

Marek Bolanowski<sup>1</sup>, Beata Zadrożna-Śliwka<sup>1</sup>, Katarzyna Zatońska<sup>1, 2</sup>

<sup>1</sup>Katedra i Klinika Endokrynologii, Diabetologii i Leczenia Izotopami Akademii Medycznej we Wrocławiu

<sup>2</sup>Katedra i Zakład Medycyny Społecznej Akademii Medycznej we Wrocławiu

# Badanie składu ciała — metody i możliwości zastosowania w zaburzeniach hormonalnych

Body composition studies — methods and possible application in hormonal disorders

Endokrynologia, Otyłość i Zaburzenia Przemiany Materii 2005, tom 1, nr 1, s. 20–25

## STRESZCZENIE

Badanie składu ciała (BC, *body composition*) u człowieka jest ważnym czynnikiem służącym określeniu stanu odżywienia poszczególnych osób i całej populacji. Odgrywa ono istotną rolę w ocenie zawartości tkanki tłuszczowej w stanach nieprawidłowego odżywienia (otyłość, głodzenie, wyniszczenie), a także w niektórych zaburzeniach hormonalnych przede wszystkim, gdy towarzyszą im zmiany w zakresie zawartości tkanki tłuszczowej. W niniejszej pracy przedstawiono teoretyczne założenia, techniki badań BC i ich rezultaty z uwzględnieniem wieku oraz określonych stanów chorobowych związanych z zaburzeniami hormonalnymi. Szczególną uwagę zwrócono na współczesne metody badania BC możliwe do przeprowadzenia w codziennej praktyce klinicznej: analizę impedancji bioelektrycznej (BIA, *bioelectrical impedance analysis*) i absorpcjometrię promieniowania X o dwóch energiach (DXA, *dual-energy X-ray absorptiometry*).

**Słowa kluczowe:** skład ciała, otyłość, zaburzenia hormonalne

## ABSTRACT

Body composition (BC) analysis in humans is an important way to assess the nutritional status of particular individuals and whole

population. It plays a crucial role in the assessment of adipose tissue content in subjects suffering from inappropriate nutrition (obesity, starvation, cachexia) and in the course of some hormonal disorders when changes in adipose tissue are present. The theoretical background, methods of BC studies and their results related to the age and selected hormonal dysfunctions are discussed. Special emphasis was given to contemporary BC methods available in daily clinical practice: bioelectrical impedance analysis (BIA) and dual-energy X-ray absorptiometry (DXA).

**Key words:** body composition, obesity, hormonal disorders

Badanie składu ciała (BC, *body composition*) odgrywa istotną rolę w ocenie zawartości tkanki tłuszczowej w stanach nieprawidłowego odżywienia (otyłość, głodzenie, wyniszczenie), a także w niektórych zaburzeniach hormonalnych, przede wszystkim, gdy towarzyszą im zmiany w zakresie zawartości tkanki tłuszczowej. Ocena BC u człowieka jest ważnym czynnikiem określającym stan odżywienia poszczególnych osób i całej populacji. Obecnie istnieje wiele metod oceny BC. Metody laboratoryjne, takie jak: hydrodensytometria, tomografia komputerowa (CT, *computed tomography*), rezonans magnetyczny (MR, *magnetic resonance*), metoda przewodnictwa elektrycznego, metoda rozcieńczenia izotopów, ocena całkowitej zawartości izotopu potasu <sup>40</sup>K, analiza aktywności

