

Přednášky z lékařské biofyziky

Biosignály a jejich zpracování, měření teploty

Fyzikální veličina

Kvalitativní a kvantitativní popis vlastností hmoty

Extenzivní (aditivní) / intenzivní

Skalární / vektorová (tenzor)

Název, značka, velikost, jednotka, směr

měření a registrace mechanických veličin

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?

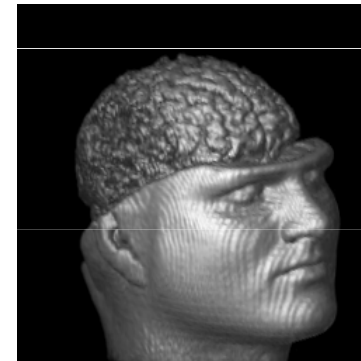
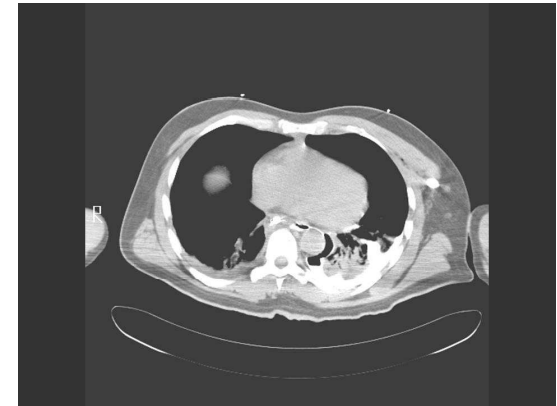
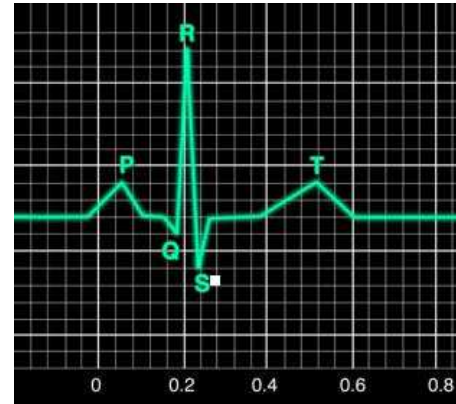
Zjednodušeně lze říci, že jej chápeme jako měřenou hodnotu napětí U , která poskytuje biologickou informaci. Příklady:

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???

Biosignál NEelektrické povahy

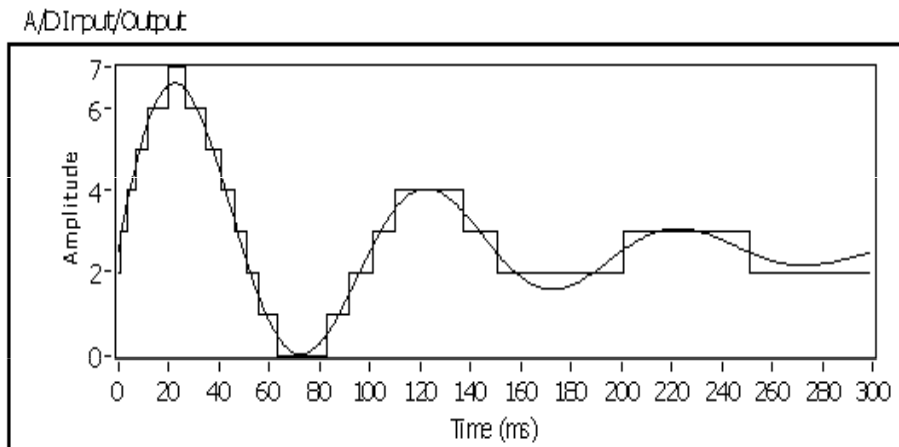
Proces zpracování biosignálů – „mechanické povahy“

Snímání → zesílení a úprava → zobrazení a záznam

mechanoelektrický převodník + A/D převodník

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

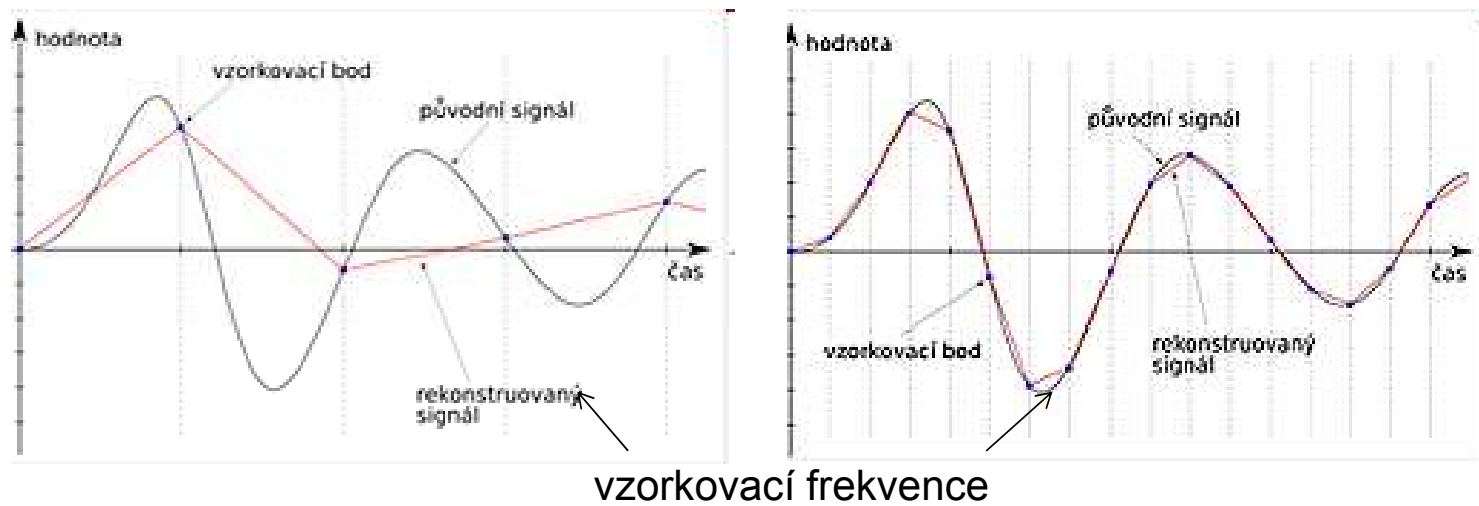
mechanoelektrický př. = mechan. signál → signál elektr. povahy



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

Shannon-Nyquist-Kotelnikův teorém říká: „Vzorkovací frekvence musí být více alespoň dvojnásobkem, největší frekvence vzorkovaného signálu.“ lidské ucho vnímá max. 22 kHz => vzorkovací frekvence 44,1 kHz.

