

Małgorzata Socha<sup>1</sup>, Katarzyna Karwińska<sup>2</sup>, Agnieszka Chwałczyńska<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Katedra Podstaw Fizjoterapii Akademii Wychowania Fizycznego we Wrocławiu

<sup>2</sup>Seminarium Magisterskie, Katedra Podstaw Fizjoterapii Akademii Wychowania Fizycznego we Wrocławiu

# Porównanie zawartości tkanki tłuszczowej u młodych nieotyłych kobiet i mężczyzn oznaczonej metodą bioimpedancji (wersja bi- i tetrapolarna) i metodą fotooptyczną

Comparison of fat content in young non-obese women and men determined by bioelectrical impedance (bi- and tetrapolar version) and near-infrared interactance

## STRESZCZENIE

**WSTĘP.** Może być wiele przyczyn obserwowanych różnic między populacyjnymi w poziomie otluszczenia. Należą do nich między innymi styl życia, poziom aktywności fizycznej, pochodzenie etniczne, wiek, płeć, ale również rodzaj aparatury badającej skład ciała. Celem pracy było porównanie procentowej zawartości tkanki tłuszczowej u młodych, nieotyłych kobiet i mężczyzn, której udział w składzie ciała został oszacowany metodami: bioimpedancji, w różnej konfiguracji elektrod, i fotooptyczną.

**MATERIAŁ I METODY.** Materiał stanowiły 52 kobiety w wieku 24,07 ( $\pm$  1,47) roku i 17 mężczyzn w wieku 24,23 ( $\pm$  1,418) roku. Do oceny procentowej zawartości tkanki tłuszczowej wykorzystano trzy aparaty mierzące bioimpedancję (BIA): STA/BIA RJL — Akern 101/S wersja tetrapolarna, układ elektrod ręka–stopa; Soehnle Body Balance Comfort F5 wersja bipolarna, układ elektrod stopa–

–stopa; Omron BF 306 wersja bipolarna, układ elektrod ręka–ręka oraz metodę fotooptyczną (NIR): aparat FUTREX 6100A/ZL. Ponadto analizowano wskaźniki masy ciała i talia–biodro.

**WYNIKI.** Wykazano wysokie dodatnie korelacje między ilością tłuszczu (%) oszacowaną przy użyciu czteroelektrodowej metody BIA a pozostałymi metodami oceny otluszczenia (kobiety:  $R = 0,70$ – $-0,75$ ; mężczyźni:  $R = 0,55$ – $0,86$ ). U obu płci wystąpiły istotne różnice w poziomie otluszczenia (%) określonym przy użyciu badanych metod (test Kruskala-Wallisa, kobiety:  $H = 70,49$ ;  $p = 0,0005$ , mężczyźni:  $H = 36,07$ ;  $p = 0,0005$ ). Największą średnią wartość tkanki tłuszczowej (%) otrzymano przy zastosowaniu metody BIA w wersji tetrapolarnej (kobiety: 29,22%; mężczyźni: 22,72%), najmniejszą przy użyciu metody NIR (kobiety: 23,82%; mężczyźni: 12,62%), a obserwowane różnice wynosiły 5,4% u kobiet oraz 10,1% u mężczyzn.

**WNIOSKI.** Ze względu na znaczące różnice w ocenie zawartości tkanki tłuszczowej (%) w składzie ciała młodych nieotłuszczonych osób omawiane metody analizy składu ciała nie mogą być stosowane zamiennie.

**Słowa kluczowe:** skład ciała, bioimpedancja (BIA), metoda fotooptyczna (NIR)

Endokrynologia, Otyłość i Zaburzenia Przemiany Materii 2010, tom 6, nr 1, 18–25

Adres do korespondencji: dr n. med. Małgorzata Socha  
Katedra Podstaw Fizjoterapii  
Akademii Wychowania Fizycznego we Wrocławiu  
al. I.J. Paderewskiego 35, 51–612 Wrocław  
tel.: 71 347 33 42, faks: 71 347 30 81  
e-mail: socham@awf.wroc.pl  
Copyright © 2010 Via Medica  
Nadesłano: 13.11.2009 Przyjęto do druku: 28.12.2009

**ABSTRACT**

**INTRODUCTION.** The causes for the observed interpopulational differences in the fat level may be many. These include lifestyle, physical activity, ethnic, age, sex, but also the type of technique used for measuring body composition. The aim of the study was to compare the percentage of body fat content in young, non-obese men and women by using the bioimpedance (with various electrode configurations) and near-infrared interactance.

**MATERIAL AND METHODS.** The study group was consisted of 69 healthy, non-obese, young people (52 women of mean age  $24.07 \pm 1.47$  yrs; 17 men of mean age  $24.23 \pm 1.418$  yrs). Three bioimpedance technique (BIA) were used to evaluate of body fat: a STA/BIA RJL — Akern 101/S tetrapolar version hand-to-foot electrodes; a Soehnle Body Balance Comfort F5 bipolar version foot-to-foot electrodes; an Omron BF 306 bipolar version hand-to-hand electrodes and near-infrared interactance technique (NIR): a FUTREX 6100 A/ZL. Body mass index and waist to hip ratio indices were also analyzed.

