

高校生における腰椎および大腿骨近位部骨密度と
その決定要因の縦断的研究
— 中学・高校期のスポーツ活動に焦点をあてて —

京都教育大学 中 比呂志
(共同研究者) 近畿大学 伊木雅之
同 森田明美
同 玉置淳子
同 池田行宏

**A Longitudinal Study on Bone Mineral Density at Lumbar Spine and
Total Hip and its Determinants in Japanese Adolescents
— Focus on Sports Activity at Junior High School and High School —**

by

Hiroshi Naka

Kyoto University of Education

Masayuki Iki, Akemi Morita, Junko Tamaki and Yukihiro Ikeda

Department of Public Health,

Kinki University School of Medicine

ABSTRACT

Aim: Puberty is considered to be an important growth period with major changes in both lifestyle and the acquisition of peak bone mass. At present, there is a lack of quantitative and qualitative information concerning those topics in Japanese children and adolescents. The purpose of the present study was to clarify associations between sports activity in junior high school and high school, and bone mineral density (BMD) and the rate of change in BMD at the lumbar spine and total hip in high school age.

Methods: For 160 third grade students of high school in Kyoto, Japan, we measured

BMD by DXA (QDR4500, Hologic) at the lumbar spine (L2-L4) and total hip, height, weight and grip strength (follow up study) . Past and present history of illness, lifestyle factors such as dietary calcium intake and exercise habits, and information on maturity were obtained from detailed interviews. The same variables were examined in the first grade, 2 years before (baseline study) . We analyzed 156 third grade students (75 boys and 81 girls) who had no disease and were not on medication affecting bone metabolism.

Results: There was significant increase in BMD at the lumbar spine (boys: 4.2%/yr, girls: 1.4%/yr) and total hip (boys: 4.1%/yr, girls: 2.7%/yr) in both genders, but the annual change rates of BMD in high school decreased in comparison with junior high school age. When BMD and the annual change rates in BMD was adjusted for weight and maturity by the analysis of covariance, the boys and girls with more sports active lifestyle in their junior high school and high school age showed greater BMD of spine and hip at baseline and follow up. In multiple regression analyses, sports activity in their junior high school and high school had a significant positive independent effect on BMD at baseline and follow up of both genders and the annual change rates in BMD of girls at both skeletal sites.

Conclusions: Although there was significant increase in BMD at the lumbar spine and total hip in both genders, it was suggested that the peak of the increase in BMD passed in the high school age. Sports activity in junior high school and high school age was the important determinant of bone development in adolescents.

要 旨

骨粗鬆症の予防策は思春期において骨量を高めおくことと、閉経後の骨量減少をできるだけ少なくすることである。しかし、これまでの対策は後者に重点がおかれ、前者に対しては対策が遅れているのが現状である。そこで、本研究では、高校1年時から3年時にかけての縦断的資料を用いて、この時期における骨密度の変化と骨量増加に影響する要因について検討した。高校3年生160名に対して骨密度測定を実施した。受診者は高校1年時にも同様の調査に参加していた。解析は、骨代謝に影響する疾患や服薬の既往のない生徒156名(男子:75名,女子:81名)に対して行

った。骨密度は腰椎と大腿骨近位部をDXA(Hologic社製QDR-4500A)にて測定し、身長、体重および握力の測定を行うとともに、第二次性徴の発来状況(男子:発毛,女子:初経)、既往歴、Lifestyle等の聞き取り、食品群別摂取頻度調査によるCa摂取量の推定を行った。高校期の年間平均変化率は男子で腰椎4.2%、大腿骨近位部4.1%、女子では腰椎1.4%、大腿骨近位部2.7%であり、男女とも骨密度は有意に増加した。しかし、高校期では骨量増加のピークが過ぎたことが示唆され、第二次性徴の発来を迎える小学校高学年からの継続的な対策の必要があると考えられた。さらに、この時期の骨密度に対しては中学期および高校期のスポーツ活動が強い正の独立した影響

を及ぼしており、この時期のスポーツ活動は骨密度を上昇させる重要な要因であることが明らかとなった。

緒言

骨粗鬆症の予防策は思春期において骨量を高めておくことと、閉経後の骨量減少をできるだけ少なくすることである。しかし、これまでの対策は後者に重点がおかれ、前者に対してはほとんど手がつけられていないのが現状である。

