

# Přednášky z lékařské biofyziky

Biosignály a jejich zpracování, měření teploty

# Co to je biosignál?

“Jako **biosignály** můžeme označit veškeré signály, jejichž existenci můžeme zaznamenat v živých organismech“

Signál - nese nějakou informaci o systému, ale sám je vždy nesen nějakým **nosičem**, má **fyzikální charakter**.

	bezčasové	časové
jednorozměrné	střední tlak krve	teplotka, oxymetrie
vektor	teplota+tlak+BMI	EKG, EEG
dvojměrný	RTG	sono
trojměrný	CT, MRI	4D sono

# Co to je biosignál?

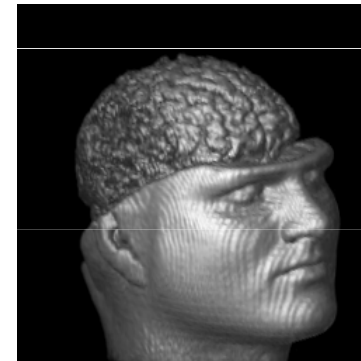
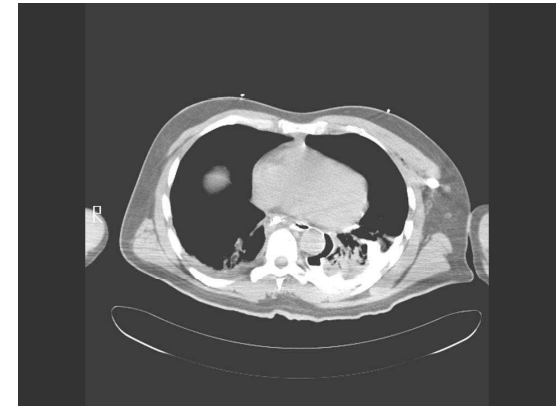
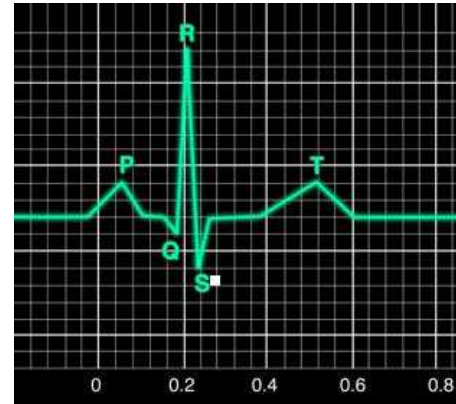
Zjednodušeně lze říci, že jej chápeme jako měřenou hodnotu napětí  $U$ , která poskytuje biologickou informaci. Příklady:

EKG je  $U(t)$  biosignál, který poskytuje informaci o fyziologii nebo patologii srdce.

U sonogramu 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 svaly se objevuje měřitelné elektrické napětí.

# Biosignál elektrické povahy

Proces zpracování biosignálů – „elektrické povahy“

Snímání → zesílení a úprava → zobrazení a záznam

EKG, EMG, EEG, membránový potenciál, ...

- Snímací elektrody
- Zesilovač, propusti, filtry, vzorkovací zařízení, A/D převodník (viz další snímek)
- Záznamové zařízení – monitor, paměťová media – flash paměť, optická media

Odpadá nutnost převést vlastní fyzikální rozměr biosignálu do podoby „napětí“.  
Co ale v případě takových fyzikálních veličin jako je rychlost, tlak, síla???

# Proces zpracování biosignálů – „mechanické povahy“

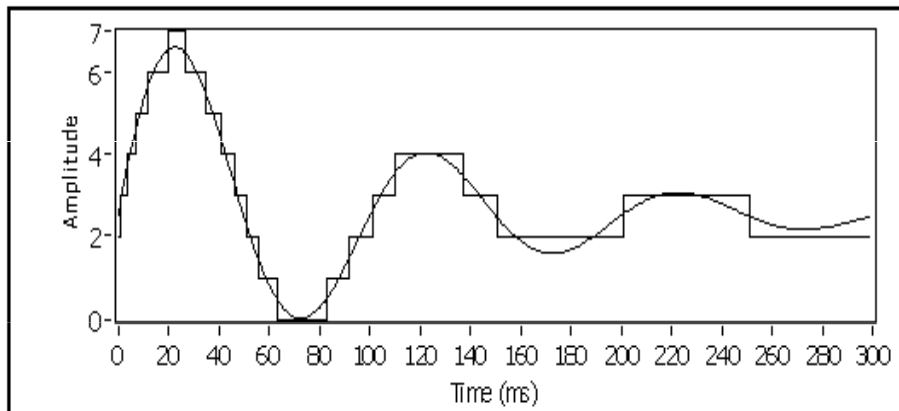
Snímání → zesílení a úprava → zobrazení a záznam

**mechanoelektrický převodník + A/D převodník**

A/D př. = Analogový signál (spojitý) → digitální signál (diskrétní)

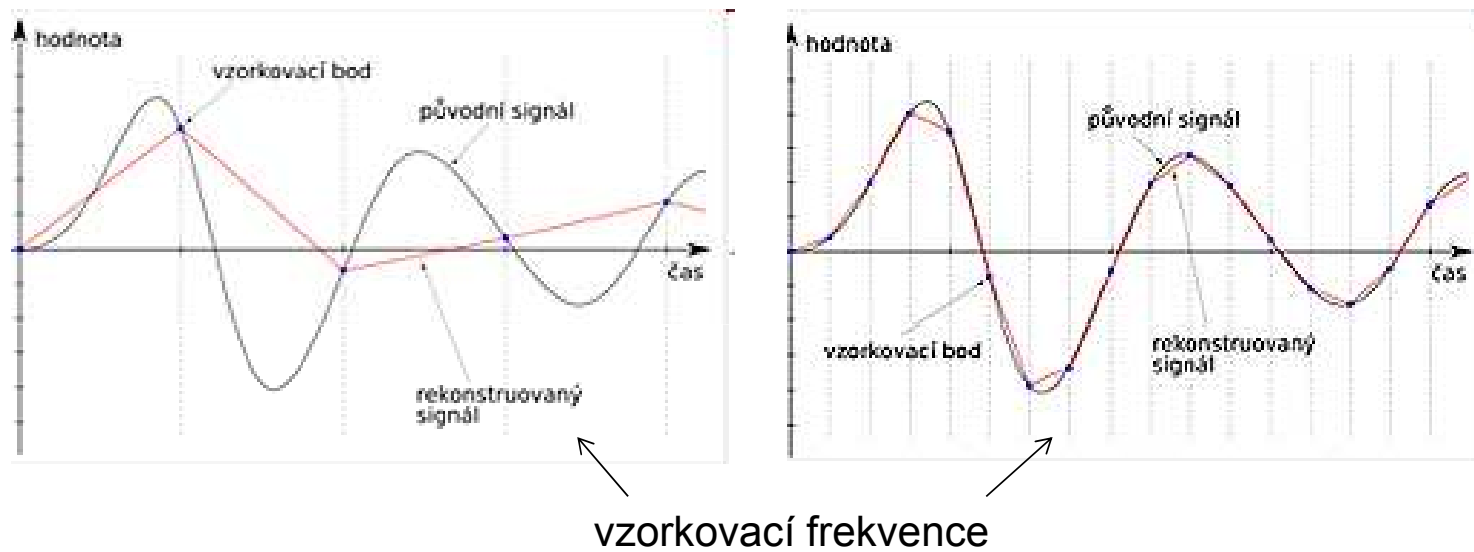
mechanoelektrický př. = mechan. signál → signál elektr. povahy

