

Bioelektrické signály 1

Přednáška č. 04

OBSAH PŘEDNÁŠKY

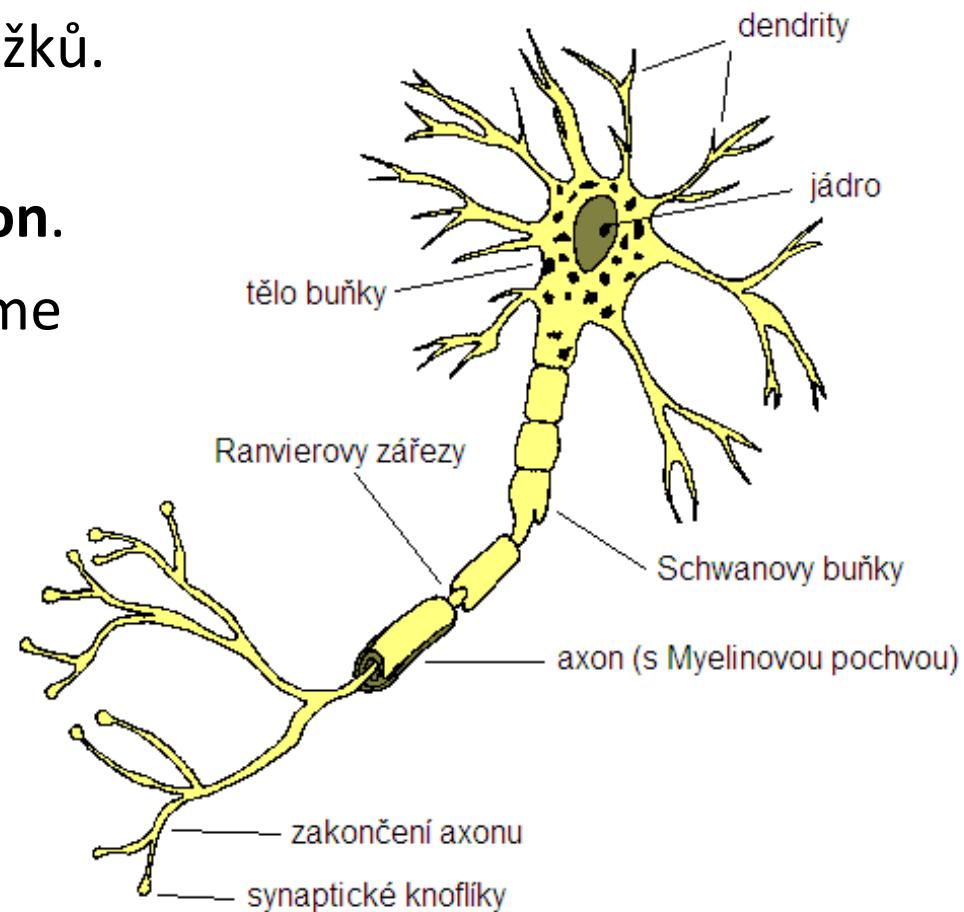
Akční potenciály	<u>3</u>
Srdce	<u>18</u>
EKG	<u>30</u>
Technické řešení EKG	<u>62</u>
EKG vyšetření	<u>72</u>

Akční potenciál

(Zjednodušeně)

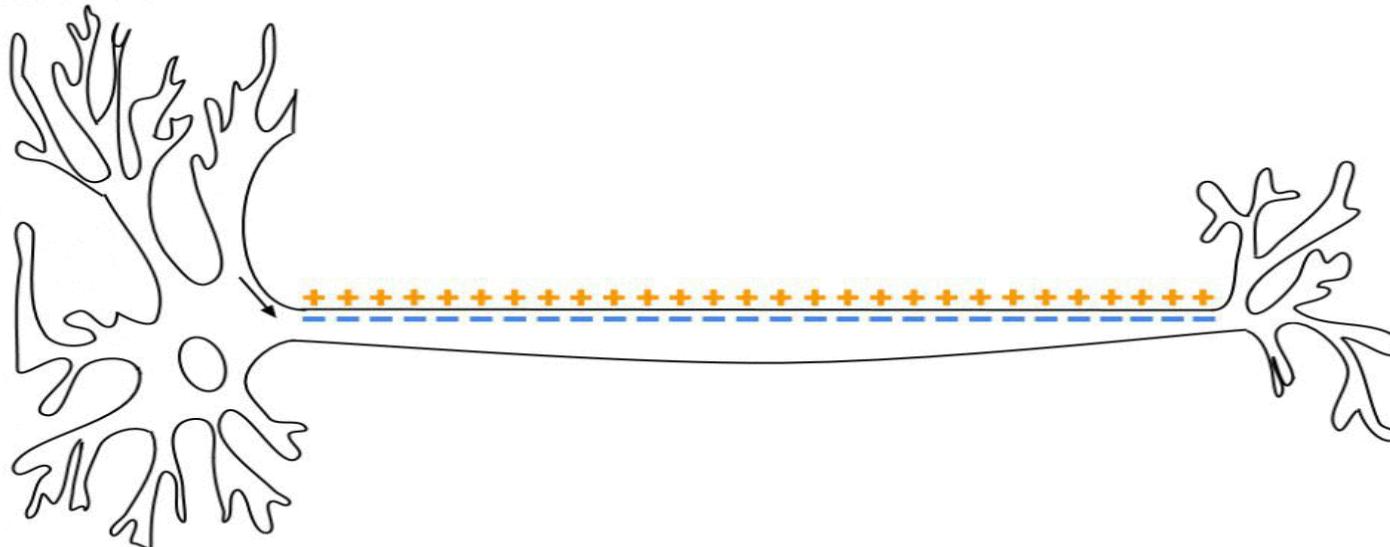
NEURON

- Základní jednotkou nervového systému je nervová buňka, tzv. **neuron**.
- Neurony slouží k přenosu signálů mezi CNS a periferiemi
- Buňky obsluhující svaly se nazývají motoneurony.
- Neuron se skládá z těla a výběžků.
- Krátké výběžky jsou nazývány **dendrity** a dlouhý výběžek **axon**.
- Prostřednictvím **dendritů** přijme neuron informace od jiných neuronů.
- **Axon** zpracovanou informaci předává dalším buňkám (např. svalovým).



NEURON

- Informace se po neuronu šíří pomocí změn elektrického napětí na buněčné membráně, tzv. **akční potenciál (AP)**.



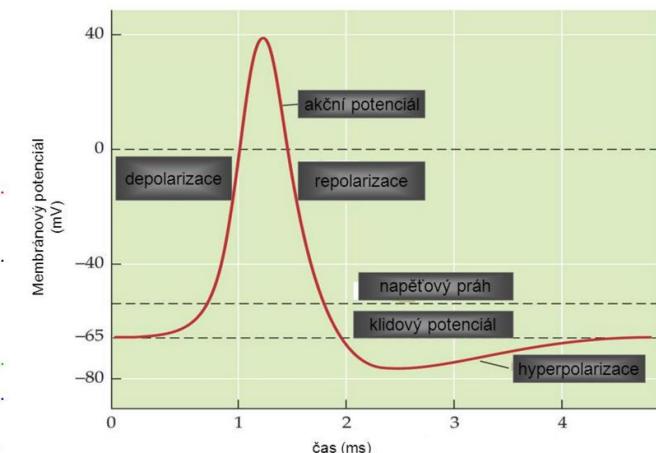
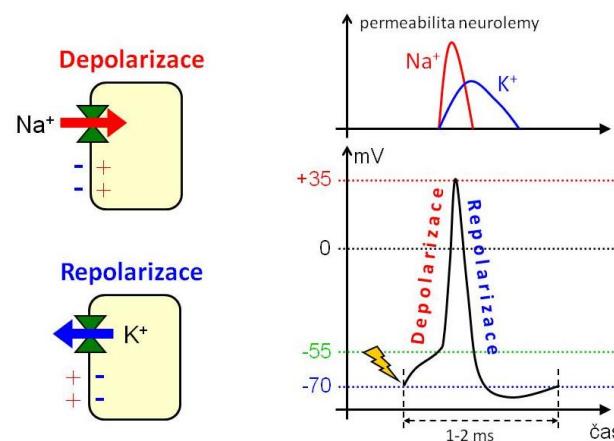
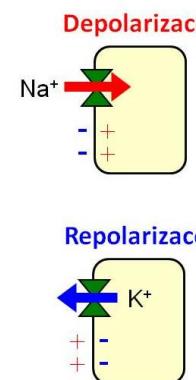
- Mezi jednotlivými nervovými buňkami je pak přenos informace zajištěn prostřednictvím chemických látek (**elektrochemie**).
- Jakmile akční potenciál dorazí axonem až na jeho konec, uvolní se mediátor.

MakeAGIF.com

AKČNÍ POTENCIÁL

- Akční potenciál je speciální vlastnost vyhrazená buňkám dráždivých tkání – tedy svalové, srdeční a nervové.
- Např. signály na nervových vláknech jsou kódovány prostřednictvím akčních potenciálů, respektive jejich frekvence a počtu.
- Obecně lze říci, že akční potenciál je **náhlá změna membránového potenciálu**.
- Obvykle je zahájen jako změna polarity membrány (např. z -90 mV na +35 mV) a pokračuje obnovou do výchozího stavu.
- Celý tento děj trvá zhruba **půl milisekundy** a membrána dráždivé buňky projde několika stavy:

1. **Klidový stav**
2. **Depolarizace**
3. **Přestřelení**
4. **Repolarizace**
5. **Hyperpolarizace**

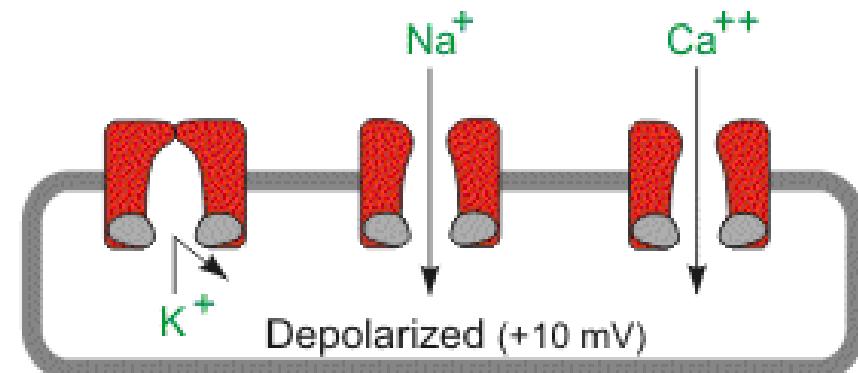
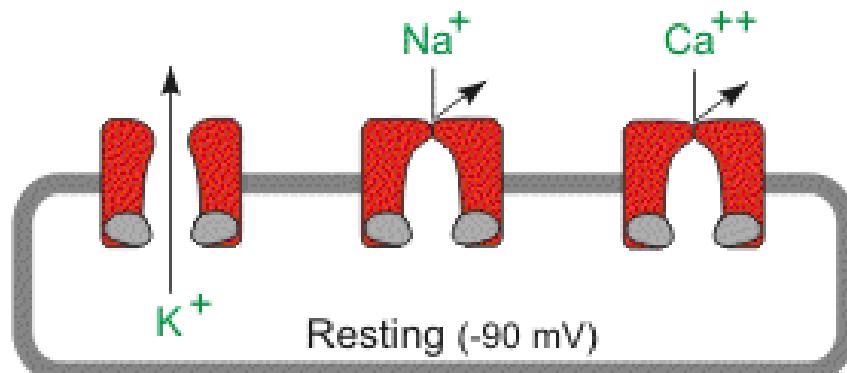


AKČNÍ POTENCIÁL

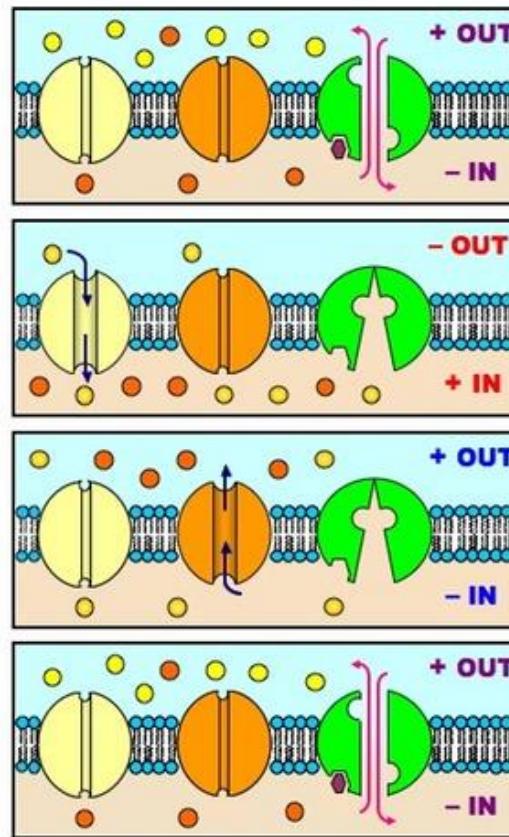
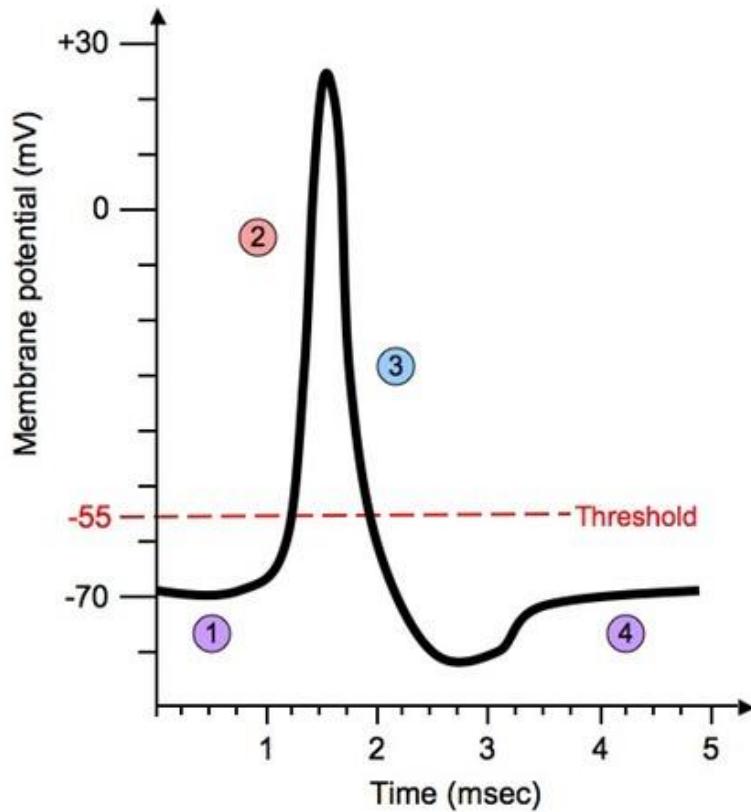
- Vznik akčního potenciálu si vysvětlujeme tak, že následkem podráždění se otevřou iontové kanály, čímž se změní propustnost membrány pro některé ionty, které začnou procházet.
- Může být vyvolán různými **chemickými** činiteli nebo i malou změnou **elektrického** napětí na membráně
- Za **normálních okolností** je **vnitřek buňky** proti jejímu okolí **záporně nabity** (polarizovaný), při depolarizaci proudí kladně nabité ionty do buňky, což vede k vyrovnání nábojů na obou stranách, popř. se vnitřek buňky stává na okamžik kladným (transpolarizace).
- Hlavním kationtem proudícím do buňky je sodík (v membráně takových buněk existují sodíkové kanály, vzniká rychlý sodíkový proud).
- Během depolarizace naopak vystupují ionty draslíku, posléze se pomocí sodíkové pumpy oba ionty opět vyměňují.

AKČNÍ POTENCIÁL

- Nervová buňka je schopna AP přenášet na velké vzdálenosti a předávat na synapsi jiné nervové buňce, žláze nebo svalu [akce].
- Průběh AP v různých buňkách má odlišný charakter.
- Mezi nervovými a srdečními buňkami existuje rozdíl v trvání a výrazném vstupu vápníku do buněk (u kardiomyocytů má vliv na kontrakci).
- Rozdíly existují i mezi buňkami v srdci (zejm. v jednotlivých oddílech převodního systému).
- AP ve svalu a myokardu vyvolá jejich stah.

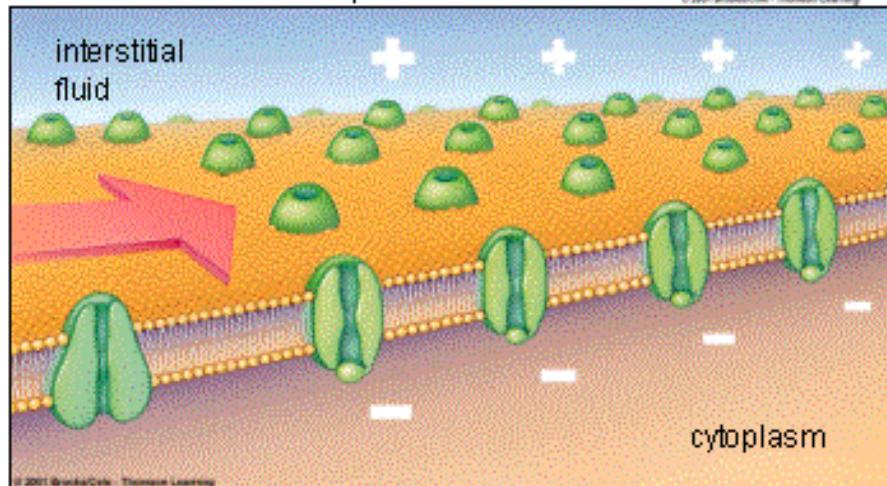
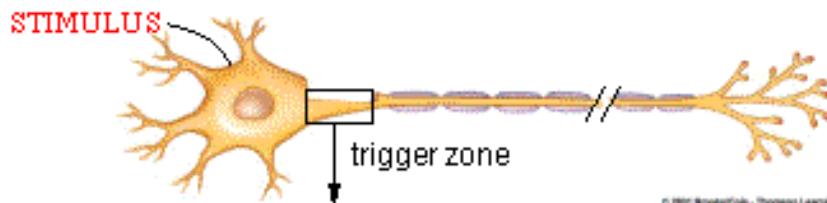


AKČNÍ POTENCIÁL

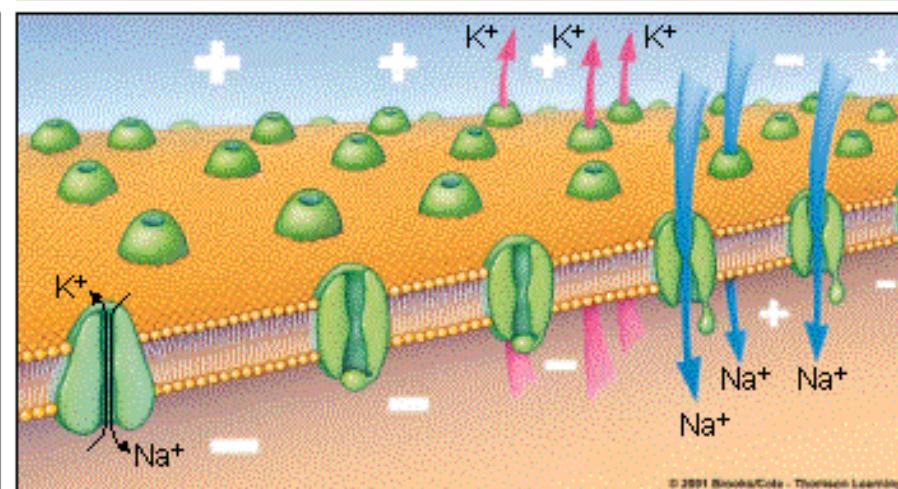
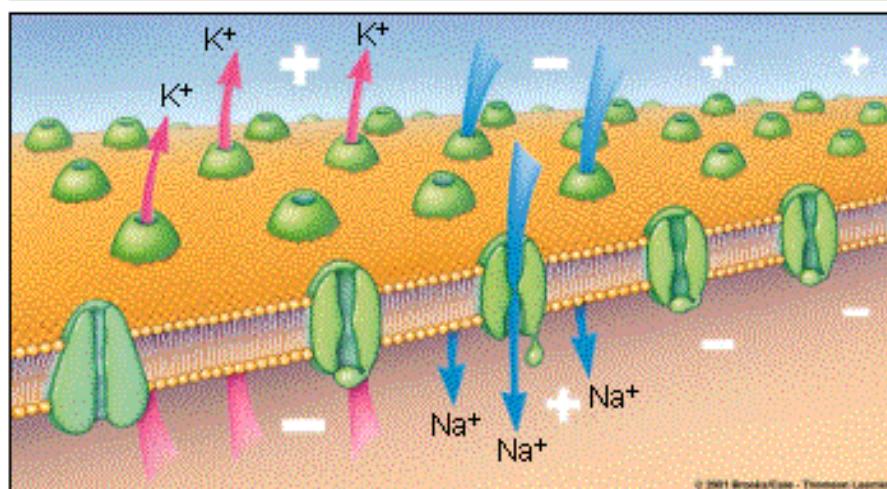
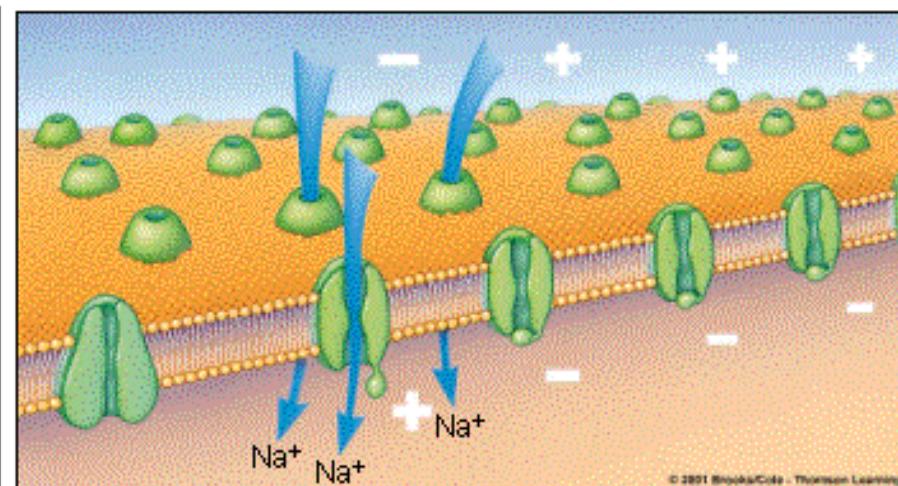


