

## Biologické signály BSG

### 1. přednáška

### Úvod do biosignálů

#### Signály

- funkce jedné nebo více nezávisle proměnných, které nesou informaci o podstatě a vlastnostech svého zdroje (nebo informaci záměrně do signálu zakódovanou)
- **biosignály** = zdrojem informace je živý organismus

#### Biosignály

##### – využití:

- pochopení základních fyziologických mechanismů
- hodnocení specifické biologické události (diagnostika, monitorování)
- nepřímo v terapii (okysličení, měření tlaku, EKG ...)

##### – dělení

###### – elektrické

- původ v dějích, které probíhají na membránách dráždivých buněk
- vzruchy ve formě akčního potenciálu, který se šíří a přenáší informaci
- z hlediska zpracování důležité frekvenční pásmo, napětí, amplituda

název	zdroj	elektrody	rozsahy
elektrokardiogram EKG	srdeční potenciály	povrchové	do 5 mV do 150 Hz
elektroencefalogram EEG	mozkové potenciály	povrchové	do 100 µV do 80 Hz
elektromyogram EMG	svalové potenciály	povrchové jehly	do 5mV do 10 kHz
elektrookulogram EOG	změny potenciálů vyvolané pohybem oka	povrchové	do 1 mV do 100 Hz
elektroretinogram ERG	potenciály sítnice	povrchové	do 100 µV do 50 Hz
elektrogastrogram EGG	potenciály hladké svaloviny žaludku	povrchové	do 100 µV do 2 Hz

###### – magnetické

- obsahuje i magnetickou složku, nesmírně slabé a málo rozšířené
- rušivé pole Země, elektrická rozvodná síť a spotřebiče převyšují biomagnetické signály

název	amplituda magnetické indukce [pT]	kmitočtové pásmo [Hz]
magnetokardiogram MKG	50–70	0,05 – 150
magnetoencefalogram MEG	1–2	0,5 – 100
magnetomyogram MMG	10–90	0–10000
magnetoretinogram MRG	0,1	0,1 – 50
magnetookulogram MOG	10	0–100

###### – ostatní

- sledování neelektrických veličin pomocí snímačů zajišťujících převod veličin na elektrický signál, velké množství signálů
- **mechanické** => pohyb hrudníku, proud vzduchu
- **akustické** => fonokardiogram (srdeční ozvy), zvuky kloubů, svalů, řeč
- **optické, teplotní**
- **chemické** => nejstarší techniky používané v biochemii, pH, glukóza, koncentrace látek v tkáni
- **impedanční** => na vhodném místě indukuje střídavý proud a jinde snímáme napětí, spíše experimentální využití

název	zdroj	rozsah	snímání
pletysmogram	změny objemu částí těla vlivem srdeční činnosti, dýchání	do 30 Hz	nad či kolem zkoumané části těla
karotidiogram	vypuzení krve při systole	do 100 Hz	převodník na krku
pneumotachogram	objem a průtoková rychlosť vdechovaného a vydechovaného vzduchu do/z plic	do 20 Hz	obvykle v náústku
reflex Achilovy šlachy	pohyb chodidla vyvolaný poklepem na Achillovu šlachu	do 100 Hz	výchylkové nebo rychlostní šlachy
mechanogram	změna úhlu při pohybové aktivitě	do 20 Hz	snímače různých typů na kosterním svalu
pedogram	časové, fázové a úhlové charakteristiky dolních končetin při chůzi	do 400 Hz	kapacitní, nášlapné snímače, reflexní značky snímané kamerou
termogram	povrch těla	stupně C	bodové teplotní mapy
fonokardiogram	srdeční chlopňě, respirace	akustické pásmo	mikrofon
řeč, hlas	řečové ústrojí	akustické pásmo	mikrofon
vibroartrogram	pohyb kloubu postiženého zánětem, měknutím chrupavky	do 80 Hz	akcelerometr nad vyšetřovaným kloubem, mikrofon

- **dělení podle původu**
  - mozek
    - EEG, MEG
    - evokované potenciály (akustické, zrakové)
    - neurovizualizace (MRI/fMRI, CT, PET, SPECT)
  - nervy a mícha
    - elektroneurogram (spike trains)
    - SEP
  - kosterní svalstvo
    - EMG
    - stabilograf (PN)
    - akcelerometrie (chůze)
  - srdce (kardiovaskulární systém)
    - EKG, FKG, FPG
    - Heart Rate Variability
    - krevní tlak
  - zrak
    - EEG, EOG, ERG
    - VEP (visual evoked potentials)
  - sluch
    - AEP
    - audiometrie
    - otoakustická emise
  - dýchací soustava
    - spirometrie (flow-volume)
    - chemické signály (krevní plyny)
    - pletysmografie
  - trávicí soustava
    - chemické metody
    - MRI, CT, EGG
    - ultrazvuk
- **dělení podle počtu proměnných**
  - jednorozměrné (nejčastěji vyjadřují časovou závislost sledované veličiny)
  - dvourozměrné
  - vícerozměrné

- **podle počtu kanál**
  - jednokanálové
  - vícekanálové
    - téhož typu (EKG, EEG)
    - různého typu (spánková polygrafie, foniatriký záznam, kardiotokogram = srdeční rytmus plodu, mechanické stahy dělohy)
  - **Polygrafické metody**
    - polykardiografie
    - pletysmogram
    - II. Eithovenův svod
    - fonokardiogram
  - polysomnografie
  - EEG, EOG, EMG + další signály (EMG, EKG, průtok vzduchu, pohyby při dýchání, poloha těla, saturace krve...)

### **Signály lidského organismu**

- **dělení**
  - **spontánní** = bez rozhodujícího vnějšího vlivu
    - **opakující se** (repetiční, kvaziperiodický) - EKG, respirační signály
    - **nepravidelné** - EEG, EMG
  - **odezva na specifické buzení**
    - elektrické odezvy nervové soustavy na podněty
    - křivka usilovného výdechu
    - odezva Achillovy šlachy
- **spojitost signálů**
  - většina spojitá (EKG, EEG...)
  - snímané signály jsou diskretizovány
    - pravidelně (EKG)
    - nepravidelně (teplota)
- **deterministické**
  - periodické => jednoznačně popsáno sinusovkou
  - kvaziperiodické => téměř periodické (EKG)
  - odezvy => vlna se opakuje pouze jednou (akční potenciály)
- **stochastické**
  - stacionární => statistické vlastnosti se nemění v čase (EEG alfa vlny)
  - nestacionární => statistické vlastnosti se mění v čase (EEG, EMG)

### **Zpracování biosignálů**

- nalezení klinicky významných informací skrytých v biosignálu
- **charakteristiky biosignálů**
  - **časová oblast**
    - lokální a globální maxima, minima signálu
    - perioda, frekvence
    - doba trvání signálu
    - amplituda (špička-špička)
  - **frekvenční oblast**
    - spektrum
    - výkonová spektrální hustota
    - definice základní frekvence pomocí Fourierovy transformace
    - Nyquistova frekvence
- **filtrace (potlačení artefaktů)**
  - artefakty = biologické (pohyb vnitřních orgánů apod.) a z přístrojů
  - **číslicové filtry v časové oblasti** => offset, MA filtry, mediánová filtrace, detrending
  - **číslicové filtry ve frekvenční oblasti** => Butterworth/Čebyšev, Notch/hřebenové filtry
  - **adaptivní filtrace** => Wiener, Kalman
- **detekce událostí**
  - odhad obálky
  - vymezení vln
  - detekce špiček
  - vzájemná korelace
  - autokorelace
- **kompresce** => převzorkování



## 2. přednáška

## Geneze bioelektrických signálů

### Elektrické vlastnosti živých organismů

- organismus jako celek
- orgán
  - srdce, mozek
- tkáň
  - nervová, svalová
- systém
  - kardiovaskulární, nervový, trávící
- buňka
  - neuron, buňky srdečního svalu
- buněčná membrána

### Iontové kanály

- velmi heterogenní = různé typy kanálů, různé části NS zodpovídající za specifické typy signalizace
- **základní vlastnosti**
  - vedou ionty napříč membránou, selektivní pro specifické ionty
  - otevírají se a zavírají v odpovědi na určité elektrické, mechanické a chemické signály
- typ a množství momentálně otevřených iontových kanálů určuje **vodivost** membrány

### Klidový membránový potenciál

- dán nerovností koncentrace iontů vně a uvnitř buňky
- možnost změny potenciálu a membránových napětí => přenos informace
- membránový potenciál = napětí na membráně v jakýkoliv daný moment
  - definovaný jako  $U_m = U_{in} - U_{out}$
- v klidu naměříme -60 až -70 mV = **klidový membránový potenciál (KMP)**
- KMP je neustále aktivně udržován, pokud neuron negeneruje pulsy
- změny elektrického potenciálu na membráně jsou podstatou přenosu a zpracování informací v nervové buňce
- **vnitřek buňky je záporně** nabitý oproti extracelulárnímu prostoru
- ionty nesou náboj a tím vzniká napěťový rozdíl mezi extracelulárním a intracelulárním prostředím
- **konzentrace iontů uvnitř a vně buňky**

iont	vně buňky	uvnitř buňky	KMP
Na <sup>+</sup>	150	15	62 mV
K <sup>+</sup>	5,5	150	-90 mV
Ca <sup>2+</sup>	2,4	50	
Mg <sup>2+</sup>	1,2	4	
Cl <sup>-</sup>	125	9	-71 mV
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	28	10	
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	1	2	
fosfáty	4	75	
pH	7,4	7	

### Nernstova rovnice

- určuje stav **ekvilibria** = vyrovnaný se elektrický potenciál a chemický koncentrační gradient působící napříč membránou = Nernstův potenciál
  - lze vypočítat ze znalosti koncentrace iontu uvnitř a vně buňky pro každý iont pomocí Nernstovy rovnice

$$E_x = \frac{RT}{nF} \ln \frac{[X^+]_{out}}{[X^+]_{in}}$$

R...plynová konstanta  
T...teplota (K)  
n...valence iontu  
F...Faradayova konstanta

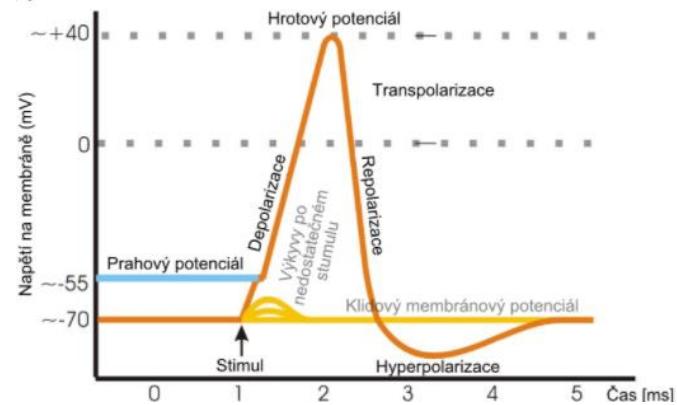
$$V_x = \frac{RT}{F} \ln \frac{[X]_{out}}{[X]_{in}}$$

- pokud počítáme pro záporně nabitý iont, zlomek v logaritmu opačně

- součet příspěvků Nernstových potenciálů jednotlivých iontů při dané teplotě udává KMP
- lze přepsat do tvaru:  $V_x = \frac{61.5}{n} \log \frac{[X^+]_{out}}{[X^+]_{in}} [mV]$
- **Goldmannova rovnice**
  - $V_m = \frac{RT}{F} \ln \frac{P_K[K^+]_{out} + P_{Na}[Na^+]_{out} + P_{Cl}[Cl^-]_{in}}{P_K[K^+]_{in} + P_{Na}[Na^+]_{in} + P_{Cl}[Cl^-]_{out}} + \dots = -73 \text{ mV}$

### Akční potenciál

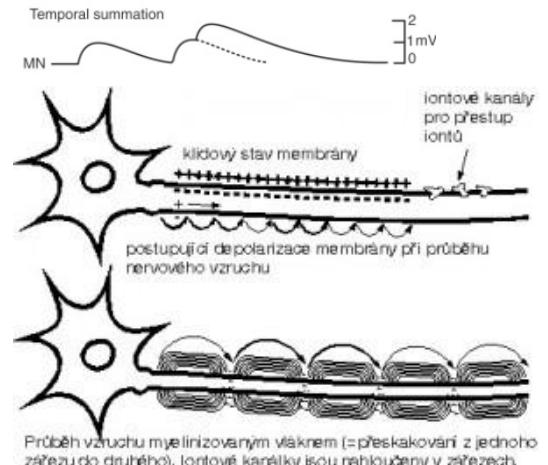
- výstupní informace z neuronu
- napětím řízený sodný kanál
  - 2 hradla – aktivační, které se otevře při prahovém napětí a inaktivací
  - průběh = aktivace => inaktivace => deaktivace (znovu připraveno otevřít)
- nelze hned aktivovat další akční potenciál => musíme počkat na deaktivaci sodných kanálů
  - **refrakterní perioda** = nereaguje na další podněty
  - **absolutní refrakterní fáze** (u špičky), **relativní refrakterní fáze** (buňka reaguje, ale neplně (oslabený přenos))
- **intenzita bolesti** = frekvence akčních potenciálů (max 300 Hz)
- **šíření AP**
  - axonem, otevření sodných kanálů => kladný náboj do buňky
  - pomocí synapsí = synaptická štěrbina, chemické látky, neurotransmitery
  - **rychlosť šíření** => zvětšení průměru axonu zvyšuje rychlosť + myelin
- **prostorová sumace** = možná aktivace více synapsí (sečte se napětí)
 



### Myelinizované nervová vlákna

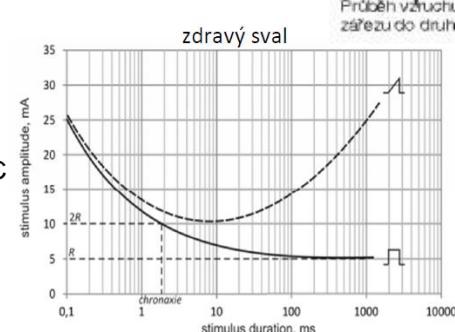
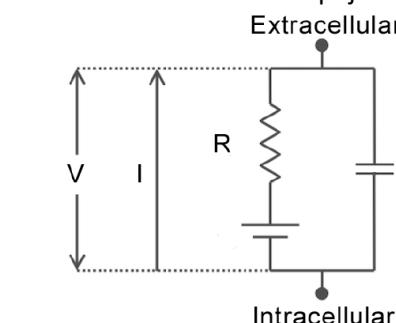
- myelin snižuje kapacitanci membrány => neztrácí tolik proudu, zvyšuje konstantu délky
- až 20x rychleji než na klasických neuronech
- přerušované Ranvierovy zářezy (skokové šíření AP)
- modelování pomocí RC článku
- **roztroušená skleróza**
  - zhoršení vedení AP kvůli porušení myelinu

**časová sumace** = přijde víc AP za sebou (sečte se napětí)



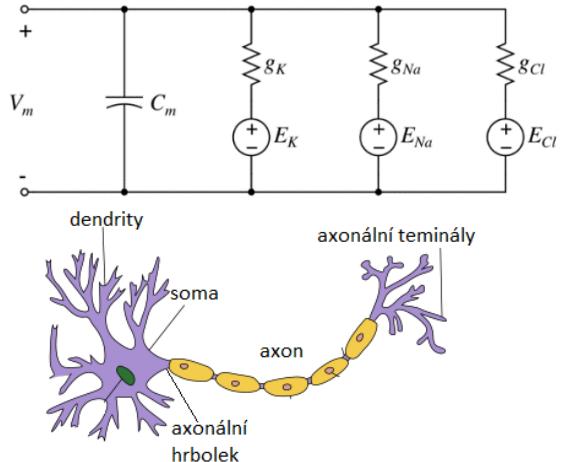
### Modelování elektrických vlastností buněčné membrány

- náhradní elektrické zapojení



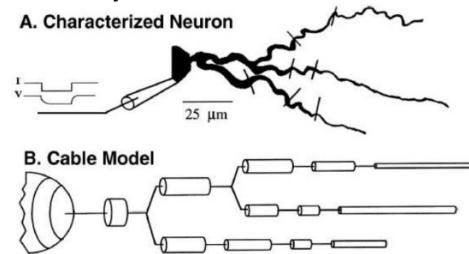
- **reobáze** = nejmenší možný proud, který je schopný vyvolat AP (nejnižší intenzita dráždícího proudu, která vyvolá svalový stah (definice z FPT))
- **chronaxie** = nejkratší délka impulsu, která vyvolá AP při použití proudu  $2R$

- pro zdravý sval 0,3 – 0,5 ms
- **modelování membrány**
  - dominantní el. vlastnosti = kapacita a odpor (vodivost) membrány
  - zjednodušený H-H model (Hodgkin-Huxley) pro výpočet klidového potenciálu
  - pomocí metody uzlových napětí popíšeme obvod
    - $U = \frac{E_K g_K + E_{Na} g_{Na} + E_{Cl} g_{Cl}}{g_K + g_{Na} + g_{Cl}}$
    - poměr vodivostí  $g_K: g_{Na}: g_{Cl} = 1: 0,03: 0,1$

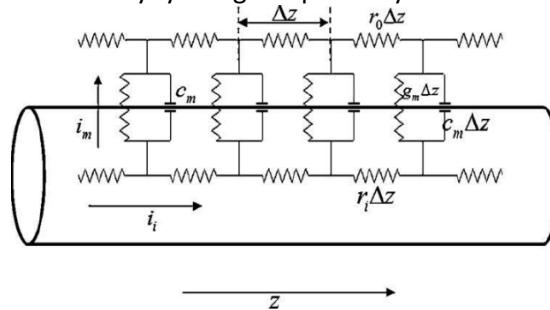


## Modelování neuronu

- **morfologie:**
  - **dendrity**
    - velká plocha pro příjem signálu
    - variabilní tloušťka
    - mnohačetné výběžky
  - **soma** = perikaryon = tělo neuronu
  - **axonální hrbolek** = iniciální segment
    - integrace signálů z dendritů
- **modelování těla (somy)** => nemodelujeme
- **modelování dendritů**
  - **kabelové modely**



