

思春期生徒における骨密度の増加スパートの 経年観察と運動及び食生活の影響

辻学園中央研究室	楠 知子
(共同研究者) 同	広田孝子
同	石丸香織
すさみ町環境保健課	竹田千奈美
日本生命済生会付属 日生病院産婦人科	広田憲二

Peak Bone Mineral Accrual Effected by Diet, Physical Activity and Other Lifestyle Factors in Adolescent Girls and Boys : A 5-year Longitudinal Study

by

Tomoko Kusu, Takako Hirota,
Kaori Ishimaru
Research Laboratory, Tsuji Academy of Nutrition,
Chinami Takeda
Department of Environment Health in Susami
Kenji Hirota
Obstetric and Gynecology in Nissei Hospital

ABSTRACT

The purpose of this study was to investigate the age of reaching peak bone mass and the factors associated with bone mineral acquisition in pubertal girls and boys.

Two hundreds and sixty two girls and 282 boys aged 10-15 were recruited from 1995 to 1999. Bone measurements were made at one year intervals over 5 years by ultrasound densitometer (Achilles A1000) at the calcaneus together with questionnaires about menstrual status, physical activity, diet and other lifestyle factors from childhood to the

present.

Each bone data compared with the mean value of the same age was returned to the students in their class of health education. The students also had learned about what osteoporosis was including the risk factors and the importance of the prevention from very young.

Peak bone mass should be accumulated by the age of 15 years old in girls and older in boys by longitudinal observation, which was one to two years later than height spurt. Their bone minerals were associated with body weight, height, body mass index (kg/m^2), intake of dairy products in girls and boys, age at menarche and Japanese life-style living on Tatami mat in girls. Yearly increase in bone mass was associated with their increase in vegetable and fish in both girls and boys and with Japanese life-style and increase in physical activity in girls. The fracture rates of girls in Japanese life-style was significantly lower than girls in westernized life-style on sofa and chair. The yearly increase in boys was associated with their consciousness of previous levels of bone mass measurement.

These data suggested that the age 10 to 15 years be critical age especially in girls to accumulate the higher peak bone mass which enable to prevent osteoporosis in the later of their lives. Thus bone measurement and the education of bone health in pubertal age could help to improve their diet and physical activity and to induce their level of peak bone mass fully elevated.

要 旨

思春期生徒の骨量の経年変化から、最大骨量に達する年齢を明確にし、また、学校での骨量測定や保健教育が子供の骨量を上昇させることができるのかを検討した。

1995年から毎年1回5年にわたり、郡部に住む10～15歳の全員である、女子262名、男子286名の右足踵骨骨量を超音波法で測定し、運動、食生活等生活習慣をアンケートにより調査を行い、骨量測定結果返却時に骨粗鬆症予防のための保健教育を行った。

女子では15歳頃（初経発来2年後）、男子は16歳以降に最大骨量に達するものと考えられる。初測定骨量との相関は男女とも体格、乳製品摂取、

女子に畳の生活様式が観察された。骨量の経年変化との相関因子は男女とも野菜、魚摂取の増加であり、女子の畳生活者はイス式の者より高い骨量上昇と低い骨折率が認められ、初経発来前の運動量の増加とも相関が観察された。男子では骨量値への関心、運動や食生活に変容のあった者に高い骨量増加が認められた。

