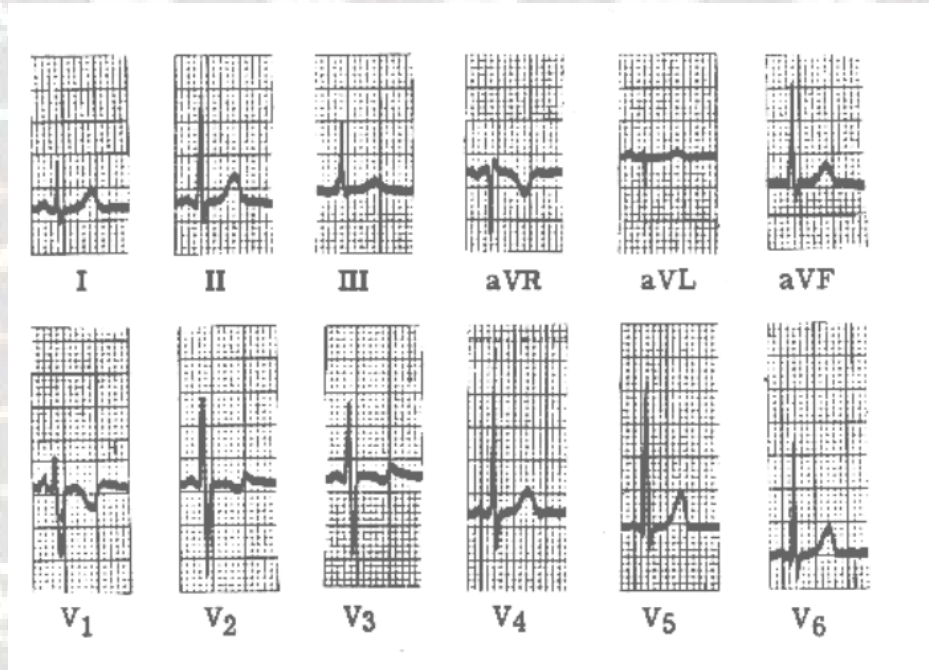


# Přednášky z lékařské biofyziky

Biofyzikální ústav Lékařské fakulty  
Masarykovy univerzity, Brno

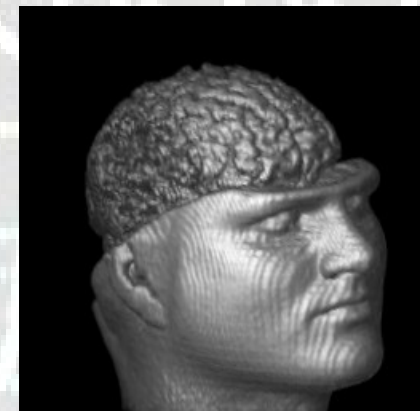
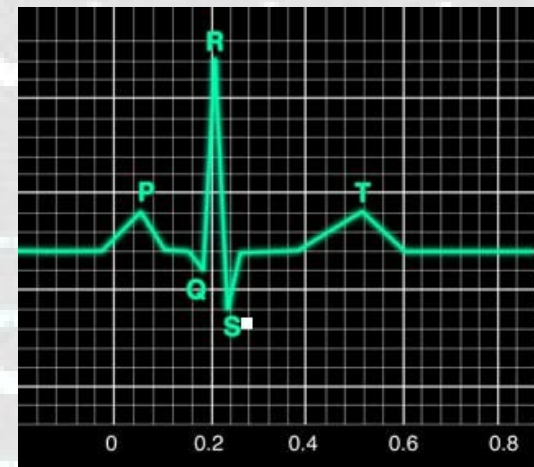


**Biosignály a jejich zpracování**  
**Měření teploty**

# 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 ultrazvukového obrazu 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

- **AKTIVNÍ** (vlastní, generované) biosignály: zdrojem energie je sám biologický objekt, např. EKG.
- **PASIVNÍ** (modulované) biosignály: vznikají při interakci „vnější“ energie s biologickým objektem, např. digitální rtg snímek, MRI obraz, ultrazvukový obraz.

# Původ aktivních biosignálů elektrické povahy

- Živá buňka transportuje elektricky nabitě částice (ionty) přes membránu, vytváří takto napětí, které se mění v čase.
- Většina buněk lidského těla nevytváří elektrické napětí synchronně, nýbrž víceméně náhodně. Ve většině tkání je tudíž výsledné napětí nulové – různá náhodná napětí se vzájemně ruší.
- Jestliže je mnoho buněk současně aktivních, stejné elektrické proudy procházejí jejich membránami. Proto tyto buňky vytvářejí výsledné napětí, které je dostatečně vysoké, aby bylo měřitelným, např. při svalové kontrakci většina buněk vlákna jeví stejnou elektrickou aktivitu a objevuje se měřitelné elektrické napětí.

# Měření biosignálů elektrické povahy

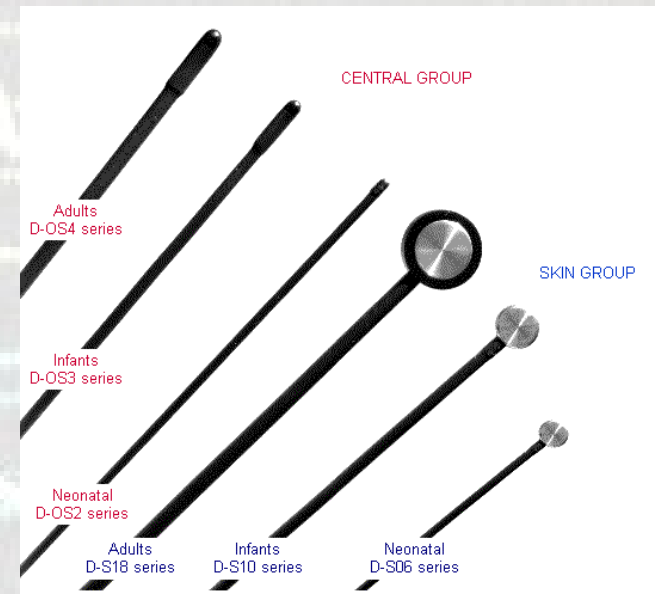
Aktivní biosignály: vždy potřebujeme zařízení, které se skládá ze tří částí:

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

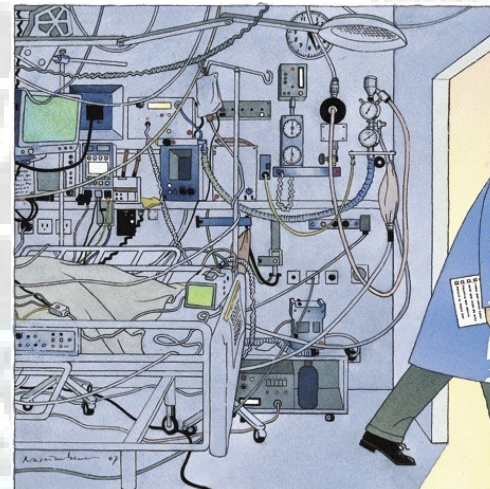
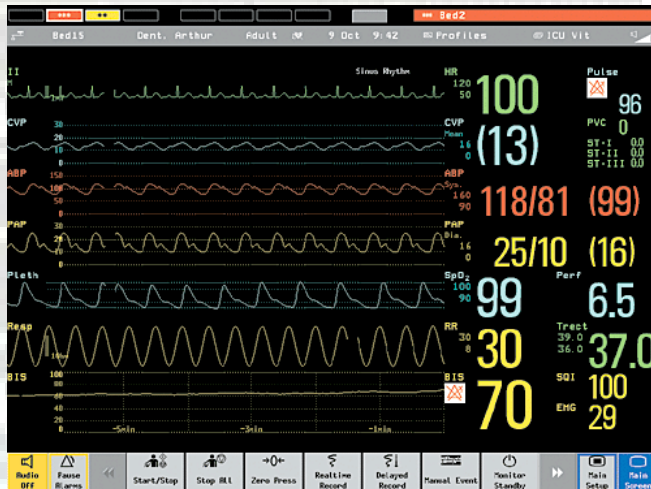
**B) Zařízení na zpracování signálu** (včetně zesilovače, AD převodníku, filtru pro odstranění nadbytečného šumu, filtrů pro odstranění nežádoucích frekvencí atd.)

**C) Záznamové zařízení** (dnes obvykle monitor nebo zapisovač)

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



# Monitorování biosignálů na jednotce intenzivní péče

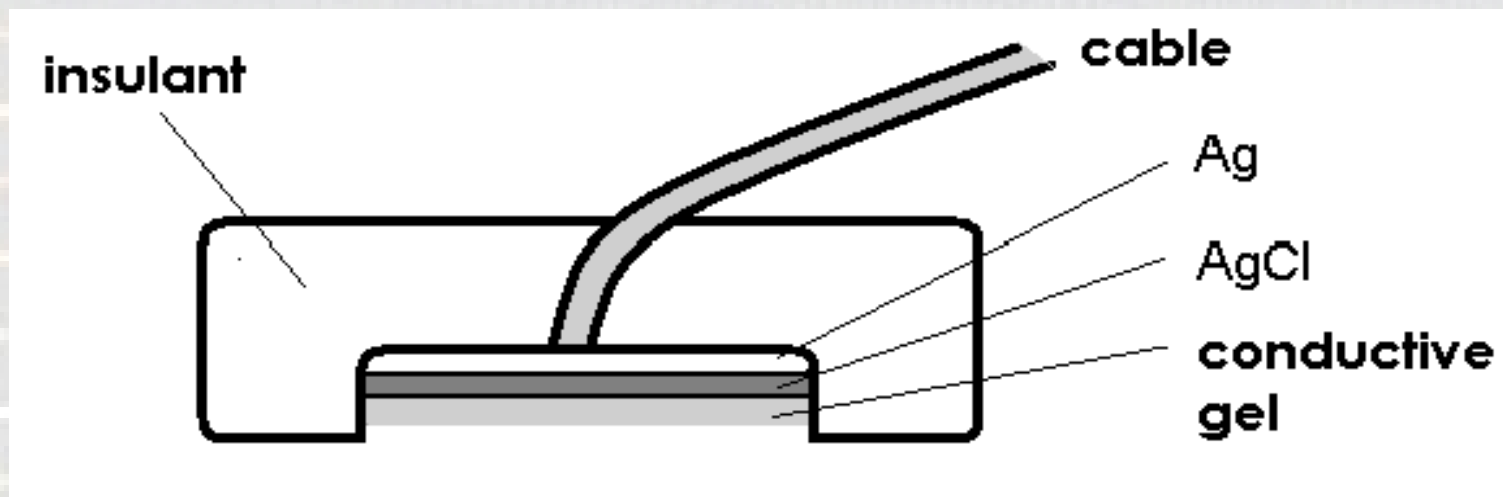


# Elektrody pro měření aktivních biosignálů

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

- Polarizovatelné: měření biopotenciálů je nepřesné, protože elektrodové napětí je proměnlivé, např. v důsledku pohybů pacienta nebo elektrody, 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)





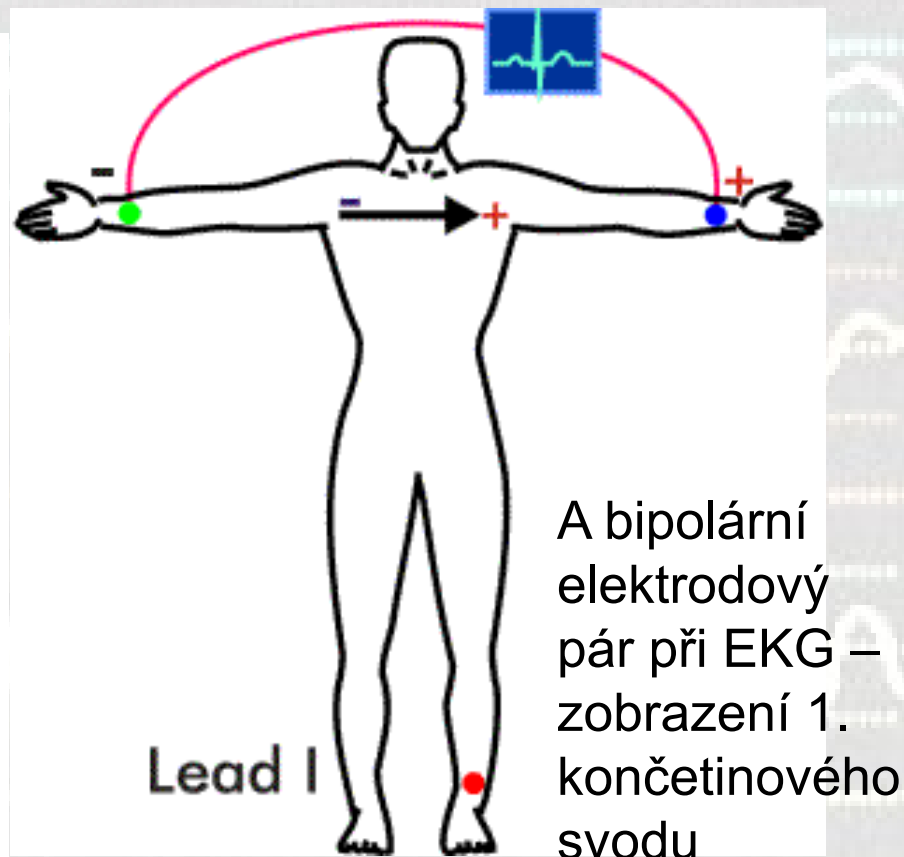
# Elektrody pro měření aktivních biosignálů