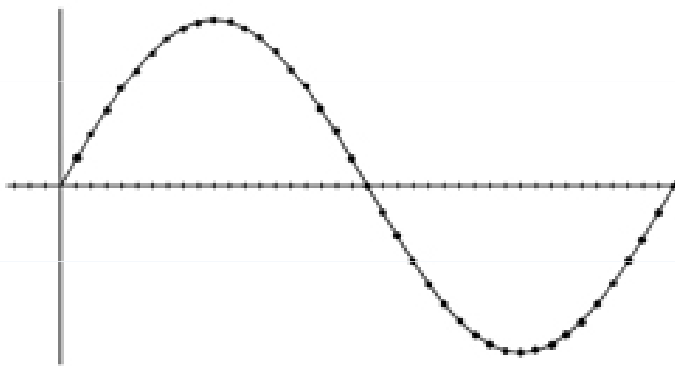
Vzorkování signálu



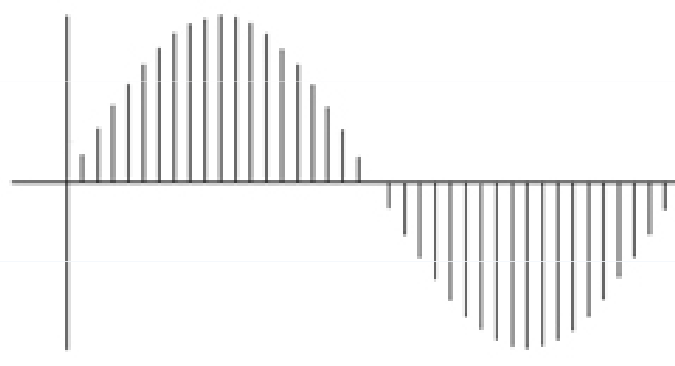
vzorkování signálu v čase – jde o odběr vstupního signálu v definovaných okamžicích, daných vzorkovacími impulsy

kvantování vzorků v úrovni – odebraný vzorek je zaokrouhlen na hodnotu odpovídající nejbližší kvantovací úrovni

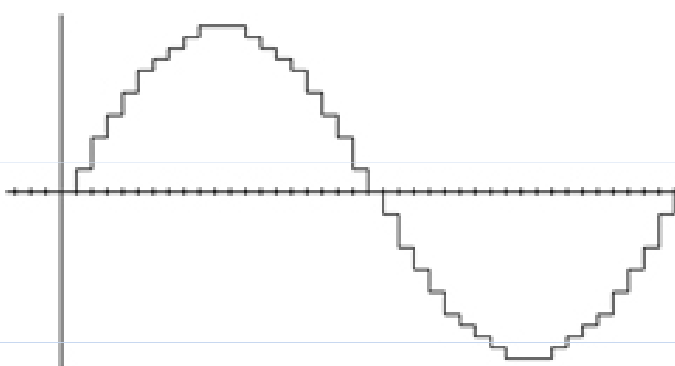
kódování - kvantované hodnoty jsou vyjádřeny čísly v určitém kódu



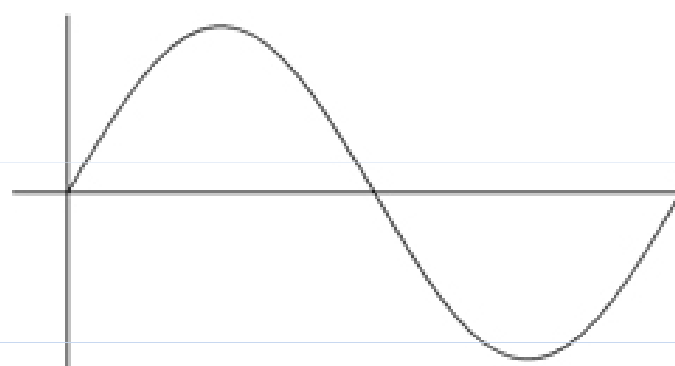
a)



b)



c)



d)

Analog. s., vzorkování, kvantování, rekonstruovaný s.

měření a registrace mechanických veličin

Pro zvědavé ... Bude součástí jiné přednášky, nemine vás...

Nuly a jedničky ?

- TTL (transistor-transistor-logic; tranzistorově-tranzistorová logika) je technologie logických integrovaných obvodů, vycházející z použití bipolárních křemíkových tranzistorů. Původní obvody technologie TTL používají napájecí napětí 5 V (± 0.25 až 0.5 V), z čehož vyplývá pro logickou jedničku napětí přibližně 5 V, pro logickou nulu napětí přibližně 0 V.
- Napětí 0 V až 0,8 V se interpretuje jako logická 0, napětí 2 V až 5 V se interpretuje jako logická 1. Na výstupu by měl TTL nebo TTL kompatibilní obvod zajistit napětí pro logickou jedničku napětí 2,7 V až 5 V, pro logickou nulu 0 až 0,3 V.
- Současná (2021) digitální logika většinou používá nižší napěťové hladiny (3.3 V; 2.5 V, 1.8 V i nižší).

Různé napěťové kódování binárních signálů

Opravdu jen pro zvědavé ...

obvyklé logické úrovně (ve voltech)

Technologie	Vstupní úroveň		Výstupní úroveň	
	logická 0	logická 1	logická 0	logická 1
TTL 5V	0 až 0,8	2,0 až 5	0 až 0,4	2,4 až 5
CMOS 5V	0 až 1,5	3,5 až 5	0 až 0,5	4,44 až 5
LVTTL 3.3V	0 až 0,8	2,0 až 3,3	0 až 0,4	2,4 až 3,3
CMOS 2.5 V	0 až 0,7	1,7 až 2,5	0 až 0,2	2,3 až 2,5
CMOS 1,8 V	0 až 0,7	1,17 až 1,8	0 až 0,45	1,2 až 1,8
CMOS (např. HC)	0 až $1/3 V_{DD}$	$2/3 V_{DD}$ až V_{DD}	?	?
ECL	$\leq -1,4$	$\geq -1,2$?	?
RS-232 (signály Rx a Tx)	-15 až -3	+3 až +15	-15 až -5 ^[1]	+5 až +15 ^[1]
RS-232 (signály RTS,CTS,DTR,DSR,RI)	+15 až +3	-3 až -15	+15 až +5 ^[1]	-5 až -15 ^[1]
HTL 10...30V	$\leq 0,2 \times V_{DD}$	$\geq 0,6 \times V_{DD}$	≈ 0	$\approx V_{DD}$

