

FYZIOLOGIE SRDCE A KREVNÍHO OBĚHU

VLASTNOSTI SRDCE

SRDEČNÍ REVOLUCE

PŘEVODNÍ SYSTÉM SRDEČNÍ

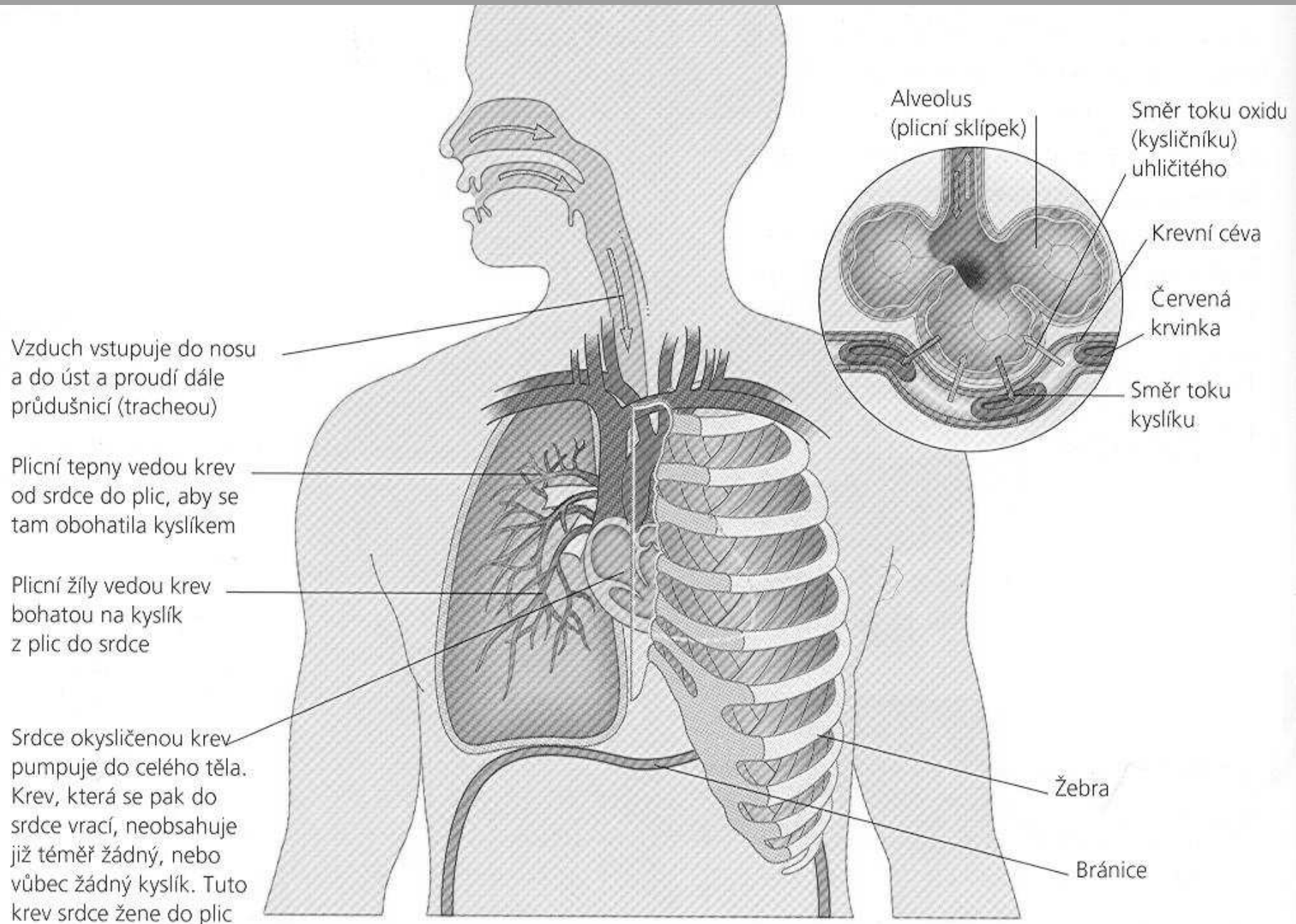
SRDEČNÍ STAHL

ŘÍZENÍ SRDEČNÍ ČINNOSTI

PRŮTOK KRVE JEDNOTLIVÝMI ORGÁNY

EKG

FUNKCE KREVNÍHO OBĚHU



VLASTNOSTI SRDCE

AUTOMACIE

STAŽLIVOST

VODIVOST

DRÁŽDIVOST

AUTOMACIE - CHRONOTROPIE

- schopnost vytvářet vzruchy
- výsledkem vzruchové aktivity je sled pravidelných rytmických srdečních stahů i bez vnějšího podráždění

VODIVOST - DROMOTROPIE

- vzruch se přenáší na celou srdeční jednotku, čímž je zajištěn synchronní stah všech svalových vláken

DRÁŽDIVOST - BATHMOTROPIE

- je možnost vyvolat svalový stah dostatečně silným, nadprahovým podnětem

STAŽLIVOST - INOTROPIE

- schopnost svalové kontrakce a její závislost na dalších faktorech (např. výchozí napětí svalového vlákna)

STAŽLIVOST - KONTRAKTILITA

- při zvýšené síle kontrakce a při nezměněném počátečním napětí svalových vláken se vypudí do oběhu větší množství krve a v komoře zůstane menší množství krve
- zesílení kontrakce nazýváme INOTROPNÍ VLIV
- měřítkem INOTROPIE je rychlost změn tlaku v komoře, vztažená na velikost překonávaného periferního tlaku
- při srdeční revoluci vytváří srdeční svalovina svojí činností tlakový rozdíl a překonává odpor v cévním řečišti
- srdeční svalovina s dobrou kontraktilitou dosahuje dostatečného výkonu pro překonání odporu již při normální počáteční náplni komor
- při zhoršené kontraktilitě je potřebný výkon dosažen teprve po zvětšené náplni komory

SRDEČNÍ REVOLUCE

SYSTOLA

kontrakce myokardu

DYASTOLA

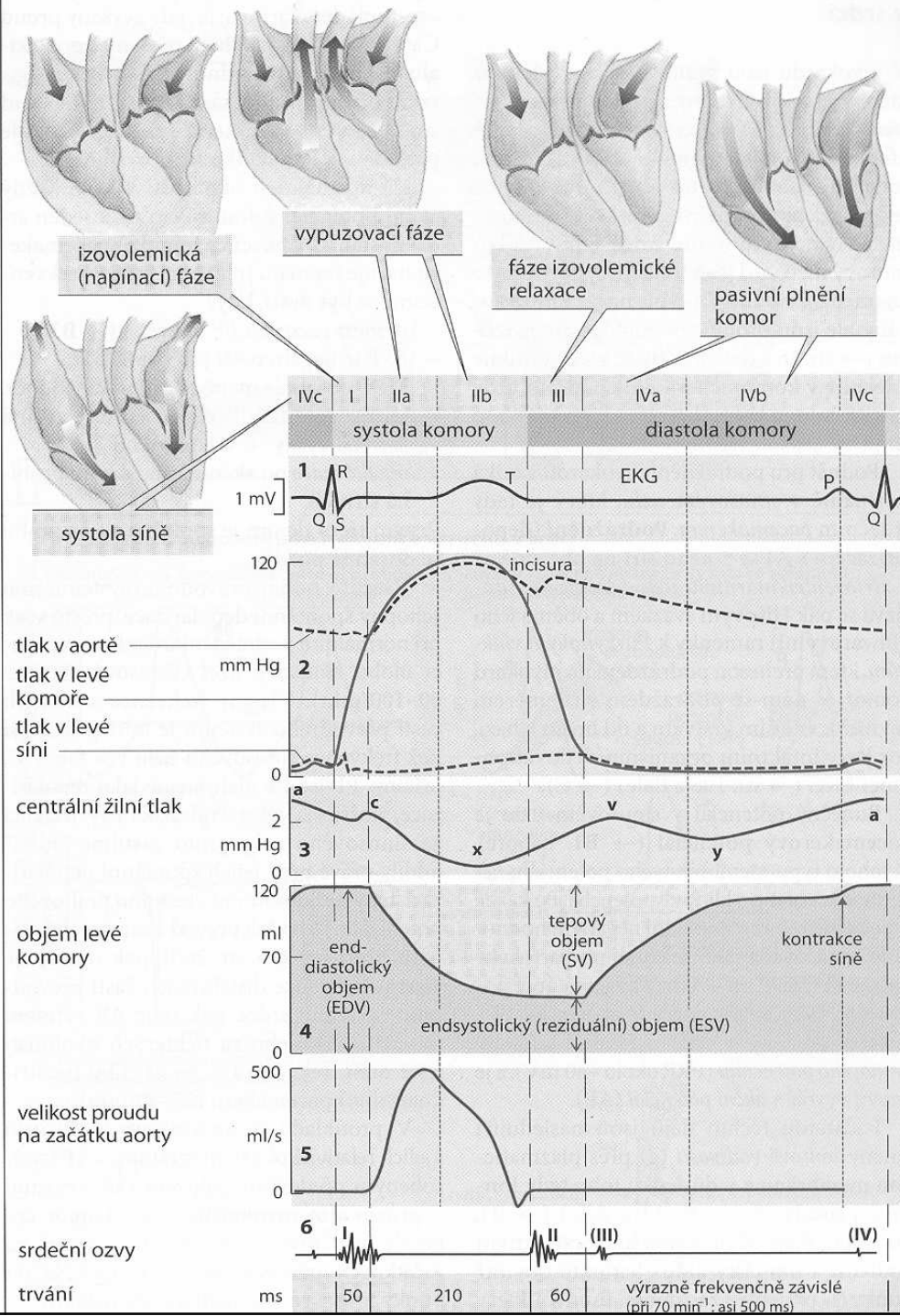
uvolnění myokardu

- výsledkem změn napětí srdeční svaloviny jsou tlakové změny v srdečních dutinách
- aktivní tlakové změny jsou hnací silou krevního proudu