A/D Input/Output



Vzorkovací frekvence  $f$   
Nyquistova frekvence  $f_N$   
max.  $2 f_N = f$

# Vzorkování signálu



# Mechanoelektrické měniče

vhodné pro měření tlaku

odporové

indukční

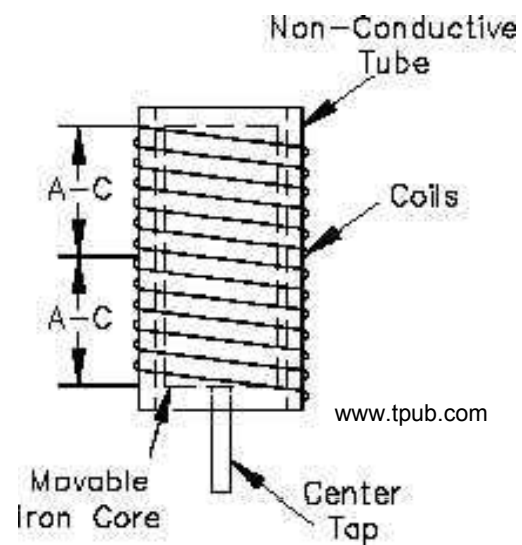
kapacitní

piezoelektrické

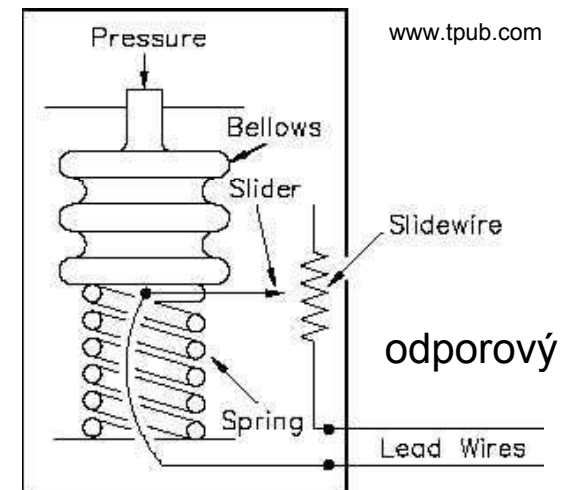


[www.creative-science.org.uk](http://www.creative-science.org.uk)

piezoelektrický



indukční



odporový



# 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)

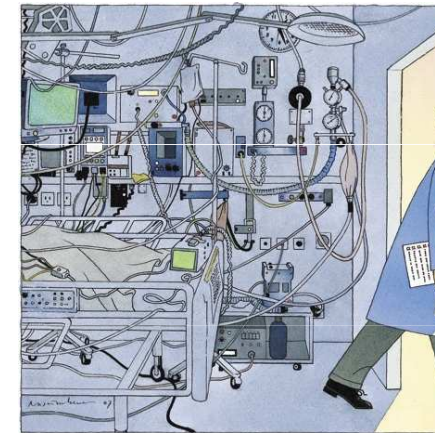
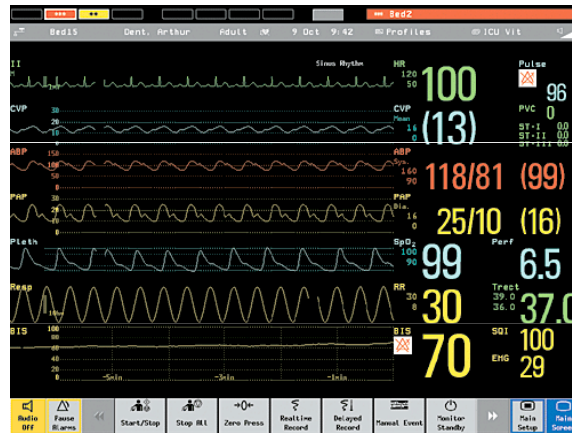
*Pasivní biosignály (též aktivní neelektrické):* snímací elektrody jsou nahrazeny čidly - měniči (např. čidla rtg záření u digitálního rtg přístroje nebo teplotní čidla).



Elektrody EKG na jedno použití



# Monitorování biosignálů na jednotce intenzivní péče



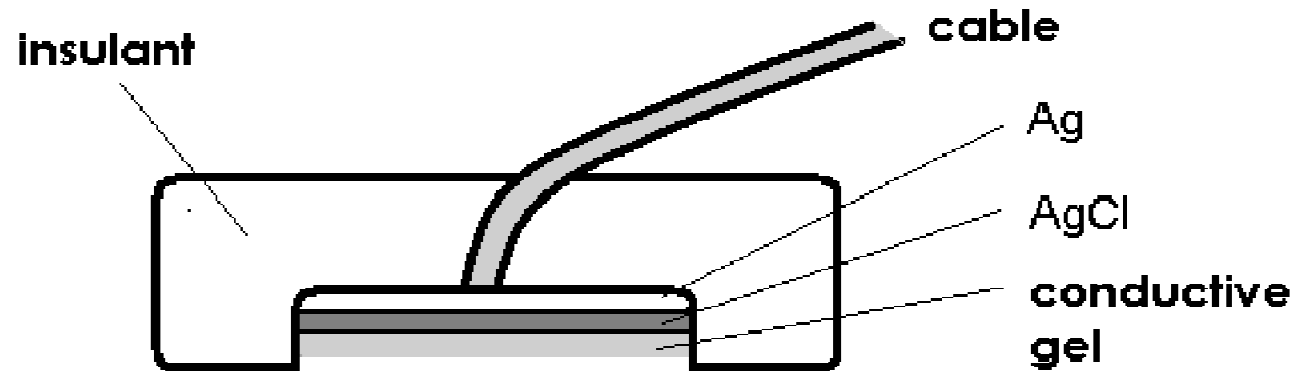
# Elektrody pro měření aktivních biosignálů

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

- **Polarizovatelné elektrody:** 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

