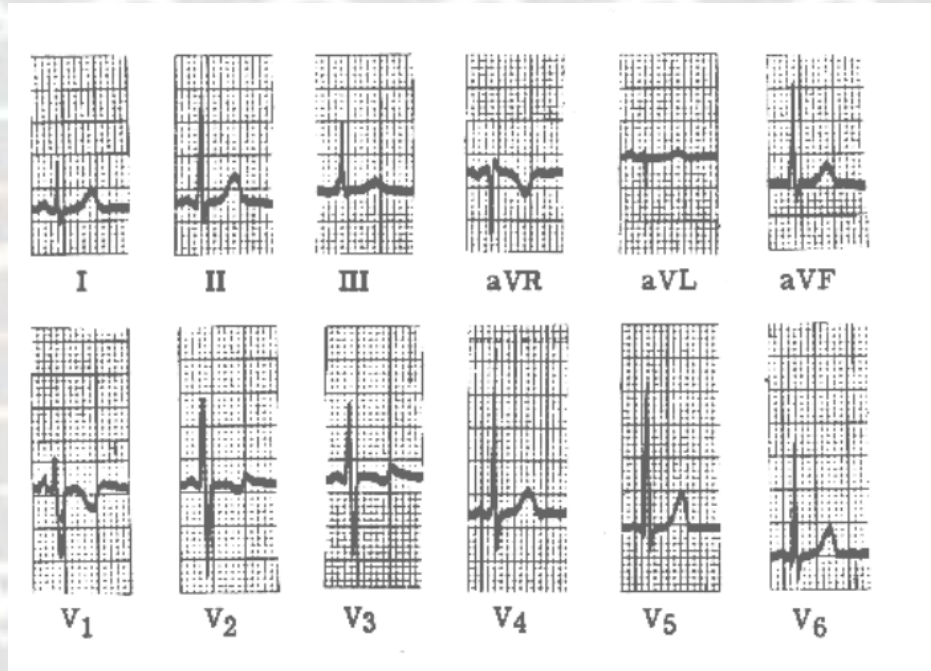


Přednášky z lékařské biofyziky

Biofyzikální ústav Lékařské fakulty
Masarykovy univerzity, Brno

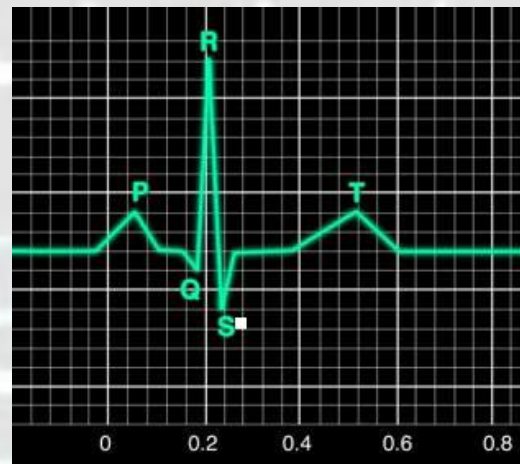


Biosignály a jejich zpracování
Měření teploty

Co to je biosignál?

Zjednodušeně lze říci, že dnes jej chápeme jako měřenou hodnotu napětí U , která poskytuje biologickou informaci. Příklady:

- EKG je $U(t)$ biosignál, který poskytuje informaci o fyziologii nebo patologii srdce.
- U ultrasonogramu je biosignál U napětí, které vzniká v elementárním elektroakustickém měniči v důsledku zachycení odrazu ultrazvuku od tkáňové struktury
- Digitální rentgenový snímek je biosignál $U(x, y)$, u kterého hodnota napětí odpovídá každému pixelu o souřadnicích (x, y) .
- 3-D MRI obraz je biosignál $U(x, y, z)$, u kterého hodnota napětí odpovídá každému voxelu o souřadnicích (x, y, z) v těle pacienta.



Druhy biosignálů (obecněji chápané)

- **AKTIVNÍ** (vlastní, generované): zdrojem energie je sám biologický objekt, např. EKG.
- **PASIVNÍ** (modulované): vznikají při interakci „vnější“ energie s biologickým objektem, např. rtg snímek, MRI obraz, ultrazvukový obraz.
- **Příčina aktivních elektrických biosignálů:** Živá buňka transportuje ionty přes membránu a vytváří na ní takto napětí, které se může měnit v čase. Většina buněk ve tkáních však nevytváří elektrické napětí synchronně, nýbrž víceméně náhodně. Většinou je tudíž výsledné napětí nulové – náhodná napětí se vzájemně ruší. Je-li mnoho buněk synchronně aktivních, vytvářejí výsledné napětí, které je dobře měřitelné. Např. při svalové kontrakci většina buněk vlákna jeví stejnou a synchronní elektrickou aktivitu a na svalu se objevuje měřitelné elektrické napětí.

Měření biosignálů elektrické povahy

Aktivní biosignály: vždy potřebujeme zařízení, které se skládá ze tří částí:

A) Snímací elektrody: umožňují vodivé spojení vyšetřované části těla s měřicím systémem. (EKG)

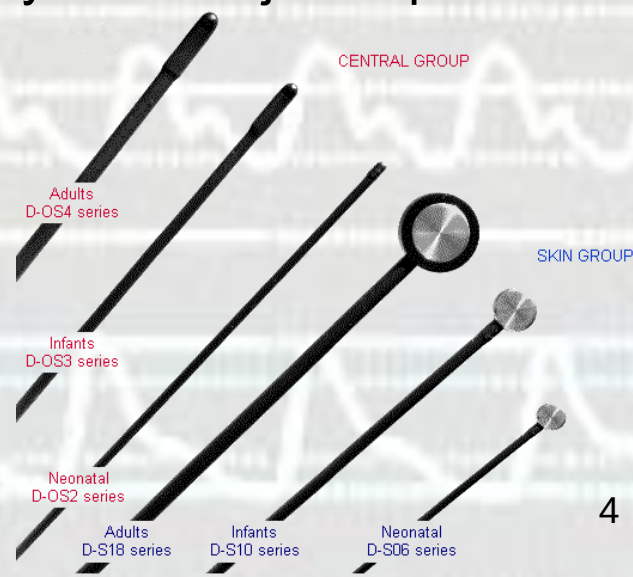
B) Zařízení na zpracování signálu (včetně zesilovače, AD převodníku, filtrů pro odstranění šumu a nežádoucích frekvencí atd.)

C) Záznamové zařízení (dnes obvykle monitor nebo zapisovač/tiskárna)

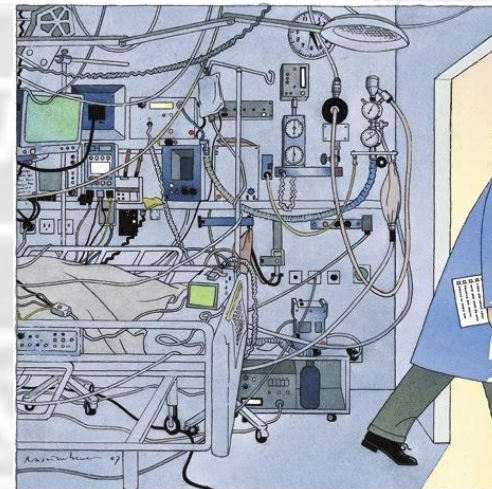
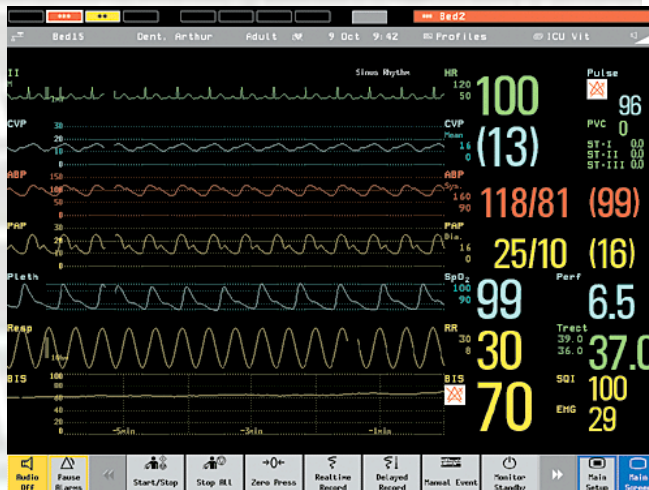
Pasivní biosignály (též aktivní neelektrické): snímací elektrody jsou nahrazeny čidly - měniči (např. čidla rtg záření u digitálního rtg přístroje nebo teplotní čidla).