以上のことより最大骨量獲得期における学校での骨量測定、骨量上昇のための保健教育は、より高い最大骨量の獲得を可能にし、骨粗鬆症予防に有効である可能性が示唆された。

緒 言

最近の子供達は塾通い、テレビゲームなどに忙しく、外で運動する時間が減少している。このよ

うな生活習慣の変化は骨や筋肉などの成長過程にある子供達に悪影響を与えるものと考えられる。

例えば、成長期に蓄積される骨密度の場合、より高い最大骨量 (peak bone mass) を獲得しておくことは加齢とともに減少してしまう骨密度を高め、骨量減少や骨粗鬆症を予防してゆくには極めて重要であるものと考えられる¹⁾⁻⁴⁾。これまで我々は横断的、縦断的検討により、最大骨量への急上昇期は初経発来頃であり、最大骨量は女子では15~18歳までに獲得されるであろうことを提唱してきた^{5), 6)}。しかし日本人の子供における縦断的研究はほとんどない⁵⁾。欧米での縦断的研究によると、白人女子の骨密度は11~14歳の3年間は顕著な上昇が認められ、16歳を越えると骨密度はほとんど上昇しなくなる⁷⁾、また、初経発来前の白人の子供において、大量のカルシウムを補充することにより骨量上昇効果が認められたこと⁸⁾、12歳白人女子にカルシウムを350mg/日投与したところ骨量がより高くなったこと⁹⁾も報告されている。これらカルシウム補充研究の対象であった白人の子供達の平均カルシウム摂取量は約930mg/日で、日本人の子供達に比べるとはるかに高い摂取量である。遺伝子が異なり、675mg/日 (男女7~14歳の平均値)¹⁰⁾の低いカルシウム摂取量を示す日本の子供達にあてはめることは難しい。また、食事だけではなく、子供の運動の影響も検討しなければならない。

そこで今回、我々は日本人の5年間にわたる縦断的研究として、骨密度が急上昇すると考えられる小~中学生の子供の骨量測定を行い、加えて、運動、食事、生活様式などの生活習慣を調査し、さらに、骨粗鬆症予防に対する運動や栄養についての保健教育を行った。各年齢における骨密度の上昇速度、男女の差、骨量上昇のための影響因子、加えて学校での骨量測定や保健教育の意義や効果について検討した。

1. 方法

1.1 対象者

和歌山県海辺地区の郡部にあるS町において、小学5年生から中学3年生 (10~15歳) までの全生徒、女子262名、男子286名を対象に、1995年から1999年までの5年間にわたり (表1)、毎年11月頃、経年的に骨量測定を行った。対象者の身長、体重、Body mass index (体重 (kg) / 身長 (m)²) はこの年代の日本人の平均値¹⁰⁾と大きな差はなく (表2)、女子の68%、男子の78%の者は学校の授業以外で運動を行っており、種目は、女子ではキックベースボール、サッカー、テニス、バレーボール、マラソン、空手、剣道、水泳、陸上、男子では野球、サッカー、空手、剣道、陸上、マラソン、ソフトボール、水泳などで、それらを行っている者を運動習慣のある者とした。

表1 Subject Numbers Followed for Five Years from 1995 to 1999

1995	1996	1997	1998	1999
296				54
	78			63
		55		49
			57	55
				62

Bone minerals were measured from 1995 to 1999 in all students lived in S town from the 5th grade in elementary school to 3rd grade in junior high school. The students in the 5th grade were newly added and the students in the 3rd grade in high school left every year from 1996.

表2 Characteristics of Subjects

Subjects	Girls	Boys
Number	262	286
Age	10-15years old	
Height (cm)	126-171	125-176
Weight (kg)	23-79	22-78
Body mass index (kg/m ²)	13.6-30.9	13.5-32.9
Age at menarche	12.0 ± 1.0 (9-14)	-
'Stiffness' Index (%)	55-123	57-115