近年、最大骨量 (peak bone mass: PBM) の最大化が将来の骨粗鬆症の予防にとって重要である¹⁻⁴⁾と認識され始め、思春期から若年成人期の骨密度に影響する要因について研究が進められている⁵⁻¹²⁾。しかし、日本人の子ども達を対象とした研究の多くは、定量的超音波法による踵骨の測定がほとんどで、X線を用いた研究においても橈尺骨骨密度を測定したのが見られるだけである¹³⁾。さらに、より重要な中軸骨骨密度を評価したものは病院ベースの研究に限られ³⁾、地域集団を対象にしたものは非常に少ない¹⁴⁾。大腿骨近位部の peak bone mass は10歳代で獲得されるとの報告¹⁵⁾もあり、この時期のより高い peak bone mass の獲得は小児の骨折の予防と共に、将来の骨粗鬆症に対する重要な予防策の一つであると考えられる^{1,16)}。

特に、身体活動は骨密度の獲得や維持にとって重要な修正可能要因である¹⁷⁾。しかしながら、近年、日本の子ども達は、運動するものとしなないものとの二極化やスポーツ離れが指摘されている¹⁸⁾。このような状況の中、思春期の子ども達の骨量の現状とその変化の実態を明らかにし、骨量獲得期にできるだけ高いPBMを獲得させるための方策を早急に検討する必要がある。

そこで、本研究では、疫学的知見が極めて乏しい最大骨量獲得期にあたる高校生の腰椎および大腿骨近位部の骨密度の変化の様相を明らかにする

とともに、中学および高校期におけるスポーツ活動とこの時期の骨量増加との関係を追跡調査研究の縦断的資料から検討する。

1. 研究方法

1.1 対象者

京都市の私立高等学校に在籍する高校3年生160名に対して骨密度測定を実施した。受診者は高校1年時にも同様の調査に参加していた。解析には、骨代謝に影響する疾患や服薬の既往のない生徒156名(男子:75名,女子:81名)を用いた。本研究は、近畿大学医学部倫理委員会から承認され、受診者本人および保護者からは事前に書面による承諾を得た。

1.2 身長、体重、握力および骨密度測定

身長および体重は自動身長体重計(竹井科学社製TK-11868h)を用い、body mass index (BMI, kg/m²)を計算した。握力はストレインゲージデジタル握力計(竹井科学社製T.K.K.5401)を用いて測定した。骨密度は腰椎(L2-L4)と右大腿骨近位部をバス搭載型Hologic社製QDR-4500Aを用いてdual-energy X-ray absorptiometryにて測定した。

1.3 質問紙および聞き取りによる調査

本人および保護者に対して、骨代謝に影響する既往歴および服薬歴、第二性徴の発来状況(男子:発毛,女子:初経)、乳製品の摂取状況や中学期および高校期のスポーツ活動状況等のLifestyleについて質問紙調査を実施し、骨密度測定当日に保健師が一定の様式に従って聞き取り調査を行った。さらに、カルシウム摂取量については食品群別摂取頻度調査を用い、栄養士による聞き取り調査からCa摂取量の推定を行った。

1.4 統計解析

中学期および高校期（高校1年から高校3年7月までの期間）のスポーツ活動は、体育の時間を除いた活動（学校運動部活動、地域のスポーツクラブやスイミングスクール等の学校外でのスポーツ活動）とし、週当たりの活動頻度、1回当たりの活動時間および活動期間からそれぞれの期間の総スポーツ活動時間を算出した。また、高校1年時（baseline）および3年時（follow up）の骨密度測定値から1年間当たりの骨密度変化率を求めた。高校1年時から3年時にかけての身体的変化および骨密度変化については、対応のあるt検定を用いて検討した。次に、baselineでの骨密度を従属変数、baseline時点での体重、中学期のスポーツ活動時間、第二次性徴発来時期（男子：発毛、女子：初経）を独立変数として重回帰分析を行った。さらに、follow up時点での骨密度および高校1年時から高校3年時にかけての1年間当たりの骨密度変化率を従属変数、follow up時点での体重、高校期のスポーツ活動時間、第二次性徴発来時期を独立変数として重回帰分析を行い、この時期の骨密度獲得に影響する要因について検討した。

2. 結果

2.1 受診者の身体的特性

受診者のbaseline（高校1年）時とfollow up

（高校3年）時の体格を比較した結果、男女ともfollow up時において身長、体重、BMIおよび握力が有意に高い値を示した（表1）。

2.2 骨密度変化

follow up時の骨密度は男女とも腰椎および大腿骨近位部の両部位において有意に増加し、年間平均変化率は男子で腰椎4.2%、大腿骨近位部4.1%、女子では腰椎1.4%、大腿骨近位部2.7%であった。