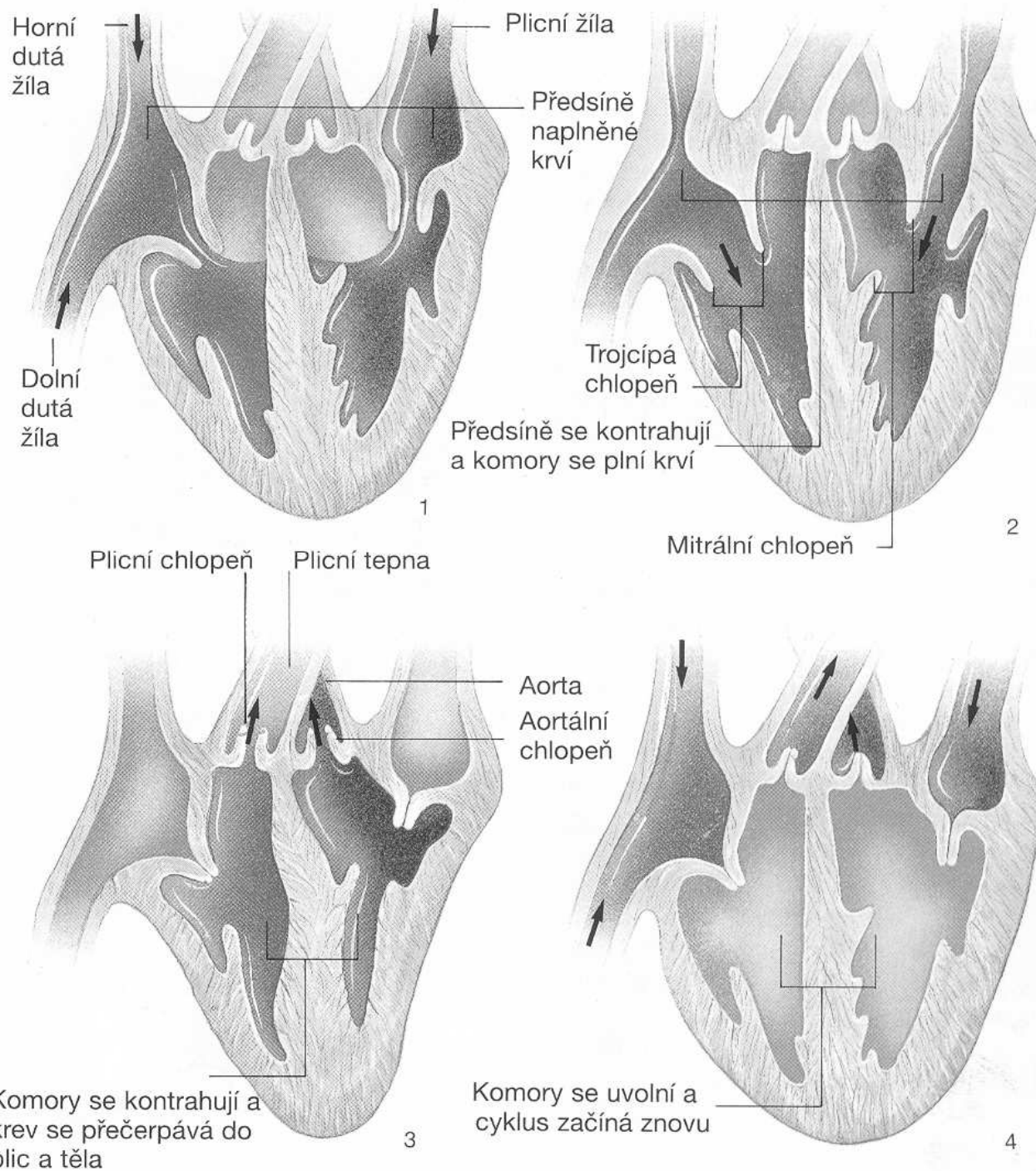
EJEKČNÍ FRAKCE

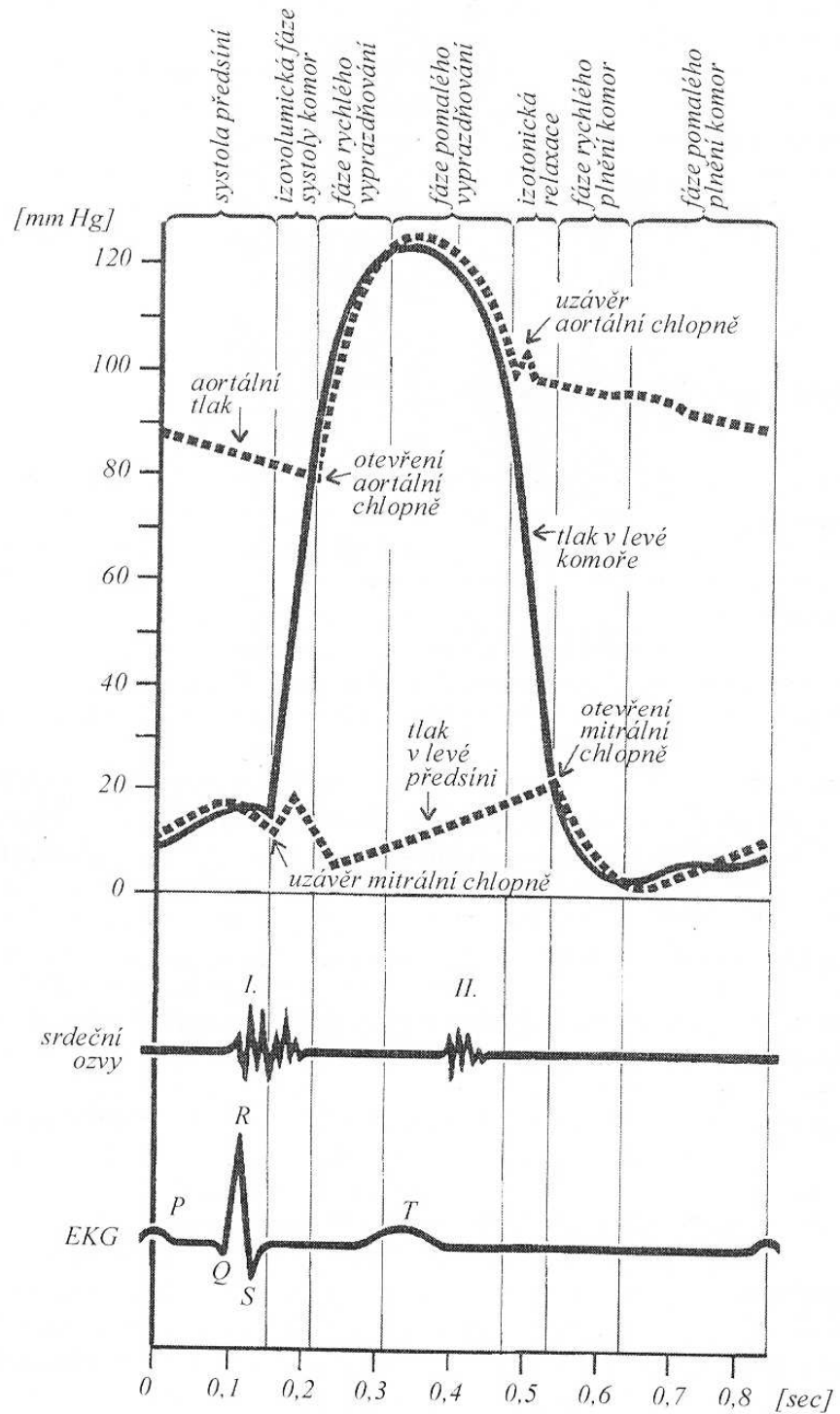
- poměr mezi systolickým objemem a konečným diastolickým objemem, udává se v %
- u zdravého člověka → 60%

A. Fáze činnosti srdce (srdeční revoluce)



Srdce jako čerpadlo





Hodnoty tlaku, časů a objemů v předsíních a komorách během srdeční revoluce

<i>předsíně</i>	<i>systola</i>	<i>diastola</i>
<i>tlak [mm Hg]</i>	7 – 18	6 až –2
<i>trvání [ms]</i>	100	700
<i>objem [ml]</i>	70	

<i>levá komora</i>	<i>izovolumická fáze</i>	<i>ejekční fáze</i>	<i>izovolumická relaxace</i>	<i>izotonická fáze</i>
<i>tlak [mm Hg]</i>	7 – 120	120	120 – 7	7
<i>trvání [ms]</i>	50	250	100	400
<i>objem [ml]</i>	120	120 – 50	50	50 – 120
<i>pravá komora</i>				
<i>tlak [mm Hg]</i>	2 – 30	35		–2 až 2

PŘEVODNÍ SYSTÉM SRDEČNÍ

- srdeční svalovina je schopna samočinného vzniku vzruchu a následného stahu → AUTOMACIE