měření a registrace mechanických veličin

Mechanoelektrické měniče

vhodné pro měření tlaku

odporové

indukční

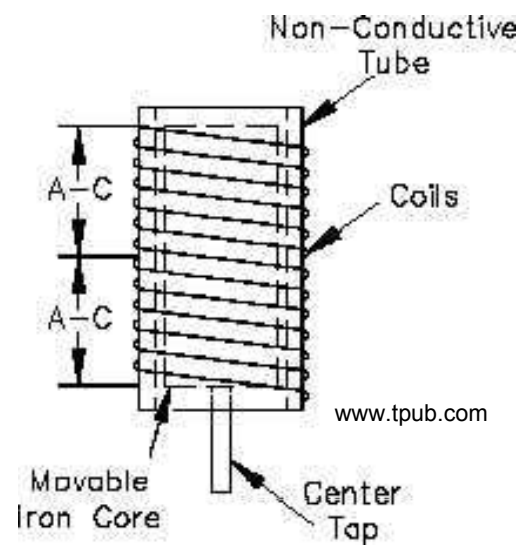
kapacitní

piezoelektrické

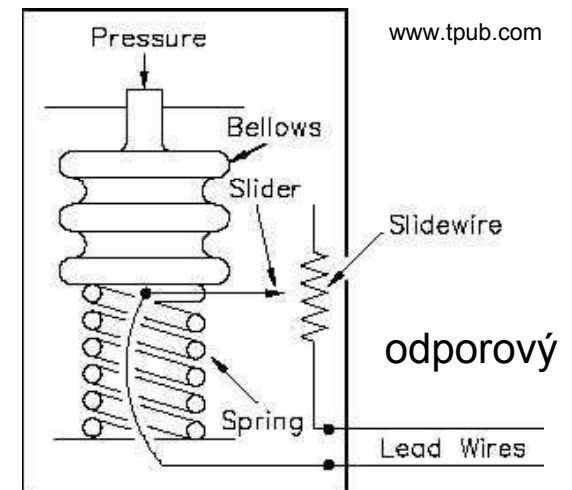


www.creative-science.org.uk

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)

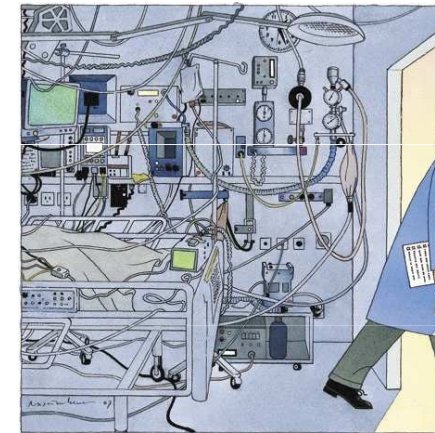
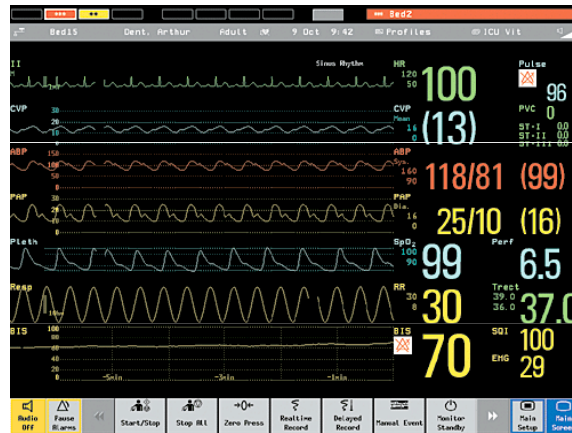
Pasivní biosignály (též aktivní neelektrické): snímací elektrody jsou nahrazeny čidly - měniči (např. čidla rtg záření u digitálního rtg přístroje nebo teplotní čidla).



Elektrody EKG na jedno použití



Monitorování biosignálů na jednotce intenzivní péče



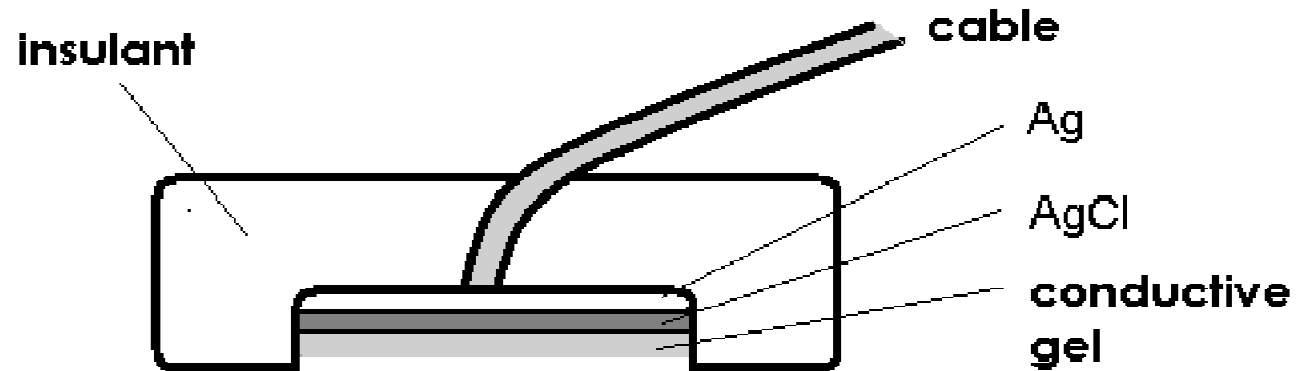
Elektrody pro měření aktivních biosignálů

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

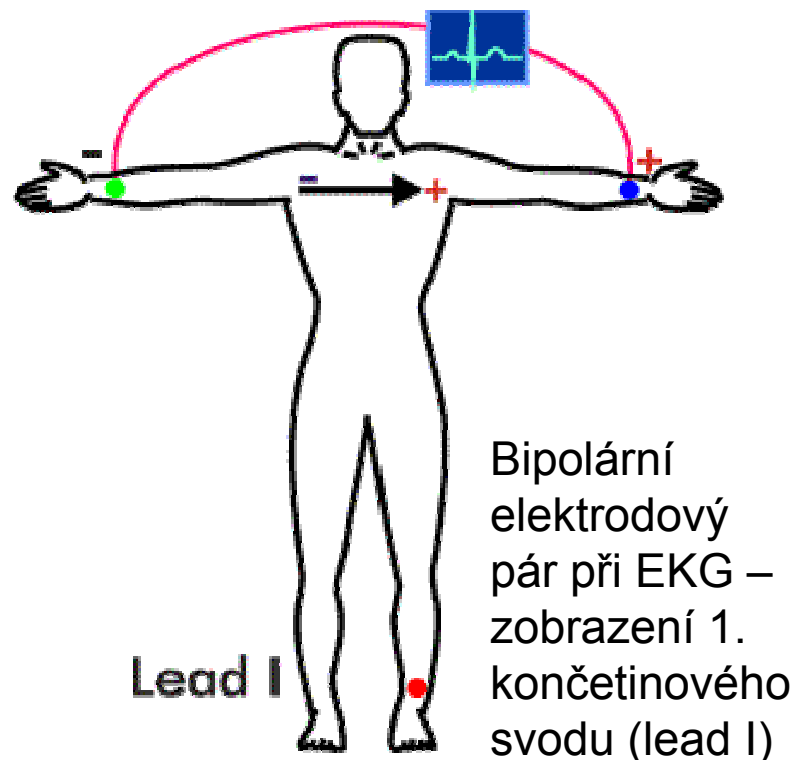
- **Makro-** nebo **mikroelektrody**. Mikroelektrody se používají pro měření biopotenciálů jednotlivých buněk. Mají malý průměr hrotu ($<0,5 \mu\text{m}$) a jsou vyrobeny z kovu (polarizovatelné) nebo skla (nepolarizovatelné). Skleněné mikroelektrody jsou kapiláry s otevřeným koncem, naplněné elektrolytem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

