

**MUNI**

# **Biosignály elektrické povahy**

Rev. 2023

## Elektrodiagnostika

- Elektrodiagnostické metody jsou elektrické vyšetřovací metody založené na snímání elektrických vlastností tkání lidského těla.

<b>ECoG</b>	=	Elektro <i>kortikografie</i> (mozková kůra)
<b>ECoChG</b>	=	Elektro <i>kochleografie</i> (sluchový aparát)
<b>EEG</b>	=	Electro <i>encefalografie</i> (mozek)
<b>EKG</b>	=	Elektro <i>gastrografie</i> , gastroenterografie (žaludek a střevo)
<b>EKG</b>	=	Elektro <i>kardiografie</i> (srdeční myokard)
<b>EMG</b>	=	Elektromyografie (kosterní svalstvo, periferní nervy)
<b>ENG</b>	=	Elektro <i>nystagmografie</i> (pohyby očí při nystagmu)
<b>ENoG</b>	=	Elektro <i>neuronografie</i> (periferní nervy)
<b>EOG</b>	=	Elektro <i>okulografie</i> (pohyby očí)
<b>ERG</b>	=	Elektro <i>retinografie</i> (oční sítnice)

## Elektrodiagnostika

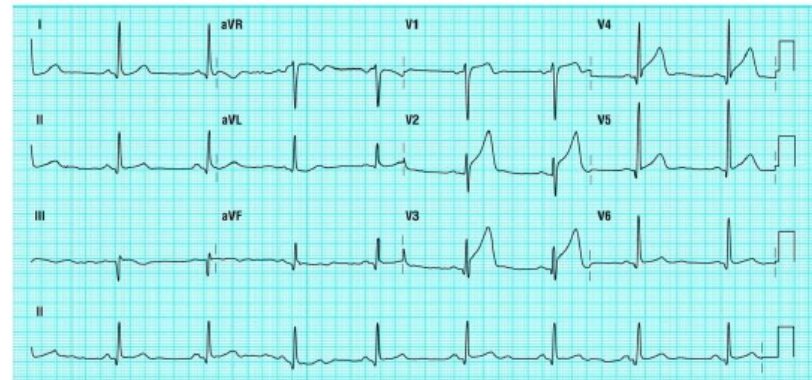
Biosignál	Napěťový rozsah	Frekvenční rozsah	Elektroda
Elektrokardiogram EKG	0,5–5 mV	0,05–100 Hz	plošná
Elektroencefalogram EEG	2–200 $\mu$ V	0,5–200 Hz	plošná
delta vlny		0,5–4 Hz	
theta vlny		4–8 Hz	
alfa vlny		8–13 Hz	
beta vlny		13–22 Hz	
Elektromyogram EMG	0,05–5 mV	2–500 Hz	plošná – sval
	0,01–2 mV	5 Hz–10 kHz	jehlová – vlákno
Elektrogastrogram EGG	10–1000 $\mu$ V	0–1 Hz	plošná – kůže
	0,5–80 mV	0–1 Hz	plošná – žaludek
Elektrookulogram EOG	10 $\mu$ V–3,5 mV	0–100 Hz	plošná
Elektroretinogram ERG	0,5–1 mV	0–200 Hz	mikroelektroda
Fetální EKG, FEKG	10–300 $\mu$ V	0,2–100 Hz	plošná

# Elektrodiagnostika

Elektro\*\*\***grafie** = vyšetřovací metoda



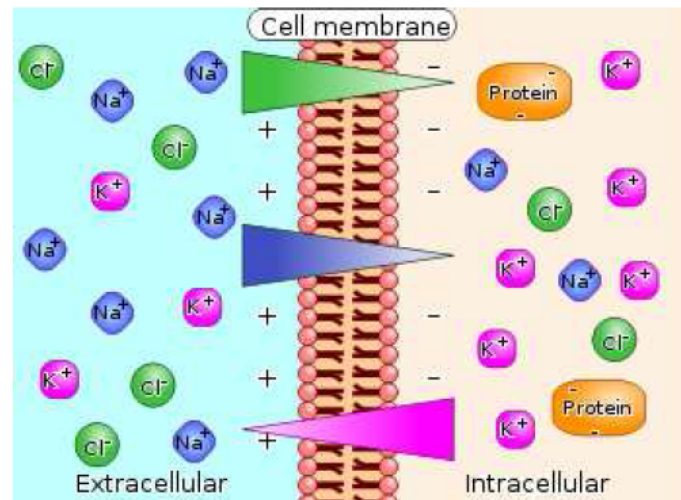
Elektro\*\*\***graf** = vyšetřovací přístroj



Elektro\*\*\***gram** = grafický záznam vyšetření

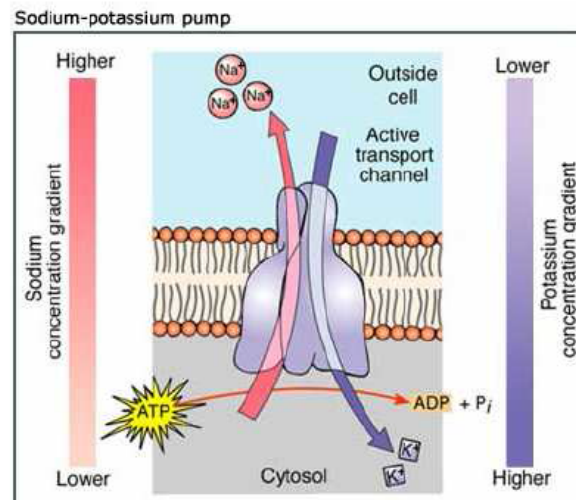
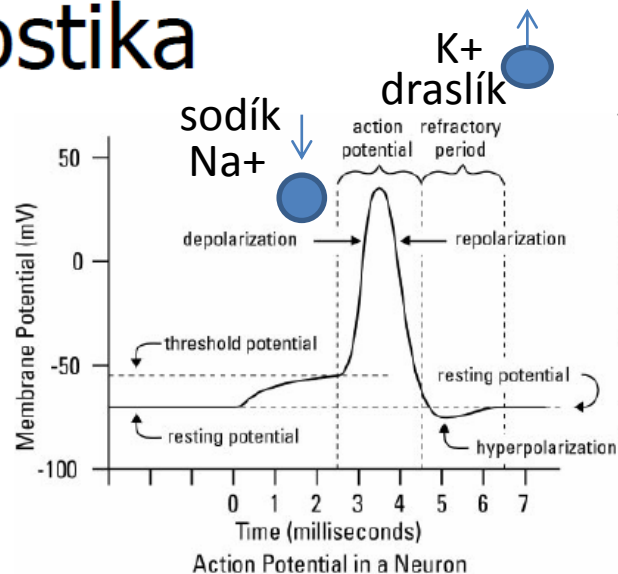
## Elektrodiagnostika

- Charakteristickou vlastností každé buňky je existence elektrického napětí na její membráně, které je dáno rozdílem koncentrací kladných a záporných iontů na vnitřní a vnější straně membrány.
- V klidovém stavu převažuje na vnitřní straně membrány záporný náboj, na vnější straně membrány kladný náboj. Odpovídající napětí na membráně se označuje jako **klidové napětí**.
- Některé typy buněk (nervové a svalové) mají schopnost působením stimulu membránové napětí měnit za vzniku tzv. **akčního potenciálu**.



