



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

MUDr.K.Kapounková, Ph.D.

# 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 :

Možek : 13% MV

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

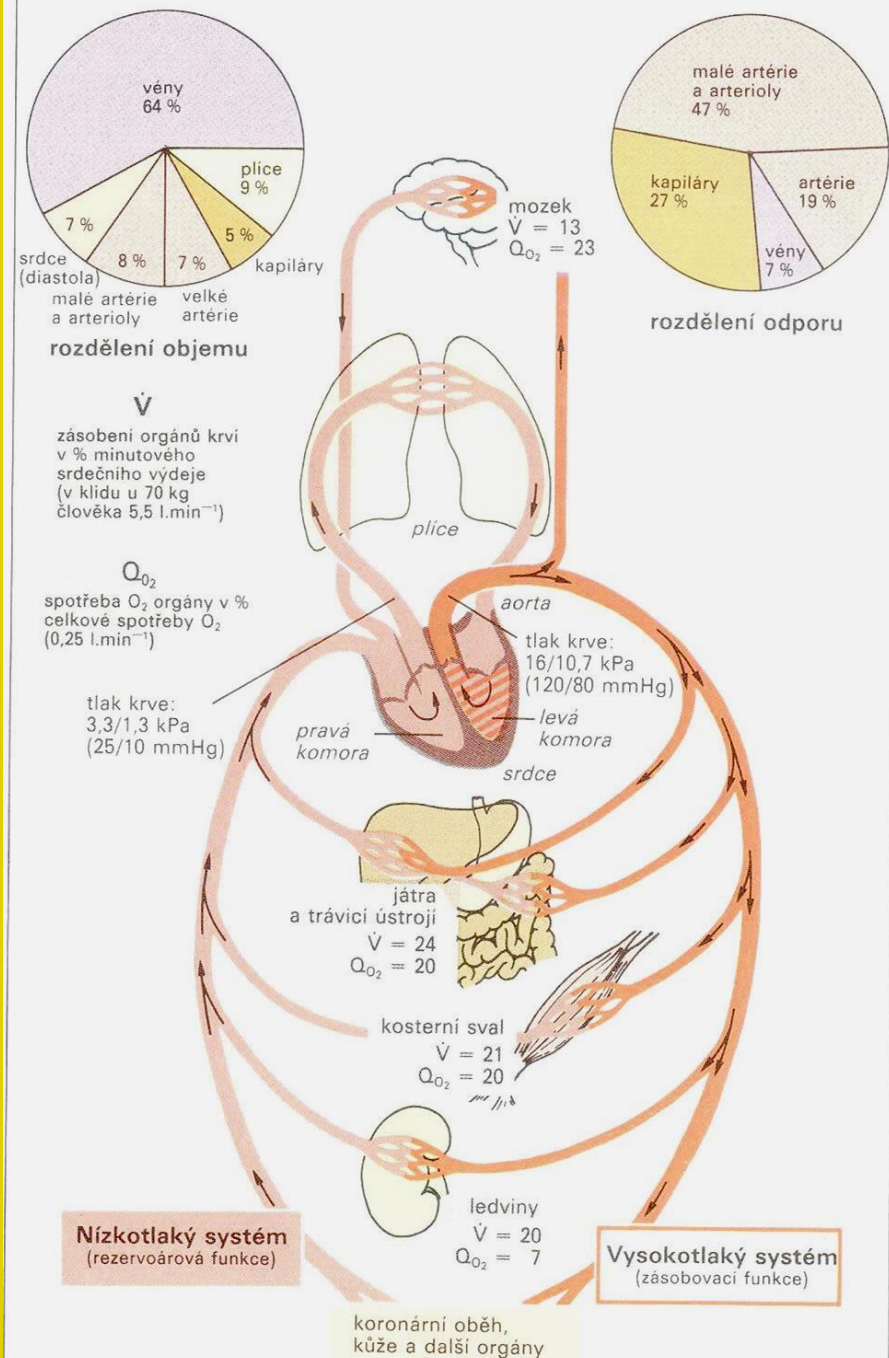
Ledviny : 20 – 25% MV

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

# Regulace průtoku

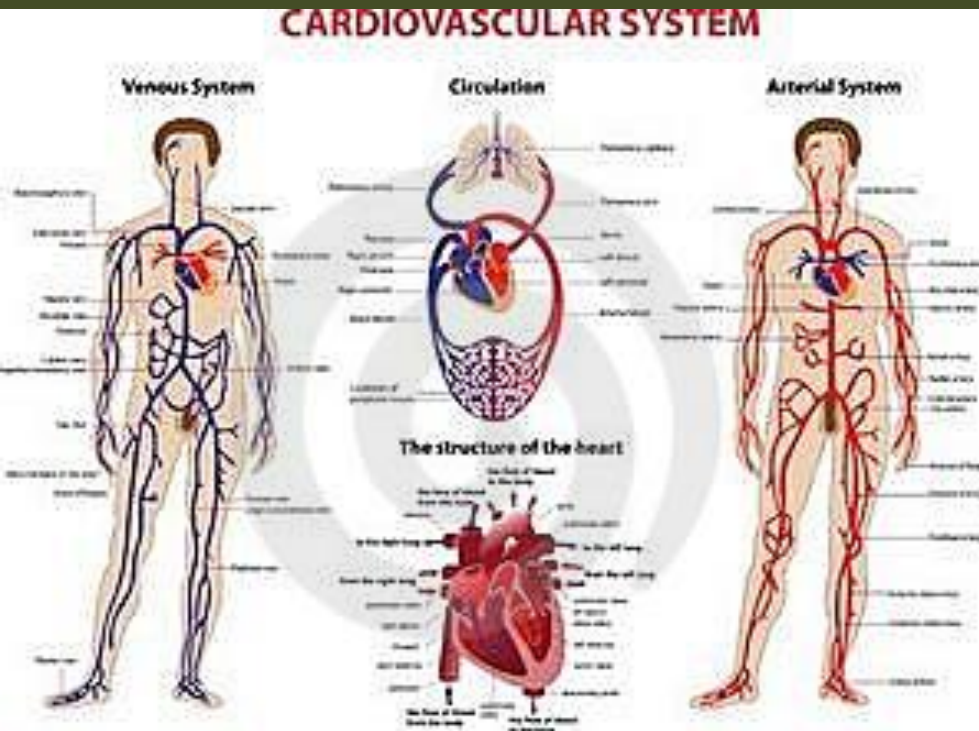
## vegetativní nervový systém

(sympatikus X parasympatikus)

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

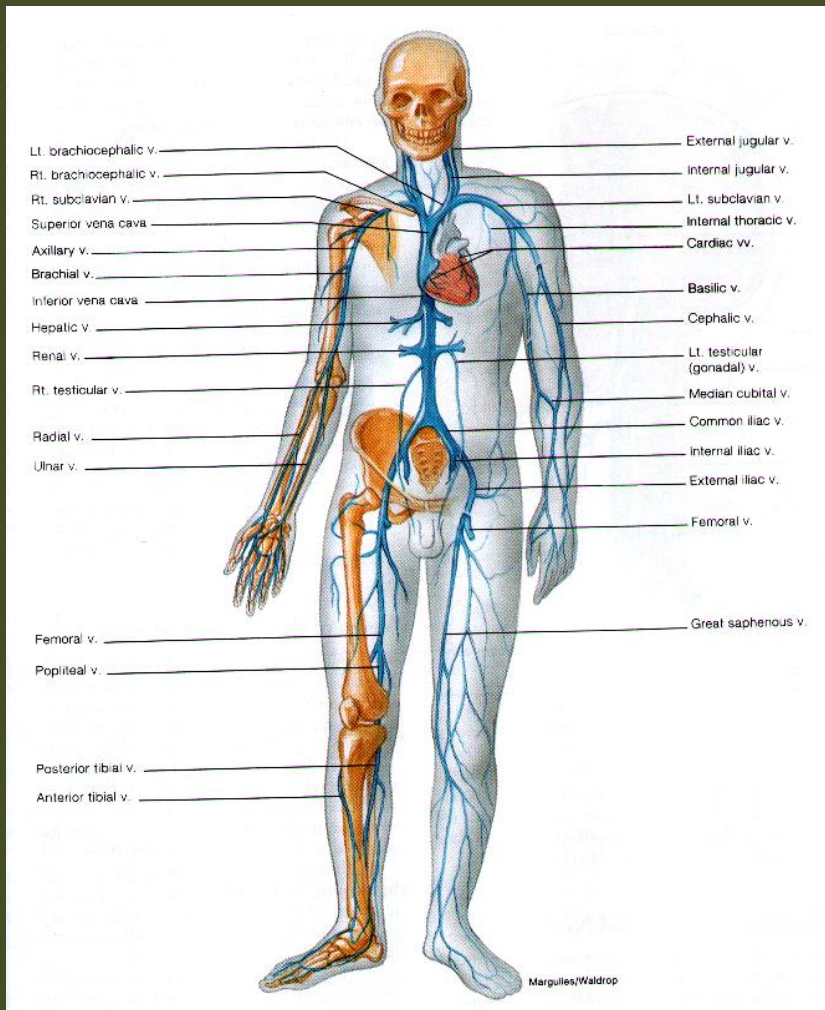
metabolická autoregulace:  $\text{CO}_2$ , ADP, laktát,  
↓ pH, histamin => **vasodilatace ve svalech**

