

Přednáška 12

Kardiovaskulární systém

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

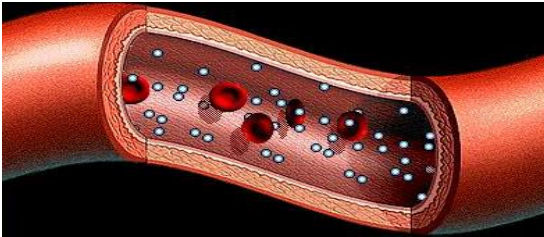
Brno, Květen 2022

Kardiovaskulární systém

= součást oběhového systému

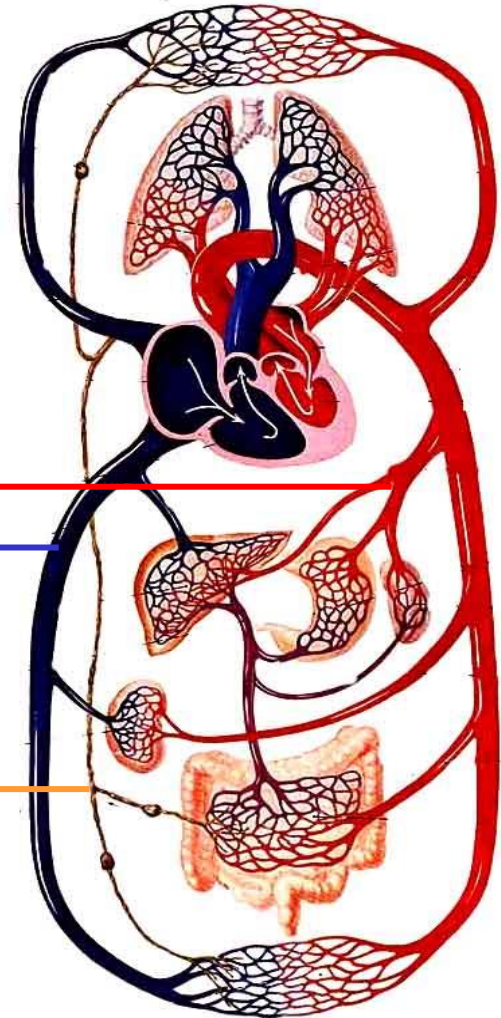
Oběhový systém = Uzavřený systém „trubic“

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



Kardiovaskulární systém

Lymfatický systém

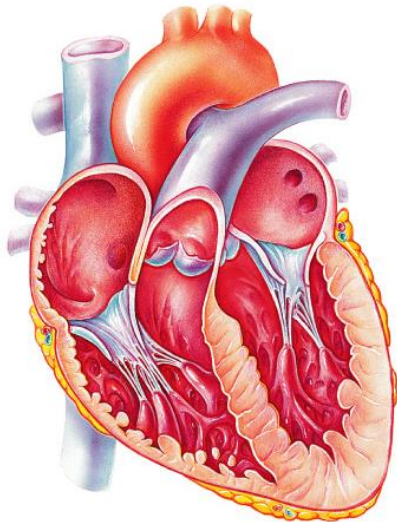


Kardiovaskulární systém – obecná stavba

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

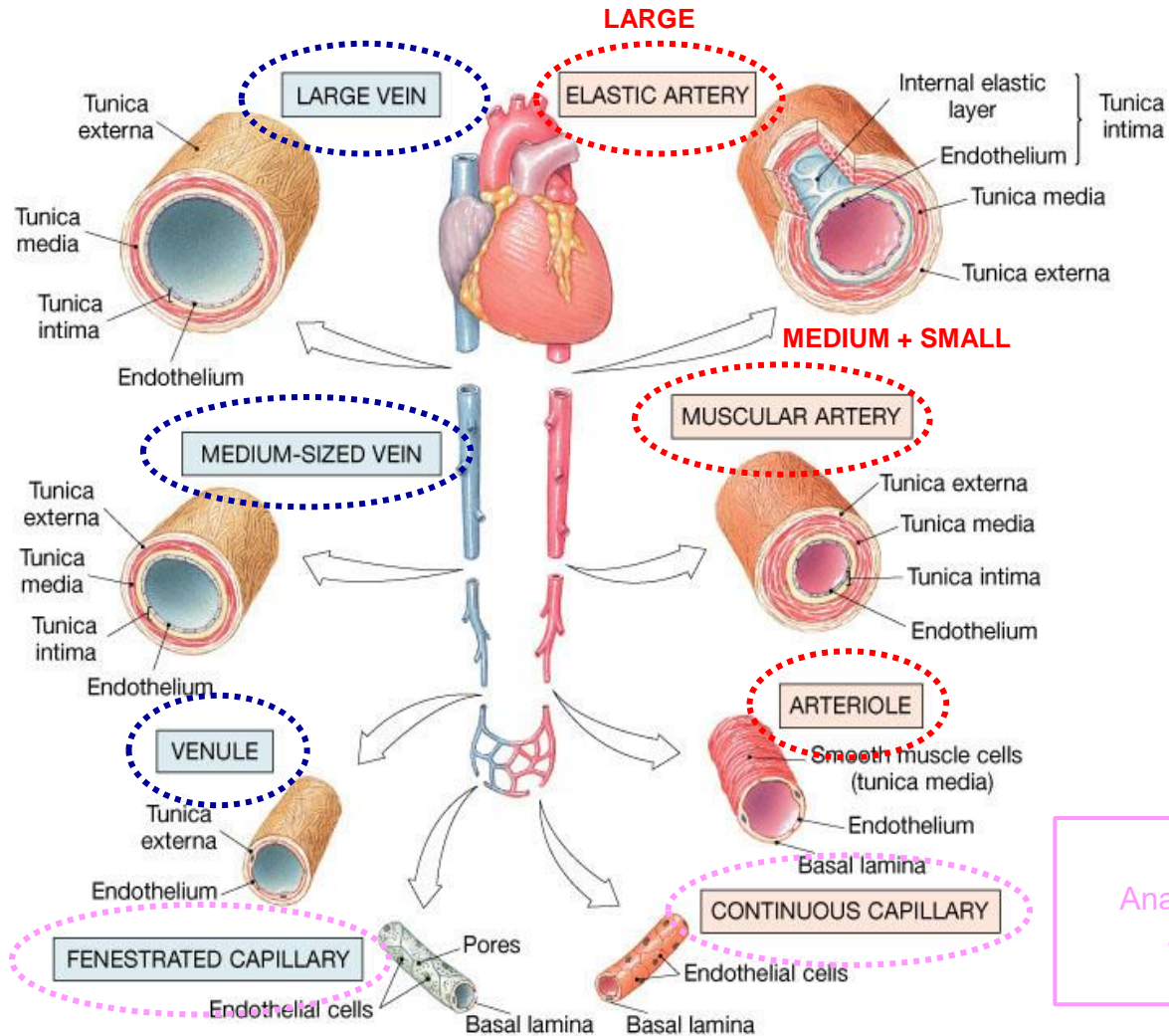
Krevní cévy – několik různých podob

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

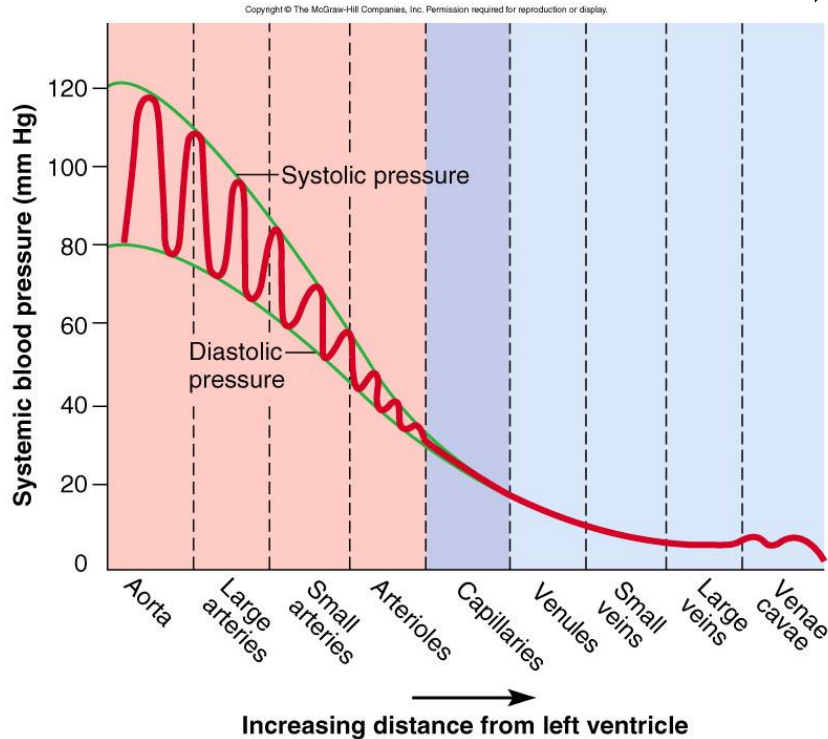


Kapiláry
 Anastomózující spojky mezi
 arteriemi and vénami
 = **terminální řečiště**

Krevní cévy – tok krve

Pulzace

Spojité tok



Díky specifické morfologii cév

Například

V diastole:

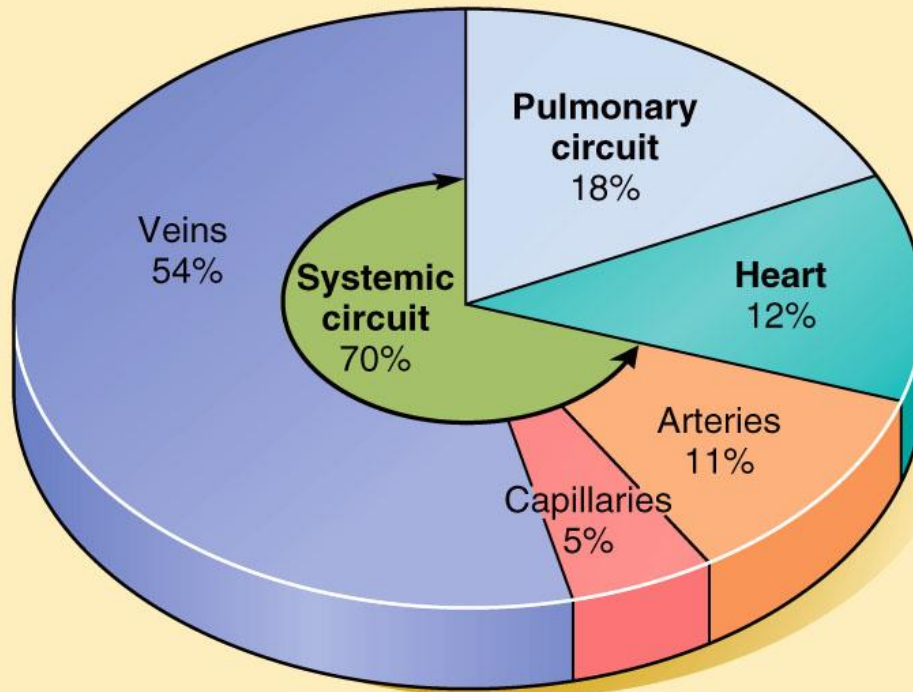
- poloměsičité chlopně jsou uzavřeny
- arterie nejsou plněny krví ze srdce
- krev proudí díky působení elasticity arterií

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



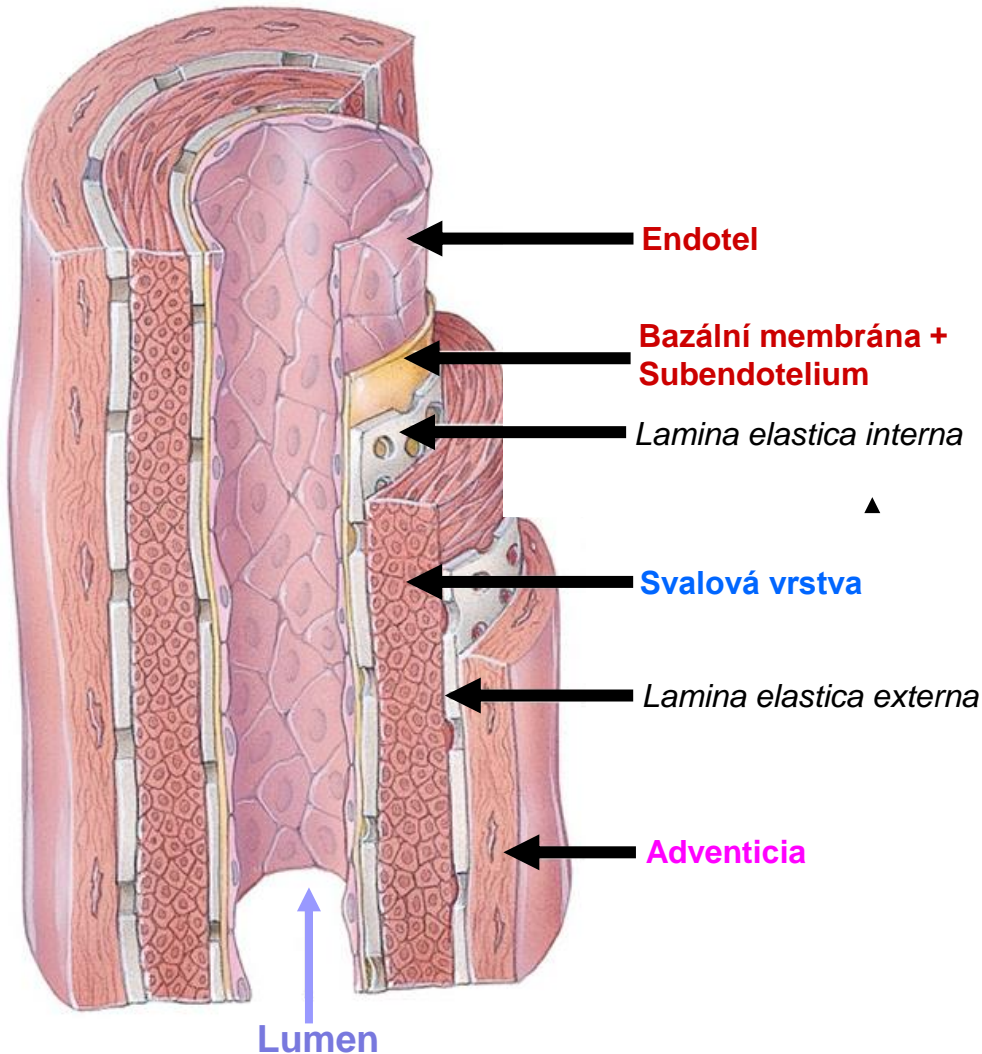
65 – 70% v žilách

- zásobárna krve
- lumen je větší než u korespondujících arterií

Kapiláry

~ 100 tisíc km (odhad)
&
pouze 5% objemu krve
&
největší povrch (~ 600 m²)
&
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 μm)
- 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

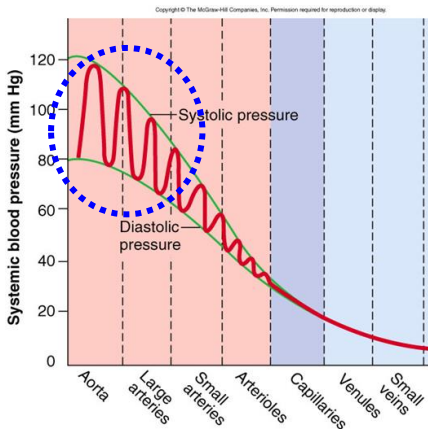
(*aorta, truncus pulmonalis, a. carotis, a. subclavia,*)

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

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

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

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

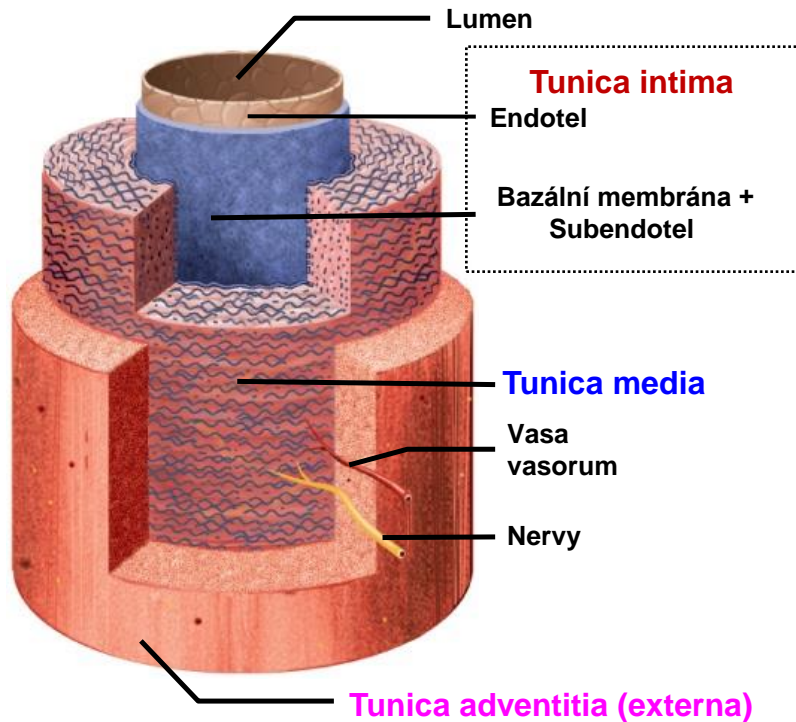


Arterie elastického typu

- 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 orineotvaných 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

