



Artykuł oryginalny/Original article

Wpływ pola elektromagnetycznego na rezystancję skóry ludzkiej – pomiar *in vivo*

In vivo measurement of the electromagnetic field effect on human tissue resistance

Agata Pietrzak¹

¹Zakład Medycyny Nuklearnej

Streszczenie

Tkanka ludzka wykazuje czynne i bierne właściwości elektryczne. Czynną nazywamy zdolność do samodzielnego wygenerowania potencjału czynnościowego, bierną jest przewodzenie ładunków elektrycznych. Ciało ludzkie jest nie tylko wrażliwe na oddziaływanie zewnętrznego pola elektromagnetycznego, ale także samo je generuje. Jedną z metod klinicznych, wykorzystujących odpowiedź elektryczną tkanek biologicznych na doprowadzone do nich zewnętrzne pole elektromagnetyczne jest spektroskopia bioimpedancyjna. Metody bioimpedancyjne znalazły szerokie zastosowanie, m.in. w dietetyce do oceny poziomu elektrolitów w organizmie. Celem przeprowadzonych badań było wykazanie wpływu zmian częstotliwości zewnętrznego sygnału elektrycznego na bioimpedancję tkanki ludzkiej.

Badania przeprowadzono w Zakładzie Bioniki i Bioimpedancji Uniwersytetu Medycznego im. K. Marcinkowskiego na dziesięcioosobowej grupie młodych, zdrowych studentów płci żeńskiej w wieku 19-24 lat. Do pomiaru użyto elektrod umieszczonych na szyi i palcu każdego uczestnika badania, do których doprowadzono przewody sygnałowe i pomiarowe z analizatora impedancji HIOKI 3522- 50 LCR. Analizowanym parametrem była wartość rezystancji skóry wskazanych segmentów ciała ludzkiego w zależności od zmian częstotliwości pola elektromagnetycznego w określonym zakresie 500Hz -100kHz.

Analiza wykazała, że istnieje odwrotnie proporcjonalna zależność między zmianą częstotliwości pola elektromagnetycznego a wartością bioimpedancji, co oznacza, że wzrost częstotliwości skutkuje spadkiem rezystancji tkanek. Badanie określiło również wpływ ukrwienia segmentu ciała ludzkiego oraz stopnia nawilżenia skóry na wzrost wartości bioimpedancji.

Abstract

The biological tissue has active and passive electric properties. The excitability as an active property means that the tissue generates the action potential (nervous tissue, muscles). The passive function is the ability to conduct electricity. The human body is susceptible to the external electromagnetic field and produces

Adres do korespondencji

mgr Agata Pietrzak

Młodszy Asystent Elektroradiologii

Zakład Medycyny Nuklearnej

Wielkopolskie Centrum Onkologii, ul. Garbary 15, 61-866 Poznań, Polska

Telefon: +4861 5088789

e-mail: agata.pietrzak@wco.pl;

it itself. The physiological tension fluctuates from 3mV (nervous tissue) to over 5mV (muscles). One of the methods using the natural bioelectricity is the bioimpedance, which is very common in dietetics to evaluate the physiological fluids level.

The aim of this study is to demonstrate that fluctuating frequency of external electromagnetic field affects human tissue by resistance (bioimpedance) alteration.

The tests were performed in the Bionic and Bioimpedance Institute of the University of Medical Sciences in Poznań. The study group comprised 10 volunteers - healthy female students, age range 19-24 years. To measure the human tissue resistance, the investigator used the HIOKI 3522 – 50 LCR impedance analyser and two electrodes (neck, finger). The tested factor was the relation between the human tissue resistance and the frequency of electromagnetic field within the specified range of 500Hz -100kHz.

The human tissue bioimpedance is inversely related to the fluctuation of the electromagnetic field frequency. Moreover, there is undisputed relation between the skin resistance and its blood supply or hydration.

Słowa kluczowe: : bioimpedancja, przewodnictwo elektryczne

Keywords: bioimpedance, electrical conduction

Wstęp

- *Właściwości bioelektryczne tkanek*

Tkanki ludzkie wykazują czynne i bierne właściwości elektryczne [1]. Czynne oznaczają zdolność do samoistnego wygenerowania impulsu elektrycznego, tj. potencjału czynnościowego (tkanka mięśniowa, nerwowa), bierne natomiast transport ładunku elektrycznego – prądu (tkanka łączna, tłuszczowa, a także cytoplazma).

