

Anna Lewitt, Elżbieta Mądro, Andrzej Krupienicz

Zakład Podstaw Pielęgniarstwa Akademii Medycznej w Warszawie

# Podstawy teoretyczne i zastosowania analizy impedancji bioelektrycznej (BIA)

Theoretical foundations and practical applications of bioelectrical impedance analysis (BIA)

Endokrynologia, Otyłość, Zaburzenia Przemiany Materii 2007, tom 3, nr 4, s. 79–84

## STRESZCZENIE

Analiza bioimpedancji elektrycznej (BIA, *bioelectrical impedance analysis*) stanowi wiarygodny, nieinwazyjny, bezpieczny i skuteczny sposób badania składu ciała u osób zdrowych i cierpiących na cukrzycę, nadciśnienie tętnicze, otyłość i inne choroby. Polega ona na zmierzeniu całkowitego wypadkowego oporu elektrycznego ciała, stanowiącego pochodną rezystancji (oporu biernego) i reaktancji (oporu czynnego) przy zastosowaniu zestawu elektrod powierzchniowych połączonych z analizatorem komputerowym i przy użyciu prądu o danej częstotliwości i natężeniu. Mierzy się ilość całkowitą (TBW, *total body water*), wewnątrzkomórkową (ICW, *intra-cellular body water*) i zewnątrzkomórkową (ECW, *extra-cellular body water*) wodę w organizmie, jak również komórkową masę ciała (BCM, *body cell mass*), a w konsekwencji tkankę tłuszczową (FM, *body fat mass*) i mięśniową (FFM, *fat-free body mass*). Analiza bioimpedancji elektrycznej umożliwia ocenę zmian składu ciała podczas programu dietetycznego i odpowiednio korygować dietę. Na wyniki badania BIA wpływają zmienne czynniki, które zależą od prawidłowej obsługi urządzenia, jak również od odpowiedniego przygotowania osoby badanej.

**Słowa kluczowe:** impedancja bioelektryczna, bioimpedancja, BIA, skład ciała, dietetyka, całkowita woda w ciele, TBW, masa beztłuszczowa, FFM, FM, komórkowa masa ciała, BCM, odchudzanie

## ABSTRACT

Bioelectrical Impedance Analysis (BIA) is a reliable, non-invasive, safe and effective method of determining body composition in healthy individuals as well as in patients with diabetes, hypertension, obesity and other diseases. BIA is about measuring the overall electrical resistance of the body, which is related to both passive and active resistance (reactance) using a set of surface electrodes connected to a computer analyser and by means of known intensity and frequency of electrical current. The parameters assessed are: total body water (TBW), intra-cellular body water (ICW), extra-cellular body water (ECW), body cell mass (BCM) and thus body fat mass (FM) and lean, fat-free body mass (FFM). BIA allows for following body composition changes during dietary programs and helps tune the diet adequately to them. BIA test results are influenced by variable factors dependent on correct usage of the measuring device and appropriate preparation of the individual to be examined.

**Key words:** bioelectrical impedance, bioimpedance, BIA, body composition, dietetics, total body water, TBW, fat-free mass, FFM, FM, body cell mass, BCM, slimming

## Wstęp

Impedancja bioelektryczna, nazywana także rzadziej bioimpedancją elektryczną (BIA, *bioelectrical impedance analysis*), jest coraz szerzej stosowaną nieinwazyjną metodą pomiaru składu ciała. Jest stosowana w różnych instytucjach zajmujących się badaniem składu ciała, począwszy od klinik i gabinetów le-

Adres do korespondencji: mgr Anna Lewitt  
Zakład Podstaw Pielęgniarstwa Akademii Medycznej w Warszawie  
ul. E. Ciołka 27, 01-445 Warszawa  
tel. kom.: 604 644 977  
e-mail: anna.lewitt@interia.pl  
Copyright © 2007 Via Medica  
Nadesłano: 22.10.2007 Przyjęto do druku: 21.11.2007

karskich, a skończywszy na klubach fitness. Można ją stosować u osób obu płci, w każdym wieku, praktycznie niezależnie od stanu zdrowia. Wyniki otrzymane za pomocą analizy impedancji bioelektrycznej są łatwe do uzyskania, wysoce powtarzalne, a sprzęt potrzebny do jej wykonania jest przenośny i stosunkowo niedrogi.

