

MUDr.K.Kapounková

**FYZIOLOGIE
KARDIOVASKULÁRNÍ
HO SYSTÉMU**

Krevní oběh

- velký tělní : 84%
(systémový)
- malý (plicní): 9%
- Srdce : 7%

Celkový objem krve : 4,5 – 5,5 l

žíly, pravé srdce a malý oběh

= nízkotlaký systém (rezervoár)

arterie = vysokotlaký systém (zásobovací funkce)

84% systémový oběh

Průtok krve :

Mozek : 13% MV

Myokard: 5% MV – nesmí poklesnout (selhání oběhu) – v zatížení až 5x více

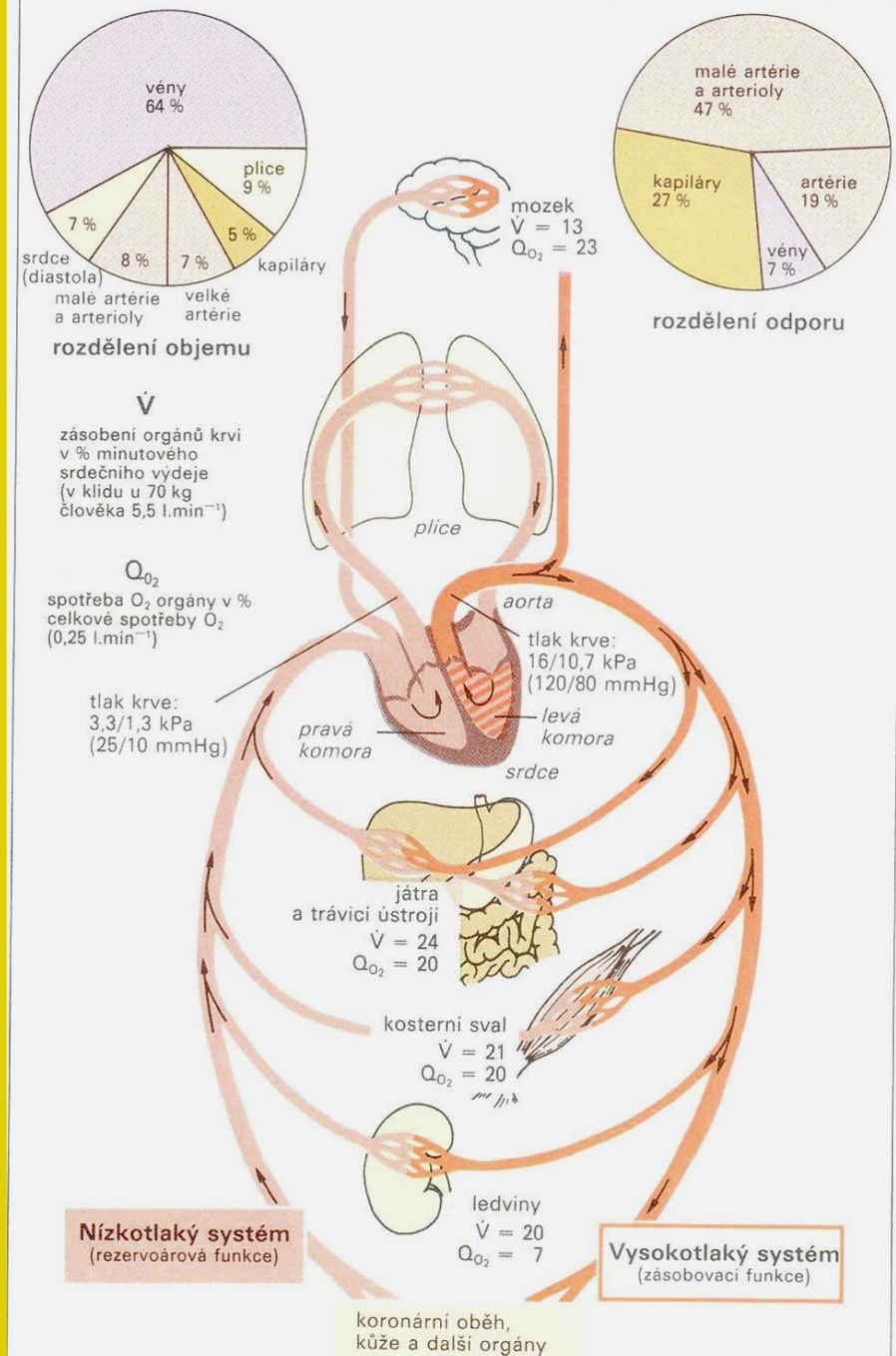
Ledviny : 20 – 25% MV

Kosterní svaly: 21 -25% MV- v zatížení až 20 x více

Trávicí ústrojí + játra (období trávení) : 24 -30%

Kůže (v klidu) : 10%

Kostra : 3%



Distribuce srdečního výdeje

	klid	zátěž
srdce	5% = 0,25 l/min	5% = 1,25 l/min
mozek	15% = 0,75 l/min	4% = 1,0 l/min
svaly	20% = 1,0 l/min	85% = 21,25 l/min
trávicí systém	25% = 1,25 l/min	5% = 1,25 l/min
kosti	4% = 0,2 l/min	1% = 0,25 l/min
ledviny	20% = 1,0 l/min	3% = 0,75 l/min

Regulace průtoku

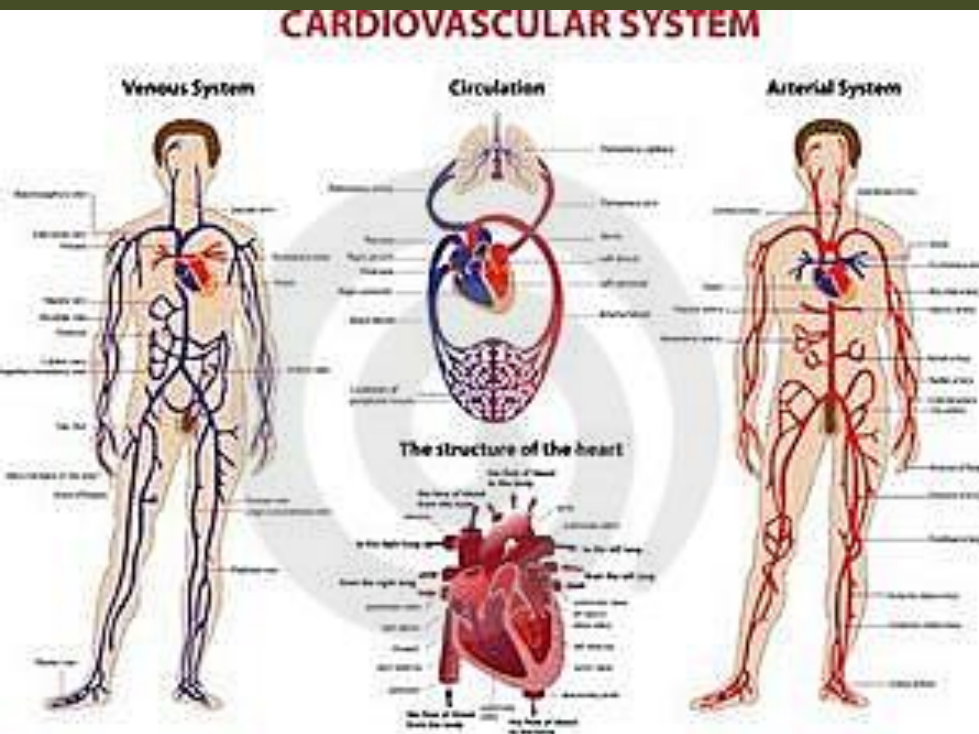
vegetativní nervový systém

(sympatikus X parasympatikus)

- ◎ vasokonstrikce - sympatikus (ve svalech a srdci však vasodilatace)
- ◎ Parasympatikus- bez vlivu na cévy

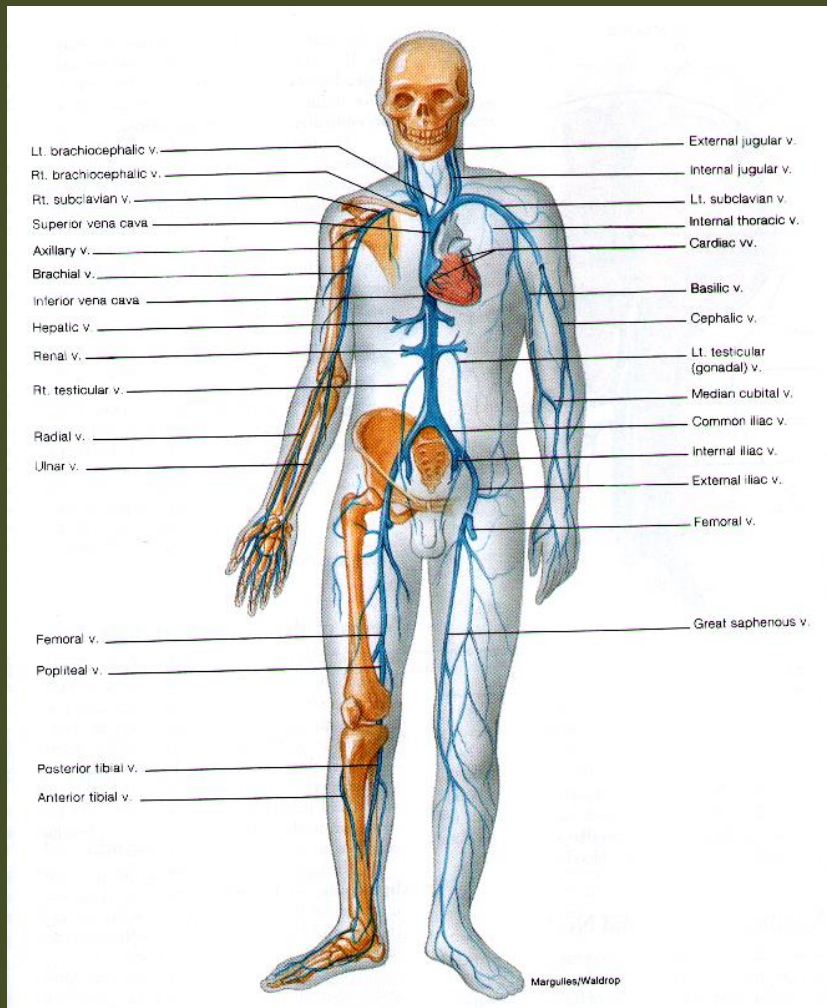
metabolická autoregulace: CO_2 , ADP, laktát,
↓ pH, histamin => **vasodilatace ve svalech**

TEPENNÝ SYSTÉM



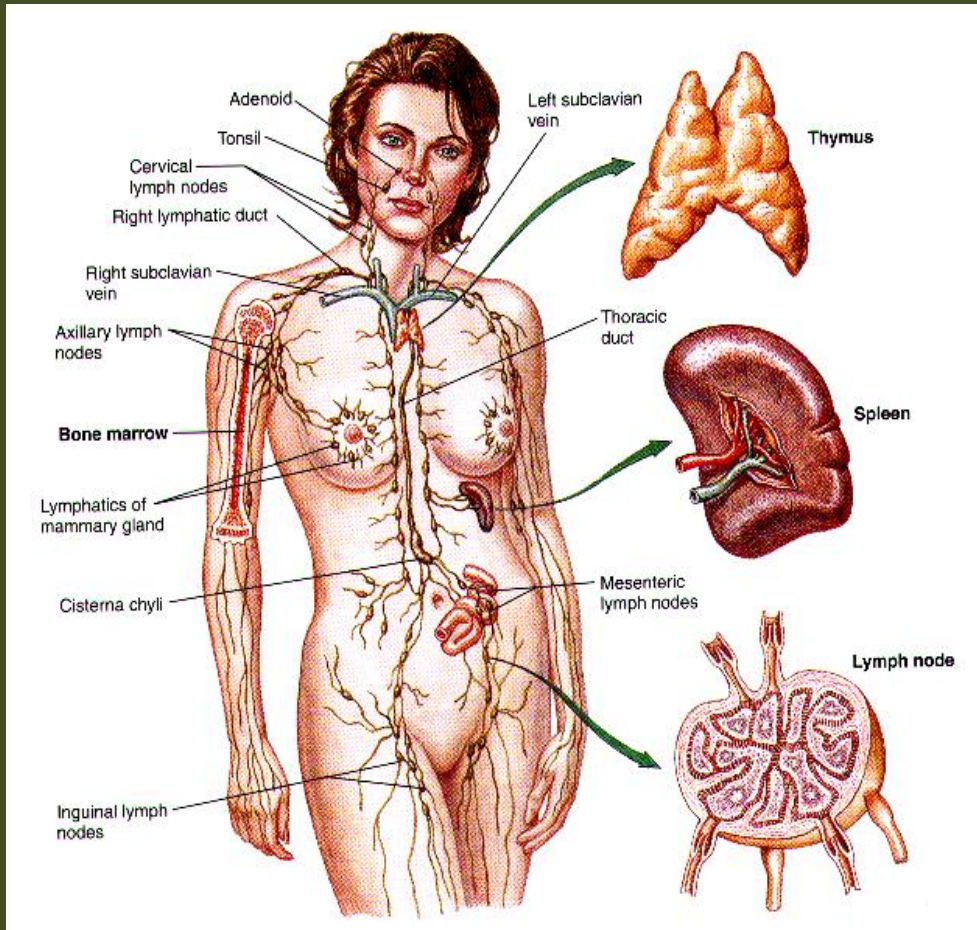
- ze srdce do dalších částí těla
- v systémovém (velkém, tělním) krevním oběhu mají tepny silnou stěnu
- tlakový pulz = přechodné zvýšení tlaku v aortě při systole levé komory (výše systolického krevního tlaku)