Adres do korespondencji: dr hab. med. Marek Bolanowski  
Katedra i Klinika Endokrynologii, Diabetologii i Leczenia Izotopami  
Akademii Medycznej im. Piastów Śląskich we Wrocławiu  
ul. Wybrzeże L. Pasteura 4, 50-367 Wrocław  
tel: (0 71) 784 27 40, faks: (0 71) 327 09 57  
e-mail: bolan@endo.am.wroc.pl  
Copyright © 2005 Via Medica  
Nadesłano: 13.04.2005 Przyjęto do druku: 17.04.2005

neutronów — całkowitej zawartości wapnia i azotu, mają dużą wartość, jednak są drogie i niedostępne w codziennej praktyce klinicznej. Inne metody wykorzystywane w badaniach populacyjnych (epidemiologicznych), na przykład: antropometria, pomiar fałdu skórniego, ocena oddziaływania podczerwieni, są mniej dokładne. Na ogół w praktyce klinicznej stosuje się metodę antropometryczną. Nowymi technikami, które również mogą mieć zastosowanie w badaniach klinicznych, są impedancja bioelektryczna (BIA, *bioelectrical impedance analysis*) i absorpcjometria promieniowania X o dwóch energiach (DXA, *dual-energy X-ray absorptiometry*) [1–3].

### Założenia badań składu ciała

Badania oceny BC rozpoczęły się w XIX wieku, gdy Claude Bernard odkrył, że zdrowe ludzkie ciało utrzymuje stałe wewnętrzne środowisko, które nazwał *milieu interieur*. Kolejni badacze obserwowali zmiany w składzie ciała związane ze wzrostem oraz nadmiernym odżywianiem. Pod koniec XIX wieku do składowych ciała zaliczono wodę, tłuszcz, azot i niektóre minerały. W pierwszej połowie XX wieku zaczęły rozwijać się techniki oceny składu ludzkiego ciała, a pośrednim sposobem jego oceny początkowo była analiza płynów ustroju. Odkrycie deuteru (izotop wodoru  $^2\text{H}$ ) ułatwiło dokładną ocenę całkowitej wody ciała (TBW, *total body water*), a zastosowanie innych izotopów umożliwiło rozwinięcie koncepcji oceny całkowicie wymiennalnych elektrolitów — sodu i potasu. Odkrycie promieniowania *gamma* pozwoliło na nieinwazyjną ocenę składu ciała. Innym podejściem do pośredniej oceny składu ciała była koncepcja zaproponowana przez Behnkego, który zauważył różnicę ciężaru właściwego między tkanką tłuszczową a pozbawioną tłuszczu, określając ich względny stosunek w ciele [1, 4].

W II połowie XX wieku zaczęły się rozwijać metody oceny BC oparte na badaniu hydrodensytometrycznym. Większość metod oceny masy ciała opierała się na podziale na dwa główne składniki chemiczne: tłuszcz i część beztłuszczową. Podstawowym narzędziem do badania składu ciała stał się aparat hydrodensytometryczny. Podstawą badania densytometrycznego była koncepcja modelu dwukompartamentowego. Masę ciała podzielono na: tłuszcz (BF, *body fat*) 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 [5, 6].

Inny podział wynikający z podziału anatomicznego również zakładał istnienie dwóch kompartamentów, a skład ciała opierał się na podziale na tkankę tłuszczową (AT, *adipose tissue*) oraz tkankę beztłuszczową (LBM, *lean body mass*). W tym wypadku skład AT zawiera również nielipidowy zrab oraz błony komórkowe, cytoplazmę i organella komórkowe adipocytów [6].

W 1950 roku rozwinął się model czterokompartamentowy. Ciało podzielono na: wodę, białko, kości, składniki mineralne (popiół) oraz tłuszcz [7]. Podobnie jak w modelu dwukompartamentowym do oceny poszczególnych składowych ciała wykorzystano pomiary całkowitego potasu w ciele (TBK, *total body kalium*) oraz TBW. Kolejny podział oparty na pomiarach TBK i TBW doprowadził do rozwoju modelu czterokompartamentowego składającego się z: BF, masy komórkowej (BCM, *body cell mass*), wody pozakomórkowej (ECW, *extracellular water*) oraz pozostałych pozakomórkowych beztłuszczowych substancji stałych (FFECS, *fat-free extracellular solids*) [8].

