

Ocena wpływu składu ciała na masę kostną dzieci i młodzieży z zastosowaniem analizy funkcjonalnej zależności mięsień-kość

Assessment of the Influence of Body Composition on Bone Mass in Children and Adolescents Based on a Functional Analysis of the Muscle-Bone Relationship

Joanna Golec^(A,B,C,E,F), Danuta Chlebna-Sokół^(A,D,G)

Klinika Propedeutyki Pediatrii i Chorób Metabolicznych Kości Uniwersytetu Medycznego w Łodzi, Polska
Department of Paediatric Propedeutics and Metabolic Bone Disease, Medical University of Lodz, Poland

STRESZCZENIE

Wstęp. Według teorii mechanostatu najważniejszym czynnikiem modulującym szkielet jest czynnik mechaniczny. Celem pracy była analiza funkcjonalna zależności pomiędzy tkanką kostną i mięśniową u dzieci z niską i prawidłową masą kostną.

Materiał i metody. W pracy przeprowadzono analizę funkcjonalną mineralizacji szkieletu u 149 dzieci z rozpoznaną niską masą kostną i u 99 z prawidłową gęstością mineralną kości. U dzieci przeprowadzone było badanie densytometryczne szkieletu, wyliczono wartości średnie i odchylenia standardowe dla parametrów niezbędnych do przeprowadzenia analizy funkcjonalnej wg. równań zaproponowanych przez Płudowskiego i Jaworskiego oraz wyliczono dla nich wskaźniki Z-score.

Wyniki. Stwierdzono niższe średnie wartości wskaźników Z-score dla analizowanych parametrów w grupie dzieci z niską masą kostną w porównaniu do grupy odniesienia. Dzieci z grupy badanej miały mniejszą średnią zawartość tkanki tłuszczowej i mięśniowej, przy czym stwierdzono znaczny niedobór masy mięśniowej w stosunku do wysokości ciała, co według założeń teorii mechanostatu prowadzi do obniżonego gradientu obciążeń generowanych ze strony mięśni wobec kości. W grupie z niską masą kostną obserwowano także niższe wartości Z-score TBBMC/LBM, co świadczy o większej podatności kości na złamanie.

Wnioski. 1. Analiza funkcjonalna wykazała zależność pomiędzy tkanką kostną i mięśniową, i może być przydatna do diagnostyki i monitorowania zaburzeń układu kostnego. 2. Przeprowadzone badania podkreślają rolę prawidłowego odżywienia i aktywności fizycznej warunkujących właściwy skład ciała w profilaktyce zaburzeń mineralizacji kości w wieku rozwojowym. 3. W pracy wykazano niedoskonałość klasycznych danych normatywnych używanych do interpretacji wyników badania DXA u dzieci oraz potwierdzono przydatność norm ciągłych.

Słowa kluczowe: skład ciała, masa kostna, dzieci, densytometria

SUMMARY

Background. The functional model of skeletal development considers the mechanical factor to be the most important skeletal modulant. The aim of the study was a functional analysis of the bone-muscle relationship in children with low and normal bone mass.

Material and methods The study involved 149 children with low and 99 children with normal bone mass (control group). All patients underwent a densitometry examination (DXA). Low bone mass was diagnosed if the Z-score was below <1.01. Means and standard deviations of parameters required for the functional analysis according to Jaworski and Płudowski were calculated.

Results. The study found lower mean values of Z-scores for all parameters in children with low bone mass as compared to the control group. Children with low bone mass had lower content of adipose and muscle tissue and a marked deficit of muscle tissue with regard to height (which according to mechanostat theory leads to lower muscle-generated strain on bones). This group of children had also lower TBBMC/LBM Z-scores, which indicates greater fracture susceptibility.

Conclusions. 1. Functional analysis, which showed associations between bone and muscle tissues, can be useful for diagnosing and monitoring skeletal system disorders as well as making therapeutic decisions. 2. The study emphasizes the role of proper nutrition and physical activities, which contribute to proper body composition, in the prevention of bone mineralization disorders in childhood and adolescence. 3. The study showed the inadequacy of the classic reference ranges used in interpreting DXA data in children and demonstrated the usefulness of continuous variables for that purpose.

Key words: body composition, bone mass, children, densitometry

WSTĘP

Optimalny rozwój kości jest ściśle związany z prawidłowym wzrastaniem dziecka, a obniżenie masy kostnej (gęstości mineralnej) ma najczęściej charakter wtórny i jest skutkiem różnych innych stanów chorobowych lub towarzyszącej im terapii [1]. Natomiast etiologia pierwotnych zaburzeń, mimo wnikliwych poszukiwań badawczych, nie jest w pełni wyjaśniona [2-4]. W pracach oceniających zależność gęstości mineralnej szkieletu od parametrów antropometrycznych (masy i wysokości ciała) obserwowano najczęściej dodatnią korelację pomiędzy nimi [5,6]; udowodniono także, iż istnieje szereg wzajemnych zależności pomiędzy tkanką tłuszczową i tkanką kostną.

Szereg autorów podkreśla wpływ stanu odżywienia oraz składu ciała na gęstość mineralną [7-9], a najbardziej znanym miernikiem stanu odżywienia jest wskaźnik masy ciała (*Body Mass Index – BMI*). Wykazano ponadto, że im większa masa ciała, a co za tym idzie BMI, tym lepszy rozwój masy kostnej, a za przyczynę tego zjawiska uważa się korzystny wpływ większego obciążenia mechanicznego i dobrego stanu odżywienia na proces osteogenezy [10, 11]. W ostatnim czasie zaczęto nawet rozważać protekcyjny dla osteoporozy wpływ nadmiaru masy ciała, ale wyniki badań nie są jednoznaczne [12-14]. Wydaje się jednak, iż otyłość (nadmiar tkanki tłuszczowej) nie jest czynnikiem chroniącym przed osteoporozą, natomiast do niskiej masy kostnej predysponuje na pewno niedobór masy ciała [9,12], co potwierdzają badania oceniające zależność gęstości mineralnej szkieletu od składu ciała, do czego najbardziej przydatne okazuje się badanie densytometryczne [15]. Badania Ackerman'a, Salamone'a, Compston'a, Goulding'a i wsp. przeprowadzone na populacji dziecięcej i osób dorosłych, wykazały silny związek pomiędzy mniejszą ilością tkanki tłuszczowej w organizmie i większą ilością tkanki beztłuszczowej – mięśni a wyższą masą kostną [16-19]. Wyniki te potwierdzają dawno już zaprezentowaną przez Frosta teorię mechanostatu, w której najważniejszym czynnikiem modulującym szkielet jest czynnik mechaniczny [20]. Teoria ta stanowiła rozwinięcie prawa Delpech'a – Wolf'a, dotyczącego prawidłowego rozwoju kości, który mógł nastąpić jedynie pod warunkiem równomiernie rozłożonych sił nacisku i pociągania. Działanie mechanostatu opiera się na procesach przebudowy wewnętrznej i modelowania strukturalnego; kluczową rolę odgrywa w nim prawidłowa aktywność komórek tkanki kostnej odbierających bodźce z układu mięśniowego i komunikujących się między sobą.