- **teorie vedení**
  - popisuje tok proudu a šíření potenciálu v lineárních (pasivních) dendritech
    - analýza signálů = přenos dendrity
  - **předpoklady**
    - neuvažujeme napěťové závislé kanály
    - membrána je pasivní a rovnoměrná
    - uvažujeme délku a čas, nikoliv průměr
  - metoda je přibližná, zjednodušující předpoklady umožňují modelování bez velké ztráty fyziologické podstaty



vždy obsahuje  $R_i$  a  $R_o$  pro každý element ve směru  $z$

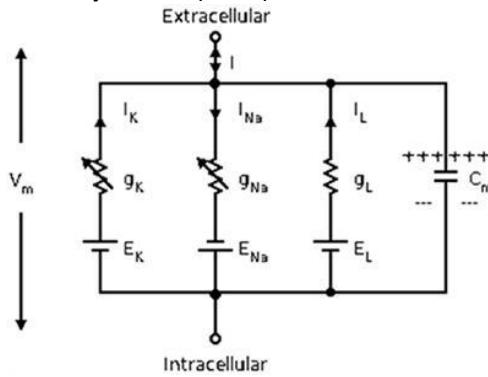
$\lambda$  prostorová konstanta

$$- \quad \lambda = \frac{R_m}{R_i + R_o}$$

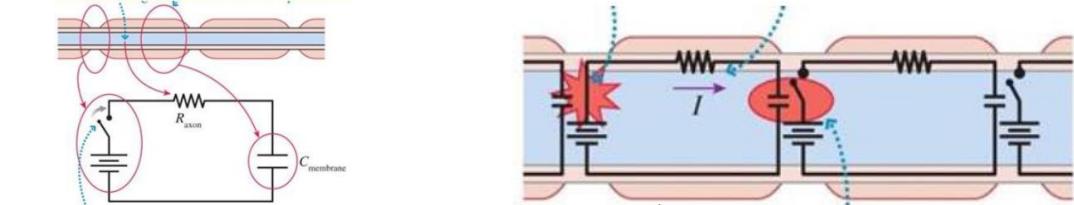
$\tau$  časová konstanta  $\tau_m = R_m \cdot C_m$

$$\lambda^2 \frac{\partial^2 V}{\partial x^2} = \tau \frac{\partial V}{\partial t} + V$$

- modelování synapsí => nonlinearity, approximation
- modelování axonů
  - nemusí se modelovat, nebo se modeluje jen jeho zpoždění, nebo pomocí RC článků a kabelových modelů (uvažujeme poté odpory na vnějším a vnitřním prostředí)
  - **Hodgkin-Huxley model (1952)**



- modelování axonu jako RC obvody (integrační články)



$$\tau = RC = (2.5 \times 10^7 \Omega)(1.6 \times 10^{-12} F) = 4 \times 10^{-5} s = 40 \mu s$$

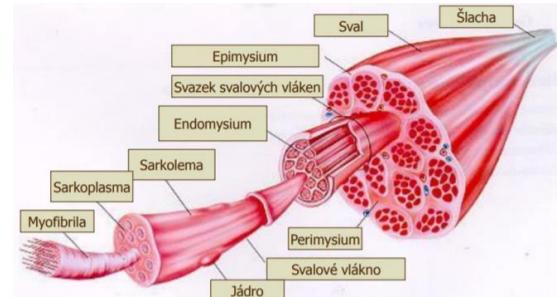
$$v = \frac{L_{node}}{\tau} = \frac{1 \times 10^{-3} m}{40 \times 10^{-6} s} = 25 m/s$$

### 3. přednáška

### Elektromyogram

#### Svaly

- hladká svalovina
  - nelze řídit vůlí, např močový měchýř
- srdeční svalovina
  - myokard
- příčně pruhovaná (kosterní) svalovina
  - ovladatelná vůlí – jazyk, svaly končetin...

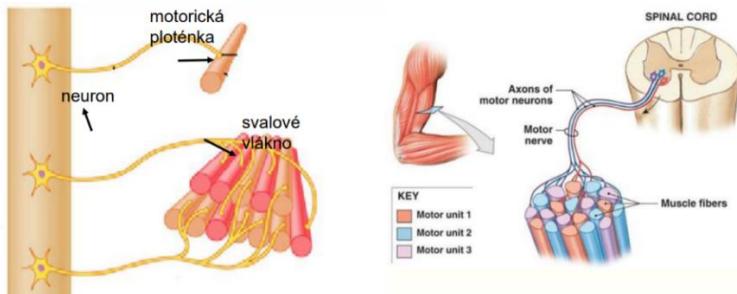


#### Struktura kosterního svalstva

- svalové vlákno tvořené z válců, uvnitř stahovatelné proteiny
- kosterní sval => svalový snopec => svalový snopek => svalové vlákno => myofibrila => sarkomera
- membrána = sarkomera
- AP potenciál se přenáší přes nervosvalovou ploténku, AP se šíří po svalových vláknech => stah

#### Motorická jednotka (MU)

- spojen míšní motoneuron, jeho axon a všechna svalová vlákna napojena na axon
- nejmenší motorická jednotka, kterou lze aktivovat úsilím
- generování EMG
  - snímáme více svalových vláken
  - myosignál ovlivněn => interferencí výbojů, přechodem sval-kůže a šumem

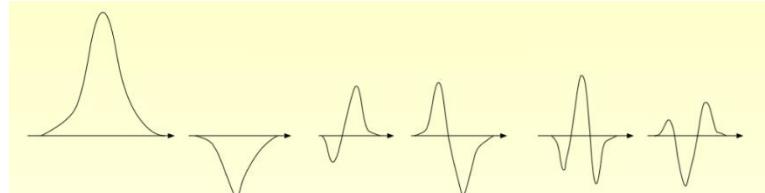


- pro jemnou motoriku jsou inervovány malé motoneurony
  - větší axony mají menší vnitřní odpor => menší neurony jsou dříve aktivovány než neurony větší

sval	celkový počet nervových vláken	celkový počet svalových vláken	počet MU	počet svalových vláken v MU
<b>Platysma (sval v podkoží krku)</b>	1826	27100	1096	~25
<b>Svaly na ruce (ukazováček)</b>	199	40500	119	~340
<b>Svaly dolních končetin (lýtka)</b>	965	1120000	579	~1934

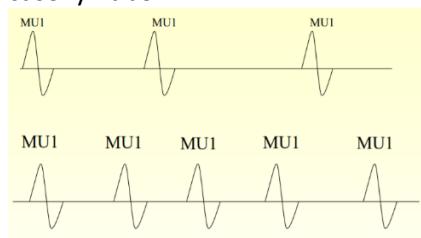
### Typy vln

- monofazické
- bifázické
- trifázické
- **normální tvar AP MU**
  - **bifázický nebo trifázický**
  - závisí na poloze a tvaru jehly

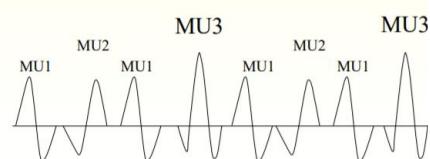


### Nábor motorických jednotek

- se zvyšováním síly = nárůst frekvence, např. pro analýzu únavy
- časový nábor



### – prostorový nábor

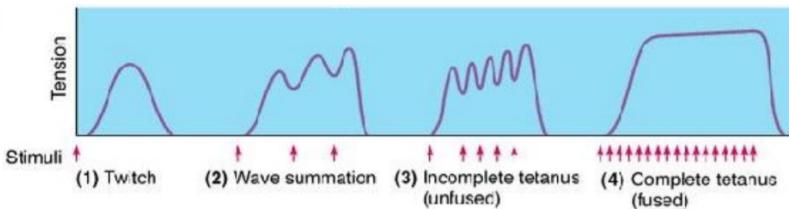


### Zapojování svalů

- 1. typ = pomalý typ, delší výdrž (50 %)
- 2. typ = rychlý typ, silnější kontrakce, výbušnost (50 %)
- u sportovců rozložení dle zaměření (sprinter x dlouhé běhy)

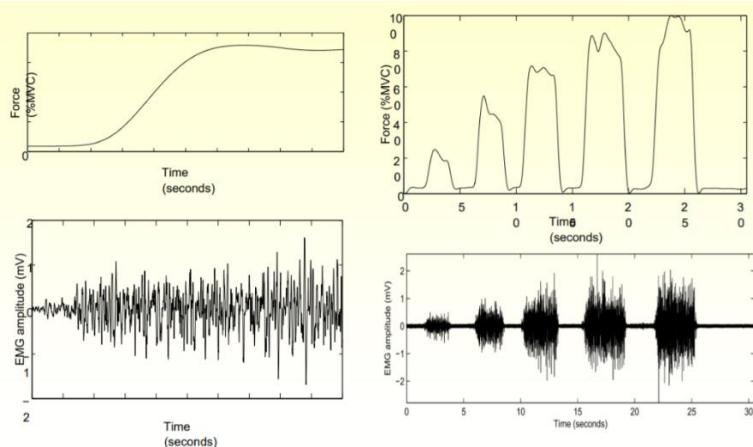
### Podráždění svalu

- **nepřímé** => prostřednictvím nervu, nejprve se objeví lokální potenciál na svalové ploténce
- **přímé** => přivedeným elektrickým potenciálem se způsobí umělá depolarizace



### Závislost síly svalu na stimulační frekvenci

- síla svalu je regulována pomocí náboru motorických jednotek a budící frekvence
- frekvenční modulace
- stejná svalová síla může vznikat zapojením menších motorických jednotek na vyšších frekvencích nebo větších motorických jednotek na frekvencích nižších



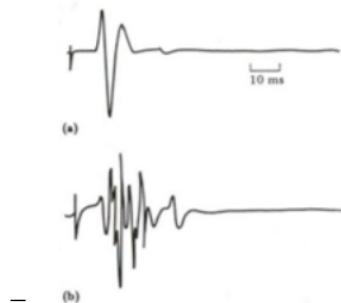
### Typy elektrod ke snímání EMG

- povrchové elektrody = snímají sumaci signálů v prostoru pod elektrodou
- jehlové elektrody vpichové = slouží k připojení do určitých svalových skupin (poměrně drahé)
- umístění povrchové elektrody je zásadní, nejsilnější EMG je v půlce svalu?

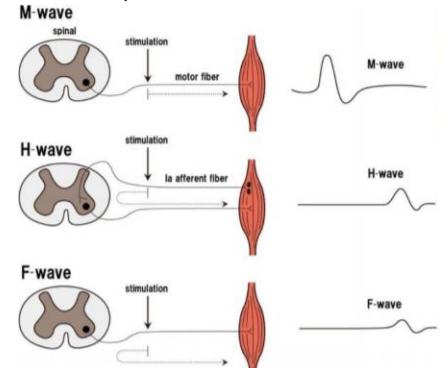
### Elektromyografie

- podstatou je měření elektrických potenciálů vzniklých v důsledku činnosti kosterní svaloviny
- jsou stanoveny nervy na kterých měřit, ne umístění elektrod => závisí na zkušenostech lékaře, výsledky nelze tak snadno standardizovat (2 stejná měření nemají úplně stejné výsledky)
- tělesná teplota zvyšuje rychlosť šíření – 1 stupeň o 5 %
- využívá dynamometr
- aplikace
  - pro kontrolu stavu svalu
  - **diagnostické**
    - **jehlová EMG**
      - snímání při úplném uvolnění svalu, nativní EMG
      - tenká jehla do svalu, minimální riziko krvácení
      - změnou polohy jehly ve svalu je vyhledávána optimální pozice pro záznam akčních potenciálů motorických jednotek
      - porovnání parametrů akčních potenciálů motorických jednotek
        - trvání, amplituda, počet fází...
    - **konduktivní studie**
      - stimulační EMG, stimulační a snímací elektrody
      - nerv je stimulovaný elektrickým impulsem, vyvolávajícím záškub
      - stimulace může být někdy nepříjemná
      - cílem vyšetření
        - porovnání rychlosti vedení v nervu

- velikosti potenciálu ve svalu s věkovou normou
- abnormální hodnoty => poškození nervu úrazem, chronický tlak, zánět, toxické látky, odlišení léze
- normální vs patologická odpověď svalu



- přímá odpověď M vlna, pozdní F vlna, H reflex



## – kineziologické

### – analýza únavy

- základem je sekvenční Fourierova analýza
- výběr délky okna (1-5 s))
- překrývání segmentů zvyšuje rozlišení
- potřeba rozhodovacího prahu pro stanovení meze únavy
- záznam cyklické aktivity
- velikost aktivace, kdy jsou jaké svaly zapojovány

### – ovládání protéz

- myoprotézy
- chytřejší modely velice drahé

### – další použití

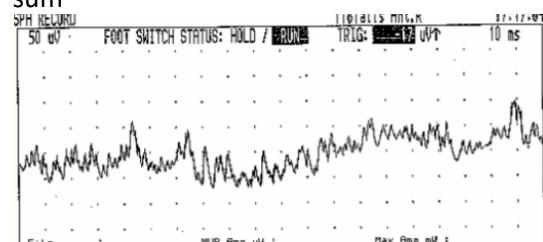
- detekce myoklonických záškubů
- lokalizace zdroje v CNS
- experimenty = zkoumání emocí => klasifikační úlohy

## – normální EMG aktivita

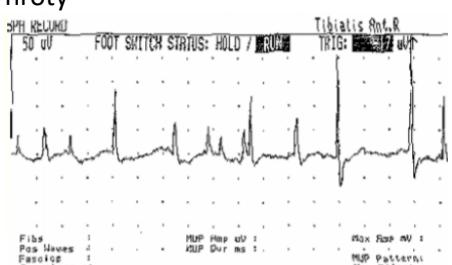
### – klidová spontánní aktivita

- za fyziologického stavu není v relaxovaném svalu žádná elektrická aktivita
- inzerční aktivita (zasunutí jehly)
- ploténková aktivita

### – šum



## hroty



### – volná aktivita

- nábor a analýza motorických jednotek



- interferenční vzorec

- Minimální kontrakce
  - Střední kontrakce 30-40%
  - Maximální kontrakce
  - Willisonova analýza

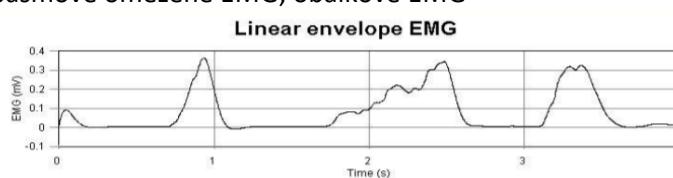
– **vliv onemocnění na akční potenciály motorických jednotek**

  - **neuropatie** = přerušení demyelinizace, nedojde k správnému přenosu
  - **normální**
  - **neuropatie**
  - **myopatie** = ztráta svalových vláken, svalová dystrofie, AP hodně ale roztříštěné
  - **abnormální EMG aktivita**
    - fibrilační potenciály denervovaného svalu, myotonické výboje
    - pozitivní ostré vlny, neuropatie x myopatie
  - při vyšetření je signál přiveden na reproduktor = audiomyogram

potenciál	příčina	charakter zvuku	frekvence	
ploténkový šum	MEPP	mušle	20-40 Hz	Neprav.
ploténkový potenciál	terminální větvení axonu	prskající tuk na párnici	5-50 Hz	Neprav.
fibrilace	denervované svalové vlákno	déšť na střeše nebo tikot hodin	0.5-10 Hz	Pravidelné
positivní ostrá vlna	denervované svalové vlákno	déšť na střeše nebo tikot hodin	0.5-10 Hz	Pravidelné
myotonický výboj	transversální tubuly	startování motorky	20-150 Hz	zesilující-zeslabující
fascikulace	motoneuron nebo axon	pop corn	0.1-10 Hz	Neprav.
komplexní repetitivní výboj	efapse u denervovaných vláken	zvuk motoru	5-100 Hz	pravidelné
myokymie	motoneuron nebo axon	pochodující vojáci	5-60 Hz	skupinky
neuromyotonie	motoneuron nebo axon	zvonění	150-250 Hz	zeslabující

## Zpracování EMG signálů

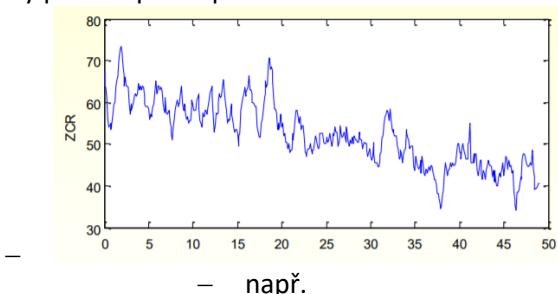
- **EMG signál**
  - artefakty
    - EKG artefakt, síťový brum
    - stejnosměrná složka (nenulová ss složka)
    - pohybový artefakt, saturace zesilovače (+/- 0.5 V)
  - **EMG obálky**
    - pásmově omezené EMG, obálkové EMG



- kvantitativní charakteristiky (pro řízení protéz)

## Časová oblast

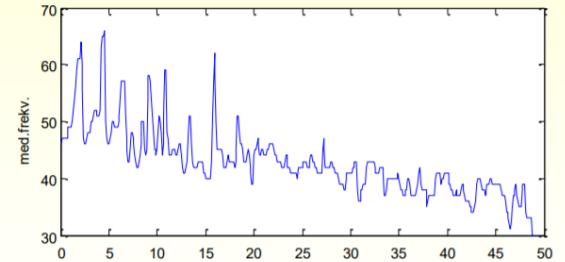
- časový průběh počtu průchodů nulou



— např.