### Metody badań składu ciała

#### Badanie antropometryczne

Badanie to polega na ocenie stosunku wzrostu do masy ciała i różnych metod pomiaru grubości fałdu skórniego, obwodu i średnicy kości. W praktyce klinicznej powszechnie stosowaną metodą pomiaru stanu odżywienia jest masa ciała i masa ciała skorygowana do wzrostu, jednak z uwagi na fakt nieuwzględniania różnic w BC u poszczególnych osób nie ma wielu zwolenników. Antropometria fałdu skórniego jest również stosowana w praktyce klinicznej, ale należy pamiętać, że ma ona wiele wad. Opiera się na założeniu, że pod skórą jest zlokalizowana stała frakcja tkanki tłuszczowej. Występują jednak trudności z oceną u osób starszych ze względu na centralizację i internalizację tkanki tłuszczowej, co nie wiąże się z grubością fałdu skórniego. Masę tkanki tłuszczowej ocenia się na podstawie odpowiednich tablic, które stworzono na podstawie równaniu regresji i są specyficzne dla danej populacji. Powtarzalność tej metody jest niska [6].

#### Hydrodensytometria

Do badań FFM wykorzystywano też hydrodensytometrię z zastosowaniem różnych izotopów, co wiązało się z wieloma błędami. Największy wynikał z faktu, że ocenia się pojedynczą wartość gęstości. Indywidualne

różnice w gęstości kości, mięśni i innych składowych FFM mogą prowadzić do błędnych ocen FFM w badaniu TBW. Dodatkowo zmiany uwodnienia dotyczą również TBW (przede wszystkim dzieci i starsi dorośli) [6, 7].

#### **Pomiar całkowitej zawartości izotopu potasu — $^{40}\text{K}$**

Pomiar TBK cechuje się największą precyzją; ocena LBM za pomocą TBK jest wartościowym badaniem we wszystkich grupach wiekowych obu płci. Pomiar TBW techniką izotopową lepiej wykrywa fluktuację płynu zewnątrzkomórkowego, ale nie uwzględnia szybkich zmian w stężeniu potasu wewnątrzkomórkowego towarzyszących niektórym chorobom. Istnieje także pewien stopień niewiarygodności, gdy izotopy podaje się doustnie. Dokładność danych zależy od dawki promieniowania [6, 8].

#### **Analiza aktywacji neutronów**

W tych badaniach wykorzystuje się izotopy wapnia i azotu, które są wychwytywane przez jądra atomowe składowych organizmu. Na tej podstawie można wyliczyć całkowitą zawartość wapnia, sodu, chloru, fosforu i azotu w całym ciele [6].

#### **Analiza impedancji bioelektrycznej (BIA)**

Metoda BIA opiera się na różnicy w przewodzeniu prądu elektrycznego w kompartmentcie wodnym i tłuszczowym. W strukturach biologicznych podanie stałego niskozmiennego prądu powoduje zależne od częstotliwości zahamowanie (impedancję) w jego przepływie. Organizmy żywe składają się z zewnątrz- i wewnątrzkomórkowych płynów, które zachowują się jak elektryczne przewodniki, oraz błon komórkowych, odgrywających rolę elektrycznych kondensatorów i uważa się je za elementy mało reaktywne. 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. Metodą BIA mierzy się uwodnioną tkankę beztłuszczową i jest to obiecująca technika w praktyce klinicznej, ponieważ jest nieinwazyjna, bezpieczna, szybka (badanie trwa kilka minut), nie wymaga dużych zdolności operatora i aktywnego udziału pacjenta. Analizator jest dostępny i relatywnie tani, co sprawia, że metoda ta ma dużą przewagę nad istniejącymi wcześniej metodami i powoduje, że jest niezwykle przydatna w badaniach nad stanem odżywienia i w badaniach epidemiologicznych. Eksperymentalne i techniczne błędy BIA wstępnie ocenia się na 2%, co jest porównywalne, a nawet stanowi

mniejszy odsetek niż w innych stosowanych metodach. Najczęściej do badania służy pletyzmograf z 4 elektrodami pokrytymi folią, umieszczonymi odpowiednio w linii środkowej grzbietowej powierzchni rąk i stóp. Do dystalnych elektrod na rękach i stopach podawano prąd 800  $\mu\text{A}$  i 50 kHz, a na elektrodach proksymalnych obserwowano spadek napięcia. Użycie tego rodzaju prądu zapewnia jednorodne pole elektryczne w różnych częściach ludzkiego ciała [1–3, 6].

