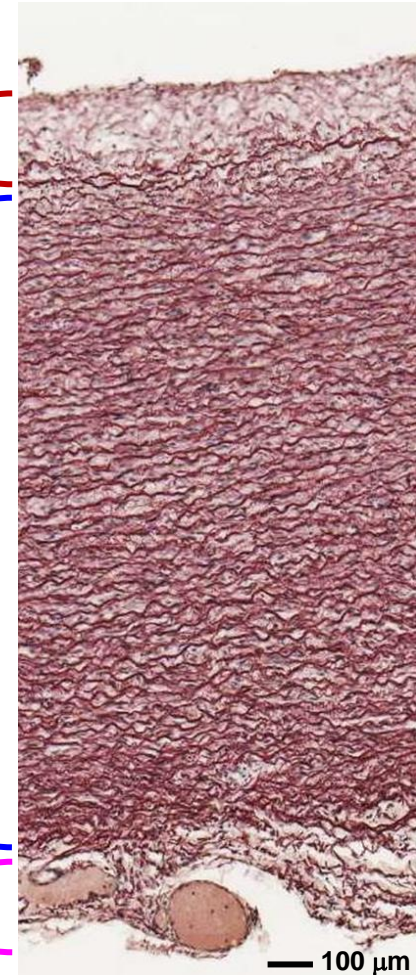
- méně zřetelná

- elastická vlákna uspořádaná cirkulárně – tvoří nesouvislé lamely (membrány) tlusté cca  $2.5 \mu\text{m}$  - cca 50 lamel ve stěně aorty
- hladkosvalové buňky – cirkulárně mezi elastickými membránami

- relativně tenká
- řídké vazivo
- občasná elastická vlákna – podélně vasa vasorum a lymfatické cévy (pronikají do t. media)
- nervy

0.15 mm

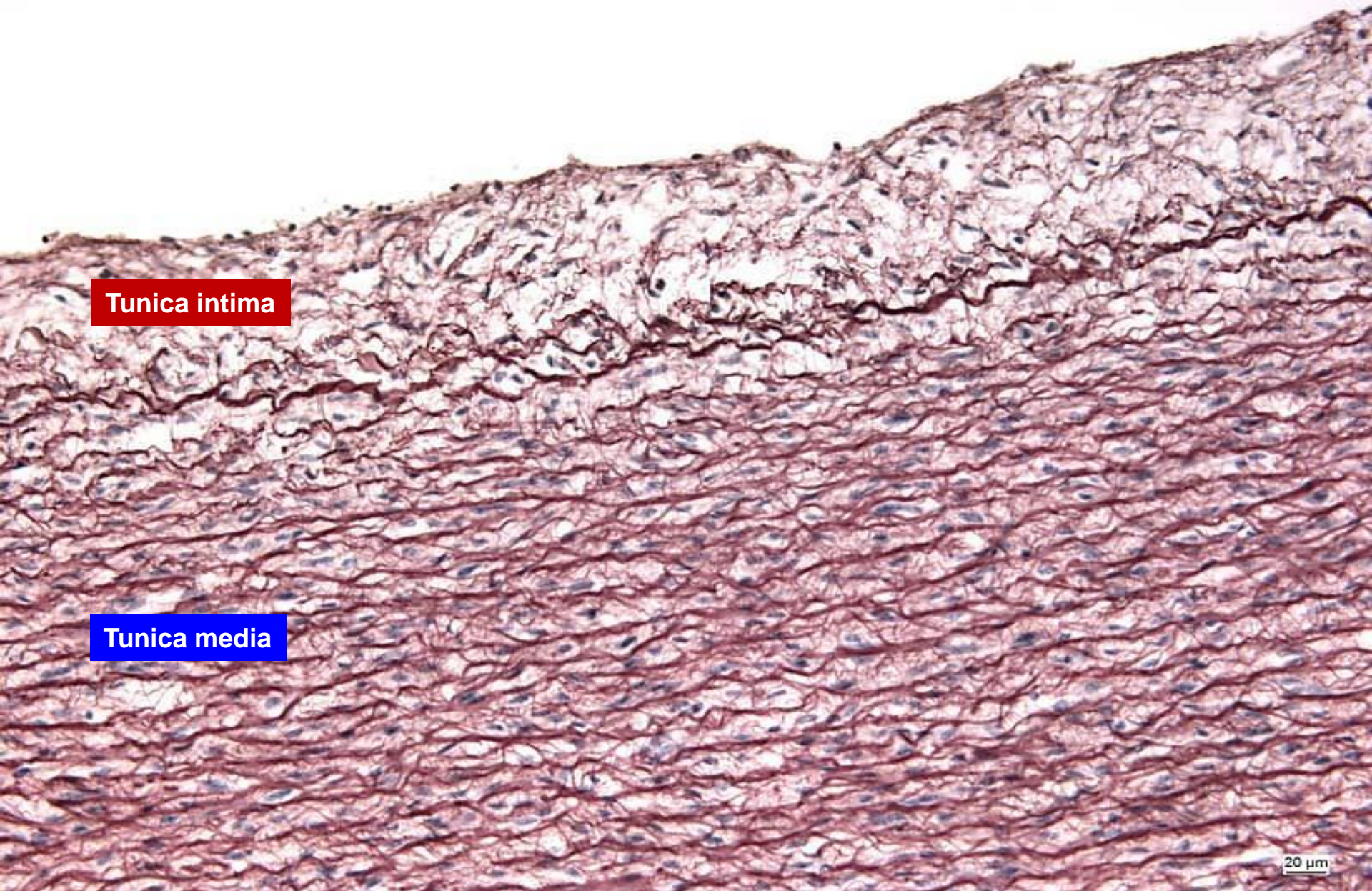
2 mm



# Arterie elastického typu

Tunica intima

Tunica media

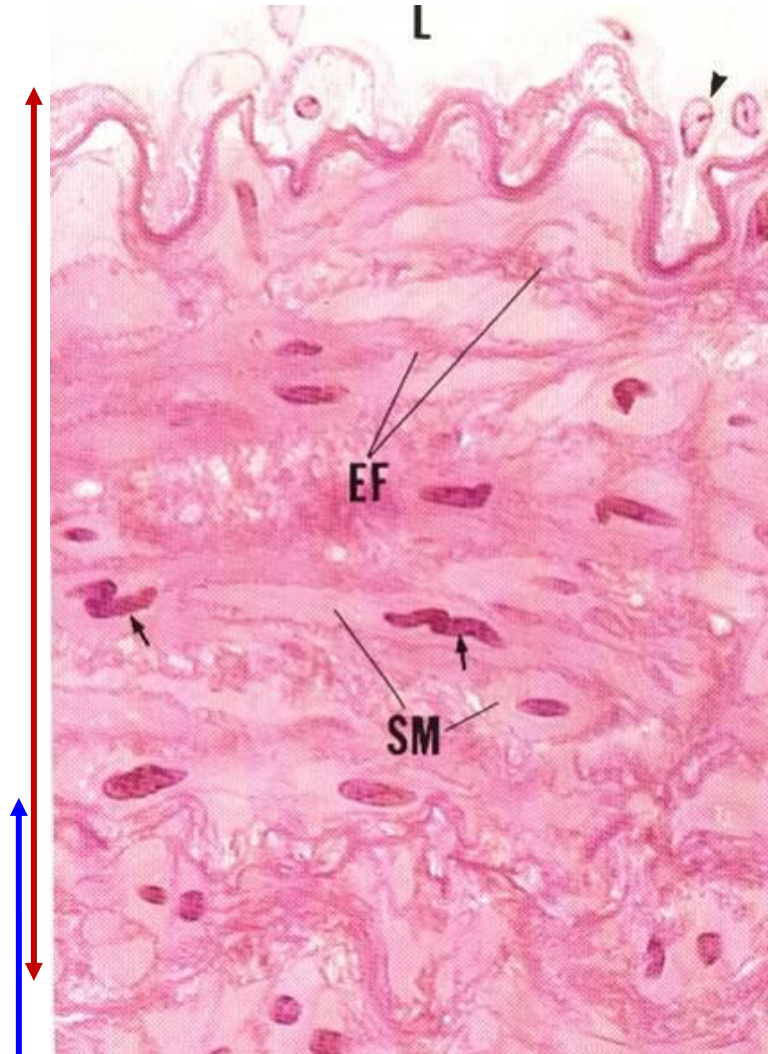


# Arterie elastického typu

Opice  
H & E  
x540

Tunica intima

Tunica media

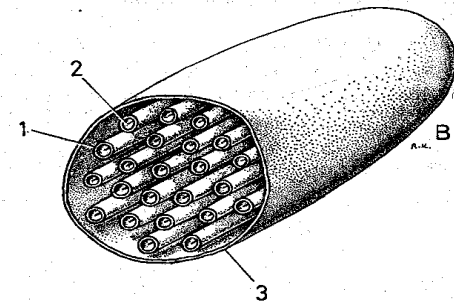
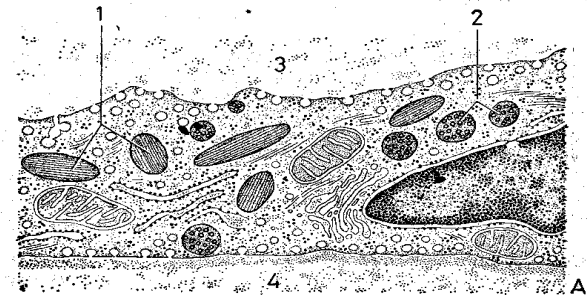
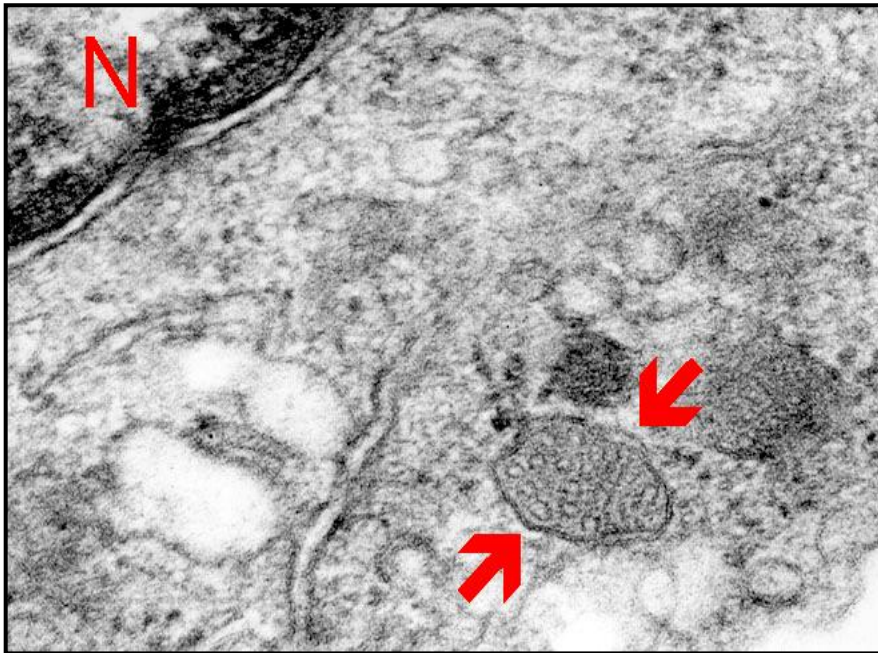


přechod

# Arterie - Endotel

## Weibel-Paladeho tělíska

- organely, které jsou unikátní pro endotelové buňky
- obsahují von Willebrandův faktor (aktivuje koagulační faktor VIII) + P-selectin



# Arterie – Aterosklerotické změny

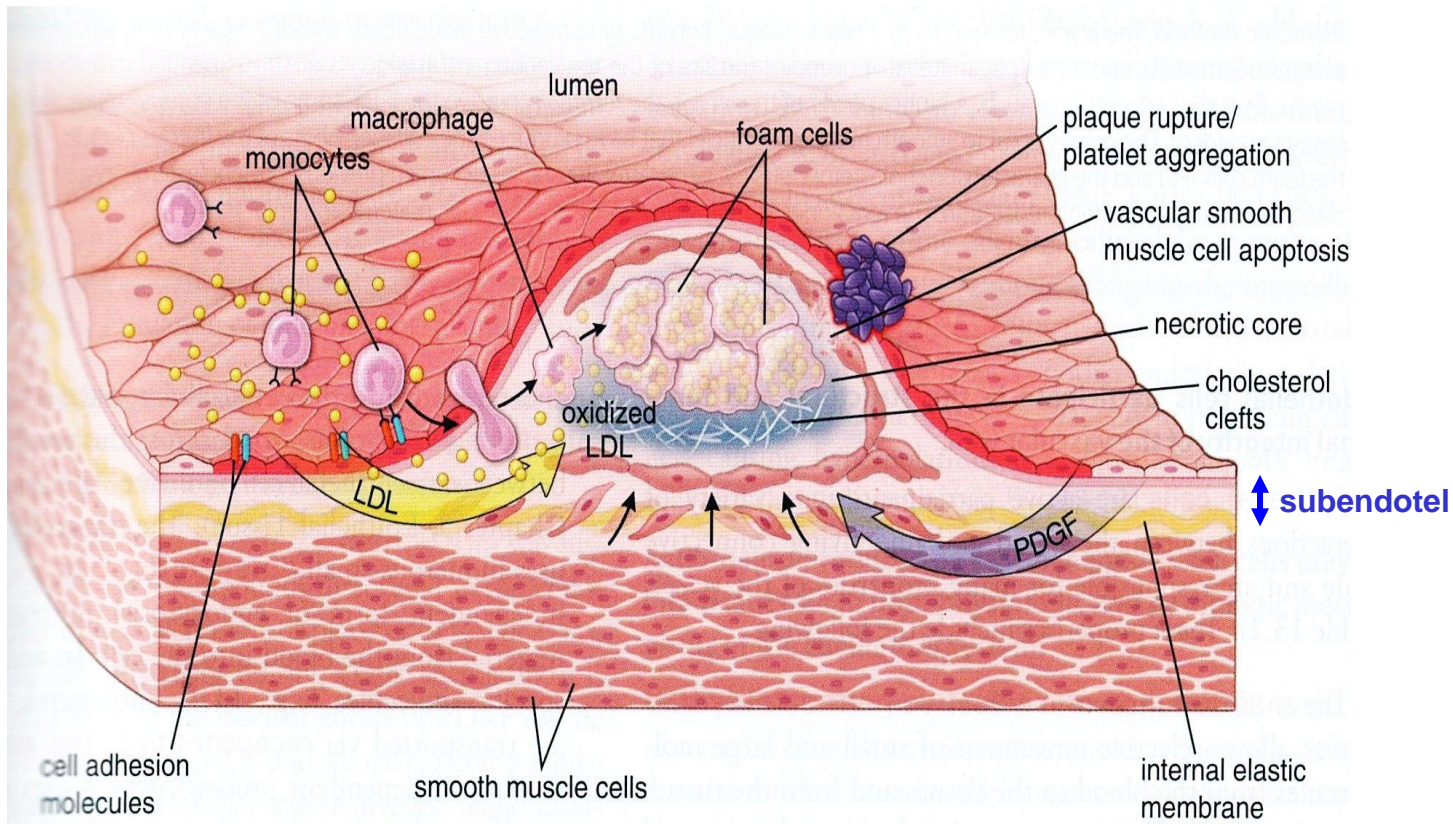
**Poškození endotelu**  
(predisponující faktory)

**Produkce ROS**

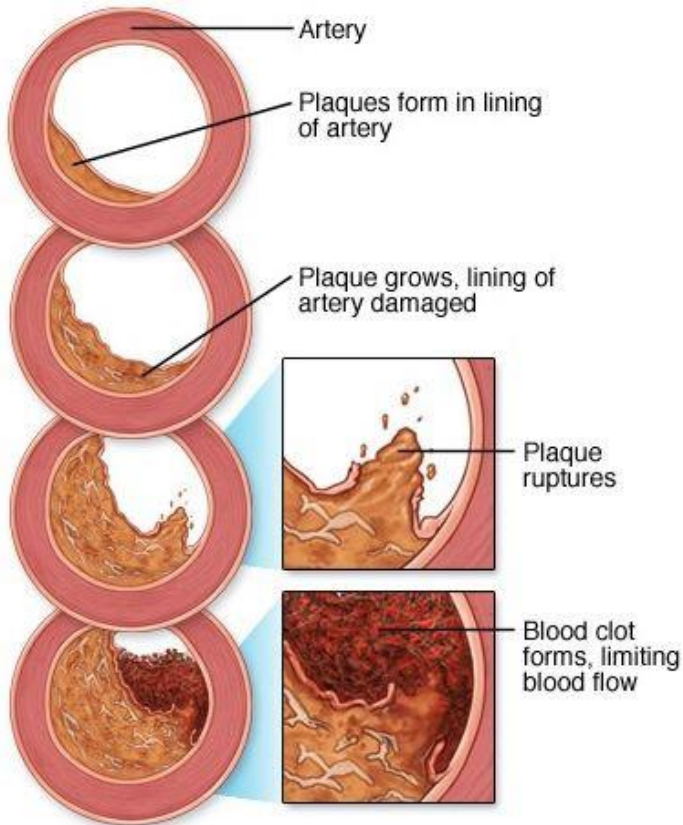
**Oxidace LDL**

**Vstup monocytů**  
(přeměna na pěnové buňky)

**Tvorba plaku**  
(nekróza + akumulace lipidů)

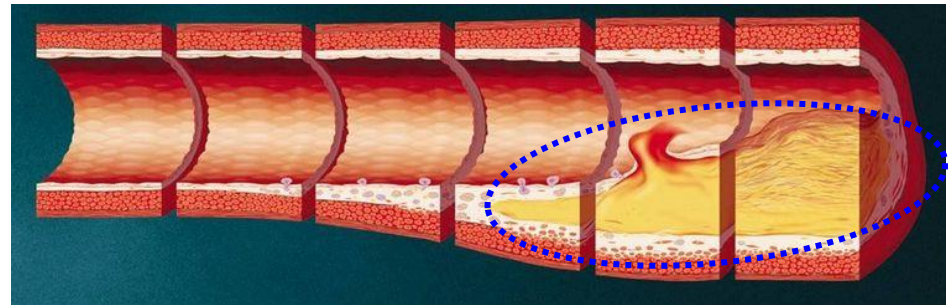


# Arterie – Aterosklerotické změny

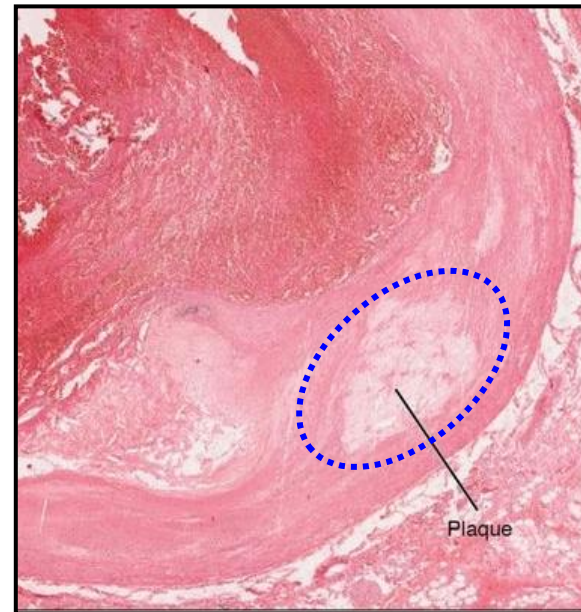


© MAYO FOUNDATION FOR MEDICAL EDUCATION AND RESEARCH. ALL RIGHTS RESERVED.

