

Skład ciała młodzieży w okresie pokwitania badany metodą bioelektrycznej impedancji

Body composition examined by use of the bioelectrical impedance analysis in adolescent teenagers

Anna Burdukiewicz, Justyna Andrzejewska, Jadwiga Pietraszewska, Krystyna Chromik, Aleksandra Stachoń

Zakład Antropologii Fizycznej, Akademia Wychowania Fizycznego we Wrocławiu,
al. I.J. Paderewskiego 35, 51-612 Wrocław, tel. +48 71 347 33 13, e-mail: anna.burdukiewicz@awf.wroc.pl

Streszczenie

Wstęp. Początki badań składu ciała sięgają drugiej połowy XIX wieku. Od tego czasu obserwuje się intensywny i wielokierunkowy rozwój metod pomiarów umożliwiających zrozumienie procesów fizjologicznych i biochemicznych oraz wspomagających leczenie chorób, takich jak otyłość lub anoreksja. Jedną z bardziej popularnych jest nieinwazyjna analiza bioimpedancji elektrycznej (BIA – *Bioelectrical Impedance Analysis*).

Materiał i metoda. W artykule wykorzystano wyniki badań longitudinalnych dziewcząt ($N = 91$) i chłopców ($N = 89$) w wieku 13–15 lat. Zmierzono wysokość, masę ciała oraz skład ciała za pomocą aparatu BIA 101S. Określono: procentową zawartość tłuszczu, masy komórkowej i masy pozakomórkowej. Wyznaczono wskaźnik masy ciała (BMI – *Body Mass Index*) i obliczono stosunek masy ciała szczupłego do masy tłuszczu oraz masy komórkowej do masy pozakomórkowej. Statystyczną analizę wyników przeprowadzono za pomocą programu Statistica 9.0.

Wyniki. W analizowanym przedziale wieku większe tempo rozwoju masy ciała w odniesieniu do jego wysokości wpływa na kształtowanie masywniejszej sylwetki u badanej młodzieży. Powiększenie masywności budowy płci męskiej dotyczy przede wszystkim rozwoju masy ciała szczupłego, zwłaszcza masy komórkowej. U dziewcząt w analizowanym okresie ontogenezy wzrost masywności ciała wynika z większych przyrostów masy tłuszczu.

Słowa kluczowe: skład tkankowy ciała, młodzież, okres pokwitania, impedancja bioelektryczna

Abstract

Introduction. The examinations of the body components is known since 19th century. Such analysis is important e.g. for the treatment of anorexia and obesity. One of the most popular methods is the Bioelectrical Impedance

Analysis (BIA) – non-invasive and effective way to determine the human body composition.

Material and method. In this paper, the results of longitudinal measurements of girls ($N = 91$) and boys ($N = 89$), aged 13 to 15, were analyzed. The body height, mass and tissue composition were measured by means of BIA 101S Apparatus (% fat, % body cell mass, % extracellular mass). Body Mass Index (BMI) and the ratio of the lean body mass to fat mass, as well as the body cell mass to extracellular mass, were calculated. The statistical analysis was performed by means Statistica 9.0.

Results. Within the analysed age range, the higher pace of the body mass development, in relation to the body height, causes more massive posture of examined youths. The increase of body massiveness in boys is connected mainly with the development of lean body mass, in particular, the cell mass. In girls in the analysed ontogenetic period, the increase of body massiveness results from the greater increase of fat mass.

Key words: body composition, youths, adolescence, bioelectrical impedance

Wstęp

Ocena składu ciała dostarcza ważnych informacji na temat stanu odżywienia. Odgrywa ona istotną rolę, zwłaszcza podczas analizy zawartości tkanki tłuszczowej, w przypadkach zaburzeń żywienia oraz hormonalnych [1–3]. Wiedza o ontogenetycznej zmienności cech składu ciała w populacji przyczynia się do dokładniejszego poznania procesów fizjologicznych i biochemicznych zachodzących w organizmie. Znajomość tych zagadnień może w sposób istotny pomóc w rozpoznaniu i leczeniu współczesnych chorób cywilizacyjnych, takich jak otyłość lub anoreksja [4, 5].