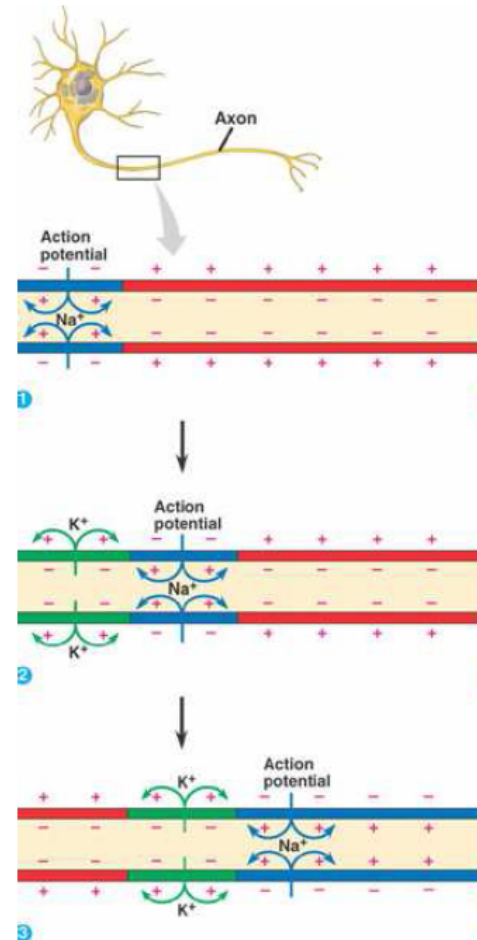
## Elektrodiagnostika

- **Akční potenciál**
- Nadprahový stimul dokáže na membráně nervových nebo svalových buněk vyvolat rychlou změnu napětí a vznik akčního potenciálu.
- Nejprve dochází k otevření sodíkových kanálů a ke vstupu  $\text{Na}^+$  iontů do buňky po koncentračním spádu – **depolarizace** (rychlý překmit napětí do  $+$  hodnot).
- Po krátkém čase dochází k otevření draslíkových kanálů a k výtoku  $\text{K}^+$  iontů z buňky – **repolarizace** (zastavení překmitu a pokles napětí do  $-$  hodnot).
- Návrat do klidového stavu zajišťuje Na-K pumpa, která aktivním transportem (energie z ATP) přenáší  $\text{Na}^+$  ionty ven z buňky a  $\text{K}^+$  ionty do buňky.



## Elektrodiagnostika

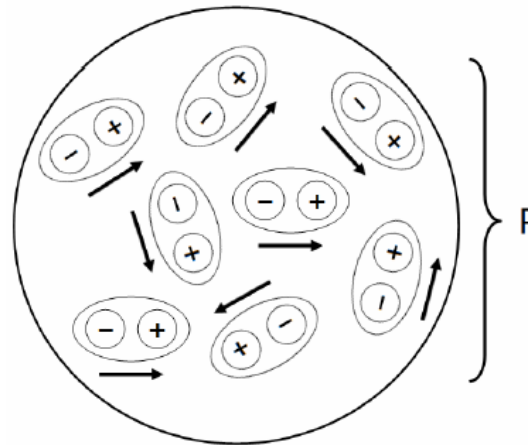
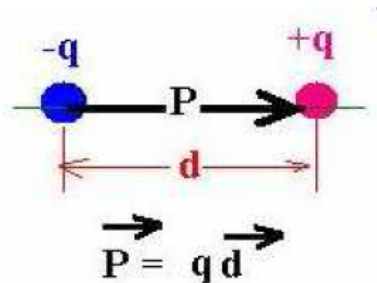
- **Šíření akčního potenciálu**
- Akční potenciál se může od místa svého vzniku šířit membránou buňky do okolí.
- Změna napětí během akčního potenciálu působí sama o sobě jako stimul vhodný pro vznik akčního potenciálu na okolních úsecích membrány.
- Od místa vzniku se vzruchová vlna šíří pouze jedním směrem. Místa, kudy již akční potenciál prošel jsou totiž stále aktivovaná, nejsou citlivá na aktuální stimuly a nemohou být tedy v danou chvíli vybudeny.
- U některých nervových vláken s myelinovou pochvou dochází k saltatorickému (skokovému) vedení vzruchu. Akční potenciál se zde šíří přeskoky mezi tzv. Ranvierovými zářezy.



## Elektrodiagnostika

- Každá buňka vzrušivé tkáně může nést kladný nebo záporný náboj. Dvojice opačně nabitých buněk vytváří elementární elektrický dipól, který lze popsat el. dipólovým vektorem o určité velikosti a směru.
- Tkáň jako celek tedy můžeme chápat jako soustavu jednotlivých elementárních dipólů, jejichž vektorovým součtem získáme **celkový vektor elektrické aktivity tkáně**.
- Celkový elektrický vektor tkáně mění v každém časovém okamžiku svou velikost i směr podle postupu depolarizační vlny.

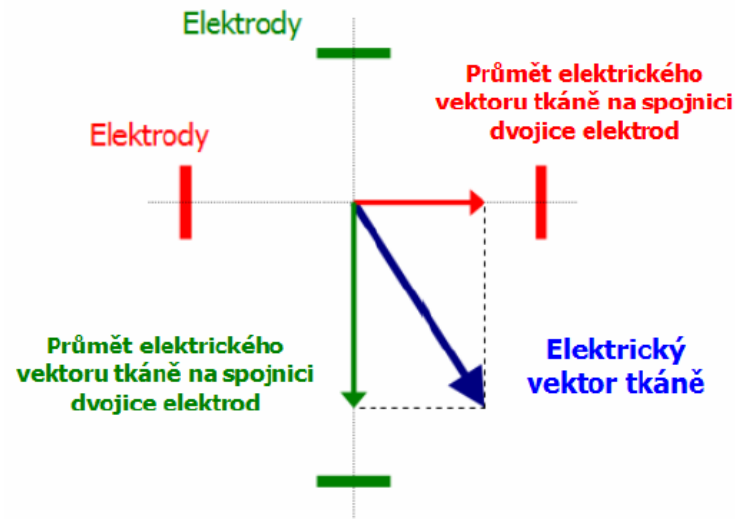
Dipólový moment





# Elektrodiagnostika

- Díky **vodivosti** tkání lidského těla, lze elektrické projevy tkání a orgánů snímat z povrchu těla pomocí **elektrod**.
- Napětí snímané na elektrodách představuje průmět celkového elektrického vektoru tkáně na spojnici dvojice elektrod.
- Velikost naměřeného napětí závisí na vzdálenosti a vzájemné poloze elektrického vektoru a elektrod, a také na vodivosti tkání mezi elektrickým vektorem a elektrodami.