- **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 m-e. jsou kapiláry s otevřeným koncem, naplněné elektrolytem o standardní koncentraci.
- *Povrchové* nebo *vpichové elektrody*. **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 (většinou maloplošná), umístěná v elektricky aktivní oblasti. Druhá elektroda je indiferentní (většinou velkoplošná), umístěná v elektricky neaktivní oblasti. Výjimka: Wilsonova svorka používaná v



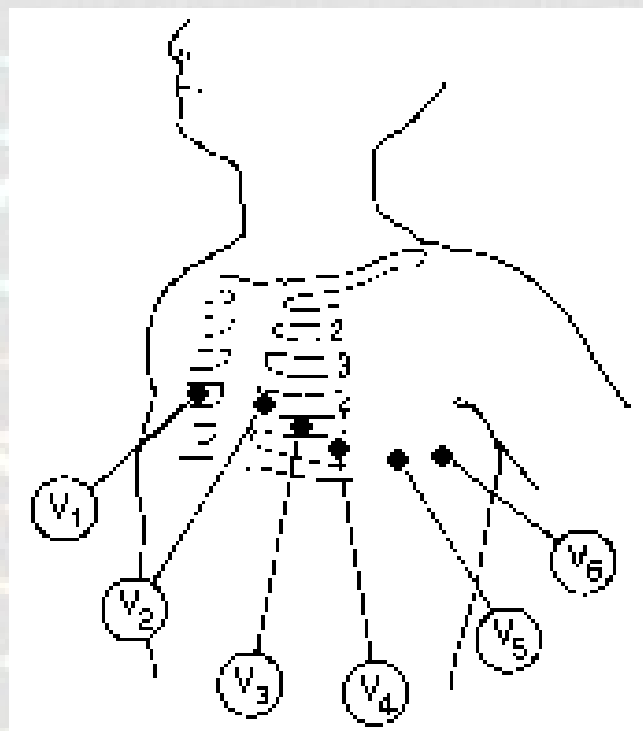
# Zesilovač

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

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

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

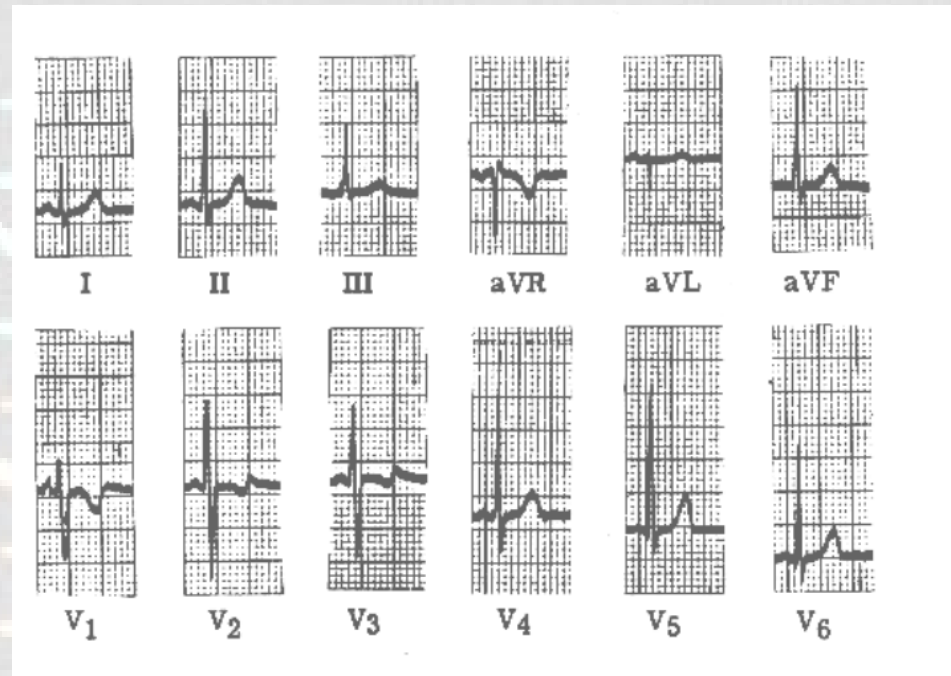
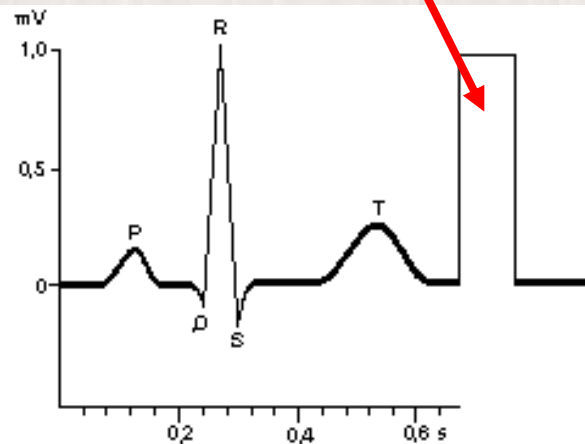
# EKG - elektrokardiogram