# TEPENNÝ SYSTÉM



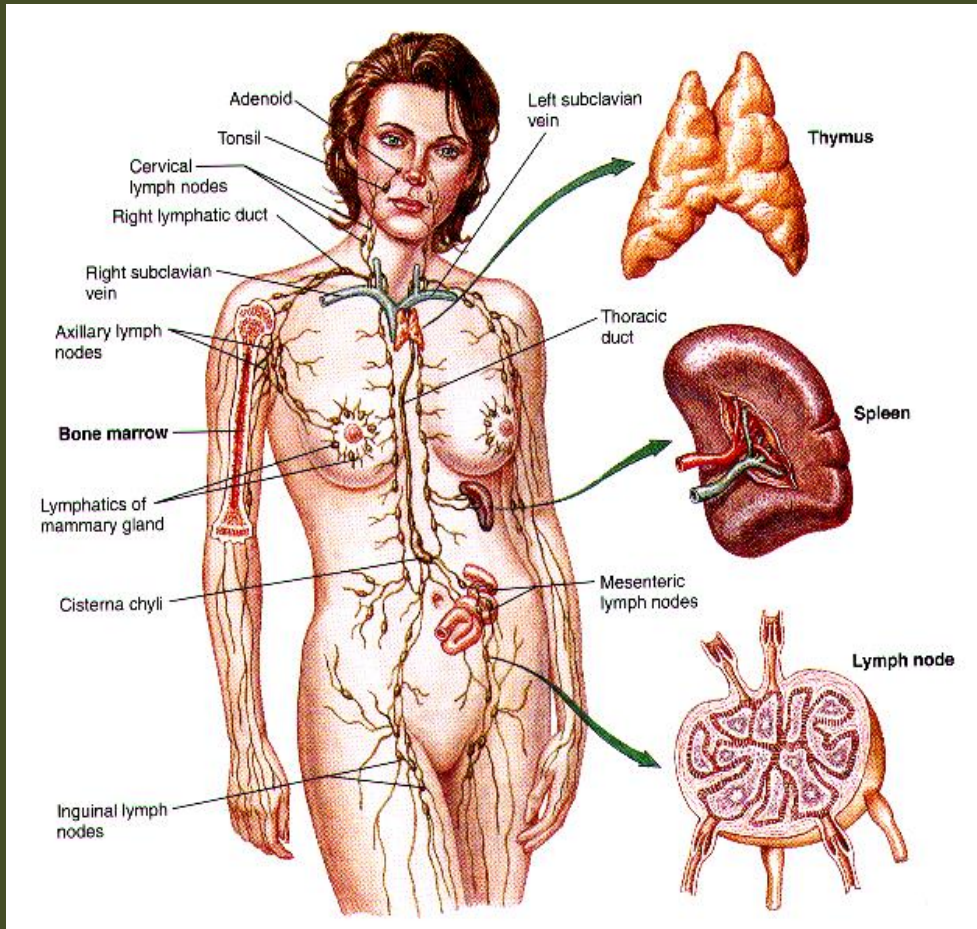
- **ze** srdce do dalších částí těla
- v systémovém (velkém, tělním) krevním oběhu mají tepny silnou stěnu
- tlakový pulz = přechodné zvýšení tlaku v aortě při systole levé komory (výše systolického krevního tlaku)

