

Wykorzystanie analizy impedancji bioelektrycznej w profilaktyce i leczeniu nadwagi i otyłości

Use of bioelectrical impedance analysis in prevention and treatment of overweight and obesity

BARBARA DŻYGADŁO, CELINA ŁEPECKA-KLUSEK, BARTOSZ PILEWSKI

Katedra i Klinika Ginekologii i Endokrynologii Ginekologicznej Uniwersytetu Medycznego w Lublinie

Wstęp. Masa ciała, jaką odczytujemy na wadze, dostarcza znikomej ilości informacji na temat ilości tkanki tłuszczowej i mięśniowej, nawodnienia oraz ogólnej kondycji organizmu. W diagnozowaniu i leczeniu nadwagi i otyłości potrzebne są dokładniejsze pomiary.

Cel. Sprawdzenie, jakie jest znaczenie analizy impedancji bioelektrycznej w profilaktyce i leczeniu nadwagi i otyłości.

Materiał i metody. Przeszukano uniwersytecką bazę danych, PubMed oraz MEDLINE przy użyciu haseł: bioimpedancja, analiza składu ciała, impedancja bioelektryczna, BIA, konsekwencje nadwagi i otyłości. Przeszukanie ograniczono do prac opublikowanych w języku polskim i angielskim. Dokonano systematycznego przeglądu piśmiennictwa. Wyłoniono prace spełniające warunki włączenia do niniejszego opracowania w liczbie 45. Wybrane prace przeczytano w całości, a interesujące kwestie i wnioski naniesiono na specjalnie przygotowany arkusz.

Wyniki. Analiza impedancji bioelektrycznej jest coraz szerzej stosowaną, nieinwazyjną metodą pomiaru składu ciała. Pozwala ocenić: zawartości tkanki tłuszczowej, beztłuszczowej masy ciała oraz nawodnienia organizmu u poszczególnych pacjentów i w większej populacji. Jest metodą dokładniejszą od obliczania wskaźnika masy ciała (BMI). Stosowana we wczesnym rozpoznawaniu i leczeniu otyłości oraz działaniach profilaktycznych u dzieci i młodzieży pozwala zapobiec rozwojowi powikłań sercowo-naczyniowych i zaburzeń metabolicznych.

Wnioski. Impedancja bioelektryczna powinna być wykorzystywana w badaniach uzupełniających pomiary antropometryczne. Stanowi alternatywę dla stosowanych dotychczas schematów diagnozy, usprawniając tym samym profilaktykę i leczenie pacjentów z nadwagą i otyłością.

Słowa kluczowe: analiza składu ciała, impedancja bioelektryczna, BIA, otyłość, nadwaga

Introduction. Body weight, which we read on a scale, provides little information on the amount of fat and muscle tissue, hydration and body condition. In the diagnosis and treatment of overweight and obesity more accurate measurements are needed.

Aim. To check the significance of bioelectrical impedance analysis in prevention and treatment of overweight and obesity.

Material and methods. University database, PubMed and MEDLINE were searched using the following key words: bioimpedance, body composition analysis, bioelectrical impedance, BIA, the consequences of overweight and obesity. A search was limited to articles published in Polish and English languages. A systematic review of literature was carried out. It identified 45 articles which fulfilled the conditions of inclusion into this study. Then, each article was carefully read, and significant issues and conditions were included in a specially prepared questionnaire for data collection.

Results. The bioelectrical impedance analysis is an increasingly often used, noninvasive method for measuring body composition. It allows to assess: body fat, lean body mass and hydration in individual patients as well as in the general population. The bioimpedance analysis is a frequently applied, noninvasive method for measuring body composition. It allows to assess: body fat, lean body mass and hydration in individual patients and in the larger population. It is a more accurate method of calculating body mass index (BMI). Used in early diagnosis and treatment of obesity and in preventive activities for children and adolescents it can prevent the development of cardiovascular and metabolic disorders.

Conclusion. Bioelectrical impedance should be used in studies of complementary anthropometric measurements. It is an alternative to previously used regimens of diagnosis, thereby improving prevention and treatment of patients with overweight and obesity.

Key words: body composition analysis, bioelectrical impedance, BIA, obesity, overweight

© *Probl Hig Epidemiol* 2012, 93(2): 274-280

www.phie.pl

Nadesłano: 20.04.2012

Zakwalifikowano do druku: 21.05.2012

Adres do korespondencji / Address for correspondence

Mgr Barbara Dżygadło
ul. Zana 50/19, 20-601 Lublin
e-mail: b.dzygadło@op.pl

Wykaz skrótów

BCM – *Body Cell Mass*, masa komórkowa ciała
BIA – *Bioelectrical Impedance Analysis*, analiza impedancji bioelektrycznej
BMI – *Body Mass Index*, wskaźnik masy ciała
DEXA – *Dual-Energy X-ray Absorptiometry*, absorpcjometria podwójnej energii promieniowania rentge-

nowskiego
ECW – *ExtraCellular Water*, woda pozakomórkowa
FFM – *FatFree Mass*, masa beztłuszczowa ciała
FF ECS – *FatFree Extracellular Solids*, pozakomórkowe substancje beztłuszczowe
FM – *Fat Mass*, masa tkanki tłuszczowej w organi-