BACKGROUND

Optimal skeletal development is closely related with appropriate growth of the child and a decrease in bone mass (mineral density) is most frequently secondary to other pathological conditions or the associated therapy [1].

Despite detailed studies, the aetiology of the underlying disorder has not been thoroughly explained [2-4]. Studies conducted to assess relations among mineral bone density and anthropometric parameters (body mass and height) have most frequently shown a positive correlation between these indices [5,6]. A number of correlations between adipose and bone tissues have also been confirmed.

Many authors emphasize the effect of nutrition status and body composition on bone mineral density [7-9]. The Body Mass Index (BMI) is the best-known metric related to nutritional status. It has also been shown that the development of bone mass is related to body mass, and consequently BMI, which is believed to result from the beneficial effect of greater mechanical strain and good nutrition on the process of osteogenesis [10,11]. Recently, a protective role of excessive body mass in the development of osteoporosis has been considered, but study results have been equivocal [12-14]. However, obesity does not seem to be a protective factor in osteoporosis, whereas body mass deficiency certainly predisposes towards lower bone mass [9,12]. This has been confirmed in studies assessing the relations between mineral bone density and body composition, with densitometry as the preferred method [15].

Studies by Ackerman et al., Salamone et al., Compston et al. and Goulding et al. in populations of children and adults have shown a strong association between lower adipose tissue content combined with higher muscle mass and greater bone mass [16-19]. These results confirm the mechanostat theory, proposed by Frost long ago, which assumes that the mechanical factor is crucial for modeling the skeleton [20]. This theory was a refinement of Delpech-Wolff's law concerning normal bone growth, which could only occur provided the forces of strain and pressure exerted on the bones were distributed in a balanced manner. Mechanostat action is based on the processes of internal and structural remodeling, with a crucial role played by normal activity of bone tissue cells, which receive stimuli from the muscular system and communicate with one another.

Based on the assumptions of the mechanostat theory, Rauch et al. and Schonau et al. developed a model of functional skeletal growth and demonstrated the interdependence between the skeletal and muscular

W oparciu o tezę „teorii mechanostatu” Rauch i Schonau opracowali model funkcjonalnego rozwoju kości, w którym udowodnili współzależność układu szkieletowego i mięśniowego oraz ich wzajemną stymulację w procesie rozwoju. Według tego modelu wzrost i konsolidacja szkieletu jest przejawem adaptacji mechanicznej tkanki kostnej do wzrastających gradientów obciążeń generowanych przez tkankę mięśniową. W konsekwencji układ szkieletowy osiąga optymalną masę i gęstość tkanki kostnej, a wymiary i kształt kości w poszczególnych lokalizacjach dostosowane są do obciążeń ze strony mięśni [21,22]. Obecnie uważa się, iż analiza funkcjonalna może znaleźć zastosowanie w diagnostyce i monitorowaniu wielu chorób kości oraz, jak pokazały wyniki badań osób z idiopatyczną osteoporozą młodzieńczą i wrodzoną łamliwością kości, służyć do oceny ryzyka złamania [23,24]. Niewiele jest jednak doniesień, w których zostały opracowane wartości referencyjne dla parametrów analizy funkcjonalnej. Hogler i wsp., Crabtree i wsp. stworzyli algorytm oceny BMD z uwzględnieniem wielkości tkanki beztłuszczowej [23,24]. Natomiast w Polsce Jaworski i Płudowski opracowali normy dla tej analizy, które mają charakter tzw. norm ciągłych [25]. Mają one przewagę nad powszechnie stosowanymi klasycznymi danymi normatywnymi dla dzieci i młodzieży, które są zazwyczaj przedstawiane w postaci średniej i odchylenia standardowego w poszczególnych grupach wiekowych, a wynik dziecka odnoszony jest do tych wartości jako wskaźnik Z-score. Taka konstrukcja norm stwarza duże problemy interpretacyjne, gdy wiek badanego znajduje się w pobliżu granicy przedziału wiekowego norm klasycznych. Trudności te niweluje zastosowanie norm ciągłych [25]. Poza tym normy te zostały opracowane nie tylko względem wieku, ale także względem parametrów antropometrycznych, co sprawia, iż są one bardziej precyzyjne gdyż, jak już wspomniano, na wiele badanych parametrów kości wpływają rozmiary ciała.

Celem pracy było potwierdzenie wpływu składu ciała na rozwój masy kostnej w wieku rozwojowym na podstawie zależności mięsień-kość, za pomocą analizy funkcjonalnej u dzieci z obniżoną i prawidłową masą kostną. Ponadto celem pracy było wykazanie przewagi norm ciągłych nad klasycznymi danymi normatywnymi w ocenie gęstości mineralnej kości u dzieci i młodzieży.

MATERIAŁ I METODY

W pracy przeprowadzono analizę wyników badań 248 dzieci będących w wieku od 5 do 18 lat; u 149 spośród nich stwierdzono obniżoną masę kostną

systems and their mutual stimulation during development [21,22]. According to that model, skeletal growth and consolidation is a sign of mechanical adaptation of bone tissue to increasing gradients of load generated by muscle tissue. As a result, the skeletal system reaches an optimal mass and bone density and the size and form of the bones in their particular locations become adapted to muscle-generated loads. At present, it is regarded that functional analysis could be useful in diagnosing and monitoring many bone diseases and, as shown by the results of examinations of patients with osteoporosis and congenital bone fragility, be useful for the assessment of bone fracture risk [23,24]. However, there are not many reports presenting reference values for functional analysis. Hogler et al. and Crabtree et al. created an algorithm for BMD assessment (using densitometry parameters) that accounts for the amount of adipose-free tissue [23,24]. Polish researchers Jaworski and Płudowski developed reference ranges for the purpose of a similar analysis, but they are continuous variables [25]. These seem superior to the classic reference ranges for the assessment of children and adolescents commonly used in densitometry, which are usually presented as the means and standard deviation for particular age groups, and a child's score is referred to these values as a Z-score index. This design creates significant interpretative problems when the age of examined child is close to a limit of an age interval of classical reference ranges; this inconvenience can be avoided using continuous variables. Moreover, these reference ranges account for both age and anthropometric parameters, which makes them more precise since, as has already been mentioned, body dimensions influence many skeletal parameters [25].