Badanie BIA polega na zmierzeniu impedancji (czyli rodzaju oporu elektrycznego złożonego z rezystancji i reaktancji) tkanek, przez które jest przepuszczany prąd elektryczny o niskim natężeniu ( $\leq 1$  mA). Zjawisko rezystancji wiąże się z oporem właściwym poszczególnych tkanek, podczas gdy reaktancja wynika głównie z pojemności elektrycznej błon komórkowych, które ze względu na swoją budowę działają jak kondensatory.

### Rys historyczny

Właściwości elektryczne tkanek są znane od prawie półtora wieku — pisał o nich Hermann już w 1871 roku [1]. W połowie XX wieku o związku pomiarów impedancji bioelektrycznej z całkowitą ilością wody w ciele pisali Barnett [2], a następnie Thomasset [3] stosujący dwie elektrody podskórne, natomiast nieco później Hoffer i wsp. [4], którzy używali czterech elektrod umieszczonych na powierzchni skóry. W latach 70. XX wieku Nyboer i wsp. [5] rozpoczęli pionierskie badania w zakresie pletyzmografii impedancyjnej, w których wskazali na związek zmian impedancji ciała ludzkiego ze zmianami w pulsacyjnym przepływie krwi w narządach, pulsie tętniczym oraz w oddychaniu.

Obecnie jest dostępnych wiele urządzeń służących do analizy składu ciała na podstawie BIA, stosujących różne konfiguracje elektrod i różne częstotliwości. Istnieją aparaty przypominające zwykłą wagę domową z wbudowanym systemem dwuelektrodowym, jak produkty firmy *Tanita* (konfiguracja dwuelektrodowa stopa–stopa) czy też produkowany przez firmę *Omron* aparat wykorzystujący układ ręka–ręka. Są one proste i wygodne w obsłudze oraz często są stosowane w klubach fitness lub w domu. W niniejszej pracy omówiono przede wszystkim procedury związane z użyciem aparatów z systemem czteroelektrodowym (typu *Bodystat* czy *RJL Systems*) w układzie przeciwnym ręka–stopa, ponieważ większość dostępnej literatury wskazuje na znaczącą dokładność wykonanych za ich pomocą pomiarów. Wynika to między innymi z faktu, że połączenie elektrod ręka–stopa umożliwia przejście prądu przez większy obszar ciała bez skracania obwodu. Ponadto dla dokładności pomiaru istotne jest zajęcie przez pacjenta pozycji horyzontalnej w celu wyrównania poziomu płynów oraz impedancji wszystkich tkanek organizmu (patrz: „**Metodologia**

**pomiarów analizy bioimpedancji elektrycznej**”). Niezależnie od stosowanej metody należy się skonsultować z lekarzem lub dietetykiem, aby prawidłowo zinterpretować uzyskane dane.

### Rezystancja i reaktancja a bioimpedancja

Analiza impedancji bioelektrycznej opiera się na wykorzystaniu wiedzy o właściwościach elektrycznych elementów ciała ludzkiego. Wskazówek dostarczają elementarna znajomość budowy tkankowej i komórkowej organizmu oraz podstawy fizyki.