**RESULTS.** Percent body fat determined by BIA tetrapolar version hand-to-foot electrodes was significantly related to these determined by other methods assessing of fatness (women:  $R = 0.70-0.75$ ; men:  $R = 0.55-0.86$ ). Significant differences in percent body fat measured using the test methods occurred in both sexes (the Kruskal-Wallis test, women:  $H = 70.49$ ;  $p = 0.0005$ , men:  $H = 36.07$ ;  $p = 0.0005$ ). The highest average value of percent body fat was obtained using the BIA version hand-to-foot electrodes technique (women: 29.22%, men: 22.72%), the lowest using the NIR method (women: 23.82%, men: 12.62%) and the observed differences are 5.4% in women and 10.1% in men.

**CONCLUSIONS.** All of these investigated methods body composition measurement may be used in the assessment of percent body fat content in young, non-obese people, but can not be used interchangeably.

**Key words:** body composition, bioimpedance (BIA), near-infrared interactance (NIR)

Endocrinology, Obesity and Metabolic Disorders 2010, vol. 6, No 1, 18–25

**Wstęp**

Zaburzenia masy ciała — nadwaga i otyłość, jak również coraz częściej niedowaga, stanowią poważny problem medyczny w większości krajów rozwiniętych, w tym również w Polsce. Nadmierne otluszczenie jest znanym czynnikiem ryzyka wystąpienia wielu chorób cywilizacyjnych, takich jak nadciśnienie tętnicze, choroba niedokrwienna serca, hiperlipidemia, cukrzyca typu 2 [1], czy większości nowotworów złośliwych [2]. Analiza składu ciała jest więc niezbędna do określenia proporcji pomiędzy tłuszczową i beztłuszczową masą ciała nie tylko w różnych grupach pacjentów, ale również u osób zdrowych (np. kontrola efektywności tre-

ningu sportowego). Zróżnicowanie międzypopulacyjne, styl życia, poziom aktywności fizycznej, budowa ciała, pochodzenie etniczne, wiek, płeć czy rodzaj aparatury badającej skład ciała mogą być przyczyną obserwowanych różnic w poziomie otluszczenia [3–11]. Z tego powodu istotne jest prowadzenie badań z udziałem różnych grup ludzi. Tradycyjnie w ocenie składu ciała w badaniach populacyjnych, ale również w praktyce klinicznej, stosuje się metodę antropometryczną (wskaźniki wagowo-wzrostowe, pomiary fałdów skórno-tłuszczowych). Do metod szczegółowych zaliczane są hydrodensytometria, tomografia komputerowa, rezonans magnetyczny czy techniki z zastosowaniem izotopów. Są one bardzo wiarygodne i w wielu badaniach uznawane jako referencyjne w szacowaniu zawartości tkanki tłuszczowej. Obecnie coraz powszechniej wykorzystuje się te metody, których zastosowanie nie jest czasochłonne i nie wymaga zaopatrzenia w kosztowną aparaturę. Można do nich zaliczyć analizę bioimpedancji elektrycznej (BIA, *bioelectrical impedance analysis*) i stosunkowo nową metodę fotooptyczną (NIR, *near-infrared interactance*). Metody te [12–14] wykorzystują różne właściwości tkanek i w odmienny sposób dokonują analizy komponentów ciała. Umożliwiają one dokładniejszą analizę niż metody antropometryczne, które nie uwzględniają indywidualnych różnic w składzie ciała u badanych osób. Zaobserwowano obecnie rozkwit wspomnianych metod i na rynku dostępne są różne wersje aparatów do oceny składu ciała. Dwuelektrodowe analizatory bioimpedancji, z uwagi na stosunkowo niską cenę i prostotę obsługi, mogą znaleźć się także w klubach fitness i prywatnych domach. Ich szerokie zastosowanie przełożyło się na zainteresowanie badaczy wiarygodnością i rzetelnością tych metod [3, 4, 6, 15–19]. Najczęściej porównuje się metody antropometryczną oraz BIA tetrapolarną, rzadziej publikowane są wyniki badań składu ciała z wykorzystaniem metody fotooptycznej. Wśród polskich opracowań dotyczących metod badania składu ciała, niewiele jest takich, które oceniają ich przydatność [20–25]. Stąd też podjęcie próby zbadania użyteczności omawianych metod w odniesieniu do grupy, jaką stanowią polscy studenci.

Celem pracy było porównanie procentowej zawartości tkanki tłuszczowej u młodych, nieotyłych kobiet i mężczyzn, której udział w składzie ciała oszacowano z wykorzystaniem dwóch metod — BIA w wersji bipolarnej (w konfiguracji elektrod ręka–ręka [BIA R–R]) i stopa–stopa [BIA S–S]) i tetrapolarnej (przeciwstronny układ elektrod ręka–stopa [BIA R–S]) oraz metody NIR.

## Materiał i metody

### Antropometria

Badaną grupę stanowiło 52 studentki i 17 studentów Wydziału Fizjoterapii Akademii Wychowania Fizycznego we Wrocławiu w wieku 20–29 lat (kobiety:  $24,07 \pm 1,470$  roku; mężczyźni  $24,23 \pm 1,418$  roku), badanych w 2008 roku, którzy określili swój stan zdrowia jako bardzo dobry. U każdej z badanych osób wykonano podstawowe pomiary antropometryczne: masa ciała mierzona z dokładnością do 0,05 kg oraz wysokość ciała, obwód talii obwód bioder mierzone z dokładnością do 0,5 cm. Na ich podstawie obliczono wskaźnik względnej masy ciała (BMI, *body mass index*; masa ciała [kg]/wysokość ciała [m<sup>2</sup>]) i wskaźnik dystrybucji tkanki tłuszczowej (WHR, *waist to hip ratio*; obwód talii [cm]/obwód bioder [cm]). Oceny otluszczenia na podstawie powyższych wskaźników dokonano zgodnie z kryteriami zalecanymi przez Światową Organizację Zdrowia (WHO, *World Health Organization*) [26].