Zainteresowanie analizą składu ciała pojawiło się w drugiej połowie XIX wieku. Dużą rolę odegrały pionierskie prace anatomów niemieckich prezentujące wyniki analizy

zwłok [6]. Od tego czasu nastąpił intensywny i wielokierunkowy rozwój metod oceny składu ciała. Jedną z bardziej popularnych jest analiza impedancji bioelektrycznej (BIA – *Bioelectrical Impedance Analysis*) [7].

Masa w badaniach składu ciała jest najczęściej dzielona na masę ciała szczupłego, nazywaną także beztłuszczową masą ciała, zawierającą wodę, białka i minerały, oraz masę tłuszczową [8]. Określenie tych komponentów w progresywnej fazie rozwoju ontogenetycznego stanowi złożony problem, ponieważ jak wykazano w badaniach, chemiczny skład masy ciała szczupłego ulega zmianom wraz z wiekiem [9].

Dokładne pomiary składu ciała dziewcząt i chłopców są niezbędne do oceny stanu ich odżywienia oraz zdrowia. Metoda bioelektrycznej impedancji umożliwia ocenę nie tylko dwóch podstawowych komponentów, lecz także wielkości masy komórkowej i pozakomórkowej, które są składowymi masy ciała szczupłego [10]. Masa komórkowa jest sumą bogatych w potas, metabolicznie aktywnych komórek ciała, m.in. mięśni i narządów. Masa pozakomórkowa obejmuje metabolicznie nieaktywne elementy składu ciała. Zawiera również wodę pozakomórkową, którą charakteryzuje m.in. znaczne stężenie kationów sodu [11]. Ponieważ proces wzrastania struktur morfologicznych cechuje uwarunkowana genetycznie zróżnicowana chronologia, można oczekiwać jej odzwierciedlenia w zmianach rozwojowych cech składu tkankowego ciała.

Celem pracy było zbadanie poziomu rozwoju komponentów tkankowych masy ciała wyznaczonych metodą bioelektrycznej impedancji u młodzieży w wieku pokwitania.

Materiał

W pracy wykorzystano wyniki badań ciągłych dziewcząt ($N = 91$) i chłopców ($N = 89$) w wieku 13–15 lat. Badania przeprowadzono trzykrotnie w lutym 2011 r. (po zakończeniu ferii zimowych) w odstępie rocznym, w godzinach porannych. Na wyniki badania BIA wpływają zmienne czynniki, które zależą nie tylko od prawidłowej obsługi urządzenia, lecz także od odpowiedniego przygotowania osoby badanej. Uczestnicy zostali poinformowani o dodatkowych wymaganiach, tj. konieczności zrezygnowania z intensywnych zajęć ruchowych w przeddzień badania oraz stawienia się na badania na czczo.

Metoda

Wysokość ciała zmierzono antropometrem z dokładnością do 0,1 cm, stosując zunifikowaną technikę Martina [12]. Ponadto dokonano pomiaru masy ciała za pomocą elektronicznej wagi lekarskiej (dokładność pomiaru 0,1 kg).

Skład tkankowy ciała oceniono, stosując metodę impedancji bioelektrycznej za pomocą aparatu BIA 101S firmy Akern (wersja tetrapolarna, układ elektrod ręka–stopa, oprogramowanie Bodygram 1.31). Podczas pomiaru badany przyjmował pozycję leżącą – w celu wyrównania poziomu płynów oraz impedancji wszystkich tkanek organizmu, co jest istotne z punktu widzenia dokładności wykonywanych pomiarów [13]. Elektrody umieszczono na skórze, w linii pośrodkowej, w dwóch miejscach na grzbietowej

powierzchni ręki i stopy. Połączenie elektrod ręka–stopa umożliwia przejście prądu przez większy obszar ciała bez skracania obwodu, co zwiększa dokładność pomiaru.