Elektrody EKG na jedno použití



Monitorování biosignálů na jednotce intenzivní péče

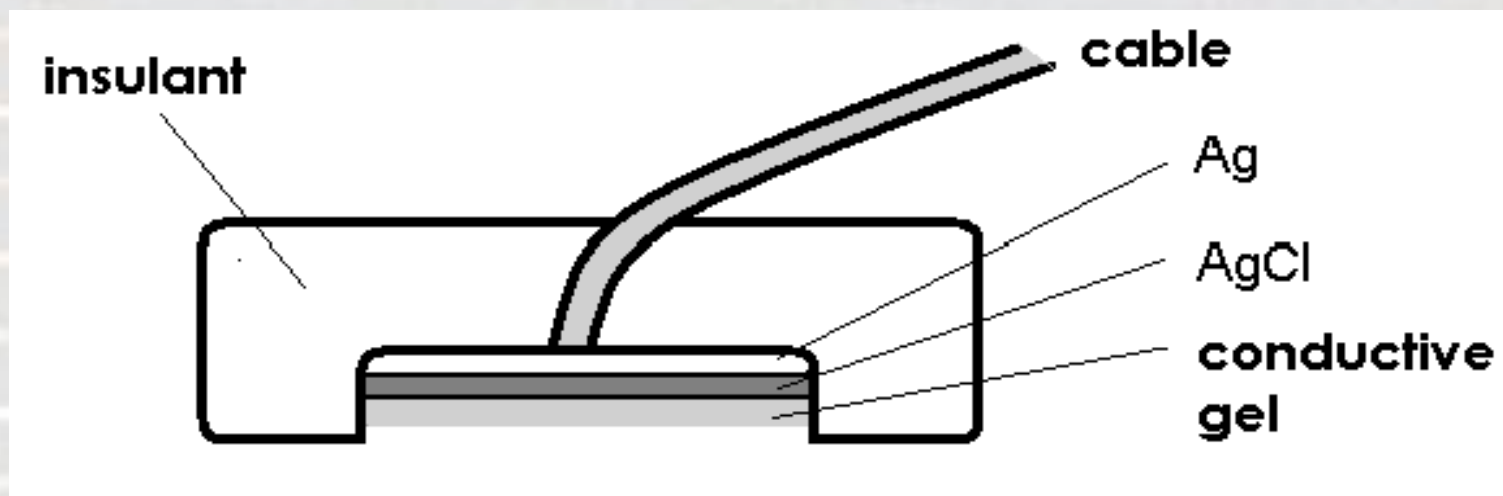


Elektrody pro měření aktivních biosignálů

Polarizovatelné (elektrody vytvářejí *proměnlivý* vlastní kontaktní potenciál v důsledku elektrochemické reakce) nebo nepolarizovatelné (mají *konstantní* vlastní potenciál)

- Polarizovatelné: měření je nepřesné, protože elektrodové napětí je proměnlivé, např. v důsledku vlhkosti (pocení), chemického složení okolního prostředí atd. Většina polarizovatelných elektrod se vyrábí z ušlechtilých kovů. V případě koncentrační polarizace se v okolí elektrody mění koncentrace iontů v důsledku elektrochemických procesů. V případě chemické polarizace dochází k uvolňování plynů na povrchu elektrod.
- Nepolarizovatelné elektrody: přesné měření biopotenciálů. V praxi se nejčastěji používá elektroda stříbrochloridová (Ag-AgCl).

Snímací elektroda (misková, nepolarizovatelná)



Insulant = izolant

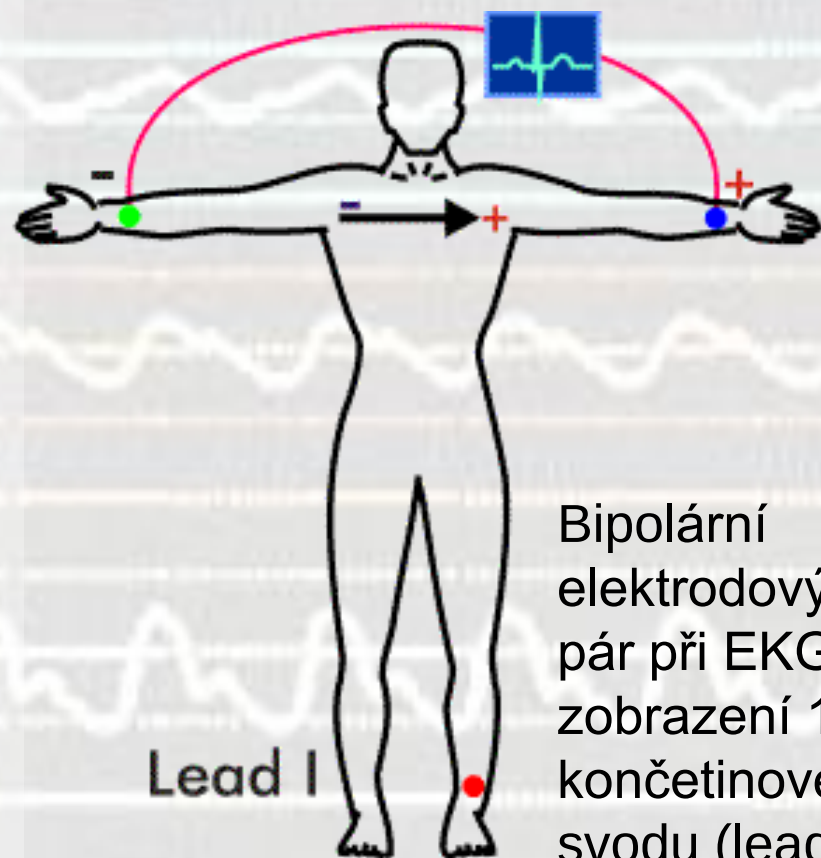
Elektrody pro měření aktivních biosignálů

- **Makro- nebo mikroelektrody.** Mikroelektrody se používají pro měření biopotenciálů jednotlivých buněk. Mají malý průměr hrotu ($<0,5 \mu\text{m}$) a jsou vyrobeny z kovu (polarizovatelné) nebo skla (nepolarizovatelné). Skleněné mikroelektrody jsou kapiláry s otevřeným koncem, naplněné elektrolytem o standardní koncentraci.
- **Povrchové elektrody** jsou kovové destičky různého tvaru a velikosti. Dobrý elektrický kontakt je zajišťován vodivým gelem. Jejich tvar je často miskový.
- **Vpichové elektrody** se používají pro snímání biopotenciálů z malých oblastí tkáně. Vyrábějí se z ušlechtilých kovů a používají zejména pro měření svalových biopotenciálů nebo dlouhodobé snímání potenciálů srdečních či mozkových.

Bipolární a unipolární dvojice elektrod

Při **bipolární aplikaci** jsou obě elektrody diferentní, tj. umístěné do elektricky aktivní oblasti.

Při **unipolární aplikaci** je jedna elektroda diferentní (maloplošná), umístěná v elektricky aktivní oblasti. Druhá elektroda je indiferentní (většinou velkoplošná), umístěná v elektricky neaktivní oblasti. Výjimka: *Wilsonova svorka* používaná v EKG.