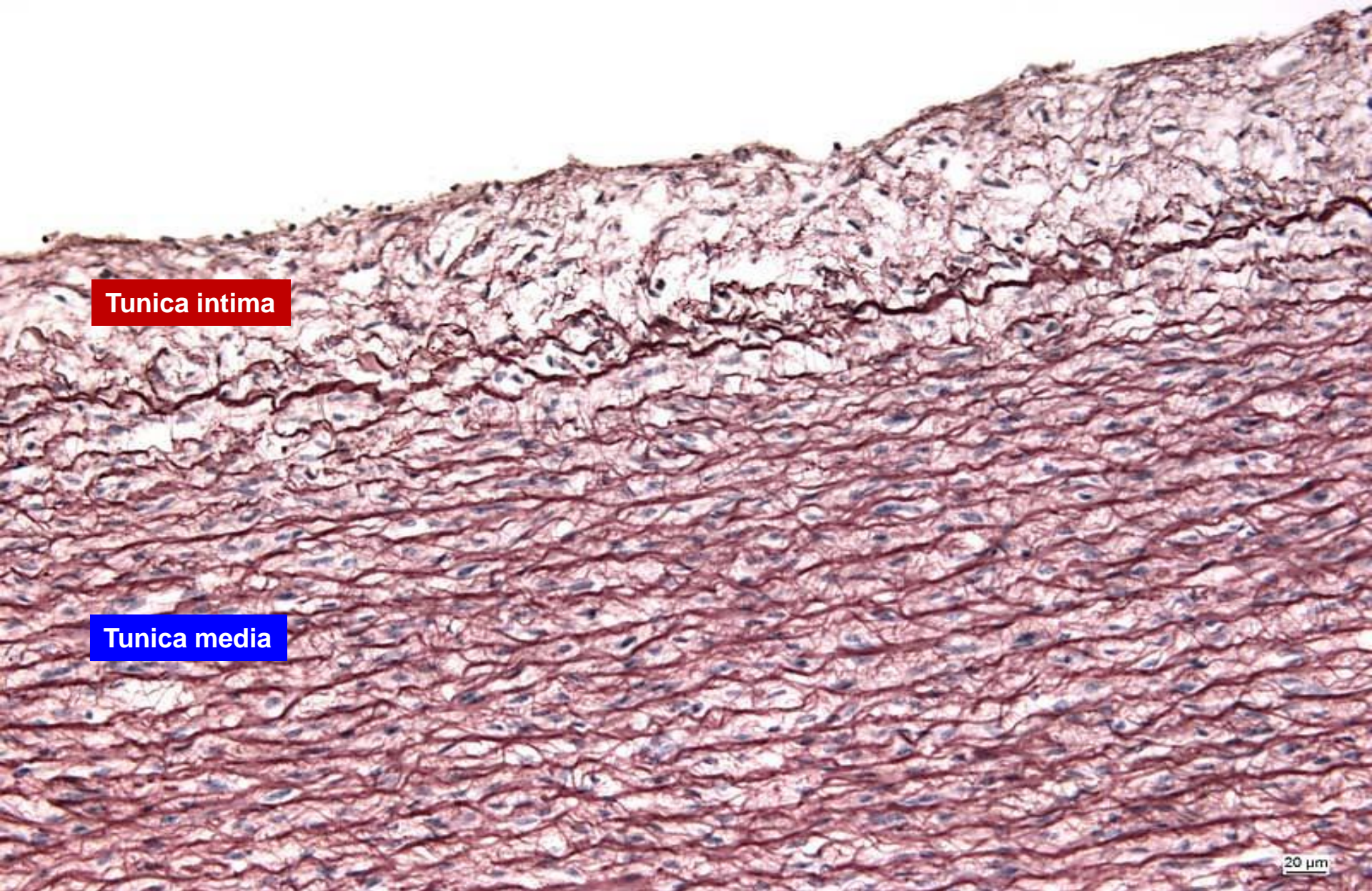


— 100 μm

Arterie elastického typu

Tunica intima

Tunica media

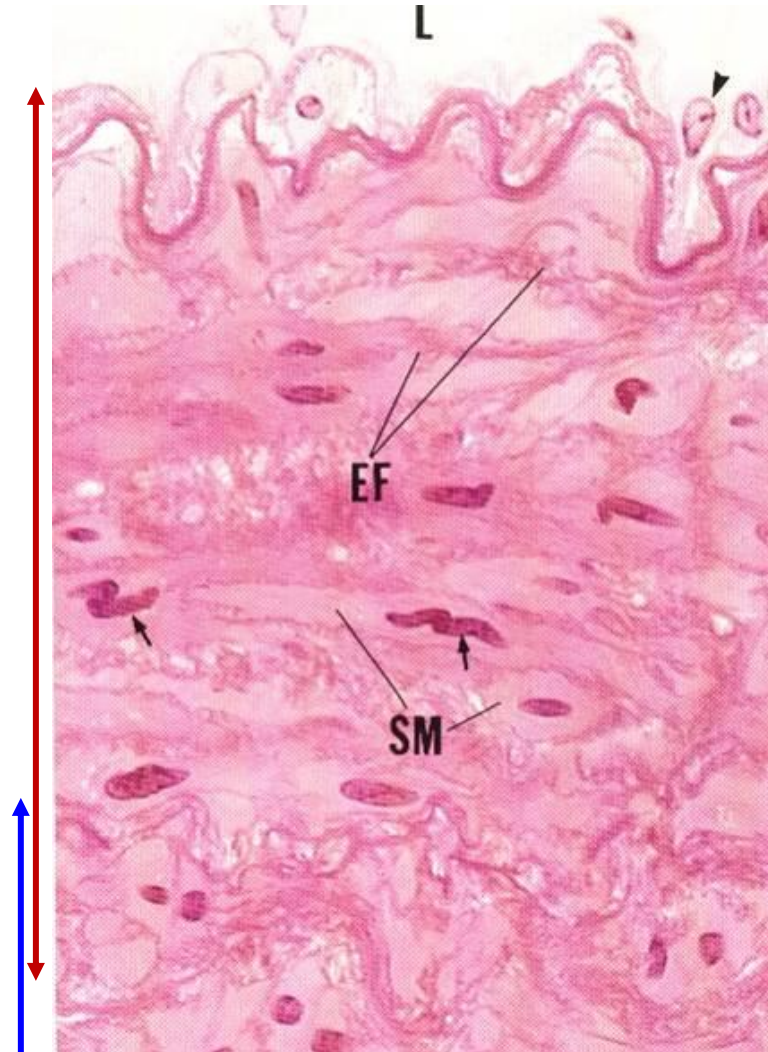


Arterie elastického typu

Opice
H & E
x540

Tunica intima

Tunica media

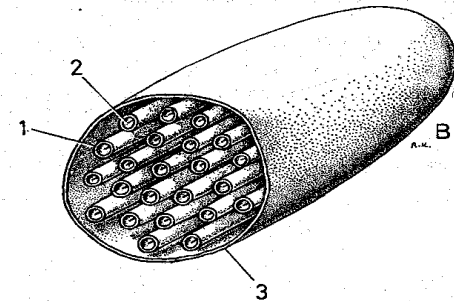
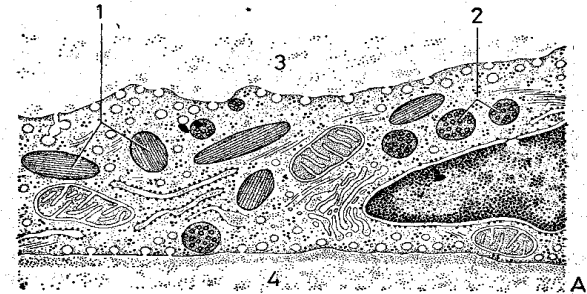


přechod

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

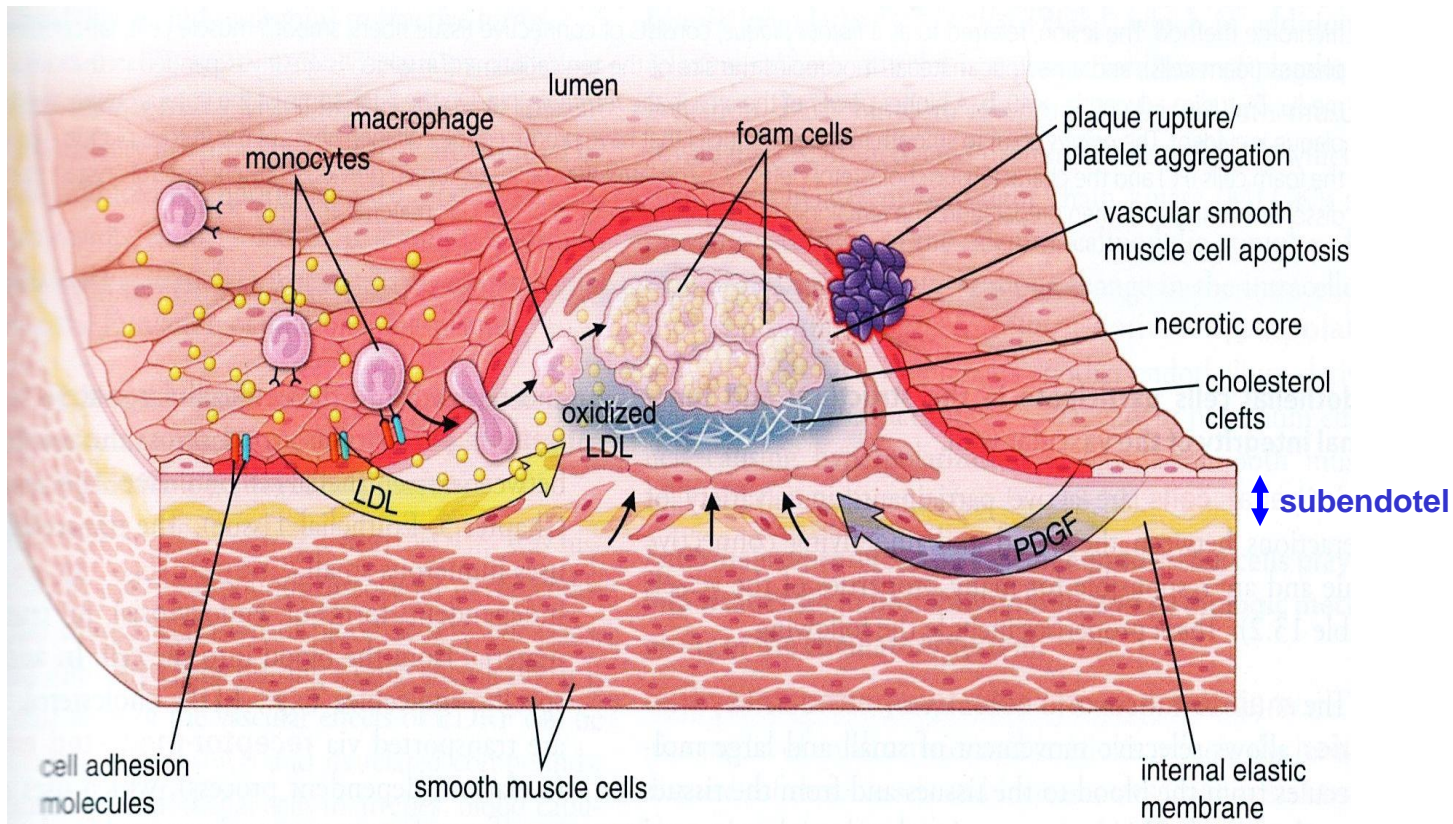
Poškození endotelu
(predisponující faktory)

Produkce ROS

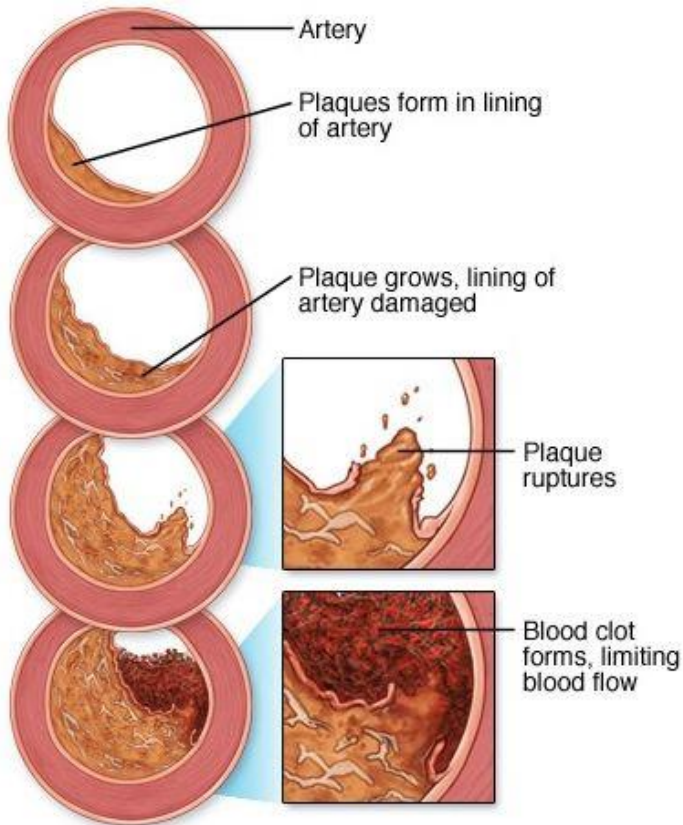
Oxidace LDL

Vstup monocytů
(přeměna na pěnové buňky)

Tvorba plaku
(nekróza + akumulace lipidů)

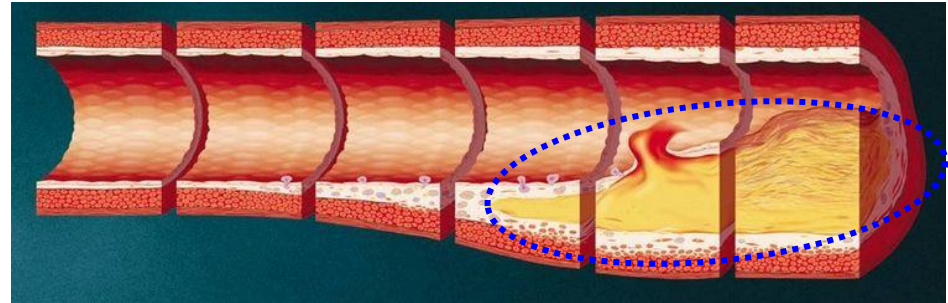


Arterie – Aterosklerotické změny

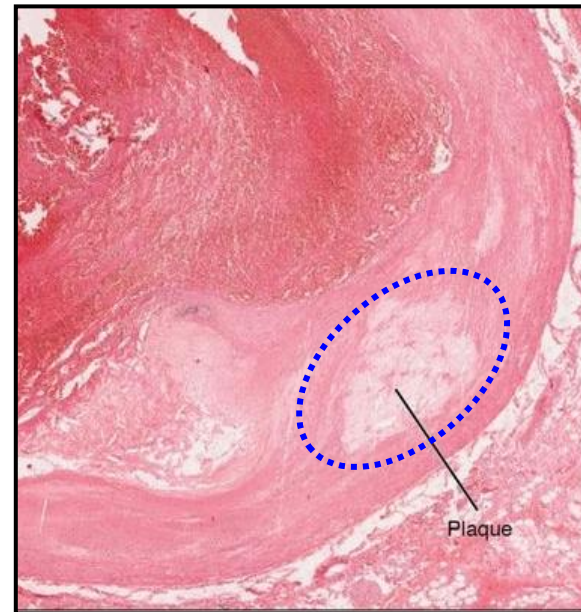


© MAYO FOUNDATION FOR MEDICAL EDUCATION AND RESEARCH. ALL RIGHTS RESERVED.