ICW – *IntraCellular Water*, woda wewnątrzkomórkowa

MF-BIA – *multi frequency bioimpedance analysis*, analiza bioimpedancji elektrycznej przy użyciu kilki częstotliwości prądu

NHANES III – *National Health and Nutrition Examination Survey III*, Krajowe Badanie Zdrowia i Żywienia edycja III

R – rezystancja

SF-BIA – *Single Frequency Bioimpedance Analysis*, analiza impedancji bioelektrycznej przy użyciu jednej częstotliwości prądu

TBK – *Total Body Kalium*, całkowita ilość potasu w organizmie

TBW – *Total Body Water*, całkowita ilość wody w organizmie

X_c – reaktancja

φ – kąt fazowy

Wstęp

Nadwaga i otyłość to ogromny problem epidemiologiczny w Polsce i większości krajów gospodarczo rozwiniętych [1, 2]. Nadmierne otłuszczenie organizmu jest znanym czynnikiem ryzyka wystąpienia wielu chorób cywilizacyjnych, takich jak: nadciśnienie tętnicze, choroba niedokrwienna serca, hiperlipidemia, cukrzyca typu 2, czy większości nowotworów złośliwych [3]. Ponadto wpływa ono na występowanie wielu dolegliwości ze strony układu mięśniowo-szkieletowego [4], co skutkuje zwiększoną ilością wystawianych zwolnień lekarskich, wcześniejszym zaniechaniem pracy zawodowej [5], wpływając tym samym na wzrost kosztów społeczno-ekonomicznych [6, 7].

Powszechnie używaną metodą, służącą do oceny prawidłowej wagi organizmu w badaniach epidemiologicznych jest obliczenie wskaźnika BMI. Jest to stosunek masy ciała (w kilogramach) do wzrostu (w metrach do kwadratu). Technika ta jest łatwa do oszacowania, ponieważ nie wymaga użycia żadnej specjalistycznej aparatury, a jedynie podstawowych danych antropometrycznych. Jednakże ograniczeniem tej metody jest fakt, iż nie rozróżnia ona tkanki tłuszczowej od beztłuszczowej masy ciała, wchodzących w skład naszego organizmu. Stąd też wysokie wartości tego wskaźnika ($BMI > 25$) mogą być wynikiem dużej zawartości tkanki tłuszczowej lub beztłuszczowej masy w stosunku do ciężaru organizmu [8]. Często jest ona również nieskuteczna w ocenie należnej masy ciała osób dializowanych, ze względu na dużą zawartość wody w ich ustrojach. Ponieważ związek pomiędzy BMI a ilością tłuszczu w ciele waha się w zależności od: wieku, płci oraz grupy etnicznej [9-12, 13] istnieje potrzeba opracowania prostych metod, które w skuteczny sposób pozwolą dokładniej monitorować poziom nadwagi i otyłości w populacji.

Pomiaru składu ciała, w tym i ilości tkanki tłuszczowej w organizmie, można dokonać różnorodnymi technikami, np. stosując: pomiary antropometryczne, analizę bioimpedancji elektrycznej (BIA – *bioelectric impedance analysis*), absorpcjometrię rentgenowską (DEXA – *dual-energy X-ray absorptiometry*), tomografię komputerową, rezonans magnetyczny, ultrasonografię, metody izotopowe [14-18]. W praktyce klinicznej większość z tych metod jest jednak mało dostępna, głównie z uwagi na długotrwałość i skomplikowany sposób pomiaru, wysokie koszty badania lub napromieniowanie [19].

Impedancja elektryczna, zwana także bioimpedancją elektryczną (BIA – *bioelectrical impedance analysis*), to szybka, nieinwazyjna, tania i powtarzalna metoda badania składu ciała [20]. Można ją stosować zarówno u osób zdrowych, jak i chorych w każdej kategorii wiekowej. Badanie metodą BIA polega na pomiarze impedancji, czyli oporu elektrycznego, na który składa się rezystancja i reaktancja tkanek miękkich, przez które jest przepuszczany prąd elektryczny o niskim natężeniu [21]. Wyniki tych pomiarów są dostępne natychmiast i powtarzalne z $< 1\%$ ryzykiem błędu powtarzalnych pomiarów. Technika ta wykorzystywana jest szeroko w badaniach nad zaburzeniami odżywiania [22-25], do prognozowania ryzyka chorób sercowo-naczyniowych [26] i metabolicznych [27], czy w medycynie sportowej [28].

Cel pracy

Sprawdzenie, jakie jest znaczenie analizy impedancji bioelektrycznej w profilaktyce i leczeniu nadwagi i otyłości.

Wykorzystane źródła i metoda badań

Uniwersytecką bazę danych, PubMed oraz MEDLINE przeszukano przy użyciu haseł: bioimpedancja, analiza składu ciała, impedancja bioelektryczna, BIA, konsekwencje nadwagi i otyłości. Przeszukanie ograniczono do prac opublikowanych w języku polskim i angielskim.

Dokonano systematycznego przeglądu piśmiennictwa. Wyłoniono prace spełniające warunki włączenia do niniejszego opracowania w liczbie 45. Wybrane prace przeczytano w całości, a interesujące kwestie i wnioski naniesiono na specjalnie przygotowany arkusz. Dostrzeżone w piśmiennictwie znaczenie wykorzystania metody impedancji bioelektrycznej, mającej wpływ na diagnostykę, a tym samym i profilaktykę oraz leczenie nadwagi i otyłości, przedstawiono poniżej.

