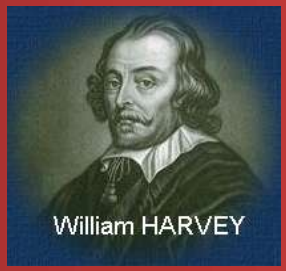
KARDIOVASKULÁRNY SYSTÉM

- **Willliam Harvey** (1578 – 1657)

  - rozpor s **Galénovou teóriou** – tmavá venózna krv sa tvorí v pečeni, svetlá arteriálna v srdci, odtiaľ sa dostávajú do orgánov tela, kde sú zužitkované

  - Harveyho teória nebola akceptovaná v priebehu jeho života



- **Marcello Malpighi** (1628-1694) neskôr dokázal, že Harvey mal pravdu (Harvey totiž nebol schopný dokázať prítomnosť kapilár)

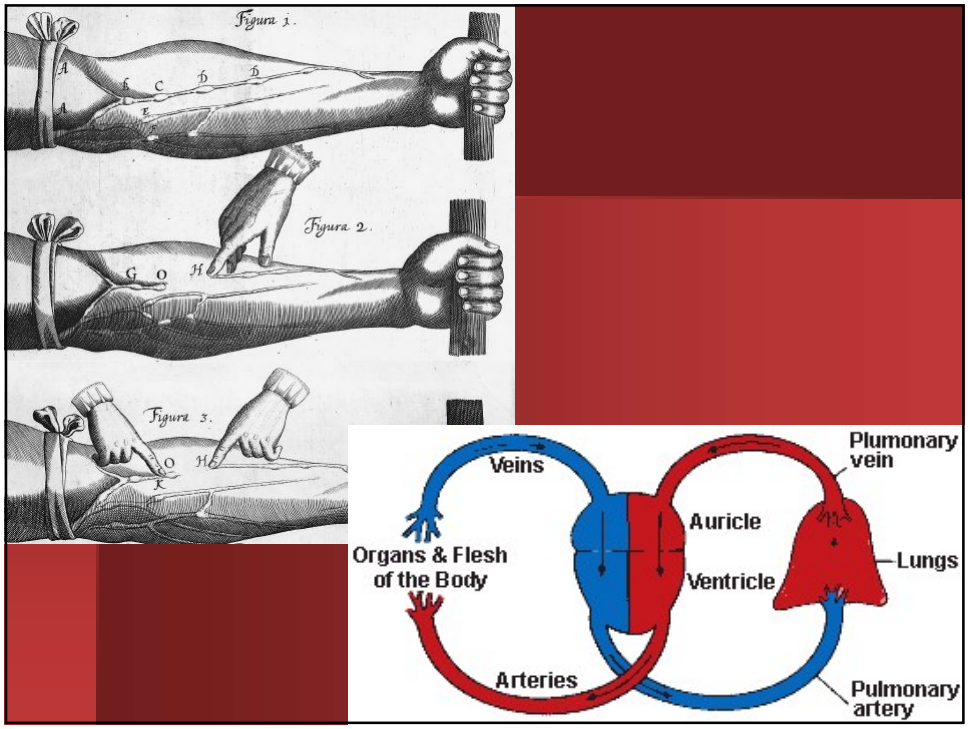
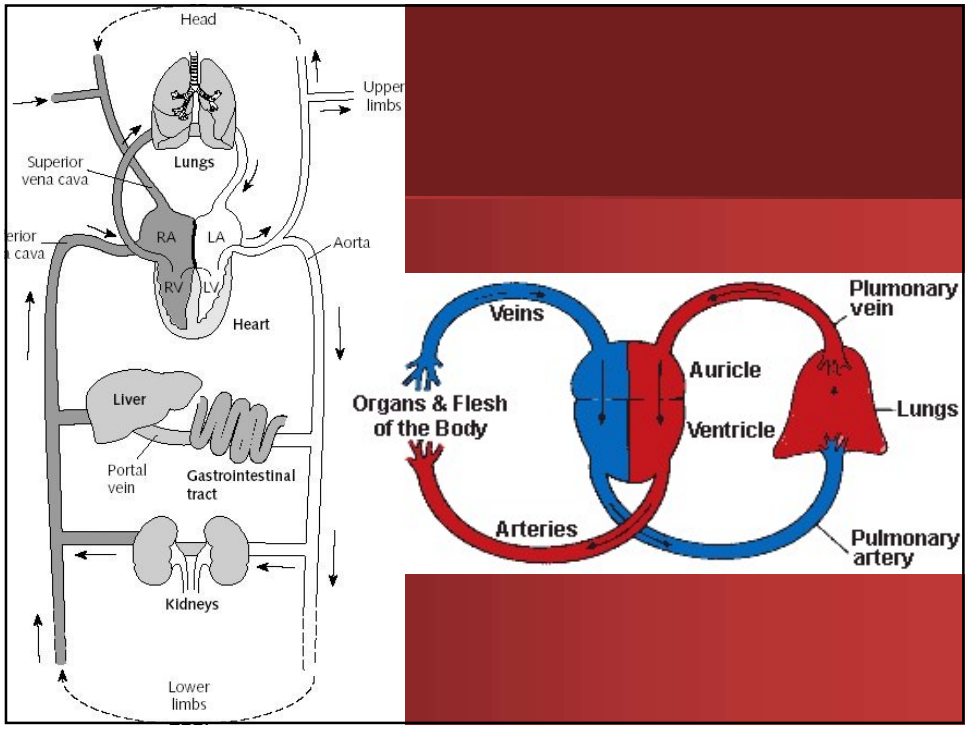
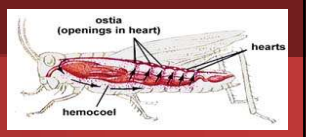


Figura 1.
Figura 2.
Figura 3.
Veins
Plumonary vein
Auricle
Organs & Flesh of the Body
Lungs
Ventricle
Arteries
Pulmonary artery


Head
Upper limbs
Lungs
Superior vena cava
RA
LA
Aorta
RV
LV
Heart
Liver
Portal vein
Gastrointestinal tract
Kidneys
Lower limbs
Veins
Plumonary vein
Auricle
Organs & Flesh of the Body
Lungs
Ventricle
Arteries
Pulmonary artery

Obehové sústavy

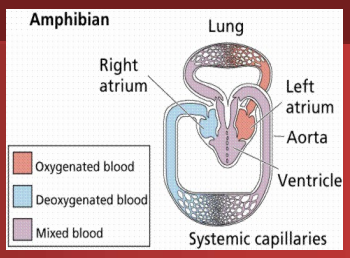


1. **OTVORENÁ SÚSTAVA RÚROK**
   – **sínusy** (dutiny) – hmyz
2. **UZAVRETÁ SÚSTAVA RÚROK** – červy

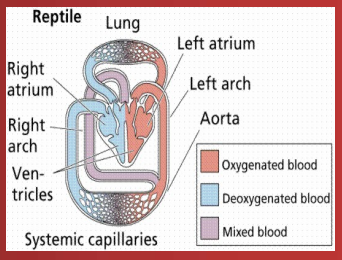
3. **UZAVRETÁ OBEHOVÁ SÚSTAVA SO SRDCOM**
   - **kopijovec**
   - **ryby** + **larvy obojživelníkov** – 1 predsieň + 1 komora
     – žiabre - telo

Obehové sústavy

- **obojživelníky**
  2 predsiene + 1 komora

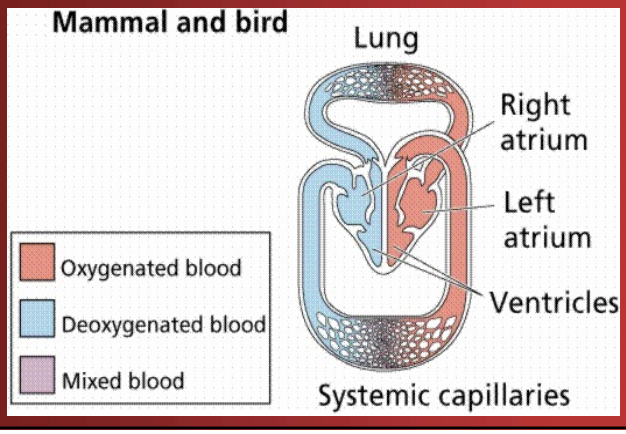


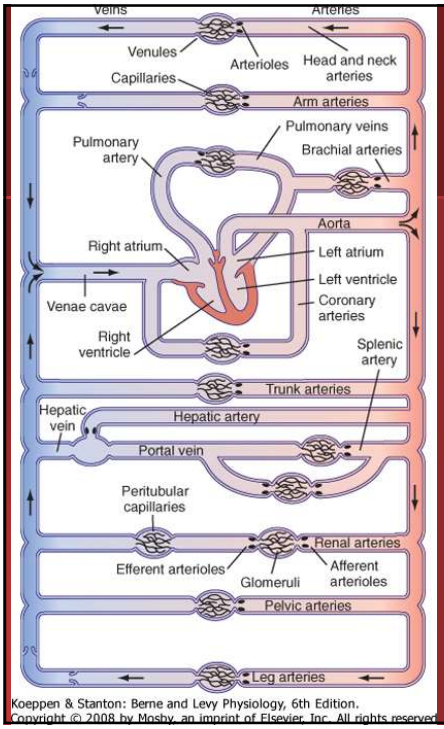
- **plazy**
  2 komory – ešte spojené



Obehové sústavy

- **vtáky a cicavce** – 2 *atria cordis*
  – 2 *ventricula cordis*





Koeppen & Stanton: Berne and Levy Physiology, 6th Edition.
Copyright © 2008 by Mosby, an imprint of Elsevier, Inc. All rights reserved.