# 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)

# LYMFATICKÝ 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

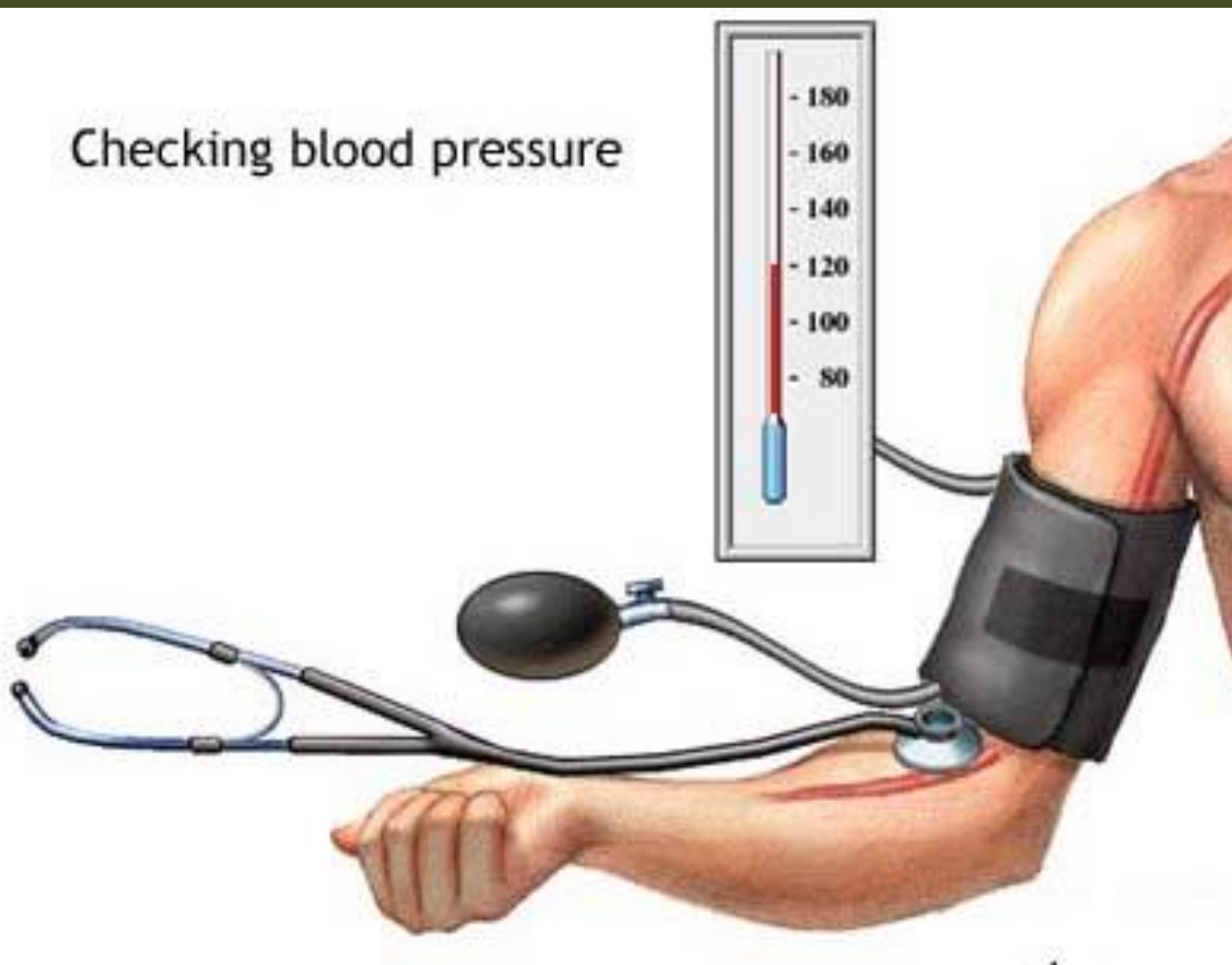


# Krevní tlak (TK)

- ⦿ 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

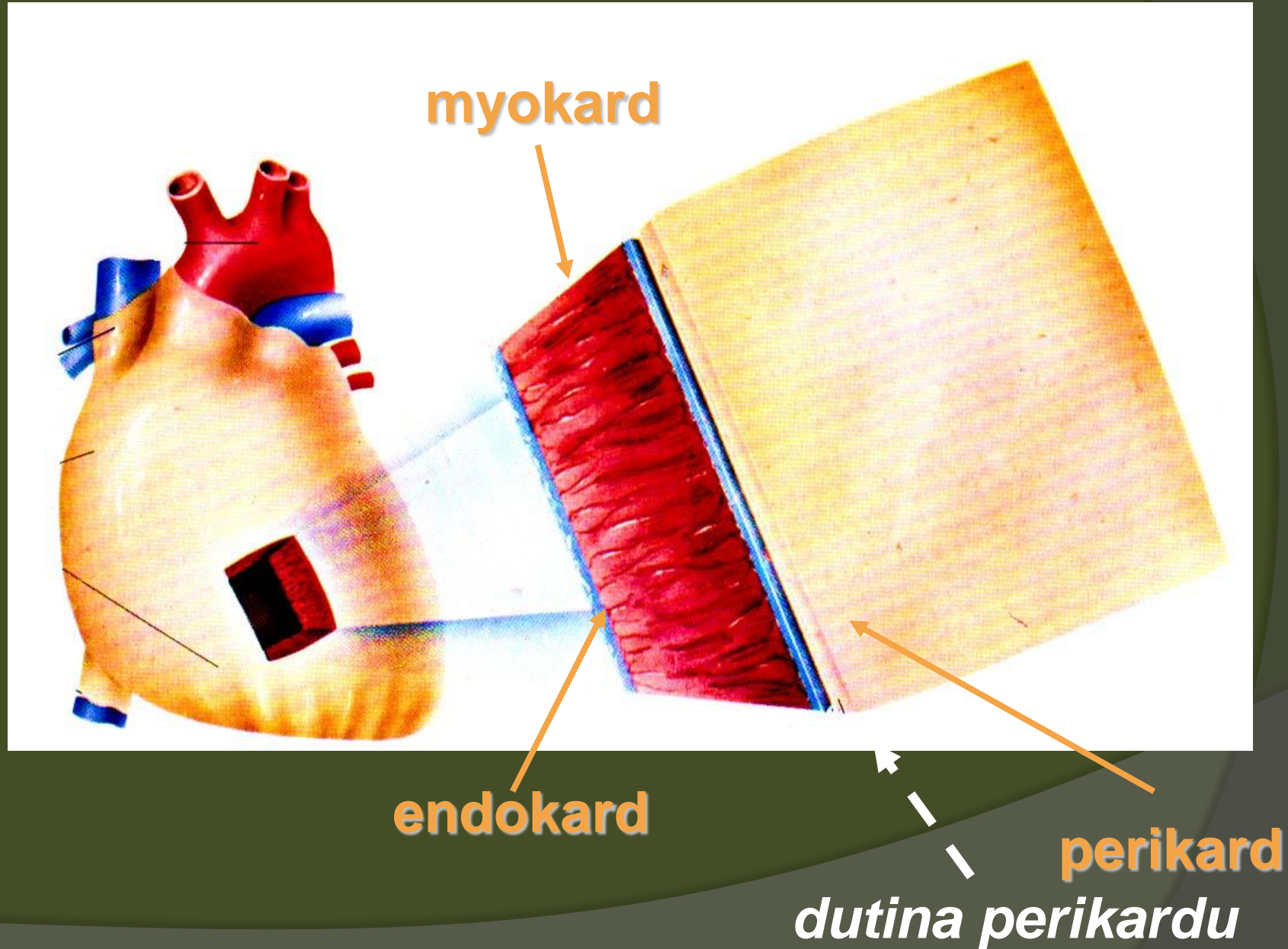
# Hypertenze

- 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 :**

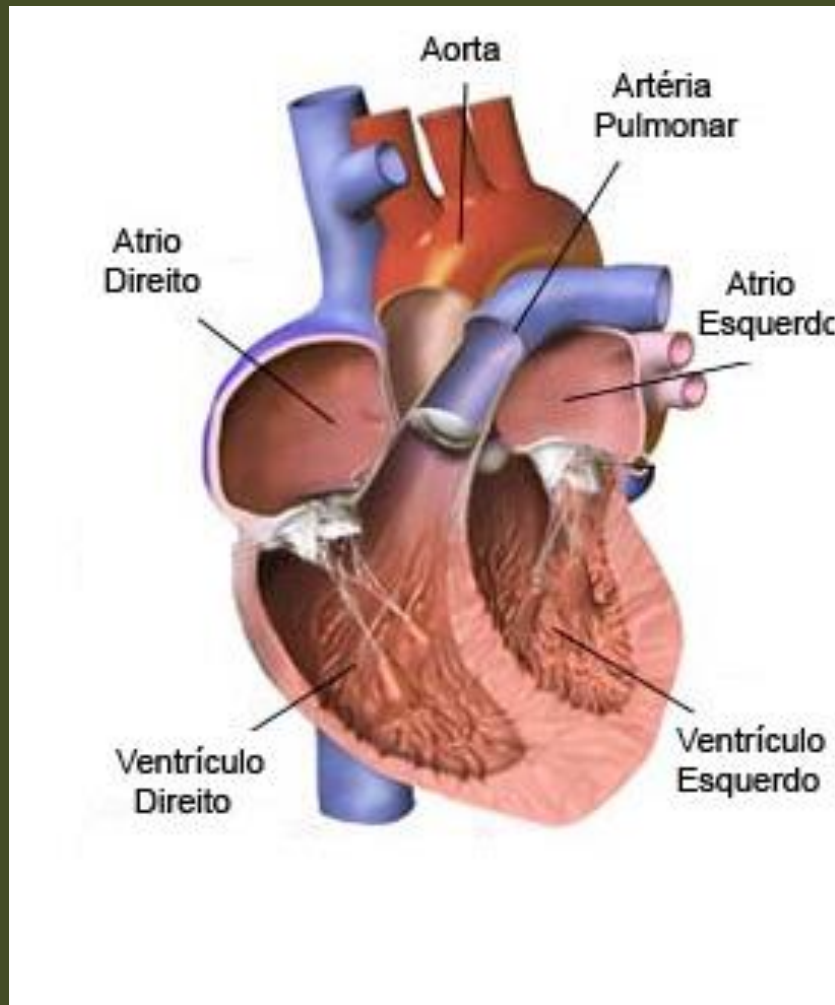
Muž - asi 300g

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)

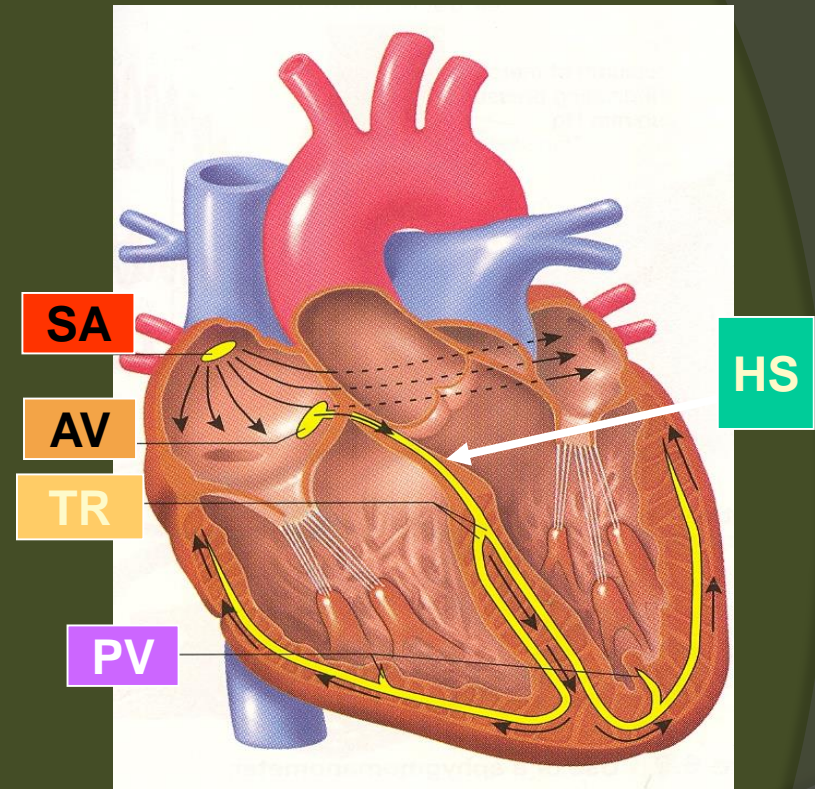
# Převodní systém srdeční

= dává podnět a zajišťuje jeho šíření srdečním svalem

- **SA** (sinusový uzel) – sám tvoří vzruchy pro srdce s frekvencí 80x za minutu
- **AV** (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**)