W analizie uwzględniono wielkość masy tłuszczu i składowych masy szczupłego ciała (masa komórkowa i pozakomórkowa) wyrażonych w odsetkach masy ciała. Na podstawie masy i wysokości ciała wyliczono wskaźnik BMI. Korzystając z pomiarów cech składu ciała, obliczono stosunek masy ciała szczupłego (kg) do masy tłuszczu (kg) oraz masy komórkowej (kg) do masy pozakomórkowej (kg).

Analizę statystyczną wyników przeprowadzono za pomocą programu Statistica 9.0. Na wykresach przedstawiono zróżnicowanie płciowe chłopców i dziewcząt w zależności od poziomu rozwoju cech składu tkankowego (rys. 1). Zróżnicowanie w rozrzucie punktów indywidualnych młodzieży analizowano za pomocą testu χ^2 . Ocenę stopnia zróżnicowania płciowego analizowanych cech przeprowadzono za pomocą testu t-Studenta dla prób niezależnych.

Wyniki

Zmiany cech somatycznych zachodzące wraz z wiekiem u chłopców kształtują się na wyższym poziomie niż u dziewcząt (tabele 1–3). W analizowanym okresie obserwowano większe zmiany wartości wysokości ciała. Ponadto, począwszy od 14. roku życia u chłopców zauważany jest wyższy poziom rozwoju masy ciała. Masywność budowy, oceniana za pomocą wskaźnika BMI, ulega wzrostowi u obojga płci, jednak zróżnicowanie płciowe wielkości tej cechy jest statystycznie nieistotne.

Odsetkowy udział masy tłuszczu u dziewcząt wzrasta stopniowo wraz z wiekiem. U chłopców między 13. a 14. rokiem życia kształtuje się na zbliżonym poziomie. Wyraźny wzrost dynamiki rozwoju płci męskiej odnotowano w 15. roku życia. U dziewcząt obserwuje się znacznie wyższy udział masy tłuszczu we wszystkich przedziałach wiekowych. Odmienna dynamika rozwoju cech składu ciała wpływa na kształtowanie się wartości wskaźnika ciało szczupłe/tłuszcz. U obojga płci odnotowano stopniowe zmniejszenie tej wielkości. Trend ten jest wyraźniej zaznaczony u chłopców. Wskaźnik ciało szczupłe/tłuszcz jest wyższy u płci męskiej.

Jak należało oczekiwać, również odsetkowy udział masy komórkowej i pozakomórkowej kształtuje się na wyższym poziomie u chłopców. We wszystkich klasach wieku różnice są statystycznie istotne. Między 13. a 14. rokiem życia udział odsetkowy masy komórkowej wykazuje dynamiczny wzrost u płci męskiej. W kolejnym porównaniu (14–15 lat) powiększenie relatywnej wielkości omawianego komponentu składu ciała jest mniejsze.

U dziewcząt zmiany wraz z wiekiem mają inny charakter. Początkowo odnotowano słabą tendencję do zwiększenia udziału masy komórkowej (13–14 lat), a następnie zmniejszenie wielkości wspomnianej cechy (14–15 lat). W wieku 13–14 lat u obojga płci zaobserwowano wyraźne zmniejszenie udziału odsetkowego masy pozakomórkowej. W kolejnym porównaniu tendencja ta nadal utrzymuje się u chłopców. U dziewcząt natomiast trend w kierunku zmniejszania omawianej cechy ulega osłabieniu.