Wielkość oporu elektrycznego (rezystancji,  $R$ ) jednolitego obiektu jest wprost proporcjonalna do jego długości ( $L$ ) i oporu właściwego ( $\rho$ ), a odwrotnie proporcjonalna do powierzchni jego przekroju poprzecznego ( $A$ ). Impedancja ( $Z$ ) jest funkcją wspomnianej rezystancji i reaktancji ( $X_C$ ), która z kolei jest odwrotnie proporcjonalna do częstotliwości prądu i pojemności elektrycznej układu. W połączeniu szeregowym równanie impedancji ma ogólną postać (1), gdzie wszystkie zmienne liczy się w omach [ $\Omega$ ], a w połączeniu równoległym równanie ma postać (2):

$$(1) Z = \sqrt{R^2 + X_C^2} \quad (2) Z = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{R^2} + \frac{1}{X_C^2}}}$$

Pomiar impedancji bioelektrycznej wykonuje się z założeniem, że w badanym układzie funkcjonują wyłącznie połączenia szeregowo, co oczywiście nie jest prawdą, gdyż w organizmie występują zarówno obwody w połączeniu szeregowym, jak i równoległym. Wobec tego stosuje się matematyczne przekształcenie połączenia szeregowego na równoległe, co daje następujący wzór na impedancję bioelektryczną ciała:

$$(3) Z = \frac{X_C R}{\sqrt{X_C^2 + R^2}}$$

W uproszczeniu można powiedzieć, że impedancja bioelektryczna organizmu to miara połączonego oporu i przesunięcia fazowego prądu, który przejdzie przez ciało. Jest to określenie wielkości zawady (przeszkody) jaką ciało stanowi dla płynącego prądu elektrycznego. Wiadomo oczywiście, że ciało nie jest jednolitym walcem, a jego oporność i pojemność elektryczna są zmienne. Problem ten można obejść, uświadamiając sobie, że poszczególne tkanki mają swoiste właściwości w zakresie przewodzenia elektrycznego, a szczególne znaczenie w przewodzeniu prądu ma woda wraz z rozpuszczonymi w niej elektrolitami, oraz stosując odpowiednie przekształcenia matematyczne.

Tkanka tłuszczowa i woda zewnątrzkomórkowa nie wykazują reaktancji (oporu pojemnościowego), gdyż nie zachowują się jak kondensatory, za to posiadają opór elektryczny czynny (rezystancję). Natomiast reaktancja powstaje na błonie komórkowej tkanki o wysokiej zawartości wody, która działa jak kondensator złożony z dwóch okładek (przewodzące prąd fragmenty hydrofilowe fosfolipidów skierowane na zewnątrz i do wewnątrz komórki) i warstwy dielektrycznej (nieprzewodzące prądu fragmenty lipofilowe skierowane do wewnątrz błony komórkowej). Rezystancja powoduje spadek napięcia, podczas gdy reaktancja wpływa przede wszystkim na przesunięcie fazowe przyłożonego prądu zmiennego, reprezentowane w ujęciu wektorowym przez kąt fazowy ( $\varphi$ ), który wynosi  $\varphi = \arctan \frac{X_c}{R}$  i zawiera się w przedziale od  $-90^\circ$  do  $0^\circ$ .

Kąt fazowy przyjmuje wyłącznie wartości z tego zakresu, ponieważ w połączeniu szeregowym reaktancja jest wektorem prostopadłym do rezystancji, a impedancja to ich suma wektorowa o wartości wyliczonej ze wzoru (1). Wiadomo więc, że w miarę jak rośnie częstotliwość prądu (a spada reaktancja), rosną także kąt fazowy i rezystancja. Takie wartości, jak opór właściwy ciała ludzkiego i jego pojemność elektryczna, wyznacza się na podstawie danych statystycznych dla danej populacji, rasy, wieku, płci, stanu zdrowia itp. [6]. Otrzymany podczas pomiaru wynik całkowitej impedancji bioelektrycznej, po niezbędnych przekształceniach matematycznych i przy znanych parametrach antropometrycznych ciała i określonej charakterystyce użytego prądu zmiennego, umożliwia uzyskanie wartości objętości wody w ustroju, co ma kluczowe znaczenie dla poznania dalszych elementów składu ciała.