- Enhanced Mean Absolute Value
- Enhanced Wavelength
- Mean Absolute Value
- Slope sign Change
- Root Mean Square

## časový průběh mediánu

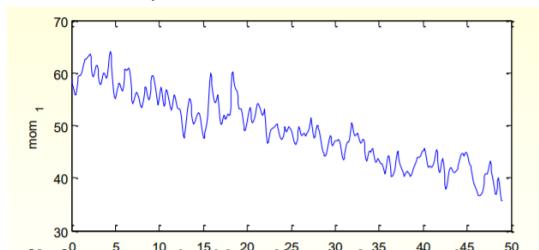


## Frekvenční oblast

- mediánová frekvence
- první spektrální moment** = frekvence těžiště spektra = dánou váhovým průměrem spektrálních čar I

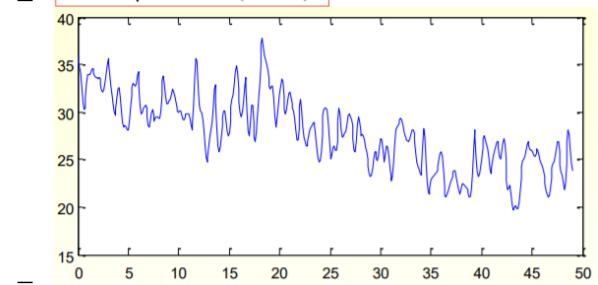
$$mom_1 = \frac{\sum f \cdot I}{\sum I}$$

—  $f$  = vektor příslušných frekvencí = těžiště rozložení energie ve spektru



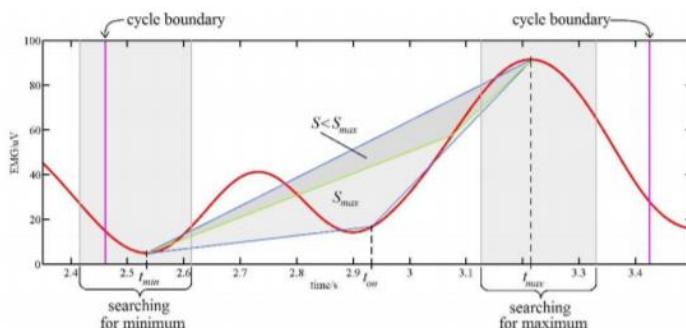
**druhý spektrální moment** = rozprostření spektra, analogický statistickému rozptylu

$$mom_2 = \sqrt{\frac{\sum f^2 \cdot I}{\sum I} - \left( \frac{\sum f \cdot I}{\sum I} \right)^2}$$



## pokročilé metody

- synchronní průměrování (trojúhelníkový detektor) = nejrobustnější na detekci aktivity



## EMG signál z povrchových elektrod

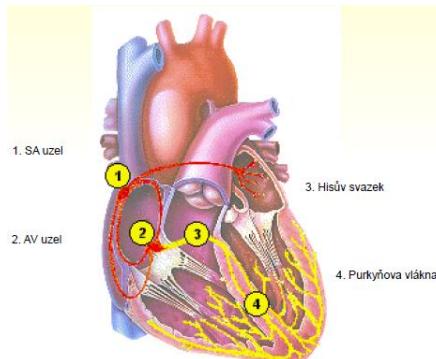
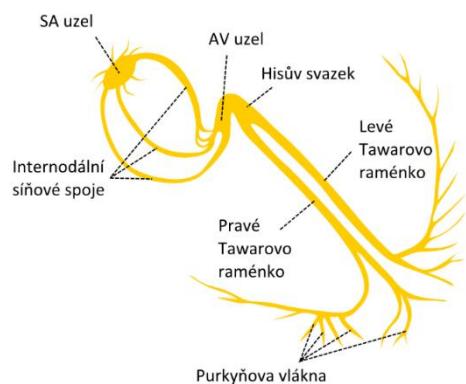
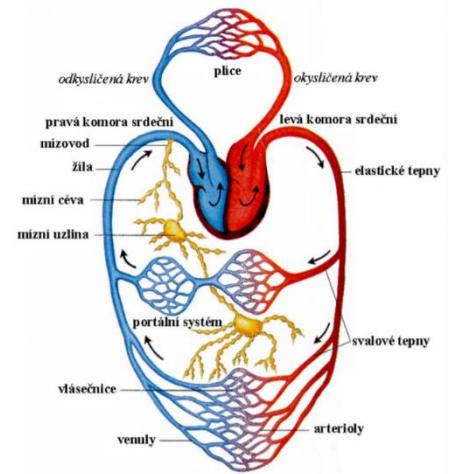
- frekvenční spektrum 20–500 Hz, minimální vzorkovací frekvence 1000 Hz
- střední hodnoty a mediánové f EMG signálu neunaveného svalstva okolo 70–80 Hz
- z těchto důvodů by se nemělo používat úzkopásmových zádrží k potlačení síťových brumů
- obtížné stanovení úrovně kontrakce

## 4. přednáška

## Elektrokardiografie

### Srdce

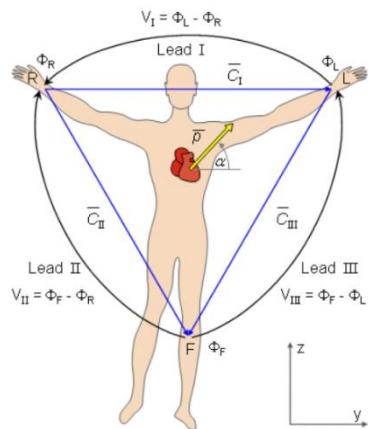
- 2 síně – nahore (pravá x levá)
- 2 komory – dole (pravá x levá)
- síně a komory se oddělují pomocí chlopní, které jsou zároveň nevodivé
- **krevní oběh**
  - úkolem srdce je poskytnout neokysličenou krev do plic a z plic okysličenou krev do celého systému
  - **malý plicní oběh**
    - pravá komora – plicní tepna – plíce – plicní žily – levá sín – levá komora
  - **velký tělní oběh**
    - levá komora – do těla – pravá sín
    - tělo hlava končetiny
- **převodní systém srdeční**
  - **šíření depolarizace = pravá sín se depolarizuje nejrychleji**
  - **SA uzel** = sinoatriální uzel
    - pod epikardem ve stěně pravé síně
    - vznik elektrické aktivity (potenciálů)
    - udržuje pravidelnou rytmickou činnost
    - v důsledku šíření elektrické aktivity = kontrakce
  - **AV uzel**
    - depolarizace se zde šíří pomaleji než v SA uzlu
    - vede vztah velmi pomalu => žádoucí zdržení převodu
    - nejprve se musí dokončit kontrakce (depolarizace) síně a až poté kontrakce (depolarizace) komor
    - ve stěně pravé sítě pod endokardem
  - **Hisův svazek**
    - přenáší vztah ze síní do komor
    - navazuje na AV uzel
    - prostupuje do interventrikulárního septa
    - dělí se na Tawarova raménka
  - **Purkyňova vlákna**
    - vztah rozvádí na pracovní myokard komor
  - **buňky převodního systému** = nemají klidový potenciál, dochází zde ke spontánní depolarizaci
  - **délka plata** = dlouhá refrakterní periody 400 ms, poté nastává repolarizace
    - plato fáze je způsobena pomalejším otevřením kanálu pro  $\text{Ca}^{2+}$



### EKG

- snímáme sumační potenciál dílčích dipólů na povrchu těla pomocí povrchových elektrod
- neinvazivní vyšetření
- 12 svodový systém (svody = rozdíl potenciálů dvou elektrod)

1) Eithovenovy bipolární končetinové svody ( $V_I$ ,  $V_{II}$ ,  $V_{III}$ ) – potenciály mezi končetinami



svorka  
 RA – potenciál  $\Phi_R$   
 LA – potenciál  $\Phi_L$   
 LL – potenciál  $\Phi_F$

$$V_I = \Phi_L - \Phi_R$$

$$V_{II} = \Phi_F - \Phi_R$$

$$V_{III} = \Phi_F - \Phi_L$$

$$V_{II} = V_I + V_{III}$$

2) Goldbergovy unipolární svody ( $aV_R$ ,  $aV_L$ ,  $aV_F$ ) – potenciál končetiny vůči středu protější strany

- svorky
  - kladná – končetinová elektroda
  - záporná – referenční svorka tvořená průměrem zbyvajících dvou elektrod

→ střed protější strany trojúhelníku

- výpočet z potenciálů vůči průměrnému potenciálu končetin (WCS)

- končetinová elektroda proti společné složce signálu

→ těžiště trojúhelníku – průměr všech elektrod

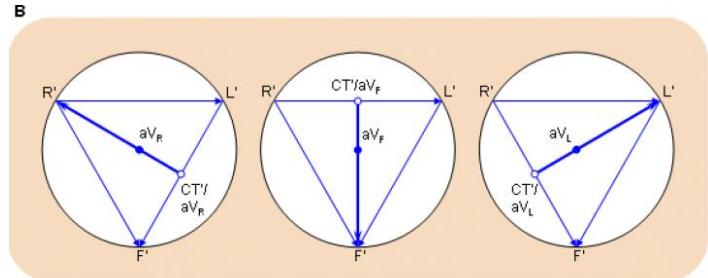
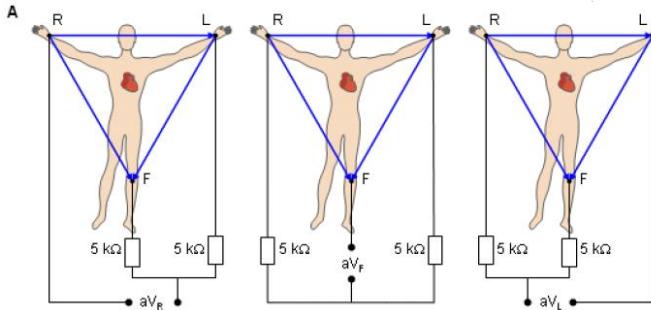
$$V_R = \phi_R - \frac{\phi_R + \phi_L + \phi_F}{3} = \frac{2\phi_R - \phi_L - \phi_F}{3}$$

- končetinová elektroda proti průměru zbylých dvou elektrod

→ středu strany

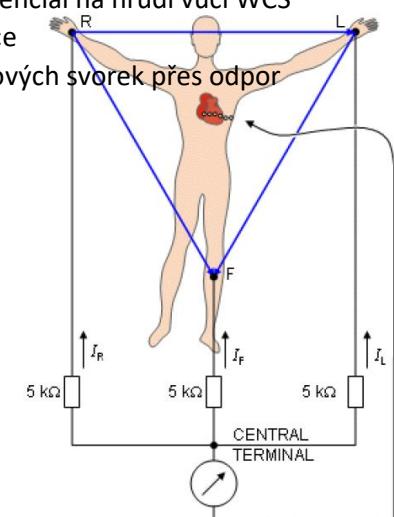
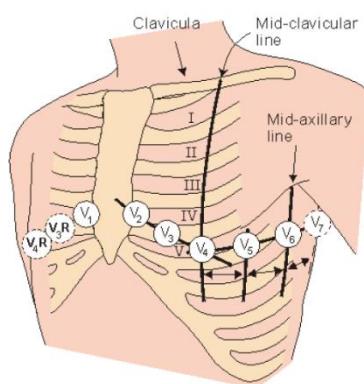
$$aV_R = \phi_R - \frac{\phi_L + \phi_F}{2} = \frac{2\phi_R - \phi_L - \phi_F}{2} \quad \frac{aV_R}{V_R} = \frac{3}{2}$$

- zesílený signál – výsledek se liší jen amplitudou



3) Wilsonovy unipolární hrudní svody ( $V_1$ ,  $V_2$ ,  $V_3$ ,  $V_4$ ,  $V_5$ ,  $V_6$ ) – potenciál na hrudi vůči WCS

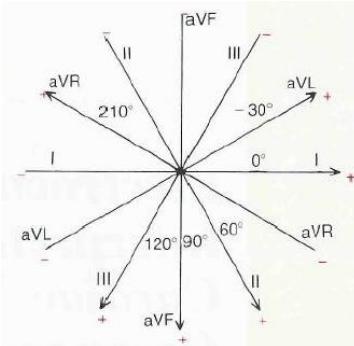
- šestice hrudních elektrod proti centrální Wilsonově svorce
- WCS = referenční svorka, spojením každé ze tří končetinových svorek přes odpor



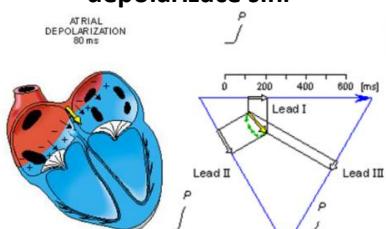
- napájení pravou nohou (zpětnovazební elektroda) = čtvrtá končetinová elektroda
  - přivádí se na ni invertované napětí centrální svorky – vytváří tak zápornou ZV
  - slouží k účinnému potlačení souhlasné složky
  - > v důsledku ZV naměříme příspěvek od srdeční činnosti + souhlasnou složku + invertovanou souhlasnou složku
  - nutnost omezení zastoupení vyšších harmonických složek ZV signálu (např. anti-aliasing filtr)

### EKG depolarizace

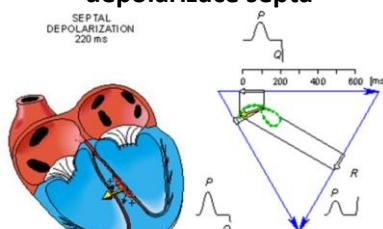
- **vektor depolarizace** = směr elektrického vektoru při částečné depolarizaci, souhrn šíření akčních potenciálů
- vzájemné úhlové poměry různých svodových systémů = **Cabrenův kruh**
  - určení sklonu EOS



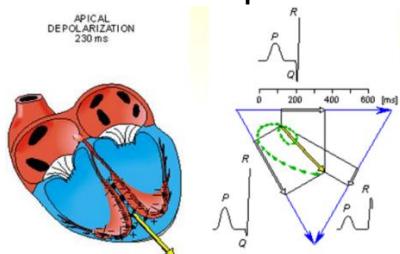
### depolarizace síní



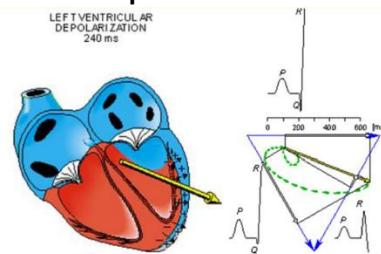
### depolarizace septa



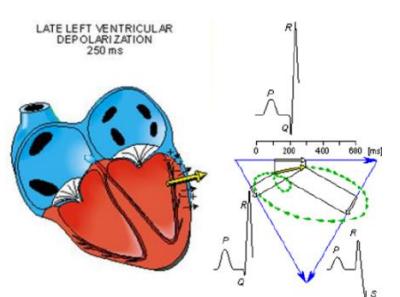
### vrcholná depolarizace



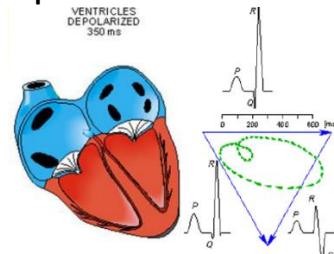
### depolarizace levé komory



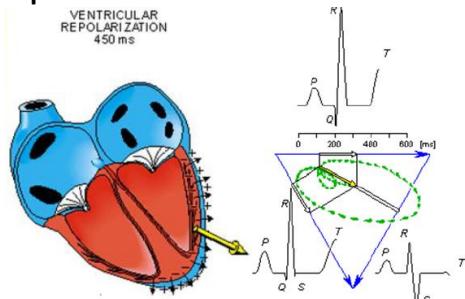
### pozdní depolarizace levé komory



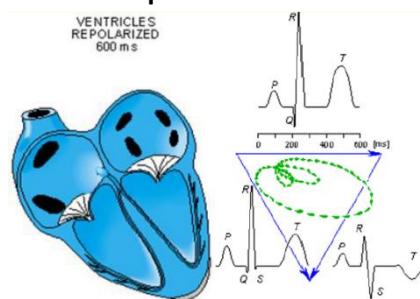
### depolarizace komor



### repolarizace komor

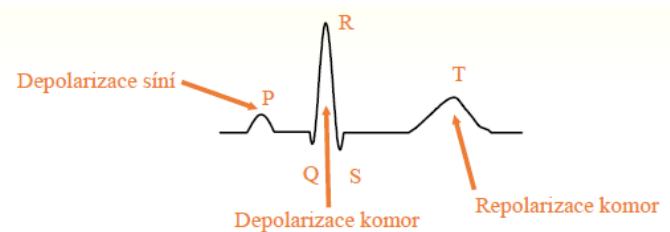


### repolarizace komor



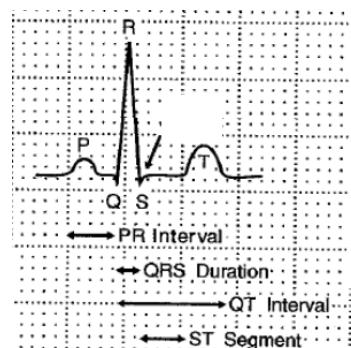
## EKG křivka

- **P vlna** = šíření depolarizace síní
- **PQ interval** = od vzniku impulsu v SA uzlu do začátku depolarizace komor
  - měříme od začátku P vlny do začátku komorového komplexu (0,12-0,20 s)
  - zpomalení na AV uzlu
- **QRS komplex** = obecné označení pro depolarizaci komor
  - **Q** = pouze první negativní kmit, může chybět
  - **R** = každý pozitivní kmit komplexu, depolarizační vektor nabývá maxima
  - **S** = všechny negativní kmity komplexy za R kmitem
  - určujeme 3 parametry: doba trvání (do 0,11 s), přítomnost a trvání Q kmitu a Sokolowy indexy
- **ST úsek** = po depolarizaci komorové svaloviny => fáze plato
  - fyziologicky nedochází k elektrickým změnám => stejná úroveň jako PQ úsek
- **T vlna** = šíření repolarizace komor
- **QT interval** = začátek QRS po konec vlny T
  - doby elektrické systoly, obvykle se koriguje na základní frekvenci pomocí Bazzetovy formule
$$QT_C = \frac{QT}{\sqrt{RR}}$$