Funkčno-morfologická organizácia krvného obehu

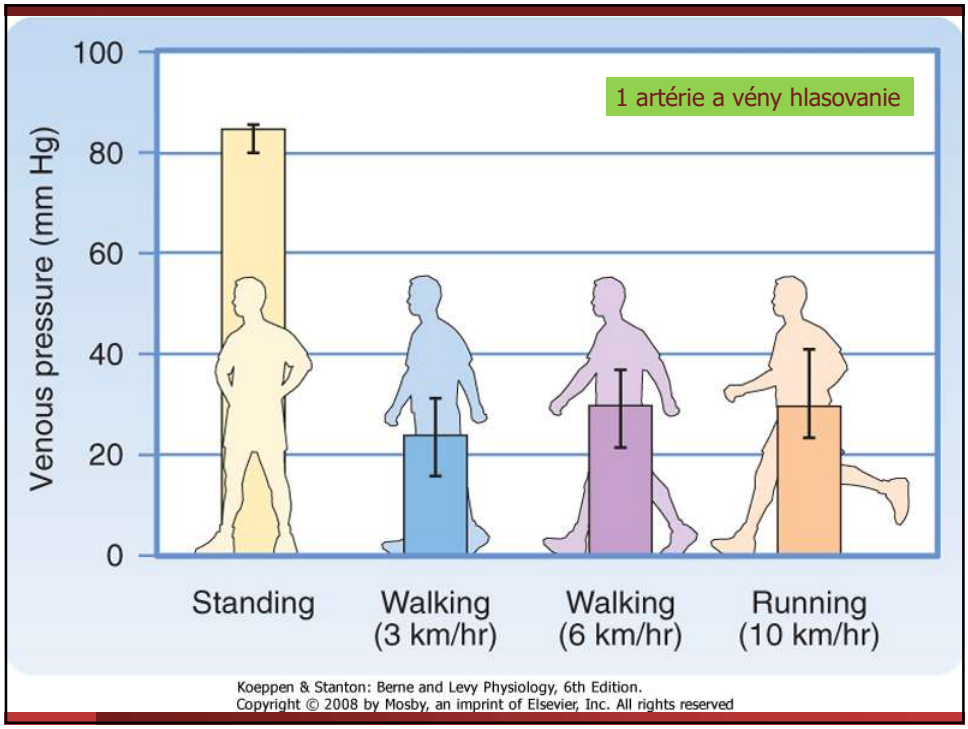
uzavretý systém, kde je krv poháňaná činnosťou srdcovej pumpy

-**veľký** krvný obeh (systémový, periférný)
-**malý** krvný obeh (pľúcny, centrálny)

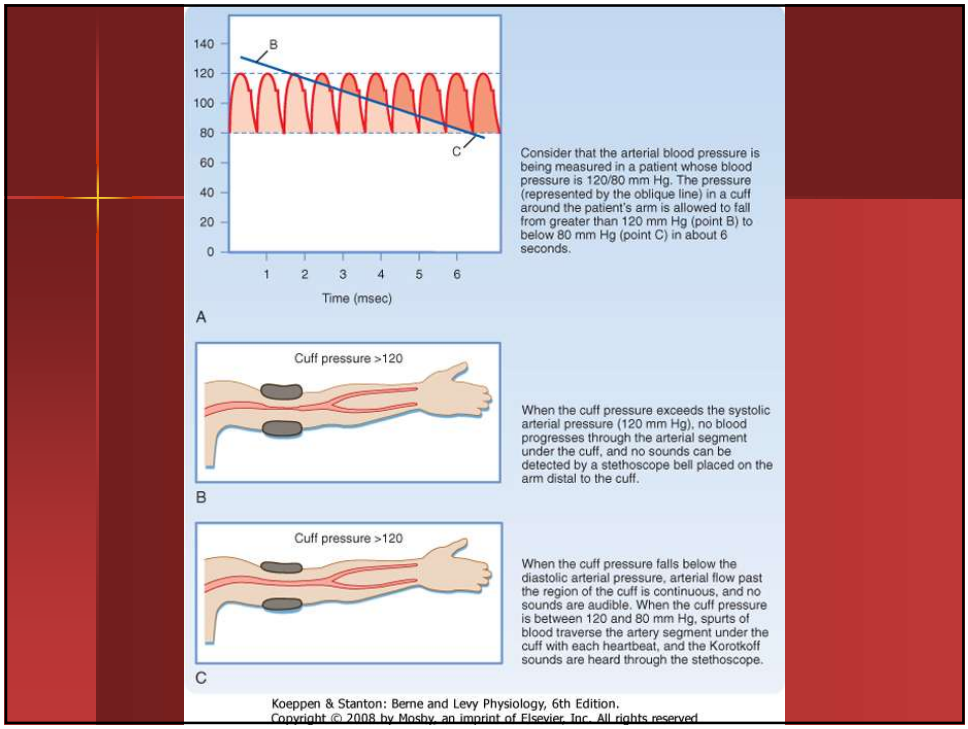
-**vysokotlakový** odporový systém (arteriálny)
-**nízkotlakový** kapacitný systém (venózny a kapilárny)

-**výmenná** oblasť (kapilárne riečisko)
-**distribučná** oblasť (arteriálne riečisko)
-**zberná** oblasť (venózne riečisko)

-výdaju krvi pri systole sa prispôsobujú elastické štruktúry
-**85**%n objemu krvi: kapiláry, systémové vény, pravá predsieň a komora, pľúcne riečisko a ľavá predsieň
-**5**% diastolický objem ľavej komory
-**10**% vysokotlakové arteriálne riečisko



Koeppen & Stanton: Berne and Levy Physiology, 6th Edition.
Copyright © 2008 by Mosby, an imprint of Elsevier, Inc. All rights reserved



Koeppen & Stanton: Berne and Levy Physiology, 6th Edition.
Copyright © 2008 by Mosby, an imprint of Elsevier, Inc. All rights reserved

Srdce

- špecificky organizovaná svalovina
- **endokard + myokard + epikard**
- **endokard** – tenká vnútorná vrstva srdcovej svaloviny, ktorú tvorí endotel, vláknité spojivo a vodivé vlákna
- **epikard** – vonkajšia vrstva srdca, je tu veľa ciev a tukové tkanivo
- **myokard** – stredná vrstva mohutné kontrakčné vlákna a sieť oporných tkanív (ĽK viac ako PK)

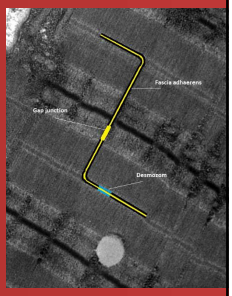
- v srdcovej svalovine (v myokarde) sú 2 typy buniek

1. **vodivé bunky** s málo fibrilami a s bohatým endoplazmatickým retikulom – vodivý myokard
   - nodálne tkanivo – menšia rýchlosť vedenia vzruchu a vysoká automatickosť
   - ostatné tkanivo – vyššia rýchlosť vedenia vzruchu s menšou automatickosťou

hlasovanie 2

2. **pracovný myokard** – bunky bohaté na fibrily a mitochondrie s málo sarkoplazmou.

Svalovina srdca sa usporiadaním podobá na priečne pruhovaný sval, je tu centrálne uložené jadro (lebo dve) a interkalárne disky.



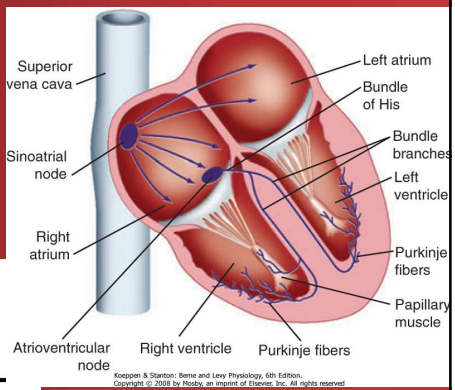
Svalové bunky nemajú regeneračnú schopnosť, srdce sa zväčšuje len **hypertrofiou**.

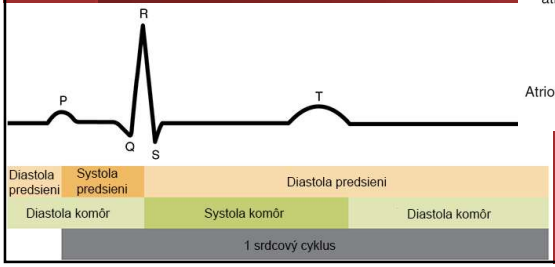
V srdci sa nachádza aj **srdcový skelet** – prstence tuhého tkaniva, na ktoré sú upevnené svaly srdca, chlopne a kmene srdcových ciev.

Činnosť srdca sa prejavuje systolou (sťah) a diastolou (relaxácia)

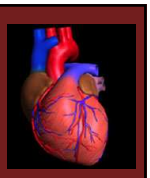
Srdce pracuje ako čerpadlo – rytmicky a nepretržite.

Strieda sa systola a diastola = srdcový cyklus
1. systola predsiení
2. systola komôr





Výkonnosť srdca – systolický vývrhový objem



Výkon srdca:

1. Zvýšenie systolického objemu – relatívna hmotnosť srdca je charakteristická pre daný živočíšny druh
2. Stimulácia srdcovej svaloviny
3. Zvýšenie frekvencie
4. Fyziologická hypertenzia – zväčšenie svalových vlákien

Minútový objem = tepový objem x pulzová frekvencia

Kritická frekvencia – mení sa pomer trvania systoly a diastoly (až 180-220)/min.

Vlastnosti srdcového svalu

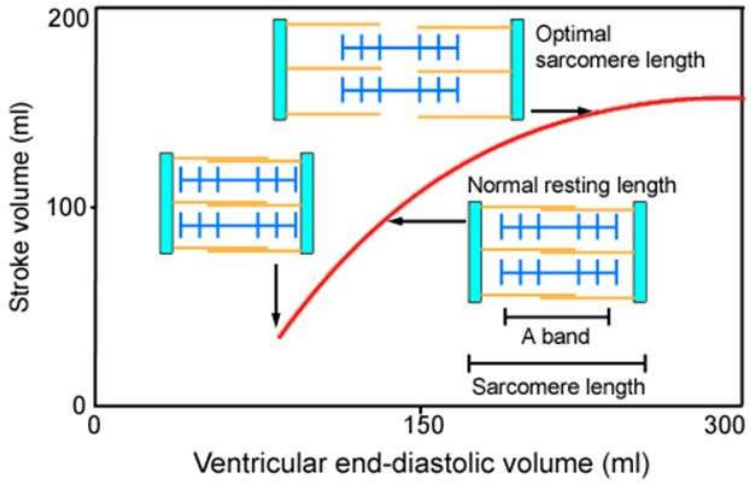
- **DRÁŽDIVOSŤ –** zákon **všetko alebo nič** –
  - interkalárne disky – vysoká vodivosť
- **KONTRAKTILITA**
- **AUTOMATICKOSŤ + RYTMICKOSŤ**
  - bez impulzu z prostredia - PACEMAKER
- **VODIVOSŤ**
- **NEUNAVITEĽNOSŤ**

Mechanika kontrakcie

STARLINGOV ZÁKON:

Sila kontrakcie srdcového svalu je **funkciou** jeho **počiatočnej dĺžky**
(čím dlhší – tým väčšia sila kontrakcie)

Ventricular function curve (Frank-Starling curve)

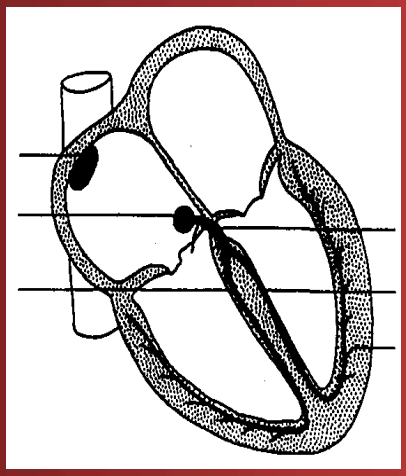


Prevodový systém srdca

Sinoatriálny uzol

Atrioventrikulárny uzol

Pravé Tawarove ramienko

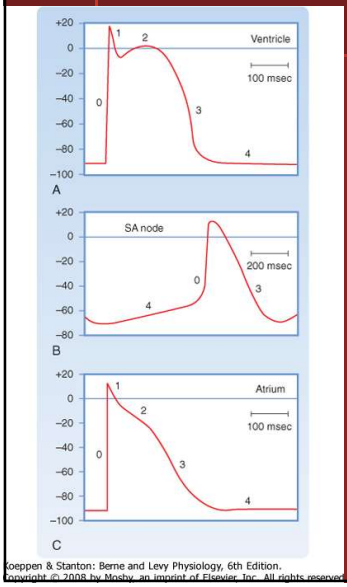


Hissov zväzok

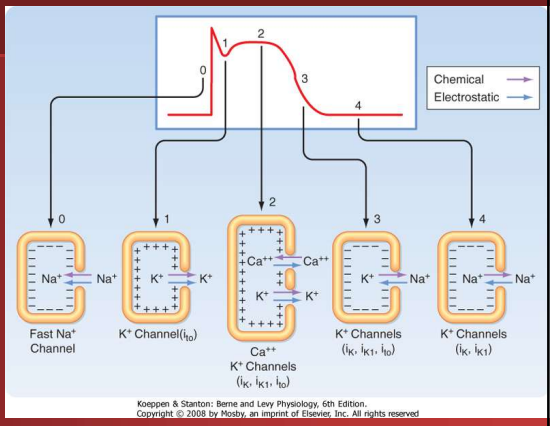
Ľavé Tawarove ramienko

Purkyňove vlákna

- vlákna myokardu majú pomerne vysoký membránový potenciál
- systolu sprevádza akčný potenciál
- pracovný myokard má dlhšie trvanie akčného potenciálu, hrot -30mV, plató cca 0mV trvá 2-3 desatiny sekundy, potom repolarizácia

