MUDr.K.Kapounková, Ph.D.

FYZIOLOGIE KARDIOVASKULÁRNÍHO SYSTÉMU

Krevní oběh

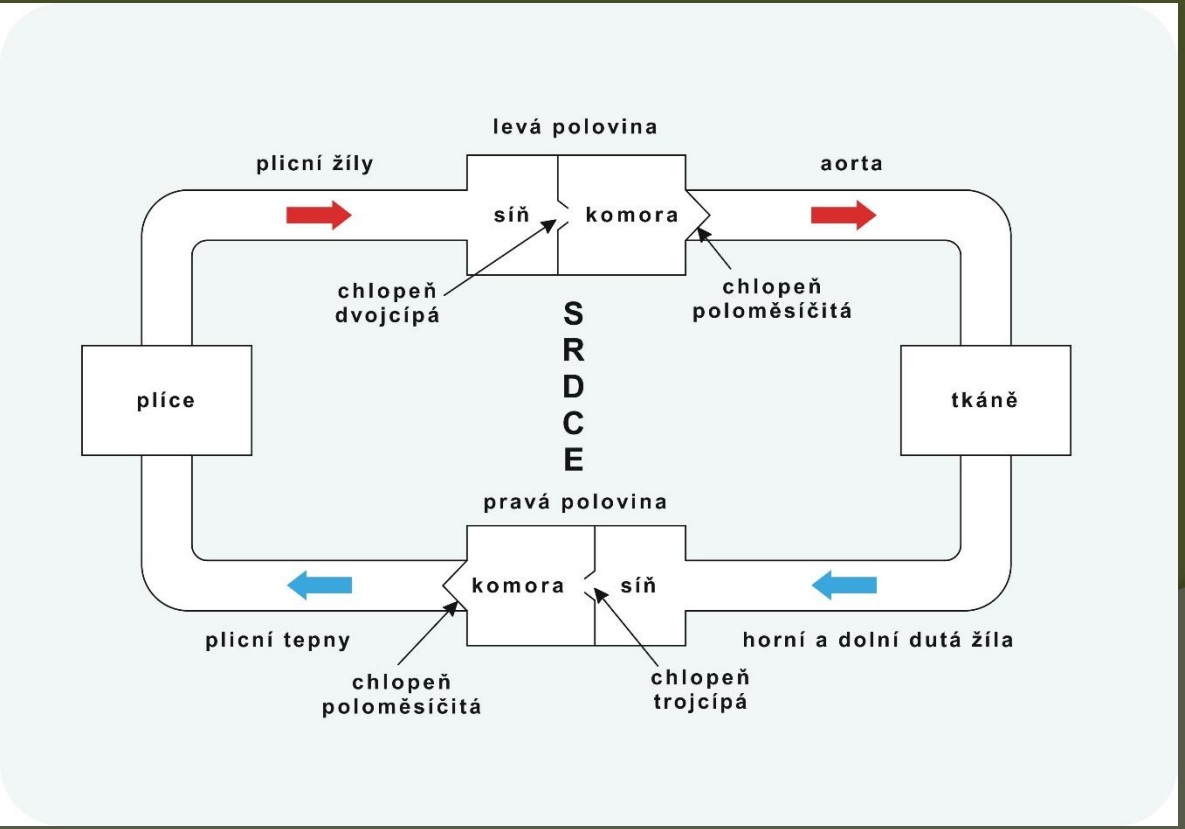
Celkový objem krve :4,5 – 5,5 l

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

žíly, pravé srdce a malý oběh

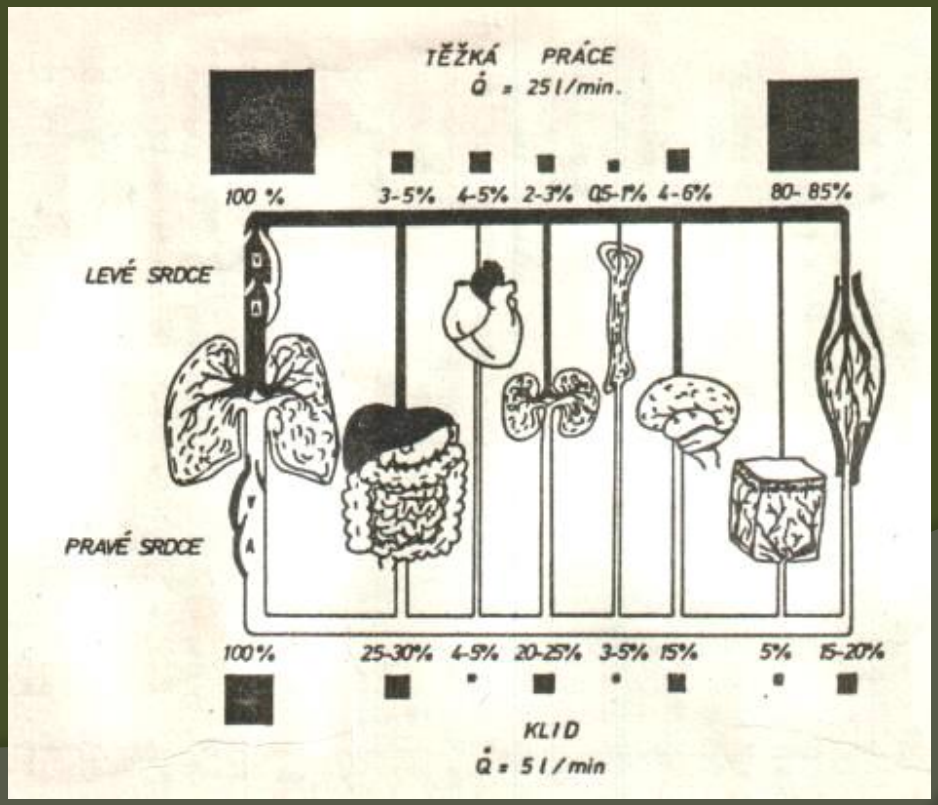
= nízkotlaký systém (rezervoár)

arterie = vysokotlaký systém (zásobovací funkce)



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
ledviny	20% = 1,0 l/min	3% = 0,75 l/min

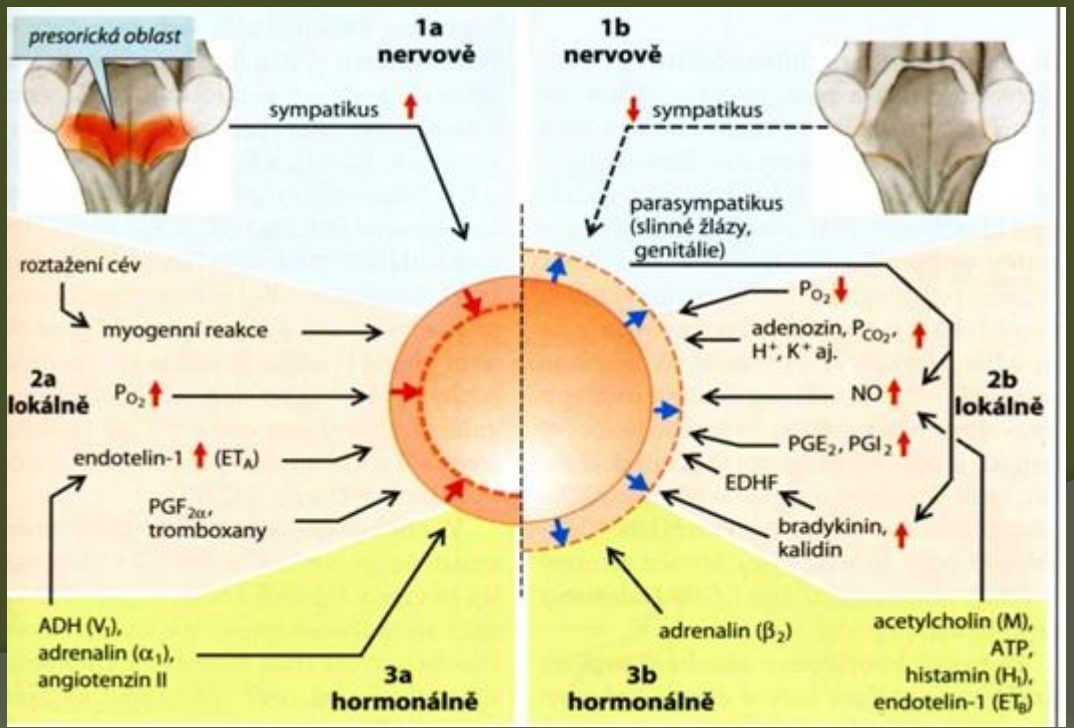


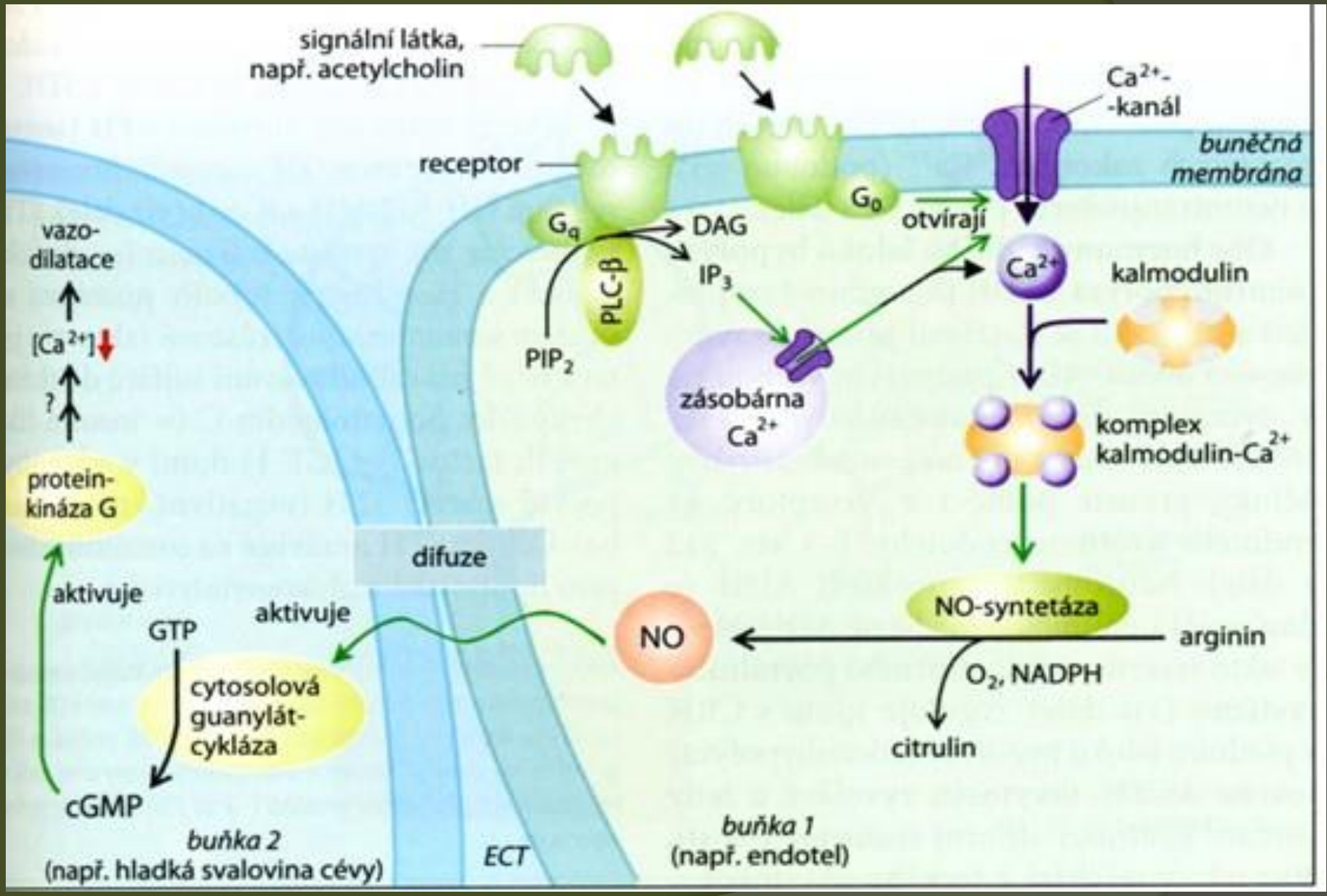
Regulace průtoku

vegetativní nervový systém

(sympatikus X parasympatikus bez vlivu na průsvit)

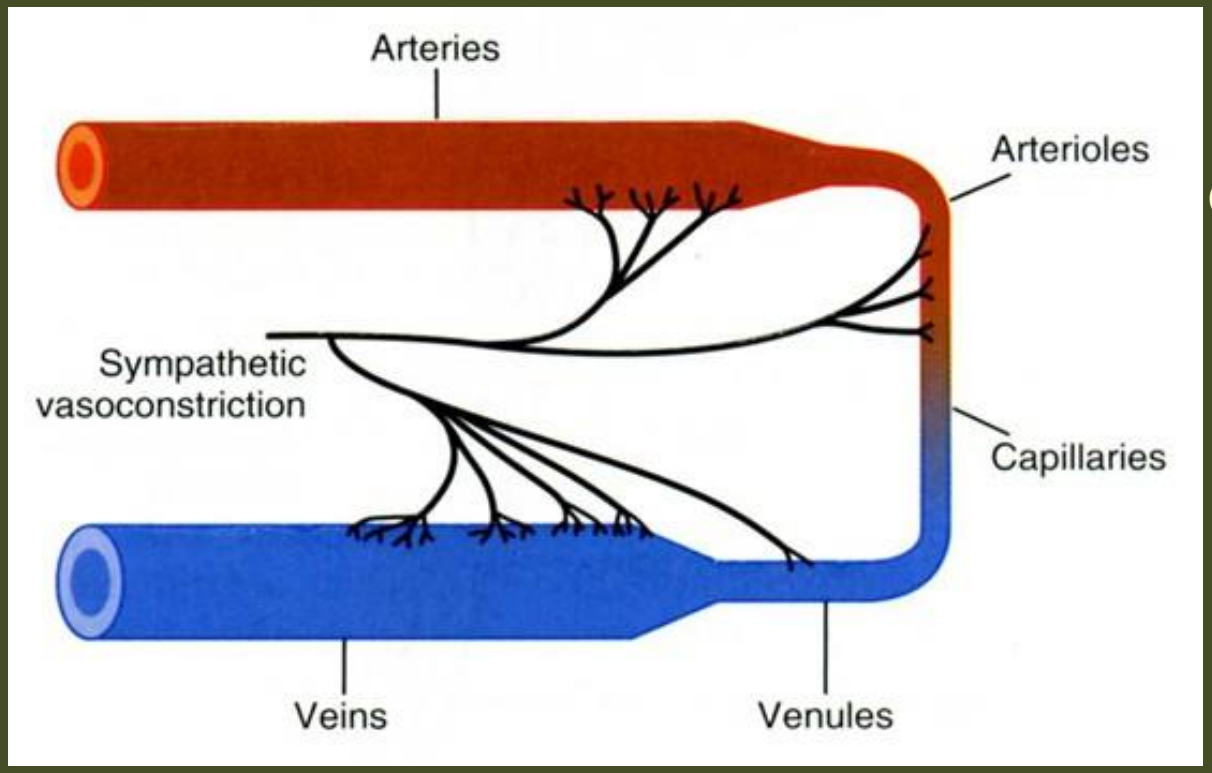
metabolická autoregulace: CO_2, ADP, laktát, ↓ pH, histamin =>vasodilatace ve svalech




signální látka,
např. acetylcholin
receptor
G_q
G_0
DAG
IP_3
PLC-β
PIP_2
Ca^{2+}-
-kanál
buněčná
membrána
otvírají
Ca^{2+}
kalmodulin
zásobárna
Ca^{2+}
komplex
kalmodulin-Ca^{2+}
NO-syntetáza
arginin
O_2, NADPH
citrulin
NO
difuze
aktivuje
aktivuje
GTP
cytosolová
guanylát-
cykláza
cGMP
vazo-
dilatace
$[Ca^{2+}]$
?
protein-
kináza G
buňka 2
(např. hladká svalovina cévy)
ECT
buňka 1
(např. endotel)