Ucpání arterie



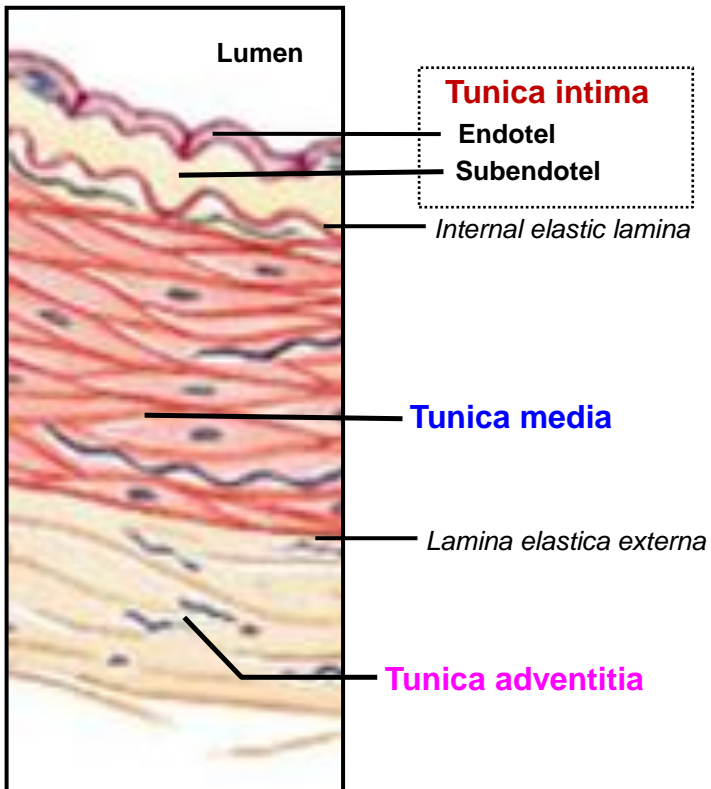
Ateromatózní plát



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

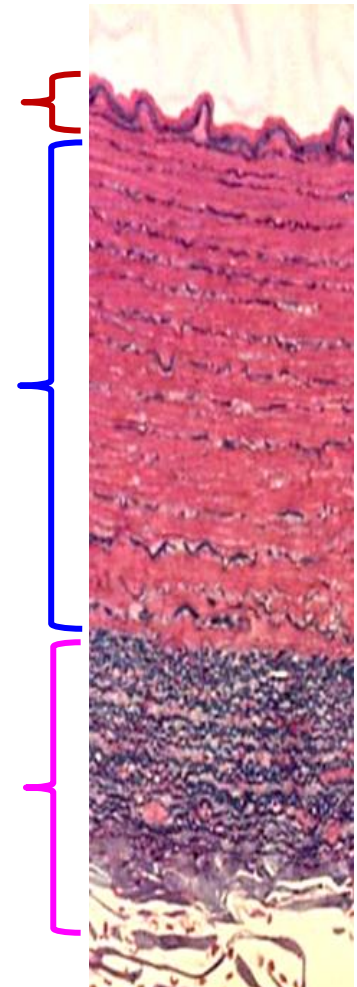
- dobře vyvinuta

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

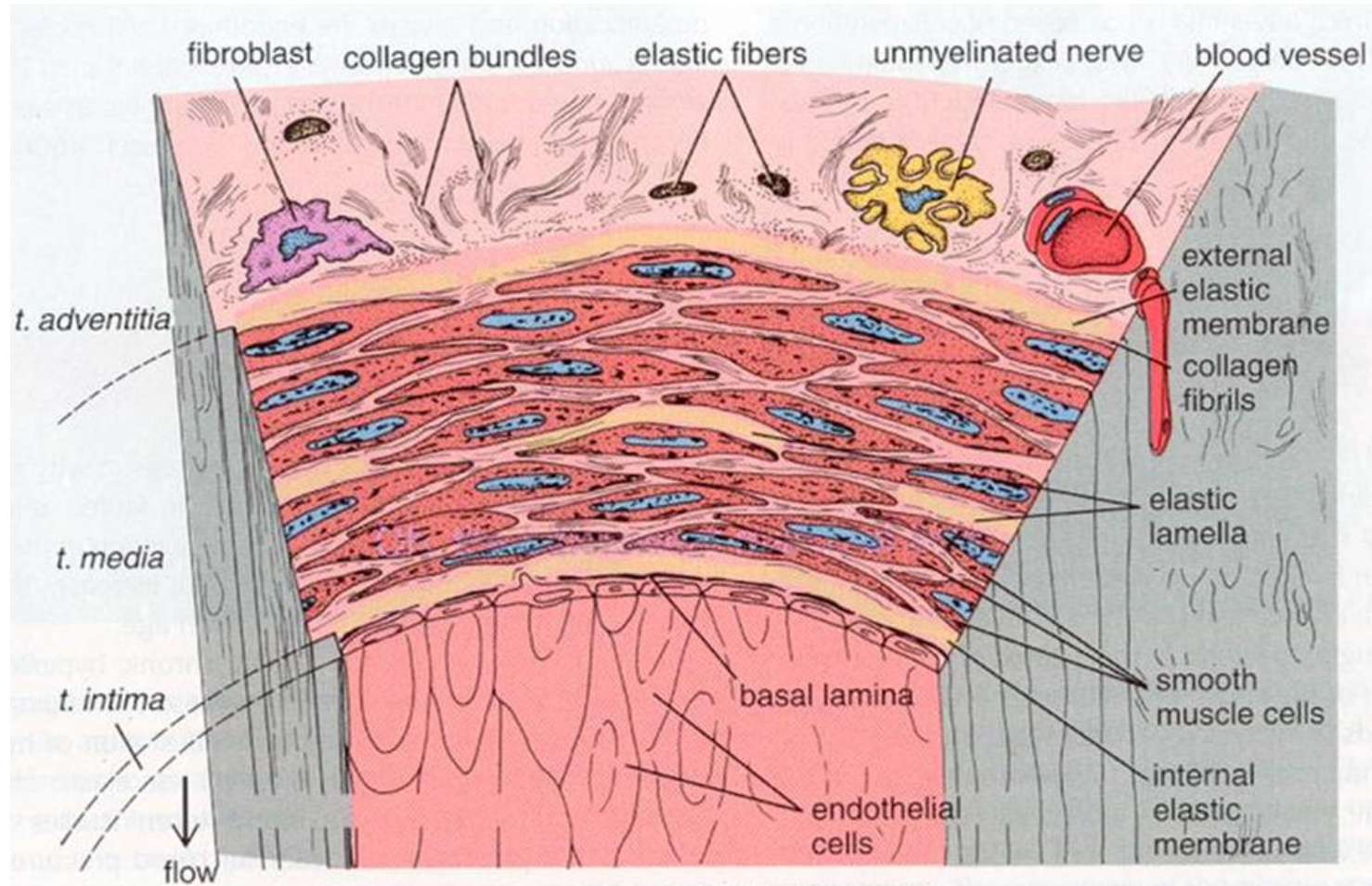
Lamina elastica externa

- 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

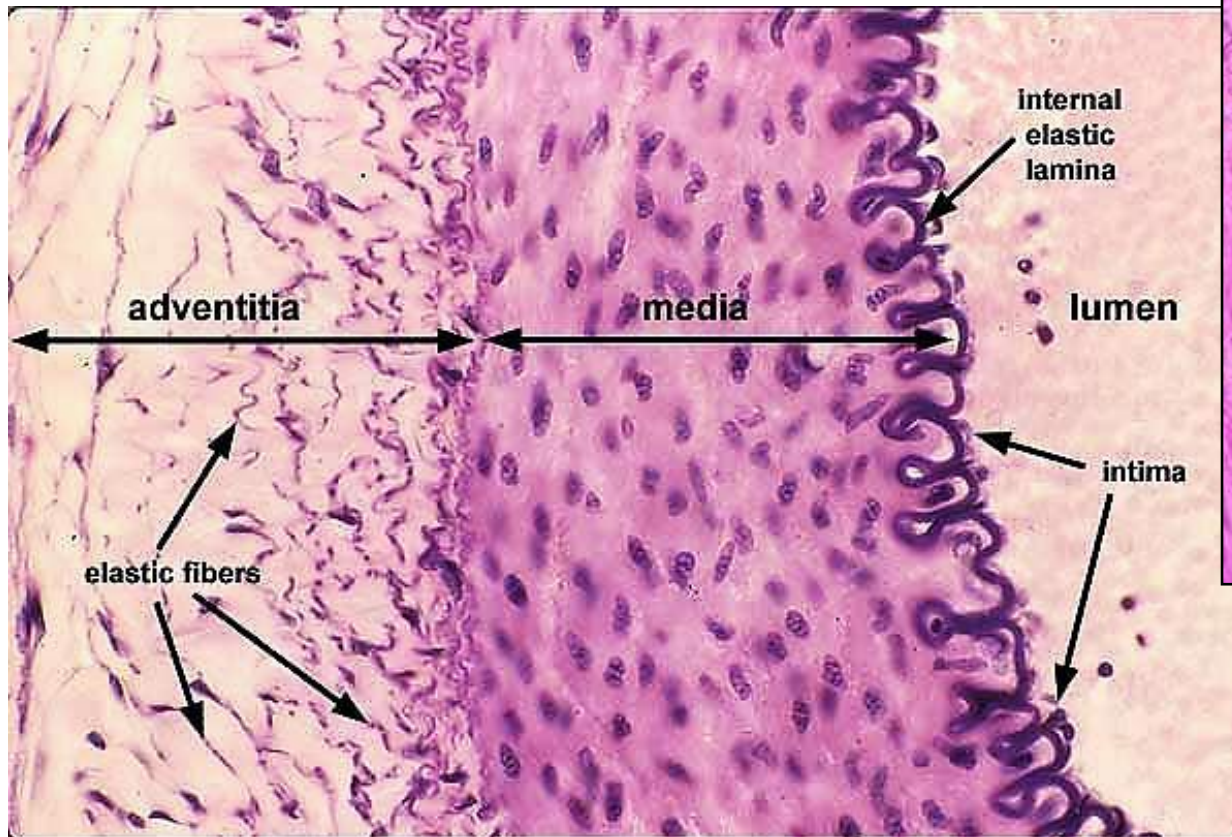


Arterie svalového typu



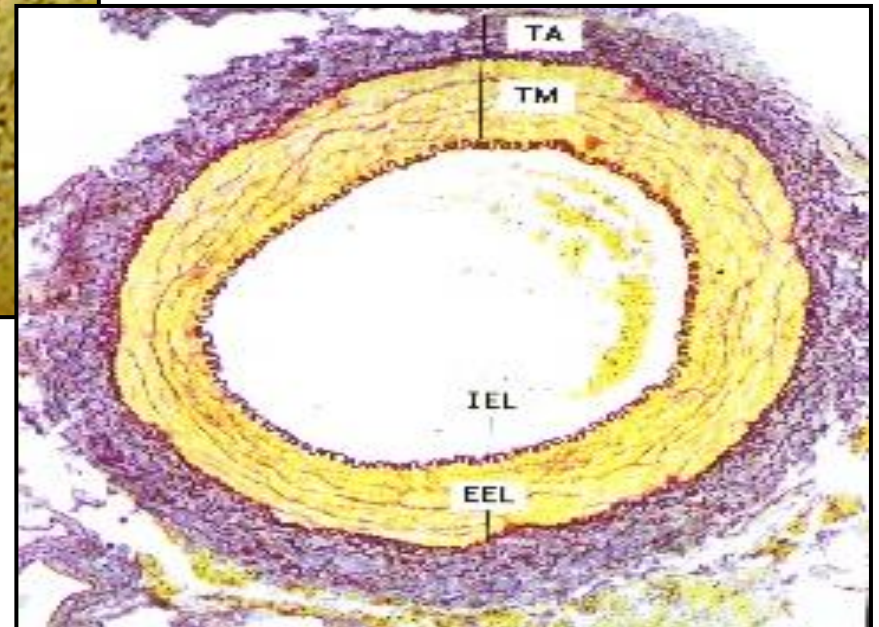
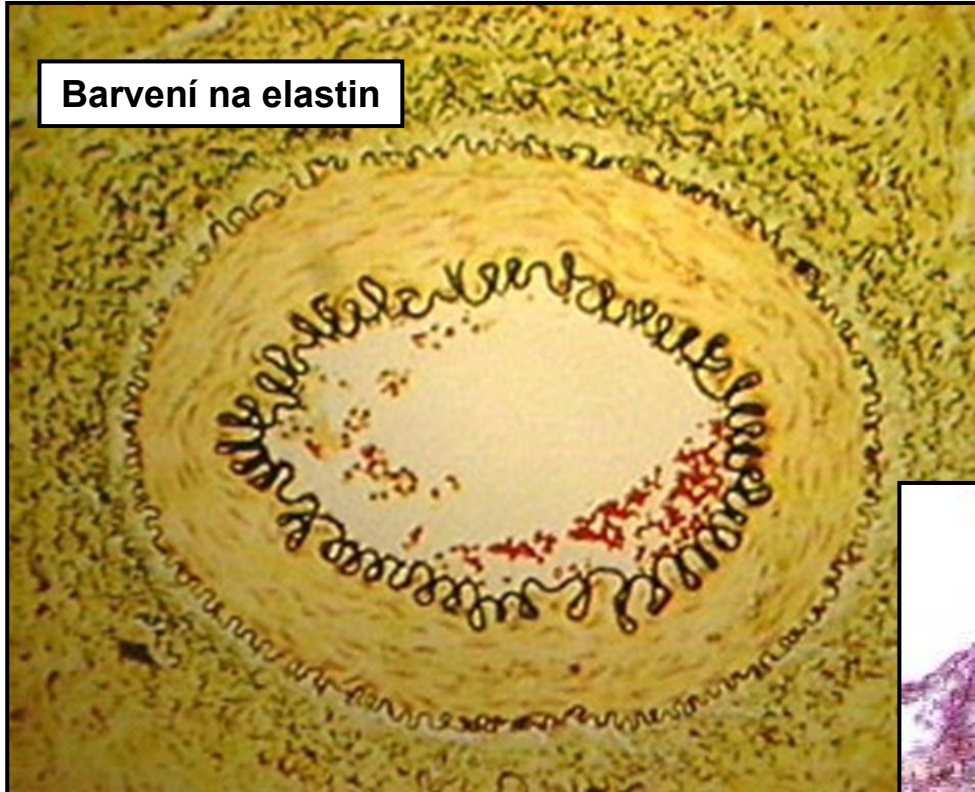
Arterie svalového typu

Zvlnění - Artefakt
(díky postmortem kontrakci hladkosvalových buněk)



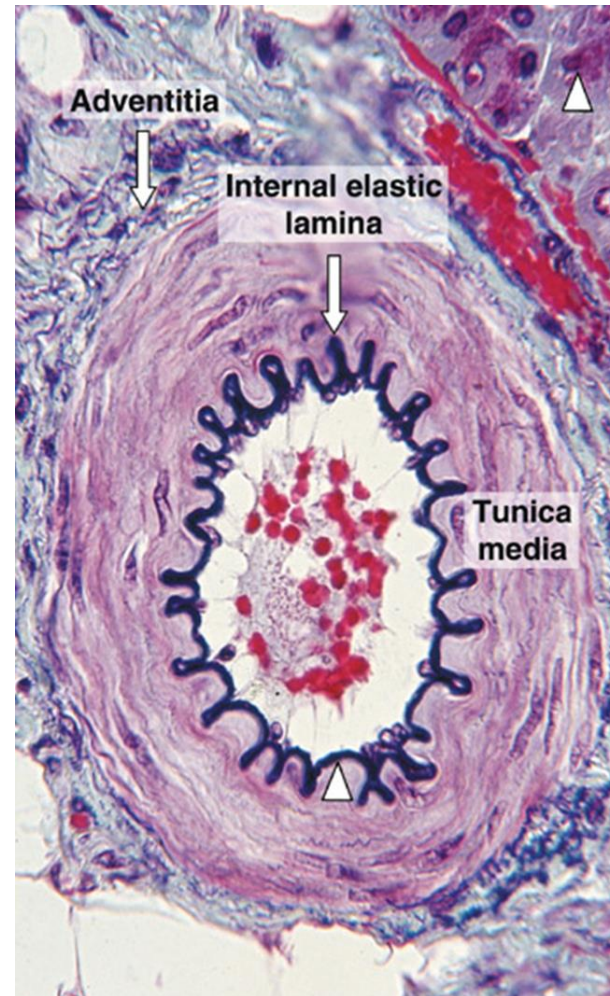
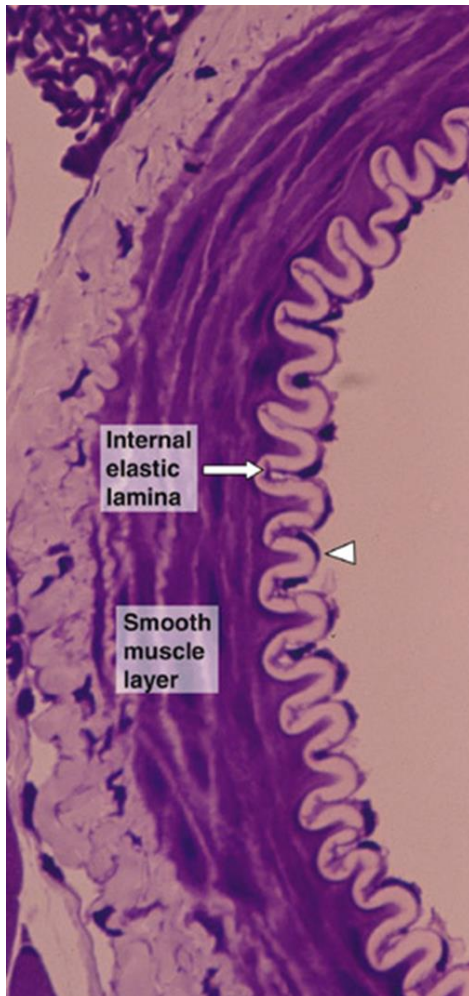
Arterie svalového typu

Barvení na elastin

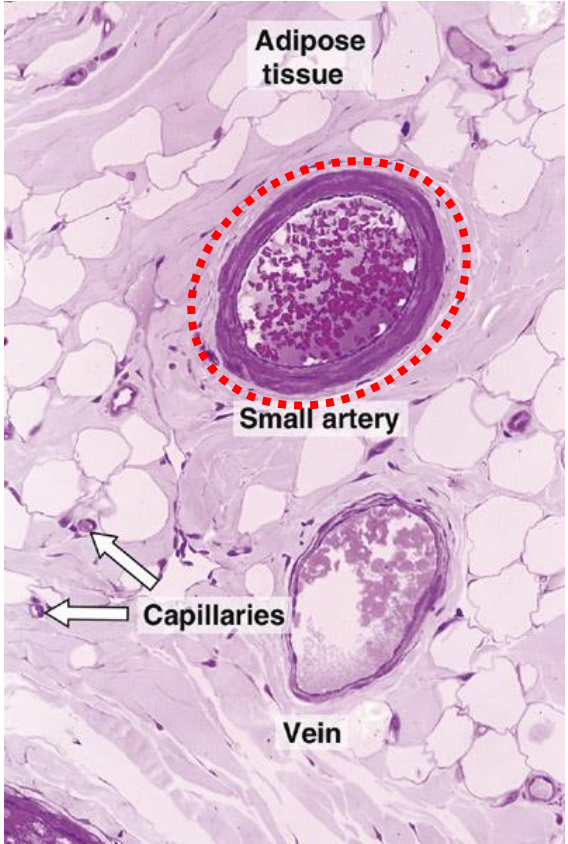
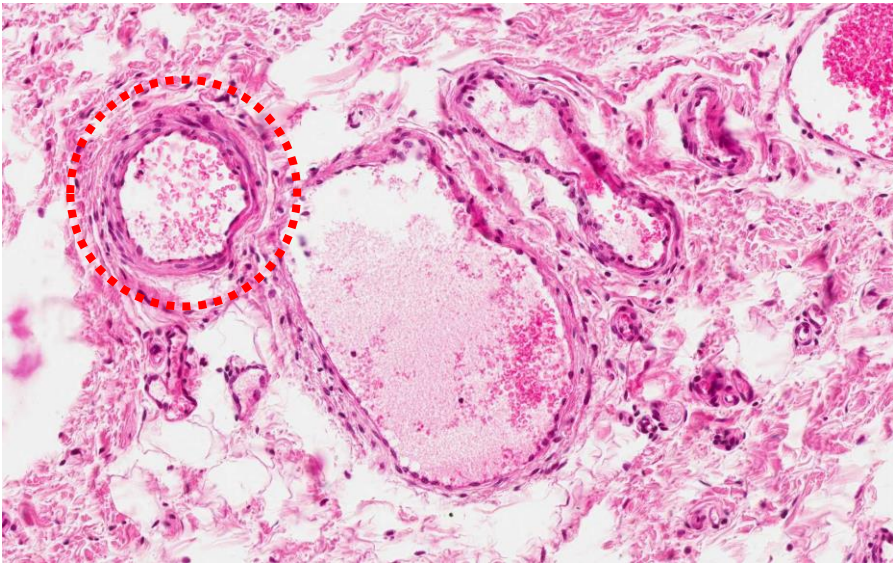
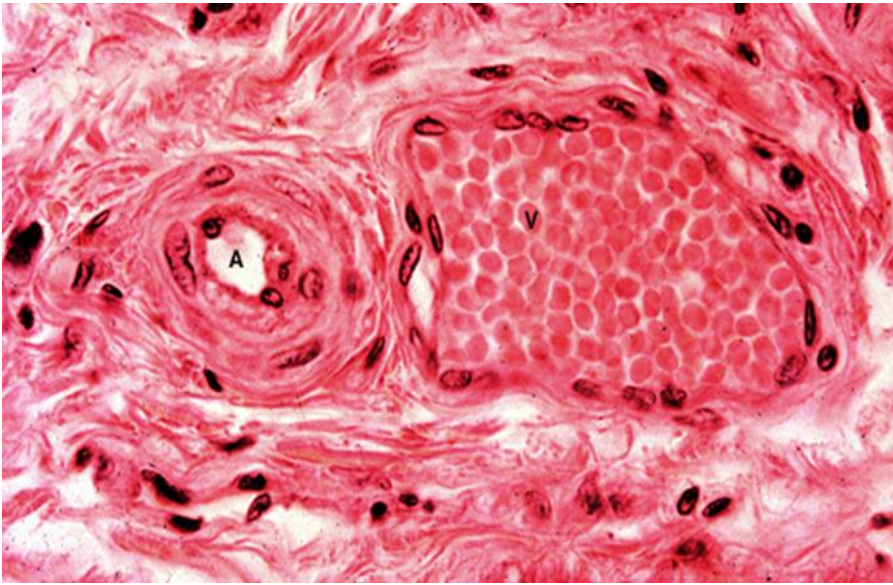