Bipolární elektrodový pár při EKG – zobrazení 1. končetinového svodu (lead I)

Zesilovač

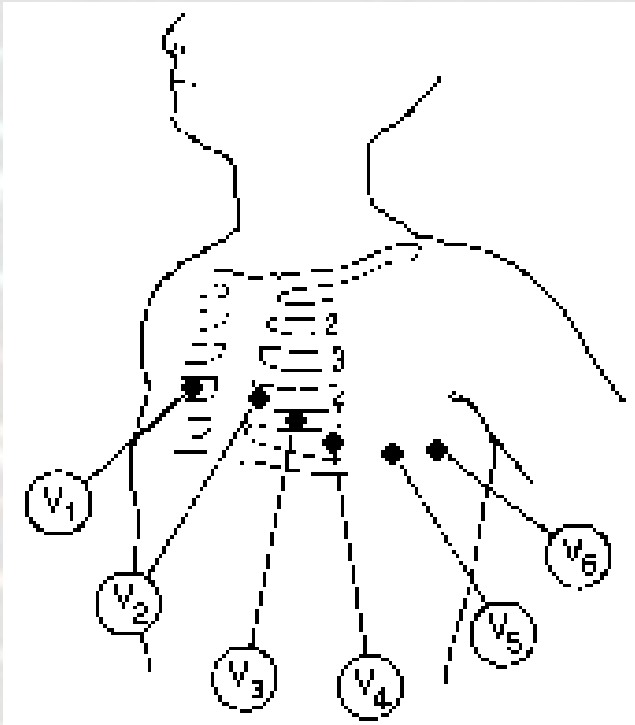
- Nezkreslené zesílení biosignálu při různých frekvencích je podmínkou přesného měření. Moderní zesilovače tuto podmínku zpravidla splňují.

$$\text{Zisk zesilovače} = 20 \cdot \log U_o / U_i \text{ [dB]}$$

- Uživatel přístroje se zabývá pouze přesným nastavením různých filtrů (aby se potlačily některé artefakty).

Output, input

EKG - elektrokardiogram

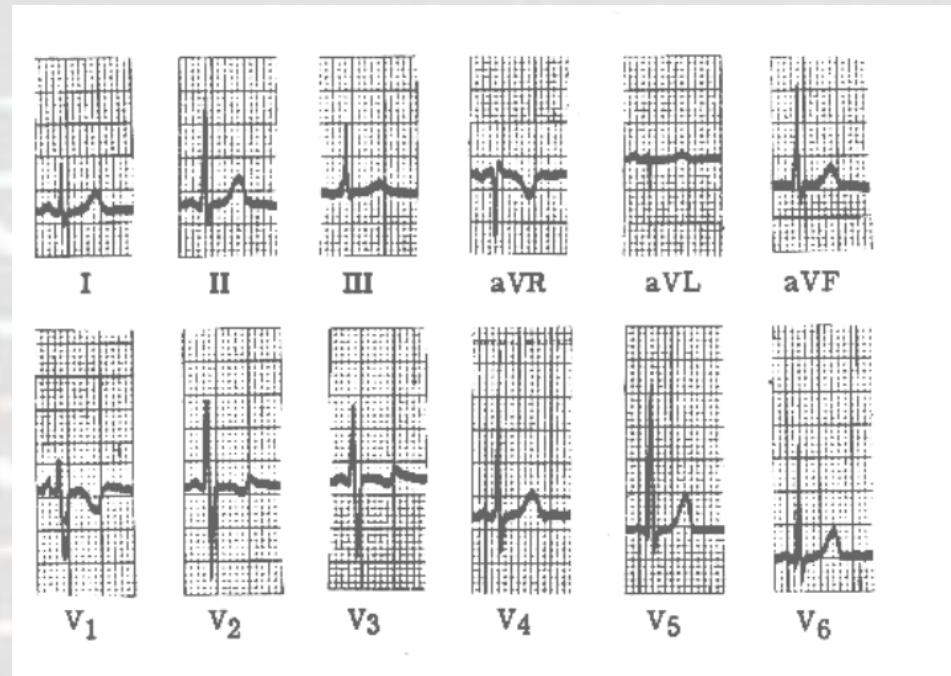
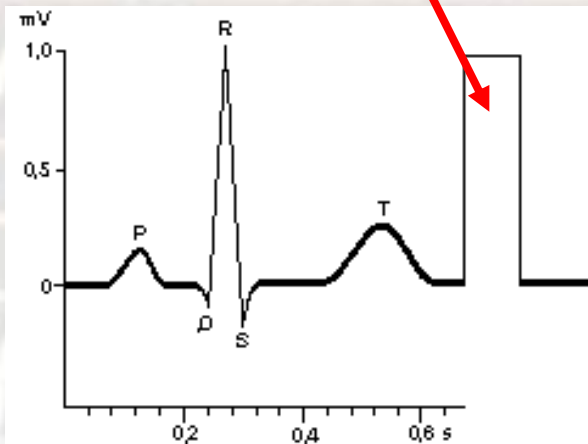


Elektrody hrudních svodů – jejich napětí se měří proti indiferentní elektrodě – Wilsonově svorce

- EKG je nejsilnější a nejčastěji měřený aktivní biopotenciál.
- Při měření EKG se tři elektrody umísťují na končetiny (2 na zápěstí, 1 na levý bérce) a 6 elektrod na hrudník (elektrody hrudních svodů na obrázku). Pravá noha se používá pro umístění elektrody, která částečně kompenzuje rušivé elektrodové potenciály.
- Pár elektrod, mezi nimiž měříme napětí, se označuje jako **svod**.