Dzięki porównaniu obojga płci zauważono, że wskaźnik masa komórkowa/masa pozakomórkowa, podobnie jak BMI, jest statystycznie nieistotny. W wieku 13–14 lat proporcja ta kształtuje się na nieco wyższym poziomie u dziewcząt. W najstarszej grupie wiekowej chłopców ce-

Tabela 1 Charakterystyka statystyczna cech somatycznych dziewcząt i chłopców w wieku 13 lat

Cecha	Średnia	SD	Średnia	SD	t	p
	Dziewczęta		Chłopcy			
Wysokość ciała (cm)	162,1	7,61	164,9	7,72	-2,43	0,0160
Masa ciała (kg)	52,7	11,48	53,6	11,80	-0,49	0,6229
% masa komórkowa	39,0	4,50	42,9	4,42	-5,96	<0,0001
% masa pozakomórkowa	36,8	5,02	41,2	5,11	-5,87	<0,0001
% masa tłuszczu	24,3	6,82	15,9	7,01	8,15	<0,0001
Ciało szczupłe/tłuszcz	3,5	1,60	7,4	9,51	-3,83	0,0002
BMI	20,0	3,60	19,6	3,39	0,71	0,4769
Masa komórkowa/masa pozakomórkowa	1,1	0,23	1,1	0,18	0,80	0,4226

Tabela 2 Charakterystyka statystyczna cech somatycznych dziewcząt i chłopców w wieku 14 lat

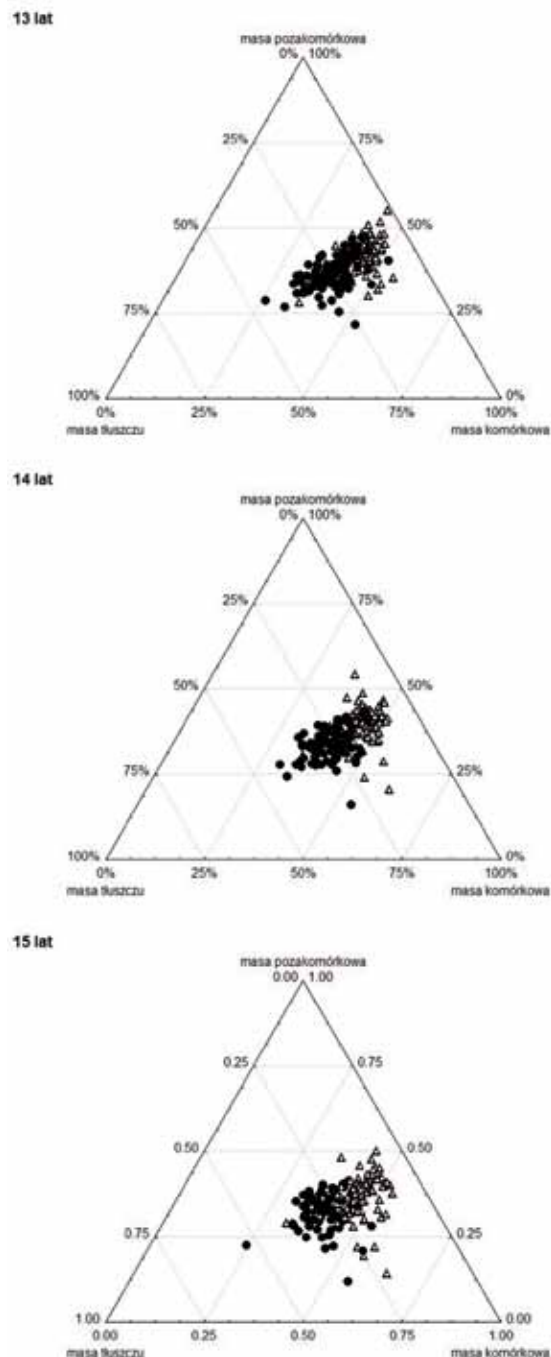
Cecha	Średnia	SD	Średnia	SD	t	p
	Dziewczęta		Chłopcy			
Wysokość ciała (cm)	164,6	7,10	171,1	7,15	-6,19	0,0000
Masa ciała (kg)	55,2	10,03	59,4	12,53	-2,48	0,0142
% masa komórkowa	39,8	4,30	45,4	4,59	-8,45	<0,0001
% masa pozakomórkowa	33,8	4,51	38,7	5,01	-7,00	<0,0001
% masa tłuszczu	26,5	5,62	15,9	5,52	12,72	<0,0001
Ciało szczupłe/tłuszcz	3,0	0,97	6,1	2,56	-10,87	<0,0001
BMI	20,4	3,17	20,3	3,55	0,21	0,8303
Masa komórkowa/masa pozakomórkowa	1,2	0,30	1,2	0,29	0,16	0,8752