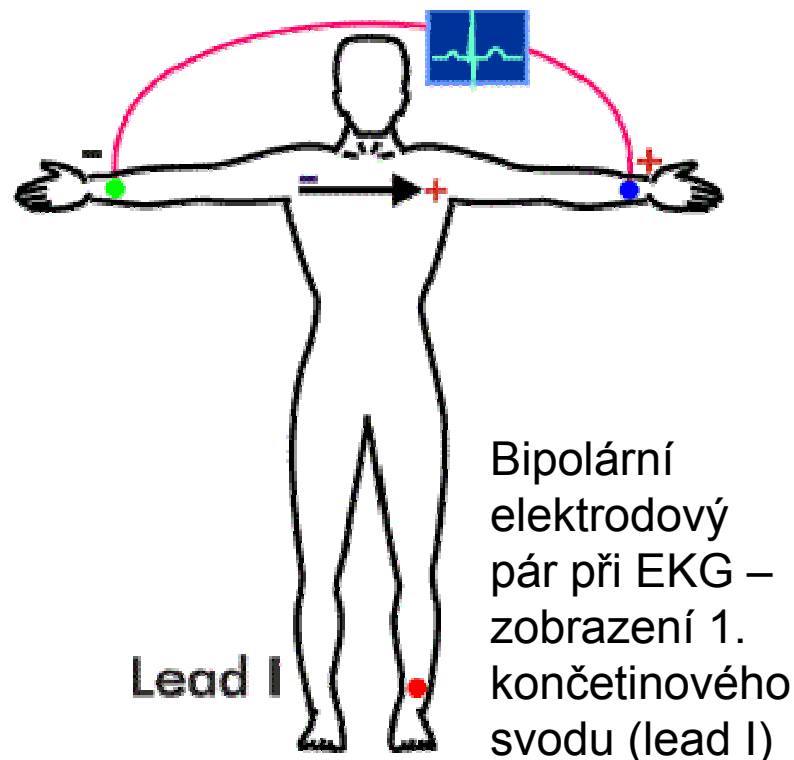
- **Makro-** nebo **mikroelektrody**. Mikroelektrody se používají pro měření biopotenciálů jednotlivých buněk. Mají malý průměr hrotu ( $<0,5 \mu\text{m}$ ) a jsou vyrobeny z kovu (polarizovatelné) nebo skla (nepolarizovatelné). Skleněné mikroelektrody jsou kapiláry s otevřeným koncem, naplněné elektrolytem 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.



## Zesilovač

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

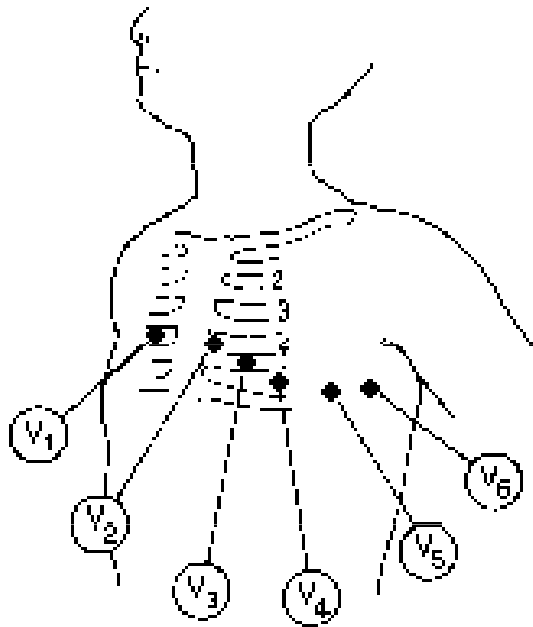
$$\text{Zisk zesilovače} = 20 \cdot \log U_o / U_i \quad [\text{dB}]$$

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



Output, input

# EKG - elektrokardiogram



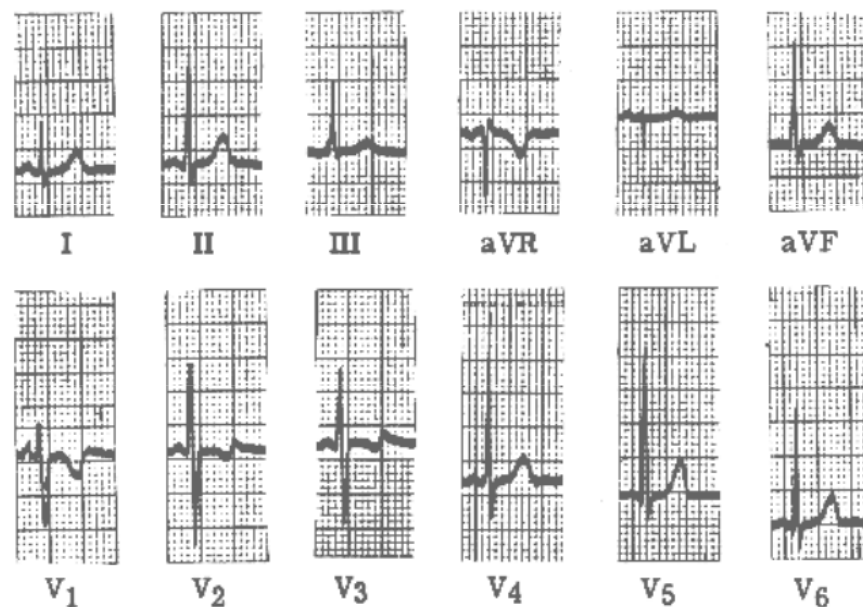
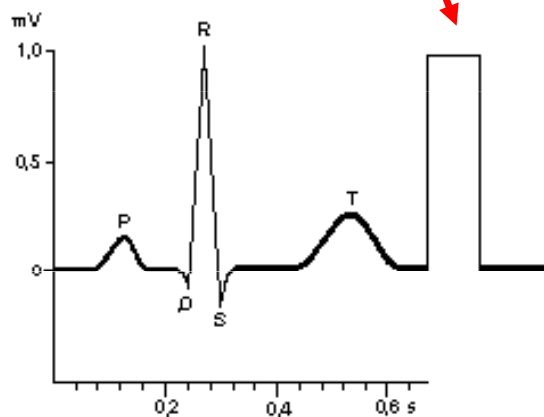
Elektrody hrudních svodů  
– jejich napětí se měří  
proti indiferentní elektrodě  
– **Wilsonově sorce**

- EKG je nejsilnější a nejčastěji měřený aktivní biopotenciál.
- Při měření EKG se tři elektrody umísťují na končetiny (2 na zápěstí, 1 na levý bérec) 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