#### **Absorpcjometria promieniowania X o dwóch energiach (DXA)**

W badaniu metodą DXA wykorzystuje się zjawisko osłabienia wiązki promieniowania jonizującego, przechodzącej przez różne tkanki organizmu. Różnica w pochłanianiu dwóch energii (43 i 110 keV) przez tkankę miękką i kostną, oprócz badania gęstości mineralnej kości (BMD, *bone mineral density*), umożliwia także ocenę zawartości tkanki tłuszczowej. Badanie BC metodą DXA rozpowszechniło się ostatnio z powodu łatwości wykonania, dużej dokładności i powtarzalności oraz możliwości badania zarówno BC całego ciała, jak i poszczególnych regionów (jama brzuszna, kończyny). Badanie trwa do kilkunastu minut, natomiast napromieniowanie jest minimalne. Można je powtarzać w celu kontrolowania zmian BC w czasie terapii, zmian hormonalnych, restrykcji dietetycznych czy wysiłku fizycznego [9, 10]. Wyniki badania metodą DXA wysoce korelują z wynikami badania tkanki tłuszczowej metodami CT, MR czy BIA [3, 11].

#### **Ograniczenia metod badania BC**

Stosowanie pośrednich metod oceny BC wiąże się z możliwościami błędów. Według Lukaskiego — pioniera współczesnych badań BC — hydrodensytometria, tradycyjna metoda do oceny BC, jest obciążona błędem rzędu 2,5% w ocenie tłuszczu ciała, antropometria w porównaniu do wartości densytometrycznych — błędami rzędu 3,9%, natomiast, porównawczo z densytometrią, impedancja — błędem rzędu 2,7%. Mniejszy błąd impedancji wynika z głównych różnic między tymi trzema metodami: antropometria polega na ocenie regionalnej BC, natomiast densytometria i bioimpedancja służy do pomiarów całego ciała. Podobieństwo wielkości błędów w ocenie BF w densytometrii i impedancji jest zachęcające, szczególnie z powodu heterogennej natury tych badań. Ta obserwacja sugeruje, że impedancja może mieć duże znaczenie w ocenie BC w przeglądzie zdrowej populacji. Wszystkie metody badawcze cechuje pewien margines błędów zarówno technicznych, jak i biologicznych. Mimo że badacze mają wpływ na eliminację błędów technicznych,

to błędy biologiczne (międzyosobnicze różnice, np. w stwierdzonym stałym składzie chemicznym FFM) są trudne do eliminacji. Ich liczba może jednak zmaleć, gdy dokładniej opracuje się metodykę badań, a także gdy metody badawcze będzie się stosować w dobrze zdefiniowanych grupach populacji [2, 3, 6].