- 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

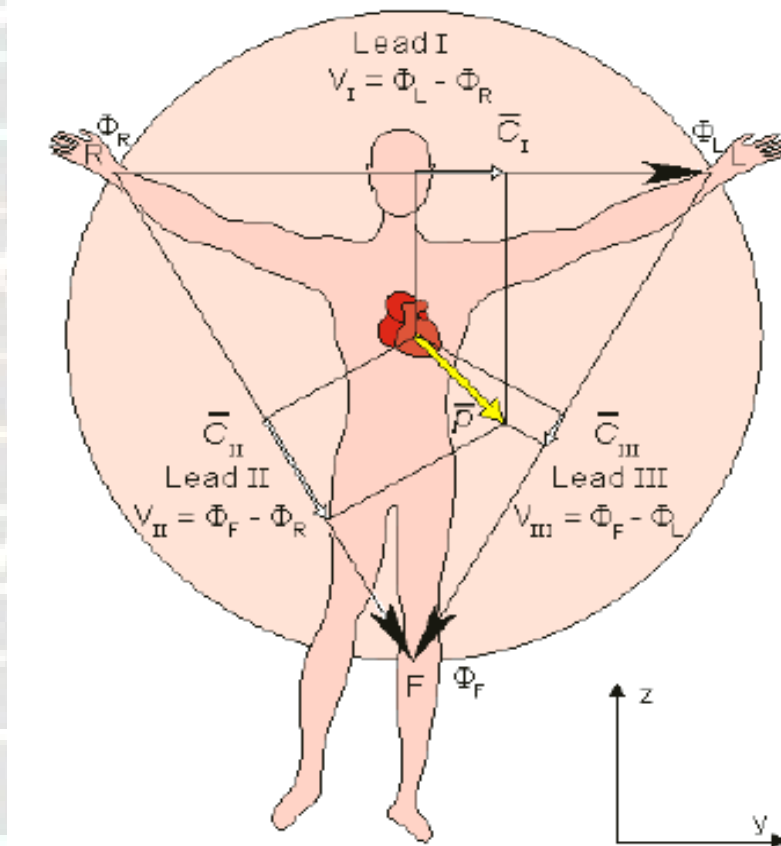


Jak vzniká EKG a pulsová vlna? Běž na:

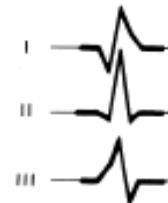
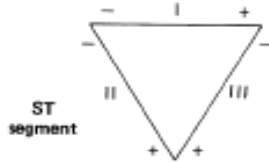
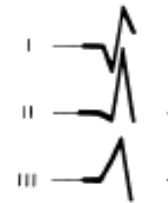
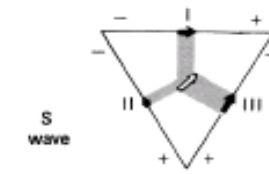
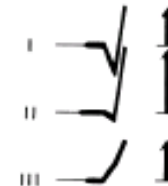
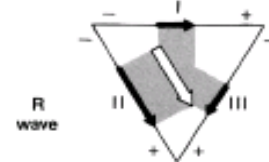
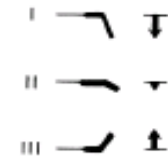
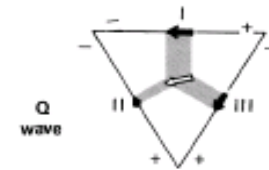
<http://www.neurop.ruhr-uni-bochum.de/Praktikum/ekgbrowser/engl.html>