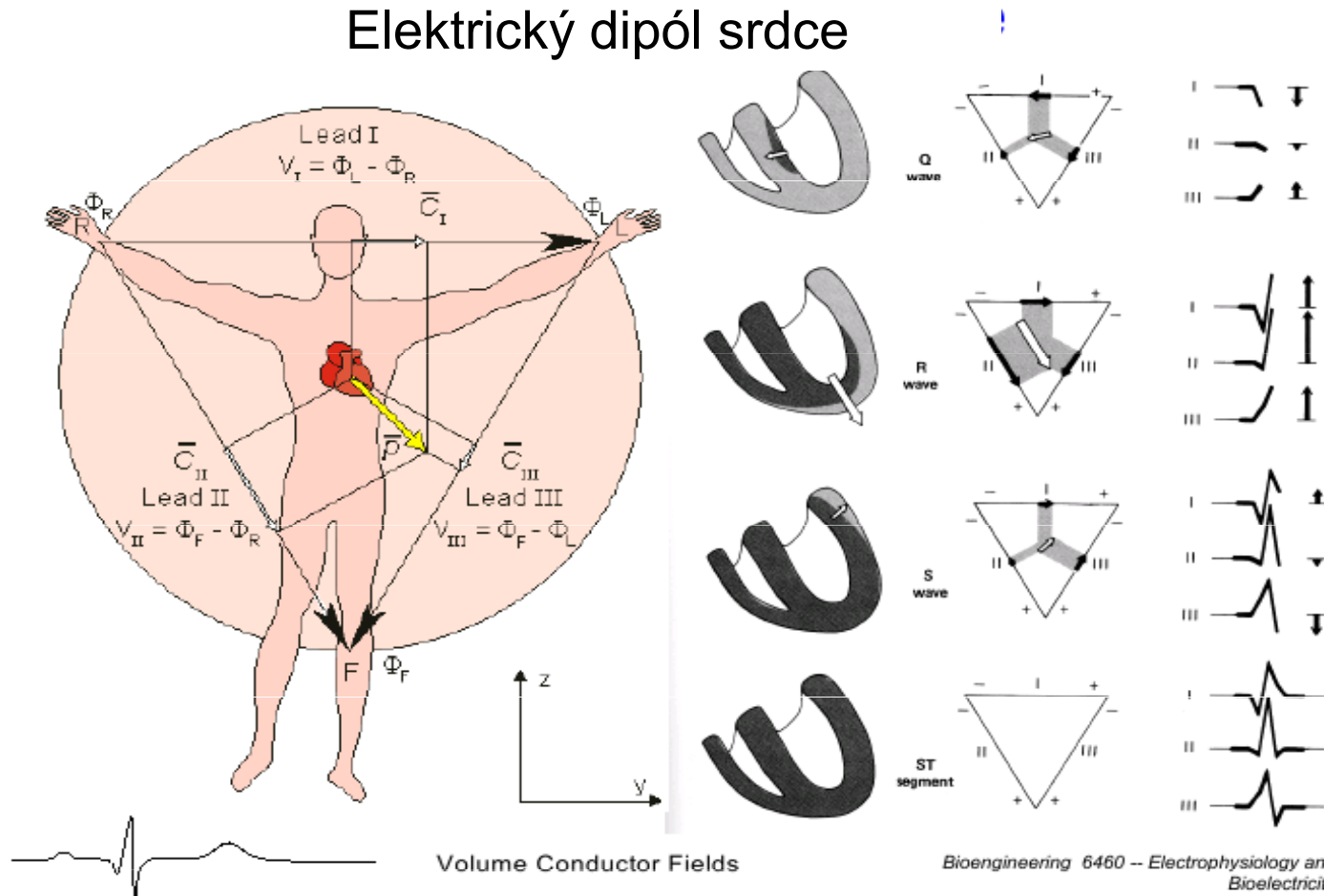
Římskými číslicemi jsou označeny končetinové svody, za nimi pak následují zesílené (augmentované) končetinové svody Goldbergerovy. Dolní série záznamů odpovídá svodům hrudním.

Jak vzniká EKG a pulsová vlna? Běž např. na:

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

# Einthovenův trojúhelník

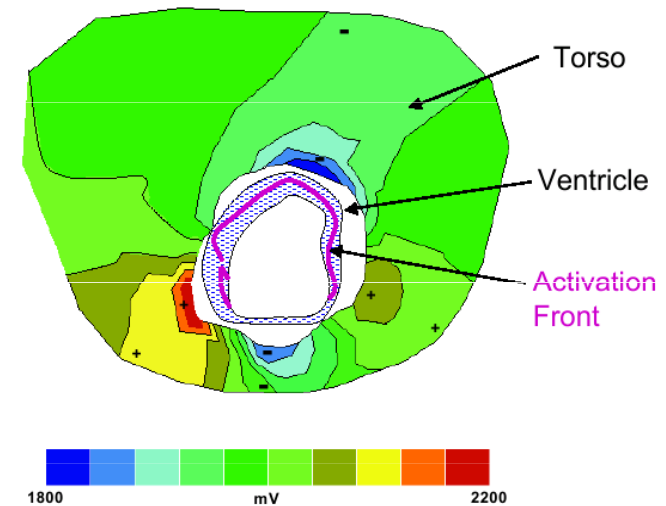
## Elektrický dipól srdce



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

# Princip vektorkardiografie

(příklad pokusu o jiný záznam elektrické aktivity srdce)

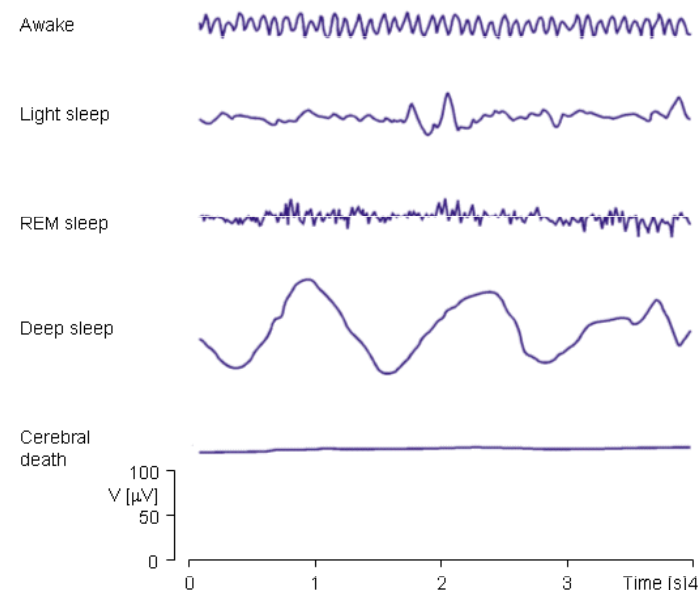


Elektrody umístěné na povrchu těla umožňují měření hodnot napětí „promítnutých“ ze srdce na příslušnou část povrchu těla. Protože známe polohu a tvar srdce, elektrické vlastnosti tkání a umístění elektrod, můžeme vypočítat původní hodnoty napětí v bezprostřední blízkosti srdce. Takto lze lokalizovat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

# EEG Elektroencefalografie

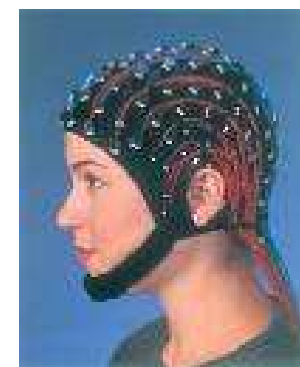
- $\alpha$ -vlny:  $f = 8-13$  Hz, amplituda (A) max.  $50 \mu\text{V}$ . Tělesný a duševní klid.
- $\beta$ -vlny:  $f = 15 - 30$  Hz,  $A = 5 - 10 \mu\text{V}$ . Zdraví lidé za plné bdělosti.
- $\theta$ -vlny:  $f = 4 - 7$  Hz,  $A > 50 \mu\text{V}$ . Fyziologické u dětí, u dospělých patologické.
- $\delta$ -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 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.