ŽILNÍ SYSTÉM



- krev z těla **do** srdce
- zabezpečuje **žilní návrat** krve k srdci a to:
 - svalovou pumpou
 - dýcháním
 - sací silou srdce
 - žilní pumpou (spirálovitá svalovina žilní médie)

LYMFYTICKÝ SYSTÉM



- lymfatickými cévami proudí *lymfa* = míza (pochází z tkáňového moku)
- hlavní funkcí je *odvádění přebytečné tekutiny a bílkovin z mezibuněčného prostoru do krve*
- účastní se dále na *imunitních reakcích* organismu

Krevní tlak

= arteriální krevní tlak

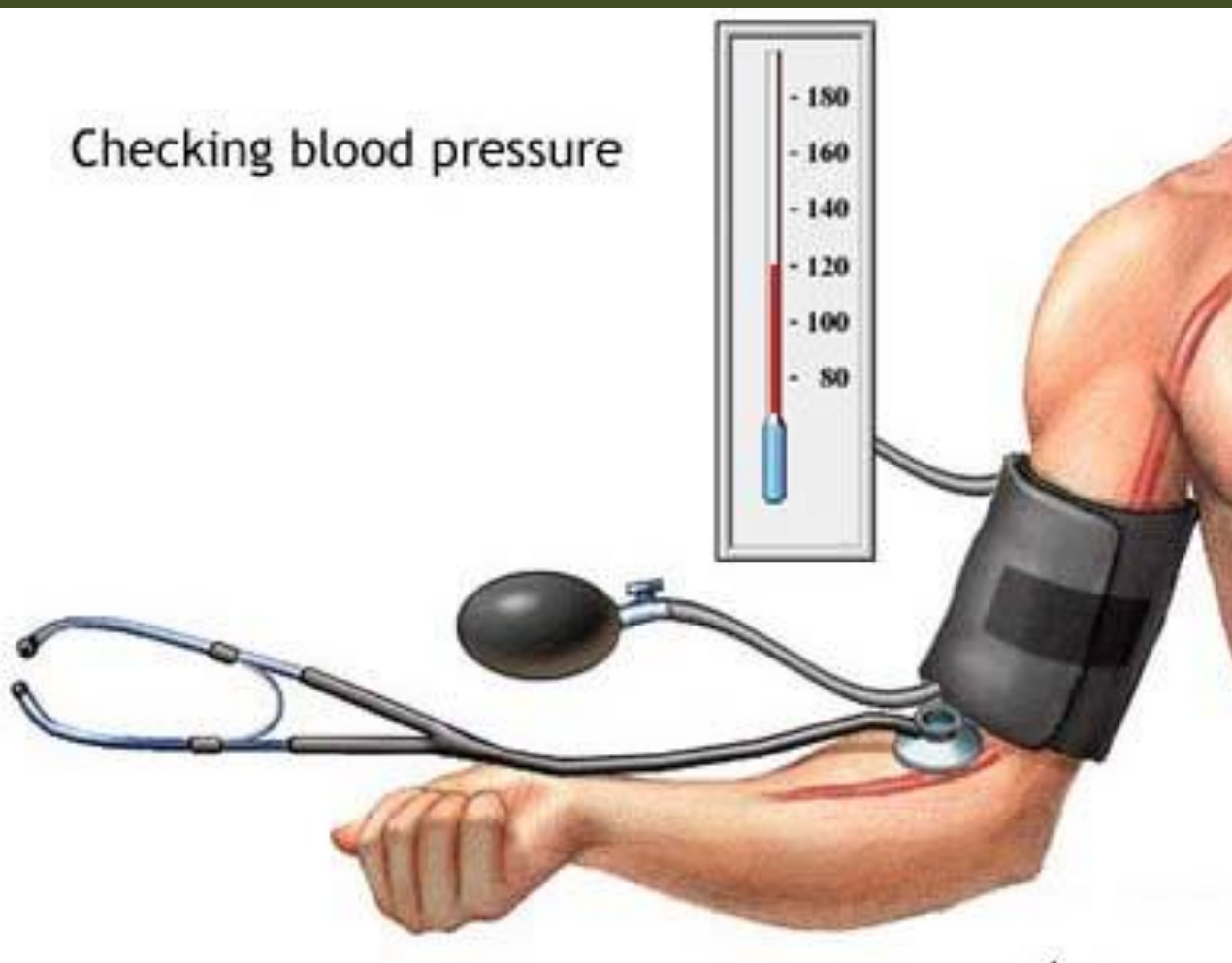
- ⊙ tlak, který je vyvíjen na stěny cév při transportu krve oběhovým systémem
- ⊙ Sleduje se systolický a diastolický krevní tlak. První (systolický) je fází vypuzování okysličené krve ze srdce a druhý (diastolický) je fází plnění srdeční komory neokysličenou krví

Krevní tlak (TK)

- ⦿ klidové hodnoty 120/80 mmHg
- ⦿ systolický
- ⦿ diastolický

Měření TK

- ⦿ metoda palpační
- ⦿ metoda auskultační



Reaktivní změny

Krevní tlak (TK)

při dynamické práci se ↑ hlavně systolický tlak (nejméně při malé intenzitě nebo dlouhodobé vytrvalostním výkonu, nejvíce při submaximální intenzitě zatížení až na 180-240 mmHg), diastolický tlak se mění jen mírně, může i lehce klesat

při statické práci: změny TK souvisí se
změnami nitrohrudního tlaku (Valsalvův
manévr),

- ⊙ většinou dochází ke ↑ systolického (140-160 mmHg) i diastolického (80-100 mmHg)
- ⊙ po dlouhodobém silovém tréninku dochází k fixaci ve formě hypertenze (vzpěrači)

Hodnoty TK při zatížení různé intenzity a délky trvání

	sTK	dTK
Krátkodobé zatížení max. intenzity	150-190	80-110
Zatížení submaximální intenzity	180-240	40-100
Dlouhodobé zatížení střední intenzity	130-170	80
Statické krátkodobé zatížení	140-160	80-100

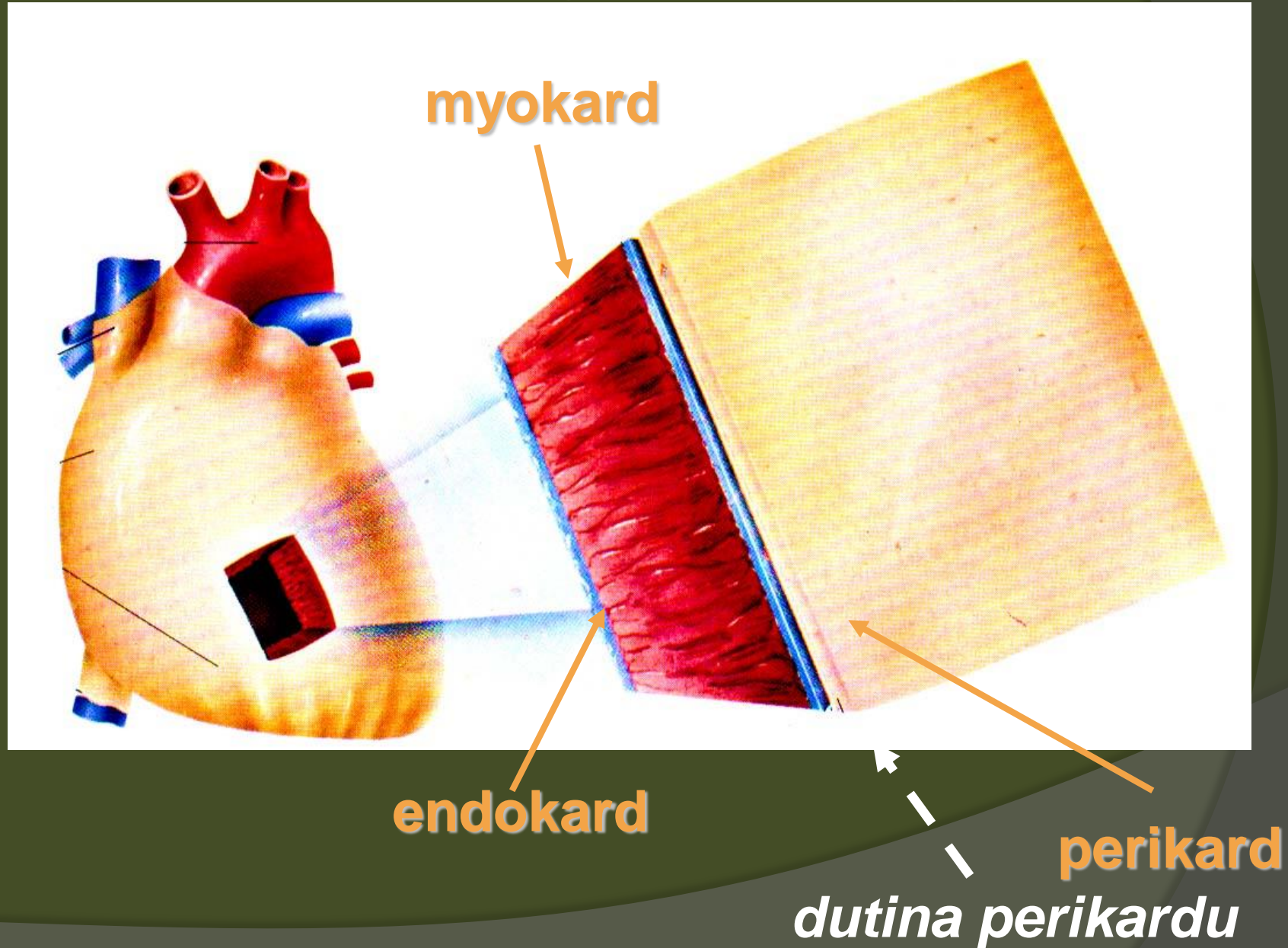
Hypertenze

- ⊙ Výskyt v průmyslově vyspělejších zemích 15-20%(nad 60 let již 30-40% v populaci)
- ⊙ jeden z nejzávažnějších rizikových faktorů ICHS

Definice: u dospělého (TK) větší než 140/90 mmHg prokazované aspoň u 2 ze 3 měření TK v průběhu několika týdnů.