2.3 スポーツ活動時間およびカルシウム摂取量

スポーツ活動時間に関して、男子では中学期に比較して高校期において活動時間が増加する傾向にあった。女子に関しては中学期に比較して高校期にスポーツ活動時間が減少する傾向が認められた。中学校期に学校部活動に参加していた生徒（途中で退部した生徒も含む）は男子89.3%、女子71.6%であったが、高校期での部活動参加率は男子82.7%、女子45.7%であり、高校期では女子の部活動参加率が大きく減少する傾向にあった。

カルシウム摂取量に関しては、この時期1日に700-900mgの摂取が推奨されている¹⁹⁾が、男女とも700mgを下回った。baseline時とfollow up時の値に有意な変化は認められなかった。カルシウ

表1 Characteristics of participants at commencement of the baseline study and at the 2-year follow up

Variables	Boys		Girls	
	Baseline	Follow up	Baseline	Follow up
Number of subjects	75	75	81	81
Age (years)	15.8 (0.3)	17.8 (0.3)***	15.9 (0.3)	17.9 (0.3)***
Height (cm)	170.1 (6.1)	171.7 (6.0)***	159.2 (4.9)	159.6 (5.0)***
Weight (kg)	57.5 (8.0)	61.3 (7.3)***	48.9 (5.0)	50.4 (4.7)***
Body mass index (kg/cm ²)	19.8 (2.3)	20.8 (2.1)***	19.8 (1.7)	19.3 (2.0)***
Grip strength ^a (kg)	36.3 (5.4)	40.1 (5.4)***	24.2 (3.9)	25.5 (4.1)***
Calcium intake (mg/day)	693.4 (244.4)	682.5 (260.7)	597.5 (235.9)	603.6 (237.0)
Sports activity in JHS ^b (hours)	1440.1 (862.8)		1242.9 (929.1)	
Physical activity in HS ^c (hours)		1523.7 (1064.3)		1032.8 (1178.3)
BMD at lumbar spine (g/cm ²)	0.951 (0.123)	1.029 (0.130)***	0.953 (0.099)	0.979 (0.102)***
BMD at total hip (g/cm ²)	0.972 (0.118)	1.050 (0.126)***	0.900 (0.113)	0.948 (0.123)***

Note: Values are mean (SD), ***:p<0.001; Significant Difference between baseline and follow up measures by paired t-test.

^a: Average value of both hands, ^{b,c}: total hours of sports activity in JHS (junior high school) or HS (high school) aside from physical education classes, respectively.

ム摂取量と各部位の骨密度との相関係数を算出した結果、男子では有意な相関係数は認められなかった。女子ではbaseline時およびfollow up時において大腿骨近位部骨密度との間に有意 ($p<0.05$) な相関係数が認められた。

2. 4 骨密度とスポーツ活動

体重および第二次性徴の発来時期を調整して、baseline時の腰椎および大腿骨近位部骨密度をスポーツ活動時間群別に比較した結果 (図1)、女子の腰椎骨密度を除いてスポーツ活動時間が長い生徒で有意に大きな骨密度を示した。さらに、骨密度に対する体重、スポーツ活動および第二次性徴の複合的な要因を重回帰分析によって検討した結果 (表2)、男子ではbaseline時の骨密度に対して体重、中学期のスポーツ活動時間および第二次性徴の発来時期に有意な正の標準偏回帰係数を示した。女子では体重および中学期のスポーツ活動時間に有意な正の標準化偏回帰係数が認められ

た。次に、体重および第二次性徴の発来時期を調整して、follow up時の腰椎と大腿骨近位部骨密度および年間変化率をスポーツ活動時間群別に比較した結果 (図2)、男女ともスポーツ活動時間が長い生徒で有意に大きな骨密度を示した。年間変化率に関しては女子の大腿骨近位部においてのみ有意差が認められ、男女ともfollow up時のスポーツ活動時間が長い生徒において大腿骨近位部の骨密度変化率が高い傾向にあった。また、重回帰分析の結果 (表3)、follow up時の骨密度に関しては男女とも体重 (男子腰椎除く)、高校期のスポーツ活動時間で有意な標準化偏回帰係数を示した。baselineからfollow up時への変化率に関しては男女とも第二次性徴の発来時期に有意な負の回帰係数が見られ、女子ではスポーツ活動時間に正の有意な偏回帰係数を示した。