Rys historyczny

Właściwości elektryczne tkanek są znane od blisko półtora wieku. Już w 1871 r. opisywał je Hermann [29]. Claude Bernard odkrył, że zdrowe ludzkie ciało

utrzymuje stałe wewnętrzne środowisko, które nazwał milieu interieur [30]. Kolejni badacze obserwowali zmiany w składzie ciała związane ze wzrostem oraz niewystarczającym lub nadmiernym odżywieniem. Pod koniec XIX wieku do składowych ciała zaliczono wodę, tłuszcz, azot i niektóre minerały. W pierwszej połowie XX wieku zaczęły rozwijać się techniki służące do oceny składu ciała, a pośrednim sposobem jego oceny początkowo była analiza płynów w ustroju. Odkrycie deuteru (stabilnego izotopu wodoru występującego naturalnie) ułatwiło dokładną ocenę całkowitej wody ciała (TBW, total body water), a zastosowanie innych izotopów umożliwiło rozwinięcie koncepcji oceny całkowicie wymiennalnych elektrolitów – sodu i potasu [30]. O związku pomiarów impedancji bioelektrycznej z całkowitą ilością wody w ciele pisali Barnett [31], a następnie Thomasset [32] stosujący dwie elektrody podskórne, natomiast nieco później Hoffer i wsp. [33], którzy używali czterech elektrod umieszczonych na powierzchni skóry. W latach 70. XX wieku Nyboer i wsp. [34] 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. W tym samym czasie badano również metodę oceny składu ciała opartą na badaniu hydrodensytometrycznym. Większość metod oceny masy ciała opierała się wówczas na podziale na dwa główne składniki chemiczne: tłuszcz i część beztłuszczową. Podstawowym narzędziem do badania składu ciała stał się aparat hydrodensytometryczny. Masę ciała podzielono na: tłuszcz (FM, Fat Mass) oraz masę beztłuszczową (FFM – Fat-Free Mass). Tłuszcz nie zawiera wody ani potasu, zawiera natomiast triglicerydy oraz lipidy, a jego gęstość ocenia się na 0,9 g/ml. Skład masy beztłuszczowej jest chemicznie bardziej heterogenny, ponieważ zawiera około 72-74% wody, 60-66 mmol/kg potasu, a jej gęstość wynosi 1,1 g/ml. Ten dwukompartamentowy model stał się podstawą nowoczesnych badań nad składem ciała [35, 36]. W późniejszych latach rozwinął się model czterokompartamentowy – ciało podzielono na: wodę, białko, kości, składniki mineralne (popiół) oraz tłuszcz [37]. Podobnie jak w modelu dwukompartamentowym do oceny poszczególnych składowych ciała wykorzystano pomiary całkowitego potasu (TBK – Total Body Kalium) oraz TBW. Kolejny podział oparty na pomiarach TBK i TBW doprowadził do rozwoju modelu czterokompartamentowego składającego się z: FM, masy komórkowej (BCM – Body Cell Mass), wody pozakomórkowej (ECW – ExtraCellular Water, ok. 45% TBW) oraz pozostałych pozakomórkowych beztłuszczowych substancji stałych (FFECS – Fatfree ExtraCellular Solids) [38]. W późniejszym etapie wyróżniono poza wodą pozakomórkową również i wodę wewnątrzkomórkową (ICW – IntraCellular Water),

która wynosi ok. 55% całkowitej zawartości wody w organizmie [13]. Tabela I [21] przedstawia słownik wybranych skrótów i pojęć, niezbędnych do prawidłowego odczytania wyniku analizy składu ciała.

Tabela I. Słownik wybranych skrótów i pojęć [8]
Table I. Dictionary of selected abbreviations and concepts [8]

| | |
|-----------------------------|--|
| BCM | (body cell mass) masa komórkowa ciała – wskazuje przede wszystkim masę mięśni i organów wewnętrznych (z wyłączeniem tkanki tłuszczowej); jej zmiany są charakterystyczne dla niektórych chorób przewlekłych, takich jak AIDS czy choroba nowotworowa |
| BIA | (bioelectrical impedance analysis) 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 |
| BMI | (body mass index) 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 |
| ECW | (extra-cellular water) woda zewnątrzkomórkowa |
| FFM | (fat free mass) beztłuszczowa masa ciała – tożsama z masą mięśni i organów wewnętrznych |
| FM | (fat mass) masa tkanki tłuszczowej w organizmie |
| hydrodensytometria | ważenie pod wodą – metoda pozwalająca na dokładne określenie objętości, a zatem i gęstości ciała ludzkiego, a przez odpowiednie obliczenia także zawartości tłuszczu (FM) |
| ICW | (intra-cellular water) woda wewnątrzkomórkowa – zawarta głównie w mięśniach i narządach wewnętrznych (w bardzo niewielkim stopniu w tkance tłuszczowej) |
| impedancja bioelektryczna | opór elektryczny wypadkowy ciała, całkowita „przeszkoda”, jaką tkanki ciała stanowią dla przepływającego przez nie prądu, wyrażany w omach |
| MF-BIA | (multi frequency bio-impedance analysis) analiza bioimpedancji elektrycznej przy użyciu kilku częstotliwości prądu (zwykle z przedziału 5-200 kHz) |
| pletyzmografia impedancyjna | plethysmos – 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 |
| reaktancja bioelektryczna | opór elektryczny czynny ciała związany z pojemnością elektryczną błon komórkowych, powodujący przesunięcie fazy prądu, wyrażany w omach (stanowi ok. 10% wartości impedancji) |
| rezystancja bioelektryczna | opór elektryczny bierny ciała związany z oporem właściwym składników ciała, wyrażany w omach (stanowi przeważającą część wartości impedancji) |
| SF-BIA | (single frequency bio-impedance analysis) – najczęściej stosowana analiza bioimpedancji elektrycznej przy użyciu jednej częstotliwości prądu (zwykle 50 kHz) |
| TBW | (total body water) całkowita ilość wody w organizmie – odzwierciedla przede wszystkim masę beztłuszczową ciała |

