

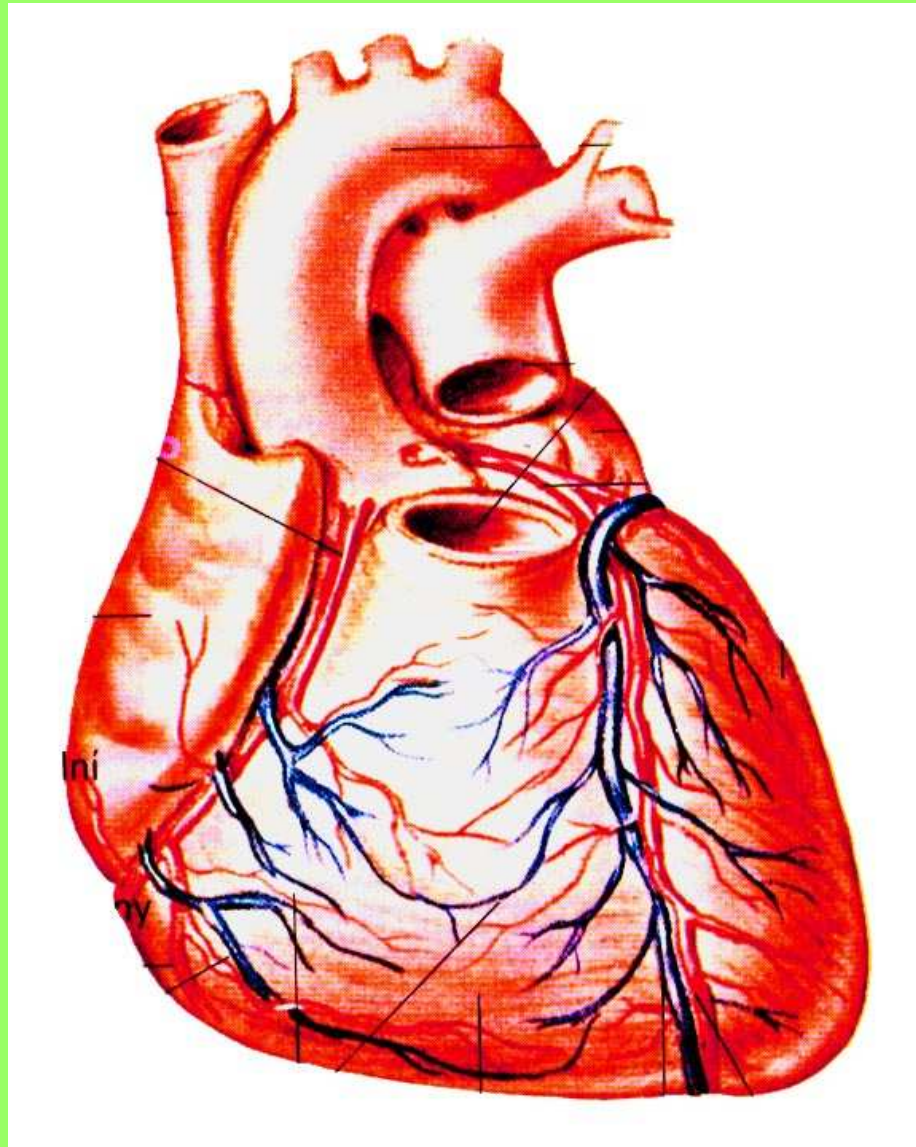
FYZIOLOGIE

Mgr. Martina Novotná, Ph.D.

novotna@fsps.muni.cz

www.fsps.muni.cz/~novotna

OBĚHOVÝ SYSTÉM A ZÁTĚŽ



Srdce:

- srdeční frekvence (HR nebo SF/TF) **70/min**
- systolický objem = tepový objem (SV/TO nebo Q_s) **70 ml**
- minutový objem srdeční = srdeční výdej (MV nebo Q) **5 l/min**

Krevní oběh

složka transportního kardiopulmonálního systému

změny:

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

srdeční frekvence – dynamika změn

fáze úvodní = \uparrow 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

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

REAKCE NA ZÁTĚŽ

- SRDEČNÍ FREKVENCE ↑
- SYSTOLICKÝ OBJEM ↑
- SRDEČNÍ VÝDEJ ↑
- KONTRAKTILITA ↑
- END DIASTOLICÝ OBJEM ↑
- END SYSTOLICKÝ OBJEM ↑
- 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*** = zvětšení komor
+ ↑ tloušťka stěn

- u silového tréninku

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

Trénovaný jedinec - funkční změny

↓ klidové TF = sportovní bradykardie





- extrémní hodnoty 30-35 tepů/min

↑ klidového tepového objemu na 80-100 ml

- při zátěži až 150-200 ml

↑ max. minutový objem až 35 l/min

ADAPTACE NA ZÁTĚŽ

- SRDEČNÍ FREKVENCE 
- SYSTOLICKÝ OBJEM  100-120 ml
- SRDEČNÍ VÝDEJ 
- KONTRAKTILITA 

Krevní tlak (TK)

- klidové hodnoty 120/70(80)
- systolický
- diastolický
- pulsový
- střední

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

Krevní tlak (TK)

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

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

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

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)
- vasodilatace - parasympatikus

metabolická autoregulace: CO₂, ADP, laktát, ↓ pH, histamin => vasodilatace ve svalech

Tepová frekvence





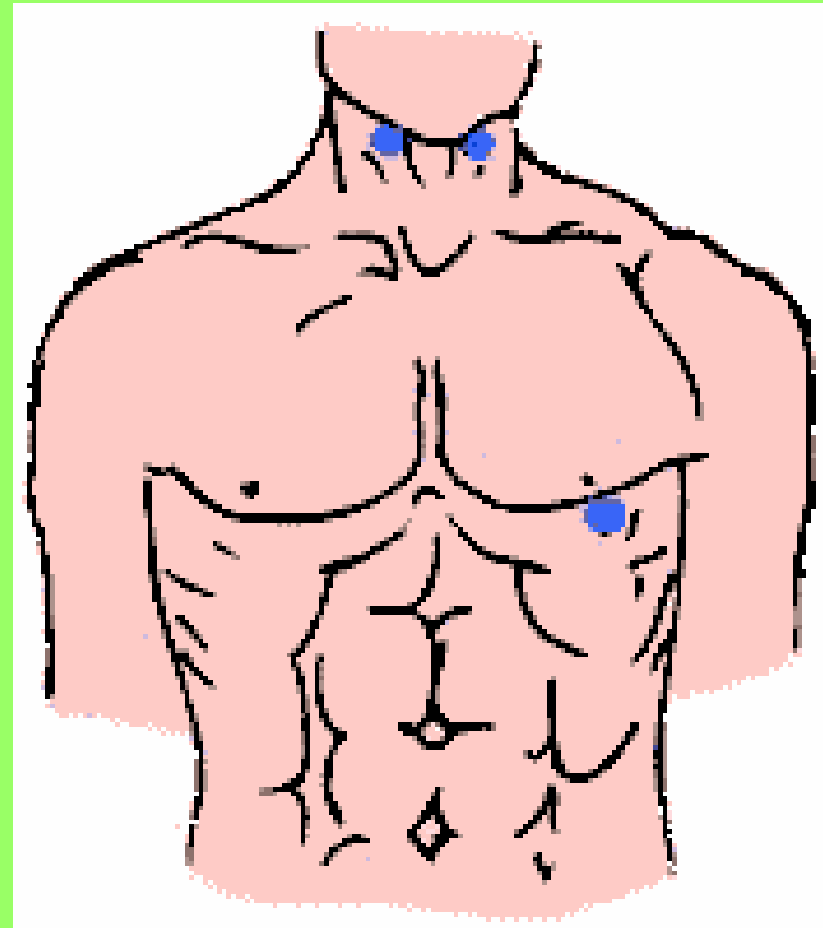
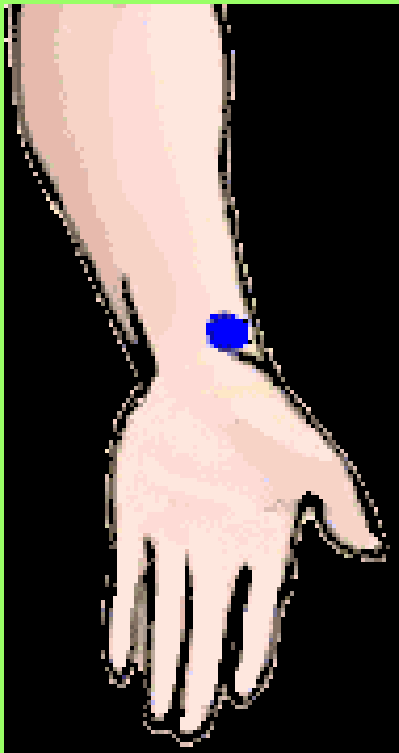
- při vypuzení systolického objemu krve ze srdce do srdečnice se rozšíří její pružný začátek
- při následující diastole se opět stáhne a při tom tlačí krev směrem k obvodu těla
- roztažení a stažení aorty a z ní odstupujících tepen se šíří k obvodu těla jako pulsová vlna
- na povrchových tepnách můžeme nahmatat jejich roztažení jako tep (puls)