### Ocena zawartości tkanki tłuszczowej

Do oszacowania zawartości tkanki tłuszczowej w organizmie wyrażonej w procentach masy ciała zastosowano trzy aparaty analizujące bioimpedancję pracujące na jednej częstotliwości prądu równej 50 kHz, przy natężeniu prądu 0,8 mA (a–c) oraz urządzenie wykorzystujące promieniowanie podczerwone (metoda NIR) (d): a) STA/BIA RJL — Akern 101/S, Włochy; b) Soehnle Body Balance Comfort F5; LEIFHEIT AG, Niemcy; c) Omron BF 306, OMRON HEALTHCARE UK., LTD, d) FUTREX 6100A/ZL, Inc., Stany Zjednoczone. Analizator STA/BIA RJL — Akern 101/S wykorzystuje system czteroelektrodowy (układ elektrod przeciwstronny [BIA R–S]) — dwie elektrody umieszczano na grzbietowej powierzchni dłoni, a dwie pozostałe na grzbietowej powierzchni stopy. Badanie przeprowadzono w pozycji leżącej. Przy takim układzie elektrod prąd przepływa przez całe ciało. Aparat Soehnle Body Balance Comfort F5 to urządzenie dwuelektrodowe, które wykorzystuje układ elektrod BIA S–S. Podobnie w wersji bipolarnej pracuje analizator Omron BF 306, w ułożeniu elektrod BIA R–R. Mierzą one impedancję odpowiednio dolnej bądź górnej części ciała, poprzez przepływ prądu między prawą a lewą stopą lub prawą a lewą ręką, a badanie przeprowadza się w pozycji stojącej. Aparat FUTREX 6100A/ZL działa z wykorzystaniem bliskiej podczerwieni. Zasada działania metody NIR polega na wykorzystaniu biologicznych właściwości tkanek i ich zdolności do pochłaniania i odbijania światła o różnej długości fal. Ocena zawartości tkanki tłuszczowej metodą fotooptyczną opiera się zatem na

analizie zmian w widmie światła odbitego i pochłoniętego przez badane tkanki [12]. Badanie obejmowało kończynę górną dominującą w okolicy środkowej części mięśnia dwugłowego ramienia i odbywało się w pozycji siedzącej. Odwiedziona kończyna, zgięta w stawie łokciowym i z przedramieniem w supinacji, spoczywała swobodnie na stole.

### Analiza statystyczna

Obliczeń dokonywano w programie STATISTICA (wersja 8.0 PL). Oprócz statystyk opisowych określono normalność rozkładu badanych cech antropometrycznych i poziomu otluszczenia (%) za pomocą testu Shapiro-Wilka. Ponieważ większość mierzonych cech wykazywała rozkład odbiegający od normalnego, do ich porównania zastosowano nieparametryczną analizę wariancji (test Kruskala-Wallisa). Do oceny siły związku pomiędzy metodami pomiaru składu ciała obliczono korelacje porządku rang Spearmana (R). Przyjęto poziom istotności dla  $p < 0,05$ .

### Wyniki

Statystyki opisowe pomiarów antropometrycznych badanej grupy przedstawiono w tabeli 1. Wskaźnik masy ciała u większości osób przyjmował prawidłowe wartości z przedziału  $18,5\text{--}24,9\text{ kg/m}^2$ , u 5 kobiet (9,4%) odnotowano niedowagę (BMI  $< 18,5\text{ kg/m}^2$ ). Podobnie wszystkie osoby wykazywały prawidłową dystrybucję tkanki tłuszczowej wyrażoną WHR, który przyjmował wartość poniżej 0,85 u kobiet i poniżej 1,00 u mężczyzn. W zależności od zastosowanej metody oceny składu ciała uzyskano odmienne wyniki pomiarów zawartości tkanki tłuszczowej w organizmie (tab. 2). Różnice w otluszczeniu są szczególnie widoczne w grupie mężczyzn.

U kobiet statystycznie istotne różnice w ocenie ilości tkanki tłuszczowej w organizmie (%) występują pomiędzy metodą BIA R–S oraz metodą BIA R–R a pozostałymi metodami badania składu ciała (test Kruskala-Wallisa,  $H [3, n = 208] = 70,49; p = 0,0005$ ). Nie zaobserwowano natomiast u kobiet istotnych różnic w procentowej zawartości tkanki tłuszczowej oszacowanej metodą BIA S–S a metodą NIR (tab. 2, ryc. 1).

Średnia zawartość tkanki tłuszczowej wyrażonej w procentach masy ciała u badanych kobiet osiągnęła największe wartości ( $29,22 \pm 2,52\%$ ) w przypadku zastosowania tetrapolarnej metody BIA R–S. Najmniejszy procentowy udział tkanki tłuszczowej w grupie kobiet otrzymano przy użyciu metody NIR ( $23,82 \pm 2,81\%$ ), obserwowane różnice pod względem badanej cechy pomiędzy tymi metodami wynoszą 5,4%.