The aim of the study was to confirm the influence of body composition on the development of bone tissue in childhood and adolescence on the basis of bone-muscle relationship in children with normal and low bone mass using functional analysis. We also attempted to demonstrate the superiority of continuous variables over standard normative data in the assessment of mineral bone density in children and adolescents.

MATERIAL AND METHODS

We analysed the results of 248 examinations performed in children aged between 5 and 18 years. The children were examined in the Department of Pae-

(n.m.k.), której przyczyny nie udało się wyjaśnić w badaniach klinicznych (pierwotna). Natomiast 99 dzieci z masą kostną w zakresie wartości prawidłowych stanowiło grupę porównawczą (g.p.). Do grupy z obniżoną masą kostną zakwalifikowano 77 chłopców i 72 dziewcząt. Z badań wyłączono dzieci, u których w ramach diagnostyki w Klinice Propedeutyki Pediatrii i Chorób Metabolicznych Kości stwierdzono choroby sprzyjające wystąpieniu obniżonej mineralizacji szkieletu (w tym m.in. zespoły złego wchłaniania, choroby wątroby i nerek, zaburzenia endokrynologiczne, choroby nowotworowe, choroby przebiegające z długotrwałym unieruchomieniem) oraz stosujące leki o działaniu osteotropowym, w tym glikokortykosteroidy, pochodne hydantoiny, leki przeciwwrzepowe i moczopędne. Grupę porównawczą stanowiło 58 chłopców i 41 dziewcząt z prawidłową masą kostną. Pacjenci ci zgłaszali się do Kliniki celem wyjaśnienia nietypowych dolegliwości bólowych ze strony układu kostno-stawowego lub z innych powodów nieistotnych dla potrzeb tej pracy.

U wszystkich dzieci przeprowadzono:

- *badanie lekarskie* ze szczególnym uwzględnieniem stanu narządów ruchu, określono także stan odżywienia, uwzględniając pomiary masy ciała (z wykorzystaniem wagi lekarskiej) i wysokości (przy użyciu stadiometru), zgodnie z powszechnie przyjętymi zasadami.
- *badanie densytometryczne metodą absorpcyjometrii promieniowania X o podwójnej energii (DXA)*. Badanie to przeprowadzono aparatem DPX firmy Lunar (Madison USA), zastosowano program pediatryczny dla dzieci z masą ciała do 30 kg oraz program standardowy jak dla dorosłych u dzieci ważących powyżej 30 kg. Precyzja aparatu CV% <1, przepustowość 90 sek/badanie; badania densytometryczne były wykonane w Pracowni Densytometrii Kostnej w Ośrodku Menopauzy i Osteoporozy w Łodzi. W ocenie uzyskanych wyników były brane pod uwagę wartości bezwzględne gęstości mineralnej kośćca (BMD) w g/cm² całego ciała (projekcja total body) oraz odcinka lędźwiowego kręgosłupa L2-L4 (projekcja AP-spine). Wartości BMD analizowane były również, jako wskaźniki Z-score – obliczane jako liczba odchyleń standardowych od średniej dla wieku i płci. Wskaźniki Z-score BMD mniejsze od -1,01 świadczyły o gęstości mineralnej poniżej normy określonej w pracy jako obniżona masa kostna (n.m.k.). Dzieci z prawidłową gęstością mineralną kośćca (Z-score od -1,0 do +1,0) zakwalifikowano do grupy porównawczej. W sytuacji, gdy u dziecka stwierdzono niskie wartości centylowe wysokości i/lub masy ciała, w celu obiektywnej oceny gęstości

diatric Propedeutics and Metabolic Bone Disease. In 149 children (77 boys and 72 girls), densitometry showed decreased bone mass (DBM) the cause of which could not be established in a clinical examination. All children suffering from diseases potentially associated with reduced bone mineral density (including malabsorption syndrome, liver and kidney disease, endocrine disorders, neoplastic disease and diseases necessitating long-term immobilization) as well as those taking osteotropic drugs, including glucocorticosteroids, derivatives of hydantoin, antithrombotic drugs and diuretics, were excluded from the study. Ninety-nine children (58 boys and 41 girls) with BMD within the normal range formed the control group (CG). These children were referred to the Department on account of atypical bone and joint pain or for other reasons irrelevant to this study.

The following examinations were conducted in all children:

- *physical examination* with particular regard to the musculoskeletal systems; nutritional status was determined by measuring body mass and height (using scales and a stadiometer) according to generally accepted principles
- *densitometry using dual-energy X-ray absorptiometry (DXA)*. This examination was conducted with a Lunar (Madison USA) DPX apparatus, with a paediatric program for children with body mass under 30 kg and an adult program in children weighing more than 30 kg. The apparatus had a precision of CV% <1, and throughput of 90 sec/test. The densitometry tests were performed in the Laboratory of Bone Densitometry of the Centre for Menopause and Osteoporosis in Łódź. Absolute values of bone mineral density (BMD) in g/cm², total body and AP-spine (L2-L4 lumbar vertebrae) view were taken into consideration. BMD values were also analyzed as Z-score indices calculated as the number of standard deviations from the mean value for a given age and sex. BMD Z-scores lower than -1.01 were considered as indicating bone mineral density below the reference range defined as decreased bone mass (DBM) in this study. Children with normal BMD (Z-score within the -1.0 to +1.0 range) were qualified to the control group. When a child demonstrated low percentile values of height and/or body mass, skeletal age was determined to provide objective assessments of bone mineral density and the results of DXA test were standardized according to the established bone age. Bone Mineral Content (BMC) for total body and spine views as well as Fat Mass (FM) and Lean Body Mass (LBM) in total body view were also ana-

mineralnej kości (a tym samym rozpoznania niskiej masy kostnej) określano wiek szkieletowy, a uzyskane wartości badania DXA normalizowano do lat wieku kostnego. Analizowano też całkowitą zawartość minerałów w kośćcu (*Bone Mineral Content* – BMC) dla projekcji total body i spine oraz wielkość tłuszczowej i beztłuszczowej masy ciała w gramach (*Fat Mass* – FM i *Lean Body Mass* – LBM) ocenianych w projekcji total body. Uzyskane wyniki BMD, BMC, LBM i FM były także zinterpretowane wg norm ciągłych dla wieku, masy ciała i wysokości ciała wg Jaworskiego i Płudowskiego [25]. Najpierw określono wartości należne i odchylenie standardowe dla poszczególnych wskaźników badania DXA zgodnie z równaniami zaproponowanymi przez Jaworskiego i Płudowskiego uwzględniającymi masę, wysokość, wiek i płeć dzieci. Następnie obliczono wskaźniki Z-score.