Ucpání arterie



Ateromatózní plát

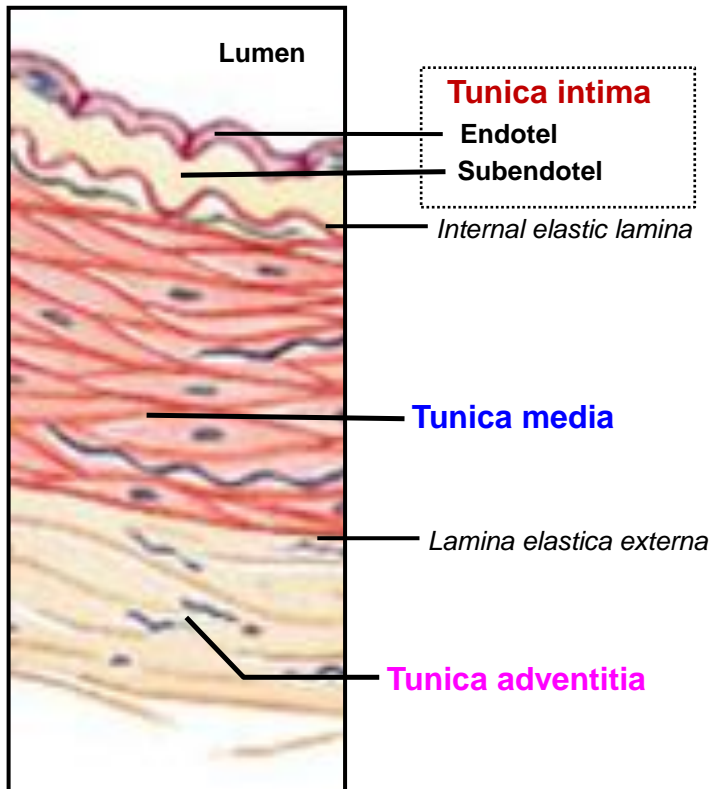


## Arterie svalového typu = „distribuční“ arterie

- rozvádějí krev do specifických orgánů (destinací)
- průměr od jednoho centimetru až po sotva viditelné pouhým okem
- regulují zásobování krví jednotlivých částí těla



# Arterie svalového typu



Arterie svalového typu

## Endotel

- protáhlé buňky ve směru osy cévy
- dobře vyvinuté adhezní, těsnící a GAP spoje
- glycocalyx

## Subendotel

- tloušťka roste s věkem
- řídké vazivo
- mnoho podélně orientovaných elastických vláken
- vmezeřené hladkosvalové buňky

## Lamina elastica interna

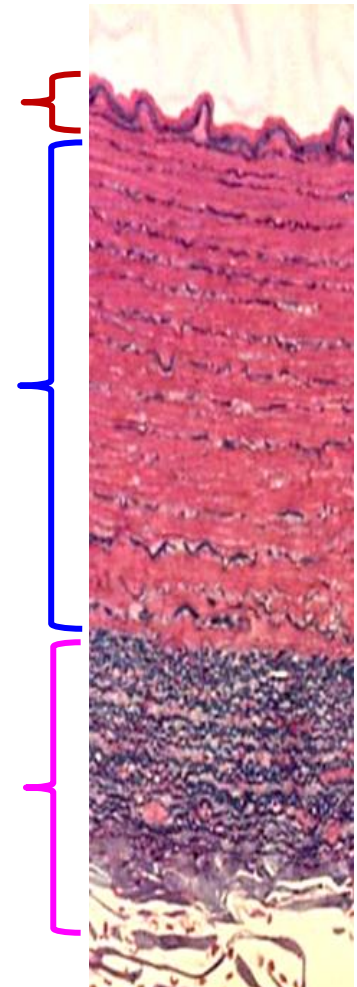
- dobře vyvinuta

- velmi tlustá
- hladkosvalové b. – koncentricky uspořádané
- až 50 vrstev hladkosvalových buněk
- ECM s elastickými, kolagenními a retikulárními vlákny
- GAP spoje mezi hladkosval. b. (koordinace)

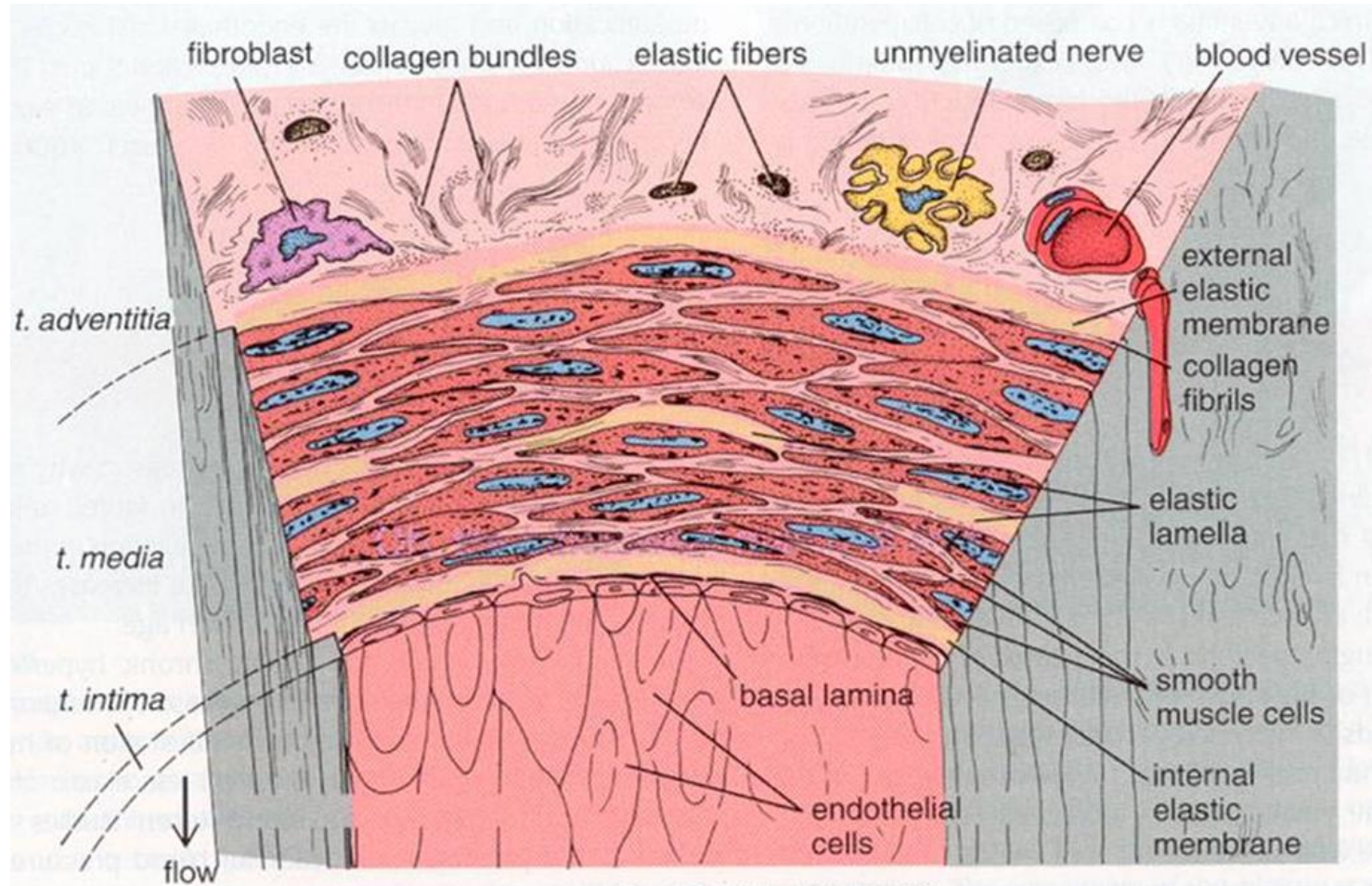
## Lamina elastica externa

- dobře vyvinuta

- relativně tlustá (~ 1/2 tunica media)
- kolagenní a elastická vlákna
- fibroblasty a adipocyty
- vasa vasorum and lymfatické cévy (až do t. media)
- nervy – eferentní – zejména v arteriích malého kalibru

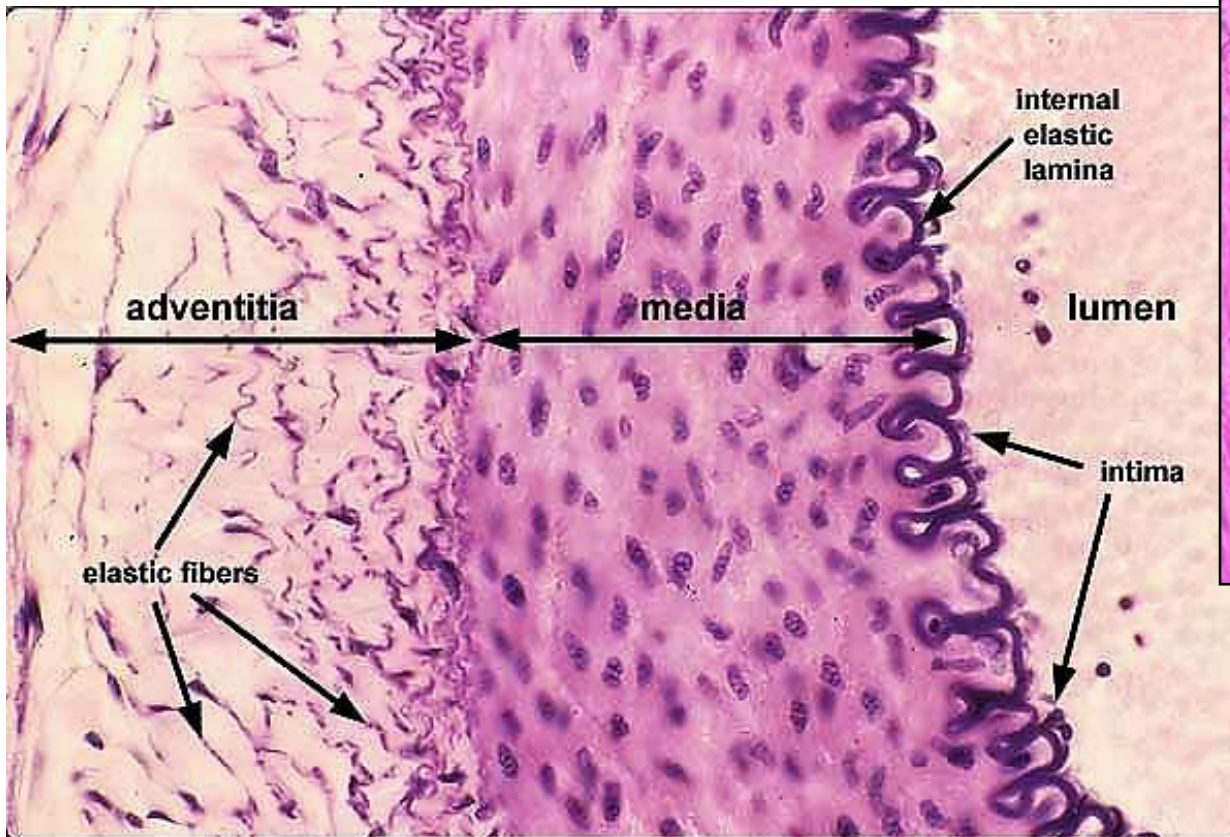


# Arterie svalového typu



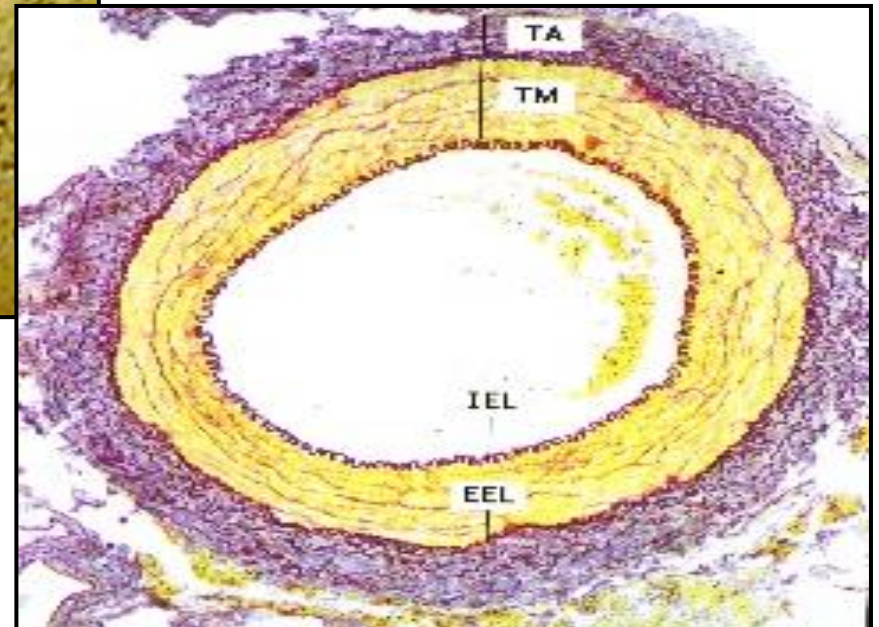
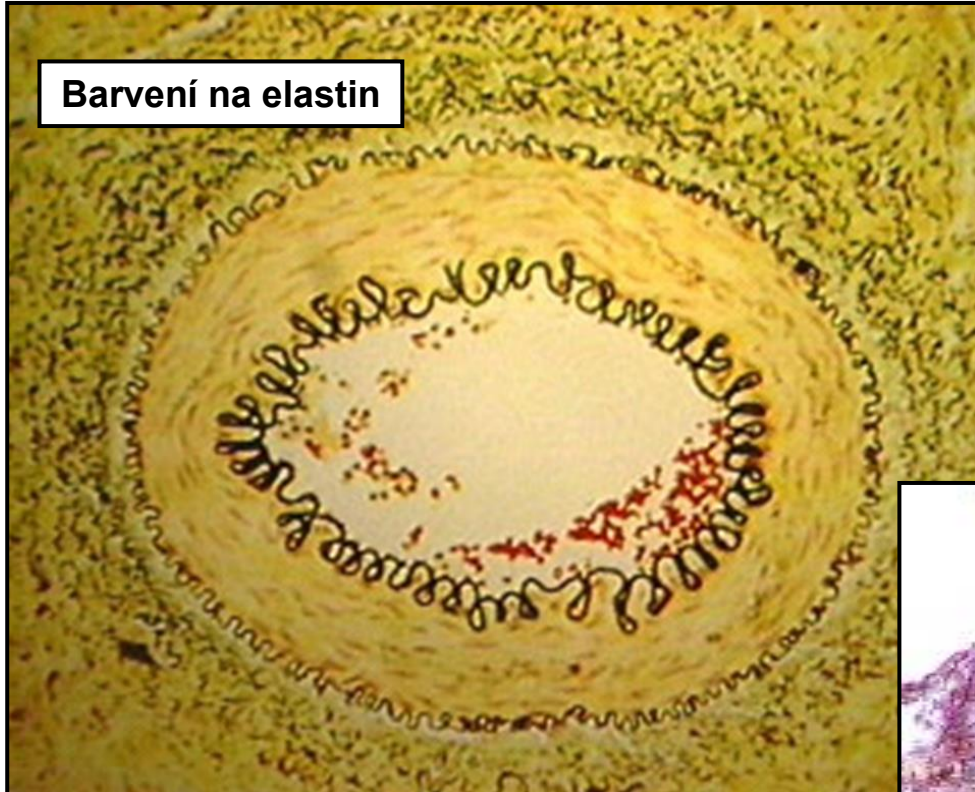
# Arterie svalového typu