SINOATRIÁLNÍ UZEL

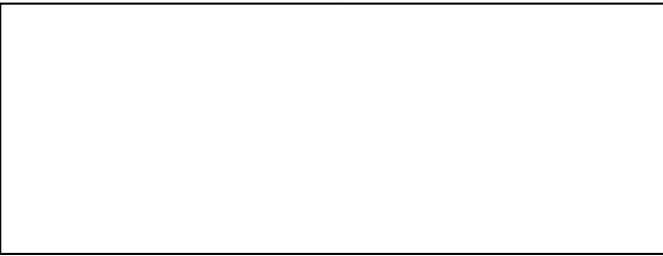
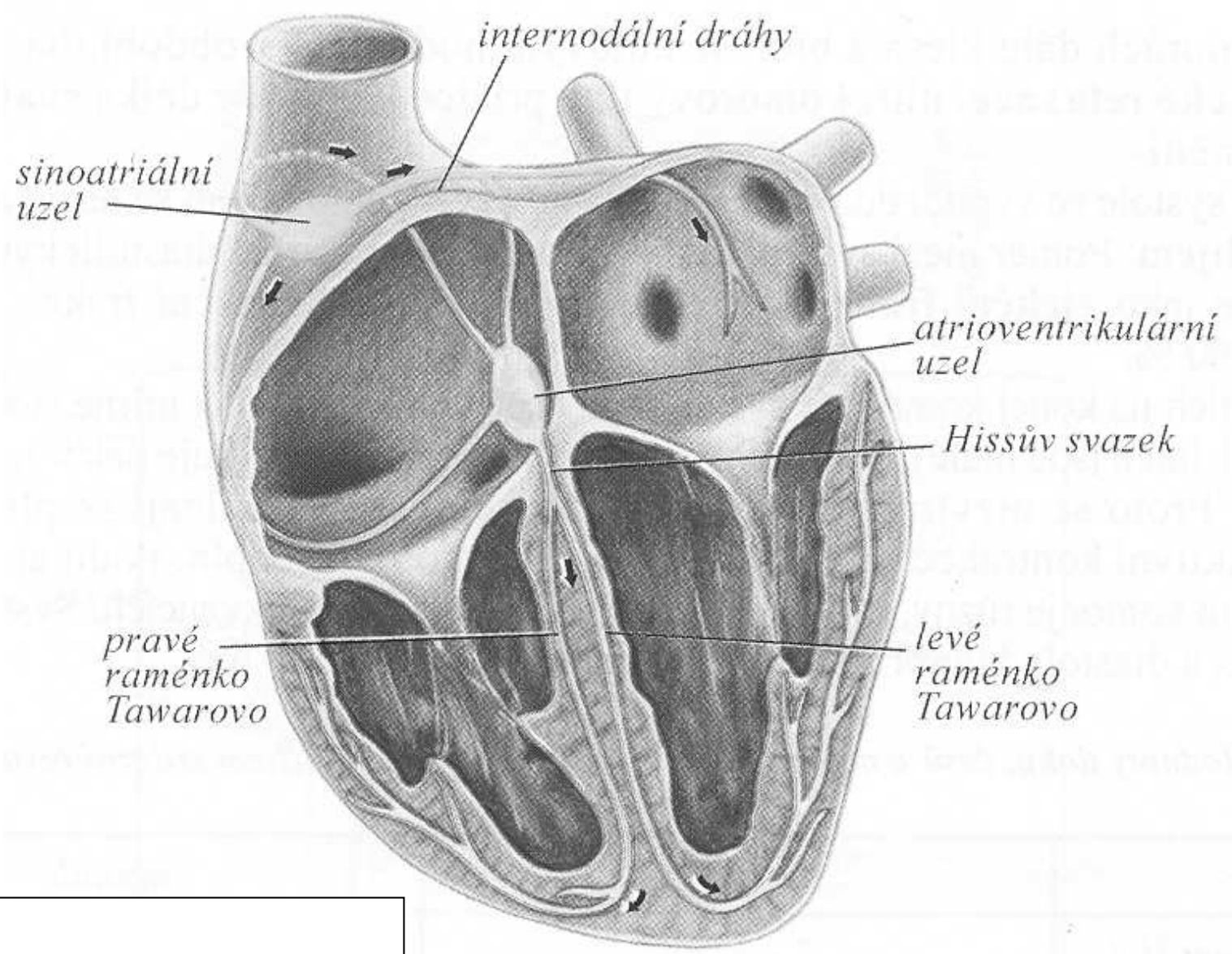
INTERNODÁLNÍ DRÁHY

ATRIOVENTRIKULÁRNÍ UZEL

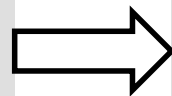
HISSŮV SVAZEK

TAWAROVA RAMÉNKA

PURKYŇOVA VLÁKNA



KONTRAKCE SÍNÍ



KONTRAKCE KOMOR

SINOATRIÁLNÍ UZEL

FREKVENCE VZRUCHU

60-80/min

- odtud vychází základní povel
- impulzy z něj přicházejí do obou předsíní a vyvolávají jejich kontrakci

ATRIOVENTRIKULÁRNÍ UZEL

FREKVENCE VZRUCHU

30-40/min

- zpožďuje impuls vyvolávající kontrakci a vede jej dále svazkem vodivých vláken

HISSŮV SVAZEK

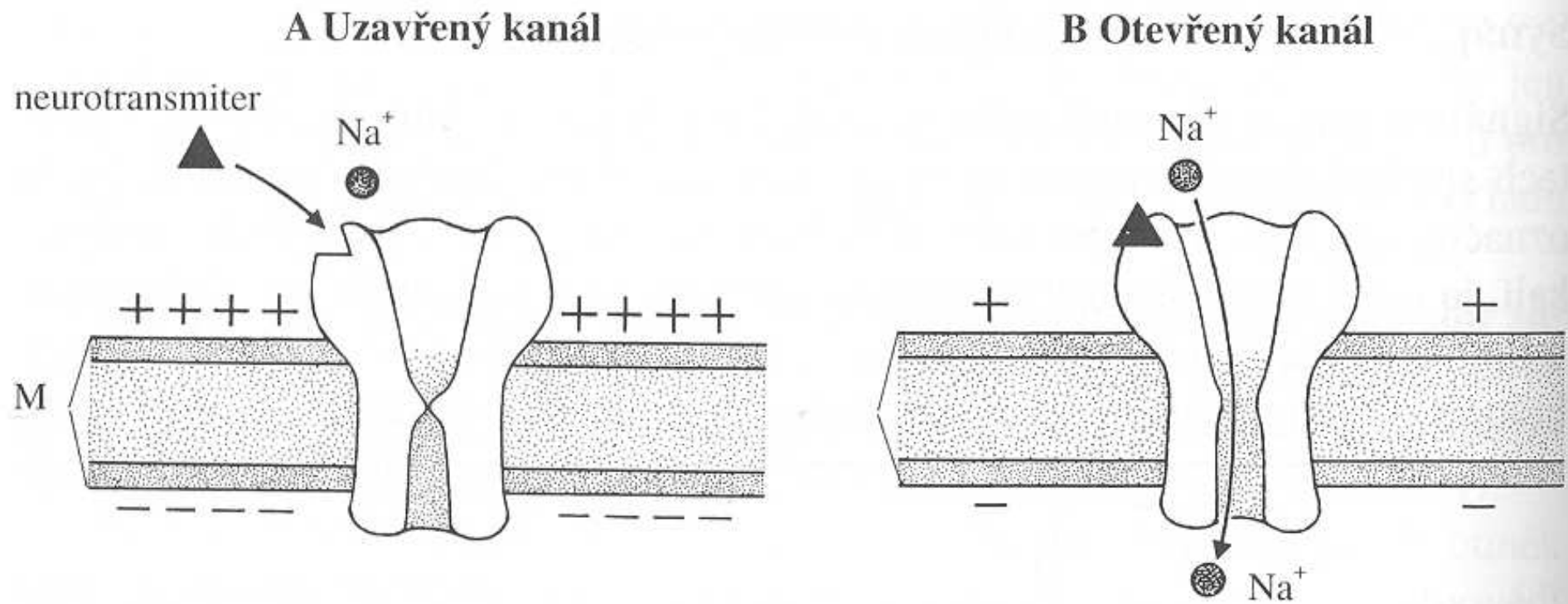
- po průchodu tímto svazkem se impuls šíří v komorách, ty se kontrahují až po předsíních

- tkáň sinoatriálního a atrioventrikulárního uzlu má vysokou schopnost automacie
- frekvence vzruchů v těchto uzlech je vyšší než frekvence vzruchů, které jsou schopny vytvářet běžné svalové buňky myokardu
- frekvence vzruchů v sinoatriálním uzlu (60-80/min) je přibližně 2x vyšší než v atrioventrikulárním (30-40/min) → udavatelem rytmu (PACEMAKEREM) pro celý myokard je za normálních podmínek uzel sinoatriální
- rytmus srdce, který je dán sinoatriálním uzlem, je **SINUSOVÝ RYTMUS**

- za některých okolností může být udavatelem rytmu i jiná struktura, např. atrioventrikulární uzel, jeho rytmus je pomalejší a nazývá se NODÁLNÍ RYTMUS
- podle gradientu srdeční automacie se mohou i další části převodní soustavy stát udavateli ještě pomalejších rytmů
- čím je struktura udávající rytmus umístěna periferněji, tím je srdeční stah pomalejší
- při podráždění kterékoliv části myokardu se vzruch rozšíří na celou srdeční svalovinu