O biernych właściwościach elektrycznych tkanki decyduje poziom elektrolitów w jej strukturze, czyli płynu, w którego skład wchodzi woda oraz jony potasu, sodu, wapnia i chloru. Właściwości elektryczne tkanek znalazły szerokie zastosowanie

w medycynie, np. w elektrokardiografii, elektromiografii, elektroencefalografii oraz bioelektrycznej analizie impedancyjnej, czyli pomiarze impedancji elektrycznej (bioimpedancji) Z .

Bioimpedancję wyraża się następująco [1]:

$$Z = U/I,$$

gdzie, I jest natężeniem prądu przepływającym przez tkankę pod wpływem egzogennej napięcia U , doprowadzonego do tego materiału biologicznego.

- *Wskazania kliniczne badania bioimpedancji*

Zastosowanie kliniczne metod bioimpedancyjnych jest obecnie coraz szersze. Na szczególną uwagę zasługuje tutaj BIA (bioelektryczna analiza impedancyjna), służąca ocenie ilości płynów wewnątrz- i zewnątrzkomórkowych u chorych, np. z puchliną brzuszną, niedowładem, oparzeniem. Nie bez znaczenia pozostaje również zastosowanie pomiarów impedancyjnych narządów człowieka elektrochirurgii (elektrokoagulacja, skalpele termiczne), reoangiografii kończyn, kardiografii impedancyjnej. Aktualnie rozpowszechniona jest dietetyce do pomiaru całkowitej zawartości wody i tłuszczu w organizmie celem planowania diety, np. dla osób cierpiących na cukrzycę, otyłość czy alergie pokarmowe. Największą efektywność badania uzyskujemy w zakresie częstotliwości 5 – 200 kHz [1,2,3]. Jest to metoda całkowicie bezbolesna i nieinwazyjna, wymagająca odpowiedniego sprzętu, przeszkolenia oraz umiejętności interpretowania wyników przez jej wykonawcę.

- *Cel pracy*

Celem pracy jest wykazanie, że istnieje wyraźny wpływ zmian częstotliwości pola elektromagnetycznego

na bioimpedancję skóry ludzkiej na przykładzie tkanek szyi i palca oraz jednoznaczne określenie charakteru oraz przyczyn tej zależności.

Material i metoda badań

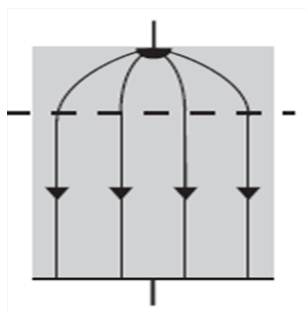
Badania przeprowadzono w Zakładzie Bioniki i Bioimpedancji Uniwersytetu Medycznego im. K. Marcinkowskiego w Poznaniu na kierunku Elektromedycyna podczas ćwiczeń studentów z przedmiotu: *Zaawansowane metody elektrodiagnostyki i elektrofizjologii*. Dziesięcioosobowa grupa badana składała się młodych, zdrowych studentów płci żeńskiej w wieku 19 – 24. Do wykonania pomiarów użyto analizatora impedancji HIOKI 3522 – 50 LCR w zakresie częstotliwości f pola elektrycznego od 500Hz do 100kHz.

Mierzonym parametrem była składowa rezystancyjna R bioimpedancji Z skóry, która odzwierciedla mechanizm przewodnictwa elektrycznego tkanki.

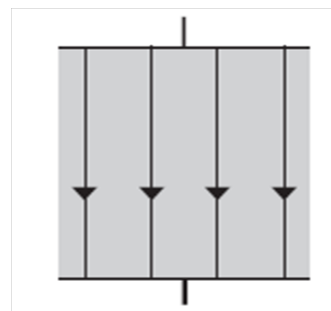
Rycina 3 ilustruje punkty pomiarowe z nałożonymi elektrodami (Ag/AgCl), do których podłączono przewody sygnałowe i pomiarowe z miernika HIOKI.