1. 2 骨量測定及び運動、食生活、その他生活様式についての調査法

右足の踵骨骨量を超音波測定法 (Lunar 社製 Achilles A1000) により測定し, 超音波伝導速度 (SOS (m/sec)), および減衰係数 (BUA (dB/MHz)) から算出されたこの機械独自の 'Stiffness' index を用いて検討を行った. この 'Stiffness' index は骨密度や骨折と強く相関することが報告されている¹¹⁾⁻¹²⁾. 初回測定時には過去から現在にわたる運動 (種目, 週あたりの頻度, 1 回当たりの運動時間, 運動継続年数), 運動嗜好, 歩行時間, 日照時間や食生活などの生活習慣, 初経年齢や月経異常, 既往歴など身体状況を, また, 再測定時には運動, 食生活などの生活習慣の変容, 健康に対する意識変化, 前骨量測定値に関する認識等について再調査した. 本研究の開始にあたっては, 本研究の趣旨を対象となる生徒本人, 保護者, 教育委員会, 教職員に十分説明したうえで同意を得たものである. 骨量測定結果の返却時には, 同年齢の骨量との比較や骨粗鬆症の病態, 病因の説明, 骨粗鬆症の予防のための運動や食事のあり方などについて保健指導を養護教諭を通じて行った.

1. 3 統計解析

身長, 体重などの身体計測値と運動, 食事, 生活様式等の生活習慣, 意識変化などと骨量との相関, 及び, 5 年間の骨量や身長の経年変化に関して, 統計解析システム SPSS (Ver. 6.1) を使用し, Student-t test, 分散分析を行った. 有意水準は 5% 未満とした.

2. 結果

2. 1 骨量上昇の横断的観察

初測定の年齢別の平均骨量を横断的に観察すると, 'Stiffness' 値は, 男女とも 15 歳で最高値を示した. 10~12 歳の平均 'Stiffness' 値は女子

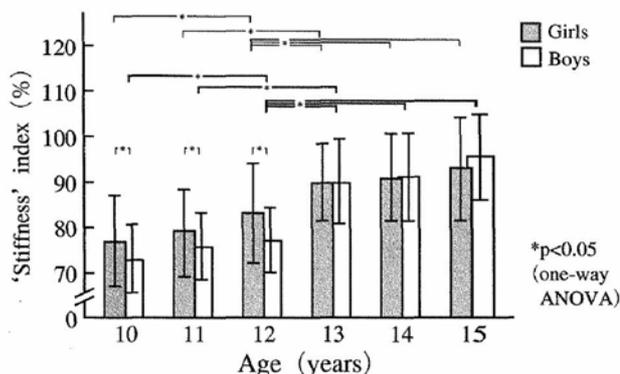


図1 Means of initial 'Stiffness' index in girls and boys (cross-sectional study).

Means of initial measurements of bone mineral in 262 girls and 286 boys.

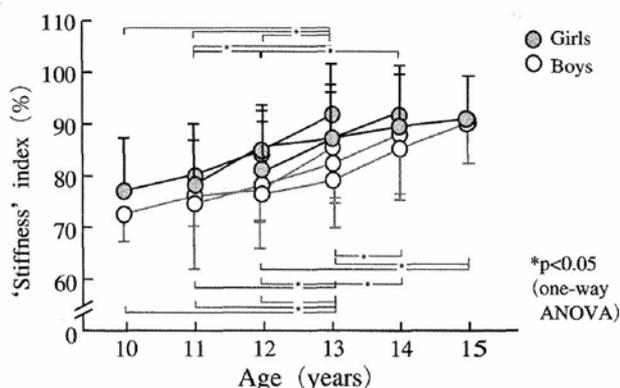


図2 Longitudinal study of 'Stiffness' index.

Means of bone measurements followed for 4 years in 69 girls and 95 boys. Significant increases were observed from age 10 to 14 year in girls and 10 to 15 years in boys.

が男子より有意に高く, 13 歳以降, 男子が女子を追い抜いていく傾向が観察された (図1).

2. 2 骨量上昇の縦断的観察

骨量の経年変化を観察すると, 女子の場合 'Stiffness' 値の上昇は 10~14 歳まで観察され 14 歳で最高値を示した (図2). 生理学的年齢では, 初経発来 2 年目まで明確な上昇が観察された. 他方, 男子の 'Stiffness' 値は 10~15 歳まで継続して上昇が観察された (図2).