Tabela 1. Charakterystyka antropometryczna młodych kobiet (n = 52) i mężczyzn (n = 17)

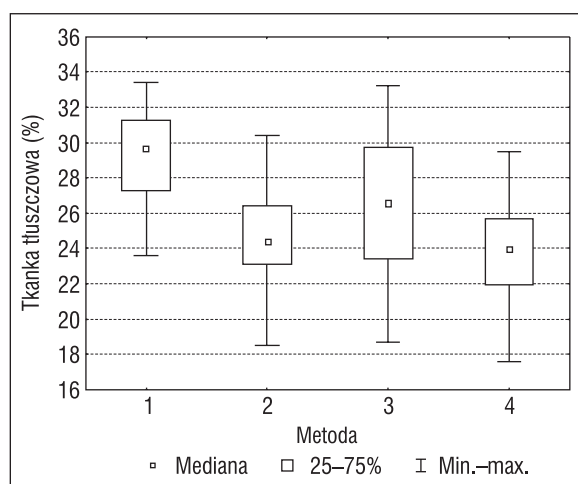
Cechy		Średnia	Mediana	Min.	Maks.	SD
Wiek (lata)	K	24,07	23,83	20,24	28,75	1,47
	M	24,23	24,30	21,80	26,84	1,42
Wysokość ciała [cm]	K	166,32	166,00	153,60	180,00	6,80
	M	183,81	185,50	177,00	191,00	5,37
Masa ciała [kg]	K	59,30	57,70	45,30	91,70	9,33
	M	78,60	80,30	65,70	106,00	9,98
BMI [kg/m <sup>2</sup> ]	K	20,74	20,89	17,27	24,03	1,70
	M	22,74	23,33	19,54	24,30	1,44
Obwód talii [cm]	K	67,29	68,25	59,00	75,50	3,81
	M	81,38	81,00	69,00	113,00	9,33
Obwód bioder [cm]	K	93,09	93,25	81,00	101,50	4,80
	M	95,97	96,00	89,50	116,00	5,82
WHR	K	0,72	0,72	0,66	0,81	0,03
	M	0,85	0,85	0,77	0,97	0,05

SD (standard deviation) — odchylenie standardowe; K — kobiety; M — mężczyźni; BMI (body mass index) — wskaźnik masy ciała; WHR (waist to hip ratio) — wskaźnik talia-biodro

Tabela 2. Statystyki opisowe zawartości tkanki tłuszczowej w organizmie wyrażonej w procentach masy ciała w zależności od zastosowanej metody oceny składu ciała

Metoda	Tkanka tłuszczowa (%)				
	Średnia	Mediana	Min.	Maks.	SD
Kobiety (n = 52)					
BIA R-S	29,22	29,70	23,60	33,40	2,52
BIA S-S	24,39	24,40	18,50	30,40	2,63
BIA R-R	26,51	26,55	18,70	33,20	3,87
NIR	23,82	23,95	17,60	29,50	2,81
Mężczyźni (n = 17)					
BIA R-S	22,72	22,10	18,40	32,30	3,67
BIA S-S	15,11	14,70	8,60	26,90	4,25
BIA R-R	14,74	15,30	7,80	20,70	3,90
NIR	12,62	12,70	6,80	16,20	2,51

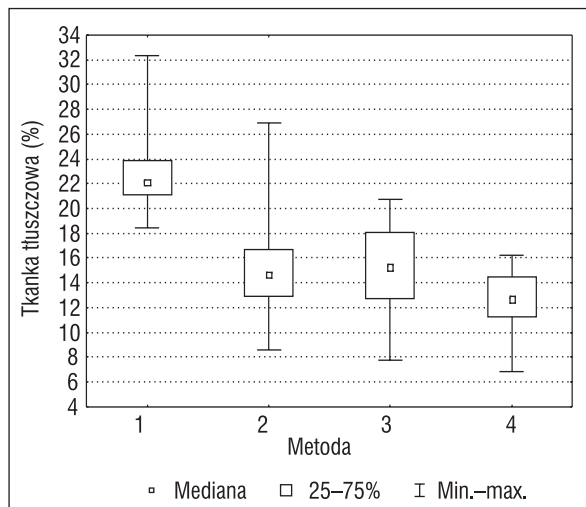
Podobnie w grupie mężczyzn największe średnie wartości udziału tkanki tłuszczowej (%) w składzie ciała uzyskano dla metody BIA R-S ( $22,72 \pm 3,67\%$ ), a najmniejsze w przypadku metody NIR ( $12,62 \pm 2,51\%$ ). Obserwowana różnica pomiędzy średnimi porównywanych metod wynosi 10,1%. Statystycznie istotne różnice pod względem badanej cechy występują u mężczyzn pomiędzy czteroelektrodową metodą BIA R-S a pozostałymi metodami oceny składu ciała (test Kruskala-Wallisa,  $H [3, n = 68] = 36,07; p = 0,0005$ ). Nie zaobserwowano natomiast istotnych różnic w pomiarach



Rycina 1. Zawartość tkanki tłuszczowej (%) w organizmie młodych kobiet (n = 52) oszacowana z zastosowaniem 4 metod badania składu ciała: 1 — BIA R-S; 2 — BIA S-S; 3 — BIA R-R; 4 — NIR

otłuszczenia pomiędzy wynikami uzyskanymi metodami BIA R-R, BIA S-S i NIR (ryc. 2).