# Einthovenův trojúhelník

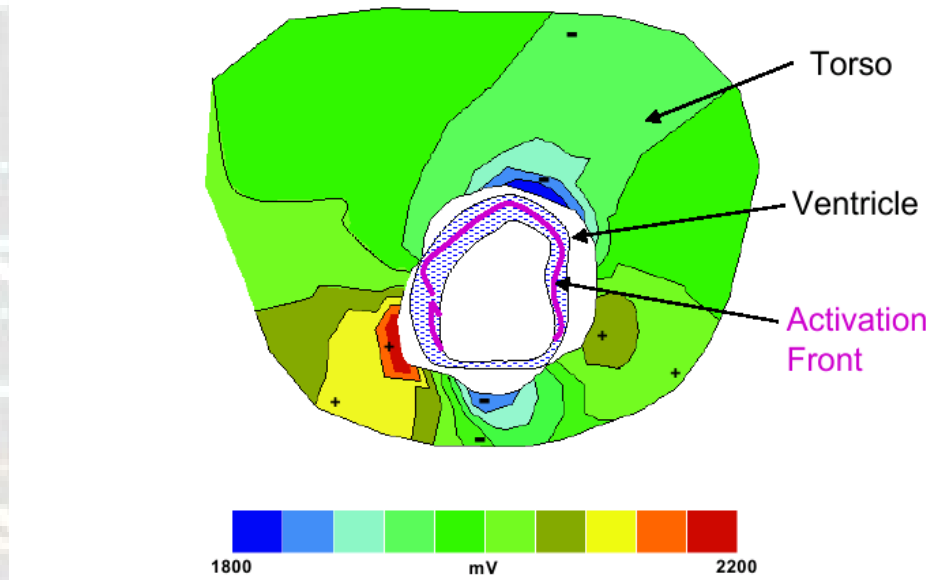
## Elektrický dipól srdce



Volume Conductor Fields



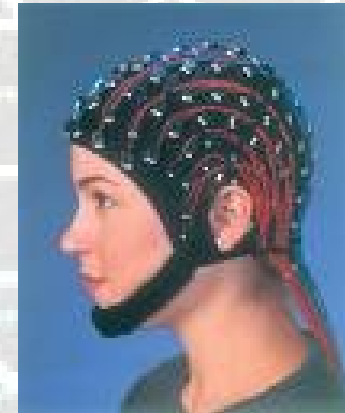
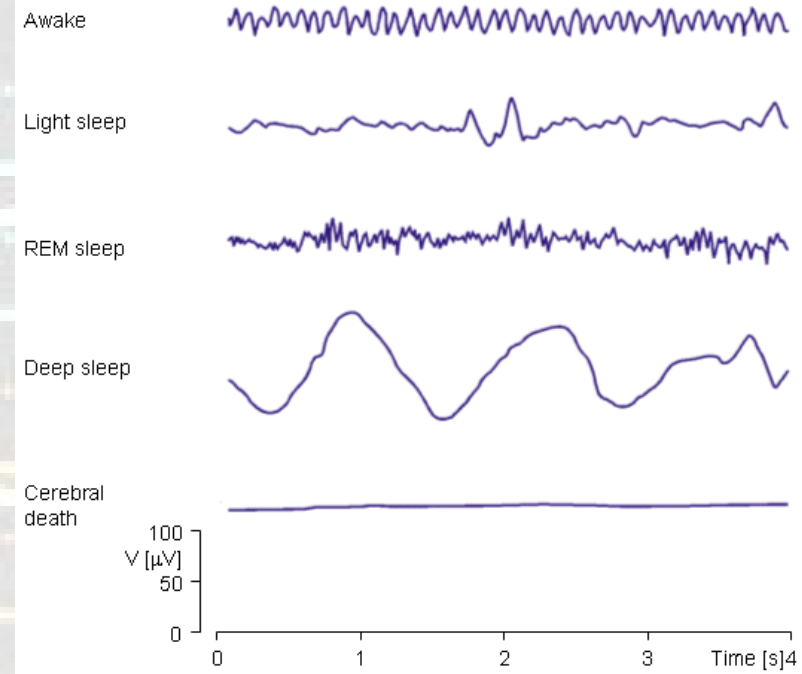
# Princip vektorkardiografie



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

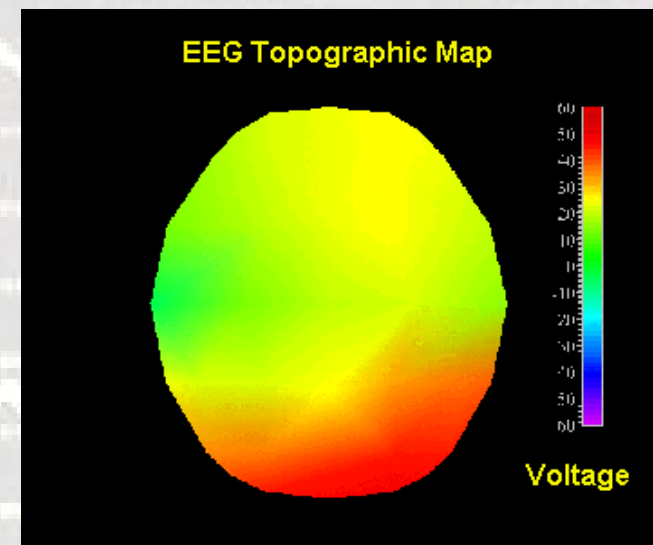
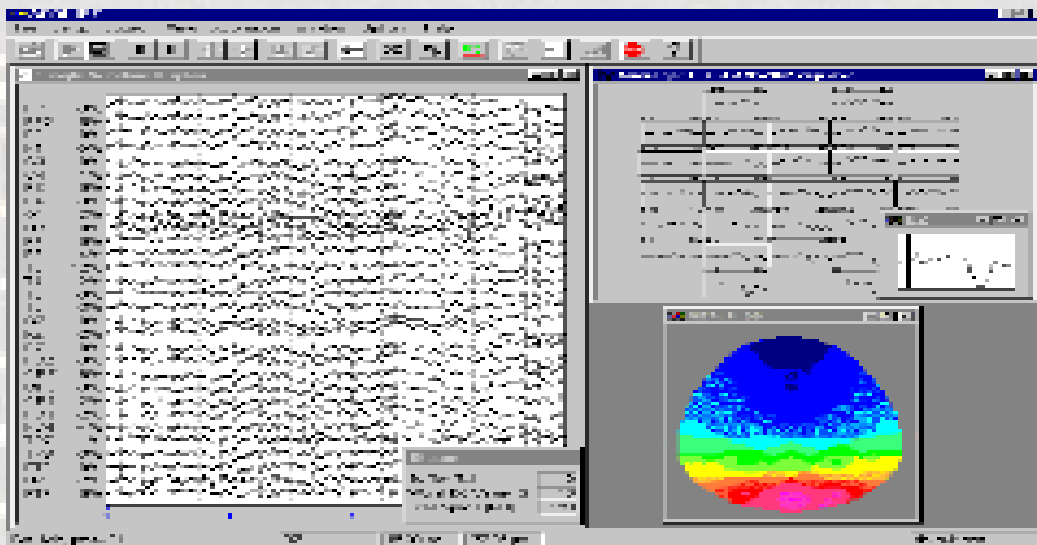
- $\alpha$ -vlny:  $f = 8-13$  Hz, amplituda (A) max.  $50 \mu\text{V}$ . Tělesný a duševní klid.
- $\beta$ -vlny:  $f = 15 - 20$  Hz,  $A = 5 - 10 \mu\text{V}$ . Zdraví lidé za plné bdělosti.
- $\nu$ -vlny:  $f = 4 - 7$  Hz,  $A > 50 \mu\text{V}$ . Fyziologické u dětí, u dospělých patologické.
- $\delta$ -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 sensorickou stimulací (zrak, sluch) nebo přímou stimulací, např. impulsy magnetického pole.



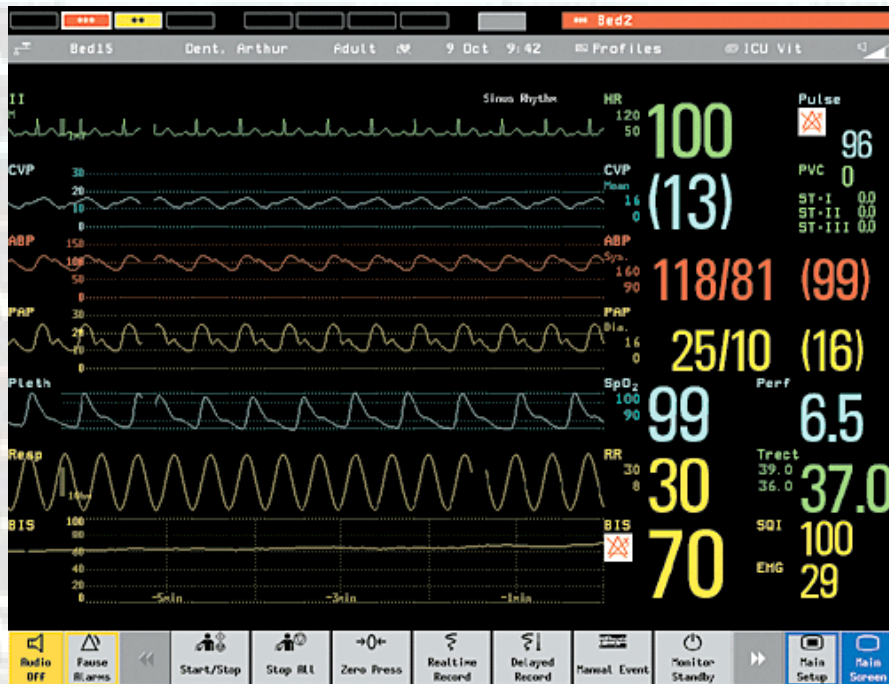


# Colour Brain Mapping

(barvy představují intenzitu elektrické aktivity jednotlivých částí mozku)