**Zvlnění - Artefakt**  
(díky postmortem kontrakci hladkosvalových buněk)



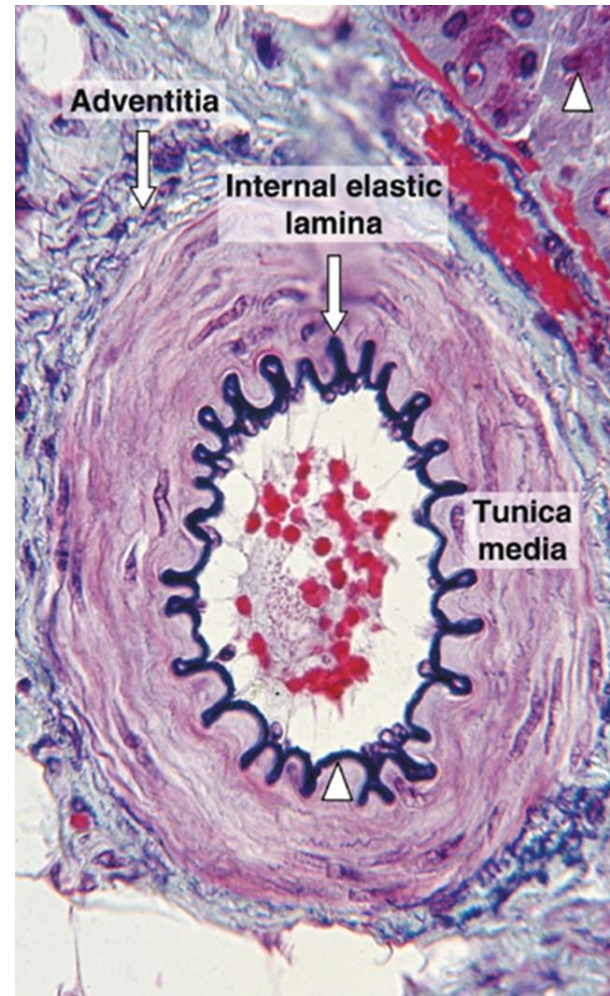
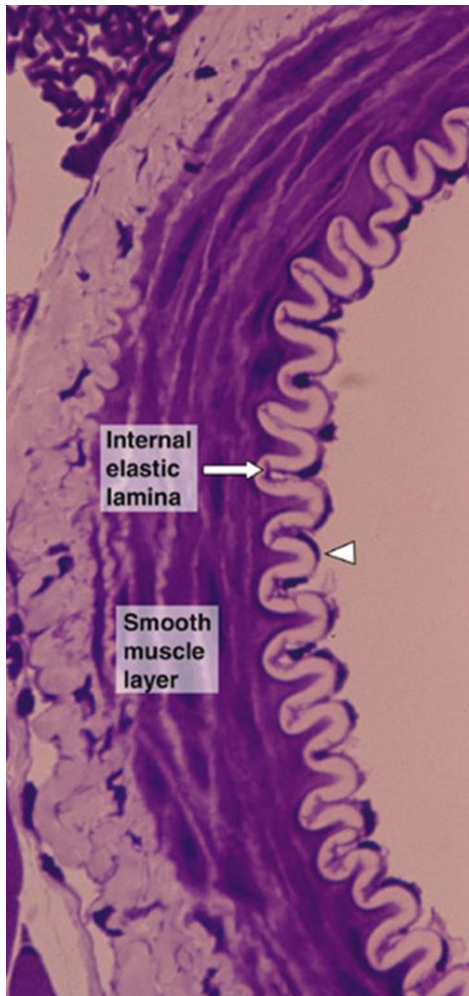
# Arterie svalového typu

Barvení na elastin

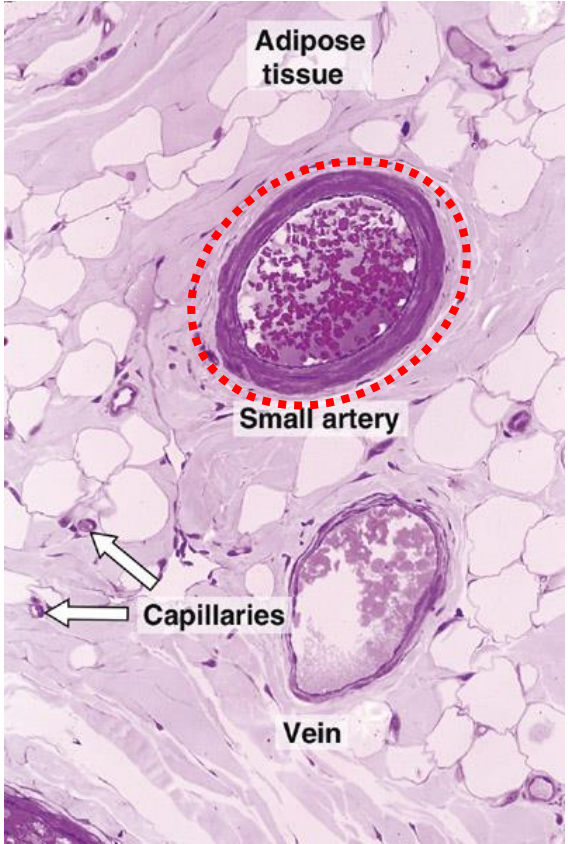
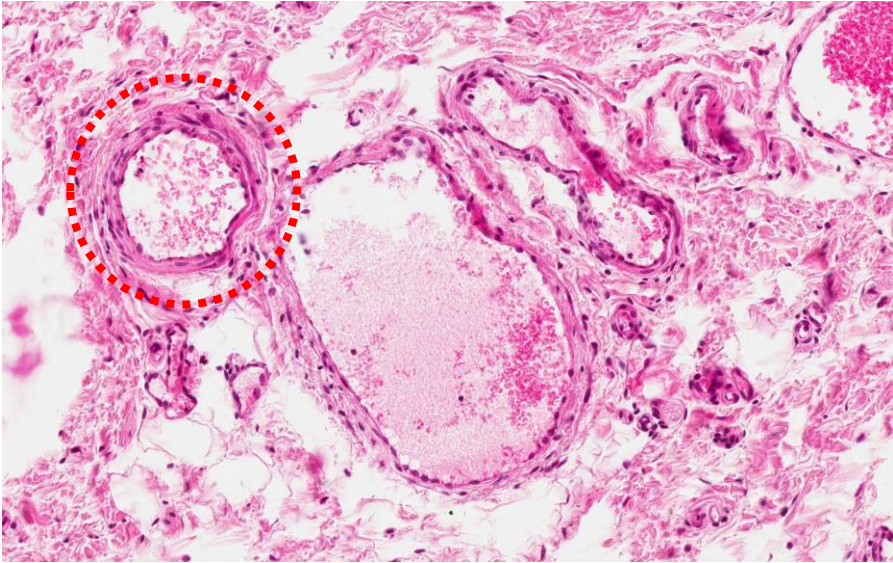
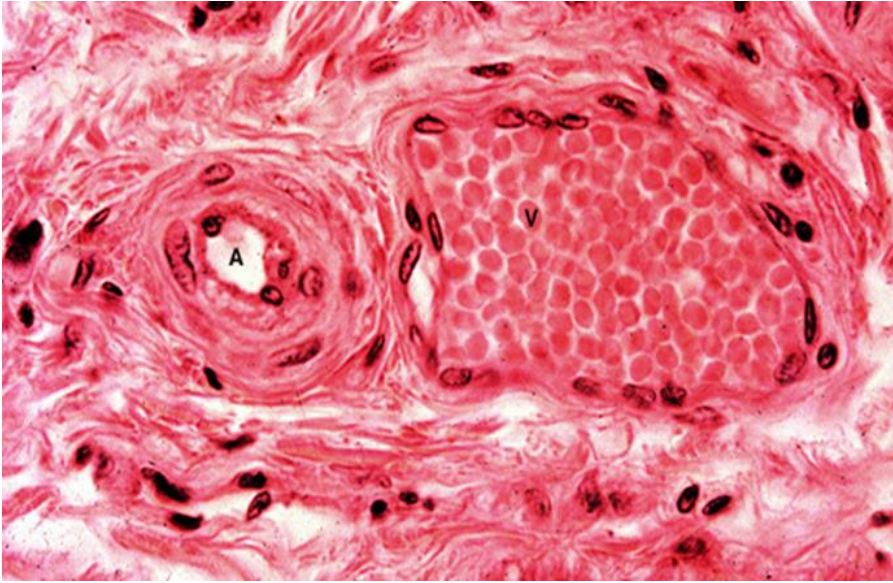


# Arterie svalového typu - malý kalibr

- **periferní cévy** (spolu s arterioly)
- **Lamina elastica interna** dobře definovaná x **Lamina elastica externa** není vyvinuta
- **Tunica media** - 3 až 10 vrstev hladkosvalových buněk



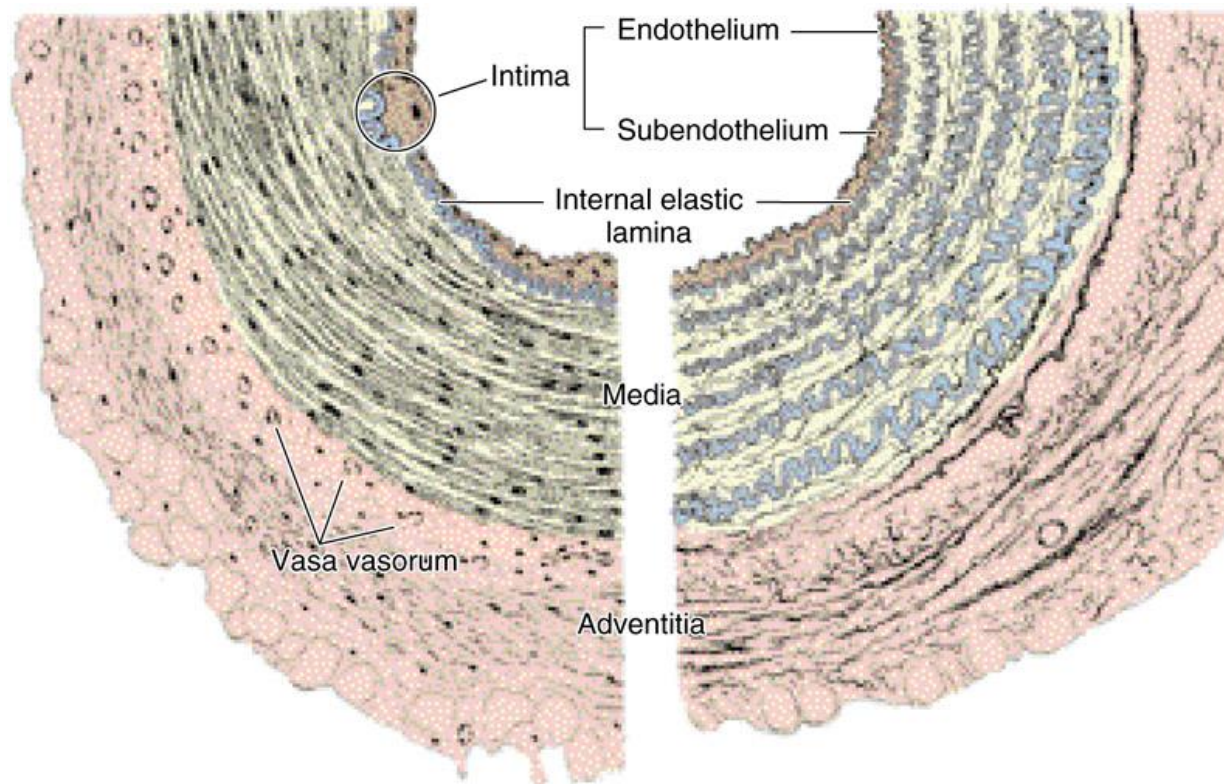
# Arterie svalového typu - malý kalibr



# Arterie svalového typu x Arterie elastického typu

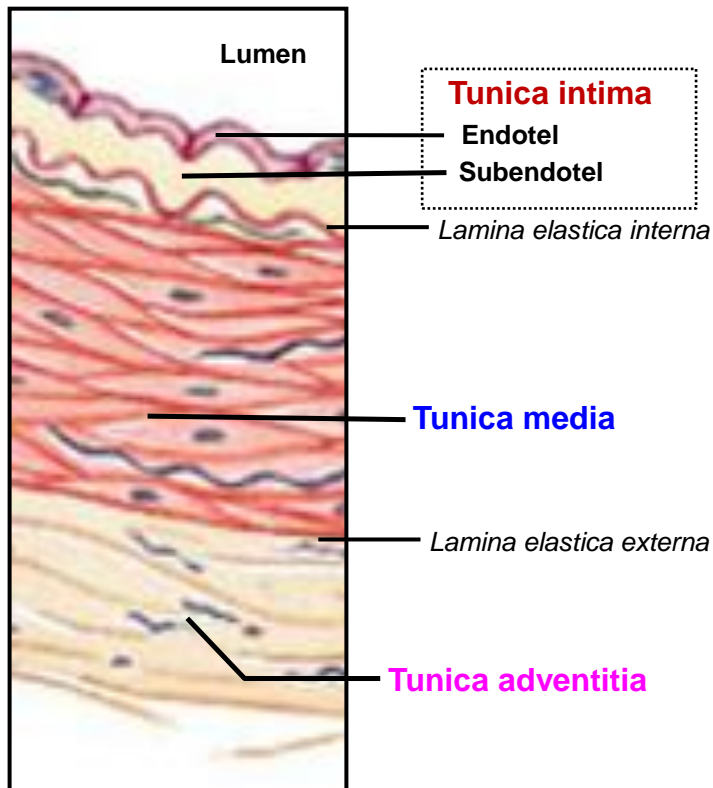
V tunica media převládají hladkosvalové buňky

V jejich stěně převládají elastické elementy



# Arterioly

- **periferní cévy** (spolu s arteriemi malého kalibru)
- součást **mikrocirkulace** (terminální řečiště)
- vnitřní průměr < 0.1 mm
- regulují průtok krve kapilární sítí



## Endotel

- buňky protáhlé v podélné ose

## Subendotel

- není vyvinut

## Internal elastic lamina

- není vyvinuta

- tenká (přesto stále nejtlustší vrstva)
- 1 až 2 vrstvy hladkosvalových buněk

## External elastic lamina

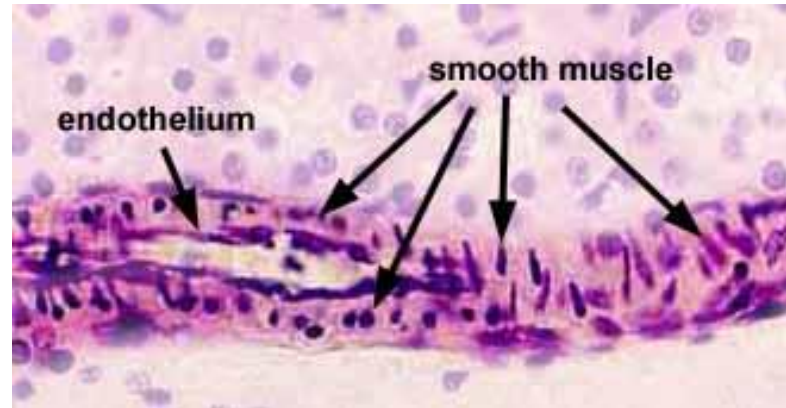
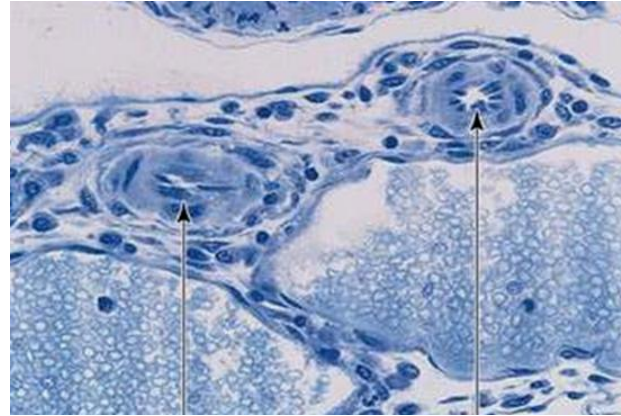
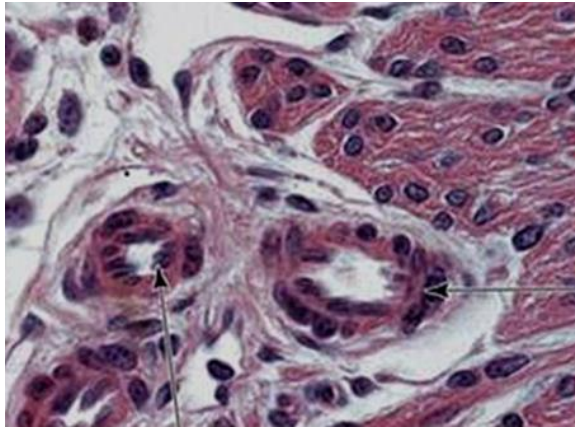
- není vyvinuta