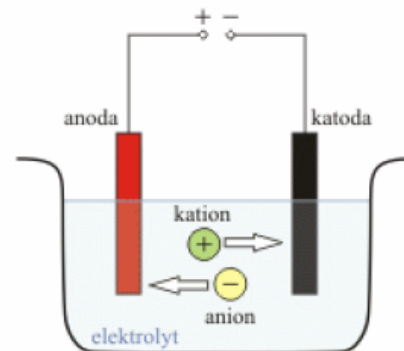


# Elektrodiagnostika

- **Elektrody**
- Tvoří periferní část elektrodiagnostického přístroje a slouží k detekci elektrických signálů. Zajišťují vodivé spojení mezi zdrojem signálu (organismem) a měřícím přístrojem.
- Elektrody přicházejí do přímého kontaktu s pacientem, proto musejí podléhat přísným pravidlům – materiál elektrody nesmí být toxický, nesmí se vůči organismu chovat agresivně, apod.
- Elektrody můžeme dělit podle mnoha kategorií:
  - **Směr vedení proudu:** detekční X stimulační
  - **Umístění:** povrchové X podpovrchové X speciální
  - **Reakce s vodivým prostředím:** polarizovatelné X nepolarizovatelné
  - **Velikost:** makroelektrody X mikroelektrody
  - **Materiál:** kovové X nekovové
  - ...

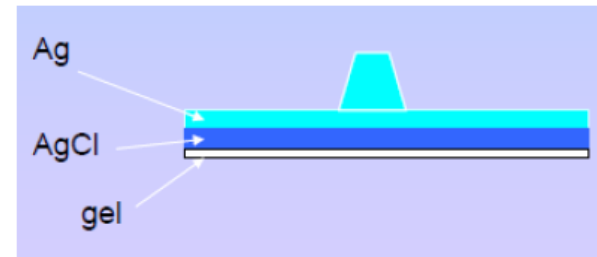
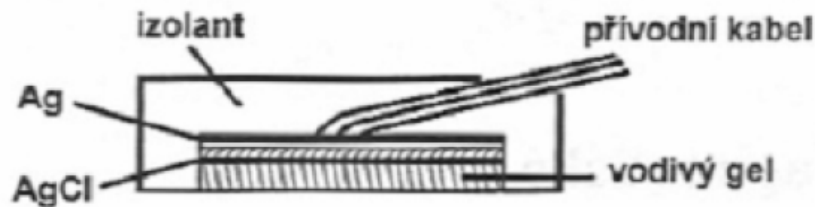
# Elektrodiagnostika

- **Polarizovatelné elektrody**
- Při průchodu el. proudu systémem dochází v důsledku koncentrační nebo chemické polarizace ke změně elektrodového potenciálu.
- U **koncentrační polarizace** se mění koncentrace iontů v okolí elektrod (jedna ionty z elektrolytu přijímá, druhá ionty do elektrolytu uvolňuje). Vlivem rozdílné koncentrace iontů vzniká v systému jisté napětí.
- Při **chemické polarizaci** se na povrchu elektrod vylučují plyny a na rozhraní elektroda-elektrolyt vzniká el. dvojvrstva s určitým napětím.
- Elektrická napětí, která v obou případech vznikají, mají opačnou polaritu než napětí mezi elektrodami. Výsledkem bude nižší naměřený signál.
- Patří sem např. kovové elektrody (Ag, Au, Pt, slitiny).



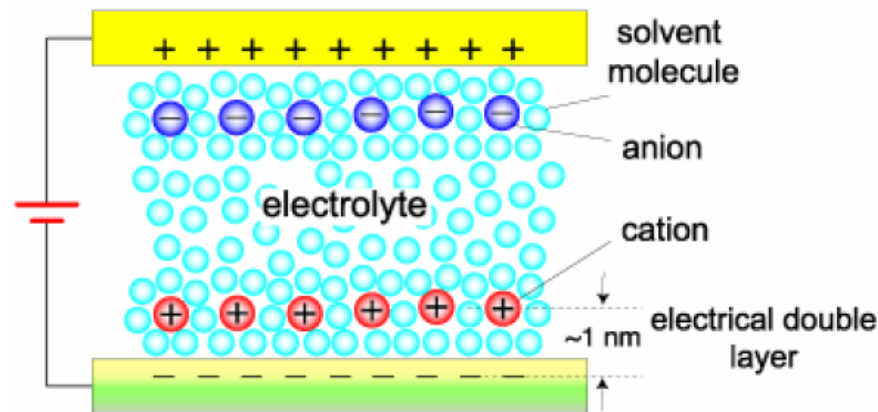
# Elektrodiagnostika

- **Nepolarizovatelné elektrody**
- Jsou charakteristické stálým elektrodovým potenciálem.
- Dokonale nepolarizovatelné elektrody ovšem neexistují. Stálost potenciálu závisí na mnoha faktorech – intenzitě procházejícího proudu, velikosti povrchu elektrody, iontové síle měřeného prostředí, apod.
- Používají se kovové elektrody pokryté vrstvou příslušné těžce rozpustné soli nebo hydroxidu. Typická je stříbro-chloridová elektroda (Ag-AgCl).



# Elektrodiagnostika

- **Rozhraní elektroda-elektrolyt**
- Na rozhraní elektroda-elektrolyt dochází ke změně typu vodivosti z iontové (elektrolyt) na elektronovou (kov elektrody).
- Rozhraní má značný nestálý odpor, který může značně ovlivnit výsledné měřené napětí.
- Rozhraní elektroda-elektrolyt se podílí také na vzniku pohybových artefaktů. Pohybem elektrody se mění rozdělení náboje na jednotlivých rozhráních, mění se elektrodový potenciál a tedy i naměřené napětí. Pohybový artefakt je minimální u nepolarizovatelných elektrod.