3. 考 察

より高いPBMを獲得することが骨粗鬆症の予

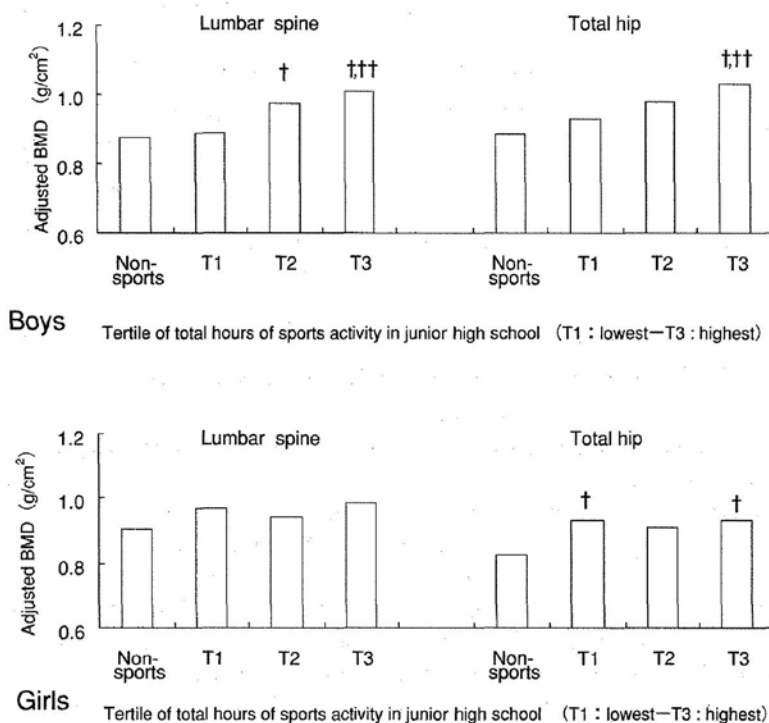


図1 Relationship between BMD at baseline and sports activity in junior high school adjusted for weight and pubertal development. BMD was adjusted for weight and pubertal development. Total hours of sports activity in junior high school were divided into tertiles (T1-T3). Mean values and SD of total hours of sports activity in tertiles were shown (in hours): T1 [Boys: 772.5 ± 386.5, Girls: 959.7 ± 380.5], T2 [Boys: 1500.1 ± 154.5, Girls: 1590.1 ± 156.9], T3 [Boys: 2465.2 ± 504.8, Girls: 2435.9 ± 343.1]. † or ††: Significantly different of BMD at baseline from non-sports activity or the lowest sports activity tertile (T1), respectively, at $p<0.05$ by Bonferroni's method.

表2 Standardized partial regression coefficients in the multiple linear regression models of BMD at baseline on weight, sports activity in junior high school and pubertal development

Independent variables	Boys		Girls	
	Lumbar spine	Total hip	Lumbar spine	Total hip
Weight at baseline	0.328**	0.361***	0.304**	0.404***
Sports activity in HS (hours)	0.384***	0.397***	0.270*	0.340**
Pubertal onset grade ^a				
JH2-3 (reference)	0	0	0	0
JH1	0.213	0.229*	-0.026	0.035
E6	0.114	0.087	0.158	0.078
E3-E5	0.244*	0.275*	0.193	0.104
p-value for trend of pubertal effect	ns	ns	ns	ns
R ² (adjusted)	0.338***	0.412***	0.167**	0.237***

E3, E4, E5, E6: 3rd, 4th, 5th or 6th grade of elementary school.

JH1, JH2, JH3: 1st, 2nd or 3rd grade of junior high school. ***: p<0.001, **: p<0.01, *: p<0.05.

^a: Pubertal onset grade JH2-3 was coded with 0 as the reference point.

Each pubertal onset grade was coded as 1 for its dummy variable.

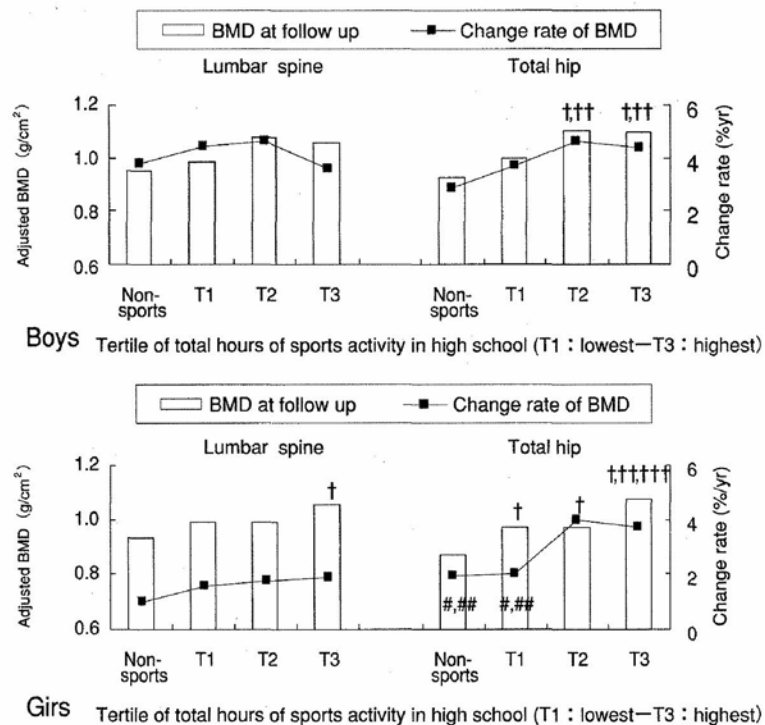


図2 Relationship between BMD at follow up and change rate of BMD and sports activity in high school adjusted for weight and pubertal development