## Analýza EKG

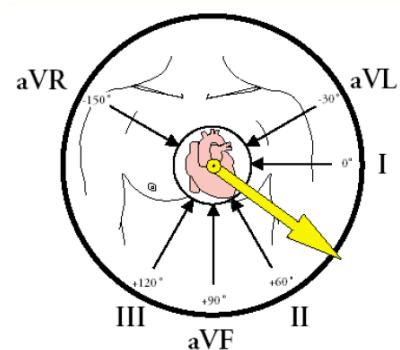
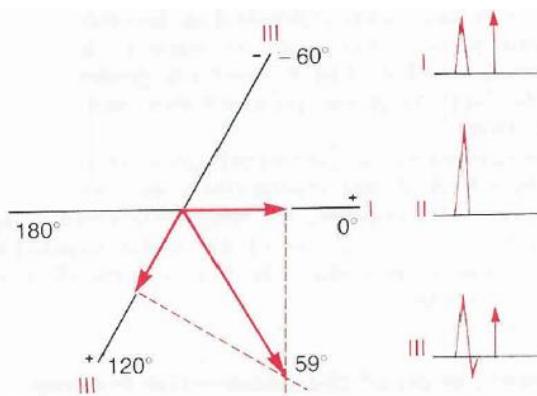
- hodnotíme
  - srdeční frekvence, směr elektrické osy srdeční
  - pravidelnost srdeční akce (jak síní, tak komor)
    - na základě P vln i R špiček
  - velikost a délka vln P, Q, R, S, T
  - velikost a délka úseků P-Q, Q-R, Q-R-S, S-T, Q-T
- fyziologické EKG ovlivňuje
  - věk, poloha, dýchání, fyzická zátěž
- **klidové EKG**
  - desatero:



<b>srdeční akce</b>	pravidelná	<b>QRS komplex</b>	v normě 96 ms
<b>srdeční rytmus</b>	pravidelný sinusový	<b>ST úsek</b>	norma v izolinii
<b>srdeční frekvence</b>	70 cyklů / min	<b>T vlna</b>	norma
<b>P vlna</b>	normální	<b>QT interval</b>	norma 393ms
<b>PQ interval</b>	v normě 4 mm, 160 ms	<b>elektrická osa srdeční</b>	fyziologicky 88°

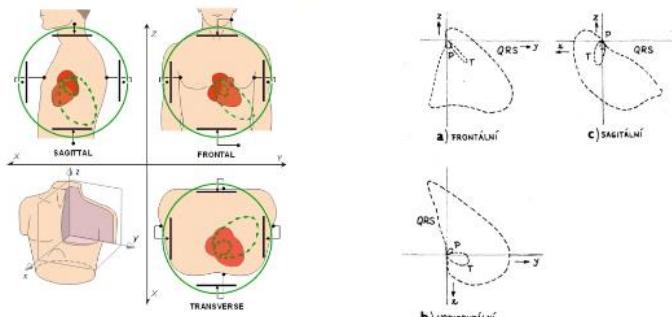
## Elektrická srdeční osa EOS

- vyjadřuje směr vektoru elektrické srdeční aktivity během depolarizace komor
- normálně směruje zprava dolů doleva
- fyziologicky se úhel EOS pohybuje mezi -30° až +110°
- odečítáme hodnotu R špičky I. svodu a odečítáme aVF
- 



## Vektorkardiografie (ortogonální svody)

- 3 kolmé svody – ramena, hrudník zepředu-zezadu, krk-kotník
- vyjadřují prostorové vlastnosti el. pole kolem srdce pomocí tří ortogonálních signálů
- zobrazení pomocí tří roviných smyček = nedostáváme více informací oproti 12 svodovému systému
- zaznamená se 1 cyklus, ztrácí se časová závislost, uplatnění spíše ve výzkumu pro patologie (hladkost, křížení smyček apod.)

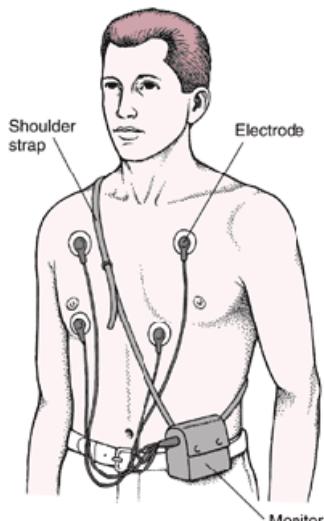


## 5. přednáška

### Další typy EKG

#### Náhradní umístění končetinových elektrod

- hrudní svody, můžou být i na zádech
- co nejmenší vliv pohybu vyšetřovaného na kvalitu signálu – pohybové artefakty, myopotenciály
- co nejmenší vliv vodičů na mobilitu vyšetřovaného
- používá se na JIP, zátěžová EKG vyšetření (ergometrie, bicyklová ergometrie) – dokud se nedosáhne určité tepové frekvence, pak se vyšetření zastaví, holter
- končetinové elektrody dávají obecně větší biosignál a jsou více rušeny => hrudní lepší



#### Holterovská monitorace

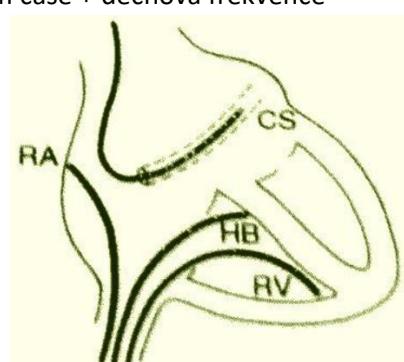
- 24 hod záznam, automatické zpracování, vyhodnocuje následně lékař
- sledujeme abnormality – maximální srdeční frekvencie, minimální srdeční frekvence, přítomnost fibrilace síní apod.
- holter zpravidla na 2 svodech

#### Monitorování EKG v JIP / ARO

- monitor na kterém běží trvale 1-3 svody
- bedside = monitorování jednoho svodu v reálném čase + dechová frekvence
- změna rytmu, extrasystola = alarm

#### Jícnová elektrokardiografie

- abyhom viděli repolarizace síní
- zavede se elektroda jícnem k síním
- vyšetření 20-40 minut, sedativa



#### Intrakardiální EKG

- nitrosrdeční svody do pravé komory a síně
- lze využít ke kardiostimulaci
- zavádí se žílou

#### Izopotenciálové mapování

- snímáme desítky unipolárních svodů
- můžeme dobře identifikovat ložiska, které jsou zdroje arytmii
- přidaná hodnota není úplně jasná, není tak časté

## EKG ve veterinární medicíně

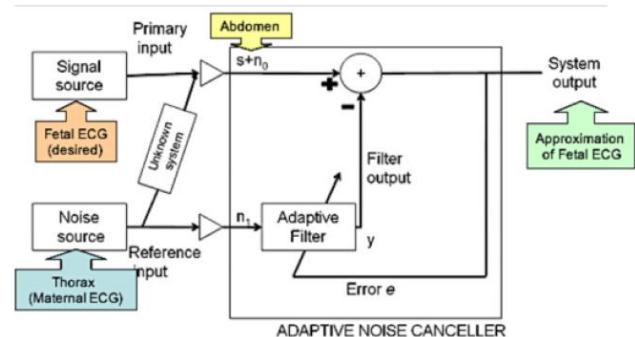
- 6 končetinových svodů => snímají srdce ze stran a ze zadu v horizontální rovině
- 6 hrudních svodů => obepínají skoro symetricky hrudník, snímají srdce v transverzální rovině
- zvíře musí být na pravém boku, aby bylo EKG čitelné

## EKG u dětí

- jiná rychlosť než u dospělého člověka
- děti mají vyšší tep a jiný směr elektrické osy srdeční (výrazně doleva)

## Fetální EKG

- EKG matky a EKG plodu
- nastavení vah adaptivního filtru, tak abychom získali pouze EKG plodu



## Základní obrazy EKG

### Normální sinusový rytmus

- depolarizace postupuje pravidelně u zdravého člověka od SA uzlu po AV uzel
- základní mez 60-100 úderů za minutu

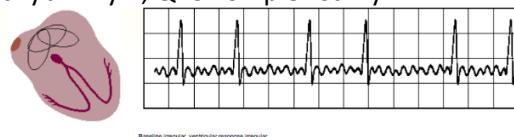
### Arytmie

- **sinusová bradykardie**
  - pravidelná arytmie, pomalu vychází z SA uzlu
  - zpomalení srdeční frekvence pod fyziologickou mez (hodnoty nižší než 60 tepů / min)
  - často u sportovců za klidových podmínek
- **sinusová tachykardie**
  - může být vyvolána stresem, léky, kofeinem
  - zrychlení srdeční frekvence nad fyziologickou mez
  - opak bradykardie
- **respirační arytmie**
  - typičtější pro děti a mládež, není patologie, jedná se o fyziologický obraz
  - odchylka od normálního srdečního rytmu
  - cyklická změna srdeční frekvence v závislosti na dýchaní



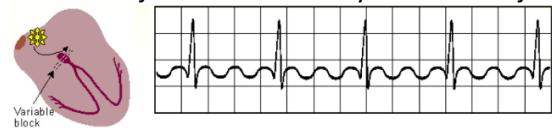
### Fibrilace síní

- tacharytmie spojena se zvýšenou morbiditou i mortalitou
- síně se nekontrahuje – neuplatňuje se v poslední fázi diastoly, kdy je krev aktivně tlačena do komory
- dušnost, často u pokročilého věku
- chybí vlny P, QRS komplex štíhlý



### Flutter síní

- síňová tacharytmie
- místo jednoznačné P vlny se síně chvějí



### 3 stupně ektopické aktivity

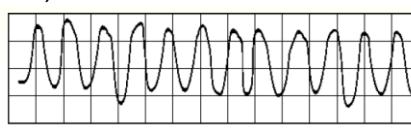
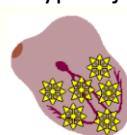
- **komorová extrasystola**

- v důsledku přítomnosti ektopického ložiska v převodním systému srdečním
- QRS přichází předčasně nebo má abnormální tvar
- vlna T velká



- **fibrilace komor**

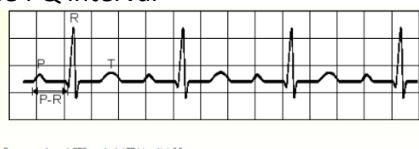
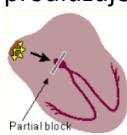
- může dojít k odumření srdeční svaloviny
- nevypuzuje krev, často během akutního infarktu



### Blokády atrioventrikulárního vedení

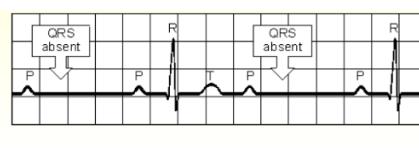
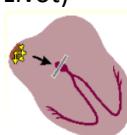
- AV blokáda = porucha srdečního rytmu, kdy může docházet
- **AV blokáda 1. stupeň**

- prodlužuje se PQ interval



- **AV blokáda 2. stupeň**

- vynechávání některých QRS komplexu (ohrožuje život)



### Blokády ramének

- **pravého**

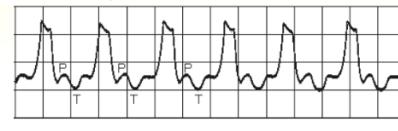
- blokáda při šíření po komorách
- po infarktu, plicní embolii

- **levého**

- po infarktu
- odlišný EKG obraz než u blokády pravého raménka

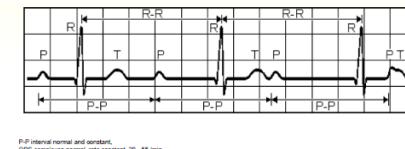
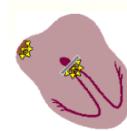
- **komorová tachykardie**

- epizody, není trvalé
- přítomnost alespoň tří po sobě jdoucích širokých QRS komplexu (nad 0,12 s) při frekvenci nad 100/min



- **AV blokáda 3. stupeň**

- síně a komory se depolarizují nezávisle na sobě
- úplná blokáda



## Síňová hypertrofie

- pokud má P vlna více kopců => podezření na zvětšení pravé nebo levé síně
- **hypertrofie pravé komory** – vlivem plicních chorob
- **hypertrofie levé komory** – při hypertenzi

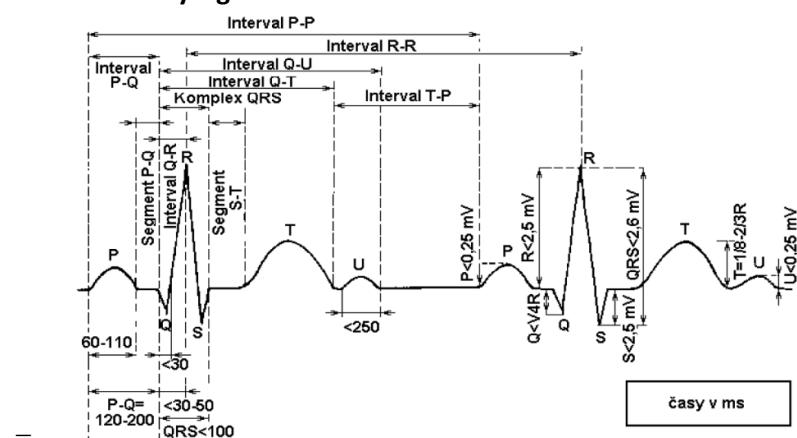
## Infarkt myokardu

- **1.** akutní stádium (po hodinách) => významná elevace ST segmentu
- **2.** následné stádium (po dnech až týdnech) => prodloužený Q hrot, negativní T vlna
- **3.** pozdní stádium (po měsících až letech) => prodloužený Q hrot

## Zpracování a analýza signálu EKG

- potlačení rušení - 50 Hz nejčastější rušení
- výběr charakteristik (detekce hrotů a vln)
- klasifikace, interpretace

## Vlastnosti + normy signálu EKG v časové oblasti



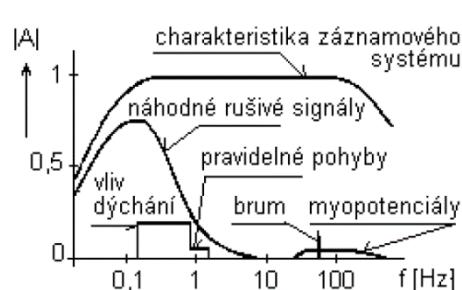
Parametr	AUTO	MANUAL	NORMA
HR			55-90
Duration (ms)			
P			<110
PQ			120-200
Q			<30
QRSD			<110
QT			250-500
Voltage (mV)			
P			0-0.25
R			0.5-3
ST			<±0.1
T			>0

## Vlastnosti signálu EKG ve frekvenční oblasti

- protože dochází k přirozené variabilitě, tak nemáme čárové spektrum ale rozmazané
- veliká část energie signálu končí před 50 Hz
- špičky ve spektru jsou způsobeny
  - tepovou frekvencí - 1 Hz
  - ST úsekem - 2 Hz
  - T vlnou - 4-5 Hz
  - P vlnou kolem 8 Hz
  - QRS komplexem (úzký impuls = široké spektrum a naopak) od 12 Hz výše

## Rušení signálu EKG

- vzhledem k šířce pásma
  - **širokopásmové**
    - myopotenciály (náhodný charakter od 20 Hz +)
    - skokové změny izolinie
    - impulsní rušení
  - **úzkopásmové**
    - kolísání (v důsledku pomalých pohybů pacienta, dýchání...), základní izolektrické linie
    - síťové rušení 50 Hz

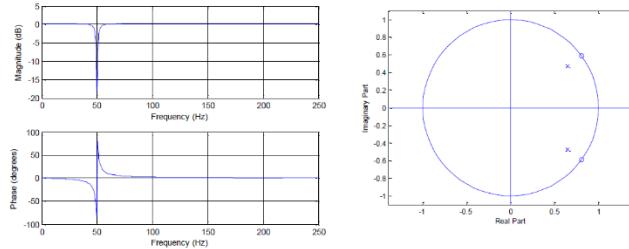


## Potlačení sítového rušení 50 Hz

- potlačení pomocí adaptivní filtrace, lin. filtrace – fir filtry, nelineární heuristické algoritmy
- **úzkopásmové filtry – bikvády**
  - IR filtr, jednoduchý

$$H(z) = \frac{1 - 2R \cos \hat{\omega}_0 z^{-1} + R^2 z^{-2}}{1 - 2r \cos \hat{\omega}_0 z^{-1} + r^2 z^{-2}} = \frac{z^2 - 2R \cos \hat{\omega}_0 z + R^2}{z^2 - 2r \cos \hat{\omega}_0 z + r^2}$$

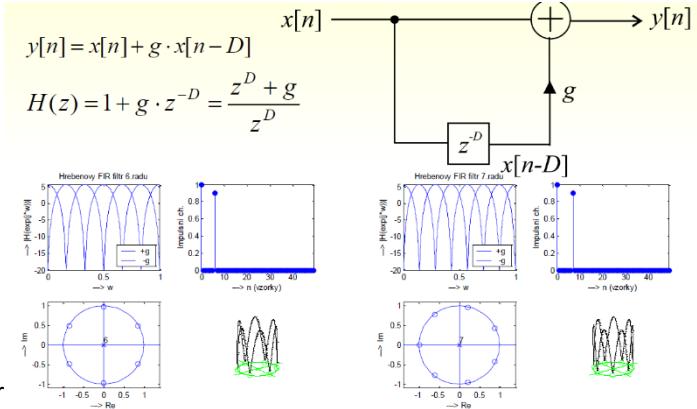
$R = 1; r = 0.98;$   
 $b = [1 - 2*R \cos(2\pi f_0/f_s) R^2];$   
 $a = [1 - 2*r \cos(2\pi f_0/f_s) r^2];$