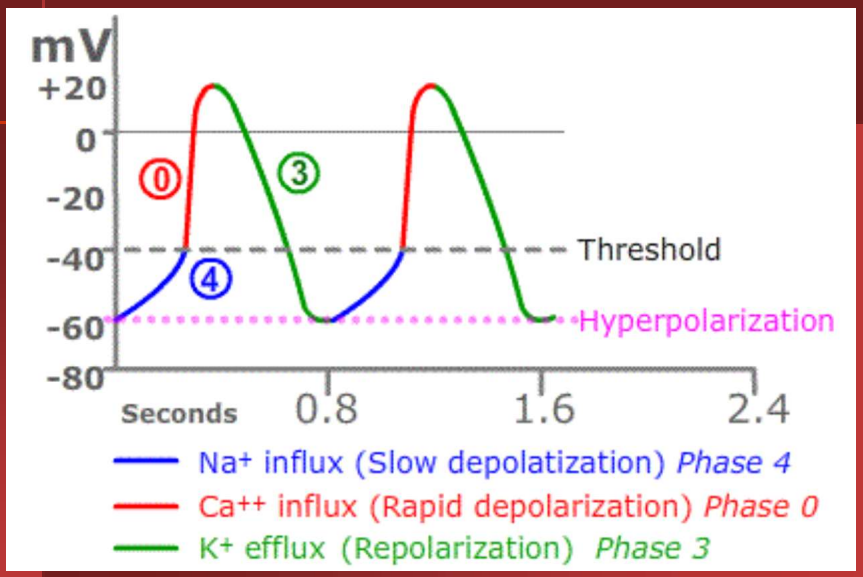


Koeppen & Stanton: Berne and Levy Physiology, 6th Edition.
Copyright © 2008 by Mosby, an imprint of Elsevier, Inc. All rights reserved



Koeppen & Stanton: Berne and Levy Physiology, 6th Edition.
Copyright © 2008 by Mosby, an imprint of Elsevier, Inc. All rights reserved

- bunky SA a AV uzla majú menšiu pokojovú hladinu membránového napätia, ich akčný potenciál nemá prekmit a má pomalší začiatok
- potenciál rýchlo vodiacich častí má typický tvar ako komora



Vznik vzruchu – prevodový systém

- väčšina srdcových vlákien má schopnosť samoexcitácie
- najviac však tú vlastnosť majú vláka sinoatriálneho uzla (SAU) – tento uzol ovláda kontrakcie srdca
- nízka spúšťacia úroveň potenciálu – **55mV**
- membrány SAU prepúšťajú Na^+
- pri membránovom potenciály -55mV sú Na^+ kanáliky zablokované
- **aktivujú sa len pomalé Ca^{2+}-Na^+ kanáliky**
- **akčný potenciál je pomalší ako u komorového svalu**

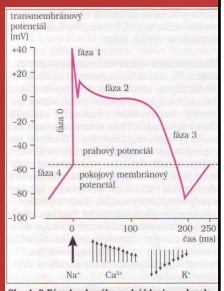
- **oneskorenie vzruchu medzi predsieňami a komorami**
- **zdržanie – atrioventrikulárny uzol, fibrózne tkanivo oddeľuje predsiene od komôr, malé vlákna, veľmi negatívny mem. poteniciál – neotvárajú sa Na^+ kanáliky**

Vznik vzruchu – prevodový systém

- srdcový sval

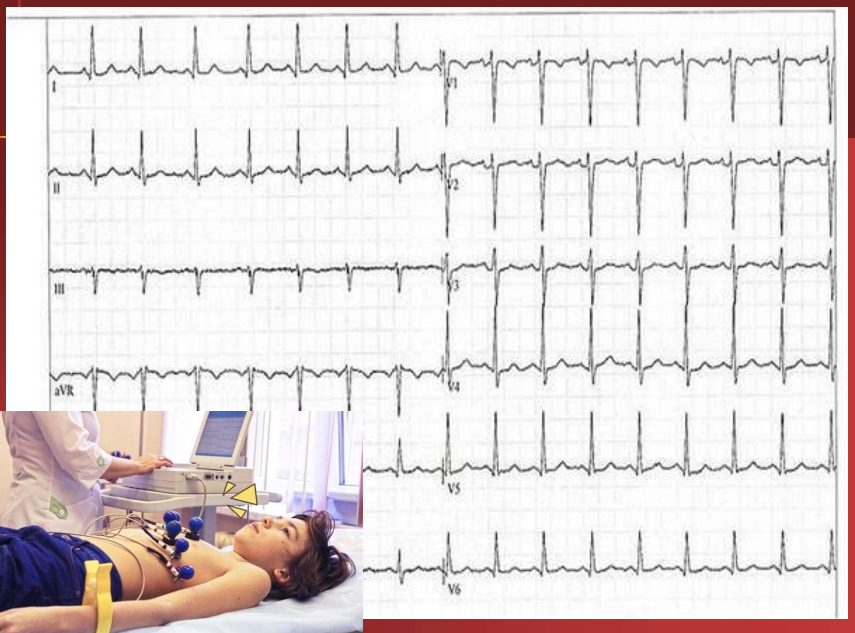
- pokles o 15-20 mV je dostatočný **pacemakerový potenciál:** 1. **Na^+ do bunky – hrotový akčný potenciál**
  2. **Ca^{2+} do bunky – pomalé Ca^{2+}-Na^+ kanáliky - plató**
  3. **K^+ von –** repolarizácia membrány

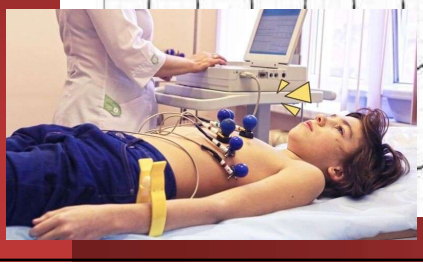
spúšťacia úroveň -20-25 mV



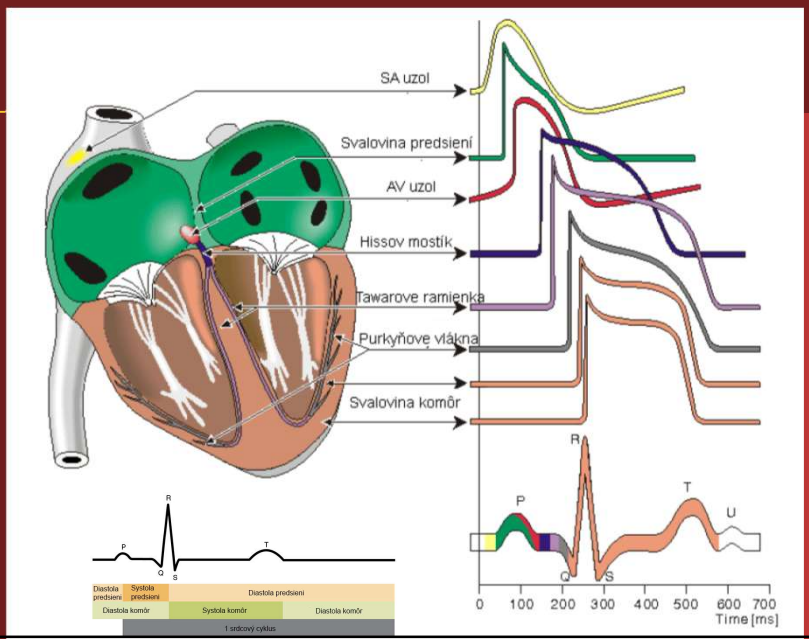
Obr. 4. 9 Fázy bunkového podráždenia — depolarizácia a repolarizácia

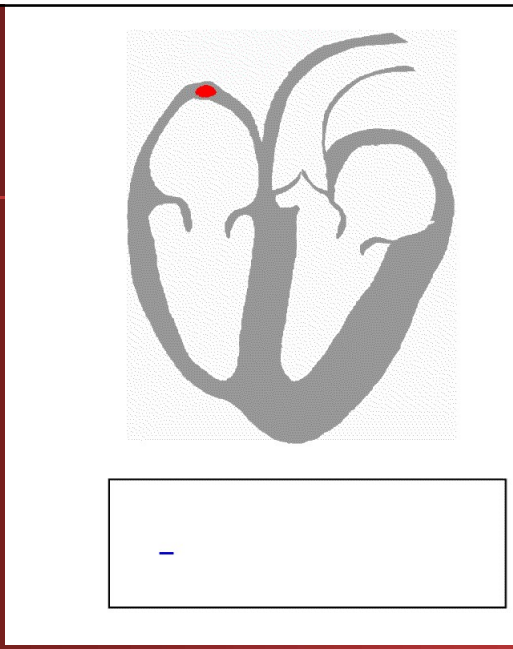
EKG ***elektrokardiogram***





Akčné potenciály v jednotlivých oddieloch srdca





Autor: Kalumet – selbst erstellt = Vlastní dílo, CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=438152

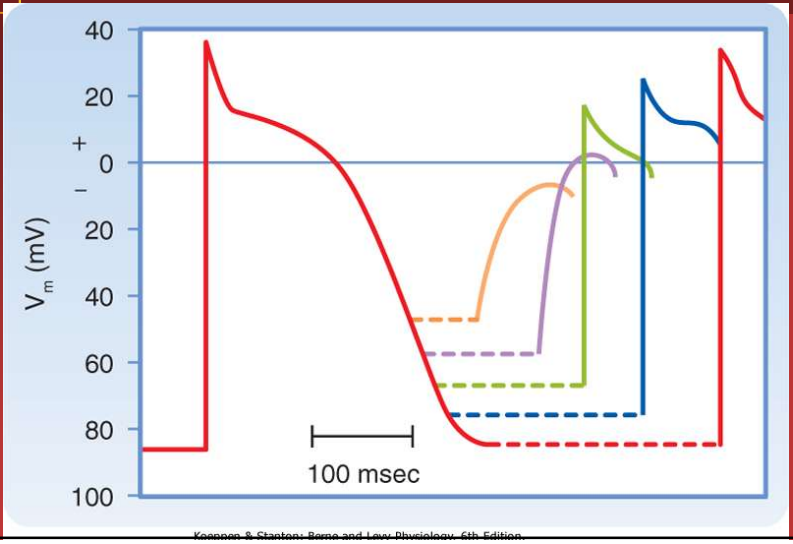
Absolútna a relatívna refraktérna fáza

-v čase úplnej depolarizácie nie je možné vyvolať novú kontrakciu – absolútna refraktérna fáza