TEPENNÝ SYSTÉM

- **ze srdce do dalších částí těla**
- **v systémovém (velkém, tělním) krevním oběhu mají tepny silnou stěnu**

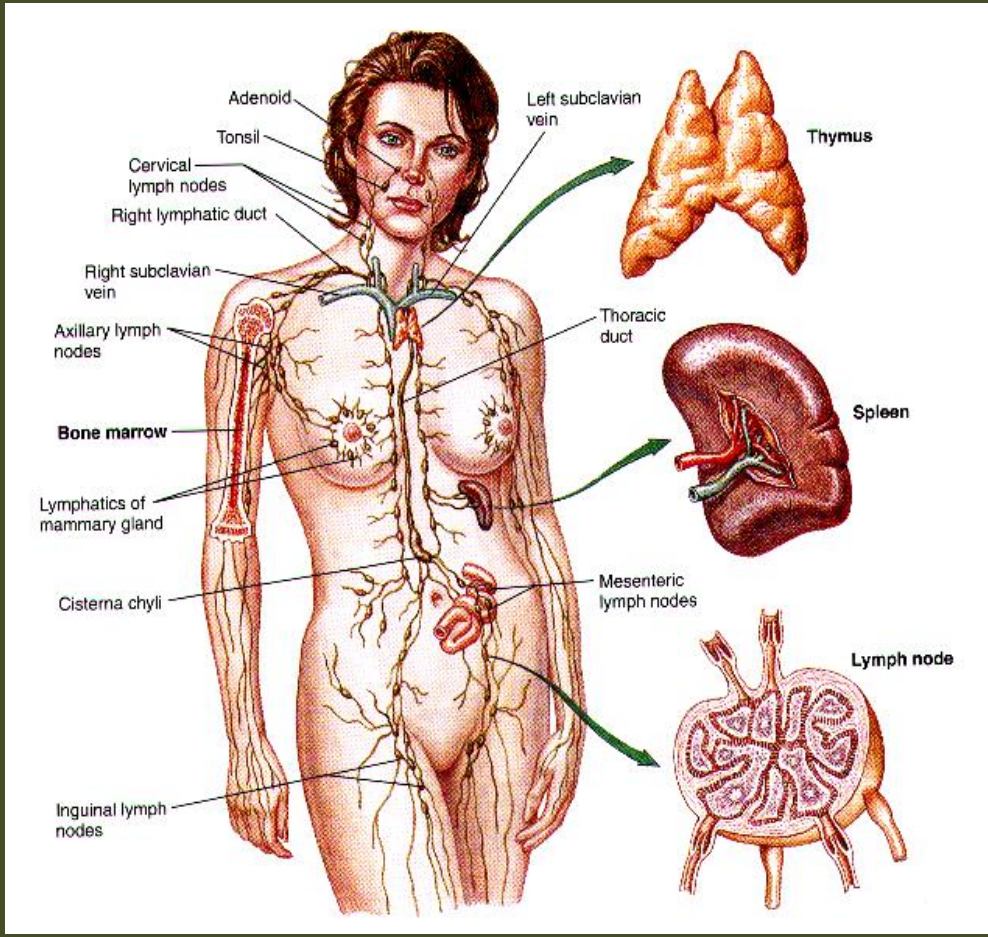


ŽILNÍ SYSTÉM

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

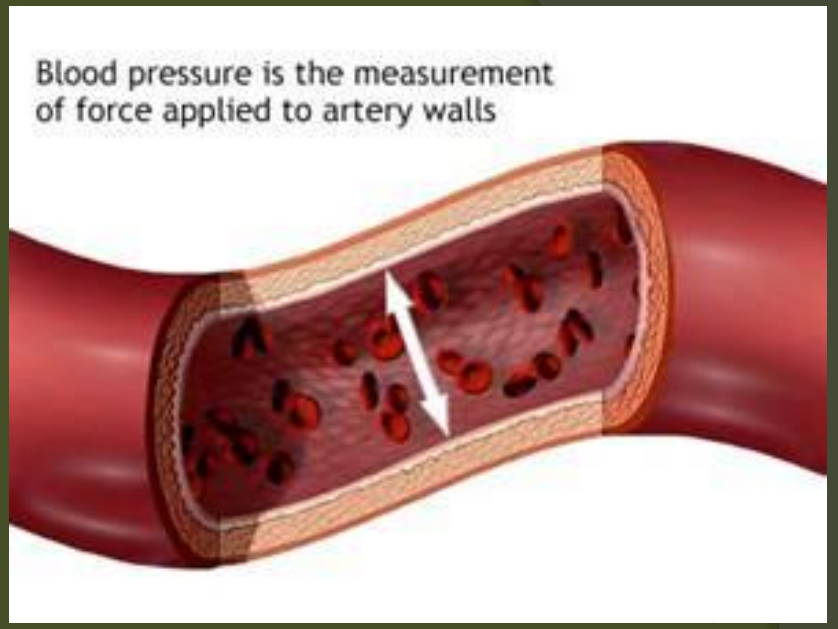
(spirálovitá svalovina žilní médie)

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



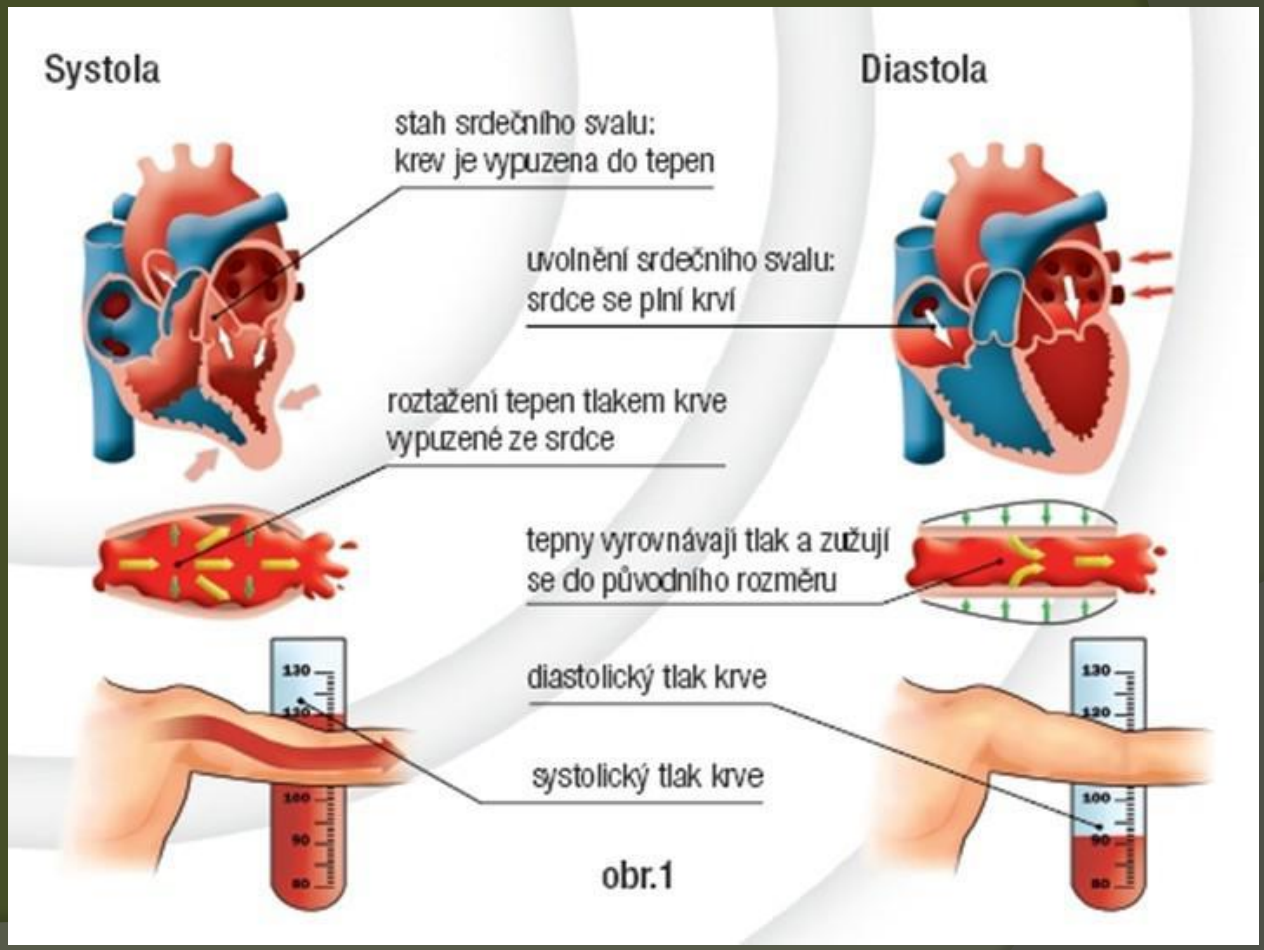
= arteriální krevní tlak

- 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)

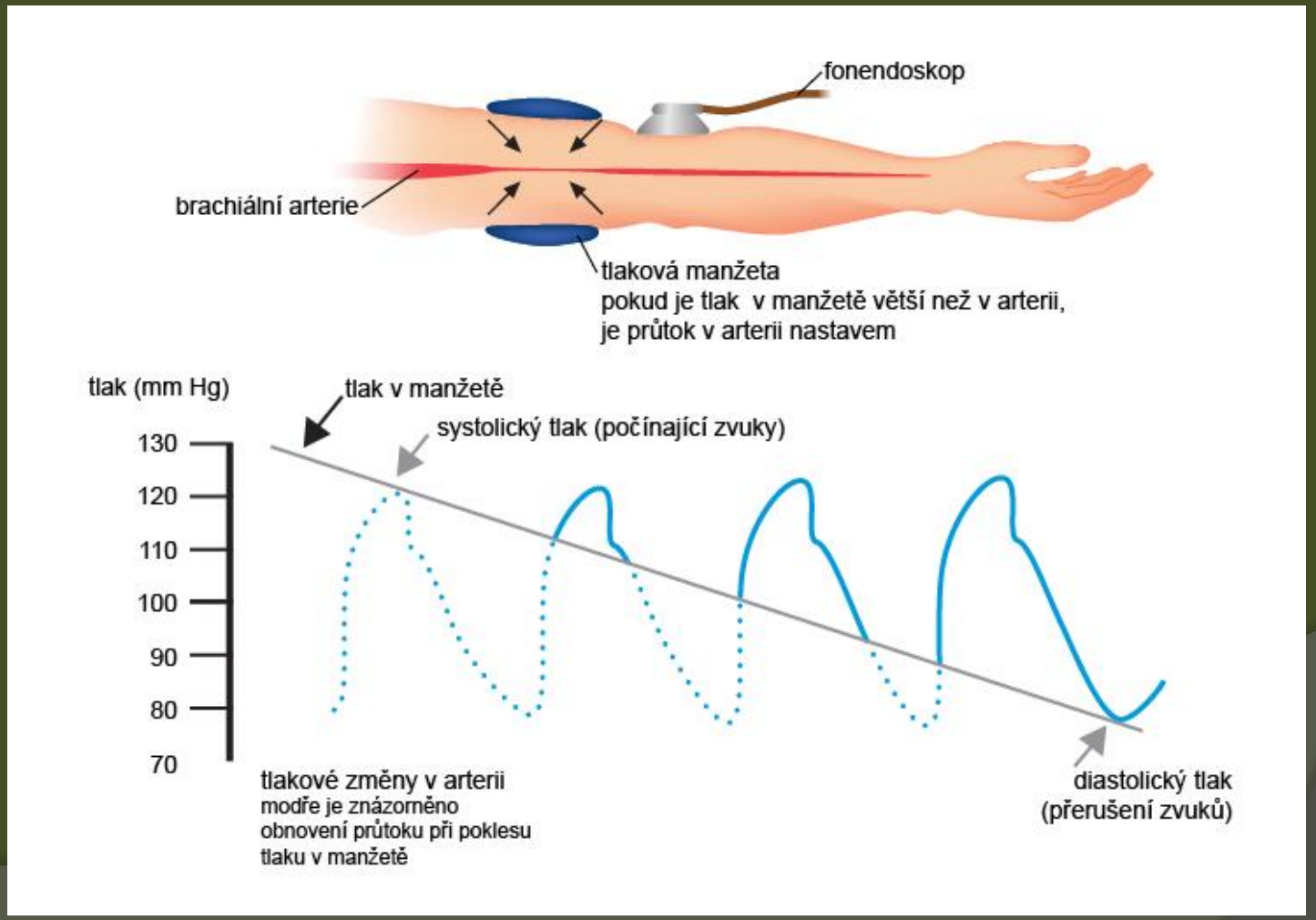
- klidové hodnoty 120/80 mmHg

- systolický
- diastolický



Měření TK

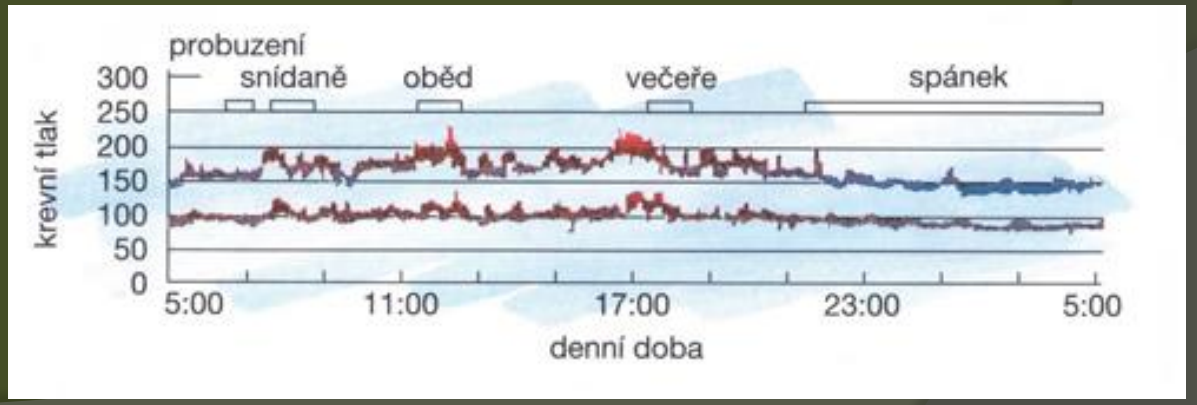
- metoda palpační
- metoda auskultační



Reaktivní změny

Krevní tlak (TK)