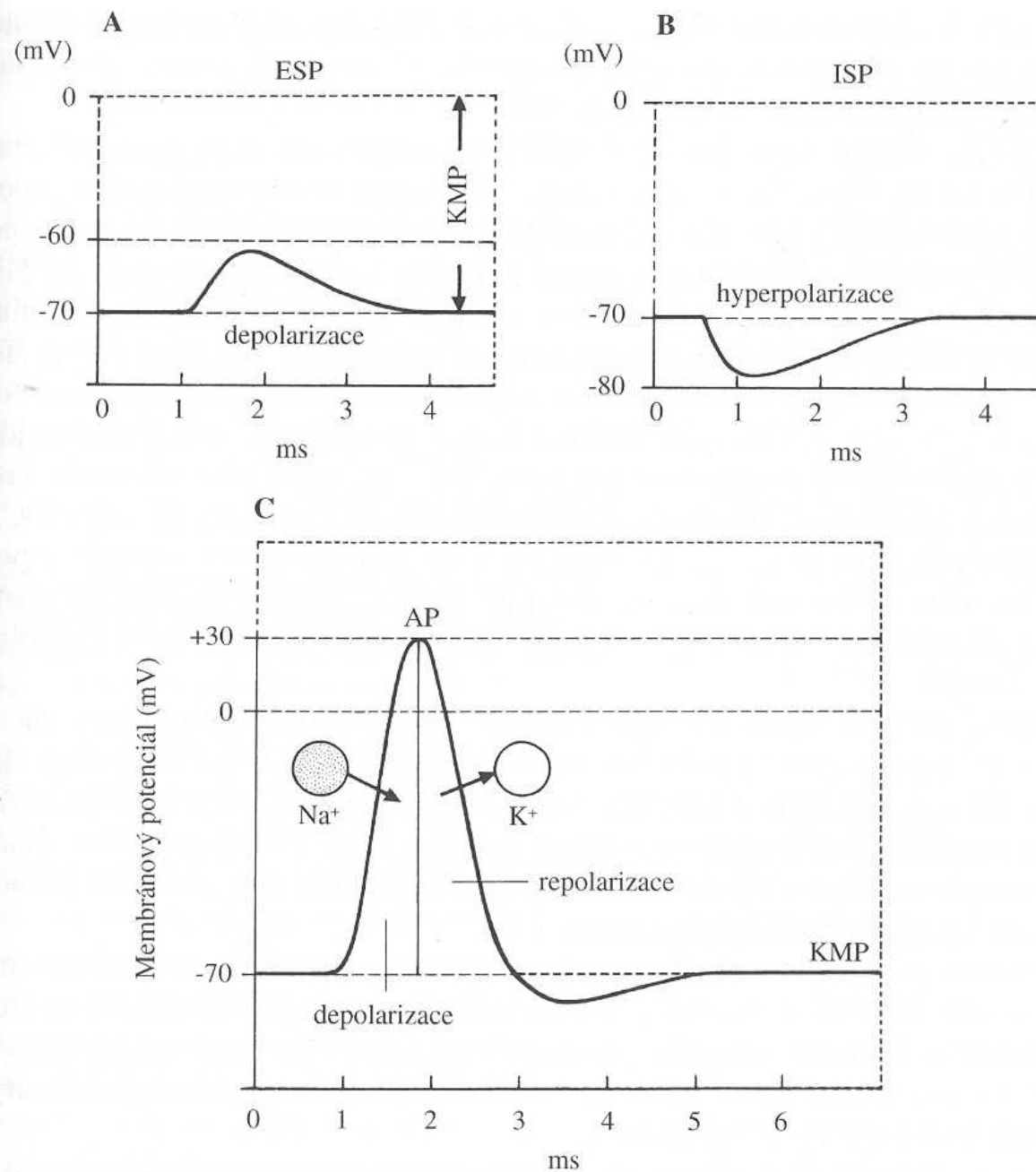
KLIDOVÝ MEMBRÁNOVÝ POTENCIÁL

- v buňkách sinoatriálního uzlu je poměrně nízký (-55 až -65 mV)
- vlákna sinoatriálního uzlu jsou prostupná pro sodíkové ionty, které vstupují do buňky, a snižují tak jejich klidový membránový potenciál
- tento proces snižování polarizace probíhá až do dosažení prahové hodnoty -40 mV – prepotenciál (SPONTÁNNÍ DEPOLARIZACE), při této hodnotě se náhle otevřou sodíko-vápníkové kanály na buněčných membránách a proběhne elektrochemický děj nazývaný **AKČNÍ POTENCIÁL**
- v průběhu akčního potenciálu jsou draslíkové kanály uzavřeny a opět se se otevřou na jeho konci
- následkem přesunu draselných iontů do mezibuněčného prostoru se v buňkách zvyšuje negativita, která způsobí opětovné snížení membránového potenciálu na klidovou úroveň -55 až -65 mV



Obr. 68 Otvírání iontového kanálu neurotransmiterem.

V důsledku otevření kanálu se ionty Na^+ pohybují směrem dovnitř a snižují polarizaci membrány (M – postsynaptická membrána)



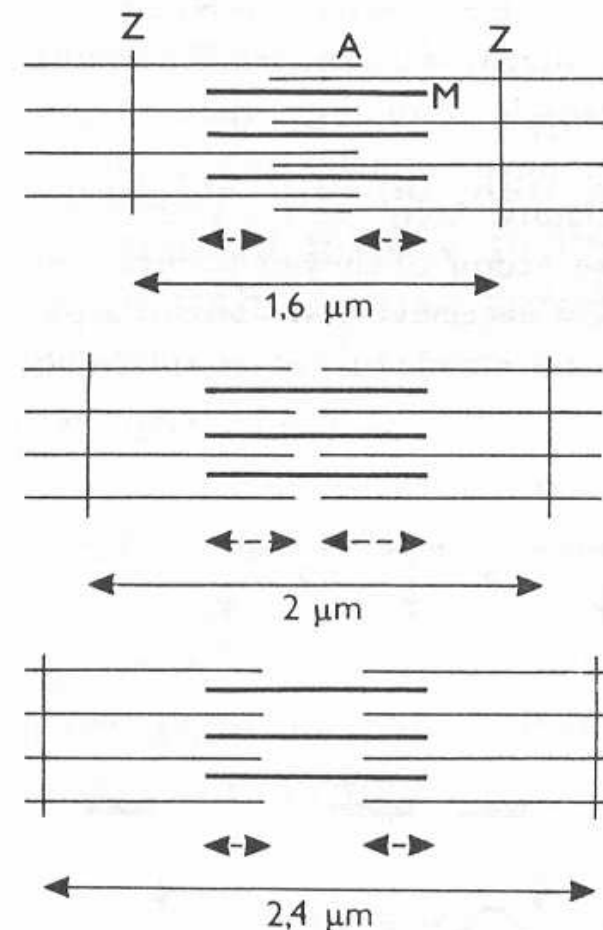
Obr. 69 Nervové signály: A Synaptický potenciál excitační (ESP) – depolarizace. B Synaptický potenciál inhibiční (ISP) – hyperpolarizace. C Akční potenciál – AP. Ve vzestupné fázi AP (depolarizace) vstupují ionty Na⁺ do axonu, v sestupné fázi (repolarizace) vystupují ionty K⁺ ven z axonu (KMP – klidový membránový potenciál)

SRDEČNÍ STAĤ

- kontraktilní aparát srdečního svalu tvoří myofibrily
- změna délky svalové jednotky (sarkomery) při kontrakci a relaxaci je uskutečněna změnou vzájemné polohy aktinových a myozinových vláken
- při kontrakci se aktinová vlákna zasouvají mezi vlákna myozinová, přičemž se tvoří příčné můstky mezi oběma typy vláken

FRANKŮV – STARLINGŮV ZÁKON

- při větším protažení vláken před začátkem systoly je stah intenzivnější, neboť příčné můstky mohou vznikat na větším úseku aktomyozinového komplexu
- při pokračujícím prodlužování sarkomer však můstků ubývá a výkonnost svalové jednotky klesá
- ideální délka sarkomery je **2,2 μm**



ENERGETICKÉ ZAJIŠTĚNÍ SRDEČNÍ KONTRAKCE

GLUKÓZA

GLYKOGEN

MASTNÉ KYSELINY

LAKTÁT

KETOLÁTKY

AMINOKYSELINY

ATP = ADENOSINTRIFOSFÁT

ŘÍZENÍ SRDEČNÍ ČINNOSTI

- hlavním cílem srdeční činnosti je dosažení odpovídajícího srdečního výdeje
- jeho velikost závisí na metabolických nárocích tkání
- srdeční frekvence je řízena nervově a humorálně, nervovou regulaci uskutečňuje SYMPATIKUS a PARASYMPATIKUS