- ❖ **hraniční** hypertenze **140-160/90-95**
 - ❖ **mírná** hypertenze **140-179/90-105**
 - ❖ **středně těžká** hypertenze **180-199/106-114**
 - ❖ **těžká** hypertenze **víc jak 200/ víc jak 115**
- ⊙ v 90% se jedná o tzv. primární (esenciální) typ hypertenze, sekundární vzácnější (ledviny, těhotenství)

OBEČNÁ STAVBA SRDCE



Endokard : uložen pod myokardem, pokrývá srdeční chlopně, náchylný k zánětlivým procesům) pozánětlivé změny na chlopních – zúžení, nedomykavost

Myokard: příčně pruhovaná svalovina (aktin, myozin)

Perikard : vazivová tkáň, brání nadměrnému rozpětí srdce, a srdce před okolím, dva listy a mezi nimi dutina (výpotek)

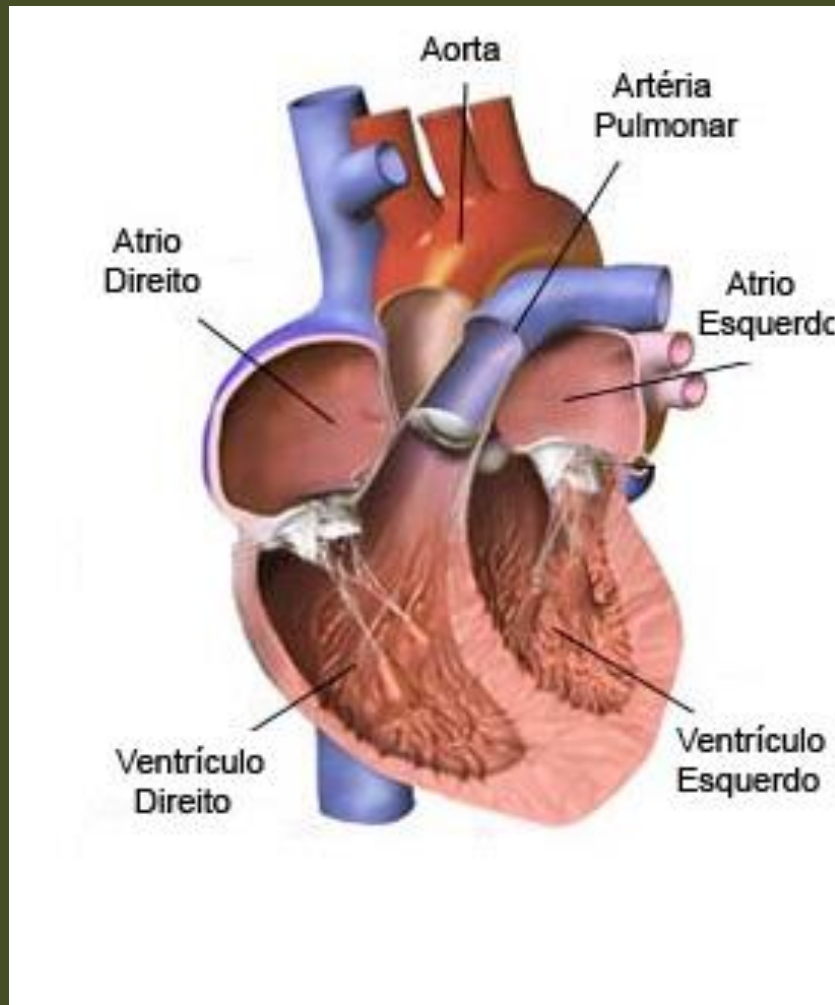
Normální váha srdce :

Muž - asi 300g

Žena - 250g

Novorozenec- do 20g.

SRDCE - vlastnosti



- **Autonomie** (autonomní srdeční systém – sám si udává základní frekvenci)- samostatnost srdeční činnosti
- **Automacie** (střídání stahů a ochabnutí srdeční svaloviny)- zprostředkováno převodním systémem
- **Dráždivost** (na vzruch odpoví srdce systémem „vše nebo nic“)
- **Stažlivost-inotropie**(frekvence stahů)
- **Vodivost- chromotropie** (schopnost myokardu vést vzruch formou impulsů)

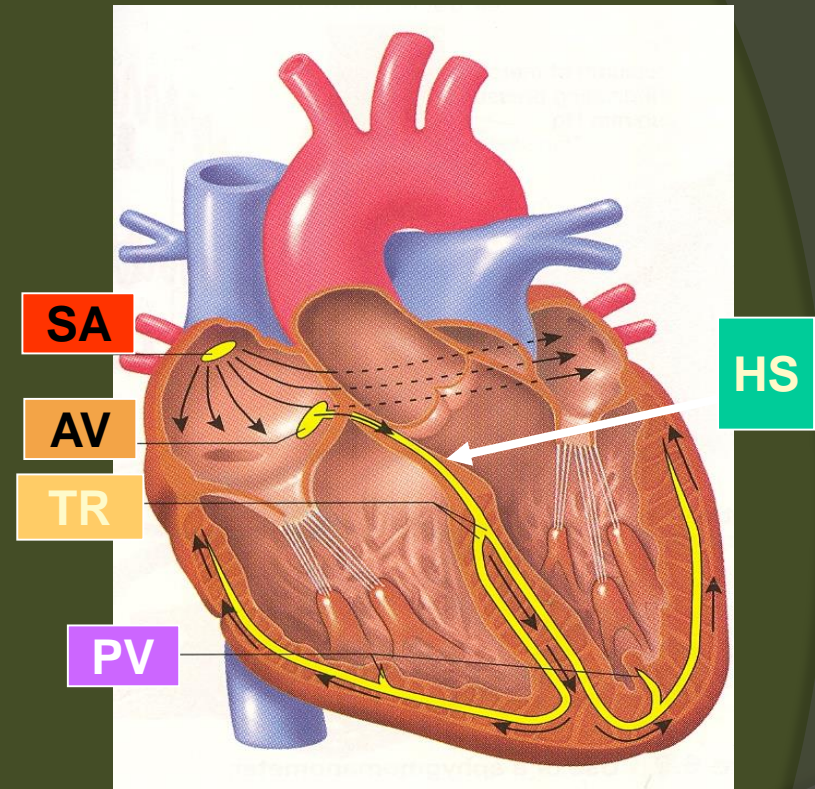
Převodní systém srdeční

= dává podnět a zajišťuje jeho šíření srdečním svalem

- **SA** (sinoatriální, sinusový uzel) – sám tvoří vzruchy pro srdce s frekvencí 80x za minutu
- **AV** (aterioventrikulární, síňokomorový uzel) – je schopen také tvořit vzruchy pro srdce, ale s poloviční frekvencí

K šíření vzruchu dále slouží:

- Hisův svazek (**HS**)
- Tawarova raménka (**TR**)
- Purkyňova vlákna (**PV**)