Srdeční frekvenci můžeme zjišťovat těmito způsoby:

- ausultací (poslechem) na hrotě srdce
- z křivky EKG záznamu (vzdálenost R-R)
- palpací (hmatáním) pulzu
- přístroji založenými na fotometrickém, piezoelektrickém nebo elektrickém principu

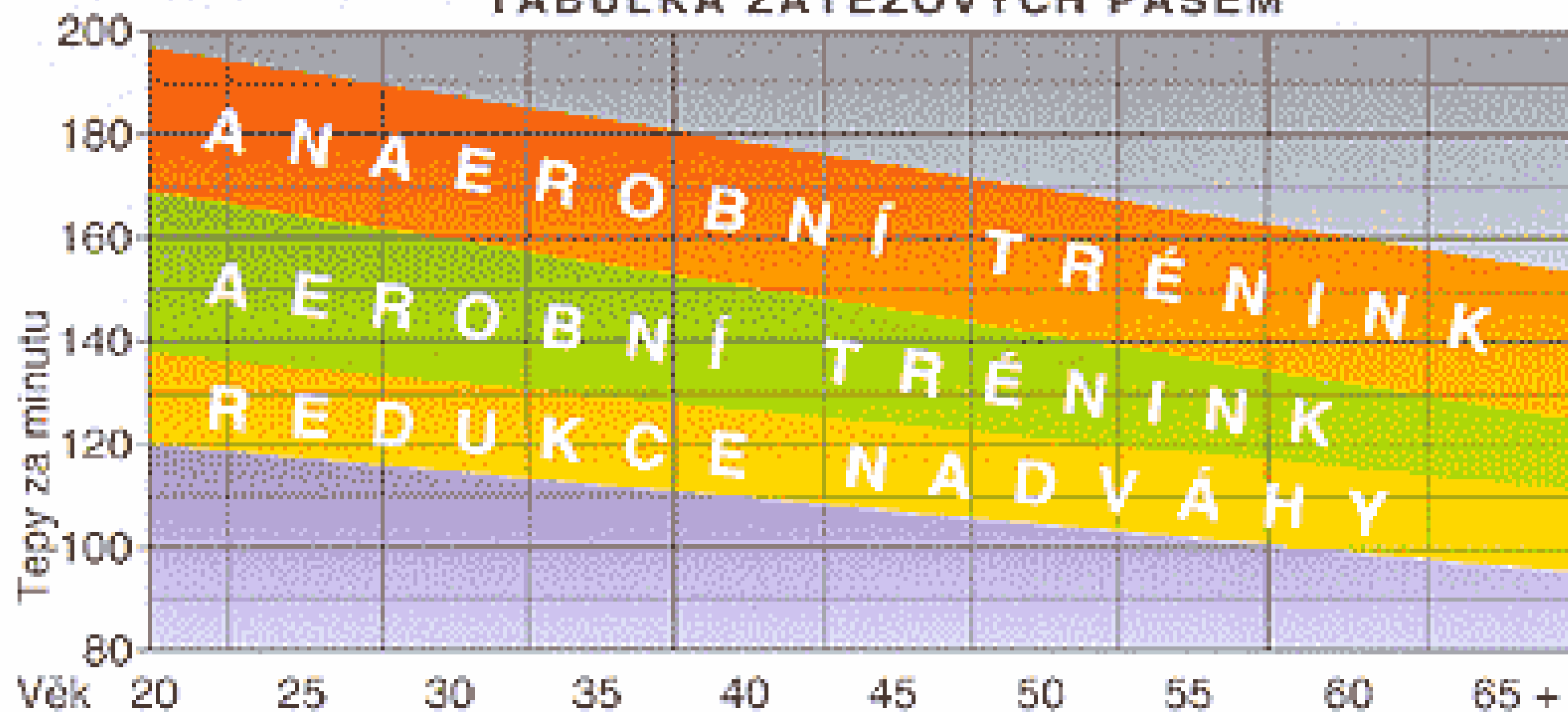
Palpační metoda

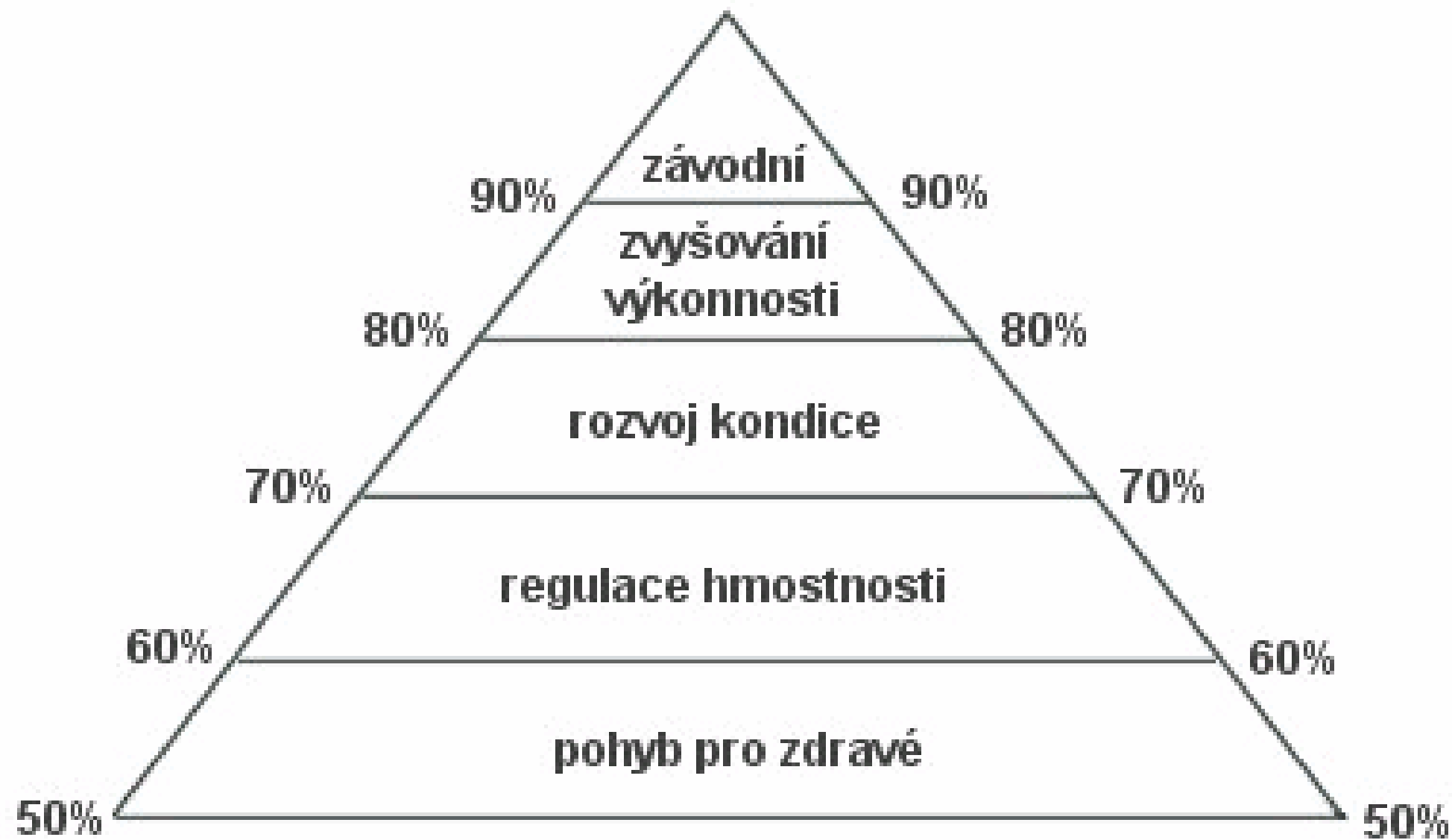
- Tep se nejčastěji zjišťuje v místech, kde tepny procházejí blízko kožního povrchu, například na tepně vřetení na zápěstí, na krkavici ad.