Na uwagę zasługuje także odmienność metod pod względem samej rozpiętości wartości uzyskiwanych wyników pomiarów otłuszczenia (tab. 2). Najszerszy przedział zmienności wartości badanej cechy charakteryzuje bipolarną metodę BIA R-R u kobiet ( $26,51 \pm 3,871\%$ ) oraz BIA S-S u mężczyzn ( $15,11 \pm 4,252\%$ ). Natomiast mniejsze zróżnicowanie w poziomie otłuszczenia obserwowane jest w przypadku metod tetrapolarniej BIA R-S i NIR. Wykazano dodatnie korelacje po-



**Rycina 2.** Zawartość tkanki tłuszczowej (%) w organizmie młodych mężczyzn ( $n = 17$ ) oszacowana z zastosowaniem 4 metod badania składu ciała: 1 — BIA R-S; 2 — BIA S-S; 3 — BIA R-R; 4 — NIR

**Tabela 3.** Współczynniki korelacji rang Spearmana ( $R$ ) pomiędzy zawartością tkanki tłuszczowej (%) określoną różnymi metodami badania składu ciała

Metoda	BIA R-S	BIA S-S	BIA R-R	NIR
Kobiety ( $n = 52$ )				
BIA R-S	1,00	–	–	–
BIA S-S	0,75*	1,00	–	–
BIA R-R	0,72*	0,50*	1,00	–
NIR	0,70*	0,45*	0,58*	1,00
Mężczyźni ( $n = 17$ )				
BIA R-S	1,00	–	–	–
BIA S-S	0,62*	1,00	–	–
BIA R-R	0,86*	0,56*	1,00	–
NIR	0,55*	0,61*	0,67*	1,00

\*oznaczone współczynniki są istotne z  $p < 0,05$

między ilością tłuszczu (%) oszacowaną przy użyciu badanych czterech metod oceny składu ciała. U kobiet najmocniej skorelowane są metody BIA R-S i BIA S-S ( $R = 0,75$ ), najslabiej metody BIA S-S i NIR ( $R = 0,45$ ). U mężczyzn najsilniejszy związek występuje pomiędzy metodami BIA R-S i BIA R-R ( $R = 0,86$ ), a najslabszy między metodami BIA R-S i NIR ( $R = 0,55$ ) (tab. 3).

## Dyskusja

Od czasu, gdy zainteresowano się składem ciała i możliwością jego oceny, pojawiło się wiele różnorodnych metod służących analizie komponentów ludzkie-

go organizmu. W ostatnich latach coraz powszechniej wykorzystuje się te z nich, których zastosowanie nie jest czasochłonne i nie wymaga użycia drogiego sprzętu. Można do nich zaliczyć omawiane w tej pracy metody BIA i NIR. Ponieważ BIA w wersji tetrapolarnej w ocenie całkowitej zawartości tkanki tłuszczowej w organizmie jest obciążona niewysokim błędem pomiaru rzędu 2–2,7% [27–29] rekomendowana jest również w badaniach populacyjnych i klinicznych [4, 11, 23, 30, 31]. Z analizy danych wynika dość duży stopień korelacji ( $R$  Spearmana = 0,45–0,86) pomiędzy zawartością tkanki tłuszczowej w organizmie szacowaną badanymi metodami oceny składu ciała. Podobnie w badaniach Wit i wsp. [21] współczynniki korelacji pomiędzy omawianymi metodami kształtowały się od wartości bardzo niskich ( $r$  Pearsona = 0,32) do wysokich ( $r$  Pearsona = 0,93). Analiza wartości średnich oraz przedziałów zmienności zawartości tkanki tłuszczowej (%) pokazała istotne różnice pomiędzy zastosowanymi sposobami oceny składu ciała, największe pomiędzy metodą BIA w wersji tetrapolarnej a metodą NIR, szczególnie zaznaczone w grupie mężczyzn.

Możliwe wytłumaczenie widocznych różnic w określaniu odsetka tkanki tłuszczowej może wynikać z równań zastosowanych przez producentów i wbudowanych w oprogramowanie omawianych urządzeń. Zależność trafności metody od użytego równania i rodzaju zastosowanego sprzętu podkreślali Fornetti i wsp. [32] oraz Vasudev i wsp. [6]. Innym czynnikiem, który może wpływać na szacowanie odtuszczenia z użyciem metody BIA jest długość kończyn górnych [18, 33]. Zakłada się, że zawartość wody w poszczególnych segmentach ciała reprezentuje udział tego składnika w ciele badanych osób [13]. Impedancja tułowia, jako że ma on duży przekrój poprzeczny, stanowi tylko około 7% całkowitej impedancji, reszta przypada na kończyny górne (ok. 47%) i dolne (ok. 50%) [9]. Deurenberg i Deurenberg-Yap [3] u osób z kończynami długimi i szczupłymi uzyskiwali większe wartości impedancji (badane aparatem OMRON BF 306) w porównaniu z osobami o kończynach krótszych i grubszych). Rezystancja wzrasta, gdy ramiona (a w zasadzie elektrody umieszczone w okolicy dłoni) są bardziej oddalone od tułowia, co również wiąże się z długością kończyn [34]. Zależność ta ma miejsce w przypadku segmentalnych pomiarów BIA R-R. Wzrost rezystancji przekłada się na spadek beztłuszczowej masy ciała, a tym samym zawyżona zostaje ilość tkanki tłuszczowej w ciele badanej osoby. Na zakłócenie pomiaru impedancji może mieć również wpływ impedancja kontaktu elektrody ze skórą dłoni i stóp, które pokrywa źle przewodzący martwy naskórek powodując wzrost oporności w więk-

szym stopniu niż ma to miejsce przy pomiarach metodą tetrapolarną. Ponadto w metodzie dwuelektrodowego pomiaru impedancji elektrycznej nie jest brany pod uwagę związek z wiekiem wzrost zawartości tkanki tłuszczowej, co może się przekładać na mniejszą dokładność wyników badania [3]. Fakt ten stanowi dodatkowe utrudnienie w analizie sprzecznych wyników.