- pouze vrstva kolagenních vláken
- nejsou vasa vasorum

Arterie svalového typu

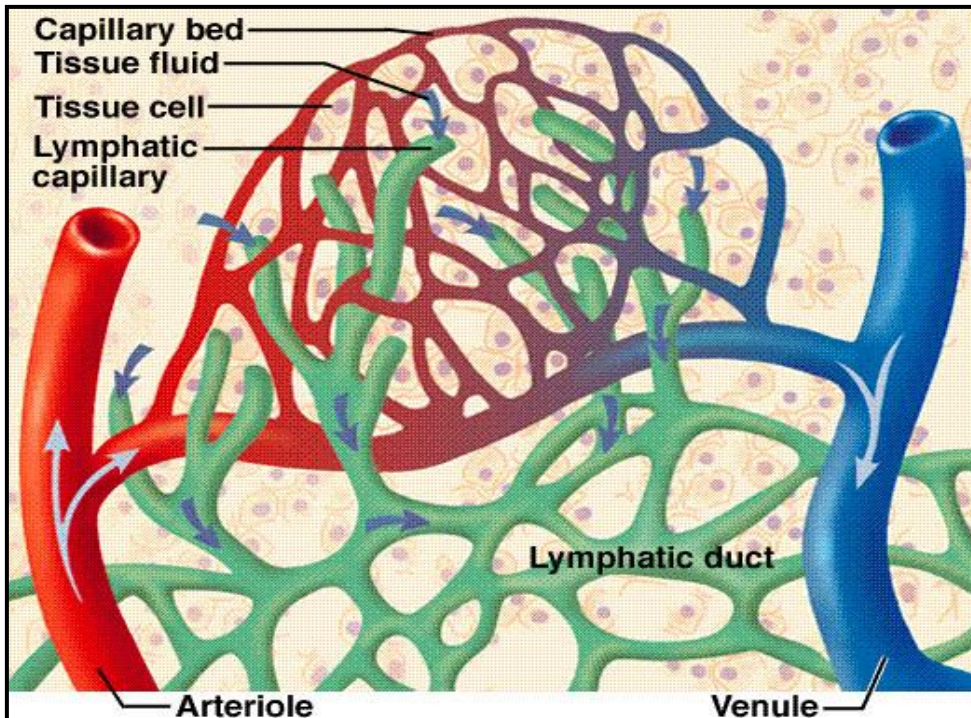


# Arterioly



# Kapiláry

- jsou místem kde dochází k výměně látek mezi krví a okolními strukturami
- jsou **nejtenčí, nejjednodušší, nejrozsáhlejší a nejdelší** funkční jednotky cévního systému
- jsou vloženy mezi a arteriální a venózní větve cévního systému
- široce se větší a vytváří složitou síť (pleteně), jejíž rozsah odráží funkci tkáně / orgánu
- jsou klíčovou částí **mikrocirkulace** (spolu s **arteriolami** and **venulami**)



Celková délka kapilár v lidském těle =

**přibližně 100 000 km**

Celková plocha průřezu kapilárami =

**přibližně 800 x**  
větší než aorta

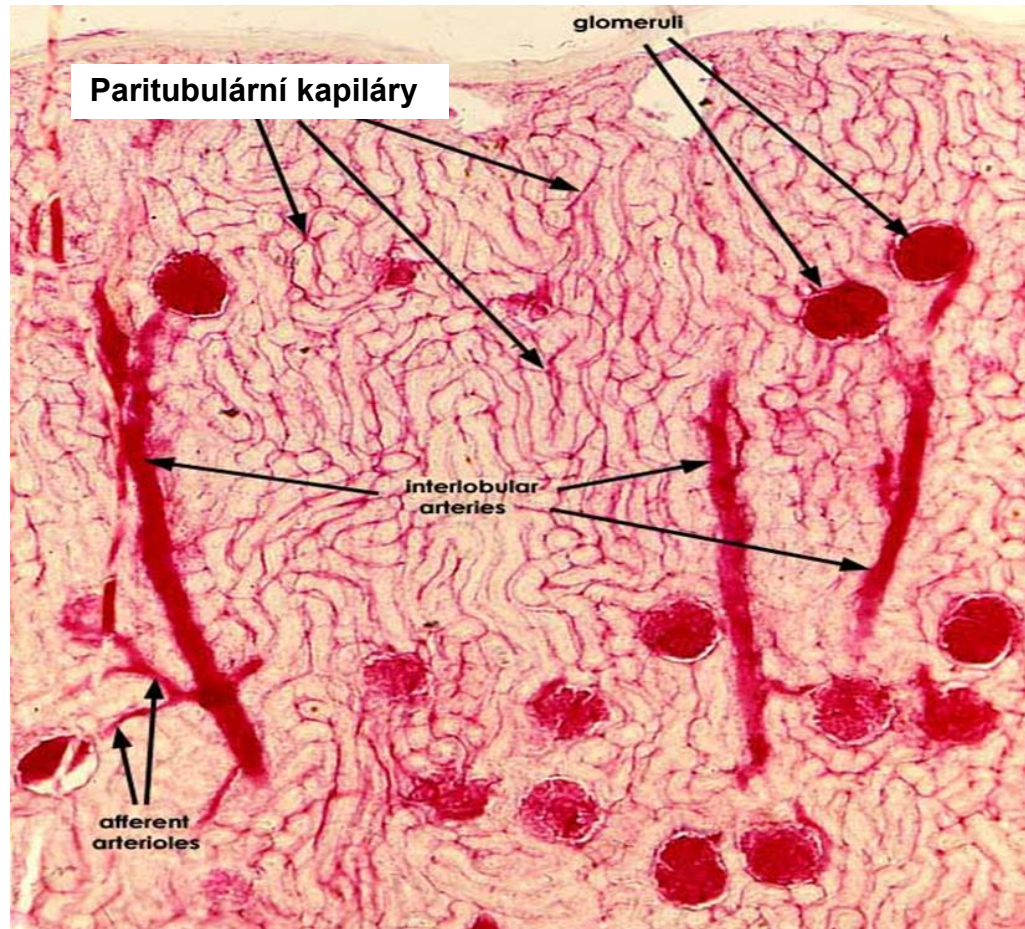
Maximální vzdálenost buněk od kapilár

=  
**přibližně 50  $\mu\text{m}$**

Délka kapilár je obvykle

**přibližně od 0.25 do 1 mm**

# Kapiláry

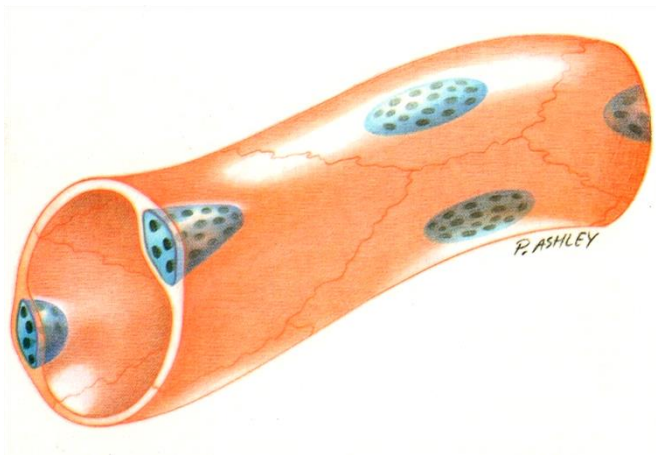


**Extenzivní vaskulatura kůry ledviny (napuštěno červeným barvivem)**

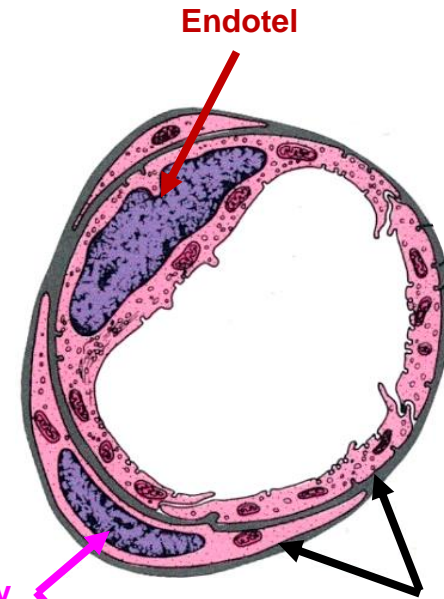
**Velmi řídké v:** šlachy, vazy

**Zcela chybí v:** chrupavka, epidermis, cornea

# Kapiláry



průměrný průměr 8  $\mu\text{m}$



## Stěna kapilár

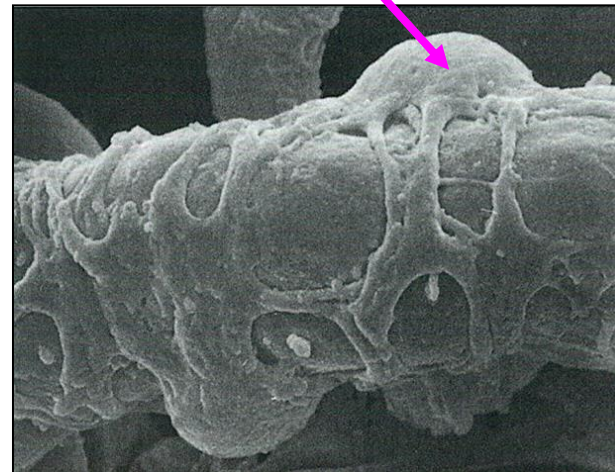
### Endotel

- jedna vrstva, dlaždicovité buňky
- zubaté hranice buněk
- zonulae occludentes + desmozomy + GAP junctions

### Bazální lamina

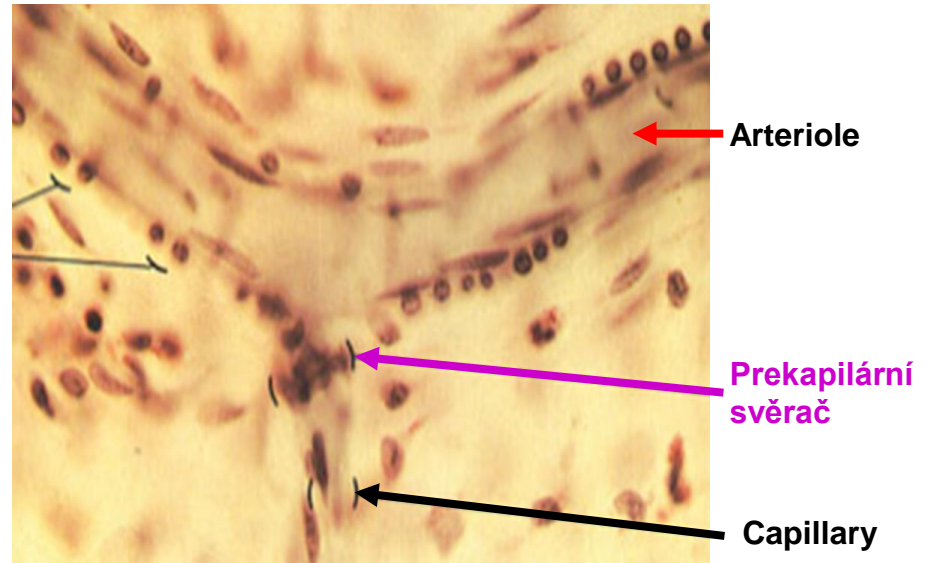
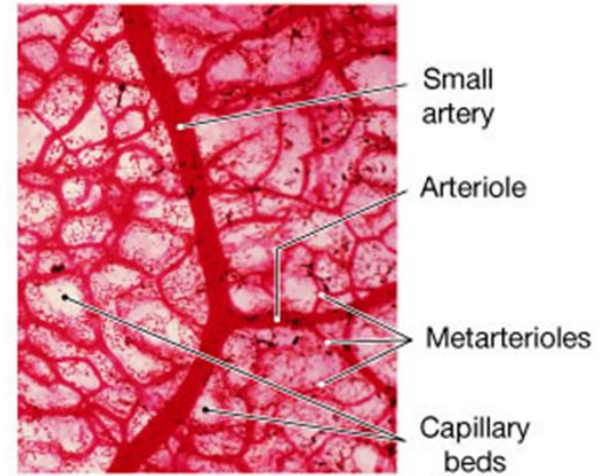
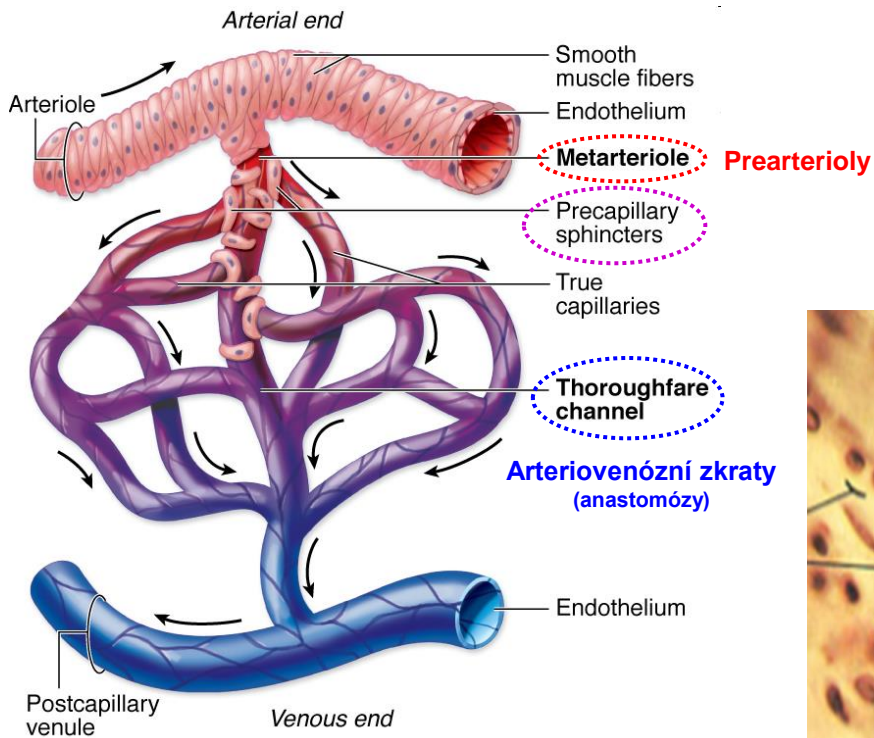
#### „Obal“

- pericyty (+ retikulární vlákna a makrofágy)



# Kapiláry

Pouze asi 25 - 50 % celkového objemu kapilár je naplněno krví (za normálních podmínek)



Mezenterium – králík (H+E; 600x)

# Kapiláry – Regulace průtoku krve

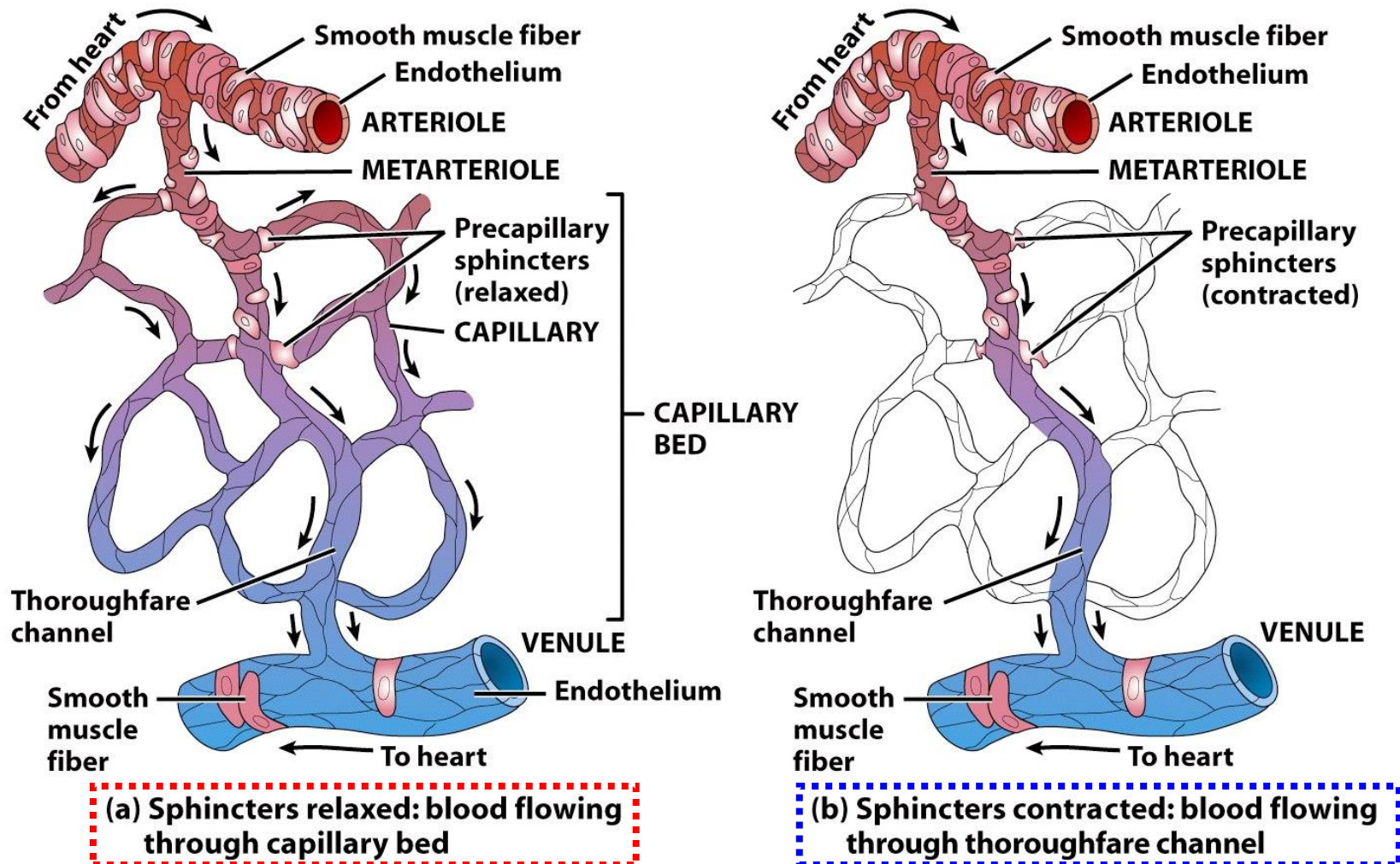
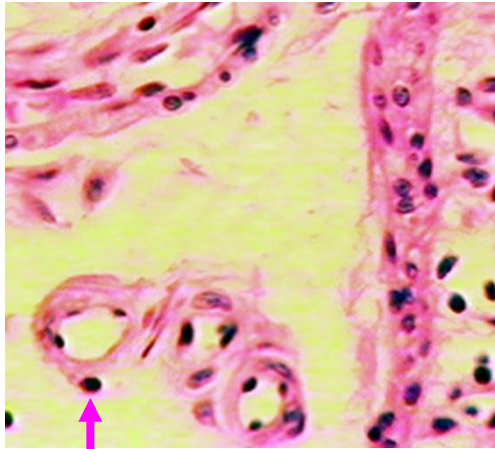
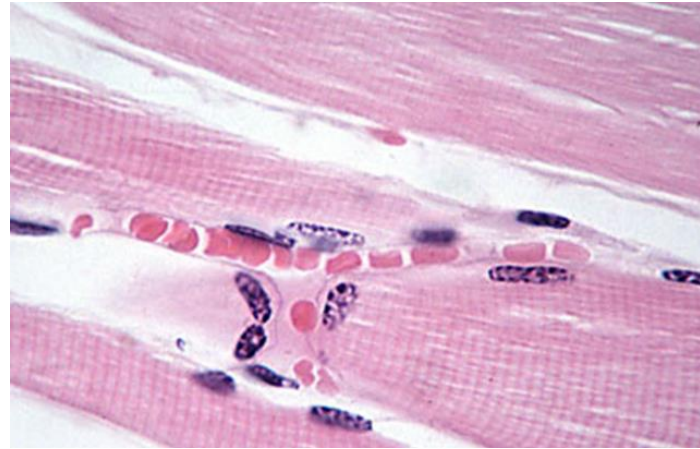