Opracowanie to posłużyło również do przeprowadzenia analizy funkcjonalnej opartej na teorii mechanostatu. Do analizy włączono, zgodnie z założeniami autorów, dziewczęta, których masa ciała mieściła się w zakresie 15-80 kg, a wzrost 111-180 cm oraz chłopców, których pomiary antropometryczne mieściły się odpowiednio w zakresie 15-95 kg, a wzrost 110-190 cm. Wyliczone i zinterpretowane były takie wskaźniki jak TBBMC/LBM, LBM/BW oraz FM/BW (gdzie BW to masa ciała – *body weight*), a także FM/LBM, co pozwoliło na ocenę wzajemnej zależności mięsień/kość. Opracowanie statystyczne wykonane było programem statystycznym SPSS wersja 14. Różnice między grupami, jak też obecność korelacji, uznawano za istotne statystycznie przy $p < 0,05$. Na przeprowadzenie wszystkich badań uzyskano zgody Komisji Etyki Badań Naukowych przy Uniwersytecie Medycznym w Łodzi (nr RNN/150/06/KE, RNN24/07, RNN160/09/KE).

WYNIKI

W niniejszej pracy, po wykonaniu opisanych wyżej wyliczeń stwierdzono, iż po zastosowaniu norm ciągłych dla poszczególnych wskaźników Z-score znaczna część pacjentów z grupy badanej, przestała spełniać kryteria rozpoznania obniżonej masy kostnej, natomiast niektórych pacjentów z grupy, odniesienia można było zakwalifikować do grupy badanej. Liczbę dzieci w grupie z n.m.k. i porównawczej, ze wskaźnikami Z-score $< -1,00$ dla poszczególnych parametrów DXA, po zastosowaniu norm ciągłych przedstawiono w Tabeli 1. Średnie wartości wskaźników Z-score BMD AP spine i BMD total body (TB), po zastosowaniu równań uwzględniających wiek w gru-

lizyzed. The BMD, BMC, LBM and FM data were also interpreted according to Jaworski and Płudowski's continuous variables for age, body mass and height [25]. Means and standard deviations for each DXA test index were calculated first, in accordance with the equations proposed by these authors (which take body mass, height, age and sex of children into consideration), and then Z-score indices were calculated.

Additionally, the results were used in a functional analysis based on the mechanostat theory. In line with the authors' assumptions, the analysis involved girls with body weight and height within the 15-80 kg and 111-180cm range, respectively, and boys with 15-95 kg body mass and 110-190 cm height in anthropometric measurements. Such indices as TBBMC/LBM, LBM/BW and FM/BW (where BW is body weight) as well as FM/LBM were calculated and interpreted, which allowed assessment of mutual bone-muscle associations. Statistical analysis was performed using SPSS 14 software. Differences between groups as well as the presence of correlations were considered statistically significant at $p < 0.05$. The Bioethical Committee of the Medical University in Łódź granted its consent for all examinations (nr RNN/150/06/KE, RNN24/07, RNN160/09/KE).

RESULTS

The calculations showed that, when continuous variables were applied for particular Z-score indices, a significant percentage of the patients from the study group no longer met the criteria for decreased bone mass (DBM) diagnosis, whilst some of the control group patients could be re-classified to the low bone mass group. The numbers of patients in the DBM and control groups with Z-score indices below -1.0 for each DXA parameter after the application of continuous variables are presented in Table 1. Mean Z-scores AP spine BMD and total body (TB) BMD after applying equations to adjust for patient age were -1.43 and -1.11, respectively, in the group of children with

Tab. 1. Liczby dzieci (odsetek) w grupie z niską masą kostną (n. m. k.) i porównawczej z parametrami densytometrycznymi wyliczonymi jako Z-score <-1,00 uzyskanymi wg norm ciągłych opracowanych przez Płudowskiego i Jaworskiego [25]

Tab. 1. Number of children (percentage) in decreased bone density group and control group with Z-score for densitometry parameters <-1.0 according to Płudowski and Jaworski's continuous reference ranges [25]

Parametr DXA/ Parameter of DXA	Grupa z n.m.k./ DBM group (n = 149)	Grupa porównawcza/ Control group (n = 99)
	Liczba dzieci z Z-score < -1/ Number of children with Z-score < -1	
	Normy ciągłe / Continuous reference ranges	Normy ciągłe / Continuous reference ranges
	Normy wg. wieku/ Reference ranges according to the age	
TBBMD Z-score	78 (66)	11 (11)
AP spine BMD Z-score	120 (80)	7 (7)
TBBMC Z-score	74 (50)	14 (14)
AP spine BMC Z-score	88 (59)	13 (13)
	Normy wg. wysokości ciała/Reference ranges according to body height	
TBBMD Z-score	60 (40)	17 (17)
AP spine BMD Z-score	63 (42)	9 (9)
TBBMC Z-score	52 (35)	12 (12)
AP spine BMC Z-score	53 (36)	19 (19)
	Normy wg. masy ciała/ Reference ranges according to body weight	
TBBMC Z-score	33 (22)	20 (20)

TBBMC – Total Body Bone Mineral Calcium – całkowita zawartość wapnia w kośćcu w projekcji total body

AP spine BMD – AP spine Bone Mineral Density – gęstość mineralna kości w projekcji spine

TBBMD – Total Body Bone Mineral Density – gęstość mineralna kości w projekcji total body

TBBMC – Total Body Bone Mineral Calcium – total skeletal calcium content in the total body view

AP spine BMD – AP spine Bone Mineral Density – bone mineral density in the spine view

TBBMD – Total Body Bone Mineral Density – bones mineral density in the total body view

Tab. 2. Liczba (i odsetek) dzieci z niską masą kostną (n. m. k.) i w grupie porównawczej z parametrami badania densytometrycznego wyliczonymi wg analizy funkcjonalnej jako Z-score < -1

Tab. 2. Number (percentage) of children in decreased bone density group and control group with Z-score for densitometry parameters <-1.0 according to functional analysis