### Zmiany BC związane z wiekiem

Mimo że beztłuszczowa masa ciała (FFM) pozostaje względnie stała u zdrowych osób w czasie dorosłego życia, to jednak występują różnice związane z wiekiem i płcią. Znaczące zwiększenie wskaźnika FFM/wzrost pojawia się przed dojrzewaniem i w okresie dojrzewania. Ten młodzieńczy skok dłużej trwa u chłopców, co znajduje odzwierciedlenie w różnicach budowy związanych z płcią zaczynających się około 16 roku życia i trwających jeszcze w okresie dorosłym. Obniżenie FFM/wzrost rozpoczyna się u kobiet wcześniej niż u mężczyzn, u kobiet po 50 roku życia, a u mężczyzn powyżej 60 roku życia [12]. Wiązano to z udokumentowanym zmniejszeniem masy kostnej, wpływem obniżonego stężenia hormonu wzrostu (GH, *growth hormone*), hormonów płciowych i aktywności fizycznej. Ubytek masy kostnej (mniejszy niż u kobiet po menopauzie), jak również ten występujący może przyczyniać się do obserwowanego obniżenia FFM u mężczyzn w starszym wieku. Mężczyźni osiągają szczytową wartość FFM/wzrost w wieku około 19–22 lat, natomiast u kobiet wzrasta ona aż do 40 roku życia. Ten relatywnie późny skok u kobiet można wyjaśnić towarzyszącym wzrostem masy tłuszczowej i odsetka tkanki tłuszczowej w okresie między 20. i 30. rokiem życia. Zwiększenie wskaźnika FFM/wzrost może odzwierciedlać przyrost masy mięśniowej potrzebnej do podtrzymania wzrastającej tkanki tłuszczowej. Wskaźnik FFM/wzrost lepiej odzwierciedla rozmieszczenie tkank w organizmie w porównaniu z BMI, który w zasadzie służy ocenie otyłości [12, 13]. W badaniach osób starszych stwierdzono znaczące zmniejszenie TBW, większe w zakresie płynu zewnątrzkomórkowego niż wewnątrzkomórkowego między 70. a 80. roku życia. U kobiet zmiany w zakresie tkanki tłuszczowej były mniejsze niż zmiany masy komórkowej [13, 14].

### Wpływ zaburzeń hormonalnych na zmiany składu ciała

#### Wpływ hormonu wzrostu

Hormon wzrostu silnie działa lipolitycznie. Niedobór GH u dorosłych powoduje charakterystyczne zaburzenia proporcji BC polegające na zmniejszeniu LBM

i objętości ECW z jednoczesnym zwiększeniem ilości tkanki tłuszczowej, przede wszystkim trzewnej. Masa ciała nie ulega zmianie. Substytucja GH w wyniku jego działania lipolitycznego powoduje zmniejszenie zawartości BF, z równoczesną jej redystrybucją z depozytów w obrębie jamy brzusznej do depozytów podskórnych oraz zwiększenie zawartości LBM (głównie masy mięśniowej) [15, 16]. U chorych na akromegalię obserwuje się obniżoną zawartość AT, wzrost ilości LBM i TBW. Po wyleczeniu wzrasta masa tłuszczowa oraz procentowa zawartość tkanki tłuszczowej. Powyższe zmiany tłumaczy się działaniem lipolitycznym GH wydzielanego w nadmiarze w akromegalii [17, 18].

#### Glukokortykoidy

W chorobie Cushinga u kobiet nie stwierdzono zwiększenia zawartości BF klatki piersiowej, ale zwiększona była u nich ilość śródbrzuszej tkanki tłuszczowej. W wyniku hiperkortyzolemii zmniejszone były całkowite LBM całego ciała (nawet u otyłych) i zawartość minerałów (wapnia) — najbardziej LBM i BF kończyn [10].

#### Choroby tarczycy

Stwierdzono zależność wielkości tarczycy od składu ciała (wzrostu, masy ciała, powierzchni ciała) u dzieci w wieku 11–15 lat i wartości BMI oraz FFM. Nie stwierdzono zaś zależności wielkości tarczycy od masy tkanki tłuszczowej [19]. Wartość obwodowej LBM jest podstawowym wyznacznikiem wielkości dawki substytucyjnej tyroksyny u chorych na niedoczynność tarczycy po całkowitej strumektomii [20]. U chorych po strumektomii nie wykazano zmian BC w badaniu BIA po krótkotrwałym odstawieniu tyroksyny [21]. Ponadto, nie stwierdzono zmian BC u chorych na subkliniczną niedoczynność tarczycy, która nie wpływała na rozkład płynów w ustroju [22, 23]. U mężczyzn chorujących na nadczynność tarczycy wykazano mniejszy niż w grupie kontrolnej odsetek tkanki tłuszczowej. Natomiast zwiększenie odsetka BF obserwowano u kobiet chorych na niedoczynność tarczycy. U chorych na niedoczynność tarczycy obu płci mniejszy był odsetek TBW i mniejsza LBM, natomiast w nadczynności tarczycy był większy stosunek ECW/BCM. Ta ostatnia zmiana wynikała ze zmniejszenia BCM i równoczesnego przyrostu ECW [24].