BIA została wprowadzona do codziennego życia po raz pierwszy w połowie lat 80. XX w. Obecnie jest dostępnych wiele urządzeń, służących do analizy składu ciała na podstawie impedancji, stosujących różne konfiguracje elektrod i różne częstotliwości.

Opis metody

Metoda BIA opiera się na różnicy w przewodzeniu prądu elektrycznego w kompartmentie wodnym i tłuszczowym [13]. Zarówno tkanka tłuszczowa, jak i woda zewnątrzkomórkowa, nie wykazują reaktancji (oporu pojemnościowego, X_c), gdyż nie zachowują się jak kondensatory, za to posiadają opór elektryczny czynny (rezystancję, R) [30]. 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) [13]. Rezystancja powoduje spadek napięcia, podczas gdy reaktancja wpływa przede wszystkim na przesunięcie fazowe przyłożonego prądu zmiennego, reprezentowane w ujęciu wektorowym przez kąt fazowy (ϕ), który wynosi $\phi = \arctan X_c/R$ i zawiera się w przedziale od -90° do 0° [21]. 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. [39].

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

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 [21]. 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) [40, 41].

Stosowane w omawianym badaniu składu ciała częstości prądu nie powodują podrażnienia nerwów ani mięśnia sercowego, a natężenie prądu jest całkowicie niegroźne dla organizmu. Próg odczuwalności prądu u człowieka to 1-1,5 mA, a używany w analizatorze prąd o natężeniu 0,8-1 mA jest praktycznie nieodczuwalny [21]. Ponadto użycie baterii lub źródeł energii o niskim napięciu w znacznym stopniu minimalizuje ryzyko porażenia. Przy małej częstotliwości (1 kHz) prąd przepływa głównie przez płyny zewnątrzkomórkowe, przy większych (500-800 kHz) przez zewnątrz- i wewnątrzkomórkowe. W ten sposób płyny ustrojowe i elektrolity są odpowiedzialne za

przewodnictwo prądu, a błony komórkowe decydują o pojemności elektrycznej. Warto także zauważyć, że przy częstotliwości 50 kHz, a taka jest najczęściej używana w aparatach BIA o jednej częstotliwości prądu, prąd przechodzi zarówno przez płyn zewnątrz-, jak i wewnątrzkomórkowy [21].

Metoda bioimpedancji elektrycznej jest szeroko stosowana w praktyce klinicznej, ze względu na swoją nieinwazyjność, bezpieczeństwo, szybkość wykonania pomiaru (badanie trwa kilka minut), brak wysokich kwalifikacji operatora i aktywnego udziału pacjenta [13]. Analizator jest dostępny i relatywnie tani, co sprawia, że technika ta ma dużą przewagę nad istniejącymi wcześniej metodami i powoduje, że jest niezwykle przydatna w badaniach nad stanem odżywienia i w badaniach epidemiologicznych. Należy jednak pamiętać, iż analizator wpływa na działanie innych urządzeń emitujących pole elektromagnetyczne i odwrotnie, stąd pacjentom ze wszczepionym defibrylatorem serca odradza się udział w tym badaniu [21]. Odradza się także badania: osobom ze wszczepionymi metalowymi implantami oraz kobietom w ciąży. Eksperymentalne i techniczne błędy BIA wstępnie ocenia się na mniej niż 1% [21, 13], co jest porównywalne, a nawet stanowi mniejszy odsetek niż w innych stosowanych metodach.

Warianty analizy impedancji bioelektrycznej

Urządzenia mierzące analizę bioimpedancji elektrycznej można podzielić ze względu na używane częstotliwości prądu oraz na liczbę elektrod.

Ze względu na częstotliwość użytego w analizatorze prądu wyróżnia się urządzenia SF-BIA oraz MF-BIA. Aparatura typu SF-BIA wykorzystuje jedną częstotliwość prądu (najczęściej 50 kHz przy natężeniu prądu 0,8-1 mA), dlatego też jest szczególnie przydatna w ocenie składu ciała osób zdrowych. Natomiast MF-BIA wykorzystuje wiele częstotliwości prądu (od 0 do 500 kHz), co pozwala lepiej ocenić skład organizmu pacjentów w okresie okołoperacyjnym lub charakteryzujących się bardzo słabym zdrowiem [21].

