

女性踵骨 Peak bone mass の形成時期と影響因子についての検討

あさひ総合病院産婦人科

*黒部市民病院産婦人科

**富山医科薬科大学医学部産科婦人科学教室

長谷川 徹 新居 隆* 泉 陸一**

Peak Bone Mass and Factors Influencing the Stiffness of the Os Calcis in Young Japanese Women

Toru HASEGAWA, Takashi ARAI* and Rikuichi IZUMI**

Department of Obstetrics and Gynecology, Asahi General Hospital, Toyama

**Department of Obstetrics and Gynecology, Kurobe Municipal Hospital, Toyama*

***Department of Obstetrics and Gynecology, Faculty of Medicine,
Toyama Medical and Pharmaceutical University, Toyama*

概要 近年、放射線被曝がなく測定場所に制約が少ない超音波骨密度測定装置(超音波法)による踵骨骨量測定が普及し、地域住民の骨粗鬆症健診等に利用されている。これまで、超音波法にて健常女性の踵骨骨量を検討した論文は、20歳以上を対象としており、20歳未満を対象としたものは極めて少ない。

今回我々は超音波法にて12～75歳までの健常女性の踵骨骨量を測定し、同法における Peak bone mass(PBM)形成時期を調べた。また、PBM に影響する因子について検討し、運動継続の重要性について明らかにした。

対象は富山県下に在住する明らかな骨代謝異常に関連する疾患の認められない女性845名で、内訳は中学・高校・短大生411名と、20～75歳の地域住民434名である。超音波骨密度測定装置 Achilles(Lunar 社)を用い、右踵骨の Stiffness (ST)を測定した。

この結果、中学・高校・短大生の ST は20歳以降のどの年代のそれよりも高値であった。とくに高校・短大生の ST は20歳以降の各年代のそれより有意に高かった。

つぎに、PBM の影響因子を調べるために中学・高校・短大生366名に対し月経歴、運動歴、牛乳摂取状況と ST の関係を検討した。また短大生の一部98名に対し食事調査を施行し ST との関係を見た。

ST は、中学生では初経後年数と正の相関がみられたが有意ではなかった。高校生では身長、体重、Body mass index (BMI)、初経後年数、運動歴と、短大生では身長、体重、BMI、運動歴と有意な関係がみられた。また、高校・短大生の影響因子について重回帰分析を行い、高校生では運動歴と初経後年数が、短大生では運動歴が説明変数として妥当であった。

PBM の形成時期にある高校・短大生の骨量は、中学時代からの継続的な運動習慣によって高められることが示唆された。

Synopsis We can find accumulated data obtained by ultrasound bone densitometry in women of 20 years and upward, but not in younger women. This study investigated the age of peak bone mass (PBM) and factors influencing the stiffness (ST) of the os calcis in younger Japanese women by ultrasound bone densitometry.

Eight hundred and forty-five women in Toyama were enrolled. They consisted of 411 students aged 12—20 and 434 women of 20 years and upward. The ST of the os calcis was measured with an “Achilles” ultrasound bone densitometer (Lunar Corp).

The ST in women aged 15—20 was the highest overall.

Factors influencing PBM in younger women were analysed. The ST of junior high school students was positively correlated with the years following menarche. The ST of high school students was

positively correlated with height, weight, body mass index, continuous sports activity and the years following menarche. The ST of college students was positively correlated with height, weight, body mass index and continuous sports activity.

Multivariate analysis showed that continuous sports activity and the years following menarche in high school students and continuous sports activity in college students were independent factors associated with ST.

This study suggests that continuous sports activity increases PBM.

Key words: Ultrasound bone densitometry • Peak bone mass • Os calcis

緒 言

骨粗鬆症は女性に圧倒的に多く発症し、その一部は脊椎圧迫骨折や大腿骨頸部骨折を起こす危険があり、Quality of life (QOL) を著しく損うとされている。これまで閉経後骨量低下予防について多くの対策が講じられている。しかし、Peak bone mass (PBM) の形成時期と影響因子を解明し、その増加を計ることが、より根本的な予防策として重要である。

最近の Dual energy X-ray absorptiometry (DEXA 法) による若年女性の研究では腰椎や大腿骨頸部の PBM は14～15歳まで¹⁾²⁾、又は10歳代後半³⁾に形成されるといわれている。一方、地域住民の骨粗鬆症健診等に広く利用されている超音波骨密度測定装置(超音波法)による踵骨骨量については、20歳未満を対象とした論文は極めて少ない。

またこの年代の骨量に影響する因子として、身長、体重、初経後年数、Tanner stage などが挙げられているが^{1)2)4)～7)}、運動歴やカルシウム摂取などの生活習慣と骨量との関係については一定した見解が得られていない。

今回、我々は超音波法にて、12～75歳までの健康女性の踵骨骨量を測定し、本法による PBM 形成時期を調べた。また、PBM に影響する因子を明らかにするため、中学・高校・短大生の骨量に影響する因子について検討した。

対象および方法

対象は、富山県下に在住する明らかな骨代謝異常に関連する疾患の認められない女性845名である。その内訳は、中学生(12～13歳)46名、高校生(15～18歳)200名、短大生(18～20歳)165名、計411名と、我々が行った地域住民の骨粗鬆症健診を受診した20～75歳までの女性434名である(表1)。