EKG

Kalibrační napěťový
impuls 1mV

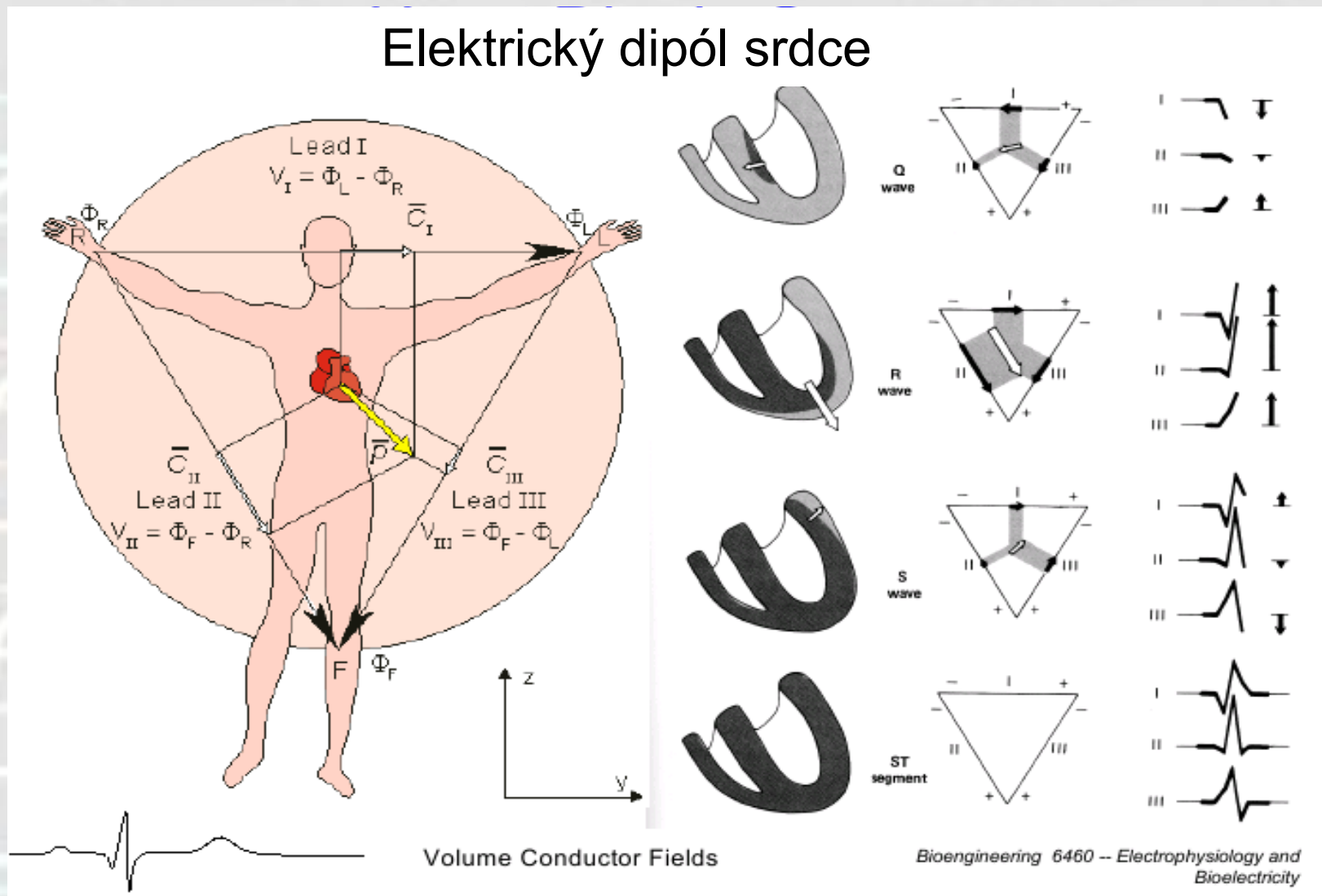


Jak vzniká EKG a pulsová vlna? Běž na:

<http://www.neurop.ruhr-uni-bochum.de/Praktikum/ekgbrowser/engl.html>

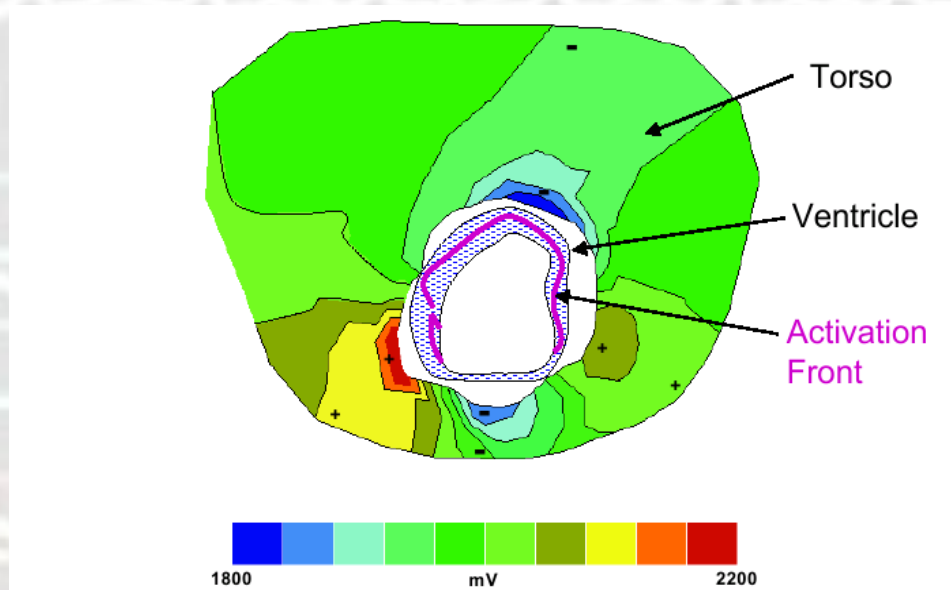
Einthovenův trojúhelník

Elektrický dipól srdce



Tento obrázek obsahuje často pomíjený problém – kdyby vypadal E. trojúhelník skutečně takto, pak by poloha končetin ovlivňovala zobrazení tzv. elektrické osy srdce, která je velmi přibližným zobrazením dipólového momentu srdce

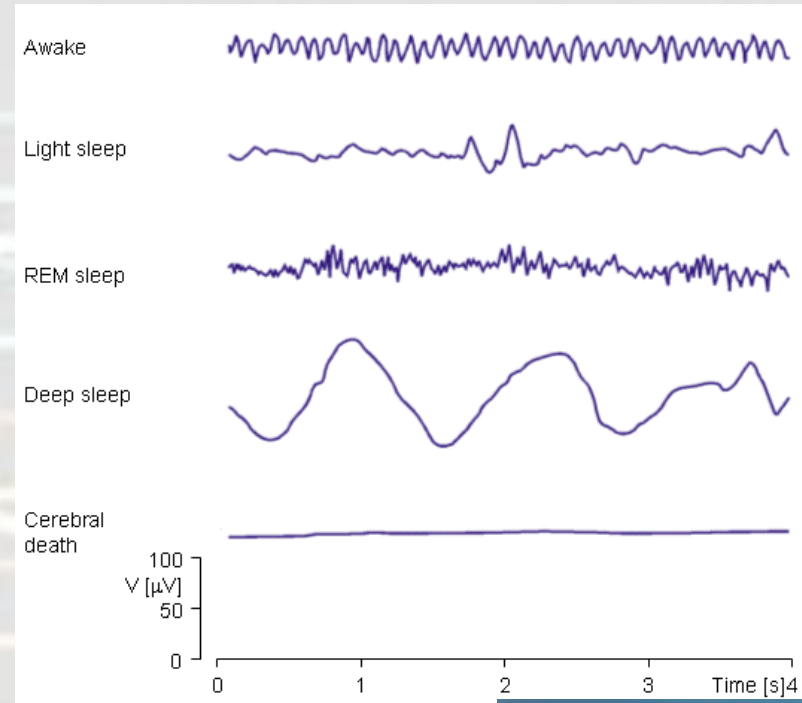
Princip vektorkardiografie (příklad pokusu o jiný záznam elektrické aktivity srdce)



Elektrody umístěné na povrchu těla umožňují měření hodnot napětí „promítnutých“ ze srdce na příslušnou část povrchu těla. Protože známe polohu a tvar srdce, elektrické vlastnosti tkání a umístění elektrod, můžeme vypočítat původní hodnoty napětí v bezprostřední blízkosti srdce. Takto lze lokalizovat infarkt nebo problémy s přenosem vzruchů v myokardu.

EEG Elektroencefalografie

- α -vlny: $f = 8-13$ Hz, amplituda (A) max. $50 \mu\text{V}$. Tělesný a duševní klid.
- β -vlny: $f = 15 - 30$ Hz, $A = 5 - 10 \mu\text{V}$. Zdraví lidé za plné bdělosti.
- θ -vlny: $f = 4 - 7$ Hz, $A > 50 \mu\text{V}$. Fyziologické u dětí, u dospělých patologické.
- δ -vlny: $f = 1 - 4$ Hz, $A = 100 \mu\text{V}$. Za normálních okolností se vyskytují v hlubokém spánku. V bdělém stavu jsou patologické.
- V záznamu EEG se mohou objevit i jiné vzory elektrické aktivity, charakteristické pro různá mozková onemocnění. Např. komplexy hrot-vlna u epilepsie.
- Mozkové biopotenciály mohou být spontánní nebo evokované (vyvolané). **Evokované potenciály** mohou být způsobeny stimulací sensorickou (zrak, sluch) nebo přímou např. impulsy magnetického pole.