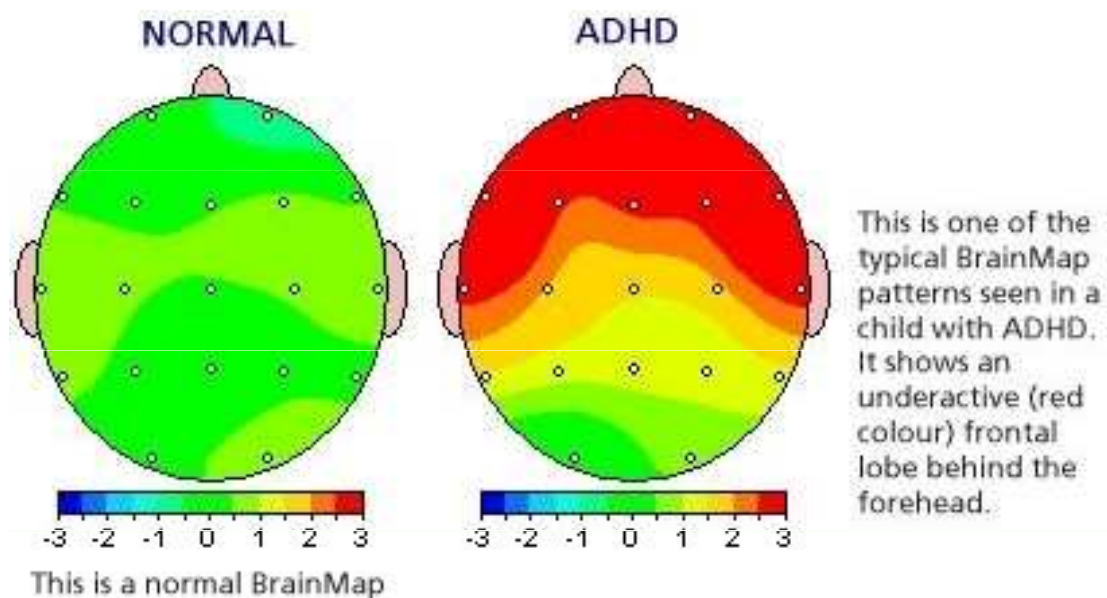
Poznámka:

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



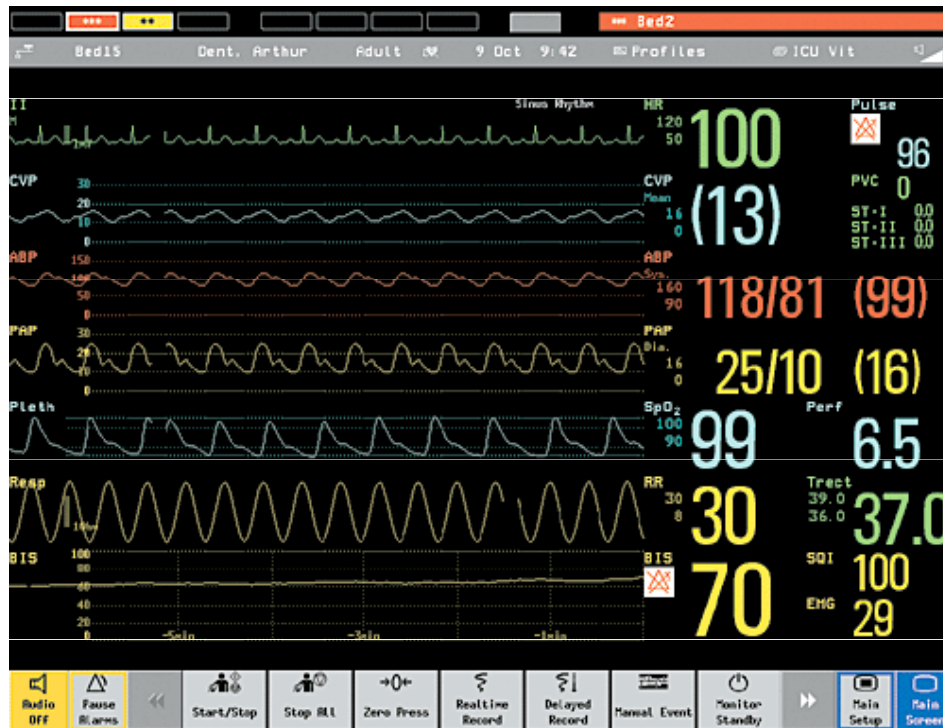
# Colour Brain Mapping

(barvy představují intenzitu elektrické aktivity jednotlivých částí mozku)



Attention Deficit Hyperactivity Disorder (ADHD)

# Bispektrální index, Comfort Score



Nejnižší řádek je BiS. BiS se počítá z EEG.

- 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?

# Komentář k BiS, CS atd.

Bispektrální index, Comfort Score atd. jsou příklady tzv. “popisných indexů”, které jsou 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, jak 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 nohu. 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

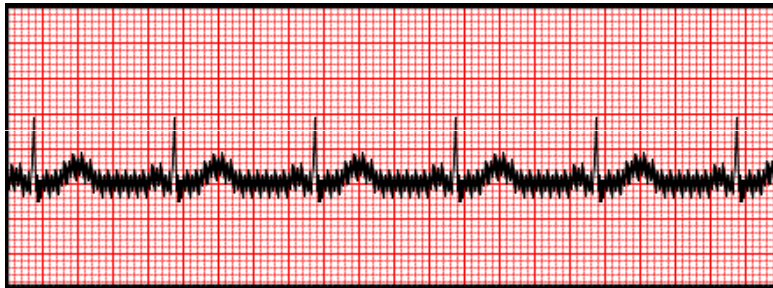
Definice: Prvky (rysy) signálu, které nevznikají v cílové tkáni.

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. Elektrodový systém musí být pečlivě kontrolován.