Arterie svalového typu - malý kalibr

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



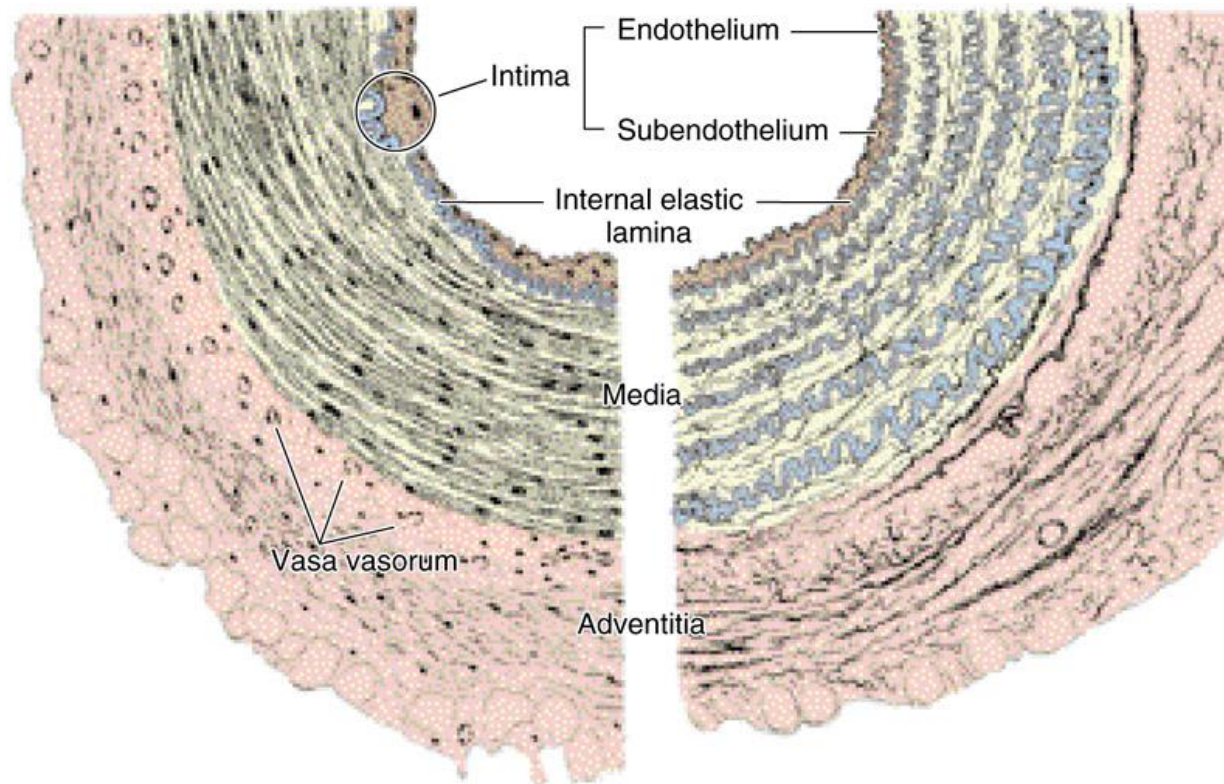
Arterie svalového typu - malý kalibr



Arterie svalového typu x Arterie elastického typu

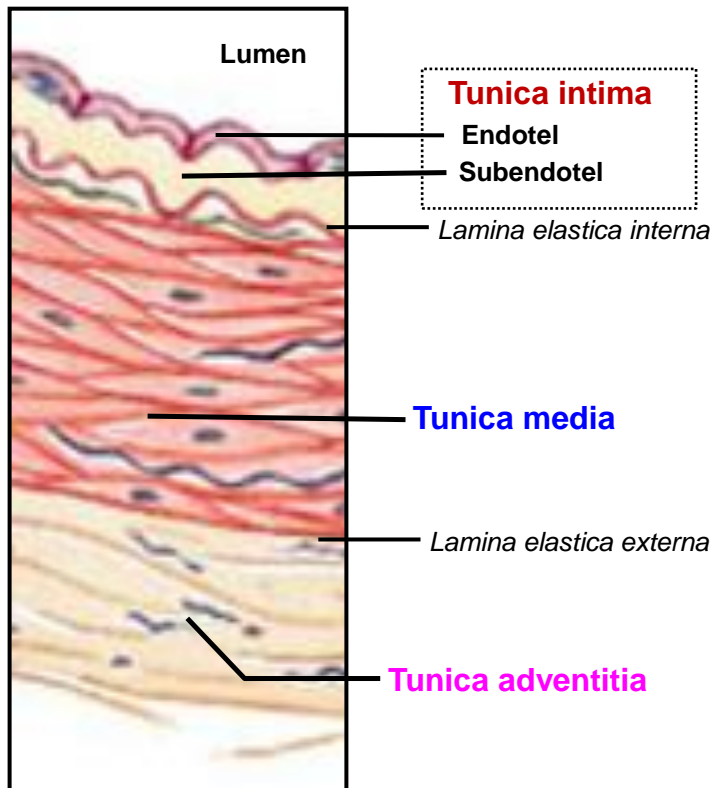
V tunica media převládají hladkosvalové buňky

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

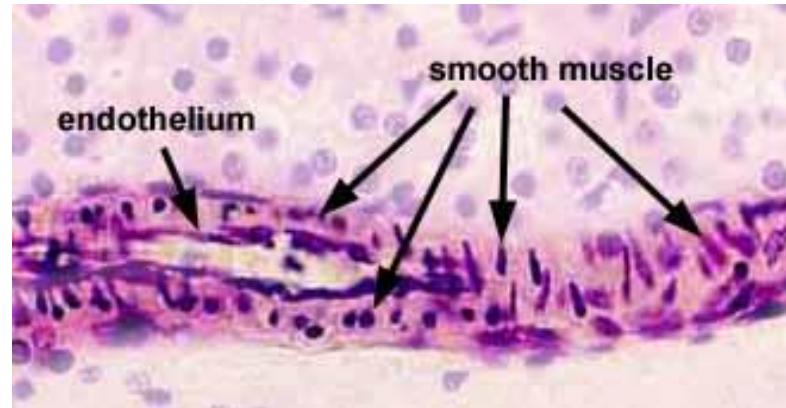
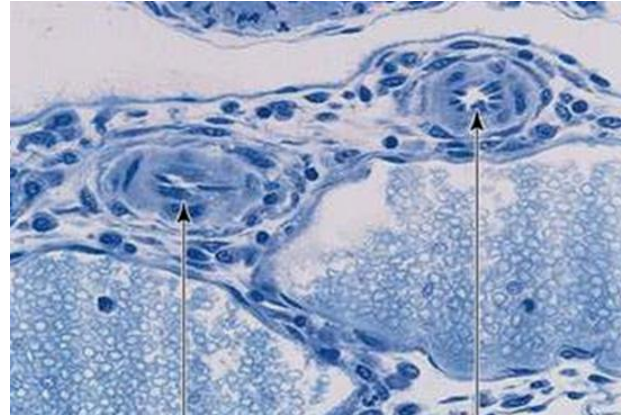
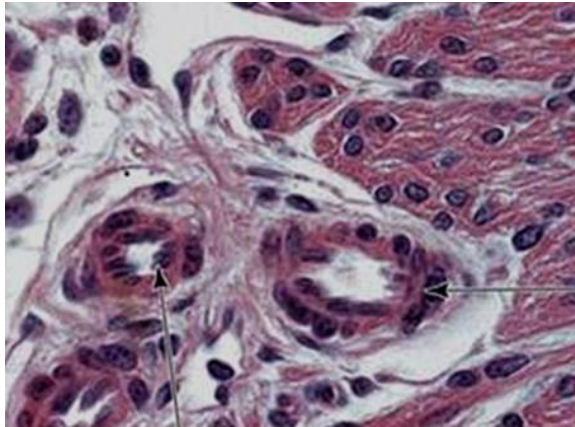
External elastic lamina

- není vyvinuta

- pouze vrstva kolagenních vláken
- nejsou vasa vasorum

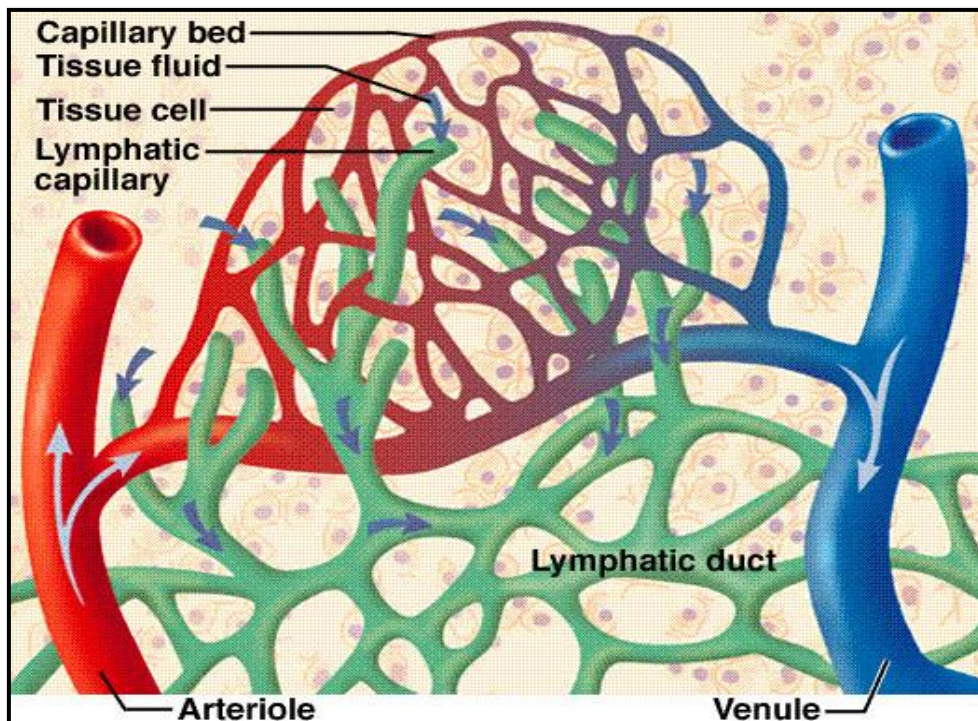
Arterie svalového typu

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

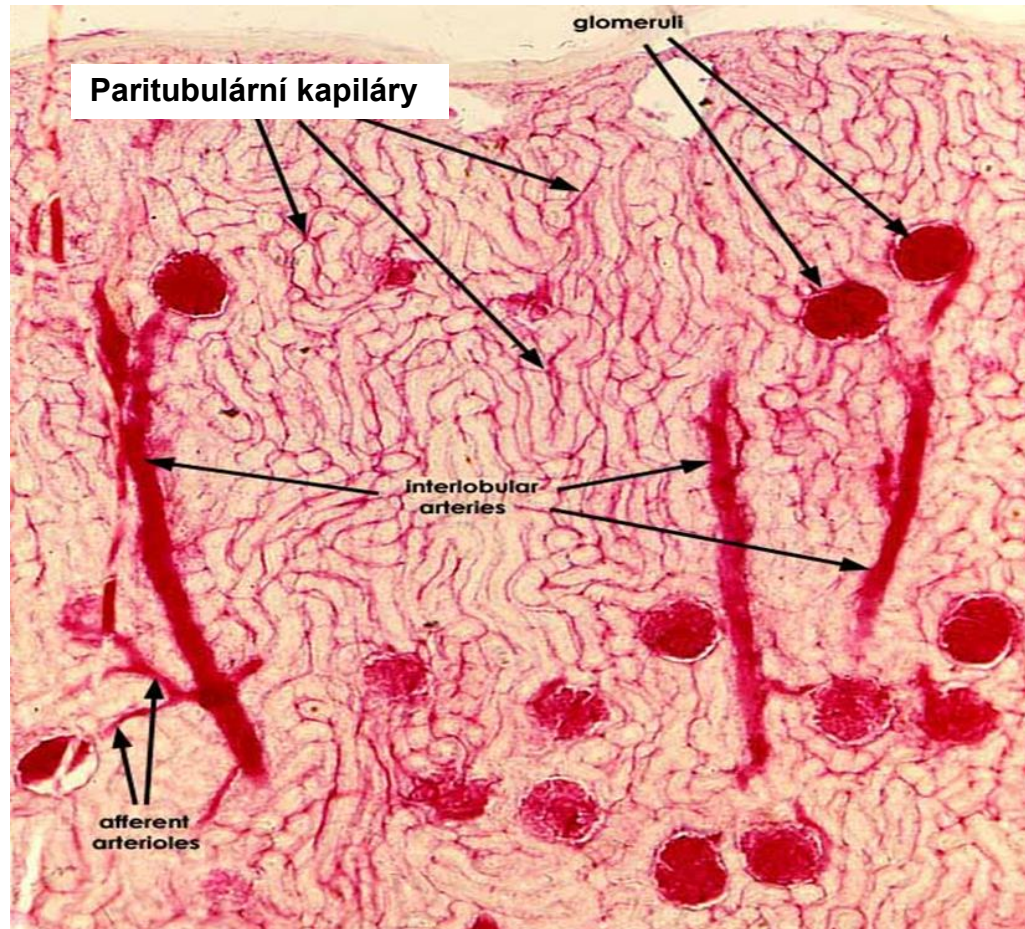
Maximální vzdálenost buněk od kapilár

=
přibližně 50 μm

Délka kapilár je obvykle

přibližně od 0.25 do 1 mm

Kapiláry

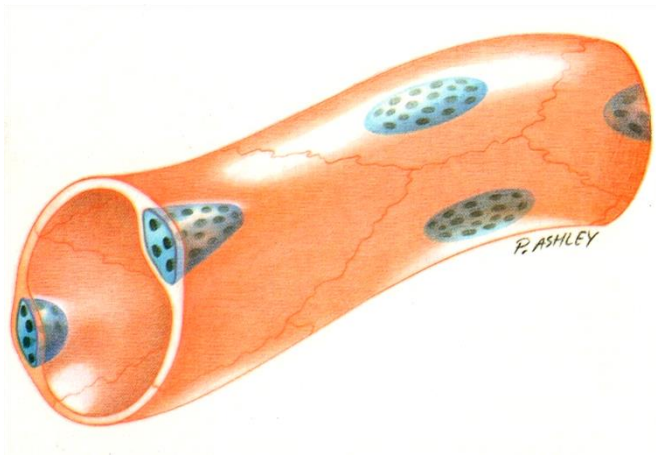


Extenzivní vaskulatura kůry ledviny (napuštěno červeným barvivem)