Z kolei ze względu na ilość wykorzystanych do badania elektrod analizatory dzieli się na systemy dwu-, cztero- oraz ośmioelektrodowe, z użyciem elektrod powierzchniowych o różnych konfiguracjach ustawienia elektrod, np. w połączeniu noga-noga, noga-ręka, ręka-ręka. Najczęściej do badania służy pletyzmograf z 4 elektrodami pokrytymi folią, umieszczonymi odpowiednio w linii środkowej grzbietowej powierzchni rąk i stóp. W sytuacji gdy do dystalnych elektrod na rękach i stopach podawano prąd 800 μ A i 50 kHz, to na elektrodach proksymalnych obserwowano spadek napięcia. Użycie tego rodzaju prądu zapewnia zatem jednorodne pole elektryczne w różnych częściach ludzkiego ciała [1, 8, 19, 11].

Przeprowadzenie badania i odczytywanie pomiarów

W badaniach naukowych najczęściej używane są aparaty z systemem czteroelektrodowym. Podczas tego badania chory zajmuje pozycję leżącą na około 5-10 minut przed wykonaniem badania, ponieważ wykazano, 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 ułożyć nóg czy rąk, należy zastosować materiał izolacyjny oddzielający kończyny od siebie i od tułowia.

Elektrody pokryte folią lub punktowe muszą być umieszczone na skórze ostrożnie, dla zapewnienia odpowiedniego przewodzenia elektrycznego, po uprzednim przemyciu skóry alkoholem, dla usunięcia zanieczyszczeń w miejscu ich aplikacji. W systemie tetrapolarnym elektrody umieszczone są na linii środkowej grzbietowej powierzchni rąk i stóp. Przesunięcie elektrod o 1 cm może spowodować zmianę rezystancji rzędu 2% [21]. Należy pamiętać, że chociaż ramię stanowi tylko około 4% masy ciała, to jego wpływ na pomiar całkowitej rezystancji wynosi około 45%, dlatego ważne jest określenie stałego miejsca umieszczania elektrod pomiarowych. Często specyfikacje urządzeń pomiarowych zawierają wyczerpujące informacje na temat dokładności wyników pomiarów uzależnionych od: natężenia i częstotliwości prądu, kształtu fali elektromagnetycznej oraz przedziału impedancji gwarantującego bezpieczną pracę urządzenia. Ogromne znaczenie dla prawidłowego wyniku pomiaru ma również dokładne zmierzenie wysokości ciała i masy ciała badanego. Błąd rzędu 2,5 cm przy pomiarze wysokości ciała 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 wskazane jest zdjęcie biżuterii oraz wszystkich metalowych przedmiotów (pasków, koszul z metalowymi guzikami, itp.) w celu uzyskania prawidłowego przepływu prądu przez organizm.

Pomimo, iż spożycie pokarmu lub przyjęcie płynów przed analizą składu ciała wpływa niekorzystnie na odczyt TBW oraz ECW, nie ustalono dokładnych wytycznych co do czasu i ilości przed badaniem [13]. W większości doniesień naukowych wskazuje się, że pomiaru nie należy wykonywać wcześniej niż 4 godziny po posiłku (najlepiej wykonać go na czczo), ponieważ impedancja spada o 5-15 Ω przez 2-3 godziny po spożyciu pożywienia [13]. Zaleca się także unikanie wykonywania pomiaru BIA we wszystkich okolicznościach, które mają wpływ na zaburzenia równowagi płynów w organizmie, np. nie należy: spożywać alko-

holu przez 48 godzin przed badaniem, wykonywać intensywnych ćwiczeń fizycznych (konieczny jest odstęp co najmniej 12 godzin), zażywać leków diuretycznych przez 7 dni (jeśli jest to możliwe). Ważne jest również, aby: 30 minut przed badaniem opróżnić pęcherz moczowy, nie wykonywać badania podczas choroby zakaźnej, a także u kobiet w tygodniu przed spodziewaną miesiączką.

Na aparacie ośmioelektrodowym pomiaru impedancji dokonuje się w pozycji stojącej. Pacjent staje w rozkroku na oznaczonych polach (elektrodach). Ręce wyprostowane w łokciach skierowane są z dala od ciała, co pozwala na swobodny przepływ prądu przez organizm. Dłonie dotykają elektrod umocowanych na specjalnych ruchomych ramionach urządzenia. W urządzeniach ośmioelektrodowych zarówno czas trwania pomiaru, jak i wszystkie zalecenia i przeciwwskazania do wykonania badania, są zbieżne z tymi przy wykonywaniu badania analizatorem z wbudowanymi czterema elektrodami.

Z podstawowych odczytów aparatu BIA można uzyskać opis składu ciała. W praktyce obliczeń tych, wymagających uwzględnienia wielu zmiennych opisanych powyżej, dokonuje się, za pomocą odpowiedniego programu komputerowego, współpracującego z urządzeniem mierzącym impedancję bioelektryczną. W ten sposób dietyki dzięki otrzymanemu wynikowi przeprowadzonego badania może dobrać odpowiednią kurację dietetyczną, mającą na celu na przykład zmniejszenie masy ciała lub przybranie na wadze, przy jednoczesnym uzyskaniu korzystnego stosunku tkanki mięśniowej do tłuszczowej oraz prawidłowym nawodnieniu organizmu. W praktyce dietyka czy lekarz 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 tętnicze, niektóre nowotwory (np. jelita grubego), czy też choroby układu krążenia [21].