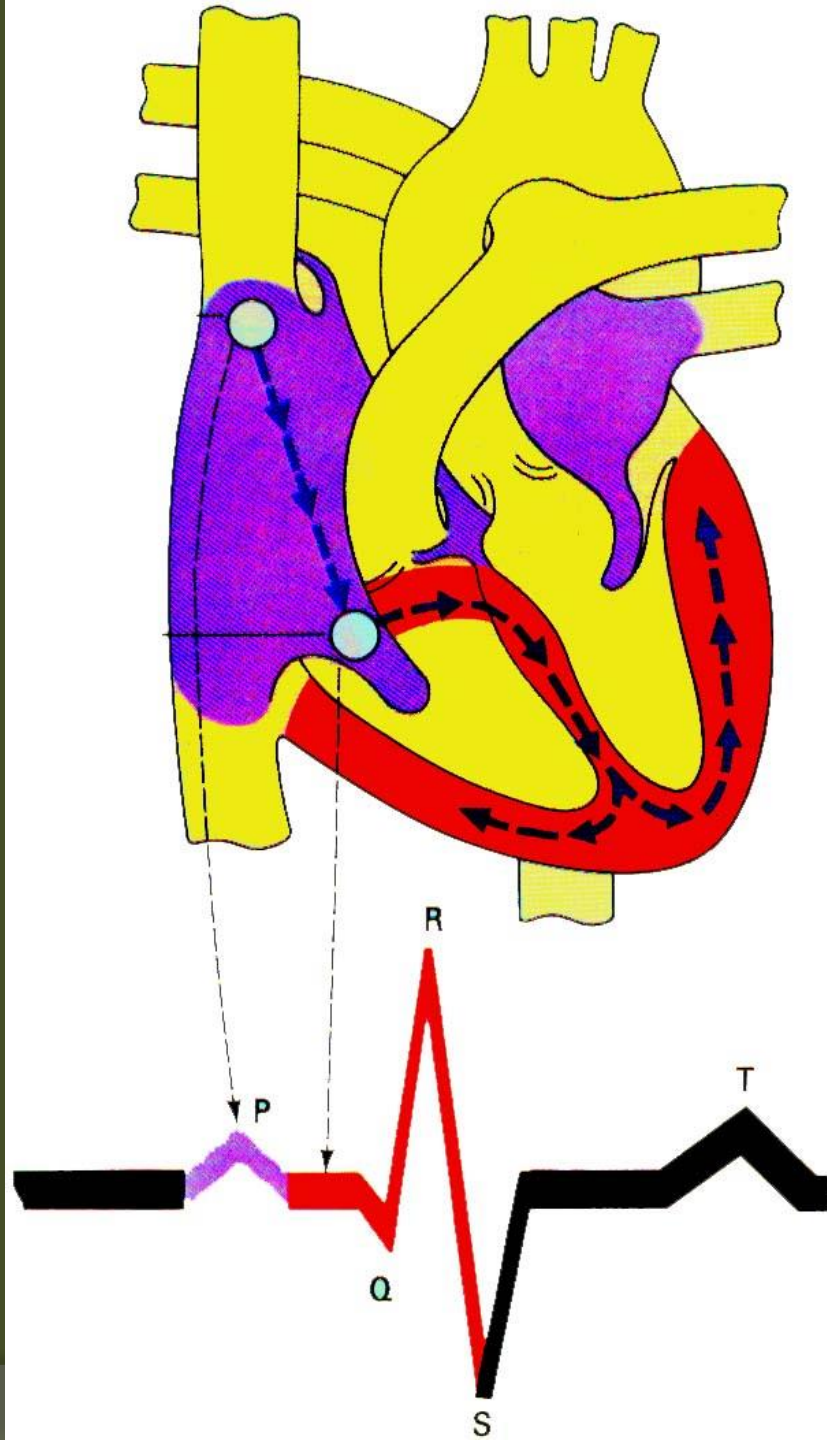


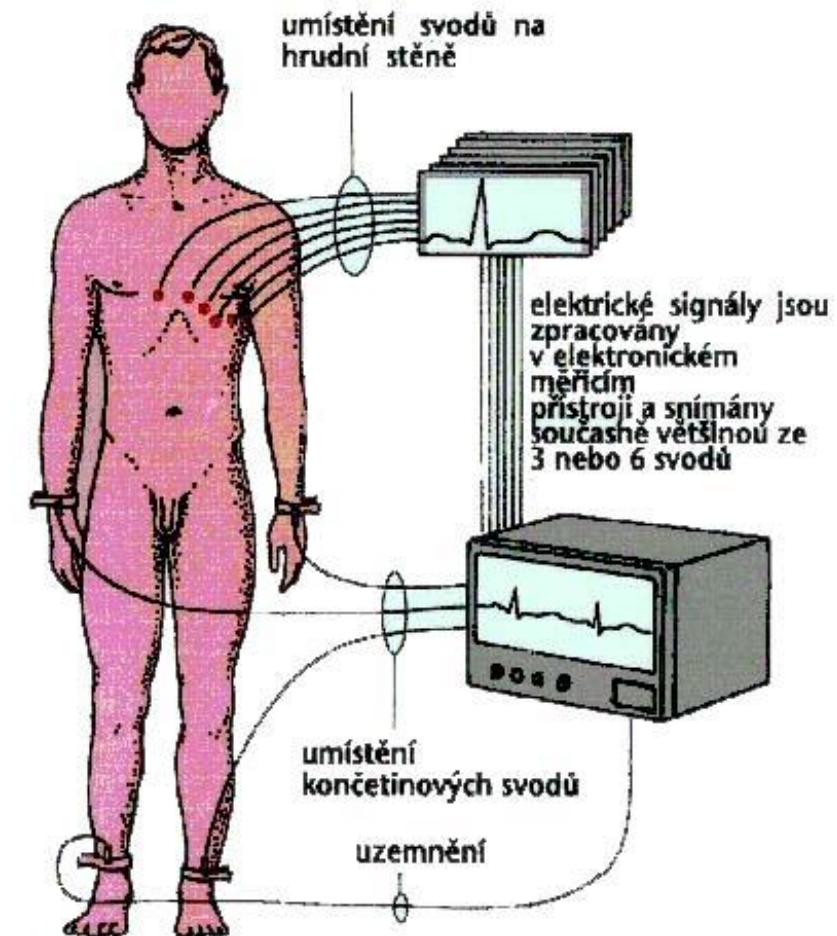
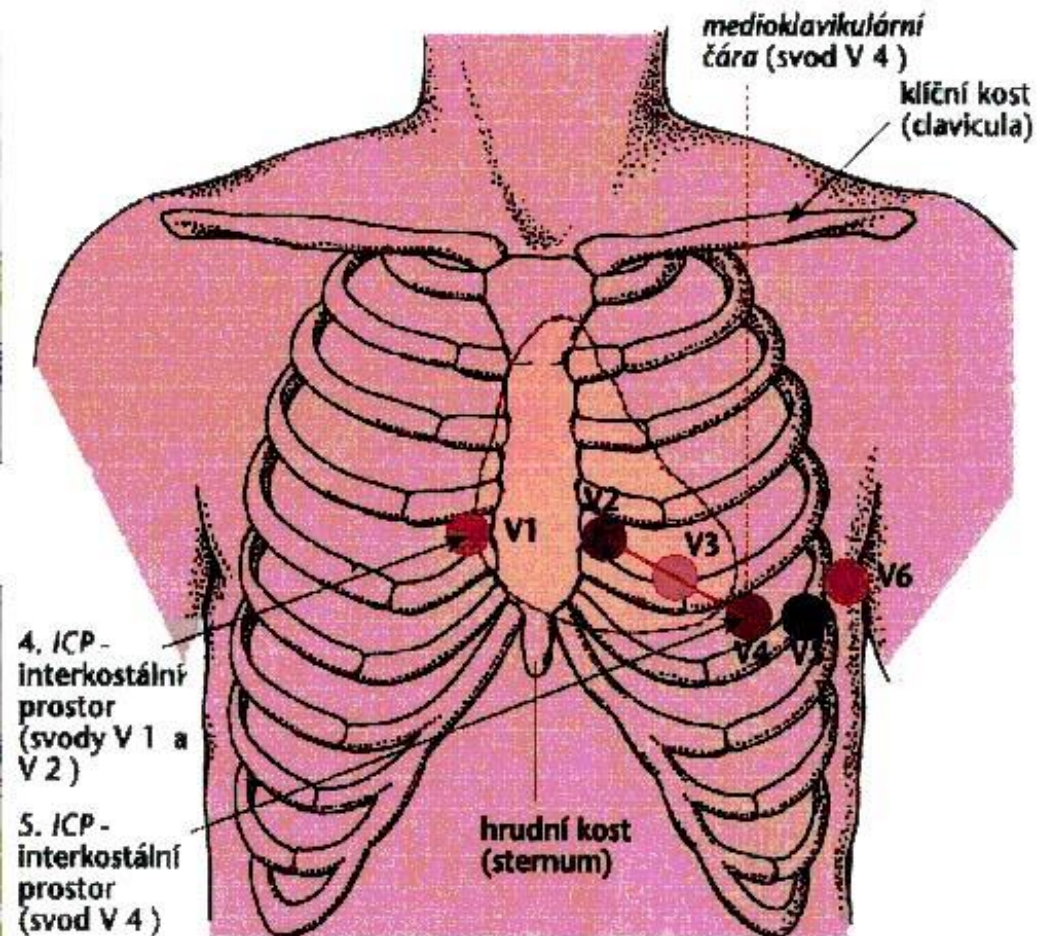
**Vzruch se šíří:**

od endokardu k epikardu

od hrotu k bázi

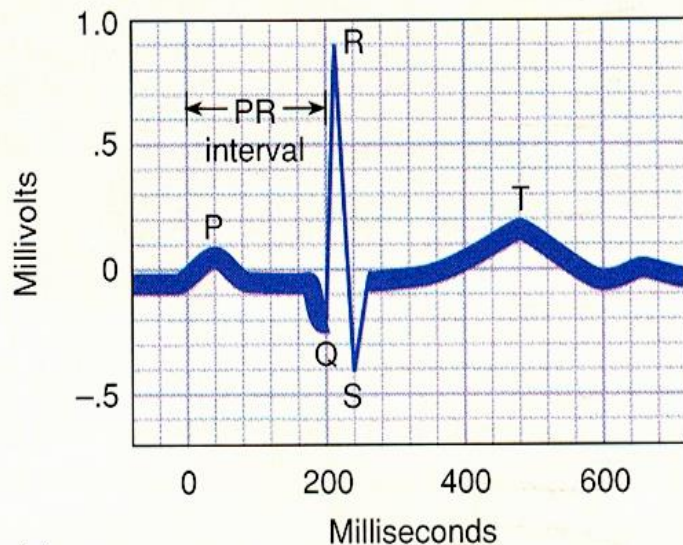
vzniká tak synchronní aktivace  
myokardu – systola komor.