- ① **Resting Potential**
Na⁺/K⁺ pump
- ② **Depolarisation**
Voltage-gated Na⁺ channel
- ③ **Repol polarisation**
Voltage-gated K⁺ channel
- ④ **Resting Potential**
Na⁺/K⁺ pump

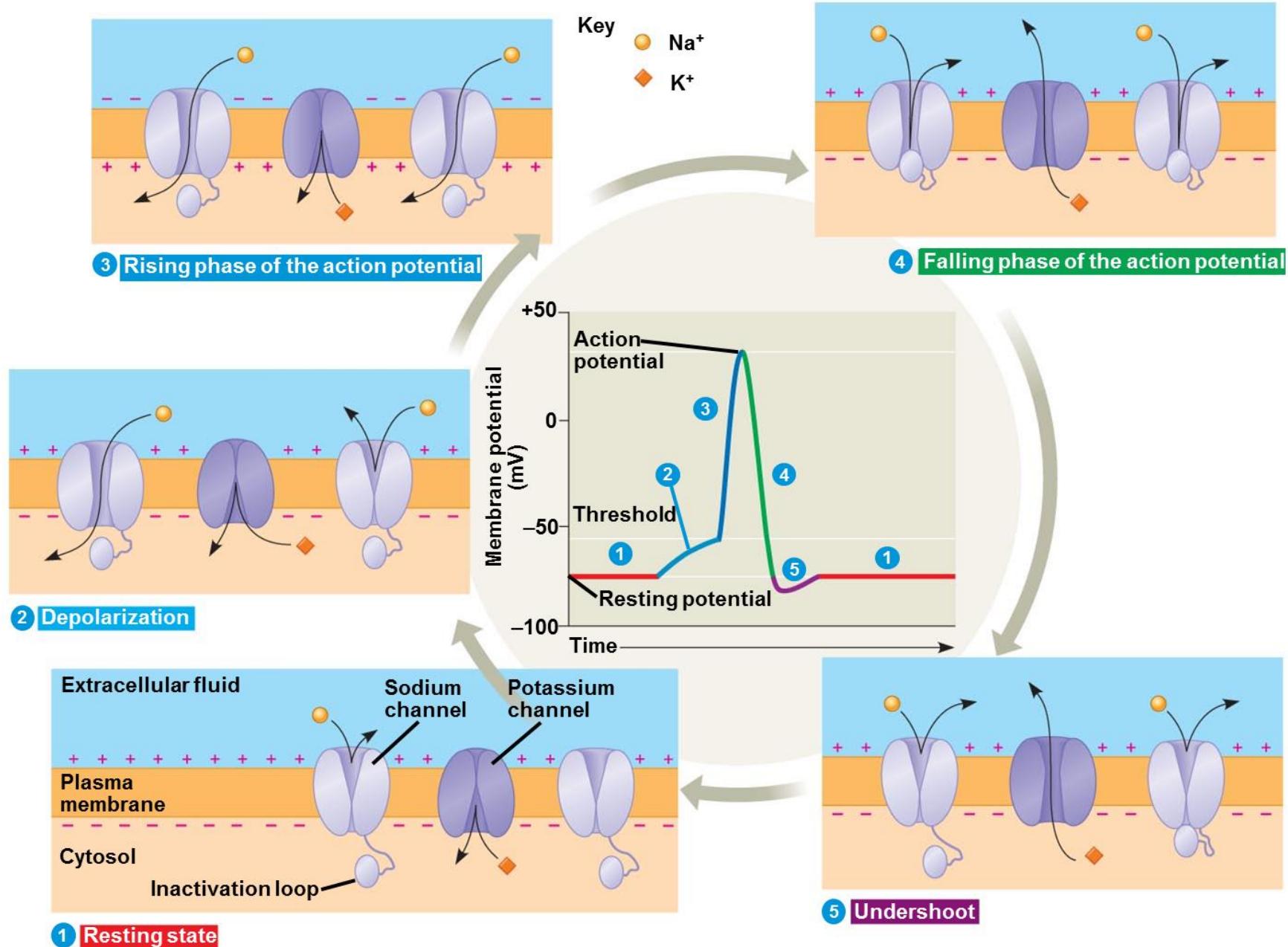
AKČNÍ POTENCIÁL



Action Potential



AKČNÍ POTENCIÁL



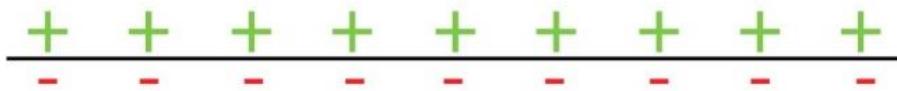
VZNIK AKČNÍHO POTENCIÁLU

- Akční potenciál vznikne v excitabilní buňce v případech, je-li vyvolán podnětem, který právě stačí snížit absolutní hodnotu klidového potenciálu na hodnotu prahového potenciálu (**prahový podnět**), nebo jakýmkoli silnějším podnětem (**nadprahový podnět**).
- Množství iontů prošlých membránou v průběhu akčního potenciálu je nízké, asi $3 \cdot 10^{-12}$ až $4 \cdot 10^{-12}$ molů na 1 cm^2 plochy membrány.
- Proces vzniku akčního potenciálu je spojen jen s nepatrnými energetickými nároky.
- Také doba, po kterou jsou otevřeny iontové kanály, je velmi krátká (kratší než 1 ms).
- Po proběhnutí akčního potenciálu následuje velmi krátká doba (asi 1 ms), tzv. absolutní refrakterní perioda, po kterou nelze nový akční potenciál vyvolat.
- Poté následuje relativní refrakterní perioda (trvající 10^{-5} ms), po kterou lze vyvolat potenciál, ale pouze nadprahovým podnětem.

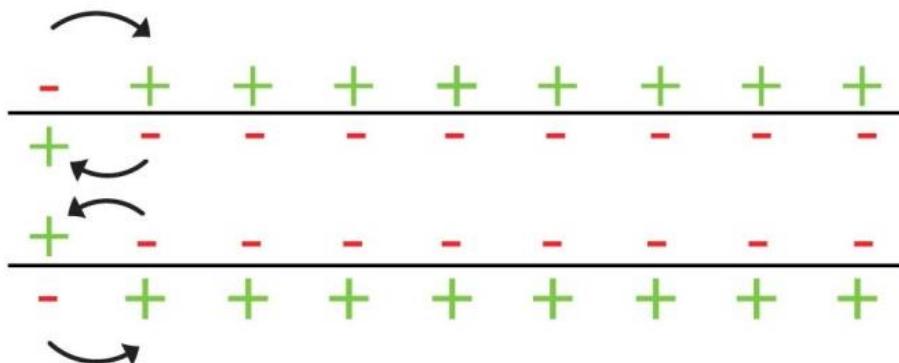
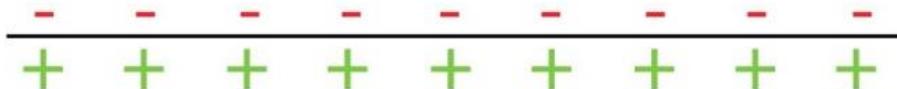
PROPAGACE AKČNÍHO POTENCIÁLU

- Jakmile vznikne akční potenciál, je veden po celé délce membrány v obou směrech.
- Vznikají **proudové branky**, což jsou místní toky iontů.
- Sodné ionty se šíří podél vnitřního povrchu membrány a draselné podél vnějšího, čímž depolarizují další úseky membrány a akční potenciál vzniká v jejich přilehlých částech.
- V místě vzplanutí dalšího akčního potenciálu opět vzniká proudová branka a celý děj se cyklicky opakuje.
- Možný je postup **pouze vpřed** v obou směrech podél membrány (nikoli na zpět do místa, kde již cyklus proběhl), neboť v místě vzniku předchozího akčního potenciálu je membrána v absolutní refrakterní fázi, a není proto možné ji depolarizovat proudovou brankou.

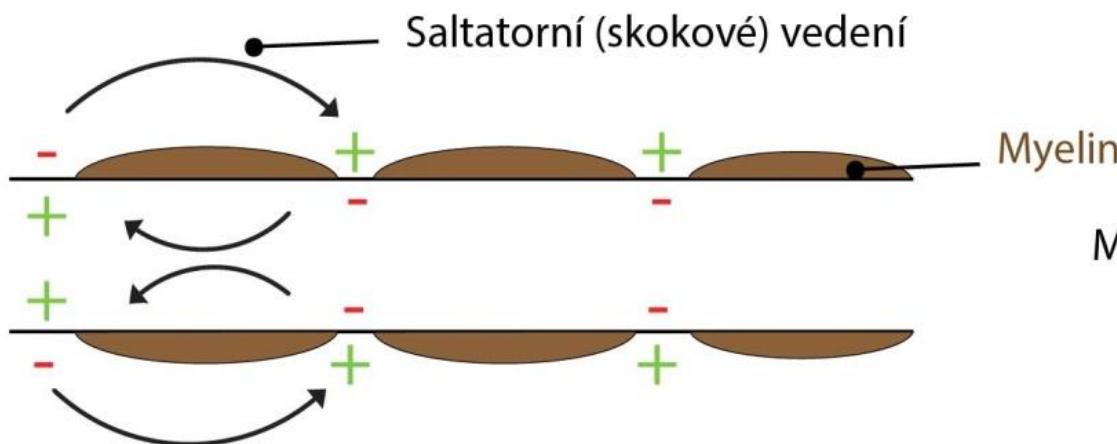
PROPAGACE AKČNÍHO POTENCIÁLU



Klidový stav



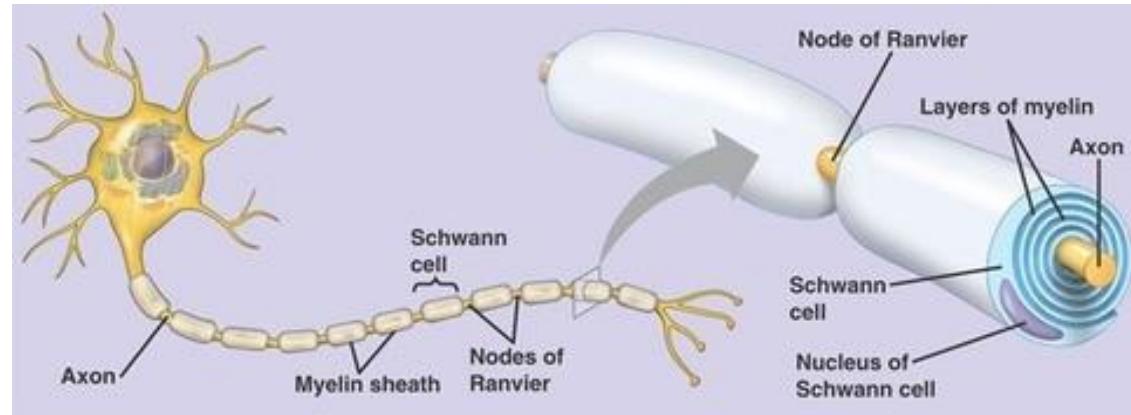
Nemyelinizované vlákno



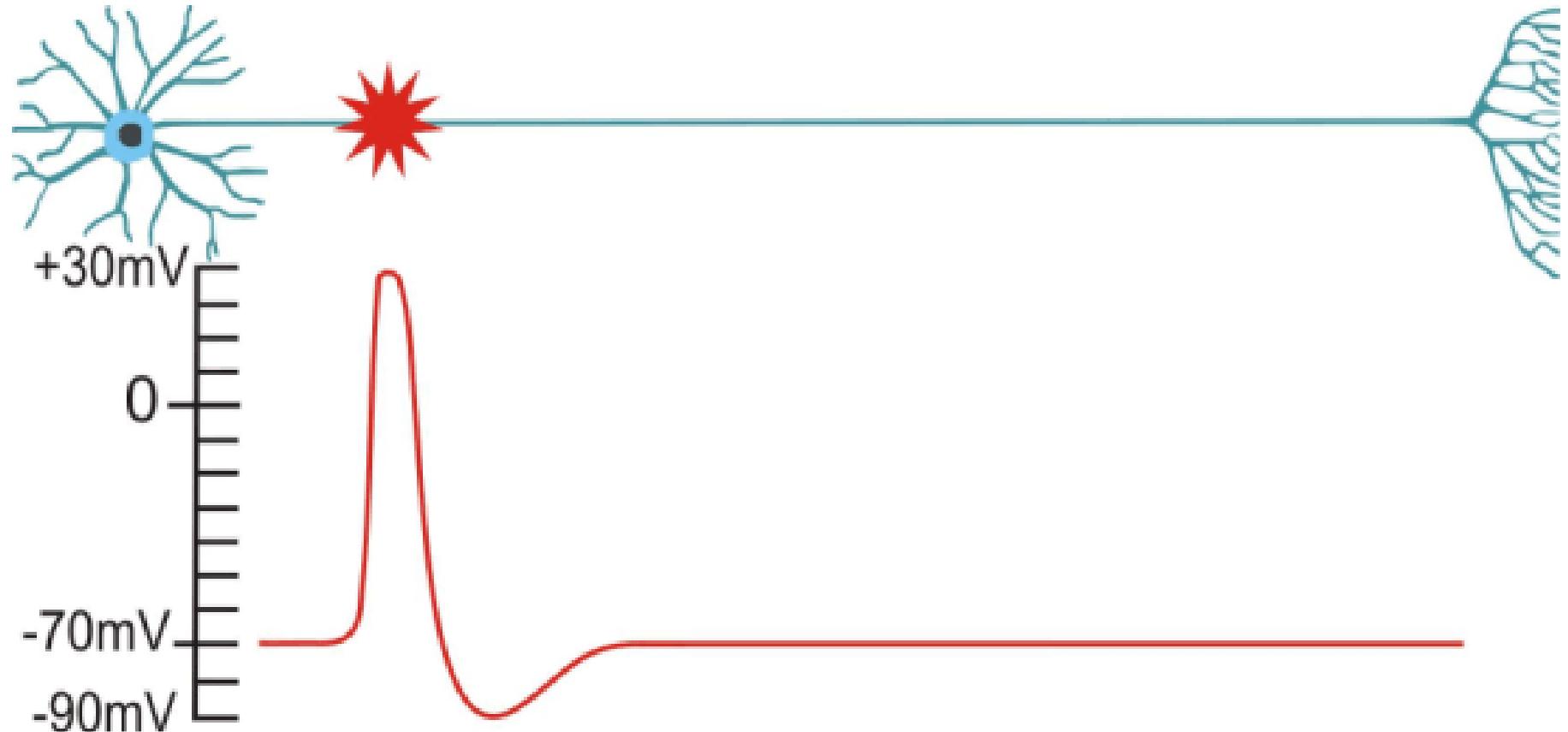
Myelinizované vlákno

PROPAGACE AKČNÍHO POTENCIÁLU

- Na velkých **myelinizovaných axonech** se akční potenciály šíří skokově tzv. **saltatorním vedením**.
- Axolema je vystavena zevnímu prostředí v místech Ranvierových zářezů, zde také probíhají iontové změny nezbytné pro tvorbu akčního potenciálu, protože jsou zde iontové kanálky.
- Proudové branky zde dosahují do vzdálenosti až 3 mm a nové akční potenciály vznikají pouze v místě **Ranvierových zářezů**.
- Zbytek axonu je izolován a nenachází se zde molekulárně biologický aparát pro propagaci vzruchu.
- Rychlostí vedení vzruchu pro myelinizovaný axon je 1–100m/s, zatímco pro nemyelinizovaný axon okolo 0,6–2m/s.