-s narastajúcou repolarizáciou sa dráždivosť obnovuje, ale podnet musí byť silnejší

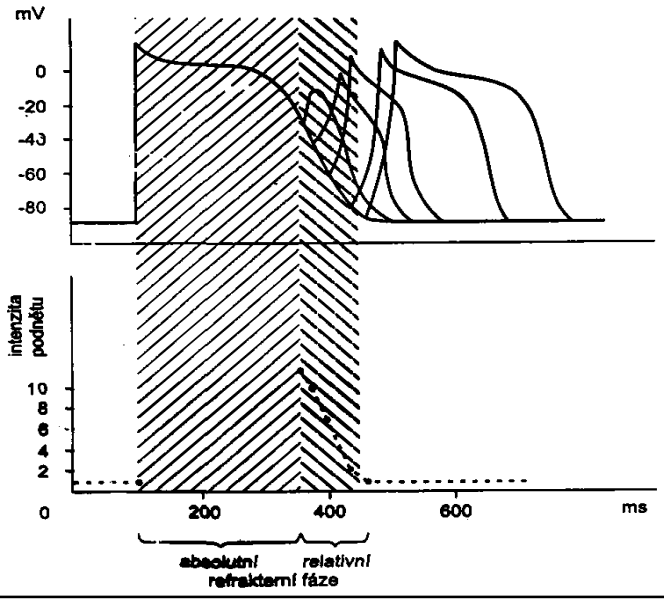
-môže vzniknúť akčný potenciál s pomalým začiatkom a bez prekmitu

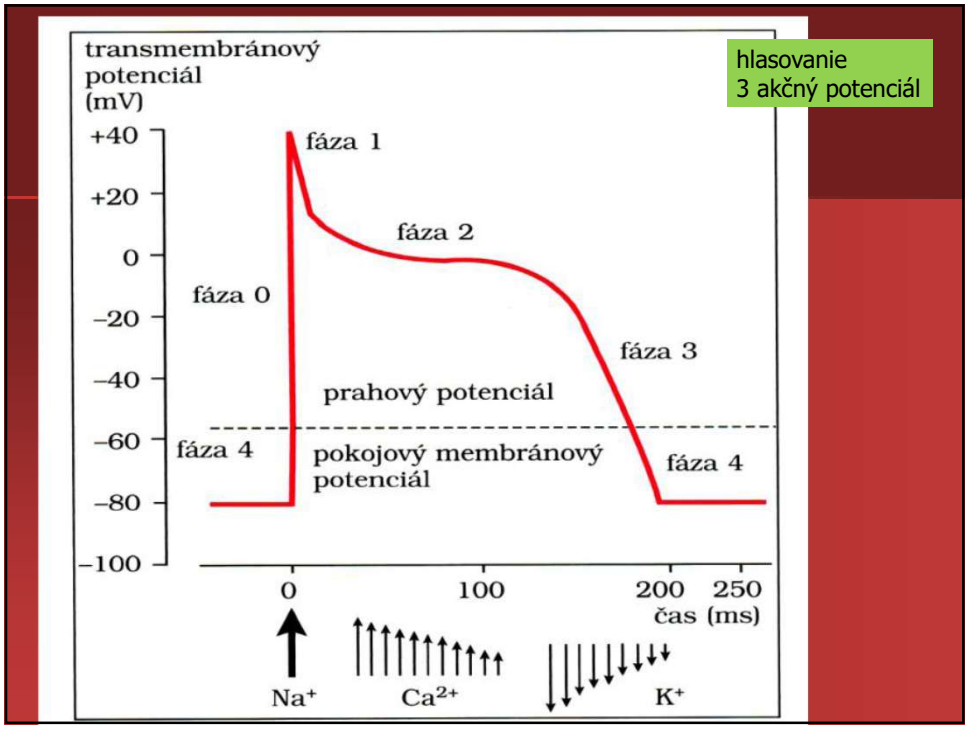
-v srdcovom svale nie je možné vyvolať tetanický sťah



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

Absolútna a relatívna refraktérna fáza





hlasovanie
3 akčný potenciál

Pracovný myokard vedie vzruchy, ale nie najrýchlejšie v srdci, má vytvoriť sťah

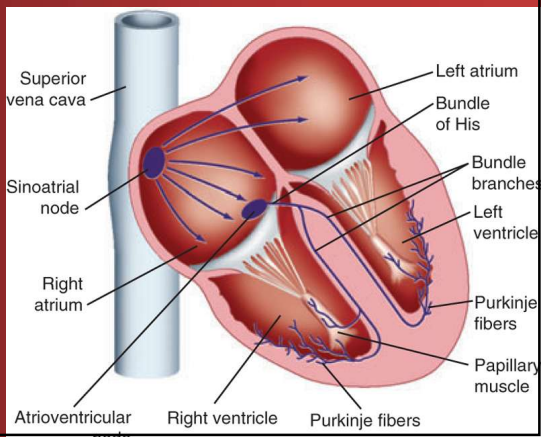
Vodivý systém srdca

nodálne tkanivo (uzlové) vedie vzruch veľmi pomaly a má vysokú automatickosť

tkanivo ostatného vodivého systému, má menej výraznú automatickosť a vedie vzruch veľmi rýchlo

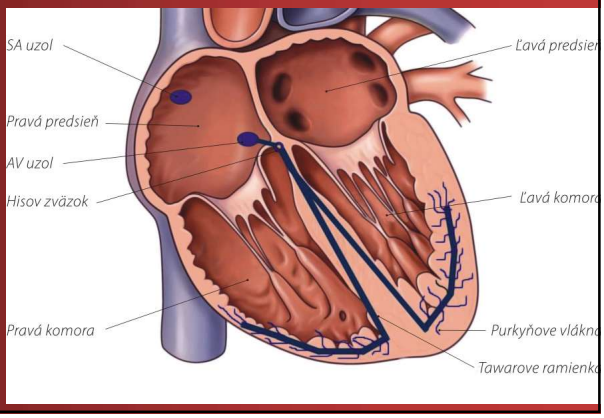
Prevodový systém srdca

sinoatriálny uzol
atrioventrikuárny uzol
Hissov zväzok
Tawarove ramienka
Purkyňove bunky

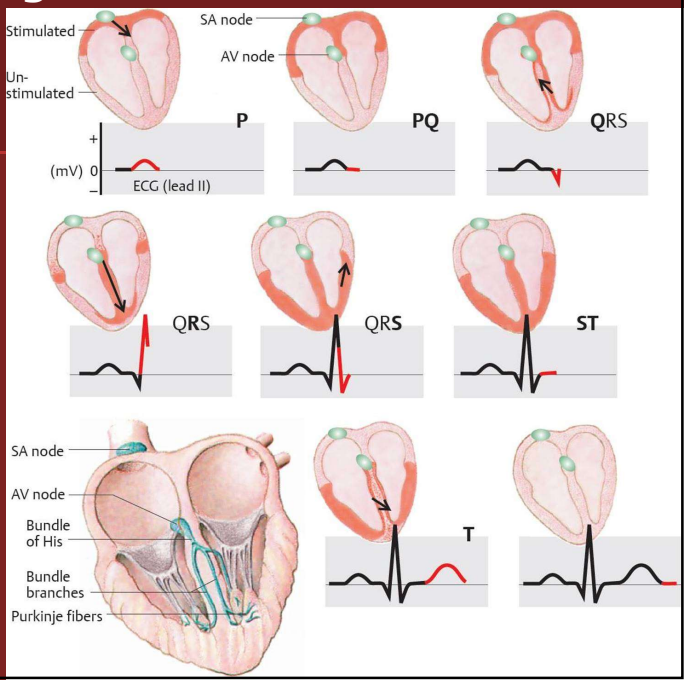


Vznik vzruchu

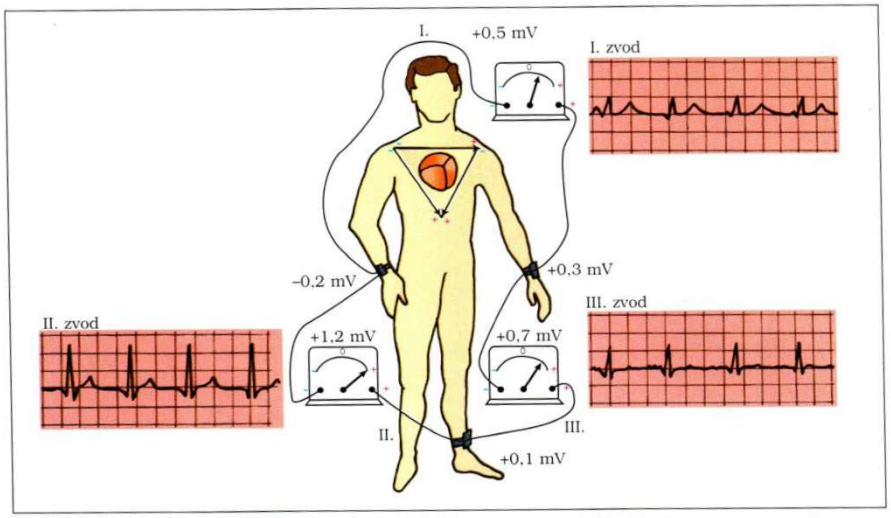
1. **SINOATRIÁLNY UZOL**
   (Keith Flackov)
2. **ATRIOVENTRIKULÁRNY UZOL**
   – jediné vodivé pojenie medzi predsieňami a komorou
   (Aschoff-Tawarov uzol
   + Hissov mostík)
3. **HISSOV ZVAZOK**
   – Tawarové ramienka (medzikomorové septá)
   – Purkyňove vlákna



Elektrokardiogam

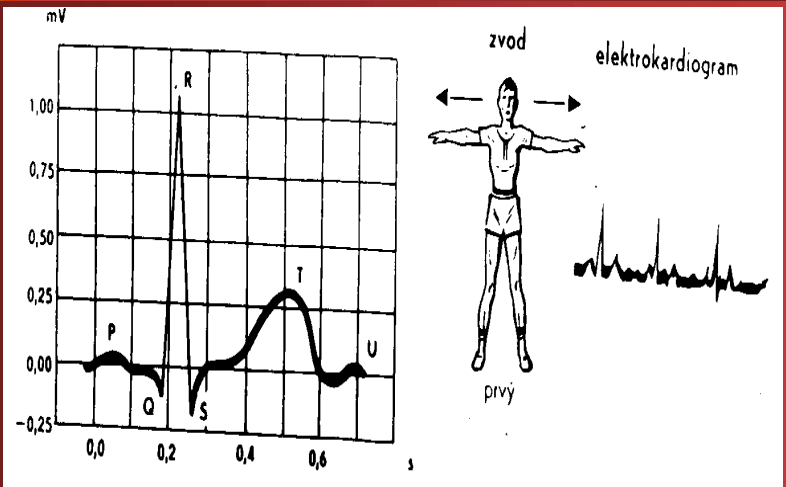


Elektrokardiogram zdravého človeka z 3 zvodov



Obr. 4. 22 Usporiadanie elektród pri zaznamenávaní štandardných elektrokardiografických zvodov
Einthovenov trojuholník je superimponovaný na hrudníku.