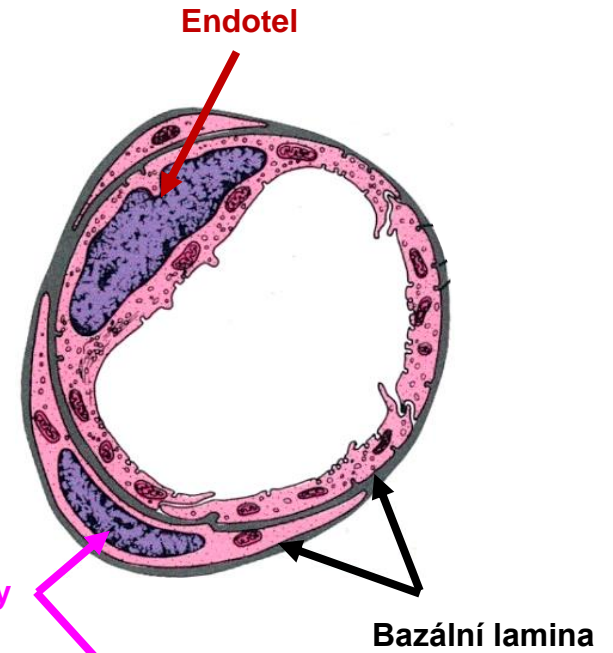
Velmi řídké v: šlachy, vazy

Zcela chybí v: chrupavka, epidermis, cornea

Kapiláry



průměrný diametr 8 μm



Stěna kapilár

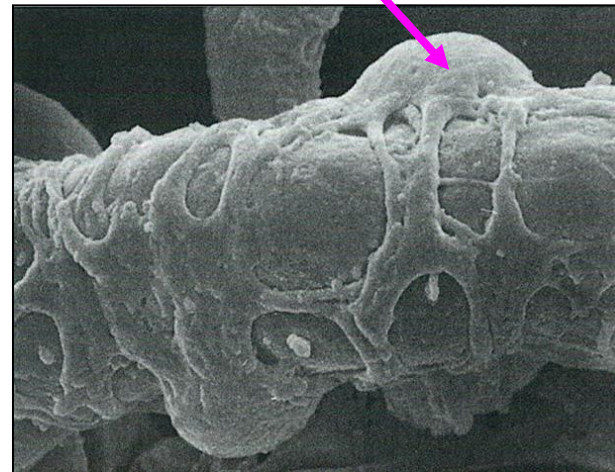
Endotel

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

Bazální lamina

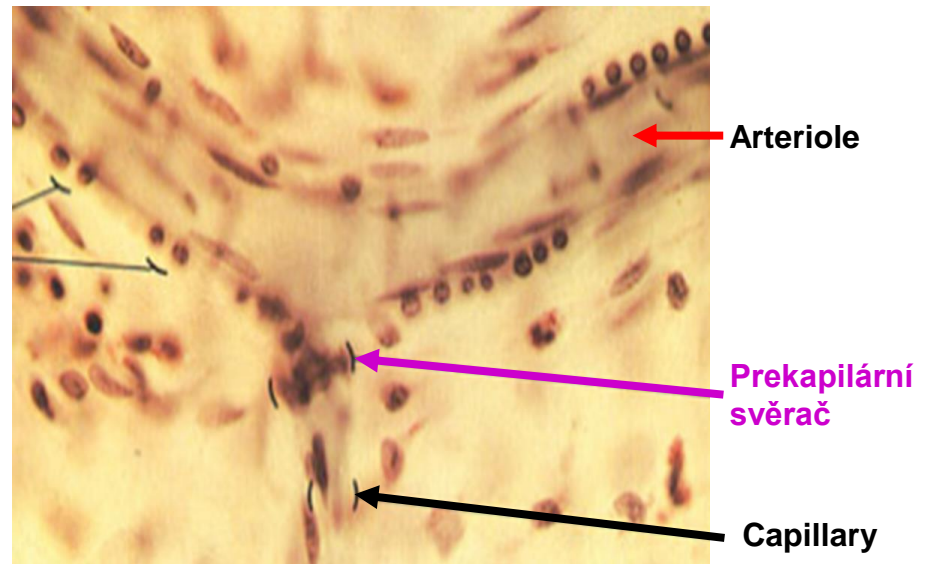
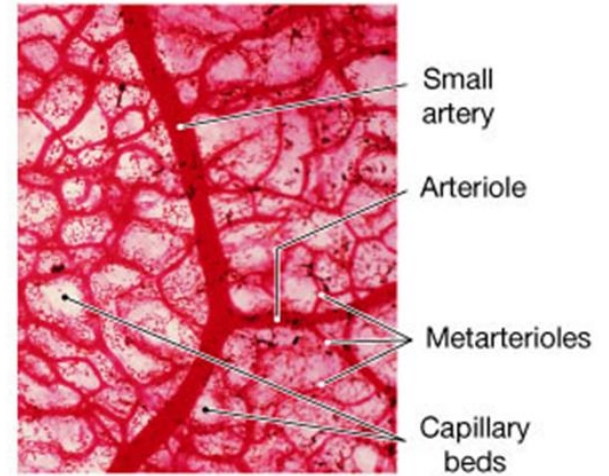
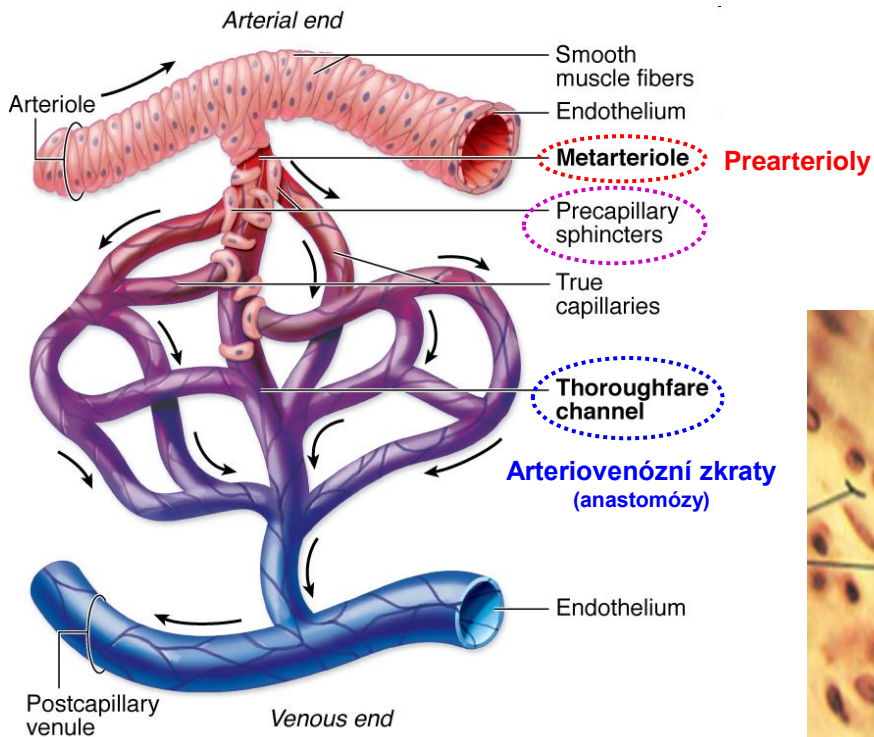
„Obal“

- 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

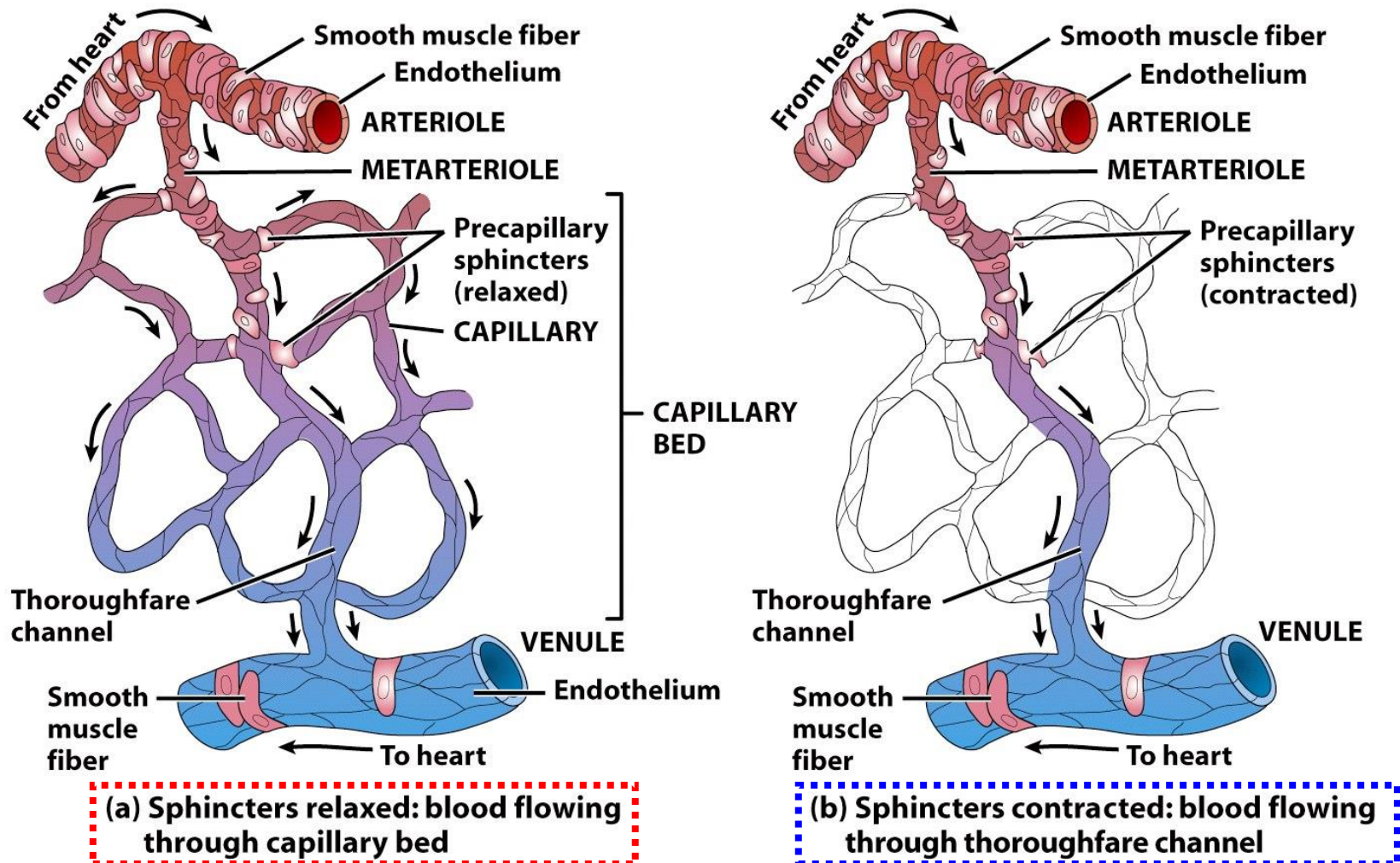
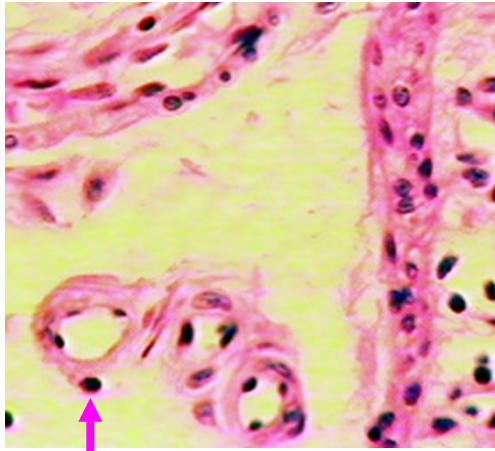
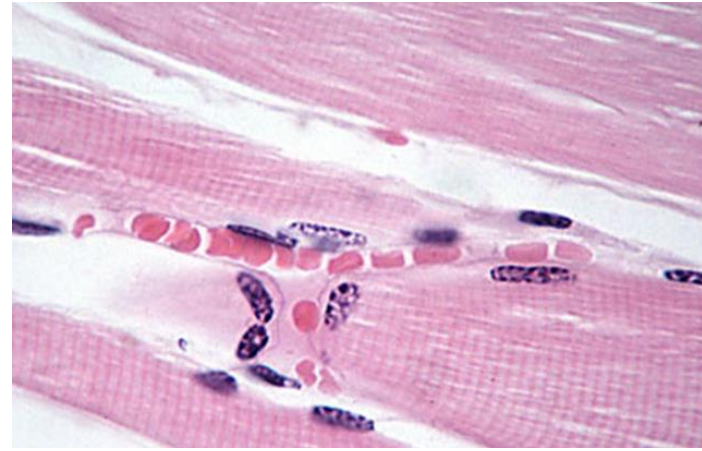


Figure 21-3 Principles of Anatomy and Physiology, 11/e
© 2006 John Wiley & Sons

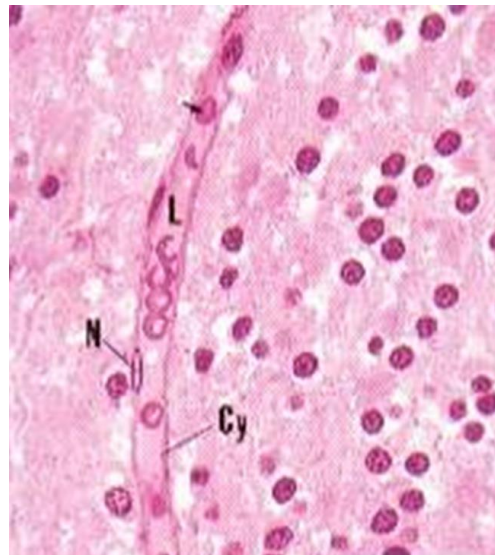
Kapiláry



Pericyt



Kosterní svalovina

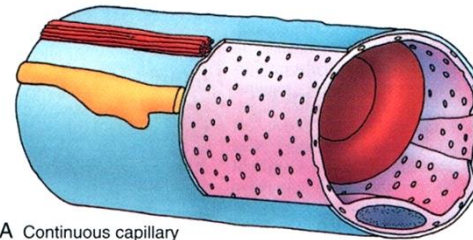


Mozeček (monkey)

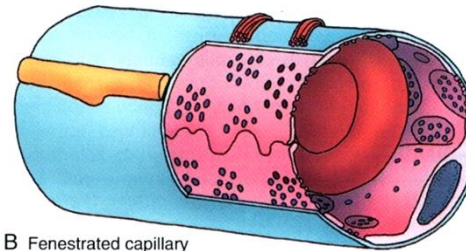
Kapiláry

Podle integrity endotelu a bazální membrány – TEM:

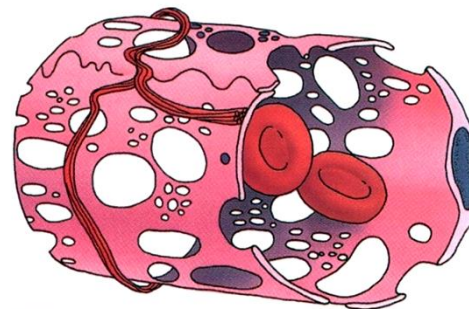
- **Kapiláry se souvislou výstelkou**
- **Fenestrované kapiláry**
- **Sinusoidy**



A Continuous capillary

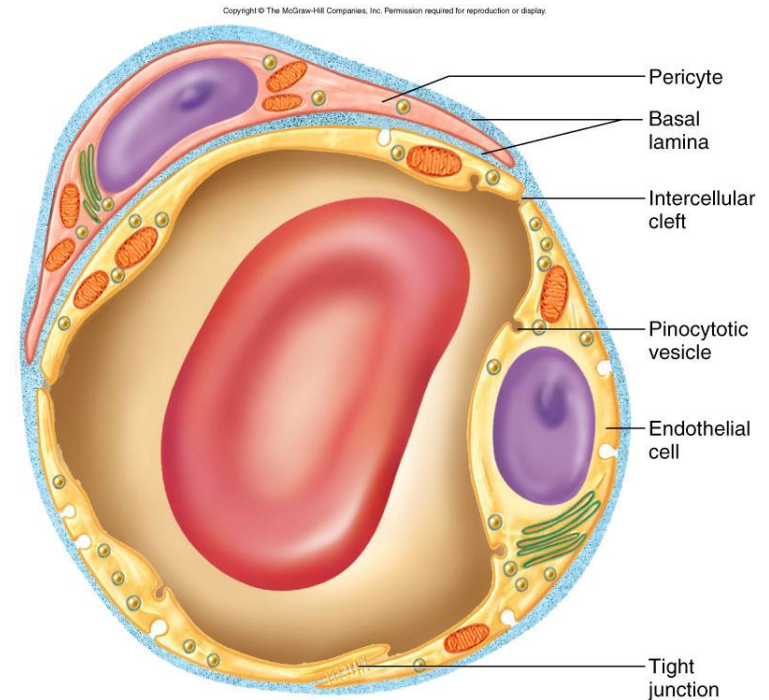
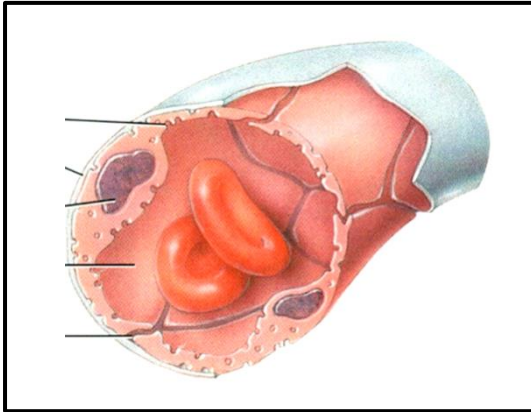


B Fenestrated capillary



C Sinusoidal (discontinuous) capillary

Kapiláry se souvislou výstelkou

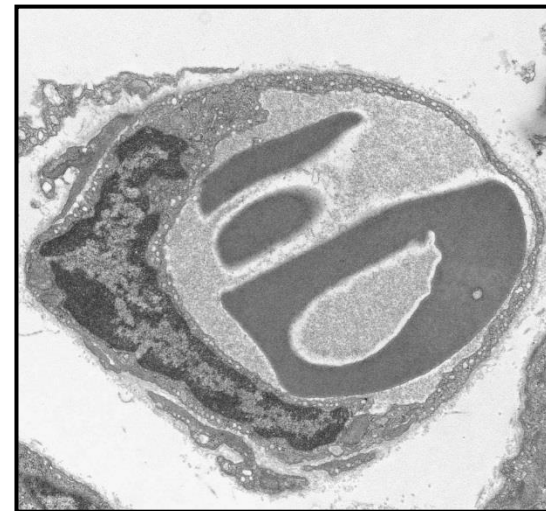


Typické znaky

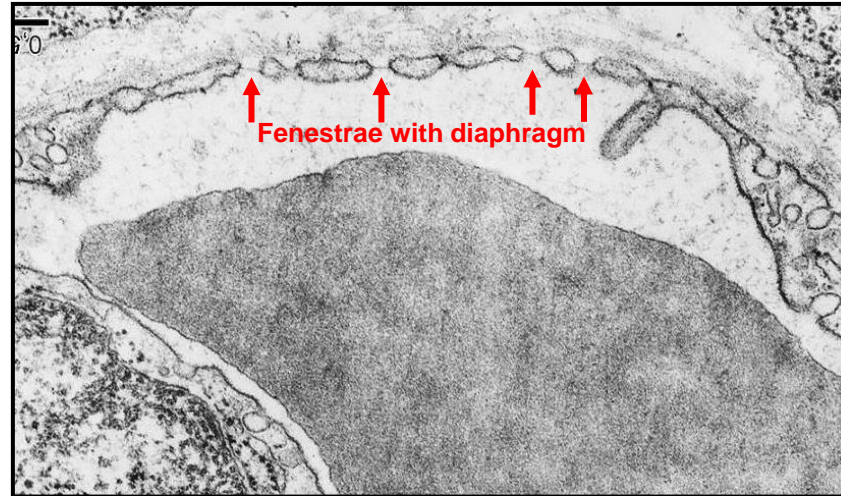
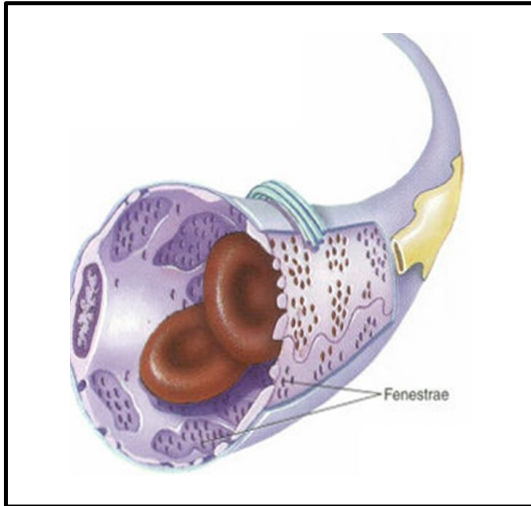
- nepřerušovaná výstelka
- endotel + bazální membrána + pericyty