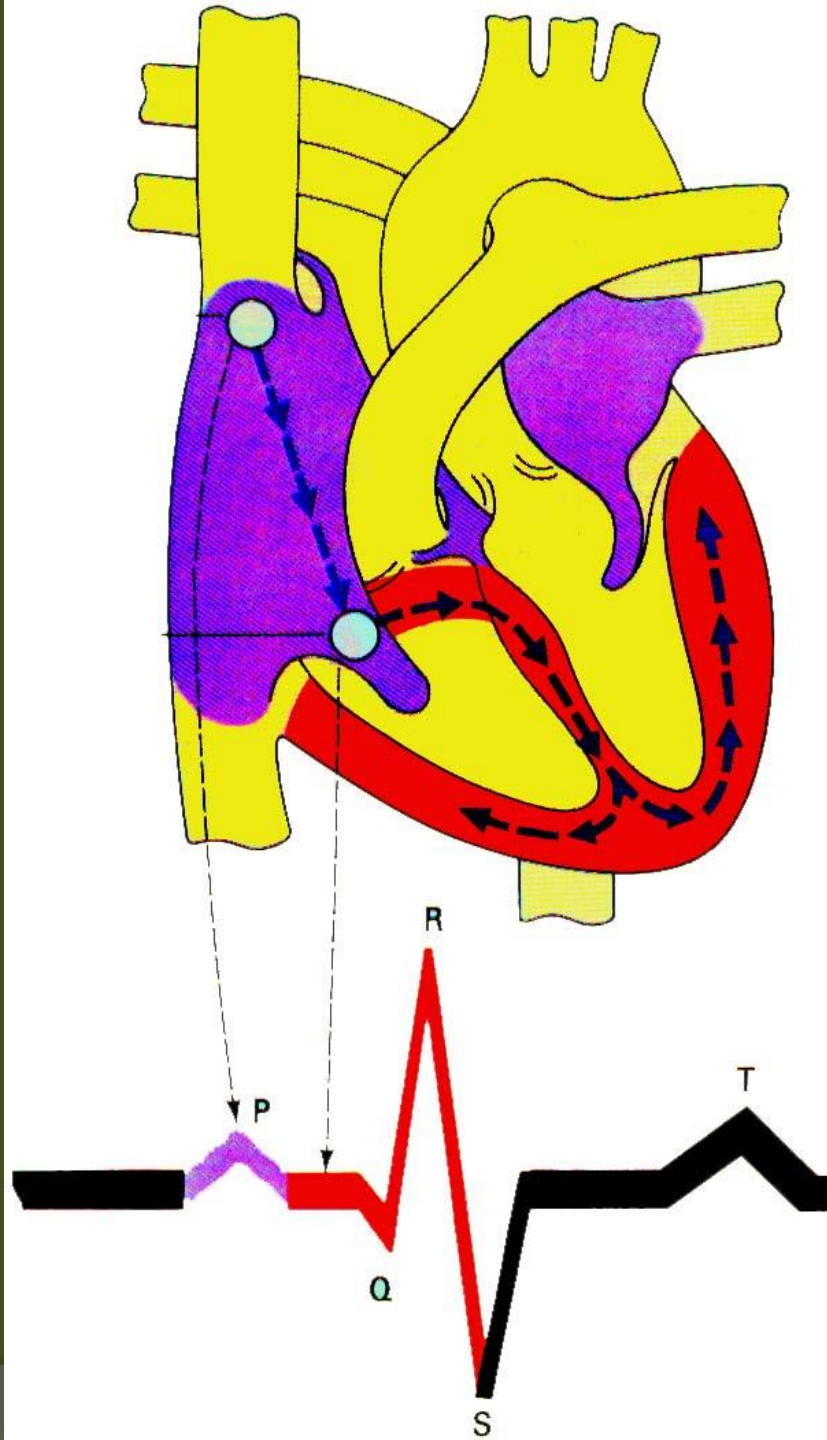


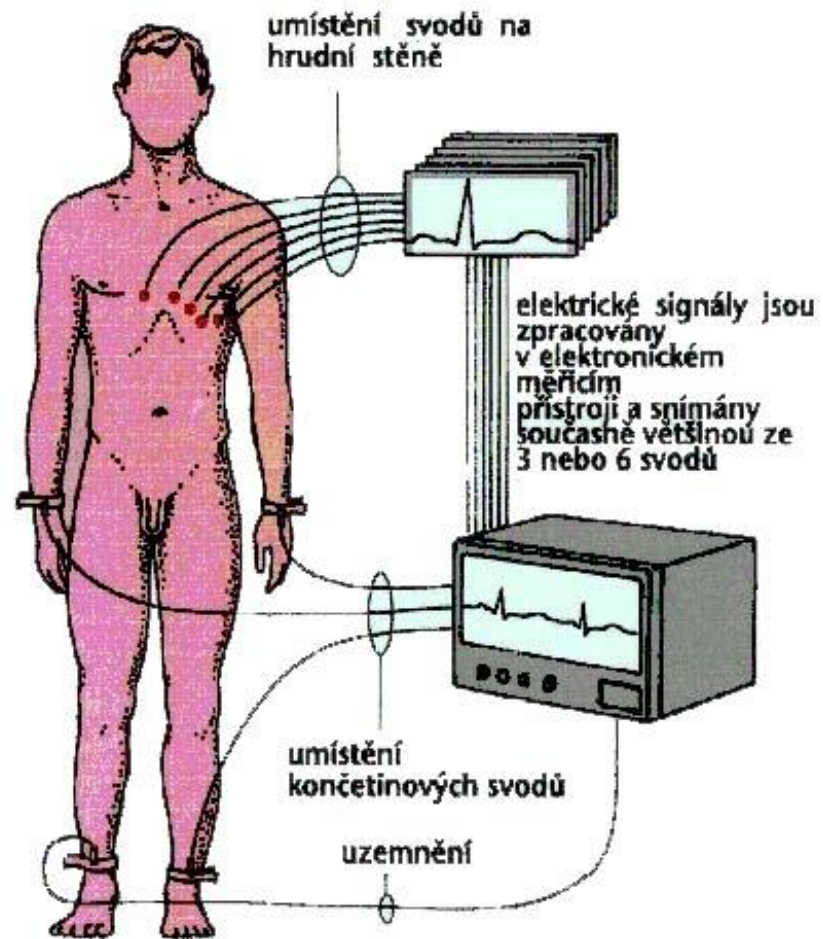
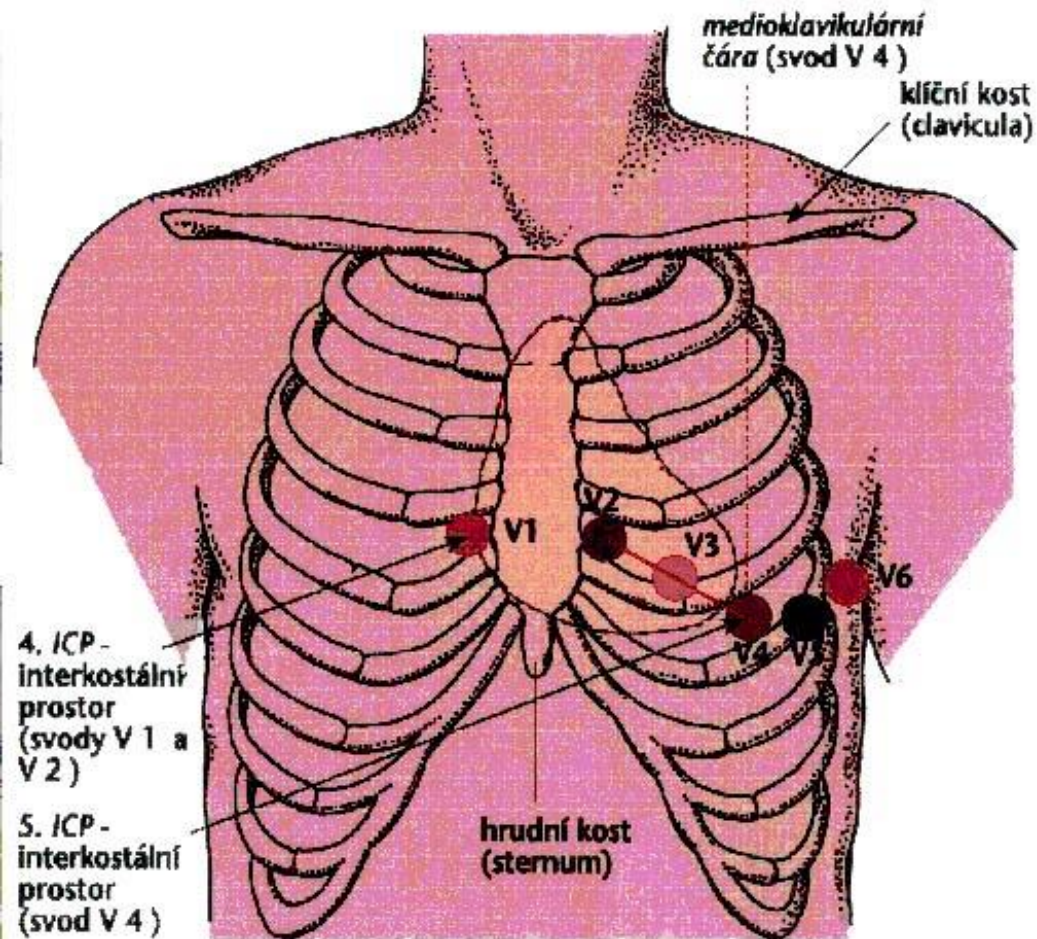
Vzruch se šíří:

od endokardu k epikardu

od hrotu k bázi

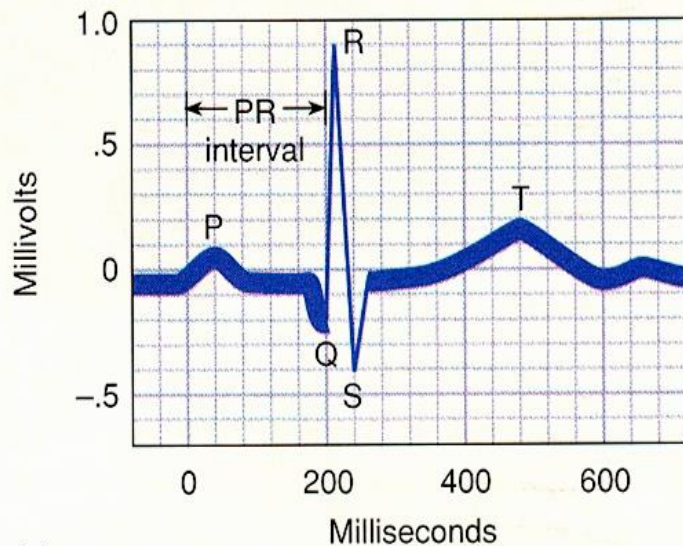
vzniká tak synchronní aktivace
myokardu – systola komor.





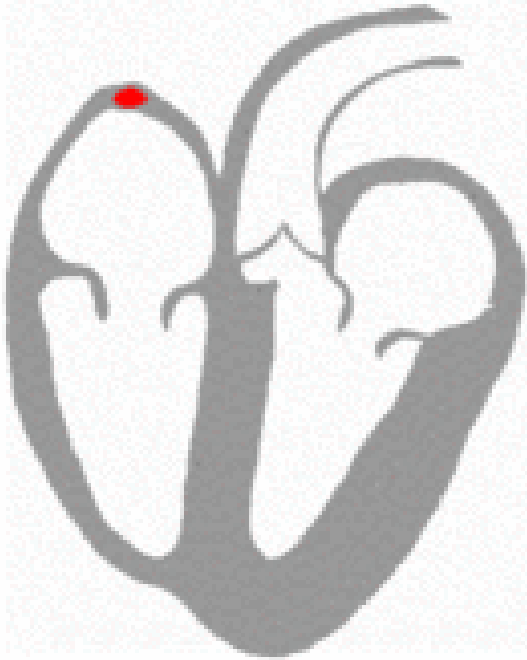
Elektrokardiografická křivka

= elektrická aktivita srdce



- vlna P – vzruch ze sinusového uzlu do síní (*depolarizace síní*)
- komplex QRS – vzruch do srdeční svaloviny komor (*depolarizace komor*)
- vlna T – *repolarizace srdeční svaloviny*

Zpomalené znázornění elektrické aktivity srdce

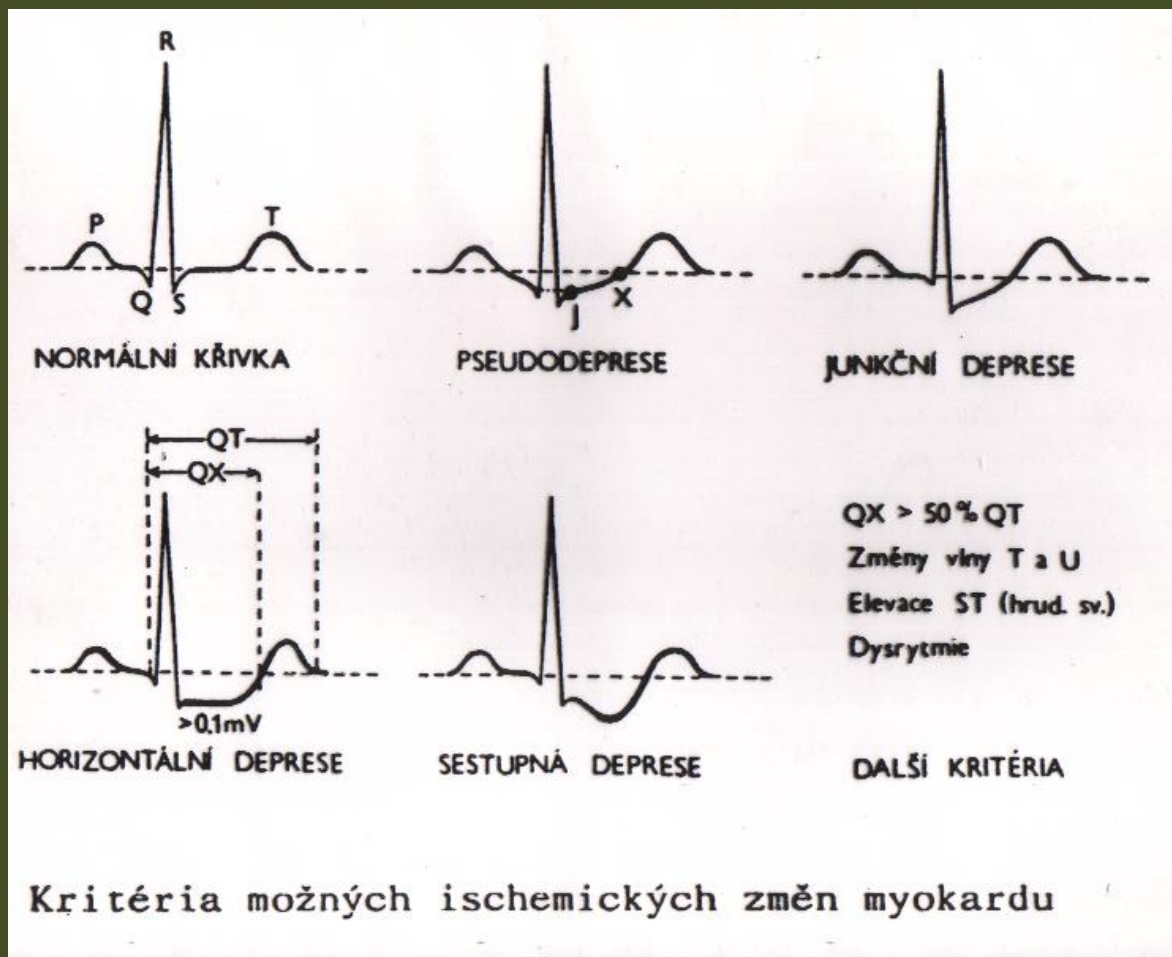


Normální sinusový rytmus (zdravé srdce)

- SA uzel - akční potenciály
- na EKG rozlišitelné elementy
- sinusový rytmus je normální pokud jeho frekvence je mezi 60 až 100/min
- nad 100 – **tachykardie**
- pod 60- **bradykardie**