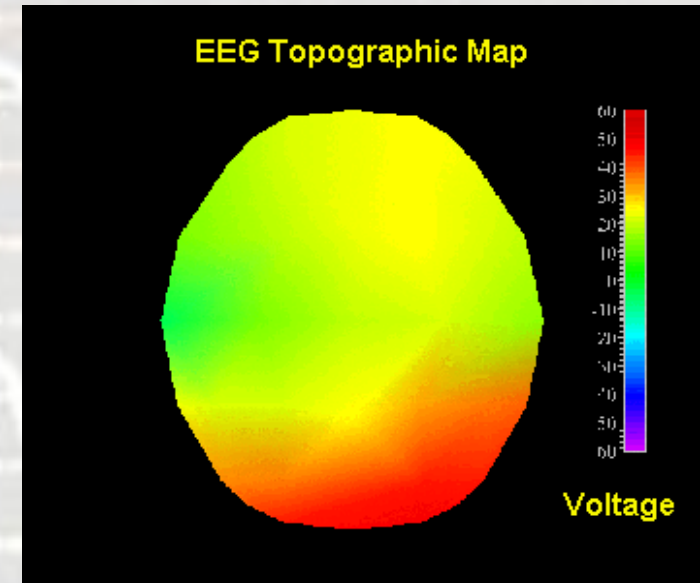
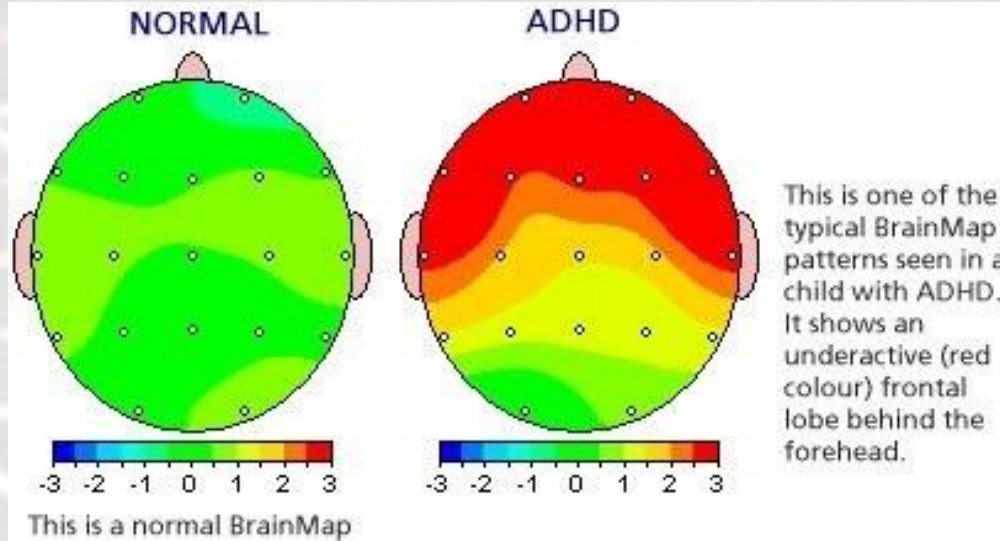


Poznámka:
Při uvádění
frekvencí a
amplitud
jednotlivých „vln“
je literatura velmi
nejednotná



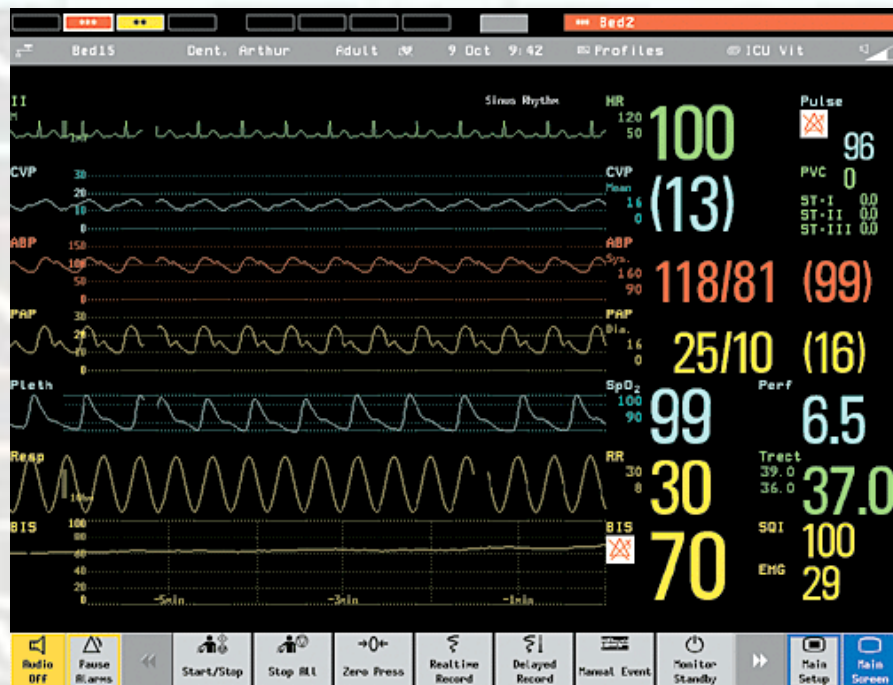
Colour Brain Mapping

(barvy představují intenzitu elektrické aktivity jednotlivých částí mozku)



Attention Deficit Hyperactivity Disorder (ADHD)

Bispektrální index, Comfort Score



- Monitorováno u pacientů v anestézii při intenzivní péči.
- Je málo anestetika, pacient je stresován a bude si pamatovat?
- Je příliš mnoho anestetika a mozek je poškozován?

Nejnižší řádek je BiS. BiS se počítá z EEG.

Komentář k BiS, CS atd.

Bispektrální index, Comfort Score atd. jsou příklady tzv. “popisných indexů”, které nejsou skutečnými fyzikálními veličinami. Jsou to uměle vytvořené empirické parametry, jejichž hodnoty jsou určovány z mnoha měřených parametrů velmi složitým způsobem.

Určení těchto indexů vychází i z vyhledávání v tzv. znalostních databázích, založených na měření mnoha různých pacientů (z různých etnik) s mnoha diagnózami. Úplné algoritmy výpočtů a zejména znalostní databáze nejsou obvykle plně publikovány (tajemství výrobce).

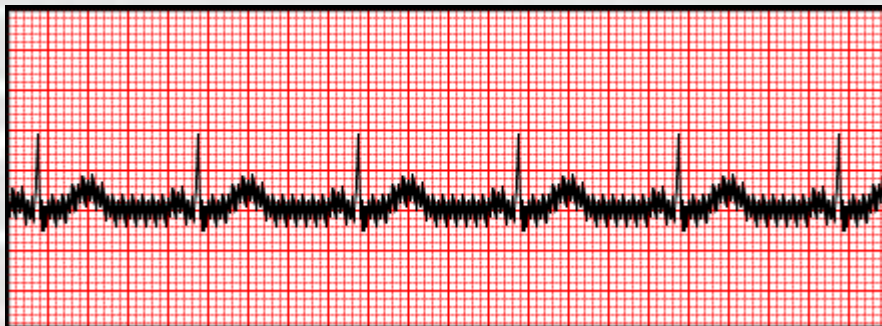
- Lékař se pouze musí seznámit s významem příslušného indexu a s hodnotami, které může nabývat, nemusí se však nutně příliš zajímat o způsob, jakým způsobem jsou měřeny.
- V případě některých indexů je nutno poskytnout dostatek údajů o pacientovi, aby bylo přístroji umožněno přesné vyhledávání ve znalostních databázích. Zpravidla je nutno zadat věk, pohlaví, rasu, tělesnou výšku a hmotnost. Časté jsou otázky na např. délku prstů na ruku nebo na nohou. Tyto “divné otázky” jsou časté hlavně u přístrojů monitorujících kardiovaskulární systém. Pokud příslušná odpověď chybí, software může zvolit nepřesný statistický patientský model a zobrazí se nepřesná hodnota indexu.