# 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 typické příklady moderních tzv. “popisných indexů”.

Tyto indexy nejsou skutečné fyzikální veličiny. Jsou to uměle vytvořené empirické parametry, jejichž hodnoty jsou určovány z mnoha měřených parametrů velmi složitým způsobem.

Určení těchto indexů nevyhází jen z výpočtů ale též na základě vyhledávání v tzv. znalostních databázích, které jsou založeny 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 (uživatel) se pouze musí seznámit s významem příslušného indexu a s hodnotami, které může nabývat, nemusí se však

## ... Komentář...

nutně příliš zajímat o způsob, jakým způsobem jsou měřeny. Proto je nutno v případě některých popisných indexů poskytnout dostatek údajů o pacientovi, aby bylo přístroji umožněno přesné vyhledávání ve znalostních databázích. Je téměř vždy nutno zadat věk, pohlaví, rasu, tělesnou výšku a hmotnost. Časté jsou otázky na např. délku prstů na ruce nebo na nohou.

Tyto “divné otázky” jsou časté hlavně u přístrojů monitorujících kardiovaskulární systém.

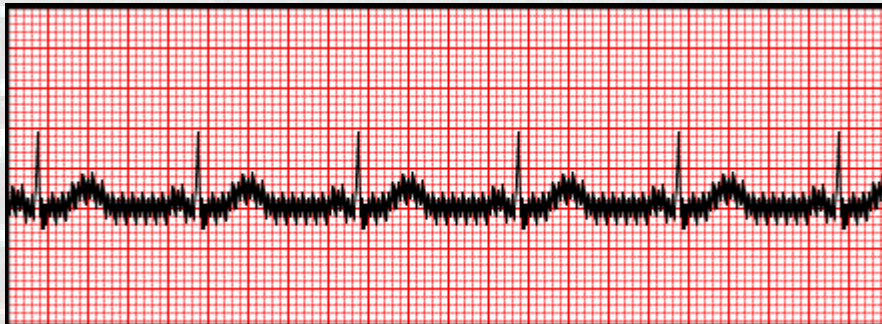
Tyto otázky však mohou být důležité. Pokud je příslušná odpověď vynechána, software může zvolit nepřesný statistický patientský model a zobrazí se nepřesná hodnota indexu.

# Artefakty

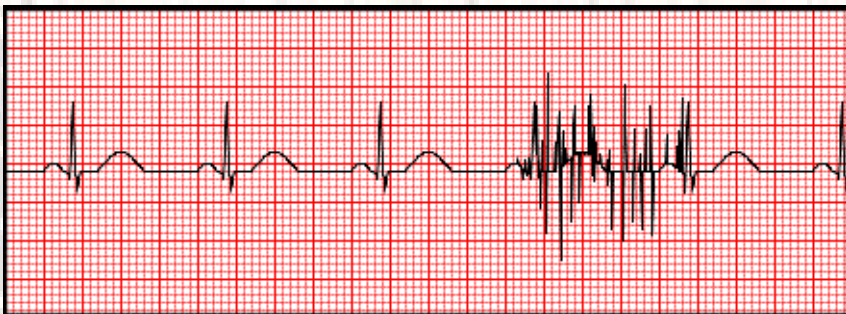
- Definice: Prvky (rysy) signálu, které nevznikají v cílové tkáni
- Vznikají pohybem pacienta, působením elektromagnetického pole v prostředí (např. 50 Hz síťová frekvence, mobilní telefony), v důsledku pocení etc.

# EKG Artefakty

[http://mauvila.com/ECG/ecg\\_artifact.htm](http://mauvila.com/ECG/ecg_artifact.htm)



50Hz střídavého proudu  
superponováno na signál  
EKG



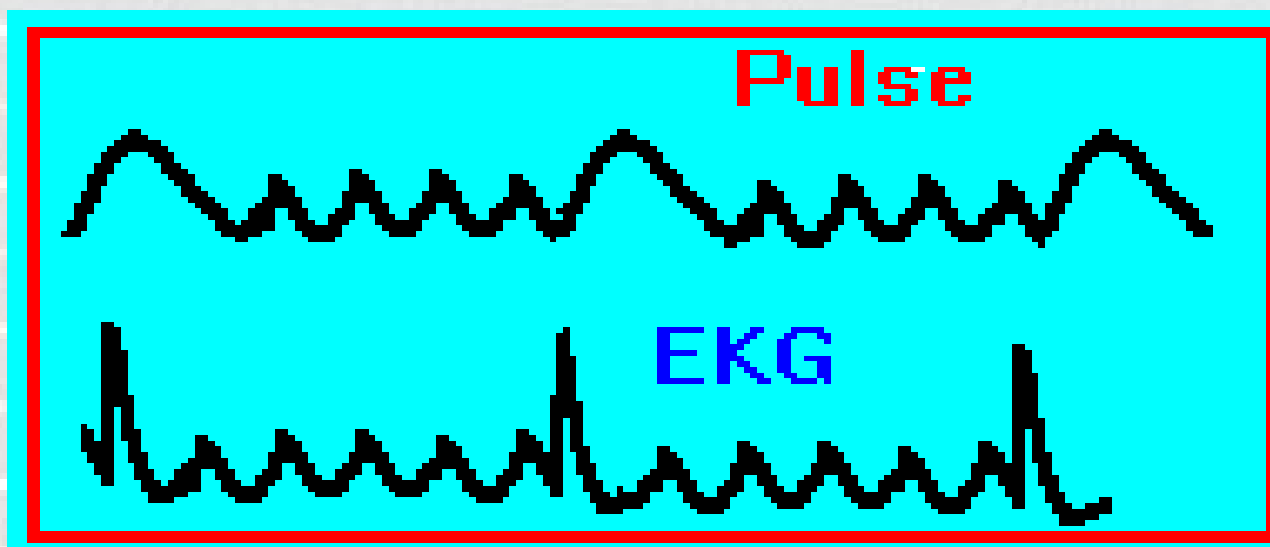
Svalový třes



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

# Některé artefakty EEG

[http://www.brown.edu/Departments/Clinical\\_Neurosciences/louis/artefct.html](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