Elektrokardiogram zdravého človeka v I. zvode



Popis elektrikardiografickej krivky

Vlna P – vzruch z SA uzlu – svalovina predsiení (tenká svalovina)

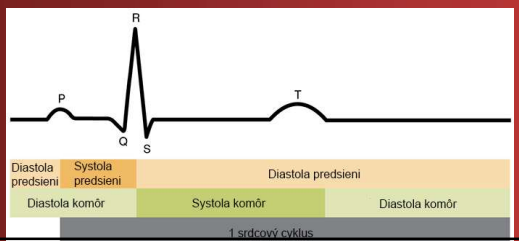
PQ – zabrzdenie prenosu v AV uzle – oddelenie systoly od diastoly

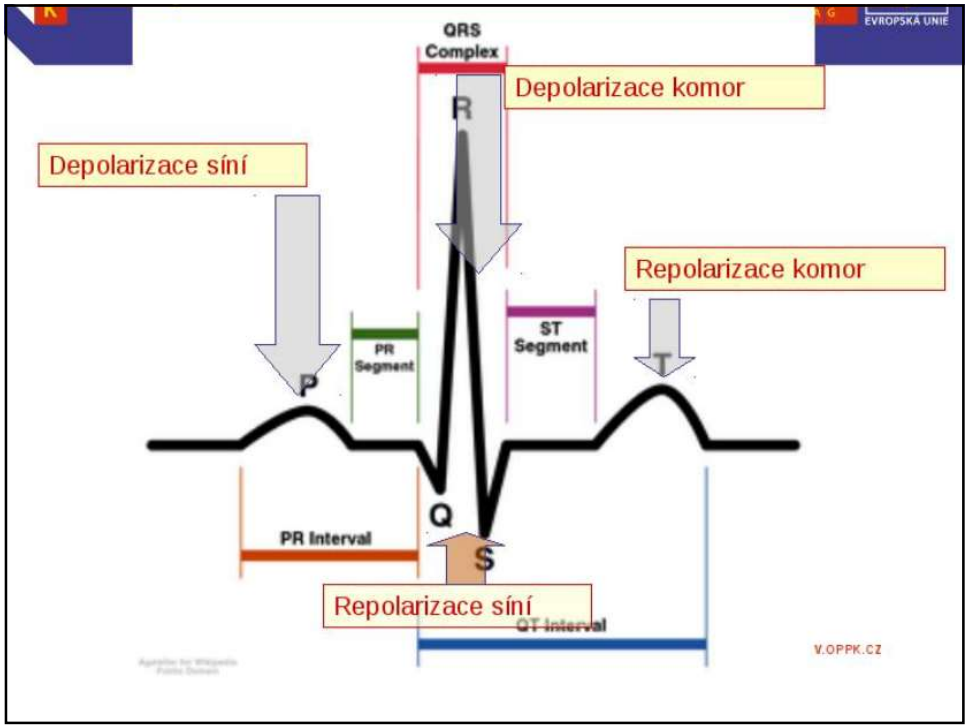
QRS – vzruch Hissov zväzok – Tawarové ramená + hrot

ST – depolarizácia celého myokardu komôr, zodpovedá fáze plató

Vlna T – repolarizácia komorového myokardu

Vlna U – neistá – asi repolarizácia Purkyňových vlákien



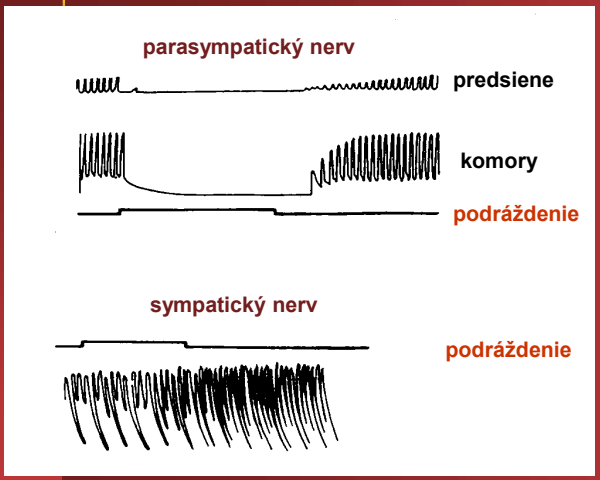


Regulácia činnosti srdca

regulácia parametrov:

- **Chronotropia** – srdcová frekvencia
- **Ionotropia** – sila kontrakcie
- **Dromotropia** – prenos vzruchu z predsiene na komoru
- **Batmotropia** – vzrušivosť myokardu

Vplyv parasympatika a sympatika na prácu srdca



Parasympatikus činnosť srdca inhibuje

Sympatikus činnosť srdca stimuluje

Faktory určujúce silu kontrakcie srdcového svalu
sympatikus, katecholamíny
spontánna elektrická aktivita
cytozolická koncentrácia Ca^{2+}
sila kontrakcie srdcového svalu
východzia dĺžka sarkoméry

Mechanizmy riadenia minutového srdcového výdaja
SRDCOVÝ VÝDAJ
tepová frekvencia
tepový objem
kontraktilita
veget.nerv. systém
hormonálne regulácie
vonkajšie riadenie
tepová frekvencia
post-ES potenciácia
Frank-Starlingov zákon
vnútorné riadenie