Figure 21-3 Principles of Anatomy and Physiology, 11/e  
© 2006 John Wiley & Sons

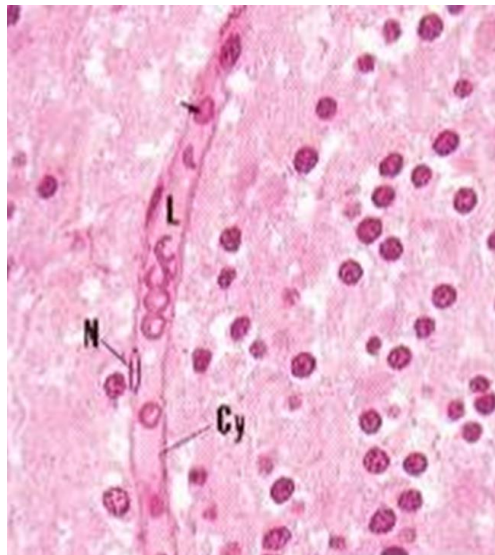
# Kapiláry



Pericyt



Kosterní svalovina

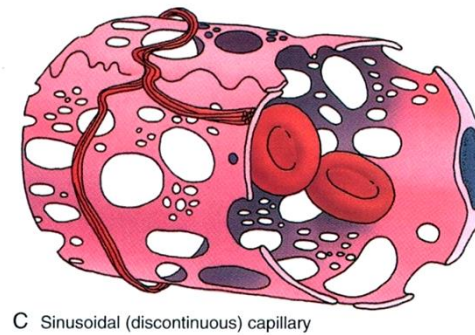
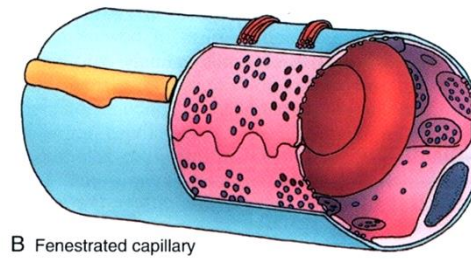
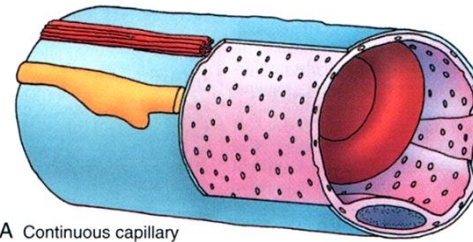


Mozeček (monkey)

# Kapiláry

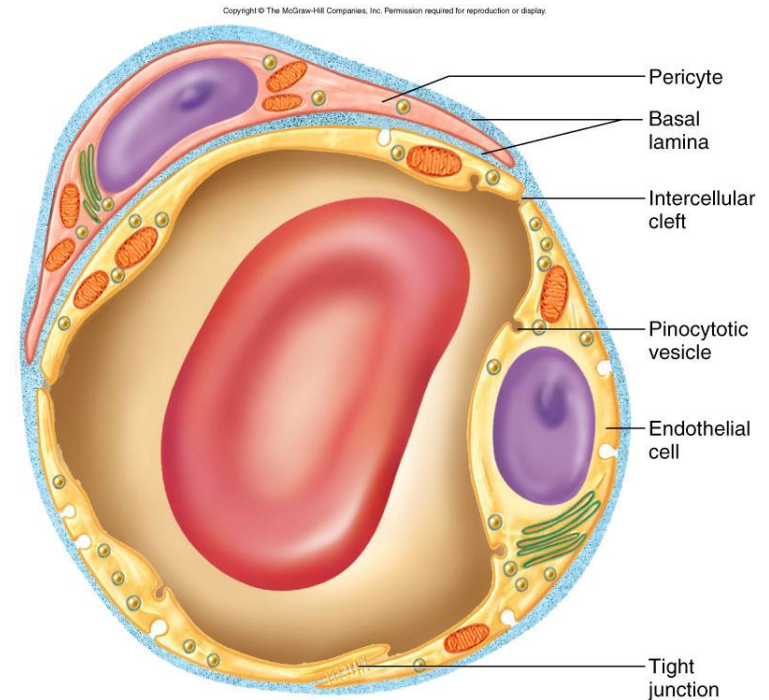
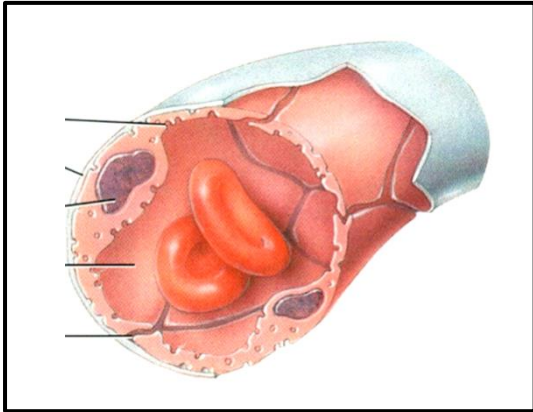
Podle integrity endotelu a bazální membrány – TEM:

- **Kapiláry se souvislou výstelkou**
- **Fenestrované kapiláry**
- **Sinusoidy**





# Kapiláry se souvislou výstelkou

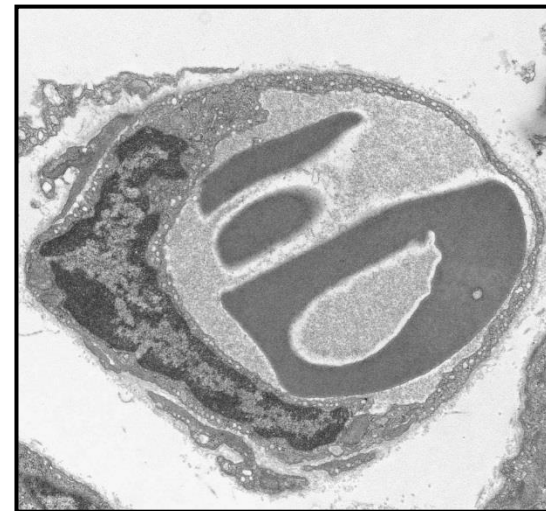


## Typické znaky

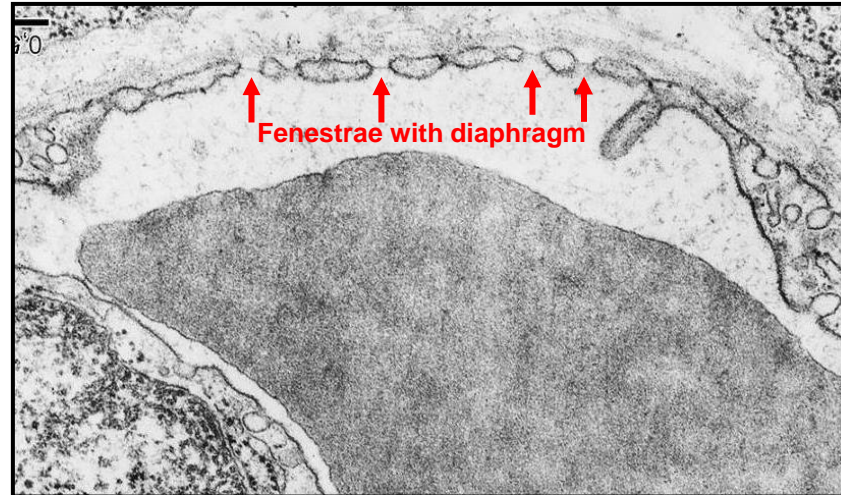
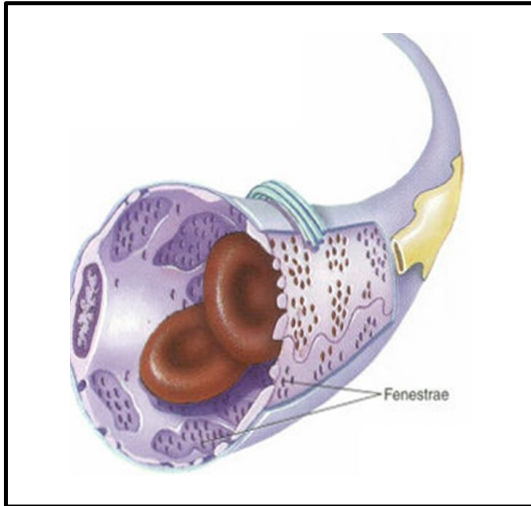
- nepřerušovaná výstelka
- endotel + bazální membrána + pericyty

## Lokalizace

- nejrozsáhlejší typ
- svaly, pojivová tkáň, nervová tkáň (hemato-encefalická bariéra), exokrinní žlázy



# Fenestrované kapiláry

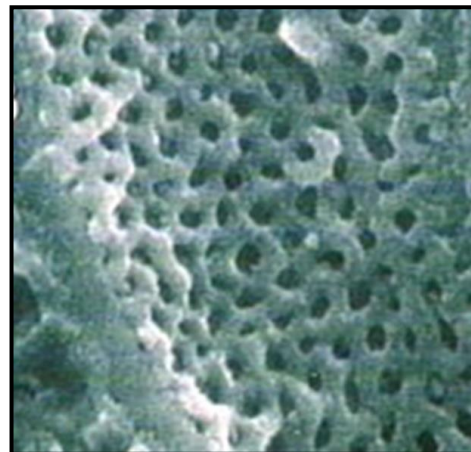


## Typické znaky

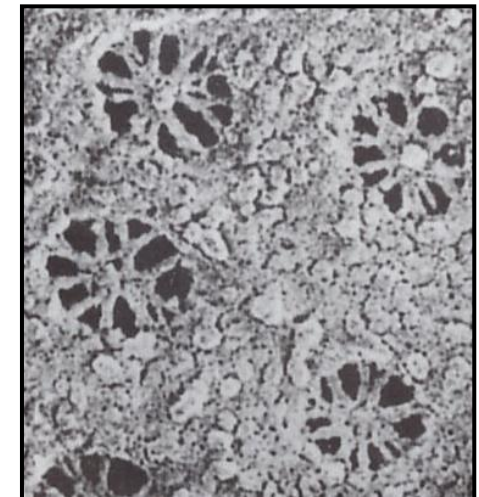
- perforované endotelové buňky (diametr ~60-80 nm; diafragma 4-6 nm)
- nepřerušovaná bazální membrána

## Lokalizace

- ve strukturách, kde je nutná rychlá a masivní výměna látek mezi krví a okolím
- sliznice střeva, některé endokrinní žlázy, pankreas, *plexus choroideus*, řasnaté těleso, ...
- glomeruly ledvin (bez diafrgamy)



Fenestrovaná kapilára - ledvina



Diafragma

# Sinusoidy

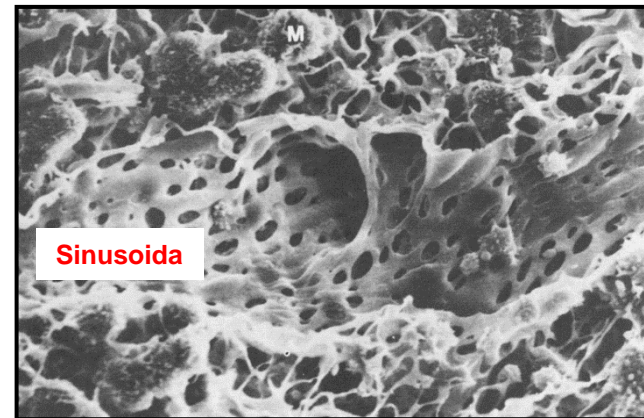
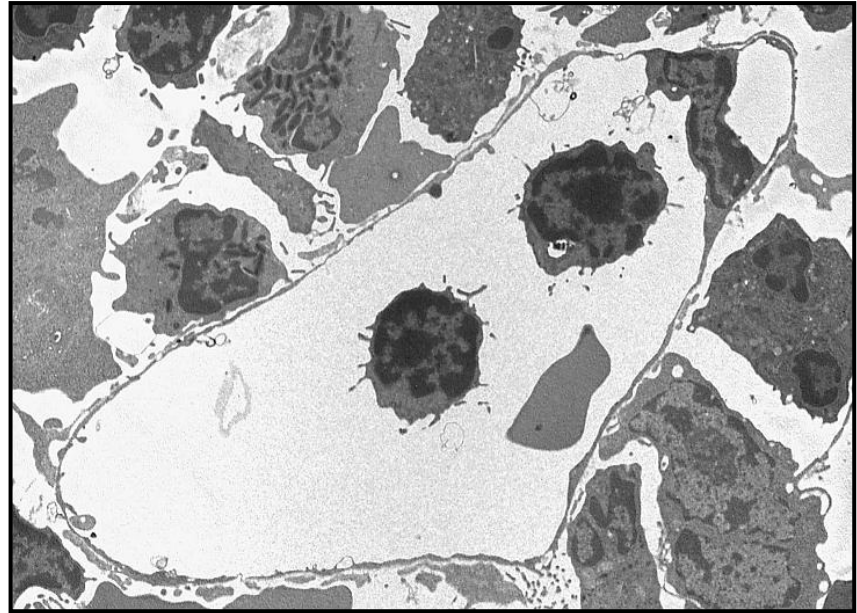


## Typické znaky

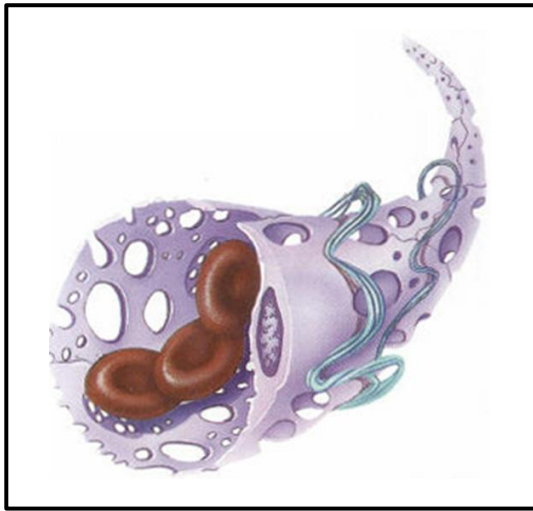
- větší diametr (až 40  $\mu\text{m}$ )
- endotelové buňky s velkými póry bez diafragmy
- štěrby mezi endotelovými buňkami
- přerušovaná bazální membrána (dokonce chybějící)
- chybí pericyty (místo nich makrofágy)

## Lokalizace

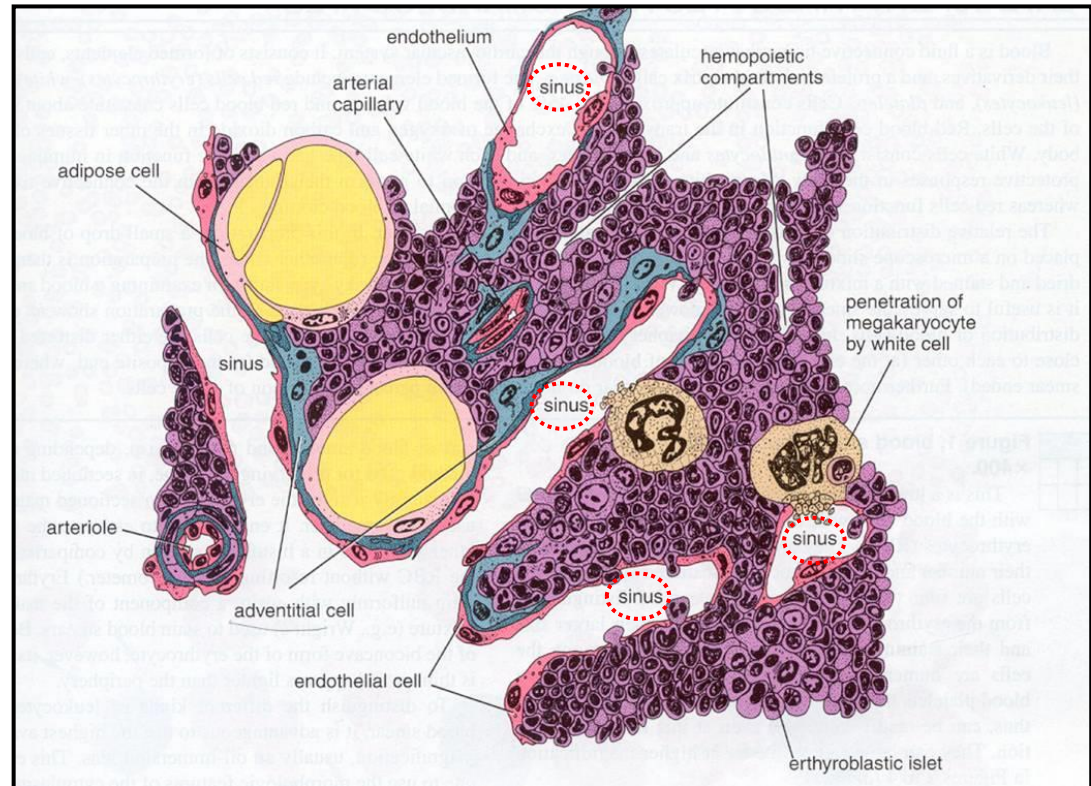
- játra (póry 100 nm)
- oblasti hematopoézy (kostní dřeň)
- endokrinní žlázy (adenohypofýza, Langerhansovy ostrůvky)