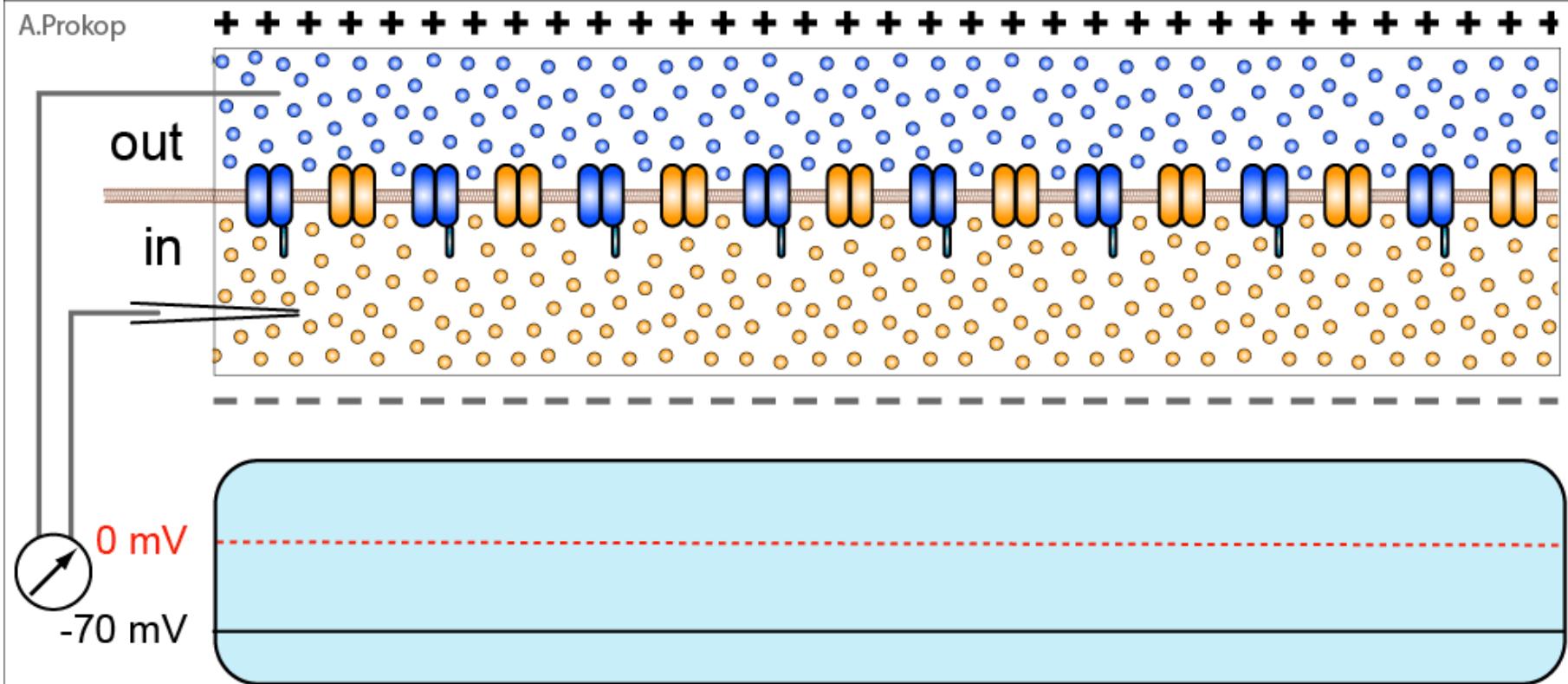


PROPAGACE AKČNÍHO POTENCIÁLU



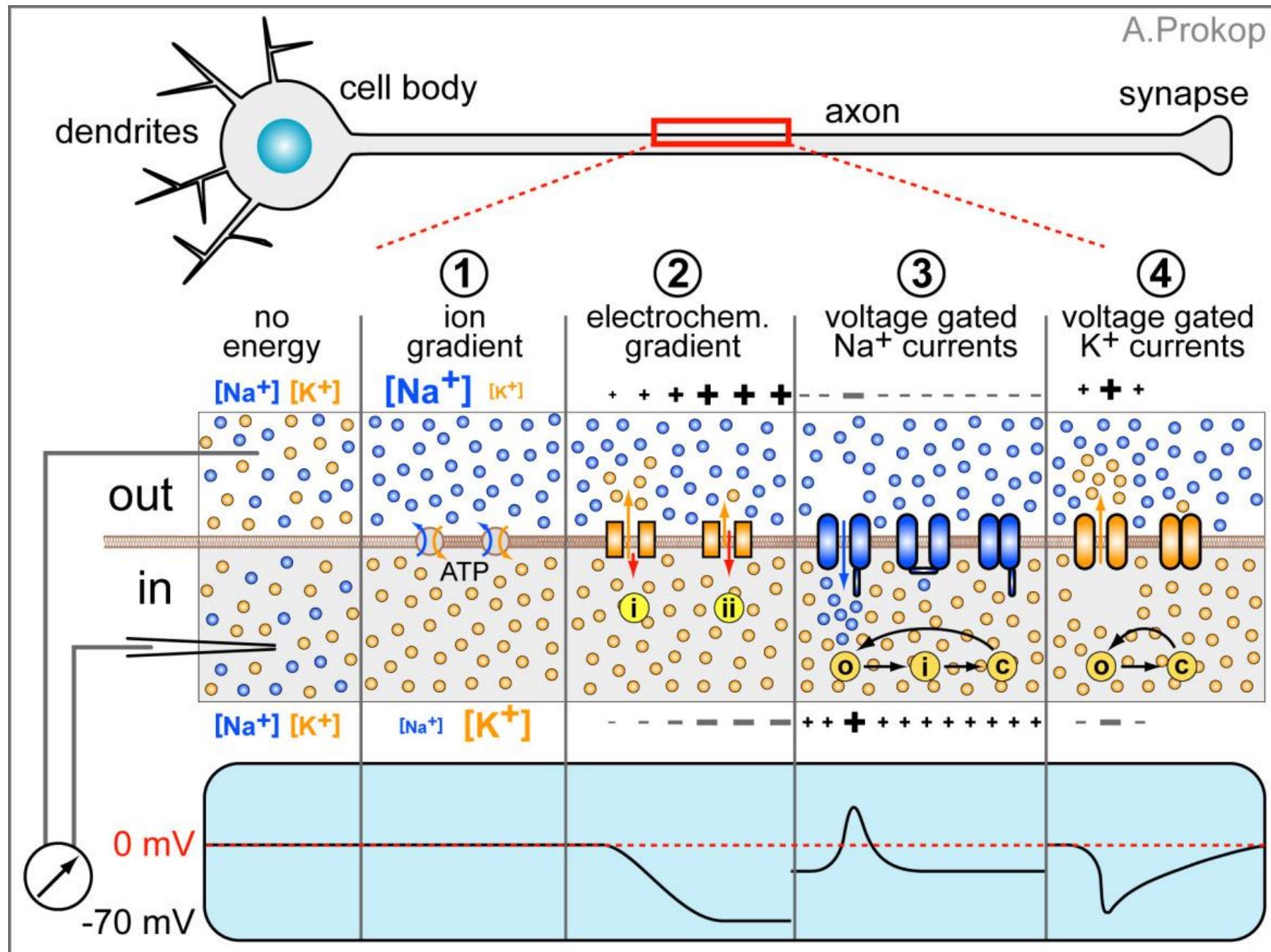
PROPAGACE AKČNÍHO POTENCIÁLU

A.Prokop



PROPAGACE AKČNÍHO POTENCIÁLU

A. Prokop

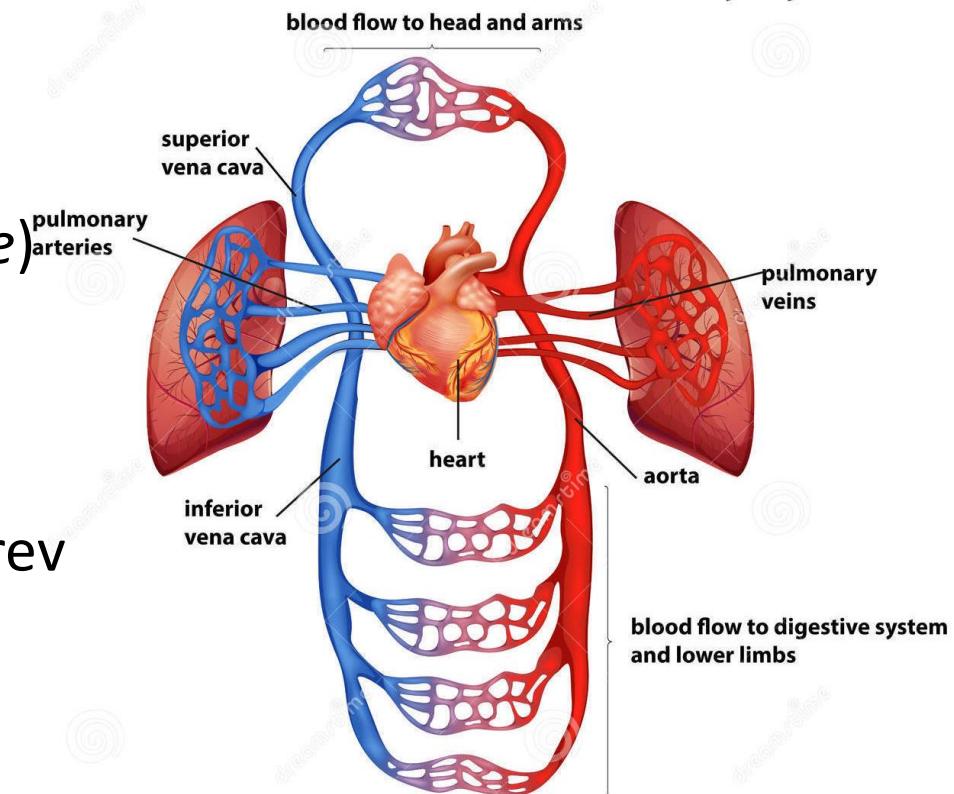


Srdce

OBĚHOVÁ SOUSTAVA

- Oběhová soustava (kardiovaskulární systém, cévní soustava) je jedna z orgánových soustav živočichů.
- **Slouží zejména k transportu živin, plynů a odpadních látek z tkání nebo do tkání.**
- Lidská oběhová soustava je uzavřená a je složená ze dvou hlavních okruhů: tzv. **malý srdeční oběh (plicní, poháněn levou polovinou srdce)** cirkuluje krev mezi srdcem a plícemi, zatímco ve **velkém srdečním oběhu (systémový, pravá polovina srdce)** koluje krev mezi srdcem a celým tělem, aby byly živiny a kyslík dopraveny k buňkám.

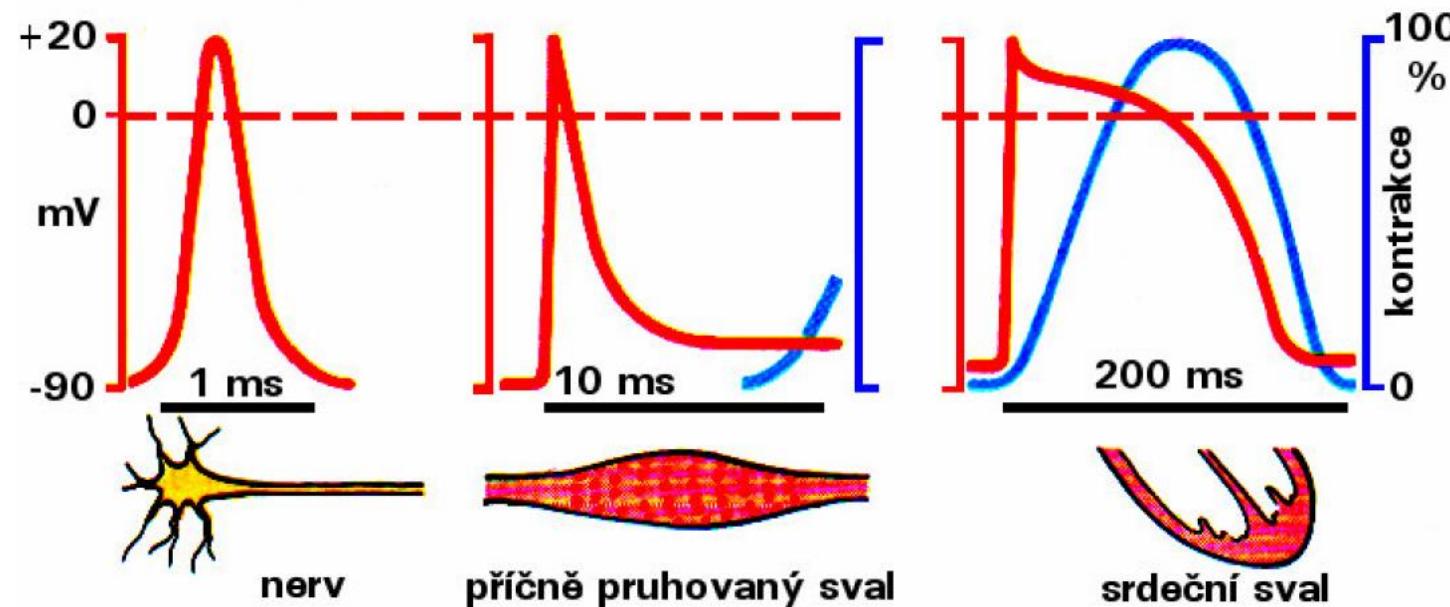
Blood Flow in Human Circulatory System



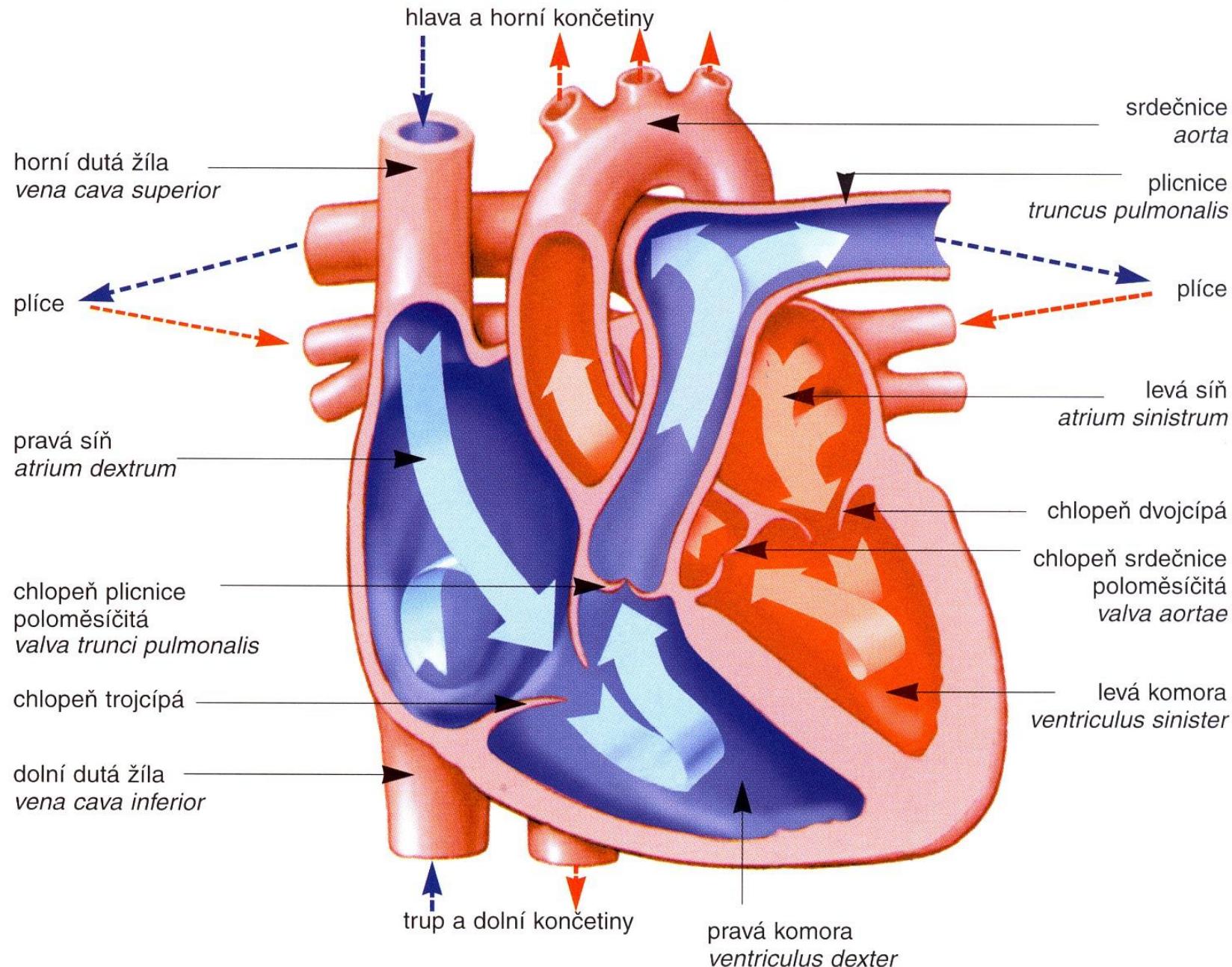
- **Srdce** je svalový orgán se čtyřmi dutinami, který funguje jako kontinuálně pracující pumpa.
- Pohání tak krev přes cévy do všech částí těla a tím umožňuje výživu a výměnu látek ve tkáních.
- Stavbou, funkcí a chorobami lidského srdce se zabývá **kardiologie**
- U dospělého člověka je srdce asi **12 cm dlouhé a 8–9 cm široké**. Hmotnost srdce se liší podle pohlaví, u muže se pohybuje kolem **280-340 g**, u **žen** kolem **230-280 gramů**.
- Každou **systolou** je tak ze srdce vypuzeno průměrně asi **70 ml krve**.
- U člověka v klidu je **srdeční frekvence 70-80 stahů za minutu**, v případě potřeby dokáže zvýšit srdeční frekvenci více než pětkrát.
- Klidový minutový srdeční výdej je tedy **5-6 l/min**, což zhruba odpovídá celkovému množství krve v těle.
- Průměrně srdce udělá okolo **100 000 úderů každý den**, za celý život člověka udělá srdce zhruba **2,5 miliardy stahů**.

SRDCE

- Srdce je tvořeno speciální příčně pruhovanou svalovinou (myokardem), jejíž elektrofysiologickou zvláštností je dlouhá doba trvání akčního potenciálu (200-300ms).
- Rychlá depolarizační fáze je způsobena influxem (vtokem) sodných iontů do vlákna myokardu.
- Dlouhé trvání depolarizace je připisováno účinku vápenatých iontů, vstupujících do vlákna.



POPIS SRDCE

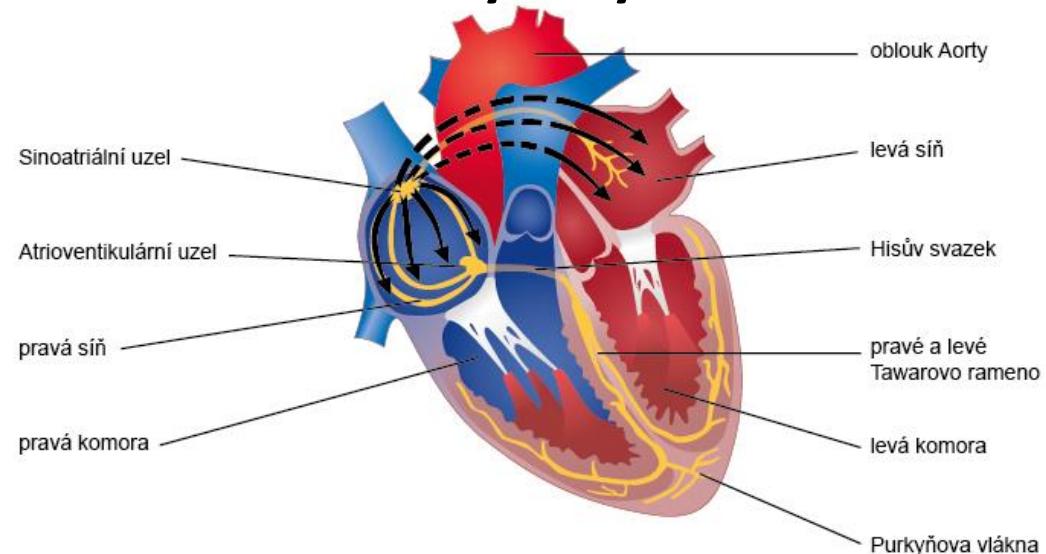


ŘÍZENÍ SRDEČNÍ ČINNOSTI (ELEKTRICKÁ AKTIVITA!)

- Srdce je do jisté míry **autonomní orgán**
- Podněty ke kontrakci myokardu vznikají přímo ve vlastní svalovině, a to v modifikovaných kardiomyocytech tvořících převodní soustavu srdeční. Této vlastnosti se říká **automacie**.
- Centrum řízení srdeční činnosti je umístěno v prodloužené míše.
- **Nejvýznamnější** řízení frekvence je řízení nervové, pomocí autonomních nervů:
 - **Parasympatická nervová vlákna** působí na srdeční činnost zpomalením srdeční frekvence, snížením síly kontrakce a snížením vzrušivosti myokardu.
 - **Sympatická nervová vlákna** působí na srdeční činnost zrychlením srdeční frekvence, zvýšením síly kontrakce a zvýšením vzrušivosti myokardu
- Srdeční frekvence je také ovlivňována baroreceptorovými reflexy, humorálním řízením a teplotou (zvýšení o 1°C -> cca 10 ú/min)

PŘEVODNÍ SYSTÉM SRDEČNÍ (ELEKTRICKÁ AKTIVITA!)

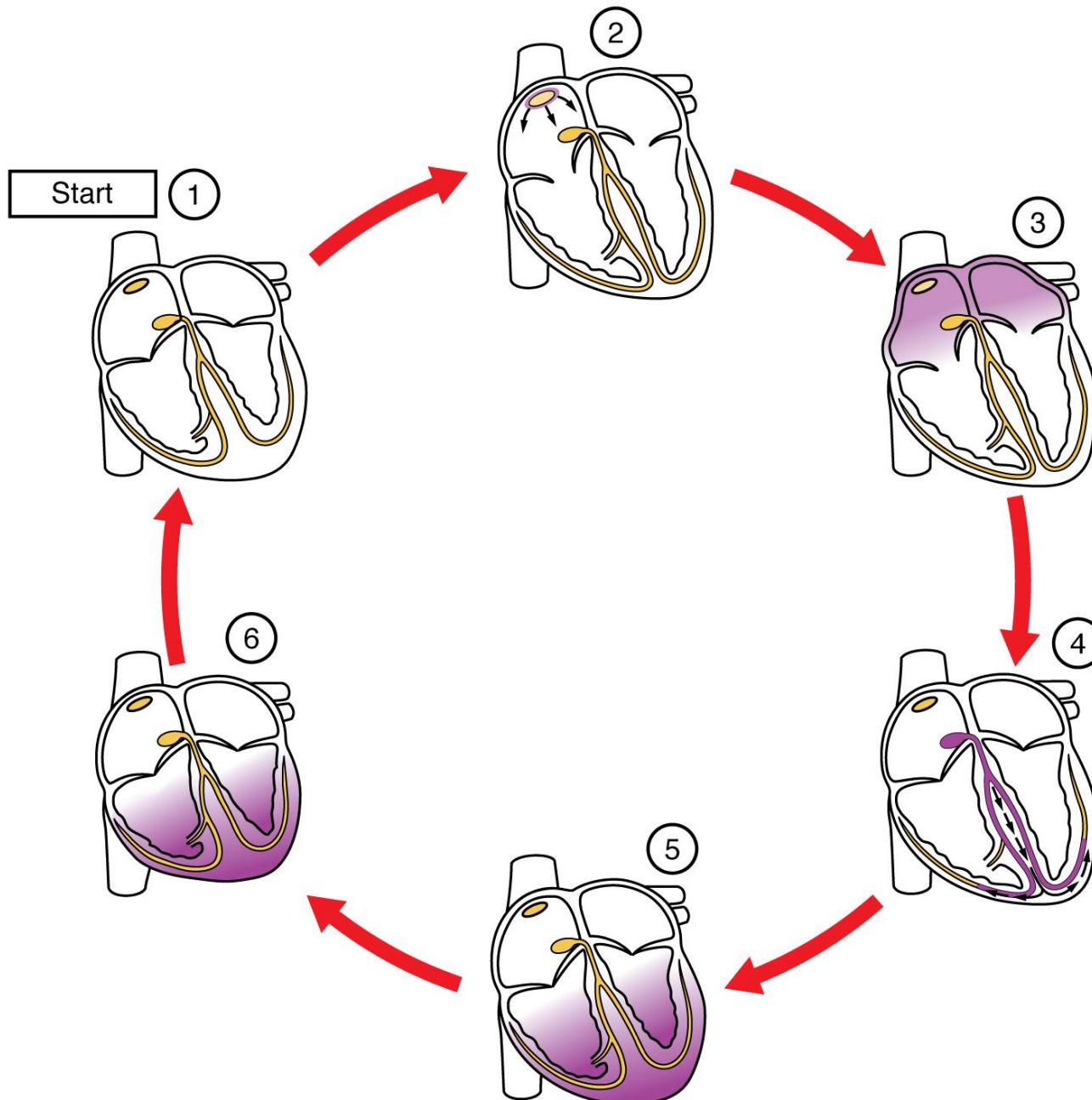
- Místem primární srdeční **automacie** (generátorem impulsů) je **sinoatriální uzel** v oblasti pravé předsíně při vstupu horní duté žíly (15x5 mm, ve středu jsou samoexcitančí buňky s tvorbou akčních potenciálů s frekvencí cca **60-100x/min**).
- Odtud se podráždění šíří svalovinou předsíní k uzlu **atrioventrikulárnímu** (s vlastní frekvencí AP **50/min**), ležícímu v oblasti septa na rozhraní předsíní a komor.
- Ten je výchozím bodem vodivého systému komor **Hisova svazku**, pravého a levého **Tawarova raménka** a **Purkyňových vláken**.
- Tento vodivý systém zajišťuje rozvod podráždní po komorové svalovině.



PŘEVODNÍ SYSTÉM SRDEČNÍ (ELEKTRICKÁ AKTIVITA!)

- Buňky srdečního svalu (**kardiomyocyty**) lze na základě jejich funkce rozdělit do 2 skupin:
 - Buňky mající schopnost autonomně vytvářet vzruchy a tyto vzruchy následně rozvádět po celém srdci.
 - Takovéto buňky jsou souborně označovány jako **převodní systém srdeční (PSS)**.
- Buňky jejichž primární funkcí je kontrakce. Schopnost tvorby vzruchů mají jen za patologických podmínek.
 - Takovéto buňky jsou souborně označovány jako **pracovní myokard**.
- Buňky **PSS** generují a relativně rychle rozvádějí vzruchy v určitém pořadí po celém myokardu (dávají tak signál buňkám pracovního myokardu, aby se kontrahovaly).
- **Buňky pracovního myokardu** provedou vlastní kontrakci (stah) srdečního svalu.

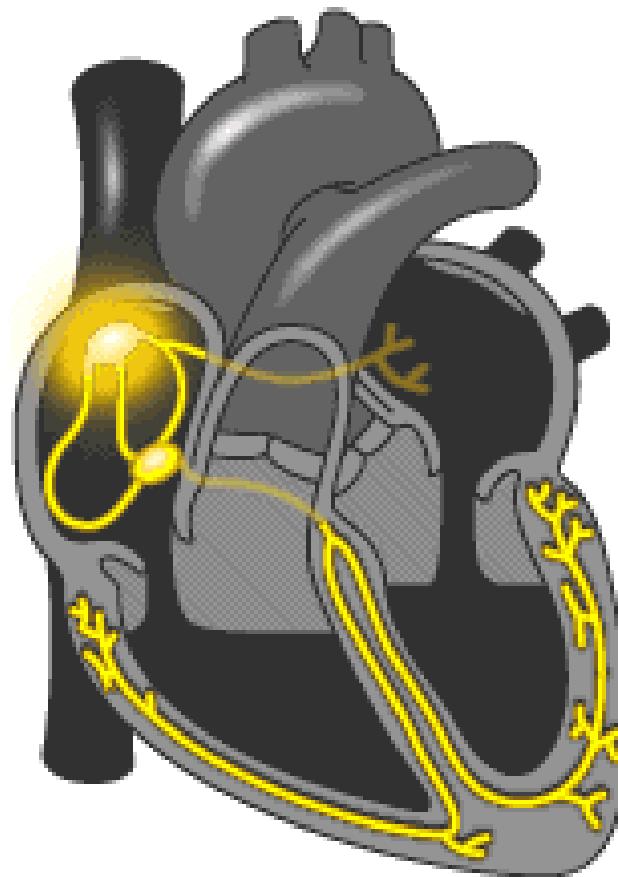
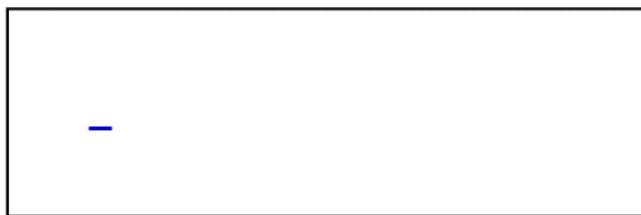
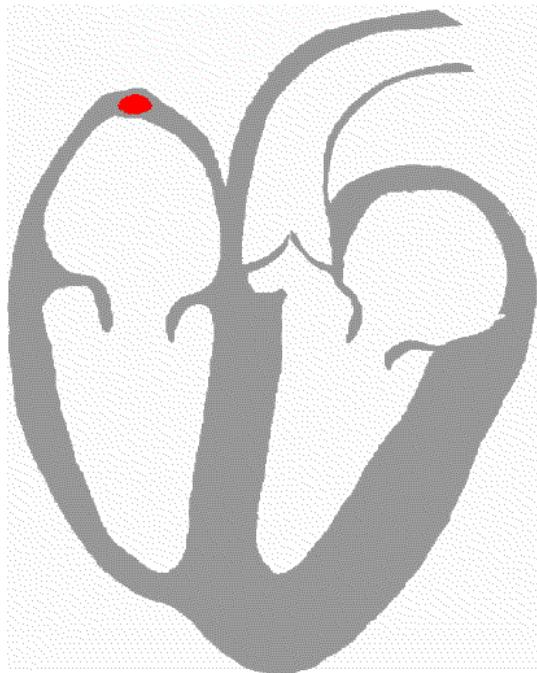
PŘEVODNÍ SYSTÉM SRDEČNÍ (ELEKTRICKÁ AKTIVITA!)