Hodnocení zátěžového testu

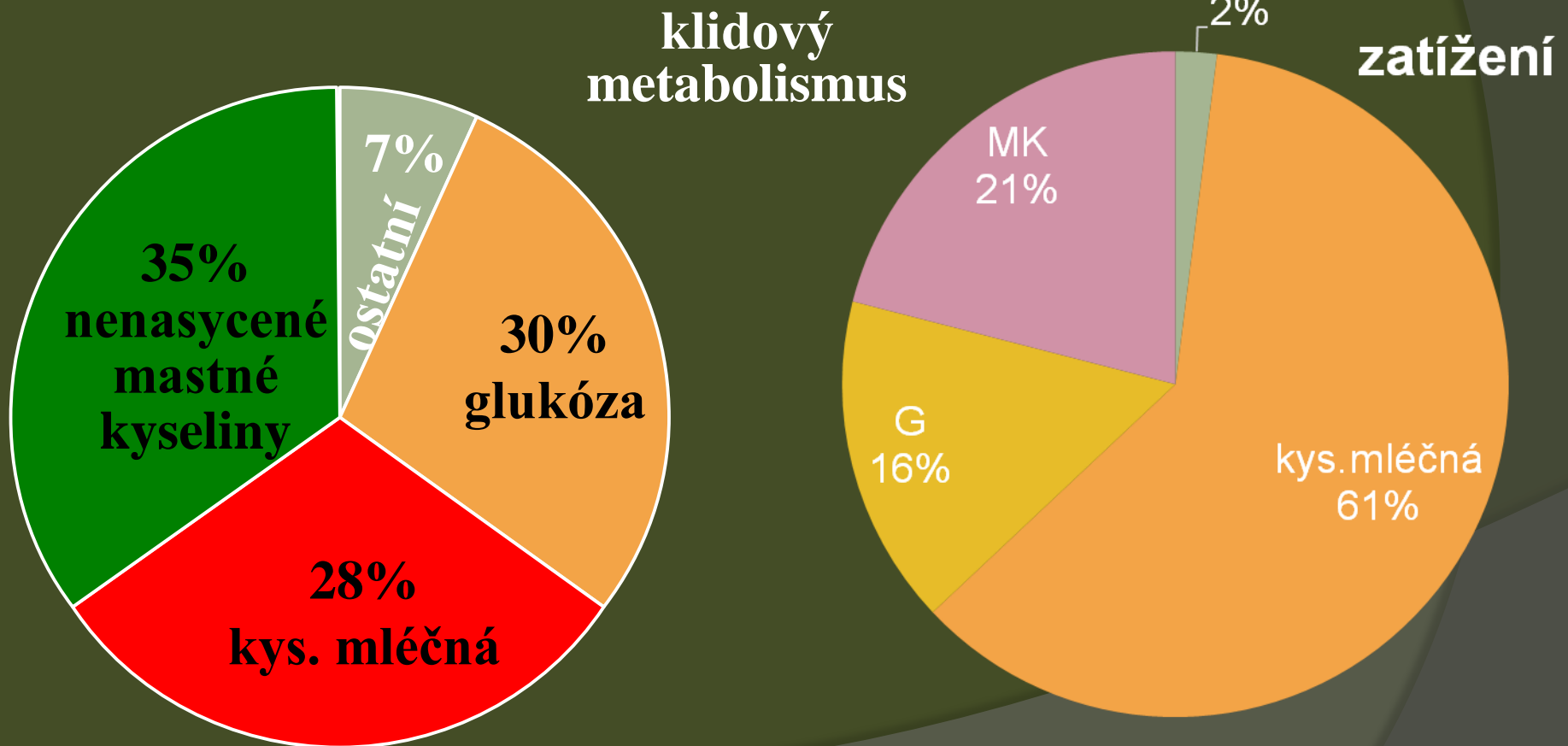
Elektrokardiografické změny



- ◎ **sinusová tachykardie** – převaha sympatiku, horečka, bolest, anémie, srdeční vady, šok, léky (atropin, efedrin)
- ◎ **sinusová bradykardie** – vagotonie, patologicky u síňokomorových bloků
- ◎ **flutter síní** – u revmatického onemocnění srdce, ICHS
- ◎ **fibrilace síní** - svalstvo levé síně je v neustálém nekoordinovaném pohybu, aktivace komor je pravidelná
- ◎ **fibrilace komor** - dochází k nekoordinovanému chvění myokardu komor (IM)

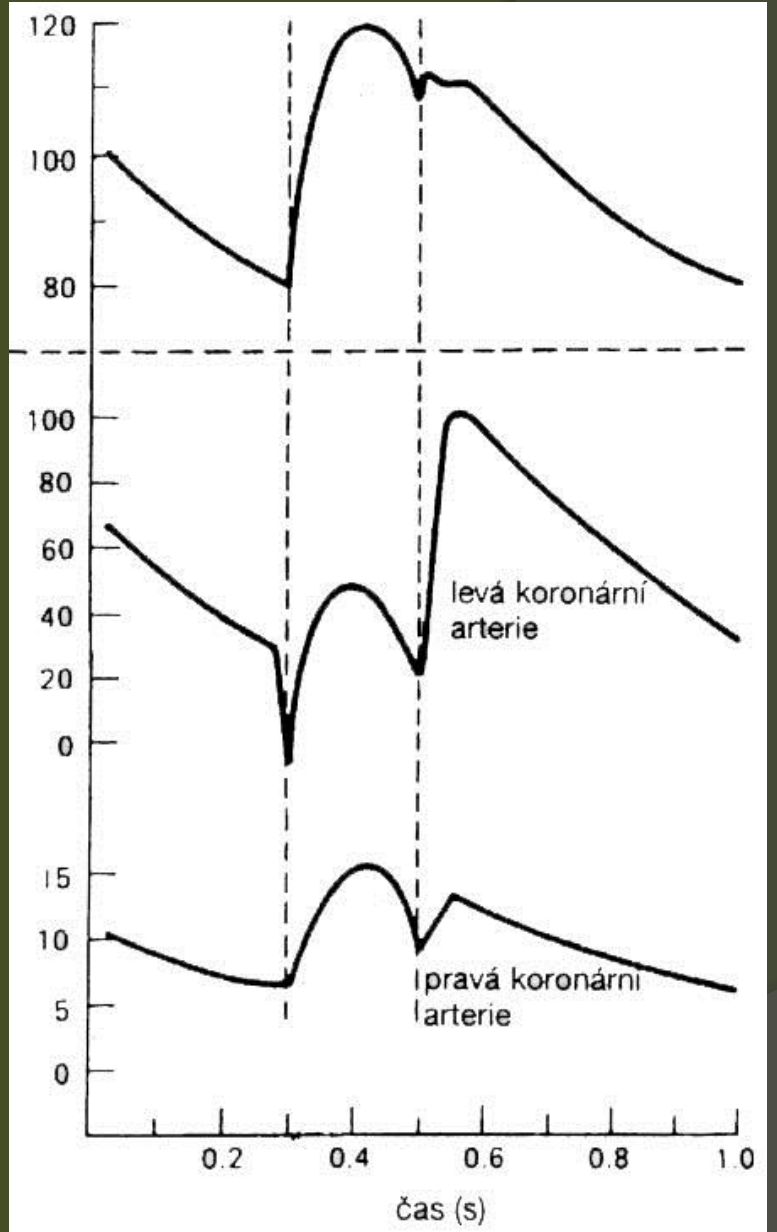
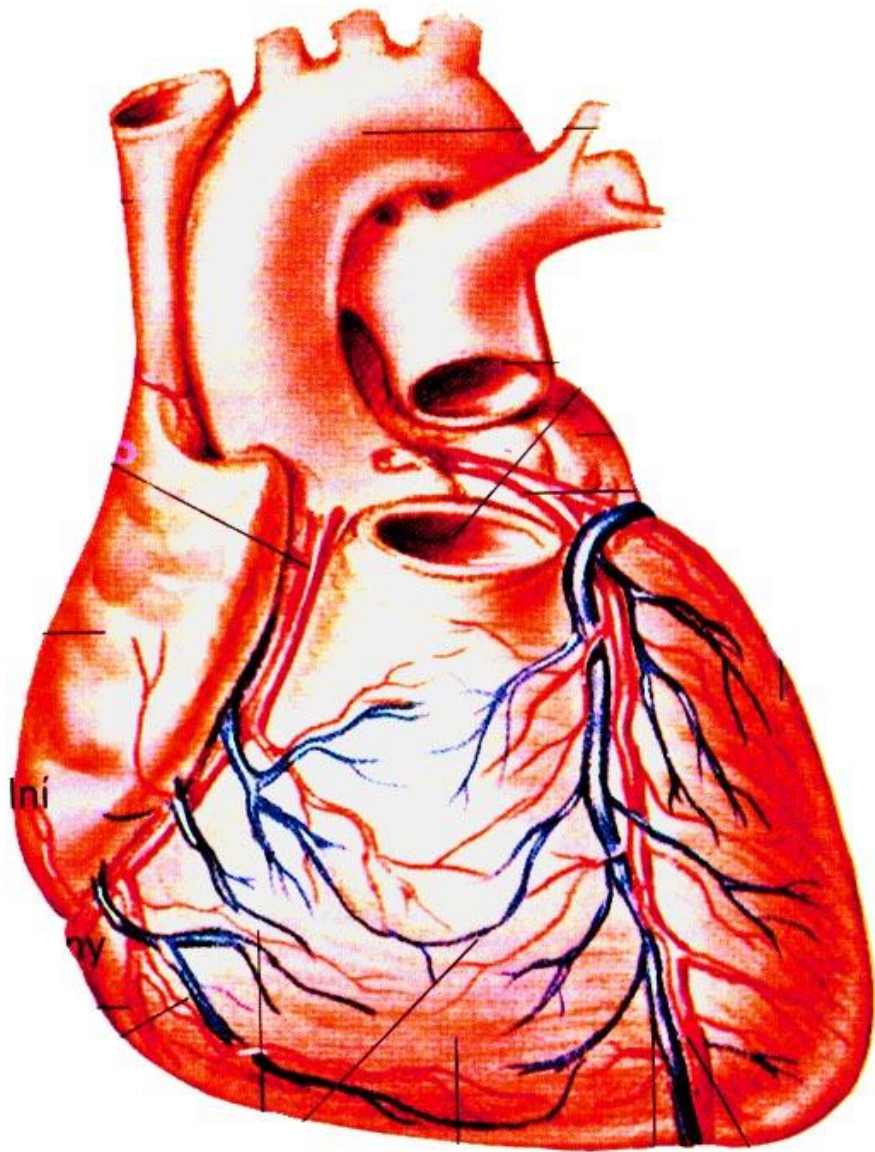
Srdeční oběh a metabolismus

Prokrvení svalů 5% MV
Zajišťují koronární cévy



Energetické zajištění srdeční činnosti

- ⊙ **ATP** – energii pro resyntézu ATP získává myokard *pouze aerobně* (za přístupu O_2)
- ⊙ základní potřeba O_2 myokardem je asi **9 ml O_2 na 100 g tkáně za minutu** = 24-30 ml O_2 za minutu celým srdcem
- ⊙ **spotřeba živin:**
 - ✓ volné mastné kyseliny
 - ✓ LA
 - ✓ glukóza
 - ✓ aminokyseliny



Infarkt myokardu



Infarktová zóna

REGULACE PRŮTOKU VĚNČITÝMI TEPNAMI

AUTOREGULACE

(vazodilatace)

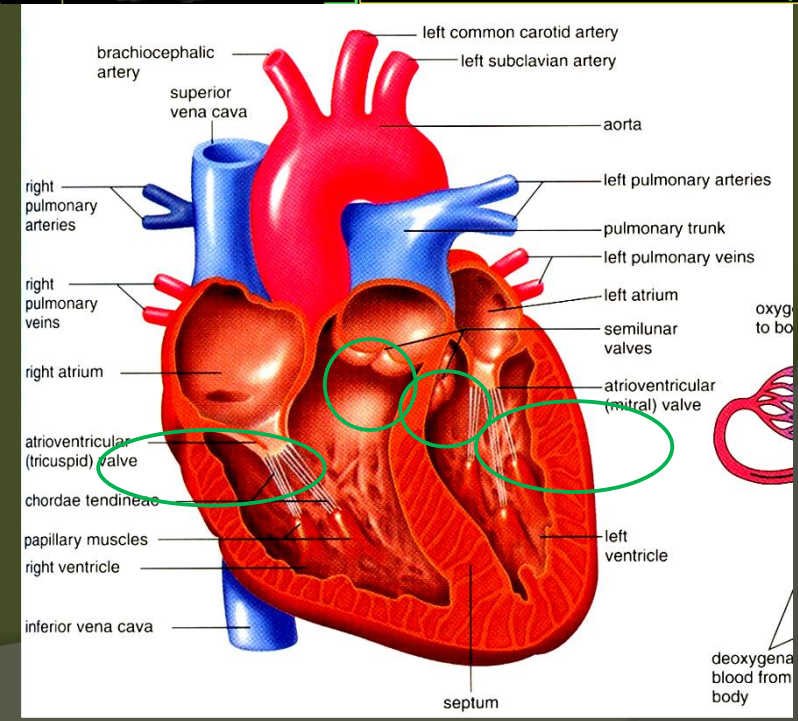
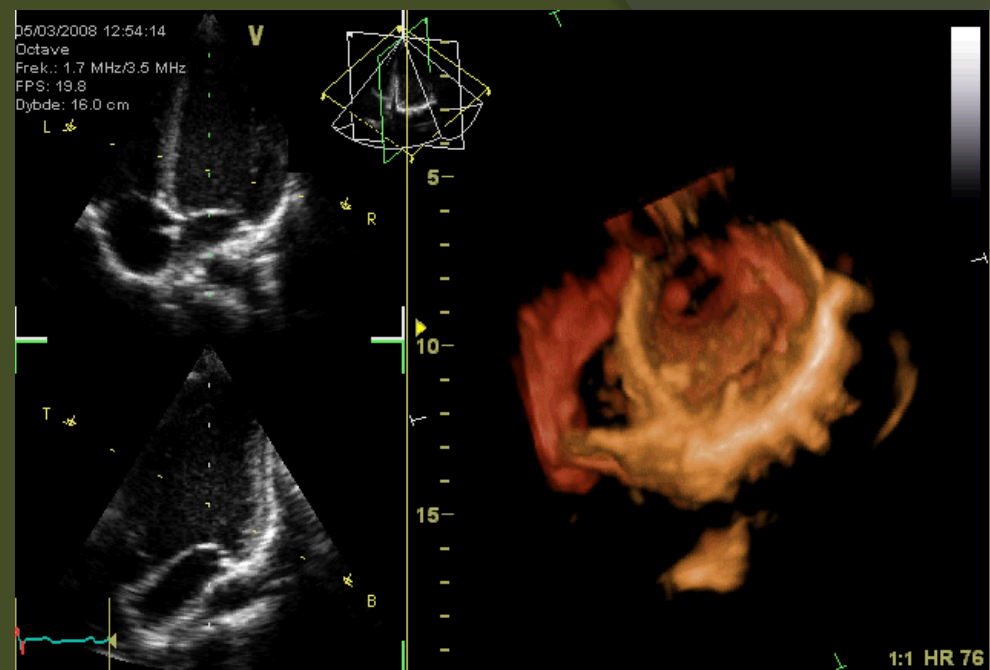
- ↓ O₂
- ↑ CO₂
- ↓ pH
- ↑ K⁺
- prostaglandiny