Parametr/ Parameter	Grupa z n.m.k./ DBM group (n = 149)	Grupa porównawcza/ Control group (n = 99)
	Liczba (i procent dzieci) z Z-score <-1/ Number (and percentage) of children with Z-score <-1	
	Normy wg. wieku/ Reference ranges according to age	
LBM Z-score	48 (32)	11 (11)
TBBMC/LBM Z-score	81 (54)	11 (11)
AP spine BMC/LBM Z-score	78 (52)	15 (15)
FM Z-score	149 (100)	99 (99)
LBM/BW Z-score	17(11)	26 (26)
FM/BW Z-score	58 (39)	19 (19)
FM/LBM Z-score	56 (37)	21 (21)
	Normy wg. wysokości ciała/ Reference ranges according to body height	
LBM Z-score	24 (16)	11 (11)
TBBMC/LBM Z-score	65 (44)	15 (15)
spine BMC/LBM Z-score	76 (51)	24 (24)
FM Z-score	43 (29)	13 (13)
LBM/BW Z-score	21 (14)	17 (17)
FM/BW Z-score	56 (37)	19 (19)
FM/LBM Z-score	54 (36)	18 (18)
	Normy wg. masy ciała/Reference ranges according to body weight	
LBM Z-score	14 (9)	17(17)
TBBMC/LBM Z-score	49(33)	20(20)
FM Z-score	43(29)	26(26)
LBM/BW Z-score	39(26)	26(26)
FM/BW Z-score	37(25)	15(15)
FM/LBM Z-score	42(28)	22(22)

LBM – Lean Body Mass – beztłuszczowa masa ciała (wielkość tkanki mięśniowej)

FM – Fat Mass – tłuszczowa masa ciała

BW – Body Weight – masa ciała

pie dzieci z obniżoną masą kostną, wynosiły -1,43 i -1,11, a odpowiednio 0,27 i 0,52 w grupie kontrolnej.

Powyższe obserwacje potwierdzają różnice wyników badania densytometrycznego, jakie powstają w zależności od rodzaju stosowanych danych norm wykorzystywanych do ich interpretacji.

W dalszym etapie badań, u dzieci z obniżoną gęstością mineralną i w grupie odniesienia, przeprowadzono analizę funkcjonalną mineralizacji szkieletu zgodnie z metodą opracowaną przez Płudowskiego i Jaworskiego [25]. Wartości średnie i odchylenia standardowe dla wszystkich parametrów niezbędnych do przeprowadzenia tej analizy wyliczono wg. równań zaproponowanych przez tych autorów, a następnie określono wskaźniki Z-score [25]. Tabela 3 zawiera wartości średniej arytmetycznej i odchylenia standardowego wskaźników Z-score badanych parametrów oraz ocenę różnic w tym zakresie pomiędzy grupą z n.m.k. a porównawczą. Stwierdzono niższe średnie wartości wskaźników Z-score dla określonych parametrów densytometrycznych w grupie dzieci z obniżoną masą kostną w porównaniu do grupy odniesienia (za wyjątkiem parametru LBM/BW). Dla większości różnice te były istotne statystycznie.

DBM vs. 0.27 and 0.52, respectively, in the control group.

These observations confirm the presence of differences in densitometry examination results depending on the kind of standardised data used for interpretation.

Subsequently, a functional analysis of skeletal mineralization was carried out in the DBM and control groups according to Płudowski and Jaworski's method [25]. The means and standard deviations for all parameters required for this analysis were calculated using the equations proposed by the aforementioned authors, and then Z-score indices were calculated. Table 3 presents the arithmetic means and standard deviations for Z-score indices of the parameters as well as the significance of differences between the DBM and control groups. We found lower mean Z-score indices for the densitometry parameters in the group with decreased bone mass compared to the controls (with the exception of LBM/BM); the differences were statistically significant in most cases. DBM children frequently demonstrated lower mean content of muscle and adipose tissues. Notably, there was a deficit of muscle mass in relation to body

Tab. 3. Wartości średnich arytmetycznych (odchylenia standardowego) parametrów badania densytometrycznego wyliczonych wg analizy funkcjonalnej jako Z-score, wraz z oceną różnic (wartości p) pomiędzy grupami; różnice istotne statystycznie dla $p < 0,05$

Tab. 3. Arithmetic means (standard deviations) of Z-scores for densitometry parameters according to functional analysis and statistical significance of differences (p values) between groups for $p < 0.05$

	Grupa z n.m.k./ DBM group (n = 149)	Grupa porównawcza/ Control group (n = 99)	Ocena istotności różnic pomiędzy grupami/ Assessment of significance of differences between groups
Parametr/Parameter	Średnia (i odchylenie standardowe) dla Z-score/ Mean (and standard deviation) for Z-score	Średnia (i odchylenie standardowe) dla Z-score/ Mean (and standard deviation) for Z-score	
	Normy wg. wieku/ Reference ranges according to age		
LBM Z-score	-0.45 (2)	-0.15 (5.3)	0.5356
Z-score TBBMC/LBM	-0.65 (6.1)	1.5 (13.1)	0.0833
AP spine BMC/LBM Z-score	-1.02 (1.5)	0.25 (3.9)	<u>0.0004</u>
FM Z-score	-2.25 (1)	-2.2 (1.1)	0.7184
LBM/BW Z-score	0.44 (1.2)	-0.24 (1.8)	<u>0.0003</u>
FM/BW Z-score	-0.35 (2.3)	0.14 (1.5)	0.0618
FM/LBM Z-score	-0.44 (1.6)	0.35 (3.6)	0.0206
	Normy wg. wysokości ciała/ Reference ranges according to body height		
LBM Z-score	0.04 (1.2)	0.4 (1.8)	0.0549
TBBMC/LBM Z-score	-0.37 (7.2)	1.31 (12.2)	0.1759
spine BMC/LBM Z-score	-0.84 (1.6)	0.1 (4.7)	<u>0.0241</u>
FM Z-score	-0.43 (1.5)	0.09 (1.2)	<u>0.005</u>
LBM/BW Z-score	0.53 (1.2)	-0.04 (1.6)	0.0014
FM/BW Z-score	-0.45 (2)	0.03 (1.5)	0.0446
FM/LBM Z-score	-0.5 (1.4)	0.29 (4.2)	<u>0.0332</u>
	Normy wg. masy ciała/ reference ranges according to body weight		
LBM Z-score	0.55 (1.1)	0.12 (1.5)	<u>0.0091</u>
Z-score TBBMC/LBM	-0.79 (6)	0.97 (10)	<u>0.0348</u>
FM Z-score	-0.34 (2.5)	-0.14 (1.6)	<u>0.0486</u>
LBM/BW Z-score	-0.65 (1.2)	-1.2 (2.3)	0.0141
FM/BW Z-score	-0.41 (1.1)	-0.05 (1.4)	<u>0.0275</u>
FM/LBM Z-score	-0.45 (1.5)	0.21 (5)	0.1325

Dzieci z obniżeniem gęstości mineralnej kośćca charakteryzowały się mniejszą średnią zawartością tkanki mięśniowej i tłuszczowej, przy czym zwracał uwagę niedobór masy mięśniowej w stosunku do wysokości ciała, co według założeń teorii mechanostatu wskazuje na osłabienie tkanki mięśniowej i w konsekwencji prowadzi do obniżonego gradientu obciążeń generowanych ze strony mięśni wobec kości. W grupie z n.m.k. obserwowano także niższe wartości parametru Z-score TBBMC/LBM, który ocenia adaptację biomechaniczną tkanki kostnej do obciążeń ze strony tkanki mięśniowej. Jednocześnie jest to tzw. indeks wytrzymałości mechanicznej kości. Obniżenie tego parametru świadczy o większej podatności kośćca na złamanie u dzieci z gęstością mineralną poniżej normy.