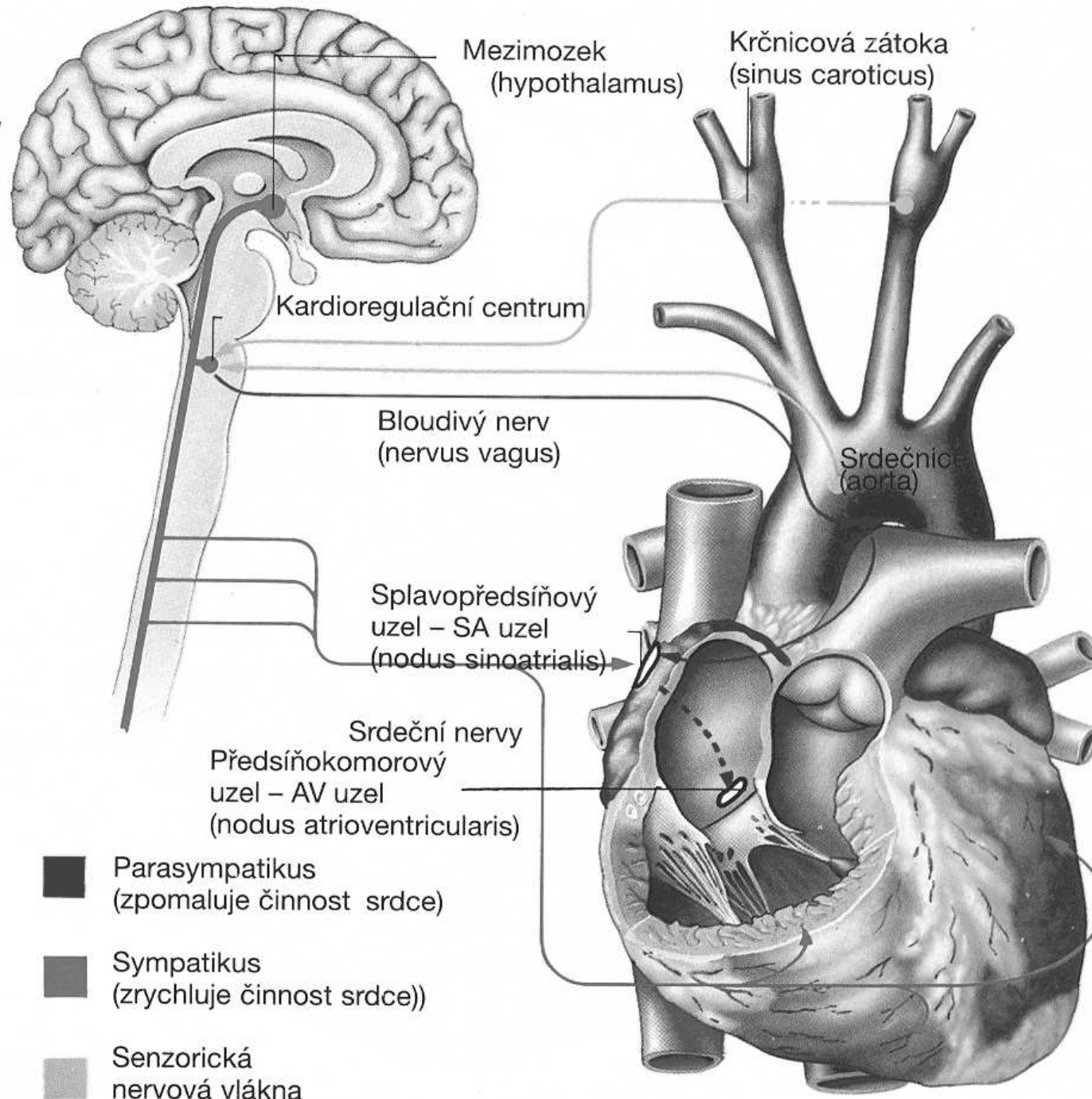
SYMPATIKUS

- zvyšuje TF
- mediátorem je adrenalin

PARASYMPATIKUS

- snižuje TF
- mediátorem je acetylcholin

Rízení srdeční činnosti



ŘÍZENÍ SRDEČNÍ ČINNOSTI HORMONÁLNĚ

- koncentrace iontů draslíku a vápníku v tělních tekutinách ovlivňují sílu kontrakce i tepovou frekvenci
- při nadbytku draslíku je srdce dilatované a vykazuje nízkou tepovou frekvenci
- při nadbytku iontů vápníku jsou spazmy srdečního svalu, protože ionty vápníku aktivují kontraktilní aparát
- nedostatek iontů vápníku má podobný účinek jako nadbytek draslíku

- krátkodobé zvýšení tělesné teploty zvětšuje srdeční sílu svalových kontrakcí, ale dlouhotrvající zvýšená tělesná teplota vyčerpává energetické zásoby srdce a vede k srdeční slabosti
- pokles tělesné teploty se projeví poklesem TF
- při déletrvajícím chladu spojeném s poklesem tělesné teploty se srdeční akce zpomaluje a může dojít až k zástavě srdeční činnosti

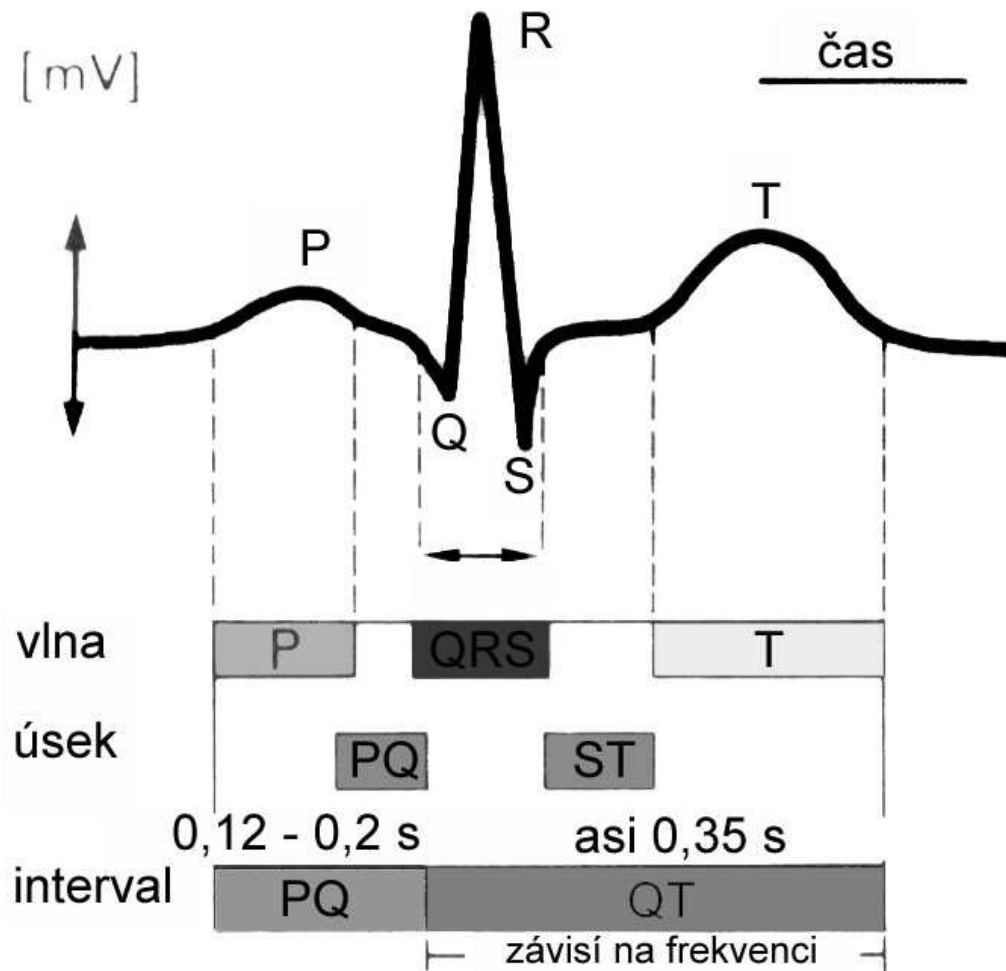
ELEKTROKARDIOGRAFIE - EKG

- během každého cyklu elektrické aktivace se vytváří elektrické pole, které lze zaznamenávat systémem EKG svodů z povrchu těla
- záznam sumární elektrické aktivity srdce
- normální EKG záznam jedné srdeční revoluce se skládá z vln a kmitů, které mají charakteristický tvar a trvání

EKG křivka

U EKG křivky popisujeme:

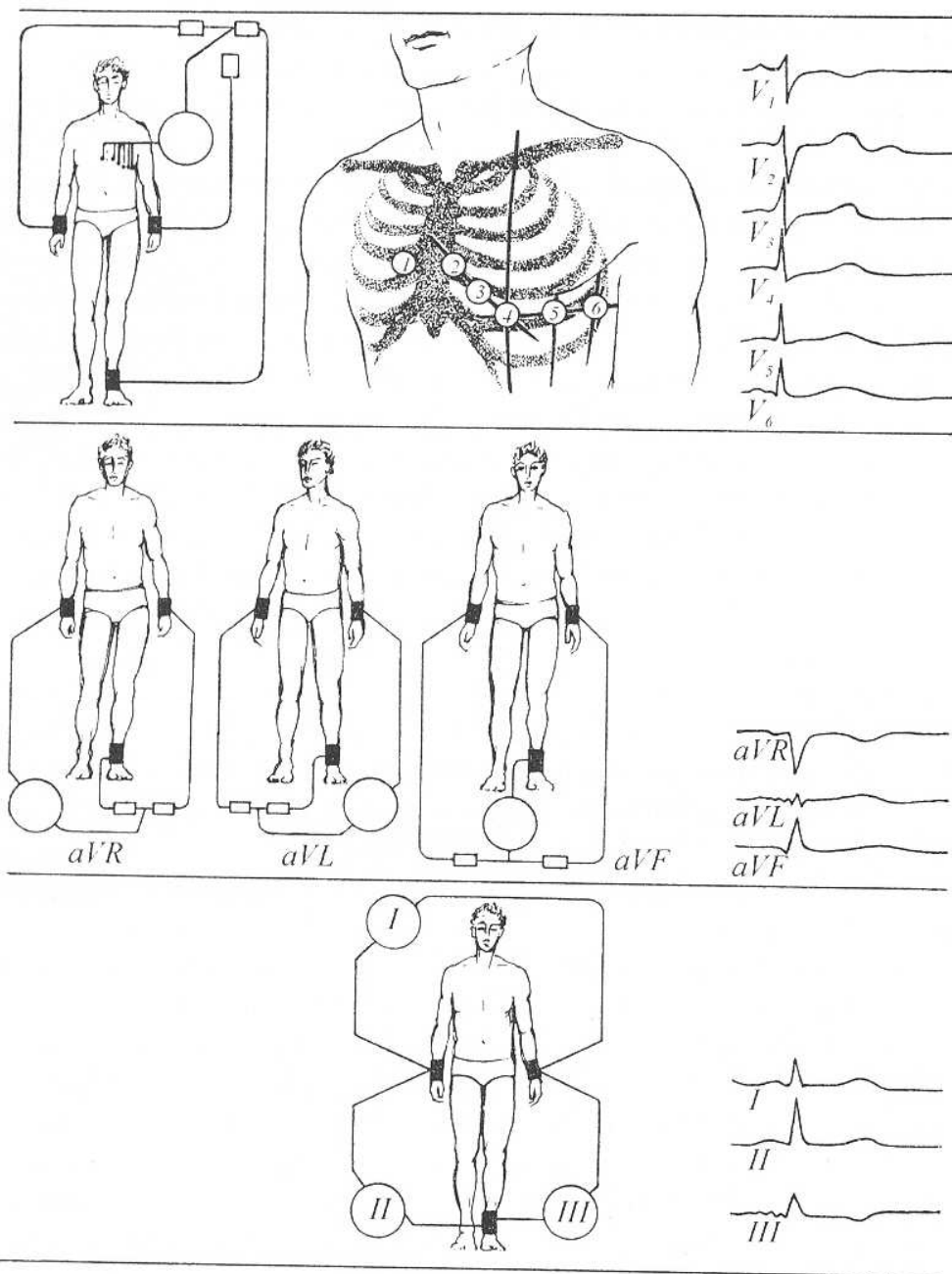
- vlny (P,T)
- kmity (QRS)
- oblé jsou vlny (P,T)
- strmé jsou kmity (QRS)



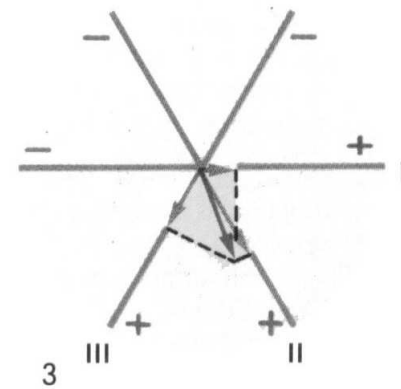
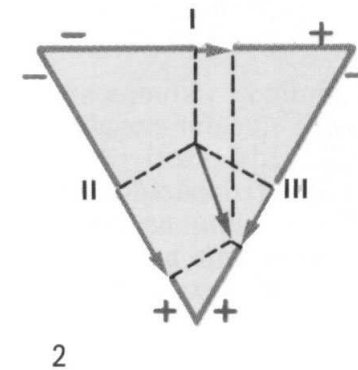
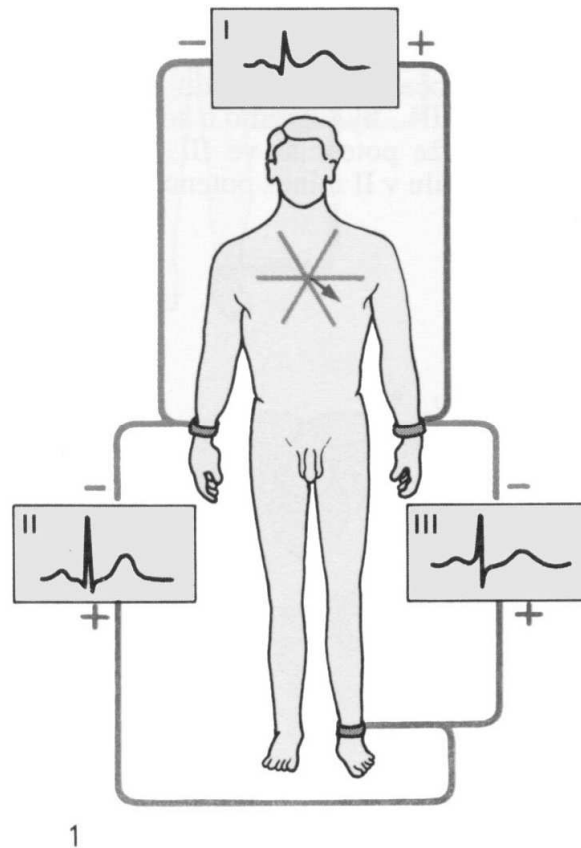
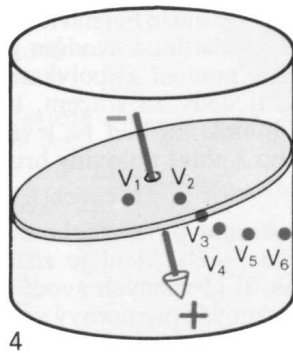
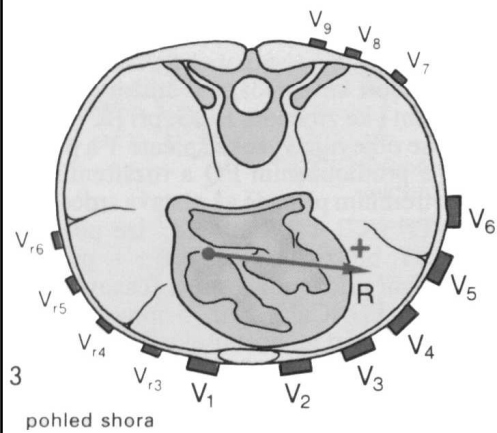
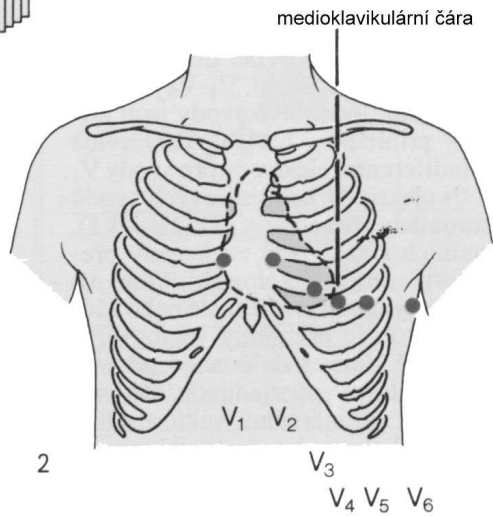
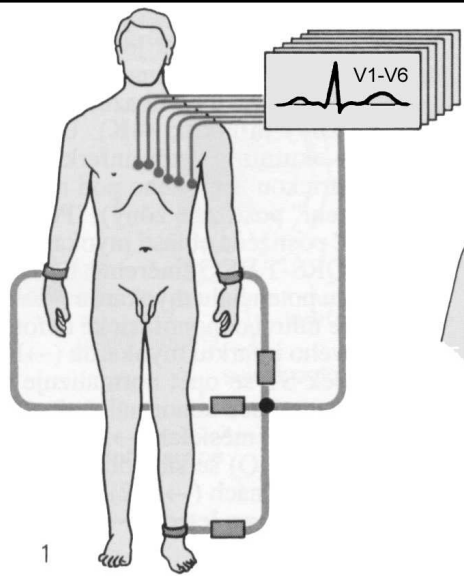
Při posuzování EKG křivky si všímáme rytmu a jeho pravidelnosti (tzv. akce), frekvence, sklon elektrické osy srdeční, vlny P, segmentu PQ, komorového komplexu QRS, segmentu ST a vlny T