Lokalizace

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



Fenestrované kapiláry

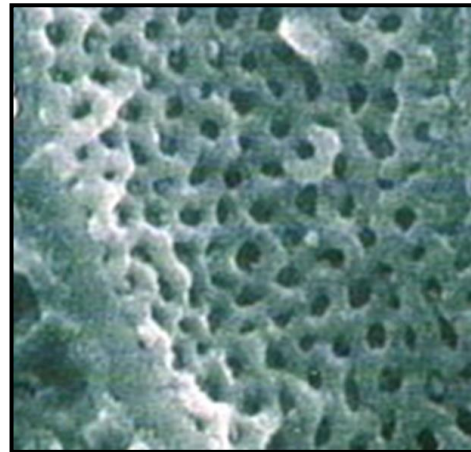


Typické znaky

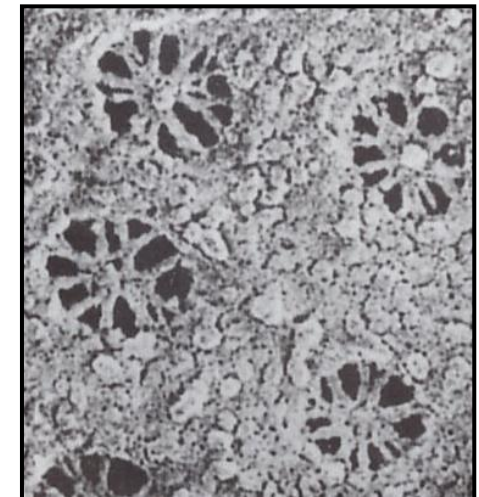
- perforované endotelové buňky (diametr ~60-80 nm; diafragma 4-6 nm)
- nepřerušovaná bazální membrána

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

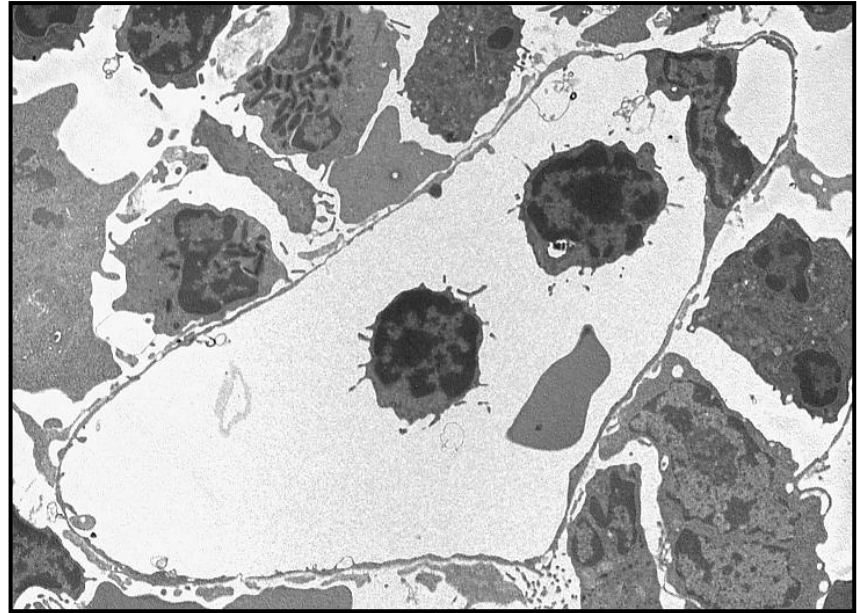


Typické znaky

- větší diametr (až 40 μm)
- endotelové buňky s velkými póry bez diafragmy
- štěrby mezi endotelovými buňkami
- přerušovaná bazální membrána (dokonce chybějící)
- chybí pericyty (místo nich makrofágy)

Lokalizace

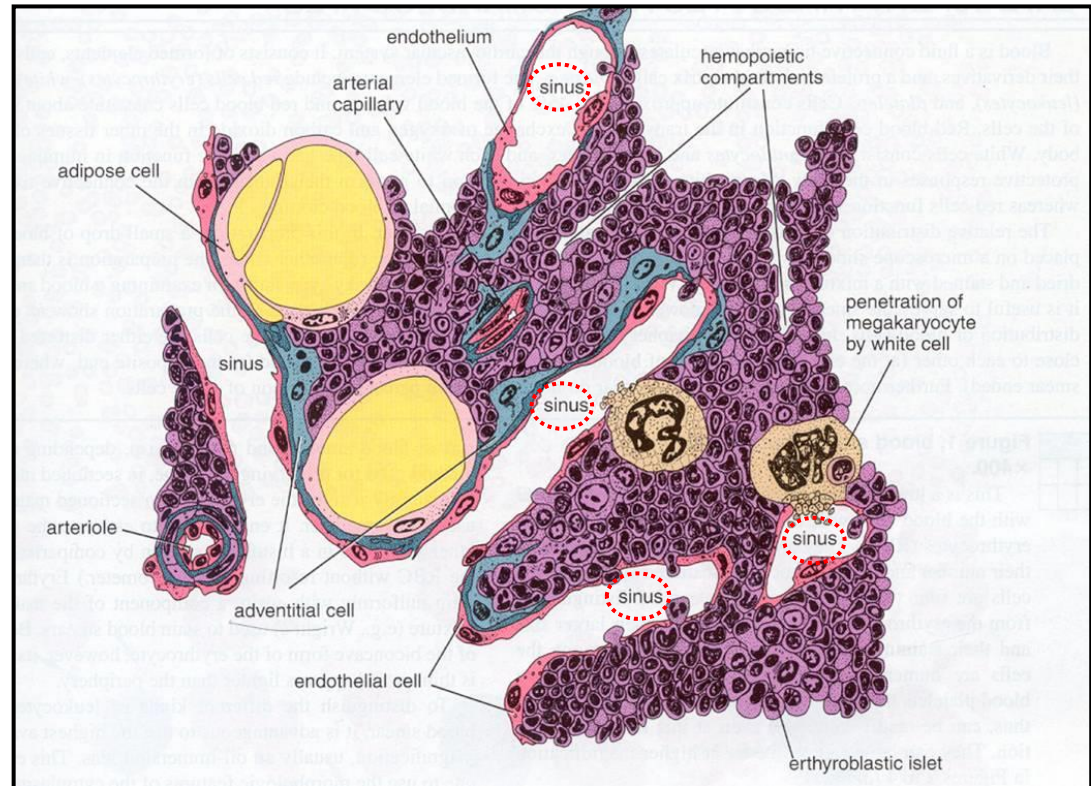
- játra (póry 100 nm)
- oblasti hematopoézy (kostní dřeň)
- endokrinní žlázy (adenohypofýza, Langerhansovy ostrůvky)



Sinusoidy



Kostní dřeň



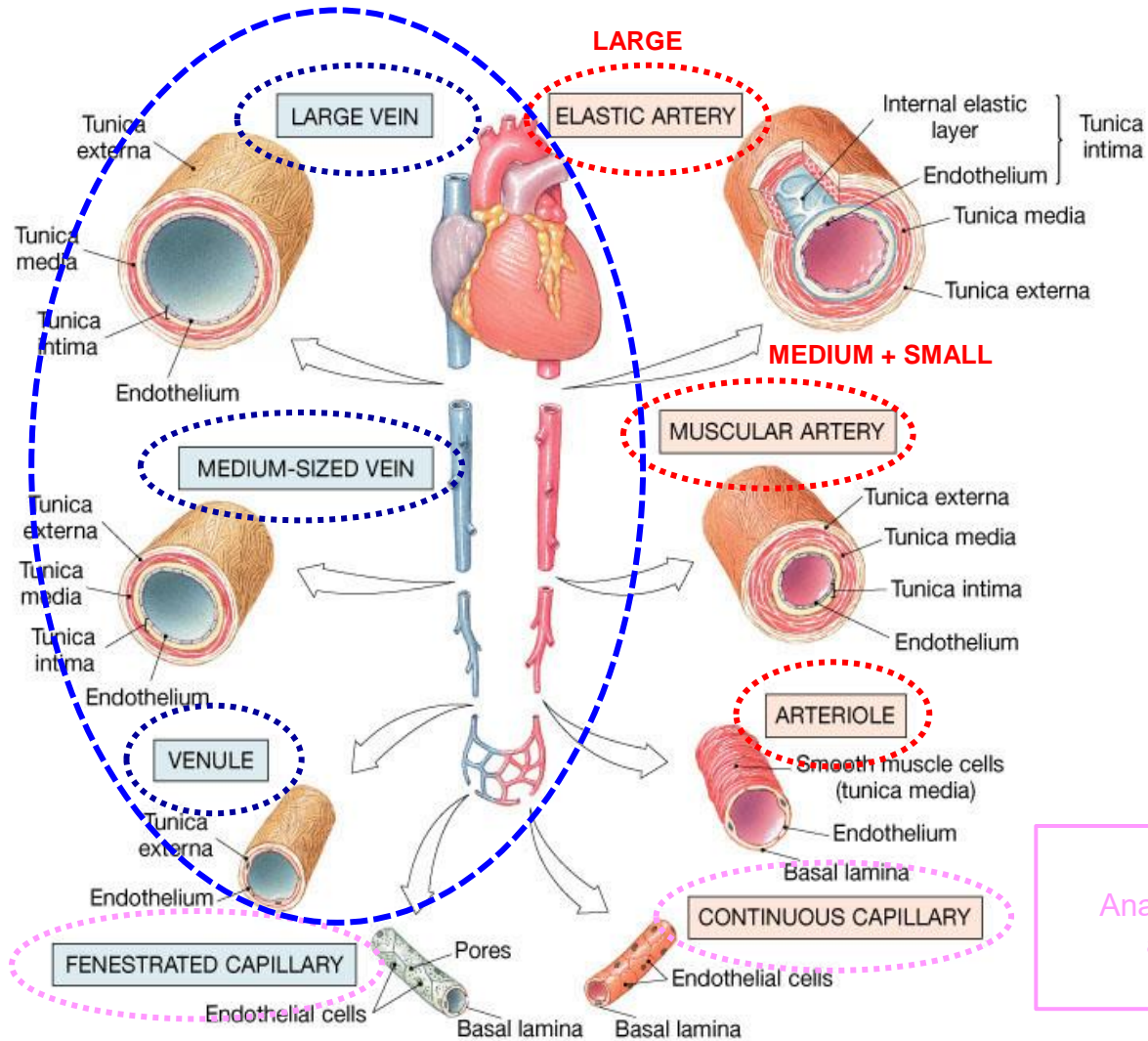
Krevní cévy – několik různých podob

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)

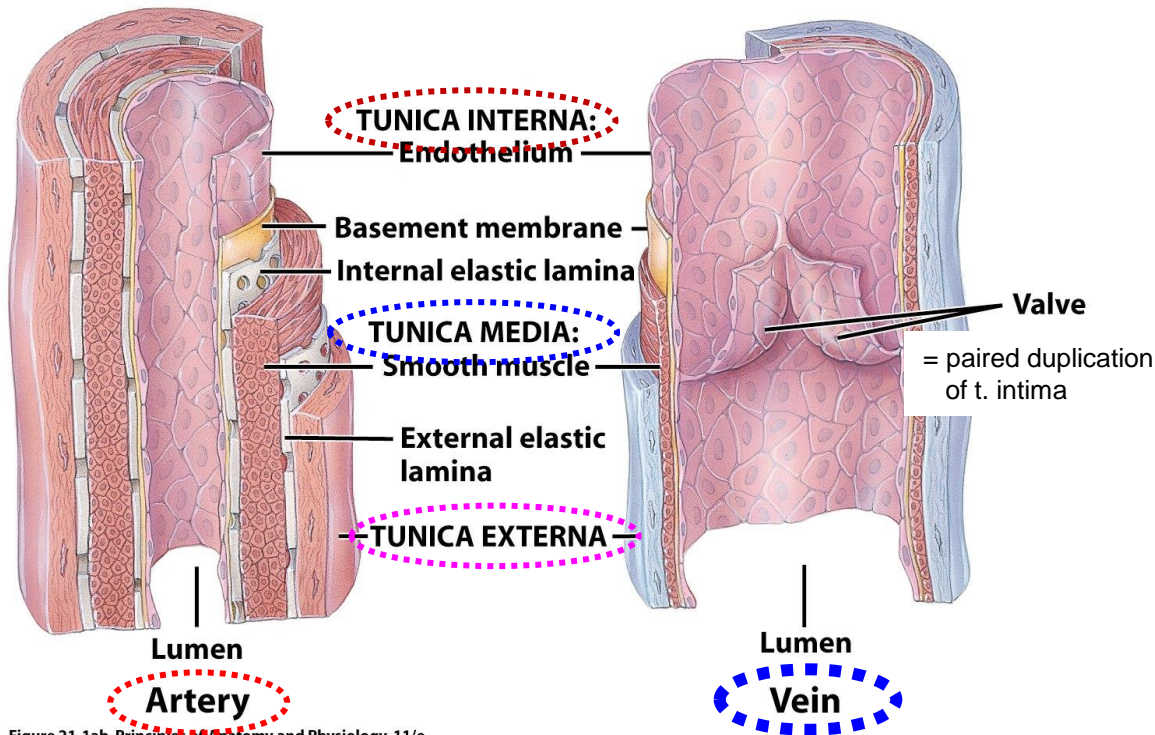


Figure 21-1ab Principles of Anatomy and Physiology, 11/e
© 2006 John Wiley & Sons

Obecné znaky

Endotel

- velmi tenký

Subendotel

- velmi tenký

Lamina elastica interna

- chybí nebo velmi tenká

- relativně tenká (kromě dolních končetí)
- 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)

Trojvrstevná stavba

Žíly – kategorie podle průměru

Postkapilární venuly

- endotelové buňky + pericyty
- odvádějí krev z kapilár
- více porézní než kapiláry
- větší vnitřní průměr než kapiláry (15-20 μm)

Sběrací venuly

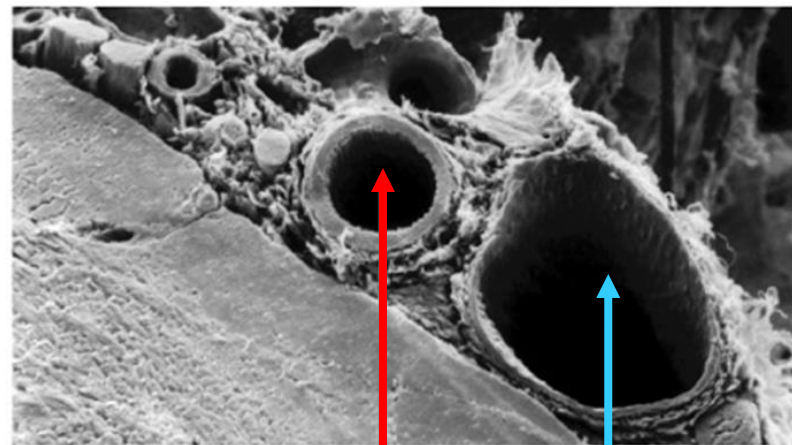
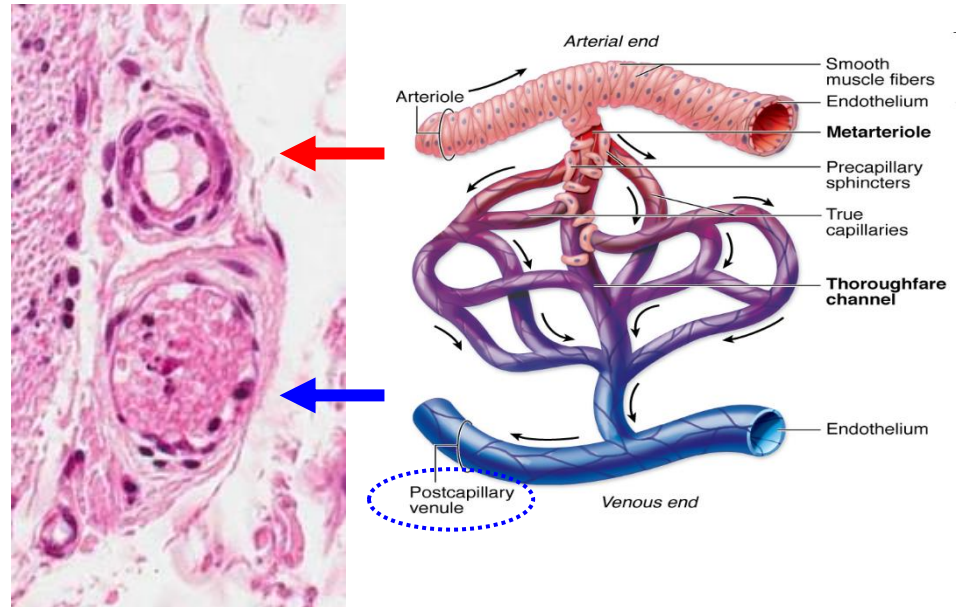
- větší počet kontraktilních buněk
- rozeznatelná tunica media

Žíly malého a středního kalibru

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

Velké žíly

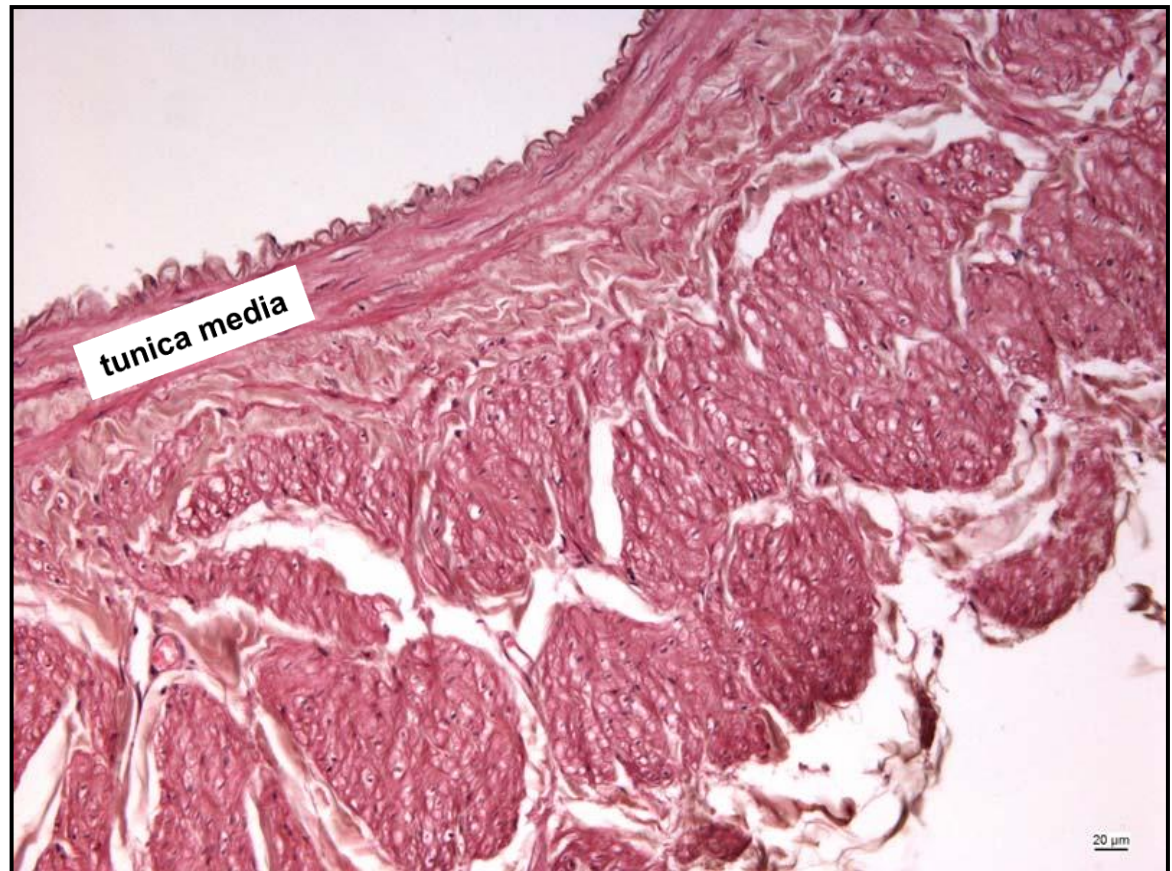
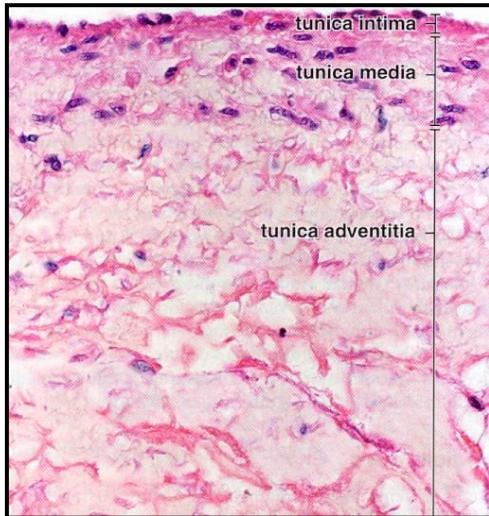
- blízko srdce
(*v.cavae*, *pulmonary veins*, *internal jugular veins*)
- párovány s tepnami elastického typu
- diameter > 10 mm
- s chlopněmi
- tenká t. media (svalové b. + pojivo)
- tlustá t. externa (svazky hladkosvalových buněk – podélně orientované)