BMD and change rate of BMD were adjusted for weight and pubertal development. Total hours of sports activity in high school were divided into tertiles (T1-T3). Mean values and SD of total hours of sports activity in tertiles were shown (in hours): T1 [Boys: 653.9 ± 380.0, Girls: 556.6 ± 449.1], T2 [Boys: 1665.7 ± 287.2, Girls: 2033.0 ± 165.4], T3 [Boys: 2845.1 ± 441.1, Girls: 2852.2 ± 321.2]. †, ††, or †††: Significantly different of BMD at follow up from non-sports activity, the lowest sports activity tertile (T1) or the middle sports activity tertile (T2), respectively, at p<0.05 by Bonferroni's method. # or ##: Significantly different at change rate of BMD from the highest sports activity tertile (T3) or the middle sports activity tertile (T2), respectively, at p<0.05 by Bonferroni's method.

防にとって重要であるとの認識が高まり、海外では子ども達に対するカルシウムサプリメントのトライアルが行われている^{16, 20, 21}。しかし、日本においてはこのようなトライアルは行われておら

ず、将来の骨粗鬆症予防にとってより重要な部位である中軸骨に関してPBMに影響する要因を検討した研究は非常に少ない^{22, 23}。本研究は、縦断的な資料を用いて日本の高校期における子ども

表3 Standardized partial regression coefficients in the multiple linear regression models of BMD at the follow up and annualized percent change on weight, sports activity in high school and pubertal development

Independent variables	Boys				Girls			
	Dependent variable:		Dependent variable:		Dependent variable:		Dependent variable:	
	BMD at follow up	Annualized percent change in BMD	BMD at follow up	Annualized percent change in BMD	BMD at follow up	Annualized percent change in BMD	BMD at follow up	Annualized percent change in BMD
	Lumbar spine	Total hip	Lumbar spine	Total hip	Lumbar spine	Total hip	Lumbar spine	Total hip
Weight at follow up (kg)	0.194	0.261**	-0.157	-0.180	0.278**	0.272**	-0.030	0.003
Sports activity in HS (hours)	0.357**	0.477***	-0.020	0.233	0.383***	0.560***	0.231*	0.470***
Pubertal onset grade ^a								
JH2-3 (reference)	0	0	0	0	0	0	0	0
JH1	0.167	0.149	-0.252	-0.337*	-0.033	0.033	-0.023	-0.034
E6	0.064	0.040	-0.337*	-0.341*	0.200	0.152	-0.235	-0.261*
E3-E5	0.121	0.200	-0.345**	-0.201	0.117	0.089	-0.381**	-0.254*
p-value for trend of pubertal effect	ns	ns	0.002	0.033	ns	ns	0.001	0.009
R ² (adjusted)	0.183**	0.391***	0.108*	0.131*	0.214***	0.368***	0.161**	0.305***

E3, E4, E5, E6: 3rd, 4th, 5th or 6th grade of elementary school. JH1, JH2, JH3: 1st, 2nd or 3rd grade of junior high school.

*** :p<0.001, ** :p<0.01, * :p<0.05. ^a: Pubertal onset grade JH2-3 was coded with 0 as the reference point. Each pubertal onset grade was coded as 1 for its dummy variable.

達の腰椎および大腿骨骨密度の獲得に影響を及ぼす要因を検討した初めての研究である。

中ら²⁴⁾は日本人の中学1年生を対象に中軸骨骨密度の獲得に関する follow up study を実施し、中学1年時から中学3年時にかけての年間変化率は男子で腰椎10.4%, 大腿骨近位部8.6%, 女子で腰椎6.0%, 大腿骨近位部5.3%であったことを報告している。本研究で得られた高校1年から3年にかけての各部位の変化量および変化率は男女とも中学1年から3年にかけて見られた値よりも有意 (p<0.001) に小さく、骨量増加のピークが過ぎたことが示された⁶⁾。本研究では、重回帰分析の結果において第二次的徴の発来時期に有意な負の偏回帰係数が認められ、第二次的徴の発来が早い生徒では骨密度増加率が小さい傾向にあった。また、骨密度に関しても第二次的徴の発来時期は baseline 時において正の独立した影響を示したものの、follow up 時では有意な関係は見られず、第二次的徴の発来による影響が徐々に小さくなっていることが伺える。これまでの研究から、女子では初経の前^{4, 25, 26)}に、男子では発毛の後^{1, 6, 8, 27)}に骨密度の増加がピークを迎えることが報告されている。さらに、近年の研究から20歳前後にPBMが獲得されるとの報告^{28, 29)}がなされて