- *System mono – i bipolarny w pomiarach bioimpedancyjnych*

W zależności od wskazań klinicznych stosowano dwa systemy pomiarowe: mono - i bipolarne [4]. Celem systemu monopolarnego jest uzyskanie jak największej gęstości ładunków elektrycznych pod elektrodą czynną o większej powierzchni, gdy druga – neutralna, stanowi pomiarowy punkt odniesienia. W systemie bipolarnym natomiast uzyskuje się równomierny rozkład gęstości prądu pomiędzy obiema elektrodami o tej samej powierzchni. Przepływ prądu elektrycznego między elektrodami dla systemu monopolarnego i bipolarnego jest uwidoczniony odpowiednio na rycinach 1 i 2 [1, 4].



Rycina 1. Układ monopolarny elektrod

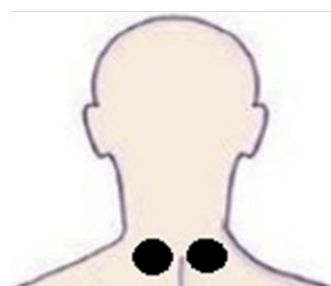


Rycina 2. Układ bipolarny elektrod

Do badania wykorzystano metodę dwuelektrodową w systemie bipolarnym. Na skórze badanej osoby umieszczono cztery elektrody: dwie na karku i dwie na palcu. Zmierzono rezystancję skóry między elektrodami doprowadzając do nich z miernika sygnał zmiennoprądowy o kilku wybranych częstotliwościach (ryc.3).



Odległość między elektrodami: 6cm



Odległość między elektrodami: 6cm

Rycina 3. Schemat rozmieszczenia elektrod (w oparciu o www.bodyclock.pl)

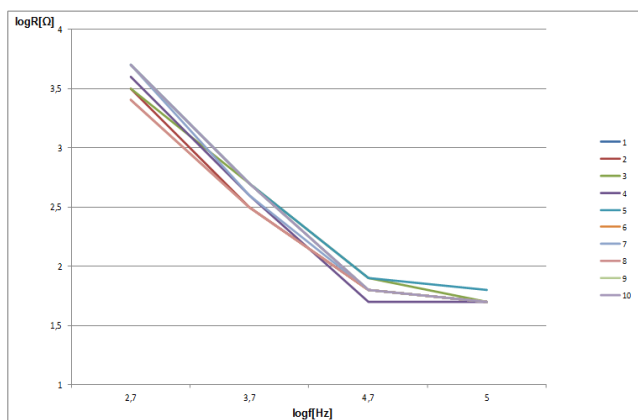
Wyniki

Tabela 1. Wyniki badań rezystancji szyi i palca

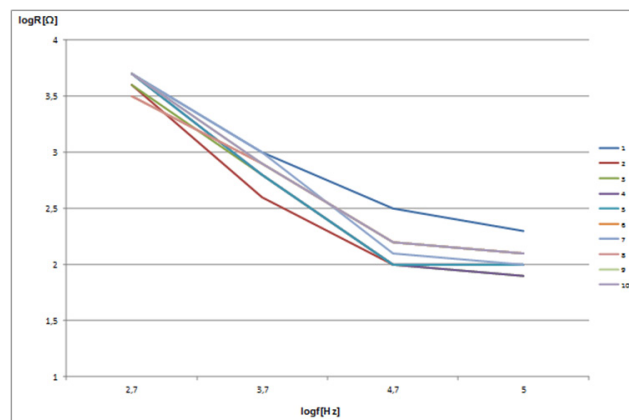
Badani	500	5000	50000	100000	Częstotliwość [Hz]
Szyja1	5200	511	67	54	Rezystancja [Ω]
Palec 1	5500	987	299	180	
Szyja2	3300	287	62	52	
Palec2	4400	417	123	112	
Szyja3	3300	460	71	53	
Palec3	3900	582	101	83	
Szyja4	4000	369	55	45	
Palec4	5000	629	111	90	
Szyja5	5100	561	76	58	
Palec5	5500	684	120	101	
Szyja6	2750	345	62	51	
Palec6	3490	829	163	138	
Szyja7	5100	426	65	52	
Palec7	5480	949	131	98	
Szyja8	2700	345	62	51	
Palec8	3500	829	163	138	
Szyja9	5180	550	65	49	
Palec9	5350	820	148	126	
Szyja10	5200	550	65	49	
Palec10	5300	829	148	126	

1, 2, 3,... – numery studentów biorących udział w badaniu, Odległość między elektrodami: szyja 6 cm palec: 6 cm

Na rycinach 4 i 5 przedstawiono odpowiednio częstotliwościowe zależności rezystancji szyi i palca w skali logarytmicznej.