- Průměrná klidová frekvence člověka je 72 tepů za minutu
- v dětském věku je vyšší
- tepová frekvence se zvyšuje při horečce, při práci a při rozčílení
- při námaze se tepová frekvence zvýší dvojnásobně, do dvou až tří minut dosáhne opět původní klidové hodnoty
- u sportovců se po skončení zátěže vrací tepová frekvence na výchozí hodnotu rychleji

TABULKA ZÁTĚŽOVÝCH PÁSEM





Změny SF při zatížení – 3 fáze

- úvodní (předstartovní zvýšení SF)
- průvodní (zvýšení SF při vlastní činnosti – strmost vzestupu je úměrná intenzitě zatížení, potom dochází k ustálení)
- následná (dochází k návratu SF k výchozím hodnotám)

- Vagotonici (jedinci s nízkou klidovou SF)
- Normotonici (s běžnou klidovou SF)
- Sympatikotonici (klidová SF výrazně vyšší)

Průměrné hodnoty SFmax u české zdravé populace:

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

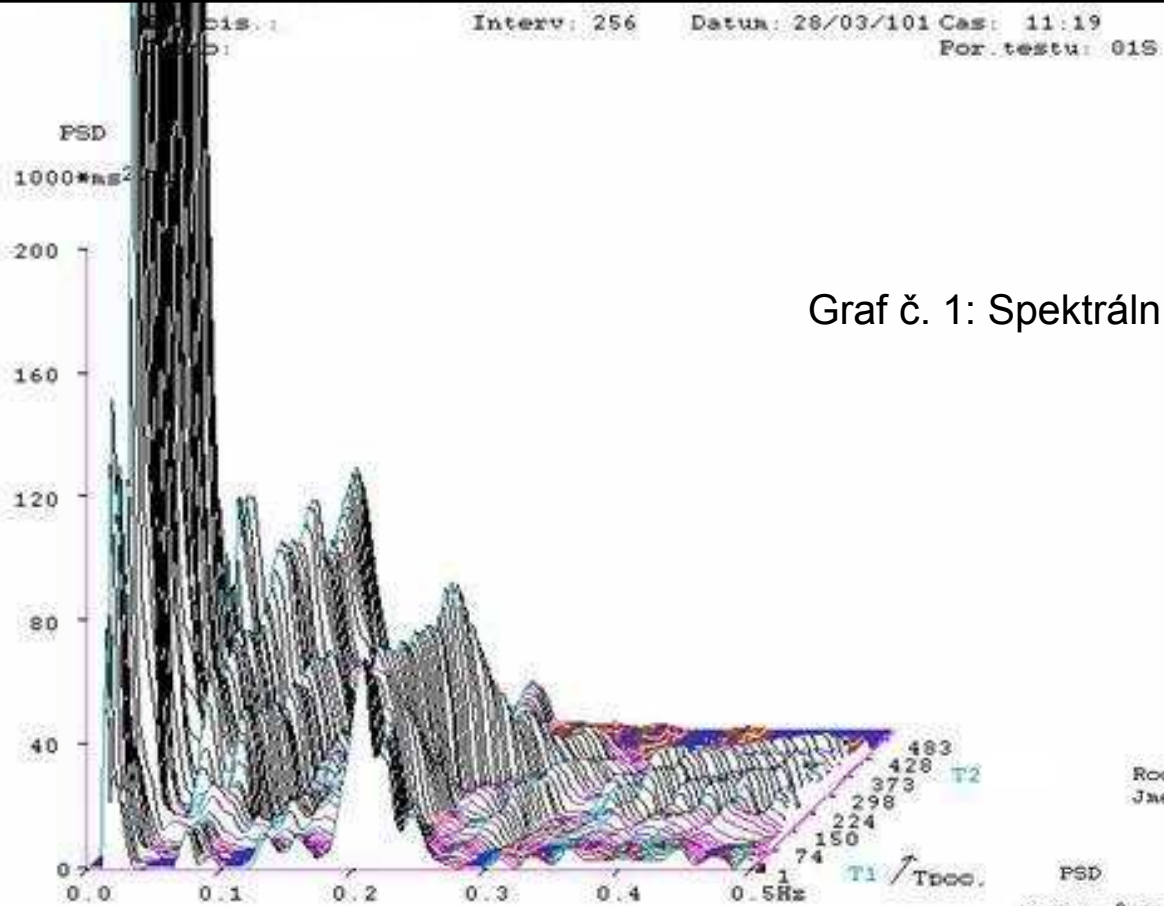
VARIABILITA SRDEČNÍ FREKVENCE (HRV)

- srdeční frekvence v průběhu času kolísá
- tyto fyziologické oscilace vznikají pod vlivem mnoha faktorů (psychika, termoregulace, acidobazická rovnováha, krevní plyny, krevní tlak, koncentrace hormonů, dýchání atd.)

Snímání dat

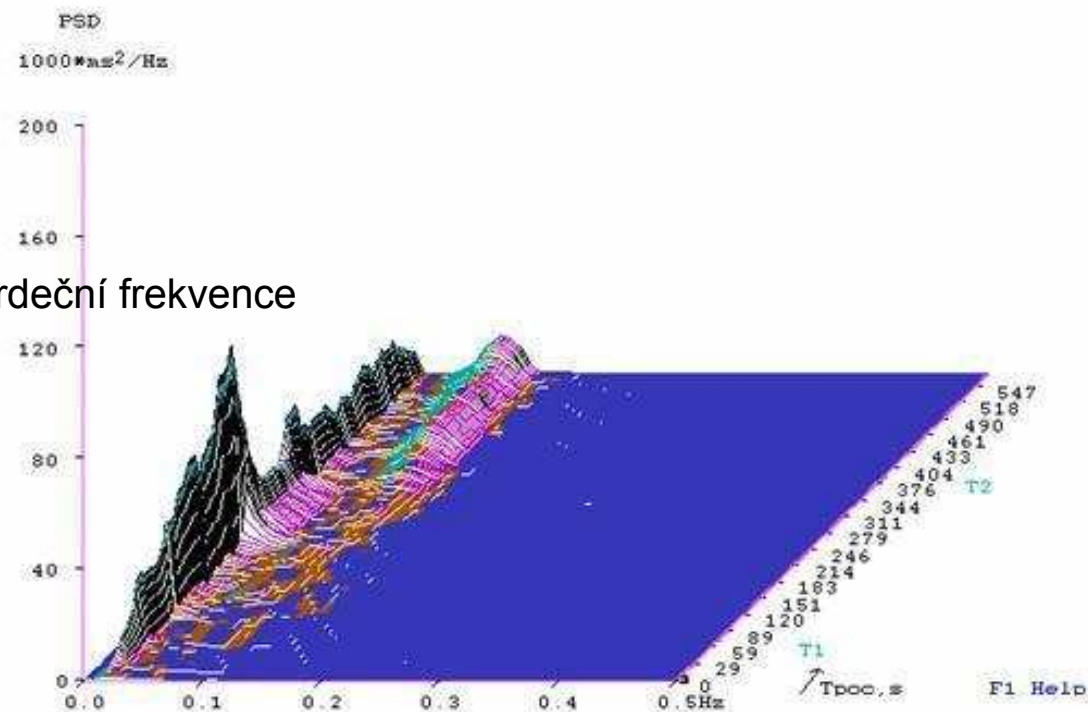
- pomocí ekg elektrod je snímána elektrická aktivita srdce
- snímací frekvence pro vyhledávání vrcholů R kmitů by měla být alespoň 1 kHz.