DYSKUSJA

Interpretacja wyników badań densytometrycznych (DXA) u dzieci i młodzieży jest problemem złożonym, głównie ze względu na procesy wzrastania i dojrzewania [25]. Klasyczne dane normatywne w wieku rozwojowym są opracowywane w zależności od wieku, jednak niektóre cechy szkieletu zależą w dużej mierze także od rozmiarów ciała. Dane normatywne u dzieci i młodzieży są często przedstawiane w postaci średniej i odchylenia standardowego w poszczególnych grupach wiekowych (tzw. dane skategoryzowane). Są one łatwe do zastosowania, stwarzają jednak problemy interpretacyjne wówczas gdy pacjent osiąga wiek w pobliżu granicy przedziału wartości tych danych, wówczas to nawet niewielkie różnice w terminach kolejnych badań powodują zakwalifikowanie go do innej grupy wiekowej (np. z 11,9 do 12,1 lat), co może spowodować znaczne różnice w interpretacji wyników. Metodą uniknięcia tych trudności i usunięcia błędów w interpretacji jest opracowanie norm w postaci ciągłej, które umożliwiają dokładne odnoszenie wyników badań do wartości referencyjnych i płynne obliczanie wartości Z-score wówczas, gdy z powodu wieku pacjenta zastosowane były dane z granicy przedziału wartości. W prezentowanej pracy u wszystkich dzieci dokonano *oceny gęstości mineralnej kośćca z zastosowaniem norm ciągłych* opracowanych przez Płudowskiego i Jaworskiego [25]. Ich zastosowanie pozwoliło ograniczyć wpływ rozmiarów ciała i wieku na wynik badania densytometrycznego. Analiza uzyskanych przez nas wyników wykazała, iż część dzieci z obniżoną masą kostną rozpoznaną na podstawie norm klasycznych, nie spełniała już kryteriów jej rozpoznania po zastosowaniu norm ciągłych. Z kolei u niektórych dzieci z grupy odniesienia stwierdzono obniżenie badanych

height, which according to the assumptions of the mechanostat theory indicates weakening of muscle tissue and consequently leads to diminished gradient of muscle-generated load on bones. The DBM group was also characterized by a lower TBBMC/LBM Z-score, which is a marker of bio-mechanical adaptation of bone tissue to muscle-generated strains and is also referred to as bone mechanical endurance index. Decreased values of this parameter indicated greater susceptibility of bone tissue to fractures in children with reduced bone mineral density.

DISCUSSION

The interpretation of DXA data in children and young people is a complex problem, mainly due to processes of growth and maturation that their bodies are going through. Classic reference ranges for children and adolescents depend on age, but some skeletal attributes are also related to body size. Reference ranges in children and young people are often presented as means and standard deviations in particular age groups (so called categorized data). While they are easy to apply, they pose interpretation problems when a patient reaches an age near the limit of a range. Then even slight differences in dates of examination can result in qualification into different age groups (i.e. from 11.9 to 12.1 years), which can cause significant differences in interpretation of the results [26]. Such problems can be avoided by applying continuous standards, which allow precise comparison of test results to reference values and continuous calculation of Z-score values, when data from a limit of a value range are applied because of a patient's age. In our study, bone mineral density in all children was assessed using continuous variables proposed by Jaworski and Płudowski [25]. The use of this their method allowed reducing the effect of body size and age on densitometry test results. Analysis of the results showed that some children with reduced bone mass diagnosed using classic reference ranges did not meet the criteria after application of continuous variables, while some children from the control group had Z-scores below -1.0. Most discrepancies in both groups were found with regard to body mass. Our analysis demonstrated inadequacy of classic reference ranges and confirmed the necessity of taking body dimensions into consideration while assessing DXA results. Therefore, the reference data proposed

parametrów Z-score $< -1,00$, przy czym w obu grupach najwięcej niezgodności stwierdzono w odniesieniu do masy ciała. Przeprowadzona ocena dowiodła niedoskonałości norm klasycznych i potwierdziła konieczność uwzględnienia wymiarów ciała w ocenie wyników badania DXA. A zatem zaproponowane przez Płudowskiego i Jaworskiego dane normatywne wydają się być bardzo przydatne i mogą mieć ogromne znaczenie praktyczne w diagnostyce zaburzeń mineralizacji kości w wieku rozwojowym. Opracowane przez wymienionych autorów normy ciągle posłużyły także do przeprowadzenia analizy funkcjonalnej zależności mięsień-kość. W prezentowanych badaniach wykazano, iż LBM silnie koreluje z parametrami antropometrycznymi, a głównym czynnikiem determinującym wartości tego wskaźnika jest wysokość ciała. Nasze spostrzeżenia potwierdzają badania innych autorów, z których wynika, że jeżeli u badanego pacjenta masa tkanki mięśniowej będzie niższa od oczekiwanej dla jego wysokości ciała, to można założyć, że obciążenia ze strony mięśni są zbyt małe [23,24,27,28]. W niektórych doniesieniach udowodniono również zależność pomiędzy masą tkanki kostnej a LBM, na przykładzie m.in. badań pacjentów z dystrofią mięśniową czy unieruchomionych [24]. Z kolei jeżeli wartość TBBMC będzie niższa od oczekiwanej dla tkanki mięśniowej, to można przyjąć, że wytrzymałość kości nie jest adekwatna do obciążeń generowanych ze strony mięśni, co skutkuje podwyższonym ryzykiem złamania [23,24]. Przydatność takiej analizy funkcjonalnej i względnego indeksu wytrzymałości kości zweryfikowano w przebiegu chorób z towarzyszącymi złamaniami [25]. W niniejszej pracy stwierdzono, iż u dzieci z n.m.k. (parametry Z-score < -1) nieco częściej niż u dzieci z g.p. występowały nieprawidłowości w składzie ciała, zwłaszcza po zastosowaniu norm wg. wieku. Jednocześnie odnotowano u nich mniejszą średnią zawartość tkanki tłuszczowej i mięśniowej oraz wspomniany już wcześniej niedobór tkanki mięśniowej w stosunku do wysokości ciała, co prowadzi do zbyt słabych obciążeń szkieletu ze strony mięśni i sprzyja niższej gęstości mineralnej kości. Jest to zgodne z wnioskami z badań szeregu autorów, którzy podkreślają korzystny wpływ obciążenia mechanicznego oraz dobrego stanu odżywienia na masę kostną, zwracając także uwagę na wzajemne zależności pomiędzy tkanką tłuszczową, mięśniową i kostną [10,11]. Jednocześnie wyniki uzyskane w naszych badaniach są zgodne z obserwacjami Płudowskiego, Hogler'a i Crabtree, którzy postulują wykorzystanie opisanych wyżej zależności w celach diagnostycznych w oparciu o teorię Frost'a [24,25,29]. W myśl tych założeń, obecność sarkopenii (niedoboru tkanki mięśniowej w stosunku