NERVOVÁ REGULACE

- sympatikus
 - vazodilatace
- parasympatikus
 - nepodílí se na řízení průtoku

Anatomie srdce

- **tlakové čerpadlo** – plní se krví, kterou poté vypuzuje jednosměrně do aorty (plícnice)- **srdeční chlopně**
- krev je uváděna do pohybu rytmickým střídáním kontrakce (**systola**) a relaxace (**diastola**) srdečního svalu
- Anatomicky se skládá z:
 - **pravé a levé síně**, které jsou od sebe odděleny přepážkou
 - **pravé a levé komory**, taktéž mezi sebou odděleny přepážkou
 - mezi síněmi a komorami jsou **síňokomorové cípate chlopně**
 - mezi pravou komorou a plícnicí a mezi levou komorou a aortou jsou **chlopně poloměsíčité**



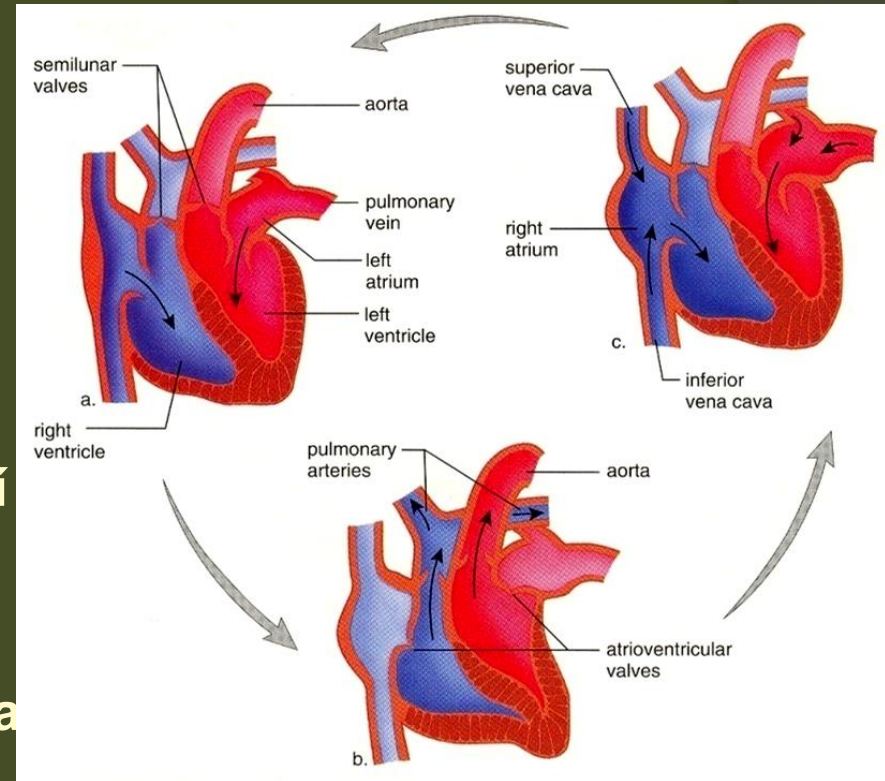
Mechanická činnost srdce

systola síní,
diastola komor

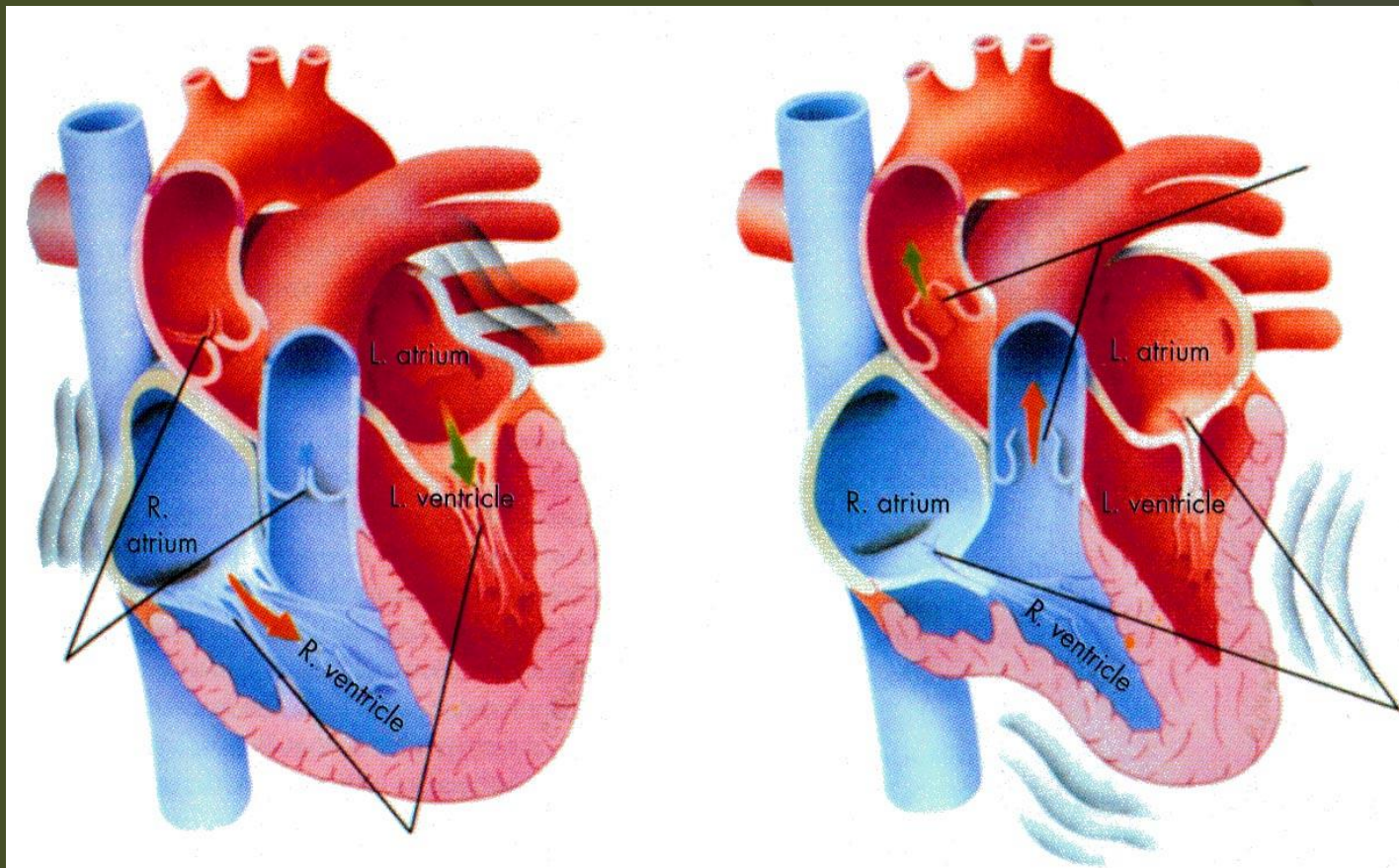
diastola síní,
diastola komor

srdeční revoluce = má dvě fáze:

- **diastola = uvolnění** (síně a komory se plní krví. Otevřené chlopně mezi síněmi a komorami, uzavřené chlopně mezi komorami a plicnicí resp. aortou)
- **systola = stah** (jednak vypuzení krve ze síní do komor, takže postavení chlopní se nemění. Poté vypuzení krve z komor do plicnice resp. aorty. Musí být uzavřené chlopně mezi síněmi a komorami a otevřené chlopně mezi komorami a plicnicí, resp. aortou)



systola komor



DIASTOLA

- izovolumická relaxace
- plnění komor

SYSTOLA

- izovolumická kontrakce
- ejekce

Řízení srdeční činnosti

1. Nervové řízení

Parasympatikus

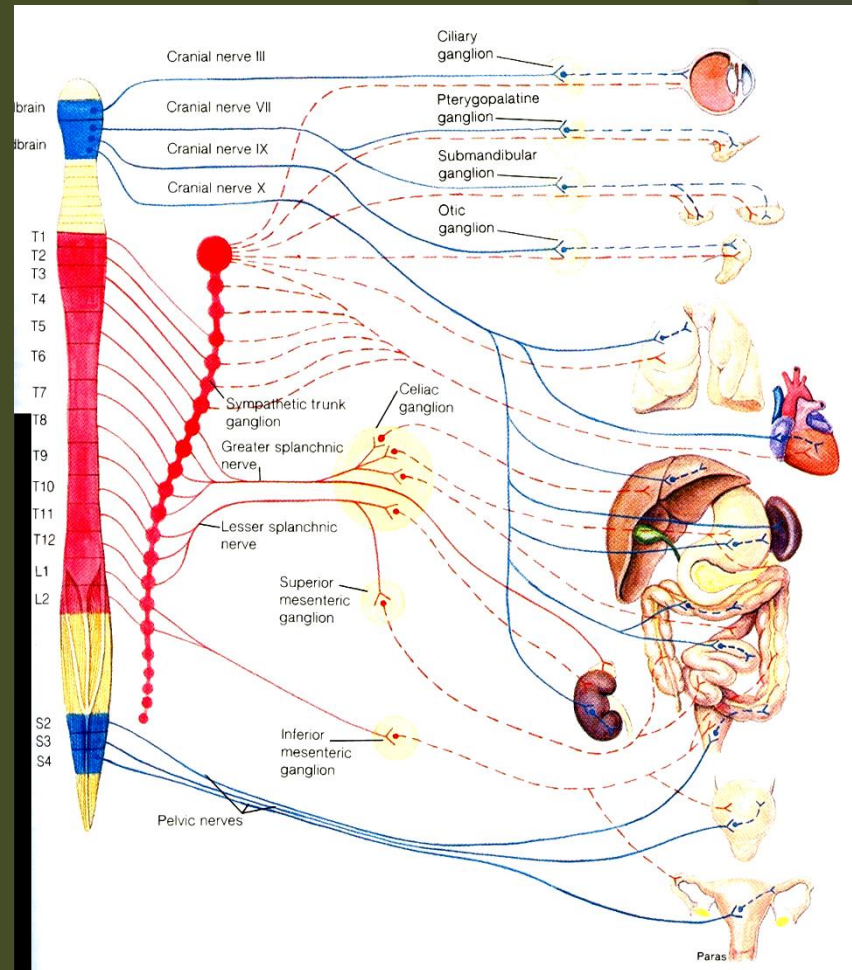


- ✓ snižuje srdeční frekvenci, sílu srdečního stahu a vzrušivost srdečního svalu

Sympatikus



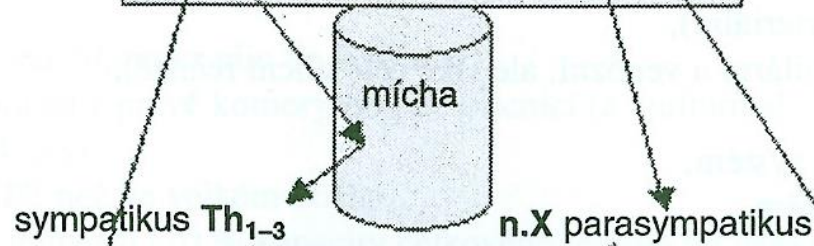
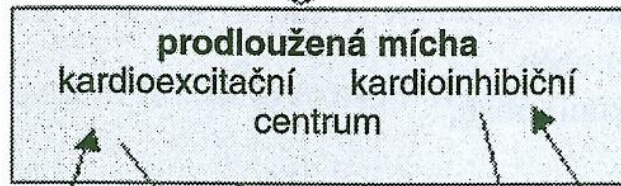
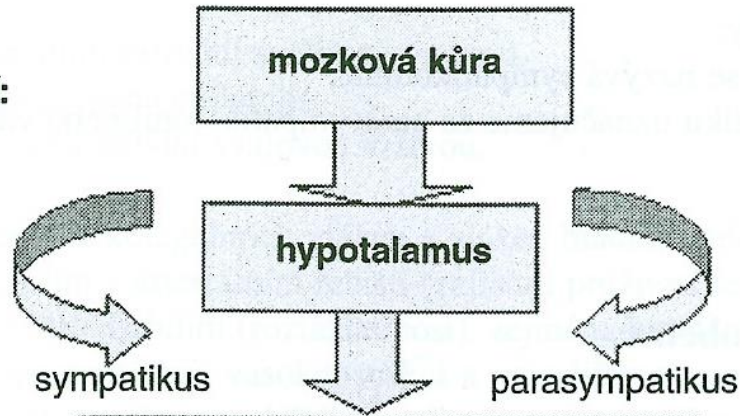
- ✓ zvyšuje srdeční frekvenci, sílu srdečního stahu i vzrušivost srdečního svalu