Cievny systém

- Krvný obeh
- Malý krvný obeh
- Veľký krvný obeh

srdce 7%

pľúca 9%

systémová cirkulácia 84%

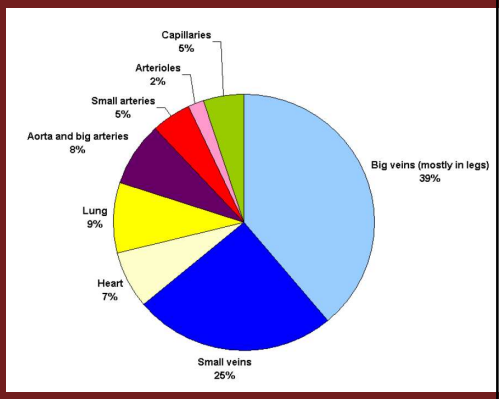
krvné rezervoáre

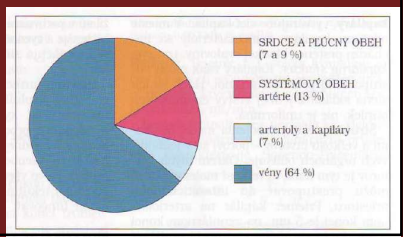
veľké abdominálne žily

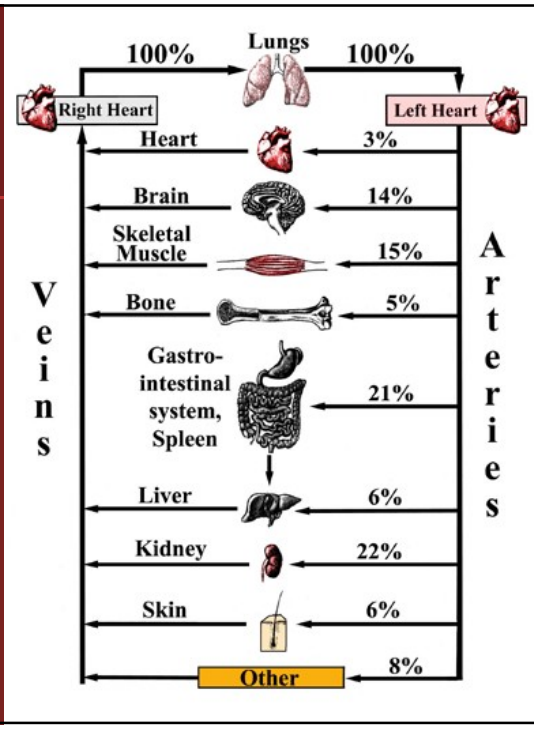
pečeň a venózne plexy

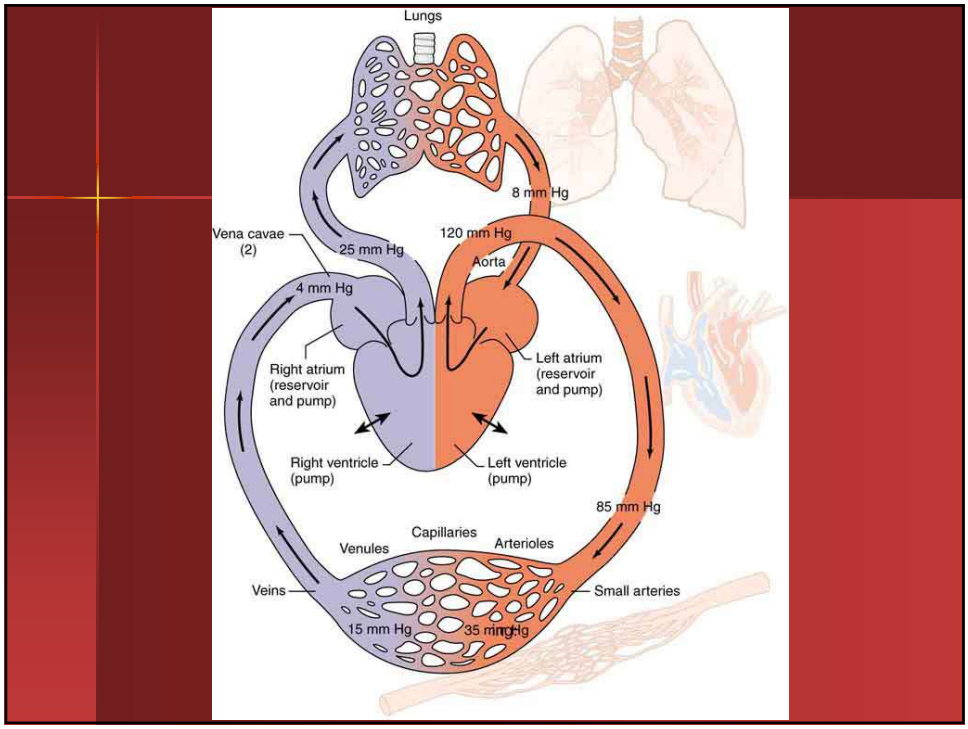
slezina

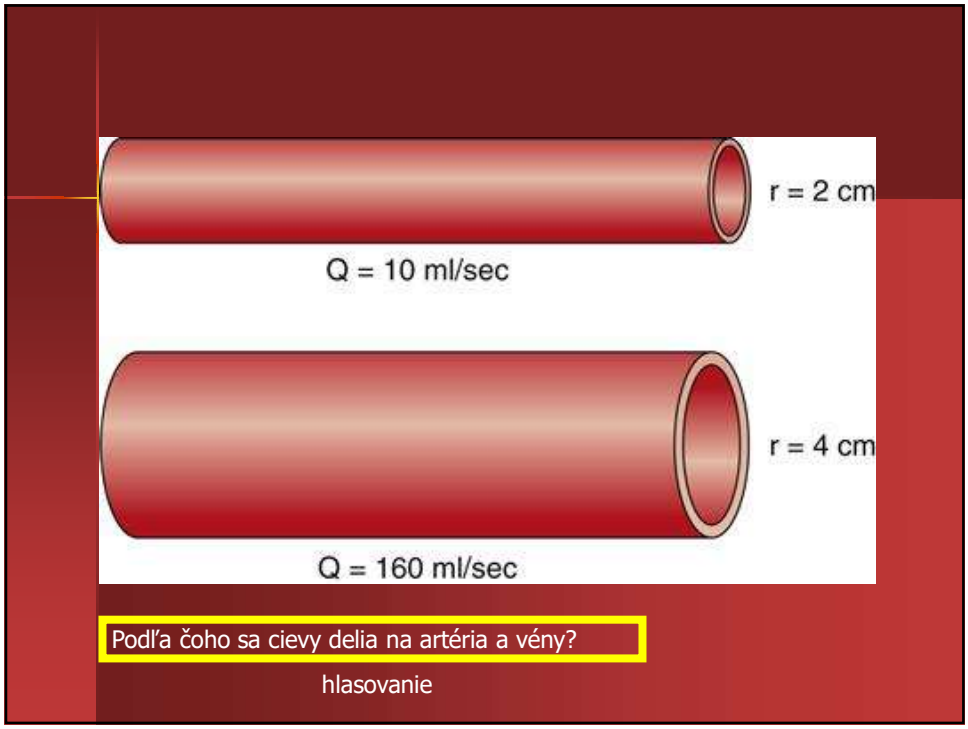
pľúcne cievy





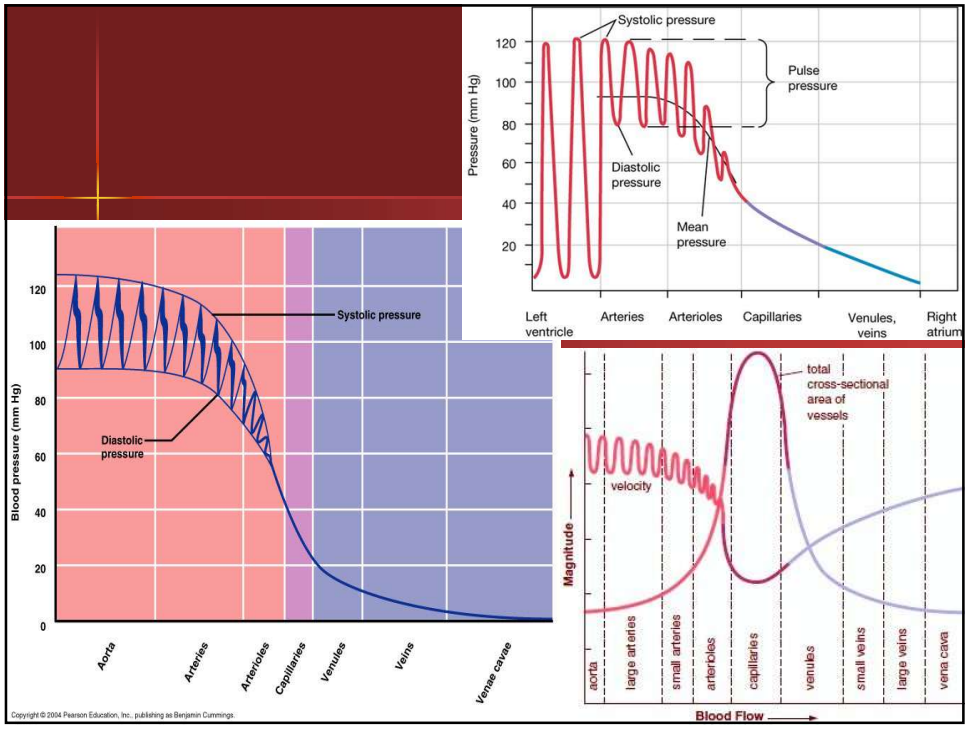




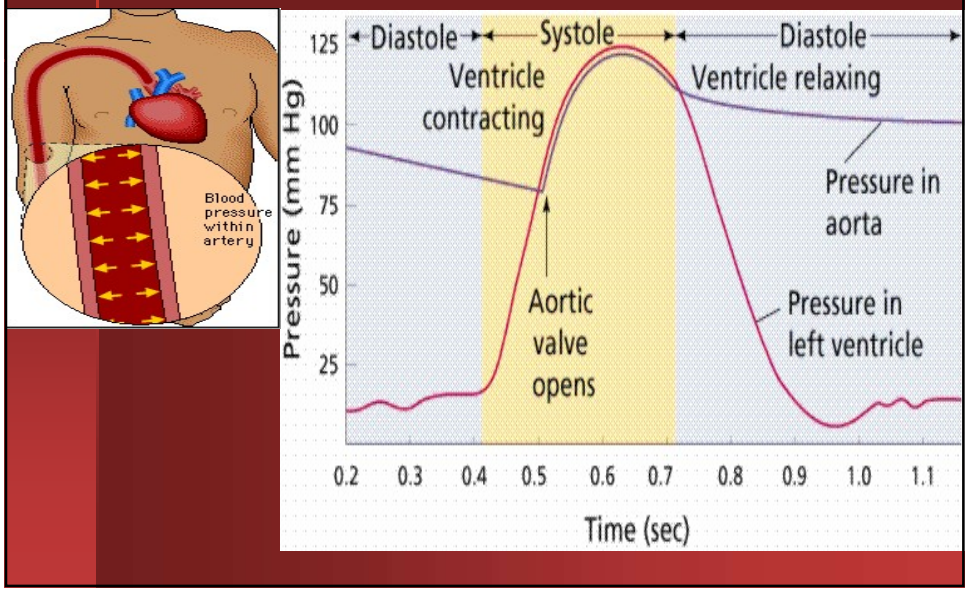


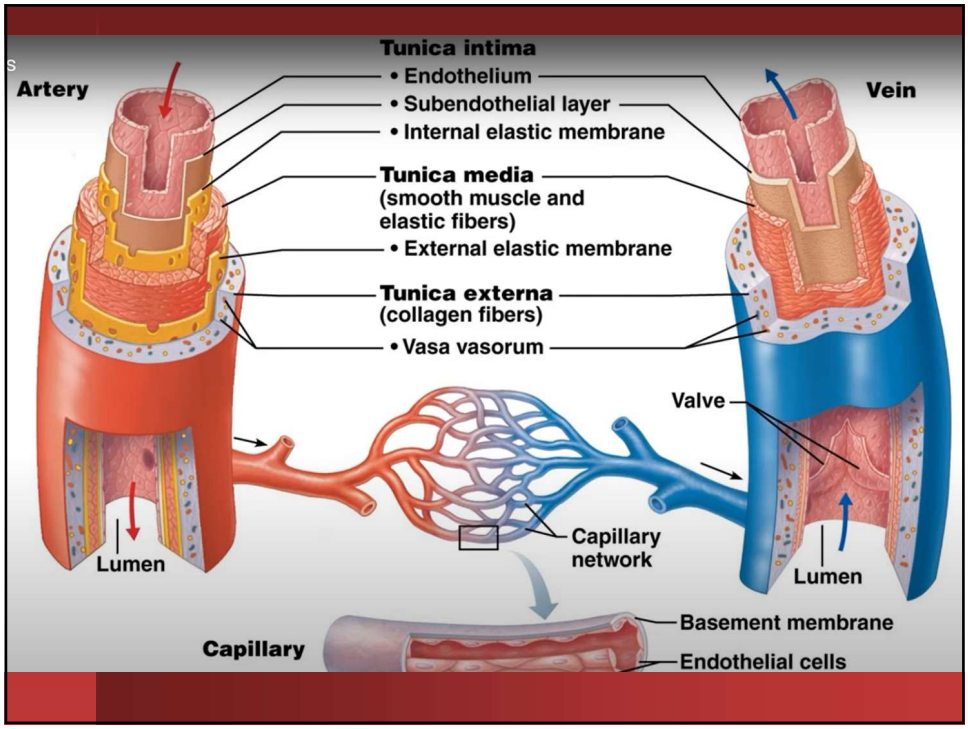
Podľa čoho sa cievy delia na artéria a vény?

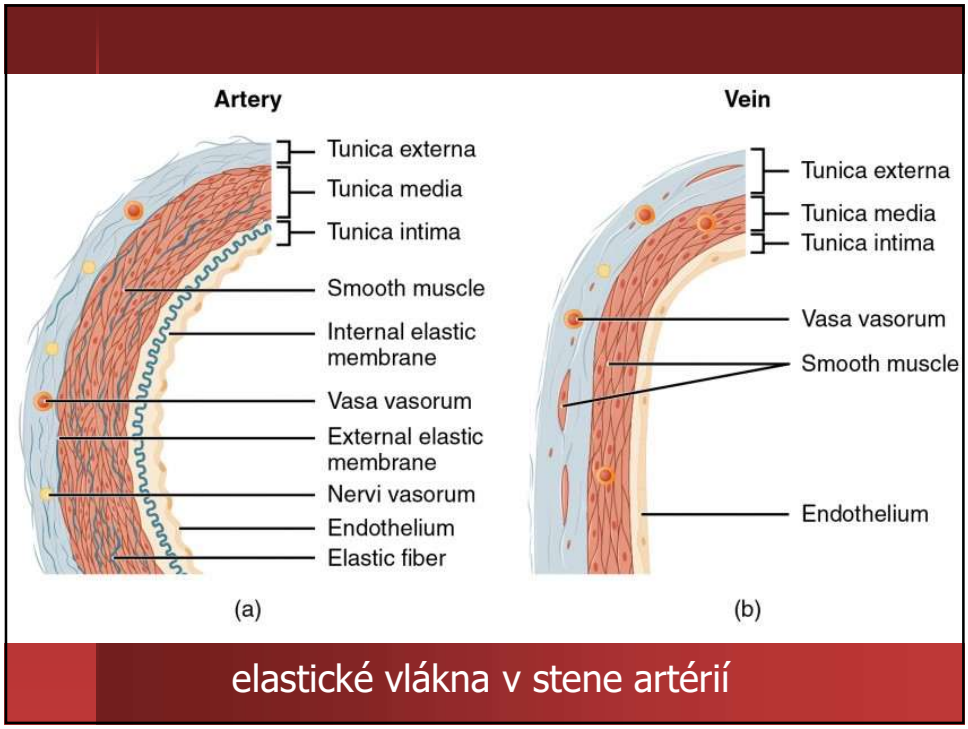
hlasovanie



Kolísanie krvného tlaku počas systoly a diastoly







elastické vlákna v stene artérií

Rozdelenie ciev

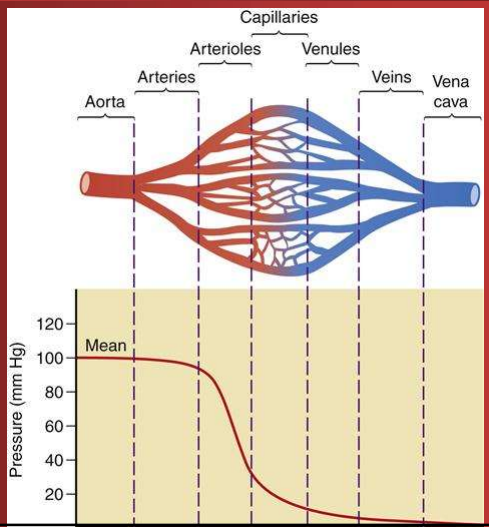
- artérie, arterioly, kapiláry, venuly, vény
- **Tepny**
- – vonkajšia vrstva – *tunica adventicia - externa*

veľké množstvo kolagénových vlákien

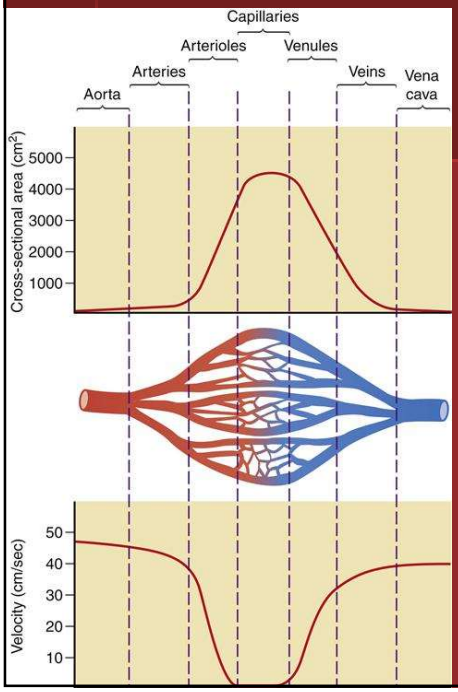
- – stredná vrstva – *tunica media* – hladká svalovina, externá elastická membrána
- – vnútorná vrstva – *tunica intima – endotel, subendotelová vrstva, interná elastická membrána*