- **hřebenový FIR filtr pro potlačení**
  - na předzpracování signálu, vhodné pro detekci R špiček
  - nastavíme jediné zpoždění
  - podle počtu vzorků vytváříme počet nul v pásmové zádrži
  - změna znaménka u  $g$  = změníme typ propusti (začneme horní)
- **adaptivní filtry**
  - v každém kroku aktualizují váhy
  - důležitá konvergenční konstanta, která konvergence)
  - chceme robustnost vůči šumu a malé výpočetní nároky

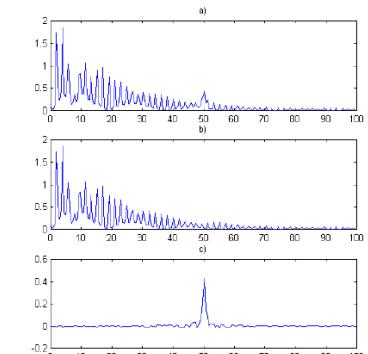
## Potlačení rušení filtrace driftu izoelektrické linie

- odfiltrujeme (lineární filtrace) horní propustí
  - jednoduchá horní propust 2. řádu
  - filtry s FIR => hřebenové filtry = společné odstranění brumu a driftu
- vyhladíme a odečteme odhad kolísání driftu => nelineární filtry
- heuristické algoritmy



## Potlačení rušení filtrace myopotenciálu

- synchronní průměrování (nutno detektovat R špičky)
  - spíše u evokovaných potenciálů
  - překryvání spekter rušení a užitečného signálu
- klouzavé průměry
- dolnopropustné filtry
- wavelety
- dekompoziční techniky



## Detekce signálů v EKG

- obecný postup
  - detekce R špičky (lze i pomocí vzájemné korelace)
  - rozměření QRS komplexu
  - detekce T vlny
- **QRS komplex**
  - Pan-Tompkinsonův algoritmus obecné bloky => PP, diff(x),  $x^2$ , MA, práh (velice robustní)
  - **1.** filtrace pásmová propust => většina energie v pásmu 4–30 Hz
  - **2.** diferenciace – vlastnost QRS komplexu = rychlá změna
  - **3.** umocnění – zvýraznění větších hodnot signálu a potlačení malých hodnot signálu

- určení konce T vlny
- detekce atriaálního signálu
- analýza ST segmentu

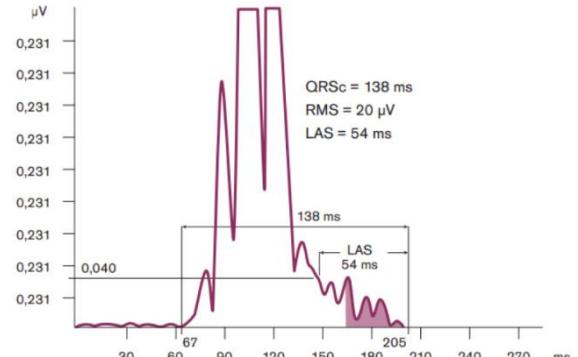
- 4. vyhlazení MA filtrem – např. 30 bodový, vymezíme intervaly, kde se nachází R špička a následně
- 5. prahování – hledáme max v rámci intervalu
- **detection T wave**
  - repolarizační fáze, vždycky po depolarizaci, tedy po QRS
  - 0.6 RR např.
- **detection P wave**
  - složitější kvůli přítomnosti flutteru apod., dělíme na 3 kroky
  - 1. detekce přítomnosti oscilací (fibrilace)
  - 2. detekce vázaných vln
  - 3. detekce nevázaných vln
- **určení začátků a konců vln**
  - trojúhelníková metoda, práh pro překročení derivace
  - tečna ve vlně s maximální strmostí (průsečík tečen)

## 6. přednáška

### Speciální metody EKG

#### Pozdní potenciály

- vzorkovací frekvence aspoň 1 kHz
- pozdní potenciály v oblasti v QRS špičky
- predikce pro pacienty s vysokým rizikem komorové tachykardie
- v posledních 40 ms se stanovuje RMS
- délka kdy pozdní potenciály překročí práh – LAS



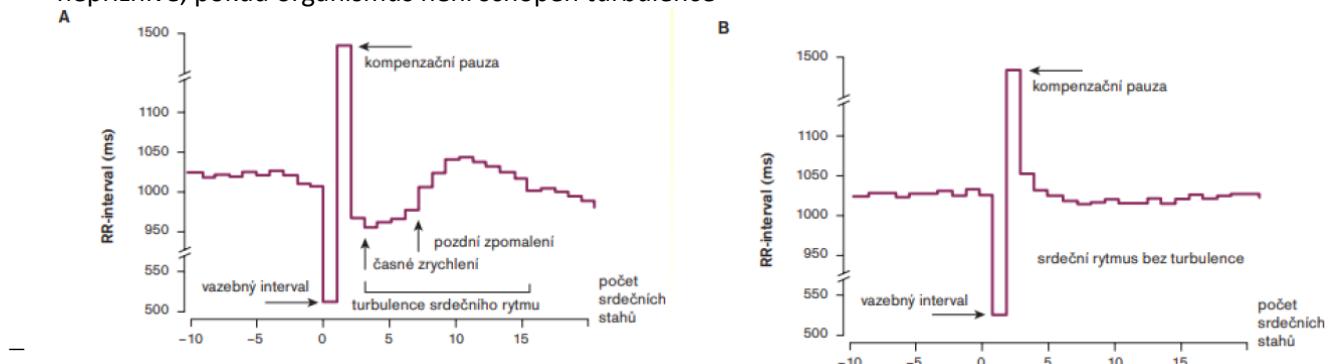
#### Variabilita srdečního rytmu (HRV)

- jev, který reprezentuje stav autonomního nervového systému řídícího srdeční činnost
- **autonomní nervový systém**
  - citlivý zpětnovazebný indikátor změn v organismu
  - **sympatikus** – zrychluje SF,
  - **parasympatikus** – zpomaluje SF, zklidnění
  - **faktory ovlivňující úroveň ANS**
    - negativně: únava, stres, věk, alkohol, spánková deprivace, zatížení, přetížení, přetrénování...
    - pozitivně: obecně regenerace, zdravý životní styl
- v závislosti na stavu a zatížení nervového a kardiovaskulárního systému se srdeční rytmus mění v rozsahu 5–15 %
- **vnitřní faktory** – dány autonomní fyziologickou aktivitou – dýchání, oscilace, tlak krve...
- **vnější faktory** – svalové a psychické zatížení, trávení, poloha, podnebí, počasí, hluk
- **vyhodnocujeme:**
  - **v časové oblasti**
    - NN50 = počet rozdílů následných intervalů RR větších než 50 ms
    - pNN50 = relativní počet rozdílů následných intervalů RR větších než 50 ms vztázený k celkovému počtu intervalů RR v posloupnosti
    - RMSSD = odmocnina ze střední hodnoty čtverců rozdílů následných intervalů RR, používá se vy výzkumu
  - **ve frekvenční oblasti /spektrální**
    - VLF – spektrální výkon v pásmu velmi nízkých frekvencí (0.003-0.04 Hz)
    - LF – spektrální výkon v pásmu nízkých frekvencí (0.04 – 0.15 Hz)
      - obecně marker pro kontrolu sympatiku

- HF – spektrální výkon v pásmu vysokých frekvencí (0.15 – 0.4 Hz)
  - obecně marker pro kontrolu parasympatiku (zjednodušené interpretace)
- LF/HF – poměr spektrálních výkonů
- pomocí nelineárních metod
  - **Poincare plot** – souřadnice určeny dvěma po sobě jdoucími intervaly RR
- HRV (0 – 100)
  - snížené hodnoty u pacientů s temporální epilepsíí
- variabilita srdeční frekvence = uměle respirací (výdech x nádech)

### Turbulence srdečního rytmu

- nepříznivé, pokud organismus není schopen turbulence



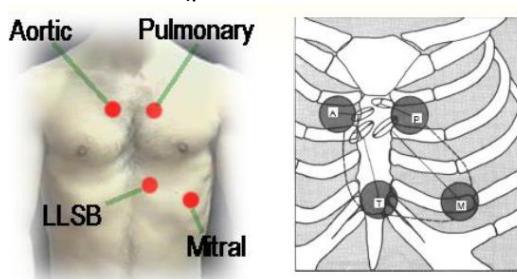
dále – alternace T vlny, hodnocení komorové depolarizace (délka QT, variabilita QT)

### Akustické signály srdce

#### Fonokardiogram

- srdeční chlopně, ozvy
- v srdeci jsou 4 chlopně
  - **dvojcípá mitrální chlopeň**
  - **trojcípá chlopeň**
- opatřeny mikrofonem, filtry
- fonokardiogram = záznam srdečních zvuků a šelestů, které vznikají při činnosti srdce
- dochází k otevírání a zavírání chlopní ke změnám rychlosti proudění krve
- spektrum zvuků a šelestů má diagnostický význam a lze podle něho činnost srdce posuzovat
- **snímací místa** (poslechová místa srdečních ozev)

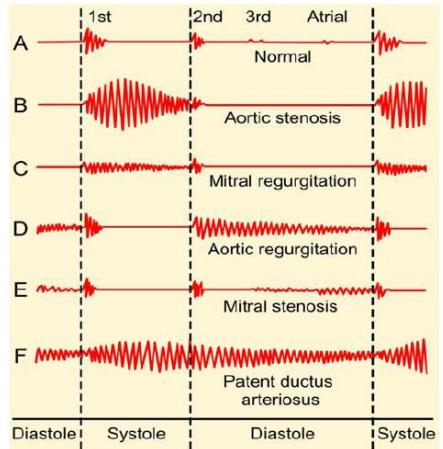
**aortální chlopeň** (poloměsíčitá)  
**chlopeň plicnice** (poloměsíčitá)



#### I. ozva

- systolická, prudké zaklapnutí chlopní je provázeno zvukem
- způsobena systolou komor, při níž dochází k náhlému uzavření a.v. chlopní
- počátek koinciduje s vrcholem R vlny
- **složky**
  - kmity a.v. chlopní při jejich uzavření na začátku systoly
  - kmity stěn srdečních komor, otevření aortálních a pulmonálních chlopní

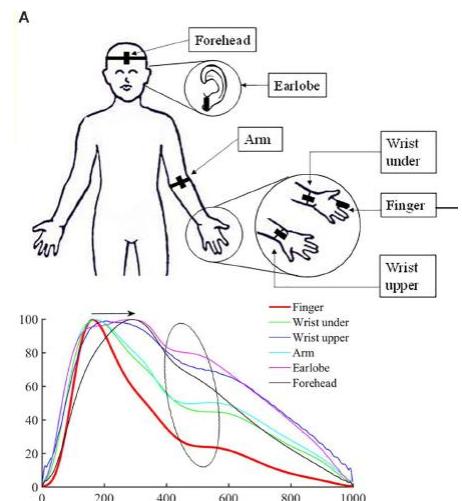
- výření krve na začátku velkých tepen
- **II. ozva**
  - diastolická, způsobena uzavřením poloměsíčitých chlopní na začátku diastoly
  - intenzita kolísá s výší krevního tlaku chlopní je provázeno zvukem
  - ke konci T vlny, vyšší, náhlá, jasná
- **III. a IV ozva**
  -  žně slyšitelné, významně nižší úroveň signálu
  - III. vlna = během vlny U (konec rychlého plnění komory)
  - IV. ozva = těsně před komplexem QRS
- **šelesty**
  - důsledek výření krve, déle než normální ozvy
  - **patologické** (chlopňové vady)
  - **fyziologické**
    - nitrosrdeční a nitrocévní, mimosrdeční (v plicích)
- **vady**
  - mitrální stenóza (zúžení mitrální chlopny, levá síň se může zvětšovat)
  - mitrální regurgitace (polootevřené, zjizvené, nedovírají se)
  - aortální stenóza (zúžení aorty)
  - zúžení plicnice
  - trikuspidální nedomykavost
  - systémová hypertenze (zesílená druhá ozva)



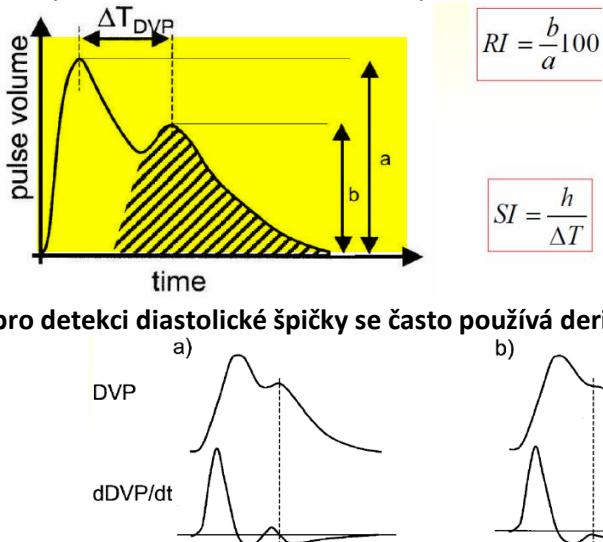
### Mechanické signály srdce

#### Pletysmogram

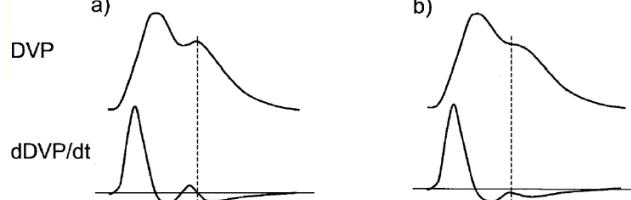
- pulsní vlna, HRV
- rychlosť šírenia pulsnej vlny
- **pulzní vlna**
  - během systoly (vypuzení krve z levé komory do velkého oběhu)
  - arteriální systém se s tímto rychle vypuzeným objemem vyrovnává svou elasticitou
  - pulz bezprostředně po systole prohází celým arteriálním systémem velkou rychlosťí
- 
- nemožné vytvořit normy, které berou do úvahy všechny vlivy ovlivňující tvar a rychlosť (věk, místo snímání, pohlaví, genetická zátěž, kouření, obezita, diabetes apod.)
- **pletysmogram** = změna objemu tkáně v závislosti na okamžitých změnách krevního tlaku
  - dánou pružností krevního řečiště včetně tkáně, která ho obklopuje
  - z objemových změn tkáně v daném místě lze hodnotit změny jejího prokrvení
- **princip** = pneumatické, kapacitní, impedanční, fotoelektrické



- fotoelektrický pletysmograf (1:13)
  - průsvitový
  - reflexní = založený na snímání IR světla, které prochází skrze kapilární řečiště, změny tlaku krve souvisejících s činností srdce, mění se objem kapilár a způsobuje změnu absorpce, odrazu a rozptylu světla
  - z pulzní vlny můžeme vyhodnocovat různé parametry
    - index odrazu
    - míra pružnosti (Stiffness Index) velkých artérií



- pro detekci diastolické špičky se často používá derivace průběhu



### Pulsní oxymetrie

- měření kyslíkové saturace krve, využití Lambertova-Beerova zákona
- realizována 2 pletysmogramy
- dvojice LED (červená a IR) prosvětlení tkáně, měříme poměr absorbancí tkáně na dvou vlnových délkách

### Polygrafické metody

#### Detektor lži (polygraf)

- krevní tlak, srdeční frekvence, **sekvence otázek**
- elektrický odporník kůže, dýchaní, velikost zornice oka

#### Polysomnografie

- stanovení fáze spánku

#### Polykardiografie

- elektrokardiografie = záznam el. činnosti srdce, vyhodnocení součtu akčních potenciálů
- fonokardiografie = metoda snímající srdeční ozvy, případně šelesty, vznikající patologickými změnami srdečních chlopních
- pletysmografie = talkové změny odrážející činnost levého srdce
- **vliv dýchaní**

## 7. přednáška

### Signály mozku I (EEG)

#### Elektroencefalogram EEG

- je grafická reprezentace časové závislosti rozdílu elektrických potenciálů snímaných z elektrod na povrchu hlavy (skalp), které vznikají jako důsledek spontánní elektrické aktivity mozku

- v každém svodu snímá střední úroveň vzniku lokální skupiny neuronů, které leží v určité oblasti mozkové kůry
- umožňuje hodnotit
  - onemocnění epilepsí
  - různé formy poškození mozku
  - poruchy CNS
- v řadě zemí pro definici mozkové smrti
- monitorování hloubky anestezie při operacích
- brain computer interface

## **Elektrická aktivita mozku**

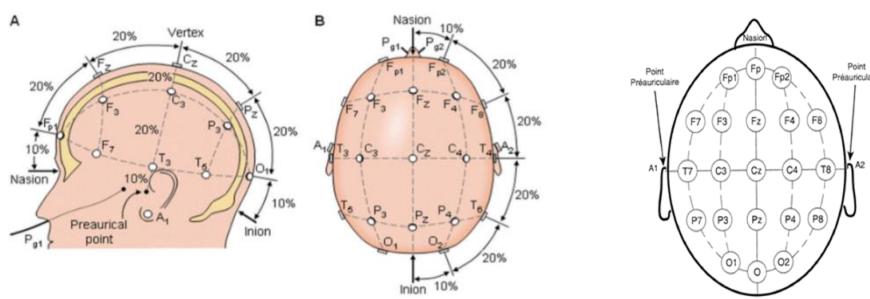
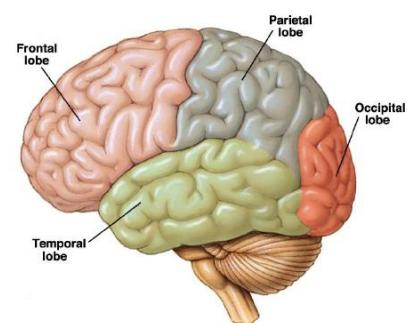
- vzniká synchronizací činnosti neuronů kůry mozku, především synchronizací membránových potenciálů synaptodendrických struktur
- do činnosti zasahuje thalamus