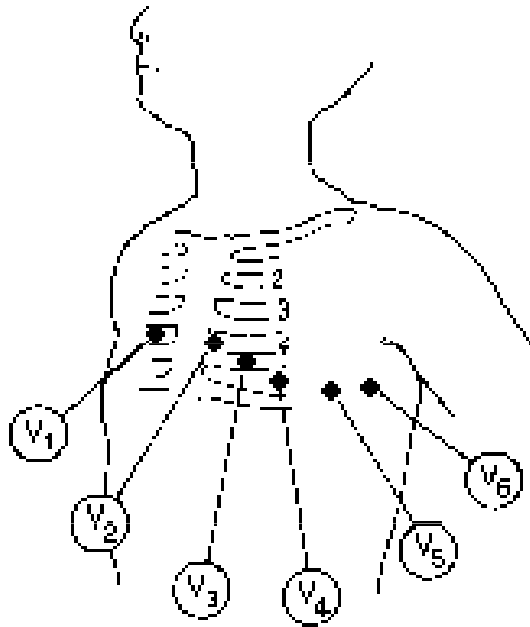
$$\text{Zisk zesilovače} = 20 \cdot \log U_o / U_i \quad [\text{dB}]$$

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



Output, input

EKG - elektrokardiogram

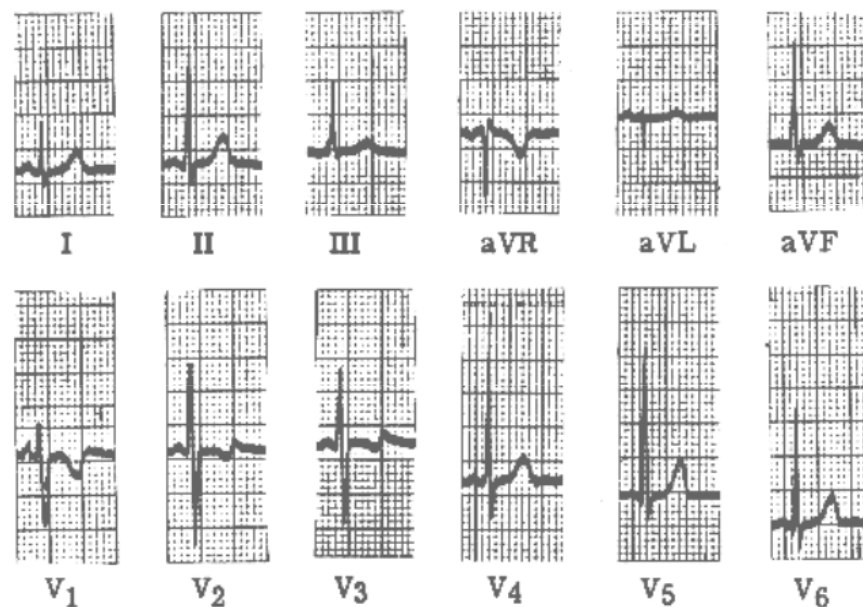
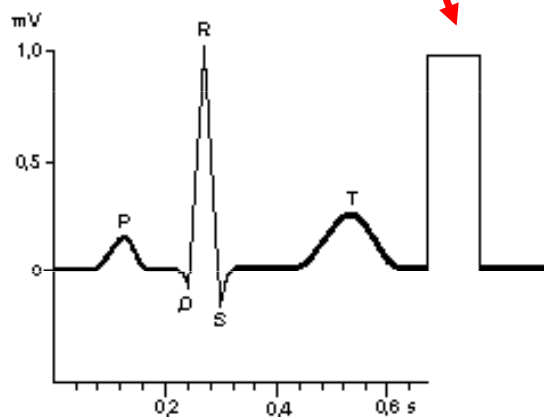


Elektrody hrudních svodů
– jejich napětí se měří
proti indiferentní elektrodě
– **Wilsonově svorce**

- 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



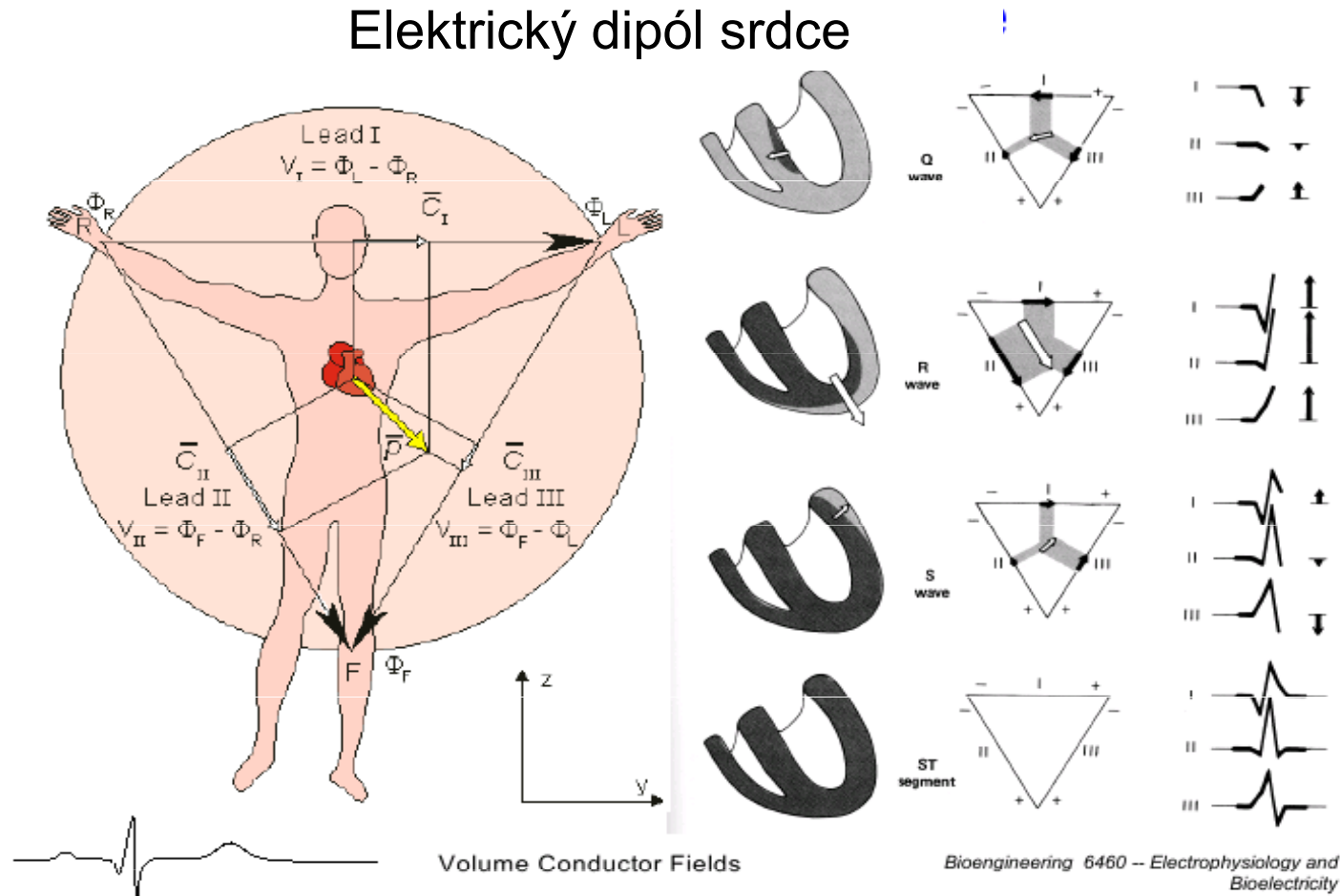
Římskými číslicemi jsou označeny končetinové svody, za nimi pak následují zesílené (augmentované) končetinové svody Goldbergerovy. Dolní série záznamů odpovídá svodům hrudním.