by Jaworski and Płudowski seem to be effective and can have immense practical significance in diagnosing bone mineralization disorders in children and adolescents [25]. Continuous reference ranges developed by Jaworski and Płudowski were also used to perform a functional analysis of the bone-muscle relationship. We found that LBM was strongly correlated with anthropometric parameters and the main factor which determined their values was body height. Our results confirm other authors' observations showing that when a patient's muscle tissue mass is lower than expected for a given body height, it can be assumed that muscle-generated strains are too low [23,24,27,28]. An association between bone mass and LBM has also been found in other studies, among others, in muscular dystrophy sufferers and immobilized patients [24]. On the other hand, when the TBBMC value is lower than expected for muscle tissue, it can be assumed that bone tissue endurance does not adequately match muscle-generated strains, which results in greater risk of fractures [23,24]. The utility of such functional analysis and of a relative index of bone endurance was verified in diseases associated with fractures [25]. The present study found that body composition abnormalities were slightly more frequent in DBM children (Z-score < -1.0) than in the control group, especially when age-dependent reference ranges were used. Additionally, those children had lower mean content of adipose and muscle tissue and a deficiency in muscle tissue in relation to body height, as described above, which led to weakening of the muscle-generated strains on the skeleton and resulted in lower bone mineral density. This is in accordance with results obtained by many authors who emphasize beneficial effects of mechanical strain and good nutrition on bone mass, while also pointing out mutual relations between adipose, muscle and bone tissues [10,11]. The results of our study are also consistent with observations made by Płudowski, Hogler and Crabtree, who postulated using these relations for diagnostic work-up based on Frost's theory [24,25,29]. According to those assumptions, the presence of sarcopaenia (inadequate muscle tissue content for body height) represents an important risk factor for abnormal skeletal growth and consolidation [30]. Moreover, we found lower values of the TBBMC/LBM Z-score, whose decrease, according to functional analysis, is evidence of poor skeletal adaptation to strains generated by muscles and therefore greater susceptibility to fractures [26]. Crabtree et al. made similar observations in British children with fractures and Płudowski et al. found likewise in children with idiopathic juvenile osteoporosis [24,29]. A notable finding in the control group was a greater

do wysokości ciała) stanowi istotny czynnik ryzyka dla nieprawidłowego wzrostu i konsolidacji szkieletu [30]. Ponadto stwierdziliśmy niższe wartości parametru Z-score TBBMC/LBM, którego obniżenie wg. analizy funkcjonalnej świadczy o braku adaptacji szkieletu do obciążeń generowanych przez mięśnie, a przez to większej podatności kości na złamania [26]. Podobne obserwacje poczynił Crabtree i wsp. u brytyjskich dzieci ze złamaniami oraz Płudowski i wsp. u dzieci z młodzieńczą osteoporozą idiopatyczną [24,29]. W grupie odniesienia zwracał uwagę jedynie większy niedobór tkanki mięśniowej w stosunku do masy ciała, ale korzystniejszy był stosunek tkanki tłuszczowej do tkanki mięśniowej. Można zatem stwierdzić, że dla poprawy masy mięśniowej, dzieci z grupy porównawczej także wymagają zwiększenia aktywności fizycznej, pomimo iż analiza składu ciała wykazała u nich mniejsze nieprawidłowości aniżeli w grupie z n.m.k. Podsumowując należy stwierdzić, że przeprowadzone badania potwierdziły wzajemną zależność tkanki mięśniowej i kostnej oraz związek niskiej masy kostnej z sarkopenią. Należy podkreślić ważną rolę badania densytometrycznego jako obiektywnej oceny również składu ciała w wieku rozwojowym. Dokonana w niniejszym opracowaniu analiza funkcjonalna sugeruje, że zbyt słabe obciążenie szkieletu przez układ mięśniowy może prowadzić do występowania obniżonej gęstości mineralnej, a przy braku prawidłowej adaptacji układu kostnego do obciążeń generowanych przez mięśnie, może także zwiększać podatność kości na złamania.

WNIOSKI

1. Analiza funkcjonalna, która wykazała zależność pomiędzy tkanką kostną i mięśniową, może być przydatna do diagnostyki i monitorowania zaburzeń układu kostnego, a także może mieć zastosowanie dla podjęcia decyzji terapeutycznych.
2. Przeprowadzone badania podkreślają rolę prawidłowego odżywienia i aktywności fizycznej warunkujących właściwy skład ciała, w profilaktyce zaburzeń mineralizacji kości w wieku rozwojowym.
3. W pracy wykazano niedoskonałość klasycznych danych normatywnych używanych do interpretacji wyników badania DXA u dzieci oraz potwierdzono przydatność do tego celu norm ciągłych.

PIŚMIENNICTWO / REFERENCES

1. Pitukcheewanont P, Austin J, Chen P, Punyasavatsut N. Bone health in children and adolescents: risk factors for low bone mass. *Pediatr Endocrinol Rev.* 2013; 10: 318-35.
2. Matusik E, Durmała J, Matusik P, Piotrowski J. Evaluation of nutritional status of children and adolescents with idiopathic scoliosis-a pilot study. *Ortop Traumatol Rehabil* 2012; 14: 351-62.

deficit of muscle tissue in comparison to body mass, but the adipose/muscle tissue ratio was more beneficial. It can be therefore postulated that children from the control group also needed to increase physical activity to improve muscle mass, although body composition analysis showed less irregularities in those children compared to DBM patients. To conclude, our study confirmed the mutual relationship between muscle and bone and a connection between low bone mass and sarcopaenia. A vital role of densitometry as an objective method for assessing body composition in children and adolescents needs to be emphasized. The functional analysis presented in this paper suggests that insufficient strain exerted on the skeleton by the muscle system can lead to lower mineral density and can also increase susceptibility of bones to fractures when it is accompanied by lack of proper adaptation of the skeletal system to muscle-generated strains.