<u>při dynamické práci</u> 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

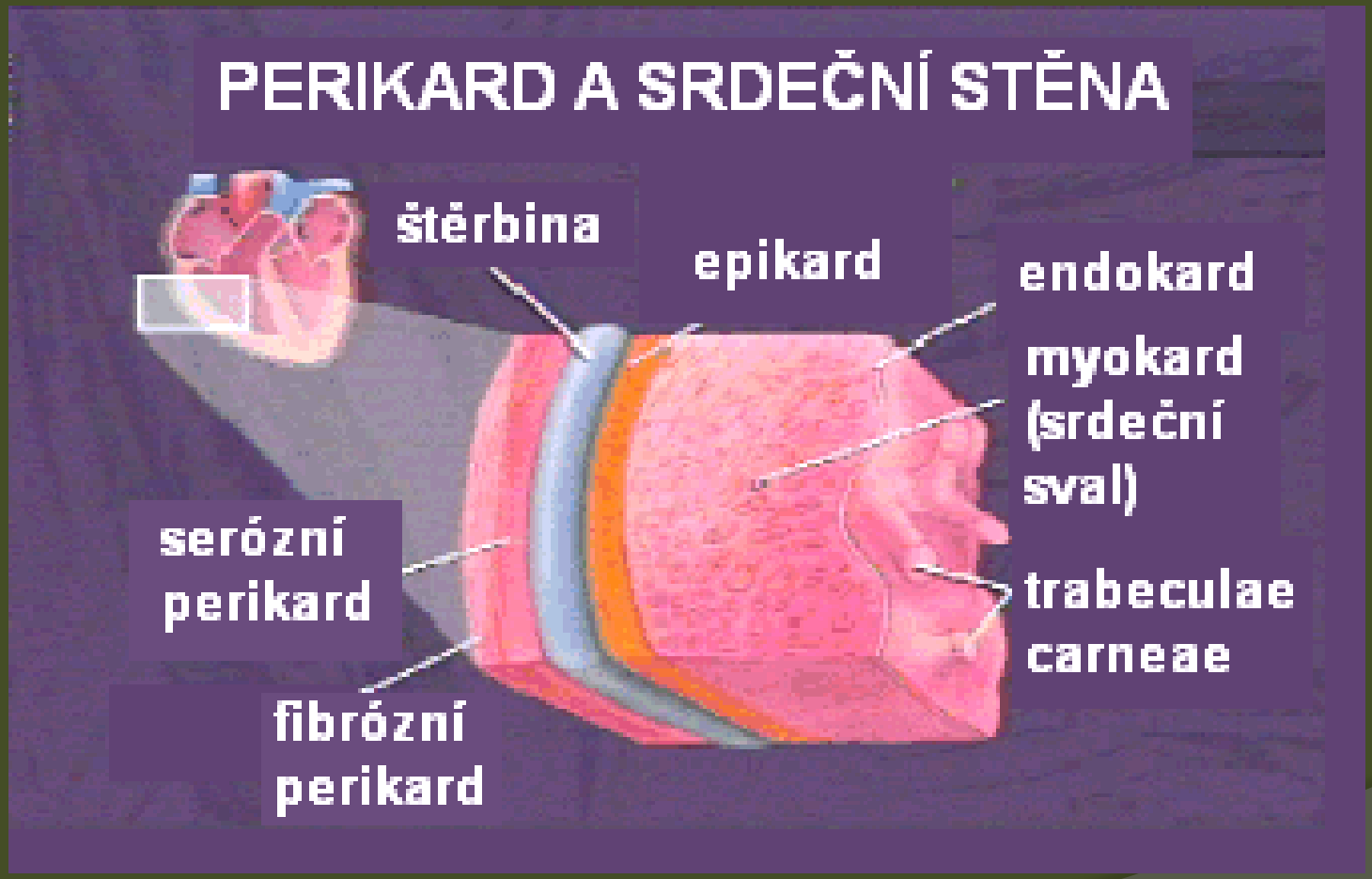
Hypertenze

v 90% se jedná o tzv. primární (esenciální) typ hypertenze, sekundární vzácnější (ledviny, těhotenství)

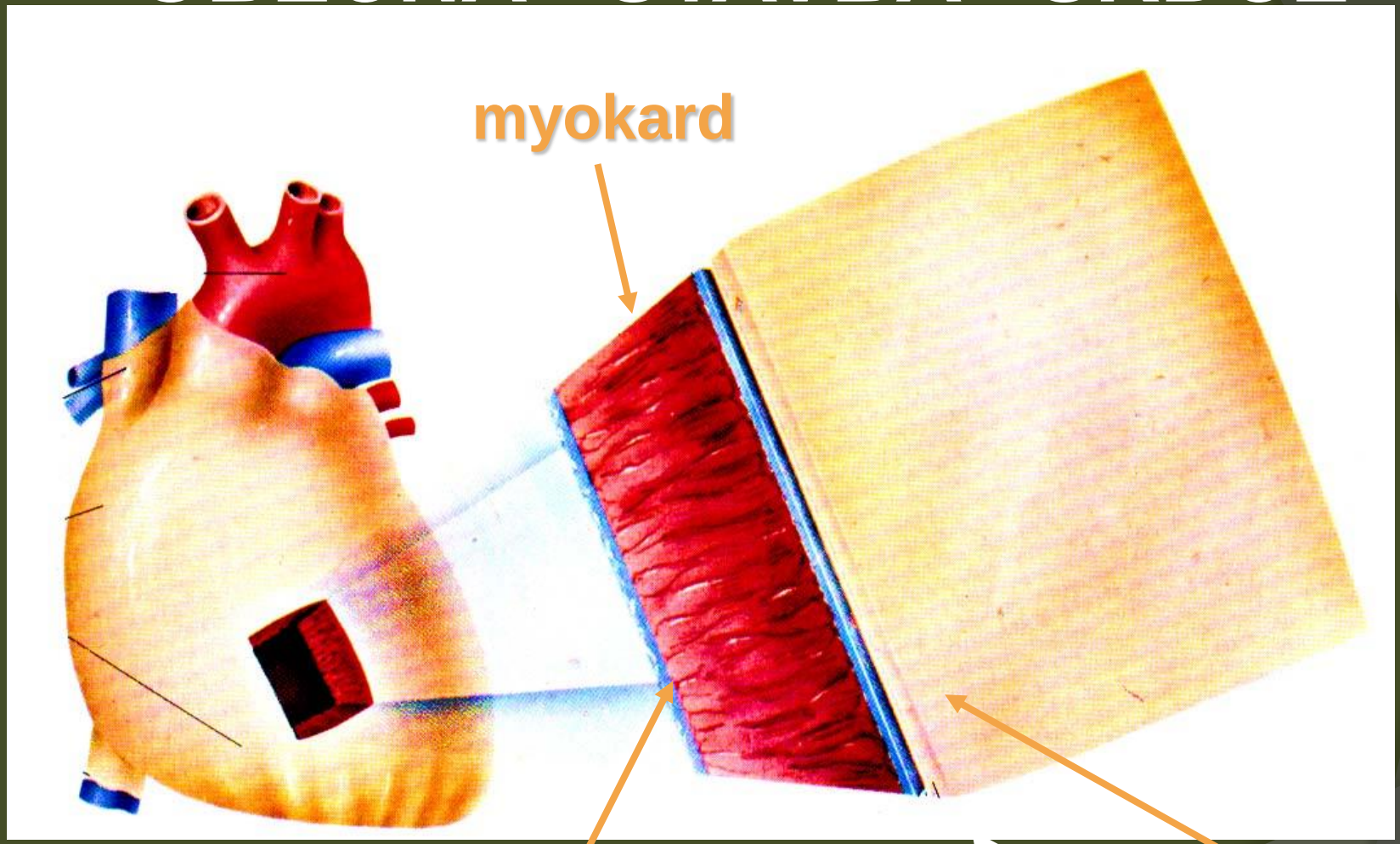
- Výskyt v průmyslově vyspělejších zemích 15-20%(nad 60 let již 30-40% v populaci)
- jeden z nejzávažnějších rizikových faktorů ICHS

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

Krevní tlak	Systolický mm Hg a viac		Diastolický mm Hg a menej
Normální	méně než **120**	&	méně než **80**
Prehypertenze	**120 - 139**	nebo	**80 - 89**
Vysoký krevní tlak Stupeň 1	**140 - 159**	nebo	**90 - 99**
Vysoký krevní tlak Stupeň 2	**160** nebo více	nebo	**100** nebo více
Hypertenzní krize Vyhledejte lékaře!	více než **180**	nebo	více než 110


PERIKARD A SRDEČNÍ STĚNA
štěrbina
epikard
endokard
myokard (srdeční sval)
serózní perikard
trabeculae carneae
fibrózní perikard

OBECNÁ 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)

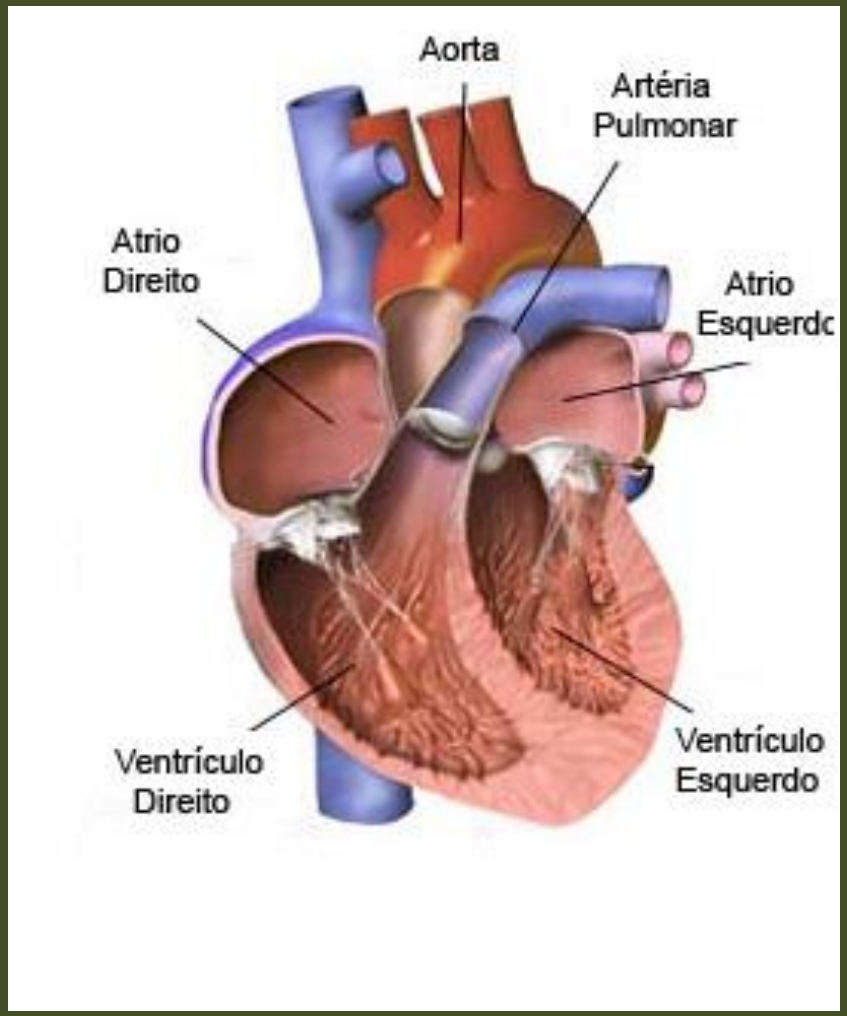
Normální váha srdce :

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)

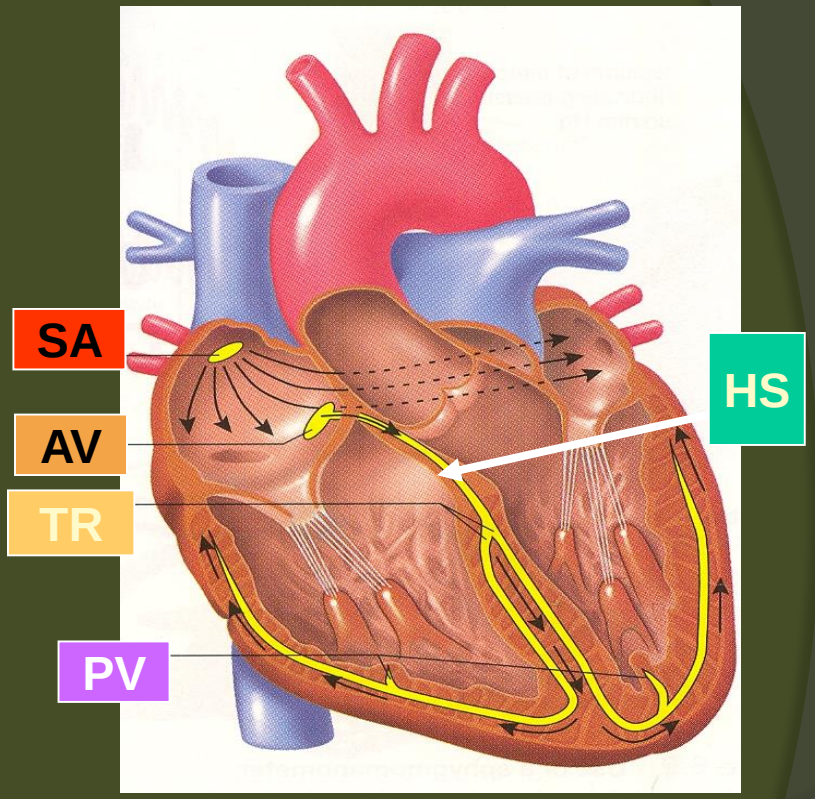
Převodní systém srdeční

= 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)