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

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

Einthovenův trojúhelník

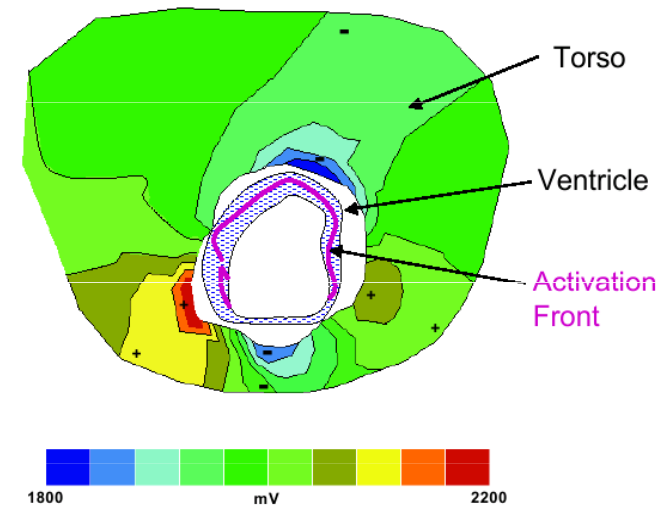
Elektrický dipól srdce



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)

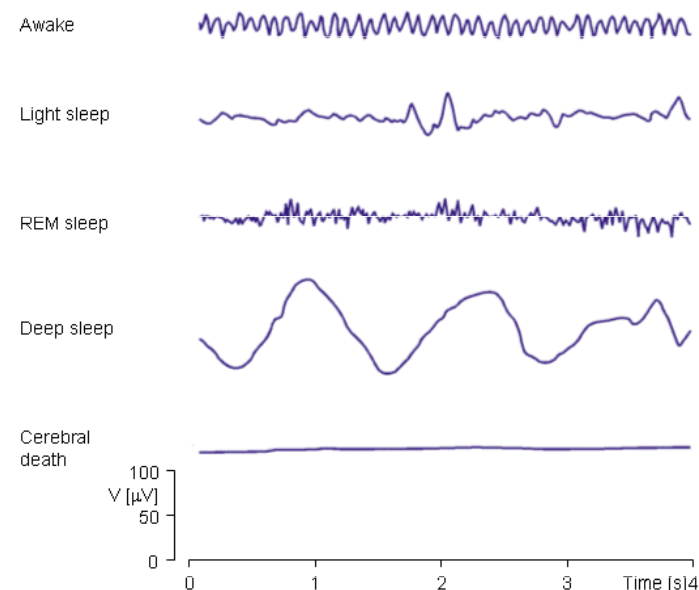


Elektrody umístěné na povrchu těla umožňují měření hodnot napětí „promítnutých“ ze srdce na příslušnou část povrchu těla. Protože známe polohu a tvar srdce, elektrické vlastnosti tkání a umístění elektrod, můžeme vypočítat původní hodnoty napětí v bezprostřední blízkosti srdce. Takto lze lokalizovat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

EEG Elektroencefalografie

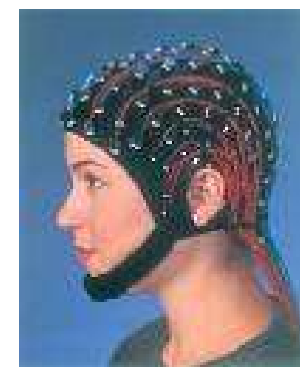
- α -vlny: $f = 8-13$ Hz, amplituda (A) max. $50 \mu\text{V}$. Tělesný a duševní klid.
- β -vlny: $f = 15 - 30$ Hz, $A = 5 - 10 \mu\text{V}$. Zdraví lidé za plné bdělosti.
- θ -vlny: $f = 4 - 7$ Hz, $A > 50 \mu\text{V}$. Fyziologické u dětí, u dospělých patologické.
- δ -vlny: $f = 1 - 4$ Hz, $A = 100 \mu\text{V}$. Za normálních okolností se vyskytují v hlubokém spánku. V bdělém stavu jsou patologické.

V záznamu EEG se mohou objevit i 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.