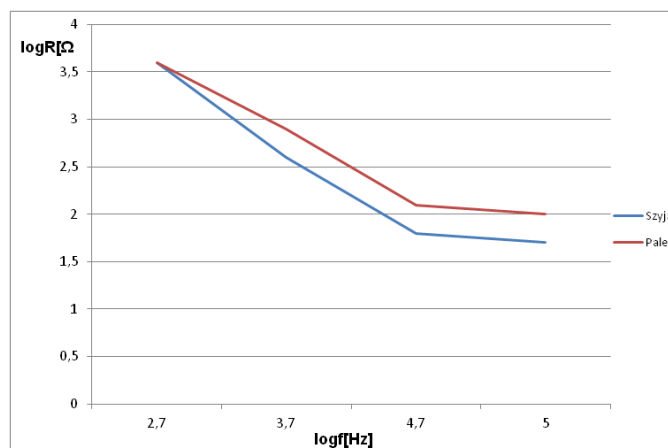


Rycina 4. Wpływ częstotliwości prądu na rezystancję tkanek szyi



Rycina 5. Wpływ częstotliwości prądu na rezystancję tkanek palca

Na rycinie 6 uwidoczniiono dla porównania średnie wartości rezystancji szyi i palca otrzymane na podstawie Tabeli 1.



Rycina 6. Analiza porównawcza wpływu częstotliwości prądu na rezystancję tkanek szyi i palca

Dyskusja

Ryciny 4-6 ilustrują krzywe dyspersyjne dla szyi i palca, opisujące mechanizm przewodzenia prądu elektrycznego w tych tkankach, czyli zależność wpływu zmian częstotliwości pola elektromagnetycznego na bioimpedancję tkanki ludzkiej. Wyższe wartości oporu elektrycznego dla palca są wynikiem niejednakowej zawartości elektrolitów w badanych segmentach, ściśle związanej z różnicami w budowie anatomicznej i własnościach fizjologicznych omawianych obszarów.

Przez obszar szyi przebiegają parzyste tętnice o dużym polu przekroju: tętnice szyjne wspólne, zaopatrujące mózg w bogatą w jony krew. W budowie anatomicznej kończyny górnej nie wyróżnia się dużych naczyń krwionośnych, zapewniających podobnie intensywny napływ elektrolitów i stale wysokie stężenie jonów, co warunkuje dużą przewodność elektryczną. Fizjologia tego obszaru natomiast wskazuje dużą zależność oporu elektrycznego od motoryki kończyny. Wykonywanie czynności manualnych wymusza zwiększony przepływ krwi, czyli ruch jonów, co skutkuje spadkiem bioimpedancji. W przypadku szyi obserwuje się ciągły intensywny napływ krwi do mózgu, toteż przewodnictwo elektryczne w tym segmencie ciała ludzkiego jest większe niż w palcu [5,6].

Z punktu widzenia krążenia oraz stężenia elektrolitów, nie bez znaczenia pozostaje odległość od osi centralnej ciała. W obrębie osi długiej, w której leży szyja, znajduje się serce i ważne dla życia narządy, czyli ośrodki silnie zaopatrywane w krew i wykazujące w związku z tym zmniejszoną rezystancję w stosunku do kończyn.

Istotną rolę odgrywa również unerwienie wybranych segmentów (tkanka nerwowa jest najsilniej uwodnioną tkanką organizmu) oraz stopień nawilżenia skóry. Bogato unerwiona szyja wykazuje mniejszą rezystancję elektryczną niż palec, gdyż przewodzi prąd o większym natężeniu. O wilgotności skóry decyduje liczba i aktywność wydzielnicza gruczołów potowych, szczególnie ekrynowych, których produkt to elektrolit, składający się niemal wyłącznie z wody. Im wyższa aktywność gruczołowa, tym wyższe stężenie elektrolitów, większe przewodnictwo elektryczne tkanki i mniejsza bioimpedancja [5,6,7,8].

