

# Charakteristiky elektrických biosignálů

Biosignály mohou mít různou fyzikální podstatu, z hlediska dalšího zpracování zauímají význačné místo především biosignály elektrické. Za vznikem elektrických biosignálů stojí aktivní i pasivní vlastnosti tkání na všech úrovních hierarchické struktury organismu.

## Elektrické vlastností tkání

### Pasivní elektrické vlastnosti

Pasivní elektrické vlastnosti daného prostředí říkají, jak se dané prostředí bude chovat v elektrickém poli, tedy vlastně jakým je dané prostředí vodičem. Tkáň je jako elektrický vodič poměrně složité prostředí. Jako samotné nosiče náboje zde slouží ionty, takže neplatí Ohmův zákon ve své nejjednodušší podobě. Dále jsou tkáně rozděleny zejména buněčnými membránami a některými dalšími strukturami (např. kůže), které mají vysoký elektrický odpor. Průchod elektrického proudu může vyvolávat elektrochemické změny, při vyšší intenzitě může vyvolávat i spazmy cév a při ještě vyšší i tepelné poškození, takže průchod proudu modifikuje pasivní elektrické vlastnosti.

Nehomogenita pasivních elektrických vlastností např. kůže vede k tomu, že při průchodu proudu je ve vlasových folikulech a v potních žlázách výrazně vyšší proudová hustota (nepřesně se říká, že proud teče přes tyto struktury).

Složité jsou i pasivní elektrické vlastnosti při průchodu střídavého proudu. Struktury, které fungovaly jako izolátory, se stávají kapacitory s nezanedbatelnou kapacitou. Nejjednodušší model impedance tkání je ovšem realistický jen při harmonickém buzení, protože ohmický odpor i kapacitance výrazně závisí i na frekvenci.

### Aktivní elektrické vlastnosti

Aktivní elektrické vlastnosti vlastně znamenají schopnost organismu sloužit jako zdroj elektrického napětí/proudu. Významné elektrické napětí vzniká v organismu především jako klidový membránový potenciál všech buněk, ovšem pro měření v klinické praxi má mnohem větší význam akční membránový potenciál.

## Používané veličiny

K charakterizaci biosignálů se používají následující fyzikální veličiny:

- **elektrické napětí  $U$  [V]** – charakterizuje potenciální energii nerovnoměrně rozložených nabitých částic
- **elektrický proud  $I$  [A]** – charakterizuje tok nabitých částic tělesem
- **elektrický odpor  $R$  [ $\Omega$ ]** – charakterizuje, jak snadno konkrétním tělesem teče stejnosměrný proud
- **elektrická impedance  $Z$  [ $\Omega$ ]** – charakterizuje, jak snadno konkrétním tělesem teče stejnosměrný proud

Obvykle se měří elektrické napětí jako aktivní elektrická veličina a elektrická impedance jako pasivní elektrická veličina.

Elektrické napětí obsahuje informaci o činnosti příslušného orgánu tvořeného elektricky vzrušivou tkání. Tak například informace o činnosti elektricky vzrušivých kardiomyocytů se zaznamenává jako EKG, informace o činnosti elektricky vzrušivých neuronů se zaznamenává jako EEG a informace o činnosti elektricky vzrušivých buněk hladké svaloviny děložní při porodu je součástí záznamu z kardiotokeografu.

Elektrická impedance jako pasivní elektrická vlastnost nese informaci o struktuře tkáně. Je důležité si uvědomit, že impedance je vlastností struktury i geometrického uspořádání tělesa. Impedanci tak ovlivní jak změny objemu orgánů tak i změny složení. Proto lze impedanci využít jak k měření objemu (pletysmografie) tak i k měření složení (bioimpedanční analýza)

## Elektrické děje v organismu

Elektrické děje v organismu, které jsou zodpovědné za vznik elektrických biosignálů, probíhají na více úrovních.

### Subcelulární úroveň

Na subcelulární úrovni se projevuje především nerovnoměrná distribuce elektrického náboje v buňce díky existenci elektricky nabitých struktur o poměrně velké molekulové hmotnosti. Je-li tkáň umístěna do elektrického pole, na tyto struktury začíná působit síla úměrná jejich náboji. Dlužno poznamenat, že u většiny molekul je u elektrických proudů nevyvolávajících poškození síla srovnatelná se silou, kterou vyvolávají termodynamické srážky s okolními molekulami a proto zejména u velkých molekul není pohyb náboje snadný a výrazný.

Na subcelulární úrovni se může uplatnit i hypotetický mechanismus generování elektromagnetického vlnění tím, že náboje fixované například na cytoskeletu kmitají. Pravdou ovšem je, že o existenci takového jevu prozatím nebyl předložen žádný dostatečně věrohodný experimentální nebo teoretický důkaz.

## Celulární úroveň

Na celulární úrovni se projevuje především membránový potenciál, jehož molekulární podstatou je nerovnoměrná prostupnost membrány pro nabitě částice. V důsledku toho se termodynamická rovnováha ustanovuje s nerovnoměrným rozdělením elektrického náboje. Klidový membránový potenciál je měřitelný na každé živé buňce. Dokonce je klidový membránový potenciál aktivně udržován, protože má i své fyziologické funkce. Speciálním případem je akční membránový potenciál, kdy se na přechodnou dobu změní propustnost membrány pro některé ionty. Tímto způsobem dochází k rychlé signalizaci mezi buňkami, které jsou schopny reagovat na změny potenciálu.

Z hlediska pasivních elektrických vlastností se při detailnější analýze impedance tkáně projevuje to, že buňka je vlastně izolentem obalené vodivé prostředí, ve kterém jsou vázané hmotné náboje. Toto je jeden z faktorů, který způsobuje, že tkáň se ve skutečnosti od idealizace modelem ideálního rezistoru a kapacitoru odchyluje.

## Úroveň tkání a orgánů

Z hlediska aktivních elektrických vlastností dochází na úrovni tkání a orgánů s sumací nebo naopak k makroskopickému vyrušení jednotlivých příspěvků elektrických potenciálů buněk. Obecně platí, že čím více je činnost jednotlivých buněk synchronizována, tím vyšší hodnotu má napětí měřené na povrchu tkáně nebo orgánu. Tak například záznam klidového EEG je poměrně málo synchronizovaný a proto má menší amplitudu než záznam EEG při epileptickém záchvatu, jehož podstatou je patologicky synchronizovaná činnost většího počtu neuronů.

Z hlediska pasivních elektrických vlastností na této úrovni ovlivňuje elektickou impedanci zejména struktura tkáně. Jde zejména o vaskularizaci, přítomnost vazivových sept a o stavbu a hydrataci mezibuněčné hmoty.

## Odkazy

### Související články

- Elektrická impedance
- Vedení elektrického proudu tělem
- Elektrický proud (soudní lékařství)
- Multifrekvenční bioelektrická impedance

### Zdroje

- Biosignály z pohledu biofyziky
- NAVRÁTIL, Leoš a Jozef ROSINA, et al. *Medicínská biofyzika*. 1 (dotisk 2013) vydání. Grada Publishing, 2005. 524 s. ISBN 978-80-247-1152-2.