Tabela 3 Charakterystyka statystyczna cech somatycznych dziewcząt i chłopców w wieku 15 lat

Cecha	Średnia	SD	Średnia	SD	t	p
	Dziewczęta		Chłopcy			
Wysokość ciała (cm)	165,9	7,17	175,3	6,31	-9,39	<0,0001
Masa ciała (kg)	58,0	12,75	64,1	13,12	-3,15	0,0019
% masa komórkowa	39,1	4,81	45,8	4,96	-9,07	<0,0001
% masa pozakomórkowa	32,9	4,99	36,8	5,98	-4,86	<0,0001
% masa tłuszczu	28,0	5,52	17,4	5,98	12,37	<0,0001
Ciało szczupłe/tłuszcz	2,7	0,78	5,5	2,51	-10,15	<0,0001
BMI	21,0	4,18	20,8	3,68	0,31	0,7537
Masa komórkowa/masa pozakomórkowa	1,2	0,46	1,3	0,48	-0,83	0,4088

chują wyższe wartości wspomnianego wskaźnika. U obojga płci tempo rozwoju masy komórkowej jest większe niż pozakomórkowej i w efekcie wartości wskaźnika masa komórkowa/masa pozakomórkowa ulegają wyraźnemu powiększeniu wraz z wiekiem. Natężenie zmian u chłopców utrzymuje się na zbliżonym poziomie w całym badanym okresie. U dziewcząt między 14. a 15. rokiem życia odnotowano mniejsze tempo zmian.

Zróznicowanie płciowe w składzie tkankowym ciała analizowano, uwzględniając również relatywną wielkość tłuszczu, masy komórkowej i pozakomórkowej. W tym celu wykorzystano wykresy, na których przedstawiono punkty indywidualne odpowiadające dziewczętom



Rys. 1 Zróznicowanie płciowe składu ciała chłopców (Δ) i dziewcząt (●) w kolejnych przedziałach wiekowych

i chłopcom. Odmienności w składzie ciała przejawiają się przesunięciem w kierunku większego udziału tłuszczu u płci żeńskiej (rys. 1).

Wraz z wiekiem u płci męskiej obserwowany jest większy udział masy komórkowej w składzie ciała. U dziewcząt składy tkankowe ciała są przesunięte w kierunku większego udziału tłuszczu. Ocenione za pomocą testu χ^2 różnicowanie dystrybucji punktów obu płci jest statystycznie istotne we wszystkich grupach wiekowych ($p < 0,001$).

Dyskusja

Wykorzystana w pracy metoda bioelektrycznej impedancji należy do prostych, nieinwazyjnych i dokładnych metod pomiaru składu ciała [14]. Łatwość jej stosowania sprzyja wykonywaniu badań populacyjnych, także w terenie. Za pomocą bioelektrycznej impedancji można badać zarówno osoby zdrowe, jak i chore na różnych etapach ontogenezy [15–18].

Okres dojrzewania płciowego, w którym znajduje się badana młodzież, cechują duże zmiany w morfologii i biologii ustroju [19, 20]. Charakterystyczne jest gwałtowne zwiększenie tempa wzrastania wszystkich wartości cech somatycznych, nazywane skokiem pokwitaniowym. W analizowanym materiale u obojga płci odnotowano tendencję do stopniowego zmniejszania różnic międzyrocznych w wysokości i masie ciała, co można wiązać z fazą dorastania [21]. Trend ten jest wyraźniej zaznaczony u dziewcząt, odzwierciedlając przyspieszenie rozwoju biologicznego [22]. Dynamika przyrostu masy ciała kształtuje się na wyższym poziomie niż zmiany wysokości ciała, co znajduje odzwierciedlenie w stopniowym wzroście wskaźnika BMI. W analizowanym przedziale wiekowym proporcje wagowo-wzrostowe nie różnią się w stopniu statystycznie znaczącym u dziewcząt i chłopców [23, 24].