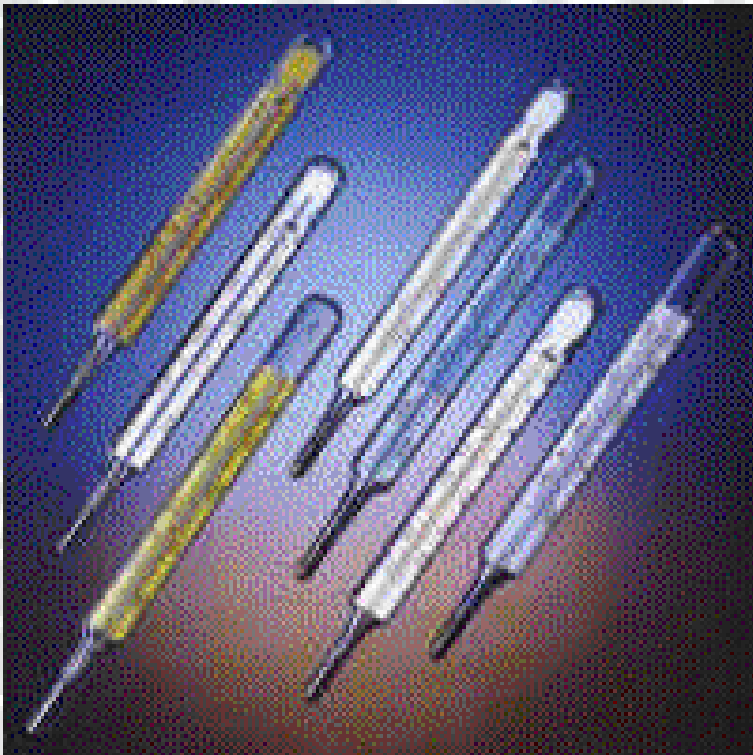
Nevýhoda: dlouhá doba odpovědi (doby nutné pro stabilizaci teplotního údaje – 3-5 min.)

## **Lékařský rychloběžný teploměr:**

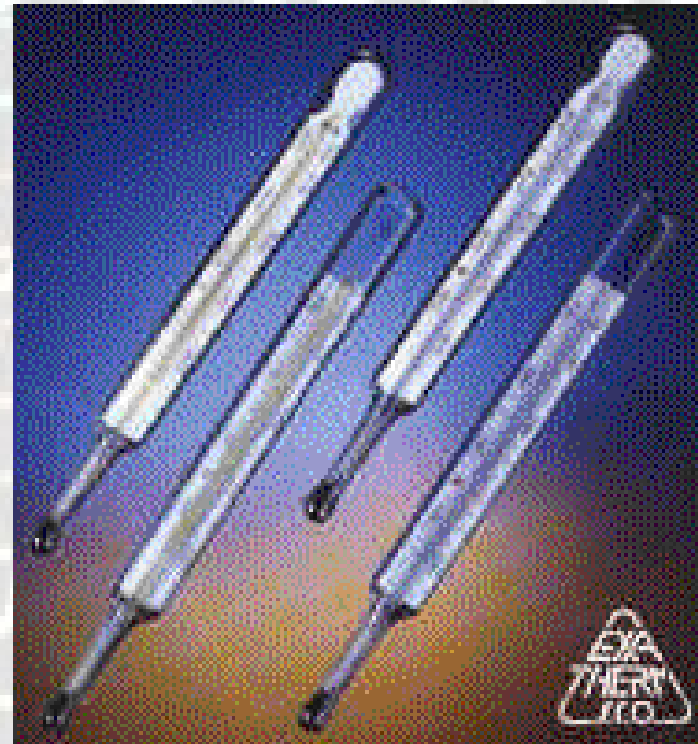
Lihová náplň – kapilára není zúžena, teplota se musí odečítat během měření (in situ), doba odpovědi max. 1 min.