Artefakty

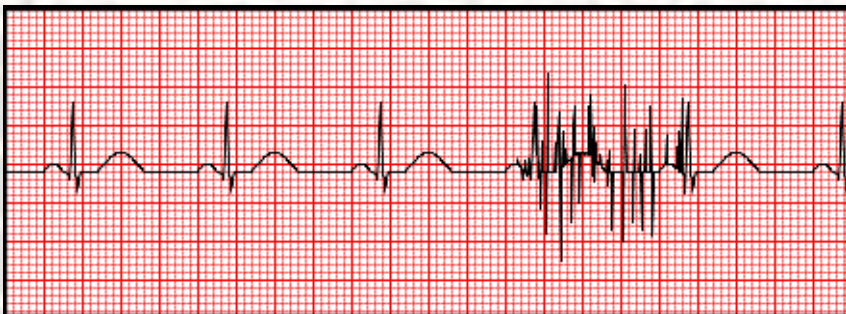
- Definice: Prvky (rysy) signálu, které nevznikají v cílové tkáni
- Vznikají **pohybem** pacienta, působením elektromagnetického pole v prostředí (**rušením**, např. 50 Hz síťová frekvence, mobilní telefony), v důsledku **pocení** etc.
- Specifickým problémem může být **nesprávné umístění** (přehození) **elektrod**, např. u svodů EKG. Elektrodotový systém musí být pečlivě kontrolován.

EKG Artefakty

http://mauvila.com/ECG/ecg_artifact.htm



50Hz střídavého proudu
superponováno na signál
EKG

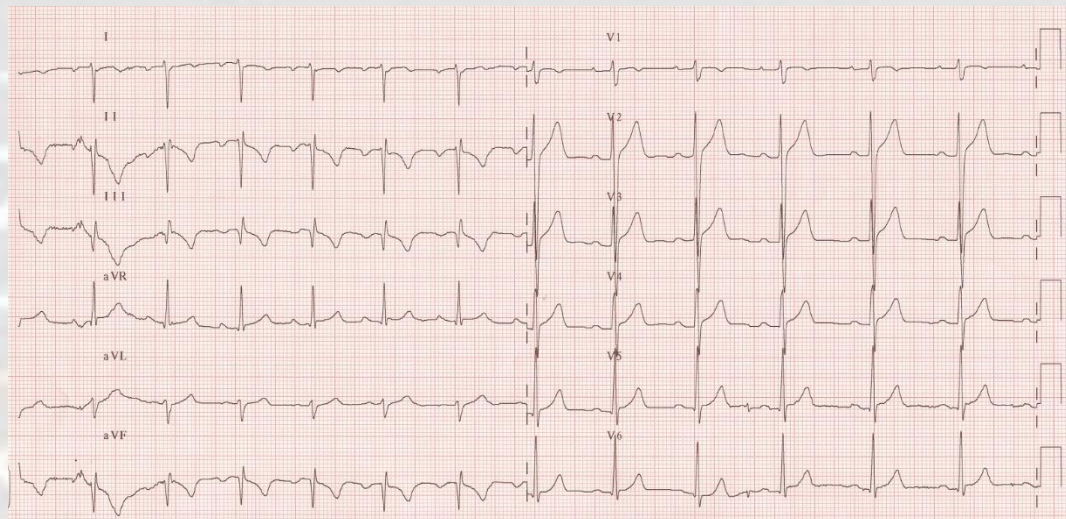


Svalový třes



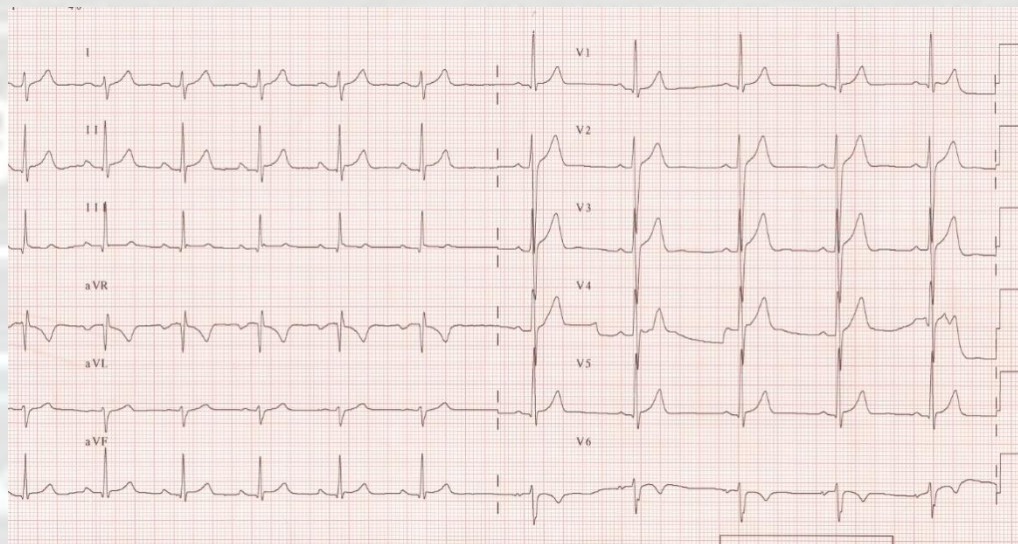
Pohyb izoelektrické linie
v důsledku pohybu
pacienta, nečistých
elektrod, uvolněných
elektrod...

Přehozené končetinové svody



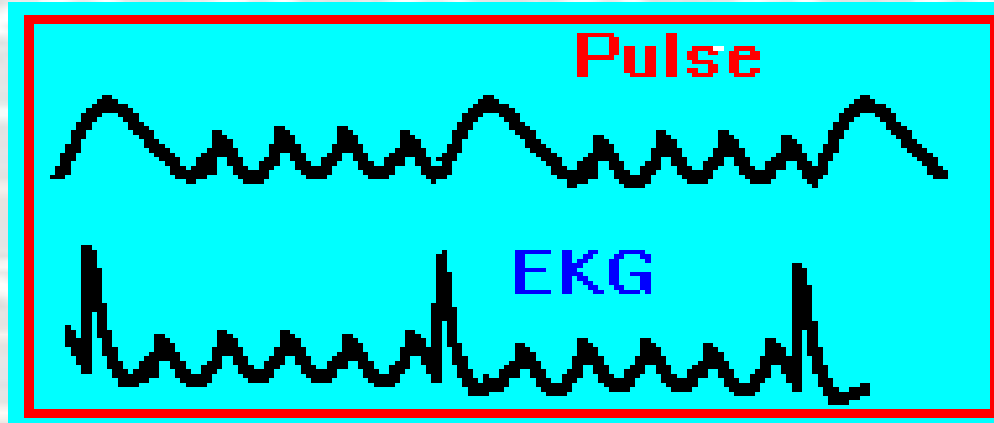
***Lékař musí
poznat!!!!!!***

Přehozené hrudní svody



Některé artefakty EEG

http://www.brown.edu/Departments/Clinical_Neurosciences/louis/artefct.html



Artefakt způsobený pulzovou vlnou: pohyb elektrody vzniká v důsledku pulzování tkáně pod elektrodou.

Artefakt způsobený EKG signálem: Elektrody snímají i EKG. Oba druhy artefaktů jsou snadno rozpoznatelné, protože jsou periodické.

Měření teploty

MOTTO:

Jestliže je nějaká část lidského těla teplejší nebo i chladnější než okolní části, je nutné hledat ohnisko nemoci v tomto místě.