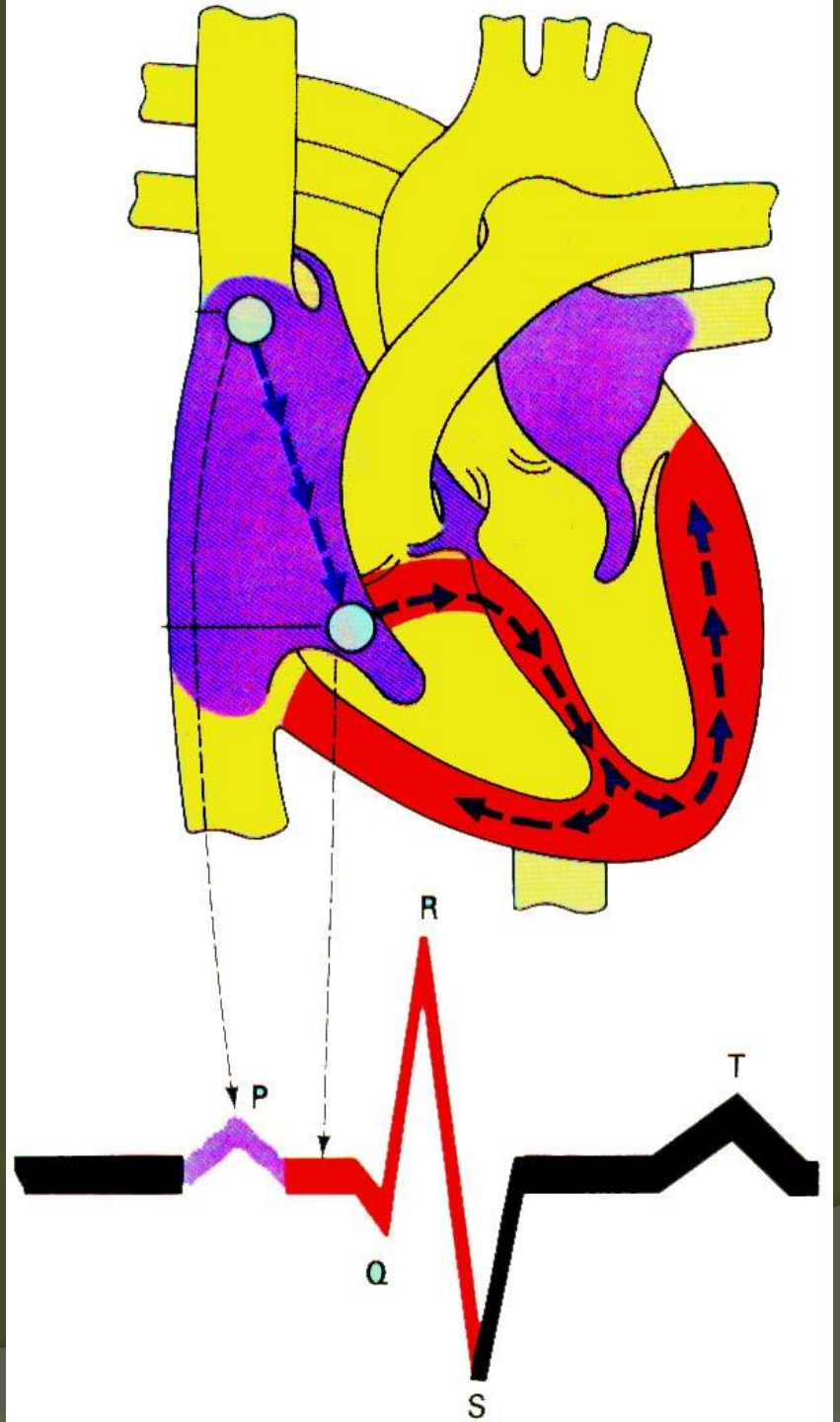


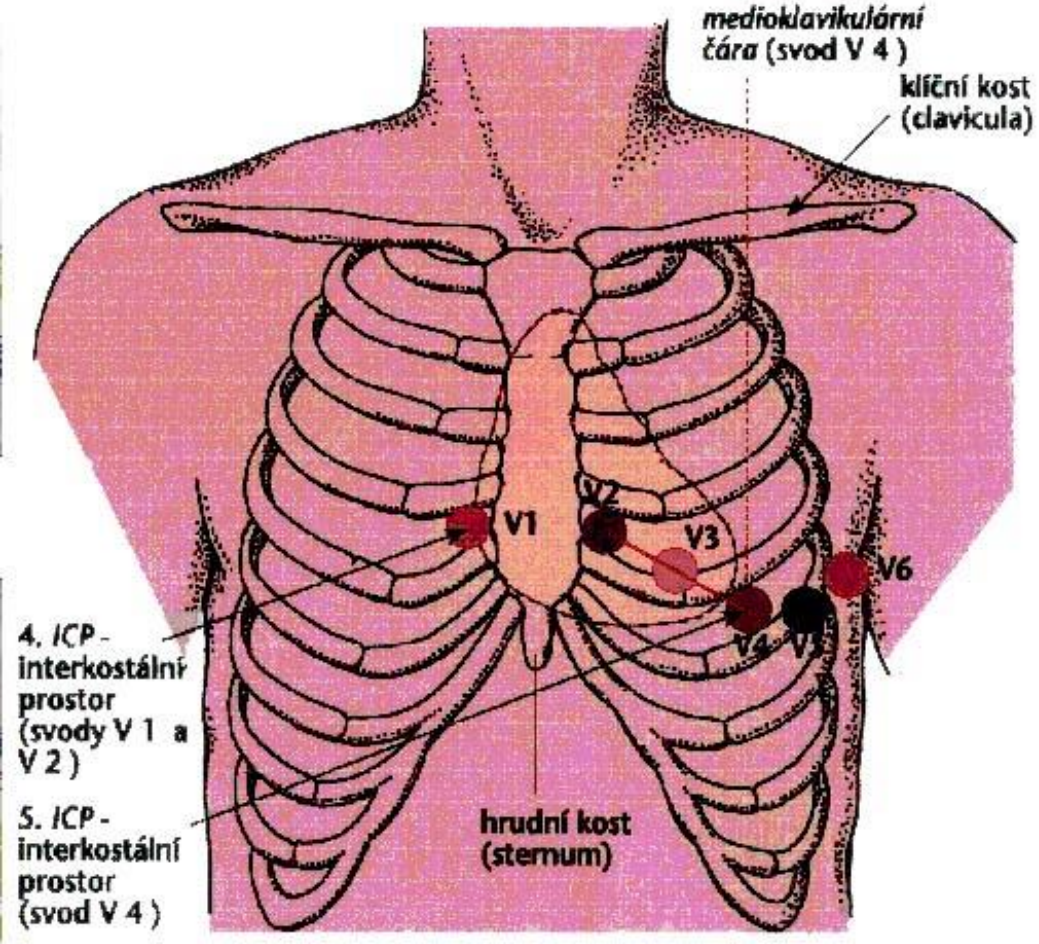
Vzruch se šíří:

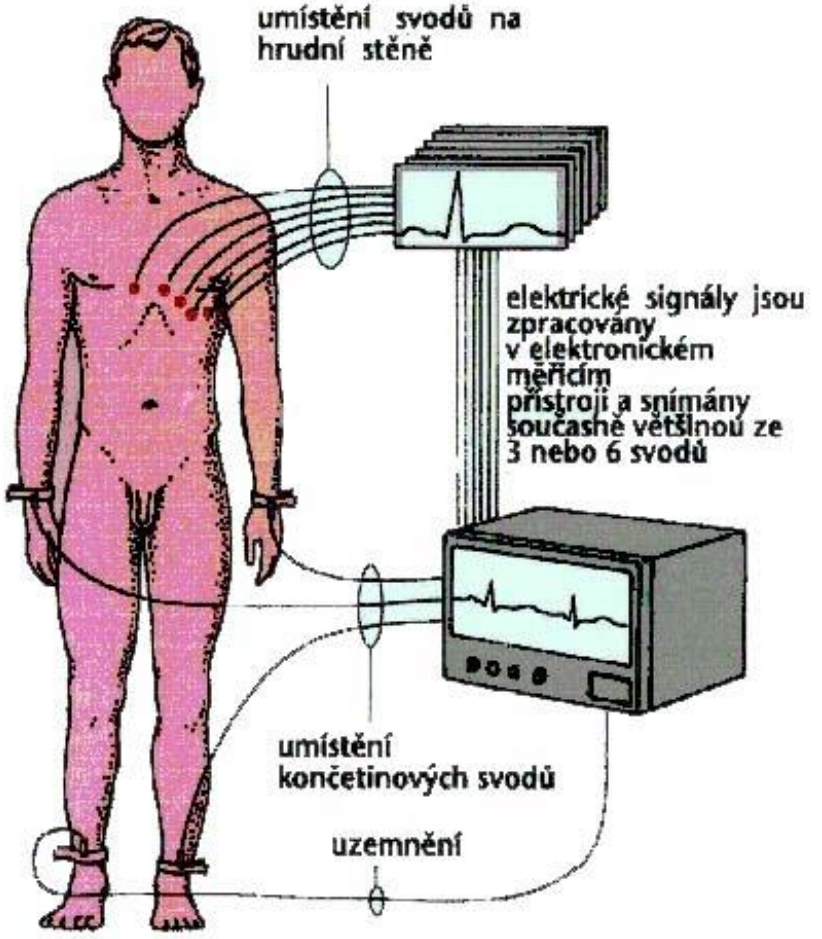
od **endokardu** k **epikardu**

od **hrotu** k **bázi**

vzniká tak synchronní aktivace myokardu – systola komor.

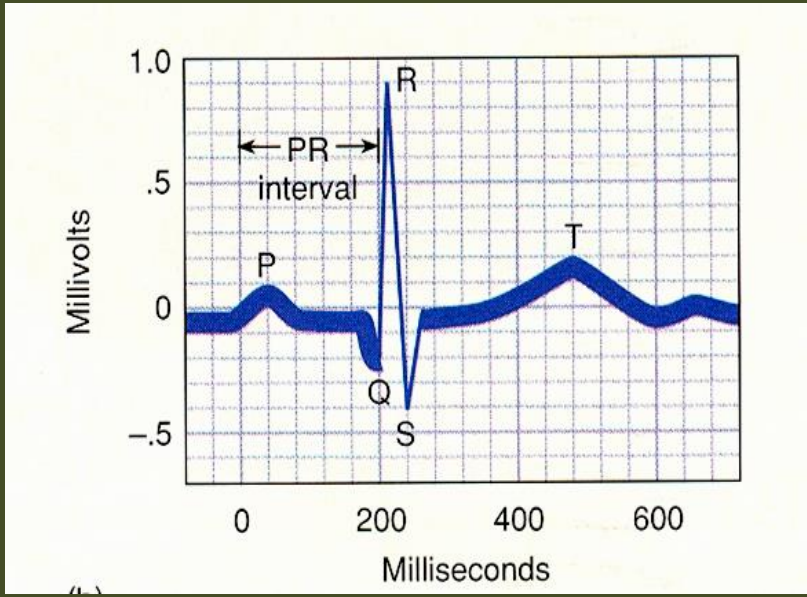

R
P
T
Q
S


medioklavikulární čára (svod V 4)
klíční kost (clavicula)
V1
V2
V3
V6
4. ICP - interkostální prostor (svody V 1 a V 2)
5. ICP - interkostální prostor (svod V 4)
hrudní kost (sternum)


umístění svodů na hrudní stěně
elektrické signály jsou zpracovány v elektronickém měřicím přístroji a snímány současně většinou ze 3 nebo 6 svodů
umístění končetinových svodů
uzemnění