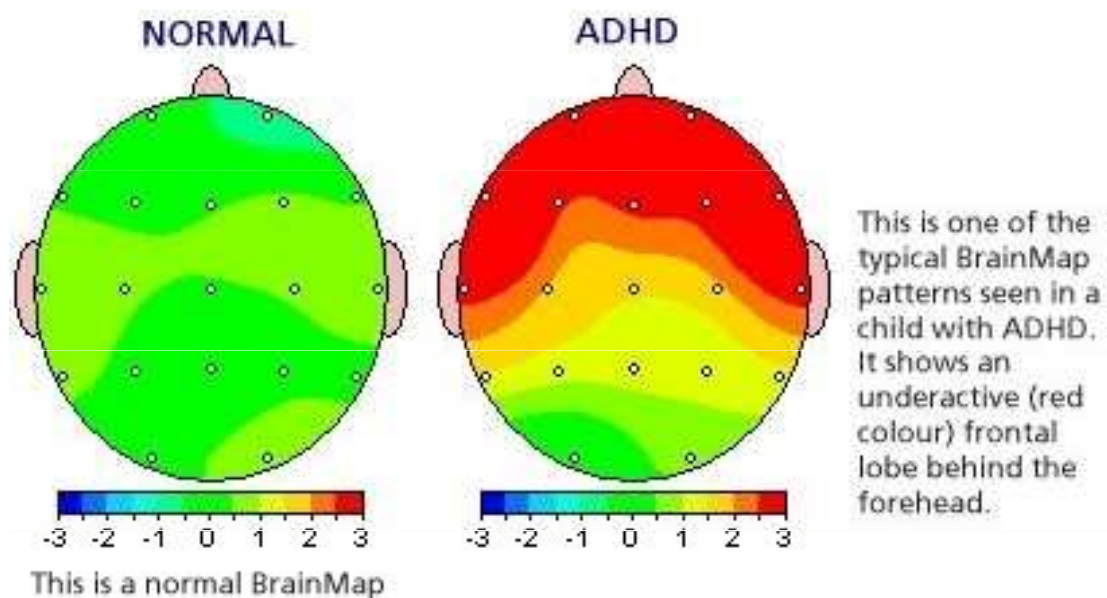
Poznámka:

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



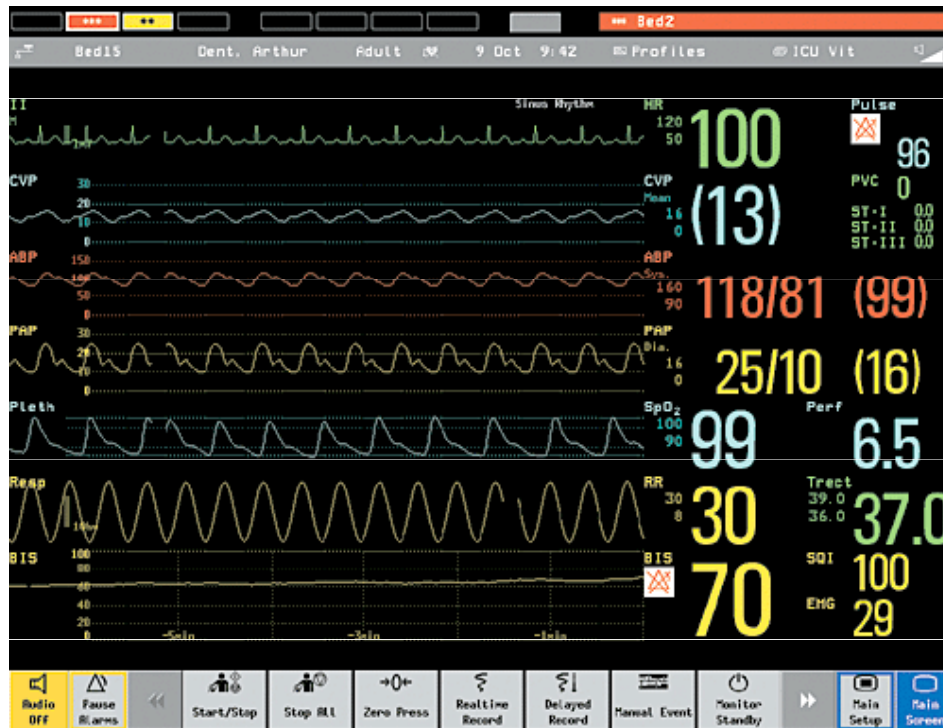
Colour Brain Mapping

(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.

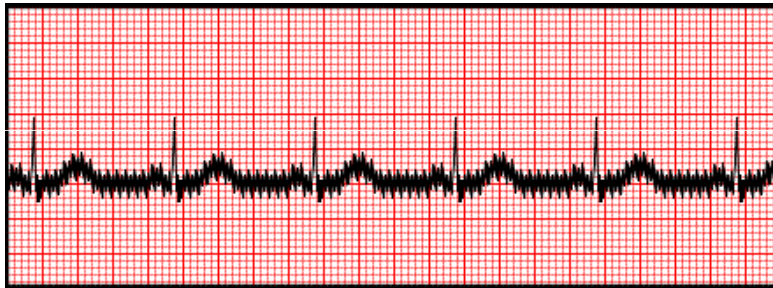
Artefakty

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.

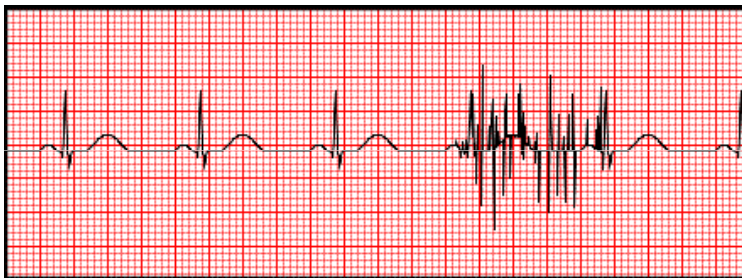
Specifickým problémem může být **nesprávné umístění** (přehození) **elektrod**, např. u svodů EKG. Elektrodový systém musí být pečlivě kontrolován.