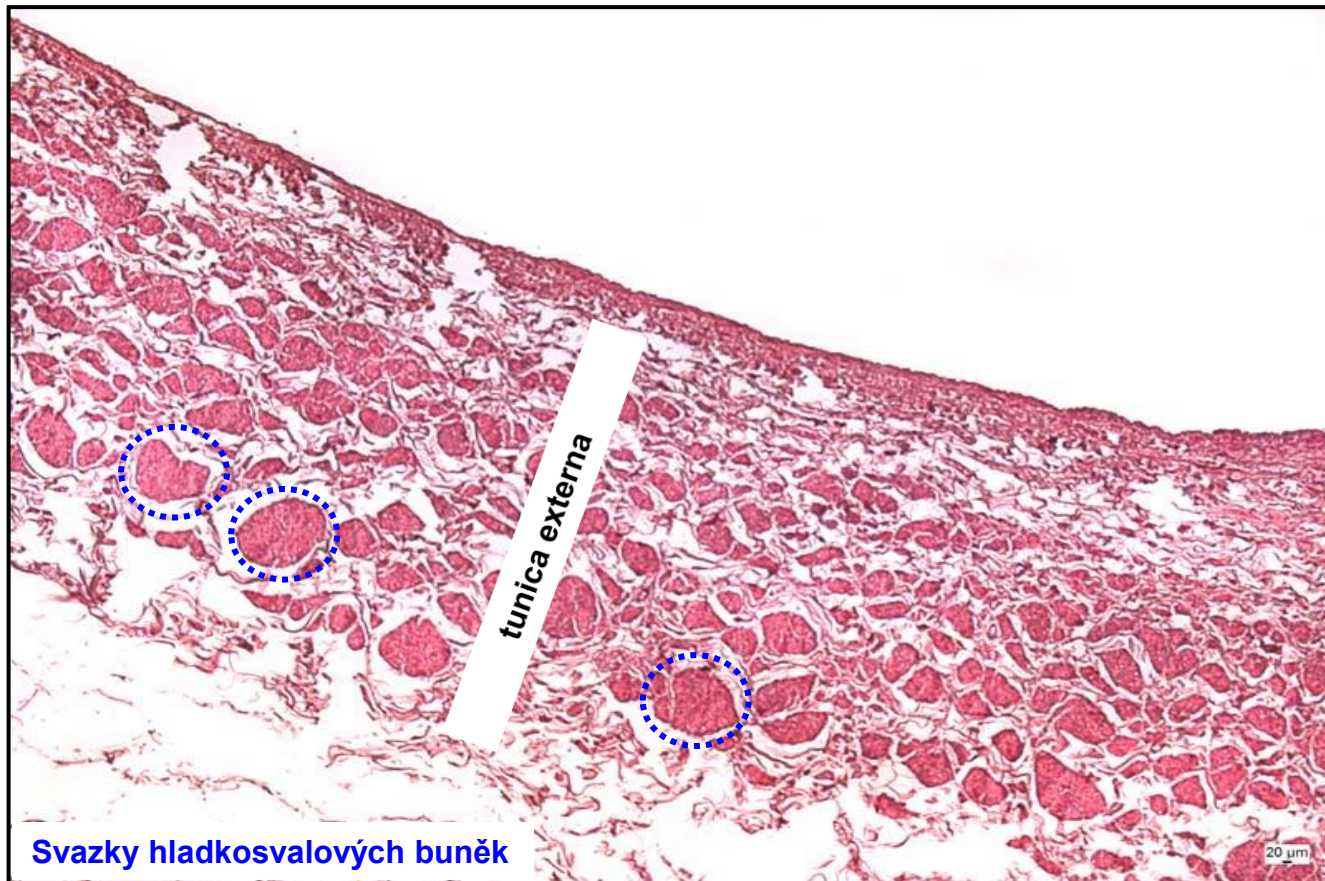
Artery

Vein

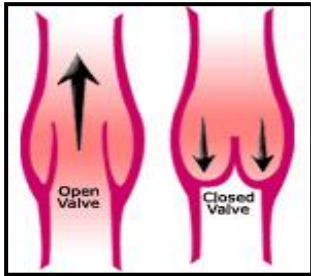
Žíly – střední kalibr



Žíly – velký kalibr



Vena cava

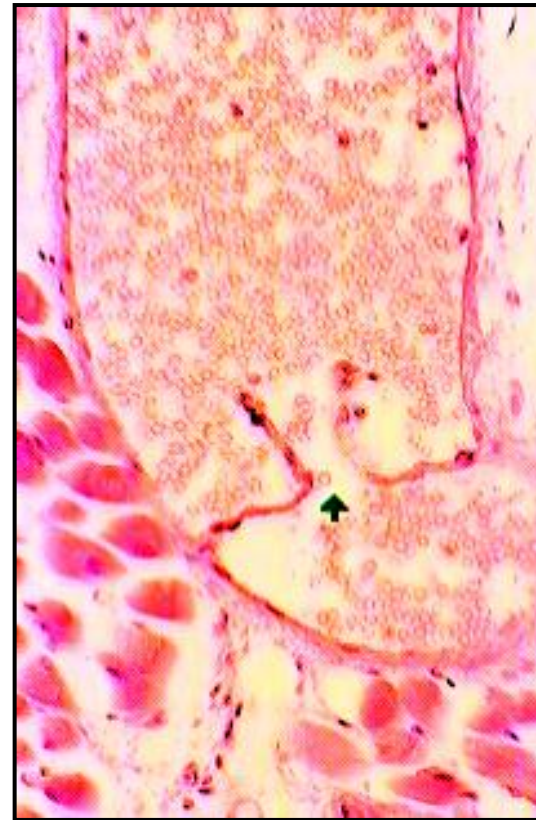


Žíly - Chlopně

- 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



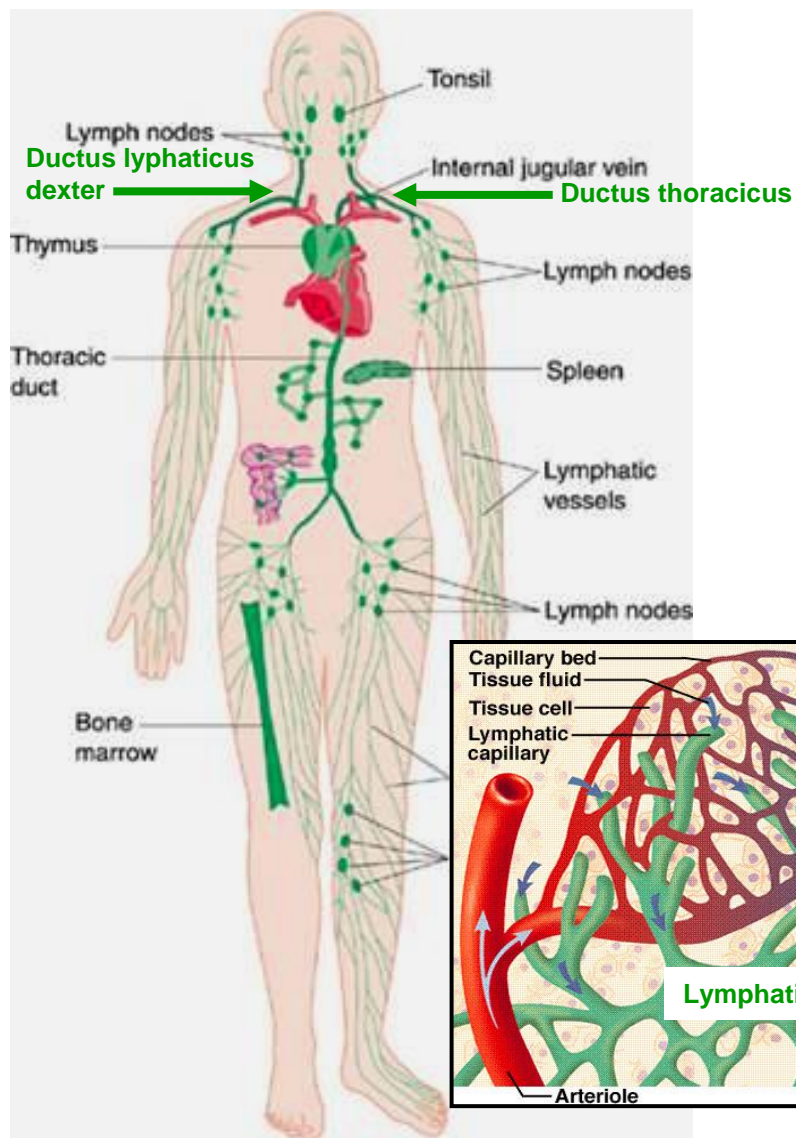
Vzhled vnitřního povrchu chlopně



Histologický řez chlopní

Lymfatické cévy

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

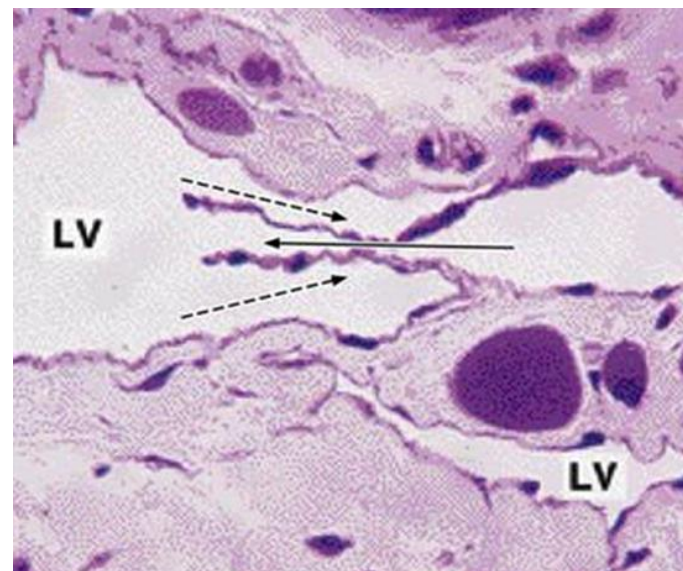
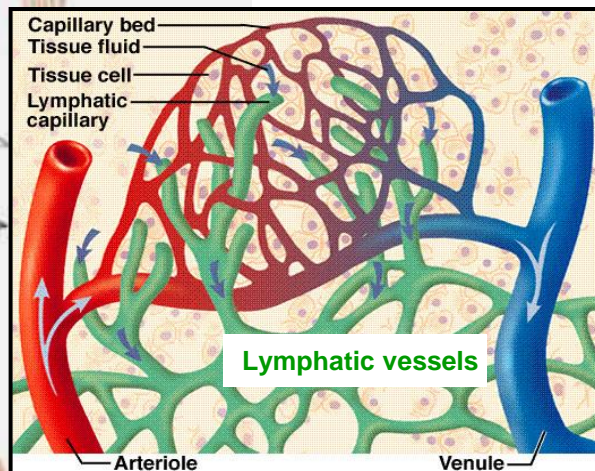


Lymfatické kapiláry

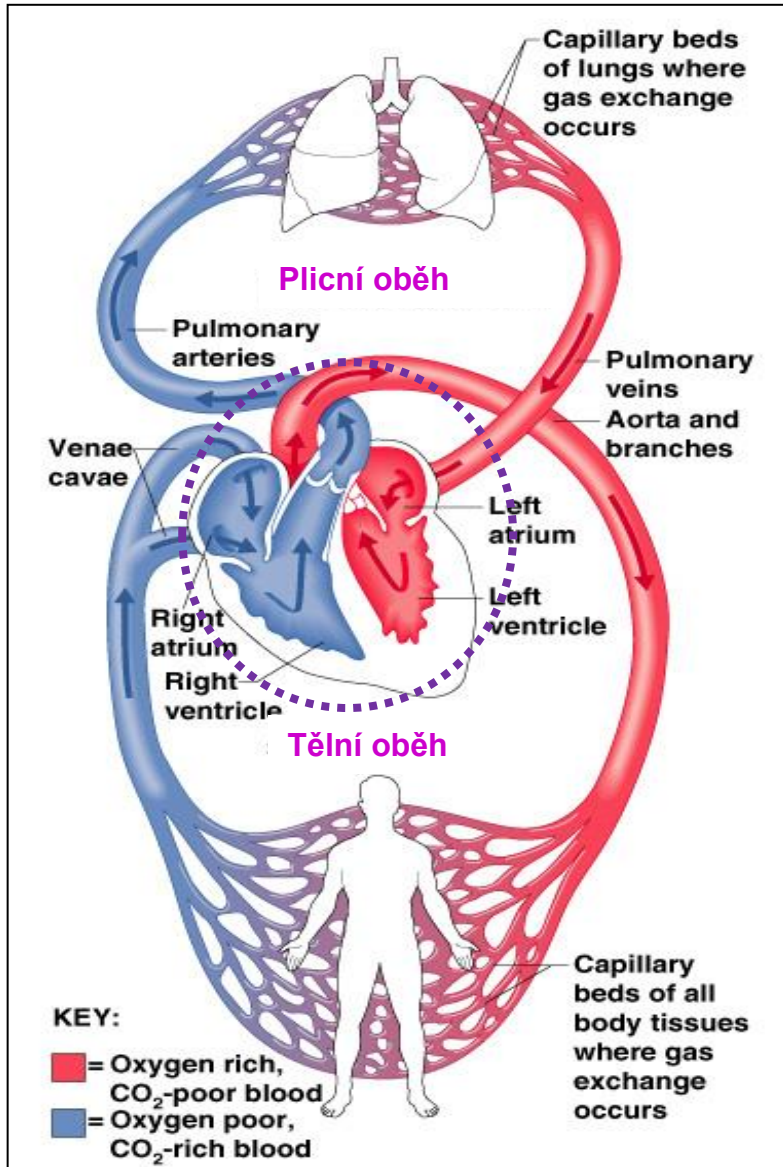
- slepě zakončeny
- velmi jednoduchá stavba
- endotelové buňky + jemná retikulární vlákna (cirkulárně orientovaná)
- chybí bazální membrána

Lymfatické cévy a kmeny (ductus)

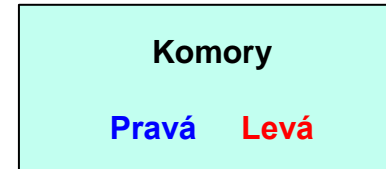
- tenkostěnné trubice
- stavba podobná žilám (intima+media+adventitia)
- mají chlopně



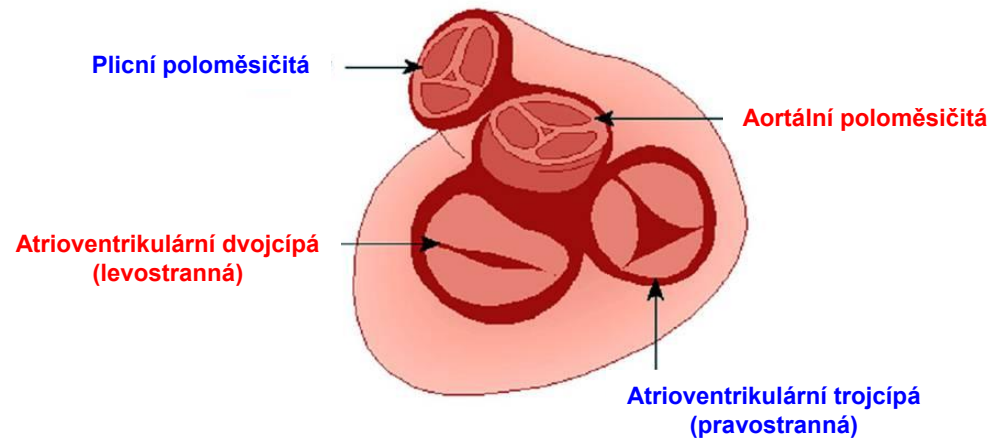
Srdce - Anatomie



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

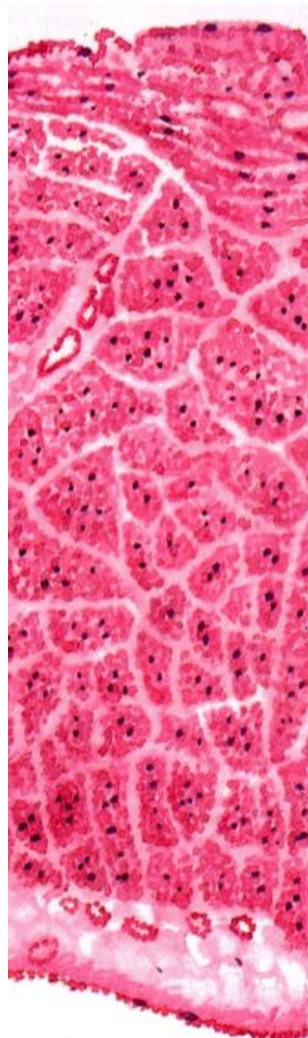


- je vybaveno čtyřmi chlopněmi (zajišťují jednosměrný pohyb krve)