Wielu autorów zwraca uwagę na zróżnicowanie międzypopulacyjne w wynikach oceny składu ciała otrzymanych z zastosowaniem odmiennych technik metody BIA. Dittmar [4] u 146 zdrowych ochotników (18–84 lat) zaobserwował istotne różnice w ocenie otluszczenia zależne od płci oraz wieku. Najwyższe wyniki zawartości tkanki tłuszczowej (%) zanotowano dla metody BIA R–R u kobiet oraz BIA S–S u mężczyzn. W odniesieniu do wieku, najniższe wartości poziomu otluszczenia przy pomiarach metodą BIA R–R u osób młodych, najwyższe w przypadku metody BIA S–S. Vasudev i wsp. [6] oceniali komercyjne, dwuelektrodowe aparaty BIA w grupie południowych Azjatów, kobiet i mężczyzn, o zróżnicowanym stopniu BMI (16,4–34,4 kg/m<sup>2</sup>). Wykazali oni, że zarówno metodą BIA R–R, jak i BIA S–S cechuje wysoka korelacja z hydrodensytometrią (odpowiednio  $r$  Pearsona = 0,82 i  $r$  = 0,74), niezależnie od wieku czy BMI osób badanych. Podkreślają jednak większą przydatność metody BIA S–S, gdyż obarczona jest zdecydowanie mniejszym błędem niż BIA R–R. Wyniki badań populacji amerykańskiej [10] sugerują, że aparat Omron jest dokładnym urządzeniem pozwalającym na szacowanie odsetka tłuszczu we wszystkich grupach wiekowych z wyjątkiem populacji młodych dorosłych (18–35 lat). Natomiast z badań prowadzonych przez Chin i wsp. [7] w grupie chińskich studentów (18–25 lat) wynika, że urządzenia wykorzystujące dwuelektrodową metodę BIA są mało wiarygodne w ocenie procentowej zawartości tkanki tłuszczowej, chociaż pozycja stojąca, w jakiej przeprowadza się pomiar, ze względu na prostotę badania, stanowi ich niewątpliwą zaletę. Wspomniana pozycja stojąca, w jakiej dokonuje się analizy składu ciała w przypadku aparatów OMRON BF 306 i Soehnle Body Balance Comfort F5 może być także przyczyną różnic pomiędzy trzema metodami BIA porównywanymi w bieżącym opracowaniu. W przypadku analizatora STA/BIA RJL — Akern 101/S wymagana pozycja leżąca podczas badania pozwala na wyrównanie poziomu płynów i impedancji tkanek. Kolejnym czynnikiem, który może mieć wpływ na wynik pomiaru bioimpedancji jest stopień aktywności fizycznej badanych osób, co udowodnili Swartz i wsp. [35] stosujący w swoich badaniach bipolarną metodę BIA S–S. Obserwowane przez tych autorów pojedyncze, bardzo duże błędy w ocenie otluszczenia zdecydowanie eliminują dwuelektrodową

metodę BIA jako kryterium oceny składu ciała. Podobnych spostrzeżeń dostarczyła analiza wyników bieżących badań. W porównaniu z tetrapolarną wersją BIA R–S pozostałymi metodami uzyskiwano czasem skrajnie różne wartości procentowej zawartości tkanki tłuszczowej u młodych zdrowych osób. Aparat Soehnle Body Balance Comfort F5 również dysponuje opcją wyboru stopnia aktywności fizycznej (niski, średni i wysoki). W obecnych badaniach dla wszystkich osób przyjęto średni poziom aktywności fizycznej. Niemniej jednak, analiza składu ciała aparatem Soehnle Body Balance Comfort F5, jak również aparatem Omron BF 306, wykazała niższe wartości procentowej zawartości tkanki tłuszczowej w porównaniu z czteroelektrodowym pomiarem aparatem STA/BIA RJL — Akern 101/S. Wspomniany poziom aktywności fizycznej osób badanych odgrywa istotną rolę również w przypadku metody NIR. Stopień aktywności fizycznej uwzględnili w swoich badaniach Wit i wsp. [21], którzy porównywali metodę tetrapolarną BIA i fotooptyczną NIR u młodych mężczyzn (23,4 ± 1,3 roku). Uzyskali oni wysoce skorelowane wyniki między dwiema metodami jedynie w grupie o niskiej zawartości tłuszczu w organizmie (< 13%) i tylko przy ustalonym wysokim poziomie aktywności fizycznej, a odsetek tkanki tłuszczowej wyznaczony metodą NIR, określony przy niesprecyzowanym stopniu aktywności fizycznej, był mniejszy niż wyznaczony tetrapolarną metodą BIA. Może to świadczyć o zbyt wysokiej wrażliwości aparatu FUTREX na różnice w otluszczeniu ciała powiązane między innymi z poziomem aktywności ruchowej. McLean i Skinner [36] dowodzą, że ocena otluszczenia metodą NIR jest mniej dokładna w przypadku osób bardzo szczupłych, z zawartością tłuszczu poniżej 8% (zawyżony wskaźnik otluszczenia) i bardzo otyłych, z zawartością tłuszczu powyżej 30% (zaniżony wskaźnik otluszczenia). Również wyniki badań Elia i wsp. [37] oraz Jensky-Squires i wsp. [10] wykazały, że metoda NIR w porównaniu z metodami referencyjnymi i innymi prostymi metodami oceny składu ciała zaniża zawartość tłuszczu w organizmie. Według Jensky-Squires i wsp. [10] metoda fotooptyczna zazwyczaj błędnie określa odsetek tłuszczu u osób w średnim wieku i u starszych kobiet (51–60, 71–80 lat). Również w prezentowanych wynikach badań dla metody NIR otrzymano najmniejsze wartości poziomu otluszczenia (%) w przypadku obu płci. Wit i wsp. [21] podkreślają, że zastosowanie metody oddziaływania podczerwieni jest ograniczone, gdyż jest ona powtarzalna i wiarygodna tylko w ściśle określonych warunkach. Urządzenia do badania składu ciała mogą nie być odpowiednie dla wszystkich typów budowy ciała, a mierzone różnice w odsetku tkanki tłuszczowej mogą być spowodowane zróżnicowaniem et-