Zmiany w odczycie analizy impedancji bioelektrycznej

Mimo, iż beztłuszczowa masa ciała pozostaje względnie stała u zdrowych osób w czasie dorosłego życia, to jednak występują różnice związane z wiekiem i płcią oraz grupą etniczną, do której przynależymy, a jej rozłożeniem w organizmie. Znaczące zwiększenie beztłuszczowej masy ciała, w stosunku do wysokości ciała, pojawia się przed dojrzeniem i w okresie dojrzenia. Ten młodzieńczy skok dłużej trwa u chłopców, co znajduje odzwierciedlenie w różnicach budowy związanych z płcią, zaczynających się ok. 16 roku życia i trwających do okresu dorosłości. Obniżenie natomiast ilości beztłuszczowej masy ciała u kobiet zaczyna się wcześniej (po 50 roku życia) niż u mężczyzn (po 60 roku życia) [42]. W badaniach osób starszych stwier-

dzono natomiast istotnie zmniejszenie ilości całkowitej wody w organizmie (TBW), większe w zakresie płynu zewnątrzkomórkowego niż wewnątrzkomórkowego między 70. a 80. rokiem życia [30].

Istnieje także kilka czynników odpowiedzialnych za różnice w analizie składu ciała pomiędzy poszczególnymi narodowościami, takich jak: rozmieszczenie tkanki tłuszczowej (FM), gęstość ciała oraz różnice w proporcji pomiędzy długością kości [8, 7, 13]. Dehgan i Merchant zauważyli, że rozmieszczenie tkanki tłuszczowej na tułowie ulega zmianie o 5,7%, w zależności od pochodzenia etnicznego badanych (różnice pomiędzy Azjatami, Amerykanami, Afro-Amerykanami oraz mieszkańcami Kaukazu) [13]. W badaniu NHANES III, które obejmowało 15 912 osób, średnie zawartości procentowe tkanki tłuszczowej wynosiły u chłopców w wieku 12-13 lat w zależności od rasy: 18,4% dla białych nie-Latynosów, 19,5% u Afro-Amerykanów i 22,0% dla Amerykanów pochodzenia meksykańskiego. Podobne różnice obserwowano wśród dziewcząt w tym wieku (odpowiednio 24,8 dla nie-Latynosek; 26,9 dla Afro-Amerykanek oraz 28,6 dla Amerykanek pochodzenia meksykańskiego) [43].

Badanie analizy składu ciała najczęściej dokonywane jest przy pomocy elektrod rozmieszczonych na każdej z kończyn. Udowodniono, że u mieszkańców Nigerii impedancja całego organizmu była znacznie większa niż u osób drobnej postury pochodzących z Kaukazu [13]. Wykazano także, że wśród różnych plemion Afryki impedancja była zbliżona, co potwierdza tezę, że BIA wzrasta wraz z szacowaną długością kończyn.

Warto też wspomnieć, iż zmiany środowiskowe – pomimo, iż nie mają znaczącego wpływu na rzeczywisty skład ciała – mogą wpływać na ciepłotę wewnątrz ustroju ludzkiego. W doniesieniach naukowych wykazano odwrotną zależność pomiędzy temperaturą skóry a pomia-

rem impedancji bioelektrycznej. Impedancja wzrastała wraz z obniżeniem temperatury otoczenia a spadała ze wzrostem temperatury skóry [13]. Wszelkie zmiany przyływu krwi w mięśniach, spowodowane zmianami temperatury, odgrywają istotną rolę w wiarygodności przeprowadzonych pomiarów składu ciała.

Posumowanie

Wzrost częstości występowania nadwagi i otyłości wśród dzieci i osób dorosłych na przestrzeni ostatnich lat określany jest mianem epidemii naszych czasów i stał się poważnym problemem – zarówno społecznym, jak i zdrowotnym [43, 45], dlatego stale trwają poszukiwania metody oceniającej skład ciała pacjentów. Pomiary antropometryczne są niedrogie i łatwe do przeprowadzenia, lecz cechuje je niska powtarzalność wyników i nie dają możliwości oceny tzw. tkanki wewnątrzbrzuszej [44]. Tomografia komputerowa jest bardziej czasochłonna, więc jest mniej wygodna, wymaga narażenia na promieniowanie jonizujące, lecz jako jedna z nielicznych metod pozwala ocenić tkankę trzewną w sposób bezpośredni i dokładny oraz cechuje się wysoką powtarzalnością wyników. Natomiast metoda bioimpedancji elektrycznej (BIA) pozwala w skuteczny sposób przeprowadzić trafną ocenę poszczególnych komponentów składu ciała, przy zachowaniu odpowiednich zasad przeprowadzenia badania. Może stanowić wiarygodny, bezpieczny i skuteczny sposób analizy wielu parametrów wynikających z dystrybucji wody w organizmie [21]. Mogłaby być wykorzystywana w badaniach uzupełniających pomiary antropometryczne. Dzięki swojej dostępności, łatwej obsłudze oraz powtarzalności otrzymanych wyników, stanowi dostępną alternatywę dla stosowanych dotychczas schematów diagnozy pacjenta, pozwalając tym samym na usprawnienie profilaktyki, jak i leczenia pacjentów z nadwagą i otyłością.