# Sinusoidy



## Kostní dřev



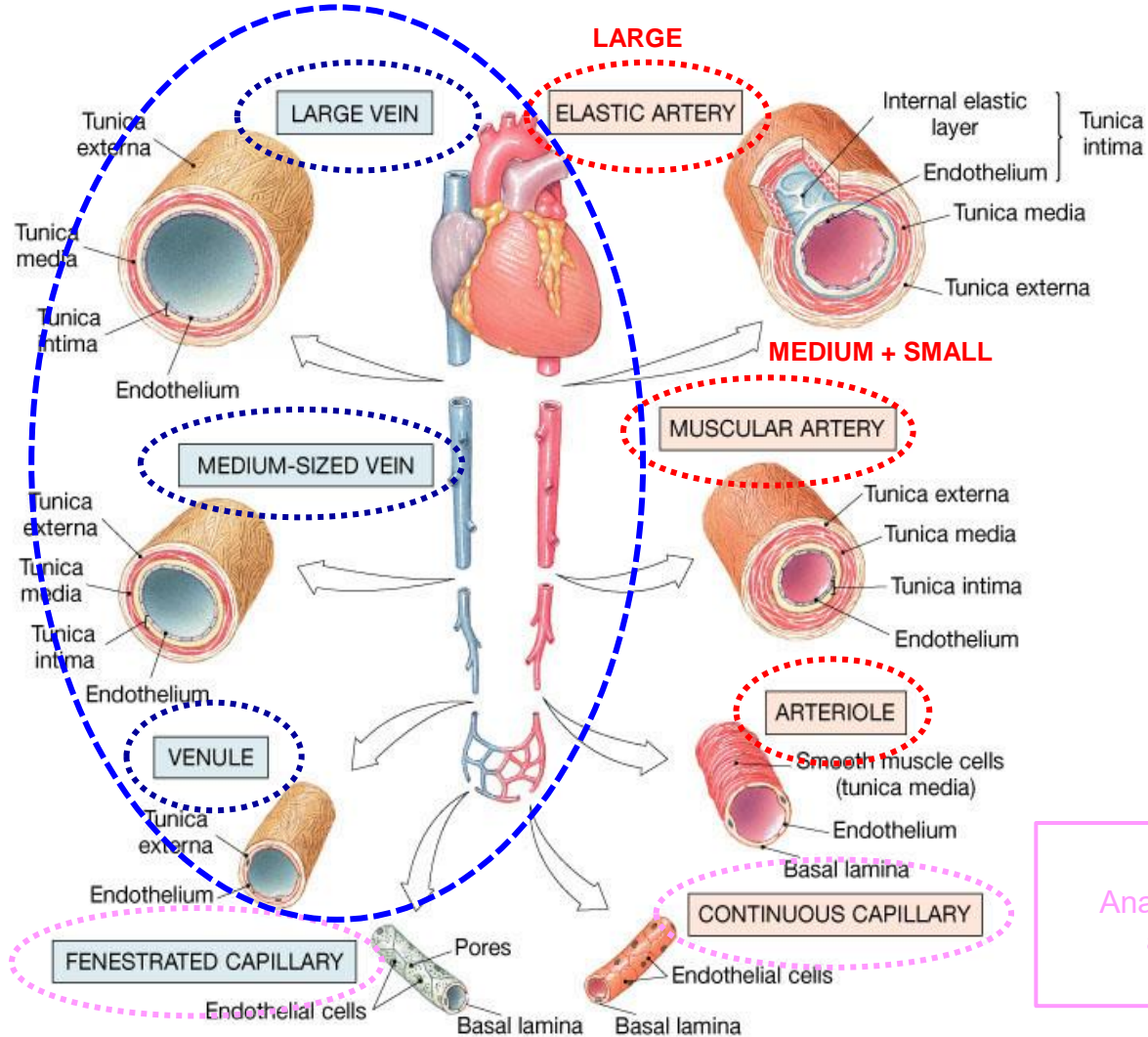
# Krevní cévy – několik různých podob

**Žily**  
Vždy vracejí krev do srdce  
(v každém čase obsahují 2/3 objemu krve)

**Arterie**  
Vždy vedou krev ze srdce do periferie

Makrovasculatura – diametr >0.1 mm

Mikrovasculatura – <0.1 mm



**Kapiláry**  
Anastomózující spojky mezi  
arteriemi and vénami  
= terminální řečiště

# Žíly

- **slouží jako zásobárna krve** – díky tenké stěně mají při daném průměru větší objemovou kapacitu než korespondující artérie
- **mají nižší tlak krve** (10 mm Hg with little fluctuation)
- **jsou opatřeny chlopněmi pomáhajícími zajistit proděnění krve** (typicky dolní končetiny – většinou s průměrem > 2 mm)

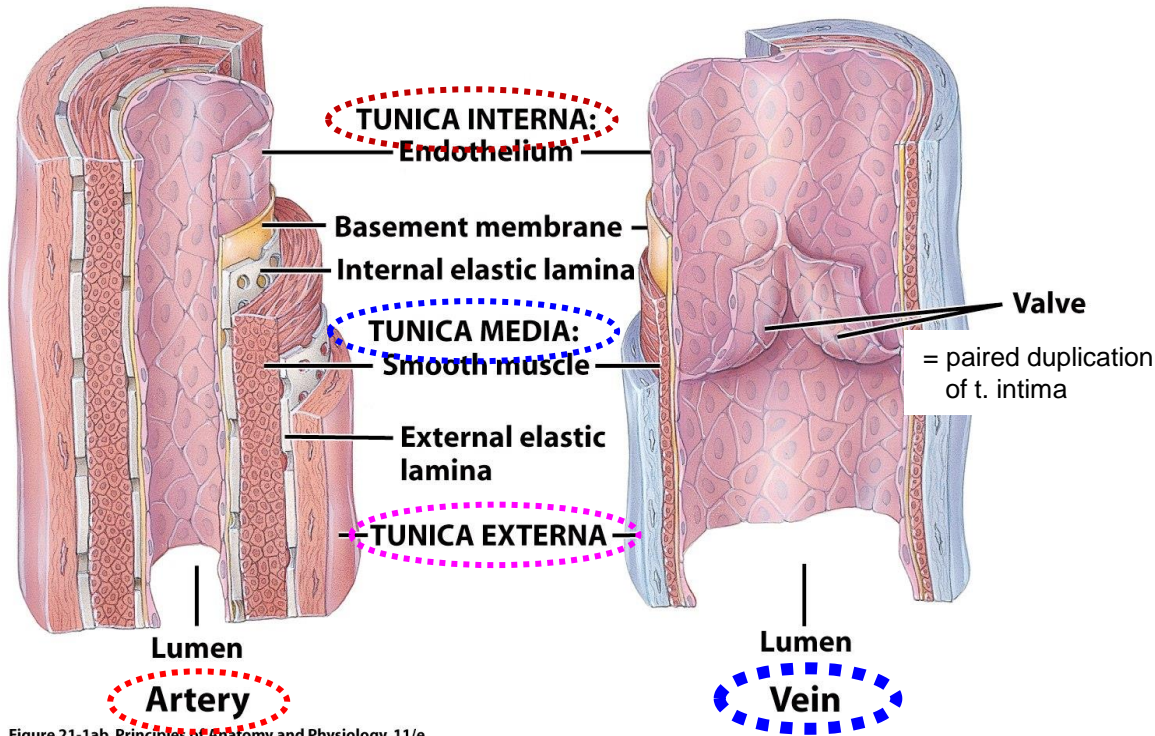


Figure 21-1ab Principles of Anatomy and Physiology, 11/e  
© 2006 John Wiley & Sons

## Trojvrstevná stavba

### Obecné znaky

#### Endotel

- velmi tenký

#### Subendotel

- velmi tenký

#### Lamina elastica interna

- chybí nebo velmi tenká

- relativně tenká (kromě dolních končetin)
- hojná vlákna

#### External elastic lamina

- není vyvinuta

- dobře vyvinuta – nejtlustší vrstva
- časté svazky hladkosvalových buněk - podélně uspořádané
- rozsáhlé vasa vasorum (často zasahují do t. media)

# Žíly – kategorie podle průměru

## Postkapilární venuly

- endotelové buňky + pericyty
- odvádějí krev z kapilár
- více porézní než kapiláry
- větší vnitřní průměr než kapiláry (15-20  $\mu\text{m}$ )

## Sběrací venuly

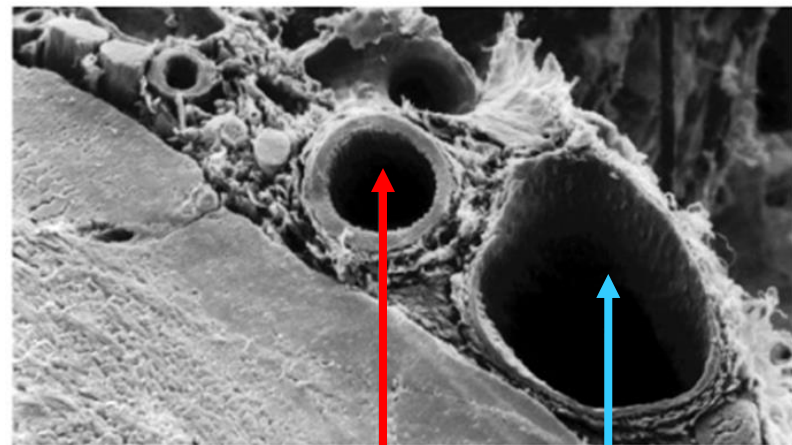
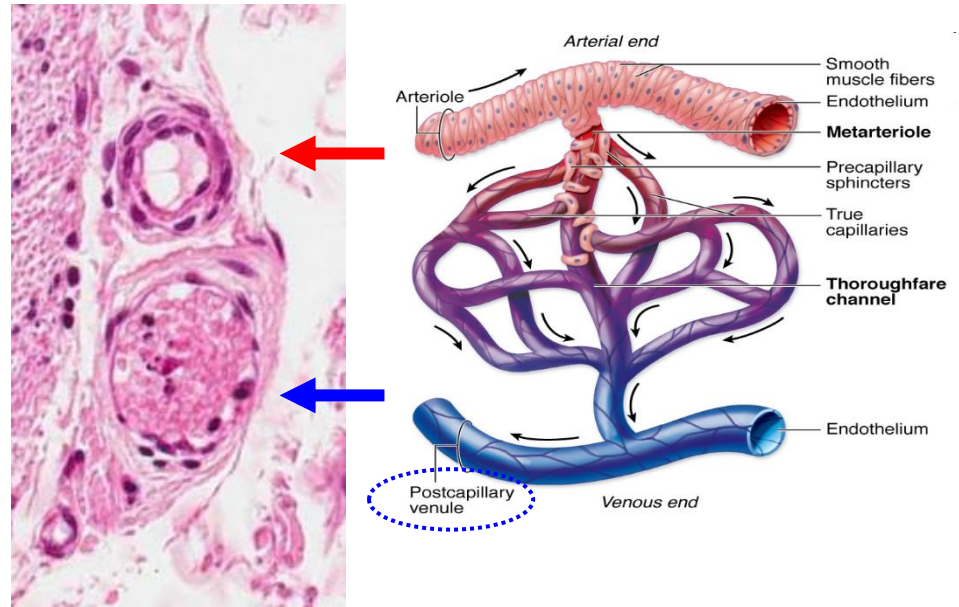
- větší počet kontraktilních buněk
- rozeznatelná tunica media

## Žíly malého a středního kalibru

- pojmenované žíly
- probíhají paralelně s korespond. tepnami
- mnohé z nich mají chlopně

## Velké žíly

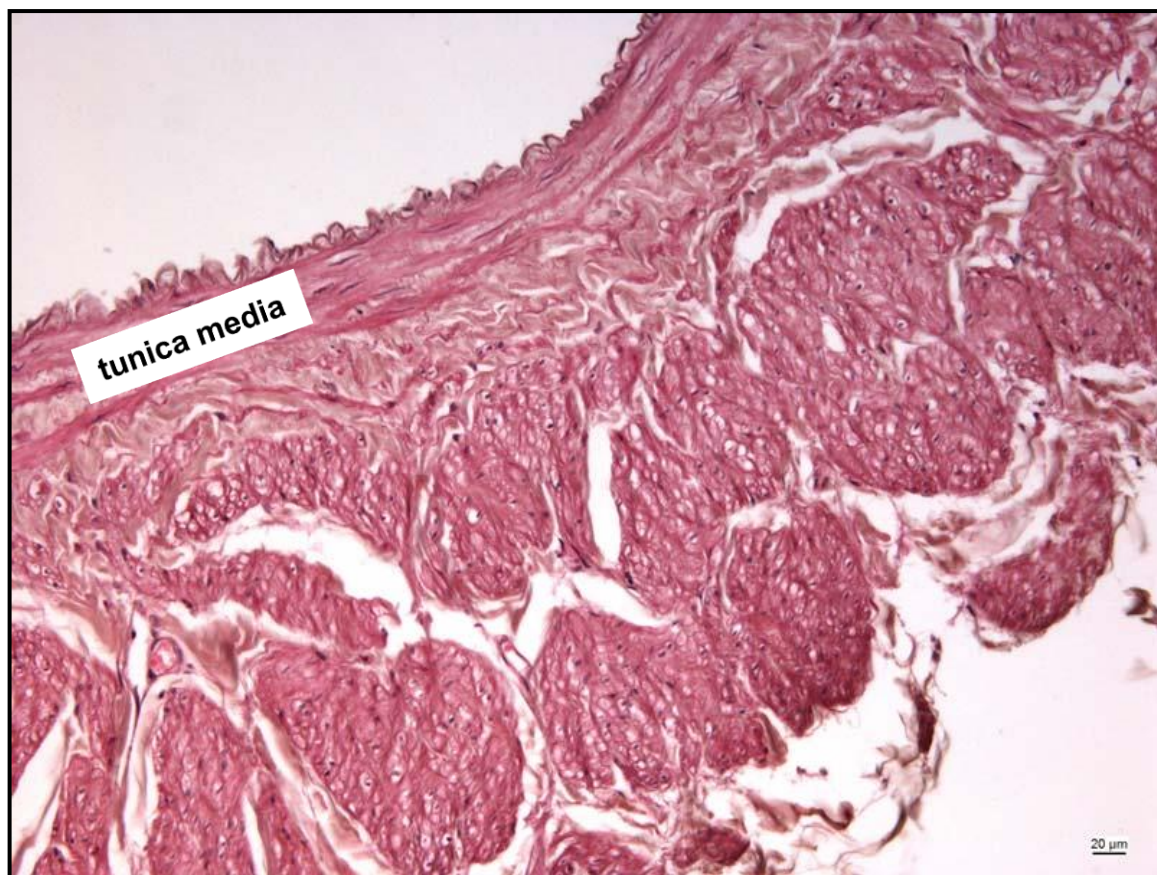
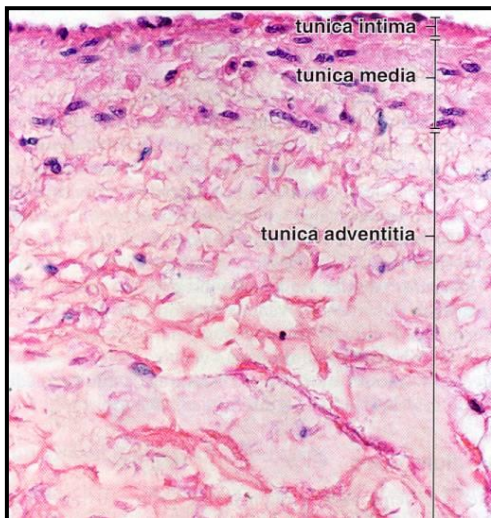
- blízko srdce  
(*v.cavae*, *pulmonary veins*, *internal jugular veins*)
- párovány s tepnami elastického typu
- diameter > 10 mm
- s chlopněmi
- tenká t. media (svalové b. + pojivo)
- tlustá t. externa (svazky hladkosvalových buněk – podélně orientované)