Dla potrzeb BIA przyjmuje się, że ciało składa się z połączonych szeregowo pięciu walców: tułowia i czterech kończyn (ponieważ prąd płynie najkrótszą możliwą drogą, głowa nie jest brana pod uwagę). Dla ułatwienia, zamiast długości obwodu, która musiałaby być mierzona od nadgarstka do kostki nogi, gdzie przyłożono elektrody, stosuje się wartość wzrostu badanego, z uwzględnieniem odpowiednich współczynników, o których napisano wcześniej. Możliwe jest także zastosowanie dokładniejszych pomiarów antropometrycznych w celu określenia średniej powierzchni przekroju poprzecznego kończyn i tułowia.

### **Warianty analizy bioimpedancji elektrycznej**

Urządzenia mierzące BIA można podzielić ze względu na liczbę elektrod oraz na używane częstotliwości.

Stosuje się systemy dwu-, cztero-, a nawet ośmioelektrodowe, z użyciem elektrod powierzchniowych, przy rozmaitych konfiguracjach elektrod, na przykład w połączeniu noga–noga, noga–ręka, ręka–ręka itp. Najczęściej stosuje się system tetrapolarny w układzie przeciwstronnym, gdzie dwie elektrody umieszcza się w okolicach nadgarstka/przedramienia badanego, a dwie kolejne koło kostki nogi (większość poważnych badań z użyciem BIA wykorzystuje właśnie taki system).

Ważnym czynnikiem w badaniu metodą BIA jest użyta częstotliwość prądu. Przy częstotliwościach niskich lub bliskich zeru prąd nie przechodzi przez barierę błony komórkowej, która działa jak izolator, podczas gdy przy bardzo wysokich częstotliwościach błona komórkowa zachowuje się jak niemal doskonały kondensator, a zatem całkowita rezystancja ciała odzwierciedla zarówno objętość wody wewnątrz-, jak i zewnątrzkomórkowej. Warto zauważyć, że przy częstotliwości 50 kHz, a taka jest najczęściej używana w aparatach BIA o jednej częstotliwości prądu, prąd przechodzi zarówno przez płyn wewnątrz-, jak i zewnątrzkomórkowy i uzyskuje się średnią ważoną ich rezystancji, która ma kluczowe znaczenie dla badania BIA, ponieważ reaktancja stanowi około 10% otrzymanej impedancji.

Istnieją dwa główne typy aparatów BIA — SF-BIA i MF-BIA. W aparacie typu SF-BIA stosuje się jedną częstotliwość, a w aparacie typu MF-BIA — wiele częstotliwości. Pierwsze uważa się za szczególnie przydatne w ocenie składu ciała u osób zdrowych, podczas gdy drugie pozwalają na dokładniejszą analizę zmian składu ciała w organizmie pacjentów w okresie pooperacyjnym lub charakteryzujących się bardzo słabym zdrowiem. W urządzeniach typu SF-BIA najczęściej używa się częstotliwości 50 kHz przy natężeniu rzędu 0,8–1 mA, a w aparatach MF-BIA stosuje się zakres częstotliwości 0–500 kHz, chociaż największą powtarzalność wyników notuje się przy zakresie 5–200 kHz. Dla potrzeb diagnostyki dietetycznej zwykle stosuje się jedną częstotliwość w systemie tetrapolarnym przy pomiarze całego ciała (a nie jego pojedynczego segmentu, takiego jak klatka piersiowa czy kończyna, co znajduje zastosowanie w diagnostyce innych specjalności, np. w kardiografii impedancyjnej lub w ocenie wielkości urazów, obrzęków itd.).

### **Odczytywanie pomiarów analizy bioimpedancji elektrycznej**

Masa ciała, jaką odczytuje się na wadze, dostarcza znikomej ilości informacji na temat ilości tkanki tłuszczowej i mięśni lub ogólnej hydratacji i kondycji organizmu. Wyliczenie samego wskaźnika masy ciała