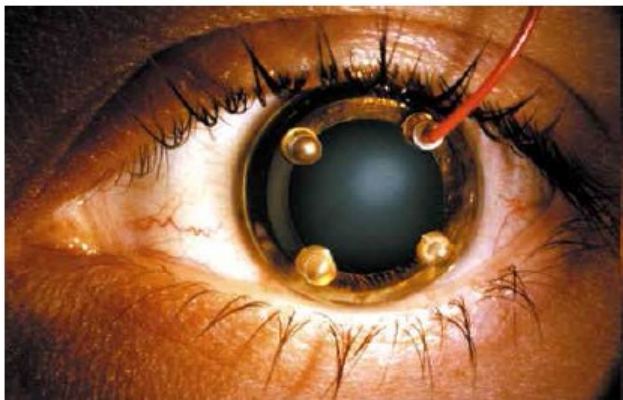


# Elektrodiagnostika

- **Povrchové:** Elektrody různého tvaru a velikosti, které se přikládají na kůži na povrchu těla. Vodivý kontakt je z kovu. K omezení elektrických artefaktů a snížení přechodného odporu na rozhraní kůže-elektroda se používají vodivé gely. Používají se kovové destičky, miskovité elektrody, nalepovací nebo přísavné elektrody.
- **Vpichové:** Elektrody v podobě tenkých jehel nebo drátků, které slouží k invazivnímu snímání elektrických signálů z hloubky tkáně nebo z povrchu daného orgánu. Vlastní elektrodou je typicky vodič z ušlechtilého kovu, vodivě izolovaný v lumenu jehly. Kovový obal slouží ke stínění.
- **Implantabilní:** Např. jako součást kardiostimulátorů.
- **Speciální:** Kontaktní čočky, vaginální, rektální, jícnové, aj.



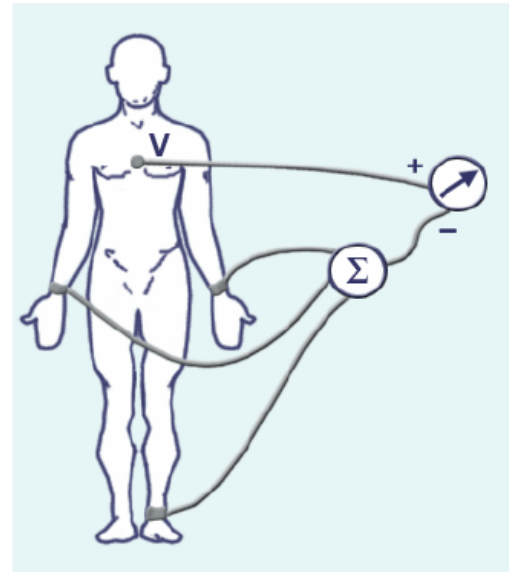
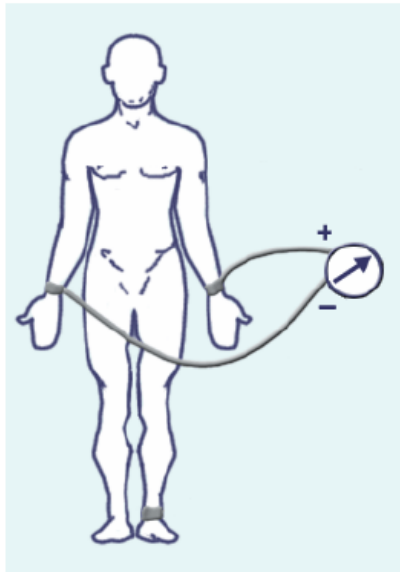
## Elektrodiagnostika



<http://www.sajo.cz/>  
<http://unimed-electrodes.co.uk/>  
<http://neurochirurgie.cz/>  
<http://www.egamed.sk/>  
<http://www.mewadia.cz/>  
<http://zmfmedical.cz/>

# Elektrodiagnostika

- **Zapojení elektrod**
- **Bipolární:** Snímá se rozdíl potenciálů (napětí) mezi dvěma aktivními elektrodami. Obě elektrody jsou umístěny ve snímané oblasti.
- **Unipolární:** Snímá se napětí mezi jednou aktivní elektrodou a referenční elektrodou umístěnou v elektricky neaktivní oblasti (nulový potenciál), příp. centrální svorkou, která vzniká propojením všech zbývajících aktivních elektrod do jednoho bodu přes vysoký odpor.



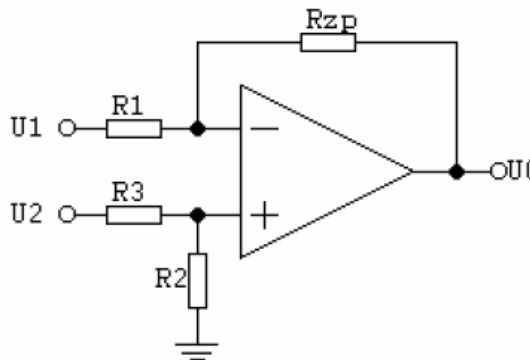




## Elektrodiagnostika

- **Zesilovač**
- Snímané elektrické biosignály z organismu jsou velmi slabé (nV,  $\mu$ V), musí být proto dostatečně zesíleny. Při zesílení ovšem může docházet k amplitudovému, frekvenčnímu nebo fázovému zkreslení signálu.
- Velikost zesílení je dána poměrem vnitřní impedance zdroje biosignálu (impedance tkáně a rozhraní tkáň-elektroda) a vstupního odporu zesilovače. Aby byl úbytek napětí na impedanci zdroje zanedbatelný, musí být vstupní odpor zesilovače velmi vysoký (100 až 1000x větší než impedance zdroje, tj. řádově M $\Omega$ , G $\Omega$ ).
- Často se používají např. diferenční zesilovače, které zesilují pouze rozdíl napětí přivedených na jeho vstupy.