# Kapalinové teploměry

## Maximální a rychloběžné teploměry

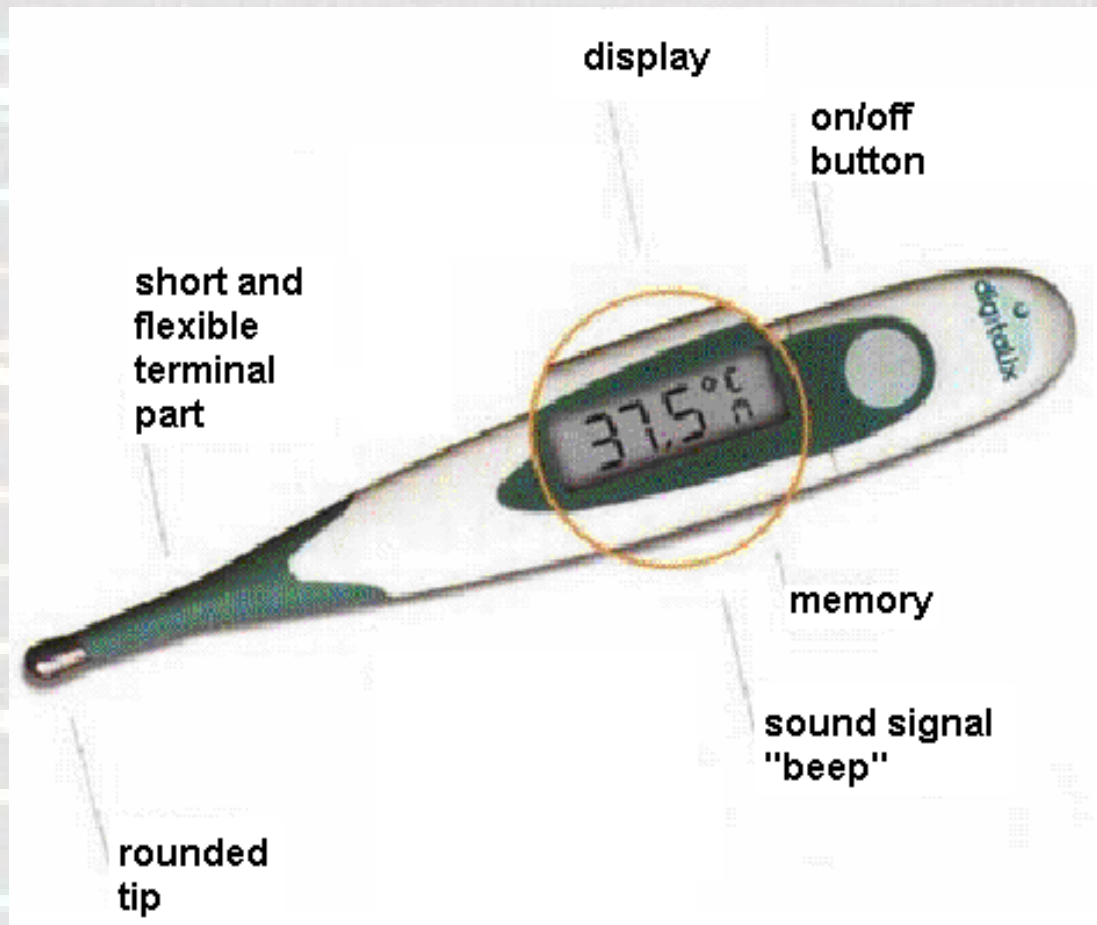


Orální nebo axilární  
maximální



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.

# Infračervené radiální teploměry pro běžné použití





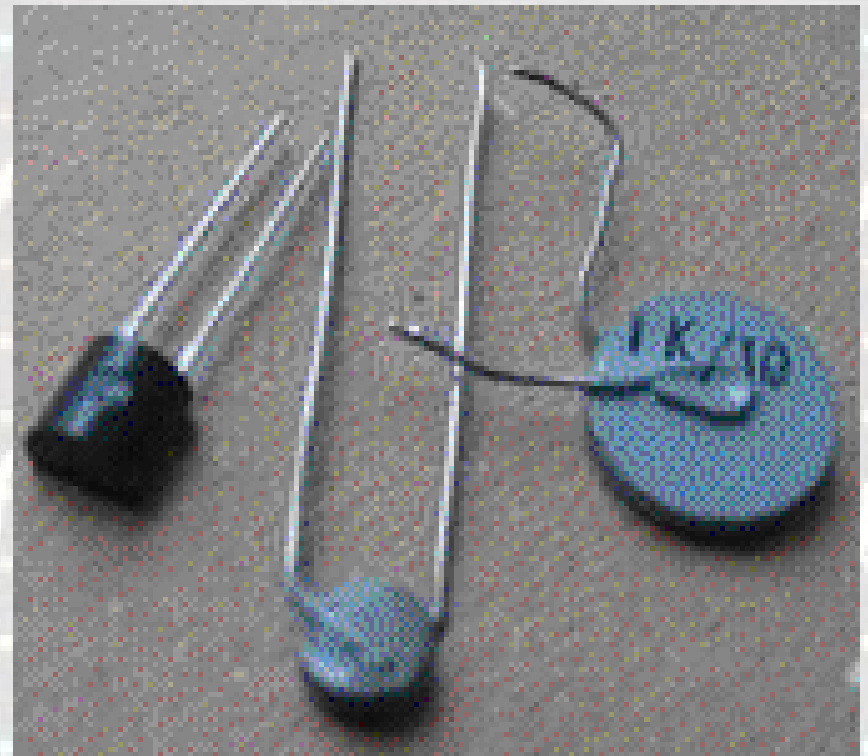
# Odporové teploměry – termistor

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

**R** – odpor při teplotě **T**

**R<sub>0</sub>** – odpor při teplotě **T<sub>0</sub>**

**B** – konstanta



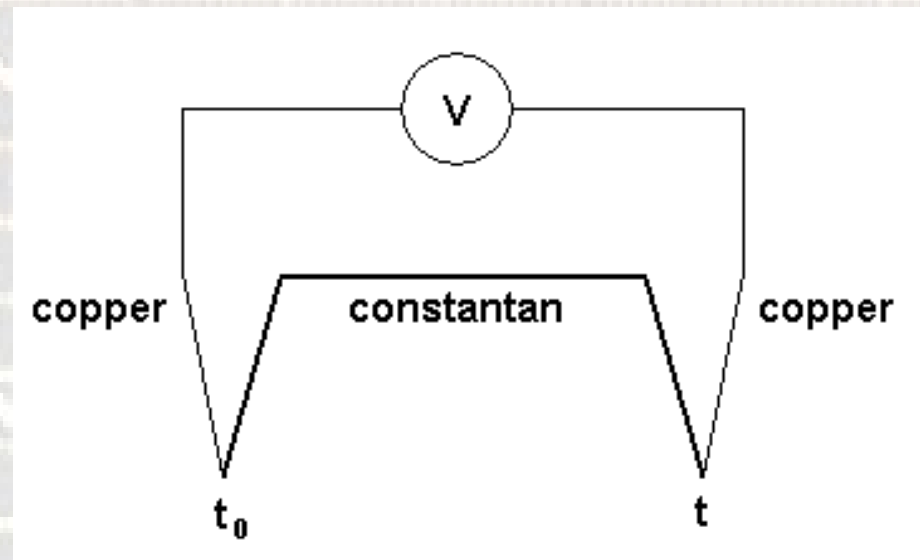
# Termočlánek



Digitální termočlánkové čidlo

● Nanobiotechnology Center (NBTC)

Měřicí systém s dvojicí termočláneků měď/konstantan



Termoelektrické napětí

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

Poslední revize: Zářní 2009

Autoři:

Vojtěch Mornstein,  
Jan Dvořák,  
Věra Maryšková

Grafika:  
Lucie Mornsteinová

Obsahová spolupráce:

Carmel J. Caruana, Ivo Hrazdira