- u intenzivně trénujících sportovců může být tato vyšetřující metoda přínosem v diagnostice celkové chronické únavy – přetrénování, které bývá spojeno s neurovegetativní dysbalance (hypersympatikotonie nebo parasympatikotonie)



Graf č. 1: Spektrální analýza normální variability srdeční frekvence

Rod cis.: Interv.: 256 Datum: 04/04/101 Cas: 09:07
 Jaeno: For. testu: 01S



Graf č. 2: Spektrální analýza snížené variability srdeční frekvence

Minutový objem srdeční

Krevní tlak

EKG

MINUTOVÝ OBJEM SRDCE - Q

- je množství krve, které srdce vyvrhne do krevního oběhu za minutu
- závisí od množství krve vyvrhnutého při jedné kontrakci (systolický objem – Q_S) a počtu srdečních kontrakcí za minutu – SF .

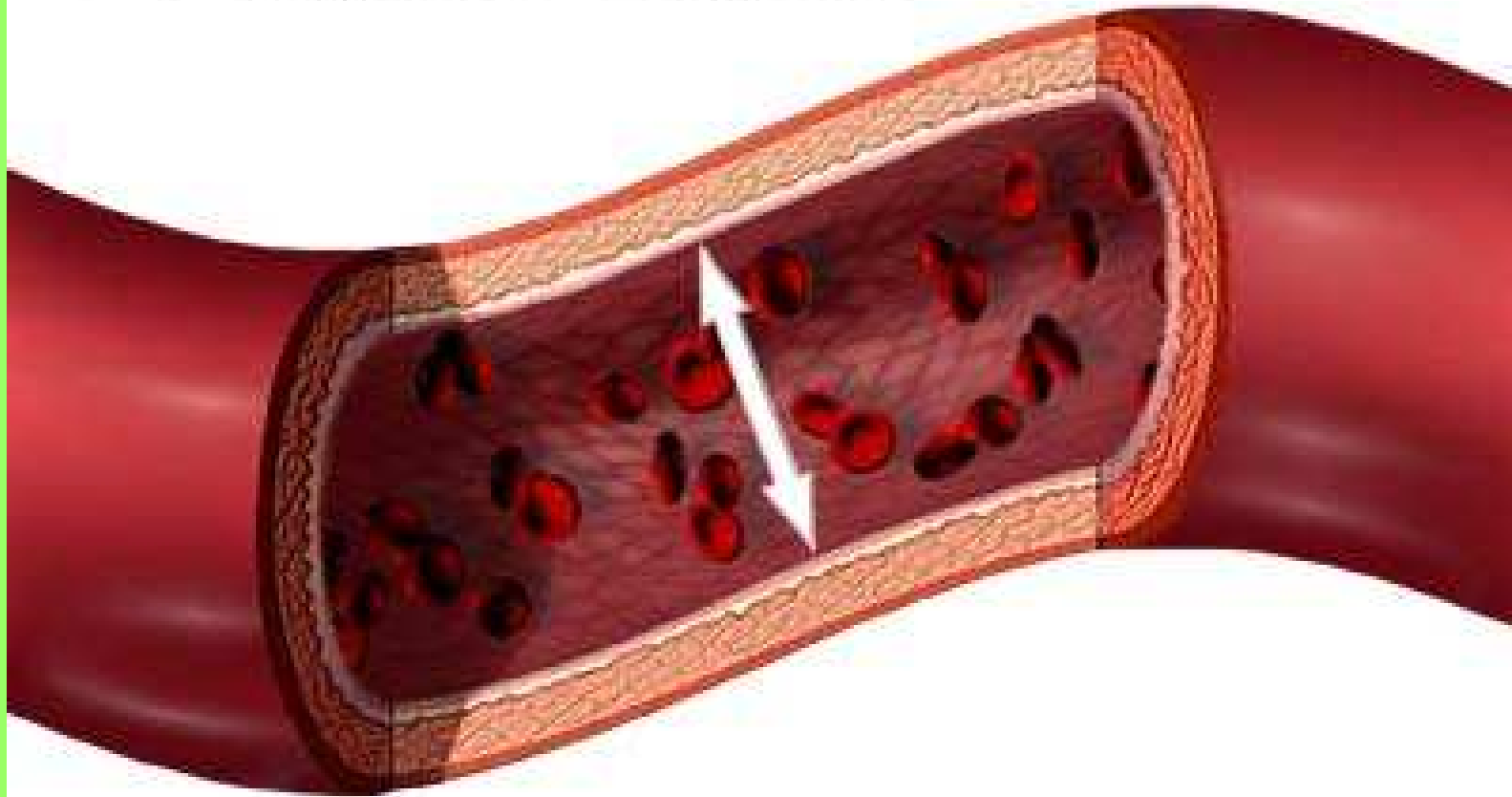
- potřeba prokrvení v pokoji vyžaduje minutový objem asi 5 litrů
- u trénovaných je Q_S vyšší, což jeho srdci umožňuje pracovat v pokoji i při stejné submaximální intenzitě zatížení nižší SF

- $Q = Q_S * SF$

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

KREVNÍ TLAK

Blood pressure is the measurement of force applied to artery walls



- Tlak systolický – tlak měřený při stahu komor (systole): 100 – 160 mm Hg
- Tlak diastolický – tlak měřený při uvolnění komor (diastole) < 90 mm Hg

Tlak krve

- hlavním činitelem ovlivňující TK jsou činnost srdce a periferní odpor
- se může změnit změnami minutového objemu srdce
- při zúžení cév (vasokonstrikci) se periferní odpor a tedy i TK zvýší a naopak, při rozšíření cév (vasodilataci) se oba ukazatelé sníží

TK při tělesném zatížení

- se stoupající velikostí sportovního srdce stoupá při zatížení systolický tlak při určité SF
- diastolický tlak zůstává nezměněný nebo dokonce i mírně klesá

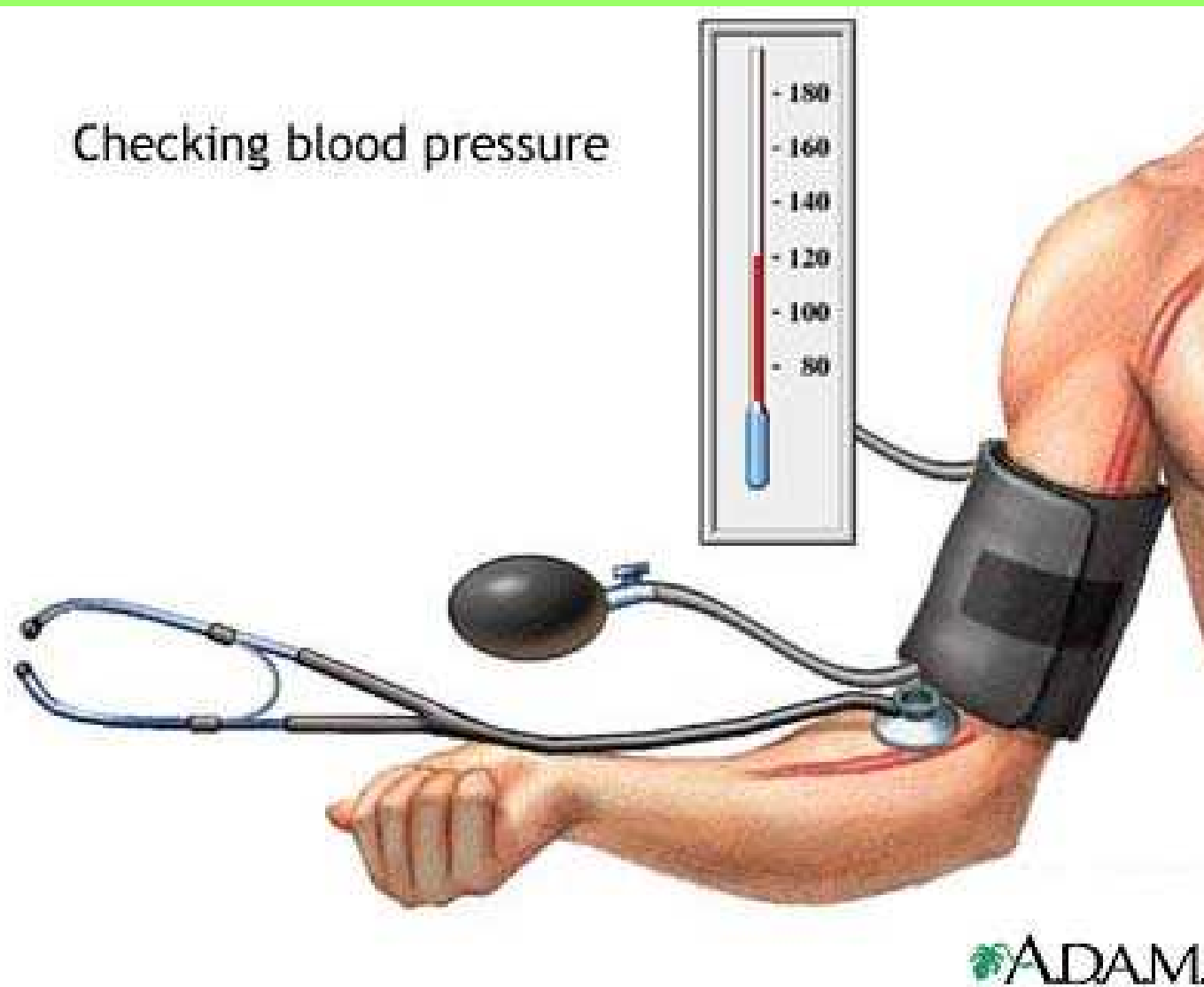
Hodnoty TK při zatížení různé intenzity a délky trvání