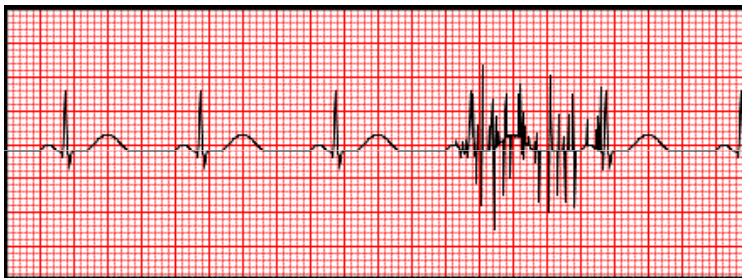


# EKG Artefakty

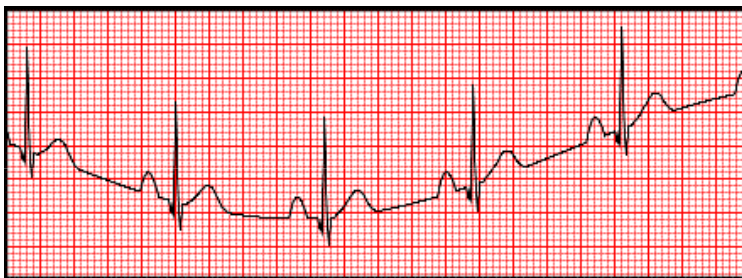


[http://mauvila.com/ECG/ecg\\_artifact.htm](http://mauvila.com/ECG/ecg_artifact.htm)

50Hz střídavého proudu  
superponováno na signál  
EKG

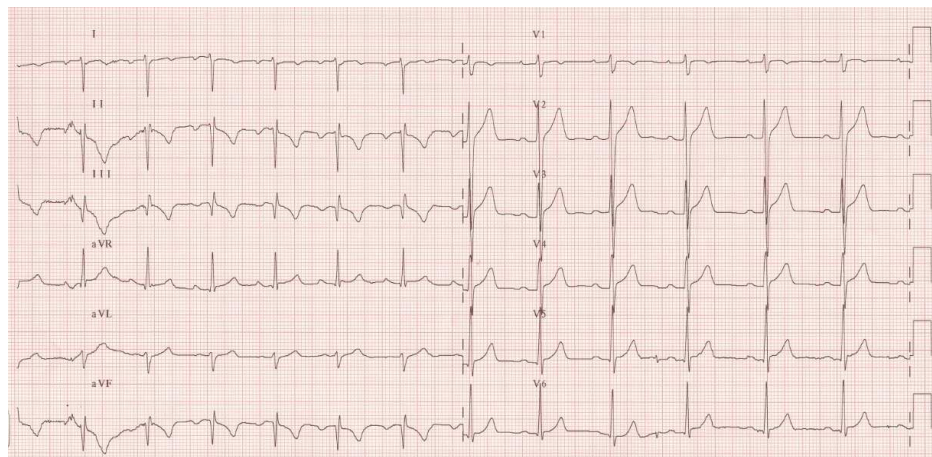


Svalový třes



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

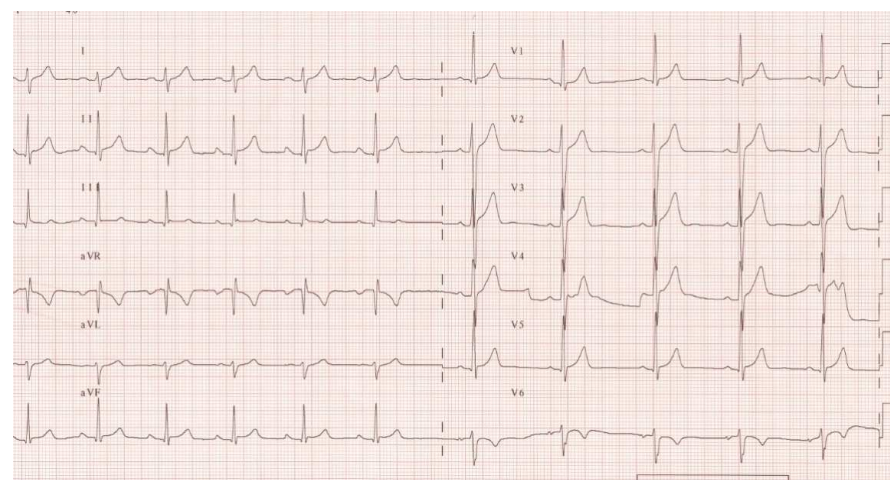
## Přehozené svody



*končetinové*

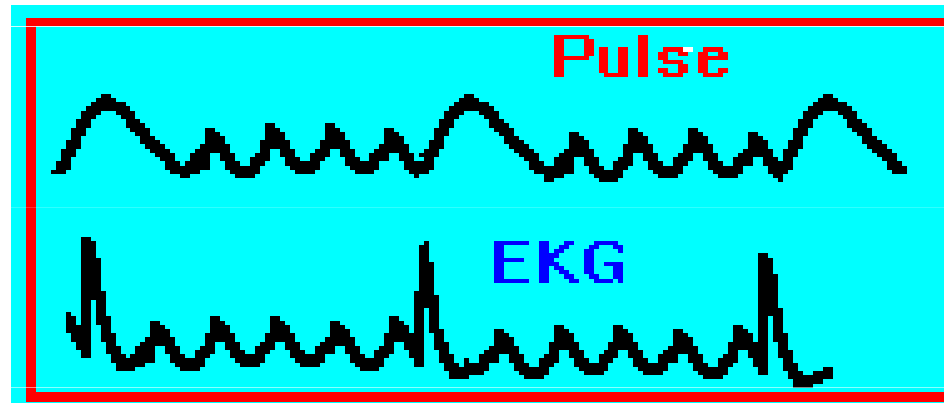
*hrudní*

***Lékař musí  
poznat!!!!!!***



# 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 – tekuté krystaly
- 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.)

V lékařské praxi se již nepoužívá kvůli toxicitě rtuti.