nicznym, stanem uwodnienia i poziomem aktywności fizycznej [10]. Wyniki badań porównawczych metod oceny składu ciała prowadzonych przez Moon i wsp. [14, 19] w grupie studentów wykazały, że metodę BIA można stosować, gdy nie ma dostępu do laboratoryjnych środków analizy składu ciała. Nie polecają oni natomiast metody NIR z uwagi na nieakceptowalny błąd i niską korelację z profesjonalnymi metodami, jak na przykład z metodą hydrodensytometryczną.

Odmienne wyniki badań, co do rzetelności metody fotooptrycznej, uzyskali Heyward i wsp. [39] oraz Fornetti i wsp. [32], którzy porównywali metody BIA tetrapolarną oraz NIR z metodami laboratoryjnymi (HW [*hydrostatic weighing*], DXA [*dual-energy X-ray absorptiometry*]). Uznali oni, że zarówno metoda BIA, jak i NIR są wysoce rzetelne i powtarzalne w przypadku nieotyłych osób, przy czym metodę BIA uważają za dokładniejszą.

## Wnioski

1. Wyniki bieżących badań wskazują, że do oceny poziomu otluszczenia nie powinno się stosować zamiennie różnych metod pomiaru składu ciała, a co za tym idzie aparatów pochodzących od różnych producentów.
2. Z prezentowanego przeglądu piśmiennictwa wynika, że do badań klinicznych i epidemiologicznych najbardziej polecaną do szacowania procentowej zawartości tkanki tłuszczowej w organizmie jest tetrapolarna metoda BIA.
3. Metody BIA w wersji bipolarnej oraz metoda NIR z powodzeniem mogą być stosowane w klubach fitness i prywatnych domach, choćby do kontroli skuteczności procesu odchudzania bądź oceny efektów treningu sportowego.

## Piśmiennictwo

1. Wilborn C., Beckham J., Campbell B. i wsp.: Obesity: prevalence, theories, medical consequences, management and research directions. *J. Int. Soc. Sports. Nutr.* 2005; 2: 4–31.
2. Calle E.E., Rodriguez C., Walker-Thurmond K., Thun M.J.: Overweight, obesity, and mortality from cancer in a prospectively studied cohort of U.S. Adult. *N. Engl. J. Med.* 2003; 348: 1625–1638.
3. Deurenberg P., Deurenberg-Yap M.: Validation of skinfold thickness and hand-held impedance measurements for estimation of body fat percentage among Singaporean Chinese, Malay and Indian subjects. *Asia. Pac. J. Clin. Nutr.* 2002; 11: 1–7.
4. Dittmar M.: Comparison of bipolar and tetrapolar impedance techniques for assessing fat mass. *Am. J. Hum. Biol.* 2004; 16: 593–597.
5. Kyle U.G., Bosaesus I., De Lorenzo A.D. i wsp.: Bioelectrical impedance analysis — part II: utilization in clinical practice. *Clin. Nutr.* 2004; 23: 1430–1453.
6. Vasudev S., Mohan A., Mohan D., Farooq S., Raj D., Mohan V.: Validation of body fat measurement by skinfolds and two bioelectric impedance method with DEXA — the Chennai urban rural epidemiology study [CURES-3]. *J. Ass. Phys. Ind.* 2004; 52: 877–881.
7. Chin M.K., Kiew O.F., Girandola R.N.: A comparison of body fat measurement by BodPod, skinfolds, and three bioelectrical impedance analysis techniques in Chinese college student. *Int. J. Phys. Educ.* 2006; 43: 77–85.
8. Nichols J., Going S., Loftin M., Stewart D., Nowicki E., Pickrel J.: Comparison of two bioelectrical impedance analysis instruments for determining body composition in adolescent girls. *Int. J. Body Compos. Res.* 2006; 4: 153–160.
9. Dehghan M., Merchant A.T.: Is bioelectrical impedance accurate for use in large epidemiological studies? *Nutr. J.* 2008; 7: 26.
10. Jensky-Squires N.E., Dieli-Conwright C.M., Rossuello A., Erceg D.N., McCauley S., Schroeder T.: Validity and reliability of body composition analysers in children and adults. *Br. J. Nutr.* 2008; 100: 859–865.
11. Minderico C.S., Silva A.M., Keller K. i wsp.: Usefulness of different techniques for measuring body composition changes during weight loss in overweight and obese women. *Br. J. Nutr.* 2008; 99: 432–441.
12. Conway J.M., Norris K.H., Bodwell C.E.: A new approach for the estimation of body composition: infrared interactance. *Am. J. Clin. Nutr.* 1984; 40: 1123–1130.
13. Kyle U.G., Bosaesus I., De Lorenzo A.D. i wsp.: Bioelectrical impedance analysis — part I: review of principles and methods. *Clin. Nutr.* 2004; 23: 1226–1243.
14. Moon J.R., Hull R.H., Tobkin S. E. i wsp.: Percent body fat estimations in college women using field and laboratory methods: a three-compartment model approach. *J. Int. Soc. Sports Nutr.* 2007; 4: 16.
15. Schreiner P.J., Pitkaniemi J., Pekkanen J., Salomaa V.V.: Reliability of near-infrared interactance body fat assessment relative to standard anthropometric techniques. *J. Clin. Epidemiol.* 1995; 48: 1361–1367.
16. Stout J.R., Housh T.J., Eckerson J.M., Johnson G.O., Betts N.M.: Validity of methods for estimating percent body fat in young women. *Strength Cond. Res.* 1996; 10: 25–29.
17. Sung R.Y., Lau P.W.C., Yu C.W., Lam P.K., Nelson E.A.: Measurement of body fat using leg to leg bioimpedance. *Arch. Dis. Child.* 2001; 85: 263–267.
18. Deurenberg P., Andreoli A., Borg P. i wsp.: The validity of predicted body fat percentage from body mass index from impedance in samples of five European populations. *Eur. J. Clin. Nutr.* 2001; 55: 973–979.
19. Moon J.R., Hull R.H., Tobkin S.E. i wsp.: Percent body fat estimations in college men using field and laboratory methods: a three-compartment model approach. *J. Int. Soc. Sports Nutr.* 2008; 7: 1–7.
20. Socha M.: Correlations between selected fatness indices and total body fat estimated by means of the impedance method. *Przegląd Antropologiczny — Anthropol. Rev.* 1999; 62: 25–34.
21. Wit B., Buśko K., Mróz A., Kłossowski M.: The using of bioelectrical impedance (BIA) and nearinfrared spectrophotometric (FUTREX) determinations of body composition in males of variable physical activity — a comparative analysis. *Biol. Sport.* 2001; 18: 321–334.
22. Gradek J., Cempla J.: Porównanie różnych sposobów szacowania stopnia otluszczenia u chłopców w przedpokwitaniowej fazie rozwoju. *Nowiny Lekarskie* 2002; 71: 137–141.
23. Bolanowski M., Zadrożna-Sliwka B., Zatońska K.: Badanie składu ciała — metody i możliwości zastosowania w zaburzeniach hormonalnych. *Endo. Otyl. Zab. Przem. Mat.* 2005; 1: 20–25.
24. Cyganek K., Katra B., Sieradzki J.: Porównanie pomiarów tkanki tłuszczowej u otyłych pacjentów z zastosowaniem metody bioimpedancji elektrycznej i densytometrycznej. *Diabetologia Praktyczna* 2007; 8: 473–478.
25. Socha M., Jonak W., Bolanowski M., Chwałczyńska A.: Assessments of selected body build indices and skinfolds in determining the total adipose tissue volume in young men. *Physical Education and Sport* 2008; 52: 84–87.
26. WHO. Physical Status: The use and interpretation of anthropometry (Report of a WHO Expert Committee). *Technical Report Series* 1995; 854: 1–452.