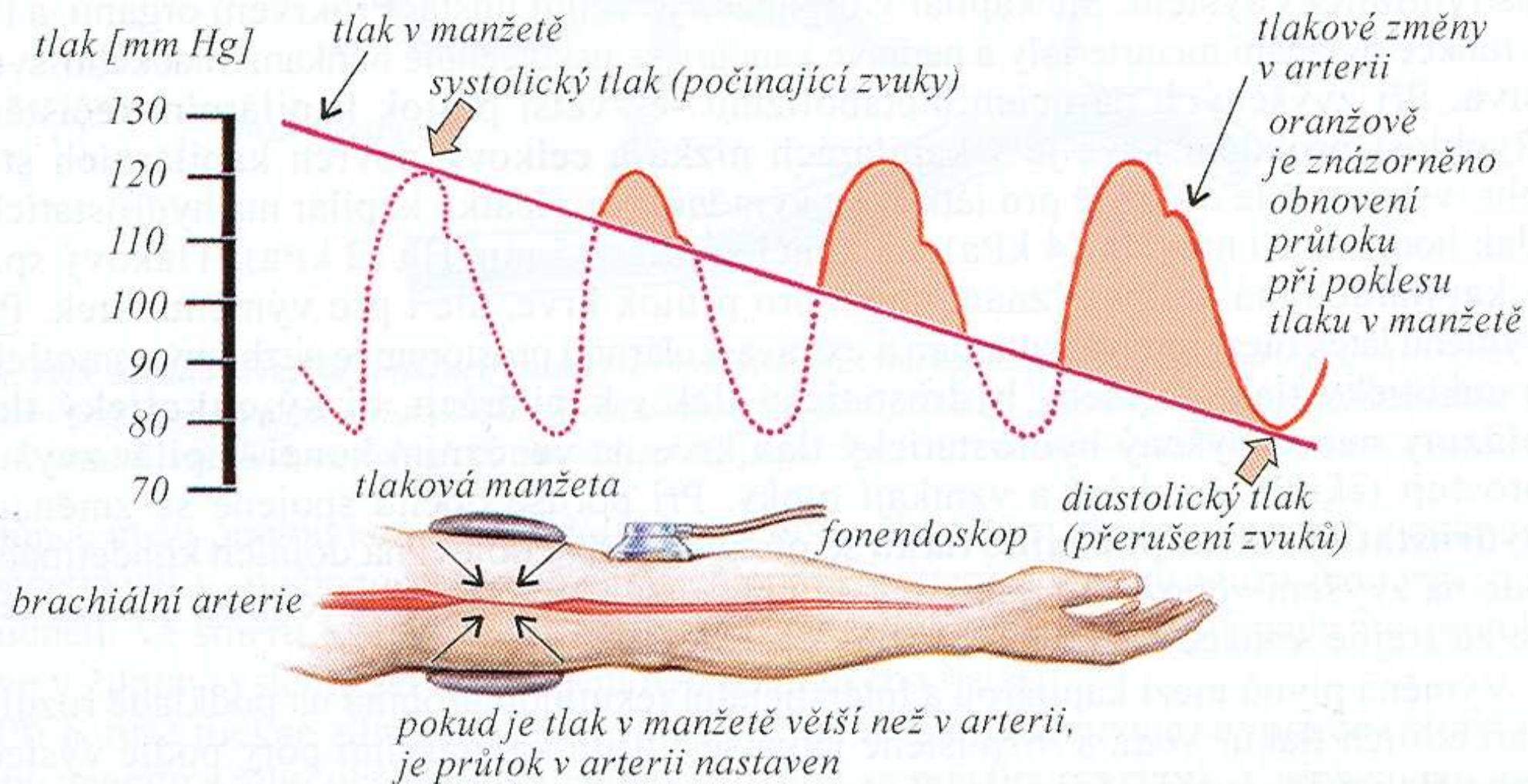
	sTK	dTK
Krátkodobé zatížení max. intenzity	150-190	80-110
Zatížení submaximální intenzity	180-240	40-100
Dlouhodobé zatížení střední intenzity	130-170	80
Statické krátkodobé zatížení	140-160	80-100

- TK se může změnit i bez tělesného zatížení jako reakce na měnící se podmínky vnějšího prostředí.
- Tlak stoupá při psychickém podráždění, ale i při změně polohy těla z lehu do stoje

Měření TK

- metoda palpační
- metoda auskultační





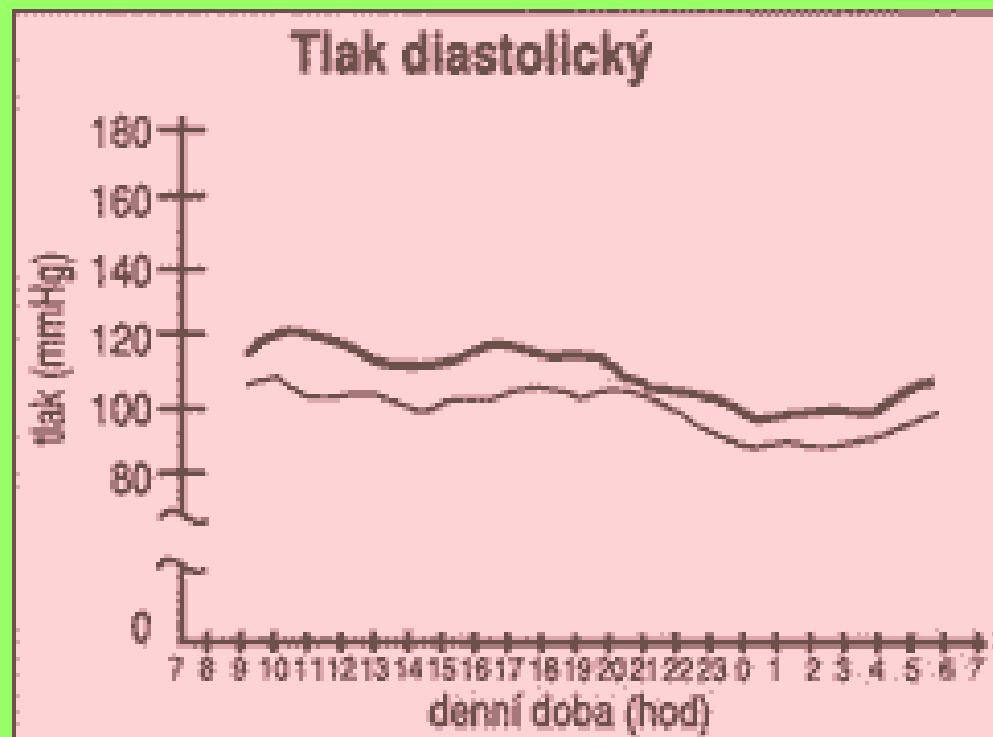
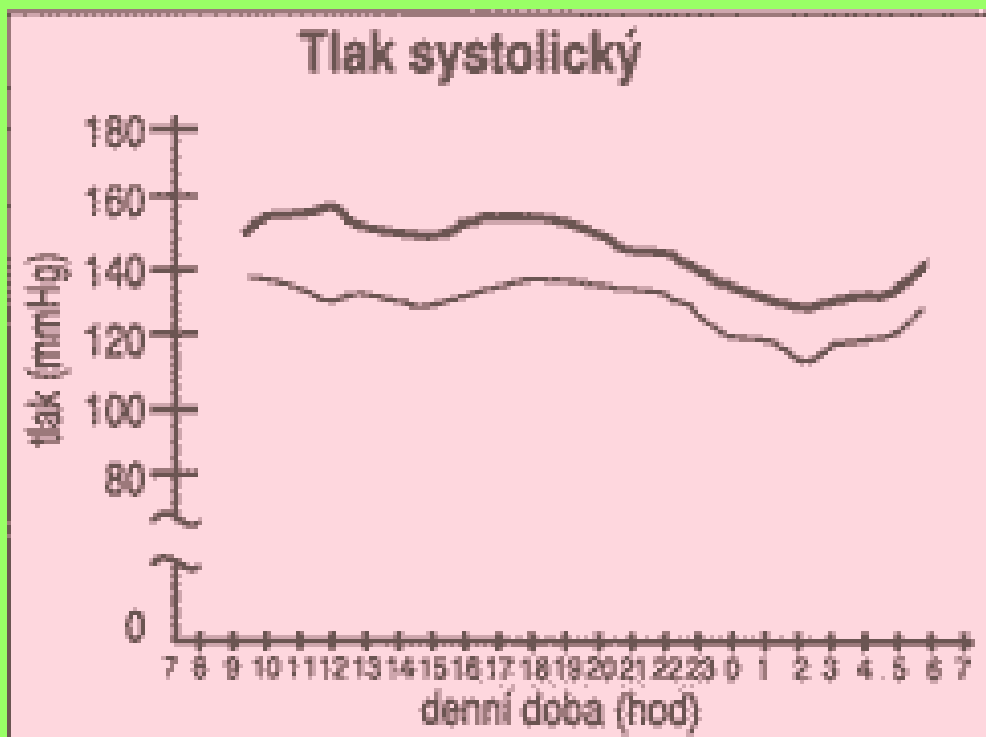
Obr. 10.8 *Auskultační metoda měření krevního tlaku. Při částečné okluzi brachiální arterie vznikají Korotkovovy zvuky v důsledku turbulentního proudění v radiální arterii.*