おり、より高いPBMを獲得するためには第二次的徴の発来を迎える小学校高学年から重点的な対策を継続的に講じる必要がある。

中学期および高校期のスポーツ活動に関しては、男子の変化率を除いて、baseline時、follow up時の骨密度および変化率に対して独立した正の影響を及ぼしていた。特に、高校3年時の骨密度や女子の骨密度変化率に対してはこの期間のスポーツ活動が最も強い正の影響が認められた(表2-3)。また、中学期あるいは高校期に体育の授業以外でほとんどスポーツ活動を行っていない生徒や活動を行っていても活動時間が少ない生徒では有意に低い骨密度および変化率を示しており(図1-2)、この時期のスポーツ活動が骨密度の獲得にとって非常に重要な要因であることが示唆された。特に、発育のピークを過ぎたこの時期において、スポーツ活動が骨密度の獲得に対して最も強い影響を及ぼしていたことは注目すべきことである。

身体活動を調査によってとらえ骨密度との関係を検討した縦断的な観察研究^{30, 31)}や骨密度に及ぼす身体活動の影響を検討した介入研究^{32, 33)}においても、小児から思春期にかけてのスポーツ活動が骨密度を高める効果があることが報告されている。日本の高校生を対象にスポーツ活動と骨密

度の関係を検討した本研究においても同様な結果が得られ、この時期のスポーツ活動が骨密度を上昇させることが明らかとなった。しかしながら、中学期から高校期にかけて学校運動部に所属する生徒は減少する傾向にあり、女子においてその傾向が顕著であった。子ども達のスポーツ離れが指摘され、運動する子どもと運動しない子どもの二極化が顕在化する¹⁸⁾など、子ども達のスポーツ活動は学年が進むごとに減少する傾向にあり、子ども達のスポーツ活動を促進し、維持する方策を早急に検討する必要がある。

また、follow up時の腰椎骨密度を除いて、男女とも体重はbaselineおよびfollow up時の骨密度やその変化率に対して独立した正の影響を及ぼしていた。これまでの多くの研究においても体重は独立した有効な予測変数であることが報告^{5, 8, 11, 34)}されており、本研究においても同様な傾向にあったことから、この時期の適切な体重管理はPBMに対して非常に重要であると考えられる。

本研究においては、運動・スポーツ活動のタイプや強度と骨密度との詳細な検討は行っていない。しかしながら、近年の研究では運動やスポーツ活動のタイプや強度に焦点をあてた研究^{28, 35, 36)}も見られ、weight-bearingな活動がPBMを高めるのに重要との報告³²⁾が見られる。今後はこのような観点から、子ども達の運動・スポーツ活動と骨密度との関係を詳細に検討していきたい。

4. 結 論

中学期および高校期のスポーツ活動は、発育のピークを過ぎたこの時期の骨密度を上昇させる非常に重要な要因であることが明らかとなった。また、高校期では中学期に比較して骨密度の増加量が縮小する傾向にあり、第二次性徴の発来を迎える小学校高学年からの継続的な対策が必要である。さらに、運動やスポーツ活動と共に、体重がこの時期の骨密度に対して正の影響を及ぼしており、

体重を適切に管理する必要がある。

謝 辞

本研究に対して助成を賜りました財団法人石本記念デサントスポーツ科学振興財団に厚く御礼申し上げます。また、通常、学校での大規模な調査には多くの困難を伴います。しかしながら、本調査では各学校とも多くの生徒さんに参加していただきました。この場をお借りし、ご協力いただいた高校生の皆さん、保護者の皆様、諸先生方ならびに天使大学看護栄養学部佐藤裕保先生、医療法人財団東友会および東洋メディック株式会社に心より感謝と敬意を表します。