Hippokrates

Hlavní důvody pro měření teploty

- Sledování nemocných pacientů
- Sledování fyziologický (psychofyziologických) reakcí
- Sledování léčby hypertermií
- Laboratorní experimenty

Problémy, které musíme při měření teploty brát v úvahu:

- přesnost
- doba odpovědi (ustálení teplotního údaje)
- invazivita
- tepelná kapacity a vodivost čidla

Měření teploty v diagnostice

Termometrie – bodové měření teploty

- Kontaktní
- Bezkontaktní

Termografie – sleduje rozložení hodnot teploty na povrchu těla

- Kontaktní
- Bezkontaktní – Termovize (jiná přednáška)

Měření teploty v diagnostice

Kontaktní termometrické metody

1) Metody založené na teplotní roztažnosti (dilataci) různých látek

- kapalinové teploměry
- rtuť a alkohol

2) Metody založené na změnách elektrických vlastností vodičů nebo polovodičů

- odporové teploměry - termistory
- termočlánky

Bezkontaktní termometrické metody

- radiační teploměr

Dilatační teploměry

Lékařský maximální teploměr - rtuťový:

Má zúženou kapiláru, která brání návratu rtuti do rezervoáru

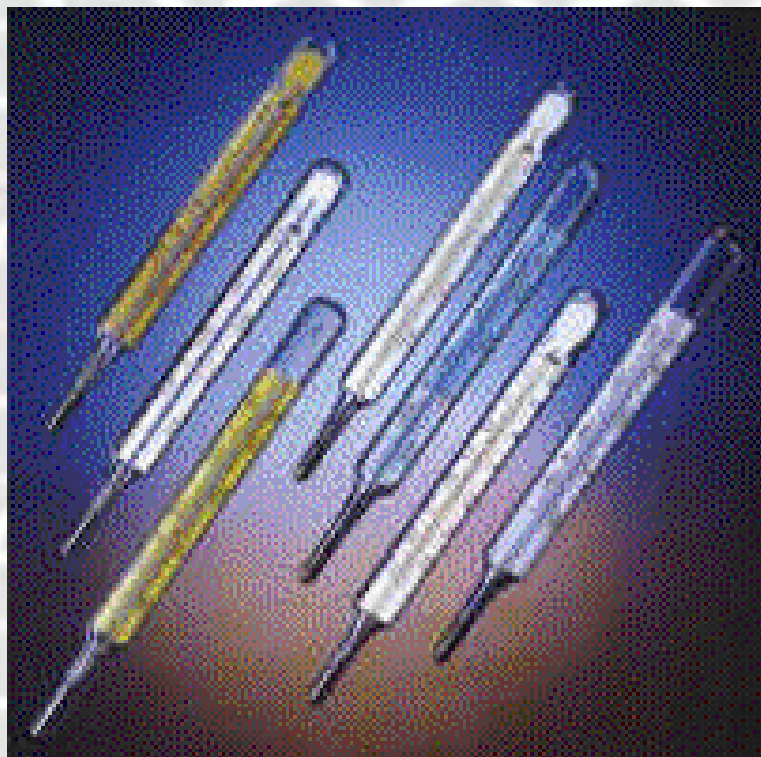
Nevýhoda: dlouhá doba odpovědi (doby nutné pro stabilizaci teplotního údaje – 3-5 min.)

Lékařský rychloběžný teploměr:

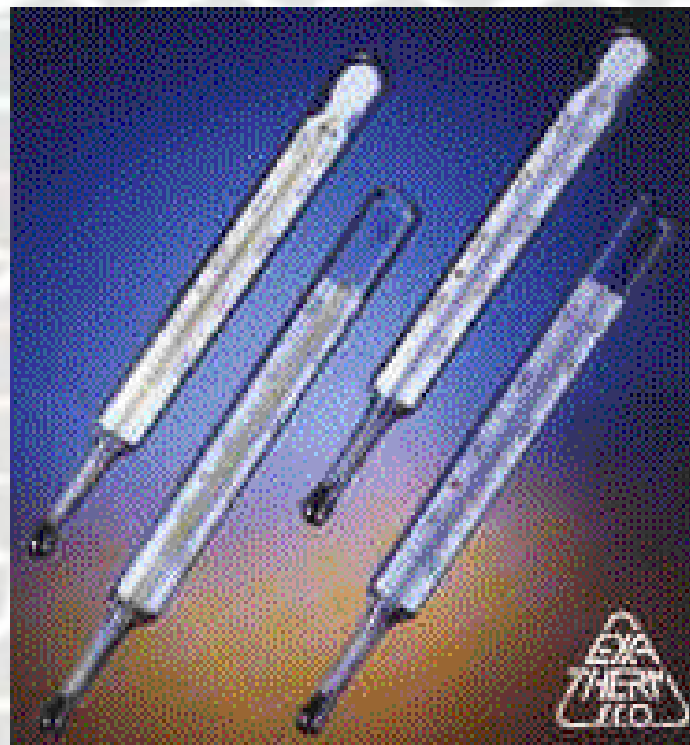
Lihová náplň – kapilára není zúžena, teplota se musí odečítat během měření (in situ), doba odpovědi max. 1 min.