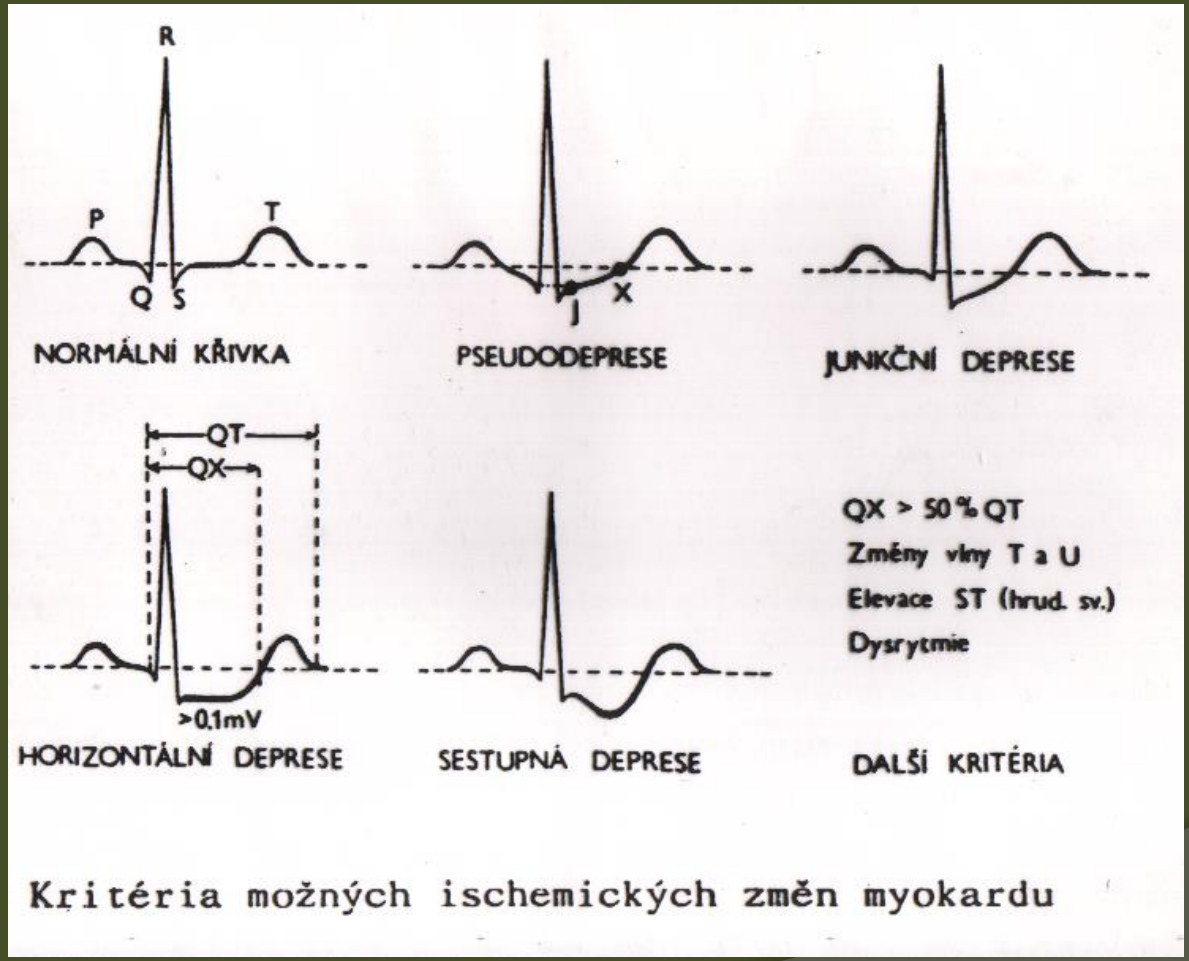
Elektrokardiografická křivka

= elektrická aktivita srdce



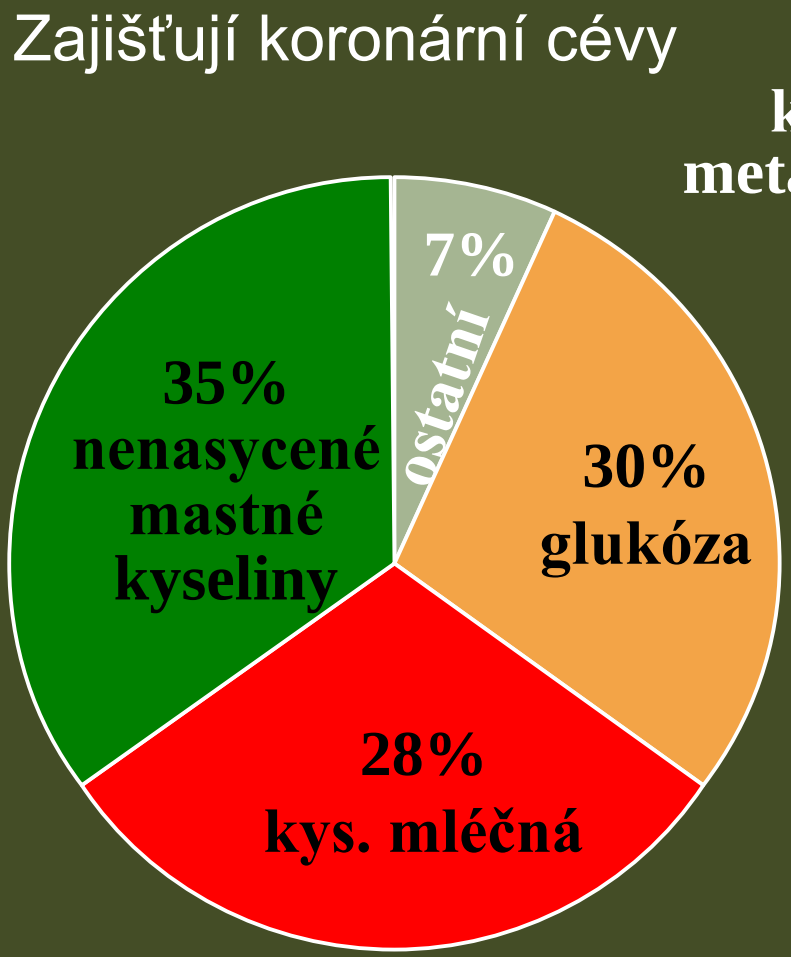
- *vlna P* – vzruch ze sinusového uzlu do síní (*depolarizace síní*)
- *komplex QRS* – vzruch do srdeční svaloviny komor (*depolarizace komor*)
- *vlna T* – *repolarizace* srdeční svaloviny

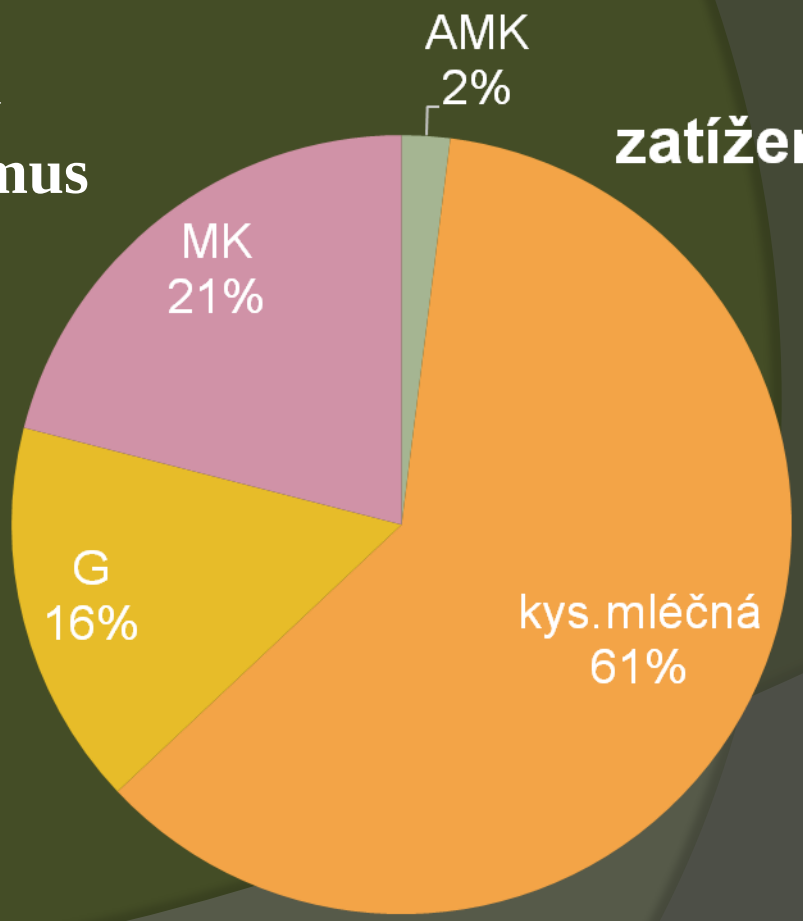
Hodnocení zátěžového testu
Elektrokadiografické změny



Srdeční oběh a metabolismus

Prokrvení svalu 5% MV
Zajišťují koronární cévy



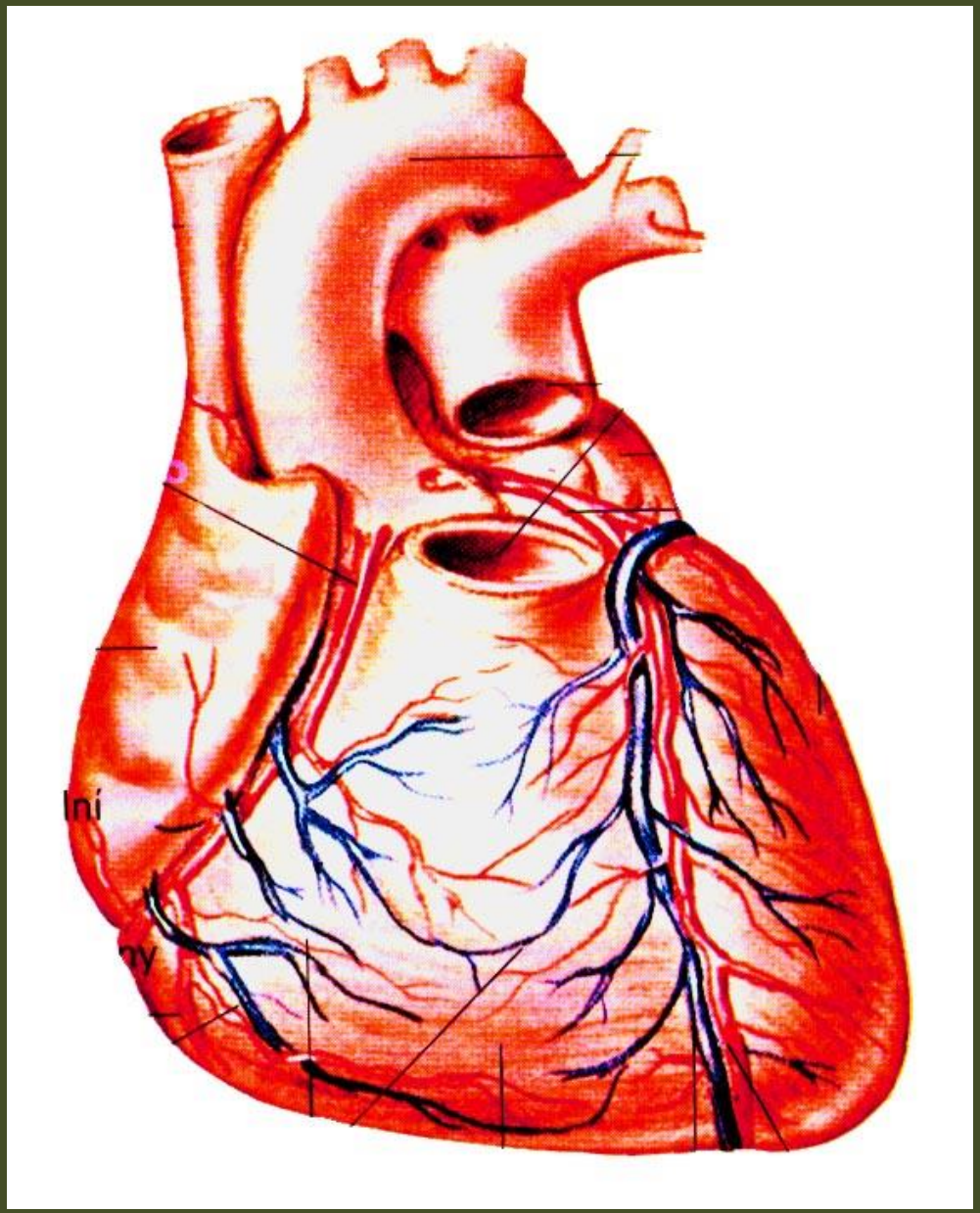


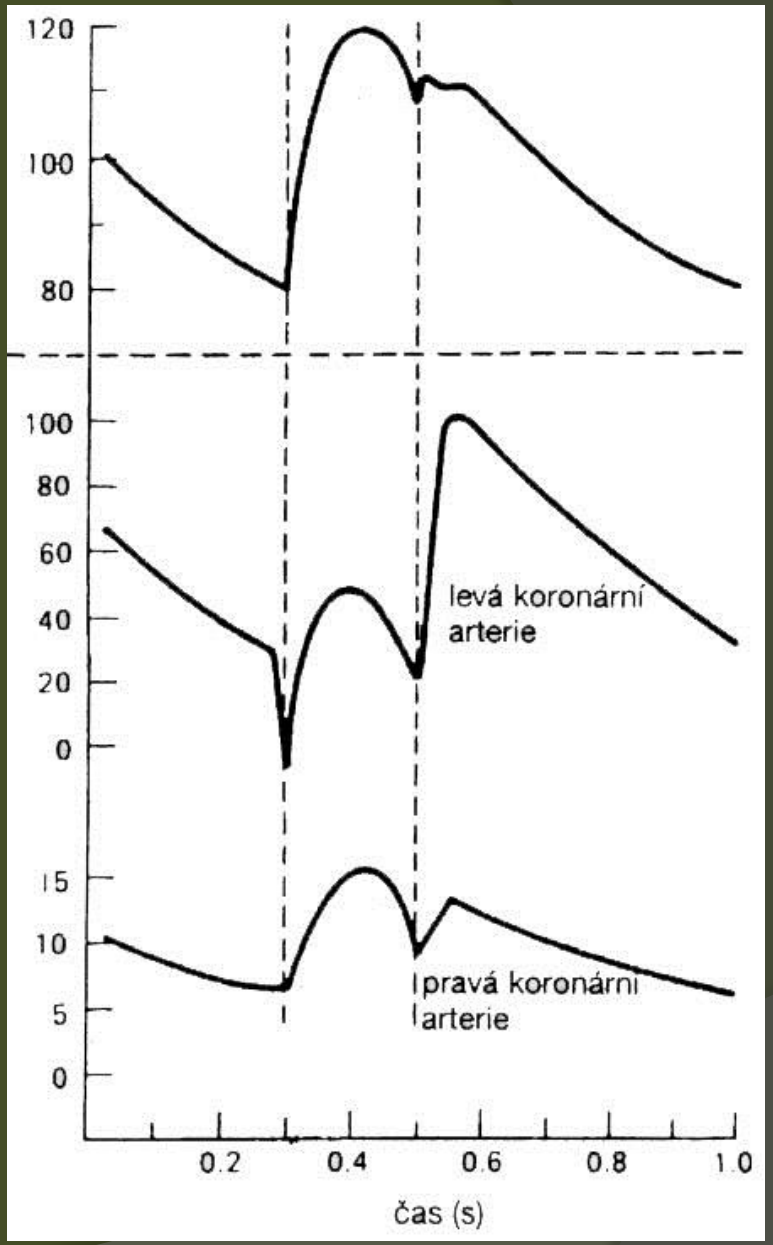
Energetické zajištění srdeční činnosti

- **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**

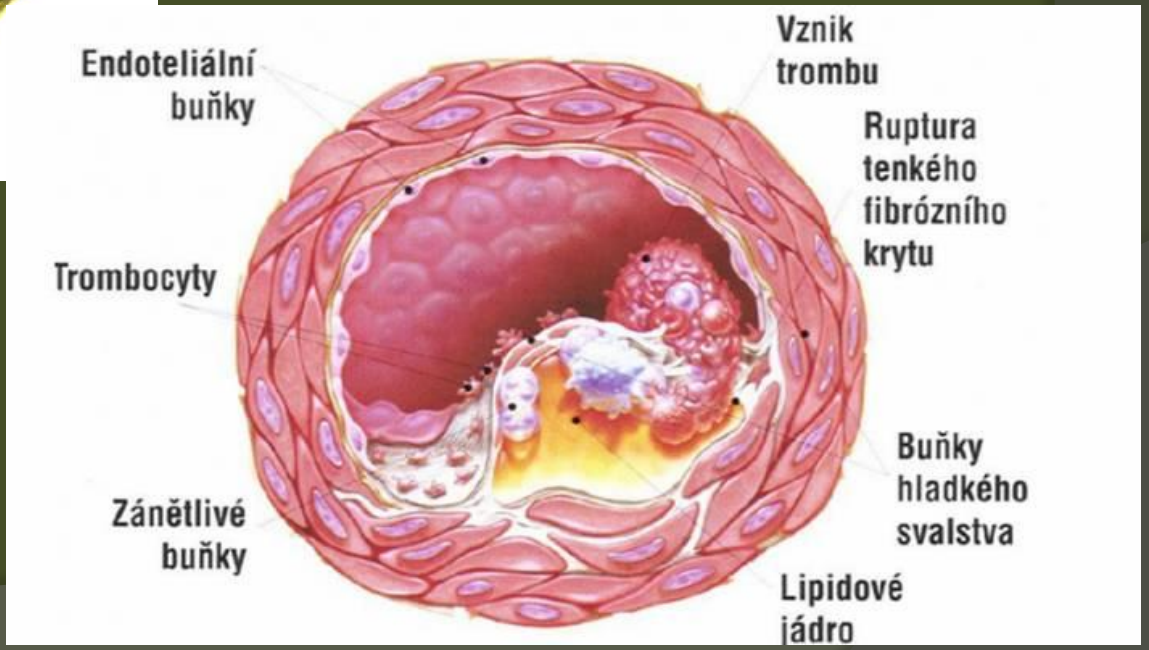
- **spotřeba živin:**
  - ✓ **volné mastné kyseliny**
  - ✓ **LA**
  - ✓ **glukóza**
  - ✓ **aminokyseliny**