## **Mozkové laloky**

- čelní (frontální)
- temenní (parietální)
- týlní (okcipitální)
- spánkový (temporální)

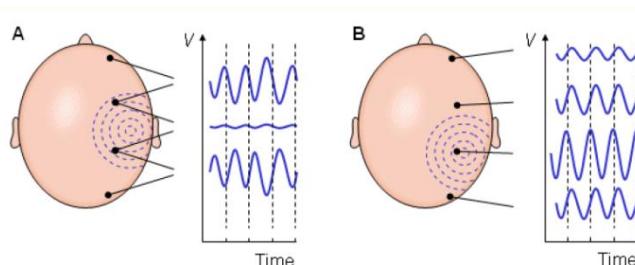
## **Systém rozložení elektrod 10/20**

- založeno na mozkových lalocích
- referenční svorky A1, A2 na ušních lalůčcích,
- orientační body kořen nosu N, a I na týlu
- různé roviny – Fp, F, C, P, O
- sudá x lichá čísla
- není potřeba hustší síť (zádný významný příspěvek pro diagnostiku)



- **Písmena**
  - F ... frontální (přední)
  - Fp ... frontopolární (přední kolem pólu)
  - C ... centrální (střední)
  - P ... parietální (temenní)
  - T ... temporální (spánkové)
  - O ... okcipitální (týlní)
- **Čísla**
  - sudá ... pravá hemisféra
  - lichá ... levá hemisféra

- **základní typy zapojení**
  - bipolární
    - určuje pouze relativní amplitudy a polarity
    - vícezáčné ploché křivky
    - odolnější na artefakty, umožňuje přesnou lokalizaci ložiska
    - **různé druhy zapojení**
      - longitudinální (spojení lichých a sudých)
      - transverzální (napříč)
  - referenční – nyní vše referenčně, digitálně se přepíná mezi bipolárním a referenčním
    - větší vlny, větší dynamika
    - horší lokalizace než u bipolárního zapojení
    - kontaminace referenční elektrody
  - zprůměrovaný



## Požadavky na EEG přístroj

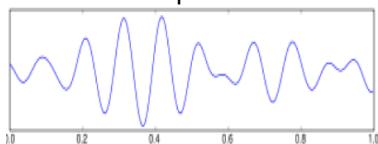
- frekvenční obsah
  - spontánní EEG (0-70 Hz)
  - evokované potenciály (až do 3 kHz)
  - spodní hranice vzorkovací frekvence je 200 Hz
- mezní frekvence HP je 0.5 Hz
- mezní frekvence DP je 70 Hz
- sítový filtr používat minimálně
- dynamický rozsah +/- 500  $\mu$ V (kvantování 12 bitů)
- minimální počet kanálů je 8

## Hodnocení EEG a způsoby zobrazení

- nativní záznam
- aktivační metody (doplňení v nejasných případech)
  - hyperventilace, spánková deprivace
  - fotostimulace (v temné místnosti záblesky s různou frekvencí)
  - farmakologická stimulace

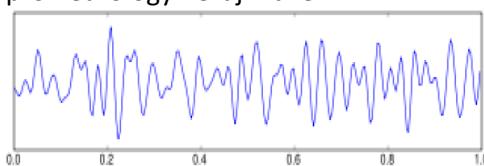
## Alfa vlny

- výraznější = zavřené oči
- pro zdravé dospělé jedince
- nevidomé osoby od narození nemají alfa vlny
- charakteristika
  - frekvence 8-13 Hz
  - amplituda 20–100  $\mu$ V
- lokalizace okcipitálně



## Beta vlny

- charakteristika
  - frekvence – 14–30 Hz
  - amplituda 2-20  $\mu$ V
- při duševní aktivitě, lokalizace frontálně
- pro neurology nezajímavé



## Méně běžné vlny

- **mu vlny** (stav zvýšené pozornosti)
  - ostré špičky, zakulacená spodní částí
  - frekvence 8-13 Hz
- **lambda vlny** (trojúhelníkový tvar)

## Ontogeneze vln

- 0-1 nepravidelná delta
- 1-3 dominantní theta 4-7 Hz
- 3-6 prealfa v pásmu théta vln 6-8 Hz
- 5-7 objevuje se alfa

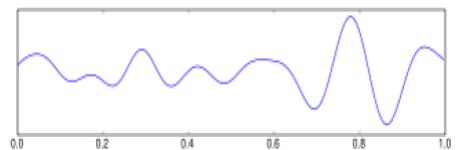
## Normální EEG v dospělosti

- základní rytmus – alfa aktivita (8-13 Hz, amplituda 30 - 80  $\mu$ V)
- alfa aktivita = vlastnost zdravého bdělého mozku při zavřených očích
- mírná asymetrie – ascendenta strmější než descendenta
- při mentální zátěži větší symetrie

- celkem alespoň 20 min
- **časová oblast**
  - morfologie vln, hroty
  - amplituda (20-100  $\mu$ V)
  - frekvence
- **frekvenční oblast**
- mapování

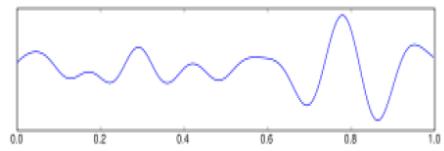
## Theta vlny

- u dětí OK, stav usínání
- charakteristika
  - frekvence 4-8 Hz
  - amplituda 20 – 100  $\mu$ V
- lokalizace frontálně, centrálně



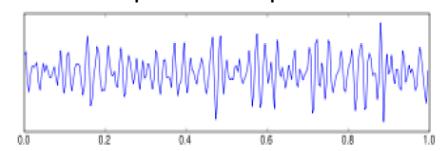
## Delta vlny

- pokud člověk nespí, tak alarmující => tumor
- charakteristika
  - o frekvence 0.5 – 4 Hz
  - o amplituda 20 – 200  $\mu$ V
- stav spánku



## Gama vlny

- pro predikci epilepsie
- lokalizace centrálně a okcipitálně
- stav volný pohyb, myšlení
- charakteristika
  - frekvence 30-50 (70) Hz
  - amplituda 3-5  $\mu$ V



Rytmus	Frekvence (Hz)	Amplituda ( $\mu$ V)	Stav & Lokalizace
Alpha( $\alpha$ )	8 – 13	50 – 100	dospělí, relaxované bdění, zavřené oči, okcipitálně
Beta( $\beta$ )	14 – 30	20	dospělí, duševní aktivitě frontálně
Theta( $\theta$ )	4 – 7,5	nad 50	děti, dospělí při usínání, úzkost frontálně, centrálně
Delta( $\delta$ )	0,5 – 3,5	nad 50	spánek

## Analýza EEG v neurologii

- 3 oblasti zájmu
  - spontánní nezáchvatovitá aktivita
  - spontánní záchvatovitá aktivita
  - evokované potenciály

## Elektrokortikogram ECoG

- invazivní EEG

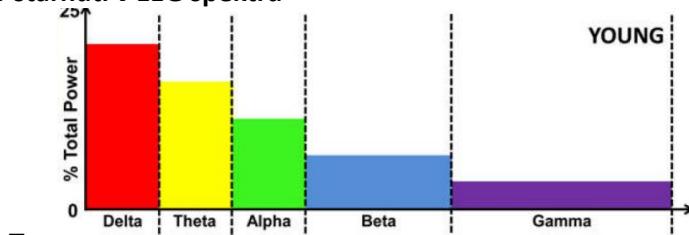
## 8.přednáška

### Artefakty v EEG

#### Druhy artefaktů

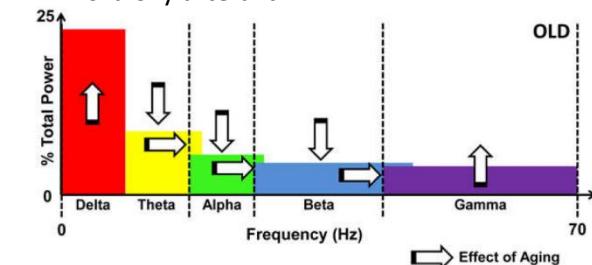
- artefakt = nemá fyziologický původ ve vyšetřovaném orgánu
- **artefakty z prostředí**
  - síťový artefakt (50/60 Hz)
- **artefakty z přístroje**
  - elektrodový artefakt (špatný kontakt)
  - solný můstek (příliš mnoho gelu, propojení kontaktů – nulové napětí mezi sousedními kanály)

#### Vliv stárnutí v EEG spektru



#### biologické artefakty

- EKG artefakt
- EKG artefakt z kardiostimulátoru
- pulsový artefakt
- oční artefakt z pohybu očí, zavření ...
- artefakt z pocení
- svalový artefakt



### Abnormální EEG

#### Abnormality základní aktivity

- **demens**
  - nárůst delty a posun alphy do oblasti théty
- **zhmoždění**
  - po úrazech apod.

- **absces, otok**
- **nádory**
- **CMP (cévní mozková příhoda)**

#### Paroxysmální abnormality (záchvatové)

- **periodické**
  - nemoc šílených krav
- **epileptiformní**
  - incidence epilepsie – výraznější v raném dětství a pozdějším stáří
  - **interiktální** (sledovatelné mezi záchvaty)
    - **ložiskové** (parciální, fokální) = vychází z určitého místa
    - **generalizované** (doprovázeno poruchou vědomí)
      - tonicko-klonické záchvaty
      - temporální záchvat
  - **iktální**
  - **grafoelementy popisující záchvatovou aktivitu**
    - hrot, ostré vlny, komplexy hrot/vlna
    - paroxysmální pomalé vlny
    - **zvrat fáze** = současná výchylka amplitudy opačným směrem ve dvou nebo více kanálech (pouze v bipolárním zapojení)
    - **dětská absence** (komplexy hrot/vlna 3 Hz)

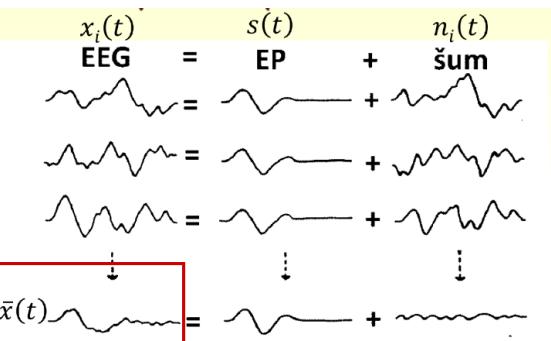
## Detekce epileptiformní aktivity

- porovnávání vzorců – korelace
- přizpůsobené filtry

## Evokované potenciály

### Synchronní průměrování

- technika používaná pro analýzu evokovaných potenciálů
- předpoklady
  - odpověď časově invariantní
  - aditivní šum
    - stacionární
    - nekorelovaný
    - střední hodnota rovna nule
- index  $i = i$ -tá realizace
- $\frac{S}{N} \rightarrow \sqrt{N}$
- , poměr signál/šum roste s odmocninou realizací



### Evokované potenciály

- reakce mozku na senzorický podnět – zrakové x sluchové x somatosenzorické
- zaznamenáváme pomocí EEG s vyšší fs (alespoň 3 kHz)
- velmi slabé signály
- analýza tvaru vlny poskytuje informace o abnormalitách a lézích příslušné nervové dráhy

### Šíření evokovaných potenciálů

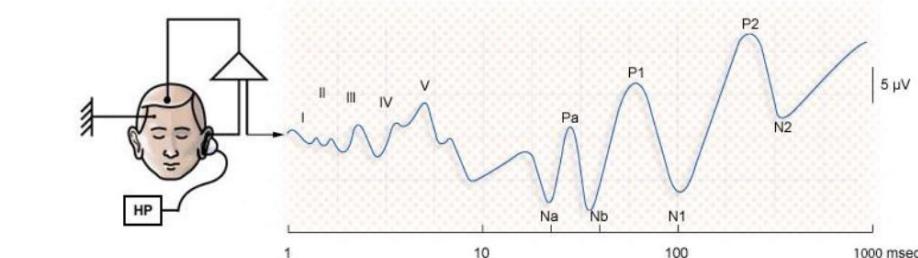
- nadprahový stimul evokuje elektrický impuls senzorických nervových buněk
- impulzy se šíří podél nervových vláken v mozku
- ve složitých strukturách kůry jsou impulzy zesíleny a zpomaleny

### Analýza evokovaných potenciálů

- z odezvy se odečtu charakteristické vlny
- měření se porovnává s normou
  - 1-kanálová analýza
  - více kanálová analýza
  - normy pro každou laboratoř a věk
- **analýza tvaru křivky**
  - P1, N1, P2 ...
  - I, II, III, IV, V....
  - P100

### Sluchové EP (AEP)

- stimulace = krátké zvukové impulzy do jednoho ucha
  - cvaknutí 100 µs
  - tón (pípnutí)
  - opakovací frekvenci stimulů 1-50 Hz
  - 2000 stimulů
- není nutná spolupráce pacienta (i u kojenců ve spánku apod.)
- nejslabší z potenciálů
- snímání - +Cz, -A1, ref A2
- AEP popisují, jak se informace šíří z akustického nervu do kúry



- dělíme dle latence

latence	odpověď	
0 až 20 ms	časná, mozkového kmene	BAEP – brainstem auditory EP
20 až 70 ms	střední korová	MLR – middle latency response
70 až 500 ms	pozdní korová	SVP – slow vertex response

- **diagnostické aplikace**

- charakteristická struktura vln
- typické je kliknutí 70-80 dB
- hledání vln I, III, V a intervalů III-V apod.
- diagnostika akustického neuronu a sluchové neuropatie
- diagnóza RS

- **screeningová aplikace**

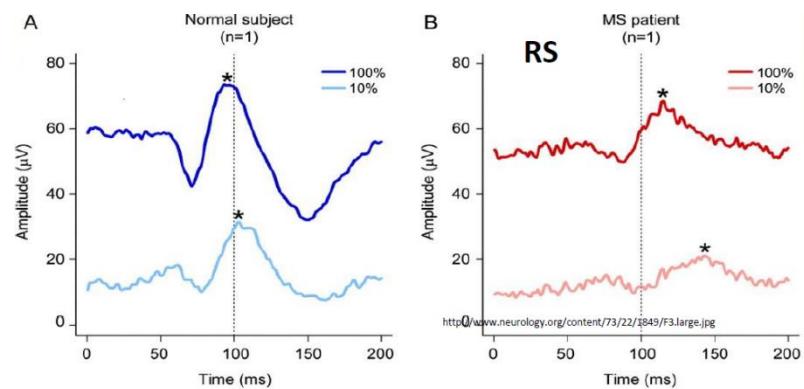
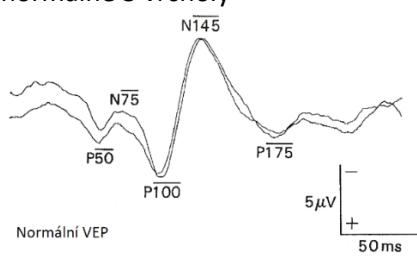
- stimulační kliknutí 30-50 dB
- hledání V. vlny
- screening novorozenců
- monitorování hloubky anestézie, během operací a mozku

- **vlivy**

- biologické – věk, pohlaví, tělesná teplota
- technické – frekvence a intenzita stimulace

### Zrakové evokované potenciály VEP

- zrakové stimuly nejčastěji monitor s černobílou šachovnicí, ve které se rytmicky střídají černá a bílá pole
  - 100 stimulu
  - 1 Hz
  - průměrovaný signál 5 – 10  $\mu$ V
- lze využít i záblesky
- snímání – okcipitálně => O1, O2, Cz
- normálně 3 vrcholy



- **vlivy**

- věk, zraková ostrost
- tělesná teplota, pohlaví
- nespolupráce, užití léku
- dominance oka

- **aplikace**

- diagnózy roztroušené sklerózy
- patologie dráhy očního nervu
- diagnóza rozdílu mezi levým a pravým viděním

### Somatosenzorické evokované potenciály SEP

- odezvy na hmatové vjemy (mechanický, teplotní, bolestivý stimul) nejčastěji z horních a dolních končetin
- elektrický stimuly, laserové stimuly, průměrované napětí 5-10  $\mu$ V
- snímání C3 C4 Cz
- SEP se objevují s časovým zpožděním v závislosti na místu stimulace a dráze, kterou musí vzruch urazit do mozku

- rané evokované potenciály jsou klinicky nejvýznamnější – 25-100 ms v primární somatosenzorické kúře (S1)
- později se aktivují asociační sekundární somatosenzorické kúry
- energeticky největší měřitelná odpověď je uváděna v čase mezi 150-200 ms po stimulu na negativní vlně N175
- **aplikace**
  - diagnózy neuropatií, roztroušené sklerózy a demyelinizace nervů
  - hodnocení postižení krční míchy a periferního nervstva
  - monitorování při operacích páteře
  - monitorování hloubky kómatu

### **Motorické evokované potenciály**

- stimul na hlavě
- diagnostika funkční integrity motorických drah
- aplikace
  - diagnóza roztroušené sklerózy
  - onemocnění motorického neuronu

## **9. přednáška**

### **EEG III intrakraniální EEG**

### **Epilepsie**

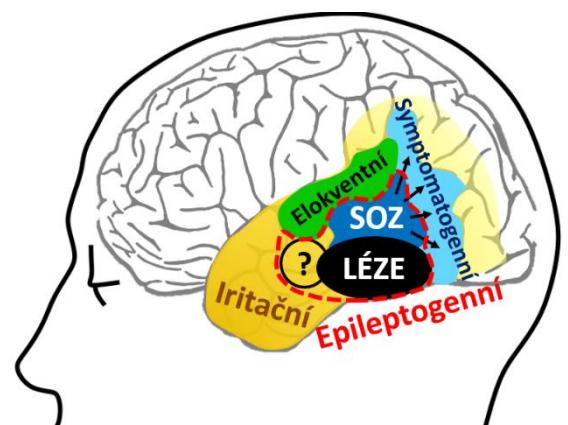
- chronické neurologické onemocnění
- zhruba do 1% populace
- vrozené i získané
- příčina často neznámá, po mrtvici, trauma, nádor
- **spontánní vznik záchvatů**
  - s/bez poruchy vědomí
  - s/bez motorických projevů
  - různé projevy a různé intenzity (např. i nekontrolovaný smích)
- **vznik záchvatu**
  - různé vnější vlivy ovlivňují výskyt záchvatu
- **léčba**
  - dieta
  - pravidelný spánek
  - bez stresu a provokací
  - léky = tlumí, regulují, či modulují aktivitu, třetina pacientu je rezistentní