#### Rola hormonów płciowych

Hormony płciowe determinują także typowy rozkład tkanki tłuszczowej (gynoidalny i androidalny). Niedobór hormonów płciowych sprzyja odkładaniu się tłuszczu [25]. Na skutek terapii danazolem u kobiet wzrasta masa ciała, BMI i LBM, maleje zaś całkowita zawartość AT — w znacznie większym stopniu w zakresie gynoidal-

nego typu rozmieszczenia tkanki tłuszczowej. Metaboliczne efekty działania danazolu (tj. wzrost stężenia cholesterolu frakcji LDL, obniżenie stężenia cholesterolu frakcji HDL, hiperinsulinemia, wzrost stężenia glukagonu) częściej wiążą się z androidalnym rozmieszczeniem tkanki tłuszczowej. Zawartość tkanki tłuszczowej obniżała się w zakresie androidalnego segmentu (górną część ciała) w mniejszym stopniu w porównaniu z gynoidalnym (dolną część ciała). Świadczy to zarówno o anabolicznym, jak i androgennym wpływie danazolu na budowę ciała [26]. Farmakologiczne dawki testosteronu u mężczyzn powodują niewielką redukcję AT i niewielki wzrost FFM [27]. Podawanie substytucyjne dehydroepiandrosteronu (DHEA) powoduje zmniejszenie wartości FM, a zwiększenie FFM, co odwraca zmiany związane ze starzeniem u starszych kobiet i mężczyzn [28].

### Cukrzyca

W dużej grupie chorych na cukrzycę obserwowano dziedziczne uwarunkowanie zmian odsetka tkanki tłuszczowej, BF i LBM oraz miejscowego rozkładu tkanki tłuszczowej w klatce piersiowej i w kończynach [29]. Leczenie metforminą zmienia BC poprzez zmniejszenie masy AT i zwiększenie LBM oraz TBW [30]. Pioglitazon powoduje stopniowy przyrost masy ciała i masy tkanki tłuszczowej (podskórny tłuszcz klatki piersiowej, kończyn górnych i dolnych), bez wpływu na tłuszcz wisceralny [31]. Leczenie insuliną zwiększa masę ciała, BF i FFM. U chorych na cukrzycę typu 2 przyrost FFM zależy wyłącznie od zmiany TBW [32, 33].

### Związek BC z gęstością kości (BMD)

Postępujące z wiekiem zmniejszenie masy kostnej i BMD może prowadzić do rozwoju osteopenii oraz osteoporozy. Jednym z ważnych czynników ryzyka osteoporozy jest obniżona masa ciała. Pozytywny związek między większą masą ciała a zwiększeniem BMD tłumaczy się wpływem sił biomechanicznych oraz wzrostem aromatyzacji androgenów do słabych estrogenów w tkance tłuszczowej. Związek między małą masą tłuszczową i obniżonym BMD szczególnie zaznacza się u kobiet i może się wiązać ze zredukowanym przekształceniem androgenów w estrogeny w małej ilości podskórnej tkanki tłuszczowej. Gęstość mineralna kości u kobiet wpływa znacząco pozytywnie na parametry BC, natomiast u mężczyzn nie odkryto związku między masą tłuszczową a BMD, jak również wskaźnikiem BMD/wzrost. W badaniach wykazano, że status wagowy i LBM pozytywnie wiązał się z BMD bliższej nasady kości udowej zarówno u kobiet, jak i u mężczyzn. Natomiast całkowita masa tłuszczowa miała znaczący wpływ na BMD tylko u kobiet. W innych badaniach stwierdzono pozytywny wpływ LBM na BMD u kobiet w wieku okołomenopauzalnym, natomiast związku między BMD i masą tłuszczową nie wykazano [34–36].