# Elektrokardiografická křivka

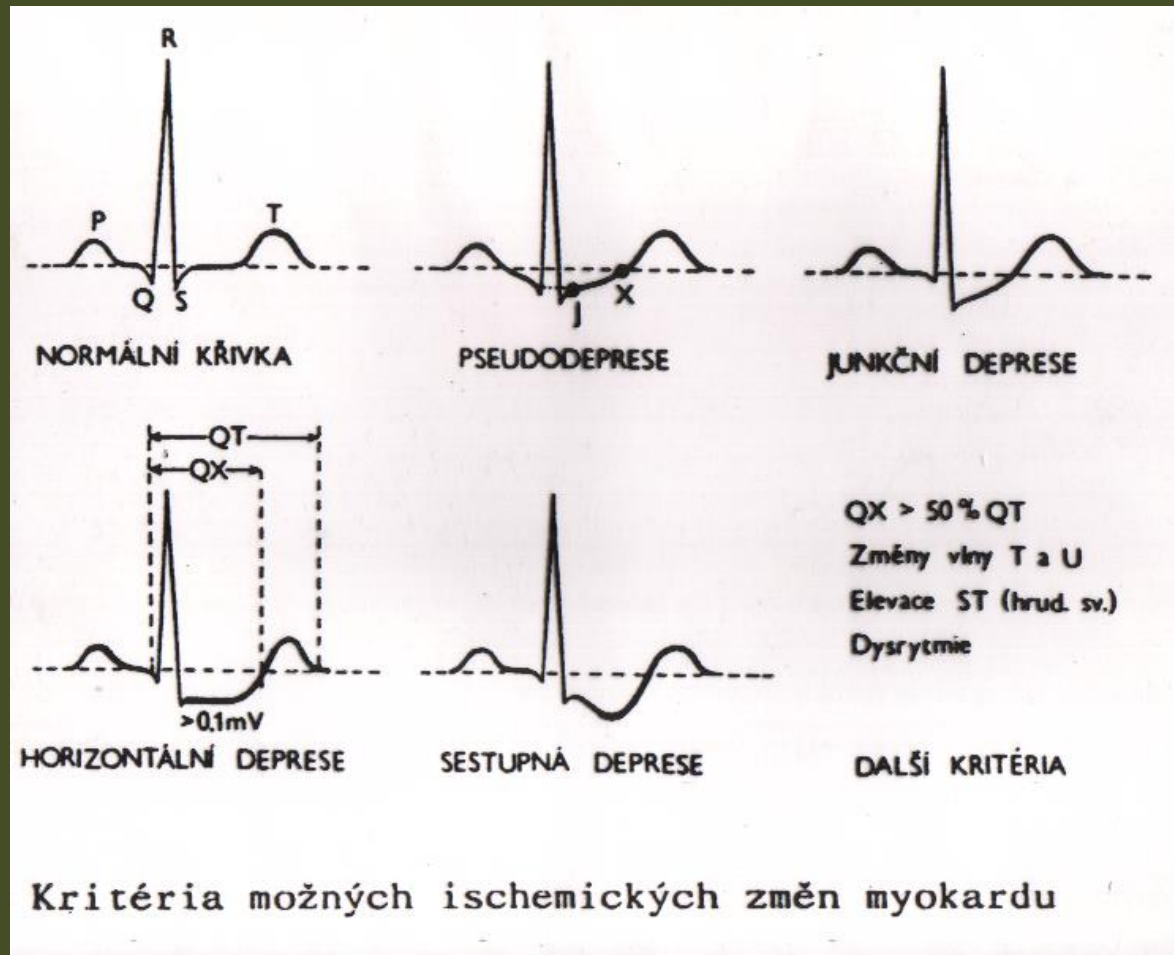
= elektrická aktivita srdce



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

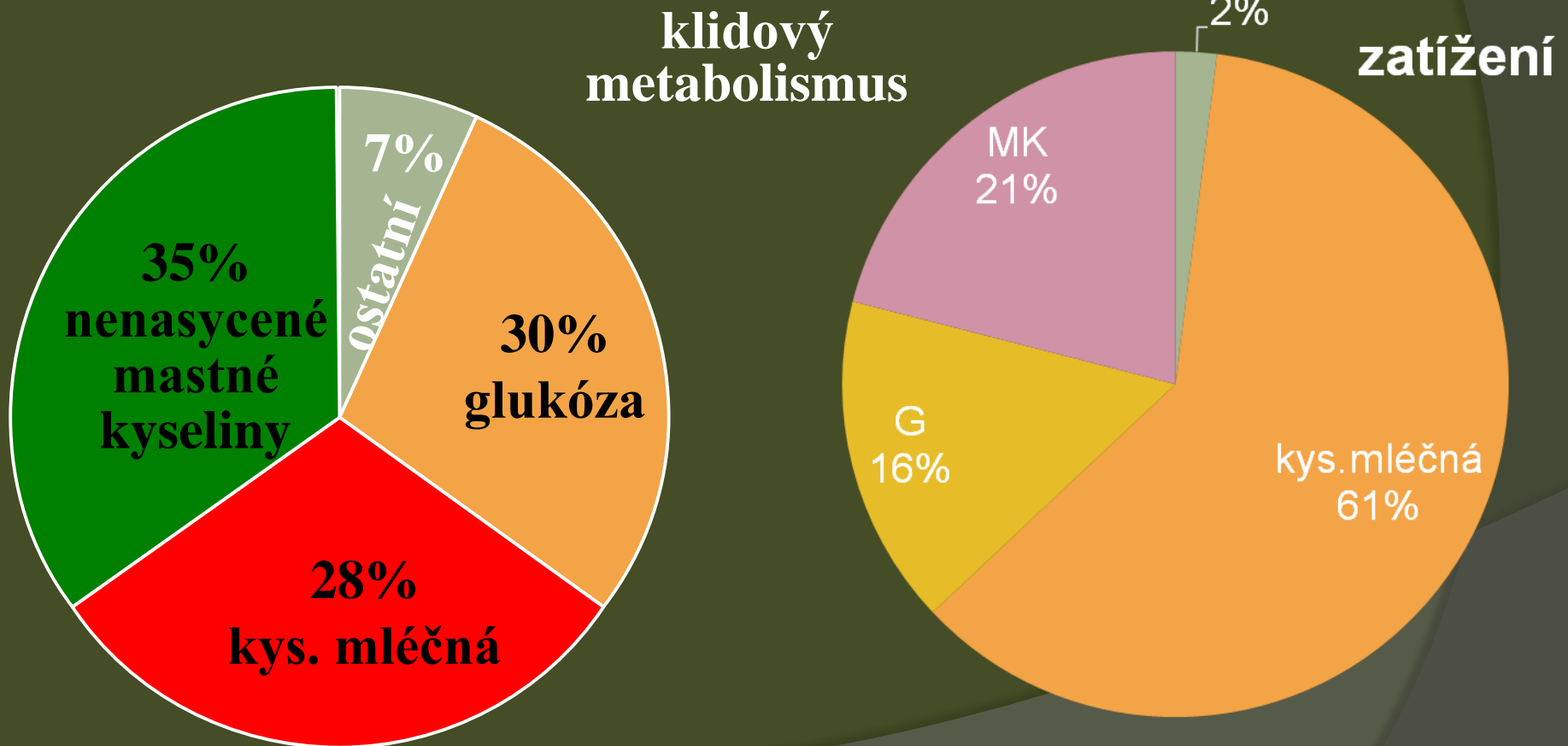
# Hodnocení zátěžového testu

## Elektrokardiografické změny



# Srdeční oběh a metabolismus

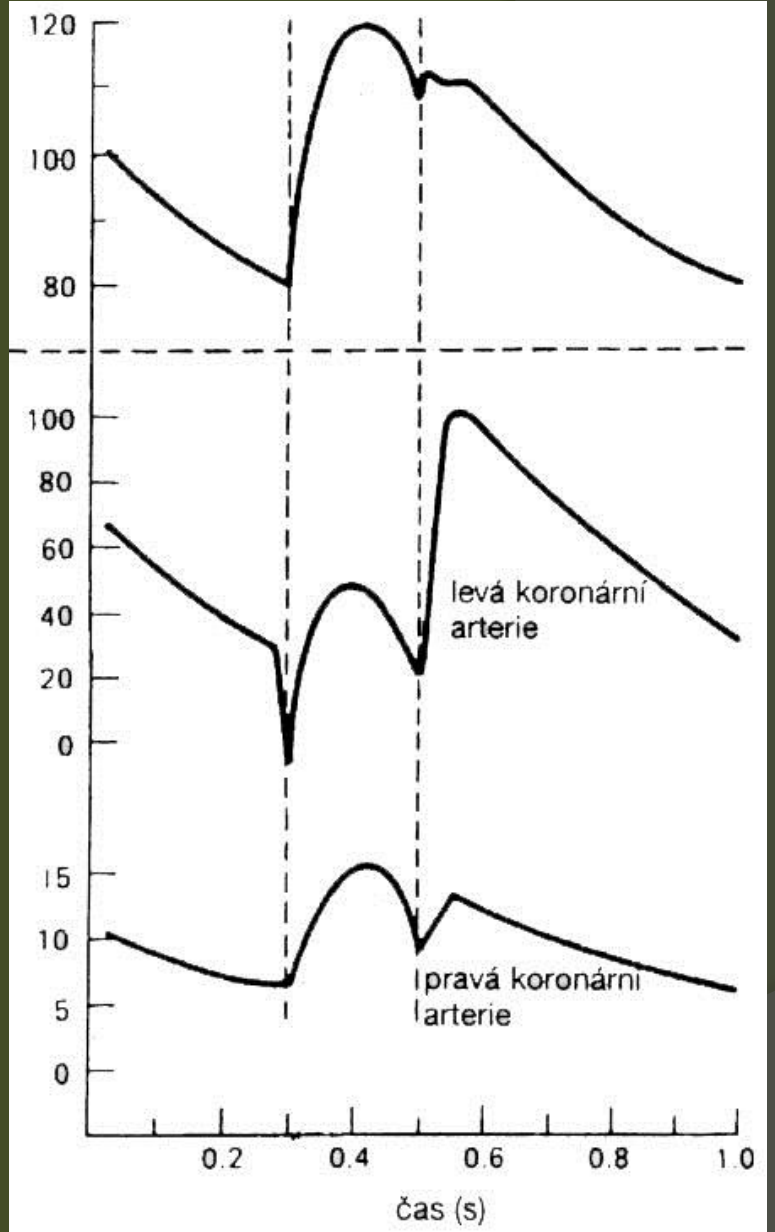
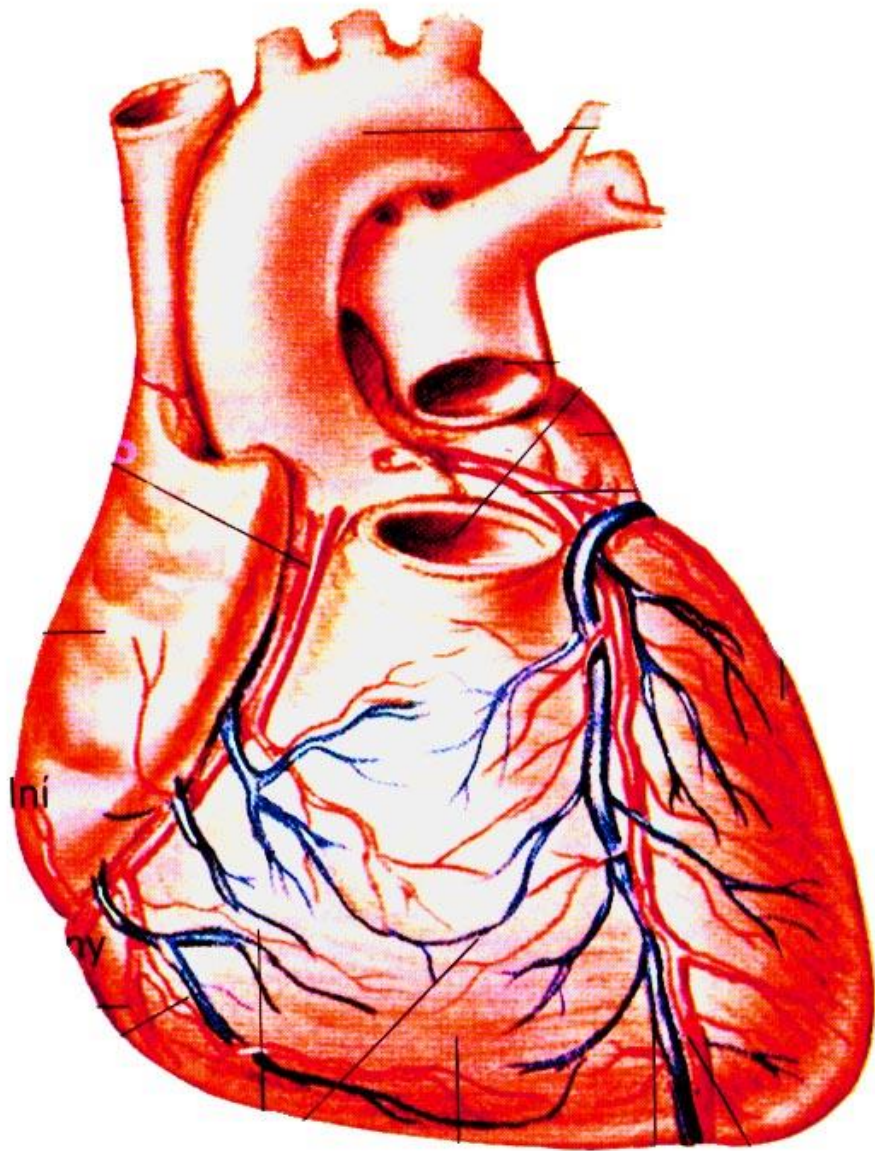
Prokrvení svalů 5% MV  
Zajišťují koronární cévy





# 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 VĚNČITÝMI

# PRŮTOKU TEPNAMI

## AUTOREGULACE

(vazodilatace)