文 献

- 1) Bonjour J.P., Theintz G., Buchs B., Slosman D., Rizzoli R., Critical years and stages of puberty for spinal and femoral bone mass accumulation during adolescence. *J. Clin. Endocrinol. Metab.* 73, 555-563 (1991)
- 2) Hansen M.A., Overgaard K., Riis B.J., Christiansen C., Role of peak bone mass and bone loss in postmenopausal osteoporosis: 12 year study. *BMJ* 303, 961-964 (1991)
- 3) Takahashi Y., Minamitani K., Kobayashi Y., Minagawa M., Yasuda T., Niimi H., Spinal and femoral bone mass accumulation during normal adolescence: comparison with female patients with sexual precocity and with hypogonadism. *J. Clin. Endocrinol. Metab.* 81, 1248-1253 (1996)
- 4) Sabatier J.P., Guaydier-Souquieres G., Benmalek A., Marcelli C., Evolution of lumbar bone mineral content during adolescence and adulthood: a longitudinal study in 395 healthy females 10-24 years of age and 206 premenopausal women. *Osteoporos Int.* 9, 476-482 (1999)
- 5) Rubin L.A., Hawker G.A., Peltekova V.D., Fielding L.J., Ridout R., Cole D.E., Determinants of peak bone mass: clinical and genetic analyses in a young female Canadian cohort. *J. Bone Miner Res.* 14, 633-643 (1999)

- 6) Theintz G., Buchs B., Rizzoli R., Slosman D., Clavien H., Sizonenko P.C., Bonjour J.P., Longitudinal monitoring of bone mass accumulation in healthy adolescents: evidence for a marked reduction after 16 years of age at the levels of lumbar spine and femoral neck in female subjects. *J. Clin. Endocrinol. Metab.* 75, 1060-1065 (1992)
- 7) Kroger H., Kotaniemi A., Kroger L., Alhava E., Development of bone mass and bone density of the spine and femoral neck--a prospective study of 65 children and adolescents. *Bone Miner.* 23, 171-182 (1993)
- 8) Rubin K., Schirduan V., Gendreau P., Sarfarazi M., Mendola R., Dalsky G., Predictors of axial and peripheral bone mineral density in healthy children and adolescents, with special attention to the role of puberty. *J. Pediatr.* 123, 863-870 (1993)
- 9) del Rio L., Carrascosa A., Pons F., Gusinye M., Yeste D., Domenech F.M., Bone mineral density of the lumbar spine in white Mediterranean Spanish children and adolescents: changes related to age, sex, and puberty. *Pediatr Res.* 35, 362-366 (1994)
- 10) Lu P.W., Briody J.N., Ogle G.D., Morley K., Humphries I.R., Allen J., Howman-Giles R., Sillence D., Cowell C.T., Bone mineral density of total body, spine, and femoral neck in children and young adults: a cross-sectional and longitudinal study. *J. Bone Miner Res.* 9, 1451-1458 (1994)
- 11) Boot A.M., de Ridder M.A., Pols H.A., Krenning E.P., de Muinck Keizer-Schrama S.M., Bone mineral density in children and adolescents: relation to puberty, calcium intake, and physical activity. *J. Clin. Endocrinol. Metab.* 82, 57-62 (1997)
- 12) Nordstrom P., Nordstrom G., Lorentzon R., Correlation of bone density to strength and physical activity in young men with a low or moderate level of physical activity. *Calcif Tissue Int.* 60, 332-337 (1997)
- 13) Matsukura T., Kagamimori S., Yamagami T., Nishino H., Iki M., Kajita E., Kagawa Y., Yoneshima H., Matsuzaki T., Marumo F., Reference data of forearm bone mineral density in healthy Japanese male and female subjects in the second decade based on calendar age and puberty onset: Japanese Population Based Osteoporosis (JPOS) study. *Osteoporos Int.*, 11, 858-865 (2000)
- 14) 伊木雅之, 中比呂志, 佐藤裕保, 小中学生男女の腰椎, 大腿骨近位部骨密度とその決定要因に関する横断研究. *Osteoporos Jpn.* 11, 266-269 (2003)
- 15) Iki M., Kagamimori S., Kagawa Y., Matsuzaki T., Yoneshima H., Marumo F., Bone mineral density of the spine, hip and distal forearm in representative samples of the Japanese female population: Japanese Population-Based Osteoporosis (JPOS) Study. *Osteoporos Int.* 12, 529-537 (2001)
- 16) Johnston Jr. C.C., Miller J.Z., Slemenda C.W., Reister T.K., Hui S., Christian J.C., Peacock M., Calcium supplementation and increases in bone mineral density in children. *N. Engl. J. Med.* 327, 82-87 (1992)
- 17) Janz K., Physical activity and bone development during childhood and adolescence. Implications for the prevention of osteoporosis. *Minerva Pediatr.* 54, 93-104 (2002)
- 18) 国土将平, 青少年のライフスタイルと健康・体力. *体育の科学.* 52, 15-18 (2002)
- 19) 健康・栄養情報研究会編 第六次改定, 日本人の栄養所要量, 食事摂取基準. 第一出版, 東京, (1999)
- 20) Merrilees M.J., Smart E.J., Gilchrist N.L., Frampton C., Turner J.G., Hooke E., March R.L., Maguire P., Effects of diary food supplements on bone mineral density in teenage girls. *European Journal of Nutrition.* 39, 256-262 (2000)
- 21) Bonjour J.P., Chevalley T., Ammann P., Slosman D., Rizzoli R., Gain in bone mineral mass in prepubertal girls 3.5 years after discontinuation of calcium supplementation: a follow-up study. *Lancet.* 358, 1208-1212 (2001)
- 22) 栗林 徹, 蒲田安久, 久保谷康夫, 八巻一浩, 最大骨量獲得期に必要な運動とその効果. *Osteoporos Jpn.* 7, 546-553 (1999)
- 23) 広田孝子, 中林朋子, 藤木雅美, 木藤由紀子, 広田憲二, 思春期における運動による骨粗鬆症予防法の検討. *デサントスポーツ科学.* 16, 140-148 (1995)
- 24) H. Naka, M. Iki, A. Morita, Y. Ikeda and Y. Sato, A two-year longitudinal study on the effects of lifestyle factors to bone mass gain in Japanese boys and girls: Kyoto Kids Bone Health Study. *Calcif. Tissue Int.* 74, S77 (2004)
- 25) Sabatier J.P., Guaydier-Souquieres G., Laroche D., Benmalek A., Fournier L., Guillon-Metz F., Delavenne J., Denis A.Y., Bone mineral acquisition during adolescence and early adulthood: a study in