Svody

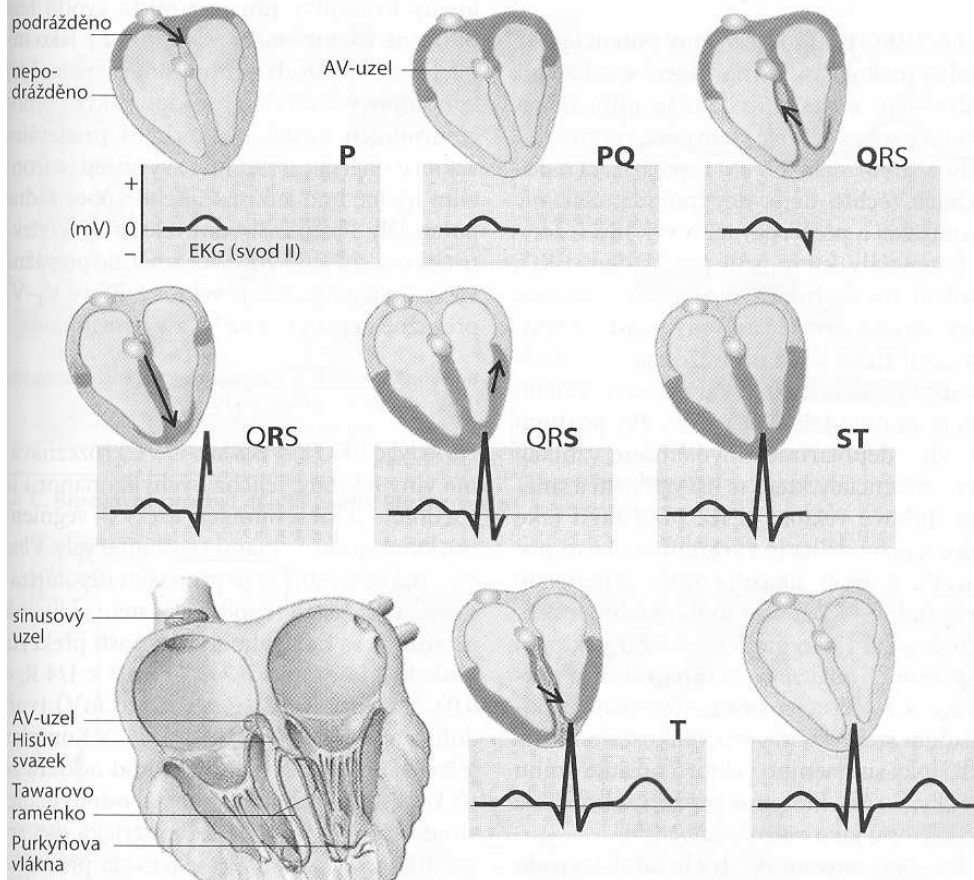
- Bipolární svody I, II a III registrují rozdíly mezi elektrickými potenciály na dvou explorativních elektrodách :
 - Svod I mezi pravou a levou horní končetinou
 - Svod II mezi pravou horní a levou dolní končetinou
 - Svod III mezi levou horní a levou dolní končetinou
- Unipolární končetinové svody 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)



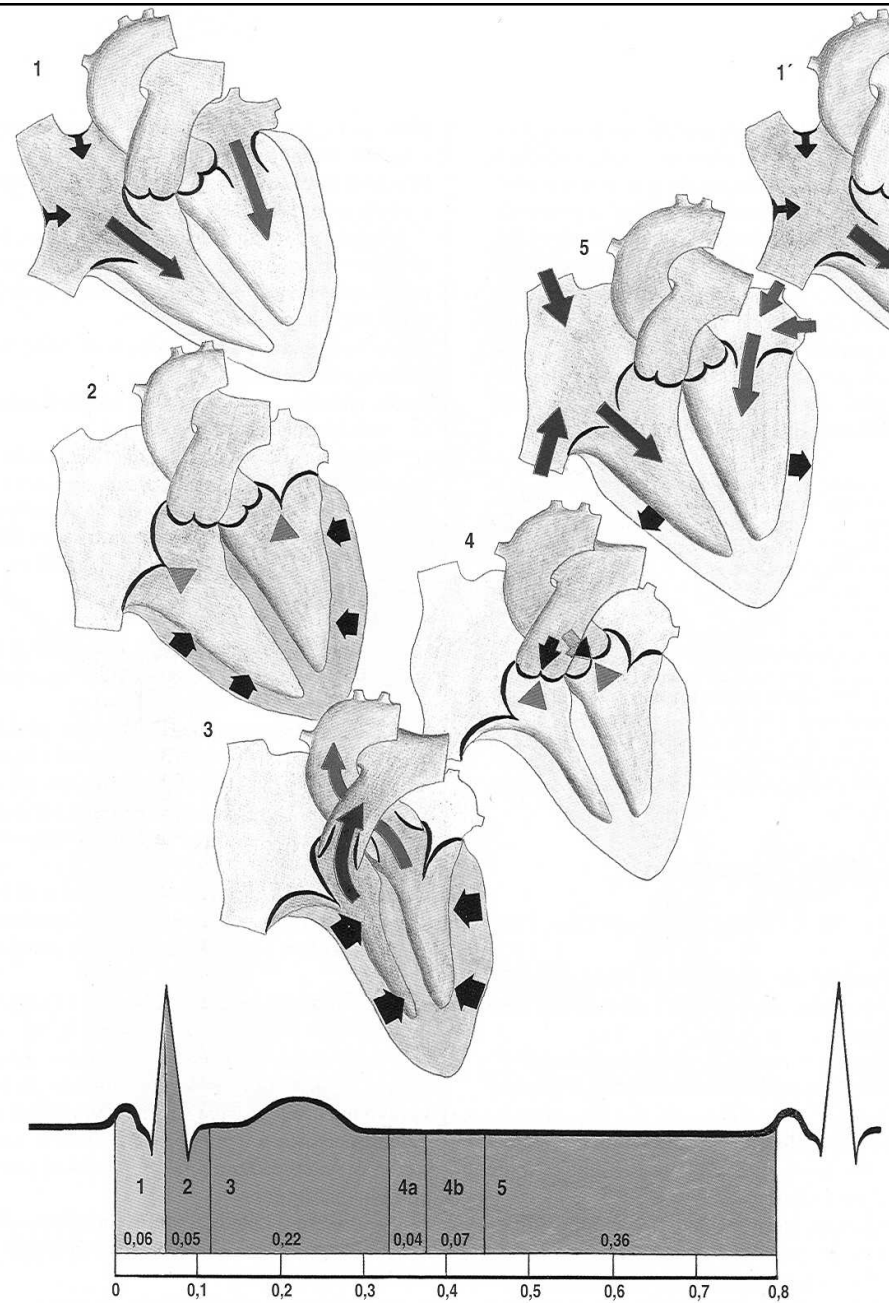
Obr. 10.7 Elektrokardiografické svodové systémy. V horní části obrázku jsou znázorněny Wilsonovy hrudní svody ($V_1 - V_6$) a příslušné EKG potenciály. Střední část obrázku zobrazuje zesílené svody podle Goldbergera (aVR , aVL a aVF). V dolní části jsou bipolární končetinové svody I, II a III.



C. Šíření podráždění srdcem



normální průběh dráždění	čas (ms)	EKG	rychlost vedení ($m \cdot s^{-1}$)	vlastní frekvence (min^{-1})
sinusový uzel tvorba podnětů vstup impulzu do vzdálených částí síní	0 50 85	vlna P	0,05	60-100
pravá síň levá síň			0,8-1,0 v síni	
	AV-uzel další vedení impulzu	50 125	úsek P-Q (zdržení dalšího vedení)	0,05
aktivován Hisův svazek	130		1,0-1,5	25-40
aktivovány konce ramének	145		1,0-1,5	
aktivována Purkyňova vlákna	150		3,0-3,5	
vnitřní strana myokardu plně aktivována	175	komplex QRS	1,0 v myokardu	žádná
pravá komora	190			
levá komora	205			
zvní strana myokardu plně aktivována	225			



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 předstíjí

2 systola komor – fáze isometrické kontrakce

3 systola komor – fáze komorové ejectione

4 aktivní část diastoly

4a protodiastola

4b fáze isometrické relaxace svaloviny

5 fáze pasivního plnění komor, končící diastolou

1' začátek nového cyklu srdeční činnosti

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

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

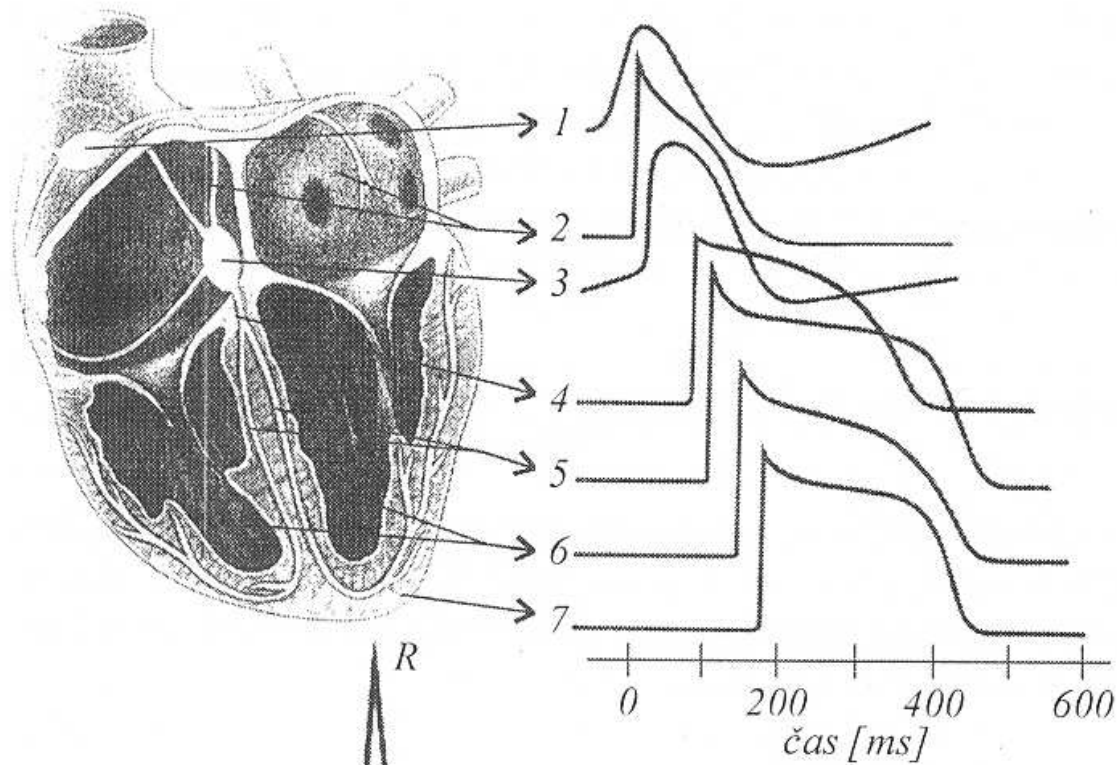
Úsek PQ = když dospěje vlna depolarizace do atrioventrikulárního uzlu, dojde ke zbrzdění jejího dalšího postupu. Pomalý přesun podráždění z předsíní na komory je dán strukturou atrioventrikulárního uzlu, který vede vzruch nejpomaleji z celého myokardu. Význam tohoto zpomalení změny podráždění je v oddělení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