- ↓ O<sub>2</sub>
- ↑ CO<sub>2</sub>
- ↓ pH
- ↑ K<sup>+</sup>
- prostaglandiny

## NERVOVÁ REGULACE

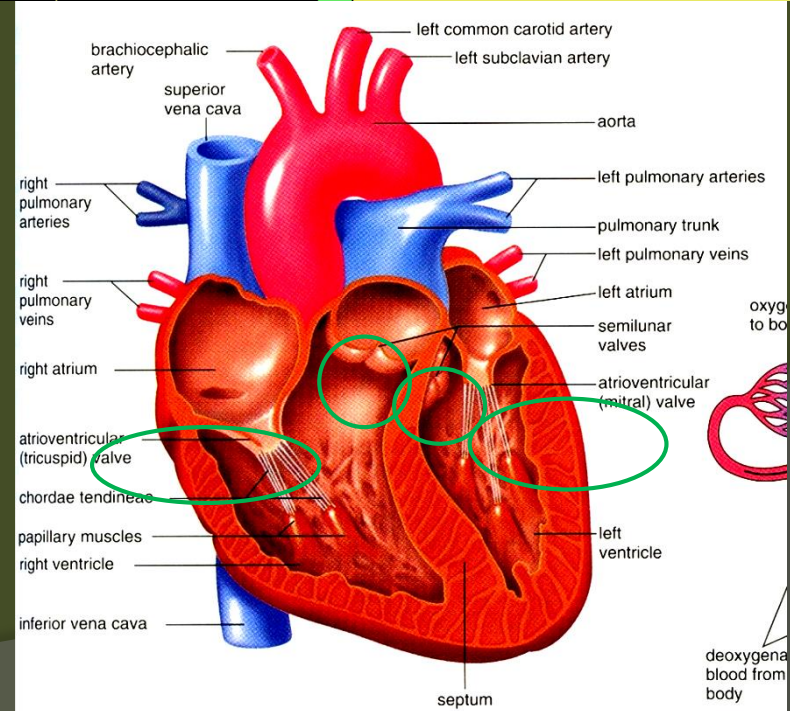
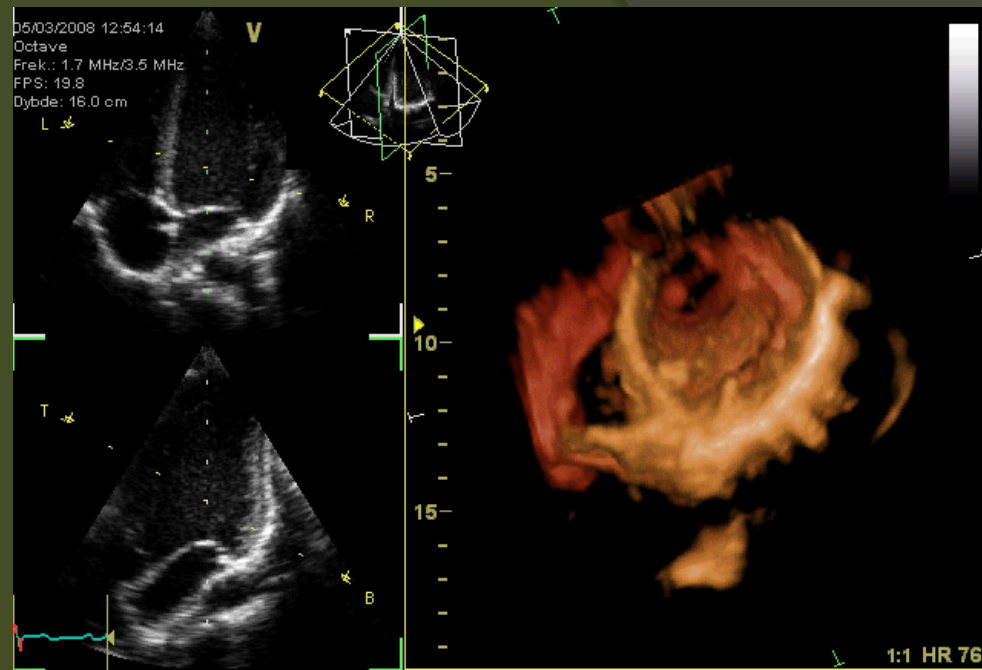
- sympatikus
  - vazodilatace
- parasympatikus
  - nepodílí se na řízení průtoku

# 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 **síňkomorové cípaté chlopně**
- mezi pravou komorou a plícnicí a mezi levou komorou a aortou jsou **chlopně poloměsíčité**