- 574 healthy females 10-24 years of age. *Osteoporos Int.* 6, 141-148 (1996)
- 26) McKay H.A., Bailey D.A., Mirwald R.L., Davison K.S., Faulkner R.A., Peak bone mineral accrual and age at menarche in adolescent girls: a 6-year longitudinal study. *J. Pediatr.* 133, 682-687 (1998)
- 27) Fournier P.E., Rizzoli R., Slosman D.O., Theintz G., Bonjour J.P., Asynchrony between the rates of standing height gain and bone mass accumulation during puberty. *Osteoporos Int.* 7, 525-532 (1997)
- 28) Haapasalo H., Kannus P., Sievanen H., Pasanen M., Uusi-Rasi K., Heinonen A., Oja P., Vuori I., Development of mass, density, and estimated mechanical characteristics of bones in Caucasian females. *J. Bone Miner. Res.* 11, 1751-1760 (1996)
- 29) Teegarden D., Proulx W.R., Martin B.R., Zhao J., McCabe G.P., Lyle R.M., Peacock M., Slemenda C., Johnston C.C., Weaver C.M., Peak bone mass in young women. *J. Bone Miner. Res.* 10, 711-715 (1995)
- 30) Kemper H.C., Twisk J.W., van Mechelen W., Post G.B., Roos J.C., Lips P., A fifteen-year longitudinal study in young adults on the relation of physical activity and fitness with the development of the bone mass: The Amsterdam Growth And Health Longitudinal Study. *Bone.* 27, 847-853 (2000)
- 31) Bailey D.A., McKay H.A., Mirwald R.L., Crocker P.R., Faulkner R.A., A six-year longitudinal study of the relationship of physical activity to bone mineral accrual in growing children: the university of Saskatchewan bone mineral accrual study. *J. Bone Miner. Res.* 14, 1672-1679 (1999)
- 32) Bradney M., Pearce G., Naughton G., Sullivan C., Bass S., Beck T., Carlson J., Seeman E., Moderate exercise during growth in prepubertal boys: changes in bone mass, size, volumetric density, and bone strength: a controlled prospective study. *J. Bone Miner. Res.* 13, 1814-1821 (1998)
- 33) Witzke K.A., Snow C.M., Effects of plyometric jump training on bone mass in adolescent girls. *Med. Sci. Sports Exerc.* 32, 1051-1057 (2000)
- 34) Welten D.C., Kemper H.C., Post G.B., Van Mechelen W., Twisk J., Lips P., Teule GJ, Weight-bearing activity during youth is a more important factor for peak bone mass than calcium intake. *J. Bone Miner. Res.* 9, 1089-1096 (1994)
- 35) Bakker I., Twisk J.W., Van Mechelen W., Roos J.C., Kemper H.C., Ten-year longitudinal relationship between physical activity and lumbar bone mass in (young) adults. *J. Bone Miner. Res.* 18, 325-332 (2003)
- 36) Kemper H.C., Bakker I., Twisk J.W., van Mechelen W., Validation of a physical activity questionnaire to measure the effect of mechanical strain on bone mass. *Bone*, 30, 799-804 (2002)