SRDEČNÍ CYKLUS (MECHANICKÁ AKTIVITA!)

- Srdeční cyklus se rozpadá do dvou hlavních fází:
 - **Systola** je koordinovaný stah srdeční svaloviny síní nebo komor
 - **Diastola** je uvolnění (relaxace) srdečního svalu
- Při diastole síní (za současné systoly komor) přitéká do pravé síně oběma dutými žilami krev z velkého tělního oběhu, zatímco do levé síně přitéká krev z plicních žil.
- Následuje systola obou síní (současně s diastolou obou komor), při které je krev ze síní vypuzena do komor.
- Aby nedocházelo ke zpětnému toku krve z komor do síní, je mezi pravou síní a komorou trojcípá chlopeň a mezi levou síní a komorou chlopeň dvojcípá.
- Tyto chlopně se při následné systole komor uzavřou a krev z komor je tak vypuzena do plicního kmene a do aorty.
- Zpětnému toku krve do komor brání poloměsíčité chlopně uzavírající jak plicní kmen tak aortu.

SRDEČNÍ CYKLUS (MECHANICKÁ AKTIVITA!)



Skvělá animace cyklu s šířením AP: http://nl.ecgpedia.org/images/b/bc/Normal_SR_vector.swf

Kontrakce svalového vlákna: http://nl.ecgpedia.org/images/5/50/Single_cardiomyocyte.swf

VYŠETŘENÍ PŘEVODNÍHO SYSTÉMU

- Základem vyšetření je elektrokardiogram (EKG) snímaný z povrchu těla.
- Ve vybraných případech je možno k záznamu také použít intrakardiální svod, který se zavádí do srdce obvykle katetrizačně cestou některé z velkých žil.
- Podrobnější vyšetření umožňuje elektrofyziologické vyšetření srdce, kdy potenciály uvnitř srdce snímá současně větší počet elektrod zavedených rovněž katetrizačně.
- Současně je možné také do srdce elektrodou vysílat impulzy a zjišťovat reakce převodního systému (mluví se o vzestupné a programované stimulaci předsíní a komor srdečních)

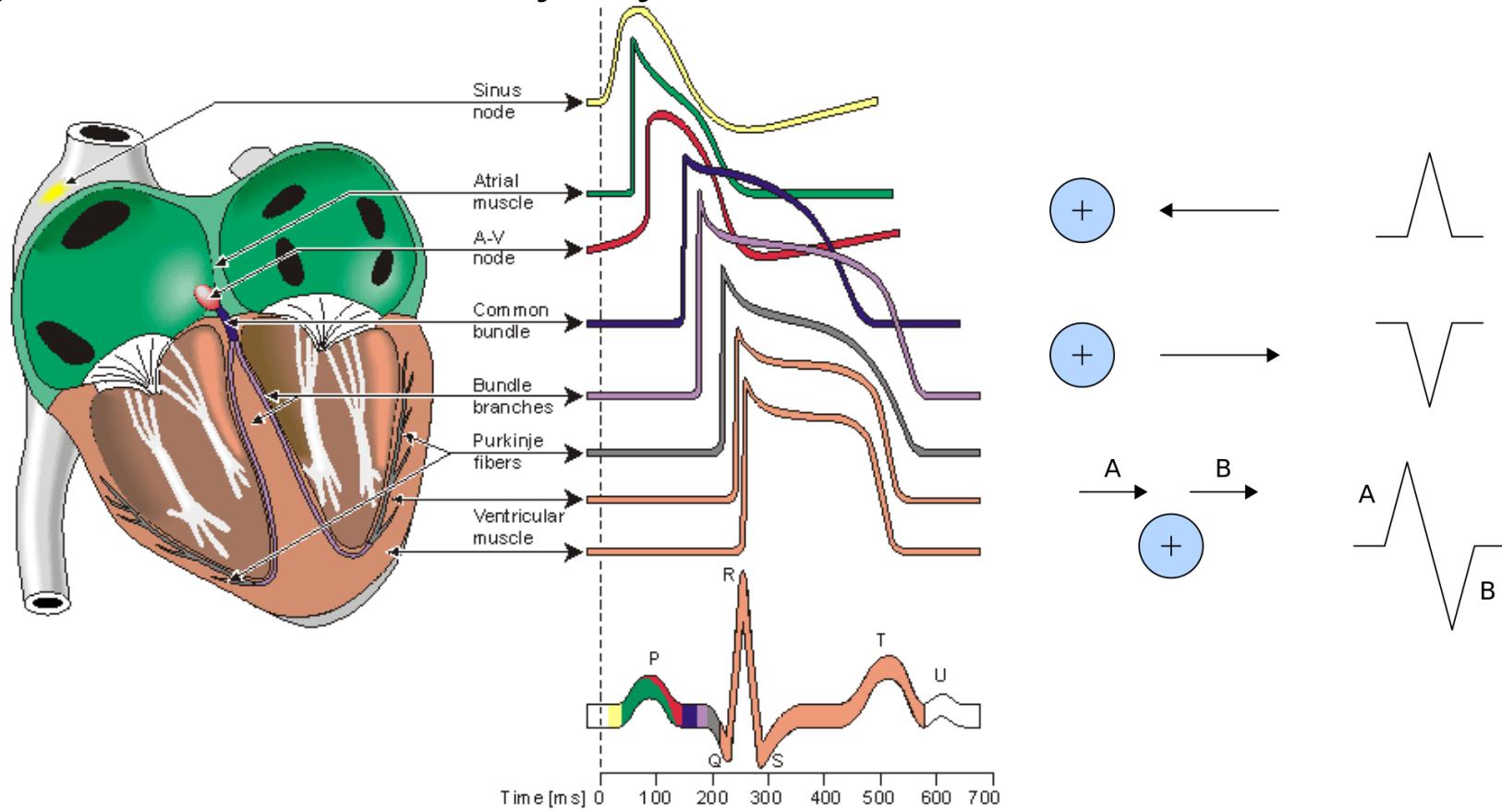
EKG

ELEKTROKARDIOGRAFIE (EKG)

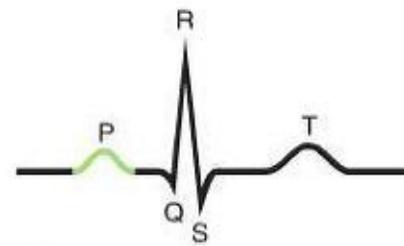
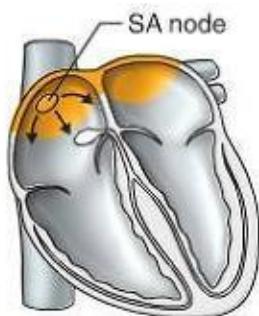
- Elektrokardiografie (EKG) je základní vyšetřovací metoda v kardiologii.
- Jejím principem je snímání elektrické srdeční aktivity a v podobě elektrokardiogramu (časový záznam EKG křivek) umožňuje její hodnocení.
- EKG vyšetření je většinou neinvazivní.
- **Pomocí elektrod umístěných na kůži, ale i na stěně jícnu či přímo v srdci, měříme rozdíl napětí jako projev šíření akčního potenciálu myokardem.**
- Použití EKG:
 - Posouzení, zda je srdeční aktivita normální, nebo zda dochází k jejím poruchám.
 - Odhaluje akutní či proběhlé poškození srdečního svalu, především infarkt myokardu.
 - Může odhalit poruchy distribuce elektrolytů.
 - Detekce poruchy převodního systému srdečního a blokád I. a II. řádu.
 - Nástroj pro screening ischemické choroby srdeční během zátěžových testů.

UTVÁŘENÍ EKG SIGNÁLU

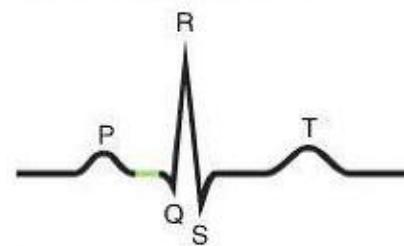
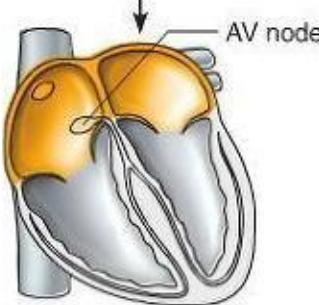
- EKG je tvořen depolarizací síní (vlna P), komplexem kmit QRS (odpovídá depolarizaci komor) a vlnou T (repolarizace komor).
- Repolarizace předsíní je schována za depolarizací komor (větší signál – více svalové hmoty).
- Ojediněle se na konci objevuje vlna U.



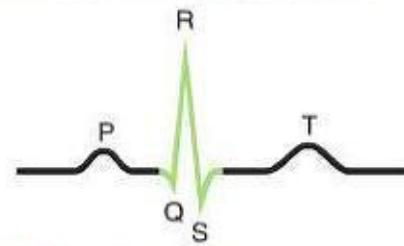
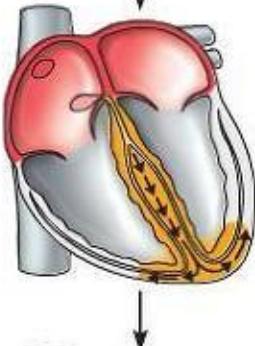
VZNIK EKG KŘIVKY



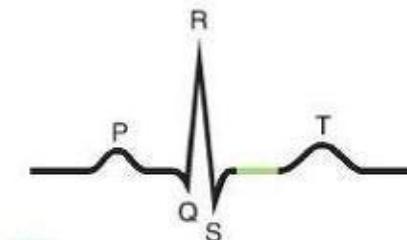
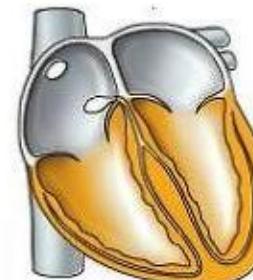
① Atrial depolarization, initiated by the SA node, causes the P wave.



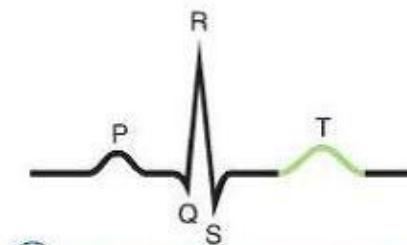
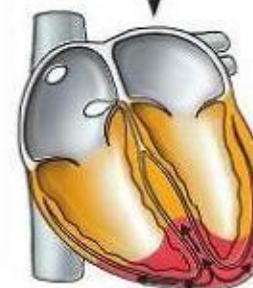
② With atrial depolarization complete, the impulse is delayed at the AV node.



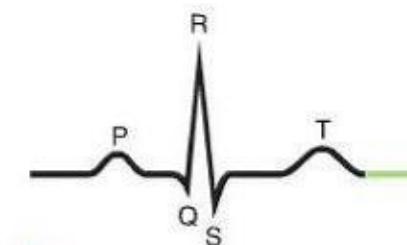
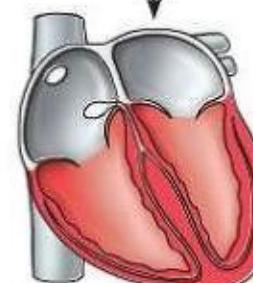
③ Ventricular depolarization begins at apex, causing the QRS complex. Atrial repolarization occurs.



④ Ventricular depolarization is complete.



⑤ Ventricular repolarization begins at apex, causing the T wave.

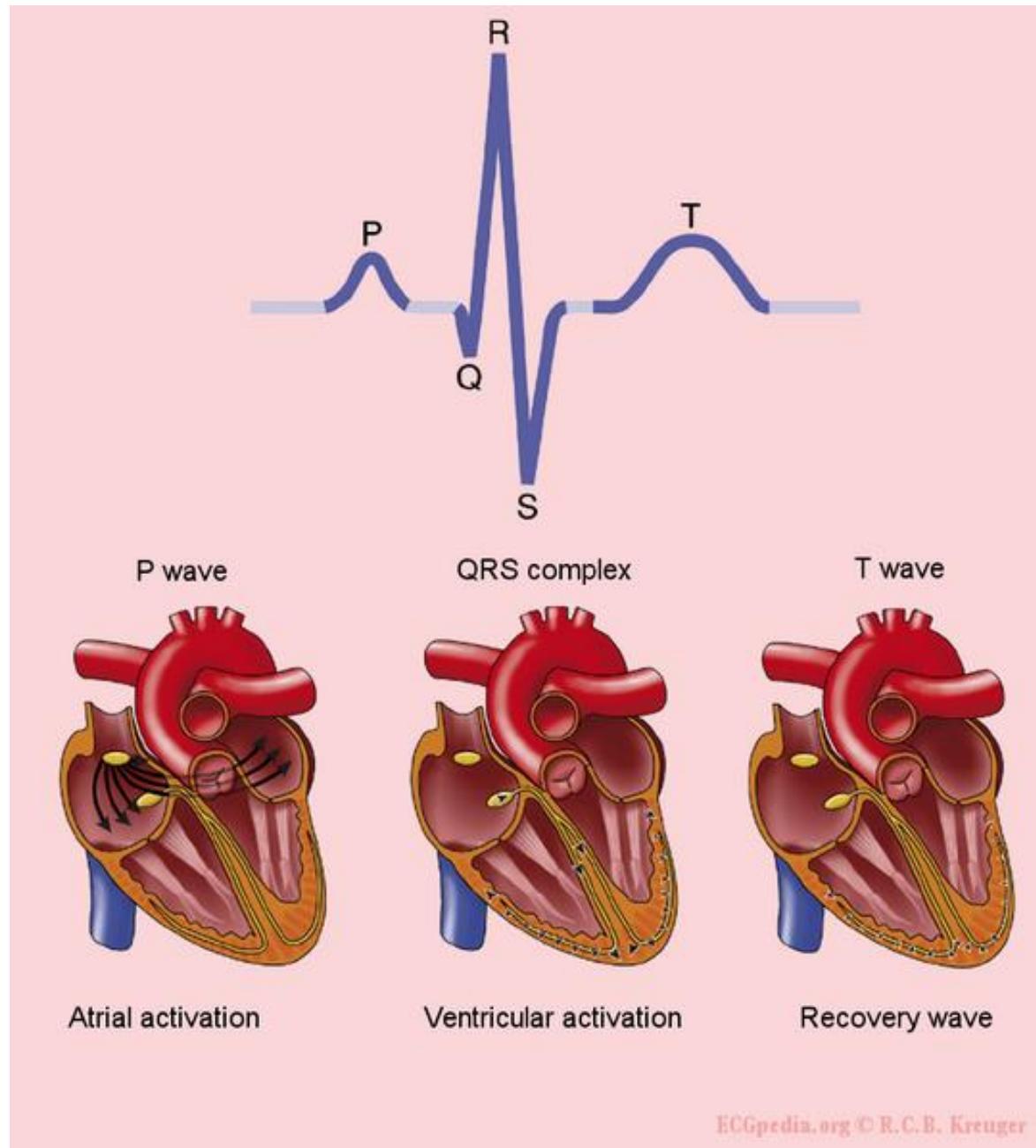


⑥ Ventricular repolarization is complete.

Yellow square: Depolarization

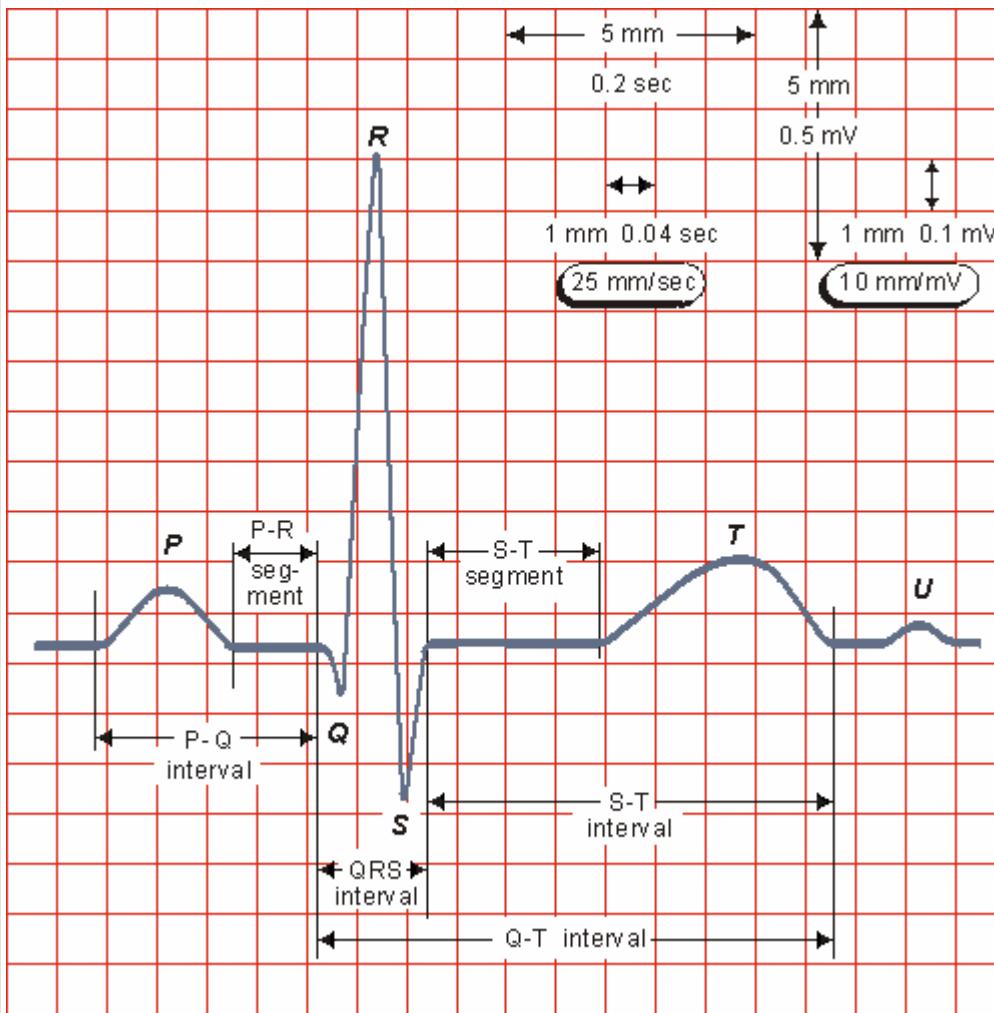
Red square: Repolarization

VZNIK EKG KŘIVKY



ZÁKLADNÍ POPIS FYZIOLOGICKÉ EKG KŘIVKY

- Grafický záznam elektrické aktivity srdeční se nazývá **elektrokardiogram**



1. Rytmus

- pravidelný x nepravidelný
- sinusový x nesinusový

2. Frekvence

(výpočet $60/(0,04 \times |RR|)$, nebo pomocí EKG pravítka)

3. Převodové intervaly

- PQ do 0,2s (5 mm při posuvu 25mm/s)
- QRS do 0,12 (3 mm při posuvu 25mm/s)

4. Směr elektrické osy srdeční (-30° až 105°)

ELEKTROKARDIOGRAF

- Kardiograf je elektrický přístroj, který snímá a zaznamenává elektrickou aktivitu srdce (akční potenciály).
- Tyto elektrické signály lze snímat díky vodivému prostředí těla i na jeho povrchu.
- Snímání napětí se provádí pomocí elektrod umístěných na hrudníku a končetinách zapojených v definovaných schématech snímání.
- Dnešním standardem klinických EKG jsou 12svodové přístroje s devíti elektrodami, které jsou schopné všechny svody zobrazit.
- Dále mohou obsahovat také vstupy pro další měřené veličiny (např. saturace kyslíkem, krevní tlak apod.).
- Součástí EKG také může být jednotka pro analýzu změřeného signálu, popř. může EKG disponovat rozhraním pro připojení takové jednotky.



ELEKTROKARDIOGRAF

- Záznam z EKG je standardizován – jeho rozlišení činí 10mm/mV a časové měřítko se posouvá buď o 25 nebo 50 mm/s.
- Velikosti signálů měřených elektrodami na povrchu těla jsou řádově v jednotkách mV.
- Tento signál je tedy nutné před zpracováním zesílit a odfiltrovat z něj nežádoucí rušení – zejména vysokofrekvenční složky a pak frekvenci síťového napájení 50 Hz.
- Požadavky na zesílení jsou v řádu několika tisíc.
- Přenosové pásmo se pak pohybuje mezi 0,05 a 100 Hz.
- Při monitorování postačí dolní mezní frekvence 0,5 Hz a horní frekvence 30-50 Hz.
- Nedílnou součástí EKG je také zdroj kalibračního napětí k určení přesné hodnoty zesílení. (v současné době automaticky).
- Hodnota kalibračního napětí je standardně 1mV.

PRINCIP SNÍMÁNÍ EKG

- Během šíření AP myokardem vznikají v oblastech rozhraní rozdílného potenciálu místní elektrické proudy.
- Tělesné tekutiny fungují jako dobré vodiče, čímž lze snímat změny srdečních potenciálů i z povrchu těla.
- Pomocí elektrod umístěných na kůži měříme rozdíl napětí jako projev šíření akčního potenciálu myokardem.
- 3 standardní **bipolární končetinové svody (I, II, III)** tvořící tzv. **Einthovenův trojúhelník**, v jehož pomyslném těžišti leží srdce.
- **Principem těchto svodů je zapojení a změření rozdílu potenciálů vždy dvou aktivních elektrod, jejichž polarita je předem dána.**
- Jednotlivé svody poté zaznamenávají rozdíl potenciálu mezi elektrodami a udává výslednou amplitudu.
- Vektorový součet všech tří amplitud těchto končetinových svodů je roven nule (**Einthovenův zákon**).