27. Segal K.R., Gutin B., Presta E., Wang J., Van Itallie T.B.: Estimation of human body composition by electrical impedance methods: a comparative study. *J. Appl. Physiol.* 1985; 58: 1565–1571.
28. 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: 1327–1332.
29. Lukaski H.C.: Methods for the assessment of human body composition: traditional and new. *Am. J. Clin. Nutr.* 1987; 46: 537–556.
30. Kotler D.P., Wang J., Pierson R.N.: Body composition studies in patients with the acquired immunodeficiency syndrome. *Am. J. Clin. Nutr.* 1985; 42: 1255–1265.
31. Sun S.S., Chumlea W. C., Heymsfield S. B. i wsp.: Development of bioelectrical impedance analysis prediction equations for body composition with the use of a multicomponent model for use in epidemiologic surveys. *Am. J. Clin. Nutr.* 2003; 77: 331–340.
32. Fornetti W.C., Pivarnik J.M., Foley J.M., Fiechtner J.J.: Reliability and validity of body composition measures in female athletes. *J. Appl. Physiol.* 1999; 87: 1114–1122.
33. Snijder M.B., Kuyp B.E., Deurenberg P.: Effect of body build on the validity of predicted body fat from body mass index and bioelectrical impedance. *Ann. Nutr. Metab.* 1999; 43: 277–285.
34. Schell B., Gross R.: The reliability of bioelectrical impedance measurements in the assessment of body composition in healthy adults. *Nutr. Rep. Int.* 2000; 36: 449–459.
35. Swartz A.M., Evans M.J., King G.A., Thompson D.L.: Evaluation of a foot-to-foot bioelectrical impedance analyser in highly active, moderately active and less active young men. *Br. J. Nutr.* 2002; 88: 205–210.
36. McLean K.P., Skinner J.S.: Validity of Futrex-500 for body composition determination. *Med. Sci. Sports Exerc.* 1992; 24: 253–258.
37. Elia M., Parkinson S.A., Diaz E.: Evaluation of near infra-red interactance as a method for predicting body composition. *Eur. J. Clin. Nutr.* 1990; 44: 113–121.
38. Roubenoff R., Dallal G.E., Wilson P.W.F.: Predicting body fatness: the body mass index v. estimation by bioelectrical impedance. *Public Health Briefs* 1995; 85: 726–728.
39. Heyward V.H., Cook K.L., Hicks V.L., Jenkins K.A., Quatrochi J.A., Wilson W.L.: Predictive accuracy of three field methods for estimating relative body fatness of nonobese and obese women. *Int. J. Sport Nutr.* 1992; 2: 75–86.