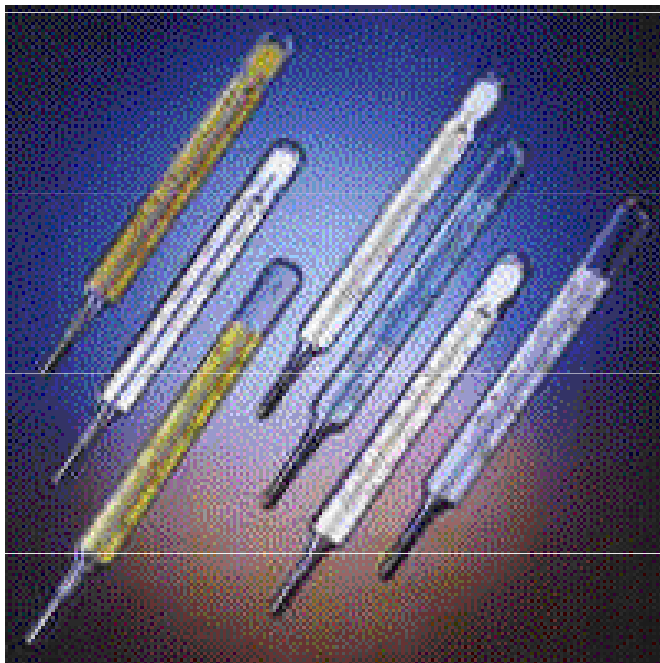
## **Lékařský rychloběžný teploměr:**

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

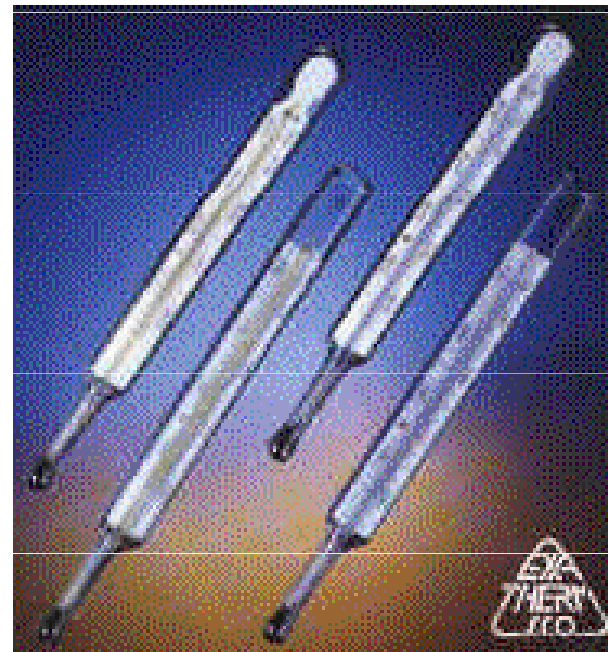


# Kapalinové teploměry

## Maximální a rychloběžné teploměry

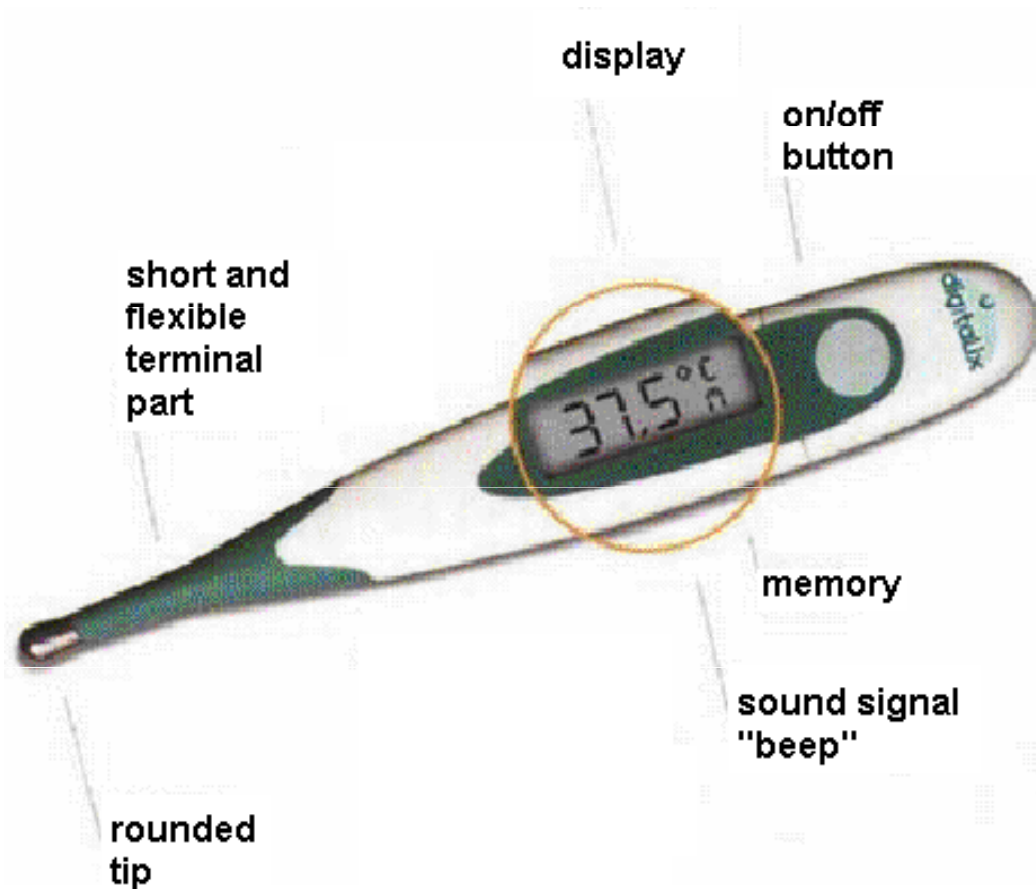


Orální nebo axilární  
maximální



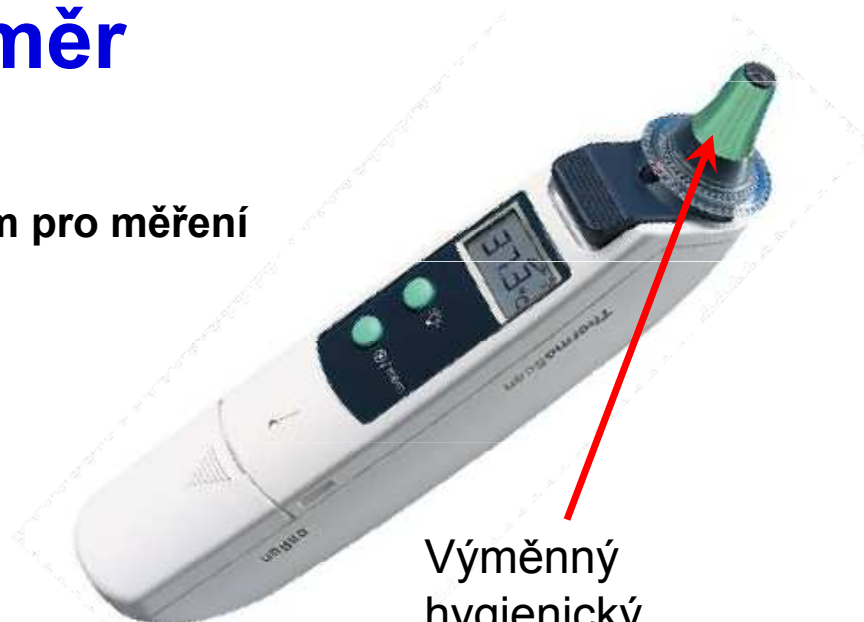
Rektální rychloběžný  
maximální

# Digitální teploměr



# Ušní teploměr

Teploměr s IR čidlem pro měření  
teploty „z ucha“



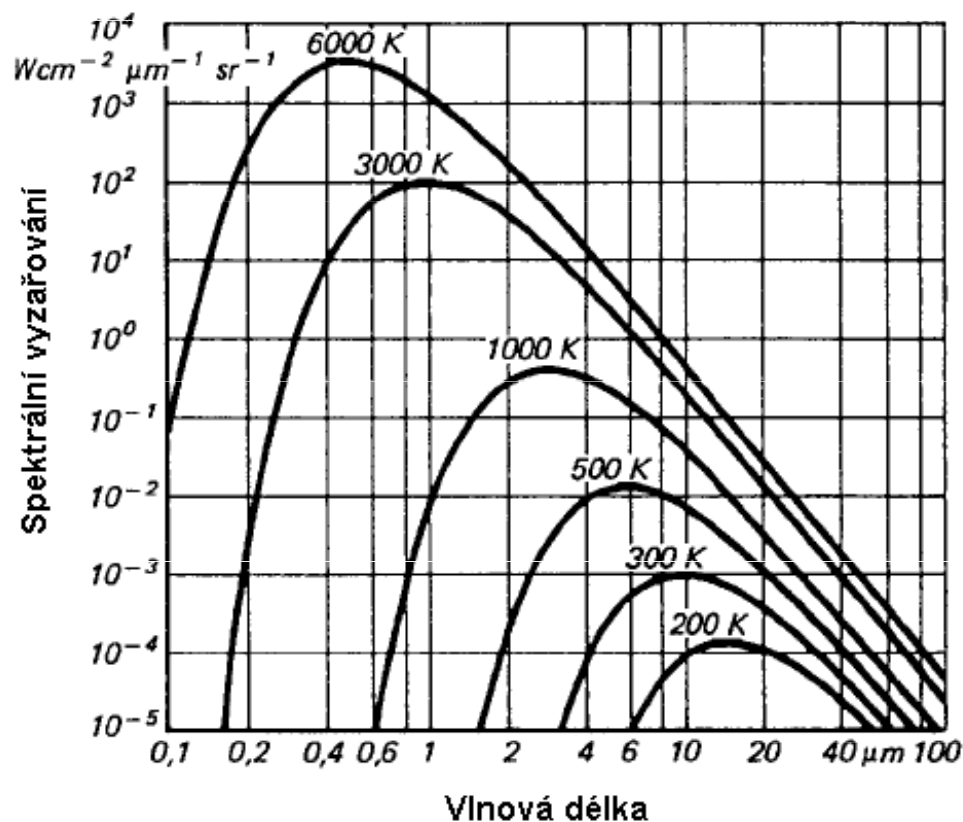
Výměnný  
hygienický  
nástavec

## Ušní teploměry:

Jejich principem je měření infračerveného záření, které je vyzařováno z oblasti 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 radiální teploměry pro běžné použití (i nelékařské)