骨量の 1 年間の上昇を観察すると, 女子では 11 歳から 12 歳がピークとなり, その後ゆるやかな上昇を示し, 14 歳から 15 歳ではほとんど上昇が観察されなかった. 男子では 13 歳から 14, または 15 歳において, 上昇のピークが観察された

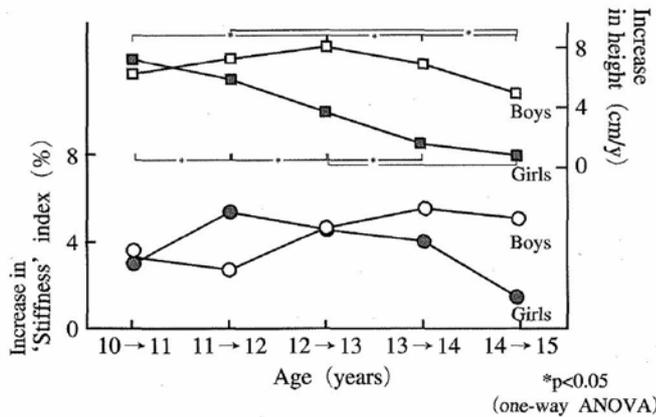


図3 Yearly increase in 'Stiffness' index and height (longitudinal study).

Yearly increase in bone measurement and height in the subjects in Fig. 2 were shown. Peak increase in bone mass was age 11 to 12 years in girls and 13 to 15 years in boys while peak increase in height was 10 to 11 years in girls and 12 to 13 years in boys.

(図3). 身長のスパートは、男女とも骨量上昇のスパートより1~2年早く観察された(図3).

2. 3 初測定 of 骨量との相関因子

5年生女子の初測定骨量と有意な相関が観察された因子は、初経年齢、身長、体重、BMI、ヨーグルト摂取、畳など日本式生活様式で、初経年齢、卵摂取とは負の相関が観察された。運動時間、頻度、継続期間との相関は認められなかった(表3)。運動習慣のある者とない者の'Stiffness'値は差がなく、種目別(キックベースボール、サッカー、テニス、バレーボール、マラソン、空手、剣道、水泳、陸上)に検討を行っても差は見出されなかった。

表3 Associated Factors with Initial 'Stiffness' Index (the 5th grade)

Girls (n=139)	Boys (n=149)
Factors (r)	Factors (r)
Age at menarche -0.38***	Weight 0.27**
Height 0.31***	BMI 0.23**
Weight 0.31***	Height 0.23**
BMI 0.22**	Likes milk 0.20*
Intake of yogurt 0.21*	〃 meat -0.20*
〃 egg -0.18*	Intake of cheese 0.20*
Japanese life-style 0.18*	

*p<0.05 **p<0.01 ***p<0.001

5年生男子の骨量との相関因子は体重、BMI、身長、牛乳嗜好、チーズ摂取で、肉嗜好とは負の相関が観察され、運動との相関は認められなかった(表3)。運動種目別(野球、サッカー、空手、剣道、陸上、マラソン、ソフトボール、水泳)でも初測定'Stiffness'値に差は観察されなかった。

2. 4 骨量の経年変化との相関因子

小学5年生から6年生になったときの1年間の'Stiffness'値の上昇との相関因子は、女子では1年後の'Stiffness'値、果物、魚、野菜摂取の増加と正の、初年度の測定値とは負の相関を示した

表4 Associated Factors with Yearly Change in 'Stiffness' Index from the 5th grade to the 6th grade

Girls (n=114)	Boys (n=112)
Factors (r)	Factors (r)
'Stiffness' in 5th grade -0.43***	'Stiffness' in 6th grade 0.42***
Increase in fruits 0.35***	Increase in height 0.31**
〃 fish 0.35**	'Stiffness' in 5th grade -0.27**
'Stiffness' in 6th grade 0.31**	Increase in weight 0.27**
Increase in vegetable 0.26*	Change in lifestyle (n=38) 0.44**
	Conscious of bone mass 0.21*
	Increase in vegetable 0.20*
	〃 small fish 0.19*