### **Koncept epileptických zón**

- makroskopická léze (abnormální tkáň, který sama o sobě nemusí být epileptogenní)
- na okraji ovšem vznikají oblasti záchvatu
- symptomatogenní oblast = kam se šíří záchvat
- elokventní kúra = oblast mozku zodpovědná za nějakou kognitivní funkci
- iritační zóna = sama o sobě negeneruje záchvaty, ale do budoucna může, není homogenní, dá se rozdělit (pomocí clusterů)
- **chirurgická léčba** = odstranit lézi, ale nepoškodit elokventní kúru

### **Lokalizace epileptogenní zóny**

- rodinná, osobní anamnéza
  - dědičnost, choroby, okolnosti záchvatu
  - úraz, metabolická porucha, čistě psychogenní příčina 10-20 %
- zobrazovací vyšetření
  - CT
  - MRI
  - Metabolická zobrazení – PET, SPECT
- elektrofyziológická vyšetření
  - povrchové EEG
  - video EEG

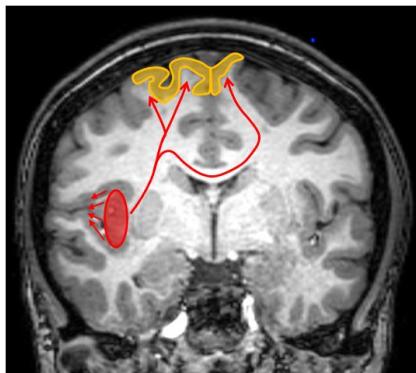


### Video EEG vyšetření

- sémiologie záchvatů (jak postupuje záchvat)
- elektrofyziologie
- 10-20 standardizace

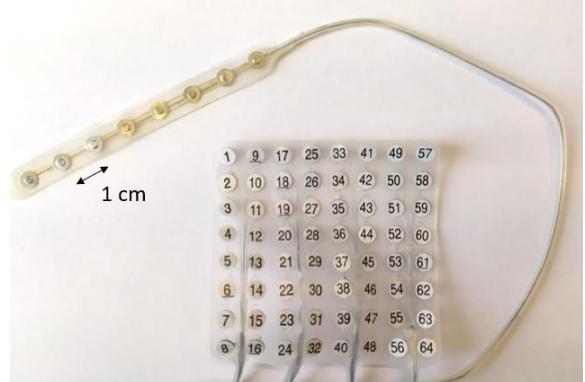
### Zdroj x sekundární aktivace x propagace

- ložisko v hloubce – anatomicky oddělené, slabý zdroj, propagace drahami
- lokalizace sekundární oblasti



### High-density EEG

- 64-256 kontaktů
- inverzní úloha
- odhad inverzní úlohy pomocí dekonvoluce



### Intrakraniální EEG

- pro farmakorezistentní fokální epilepsie
- kde je potřeba vymezit hranice epileptogenní zóny a eloventních oblastí
- implantace nitrolebních elektrod
  - ECoG
  - SEEG (nyní)
  - 7-21 dní video iEEG monitorace

### Koregistrace obrazů (MR + CT)

- vyšetření se musí zarovnat
- MR před operací, CT zobrazí místo elektrod
- nutno přesně lokalizovat kontakt – bývá až 300 kontaktů
  - anatomický atlas (struktura, tkáň)
  - MNI normalizace (univerzální koordinační systém)
  - 3D modely

### iEEG monitorace

- **záznam 24/7 video EEG**
  - až 256 kanálů ( $fs = 16 \text{ kHz}$ )  $> 100 \text{ GB /den}$  (bez videí)
  - 0-800 Hz
  - záchyt záchvatu
  - interiktální aktivita = mezi záchvatová aktivita
- **přímá elektrická stimulace**
  - stimulace záchvatu
  - mapování funkčních oblastí
- **výzkum kognitivních funkcí**
  - zpracování podmětů
  - aréna (ego/allocentrické úkoly)
  - brain machine interface

### Kvantitativní EEG

- přepis parametrů EEG do čísel
- **interiktální aktivita**
  - IED, REDs, hrot s dobou trvání do 100 ms
- zpětně vizualizovat do jednotlivých kontaktů elektrod

### – hodnocení iEEG

- klinické
  - vizuálně
  - subjektivní, zkušenost
  - extrémně časové náročné
  - ignorování nenápadných jevů
- počítačové zpracování
  - kvantitativní hodnocení
  - digitální zpracování signálů
  - strojové učení a umělá inteligence
  - big data
  - dolování dat = složité kauzální jevy

### Zóna počátku záchvatů SOZ

- iktální aktivita
  - začátek SOZ
  - co je zdroj a co je sekundární propagace?  
=> teorie grafů
- SOZ = aktivní zdroj
- symptomatogenní oblast = oblast šíření

### Kortikální elektrické stimulace

- mapování elokventních oblastí (ESM)
  - řečová centra = halucinace
  - senzomotorická oblast = boxerský úder
  - vizuální kortex

### Stratifikace podtypu FCD (fokální kortikální dysplazie)

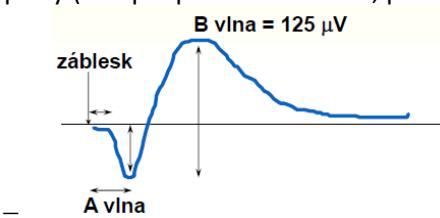
- **typ I**
  - IA
  - IB = nezralé neurony
  - částečně funkční, rozsáhlejší léze
  - často MRI negativní
- **typ II**
  - disfunkční tkáň, fokální léze
  - IIA = dysmorfní neurony
  - IIB = balónovité buňky
  - potvrzeny až po operaci

## 10. přednáška

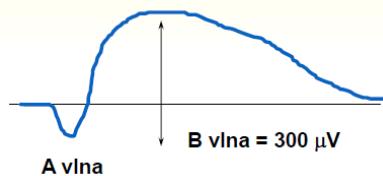
### Biosignály oka a spánek

#### Elektroretinogram (ERG)

- záznam akčních potenciálů, které vzniknou na sítnici při světelné stimulaci (záblesk)
- fotopický (oko přizpůsobeno světlu, potenciál tvořen čípkou)



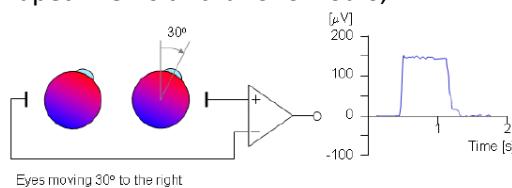
- skotopický (oko přizpůsobené tmou, potenciál tvořen tyčinkami)



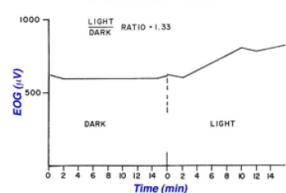
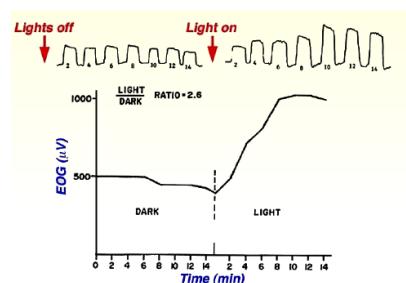
- speciální elektrody, hodnotí se latence jednotlivých vln
- vrozená šeroslepost (negativní vlna v obou testech, EOG normální)

#### Elektrokulogram (EOG)

- horizontální svody okolo oka
- napětí mezi sítnicí a rohovkou 0,4 – 1 mV

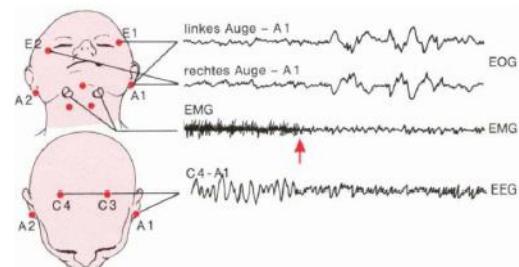
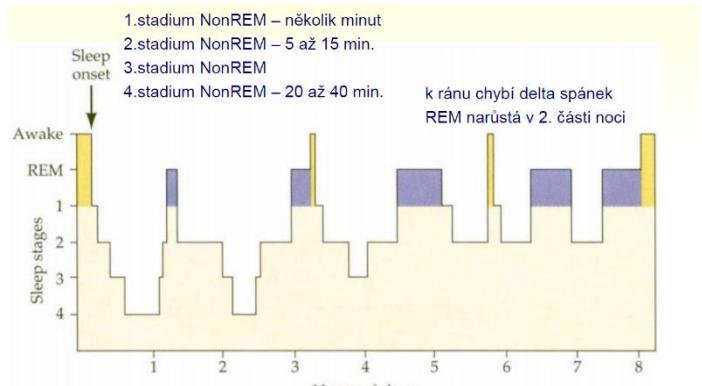


- patologická sítnice = nenaběhne do vysokých hodnot
- hodnocení funkčnosti okohybných stavů
- hodnocení asymetrie, polysomnografie
- charakteristické oční pohyby při čtení



## Polysomnografie

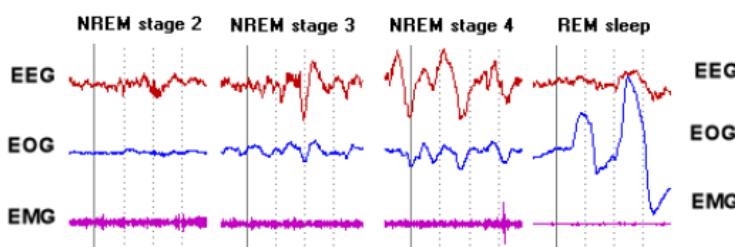
- spánkové cykly
  - bdělost
  - 1. stadium NonREM
  - 2. stadium NonREM
  - 3. a 4. stadium NonREM
  - REM spánek
  - obecně NREM odpočívá těla a mysl
  - obecně REM mysl aktivní, odpojená od těla
- poruchy spánku
- diagnostická metoda při vyšetřování poruch spánku
- provádí se simultánní záznam mnoha parametrů
- na základě analýzy dat lze rozlišit fáze spánku a typ poruchy
- **vyšetření:**
  - EEG – min. 2 svody (C4-A1, C3-A2) 2-20 Hz
  - pro rozlišení bdělosti a diagnostiky určité NREM fáze
  - EOG – oční pohyby 2 svody 2-20 Hz
  - EMG – svalstvo brady 1 svod 10-90 Hz
  - EMG svalstvo končetin
  - EKG
  - průtok vzduchu před nosem a ústy
  - tmavá zvukotěsná místoost, 12-16 kanálů
  - běžně 1 noc – 4 noci placebo pak natočení



- pohyby při dýchání
- saturace krve O<sub>2</sub>
- poloha těla
- video, mikrofon

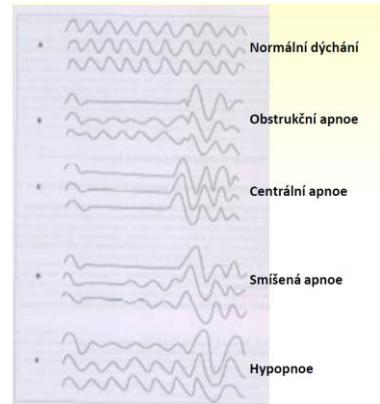
## Spánek

- jedna ze základní fyziologických potřeb
- regenerace CNS a celého těla
- konzervace energie – pokles bazálního metabolismu (hlavně při delta spánku)
- důležitý pro plasticitu neuronů (utváření krátkodobé a dlouhodobé paměti)
- stádia
  - **bdělost**
    - EEG – při zavřených očích alpha aktivita
    - EOG – rychlé pohyby očí
    - EMG – tonická aktivita vyšší amplitudy
  - **1. NonREM**
    - EEG – rozpad alpha aktivity převládá theta
    - EOG – pomalé pohyby
    - EMG – klesá tonická aktivita
  - **2. NonREM**
    - EEG – theta aktivity, K-komplexy, vřeténka
    - EOG – bez pohybu
    - EMG – mírná tonická aktivita
  - traduje se, že vzbudit v delta spánku = nepříjemné
- **3. a 4. NonREM**
  - EEG – delta spánek
  - EOG – bez pohybů (přenáší se delta)
  - EMG – velmi nízká tonická aktivita svalů brady
- **REM spánek**
  - EEG – nízkovoltážní desynchronizovaná aktivita
  - EOG – nepravidelné rychlé oční pohyby
  - EMG – atonie, nepravidelné tonické projevy
  - nepravidelný dech a srdce
  - sny, erekce

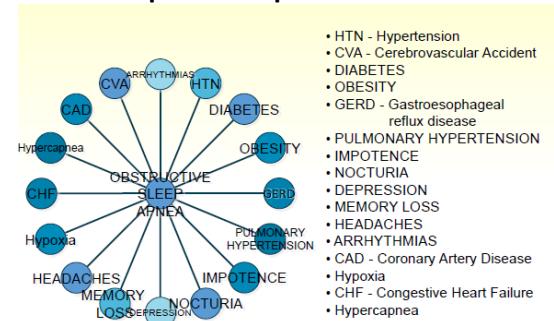


## Poruchy spánku

- výskyt vzrůstá s narůstajícím věkem
- **syndrom spánkové apnoe**
  - snížený svalový tonus
  - zapadávání jazyk
  - uzavírání trubice během spánku
  - zvýšená únava
  - bolesti hlavy
  - postižení oběhového systému
- **polygrafie**
  - AHI – apnoe
  - ODI – oxygen desaturation index
  - T90 – čas se saturací pod 90% (norma 0)
  - OA = obstrukční spánková apnoe – příčina mechanická (léčba redukce hmotnosti, spát na boku, chirurgická léčba)
- **OSA – obstrukční spánková apnoe**



- CA = centrální spánková apnoe – příčina v CNS
- MA = smíšená apnoe
- SI = index chrápání
- HY = hypopnoe (snížení dechového objemu)



- **syndrom neklidných nohou** = nepříjemné pocity na končetinách, pohyb brání v usnutí
- **narkolepsie** = náhlá celková ztráta svalového tonu po emotivní reakci
- **parasomnie** = stavy abnormálního chování, poruchy probouzecích mechanismů, poruchy přechodu spánek – bdění

## 11. přednáška

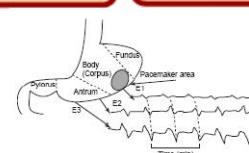
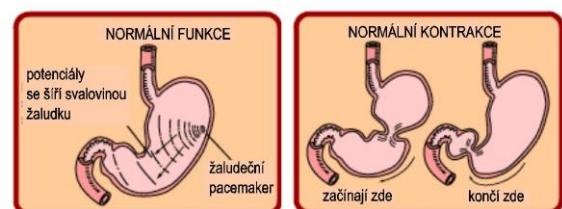
### Elektrogastogram

#### Žaludek

- činnost žaludku souvisí s el. aktivitou, vzniká ve třech částech

#### Potíže trávicího traktu

- **gastroparéza**
  - porucha vyprazdňování žaludku
  - doprovází nevolností, zvracením
  - dobré se vyhýbat tučným jídlům a přebytkům vlákniny
- **reflux** = návrat žaludeční štáv do jícnu
- **nauzea** = pocit na zvracení
- **žaludeční vřed** – monitorování pomocí pH metru
- **syndrom dráždivého střeva** – nejčastější ze stresu



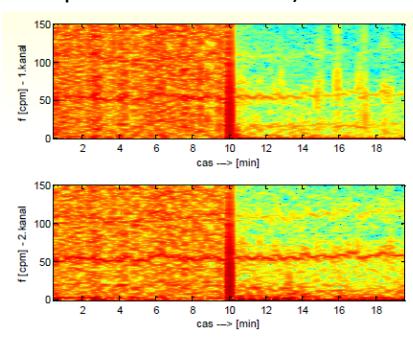
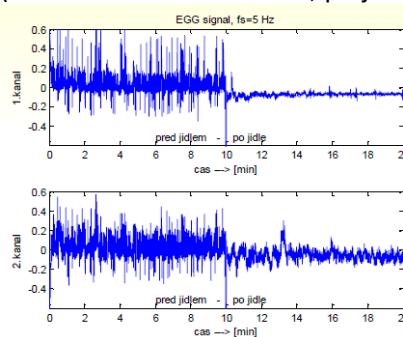
#### Elektrogastrogram

- zaznamenává bioelektrické potenciály žaludku, pohyby vegetativního systému a hladkého svalstva, projeví se tračník, dvanáctník, tenké střevo...
- elektrody na břišní stěnu

- není přesně definováno umístění elektrod
- experimentální význam – výzkum v souvislosti s diabetem

	<i>složení EGG</i>	<i>frekvence [Hz]</i>	<i>frekvence [cpm]</i>
signál	gastrické pomalé vlny <b>-normální EGG</b> -bradygastrie -tachygastrie	0,008 – 0,165 0,04 – 0,06 0,008 – 0,040 0,040 – 0,165	0,5 – 9,9 <b>2,4 – 3,6</b> 0,5 – 2,4 3,6 – 9,9
šum	dech tenké střevo EKG pohybové artefakty	0,20 – 0,40 0,13 – 0,20 1,0 – 1,3 v celém rozsahu	12 – 24 8 – 12 60 – 80 v celém rozsahu

- signály: (na lačno dominantní 3 Hz, po jídle se zmenší amplituda a frekvence)