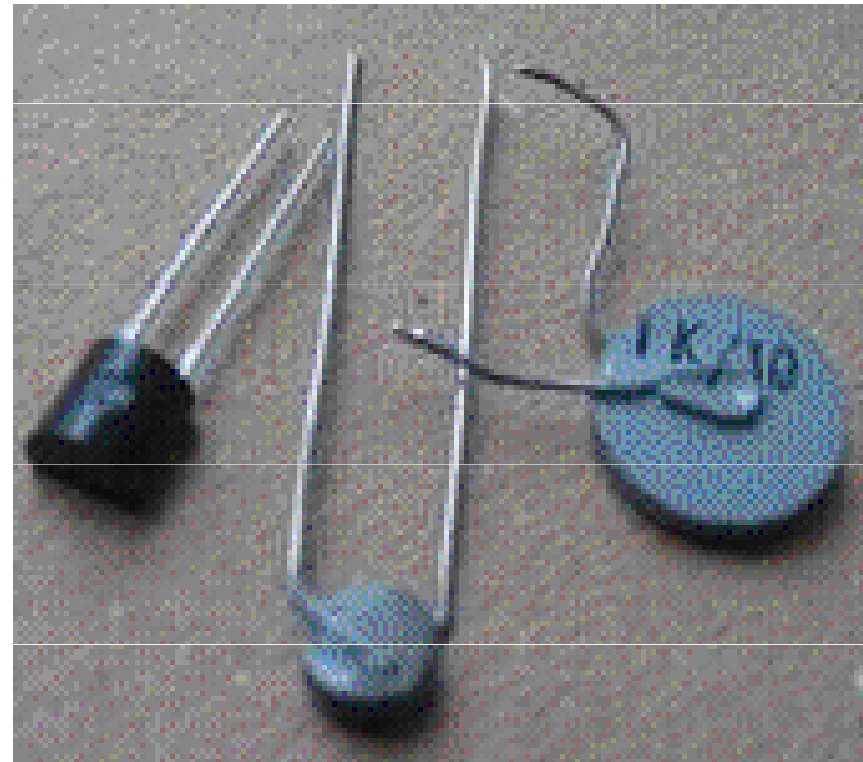
# Odporové teploměry – termistor

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

**R** – odpor při teplotě **T**

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

**B** – konstanta



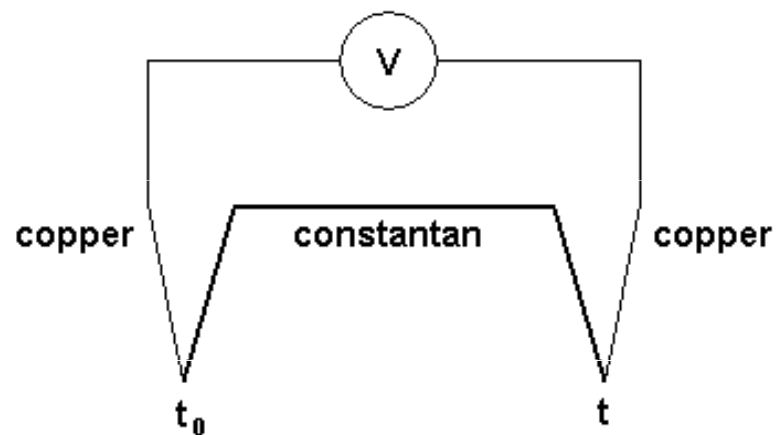
# Termočlánek



Digitální termočláňkové čidlo

Nanobiotechnology Center (NBTC)

Měřicí systém s dvojicí termočláňků měď/konstantan



Termoelektrické napětí

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

**MUNI  
MED**

**Autoři:**

**Vojtěch Mornstein,  
Věra Maryšková  
Vladan Bernard**

**Obsahová spolupráce:**

**Poslední revize a ozvučení: březen 2023**