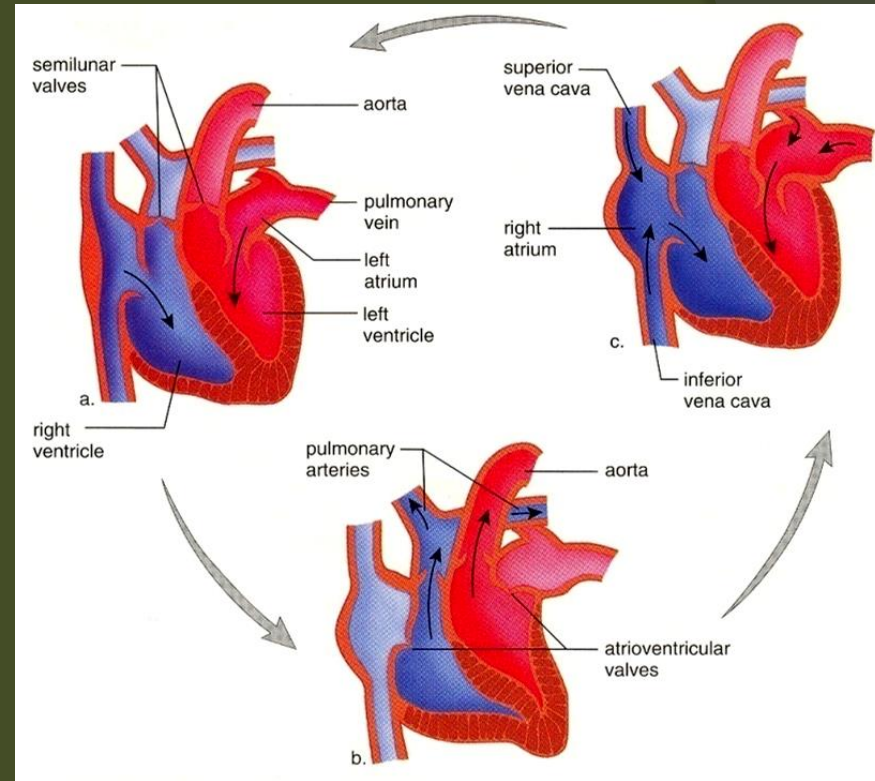
# Mechanická činnost srdce

systola síní,  
diastola komor

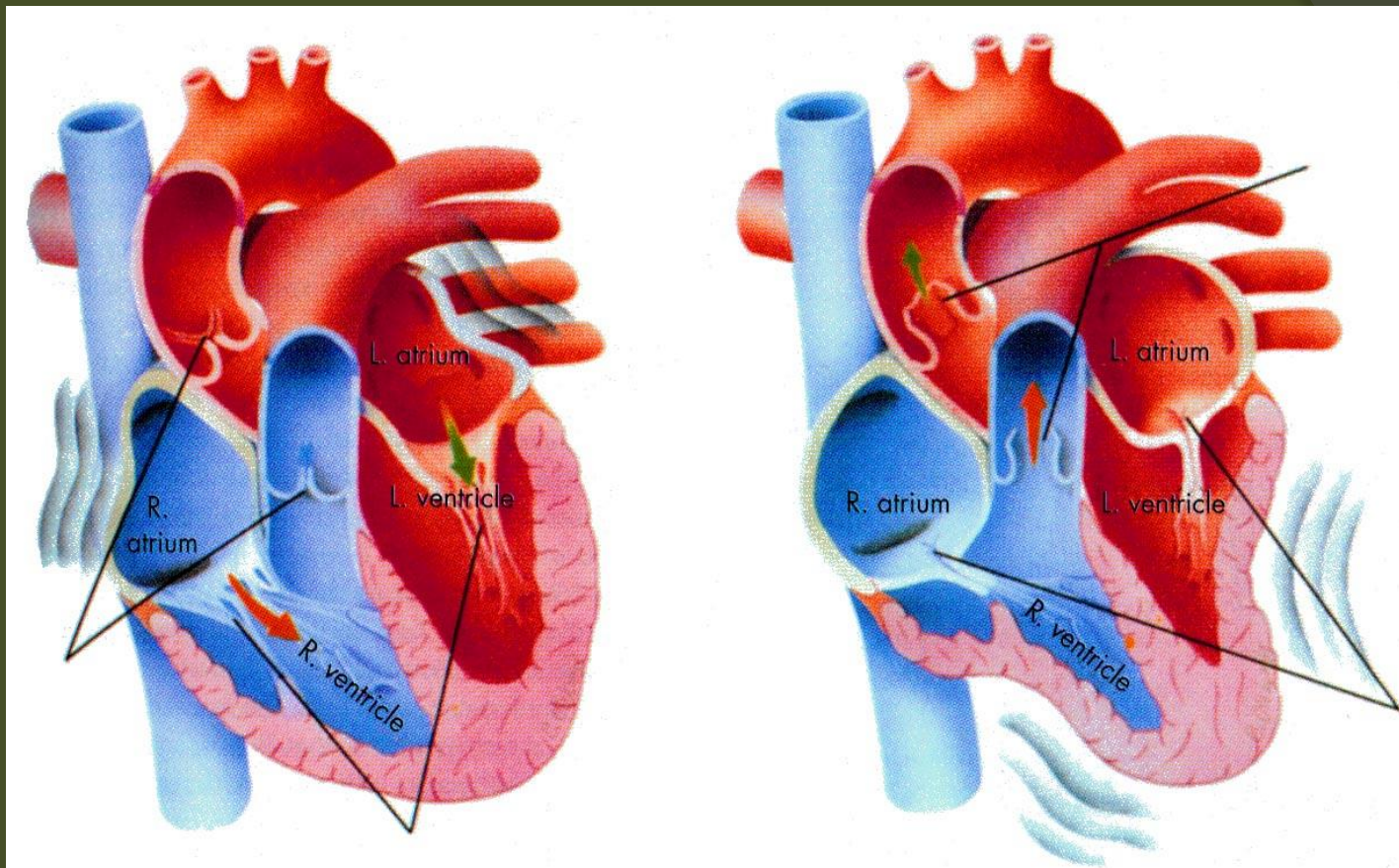
diastola síní,  
diastola komor

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

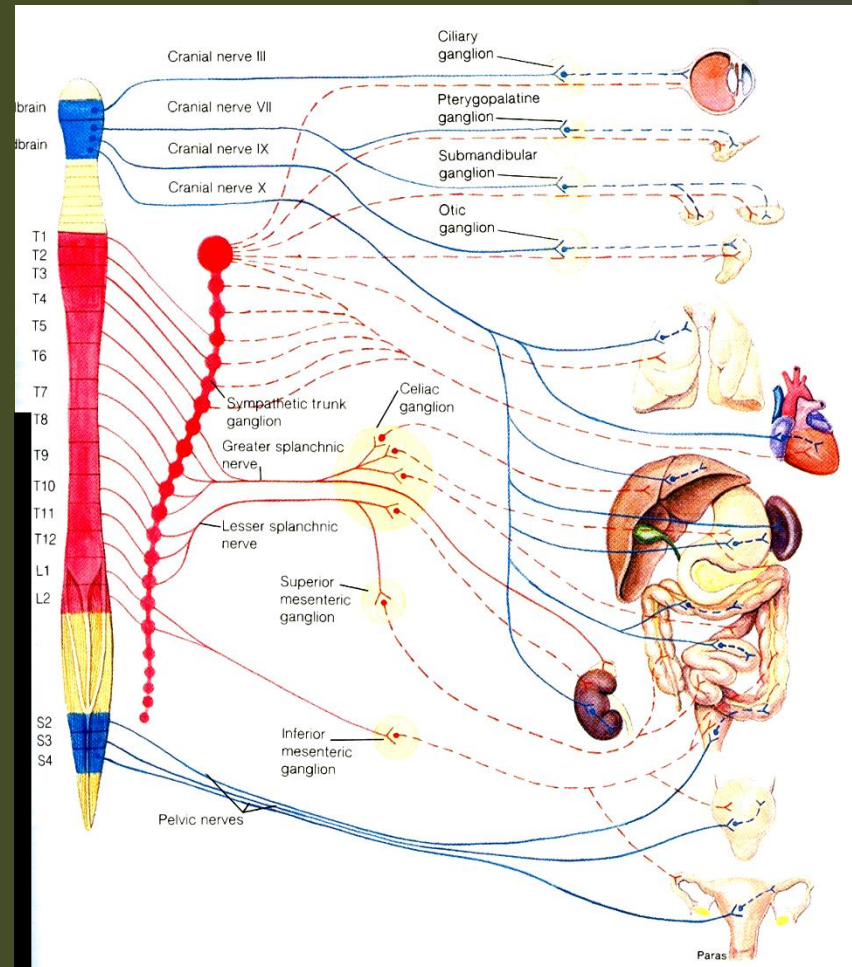


- ✓ snižuje srdeční frekvenci, sílu srdečního stahu a vzrušivost srdečního svalu

### Sympatikus



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

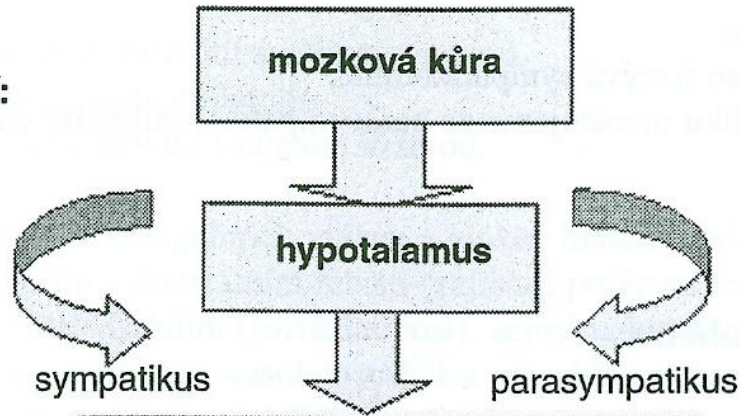




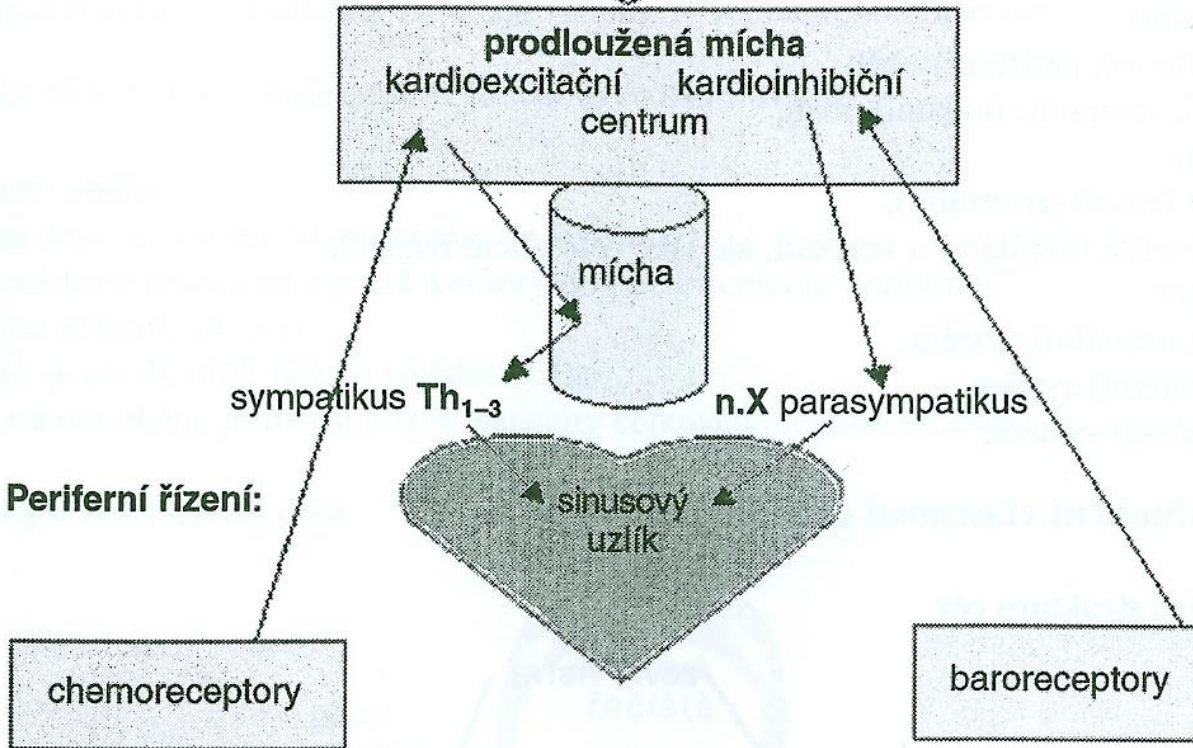
## 2. *Humorální řízení*

- **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
- ↓ pO<sub>2</sub> → ↑ 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

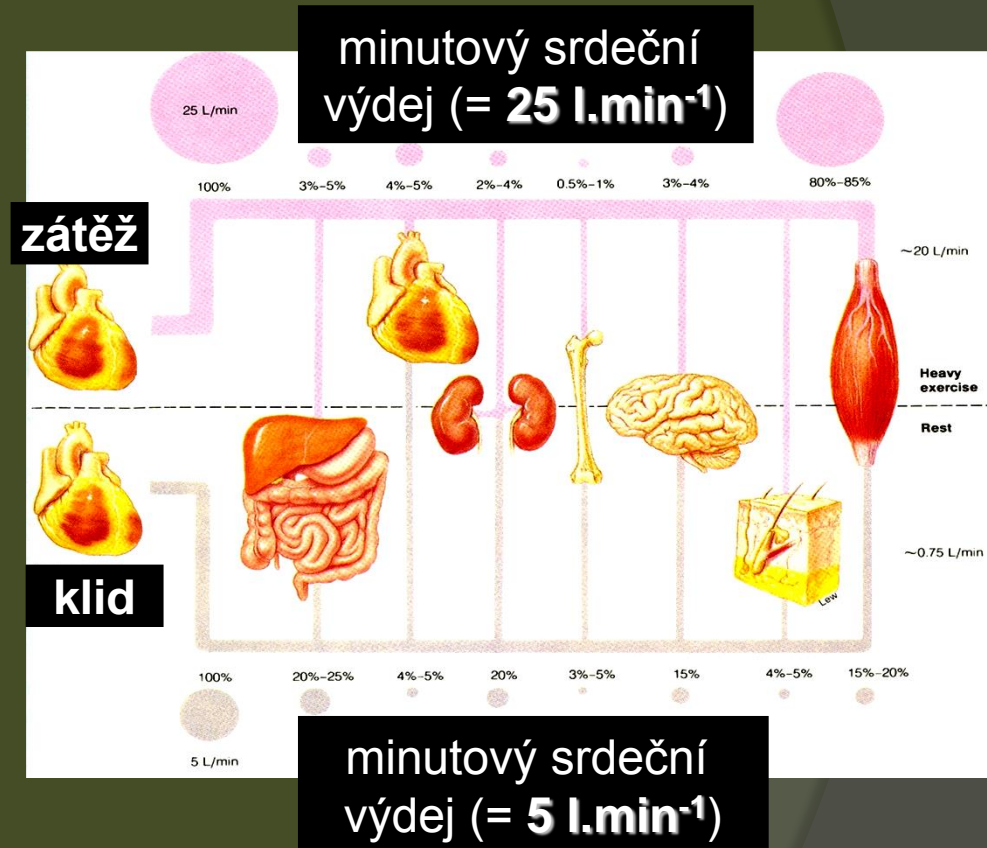
v klidu = **70 ml**

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 <sup>-1</sup> ]	$Q$ [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)

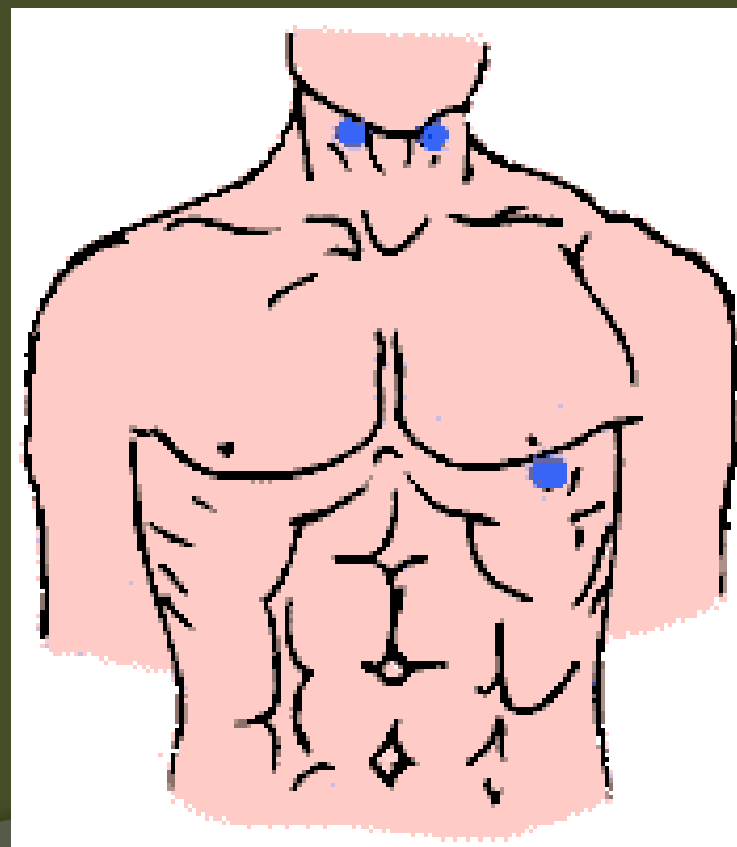
# Průměrné hodnoty SF max

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.