- Tlak systolický – tlak měřený při stahu komor (systole): 100 – 160 mm Hg
- Tlak diastolický – tlak měřený při uvolnění komor (diastole) < 90 mm Hg
- vyšší než 160/90 mm Hg – hypertenze
- nižší než 90/60 mm Hg - hypotenze

TK (mmHg)

Vyhodnocení	Systolický tlak	Diastolický tlak
optimální	do 120	do 80
normální	do 130	do 85
Hranice normálních hodnot	130 - 139	85 - 89
Hypertenze I. stupně	140 - 159	90 - 99
Hypertenze II. stupně	160 - 179	100 - 109
Hypertenze III. stupně	nad 180	nad 110

Průměrné 24 hodinové hodnoty krevního tlaku (mmHg), naměřené před léčbou (silná křivka) a po 6 týdenní léčbě určitou kombinací léků (tenčí křivka)

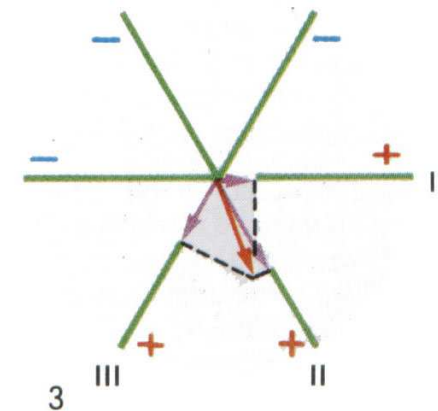
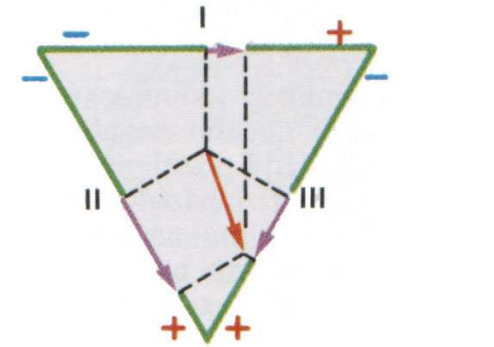
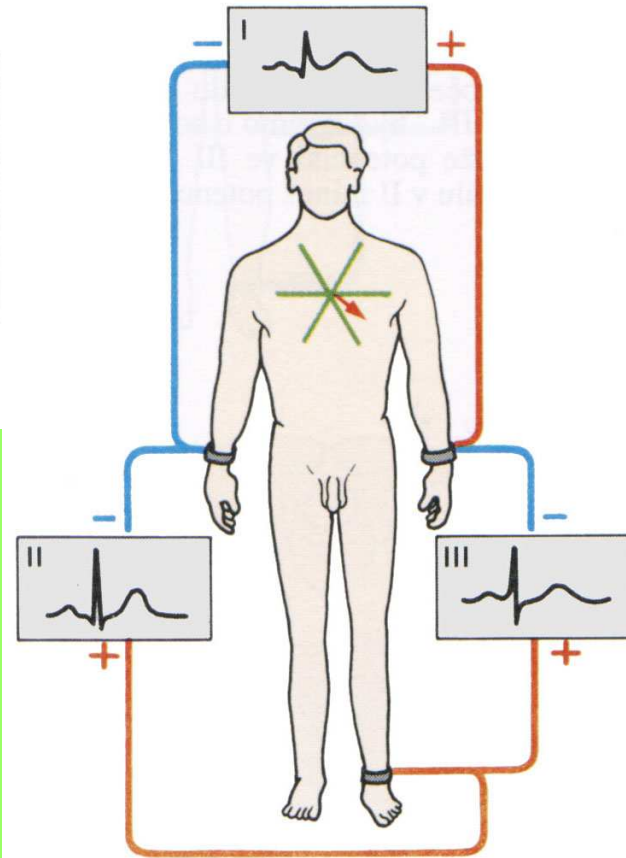
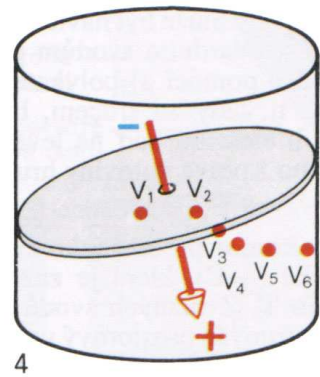
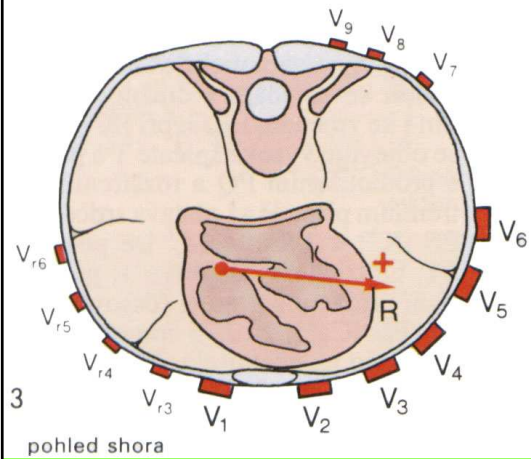
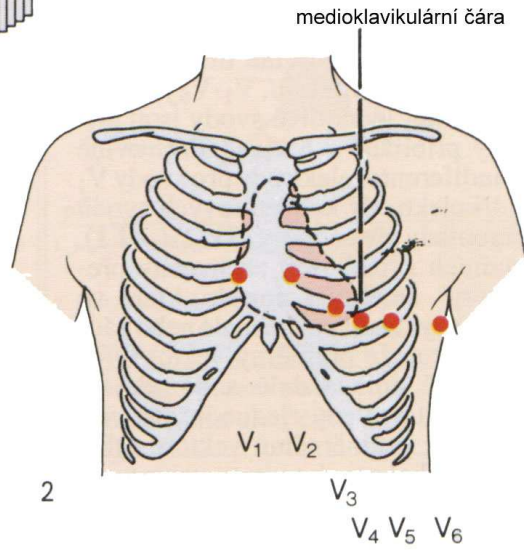
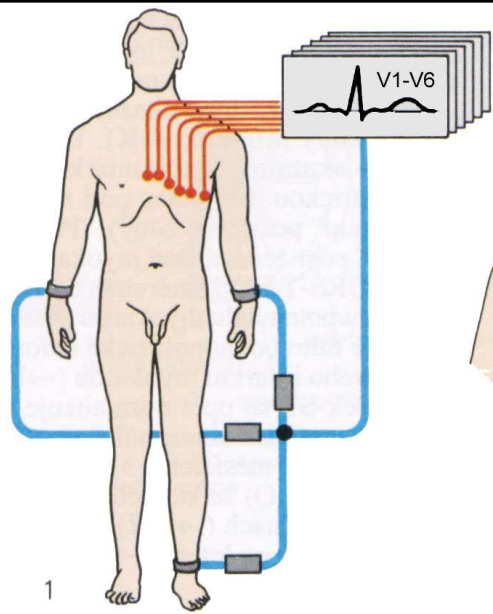


ElektroKardioGrafie

- během každého cyklu elektrické aktivace se vytváří elektrické pole, které lze zaznamenávat systémem EKG svodů z povrchu těla.