120
100
80
100
80
60
40
20
0
levá koronární
arterie
15
10
5
0
pravá koronární
arterie
0.2
0.4
0.6
0.8
1.0
čas (s)

Infarkt myokardu

Infarktová zóna



REGULACE PRŮTOKU VĚNČITÝMI TEPNAMI

AUTOREGULACE

(vazodilatace)

- ↓ O_2
- ↑ CO_2
- ↓ pH
- ↑ K^+
- prostaglandiny

NERVOVÁ REGULACE

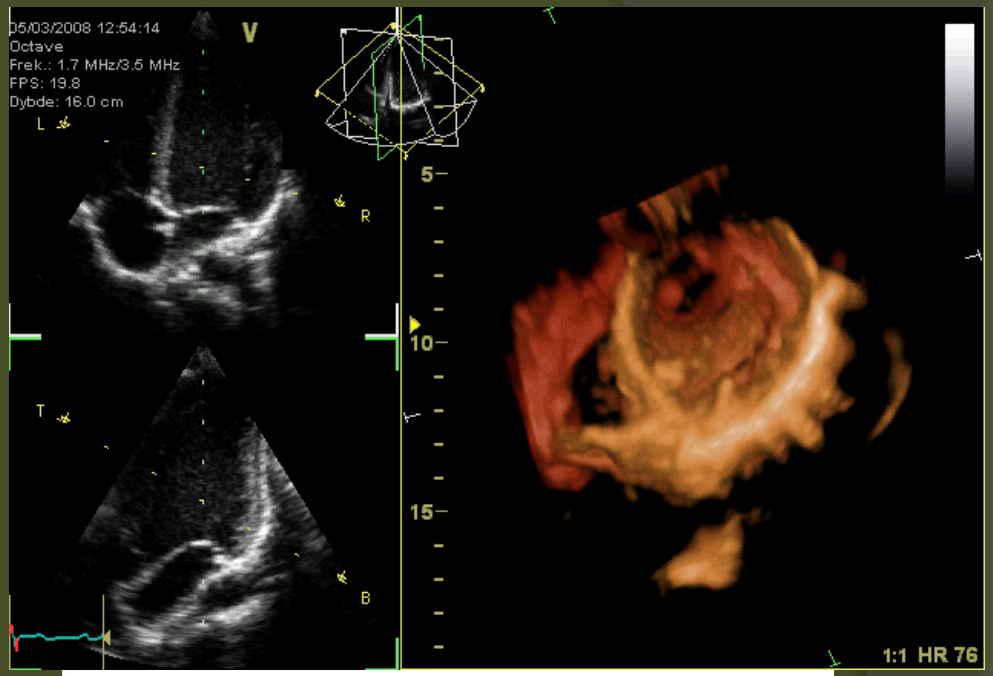
- *sympatikus*
  - vazodilatace
- *parasympatikus*
  - nepodílí se na řízení průtoku

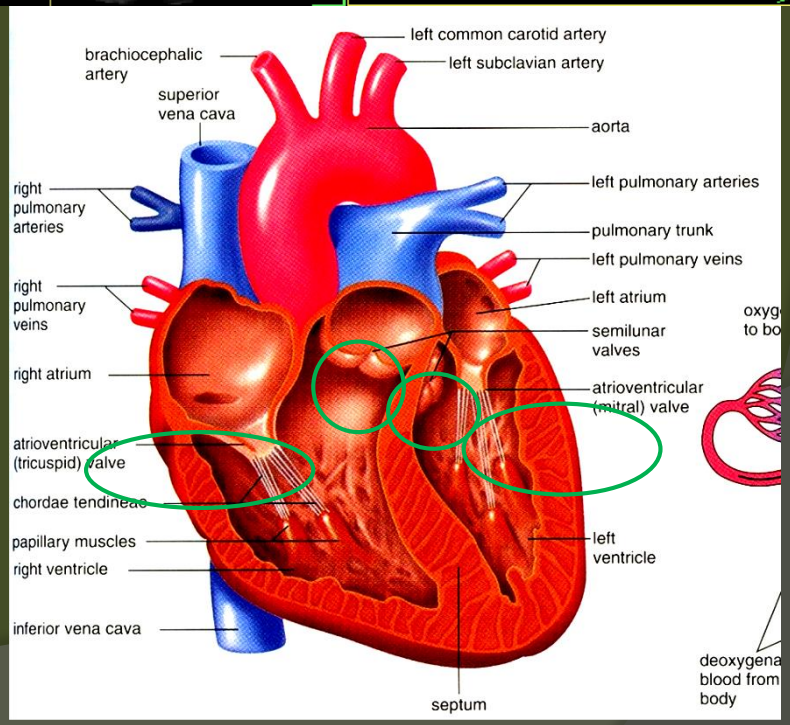
Anatomie srdce

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





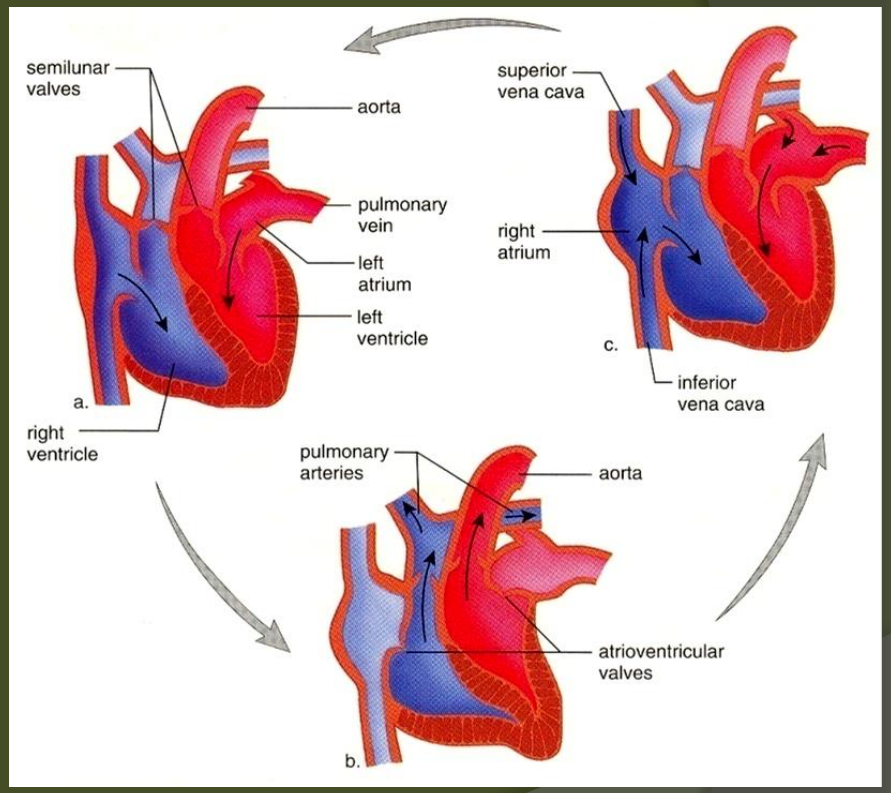
Mechanická činnost srdce

systola síní, diastola komor

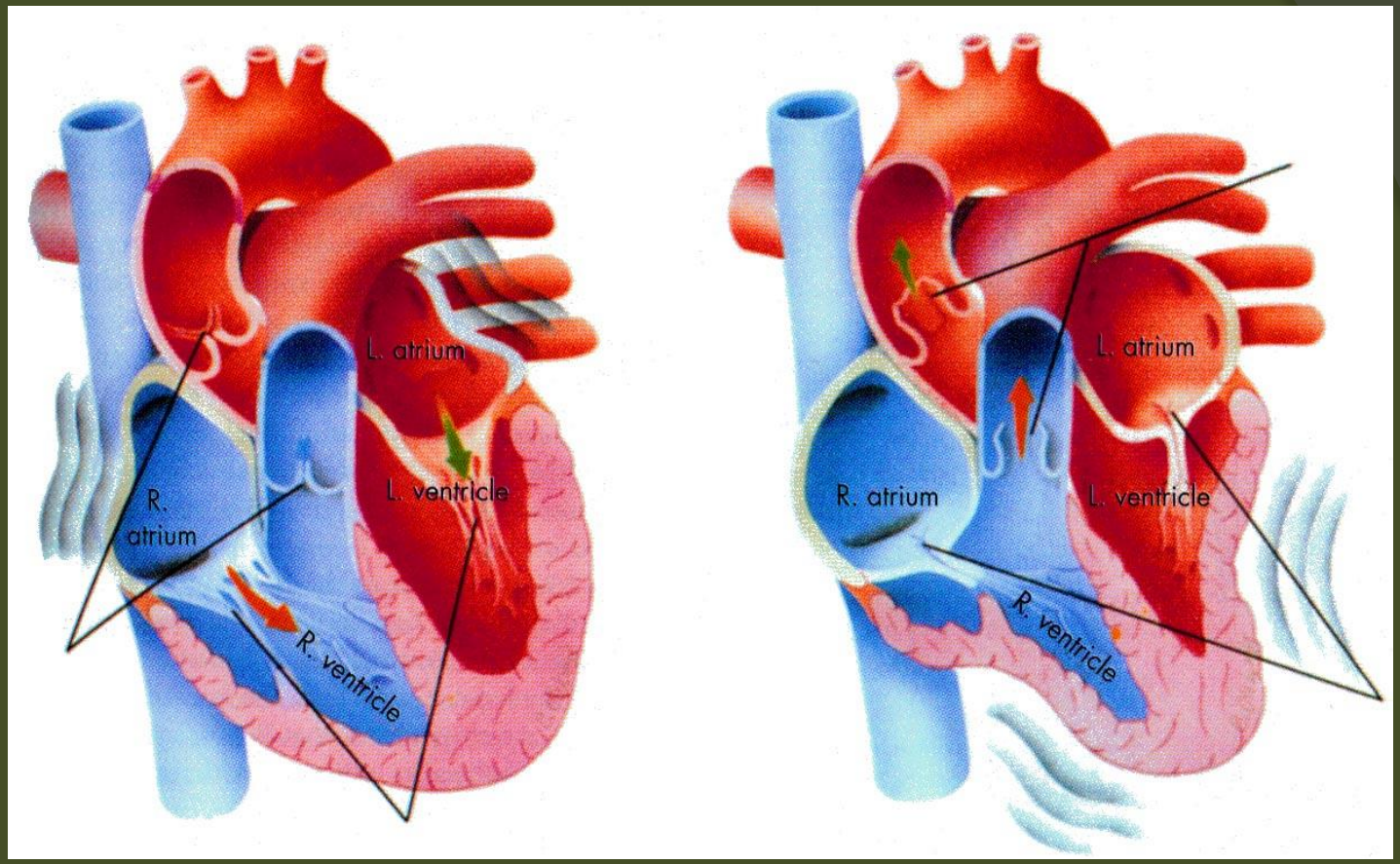
diastola síní, diastola komor

srdeční revoluce = má dvě fáze:

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



systola komor



DIASTOLA

- izovolumická relaxace
- plnění komor

SYSTOLA

- izovolumická kontrakce
- ejekce

Řízení srdeční činnosti

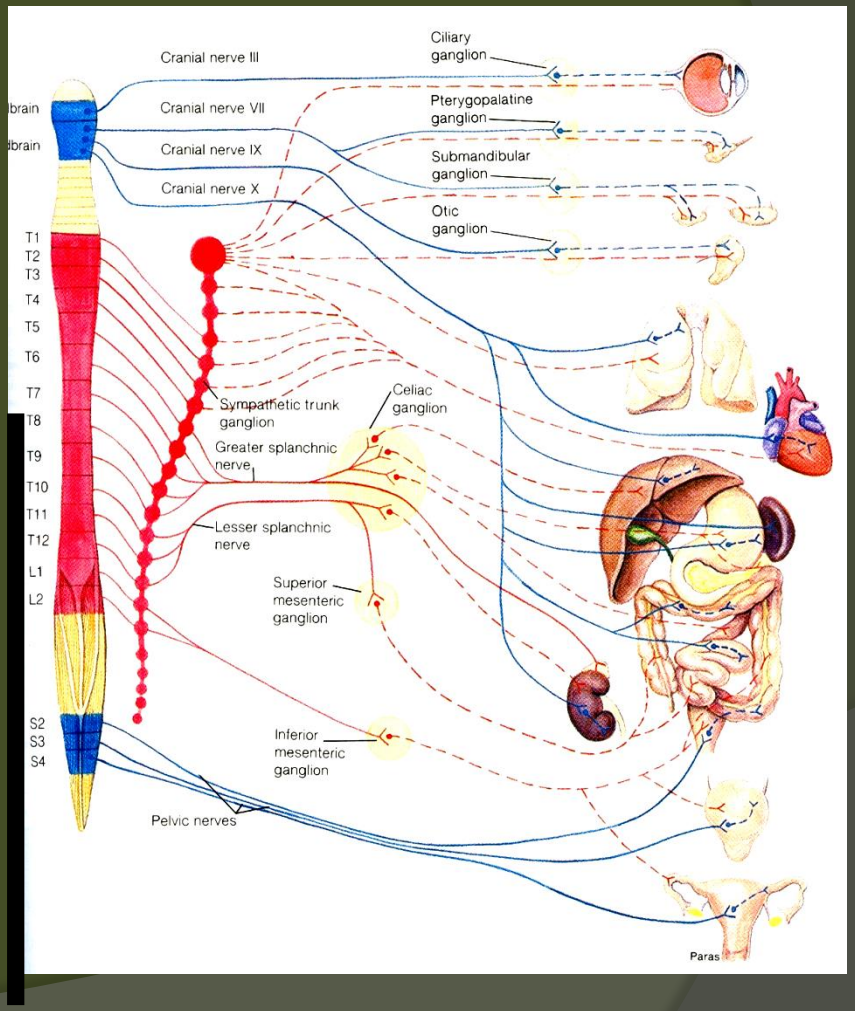
1. *Nervové řízení*

Parasympatikus

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

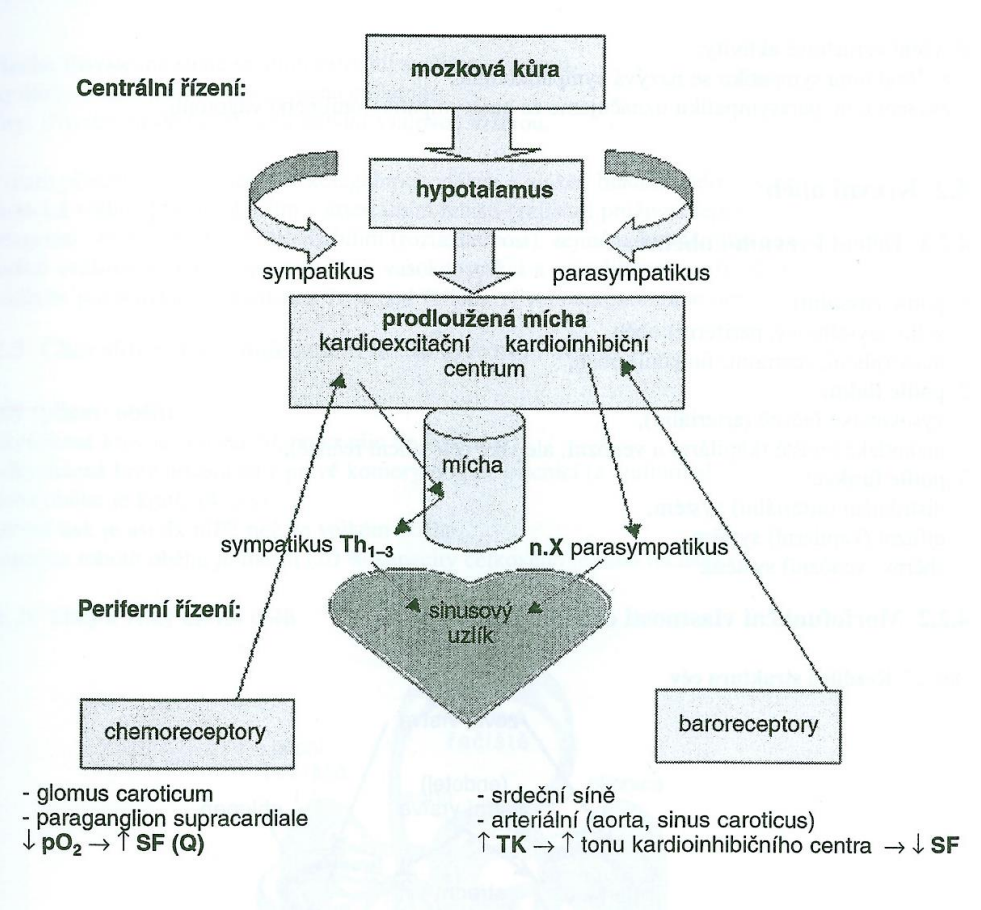
Sympatikus

- ✓ **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)



Ukazatele srdeční činnosti - srdeční objem

Systolický srdeční objem (Q_s)

= množství krve přečerpané jedním stahem každé komory

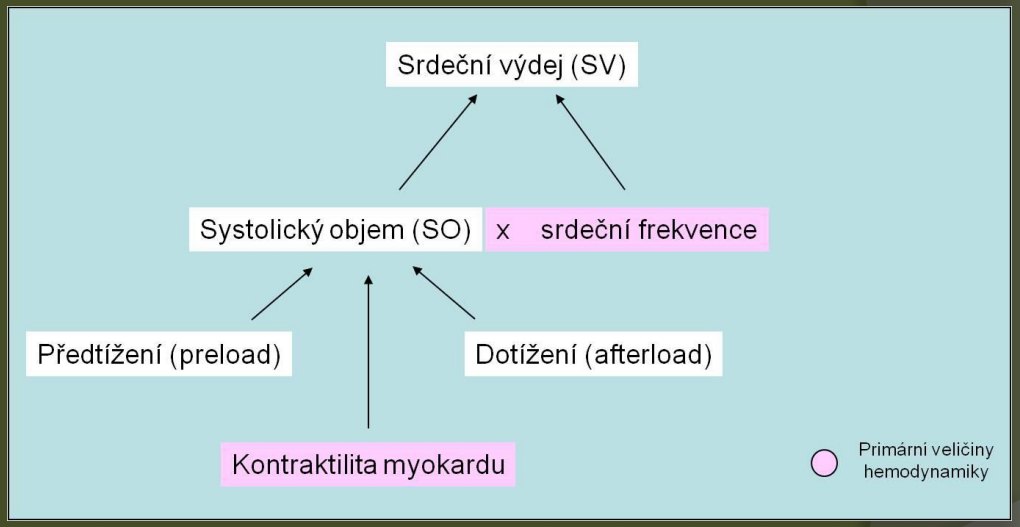
v klidu = 70 ml

Minutový srdeční objem ($\bar{Q}$)

= množství krve přečerpané za časovou jednotku

výpočet: SF x Q_s

70 tep.min^{-1} x 70ml = 5 l.min^{-1}



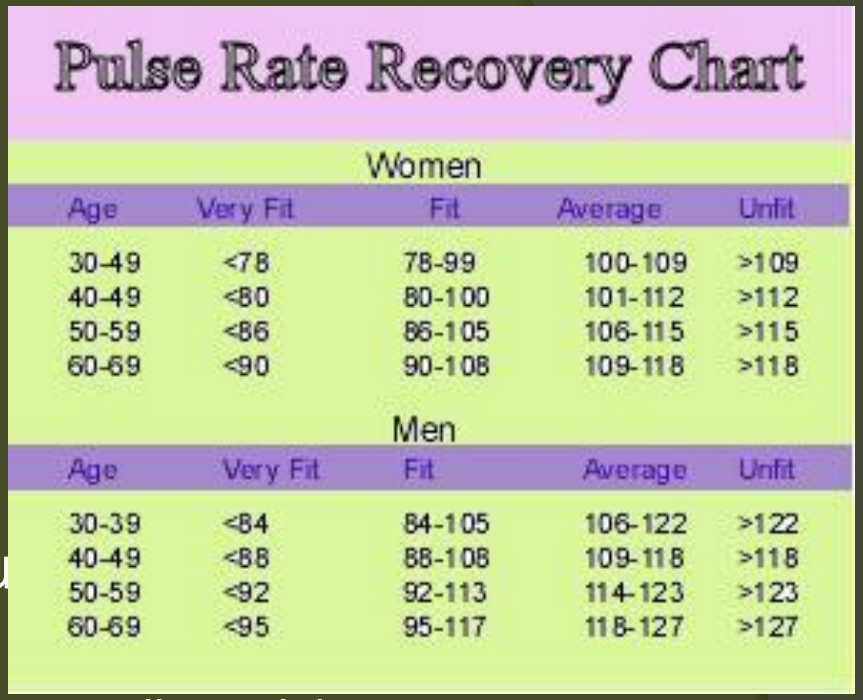
Minutový srdeční objem - klidový

- 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
- $Q = Q_S \times SF$

V KLIDU	SF [1/min]		Q_S [ml]		Q [l]
netrénovaný muž	72	x	70	=	5
netrénovaná žena	75	x	60	=	4,5
trénovaný muž	50	x	100	=	5
trénovaná žena	55	x	80	=	4,5

Srdeční frekvence



Pulse Rate Recovery Chart

Women

Age	Very Fit	Fit	Average	Unfit
30-49	<78	78-99	100-109	>109
40-49	<80	80-100	101-112	>112
50-59	<86	86-105	106-115	>115
60-69	<90	90-108	109-118	>118

Men

Age	Very Fit	Fit	Average	Unfit
30-39	<84	84-105	106-122	>122
40-49	<88	88-108	109-118	>118
50-59	<92	92-113	114-123	>123
60-69	<95	95-117	118-127	>127

- 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)

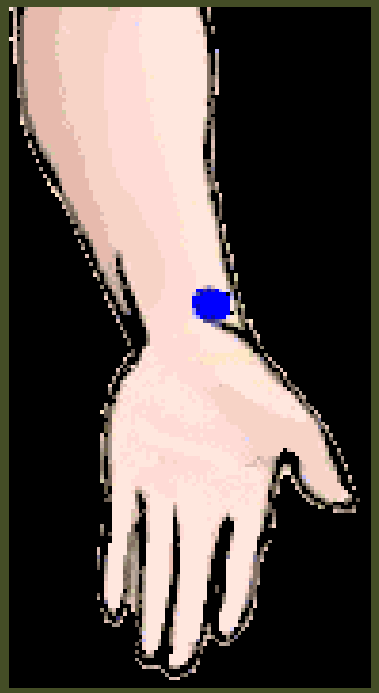
Průměrné hodnoty SF max

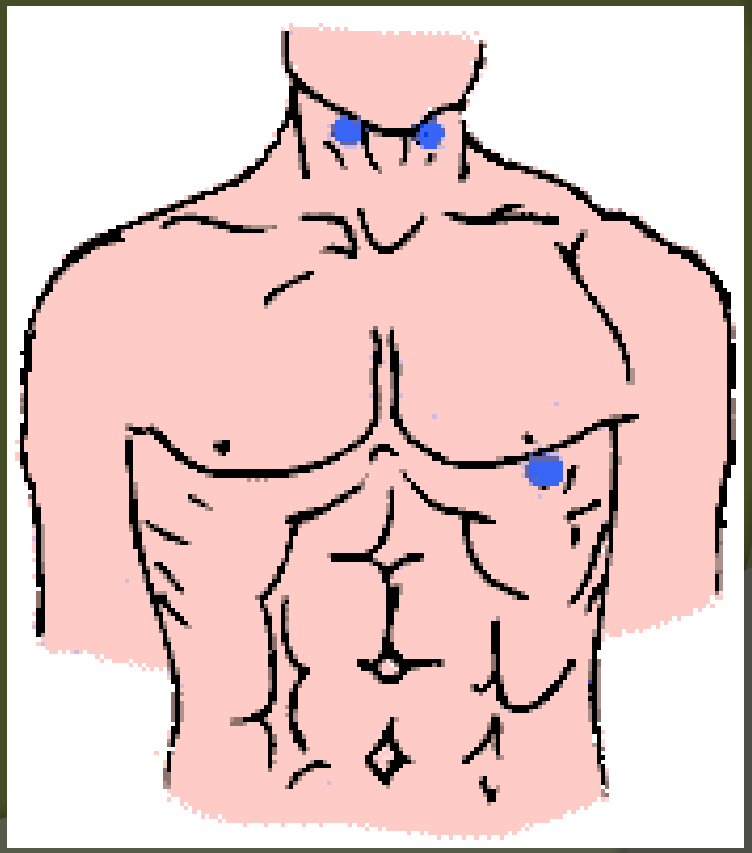
VĚK	MUŽI	ŽENY
18	194±10	197±7
25	191±9	194±8
35	186±10	188±9

SF_{max} = 220 - 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

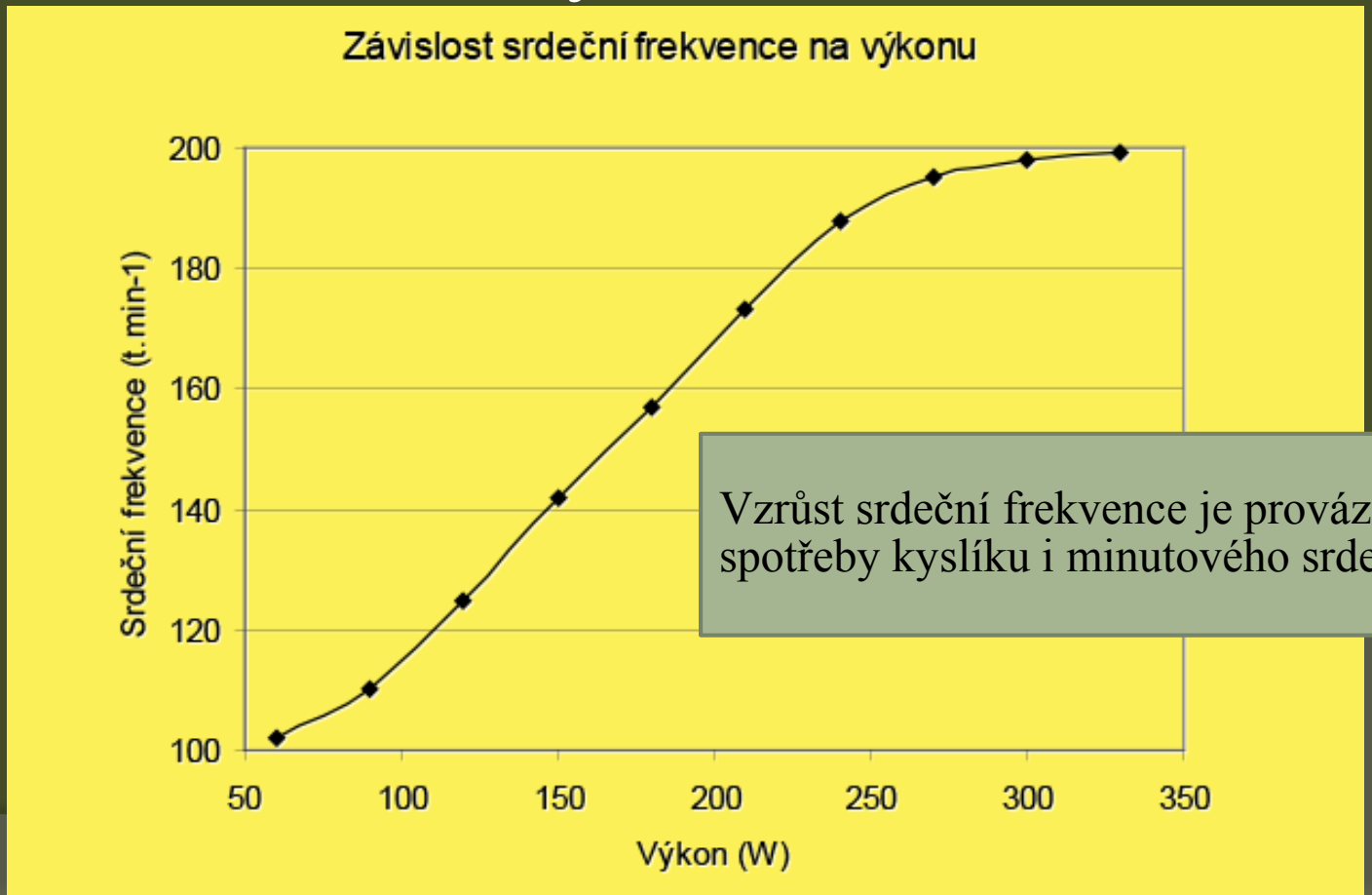




KARDIOVASKULÁRNÍ HODNOTY

SRDEČNÍ FREKVENCE

- V zatížení stoupá lineárně až do (submaximální intenzita 75-85% max) pak zpomalení vzestupu až na úroveň maximální srdeční frekvencetam jen několik minut.