*p<0.05 **p<0.01 ***p<0.001

(表4)。魚、野菜、果物の摂取を増やした女子は増やさなかった女子に比べ2~3倍の'Stiffness'上昇が観察された(図4)。また、日本式生活様式で生活している女子にも高い'Stiffness'上昇が観察され(図4)、骨折歴も有意に低かった。魚、果物摂取の増加、生活様式を初年度の'Stiffness'値による補正を行っても、同様に高い'Stiffness'上昇が観察され、果物摂取の増加は独立して高い'Stiffness'上昇が観察される。また、運動について、初経発来前の女子では、運動量を増加した者はそうでない者に比べ高い'Stiffness'上昇が観察され(図5)、これは初年度の'Stiffness'値で補正を行っても同様に観察される。

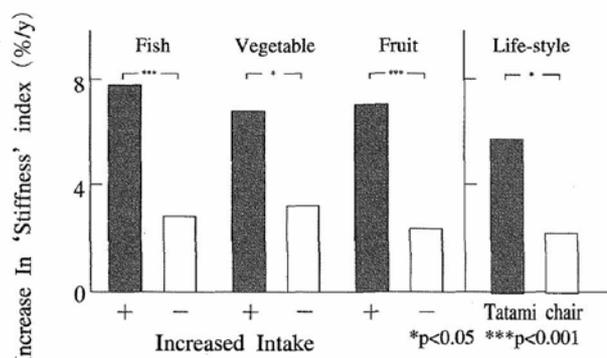


図4 Yearly increase in 'Stiffness' index and the increased intake in food or life-style from the 5th to the 6th grade in 95 girls.

Thirty one (fish), 34 (vegetables) and 44 (fruits) percents of the subjects had increased in the food intake since the bone had been measured. Their bone increases were significantly higher than the subjects with no change in the food intake. Seventy five percents of the subjects lived on Tatami mat whose increase in bone was significantly higher than those in westernized life-style.

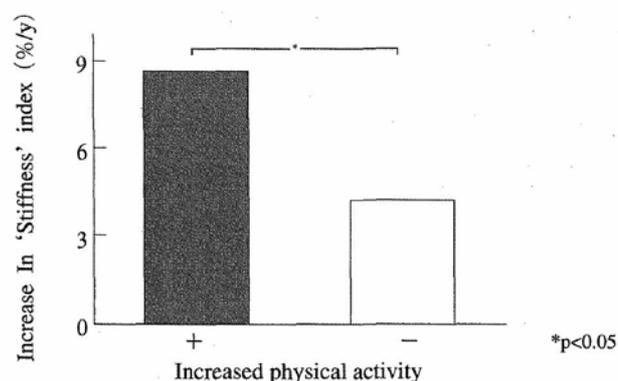


図5 Yearly increase in 'Stiffness' index and the increased physical activity from -1 to 0 year since menarche in 47 girls.

Higher increase in bone mass was observed in 16 girls who had increased in physical activity since the bone had been measured.

男子の骨量上昇とは、身長、体重の増加、運動・食事など生活の変化、前回の骨量測定値に対する関心、野菜、小魚摂取の増加と正の相関、初年度の測定値と負の相関が観察され(表4)、さらに初年度の'Stiffness'値で補正を行っても、野菜、小魚摂取の増加は同様に高い'Stiffness'上昇が観察された。

3. 考察

骨密度の急上昇期に相当する小学5年生~中学3年生の男女の生徒を対象に5年間にわたる骨量の経年変化を観察し、骨量上昇に影響を与える因

子を観察した。これまでの我々の横断・縦断的観察^{5,6)}から白人での縦断的観察⁷⁾と同様に、女子では骨量のスパートは10~14歳頃で、15歳にはほぼピークボンマスに到達しているものと考えられる(図2)。生理学的年齢を反映する初経発来からの年数で観察すると、初経1~2年前から骨量のスパートが始まり、2年目にはピークボンマスに達すると考えられる。他方、男子では急上昇期は12~15歳頃で15歳でもピークボンマスに到達していないと推測される(図2)。また、身長(骨長)と骨量の増加を比較すると、男女とも骨量の急上昇期は身長のスパートより1~2年遅いことが観察される(図3)。