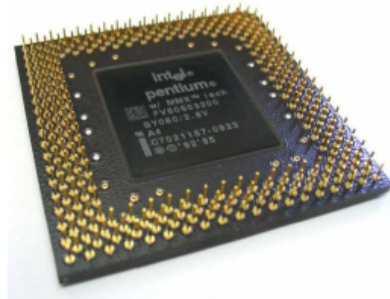
DIL 14



$$U_0 = \frac{R_{zp}}{R_1} (U_2 - U_1)$$

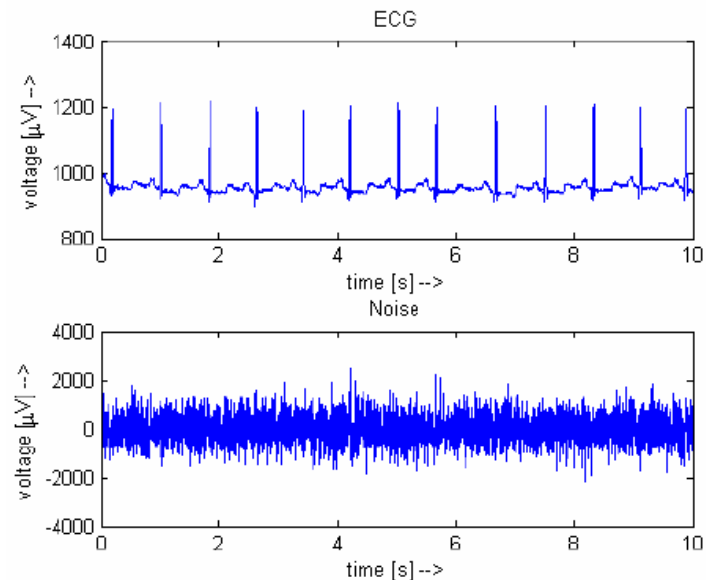
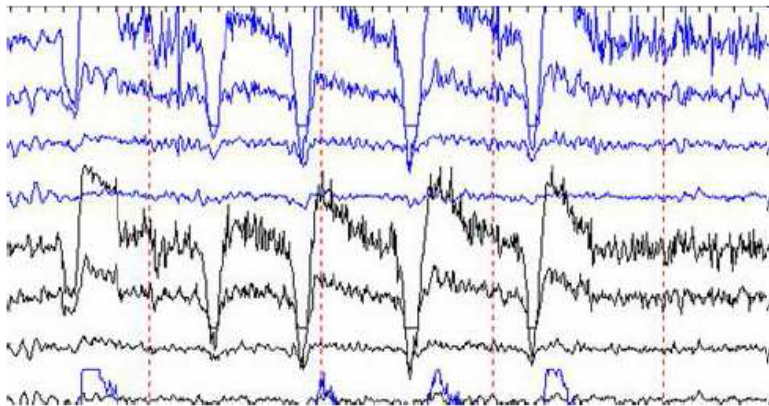
# Elektrodiagnostika

- **Filtry**
- Slouží k odfiltrování rušivých frekvenčních složek signálu. Používají se filtry typu dolní propust, horní propust, nebo pásmové filtry. Často požadujeme odfiltrovat např. stejnosměrnou složku signálu, síťový šum (50-60 Hz), interferenční jevy, pohybové artefakty, apod.
- **Procesor**
- Slouží k naměření, zpracování a zobrazení signálu, k ovládání přístroje.
- **Zobrazovací a záznamová jednotka**
- Slouží k zobrazení a uchování naměřeného signálu. K zobrazení se používají monitory nebo displeje, pro uchování záznamu slouží různé paměti, tiskárny, kamery, zapisovače, aj.



# Elektrodiagnostika

- **Artefakty**
- Jsou jevy, které negativním způsobem ovlivňují snímaný signál a zhoršují jeho informační hodnotu a interpretaci.
- **Technické:** šum, brum, špatné stínění, pohyb elektrod, ...
- **Biologické:** pohyby očí, tep srdce, dýchání, pohybové artefakty, změny kožního odporu, ...



# Impedance

Impedance je komplexní veličina popisující zdánlivý odpor prvku a fázový posun napětí proti proudu při průchodu harmonického střídavého proudu dané frekvence daným prvkem.

$$Z = \frac{U}{I} = R + jX = |Z| \cos \varphi + j|Z| \sin \varphi$$

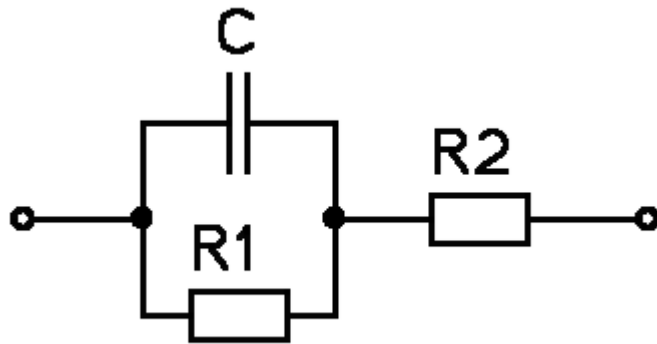
Impedance odporu:  $Z = R$  (R rezistance), Impedance cívky:  $Z = j\omega L$  (Linduktance)

Impedance kondenzátoru:  $Z = 1/j\omega C$  (kapacitance)  
, kde  $\omega = 2\pi f$

Rezistence R (ohmický odpor)... reálná část impedance ...definuje schopnost prvku proud změnit... odpor prostředí

Reaktance – imaginární část impedance

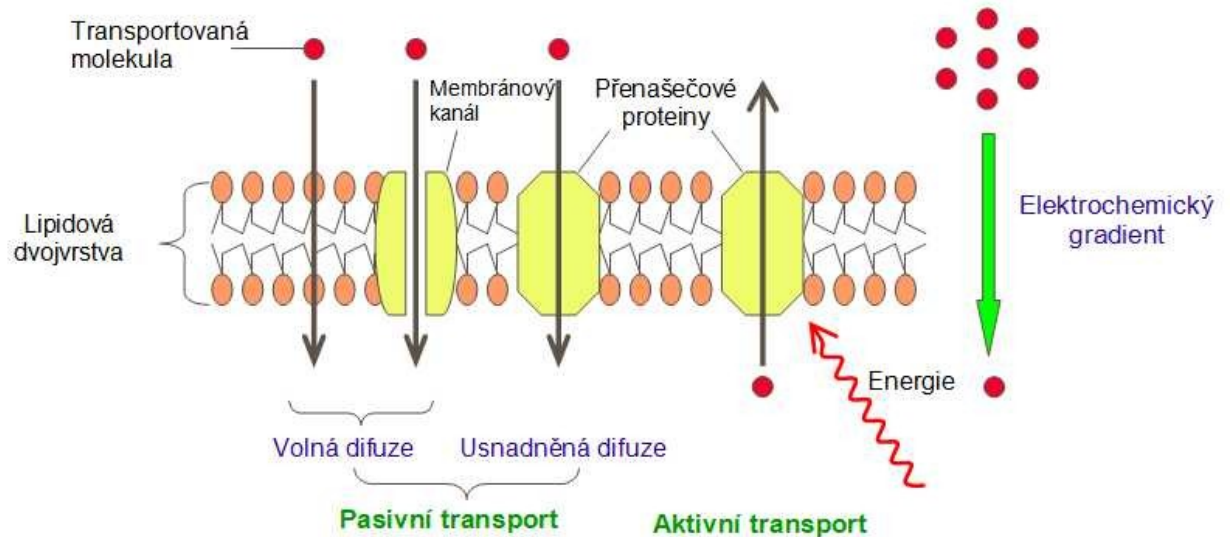
# Impedance



$$Z = 1/j\omega C = 1/j 2\pi f C$$

F- frekvence, C- kapacita

Schéma elektrického obvodu, mající velmi podobnou voltampérovou charakteristiku jako buněčná membrána; velmi důležitou charakteristikou je frekvenční závislost – impedance



# Impedance

- Impedance lidské tkáně je určena jejími složkami
  - různá hodnota odporu
  - vlastnosti kapacit (buněčné membrány, buňky)

Tyto složky ovlivňují hodnoty procházejícího proudu při střídavém napětí (zejména obsah intra a extracelulární vody). pro nízké frekvence pouze významný vliv extracelulární vody (vedení proudu se vnitřní prostředí buněk neúčastní)