Wnioski

1. Wzrost częstotliwości sygnału elektrycznego doprowadzonego do szyi i palca powoduje spadek bioimpedancji tych tkanek, czyli wzrost przewodnictwa elektrycznego.
2. Tkanki w obszarze szyi wykazują mniejszą bioimpedancję niż kończyna górna dla tej samej częstotliwości pola elektromagnetycznego, co wynika z budowy anatomicznej i fizjologii badanych struktur.

3. Do najważniejszych czynników decydujących o wartości rezystancji elektrycznej badanych tkanek należą: stopień nawilżenia skóry oraz ukrwienie tkanek, co decyduje o zawartości elektrolitów, a w konsekwencji – o liczbie nośników ładunku zdolnych do przewodzenia prądu elektrycznego.

Konflikt interesu / Conflict of interest

Nie występuje / None

Etyka / Ethics

Treści przedstawione w artykule są zgodne z zasadami Deklaracji Helsińskiej, dyrektywami EU oraz ujednoliconymi wymaganiami dla czasopism biomedycznych.

Piśmiennictwo / References

- [1] Pander T., Czabański R., Reografia impedancyjna, skrypt Politechniki Śląskiej w Gliwicach, Gliwice 2010.
- [2] Pawlicki G., Pałko T., Golnik N., Gwiazdowska B., Królicki L., Biocybernetyka i Inżynieria Biomedyczna pod red. Macieja Nałęcza, Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, Warszawa 2002, Fizyka Medyczna tom 9, rozdział 8, ISBN 83-87674-37-0.
- [3] Lewitt A., Mądro E., Krupienicz A., Podstawy teoretyczne i zastosowanie analizy impedancji bioelektrycznej BIA, Endokrynologia, Otyłość i Zaburzenia Przemiany Materii 2007, tom 3, nr 4, ISSN 1734-3321.
- [4] Grimnes S., Martinsen Ø.G.: Bioimpedance and Bioelectricity Basics. Academic Press, 2008.
- [5] Traczyk W., Fizjologia człowieka w zarysie, PZWL, Warszawa 1989, rozdział 1, 2 i 5, ISBN 83-200-1370-4.
- [6] Sokołowska – Pituchowa J., Anatomia człowieka. Podręcznik dla studentów medycyny, Wydanie VIII, PZWL, Warszawa 2008, ISBN 978-83-200-3917-7.
- [7] Biedermann T., Human eccrine sweat gland cells can reconstitute a stratified epidermis, rozprawa doktorska, Archiwum Uniwersytetu w Zurychu, Zurych 2011.
- [8] Freinkel RK, Woodley DT. The biology of the skin. Hurley HJ. Rozdział 3: The eccrine sweat glands: structure and function. Parthenon Publishing 2001.

Podpisy rycin i tabel

- [Ryc.1.] Układ monopolarny: system dwuelektrodowy (źródło: Zakład Bioniki i Bioimpedancji, Wydział Nauk o Zdrowiu, Uniwersytet Medyczny im. K. Marcinkowskiego w Poznaniu)
- [Ryc.2.] Układ bipolarny: system dwuelektrodowy (źródło: Zakład Bioniki i Bioimpedancji, Wydział Nauk o Zdrowiu, Uniwersytet Medyczny im. K. Marcinkowskiego w Poznaniu)
- [Ryc.3.] Schemat rozmieszczenia elektrod (źródło: rycina własna w oparciu o www.bodyclock.pl)
- [Ryc.4.] Wpływ częstotliwości prądu na rezystancję tkanek szyi (źródło: rycina własna autora)
- [Ryc.5.] Wpływ częstotliwości prądu na rezystancję tkanek palca (źródło: rycina własna autora)
- [Ryc.6.] Analiza porównawcza wpływu częstotliwości prądu na rezystancję tkanek szyi i palca (źródło: rycina własna autora)
- [Tabela.1.] Wyniki badań rezystancji szyi i palca