Inaczej kształtuje się dymorfizm płciowy w zakresie składu ciała. Masa tłuszczu we wszystkich porównaniach jest wyższa u płci żeńskiej, natomiast elementy masy ciała szczupłego (masa komórkowa i pozakomórkowa) osiągają wyższe wartości u chłopców [25]. Wyliczony wskaźnik masa ciała szczupłego/tłuszcz ulega stopniowemu zmniejszeniu, co wskazuje na występowanie intensywniejszych zmian rozwojowych w zakresie tkanki tłuszczowej.

Pokwitaniowy wzrost poszczególnych cech somatycznych cechuje określona kolejność, która znajduje swoje odzwierciedlenie w cechach składu tkankowego ciała. Wzrost wysokości ciała wiąże się z przyrostem tkanki kostnej [26–28]. Elementem tkankowym masy ciała szczupłego, który odzwierciedla zmiany w wielkości szkieletu, jest masa pozakomórkowa [29, 30]. U badanej młodzieży wartość ta ulega stopniowemu zmniejszeniu, co można uzasadnić wspomnianym wcześniej zmieszeniem dynamiki rozwoju wysokości ciała. Kolejną składową ciała szczupłego – masę komórkową, stanowią metabolicznie aktywne komórki somatyczne, głównie tkanki mięśniowej [31]. W badaniach własnych odnotowano wyraźny wzrost tej składowej, co można uzasadnić występowaniem dynamicznego rozwoju umięśnienia u obojga płci w fazie postpubertalnej, po wystąpieniu skoku pokwitaniowego [32, 33]. Ilustracją

przeobrażeń zachodzących w strukturze masy ciała szczupłego są wartości proporcji masa komórkowa/masa pozakomórkowa. U dziewcząt i chłopców ten stosunek ulega zwiększeniu w kolejnych grupach wiekowych. Ponadto u płci męskiej zmiany te kształtują się na wyższym poziomie, odzwierciedlając tendencję do powiększania masy mięśniowej w fazie dorastania [34].

Wnioski

- Większe tempo rozwoju masy ciała w porównaniu do wysokości wpływa na kształtowanie masywniejszej sylwetki u badanej młodzieży.
- Wzrost masywności budowy w przypadku płci męskiej wiąże się głównie z rozwojem masy ciała szczupłego, zwłaszcza masy komórkowej. U dziewcząt powiększenie masywności ciała wynika z większych przyrostów masy tłuszczu.
- Różnicowanie płciowe przejawia się większym udziałem masy ciała szczupłego u chłopców i większym odtuszczeniem u płci żeńskiej. ■