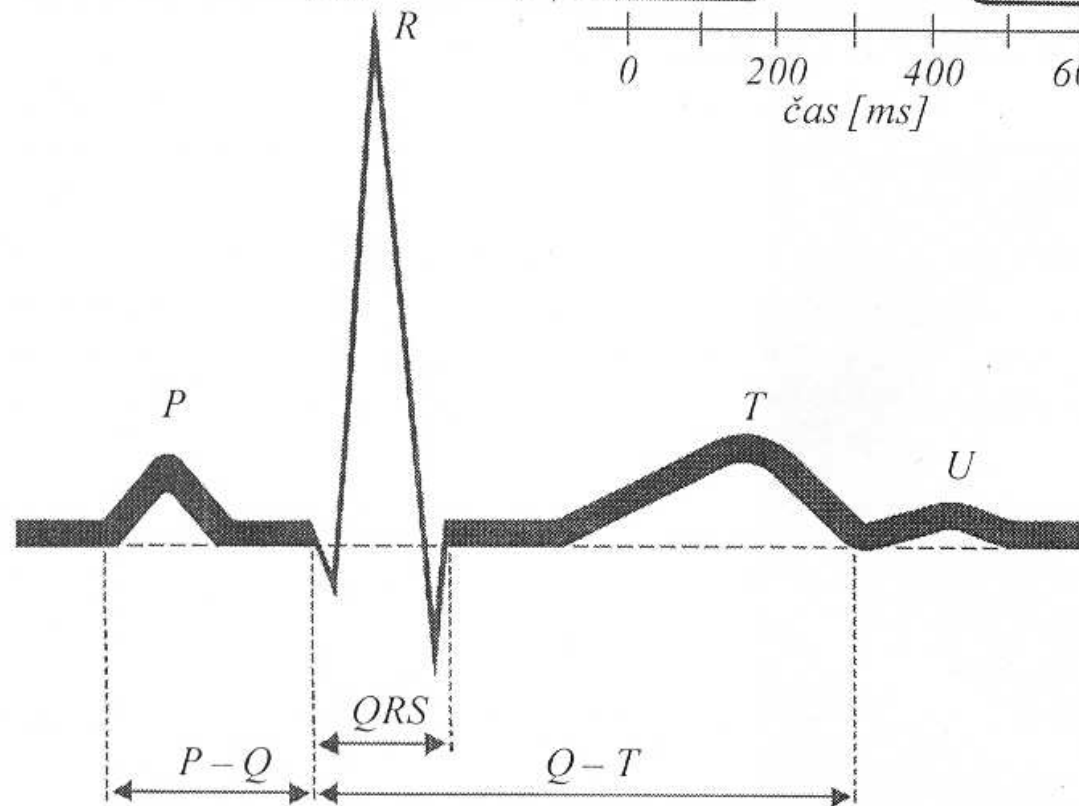
Úsek ST = když se rozšíří depolarizace po celé svalovině komor, je po krátkou dobu elektrická aktivita srdce nulová (srdeční vlákna komor jsou ve fázi plató, mají tedy stejný elektrický náboj a nikde netečou žádné elektrické proudy). Na EKG záznamu se píše izoelektrický úsek SI.

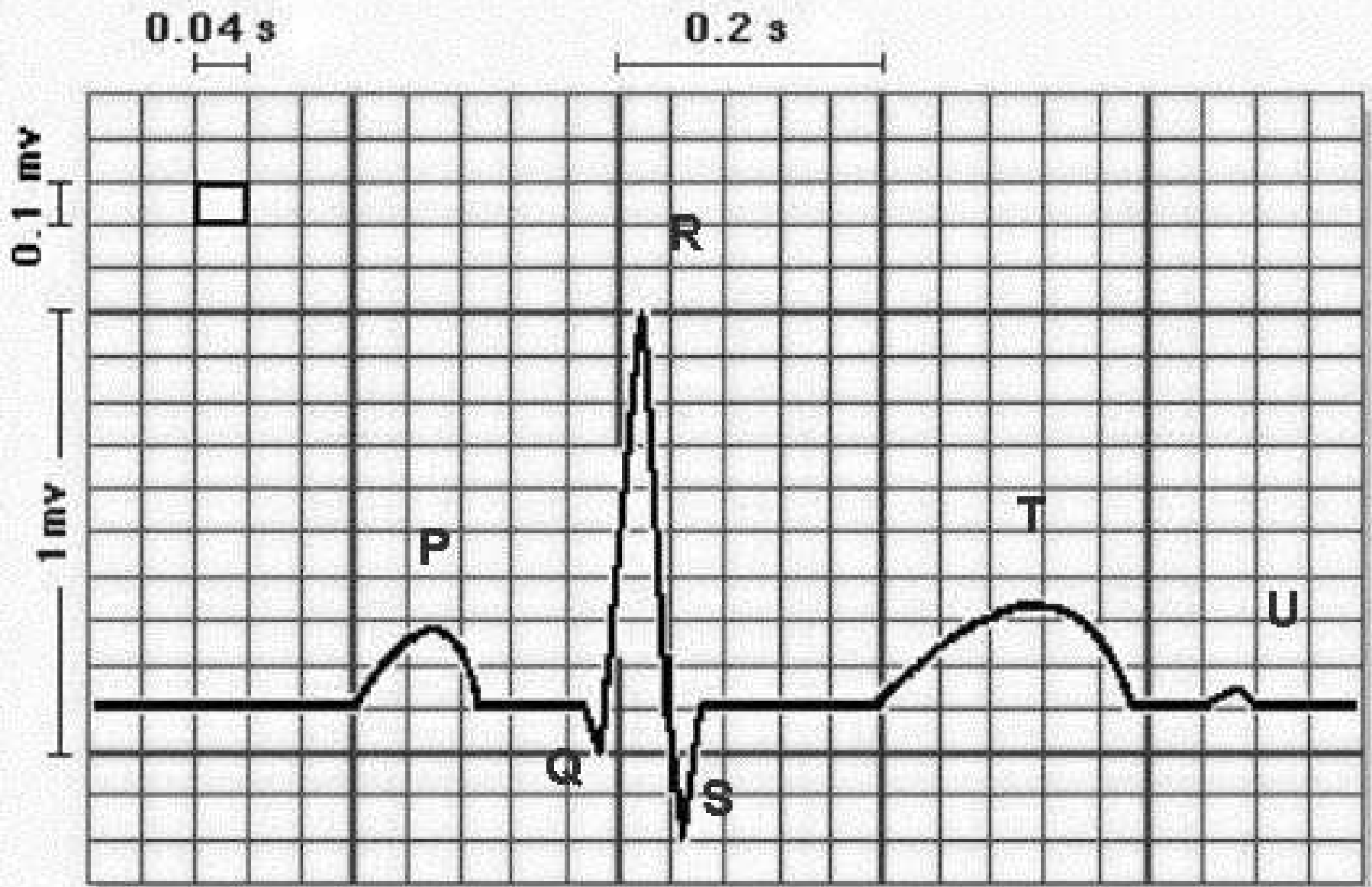
Vlna T = na fázi plató navazuje repolarizace komorového myokardu, která na rozdíl od depolarizace probíhá od epikardu k endokardu.

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



- 1 – sinoatriální uzel
(Keithův-Flackův)
- 2 – svalovina předsíní
a Purkyňova vlákna
- 3 – atrioventrikulární uzel
(Aschoffův-Tawarův)
- 4 – Hissův svazek
- 5 – Tawarova raménka
- 6 – stěna myokardu
- 7 – apex myokardu





PRŮTOK KRVE JEDNOTLIVÝMI ORGÁNY

- pro zabezpečení dostatečného zásobení tkání živinami a pro výměnu plynů má zásadní význam aktuální průtok krve v daném orgánu
- průtok je přímo úměrný krevnímu tlaku a nepřímo úměrný perifernímu odporu, tj. průsvitu cév
- průtok krve v jednotlivých orgánech není stejný a závisí na aktivitě orgánu v daném fyziologickém stavu
- krevní průtok orgánem je řízen vegetativním nervstvem a lokálními faktory, které zužují cévy, nebo je rozšiřují

Celkový průtok jednotlivými orgány (ml/min) v klidu

<i>srdce</i>	<i>250 ml/min</i>	<i>svaly</i>	<i>750 ml/min</i>
<i>mozek</i>	<i>750 ml/min</i>	<i>kosti</i>	<i>250 ml/min</i>
<i>plicní tkáň</i>	<i>100 ml/min</i>	<i>kůže</i>	<i>300 ml/min</i>
<i>ledviny</i>	<i>1 100 ml/min</i>	<i>štítná žláza</i>	<i>50 ml/min</i>
<i>játra</i>	<i>1 350 ml/min</i>	<i>nadledviny</i>	<i>25 ml/min</i>
<i>slinivka břišní</i>	<i>500 ml/min</i>		