Artery

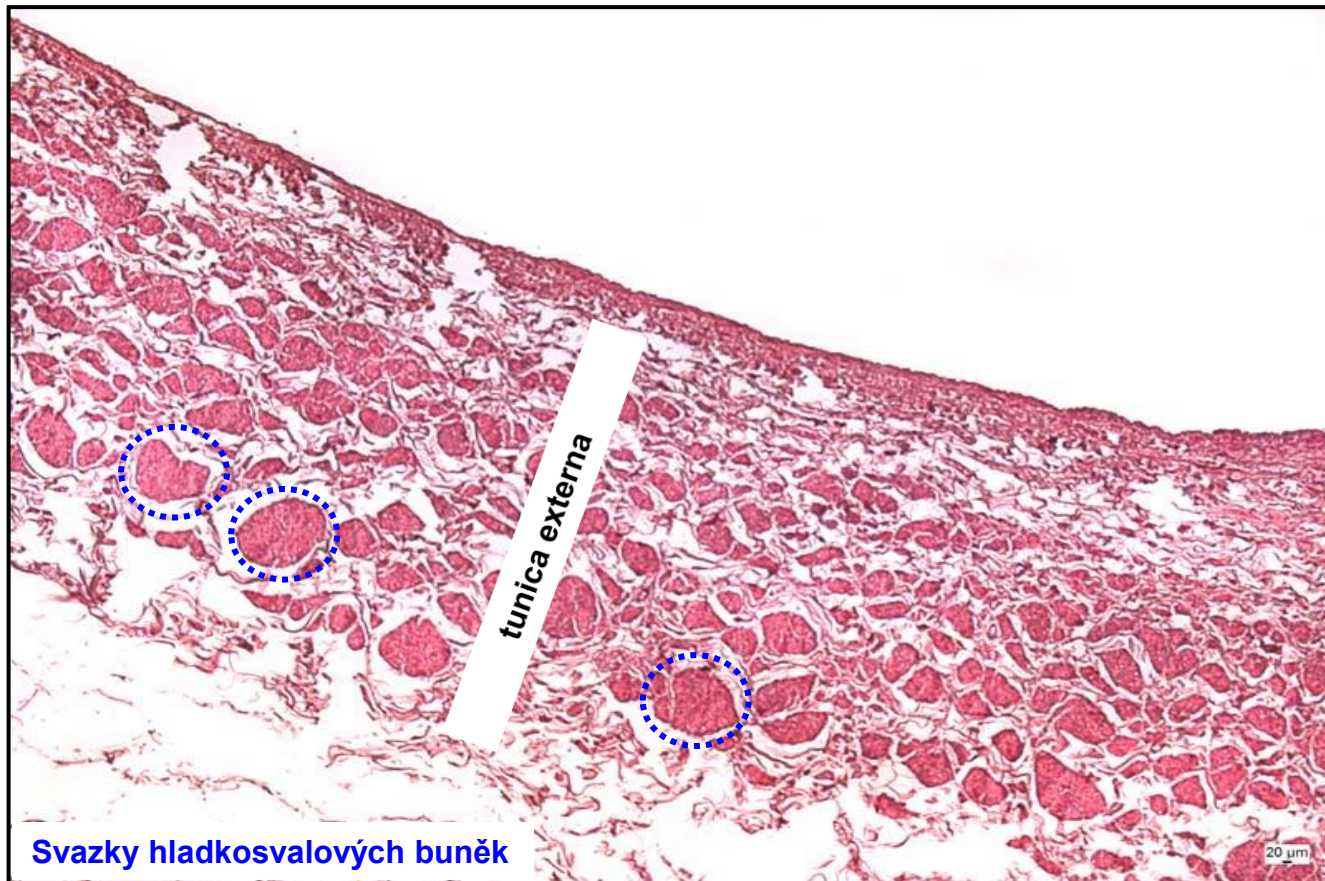
Vein

# Žíly – střední kalibr

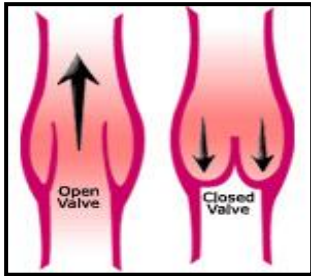




# Žíly – velký kalibr



*Vena cava*

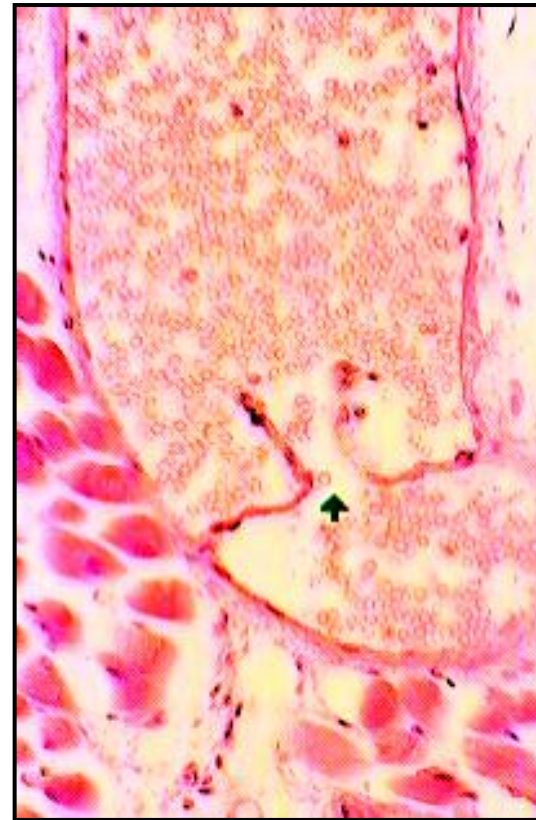


## Žíly - Chlopně

- vakovité výchlípky tunica intima, které brání zpětnému toku krve
- pouze v žilách, které jsou v dolních částech těla nebo které jsou hodně vzdáleny od srdce



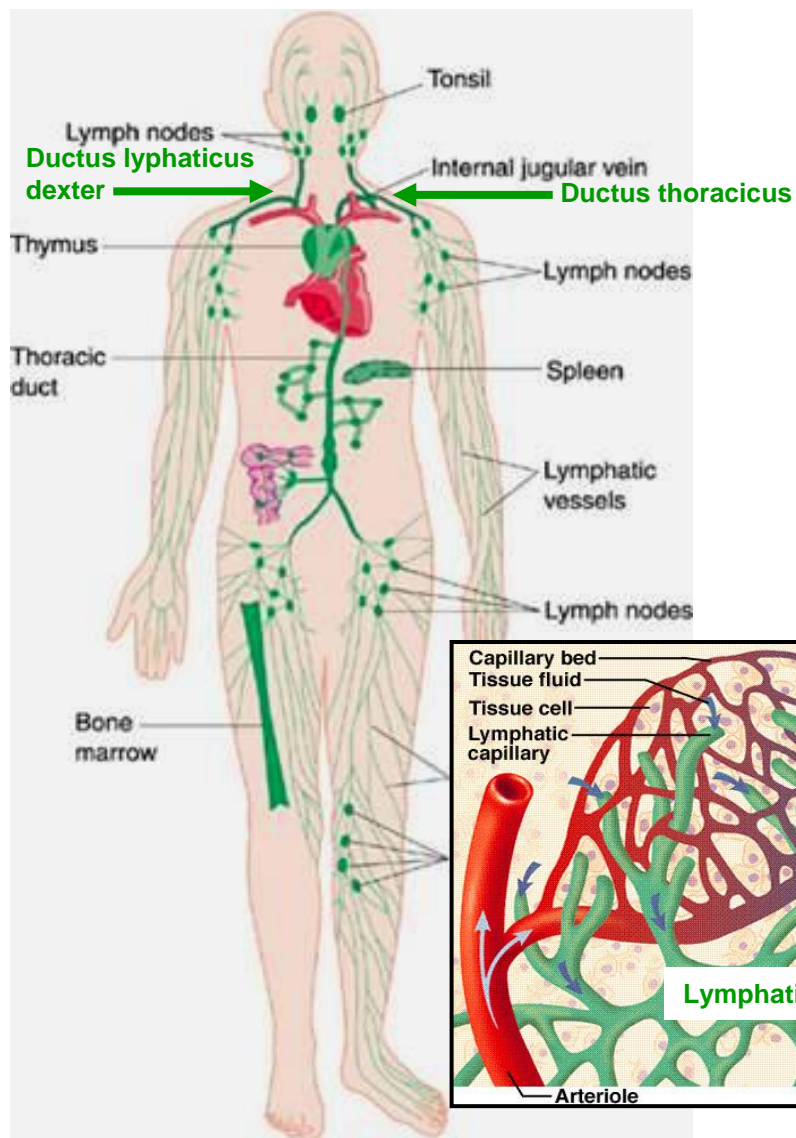
Vzhled vnitřního povrchu chlopně



Histologický řez chlopní

# Lymfatické cévy

- vrací tekutinu z tkání do oběhového systému
- pohyb tekutiny v nich je závislý na kosterní svalovině

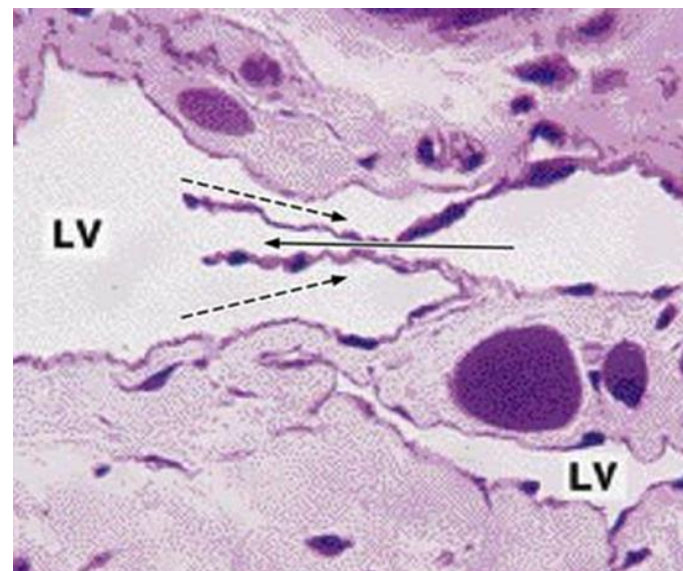
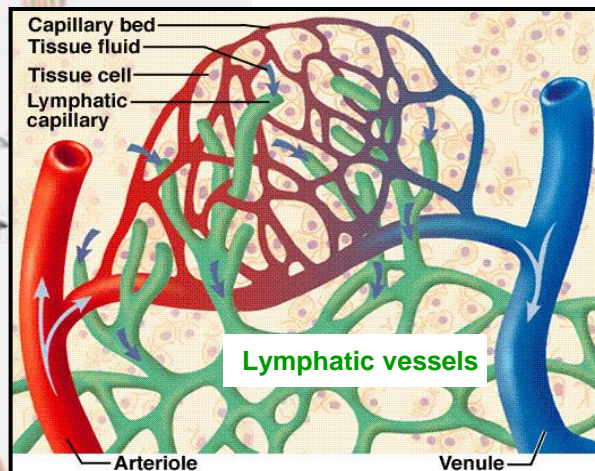


## Lymfatické kapiláry

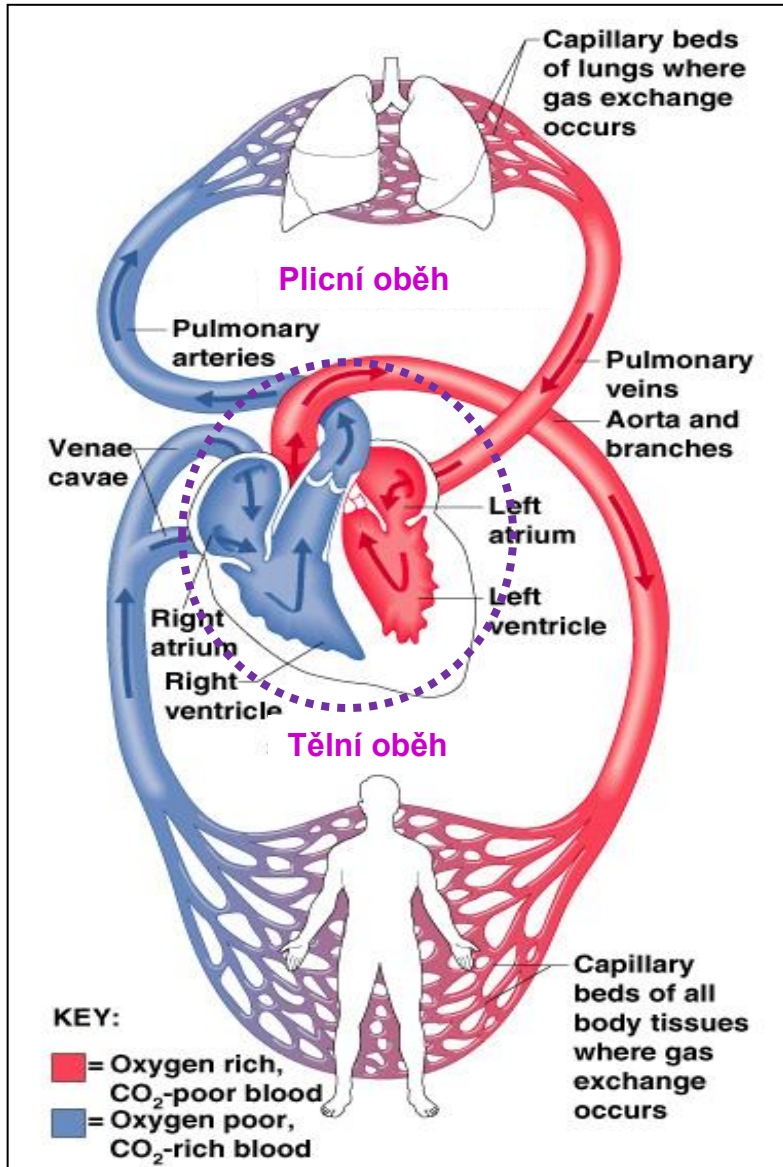
- slepě zakončeny
- velmi jednoduchá stavba
- endotelové buňky + jemná retikulární vlákna (cirkulárně orientovaná)
- chybí bazální membrána

## Lymfatické cévy a kmeny (ductus)

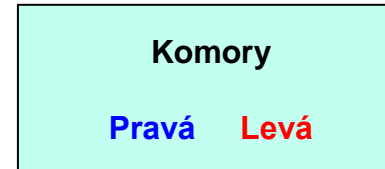
- tenkostěnné trubice
- stavba podobná žilám (intima+media+adventitia)
- mají chlopně



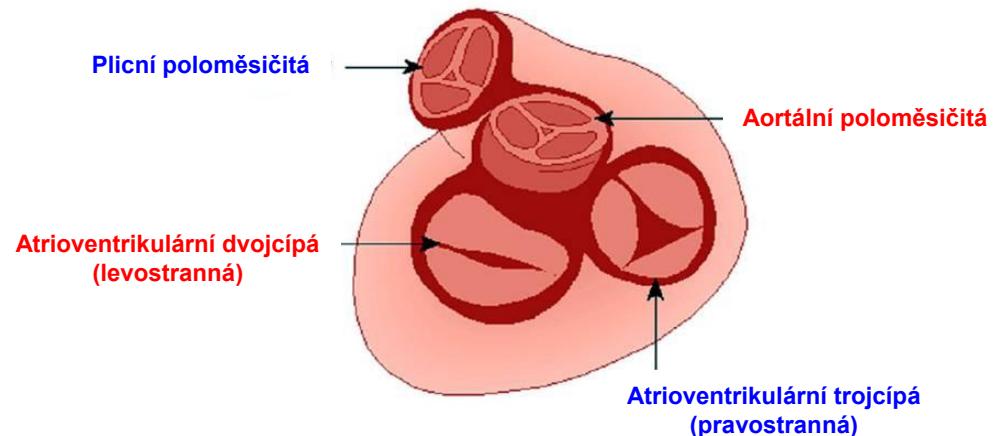
# Srdce - Anatomie



- dutý orgán, který se rytmicky stahuje
- funguje jako pumpa
- je tvořeno dvěma dvojicemi dutin:

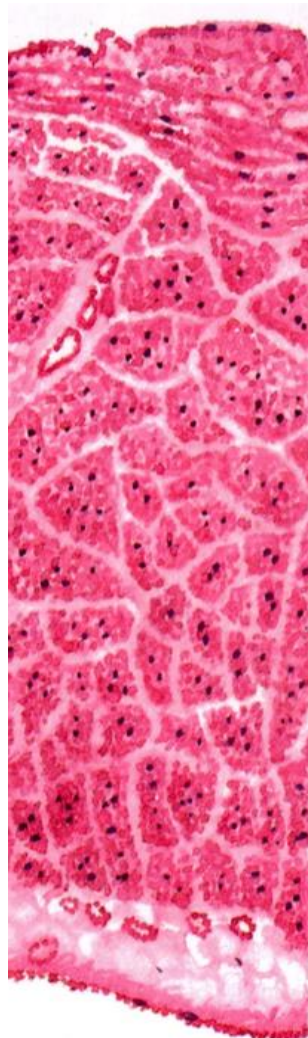


- je vybaveno čtyřmi chlopněmi (zajišťují jednosměrný pohyb krve)



# Srdce – stavba stěny

vnitřní povrch



## Endokard

- endotel
- subendotelové vazivo
- subendokardové vazivo

## Myokard

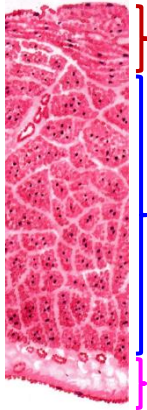
## Epikard

- mezotel
- subepikardové vazivo

vnější povrch

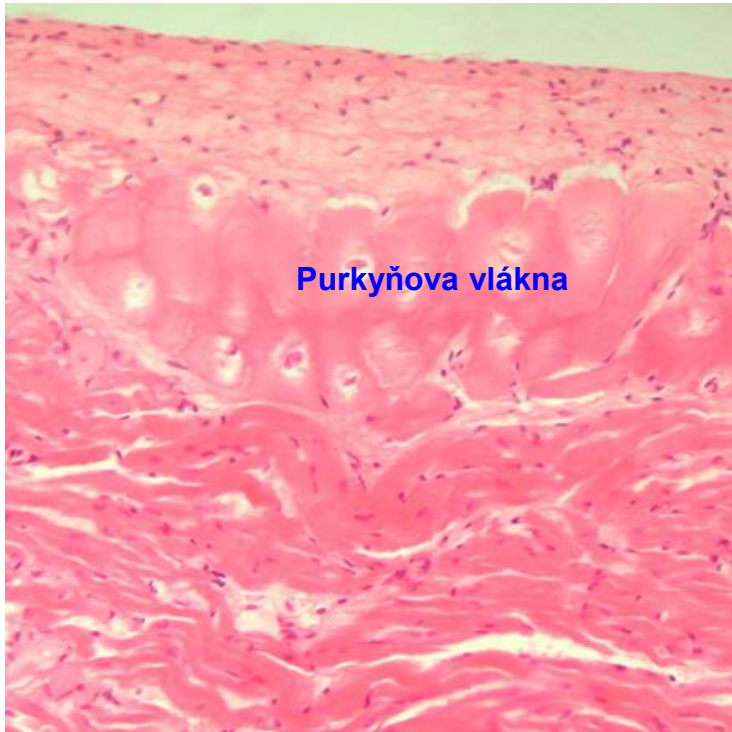
inner surface

# Srdce - Endokard



- spojitě navazuje na *tunica intima* cév

- chlopně jsou deriváty endokardu



## Endotel

- with continuous basal membrane

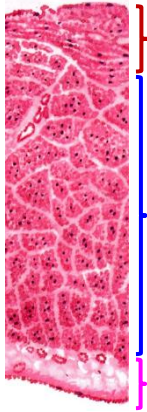
## Subendotelové vazivo

- connective tissue
- collagen, elastics, solitary smc, small blood vessels, nerves