Powyższe przykłady wskazują na możliwość wykorzystania wyników badań BC w leczeniu wybranych chorób, w przebiegu których zaobserwowano zaburzenia odkładania tkanki tłuszczowej, z czym mogą się wiązać inne zaburzenia metaboliczne czy zwiększone ryzyko chorób układu krążenia.

### Piśmiennictwo

- 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.
- Segal K.R., Gutin B., Presta E., Wang J., Van Italie T.B.: Estimation of human body composition by electrical impedance methods: a comparative study. *J. Appl. Physiol.* 1985; 58: 1565–1571.
- Bolanowski M., Nilsson B.E.: Assessment of human body composition using dual-energy X-ray absorptiometry and bioelectrical impedance analysis. *Med. Sci. Monit.* 2001; 7: 1029–1033.
- Behnke A.R., Feen B.G., Welham W.C.: Specific gravity of healthy men. *JAMA* 1942; 118: 495–498.
- Fulcher G.R., Farrer M., Walker M., Rodham D., Clayton B., Alberti K.G.M.M.: 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.
- Lukaski H.C.: Methods for the assessment of human body composition: traditional and new. *Am. J. Clin. Nutr.* 1987; 46: 537–556.
- Keys A., Brozek J.: Body fat in adult men. *Physiol. Rev.* 1953; 33: 245–325.
- Bruce A., Andersson M., Arvidsson B., Isaksson B.: 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.
- Tothill P.: Dual-energy x-ray absorptiometry for the measurement of bone and soft tissue composition. *Clin. Nutr.* 1995; 14: 263–268.
- Wajchenberg B.L., Bosco A., Marone M.M. i wsp.: Estimation of body fat and lean tissue distribution by dual-energy x-ray absorptiometry and abdominal body fat evaluation by computed tomography in Cushing's disease. *J. Clin. Endocrinol. Metab.* 1995; 80: 2791–2794.
- Jensen M.D., Kanaley J.A., Reed J.E., Sheedy P.F.: Measurement of abdominal and visceral fat with computed tomography and dual-energy x-ray absorptiometry. *Am. J. Clin. Nutr.* 1995; 61: 274–278.
- Barlett H.L., Puhl S.M., Hodgson J.L., Buskirk E.R.: 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.
- Steen B., Bosaeus I., Elmstahl S., Galvard H., Isaksson B., Robertsson E.: Body composition in the elderly estimated with an electrical impedance method. *Compr. Gerontol. A.* 1987; 1: 102–105.
- Elmstahl S.: Energy expenditure, energy intake and body composition in geriatric long-stay patients. *Compr. Gerontol. A.* 1987; 1: 118–125.
- Bolanowski M., Milewicz A.: Substytucyjne leczenie hormonem wzrostu (GH) u dorosłych: wyniki, powikłania. *Endokrynol. Pol.* 1999; 50 (supl. 2): 55–61.
- Salomon F., Cuneo R.C., Hesp R., Sonksen P.H.: The effect of treatment with recombinant human growth hormone on body composition and metabolism in adults with growth hormone deficiency. *N. Engl. J. Med.* 1989; 321: 1797–1803.
- Bolanowski M., Milewicz A., Bidzińska B., Jędrzejuk D., Daroszewski J., Mikulski E.:

- Serum leptin levels in acromegaly — a significant role for adipose tissue and fasting insulin/glucose ratio. *Med. Sci. Monit.* 2002; 8: CR 685–689.
18. Rau H., Fischer H., Schmidt K., Lembcke B., Althoff P.: Effect of bromocriptine withdrawal in acromegaly on body composition as assessed by bioelectrical impedance analysis. *Acta Endocrinologica* 1991; 125: 273–279.
19. Boyanov M.A., Temelkova N.L., Popivanov P.P.: Determinants of thyroid volume in schoolchildren: fat-free mass versus body fat mass — a cross sectional study. *Endocr. Pract.* 2004; 10: 409–416.
20. Santini F., Pinchera A., Marsili A. i wsp.: Lean body mass is a major determinant of levothyroxine dosage in the treatment of thyroid diseases. *J. Clin. Endocrinol. Metab.* 2005; 90: 124–127.
21. Wu T.J., Huang S.M., Taylor R.L., Kao P.C.: Thyroxine effects on serum insulin-like growth factor I levels, anthropometric measures, and body composition in patients after thyroidectomy. *Ann. Clin. Lab. Sci.* 2003; 33: 423–428.
22. Tagliaferri M., Berselli M.E., Calo G. i wsp.: Subclinical hypothyroidism in obese patients: relation to resting energy expenditure, serum leptin, body composition, and lipid profile. *Obes. Res.* 2001; 9: 196–201.
23. De Lorenzo A., Andreoli A., Fusco A., Magnani A., D'Orazio N., Bertoli A. Effect of subclinical hypothyroidism on body fluid compartments. *Horm. Metab. Res.* 2000; 32: 359–363.
24. Miyakawa M., Tsushima T., Murakami H., Isozaki O., Takano K.: Serum leptin levels and bioelectrical impedance assessment of body composition in patients with Graves' disease and hypothyroidism. *Endocr. J.* 1999; 46: 665–673.
25. Compston J.E., Bhambhani M., Laskey M.A., Murphy S., Khaw K.T.: Body composition and bone mass in post-menopausal women. *Clin. Endocrinol.* 1992; 37: 426–431.
26. Bruce R., Lees B., Whitcroft S.I.J., McSweeney G., Shaw R.W., Stevenson J.C.: Changes in body composition with danazol therapy. *Fertil. Steril.* 1991; 56: 574–576.
27. Gregory J.W., Greene S.A., Thompson J., Scrimgeour C.M., Rennie M.J.: Effects of oral testosterone undecanoate on growth, body composition, strength and energy expenditure of adolescent boys. *Clin. Endocrinol.* 1992; 37: 207–213.
28. Villareal D.T., Holloszy J.O., Kohrt W.M.: Effects of DHEA replacement on bone mineral density and body composition in elderly women and men. *Clin. Endocrinol.* 2000; 53: 561–568.
29. Hsu F.C., Lenchik L., Nicklas B.J. i wsp.: Heritability of body composition measured by DXA in the Diabetes Heart Study. *Obes. Res.* 2005; 13: 312–319.
30. Rodriguez-Moctezuma J.R., Robles-Lopez G., Lopez-Carmona J.M., Gutierrez-Rosas M.J.: Effects of metformin on the body composition in subjects with risk factors for type 2 diabetes. *Diabetes Obes. Metab.* 2005; 7: 189–192.
31. Smith S.R., De Jonge L., Volaufova J., Li Y., Xie H., Bray G.A.: Effect of pioglitazone on body composition and energy expenditure: a randomized trial. *Metabolism* 2005; 54: 24–32.
32. Packianathan I.C., Fuller N.J., Peterson D.B., Wright A., Coward W.A., Finer N.: Use of four-compartment model to define the effects of insulin treatment on body composition in type 2 diabetes: the Darwin study. *Diabetologia* 2005; 48: 222–229.
33. Salle A., Guilleto G., Ryan M., Bouhanick B., Ritz P.: Effect of insulin treatment on the body composition of type 2 diabetes. *Diabet. Med.* 2004; 21: 1298–1303.
34. Reid I.R., Plank J.D., Evans M.C.: Fat mass is an important determinant of whole body bone density in premenopausal women but not in men. *J. Clin. Endocrinol. Metab.* 1992; 75: 779–782.
35. Salamone L.M., Glynn N., Black D. i wsp.: Body composition and bone mineral density in premenopausal and early perimenopausal women. *J. Bone Miner. Res.* 1995; 10: 1762–1768.
36. Kirchengast S., Peterson B., Hauser G., Knogler W.: Body composition characteristics are associated with the bone density of the proximal femur end in middle and old aged women and men. *Maturitas* 2001; 39: 133–145.