Piśmiennictwo / References

1. Jarosz M, Respondek W. Rola żywienia i aktywności fizycznej w profilaktyce otyłości i przewlekłych chorób niezakaźnych. [w:] Żywnienie człowieka a zdrowie publiczne. T. 3. Gawęcki J, Roszkowski W (red). PWN, Warszawa 2009: 90-118.
2. Lewitt A, Mądro E, Krupienicz A. Podstawy teoretyczne i zastosowania analizy impedancji bioelektrycznej (BIA). *Endokr Otył Zab Przem Mat* 2007, 4: 79-84.
3. Nyboer J, Thomas CC. *Electrical Impedance Plethysmography*. Springfield, Illinois 1970.
4. Verdich C, Barbe P, Petersen M, et al. Changes in body composition during weight loss in obese subjects in the NUGENOB study: comparison of bioelectrical impedance v. dualenergy X-ray absorptiometry. *Diabetes Metab* 2011, 37(3): 222-229.
5. Braulio VB, Furtado VC, Silveira MG, et al. Comparison of body composition methods in overweight and obese Brazilian women. *Arq Bras Endocrinol Metabol* 2010, 54: 398-405.
6. Cyganek K, Kutra B, Sieradzki J. Porównanie pomiarów tkanki tłuszczowej u otyłych pacjentów z zastosowaniem metody bioimpedancji elektrycznej i densytometrycznej. *Diabetol Prakt* 2007, 8: 473-478.
7. Savastano S, Belfiore A, Di Somma C, et al. Validity of bioelectrical impedance analysis to estimate body composition changes after bariatric surgery in premenopausal morbidly women. *Obes Surg* 2010, 20: 332-339.
8. Socha M, Karmińska K, Chwałczyńska A. Porównanie zawartości tkanki tłuszczowej u młodych nieotyłych kobiet i mężczyzn oznaczonej metodą bioimpedancji (wersja bi-tetrapolarna) i metodą fotooptyczną. *Endokr Otył Zab Przem Mat* 2010, 6 (1): 18-25.
9. Caravaca F, Martínez del Viejo C, Villa J, et al. Hydration status assessment by multi-frequency bioimpedance in patients with advanced chronic kidney disease. *Nefrologia* 2011, 31 (5): 537-44.