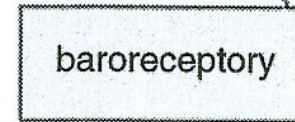
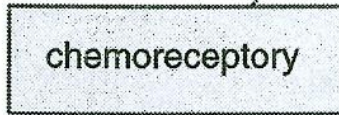
2. Humorální řízení

- **Katecholaminy** (adrenalin a noradrenalin zvyšují srdeční frekvenci)
- **Glukagon** (zvyšuje srdeční činnost)
- **Hormony štítné žlázy** (zvyšují srdeční činnosti)

Centrální řízení:



Periferní řízení:



- glomus caroticum
- paraganglion supracardiale
- ↓ pO₂ → ↑ SF (Q)

- srdeční síně
- arteriální (aorta, sinus caroticus)
- ↑ TK → ↑ tonu kardioinhibičního centra → ↓ SF

Ukazatele srdeční činnosti -

srdeční objem

Systolický srdeční objem (Q_s)

= množství krve přečerpané
jedním stahem každé
komory

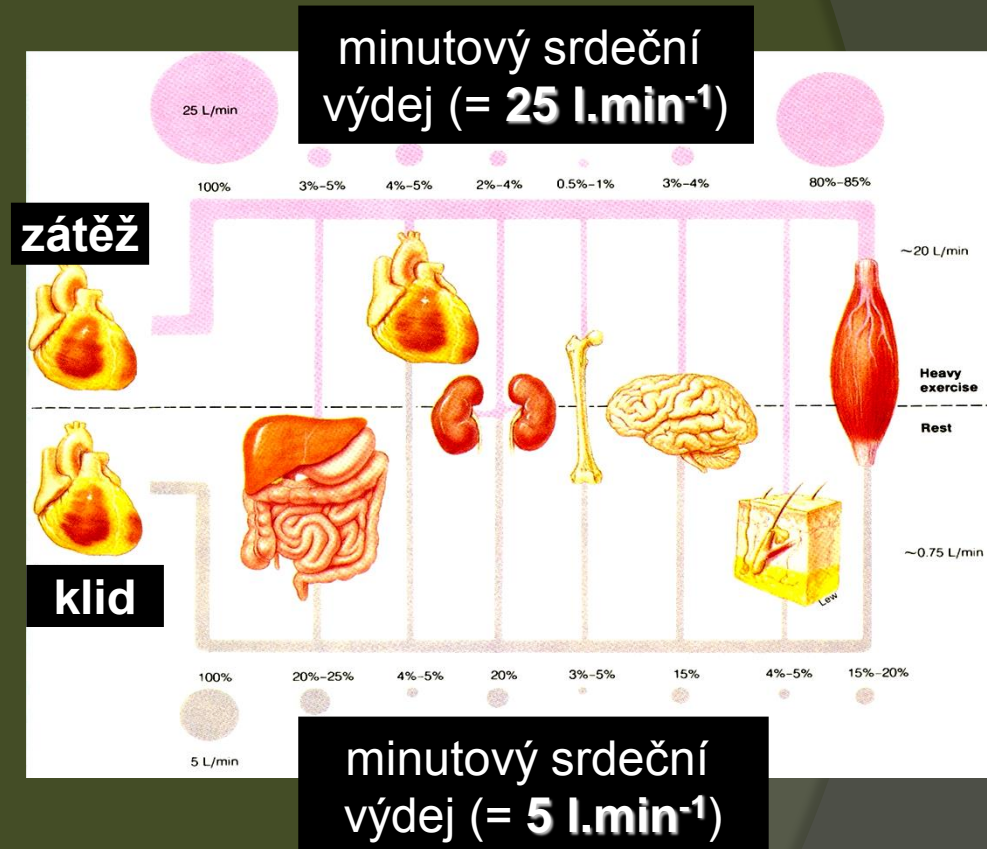
v klidu = **70 ml**

Minutový srdeční objem (\bar{Q})

= množství krve přečerpané za
časovou jednotku

výpočet: $SF \times Q_s$

$70 \text{ tep} \cdot \text{min}^{-1} \times 70 \text{ ml} = \mathbf{5 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}}$



Minutový srdeční objem - klidový

- potřeba prokrvení v pokoji vyžaduje minutový objem asi 5 litrů
- u trénovaných je Q_S vyšší, což jeho srdci umožňuje pracovat v pokoji i při stejné submaximální intenzitě zatížení nižší SF

- $Q = Q_S \times SF$

	Q_S [ml]	SF [tepů*min ⁻¹]	Q [ml]
netrénovaný	70	70	4 900
trénovaný	100	50	5 000

Srdeční frekvence

- ◎ SF, HR, TF: **70/min**
- ◎ dána aktivitou sinusového uzlíku
- ◎ ovlivňující faktory :
 - genetické dispozice (vagotonie, sympatikotonie)
 - trénovanost (vytrvalost)
 - teplota tělesného jádra (vzestup teploty o 1°- TF o 10)
 - poloha těla (vleže nižší)
 - klimatické podmínky (v chladu klesá)
 - typ tělesné zátěže (nejvyšší u submaximální intenzity)
 - psychická zátěž
 - trávení (při trávení se zvyšuje)
 - únava
 - reflexní dráždění (baroreceptory, chemoreceptory)
 - látkové vlivy (hormony, stimulancia , př. adrenalin, kofein, efedrin)

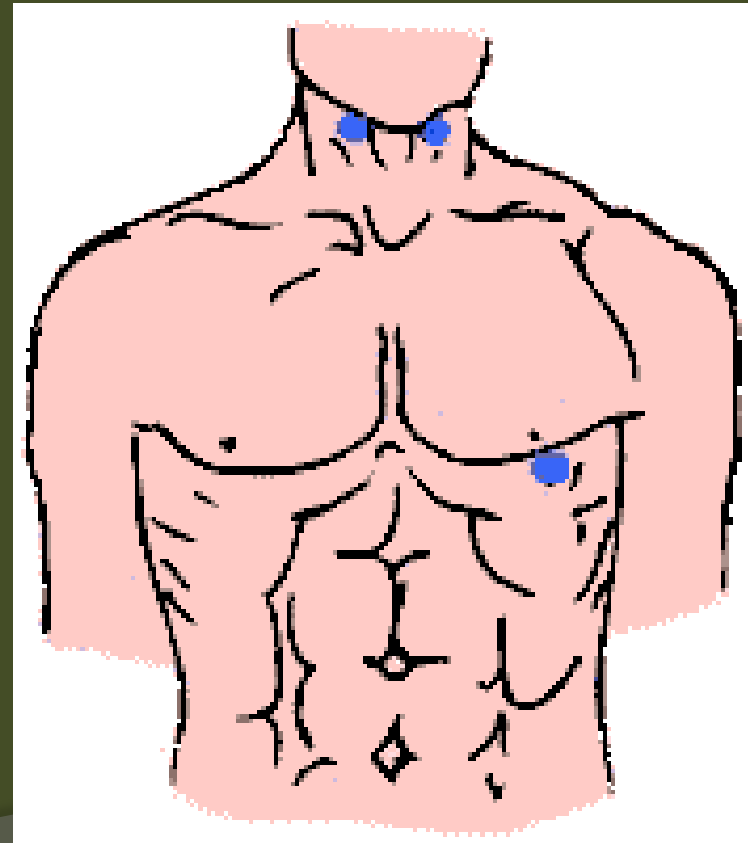
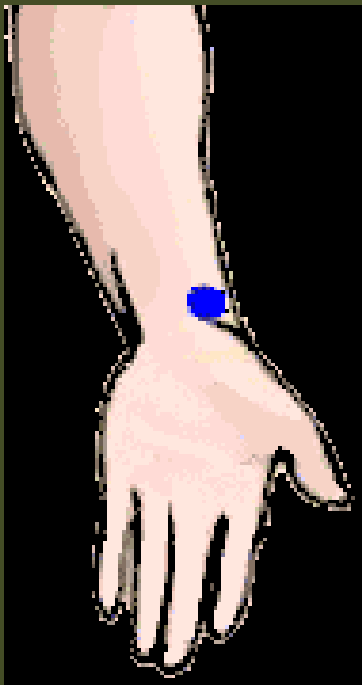
Průměrné hodnoty SF max

VĚK	MUŽI	ŽENY
18	194±10	197±7
25	191±9	194±8
35	186±10	188±9

$$SF_{\max} = 220 - \text{věk}$$

Zjišťování SF

- Tep se nejčastěji zjišťuje v místech, kde tepny procházejí blízko kožního povrchu, například na tepně vřetení na zápěstí, na krkavici ad.- **palpační metoda**



KARDIOVASKULÁRNÍ HODNOTY

SRDEČNÍ FREKVENCE

U zdravých stoupá se vzrůstajícím fyzickým zatížením lineárně až do oblasti **submaximálních intenzit**; od úrovně 75-85% maxima dochází k pozvolnému zpomalení vzestupu až na úroveň maximální srdeční frekvence; na této úrovni je možno setrvat ještě několik minut.

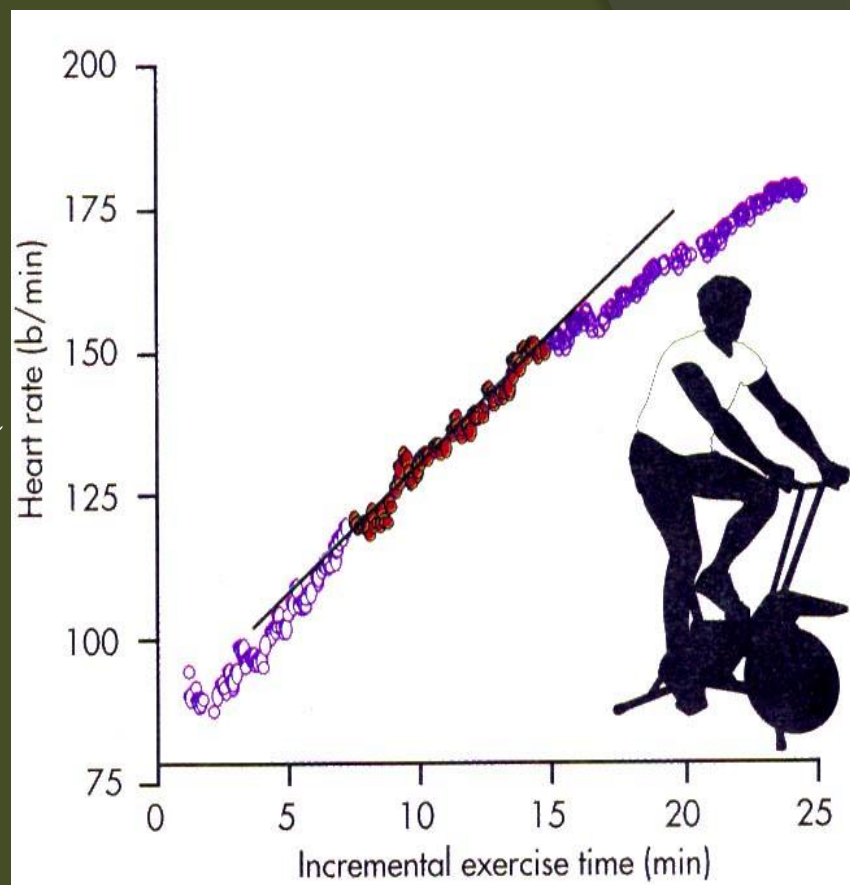
Vzrůst srdeční frekvence je provázen vzestupem spotřeby kyslíku i minutového srdečního objemu.