(BMI, *body mass index*) także nie stanowi wystarczającej podstawy do określenia poziomu metabolizmu człowieka, a tym bardziej do skomponowania odpowiedniej diety. Natomiast skład ciała badany metodą BIA daje informację o kluczowym znaczeniu — proporcję mięśni do tłuszczu — gdyż pomiar techniką cztero-elektrową przy stałej częstotliwości równej 50 kHz dostarcza wiedzy na temat wody zewnątrzkomórkowej (ECW, *extra-cellular body water*) oraz jej stosunku do całkowitej zawartości wody w organizmie (TBW, *total body water*). Dalej, dzięki matematycznemu przekształceniu połączenia szeregowego na połączenie równoległe (za pomocą dość złożonego diagramu trójwymiarowego) badanie BIA dostarcza wiedzy także na temat zmian w zawartości wody wewnątrzkomórkowej (ICW, *intra-cellular body water*), czyli *de facto* o masie komórkowej organizmu (BCM, *body cell mass*). Ma to zasadnicze znaczenie, ponieważ na beztłuszczową masę ciała składają (FFM, *fat-free body mass*) się właśnie TBW, BCM oraz w niewielkim stopniu mineralizacja kości, a resztę masy ciała stanowi tkanka tłuszczowa (FM, *body fat mass*). Wystarczy więc odjąć TBW + BCM od masy ciała, by otrzymać masę tkanki tłuszczowej.

Co więcej, pomiary te dają dokładniejsze wyniki niż MF-BIA czy spektroskopia impedancji bioelektrycznej [8], ale są wiarygodne wyłącznie w przypadku prawidłowego nawodnienia organizmu, co wymusza utrzymanie pewnych warunków przeprowadzania badania, które zostaną omówione później.

Jak już wcześniej wspomiano, analiza impedancji bioelektrycznej wymaga użycia wielu szczegółowych równań [9], które uwzględniają dane empiryczne na temat wpływu parametrów antropometrycznych na wyniki pomiaru składu ciała. Dzięki tym właśnie przekształceniom i przy użyciu toku rozumowania opisanego wcześniej, z podstawowych odczytów aparatu BIA można odczytać dokładny skład ciała. W praktyce obliczeń tych, wymagających uwzględnienia tak wielu zmiennych, dokonuje się za pomocą odpowiedniego programu komputerowego współpracującego z urządzeniem mierzącym bioimpedancję.

W ten sposób dietetyk dzięki utrzymanemu składowi ciała może dobrać odpowiednią strategię dietetyczną, mającą na celu na przykład schudnięcie lub przybranie na wadze przy jednoczesnym uzyskaniu korzystnego stosunku tkanki mięśniowej do tłuszczowej. W praktyce dietetyka czy lekarza prawidłowo wykonane badanie BIA w połączeniu z indywidualną dietą i odpowiednimi ćwiczeniami może stanowić bazę dla zapobiegania i leczenia chorób cywilizacyjnych, takich jak: nadwaga, otyłość, cukrzyca, nadciśnienie czy też choroby układu krążenia.

## Metodologia pomiarów analizy bioimpedancji elektrycznej

Jak każda praca doświadczalna, także BIA wymaga standaryzacji warunków przeprowadzania pomiaru, aby uzyskane wyniki były wiarygodne.

Pierwsza grupa czynników mających wpływ na wyniki badania wiąże się z prawidłowym używaniem aparatu. Elektrody pokryte folią lub punktowe, podobne do stosowanych w elektrokardiografii, muszą być umieszczone na skórze ostrożnie dla zapewnienia odpowiedniego przewodzenia elektrycznego, po uprzednim przemyciu skóry alkoholem w miejscu aplikacji elektrod dla usunięcia zanieczyszczeń. Kolejny, ważniejszy nawet czynnik, to prawidłowe ułożenie elektrod. W systemie tetrapolarnym umieszcza się je na linii środkowej grzbietowej powierzchni rąk i stóp. Przesunięcie elektrod o 1 cm może spowodować zmianę rezystancji rzędu 2%. Należy pamiętać, że chociaż ramię stanowi tylko około 4% masy ciała, to jego wpływ na pomiar całkowitej rezystancji wynosi około 45%, dlatego istotne jest określenie stałego miejsca umieszczania elektrod pomiarowych. Dotychczas brakuje pełniejszych danych na temat wpływu zastosowania innego umiejscowienia elektrod na dokładność wyników pomiarów. Oprócz tego specyfikacje urządzeń pomiarowych muszą zawierać informacje dotyczące natężenia i częstotliwości prądu, kształtu fali elektromagnetycznej, przedziału impedancji gwarantującego bezpieczną pracę urządzenia, jak również dokładności pomiaru i jej ewentualnych zmian zależnych od zmian impedancji.