PRINCIP SNÍMÁNÍ EKG

- V současnosti je měření EKG zdokonaleno přidáním dalších svodů.
- Jedná se o **unipolární svody**, které vznikají spojením aktivní elektrody s **indiferentní elektrodou – Wilsonovou svorkou**, která by díky připojení odporů měla mít trvale nulovou hodnotu.
- Tím zaznamenáváme skutečnou velikost potenciálu.
- Tak získáme další **končetinové (VR, VL, VF)** a **hrudní (V1–V6)** svody.
- Záznam z končetinových unipolárních svodů lze zesílit pokud odpojíme aktivní elektrodu od nulové svorky, poté měříme potenciál mezi odpojenou a dvěma zbylými elektrodami.
- Získáme tak tzv. zesílené (**augmented**) **končetinové semi-unipolární Goldbergerovy svody (aVR, aVL, aVF)**.
- **Nejběžnější EKG záznam je tedy v současnosti 12 svodový.**
 - **3x bipolární končetinové, 3x unipolární, 6x hrudní.**
- Za speciálních okolností je možné použít i další svody.

ELEKTRODY

- Standardní EKG zahrnuje celkem 9 měřících elektrod:
 - 3 končetinové a 6 hrudních.
- Končetinové elektrody jsou obvykle klipsové elektrody umístěné na pravé (RA) a levé paži (LA) a na levé noze (LL).
- Dále se používá také čtvrtá končetinová elektroda na pravé noze (RL), která není měřící, ale zpětnovazebná.
- Hrudní el. jsou obvykle balónkové a jsou označeny jako V1-V6.
- Při dlouhodobém monitorování se používají elektrody nalepovací.
- Všechny zmíněné elektrody jsou na bázi Ag/AgCl

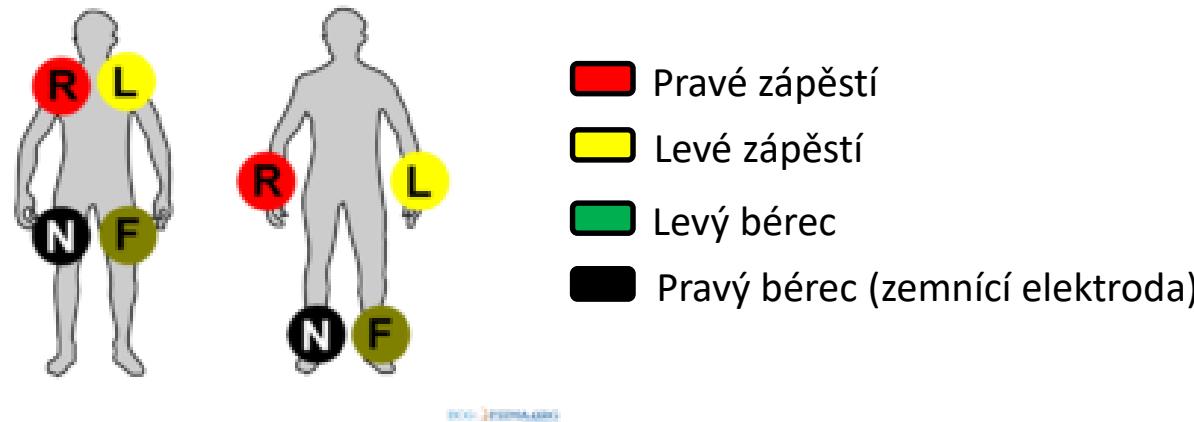


KONČETINOVÉ ELEKTRODY

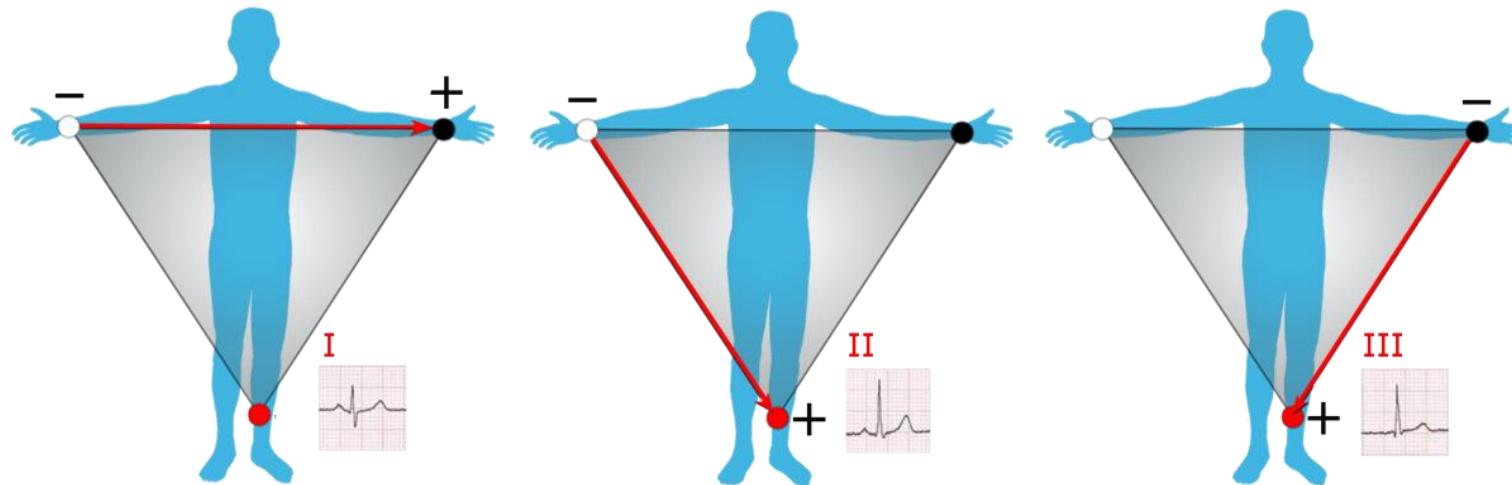
- EKG signál se šíří od myokardu celým tělem, trupem i končetinami.
- Při průchodem končetinami se již prakticky nemění, končetiny působí jako vodiče se zanedbatelným odporem (v porovnání se vstupní impedancí EKG přístroje)
- Končetinové elektrody se běžně umísťují na předloktí poblíž zápěstí, resp. na oblast holeně či lýtka poblíž kotníku.
- V případě problému či nemožnosti (končetina je amputovaná, zraněná, ovázaná apod.) na kterémkoli místě končetiny až po rameno, resp. tříslo.
- Takové umístění nemá praktický vliv na průběh získané EKG křivky.
- Rovněž při dlouhodobých EKG záznamech pomocí přenosného EKG monitoru (Holter) se používají lepící elektrody, připevněné přímo na tělo.
- Kůži pod elektrodou je třeba zvlhčit fyziologickým roztokem, vodou či EKG gelem pro zajištění dobré vodivosti.

BIPOLÁRNÍ SVODY (EINTHOVENŮV TROJÚHELNÍK)

- Končetinové elektrody se běžně umísťují na předloktí poblíž zápěstí, resp. na oblast holeně či lýtka poblíž kotníku.

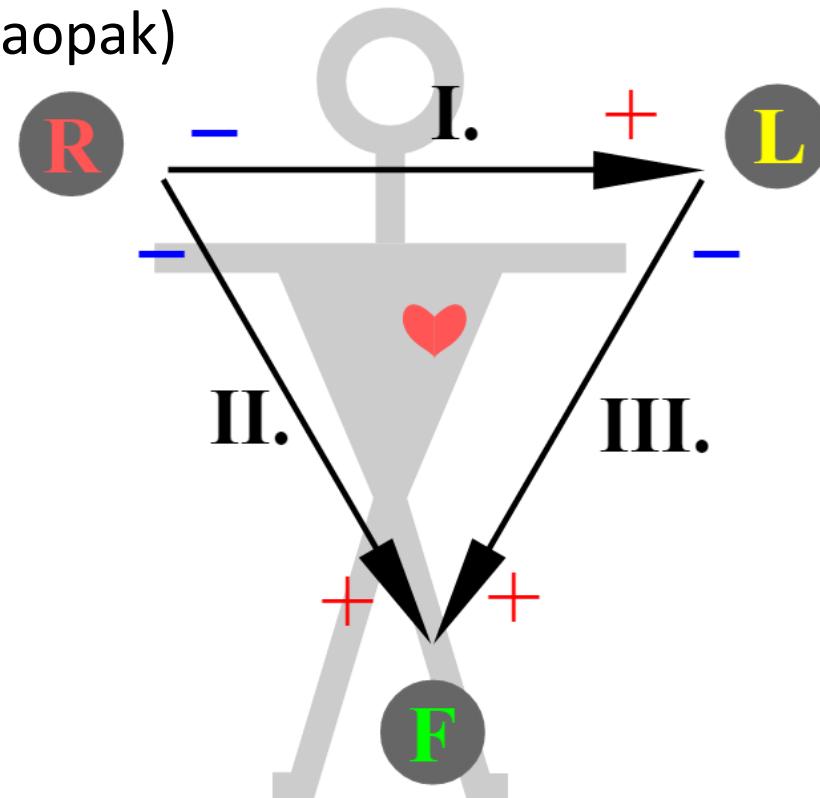


- Končetinové elektrody vytváří pomyslný trojúhelník s vrcholy RLF



BIPOLÁRNÍ SVODY (EINTHOVENŮV TROJÚHELNÍK)

- Na obrázku: směr šipek a znaménka + a - znamenají, že (příklad pro I. svod):
 - při zvyšujícím se potenciálu L (směrem ke kladným hodnotám) jde křivka směrem nahoru (a naopak)
 - při zvyšujícím se potenciálu R (směrem ke kladným hodnotám) jde křivka směrem dolu (a naopak)
- Toto označení může být někdy matoucí (+ na straně šipky a - na opačném konci), protože v elektrotechnice je tomu naopak (šipka u napětí směruje od + k -), ale je to už zažitý zvyk.



BIPOLÁRNÍ SVODY (EINTHOVENŮV TROJÚHELNÍK)

- Einthoven připojoval měřící přístroj mezi různé páry končetinových elektrod a tak obdržel tři různé svody:

$$\text{I.} = \text{L} - \text{R}$$

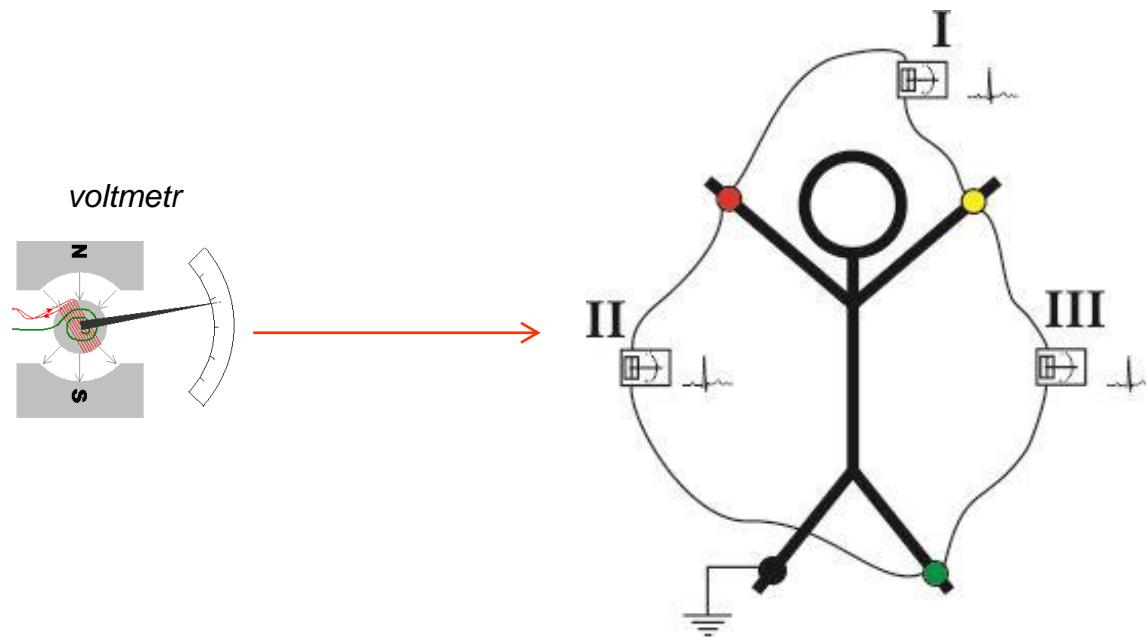
$$\text{II.} = \text{F} - \text{R}$$

$$\text{III.} = \text{F} - \text{L}$$

- Zápis značí, že **I. svod** je dán rozdílem potenciálů mezi elektrodami L a R. Atd. Pozor na pořadí u rozdílu!
- Protože jsou výchylky v Einthovenových svodech dány rozdílem potenciálů dvou elektrod, nazývají se **bipolární svody**.
- Jinými slovy, jedná se o **bipolární zapojení elektrod**.
- Šipky označující svody I. II. III. můžeme chápat jako vektory, které mají určitý směr.
- Tento směr vypovídá o činnosti srdce a jeho stavu

EKG BLÍŽE K REALITĚ

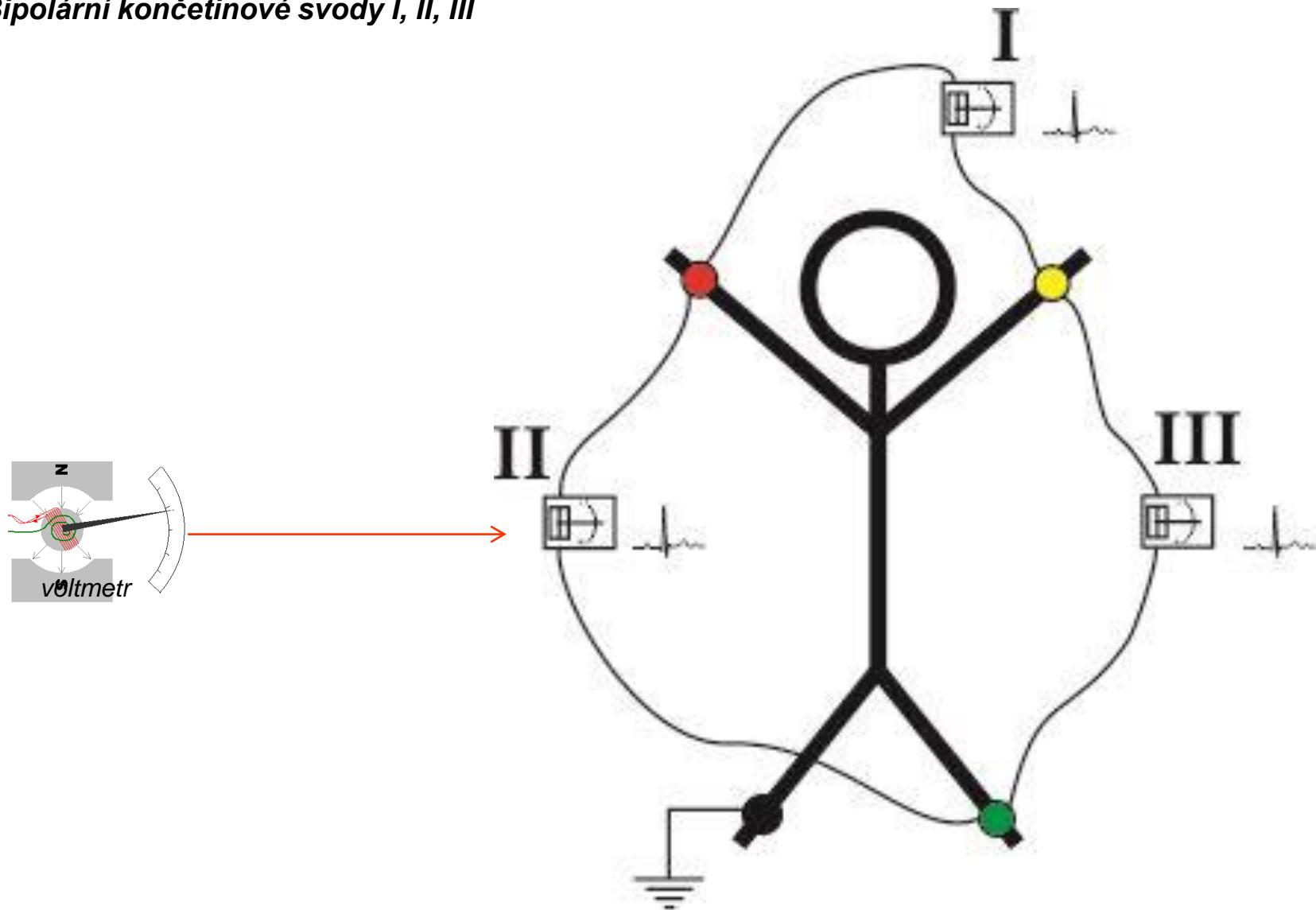
- **Einthovenův trojúhelník:** pouze myšlený obrazec, který nereflektuje reálné elektrické propojení měřících bodů na lidském těle
- **Svod:** není to ekvivalentní název pro měřící vodič, ale je to přesně definovaná kombinace zapojení měřících elektrod
- **EKG:** zkratka pro elektrokardiograf (přístroj) i elektrokardiogram (záznam průběhu elektrických změn na srdci promítaných na povrch těla)



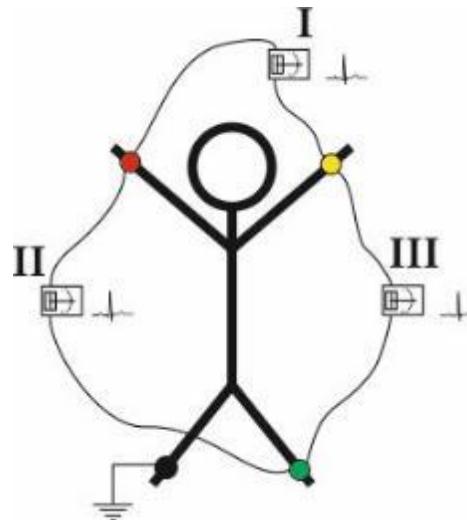
Bipolární končetinové svody I, II, III

EKG BLÍŽE K REALITĚ

Bipolární končetinové svody I, II, III



VÝPOČET – BIPOLÁRNÍ KONČETINOVÉ SVODY

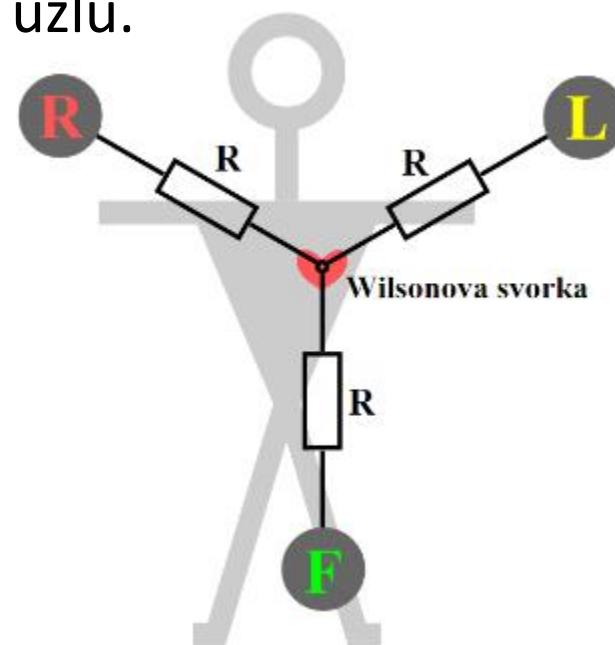


$$\begin{aligned} \text{I.} &= L - R \\ \text{II.} &= F - R \\ \text{III.} &= F - L \end{aligned}$$

Svod	Elektrody		Napětí
I.	L	R	$0,1 \text{ mV}$
	$0,2 \text{ mV}$	$0,1 \text{ mV}$	
II.	F	R	$0,3 \text{ mV}$
	$0,4 \text{ mV}$	$0,1 \text{ mV}$	
III:	F	L	$0,2 \text{ mV}$
	$0,4 \text{ mV}$	$0,2 \text{ mV}$	

UNIPOLÁRNÍ SVODY (WILSONOVY)

- Na rozdíl od bipolárních svodů (Einthoven) sledujeme u unipolárních svodů změny potenciálu na jedné elektrodě, vztažené k referenčnímu bodu.
- U unipolárních svodů je tímto bodem **Wilsonova svorka**, na které je vytvořena průměrná hodnota potenciálu všech končetinových elektrod.
- Wilsonova svorka je spojením všech tří elektrod přes tři stejně velké rezistory do jednoho uzlu.