Submaximální hodnoty 75-85% SF_{max} určuje se podle vzorce: $200 - \text{věk}$

Maximální hodnoty. SF_{max} určuje se podle vzorce $220 - \text{věk}$:

Tréninková“ (rehabilitační) tepová frekvence:

60 -70 % hodnoty tolerované pacientem / SF sl/. 180- věk



- ◎ srdeční frekvence : **70/min**
- ◎ systolický objem = tepový objem): **70 ml**
- ◎ minutový objem srdeční = srdeční výdej : **5 l/min**
- ◎ TEPOVÝ KYSLÍK : **6 – 8 ml**

VO₂:SF

- *množství kyslíku dodané tkáním jedním tepem*
- *ukazatel výkonnosti i ekonomiky práce transportního systému*

(čím vyšší, tím příznivější)

- ◎ ejekční frakce **60 %**
 - poměr mezi objemem krve v komoře na konci diastoly (120 ml) a systolickým objemem (70 ml)

Krevní oběh

složka transportního kardiorespiračního systému
změny:

- reaktivní – bezprostřední reakce organismu
- adaptační – výsledek dlouhodobého opakovaného tréninku

srdeční frekvence – dynamika změn

fáze úvodní = ↑ TF před výkonem

- ◎ mechanismus: **emoce** (více u osob netrénovaných) a **podmíněné reflexy** (převládají u trénovaných osob)

startovní a předstartovní stavy

srdeční frekvence – dynamika změn

fáze průvodní = při vlastním výkonu roste TF nejdřív rychle (fáze iniciální),
→ zpomalení, → ustálení (rovnovážný stav)

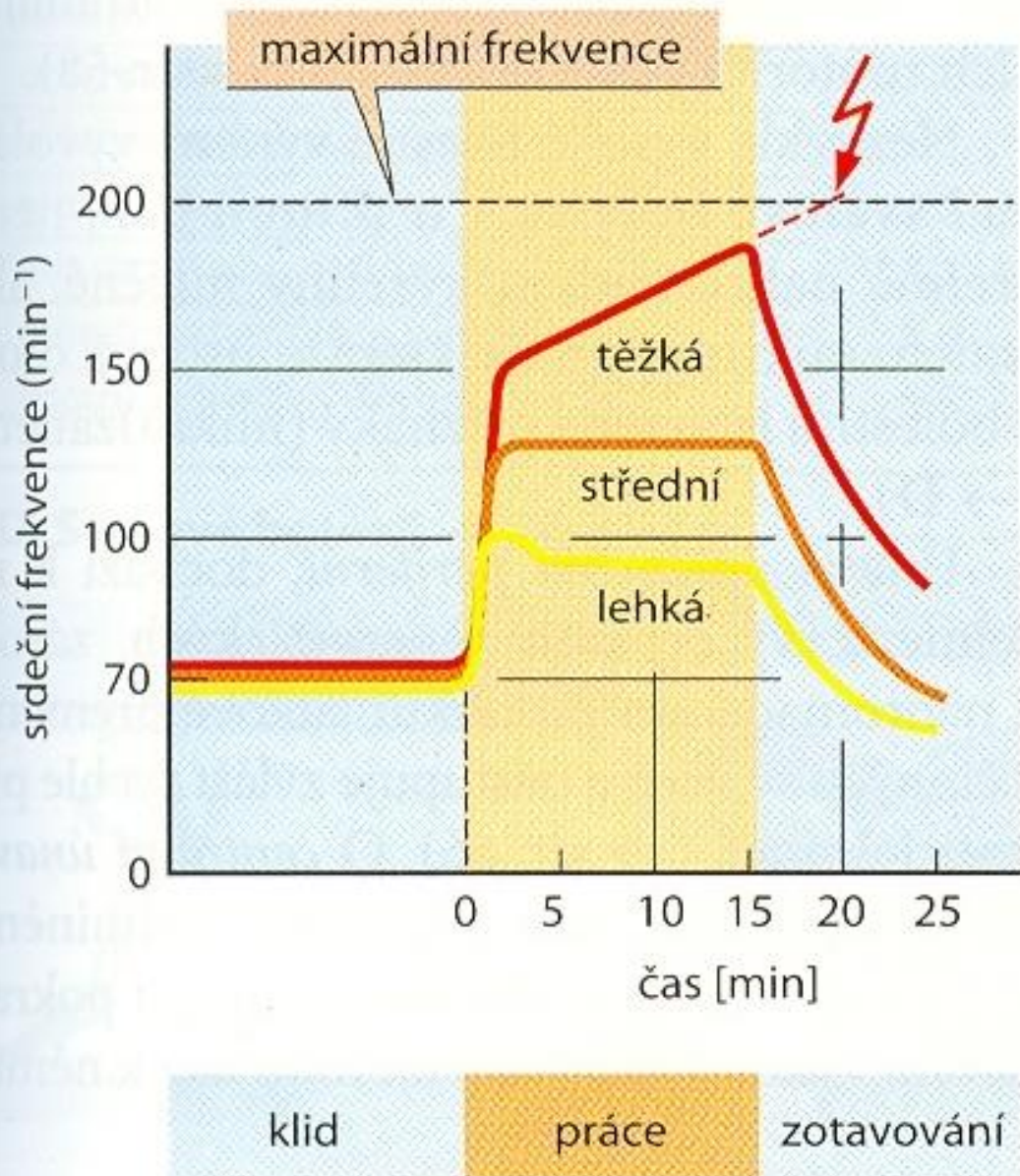
- ◎ mechanismus: podmíněné a nepodmíněné reflexy, tělesná teplota, hormonální a látkové změny v krvi

srdeční frekvence – dynamika změn

fáze následná = návrat TF k výchozím hodnotám, zpočátku rychleji, postupně pomalejší

- ◎ mechanismus: nepodmíněné reflexy, látkové změny v krvi vycházející ze svalů

B. Srdeční frekvence při různě náročné tělesné práci



Změny reaktivní - systolický objem

- ⊙ klidové hodnoty 60-80 ml
- ⊙ při výkonu zvýšení na 120-150 ml, nejdříve rychlý nárůst, pak zpomalení a ustálení, max. hodnoty při TF 110-120
- ⊙ závisí na rozměrech, kontraktilitě myokardu, plnění srdce a periferním odporu

Změny reaktivní - minutový objem srdeční

- ⊙ klidové hodnoty kolem 5 litrů/min
- ⊙ při výkonu zvýšení na 25-35 litrů/min
- ⊙ roste s minutovou spotřebou kyslíku

tepový kyslík = minutová spotřeba kyslíku

- ⊙ klidové hodnoty **6-8 ml**
- ⊙ při maximálním zatížení zvýšení na **15 ml**, u žen je nižší

Index W170 = výkon, kterého by jedinec dosáhl při TF 170

- ⊙ lineární závislost TF na intenzitě zátěže

Cévy

◎ tepny, vlásečnice, žíly

při zátěži - redistribuce krve v cévním řečišti na podkladě kompenzační vasokonstrikce, v některých orgánech splachnické oblasti a vylučovacího systému **vasokonstrikce**, tzn. ↓ průtoku (zpočátku i v kůži),

ve svalech, srdci **vasodilatace**, tzn. ↑ průtoku

zásobení CNS konstantní, pro odvod tepla později vasodilatace v kůži

REAKCE NA ZÁTĚŽ

- SRDEČNÍ FREKVENCE 
- SYSTOLICKÝ OBJEM 
- SRDEČNÍ VÝDEJ 
- KONTRAKTILITA 
- EJEKČNÍ FRAKCE 

Adaptační změny

◎ souvisejí s trénovaností

1. strukturální změny

2. funkční změny

Trénovaný jedinec - strukturální změny

srdce

- ⊙ fyziologická hypertrofie a dilatace
- ⊙ ↑ hmotnosti

cévy

- ⊙ ↑ množství kapilár ve svalech

Fyziologická hypertrofie srdce

u vytrvalostního tréninku

hypertrofie **excentrická** = dilatace komor

u silového tréninku

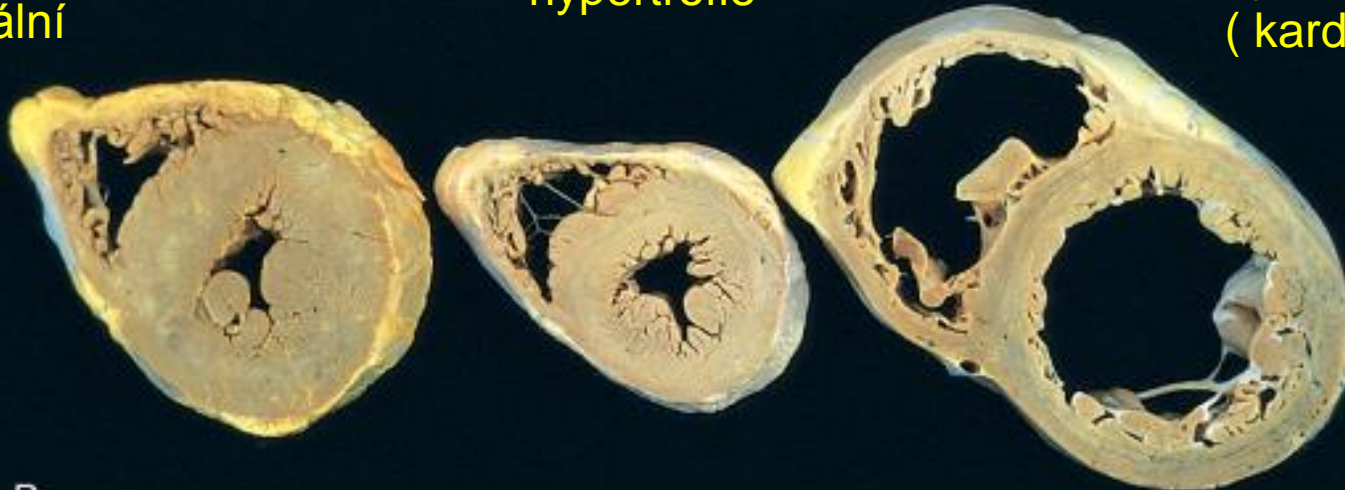
hypertrofie **koncentrická** = ↑ tloušťka stěn, ale zmenšení dutin

Dosažení trvá několik let. Běžné u vrcholových sportovců u rekreačních výjimečné.

normální

koncentrická
hypertrofie

excentrická
hypertrofie
(kardiomyopatie)



B

Hypertrofie a dilatace srdce



**fyziologický
myokard**



**koncentrická
hypertrofie**



**excentrická
hypertrofie**

Trénovaný jedinec - funkční změny

↓ klidové TF =

sportovní bradykardie

⊙ extrémní hodnoty 30-35 tepů/min

↑ klidového systolického objemu

na 80-100 ml

⊙ při zátěži až 150-200 ml

↑ max. minutový objem (zátížení)

až 35 l/min

ADAPTACE NA ZÁTĚŽ

- SRDEČNÍ FREKVENCE ↓
- SYSTOLICKÝ OBJEM ↑ 100-120 ml
- SRDEČNÍ VÝDEJ ↔
- KONTRAKTILITA ↑
- EJEKČNÍ FRAKCE ↑