Kolejna grupa czynników wiąże się z osobą badaną. Podczas pomiaru badany powinien przyjąć pozycję leżącą na około 5–10 minut przed wykonaniem badania, ponieważ stwierdzono, że impedancja wyraźnie wzrasta w ciągu 10 minut od chwili przyjęcia pozycji leżącej i kontynuuje wzrost, choć w wolniejszym tempie, przez następne 4 godziny. Kończyny powinny spoczywać luźno pod kątem 30°–45° do tułowia, gdyż ich skrzyżowanie zaniża impedancję. W przypadku osób, które nie mogą odpowiednio położyć nóg, chociażby ze względu na znaczącą otyłość, należy zastosować materiał izolacyjny oddzielający kończyny od siebie i od tułowia. Pomiaru nie należy wykonywać wcześniej niż 4 godziny po posiłku (najlepiej wykonywać na czczo), ponieważ impedancja spada o 5–15  $\Omega$  przez 2–4 godzin po spożyciu posiłku. Ogromne znaczenie dla prawidłowego wyniku pomiaru ma także dokładne zmierzenie wzrostu osoby badanej. Błąd rzędu 2,5 cm może spowodować zmianę wyniku TBW o 1 litr, a wymagana dokładność to 0,5 cm. Masę ciała należy zmierzyć z dokładnością do 0,1 kg, gdyż błąd 1 kg powoduje błąd odczytu

TBW o 0,2 litra. Ponadto trzeba unikać wykonywania badania we wszelkich okolicznościach, które mają wpływ na zaburzenie równowagi płynów w organizmie. Do okoliczności tych należą: ćwiczenia fizyczne (konieczny jest odstęp co najmniej kilku godzin, a najlepiej dwunastogodzinny), spożywanie alkoholu, zażywanie leków diuretycznych, obrzęki czy też, najprawdopodobniej w niewielkim tylko stopniu, cykl menstruacyjny.

### Wiarygodność wyników analizy bioimpedancji elektrycznej

Przy zastosowaniu wyżej wymienionych środków ostrożności i utrzymaniu warunków prawidłowego przeprowadzenia pomiaru, powtarzalność wyników otrzymanych metodą BIA jest bardzo wysoka: współczynnik rzetelności test–retest dla omawianego systemu czteroelektrodowego wynosi aż 99%. Ponadto uzyskane przez Segal i wsp. [10] wyniki nie wykazywały praktycznie żadnych odchyłeń w obrębie pięciu pomiarów, jeśli elektrody pozostawały na miejscu przy zastosowaniu oporników o różnej dokładności. Otrzymane wartości nie odbiegały od spodziewanych o więcej niż 2%. W swych obszernych badaniach, przeprowadzonych w dużej grupie osób w różnym wieku, różnej płci, pochodzenia, w tym zdrowych i chorych na AIDS, Kotler i wsp. [11] stwierdzili wysoką sprawdzalność i wystarczającą powtarzalność wyników badań BIA dla praktyki klinicznej. Równania dla określenia masy beztłuszczowej ciała potwierdzono w badaniach porównawczych z użyciem hydrodensytometrii już w latach 70. XX wieku [12].