骨量は、男女とも身長、体重、BMIなどの体格因子のほか、乳製品摂取との相関が高かったことから(表3)、子供の頃からの牛乳、ヨーグルト、チーズなどの積極的な摂取は、成長期の骨量をより大きく高める可能性が示された。しかし、女子において卵摂取、男子において肉嗜好が初測定の前との相関が観察されたことは、卵や肉摂取の多い子供にイスやソファーなど洋式の生活者が多く、また魚摂取が少ないことと重なっていたためではないかと考える。女子では畳など日本式生活様式の者はイス・ソファーの生活様式の者に比べ有意に骨量が高く(表3)、この差は骨量とのほかの相関因子(初経年齢、体格、食事)で補正を行っても有意差が観察されることから、男子に比べると運動量の少ない女子には、畳など日本式生活様式による体重の上下運動でも骨量上昇に対して有効であるのではないかと考えられる。

骨量の経年変化から、男女とも運動習慣や食生活の改善により、加えて男子では自身の骨量値に関心を持つことにより高い骨量上昇が認められた(表4)。また、骨量の低かった者ほど高い上昇が観察された(表4)。対象者の骨量上昇に影響を与えたと考えられる食生活因子は、魚、野菜、果物摂取の増加で、必ずしもカルシウムの豊富な食

品とは限らなかった。これは、骨量上昇にはカルシウム以外のミネラル類、ビタミン類、たんぱく質類など種々の栄養素が関与することを示唆している。さらに、女子において、畳など日本式生活様式の者はイス・ソファーなどの洋式的生活様式の者に比べ、有意に高い骨量上昇が観察され（図4）、骨折歴も少なかったことは、これまで日本人のカルシウム摂取量が低いにもかかわらず骨粗鬆症による大腿骨頸部骨折が少なかった理由の1つとして、畳による生活様式が関与しているのではないかと考えられる。男子生徒においても日本式生活様式の者に骨折率が低い傾向が観察されたことから、骨粗鬆症予防のためには畳など日常の生活様式を見直す必要があるのではないかとと思われる。

今回、運動の種目、頻度、時間と初測定骨量との相関は観察されなかった。これは、対象者の住む町にある体育協会が主催しているクラブに所属している者が多く、全対象者においてスポーツが活発であるためではないかと考えられる。しかし、運動量の増加や畳の生活様式が骨量上昇に影響していることから（図4、5）、運動量の少ない都市部の子供達では運動量を増やすことにより、一層高い骨量上昇効果が期待できるのではないかとと思われる。特に女子において、骨量急上昇期である初経発来頃に行う運動は骨密度を有意に上昇させる可能性が報告されている¹³⁾。

骨量測定及び保健指導後、男女とも約30%の者が運動習慣や食生活の改善をしており、男子では約50%の者が骨量に対する強い関心を示していた。ヒトの一生のライフサイクルを考えた時、思春期は、運動習慣や食習慣の確立の最も重要な時期と考えられ、この時期に運動習慣や食生活など、骨量や骨粗鬆症などの生活習慣病予防に対する保健教育を行うことは、運動を習慣づけることや、適切な食生活を身につけることは比較的容易であるとともに、獲得された生活習慣は成人期や

老年期までも継続しうる。

以上のことから、成長期の子供達の骨量測定や骨粗鬆症予防など健康教育は、より高いピークボーンマスの獲得を推進し、高齢期におこる骨粗鬆症や種々の生活習慣病予防に有効であるものと考えられる。