## Subendokardové vazivo

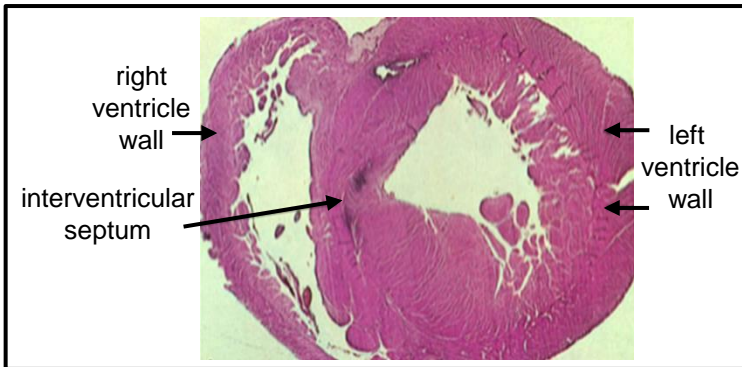
- loose connective tissue
- continuous with endomysium of the myocardium
- nerve fibers, vessels, **převodní systém srdce**

inner surface

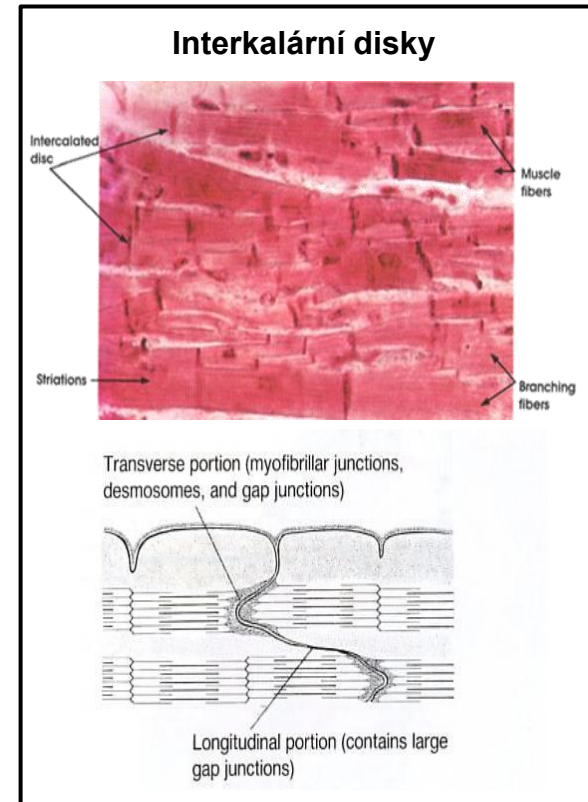
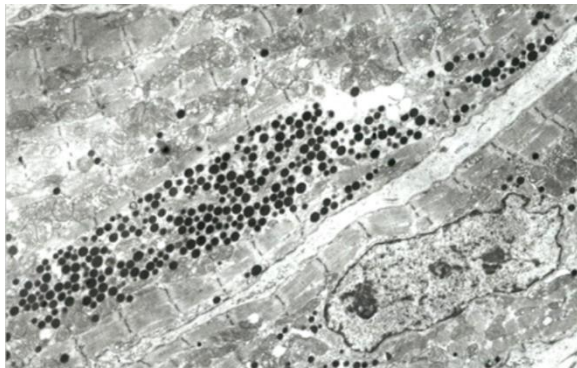


# Srdce - Myokard

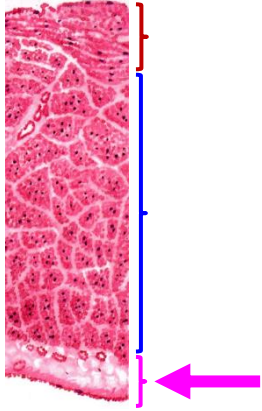
- v různých oblastech má různou tloušťku (nejtlustší - levá komora; nejtenčí - předsíně)
- velmi bohaté krevní zásobení (mnoho kapilár)
- nemá schopnost regenerace
- kardiomyocyty jsou uspořádány cirkulárně kolem komor
- akumulace pojivové tkáně mezi svaly – **srdeční skelet** (anuli fibrosi v chlopních, trigonum, septum membranaceum)



**Atriální natriuretický peptid**  
(endokrinní funkce kontraktilních buněk; působí na ledviny)



inner surface



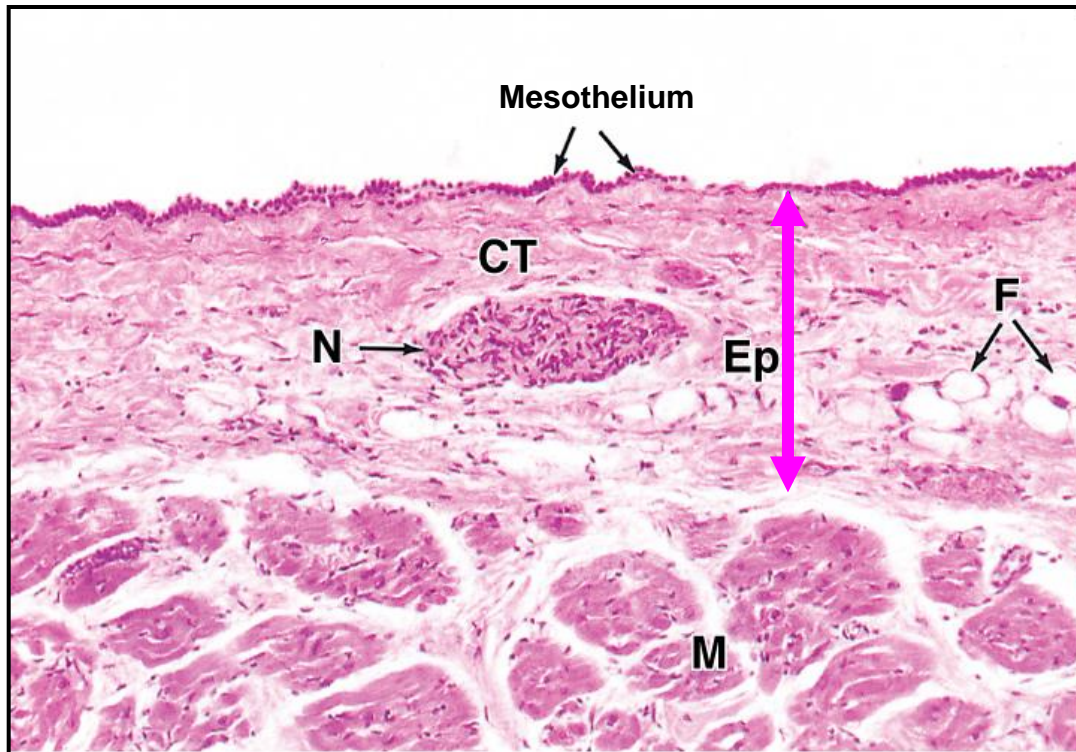
# Srdce - Epikard

- serózní blána, představuje viscerální vrstvu **perikardové dutiny**

## Perikard - osrdečník

Fibroserózní vak obdávající srdce

- mezotel (přivracen k epikardu)
- fibrózní vrstva (husté vazivo s cévami a nervy)



### Mezotel

- jednovrstvý dlaždicový epitel
- bazální membrána
- produkuje perikardiální mok

### Subepikardové vazivo

- řídká pojivová tkáň
- elastická vlákna
- nervy
- krevní a lymfatické cévy
- probíhají v něm koronární cévy
- adipocyty (hojně u obézních lidí)



# Srdce - Chlopně

- tvořeny vrstvami pojivové tkáně, na obou stranách jsou pokryty **endotelem**

**Atriální strana**



**Ventrikulární strana**

## Spongiosa

- řídké kolagenní vazivo

## Fibrosa

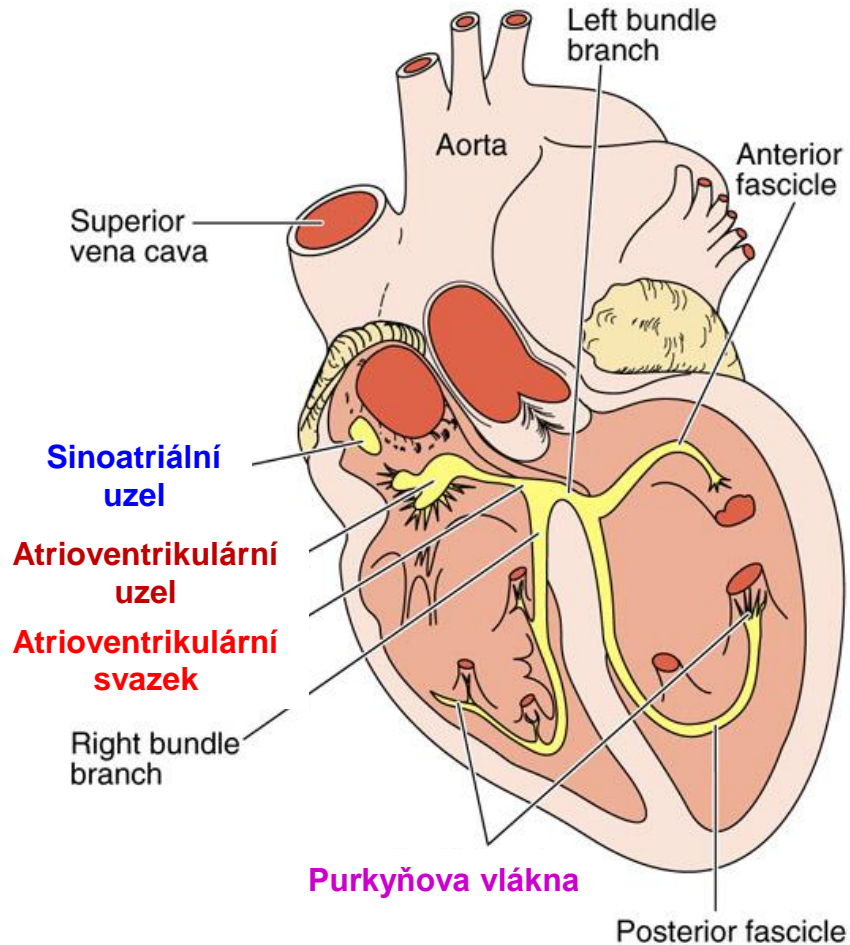
- husté vazivo

## Ventricularis

- husté vazivo s elastickými a kolagenními vlákny

# Srdce – Převodní systém

- modifikované buňky srdeční svaloviny (NE-kontraktilní, minimum myofibril, hojně GAP spoje)
- vytváří a přenáší impulzy pro kontrakce myokardu do všech jeho oblastí
- zajišťují správnou synchronizaci kontrakcí síní a komor



## Sinoatriální uzel (Keith-Flackův)

- leží v mediální stěně pravé síně blízko vstupu *vena cava superior*
- **PRIMÁRNÍ PACEMAKER**

## Atrioventrikulární uzel (Ascoff-Tawarův)

- na pravé straně interatriálního septa
- **SEKUNDÁRNÍ PACEMAKER**

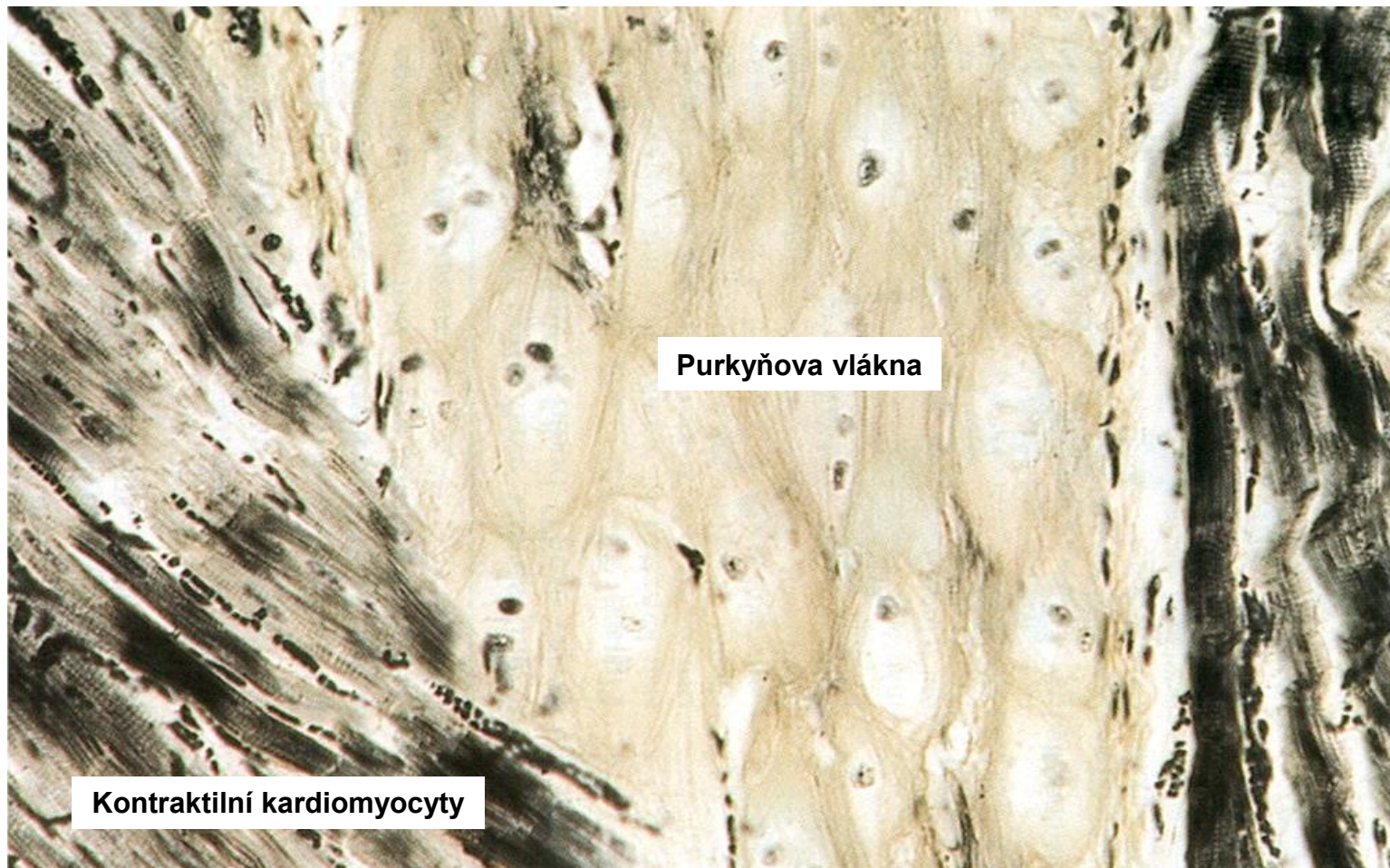
## Atrioventrikulární svazek (Hisův)

- sestává ze dvou větví (pro levou a pravou komoru)

## Purkyňova vlákna

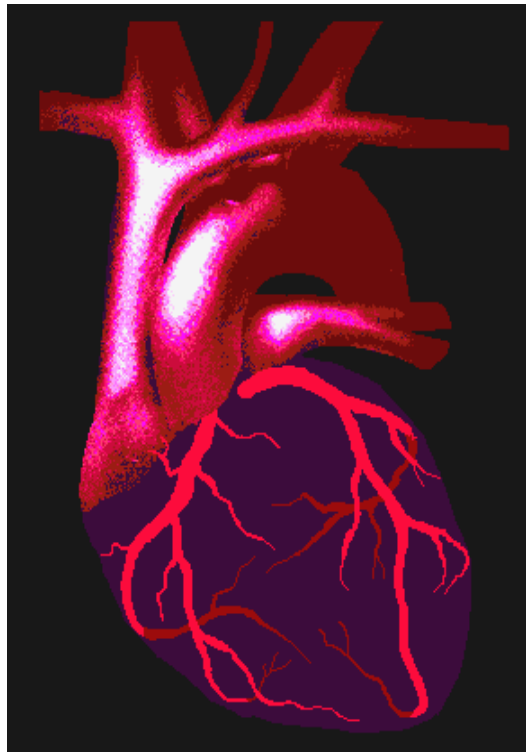
- terminální zakončení převodního systému

# Srdce – Převodní systém



# Srdce – Koronární cévy

- krev proudící dutinami srdce nevyživuje myokard
- srdce má svůj vlastní oběhový systém: koronární **arterie** & **vény**
- koronárními arteriemi proudí 5-7% celkového objemu krve
- krev odchází do pravé síně koronárním sinem



**Děkuji za pozornost!**

**Otázky a komentáře:  
ahampl@med.muni.cz**