Kapalinové teploměry

Maximální a rychloběžné teploměry

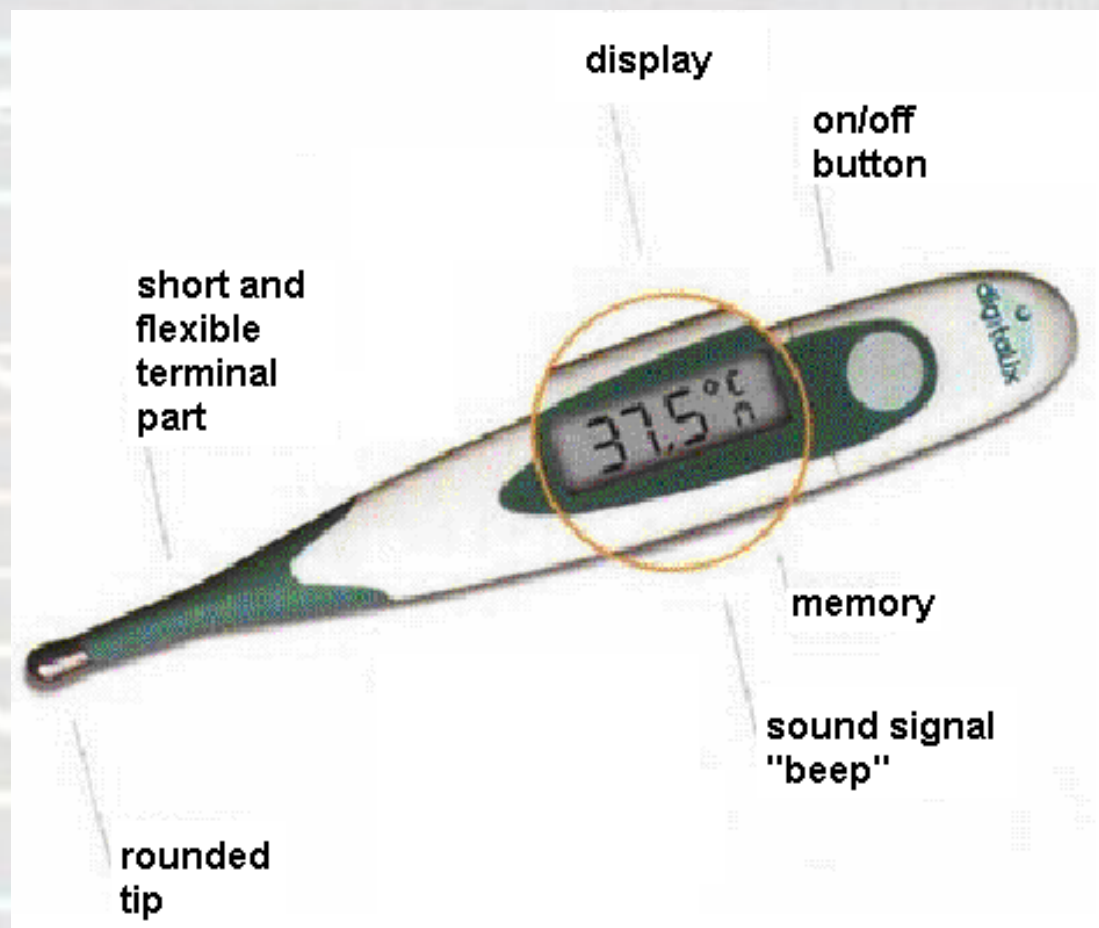


Orální nebo axilární
maximální



Rektální rychloběžný

Digitální teploměr



Ušní teploměr

Teploměr s IR čidlem pro teploty „z ucha“



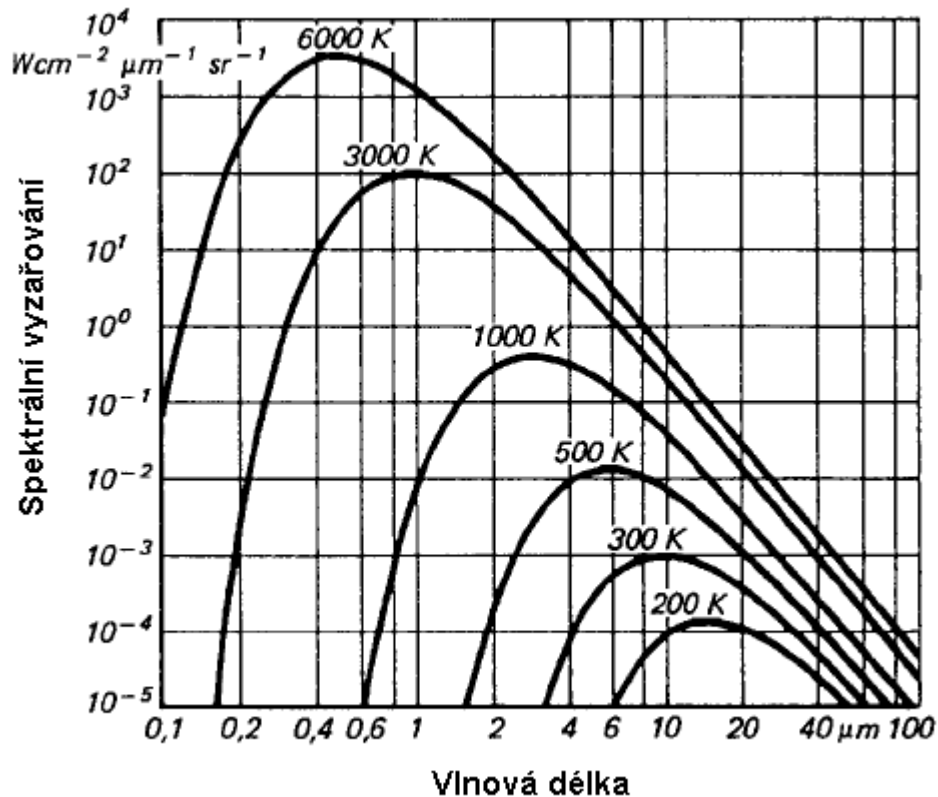
Výměnný
hygienický
nástavec



Ušní teploměry:

Jejich principem je měření infračerveného záření, které je vyzařováno z bubínku. Teplotní údaj se získává pouze jednu sekundu po přiložení čidla k distálnímu konci zvukovodu. Tyto přístroje jsou velmi vhodné pro malé děti, měření je rychlé a jemné.

Fyzikální zdůvodnění měření teploty pomocí infračerveného záření



Stefan-Boltzmannův zákon –
závislost tzv. spektrální
hustoty záření černého
tělesa na teplotě

Infračervené radiační teploměry pro běžné použití



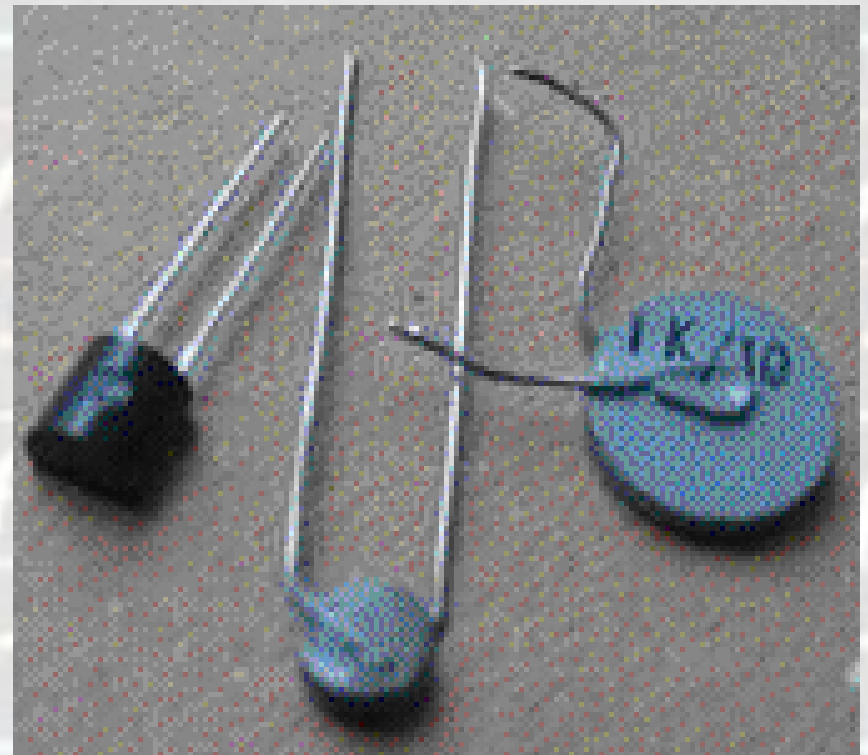
Odporové teploměry – termistor

$$R = R_0 \cdot e^{B \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right)}$$

R – odpor při teplotě **T**

R₀ – odpor při teplotě **T₀**

B – konstanta



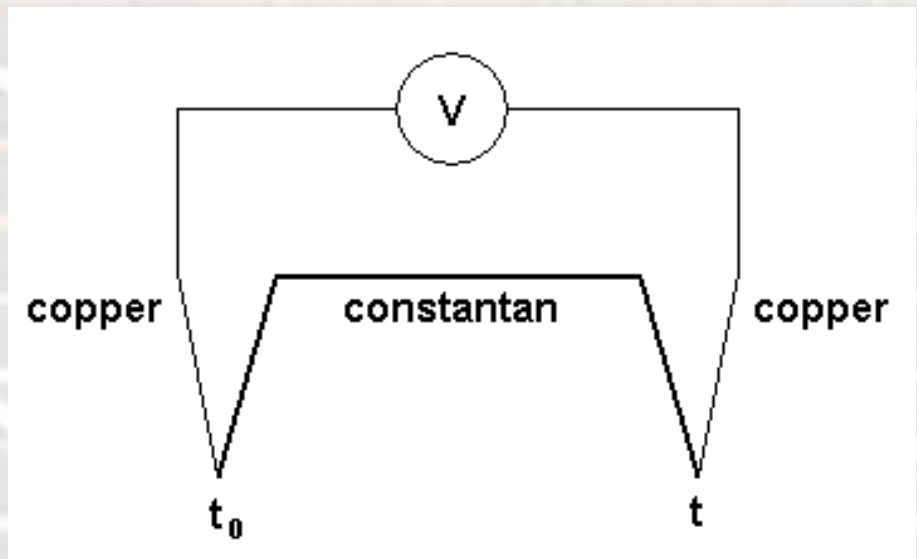
Termočlánek



Digitální termočlánekové čidlo

● Nanobiotechnology Center (NBTC)

**Měřicí systém s dvojicí
termočláneků měď/konstantan**



Termoelektrické napětí

$$U = \alpha(t - t_0)$$

Poslední revize: listopad 2018

Autoři:

Vojtěch Mornstein,
Jan Dvořák,
Věra Maryšková

Grafika:
Lucie Mornsteinová

Obsahová spolupráce:

Carmel J. Caruana, Ivo Hrazdira