Literatura

1. G.R. Fulcher, M. Farrer, M. Walker, D. Rodham, B. Clayton, K.M. Alberti: *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, vol. 51, 1991, s. 245-253.
2. M. Bolanowski, B. Zadrozna-Śliwka, K. Zatońska: *Badanie składu ciała – metody i możliwości zastosowania w zaburzeniach hormonalnych*, Endokrynologia, Otyłość i Zaburzenia Przemiany Materii, vol. 1(1), 2005, s. 20-25.
3. M. Misra, K.K. Miller, C. Almazan, M. Worley, D.B. Herzog, A. Klubanski: *Hormonal determinants of regional body composition in adolescent girls with anorexia nervosa and controls*, J Clin Endocrinol Metab, vol. 90, 2005, s. 2580-2587.
4. A. Bitar, J. Vernet, J. Coudert, M. Vermorel: *Longitudinal changes in body composition, physical capacities and energy expenditure in boys and girls during the onset of puberty*, Eur J Nutr, vol. 39, 2000, s. 157-163.
5. R. Randáková: *Effect of regular training on body composition and physical performance in young cross-country skiers: as compared with normal controls*, Acta Univ Palacki Olomuc, vol. 35, 2005, s. 17-25.
6. J.P. Clarys, A.D. Martin, D.T. Drinkwater: *Gross tissue weights in the human body by cadaver dissection*, Hum Biol, vol. 56, 1984, s. 459-473.
7. P. Bergman, A. Janusz: *Bioelektryczna metoda określania składu ciała człowieka*, [w:] F. Rożnowski (red.): *Biologia populacji ludzkich współczesnych i pradziejowych*, WSP, Słupsk 1992, s. 29-38.
8. A. De Lorenzo, I. Bertini, N. Candeloro, L. Iacopino, A. Andreoli, M.D. Van Loan: *Comparison of different techniques to measure body composition in moderately active adolescents*, Br J Sports Med, vol. 32, 1998, s. 215-219.
9. R.A. Boileau, T.G. Lohman, M.H. Slaughter, T.E. Ball, S.B. Going, M.K. Hendrix: *Hydration of the fat-free body in children during maturation*, Hum Biol, vol. 56, 1984, s. 651-666.