Svody

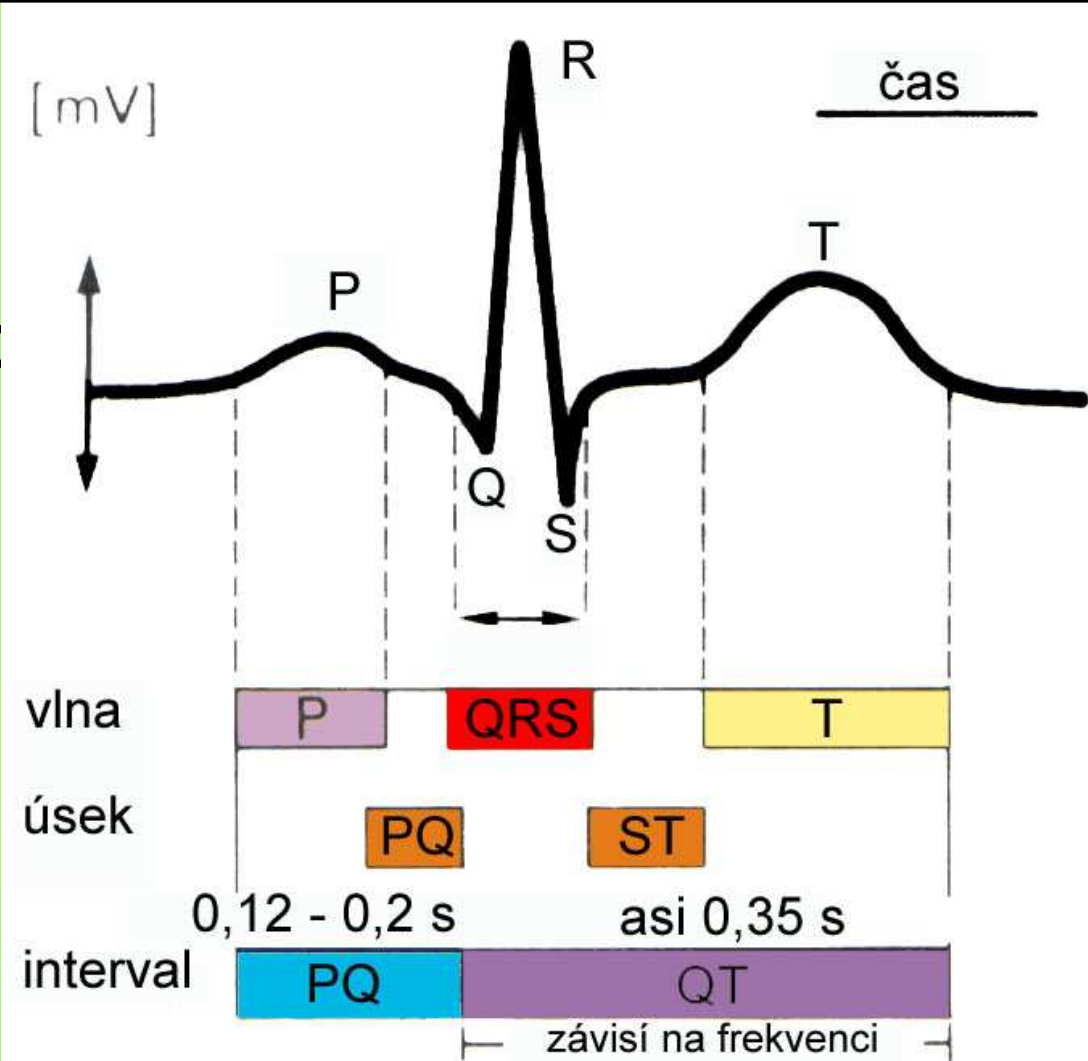
- Bipolární svody I, II a III registrují rozdíly mezi elektrickými potenciály na dvou explorativních elektrodách :
 - Svod I mezi pravou a levou horní končetinou
 - Svod II mezi pravou horní a levou dolní končetinou
 - Svod III mezi levou horní a levou dolní končetinou
- Unipolární končetinové svody zaznamenávají elektrický potenciál :
 - aVR z pravé končetiny
 - aVL z levé končetiny a
 - aVF z levé dolní končetiny
- Hrudní svody, kterých je celkem rovněž 6 (V_1 - V_6)