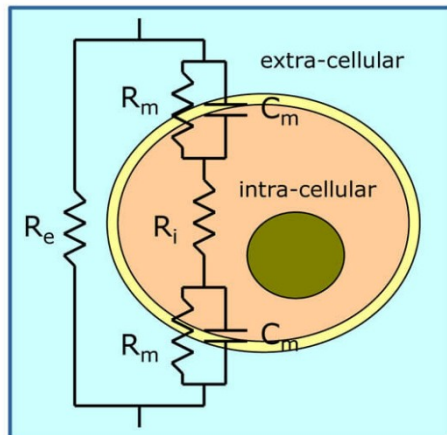
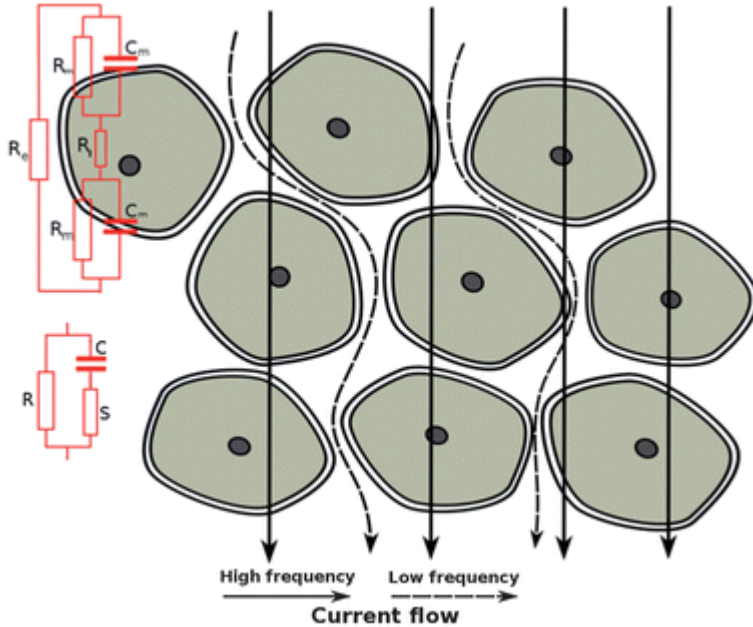
díky tomu je možné pomocí bioimpedance (dvojice elektrod umístěných na kůži, připojených ke zdroji střídavého napětí a analýzou procházejícího proudu v čase)- tzv impedanční spektrum: závislost impedance na frekvenci- stanovit například množství tukové tkáně v organismu, množství tekutin, (tkáňovou ischemii, ..., kvalitu masa...)

# Impedance - aplikace

- Pomocí impedančního měření lze určit množství tukové tkáně (resp. množství vody) v těle, stanovit homogenitu tkáně
- Využití rozdílného uplatnění kapacitní složky tukové tkáně (buněčné membrány tukových buněk) v impedanční charakteristice
- Velice jednoduše řečeno, tuková tkáň znesnadňuje tok elektrického proudu, který „lehčeji“ prochází extracelulárním prostředím a svalovou tkání
- Tento průchod proudu je charakterizován komplexním odporem (impedancí), která je rozdílná, pro rozdílné frekvence střídavého budícího napětí
- Impedance je nízká v tkáni bohaté na intracelulární tekutiny a elektrolyty ale vysoká v tukové tkáni. Impedance je úměrný objemu vody v organismu (TBW).
- Častou používanou frekvencí je 5 a 50 kHz, proudy v desítkách až stovkách  $\mu\text{A}$
- Používané přístroje/techniky: Bioimpedance spectroscopy instruments, Multi-frequency instruments, Single-frequency instruments, Impedance tomography



# Bioimpedance



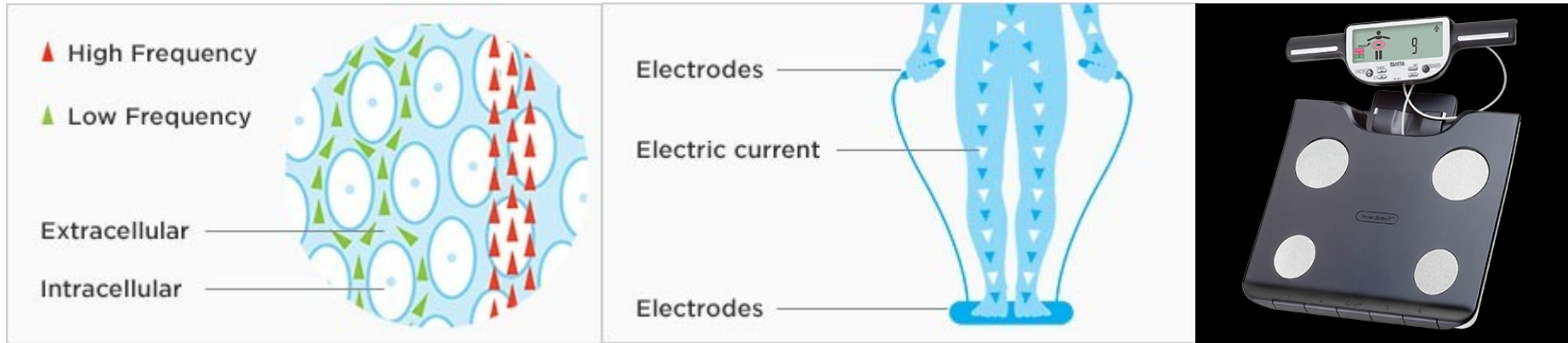
Cell membranes behave like “leaky” capacitors, or a capacitor in series with a resistor. Intra- and extracellular fluid behaves as a normal resistor. At high frequencies, the capacitors have low impedance and at low frequencies, the high impedance of the cell membrane causes current to flow through the extracellular space