Srdce – stavba stěny

vnitřní povrch



Endokard

- endotel
- subendotelové vazivo
- subendokardové vazivo

Myokard

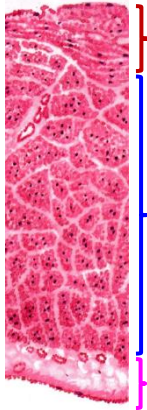
Epikard

- mezotel
- subepikardové vazivo

vnější povrch

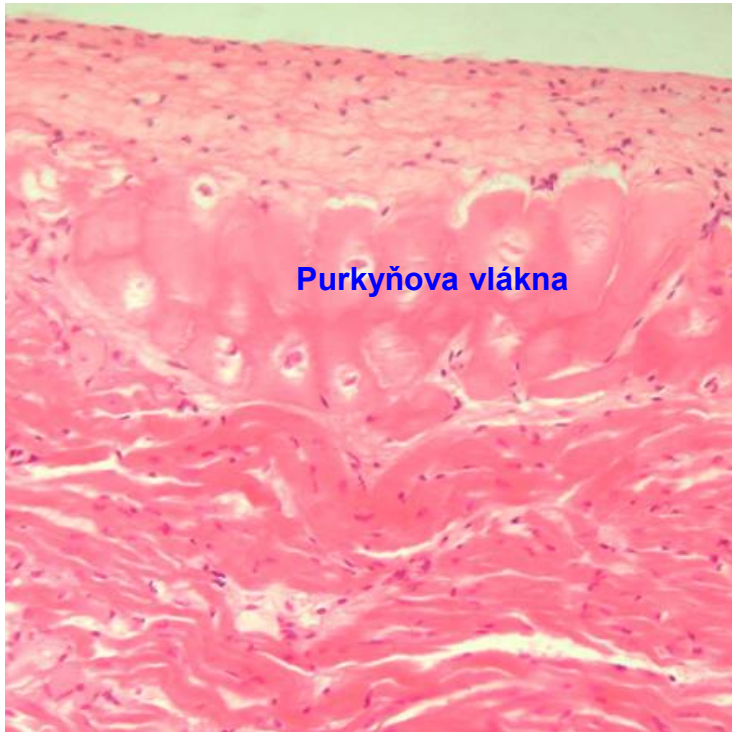
inner surface

Srdce - Endokard



- spojitě navazuje na *tunica intima* cév

- chlopně jsou deriváty endokardu



Purkyňova vlákna

Endotel

- with continuous basal membrane

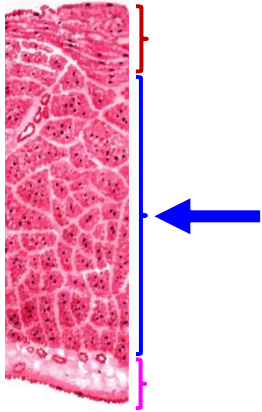
Subendotelové vazivo

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

Subendokardové vazivo

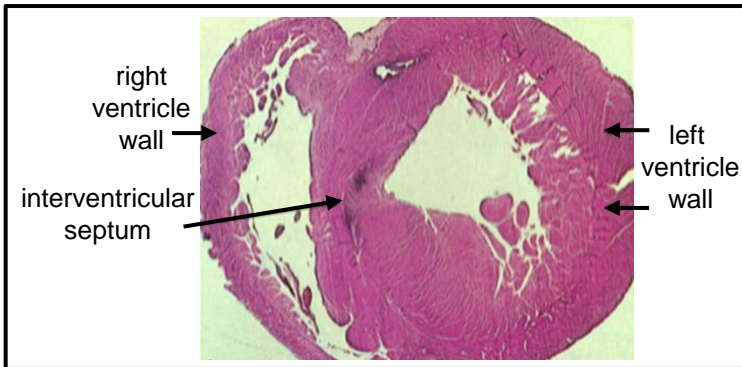
- loose connective tissue
- continuous with endomysium of the myocardium
- nerve fibers, vessels, **převodní systém srdce**

inner surface



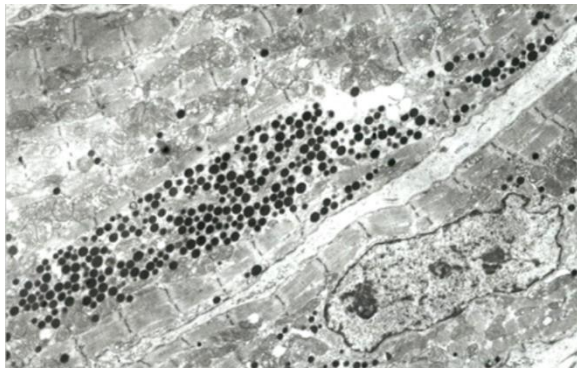
Srdce - Myokard

- 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

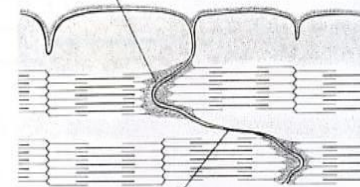
(endokrinní funkce kontraktilních buněk; působí na ledviny)



Interkalární disky

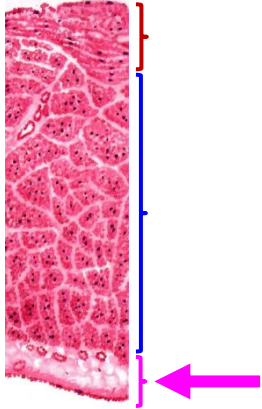


Transverse portion (myofibrillar junctions, desmosomes, and gap junctions)



Longitudinal portion (contains large gap junctions)

inner surface



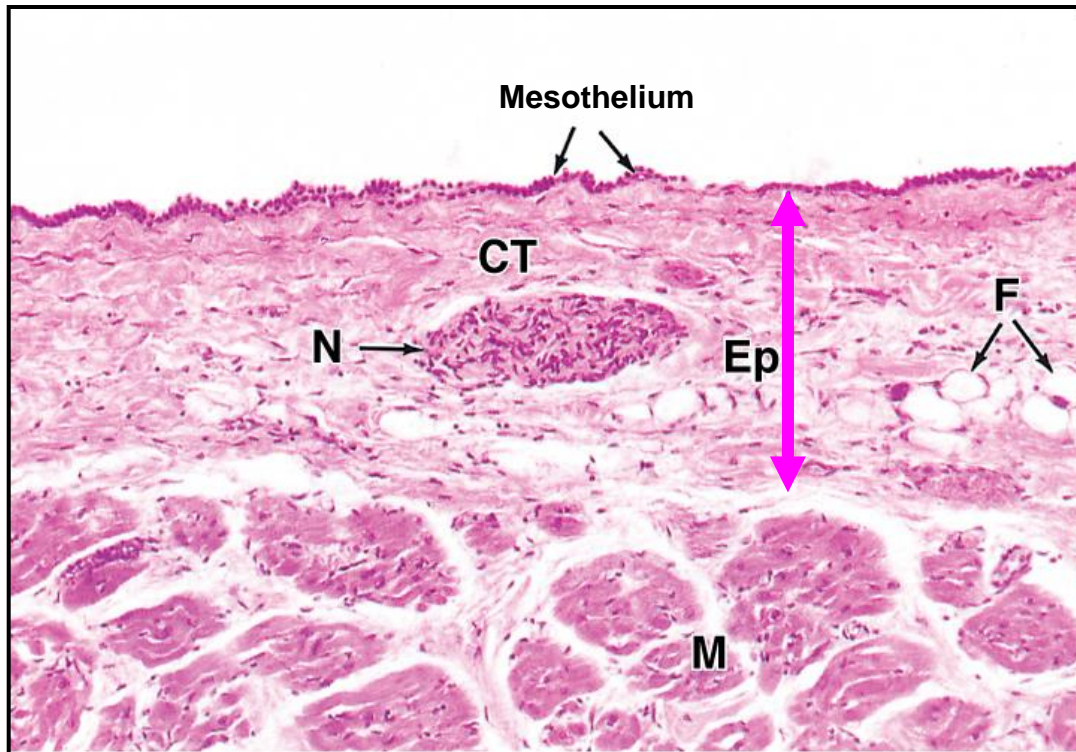
Srdce - Epikard

- 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

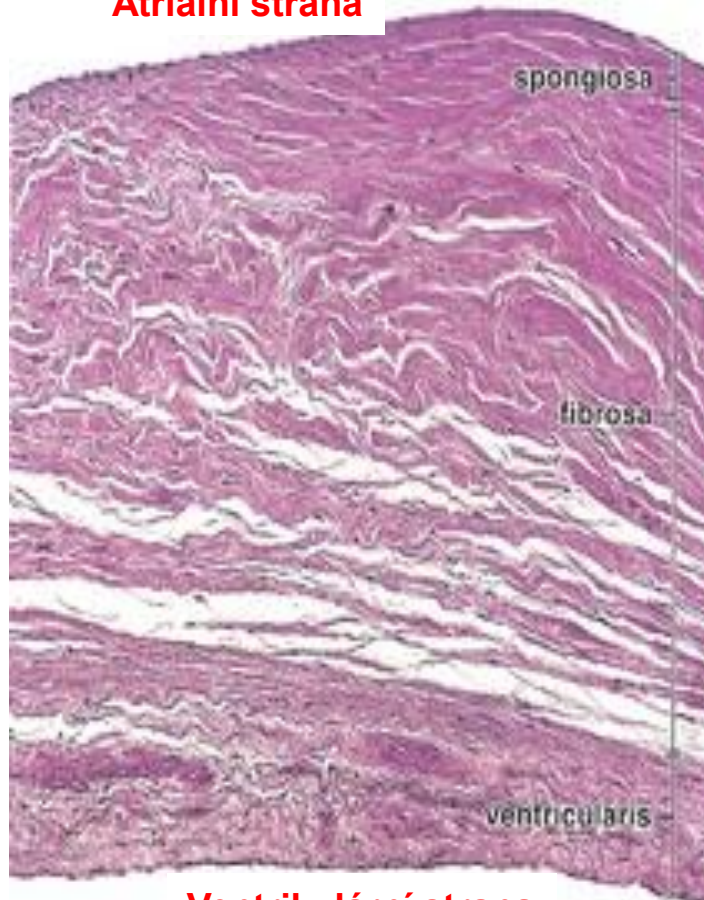
Subepikardové vazivo

- 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

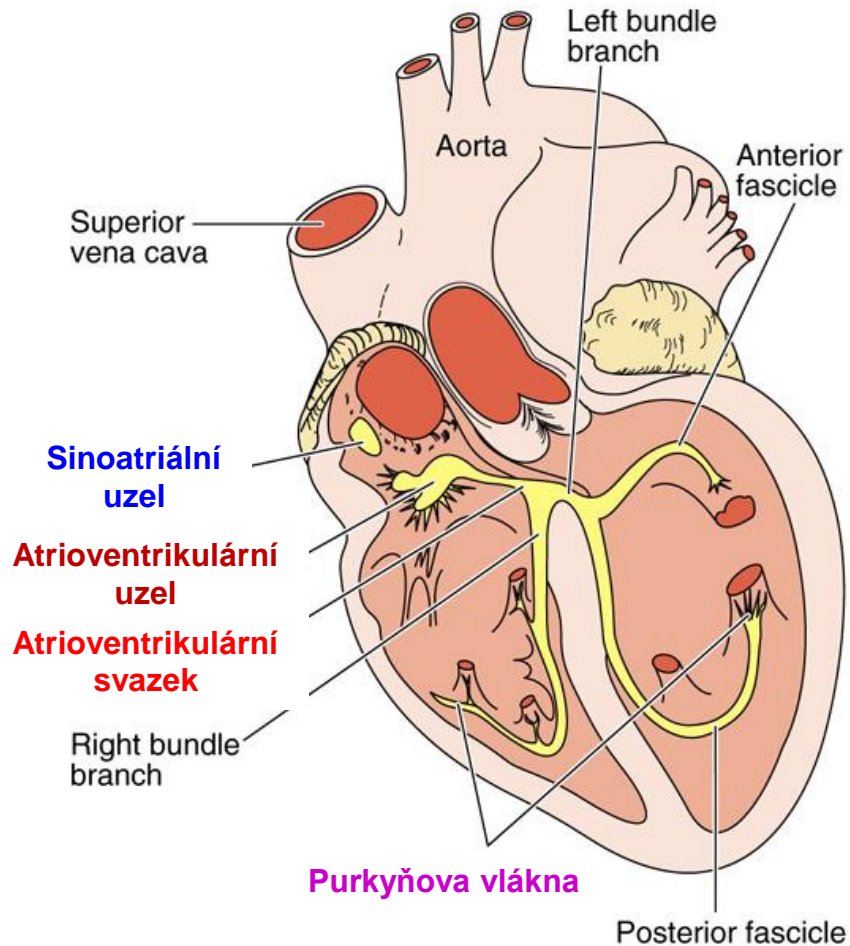
- husté vazivo

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**

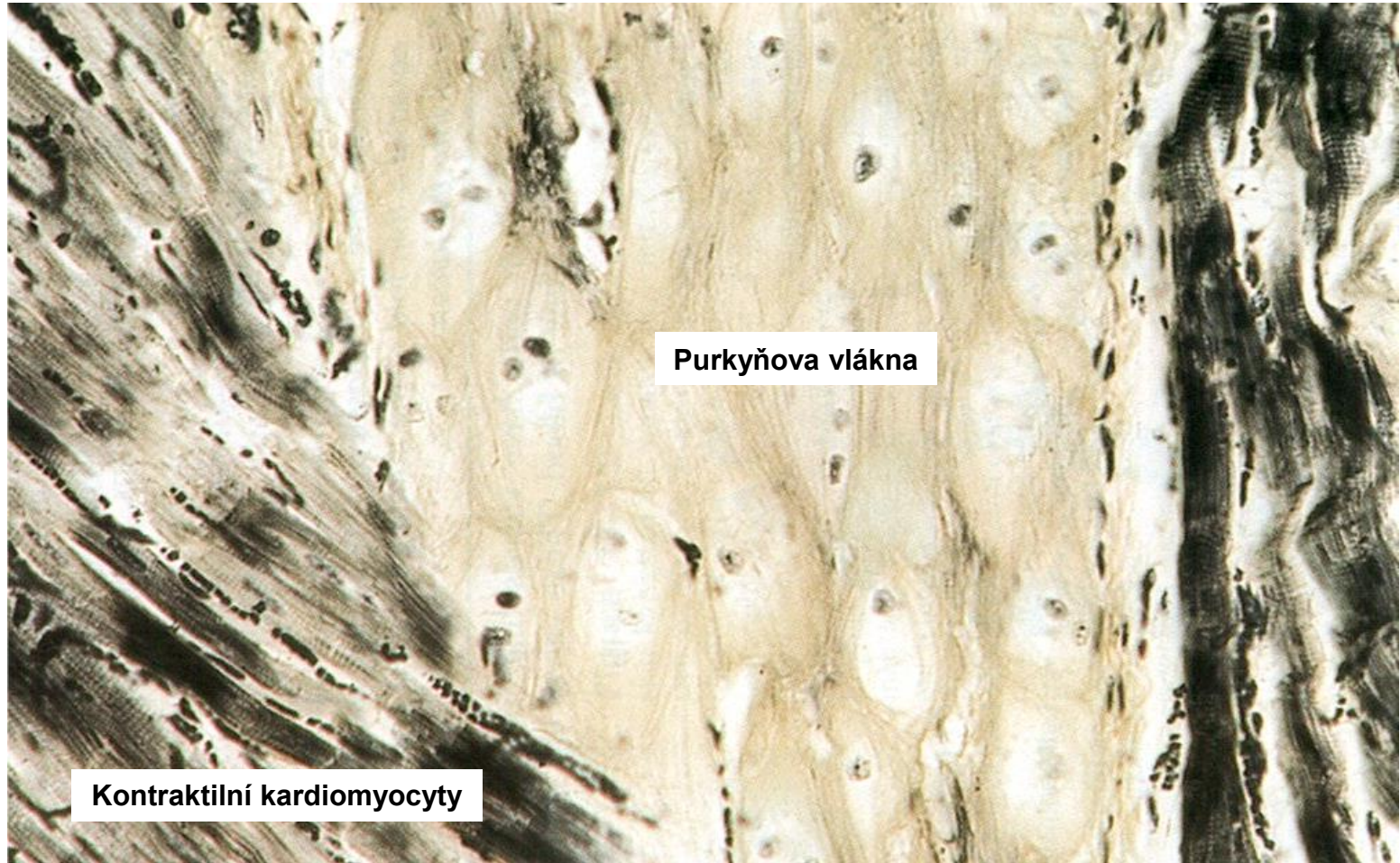
Atrioventrikulární svazek (Hisův)

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

Purkyňova vlákna

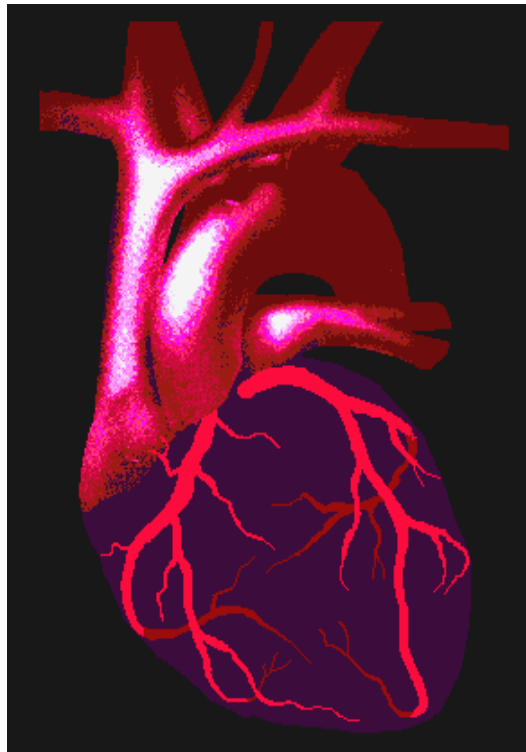
- terminální zakončení převodního systému

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**