CONCLUSIONS

1. Functional analysis, which showed associations between bone and muscle tissues, can be useful for diagnosing and monitoring skeletal system disorders as well as making therapeutic decisions.
2. The study emphasizes the role of proper nutrition and physical activity as determinants of proper body composition in the prevention of bone mineralization disorders in children and adolescents.
3. The study demonstrated the inadequacy of classic reference ranges in interpreting DXA results in children and proved the usefulness of continuous variables for that purpose.

3. Schonau E, Neu C, Rauch F, Manz F. The development of bone strength at the proximal radius during childhood and adolescence. *J. Clin. Endocrinol. Metab.* 2001; 86: 613-8.
4. Ferrari S, Bianchi ML, Eisman JA, et al. IOF Committee of Scientific Advisors Working Group on Osteoporosis Pathophysiology. Osteoporosis in young adults pathophysiology, diagnosis, management. *Osteoporos Int.* 2012; 23: 2728-35.
5. Seeman E, Delmas PD. Bone quality- the material and structural basis of bone strength and fragility. *N. Engl. J. Med.* 2006; 354: 2250-61.
6. El Hage R, El Hage Z, Jacob C, Moussa E, Theunynck D, Baddoura R. Bone mineral content and density in overweight and control adolescent boys. *J Clin Densitom.* 2011; 14: 122-8.
7. Ivuskans A, Maestu J, Jurimae T, et al. Sedentary time has a negative influence on bone mineral parameters in peripubertal boys; a 1-year prospective study. *J Bone Miner Metab.* 2014; Feb 19.
8. Ivuskans A, Latt E, Maestu J, Saar M, et al. Bone mineral density in 11-13-year-old boys: relative importance of the weight status and body composition factors. *Rheumatol Int.* 2013; 33: 1681-7.
9. Gower BA, Casazza K. Divergent effects of obesity on bone health. *J Clin Densitom.* 2013; 16: 450-4.
10. Streeter AJ, Hosking J, Metcalf BS, Jeffery AN, Voss LD, Wilkin TJ. Body fat in children not adversely influence bone development a 7-year longitudinal study. *Pediatr Obes.* 2013; 8: 418-27.
11. Konstantynowicz J, Piotrowska-Jastrzębska J, Kaczmarski M, Łuczyński W. Ocena dynamiki przyrostu masy kostnej w okresie pokwitania. *Przeg. Pediatr.* 1997; 1: 32-6.
12. Franzoni E, Ciccarese F, Di Petro E, et al. Follow-up of bone mineral density and bone composition in adolescents with restrictive anorexia nervosa; role of dual-energy X-ray absorptiometry. *Eur J Clin Nutr.* 2014; 68: 247-52.
13. Dytfeld J, Horst-Sikorska W. Metabolic syndrome and bone. *Endokrynol Pol.* 2009; 60: 476-82.
14. Jurimae J, Rembel K, Jurimae T, Rehand M. Adiponectin is associated with bone mineral density in perimenopausal women. *Horm. Metab. Res.* 2005; 37: 297-302.
15. Helba M, Binkovitz LA. Pediatric body composition analysis with dual-energy X-ray absorptiometry. *Pediatr. Radiol.* 2009; 39: 647-56.
16. Compston JE, Bhambhani M, Laskey MA, Murphy S, Khaw KT. Body composition and bone mass in post-menopausal women. *Clin Endocrinol* 1992; 37: 426-31.
17. Ackerman A, Thornton JC, Wang J, Pierson RN, Horlick M. Sex difference in the effect of puberty on the relationship between fat mass and bone mass in 926 healthy subjects, 6 to 18 years old. *Obesity* 2006; 14: 819-25.
18. Salomone LM, Glynn N, Black D, et al. Body composition and bone mineral density in premenopausal and early perimenopausal women. *J Bone Miner Res.* 1995; 10: 1762-8.
19. Goulding A, Grant AM, Williams SM. Bone and body composition of children and adolescents with repeated forearm fractures. *J Bone Miner Res.* 2005; 20: 2090-6.
20. Frost HM. Bone "mass" and the "mechanostat": a proposal. *Anat Rec.* 1987; 219: 1-9.
21. Rauch F, Neu CM, Wassmer G, Beck B, Rieger-Wettengl G, Rietschel E. Muscle analysis by measurement of maximal isometric grip force: new reference data and clinical applications in pediatrics. *Pediatr. Res.* 2002; 51: 505-10.
22. Schonau E, Frike O. Mechanical influences on bone development in children. *Eur J Endocrinol.* 2008; 159: 27-31.
23. Hogler W, Briody J, Woodhead HJ, Chan A, Cowell CT. Importance of lean body mass in the interpretation of total body densitometry in children and adolescents. *J Pediatr* 2003; 143: 81-8.
24. Crabtree NJ, Kibirige MS, Fordham JN, Banks LM, Muntoni F, Chinn D. The relationship between lean body mass and bone mineral content in pediatric health and disease. *Bone* 2004; 35: 965-72.
25. Jaworski M, Płudowski P. Specyfika interpretacji wyników badań densytometrycznych gęstości kości i składu tkanek miękkich u dzieci i młodzieży- skategoryzowane i ciągłe normy mechanostatu. *Standardy Medyczne /Pediatria* 2009; 6: 292-303.
26. Jaworski M, Płudowski P. Precision Errors, Least Significant Change, and Monitoring Time Interval in Pediatric Measurements of Bone Mineral Density, Body Composition, and Mechanostat Parameters by GE Lunar Prodigy. *J. Clin. Densitom.* 2013; 16: 562-9.
27. Ho-Pham LT, Nguyen UD, Nguyen TV. Association between lean mass, fat mass, and bone mineral density: a meta-analysis. *J Clin Endocrinol Metab.* 2014; 99: 30-8.
28. Kang D, Liu Z, Wang Y, et al. Relationship of body composition with bone mineral density in northern Chinese men by body mass index levels. *J Endocrinol Invest.* 2014; Jan 30.
29. Płudowski P, Matusik H, Lebedowski M. Idiopathic juvenile osteoporosis – an analysis of the muscle-bone relationship. *Osteoporosis Int.* 2006; 17: 1681-90.
30. Frost HM, Schonau E. „The muscle-bone unit“ in children and adolescents. *J. Pediatr. Endocrinol. Metab.* 2000; 13: 571-90.

Liczba słów/Word count: 6599

Tabele/Tables: 3

Ryciny/Figures: 0

Piśmiennictwo/References: 30

Adres do korespondencji / Address for correspondence

Joanna Golec

91-738 Łódź, ul. Sporna 36/50, Poland

Tel., fax: +48 42 61777715, e-mail: joanna.golec@umed.lodz.pl

Otrzymano / Received

10.08.2013 r.

Zaakceptowano / Accepted

20.12.2013 r.