UNIPOLÁRNÍ SVODY (WILSONOVY)

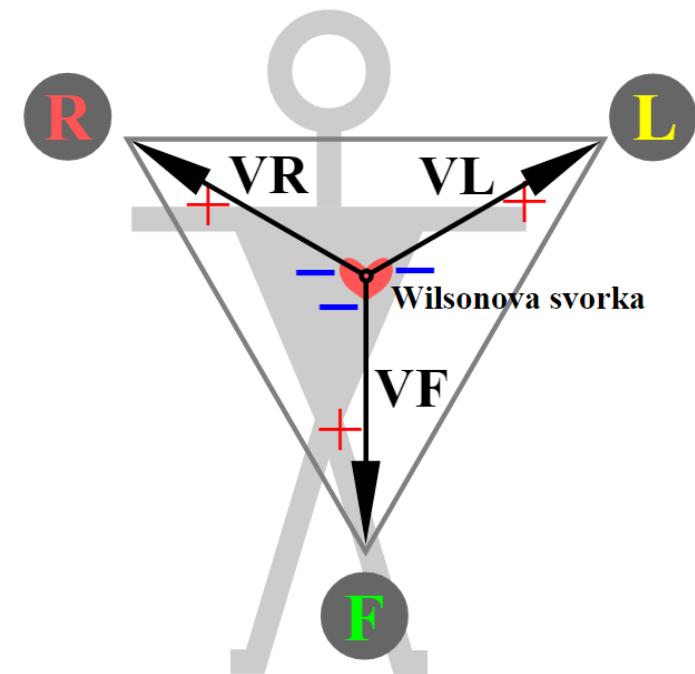
- Označíme-li R, L, F potenciály na končetinových elektrodách a W potenciál Wilsonovy svorky, pak platí: $W = (R+L+F)/3$
- Pro potenciální rozdíl na unipolárních Wilsonových svodech VR, VL, VF potom platí:

$$VR = R - W = (2R-L-F)/3$$

$$VL = L - W = (2L-R-F)/3$$

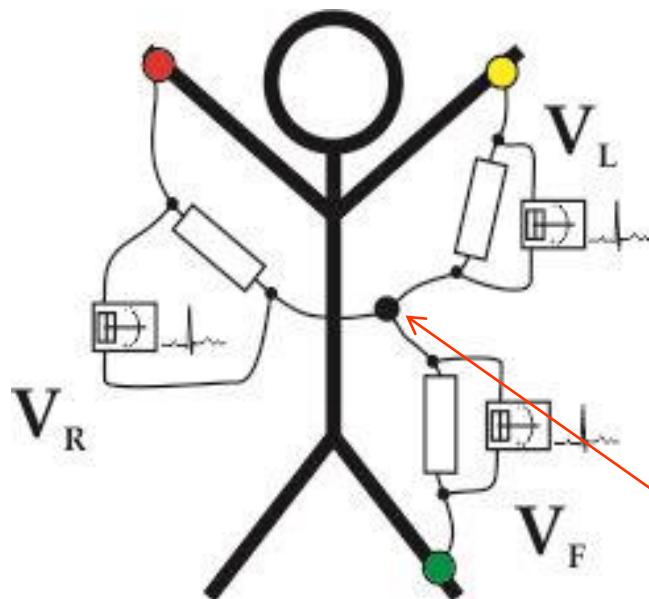
$$VF = F - W = (2F-L-R)/3$$

- V grafickém znázornění jsou Wilsonovy svody reprezentovány třemi vektory, vycházejícími ze středu trojúhelníka do jeho vrcholů (elektrod).
- Wilsonovy a Einthovenovy svody se tak vzájemně doplňují a 6 svodů (3 bipolární a 3 unipolární) vytváří společně systém šesti os.

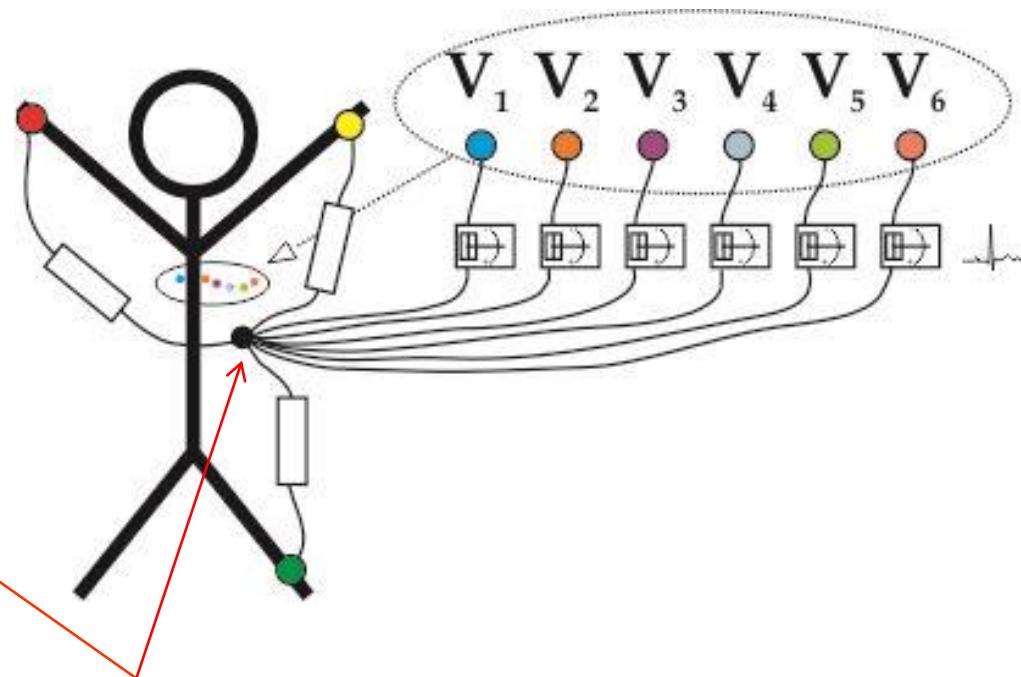


UNIPOLÁRNÍ SVODY (WILSONOVY)

Unipolární končetinové svody V_R , V_L , V_F



Unipolární hrudní svody V_1 , V_2 , V_3 , V_4 , V_5 , V_6



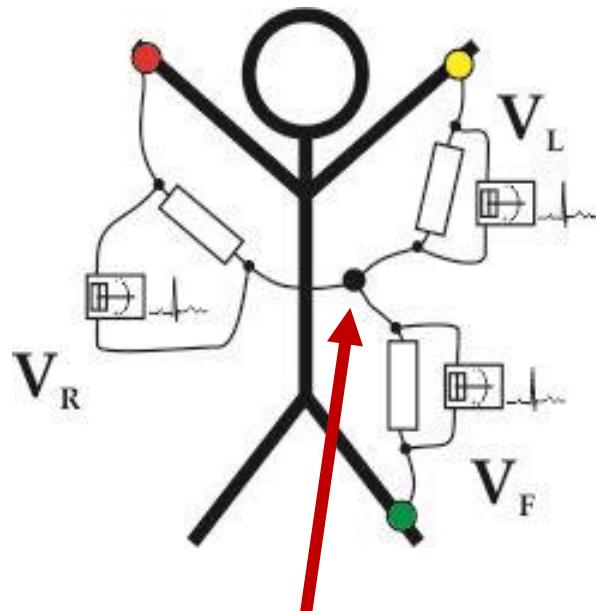
Unipolární končetinové svody V_R , V_L , V_F jsou ve 12ti svodovém elektrokardiogramu nahrazeny zesílenými svody

Wilsonova svorka je elektrický uzel, ve kterém se spojují konce rezistorů 5kohmu a není v kontaktu s tělem pacienta. Reálně se nachází až v elektrokardiografu. Záznam ze svodů V_1 – V_6 je standardní součástí 12ti svodového elektrokardiogramu.

Nevýhodou unipolárních svodů je jejich výrazně nižší úroveň oproti svodům bipolárním – cca 58 procent úrovně bipolárních svodů.

VÝPOČET – CENTRÁLNÍ TERMINÁL A UNIPOLÁRNÍ KONČETINOVÉ SVODY

L	R	F
$0,2 \text{ mV}$	$0,1 \text{ mV}$	$0,4 \text{ mV}$



Centrální terminál
(PRŮMĚR!!)

Svod	Elektrody	Napětí
W	$(R+L+F)/3$ $(0,1+0,2+0,4)/3$	$0,23 \text{ mV}$

$$W = (R+L+F)/3$$

$$VR = R - W = (2R-L-F)/3$$

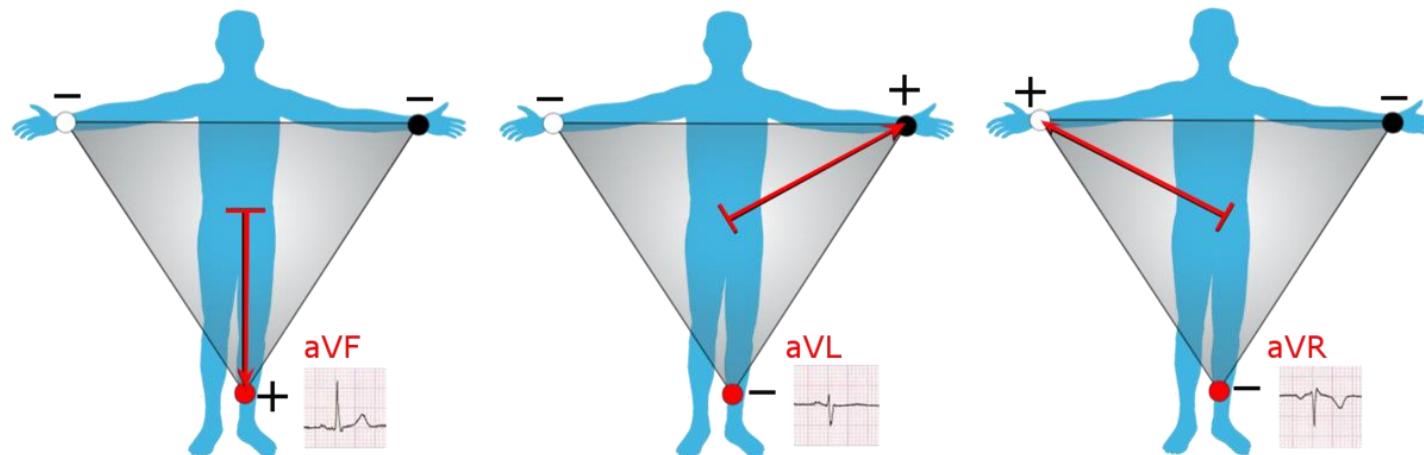
$$VL = L - W = (2L-R-F)/3$$

$$VF = F - W = (2F-L-R)/3$$

Svod	Elektrody	Napětí
VR	$R - W$ $0,1 - 0,23$	$-0,13 \text{ mV}$
VL	$L - W$ $0,2 - 0,23$	$-0,03 \text{ mV}$
VF	$F - W$ $0,4 - 0,23$	$+0,17 \text{ mV}$

ZESÍLENÉ SVODY (GOLDBERGEROVY)

- Wilsonovy svody mají oproti Einthovenovým o dost menší amplitudu (vektory jsou kratší o cca 50%).
- Proto Goldberger v roce 1942 zvýšil voltáž unipolárních svodů tím, že referenční body umístil na protilehlé strany trojúhelníka.
- Tím pádem se délka vektorů prodloužila o $1/2$, tj. na $3/2$ původní délky (cca 87%), a tolikrát se také zvýšilo napětí Goldbergových svodů oproti Wilsonovým.
- **Prodloužení = augmentace**, proto se Goldbergovy svody jmenují augmentované (a na začátku): aVR, aVL, aVF.



ZESÍLENÉ SVODY (GOLDBERGEROVY)

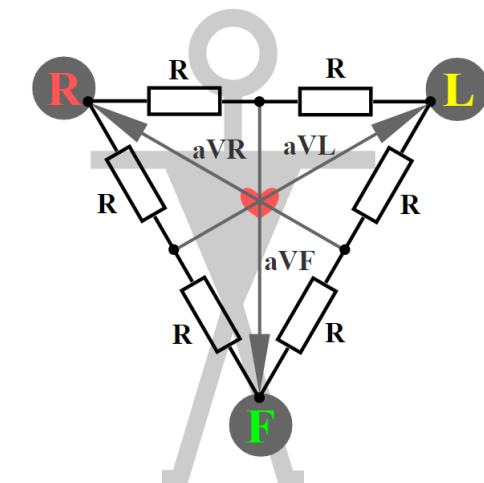
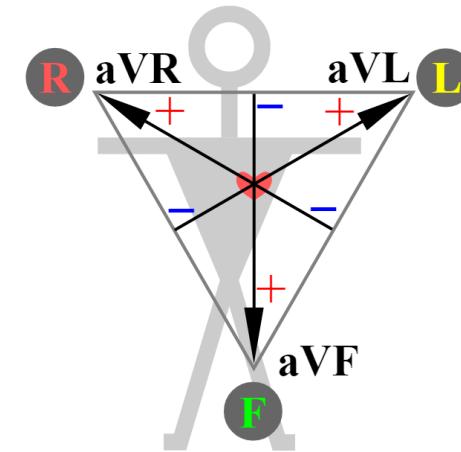
- Potenciál referenčního bodu Goldbergových svodů je průměrem potenciálů dvou zbývajících elektrod. Tudíž platí:

$$aVR = (2R - L - F)/2$$

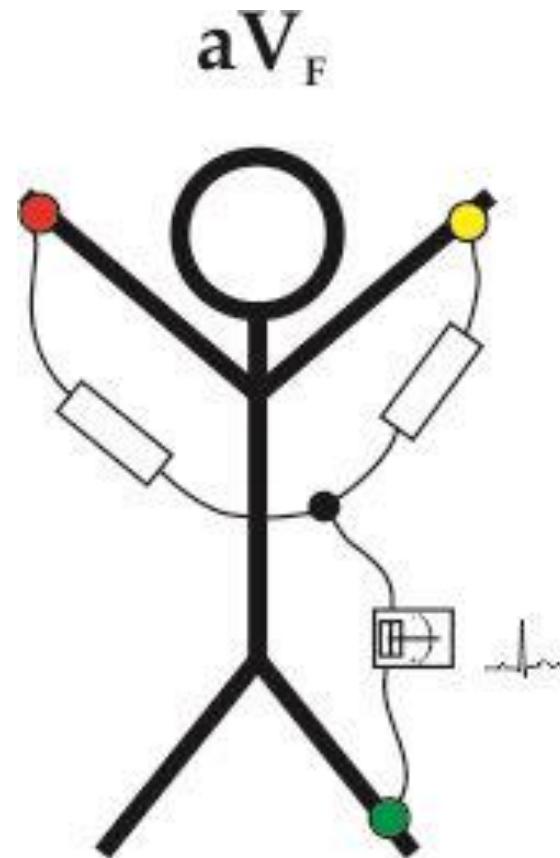
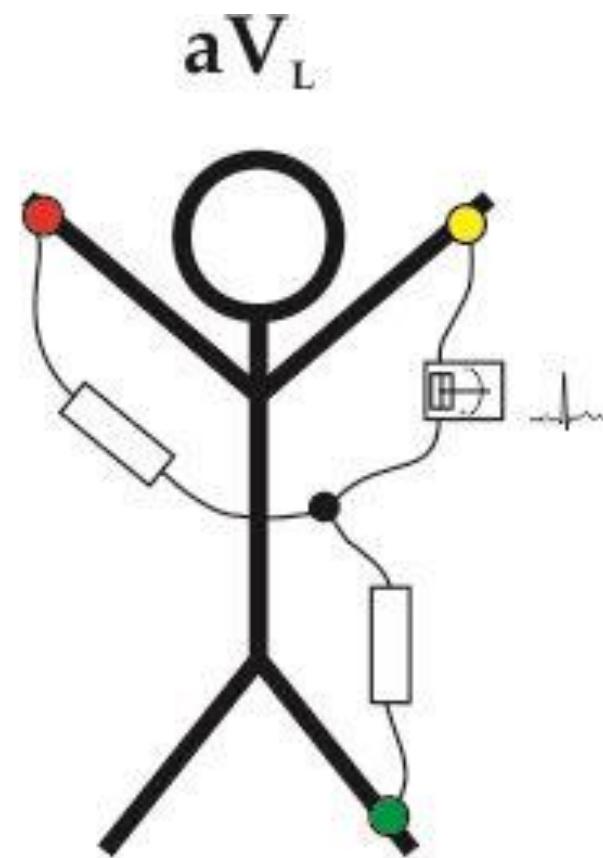
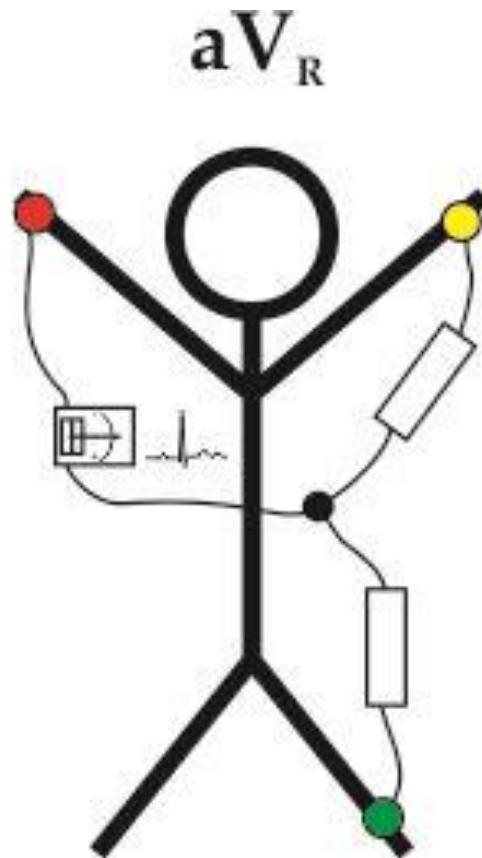
$$aVL = (2L - R - F)/2$$

$$aVF = (2F - R - L)/2$$

- V porovnání se vztahy pro napětí Wilsonových svodů vídíme, že jsou skutečně $3/2$ -krát větší.
- Podobně jako u Wilsonovy svorky je průměrných potenciálů sousedních elektrod dosahováno odporovými děliči, složenými ze stejně velkých rezistorů.
- Potřebujeme 3 děliče, každý má 2 rezistory, celkem 6 stejně velkých rezistorů.

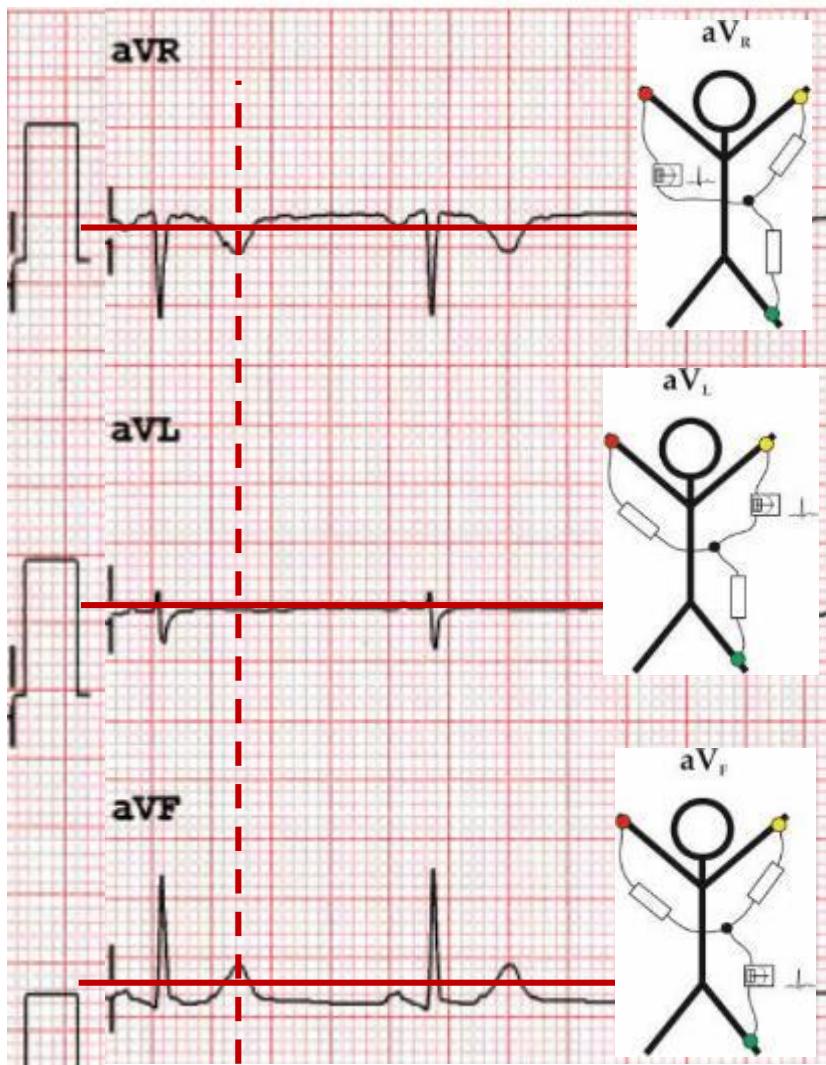


ZESÍLENÉ (GOLDBERGEROVY) SVODY



Zesílené svody poskytují signál zhruba na úrovni 87% oproti svodům bipolárním

VÝPOČET – UNIPOLÁRNÍ ZESÍLENÉ KONČETINOVÉ SVODY



<i>L</i>	<i>R</i>	<i>F</i>
$0,2 \text{ mV}$	$0,1 \text{ mV}$	$0,4 \text{ mV}$

$$aVR = (2R - L - F)/2$$

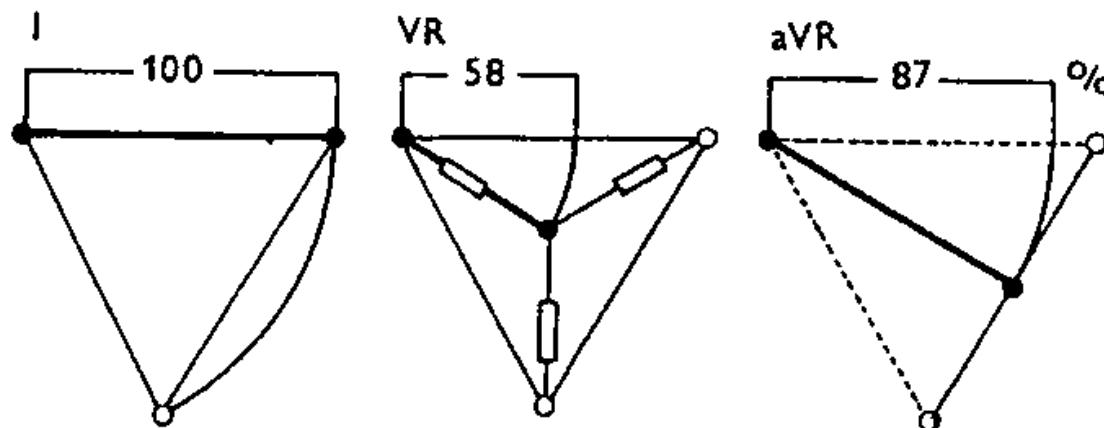
$$aVL = (2L - R - F)/2$$

$$aVF = (2F - R - L)/2$$

Svod	Elektrody	Napětí
aVR	$(2R - L - F)/2$ $(2*0,1 - 0,2 - 0,4)/2$	-0,2 mV
aVL	$(2L - R - F)/2$ $(2*0,2 - 0,1 - 0,4)/2$	-0,05 mV
aVF	$(2F - R - L)/2$ $(2*0,4 - 0,1 - 0,2)/2$	+0,25 mV