EKG Artefakty

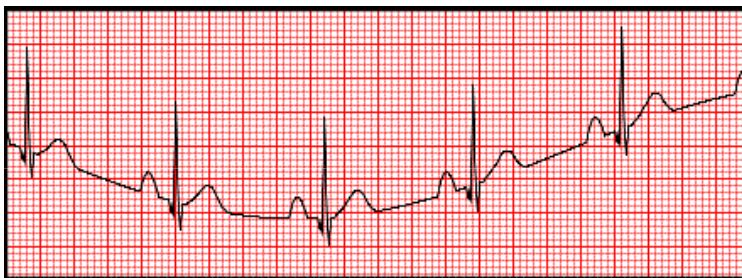


http://mauvila.com/ECG/ecg_artifact.htm

50Hz střídavého proudu
superponováno na signál
EKG

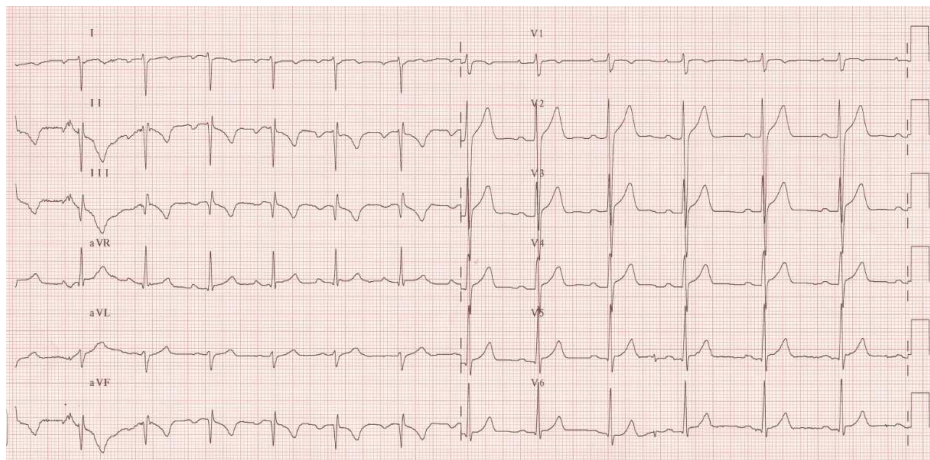


Svalový třes



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

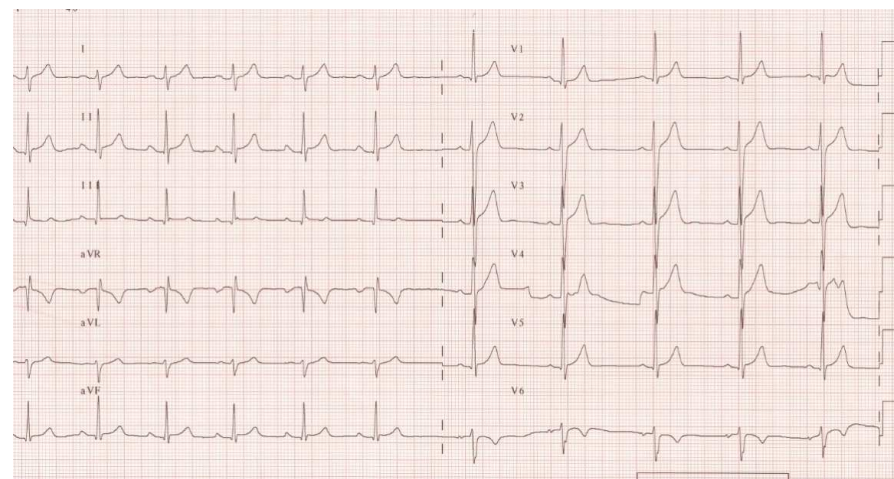
Přehozené svody



končetinové

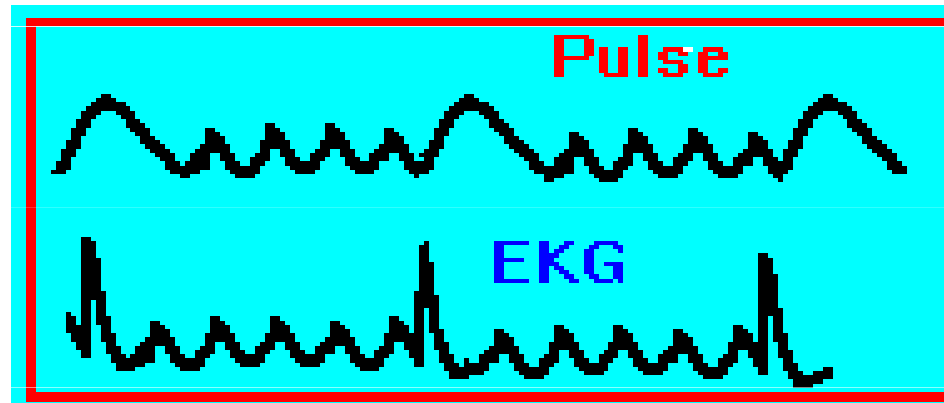
hrudní

***Lékař musí
poznat!!!!!!***



Některé artefakty EEG

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



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.)

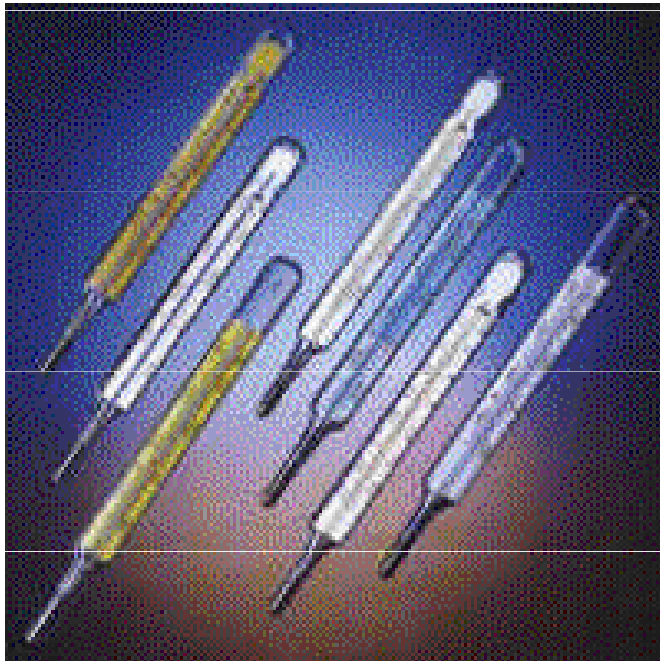
V lékařské praxi se již nepoužívá kvůli toxicitě rtuti.

Lékařský rychloběžný teploměr:

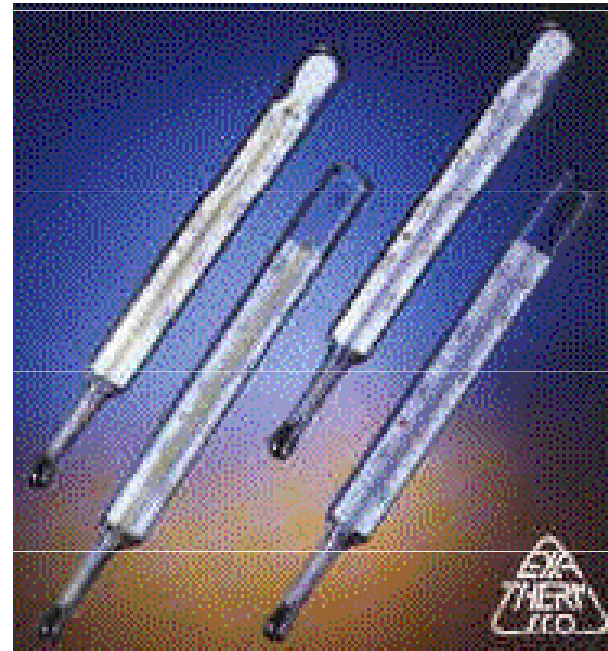
Lihová náplň – kapilára není zúžena, teplota se musí odečítat během měření (in situ), doba odpovědi max. 1 min.