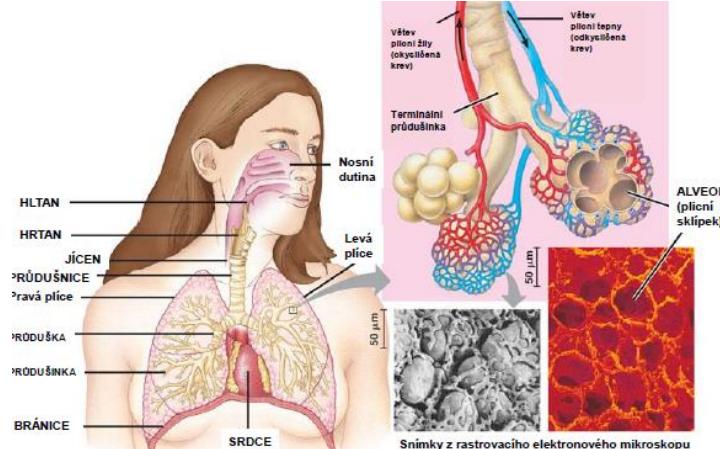


- používá se 30 bodový klouzavý průměr pro vyhodnocení v časové oblasti

### Plicní funkce

#### Anatomie a funkce plic

- jedny z největších orgánů v těle
- dochází zde k oxysklení krve
- vnější a vnitřní respirace
- **základní funkce**
  - dodávat tělu kyslík
- na úrovni alveol = výměna krevních plynů
- párový orgán, pravá 3 laloky, levá 2 laloky (kvůli srdci)
- plíce – průdušnice – průduška – průdušinka – plicní sklípky



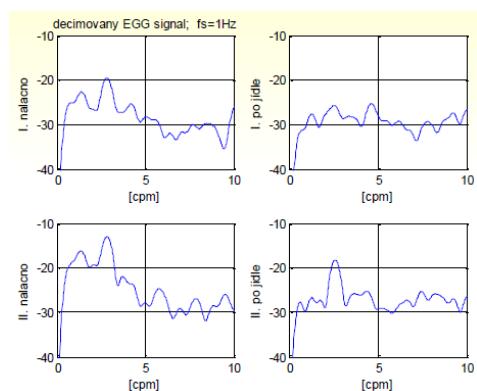
#### Spirometrie

- základní funkční vyšetření plic
- popisuje
  - plicní objemy
    - 4 objemy
    - 4 kapacity – součet dvou či více plicních objemů
  - plicní ventilaci

#### Objemy

- **dechový objem (Tidal Volume TV)**
  - klidový – 0,5 l
  - objem vzduchu vyměňovaný při normálním klidovém dýchání
- **inspirační rezervní objem (IRV)**
  - objem vzduchu, který může být ještě vdechnut na konci běžného klidového nádechu
  - muži 3,3 l, dívky 1,9 l
- **expirační rezervní objem (ERV)**
  - objem vzduchu, který může být ještě vydechnut na konci běžného klidového výdechu
  - stejná pro muže a ženy, zhruba 1,1 l

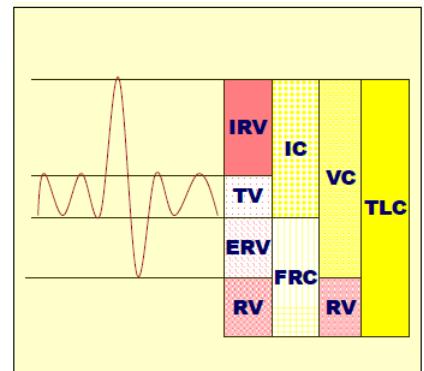
#### decimovaný EGG signál



- **reziduální objem (RV)**
  - objem vzduchu, který se z plic nikdy nevydechne

#### Kapacity

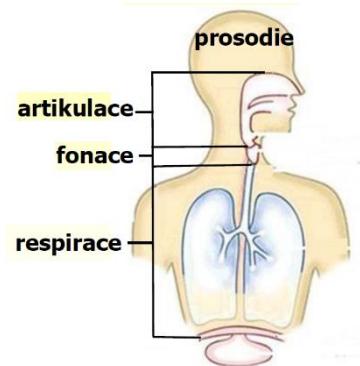
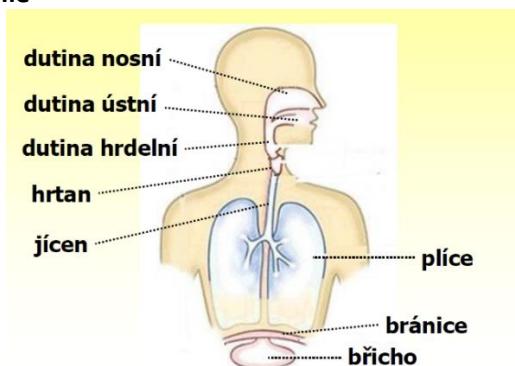
- **vitální kapacita (VC)**
  - maximální objem vzduchu, který lze vyměnit
  - $VC = IRV + TV + ERV$
- **inspirační kapacita (IC)**
  - maximální objem vzduchu, který lze nadechnout
  - $IC = IRV + TV$
- **funkční reziduální kapacita (FRC)**
  - objem, který při běžném dýchání zůstává nevydechnutý
  - $FRC = ERV + RV$
- **celková kapacita plic (TLC)**
  - celkový objem plic
  - $TLC = IRV + TV + ERV + RV$



#### 12. přednáška

#### Hlas a řeč

##### Anatomie



- z plic výdechový proud, prochází hlasivkami, ty jsou buď uzavřené nebo otevřené
- respirace
- fonace = vibrace hlasivek a hrtanu vytvářejících zvuk
  - f0, jitter, shimmer
- artikulace = modifikace pozice a tvaru řečových orgánů => tvorba hlásek
- prosodie = vyšší úroveň jazyka – změny hlasitosti, časování při tvorbě řeči, melodie...

##### Akustický model

- pásmové propusti a rezonátory pro modelování hlasového ústrojí
- jitter a shimmer = přirozená nestabilita
- samohlásky modelované pomocí formantových frekvencí

	I	E	A	O	U
F1	300 .. 500	480 .. 700	700 .. 1100	500 .. 700	300 .. 500
F2	2000 .. 2800	1560 .. 2100	1100 .. 1500	850 .. 1200	600 .. 1000
F3	2600 .. 3500	2500 .. 3000	2500 .. 3000	2500 .. 3000	2400 .. 2900

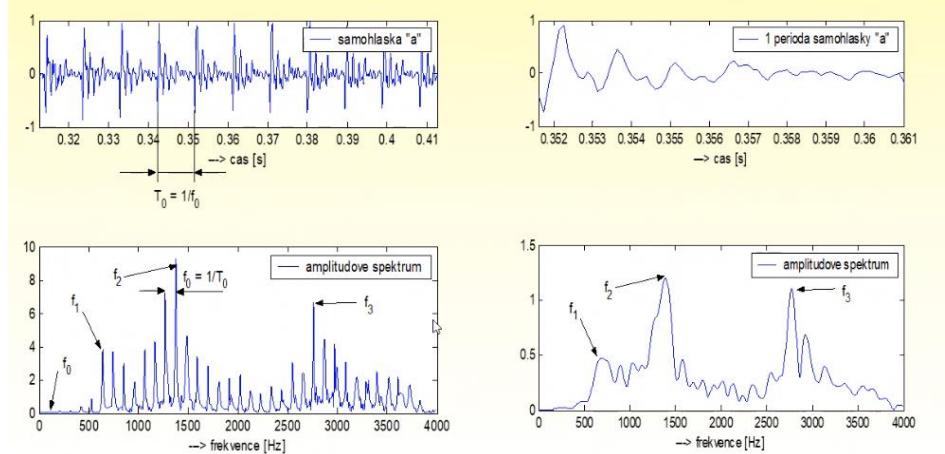
##### Akustické charakteristiky

- respirace = změny energie En
- fonace
  - **f0** – jitter = kmitočtová nestabilita, shimmer = amplitudová nestabilita, ACR
  - **šum** – NHR
- artikulace
  - F1, F2 = artikulační index, vokální trojúhelník
  - segmentace = rychlosť, délky segmentů

- prosodie
  - $f_0$ , En – std  $f_0$  (v půltónech), std En, poměry řeč/ pauza
  - např. u Parkinsonů monotónnost

### Základní hlasivkový tón

- změny v rychlosti kmitání hlasivek vnímáme jako změny v základní periodě hlasivkového tónu, resp. v základní frekvenci  $f_0$
- základní perioda je ovlivněna vlastnostmi hlasivek – pružnost, hmotnost délka
- analýza často pomocí autokorelační fce, pro patologii jiný způsob



### Formanty

- významné energetická pásma, charakterizují samohlásky

	$f_{0\text{typ}}$ [Hz]	$f_{0\text{min}}$ [Hz]	$f_{0\text{max}}$ [Hz]
muži	125	80	200
ženy	225	150	350
děti	300	200	500

- záleží na volbě metody – DFT, LP, kepstra apod. nemá smysl určovat formanty na jednotky či desetiny Hz

### Poruchy hlasu

- organické
  - záněty
  - nádory
  - parézy
  - úrazy a anomálie
- funkční
  - poruchy z přemáhání hlasu
  - psychogenní poruchy hlasu
  - hlasové neurózy

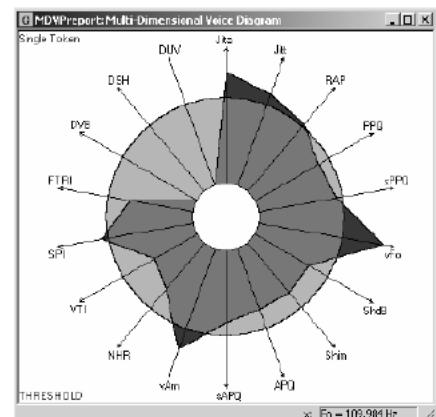
### Metody objektivního hodnocení hlasu

- fonogram = měření hlasové pole zpěvného a mluvního hlasu
- akustických analýzách
  - základní frekvence
  - formanty
  - energie
  - kvality hlasu – jitter, shimmer, NHR, HNR
- DSI = dysphonia severity index
  - měření závažnosti částečných poruch
- VRP = hlasové pole
  - funkční akustická vyšetřovací metoda

### Subjektivní hodnocení hlasu

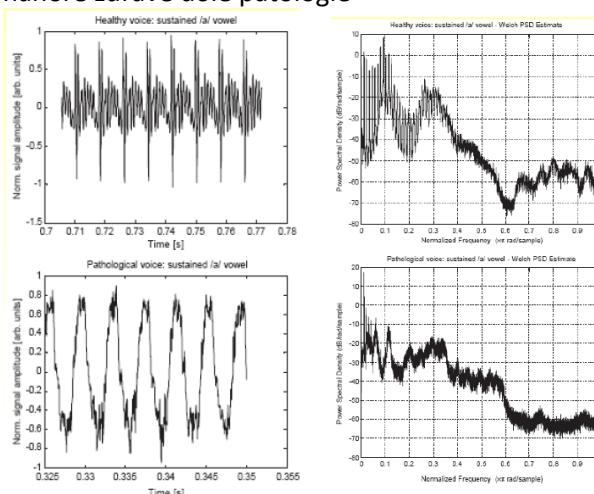
- pacient hodnotí svůj hlas
  - 30 otázek pro vyhodnocení handicapů
  - VHI = Voice Handicap Index
- lékař hodnotí hlas
  - 0-6 stupnice

- kvantitativní parametry = rozsah pole, statistické parametry, tvarové charakteristiky, obsah plochy
- měření zpěvního rozsahu – vokály a, e, i, u
- měření mluvního rozsahu – čtení standardního textu
- důležité dodržet konstantní vzdálenost mikrofonu
- MDVP = multidimenzionální analýza
  - funkční akustická vyšetřovací metoda
  - kvalitativní parametry a jejich uspořádání
    - stupeň subharmonických, tremor, frekvenční kolísání, amplitudové kolísání, šumové parametry, stupeň neznělých úseků...
  - aplikace
    - vyšetření před chirurgickým zákrokem, 2 týdny po, 1 měsíc po, 12 měsíců po



### Poruchy hlasu

- patologické hlyasy = vyšší obsah šumu ve spektru
- nahoře zdravé dole patologie



- normální hlas
  - shimmer 4 %
  - jitter 1 %
  - autokorelace k 1
- akutní laryngitida
  - shimmer dvojnásobný
  - pokles autokorelace
  - pokles HNR v dB

### Poruchy řeči

- porozumění – Wenickeovo centrum
- tvorba – Brocovo centrum
- prováděcí řečová motorika, poruchy fonace a artikulace
- **dysartrie**
  - důsledkem onemocnění nervové soustavy, která brání kontrole například nad jazykem, hrdlem, rty, či plíćemi
  - poruchy motorické produkce zvuků na nesymbolické úrovni (porucha fonace a artikulace)
  - Parkinsonova choroba

- chronická laryngitida
  - parametry příznivé, projevuje se chraplivostí
- edém
  - parametry příznivé (nezaznamenáme z akustických charakteristik)
- Reinkeho edém
  - shimmer 10 %
  - často pro alkoholičky a kuřáčky = hrubé hlyasy
- papilomatosis
  - benigní nádor
  - autokorelace k nule
  - HNR záporné dB
- cysta = nepravé nádory
- polyp
- traumatické změny
  - po úrazu hrtanu apod.
- porucha inervace
- spastická dysfonie
- hyperkinetická dysfonie
  - dlouhodobé namáhání hlasu
  - jitter 3 %, shimmer 9 %
- psychogenní dysfonie

- **afázie** = získané poruchy řeči v důsledku poruchy mozku
  - cévní mozkové příhody, úrazy a poranění mozku, nádory, Alzheimerova nemoc
- **dysfázie**
  - vývojové vrozené poruchy řeči
  - následek poruchy centrálního zpracování řečového signálu, příznakem je opožděný vývoj řeči

#### Subjektivní hodnocení dysatrie

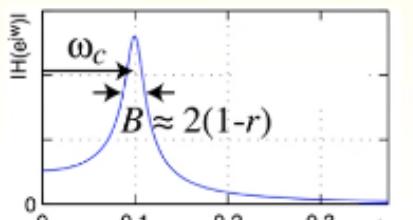
- 3F test (45 úkolů)
- pohyb tvář, dýchání, artikulace (faciokinez, fonorespirace, fonetika)

#### Metody hodnocení řeči

- poruchy plynulosti řeči
  - koktavost
    - terapie – psychologické způsoby, DAF (auditory feedback)
- parametry v časové oblasti
  - založené na VAD (poměr ticha a řeči, délka ticha...)
  - energetická obálka

#### Rezonance s IIR filtrem 2. řádu

- jednoduchá rezonance = IIR druhého řádu (pásmová propust)



#### 13. přednáška

##### Bazální ganglia

- systém jader zanořených do hloubi hemisfér nezbytných k harmonizaci hybných dějů
- podílí se na učení pohybových vzorců
- regulují aktivitu mozkové kůry tak, aby byly pohyby prováděny plynule a hladce
- neurotransmitery
  - exhibiční = glutamát, dopamin => budicí funkce
  - inhibiční = GABA a dopamin => tlumící funkce
- porucha funkce
  - hypokineticke = nadměrné tlumení => Parkinson
  - hyperkineticke = nedostatečné => Huntington
- přímá dráha = dopamin jako excitační, inhibiční výstup ze striata přímo na Gpi (Globus Pallidus Internus)
- nepřímá dráha = dopamin jako inhibiční, ihabiční výstup nepřímo na Gpi

##### Parkinsonova nemoc

- chronické neurodegenerativní onemocnění, progresivní úbytek dopaminergních neuronů
- celkové zpomalení pohybu (ovládání motoriky)
  - hypokinezia, bradykinezia, akineza
- klidový třes (pokud se pacient pohybuj = absence)
- shrbený postoj
- poruchy chůze = problémy se zahájením, náhlé zárazy, postupné zrychlování
- medikace = dopaminergní (chemické navýšení koncentrace, snižuje symptomy)
- porucha řeči = hypokineticke dysartrie, svalová ztuhlost

##### Huntingtonova nemoc

- diagnostika na základě genetického testu
- autozomálně dominantní dědičné onemocnění – mutace 4. chromozomu
- dopamin cesty v pořádku, přerušení na nepřímé dráze
- chorea = nepravidelné, krátké a rychlé, náhodné pohyby
- dystonie = mimovolní stah jednoho nebo více svalů
- myoklonus = synchronní monofázické záškuby svalů

#### Analýza dat u neurodegenerativních onemocnění

- brzká a diferenciální diagnostika = zachycení před odumřením značné části neuronů
- monitorování změn
- technologie = snaha o objektivizaci, automatizaci, robustnost a zachycení příznaků v běžném životě => telemonitoring

#### **Motorické poruchy řeči (dysarthrie)**

- změny v řeči mohou být prvním nebo dokonce jediným projevem neurologického onemocnění
- kvantitativní marker = hodně aspektů pro hodnocení
- typ poruchy řeči může dát vodítko jaká část mozku je postižená

#### **Metody**

- **videolaryngoskopie** = kamera na hlasivky
- **elektroglotografie** = měření hlasivkových pulzů
- **akustická analýza** = pulzy rezonují v dutinách

#### **Elektroglotografie EGG**

- neinvazivní metoda pro zaznamenání kmitů hlasivek
- hlasivky mají 2 základní postavení = otevřené (dýchání) a štěrbina (mluvení)
  - vzniká akustická vlna
- princip: na úrovni ohryzku se přiloží elektrody s malým napětím (0,5 V) a o vysoké frekvenci (MHz)
- obvod se uzavře přes hrtan = otevírání(roste) a uzavírání (klesá) hlasivek mění impedanci
- amplitudová modulace signálu => demodulujeme a máme průběh EGG
- kvocient kontaktu (CQ) = poměr času, kdy jsou hlasivky uzavřené k délce celého cyklu, určuje charakter zpěvu