Limb: 10 mm/mV

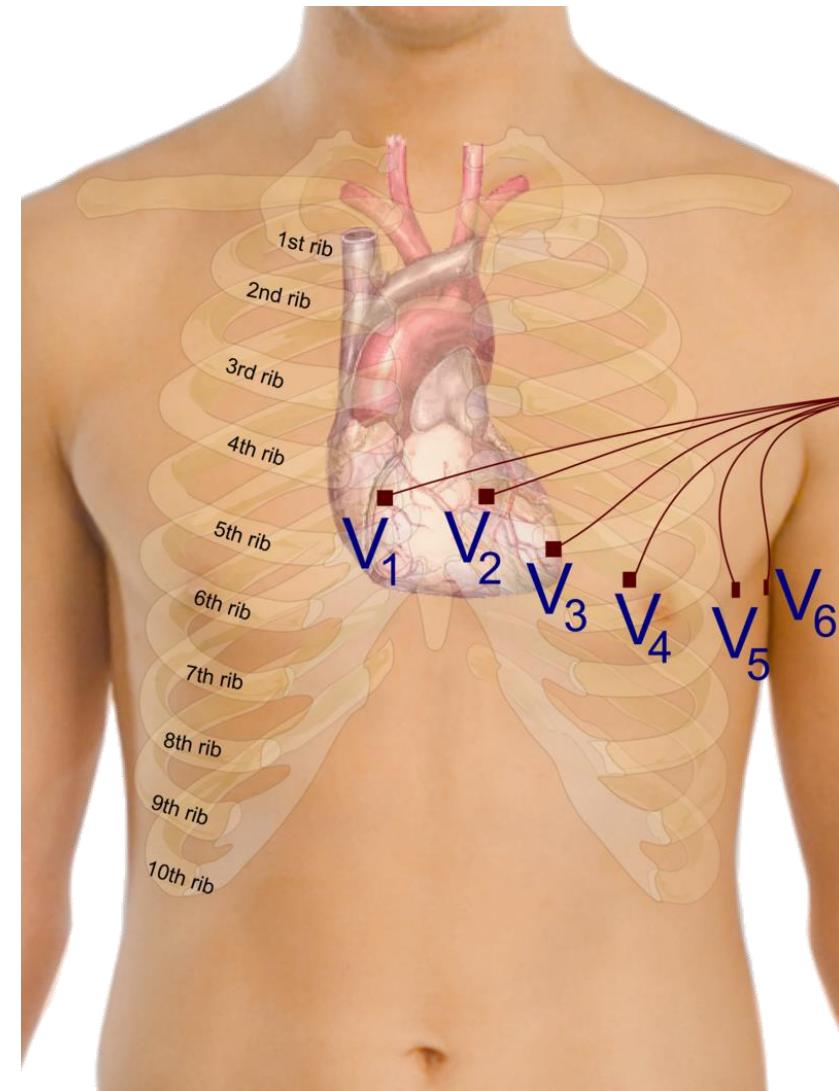
POROVNÁNÍ NAPĚTÍ UNIPOLÁRNÍCH A ZESÍLENÝCH SVODŮ:



Svod	Elektrody	Napětí	Svod	Elektrody	Napětí
VR	R - W 0,1 – 0,23	-0,13 mV	aVR	(2R - L - F)/2 (2*0,1 - 0,2 - 0,4)/2	-0,2 mV
VL	L - W 0,2 – 0,23	-0,03 mV	aVL	(2L - R - F)/2 (2*0,2 - 0,1 - 0,4)/2	-0,05 mV
VF	F - W 0,4 – 0,23	+0,17 mV	aVF	(2F - R - L)/2 (2*0,4 - 0,1 - 0,2)/2	+0,25 mV

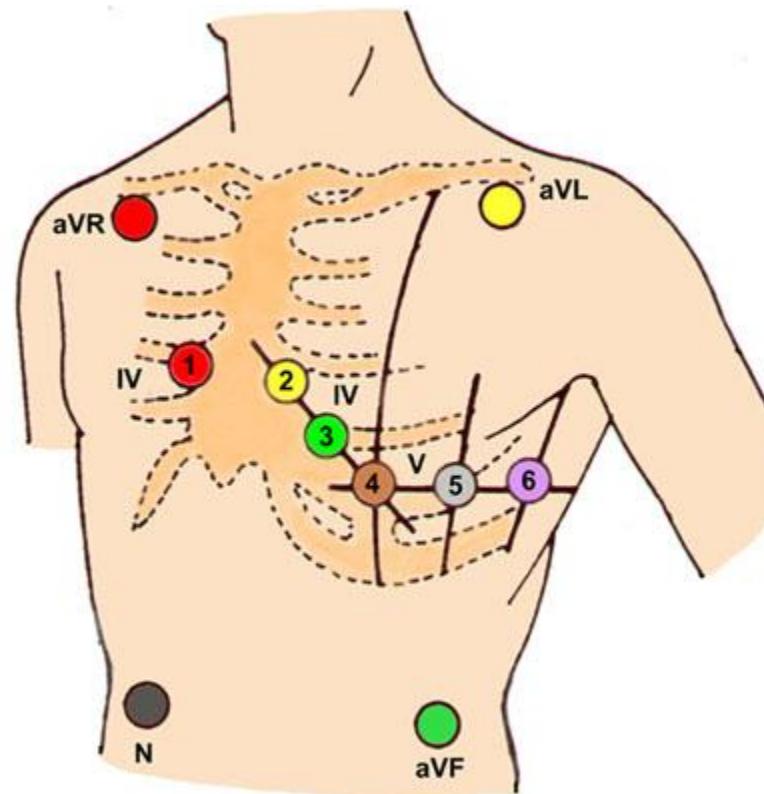
HRUDNÍ SVODY

- Průběhem doby vznikla potřeba vyšetřovat pohyb elektrického srdečního vektoru v prostoru, tj. bylo nutno umístit elektrody v rovině pokud možno kolmé na tuto rovinu
- Projekci v transversální rovině vytváří 6 hrudních svodů.
- Jedná se o unipolární svody, tj. sledujeme potenciál každé elektrody vzhledem ke společné referenci.
- Hrudní svody značíme V₁, V₂, V₃, V₄, V₅, V₆,

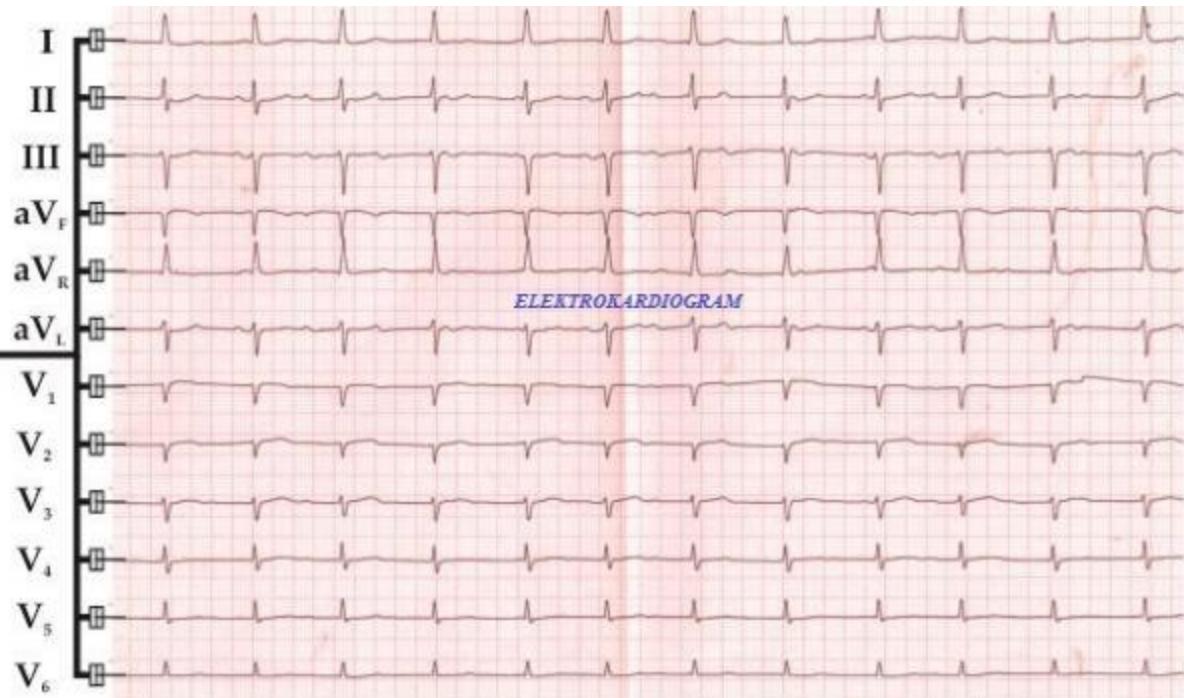
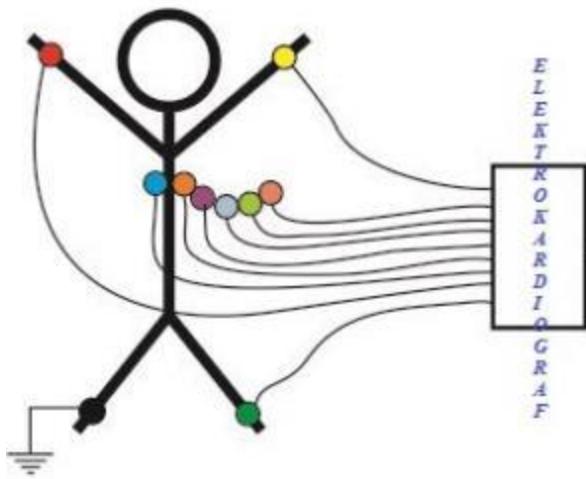


12 SVODOVÉ EKG

- Standardní 12-ti svodové EKG tvoří:
 - 3 bipolární končetinové Einthovenovy svody I., II., III.
 - 3 unipolární končetinové augmentované svody aVR, aVL, aVF
 - 6 unipolárních prekordiálních svodů



REÁLNÉ MĚŘENÍ DVANÁCTI-SVODOVÉHO EKG



K pacientovi vede 10 vodičů, z toho 9 je připojeno k měřícím bodům a desátý vodič je uzemnění.

Pro zájemce: Animace vztahu EKG k mechanické činnosti srdce je na: <http://mefanet.lfp.cuni.cz/clanky.php?aid=12>

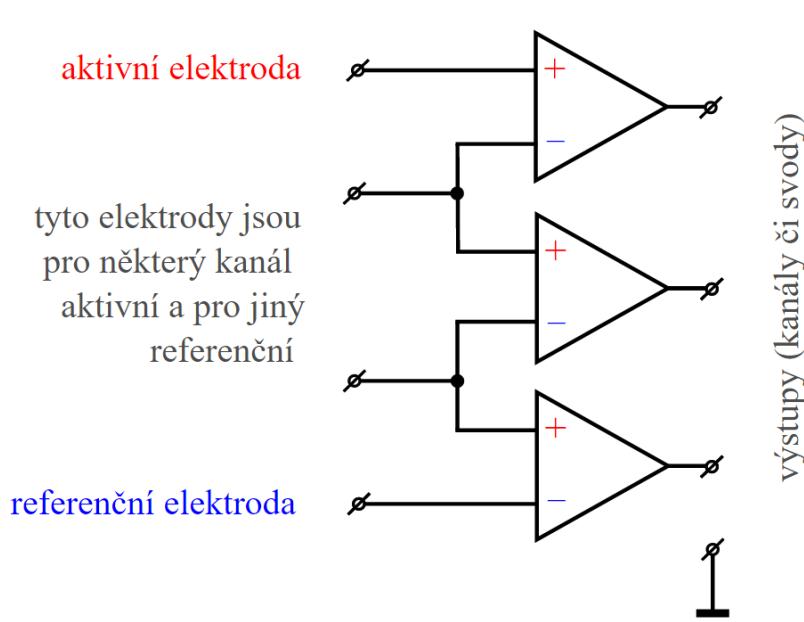
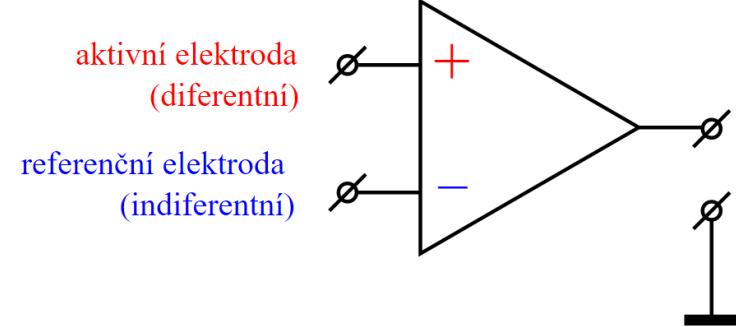
Technické řešení EKG

DIFERENČNÍ ZESILOVAČ

- Na vstupu EKG svodů jsou použity diferenční zesilovače s vysokou vstupní impedancí, která neovlivňuje měření
- Diferenční zesilovač má dva vstupy, přímý (označený symbolem +) a invertovaný (označený symbolem -).
- Na svém výstupu zesiluje diferenci (rozdílové napětí) mezi oběma vstupy:
 - Rostoucí potenciál na přímém vstupu působí vzrůst napětí na výstupu zesilovače
 - Rostoucí potenciál na invertovaném vstupu působí pokles napětí na výstupu zesilovače
- Dva vstupy diferenčního zesilovače se zapojují na stejná místa, jako se dřív zapojovaly strunové galvanometry u prehistorických EKG přístrojů.
- Princip unipolárních a bipolárních svodů zůstává stejný.
- Diferenční zesilovače umožní snížit rušivá napětí (rušivá napětí o stejné polaritě, přiváděná na diferenční vstupy, se vzájemně vyruší)

ELEKTRODY NA VSTUPECH, BIPOLÁRNÍ ZAPOJENÍ

- Elektroda, připojovaná na přímý vstup, se někdy nazývá *aktivní*
- Elektroda, připojovaná na invertovaný vstup, se někdy nazývá *referenční*
- Mezi oběma elektrodami mohou, ale nemusí být kvalitativní rozdíly.
- U bipolárního zapojení bývají vstupy diferenciálních zesilovačů zapojeny na dvě elektrody.
- Jedna a táž elektroda může být zapojena ke vstupům různých zesilovačů
- Často tak vznikají řetězce, kdy zesilovače zesilují rozdíly mezi sousedními elektrodami

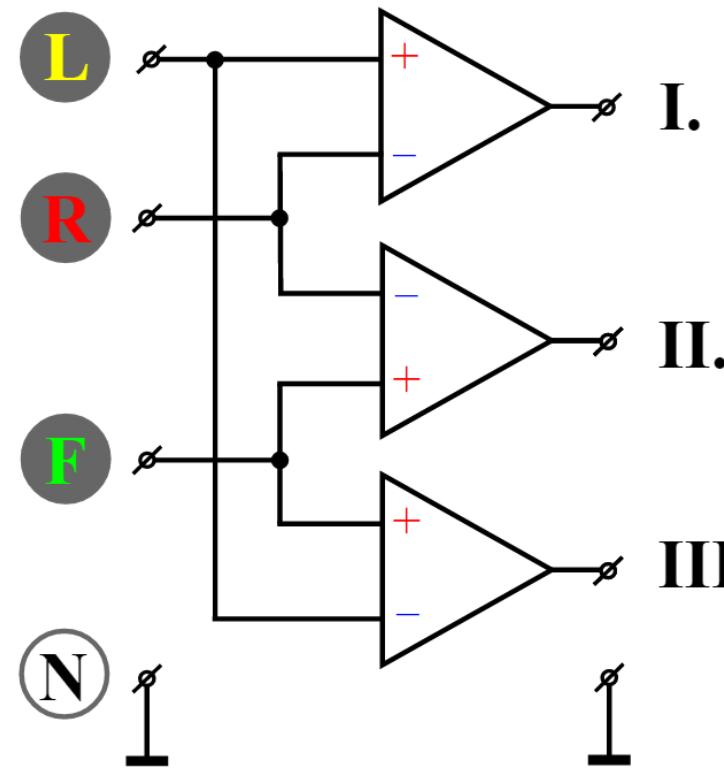


EINTHOVENOVO BIPOLÁRNÍ ZAPOJENÍ

- Einthovenovo zapojení je bipolární zapojení, kdy je konec řetězce spojen se začátkem.
- Diferenční zesilovače jsou tak zapojeny do kruhu (respektive do trojúhelníka).
- Důležité je zapojení přímých a invertovaných vstupů u různých svodů.

elektrody
jsou pro
některý
kanál
aktivní
a pro jiný
referenční

zemnící
elektroda



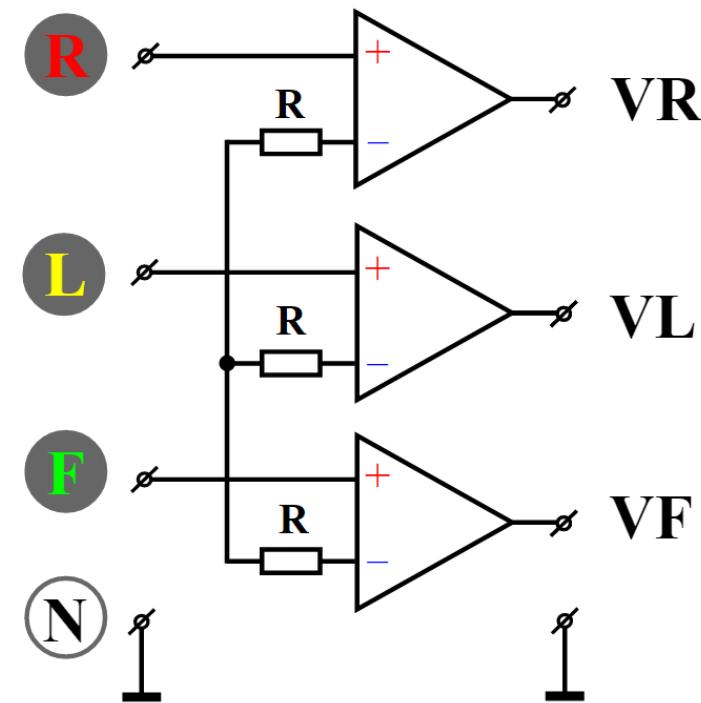
výstupy (Einthovenovy `svody)

UNIPOLÁRNÍ ZAPOJENÍ

- Přímé vstupy jsou zapojeny každý na jednu aktivní elektrodu.
- Invertované (referenční) vstupy jsou připojeny na společnou referenční elektrodu.
- Společná referenční elektroda bývá nahrazena umlou referencí, vytvořenou spojením aktivních elektrod přes stejně velké odpory do jednoho bodu (Wilsonova svorka)
- Wilsonovo zapojení lze realizovat pomocí tří zesilovačů (jako na obrázku)
- Unipolární zapojení šesti prekordiálních elektrod lze realizovat podobným způsobem pomocí šesti diferenciálních zesilovačů.

elektrody
jsou pro
všechny
svody
aktivní

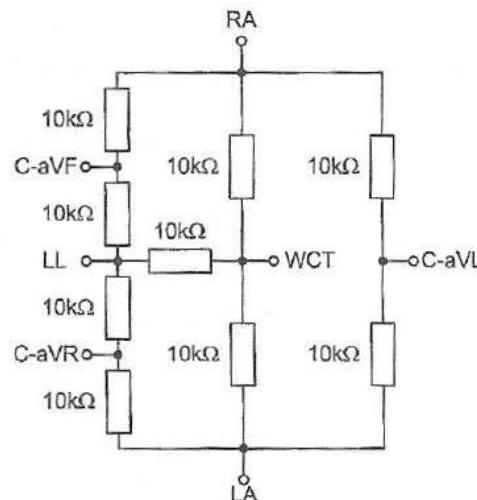
zemnící
elektroda



výstupy (unipolární svody)

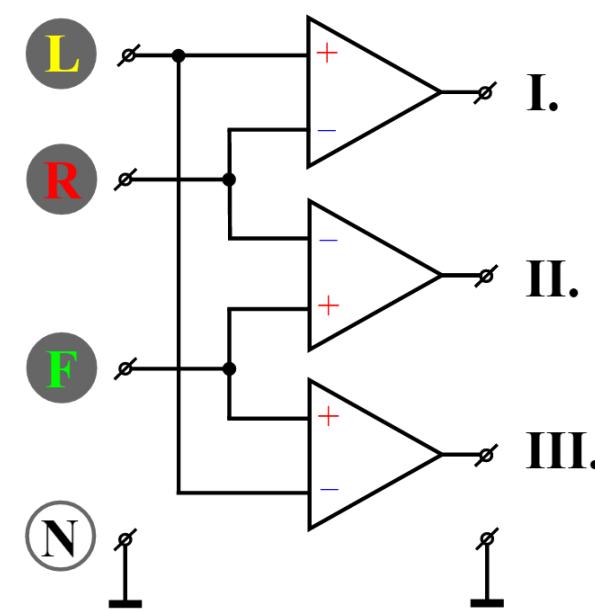
VSTUPNĚ-VÝSTUPNÍ OBVODY

- Ze signálů jednotlivých elektrod je nejprve odfiltrována vysokofrekvenční složka.
- Tako upravený signál je přiveden na sledovač napětí se zesílením 1, který slouží k impedančnímu oddělení.
- Vzniklé signály jsou pak přivedeny na diferenciální zesilovače (zpravidla zapojení přístrojového zesilovače) a jejich výstup je následně přiveden na A/D převodník.
- Svody, které neměříme přímo, jsou vytvářeny Wilsonovou sítí.