10. C. Mika, B. Herpertz-Dahlmann, M. Heer, K. Holtkamp: *Improvement of nutritional status as assessed by multifrequency BIA during 15 weeks of refeeding in adolescent girls with anorexia nervosa*, J Nutr., vol. 134, 2004, s. 3026-3030.
11. S.B. Heymsfield, Z.M. Wang, R.N. Baumgartner, R. Ross: *Human body composition: advances in models and methods*, Annu Rev Nutr, vol. 17, 1997, s. 527-528.
12. R. Martin: *Lehrbuch der Anthropologie in systematischer Darstellung mit besonderer Berücksichtigung der anthropologischen Methoden*, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart 1957.
13. A. Lewitt, E. Mądro, A. Krupienicz: *Podstawy teoretyczne i zastosowania analizy impedancji bioelektrycznej (BIA)*, Endokrynologia, Otyłość, Zaburzenia Przemiany Materii, vol. 3, 2007, s. 79-84.
14. S.S. Sun, W.C. Chumlea, S.B. Heymsfield, H.C. Lukaski, D. Schoeller, K. Friedl, R.J. Kuczmarski, K.M. Flegal, C.L. Johnson, V.S. Hubbard: *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., vol. 77, 2003, s. 331-340.
15. P. Bergman, L. Drozd-Nurek, A. Krajewska, W. Jonak: *Zmienność składu ciała (określonego metodą bioelektryczną) w zależności od płci, wieku i środowiska*, [w:] J. Gładkowska-Rzeczycycka (red.): *Człowiek w czasie i przestrzeni*, PTA, Gdańsk 1993, s. 130-133.
16. M. Horlick, S.M. Arpadi, J. Bethel, J. Wang, J. Moye Jr, P. Cuff, R.N. Pierson Jr, D. Kotler: *Bioelectrical impedance analysis models for prediction of total body water and fat-free mass in healthy and HIV-infected children and adolescents*, Am J Clin Nutr, vol. 76, 2002, s. 991-999.
17. L.M. Abbate, J. Stevens, T.A. Schwartz, J.B. Renner, C.G. Helmick, J.M. Jordan: *Anthropometric measures, body composition, body fat distribution, and knee osteoarthritis in women*, Obesity, vol. 14, 2006, s. 1274-1281.
18. N.Q. Dung, G. Fusch, S. Armbrust, F. Jochum, C. Fusch: *Use of bio-electrical impedance analysis and anthropometry to measure fat-free mass in children and adolescents with Crohn disease*, J Pediatr Gastroenterol Nutr, vol. 44(1), 2007, s. 130-135.
19. D.M. Styne: *The regulation of pubertal growth*, Horm Res, vol. 60, 2003, s. 22-26.
20. R.M. Siervogel, E.W. Demerath, C. Schubert, K.E. Remsburg, W.C. Chumlea, S. Sun, S.A. Czerwinski, B. Towne: *Puberty and body composition*, Horm Res, vol. 60, 2003, s. 36-45.
21. S. Iuliano-Burns, R.L. Mirwald, D.A. Bailey: *Timing and magnitude of peak height velocity and peak tissue velocities for early, average, and late maturing boys and girls*, Am J Hum Biol, vol. 13, 2001, s.1-8.
22. S.C. van Coeverden, J.C. Netelenbos, C.M. de Ridder, J.C. Roos, C. Popp-Snijders, H.A. Delemarre-van de Waal: *Bone metabolism markers and bone mass in healthy pubertal boys and girls*, Clin Endocrinol (Oxf), vol. 57, 2002, s. 107-116.
23. H. Greil: *Patterns of sexual dimorphism from birth to senescence*, Coll Antropol, vol. 30, 2006, s. 637-641.
24. T. Nawarycz, L. Ostrowska-Nawarycz: *Wskaźnik masy ciała u dzieci i młodzieży łódzkiej w wieku szkolnym*, Polski Merkuriusz Lekarski, vol. 23, 2007, s. 264-270.
25. I.M. van der Sluis, M.A. de Ridder, A.M. Boot, E.P. Krenning, S.M. de Muinck Keizer-Schrama: *Reference data for bone density and body composition measured with dual energy x-ray absorptiometry in white children and young adults*, Arch Dis Child, vol. 87, 2002, s. 341-347.
26. F. Rauch, D.A. Bailey, A. Baxter-Jones, R. Mirwald, R. Faulkner: *The 'muscle-bone unit' during the pubertal growth spurt*, Bone, vol. 34(5), 2004, s. 771-775.
27. L.A. Loomba-Albrecht, D.M. Styne: *Effect of puberty on body composition*, Curr Opin Endocrinol Diabetes Obes, vol. 16, 2009, s. 10-15.
28. K.B. Dorsey, J.C. Thornton, S.B. Heymsfield, D. Gallagher: *Greater lean tissue and skeletal muscle mass are associated with higher bone mineral content in children*, Nutr Metab (Lond), vol. 7, 2010, s. 41-51.
29. A. Ballabriga: *Morphological and physiological changes during growth: an update*, Eur J Clin Nutr, vol. 54, 2000, s. 1-6.
30. A. Pietrobelli, M.S. Faith, J. Wang, P. Brambilla, G. Chiumello, S.B. Heymsfield: *Association of lean tissue and fat mass with bone mineral content in children and adolescents*, Obes Res, vol. 10, 2002, s. 56-60.
31. A. Talluri, R. Liedtke, E.I. Mohamed, C. Maiolo, R. Martinoli, A. De Lorenzo: *The application of body cell mass index for studying muscle mass changes in health and disease conditions*, Acta Diabetol, vol. 40, 2003, s. 286-289.
32. E. Schonenaus, C.M. Neu, E. Mokov, G. Wassmer, F. Manz: *Influence of puberty on muscle area and cortical bone area of the forearm in boys and girls*, J Clin Endocrinol Metab, vol. 85, 2000, s. 1095-1098.
33. J. Kim, W. Shen, D. Gallagher, A. Jones Jr, Z. Wang, J. Wang, S. Heshka, S.B. Heymsfield: *Total-body skeletal muscle mass: estimation by dual-energy X-ray absorptiometry in children and adolescents*, Am J Clin Nutr, vol. 84, 2006, s. 1014-1020.
34. V. Bunc: *Body composition as a determining factor in the aerobic fitness and physical performance of Czech children*, Acta Univ Palacki Olomuc, vol. 36(4), 2006, s. 39-45.

otrzymano / received: 10.02.2011

wersja poprawiona / revised version: 13.07.2011

zaakceptowano / accepted: 10.10.2011