Kapalinové teploměry

Maximální a rychloběžné teploměry



Orální nebo axilární
maximální

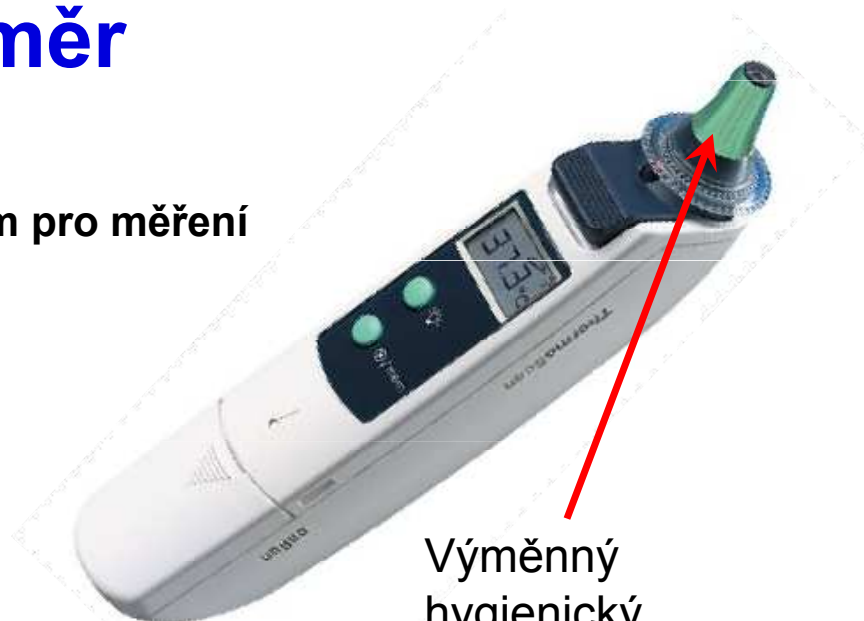


Rektální rychloběžný
maximální

Digitální teploměr

Ušní teploměr

Teploměr s IR čidlem pro měření
teploty „z ucha“



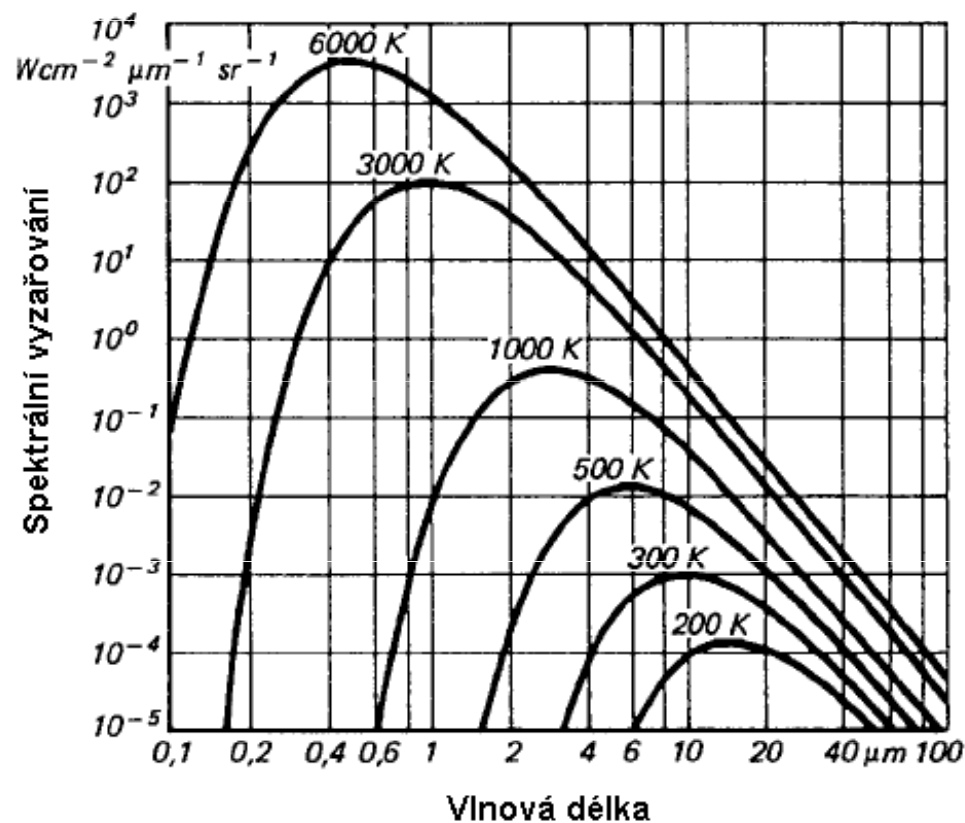
Výměnný
hygienický
nástavec

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 radiční teploměry pro běžné použití (i nelékařské)

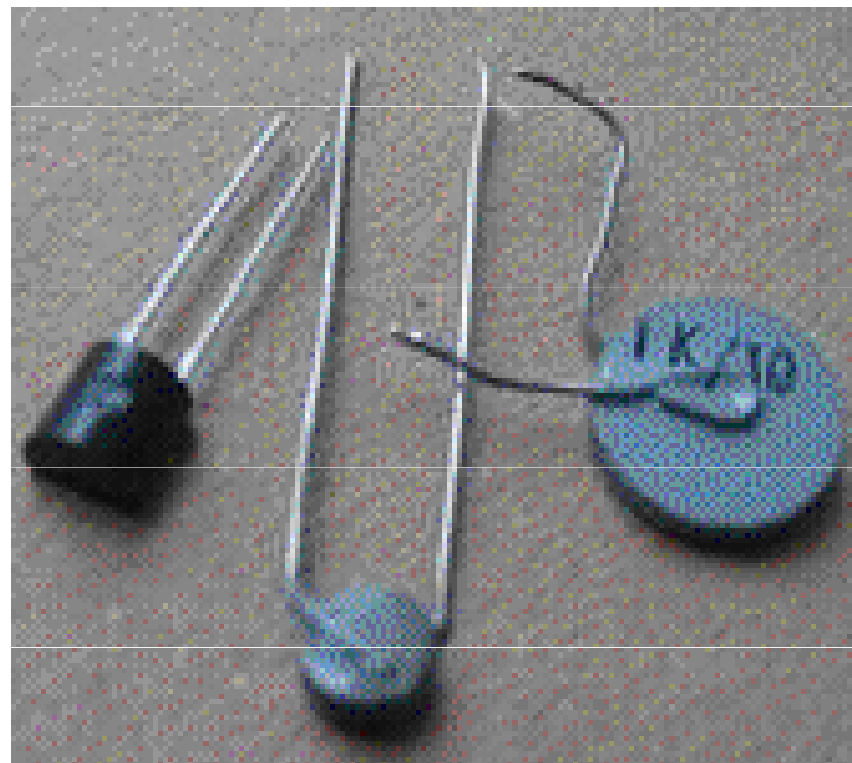


Odporové teploměry – termistor

R – odpor při teplotě T

R_0 – odpor při teplotě T_0

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**

Poslední revize: 2024