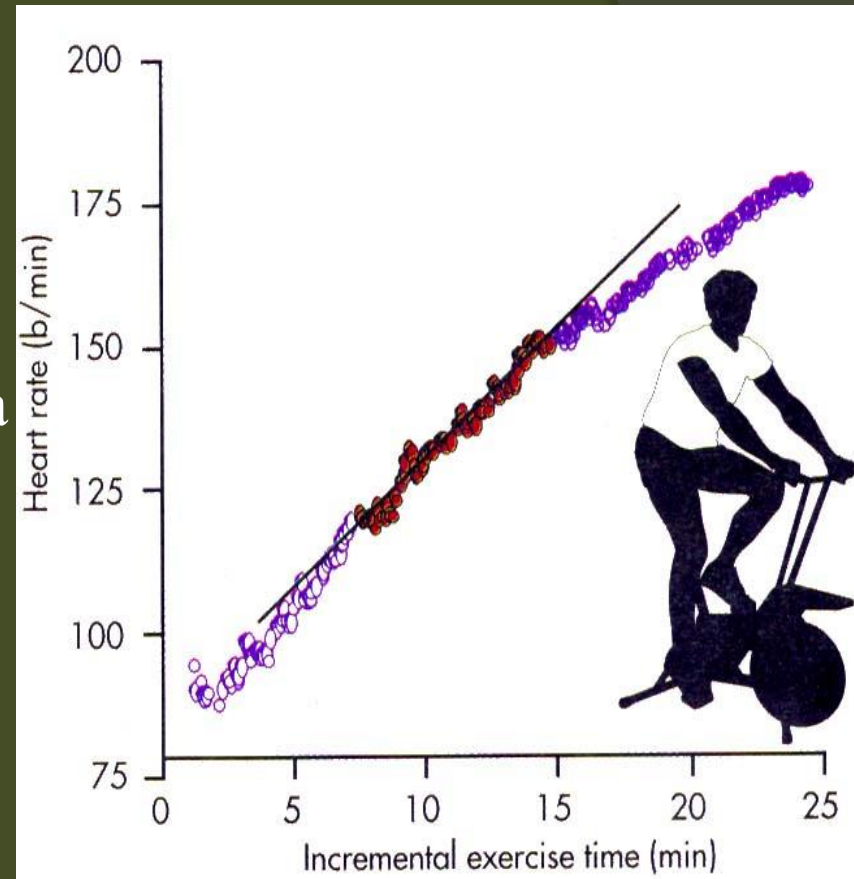
Vzrůst srdeční frekvence je provázen vzestupem spotřeby kyslíku i minutového srdečního objemu.

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

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

**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**

### **VO<sub>2</sub>: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)

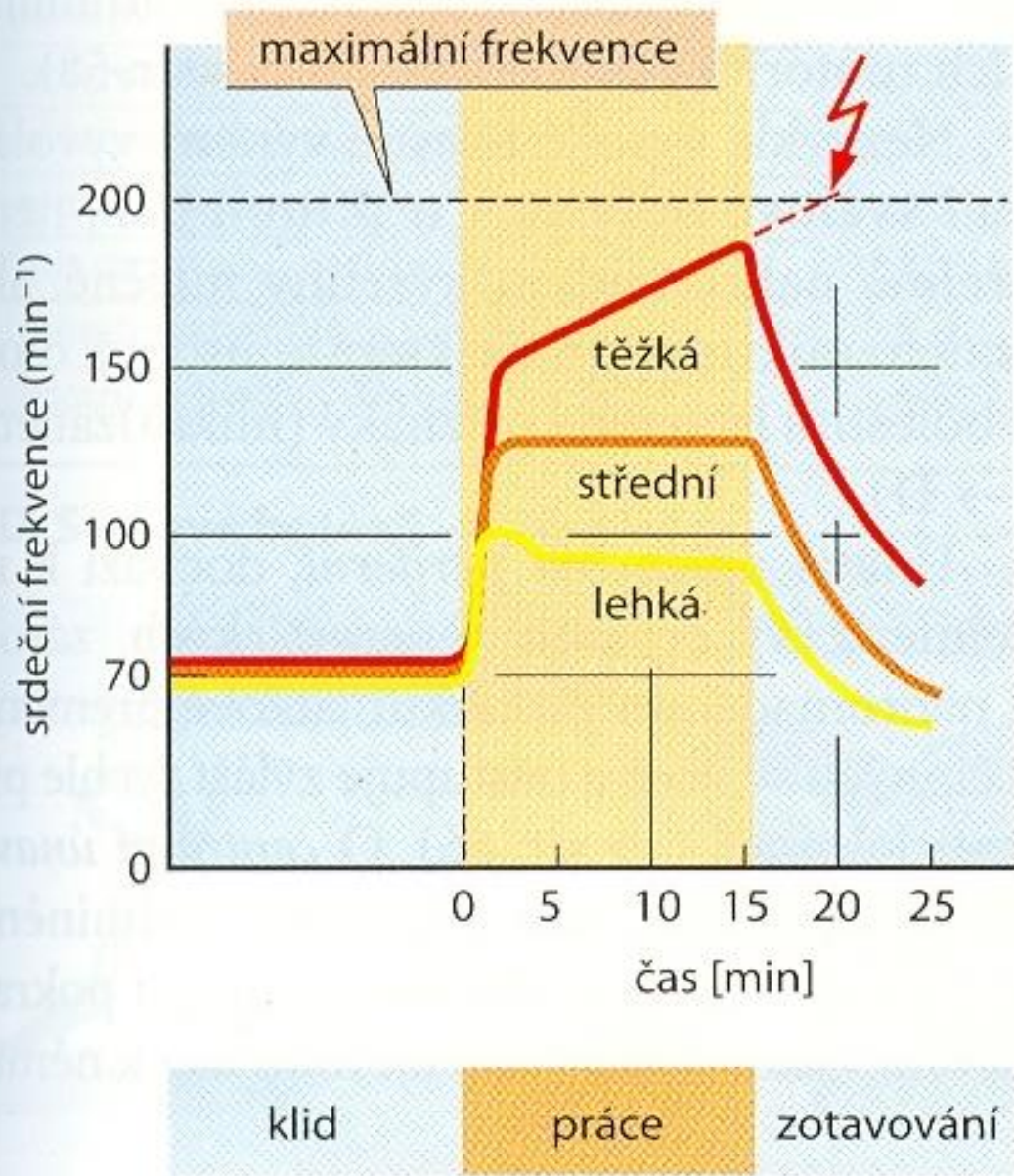
- ⊙ mechanismus: podmíněné a nepodmíněné reflexy, tělesná teplota, hormonální a látkové změny v krvi

# 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, nejdřív 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

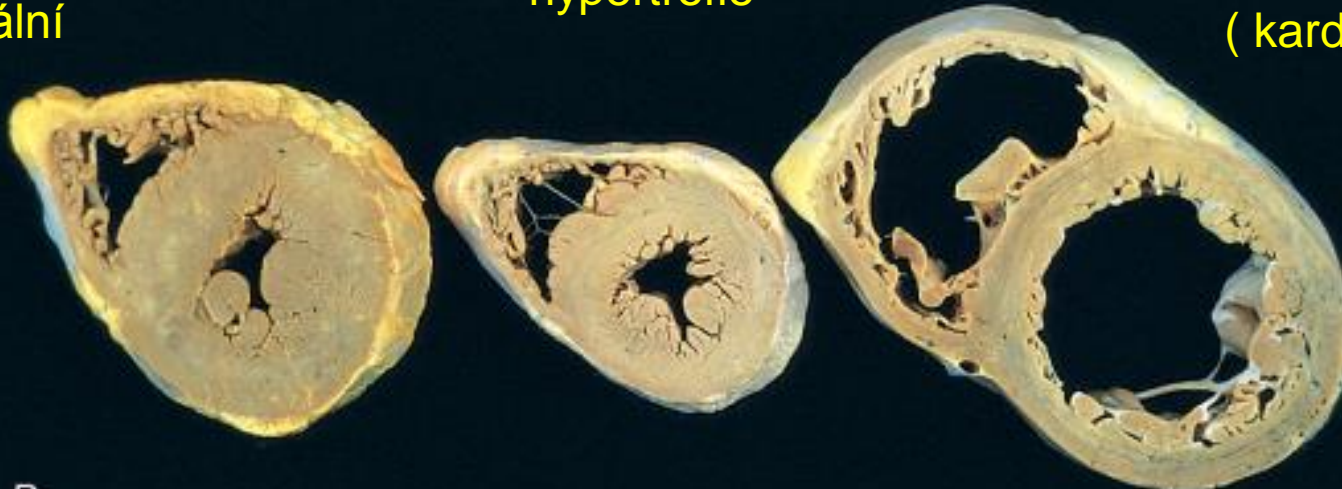
hypertrofie **koncentrická** = ↑ tloušťka stěn, ale zmenšení dutin

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 ↑