**–Bioimpedance imaging: an overview of potential clinical applications**

Richard Bayford \* and Andrew Tizzard, 2012

# Bioimpedance

Zdroj: <https://tanita.eu/tanita-academy/bioelectrical-impedance-analysis>

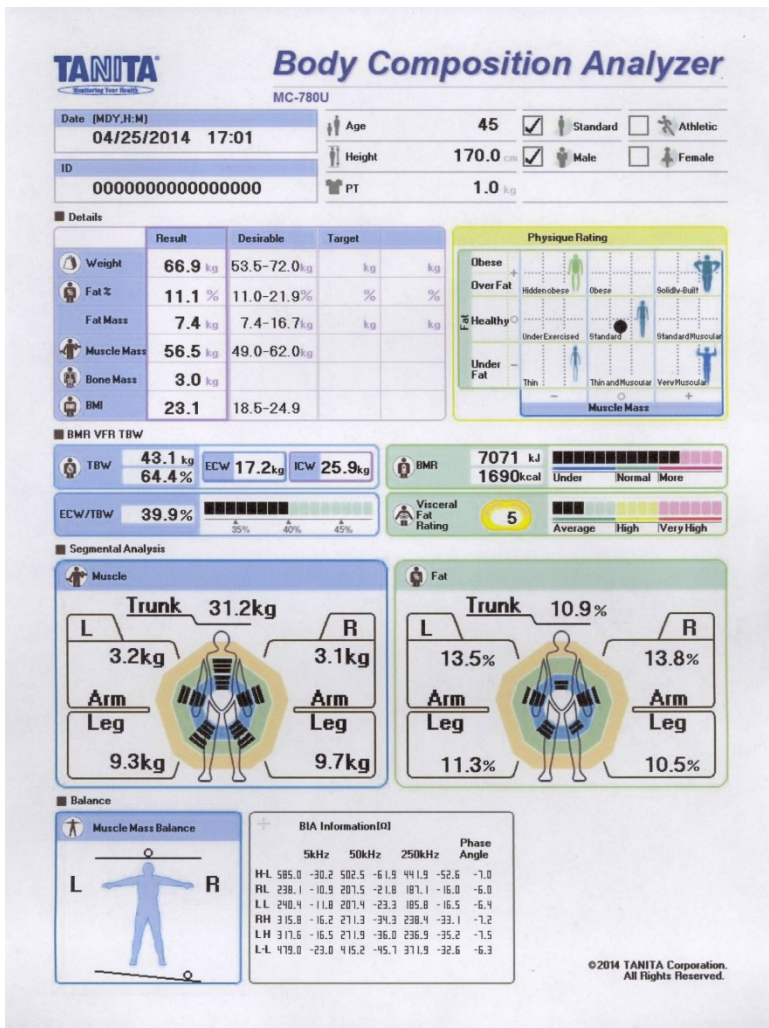


„... The electrical signal passes quickly through water that present in hydrated muscle tissue but meets resistance when it hits fat tissue. This resistance, known as impedance, is measured and input into scientifically validated Tanita equations to calculate body composition measurements. Depending on the monitor, body composition measurements are provided in under 20 seconds. „

„ ... Tanita Multi-Frequency Monitors are able to measure **bioelectrical impedance analysis** at three, five or six different frequencies. The additional frequencies provide an exceptional level of accuracy compared to single frequency monitors and also makes it possible to estimate extra-cellular water, intra-cellular water and total body water. This information is essential for providing a detailed insight into a personal health status and for indicating health risks such as severe dehydration or oedema (water retention). „

Rychlé, neinvazivní, nízké provozní náklady X méně přesné ve srovnání s jinými metodami

# Multi Frequency Segmental Body Composition Analyzer TANITA



The Tanita Body Composition Analyzer measures body composition using a constant current source with a high frequency current (50kHz, 90µA).

I takto může vypadat výsledek bioimpedančního měření

## Features:

### Whole Body Composition Measurements:

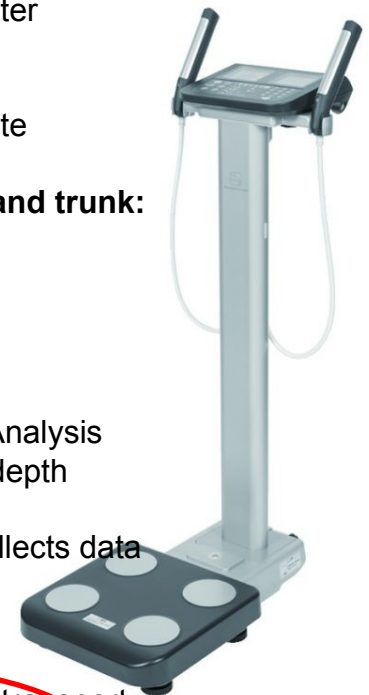
- P Weight P Body fat %
- P Fat mass P Fat free mass
- P Muscle mass P Total Body Water
- P Extra Cellular Water P Intra Cellular Water
- P ECW/TBW ratio P Body mass index
- P Bone mass P Physique rating
- P Visceral fat rating P Basal Metabolic Rate
- P Muscle mass balance

### Segmental readings for each leg, arm and trunk:

- P Fat % P Fat mass P Fat rating
- P Muscle mass P Muscle mass rating
- P Reactance/resistance and phase angle

### Specifications:

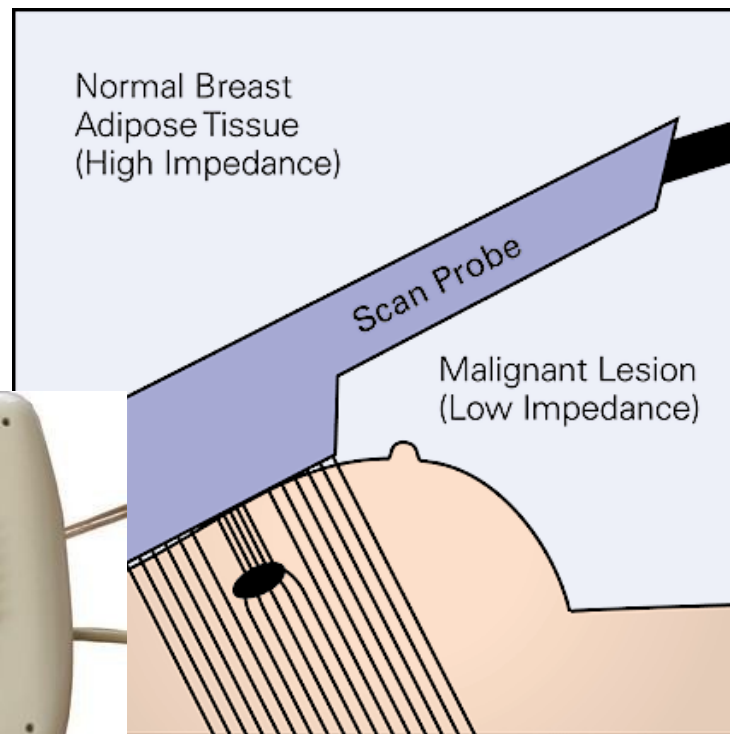
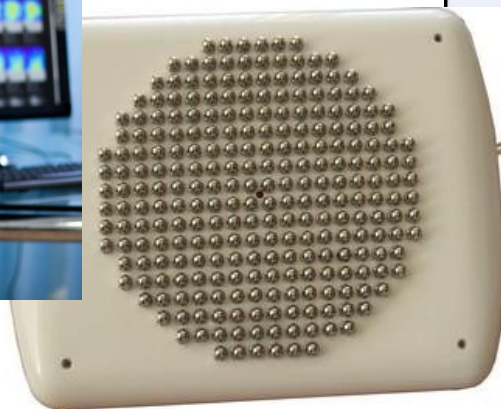
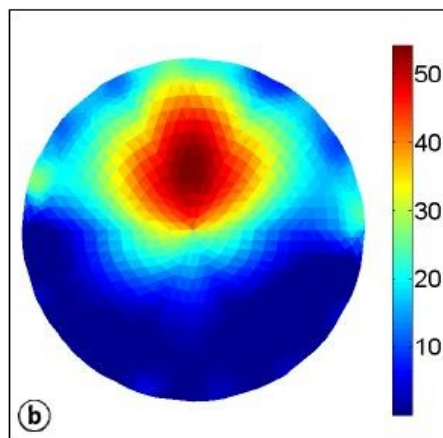
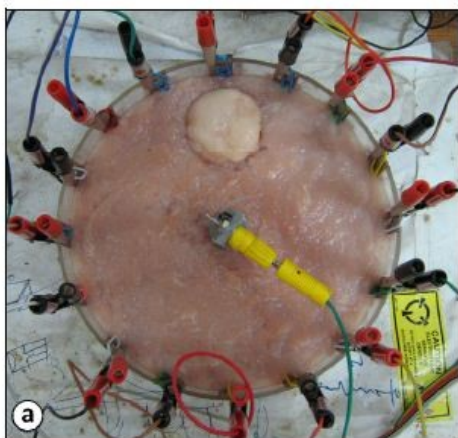
- P Uses non-invasive 8 electrode multi-frequency Bioelectrical Impedance Analysis
- P Output to PictBridge printer, with an in-depth assessment sheet
- P Built-in SD card facility automatically collects data
- P Max weight capacity: 600lb x 0.2lb / 270kg x 0.1kg
- P USB & RS232 Connection
- P Lightweight & easy to disassemble and transport
- P Multi frequency: 5kHz, 50kHz, 250kHz
- P **3 year warranty**