10. Cyganek K, Kutra B, Sieradzki J. Porównanie pomiarów tkanki tłuszczowej u otyłych pacjentów z zastosowaniem metody bioimpedancji elektrycznej i densytometrycznej. *Diabetol Prakt* 2007, 12: 473-478.
11. Eyben F, Mouritsen E, Holm J, et al. Computed tomography scans of intra-abdominal fat, anthropometric measurements, and 3 nonobese metabolic risk factors. *Metabol Clin Exp* 2006, 55: 1337-1343.
12. Gonzales AS, Bellido A, Buno MM, et al. Predictors of the metabolic syndrome and correlation with computed axial tomography. *Nutrition* 2007, 23: 36-45.
13. Kayoung L, Sangyeoup L, Kim Y, et al. Waist circumference, dual-energy X-ray absorptiometrically measured abdominal adiposity and computed tomographically derived intra-abdominal fat area on detecting metabolic risk factors in obese women. *Nutrition* 2008, 24: 625-631.
14. Houston DK, Cai J, Stevens J. Overweight and obesity in young and middle age and early retirement: the ARIC study. *Obesity (Silver Spring)* 2009, 17: 143-149.
15. Konnopka A, Bodemann M, König HH. Health burden and costs of obesity and overweight in Germany. *Eur J Health Econ* 2010.
16. Wang D, Li Y, Lee SG, et al. Ethnic Differences in Body Composition and Obesity Related Risk Factors: Study in Chinese and White Males Living in China. *PLoS ONE* 2011, 6(5): 19835-19840.
17. Bolanowski M, Zadrozna-Sliwka B, Zatońska K. Badanie składu ciała – metody i możliwości zastosowania w zaburzeniach hormonalnych. *Endokr Otył Zab Przem Mat* 2005, 1(1): 20-25.
18. Fulcher GR, Farrer M, Walker M, et al. A comparison of measurements of lean body mass derived by bioelectrical impedance, skinfold thickness and total body potassium. A study in obese and non-obese normal subjects. *Scand J Clin Lab Invest* 1991, 51: 245-253.
19. Lukaski HC. Methods for the assessment of human body composition: traditional and new. *Am J Clin Nutr* 1987, 46: 537-556.
20. Sluyter JD, Schaaf D, Scragg RKR, Plank LD. Prediction of Fatness by Standing 8-Electrode Bioimpedance: a Multiethnic adolescent Population. *Obesity* 2009, 18: 183-189.
21. Major-Gołuch A, Miazgowski T, Krzyżanowska-Świniarska B, Safronow K, Hajduk A. Porównanie pomiarów masy tłuszczu u młodych zdrowych kobiet z prawidłową masą ciała za pomocą impedancji bioelektrycznej i densytometrii. *Endokr Otył Zab Przem Mat* 2010, 6(4): 189-195.
22. Ostrowska L, Stefańska E, Adamska E i wsp. Wpływ leczenia dietą redukcyjną na skład ciała i modyfikację składników odżywczych w dziennej racji pokarmowej u otyłych kobiet. *Endokr Otył Zab Przem Mat* 2010, 6(4): 179-188.
23. Silva AM, Minderico CS, Teixeira PJ, et al. Body fat measurement in adolescent athletes: multicompartiment molecular model comparison. *Eur J Clin Nutr* 2006, 60: 955-964.
24. Hermann L. Über eine Wirkung galvanischer Ströme auf Muskeln und Nerven. *Pflügers Arch Gesamte Physiol* 1871, 5: 223-275.
25. Barnett A. Electrical method for studying water metabolism and translocation in body segments. *Proc Soc Ex. Biol Med* 1940, 44: 142-147.
26. Thomasset A. Bio-electrical properties of tissue impedance measurements. *Lyon Med* 1963, 207: 107-118.
27. Hoffer EC, Meador CK, Simpson DC. Correlation of whole-body impedance with total body water volume. *J Appl Physiol* 1969, 27: 531-534.
28. Deurenberg P, Deurenberg-Yap M, Foo LF, et al. Differences in body composition between Singapore Chinese, Beijing Chinese and Dutch children. *Eur J Clin Nutr* 2003, 57: 405-409.
29. Deurenberg P, Bhaskaran K, Lian PL. Singaporean Chinese adolescents have more subcutaneous adipose tissue than Dutch Caucasians of the same age and body mass index. *Asia Pac J Clin Nutr* 2003, 12: 261-265.
30. Rush EC, Puniani K, Valencia ME, et al. Estimation of body fatness from body mass index and bioelectrical impedance: comparison of New Zealand European, Maori and Pacific Island children. *Eur J Clin Nutr* 2003, 57: 1394-1401.
31. Mehta S, Mahajan D, Steinbeck KS, et al. Relationship between measures of fatness, lipids and ethnicity in a cohort of adolescent boys. *Ann Nutr Metab* 2002, 46: 192-199.
32. Christensen JR, Faber A, Ekner D, Overgaard K, et al. Diet, physical exercise and cognitive behavioral training as a combined workplace based intervention to reduce body weight and increase physical capacity in health care workers – a randomized controlled trial. *BMC Publ Health* 2011, 11: 671-672.
33. Keys A, Brozek J. Body fat in adult men. *Physiol Rev* 1953, 33: 245-325.
34. Bruce A, Andersson M, Arvidsson B, et al. Body composition of normal body potassium, body water and body fat in adults on the basis of body weight and age. *Scand J Clin Lab Invest* 1980, 40: 461-473.
35. Kucharska K, Niemczyk S. Metody oceny ilości tkanki tłuszczowej u osób z przewlekłą chorobą nerek. *Nephrol Dial Pol* 2009, 13: 75-78.
36. Dehghan M, Merchant A. T. Is bioelectrical impedance accurate for use in large epidemiological studies? *Nutr J* 2008, 7: 26-33.
37. Drożdż D, Kwinta P, Pietrzyk JA, et al. Wskaźnik masy ciała (BMI) czy analiza bioimpedancji elektrycznej (BIA) – która metoda pozwala lepiej ocenić zawartość tkanki tłuszczowej u dzieci? *Prz Lek* 2007, 64(3): 68-71.
38. Hemmingsson E, Uddén J, Neovius M. No apparent progress in bioelectrical impedance accuracy: validation against metabolic risk and DXA. *Obesity (Silver Spring)* 2009, 17: 183-187.
39. Gronemeyer SA, Steen RG, Kauffman WM, et al. Fat adipose tissue (FAT) assessment by MRI. *Magn Reson Imaging* 2000, 18: 815-818.
40. Yoshino M, Kuhlmann MK, Kotanko P, et al. International differences in dialysis mortality reflect background general population atherosclerotic cardiovascular mortality. *JASN* 2006, 17: 3510-9.
41. Tanino Y, Spite J, Paredes OL. Whole body bioimpedance monitoring for outpatient chronic heart failure follow up. *Circ J* 2009, 73: 1074-1079.
42. Barlett HL, Puhl SM, Hodgson JL, et al. Fat-free mass in relation to stature: ratios of fat-free mass to height in children, adults and elderly subjects. *Am J Clin Nutr* 1991, 53: 1112-1116.
43. Kyle UG, Bosaeus I, De Lorenzo AD, et al. Bioelectrical impedance analysis - part I: review of principles and methods. *Clin Nutr* 2004, 23: 1226-1243.
44. Carter M, Morris AT, Zhu F, et al. Effect of body mass index (BMI) on estimation of extracellular volume (ECV) in hemodialysis patients (HD) using segmental and whole bioimpedance analysis". *Physiol Meas* 2005, 26: 93-99.
45. Angelopoulos PD, Milionis HJ, Moschonis G, et al. Relations between obesity and hypertension: preliminary data from a cross-sectional study in primary schoolchildren: The children study. *Eur J Clin Nutr* 2006, 60: 1226-1234.