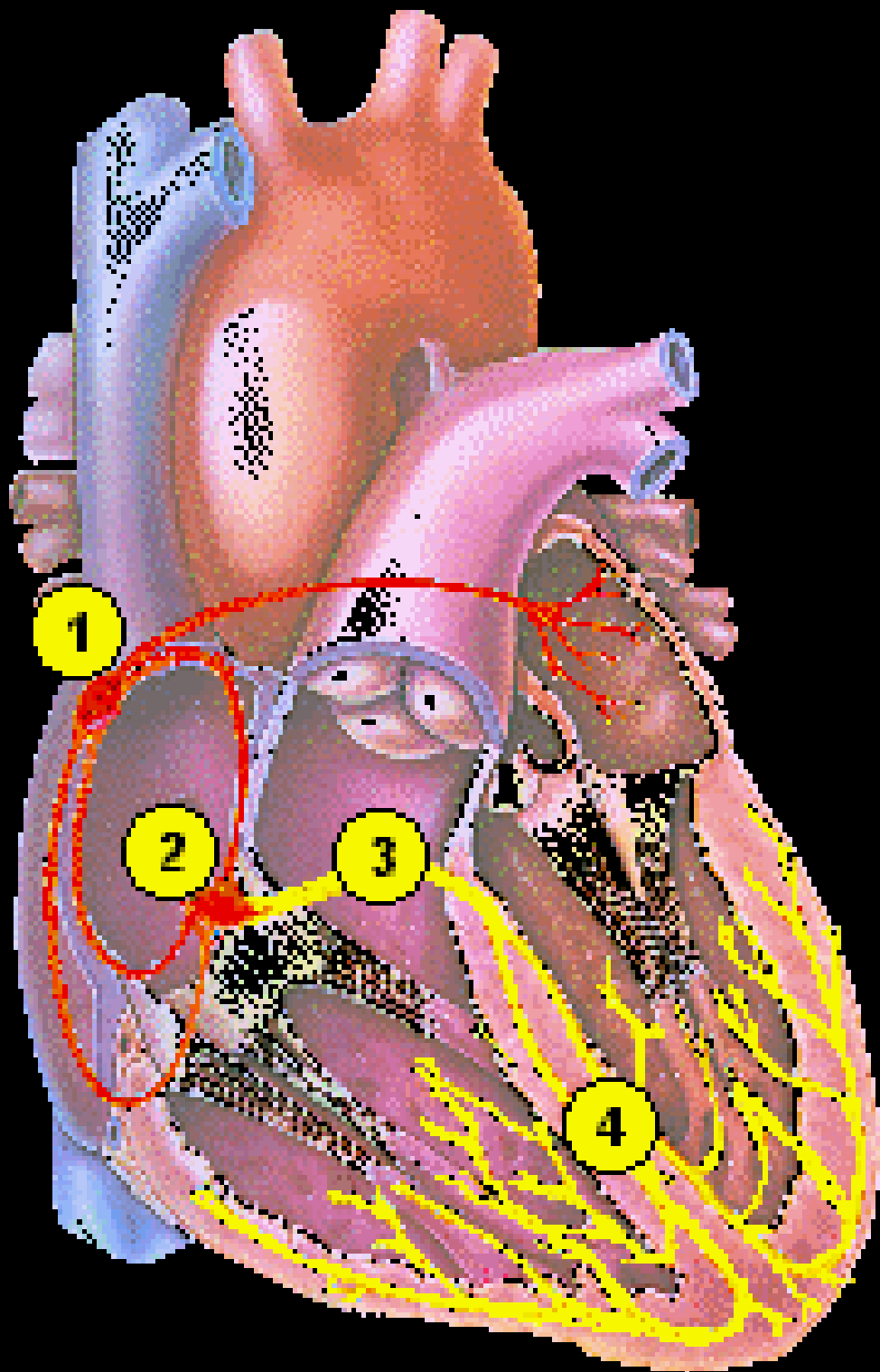
EKG křivka

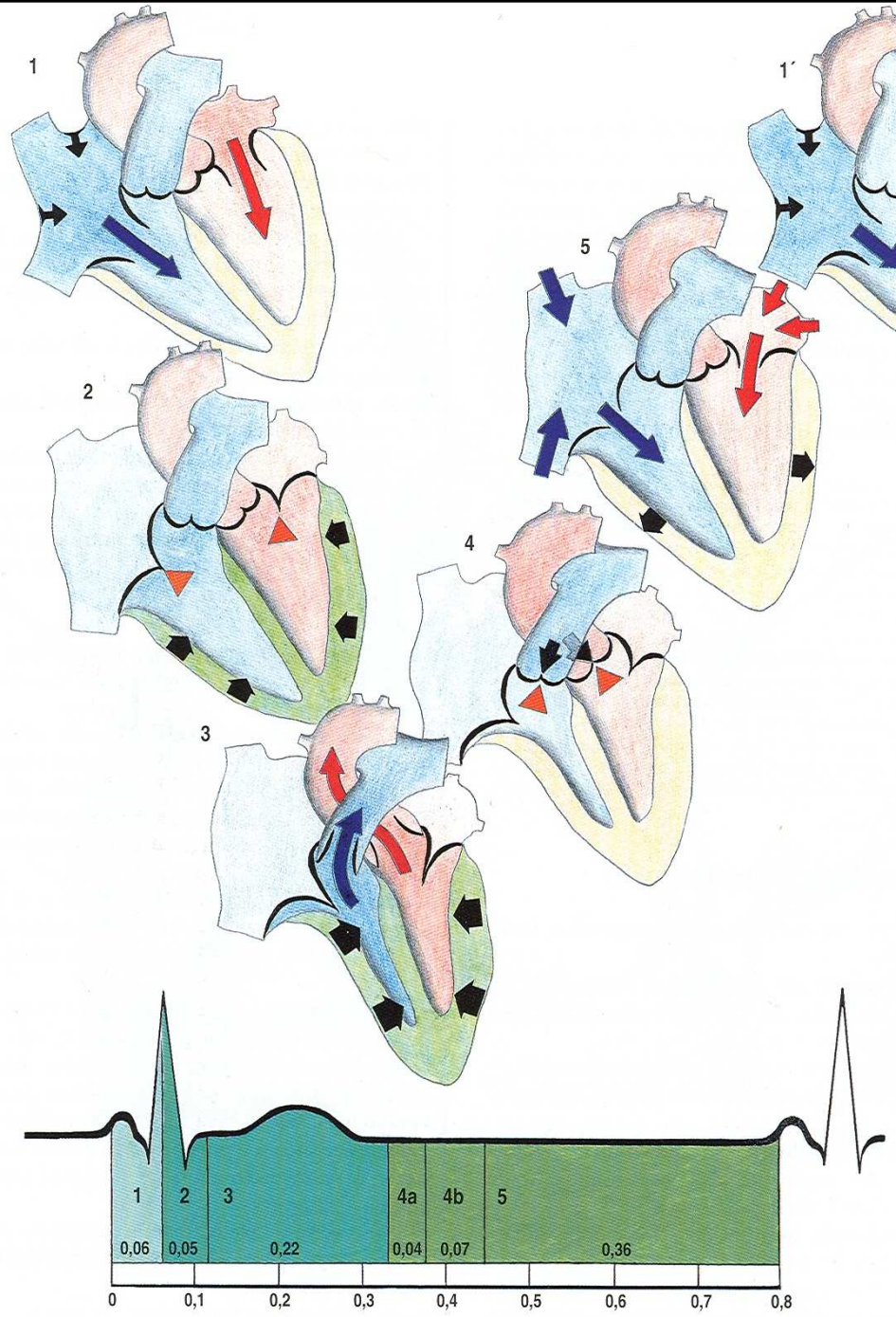
U EKG křivky popisujeme:

- vlny (P,T)
- kmity (QRS)
- oblé jsou vlny (P,T)
- strmé jsou kmity (QRS)



Při posuzování EKG křivky si všímáme rytmu a jeho pravidelnosti (tzv. akce), frekvence, sklon elektrické osy srdeční, vlny P, segmentu PQ, komorového komplexu QRS, segmentu ST a vlny T





Obr. 38. PRŮBĚH SYSTOLY A DIASTOLY SRDEČNÍ

spojený s průběhem EKG křivky (srov. text)

zeleně – srdeční stěna v systole

světle okrově – srdeční stěna v diastole

čas označen po 0,1 s

1 systola plicní

2 systola komor – fáze isometrické kontrakce

3 systola komor – fáze komorové ejetce

4 aktivní část diastoly

4a protodiastola

4b fáze isometrické relaxace svaloviny

5 fáze pasivního plnění komor, končící diastolou

1' začátek nového cyklu srdeční činnosti

Vlna P = vzruch vychází ze sinoatriálního uzlu a vlna depolarizace se rozšíří svalovinou předsíní. Amplituda je relativně malá, neboť tenká stěna předsíní obsahuje poměrně málo svalové hmoty

Úsek PQ = když dospěje vlna depolarizace do atrioventrikulárního uzlu, dojde ke zbrzdění jejího dalšího postupu. Pomalý přesun podráždění z předsíní na komory je dán strukturou atrioventrikulárního uzlu, který vede vzruch nejpomaleji z celého myokardu. Význam tohoto zpomalení změny podráždění je v oddělení systoly síní od systoly komor

Komplex QRS = po zdržení v atrioventrikulárním uzlu přejde vzruch Hisovým svazkem a Tawarovými raménky na myokard mezikomorového septa a vyvolá jeho depolarizaci ve směru od levé komory k pravé. Okamžitý vektor míří doprava a dolů (v I. a II. svodu se tedy píše negativní Q kmit, ve III. svodu pak pozitivní R kmit. Vzruch mezitím postupuje dále po převodním systému a vyvolává depolarizaci myokardu v oblasti srdečního hrotu, okamžitý vektor se otáčí dolů a doleva. Ve všech třech bipolárních svodech se píše pozitivní kmit R. Vlna depolarizace pak pokračuje po svalovině komor, a to od endokardu k epikardu

Úsek ST = když se rozšíří depolarizace po celé svalovině komor, je po krátkou dobu elektrická aktivita srdce nulová (srdeční vlákna komor jsou ve fázi plató, mají tedy stejný elektrický náboj a nikde netečou žádné elektrické proudy). Na EKG záznamu se píše izoelektrický úsek SI.

Vlna T = na fázi plató navazuje repolarizace komorového myokardu, která na rozdíl od depolarizace probíhá od epikardu k endokardu.

Vlna U = plochá vlna ne zcela jasného původu. Nejspíše je způsobena repolarizací Purkyňových vláken, která mají nápadně delší fázi plató ve srovnání s okolním myokardem

Původ jednotlivých vln a kmitů včetně délky jejich trvání:

úsek křivky	původ	trvání
vlna P	depolarizace síní	0.08 - 0.10 s
komplex QRS	depolarizace komor	0,06 - 0,10 s
vlna T	repolarizace komor	0,20 s

- Při srdeční frekvenci 70 tepů/min.
- repolarizace síní je skryta v QRS komplexu