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

TEPOVÉ FREKVENCE V ZÁVISLOSTI NA VĚKU A ZAMĚŘENÍ TRÉNINKU

BĚŽECKÁ ŠKOLA MILOŠE ŠKORPILA

- **TEPOVÝ KYSLÍK** : **VO_2:SF**

  - množství kyslíku dodané tkáním jedním tepem

  - ukazatel výkonnosti i ekonomiky práce transportního systému

  (čím vyšší, tím příznivější)

	♂	♀	trénovaní
klid	4,0–4,5	3,0–3,5	5,0–6,5
max. zátěž	15,0–16,0	8,0–11,0	20,0–28,0

- 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)

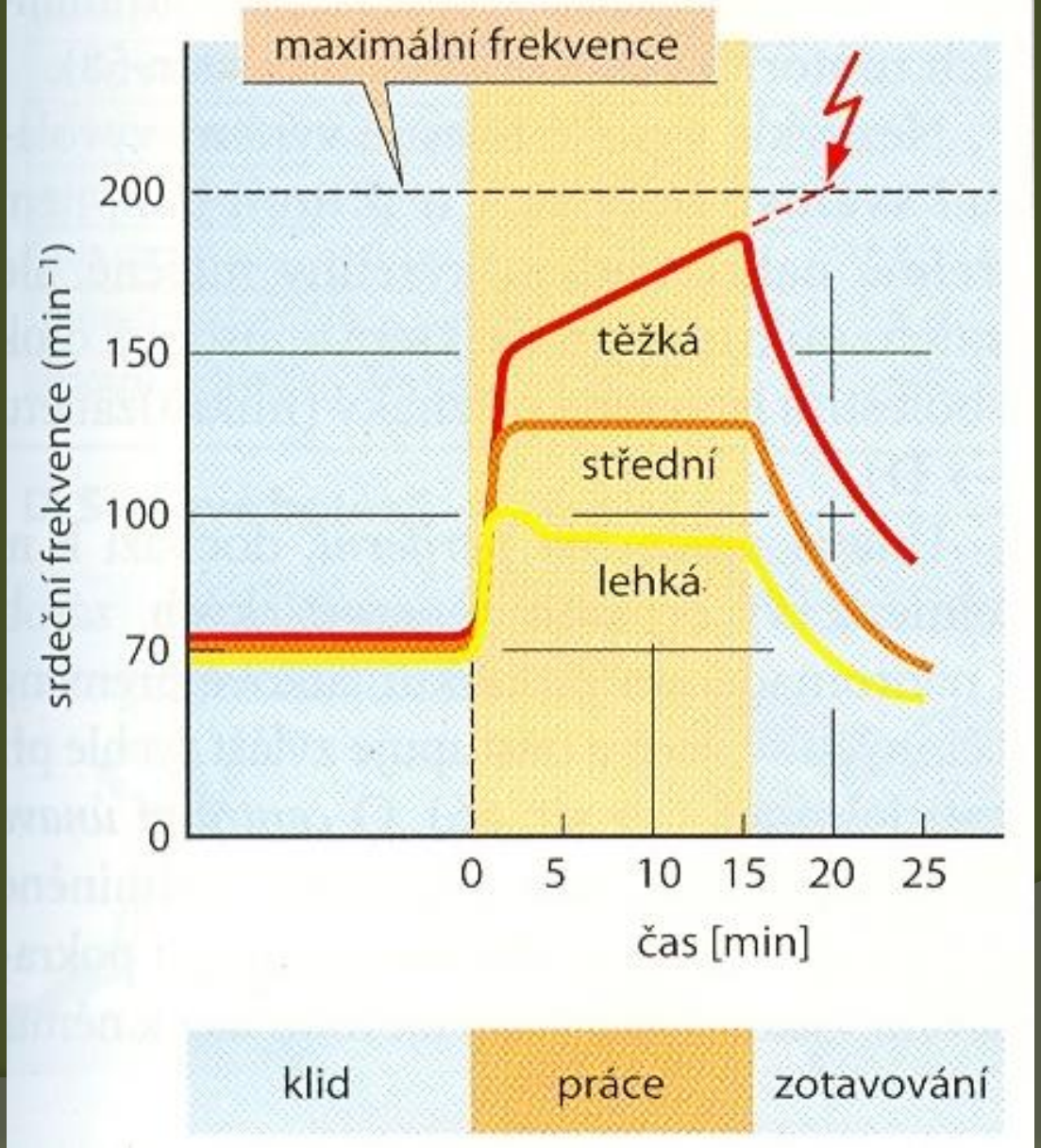
- *mechanismus*: podmíněné a nepodmíněné reflexy, tělesná teplota, hormonální a látkové změny v krvi

srdeční frekvence – dynamika změn

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

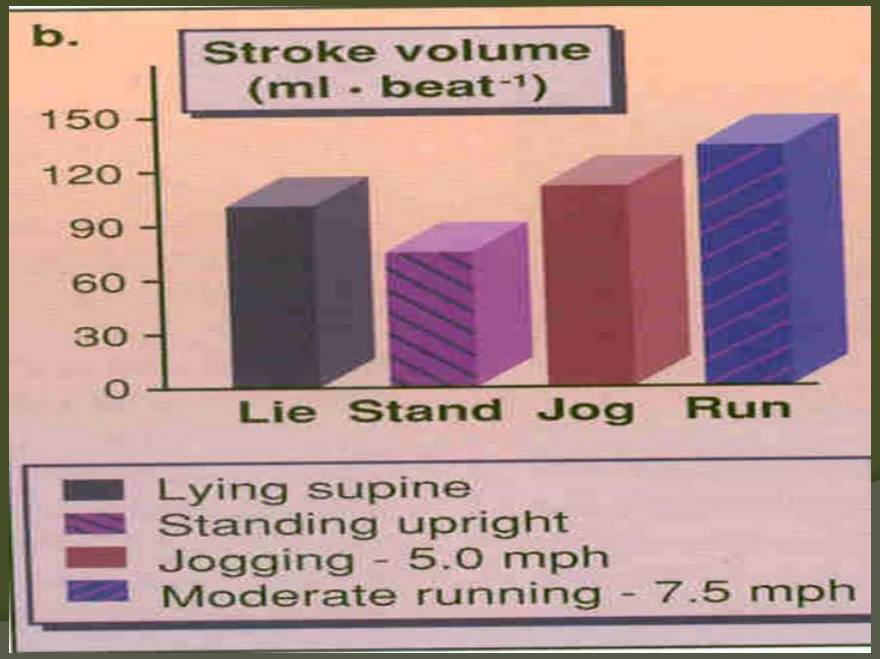
- *mechanismus*: nepodmíněné reflexy, látkové změny v krvi vycházející ze svalů

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



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 5 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 splanchnické 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

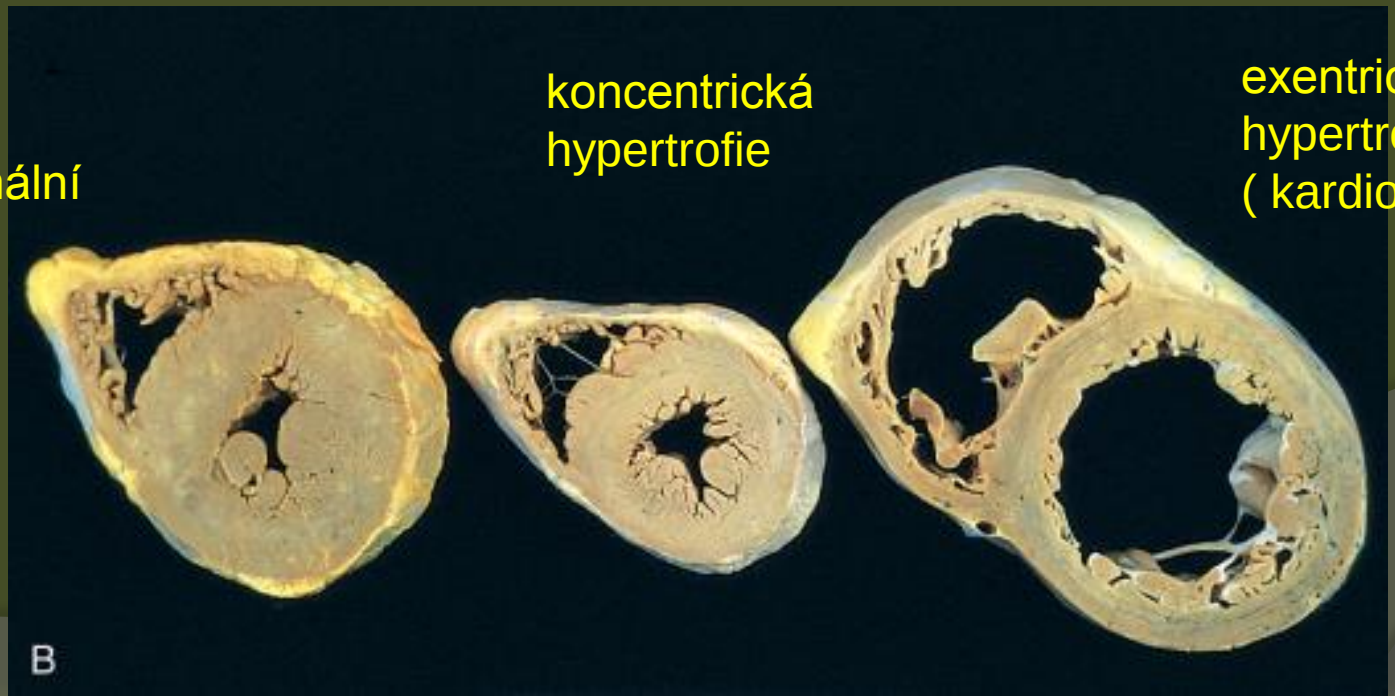
u vytrvalostního tréninku

hypertrofie ***excentrická*** = dilatace komor

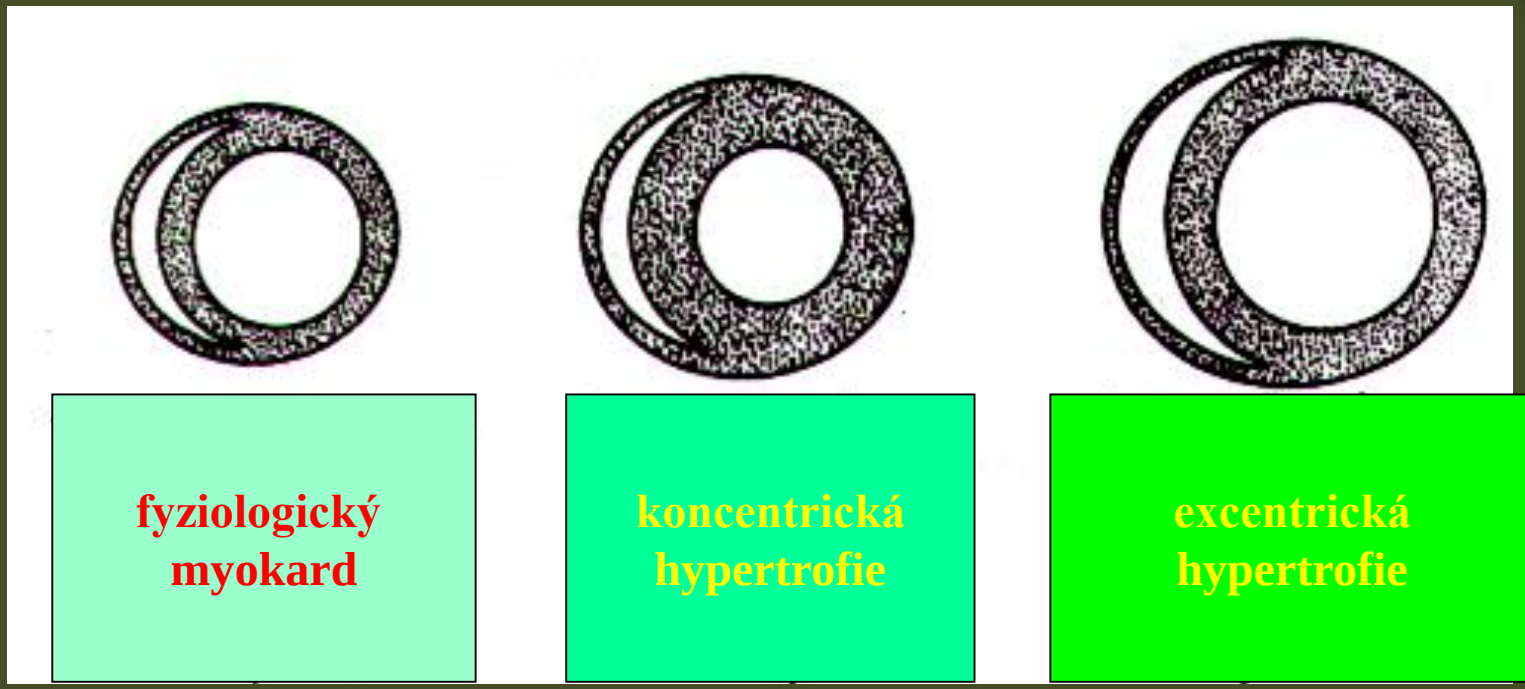
u silového tréninku

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

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



Hypertrofie a dilatace srdce



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 (zatížení)

až 35 l/min

ADAPTACE NA ZÁTĚŽ

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