## Impedance - aplikace

Měření homogenity tkáně pomocí  
impedančních map – možnost detekce  
nádorů

: **electrical impedance mammography EIM**



# Impedance - aplikace

- Z-Tech Breast Scan

[https://www.medgadget.com/2007/01/ztech\\_breast\\_sc\\_1.html](https://www.medgadget.com/2007/01/ztech_breast_sc_1.html)



Společnost tvrdí, že má funkci podloženou testováním na 3500 subjektech s výsledky srovnatelnými s klasickou X-ray mamografií.

X

“You’re implementing something that’s guaranteed to produce X number of false alarms,” says Alexander Hartov, an expert on the medical applications of electrical impedance at the Thayer School of Engineering at Dartmouth College, in Hanover, NH.



Medical Engineering & Physics 25 (2003) 79–90

---

---

Medical  
Engineering  
& Physics

---

---

[www.elsevier.com/locate/medengphy](http://www.elsevier.com/locate/medengphy)

Review

# A review of electrical impedance techniques for breast cancer detection

Y. Zou \*, Z. Guo

*Department of Electrical and Computer Engineering, The George Washington University, 801 22nd Street NW, Washington, DC 20052, USA*

Received 19 February 2002; received in revised form 14 September 2002; accepted 15 October 2002

# mobilní telefon - EKG

Kardia Alivecore

## Strokes are preventable.<sup>1</sup>

Guard your heart.

More people die from heart disease and stroke each year than any other disease.<sup>2</sup> Kardia provides the easiest way to detect possible atrial fibrillation early and reduce your risk of stroke so you can live life with confidence. [See Kardia Mobile](#)

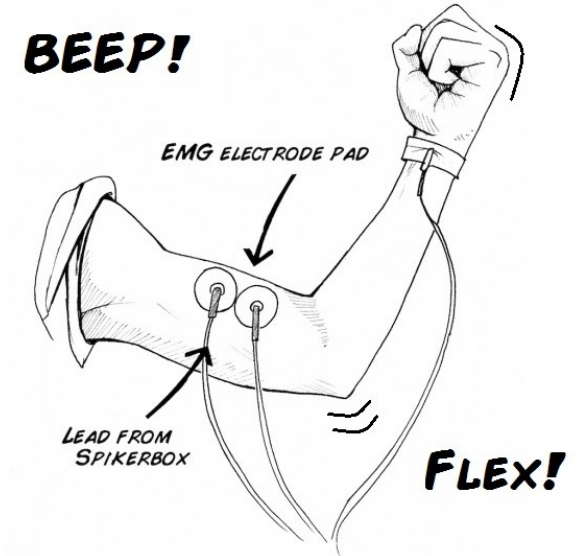
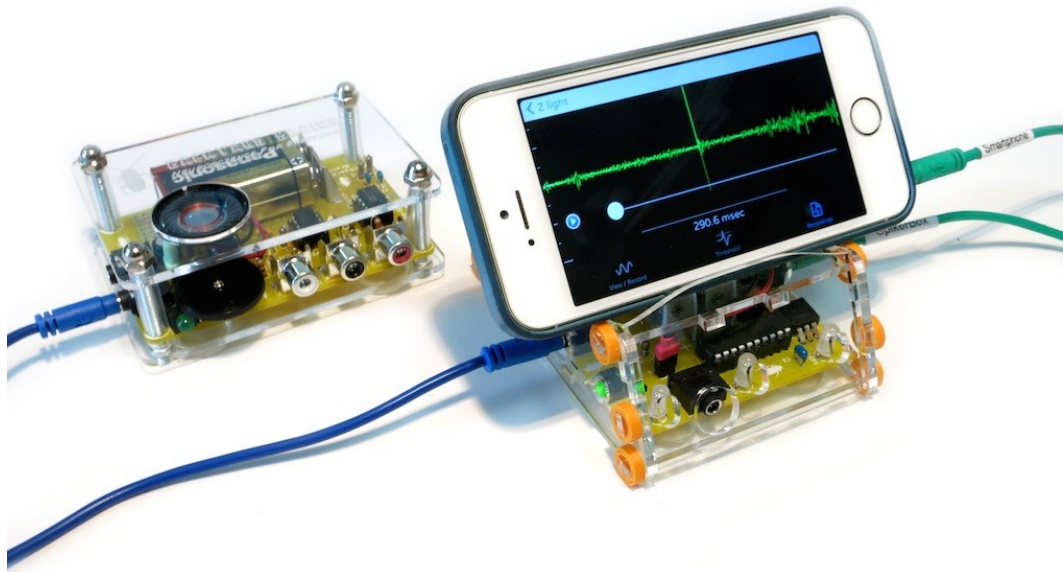


1. O'Donnell, Ma'tr J et al. The Lancet. 2010; 380 (10346):761-765

2. AHA Heart Disease and Stroke Statistics: A Global Report. The Lancet, 2015

# mobilní telefon - EMG

Muscle Channel SpikerBox





# MUNI

- Děkuji za pozornost