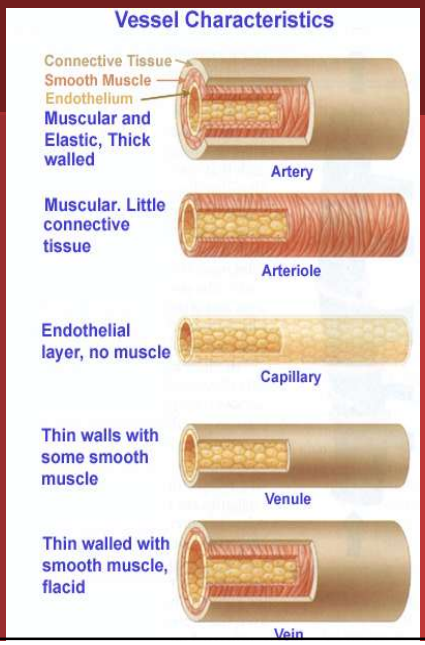
- **Tepničky**
- - v stene majú menej elastických vlákien, ale viac hladkej svaloviny
- - meta arterioly, kapiláry – jedna vrstva endotelových buniek

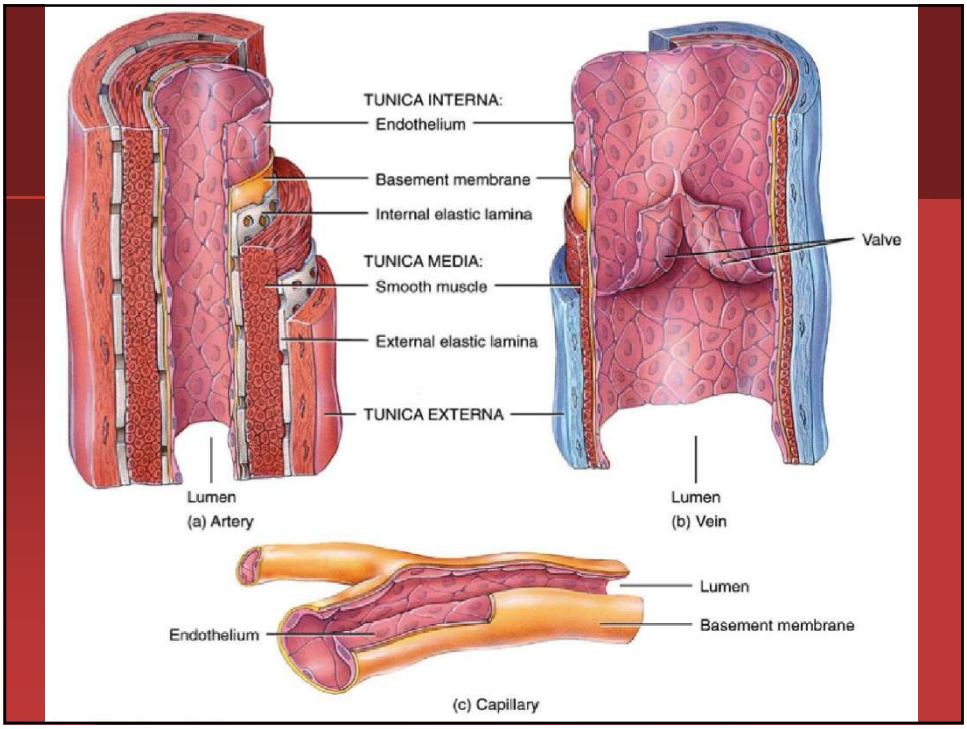
- venuly – malé zberné žilky, ktoré ústia do pravých venúl, majú hladkú svalovinu, spájajú sa do žíl – steny sú tenšie, a poddajnejšie ako steny artérií

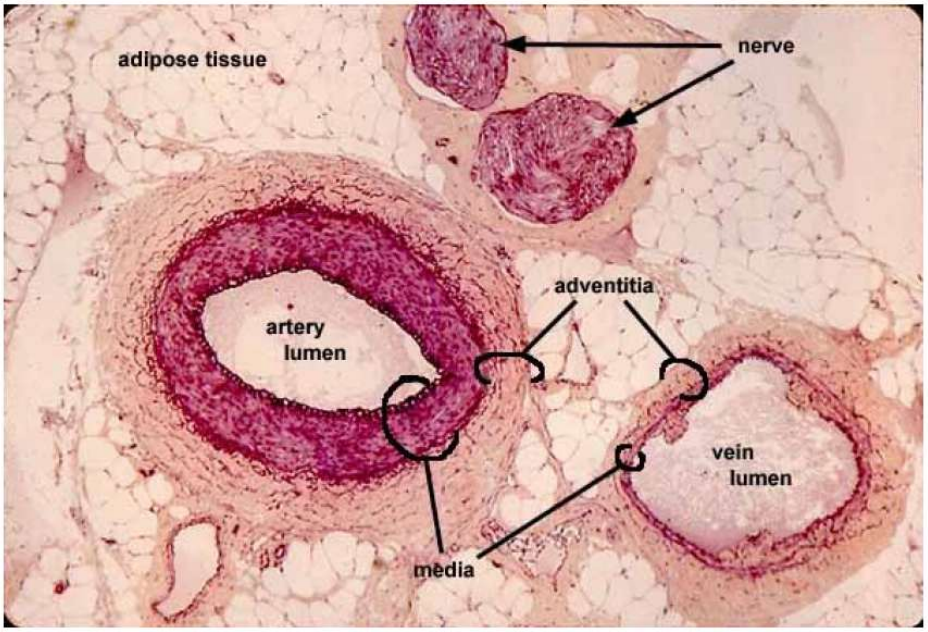


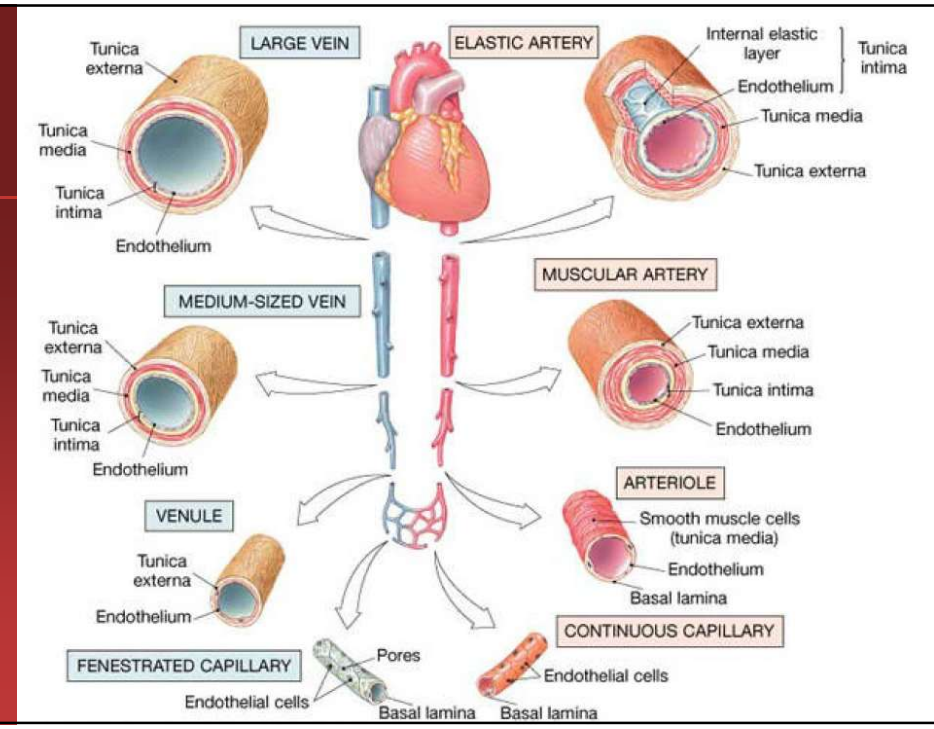
Štruktúra ciev








adipose tissue
nerve
adventitia
artery
lumen
vein
lumen
media


LARGE VEIN
Tunica externa
Tunica media
Tunica intima
Endothelium
ELASTIC ARTERY
Internal elastic layer
Tunica intima
Endothelium
Tunica media
Tunica externa
MEDIUM-SIZED VEIN
Tunica externa
Tunica media
Tunica intima
Endothelium
MUSCULAR ARTERY
Tunica externa
Tunica media
Tunica intima
Endothelium
VENULE
Tunica externa
Endothelium
ARTERIOLE
Smooth muscle cells (tunica media)
Endothelium
Basal lamina
FENESTRATED CAPILLARY
Pores
Endothelial cells
Basal lamina
CONTINUOUS CAPILLARY
Endothelial cells
Basal lamina

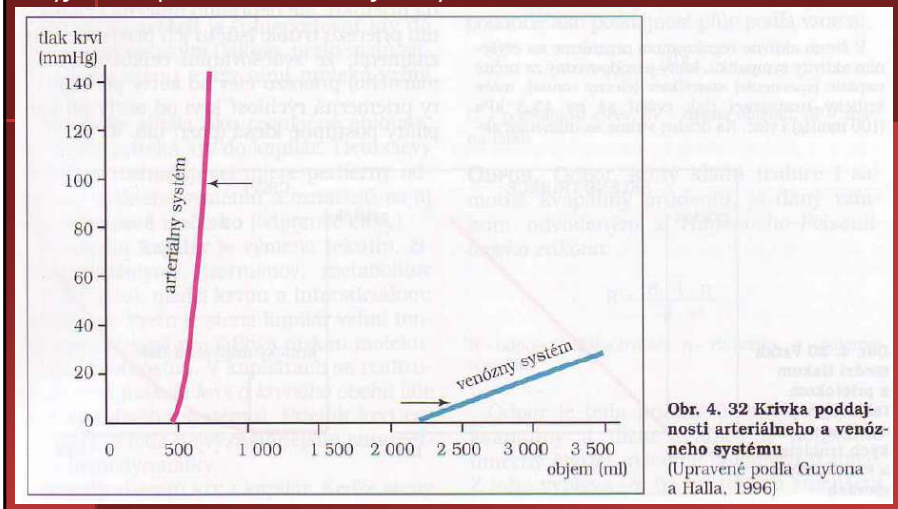
Rozdiely medzi artériami a žilami

- artérie majú hrubšiu svalovinu a ich steny sú hrubšie ako u žíl
- artérie sú elastickejšie ako žily, elastické vlákna v *tunika media* a *externa*, elastické laminy
- v artériách je vyšší tlak krvi ako v žilách
- žily obsahujú viac krvi ako artérie, 65% vs. 35%
- v žilách sa nachádzajú chlopne na zabránenie spätného toku krvi, ale v tepnách nie

hlasovanie

Ktorý typ tkaniva má najvýraznejšiu fázu plató akčného potenciálu?