### Bezpieczeństwo stosowania analizy bioimpedancji elektrycznej

Badania przy użyciu BIA można uważać za całkowicie bezpieczne dla organizmu. Stosowane często-

ściwości prądu nie powodują podrażnienia nerwów ani mięśnia sercowego, a natężenie prądu jest całkowicie niegroźne, gdyż natężenie prądu jest tym bezpieczniejsze, im większa jest częstotliwość prądu, na przykład śmiertelne natężenie to 100 mA przy 0,5 kHz (jak w domowym gniazdku elektrycznym), a już dla 5 kHz próg śmiertelności wynosi 1000 mA. Poza tym próg odczuwalności prądu u człowieka to 1–1,5 mA, a więc używany w pomiarze prąd o natężeniu 0,8–1 mA jest praktycznie nieodczuwalny. Nie są także znane przypadki wystąpienia działań niepożądanych, które można powiązać z przeprowadzeniem badania BIA. Ponadto, użycie baterii lub źródeł energii o niskim napięciu w znacznym stopniu minimalizuje ryzyko porażenia.

Ostatnim czynnikiem, który należy uwzględnić przy przeprowadzaniu badania BIA, jest wpływ działania aparatu BIA na inne urządzenia emitujące pole elektromagnetyczne i odwrotnie. Dotychczas nie rozwiązano tego problemu. Dopóki kwestia ta nie zostanie wyjaśniona, osobom ze wszczepionym defibrylatorem serca odradza się badanie BIA, ponieważ nawet niewielki prąd może zakłócić działanie urządzenia. Uważa się natomiast, że badanie BIA jest bezpieczne dla osób z wszczepionym rozrusznikiem serca.

### Podsumowanie

Według przedstawionych powyżej danych metoda BIA może stanowić wiarygodny, bezpieczny i skuteczny sposób badania składu ciała, jak również innych parametrów wynikających z dystrybucji wody w organizmie. Może być stosowana przy badaniu składu ciała zarówno u osób zdrowych, jak i cierpiących na choroby przewlekłe, ze szczególnym uwzględnieniem chorób związanych z metabolizmem. Na wyniki badania BIA wpływają czynniki, które zależą od prawidłowego doboru stosowanego wariantu BIA oraz obsługi urządzenia, jak również odpowiedniego przygotowania osoby badanej.

### Słownik wybranych skrótów i pojęć

<b>BCM</b>	<i>body cell mass</i> , masa komórkowa ciała — wskazuje przede wszystkim na masę mięśni i organów wewnętrznych (z wyłączeniem tkanki tłuszczowej); jej zmiany są charakterystyczne dla niektórych chorób przewlekłych, takich jak AIDS lub choroba nowotworowa
<b>BIA</b>	<i>bioelectrical impedance analysis</i> , analiza impedancji bioelektrycznej — nieinwazyjna metoda pozwalająca na określenie ilości wody w ciele, a następnie jego składu na drodze analizy wypadkowego oporu elektrycznego, jaki wykazuje ciało wobec przepuszczonego przez nie prądu o niskim natężeniu i wysokiej częstotliwości
<b>BMI</b>	<i>body mass index</i> , wskaźnik masy ciała — znany również jako wskaźnik Queteleta II, obliczany poprzez podzielenie masy ciała w kilogramach przez kwadrat wzrostu w metrach, wskazujący dość ogólnie na prawidłowość lub zaburzenie masy ciała, niepozwalający jednak na określenie składu ciała