4. 総括

最近、子供達の生活習慣が乱れ、精神的、肉体的に不健康な子供が増えていると言われる。学校教育の中で、例えば骨量測定を行うことは、科学的健康指標の1つである自身の骨量を知り、どのようにすれば骨量が改善するのか正確な情報を得ることができ、予防医学の最も重要で効果的な手法であろう。今回このような試みの結果、

1. 10～15歳（男子の場合は16～17歳頃まで）は骨量の急上昇期であり、最大骨量を高めるには最もクリティカルな時期であった
2. 運動量の増加、果物、野菜、魚摂取の増加、畳など日本式生活様式、自身の骨量への関心は子供達の骨量をより高く増加させた
3. 骨量測定、骨粗鬆症予防のための保健教育は思春期の子供達の運動量を増加させ、食生活を改善させた

ことが明らかとなり、骨粗鬆症予防のためには、学校における骨量測定、及び運動や栄養の保健教育が重要であることを示すことができた。

謝辞

健康づくりに重要な鍵となる運動について、研究助成を続けてこられた財団法人石本記念デサントスポーツ科学振興財団に敬意と謝辞を述べたく思います。

文 献

- 1) Hirota T., Nara M., Ohguri M., Manago E., Hirota K. ; Effect of diet and lifestyle on bone mass in Asian young women, *Am. J. Clin. Nutr.*, 55 : 1168 - 1173 (1992)
- 2) 広田孝子, 城谷万希子, 木藤由紀子, 藤木雅美, 中林朋子, 甲村弘子, 広田憲二 ; 思春期・青年期(女子)における腰椎ならびに大腿骨近位部の骨密度値に影響を及ぼす因子について, *Osteoporosis Jpn.*, 2 (1) 51 - 52 (1994)
- 3) 広田孝子, 木藤由紀子, 城川法子, 山西佐智美, 中林朋子, 藤木雅美, 安達綱三郎, 広田憲二 ; 思春期における longitudinal study による骨量増加の検討, *Osteoporosis Jpn.*, 3 (4) 632 - 636 (1995)
- 4) Johnston C.C. Jr., Slemenda C.W. ; Peak bone mass, bone loss and risk of fracture, *Osteoporosis Int.*, 1 : S43 - S45 (1994)
- 5) 原みずほ, 広田孝子, 木藤由紀子, 城川法子, 松田みどり, 細川麻美, 広田憲二 ; コストエフェクティブネスを考えた女子生徒を対象とした骨粗鬆症の予防のための栄養および生活指導のあり方, *Osteoporosis Jpn.*, 7 (4) 61 - 65 (1999)
- 6) 中林朋子, 広田孝子, 山西佐智美, 城川法子, 武田ひとみ, 広田憲二 ; 骨密度上昇期, 維持期, 減少期における腰椎・大腿骨近位部・全身骨への影響因子の相違, *Osteoporosis Jpn.*, 5 (2) 115 - 120 (1997)
- 7) 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 (4) 1060-1065 (1992)
- 8) Johnston C.C. Jr., 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)
- 9) Lloyd T., Andon M.B., Rollings N., Martel J.K., Landis J.R., Demers L.M., Egli D.F., Kieselhorst K., Kulin H.E. ; Calcium supplementation and bone mineral density in adolescent girls, *JAMA*, 270 (7) : 841-844 (1993)
- 10) 健康・栄養情報研究会編 ; 平成12年度版国民栄養の現状, 第一出版 (2000)
- 11) Zagzebski J.A., Rossman P.J., Mesina C., Mazess R.B., Madsen E.L. ; Ultrasound transmission measurements through the os calcis. *Calcif. Tissue Int.*, 49 : 107-111 (1991)
- 12) Faulkner K.G., McClung M.R., Coleman L.J., Kingston-Sandahl E. ; Quantitative ultrasound of the heel : correlation with densitometric measurements at different skeletal sites, *Osteoporosis Int.*, 4 : 42-47 (1994)
- 13) 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)