

МЕРЕЊЕ ЕЛЕКТРИЧНИХ ОСОБИНА МАТЕРИЈАЛА МЕТОДОМ БИОИМПЕДАНСЕ

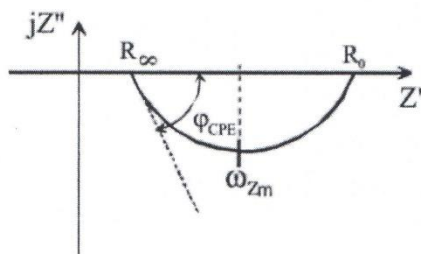
Мерења електричних особина материјала методом биоимпедансе подразумева мерење електричних параметара који се прикупљају током излагања ткива дејству **наизменичне струје**. Ова техника је неинвазивна и подразумева примену напона који је безопасан за испитаника односно не доводи до оштећења биоматеријала. Мерење се може вршити са две, три или четири електроде. Електроде могу бити израђене од различитих материјала- односно од различитих метала: 1. сребро, 2. злато, 3. платина, 4. нерђајући челик, 5. бакар итд. Приликом избора електроде важно је да оне буду добри проводници и инертни материјали. Такође је важна геометрија електроде јер од ње зависи униформност мерења. Електроде је пожељно фиксирати самолепљивом траком како се не би померале током мерења. Мерење импедансе се може вршити само на једној учестаности, али је уобичајено да се врши на више учестаности наизменичне струје (био-електро импедансна спектроскопија) обично у опсегу реда величине $10^2 - 10^6 \text{ Hz}$.

ОПИС ПОСТУПКА МЕРЕЊА ЕЛЕКТРИЧНИХ ОСОБИНА ХУМАНЕ КОЖЕ

Мерење биоимпедансе вршено је апаратом који је пројектован и направљен у Нанолабу на Машинском факултету у Београду. Експерименти су извођени на хуманој кожи *in vivo*, при напону од 5 V, у опсегу учестаности наизменичне струје 300Hz – 123kHz. Приликом мерења коришћене су електроде од специјалног нерђајућег челика дијаметра 3 cm тако што су прислањане на кожу и фиксиране самолепљивом траком. Мерени подаци читавани су са инструмента и коришћени за израчунавање импедансе (Импеданса је сложени отпор протицању наизменичне струје кроз проводник). Параметри рада уређаја су били улазни напон V_u , излазни напон V_i , учестаност и фазно кашњење. Ови параметри су полазни подаци за израчунавање реалног (ZRe) и имагинарног (ZIm) дела електричне импедансе (Z). Експерименти су извођени на собној температури. Вредности експерименталих података су израчунаване на основу “Cole-Cole” модела [89], а затим коришћене за карактеризацију коже различитих класификационих група добровољних испитаника.

ПРИКАЗ ТЕОРИЈСКОГ МОДЕЛА ИМПЕДАНСЕ И ОДРЕЂИВАЊЕ ПАРАМЕТАРА "COLE"

"Cole-Cole" модел импедансе је елегантан и врло популаран метод за карактеризацију електричног стања биолошког ткива. Електрични модел [76] садржи три хипотетичка елемента електричног кола: ниско учестаносни отпор R_0 , високо учестаносни отпор R_∞ и елемент константне фазе (CPE), сл1.



сл1.

CPE је према литературним подацима познат као фракциони капацитет, односно капацитет који зависи од учестаности и његова импеданса се може одредити једначином $Z_{CPE} = 1 / (j\omega C)^\alpha$ где је C капацитет, а α је параметар који се креће од $0 < \alpha < 1$. Обично је вредност α у биолошком ткиву од 0,5-1. Ако би вредност α била 1, онда би био идеалан капацитет. Физичко значење CPE није сасвим јасно. Неки аутори истичу да је α мера дистрибуција отпор/капацитет комбинација.

"Cole-Cole" математички модел, који одговара електричној шеми [76] се описује једначином (1):

$$Z = R_\infty + \frac{R_0 - R_\infty}{1 + (j\omega\tau)^\alpha} = Z' + jZ'' \quad (1)$$

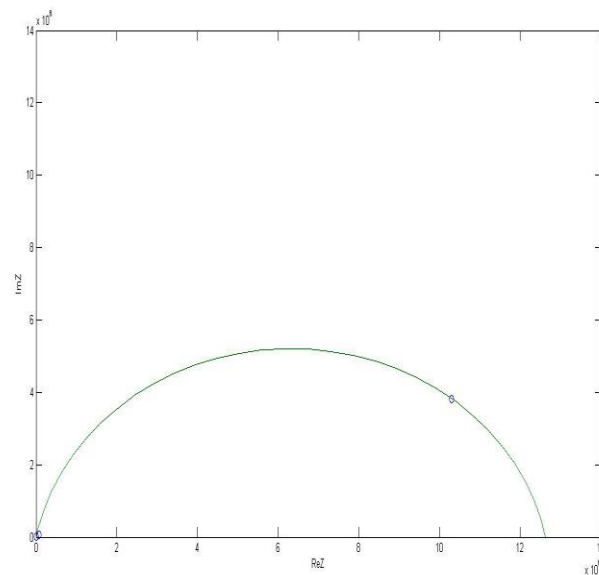
где је Z' реални део, а Z'' имагинарни део импедансе, при чему важи:

$$(j\omega)^\alpha = \omega^\alpha [\cos(\alpha\pi/2) + j\sin(\alpha\pi/2)]$$

Да би окарактерисали ткиво на основу "Cole-Cole" модела потребно је према томе израчунати четири параметра: $(R_0, R_\infty, \tau, \alpha)$. Треба нагласити да τ представља временску константу чија је вредност: $[(R_0 - R_\infty)C]^{1/\alpha}$.

Да би се добиле вредности четири поменута параметра ($R_0, R_\infty, \tau, \alpha$) потребно је пре свега из мерених података израчунати Z' и Z'' за сваку појединачну мерену учестаност, а затим конструисати дијаграм. Кружни лук је добијен на основу фитовања вредности експерименталних тачака, при чему се у пресеку лука са апсцисом добијају вредности R_0 и R_∞ . У пресеку криве са апсцисом конструисана је тангента. Угао који та тангента заклапа са апсцисом је угао φ_{CPE} . Из везе $\varphi_{CPE} = \alpha\pi/2$ може директно да се израчуна α .

Параметар τ је дефинисан изразом: $\tau = 1/\omega^*$ где је ω^* учестаност која одговара максималној вредности имагинараног дела импедансе: $I_{\max} = I(\omega^*)$. Зависност $I(\omega)$ је позната у табеларном облику и представља резултате експерименталних мерења. Према "Cole" моделу зависност $I(R)$ је облика кружнице чији је центар испод R -осе и кружница има две тачке пресека са R -осом и то R_0 и R_∞ које одговарају максималној и минималној вредности термогеног отпора респективно (односно минималној и максималној учестаности струје). Стога се $R(\omega^*)$ у раду на даље означено са R_τ може одредити из: $R_\tau = (R_0 + R_\infty)/2$.



Слика2. Кол дијаграм Im и Re дела импедансе на различитим учестаностима. (Координате сваке тачке дијаграма представљају вредности Z_{Re} и Z_{Im} мерене на истој учестаности). Локација где је вршено мерење је била подлактица интактне коже *in vivo*.