cd. →

## Słownik wybranych skrótów i pojęć – cd.

<b>ECW</b>	<i>extra-cellular water</i> , woda zewnątrzkomórkowa
<b>FFM</b>	<i>fat-free body mass</i> , beztłuszczowa masa ciała — praktycznie tożsama z masą mięśni i organów wewnętrznych
<b>FM</b>	<i>body fat mass</i> , masa tkanki tłuszczowej w organizmie
<b>hydrodensytometria</b>	ważenie pod wodą — metoda pozwalająca na dokładne określenie objętości, a zatem i gęstości ciała ludzkiego, a przez odpowiednie obliczenia także zawartości tłuszczu (FM)
<b>ICW</b>	<i>intra-cellular body water</i> , woda wewnątrzkomórkowa — zawarta głównie w mięśniach i narządach wewnętrznych (w bardzo niewielkim stopniu w tkance tłuszczowej)
<b>impedancja bioelektryczna</b>	opór elektryczny wypadkowy ciała, całkowita „przeszkoda” (zawada), jaką tkanki ciała stanowią dla przepływającego przez nie prądu, wyrażany w omach
<b>kąt fazowy</b>	miara przesunięcia fazy prądu spowodowanego „opóźnieniem” wynikającym z oporu związanego z pojemnością elektryczną błon komórkowych (reaktancji), zawierająca się w przedziale 0–90 stopni
<b>MF-BIA</b>	<i>multi-frequency bio-impedance analysis</i> , analiza bioimpedancji elektrycznej przy użyciu kilku częstotliwości prądu (zwykle z przedziału 5–200 kHz)
<b>pletyzmografia impedancyjna</b>	<i>plethysmos</i> — powiększenie; badanie zmian objętości krwi w kończynach, klatce piersiowej lub innych obszarach ciała na podstawie zmian impedancji bioelektrycznej, mająca zastosowanie m.in. w diagnostyce kardiologicznej
<b>reaktancja bioelektryczna</b>	opór elektryczny czynny ciała związany z pojemnością elektryczną błon komórkowych, powodujący przesunięcie fazy prądu, wyrażany w omach (stanowi około 10% wartości impedancji)
<b>rezystancja bioelektryczna</b>	opór elektryczny bierny ciała związany z oporem właściwym składników ciała, wyrażany w omach (stanowi przeważającą część wartości impedancji)
<b>SF-BIA</b>	<i>single frequency bio-impedance analysis</i> — najczęściej stosowana analiza bioimpedancji elektrycznej przy użyciu jednej częstotliwości prądu (zwykle 50 kHz)
<b>TBW</b>	<i>total body water</i> , całkowita ilość wody w ciele odzwierciedlająca przede wszystkim masę beztłuszczową ciała (por. FFM)

## Piśmiennictwo

- Hermann L.: Über eine Wirkung galvanischer Ströme auf Muskeln und Nerven. *Pflügers Arch. Gesamte Physiol.* 1871; 5: 223–275.
- Barnett A.: Electrical method for studying water metabolism and translocation in body segments. *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.* 1940; 44: 142–147.
- Thomasset A.: Bio-electrical properties of tissue impedance measurements. *Lyon Med.* 1963; 207: 107–118.
- Hoffer E.C., Meador C.K., Simpson D.C.: Correlation of whole-body impedance with total body water volume. *J. Appl. Physiol.* 1969; 27: 531–534.
- Nyboer J., Thomas C.C.: *Electrical Impedance Plethysmography*. Springfield, Illinois, 1970.
- Kyle U.G., Bosaeus I., De Lorenzo A.D. i wsp.: Bioelectrical impedance analysis-part I: review of principles and methods. *Clin. Nutr.* 2004; 23: 1226–1243.
- Gudivaka R., Schoeller D.A., Kushner R.F., Bolt M.J.: Single-and multifrequency models for bioelectrical impedance analysis of body water compartments. *J. Appl. Physiol.* 1999; 87: 1087–1096.
- Gleichauf C.N., Roe D.A.: The menstrual cycle's effect on the reliability of bioelectrical impedance measurements for assessing body composition. *Am. J. Clin. Nutr.* 1989; 50: 903–907.
- Lukaski H.C., Bolonchuk W.W., Hall C.B., Siders W.A.: Validation of tetrapolar bioelectrical impedance method to assess human body composition. *J. Appl. Physiol.* 1986; 60 (4): 1327–1332.
- Segal K.R., Gutin B., Presta E., Wang J., Van Itallie J.B.: Estimation of human body composition by electrical impedance methods: a comparative study. *J. Appl. Physiol.* 1985; 58: 1565–1571.
- Kotler D.P., Wang J., Pierson R.N.: Body composition studies in patients with the acquired immunodeficiency syndrome. *Am. J. Clin. Nutr.* 1985; 42 (6): 1255–1265.
- Durnin J.U.G.A., Womersley J.: Body fat assessed from total body density and its estimation from skinfold thickness: measurement on 481 men and women aged 16–72. *Brit. J. Nutr.* 1974; 77–97.