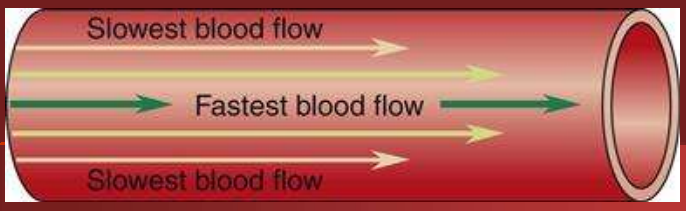
Cievy sa podľa svojej skladby líšia v poddajnosti
- vyjadrenie pomocou tlakovo-objemových kriviek

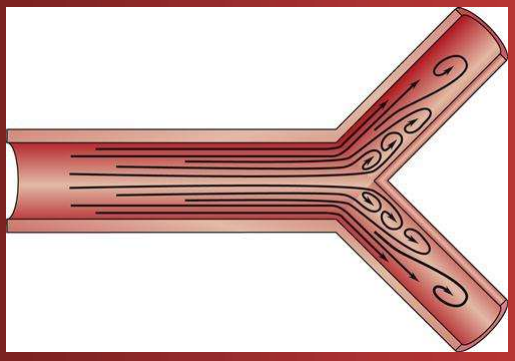


Obr. 4. 32 Krivka poddajnosti arteriálneho a venózneho systému (Upravené podľa Guytona a Halla, 1996)

Cievny odpor – odpor, ktorý kladie krvi arteriálna časť riečiska, najmä arterioly, je 66% celkového odporu – periférna vaskulárna rezistencia – záleží to od zúženia arteriol po stimulácii sympatikom

- **Prietok krvi v artériách**
- laminárny – charakterizuje ho prúdenie v jednotlivých vrstvách
- v axiálnej vrstve (stredovej) prúdi najviac erytrocytov, okolo stien cievy prevažuje krvná plazma
- roztiahnutie steny aorty objemom krvi zo srdca v systole – pulzová vlna
- čím menšia je poddajnosť cievy, tým väčšia je rýchlosť pulzovej vlny
- turbulentné prúdenie – na začiatku aorty a v pľúcnom obehu – fyziologická
- turbulentné prúdenie - šelesty

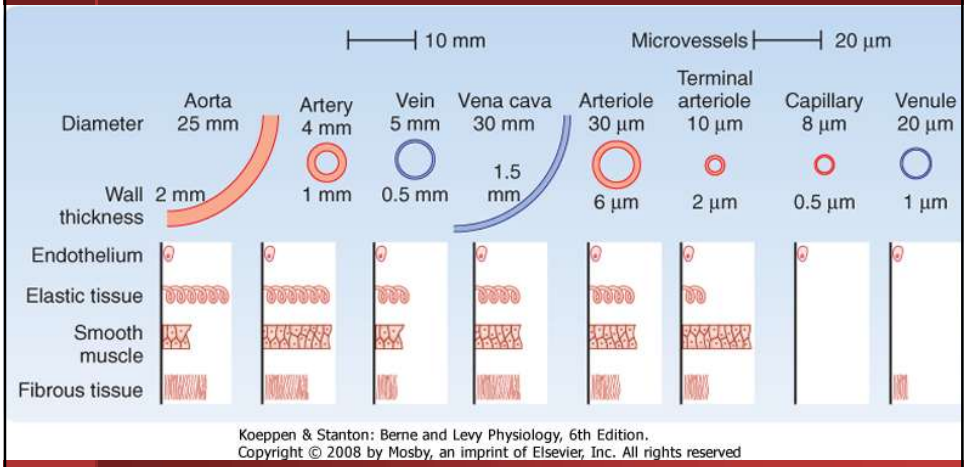




Funkčné rozdelenie ciev

- **PRUŽNÉ CIEVY** – rýchly transport krvi, vyrovnávanie syst. tlaku, najmä aorta – turbulentné prúdenie
- **REZISTENČNÉ CIEVY** –
  malé tepny a tepničky – prekapilárne – distribúcia krvi, laminárne prúdenie
  venuly – postkapilárne – malý odpor, veľký objem, ich pomer určuje filtráciu
  resorbciu

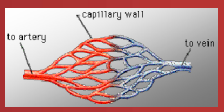
Zloženie steny ciev:



Koeppen & Stanton: Berne and Levy Physiology, 6th Edition.
Copyright © 2008 by Mosby, an imprint of Elsevier, Inc. All rights reserved

Funkčné rozdelenie ciev

- **KAPILÁRY** – presun látok z krvi do interstícia – pasívne



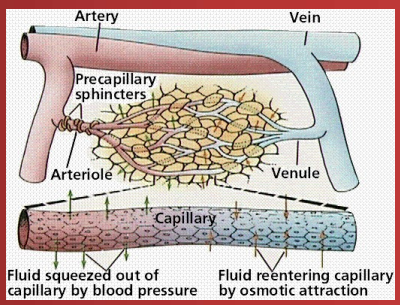
- **ARTERIOVENÓZNE SKRATY** – len v niektorých orgánoch regulujú prietok kapilárami
- **KAPACITNÉ CIEVY** – žily – roztiahnuteľné rezervoár

Hladká svalovina je hrubšia

hlasovanie 5 hrúbka hladkej svaloviny

Funkčné rozdelenie ciev

- **PREKAPILÁRNE SFINKTERY** koncová časť tepničiek, ich konstrikcia alebo dilatácia – počet otvorených kapilár



Regulácia priesvitu ciev

Miestne regulačné mechanizmy

- **chemické** CO_2, ↑ fyz. aktivita CO_2, adenozín - vazodilatácia
- **produkové endotelom** – NO, Prostaglandín I2 – vazodilatácia, Endotelín – vazokonstrikcia, EDHF - Endothelium-Derived Hyperpolarizing Factor – vazodilatácia

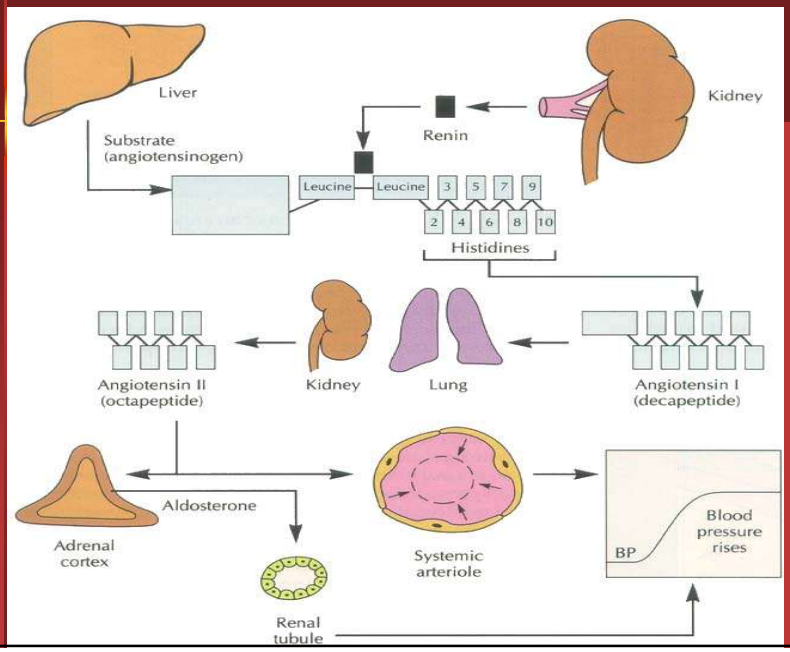
- **nervové** – sympatikus - noradrenalín – konstrikcia
  – parasympatikus – acetylcholín – vazodilatácia
- **hormonálne** – kiníny (bradykinín) – vazodilatácia
  - – RAS - vazokonstrikcia

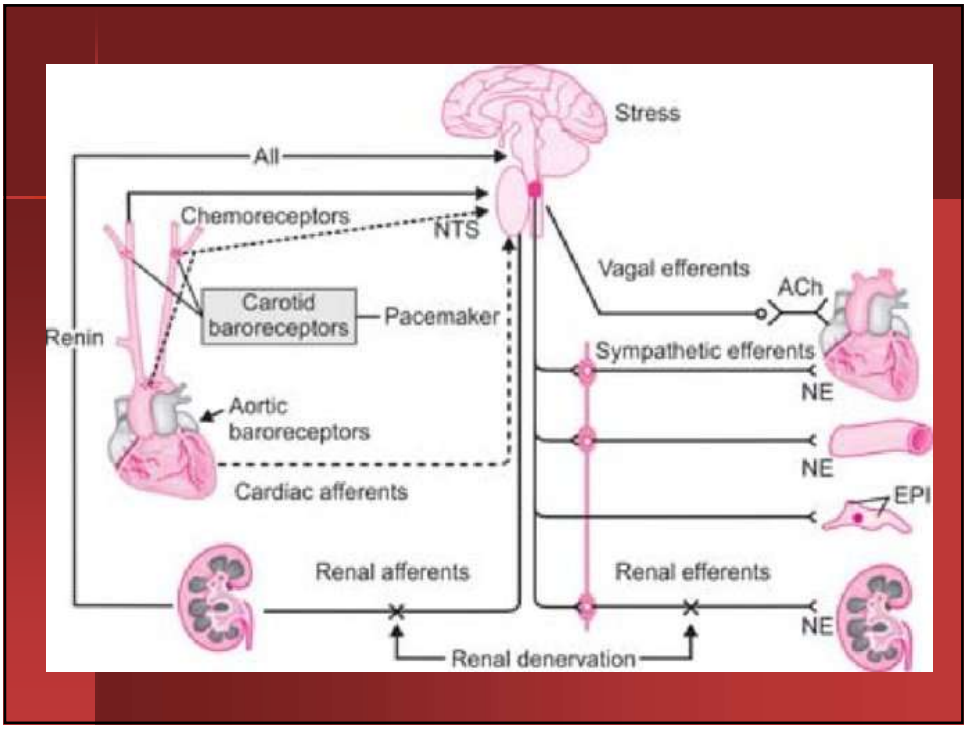
Väčší objem krvi je hlasovanie 4 objem krvi

Schéma účinku katecholamínov na cieľové bunky

Regulácia tlaku renín-angiotenzínovým systémom

Regulácia tlaku renín-angiotenzínovým systémom





Regulácia tlaku v artériách

hlasovanie 6 prietok krvi

Prietok krvi je rýchlejší

Ďakujem za pozornosť