elektrody
jsou pro
některý
kanál
aktivní
a pro jiný
referenční

zemnící
elektroda



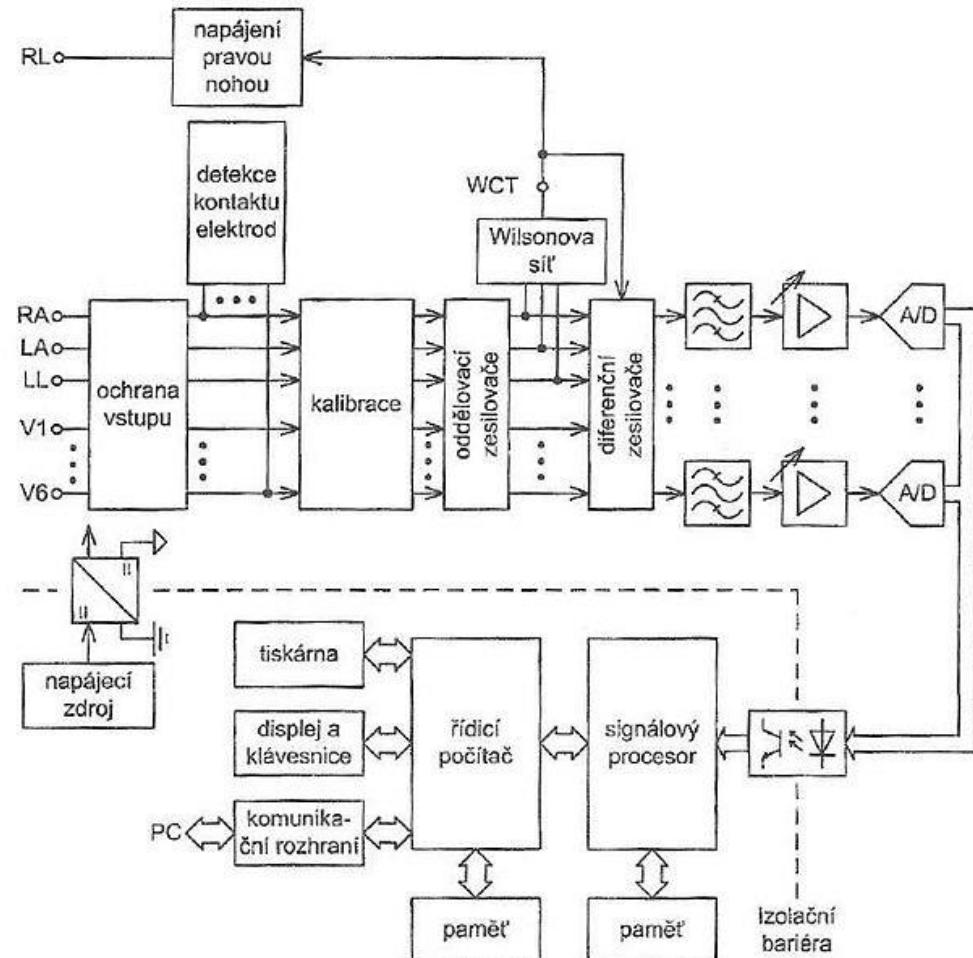
výstupy (Einthovenovy svody)

VSTUPNĚ-VÝSTUPNÍ OBVODY

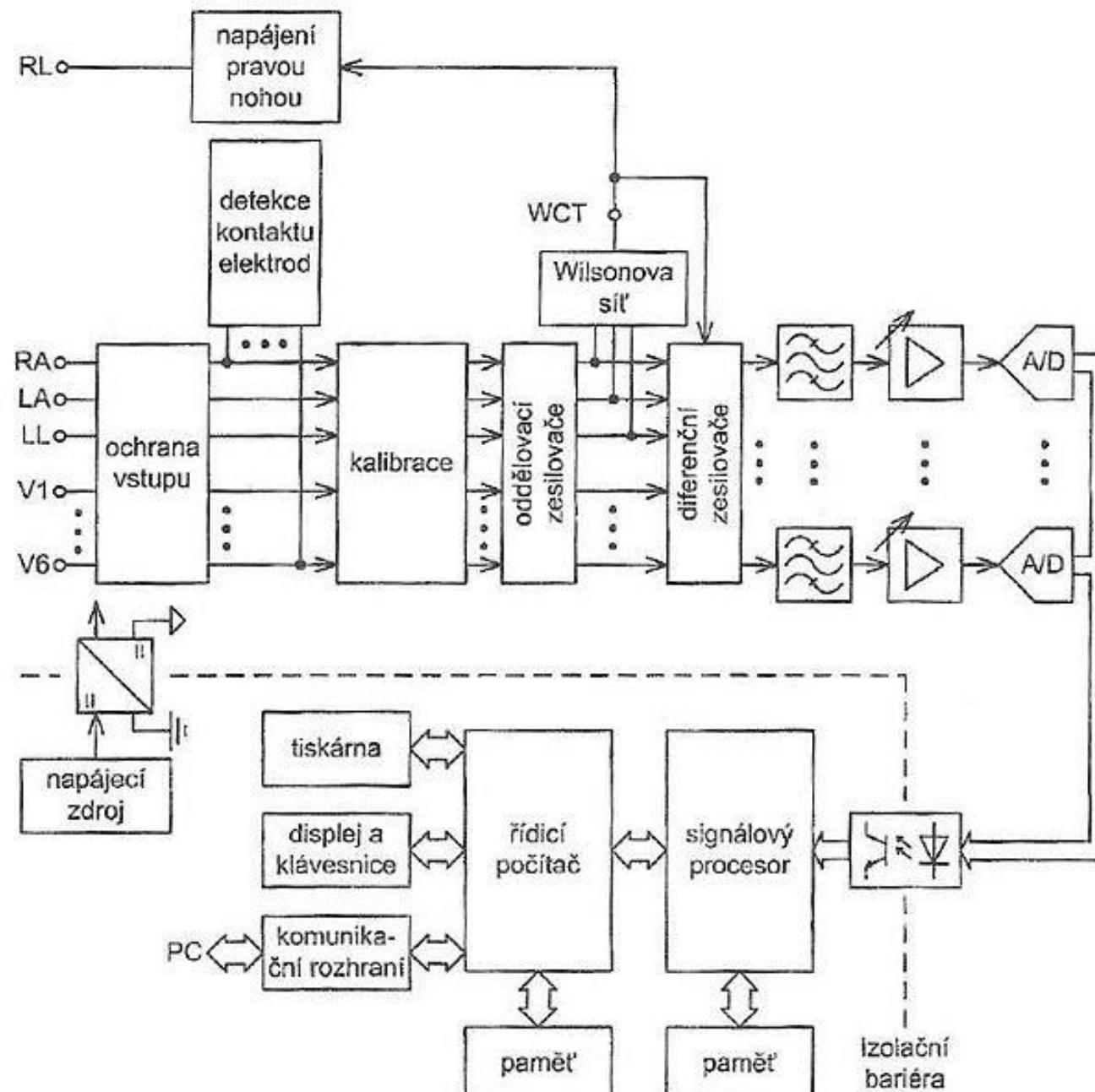
- Do této sítě vstupují signály již impedančně přizpůsobené (je před nimi OZ s jednotkovým zesílením), neboť odpory použité v síti jsou mnohem menší než vnitřní odpor zdroje signálu.
- Jedná se o centrální Wilsonovu svorku (WCT) a Goldbergovy svody.
- Kromě tří končetinových elektrod se v současné době používá také čtvrtá (RL), která slouží k potlačení souhlasného signálu o velikosti napětí Wilsonovy centrální svorky s opačnou polaritou a je tedy zápornou zpětnou vazbou.
- V současných EKG má každý kanál (svod) vlastní A/D převodník.
- Při číslicovém zpracování je možné tento počet snížit, čímž zaplatíme horším časovým rozlišením.

BLOKOVÉ SCHÉMA PŘÍSTROJE

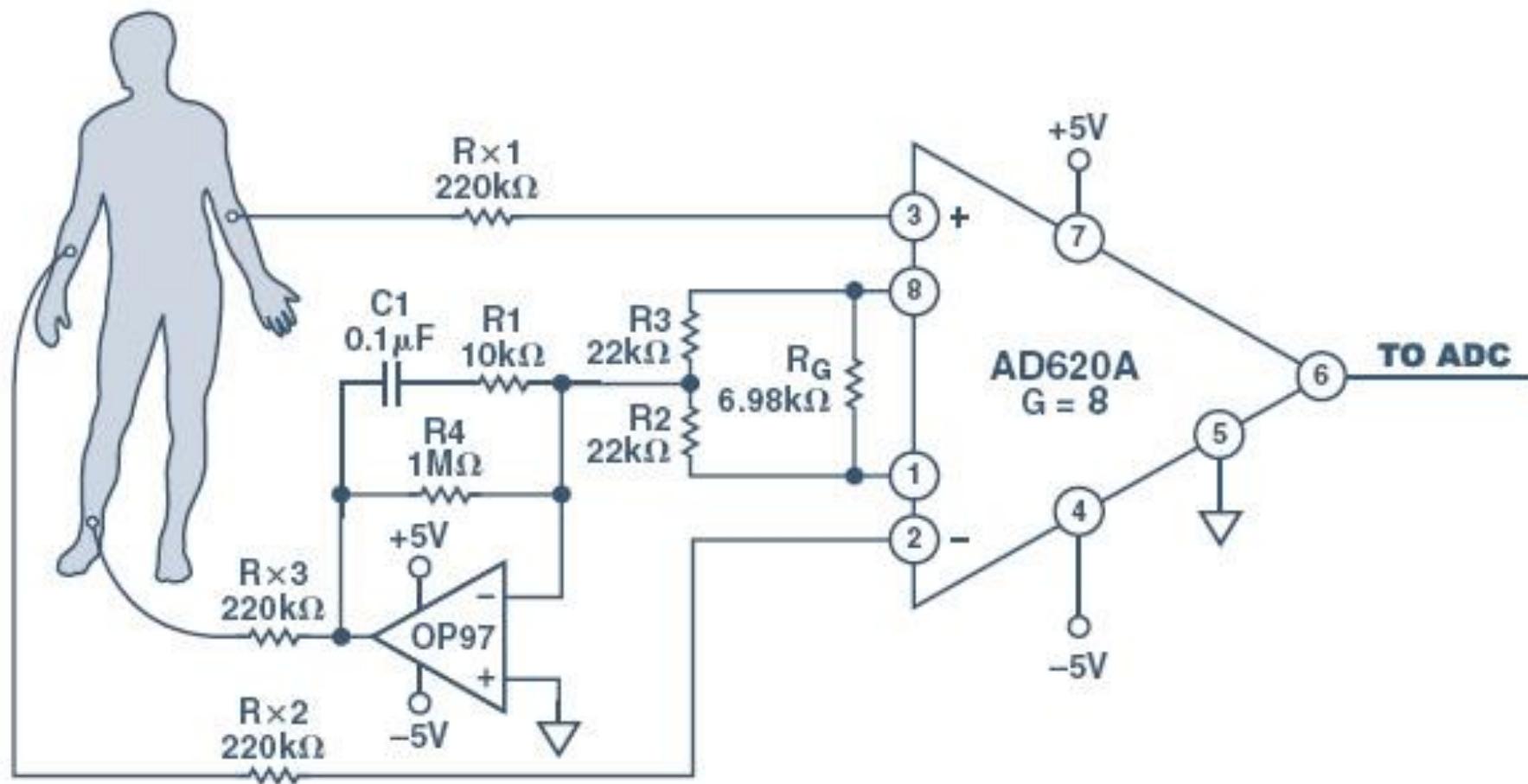
- Příkladem zapojení číslicového EKG může být obrázek blokového schématu.
- Prvním článkem v řetězci je přepěťová ochrana následovaná obvodem pro detekci špatného kontaktu elektrody (vyschlý gel, odpadlá elektroda..), obvod pro kalibraci, který využívá kalibrační napětí.
- Kalibrační signál by měl být pro všechny elektrody stejný.
- Za diferenciálními zesilovači následuje pásmová propust, která omezuje stejnosměrnou složku a slouží také jako antialiasingový filtr pro následovný A/D převodník.
- Standardní rozlišení převodníků bývá 12-16 bitů.
- Před vstupem do zpracovávajícího procesoru je ještě digitální signál galvanicky oddělen pomocí optočlenů k oddělení analogové a digitální části přístroje



BLOKOVÉ SCHEMA PŘÍSTROJE



PŘÍKLAD KONSTRUKCE PŘÍSTROJE



EKG vyšetření

KDY A PROČ SE VYŠETŘUJE EKG?

- EKG je základním vyšetřením při podezření na onemocnění srdce. Používá se při diagnostice ischemických změn srdečního svalu, to jest změn z nedostatku kyslíku, jejichž nejvážnějším projevem je smrt srdečních buněk z nedostatku kyslíku – infarkt myokardu.
- Dále se pomocí EKG diagnostikují arytmie – poruchy srdečního rytmu. Na EKG se může projevit např. i zvětšení srdce při jeho selhávání nebo plicní embolie.
- EKG se běžně provádí v rámci předoperačního vyšetření před plánovaným výkonem v celkové anestézii nebo v rámci celkového interního vyšetření.

Co dělat před EKG

- Před vyšetřením není potřeba dodržovat žádný speciální režim.
- Jen je vhodné být v klidu a pokud jste právě vyběhl(a) schody, trochu se vydýchat, aby srdce pracovalo ve svém běžném, klidovém režimu.

PROCES VYŠETŘENÍ EKG

- Pacient, který podstupuje EKG vyšetření, si musí odložit do půl těla, popř. sundat i ponožky či punčochy – musí být přístupný pacientův hrudník, kotníky a zápěstí.
- Poté se položí na lehátko.
- Sestřička nebo lékař, který vyšetření provádí, nanese na pacientovu kůži trochu vodivého gelu, který zlepší přenos elektrických signálů na elektrody, a poté připevní vlastní elektrody pomocí gumových přísavek.
- Existují i elektrody ve formě samolepek na jedno použití, které jsou již gelem napuštěny.
- Celkem je elektrod deset – 6 na hrudníku a po jedné na každé končetině.

PROCES VYŠETŘENÍ EKG

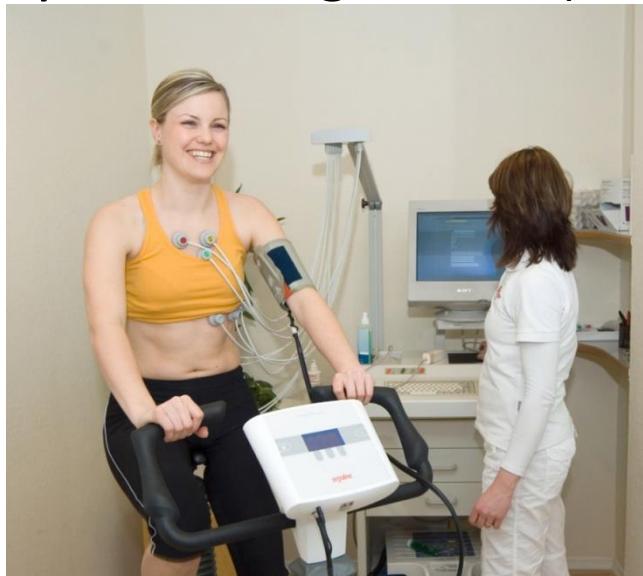
- Když jsou všechny elektrody rozmístěny, zapne se elektrokardiograf a během několika málo sekund z přístroje vyjede papír se záznamem a vyšetření je hotové.
- Během snímání se ovšem pacient nesmí hýbat – všechny svaly mají při práci elektrickou aktivitu a velké pohyby by tedy mohly zakrýt tu srdeční.
- Samotné vyšetření není nijak nepříjemné, nanejvýš aplikace gelu může trochu zastudit.

AMBULANTNÍ MONITOROVÁNÍ EKG DLE HOLTERA

- Při tomto vyšetření má na sobě vyšetřovaná osoba připevněn přístroj 24, popř. 48 hodin.
- Elektrody jsou na hrudníku a přístroj se upevní kolem pasu, pacient s ním může jít normálně do práce a provozovat jakoukoli jinou běžnou činnost.
- Toto vyšetření je důležité zvláště pro diagnostiku **poruch srdečního rytmu**, které se vyskytují občasně, pro potvrzení či vyloučení souvislosti některých potíží s onemocněním srdce.
- Může se jednat např. o pocity bušení srdce či bolesti na hrudi, které se vyskytují nepravidelně.
- Pacient si během vyšetření vede deník a v případě nástupu obtíží zaznamená čas.
- Lékař potom může zkontrolovat EKG v tomto čase.

ERGOMETRIE (ZÁTĚŽOVÉ EKG)

- Cílem ergometrického vyšetření je diagnostika onemocnění věnčitých tepen (ICHS) na základě EKG změn a typických klinických obtíží vznikajících při fyzické zátěži.
- Snížení výkonnosti srdečního svalu vede k abnormální srdeční frekvenci, poruchám srdečního rytmu, EKG známkám nedostatečného prokrvení srdečního svalu.
- Při vyšetření se hodnotí srdeční odpověď při zvýšených náročích na dodávku kyslíku.
- Provádí se na bicyklovém ergometru (nebo zátěž na běhátku, rumpálu,...).



ERGOMETRIE - ZÁTĚŽOVÉ EKG

- Při vyšetření se zvyšuje postupně zátěž , což vede ke zvýšení srdeční námahy.
- Během vyšetření se průběžně monitoruje EKG, srdeční frekvence a krevní tlak.
- Vyšetření se provádí jako pomocná metoda v diagnostice příčiny bolestí na hrudi, jejichž příčinou může být omezení průtoku krve v tepnách zásobujících svalovinu srdce (tzv. ischémie myokardu).
- Ta může být vyvolaná přítomností významných zúžení věnčitých tepen.

Indikace k vyšetření:

- Diagnostika tzv. ischemické choroby srdeční (ICHS)
- Zjištění účinnosti předepsaných léků.
- Diagnostika nepravidelnosti srdečního rytmu, které se mohou objevit při zátěži.
- Návrh rehabilitace pro pacienty po infarktu myokardu, pro pacienty léčící se s chronickým srdečním selháváním.

ERGOMETRIE – POSTUP VYŠETŘENÍ

- Několik dní před vyšetřením je obvykle třeba vysadit určité léky, jmenovitě tzv. betablokátory.
- **Betablokátor** - Látka snižující příznaky hypertenze, některých srdečních onemocnění, migrén hlavy a dalších onemocnění souvisejících se sympatickým nervovým systémem.
- Zátěžový test se provádí v kardiologické vyšetřovně.
- Během vyšetření je přítomen lékař.
- Před začátkem vlastního vyšetření se pacientovi na hrudník připevní a zajistí elektrody.
- Před vyšetřením se natočí klidový elektrokardiogram.
- Vyšetření je zahájeno tak, že pacient začne zvolna šlapat na vyšetřovacím kole.
- Po několika minutách se v periodických intervalech začne se zvyšováním zátěže (odpor, vůči kterému pacient šlape).
- Se zvyšující se intenzitou zátěže se současně začínají zvyšovat nároky srdce na kyslík.
- Během vyšetření se v pravidelných intervalech měří krevní tlak (měřící manžeta je umístěna na paži), kontinuálně se monitoruje EKG křivka.
- Pacient je vybídnut, aby hlásil jakékoli příznaky, které se mohou v průběhu vyšetření objevit (bolest na hrudi, dušnost, točení hlavy, pocit na omdlení...).
- V případě bolesti na hrudi, dušnosti, celkového vyčerpání... se vyšetření ukončí.
- Délka vyšetření je obvykle přibližně 15 min.
- Po skončení testu lékař vyhodnotí průběh vyšetření.

ERGOMETRIE – VÝSLEDKY VYŠETŘENÍ

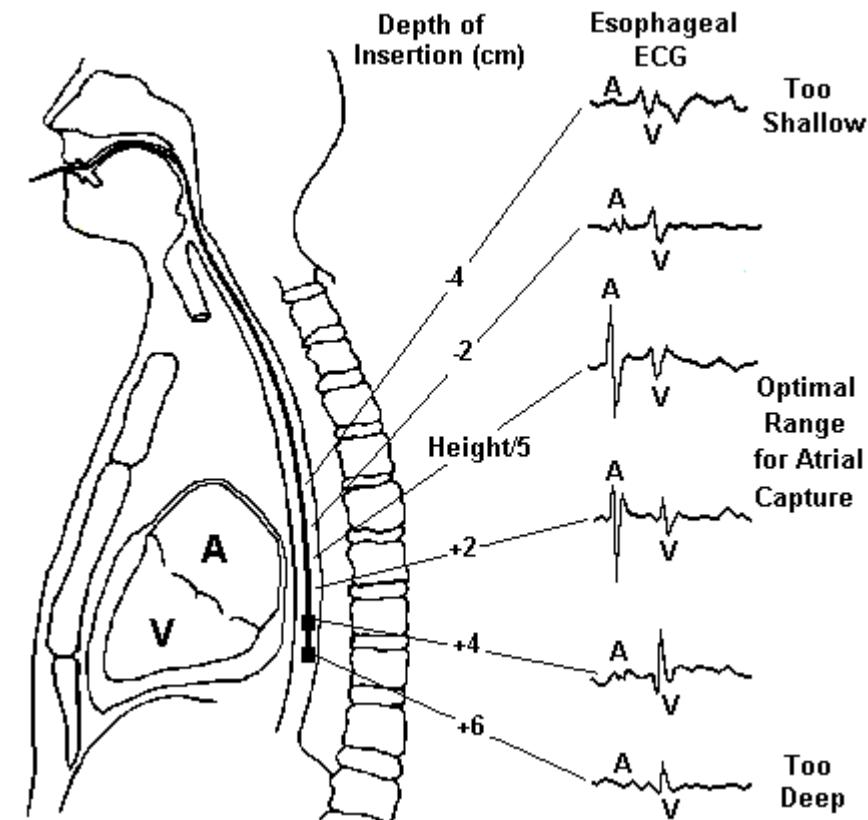
- Zátěžový test umožňuje vyhodnotit funkci srdce při reakci na tělesnou zátěž, kdy dochází ke stoupajícím nárokům na kyslík.
- Zátěžový test může vést k záchytu EKG známek nedostatečného prokrvení srdečního svalu, abnormalit srdečního rytmu vznikajících jen při fyzické námaze.
- V případě pozitivity testu – výskyt typických bolestí na hrudi (svírává bolest na hrudi vyvolaná zátěží a ustupující po přerušení zátěže či po podání nitroglycerinu) nebo vznik specifických změn na EKG křivce - je vysoká pravděpodobnost přítomnosti ischemické choroby srdeční a lékař Vám může doporučit provedení jiného zátěžového vyšetření, event. angiografického vyšetření srdce.
- Při rozhodování o dalším diagnostickém a léčebném postupu se bere v úvahu přítomnost rizikových faktorů, věk, pohlaví, charakter bolesti, rodinná, osobní anamnéza.

ERGOMETRIE – RIZIKA A KOMPLIKACE VYŠETŘENÍ

- Mezi nejzávažnější srdeční komplikace patří vznik akutního infarktu myokardu (0,05%) nebo maligní arytmie, které jsou okamžitě rozpoznány a náležitě ošetřeny.
- Riziko je vyšší u nemocných s prokázanou ischemickou chorobou srdeční, zvláště v časné fázi infarktu myokardu.
- Riziko náhlé smrti je cca 0,01%
- Další komplikace nesrdeční – svalové či kloubní postižení, neurologické příznaky, závratě, slabost, přetrhávající únava apod.

JÍCNOVÉ EKG

- Jedná se o méně rozšířené vyšetření, při kterém musí být pacient na lačno.
- Elektroda se mu zavede do jícnu ústy nebo nosem.
- Elektroda se takto dostane velmi blízko levé síně a získá se kvalitnější křivka, než při klasickém záznamu EKG.
- Využívá se při sporném záznamu z klasického EKG, anebo i jako léčebná metoda, při které se při poruchách srdečního rytmu nastolí pomocí elektrické stimulace síně rytmus fyziologický, tedy zdravý.



Konec