表1 中学・高校・短大生と地域住民(20～75歳)の Stiffness

年齢	n	Stiffness(mean±S.D.)
12～13 中学生	46	90.6±11.5
15～18 高校生	200	92.0±12.2
18～20 短大生	165	91.2±13.7
20～29	48	86.5±15.3 ^{bc}
30～39	132	86.3±13.6 ^{bc}
40～49	67	82.1±11.2 ^{abc}
50～59	67	75.3±13.3 ^{abc}
60～69	105	66.0± 9.1 ^{abc}
70～75	15	60.3± 8.5 ^{abc}

^a；中学生と比較して有意に低い

^b；高校生と比較して有意に低い

^c；短大生と比較して有意に低い

測定には超音波骨密度測定装置 Achilles (Lunar 社) を用い、右踵骨の超音波伝導速度 (speed of sound, SOS) と超音波減衰係数 (broad-band ultrasound attenuation, BUA) より求められる Stiffness (ST) ($0.67\text{BUA} + 0.28\text{SOS} - 420$) を骨量の指標とした。SOS = (Young 率 (N/m²) / density (kg/m³))^{1/2} の関係があり、一般に海綿骨では、骨密度の増加に伴って Young 率は増加し、より高い SOS を得ることになる。また超音波は骨を透過する際その振幅が減衰するが、各周波数帯における減衰の傾き BUA (dB/MHz) は骨硬度を反映し、骨密度が高いと BUA が高値を示す⁸⁾。以上より SOS, BUA から算出される ST は骨密度が高いほど高値となる。また今回とくに ST を指標とした理由は、SOS・BUA より腰椎骨密度との相関が大きいこと⁸⁾と、SOS・BUA より椎体圧迫骨折者と非骨折者の分離に有用⁹⁾との報告に基づいたもので、骨量の指標としてより有用と考えたためである。

表2 対象の背景

	年齢	身長(cm)	体重(kg)	BMI	初経後年数
中学生(n=45)	12.3±0.5	152.6±4.6	43.6±6.1	18.7±2.5	
高校生(n=170)	16.2±0.9	158.1±5.1	52.5±7.1	21.0±2.4	4.0±1.4
短大生(n=151)	18.8±0.5	158.0±4.9	52.5±7.4	21.0±2.7	6.7±1.2
mean±S.D.					

表3-1 アンケート(抜粋)

〈運動〉	
・ 中学1年生からいままですと、課外クラブで運動していた。	
はい ・ いいえ	
「はい」の方へ	
運動量は、1. 週4回以上 2. 週3回程度 3. 週2回程度 4. 週1回程度	
1日の運動時間は、1. 2時間以上 2. 1時間程度 3. 30分程度 4. 30分未満	
運動種目は何ですか	
・ 中学1年生からいままですと、体育の授業以外運動をしたことがない。	
はい ・ いいえ	

表3-2 食事調査(抜粋)

あなたの普段の食事について、以下の食品群ごとにその摂取頻度と1回平均の摂取量(基準量のおよそ何倍か)を、該当する欄を○で囲んで下さい。

食品群	食品例	基準量	摂取頻度	1回平均 摂取量 (基準量に 対する量)
(1) 主食はどの位食べますか	ごはん	普通茶碗 1杯150g	食べない	1/4倍量
			月1~2回	1/2倍量
	パン 菓子パン	8枚切り1枚 1個 50g	週1回	同量
			3日に1回	3/2倍量
			2日に1回	2倍量
			1日に1回	5/2倍量
			1日に2回	3倍量
			1日に3回	
(2) 麺類はどの位食べますか	そば うどん 中華麺等	1杯250g	食べない	1/4倍量
			月1~2回	1/2倍量
			週1回	同量
			3日に1回	3/2倍量
			2日に1回	2倍量
			1日に1回	5/2倍量
			1日に2回	3倍量
			1日に3回	

測定精度を調査するため、5人の被験者を3回測定したときのCVは $2.1 \pm 1.7\%$ (mean±S.D.)であった。

PBMの影響因子を調べるために行ったアン

ケートにて回答が得られた中学・高校・短大生の3群366名の月経歴、運動歴、牛乳摂取状況とSTとの関係を検討した。3群の背景は表2に示す。また短大生の一部98名に対し食事調査を施行した。アンケートおよび食事調査の抜粋を表3に示す。

統計学的処理には、2群比較についてはt検定、多群比較についてはTukey検定を用いた。また重回帰分析を用いて影響因子の解析を行った。

成 績

I. PBMの形成時期

中学・高校・短大生のSTは20歳以降のどの年代のそれよりも高値を示した。統計学的検討では、高校・短大生のSTは20歳以降の各年代のそれより有意に高かった(表1)。

II. PBMの影響因子の検討

1. 初経後年数

図1に各群別の散布図を示す。中学生では有意ではないが正の相関を認め($p=0.07$)、高校生では有意な正の相関がみられた($p<0.05$)。しかし短大生では関連はみられなかった。

2. 体格因子

中学生では関連はなかったが、高校・短大生では身長、体重、Body mass index (BMI)すべてに有意な正の相関を認め、とくに体重との相関が高

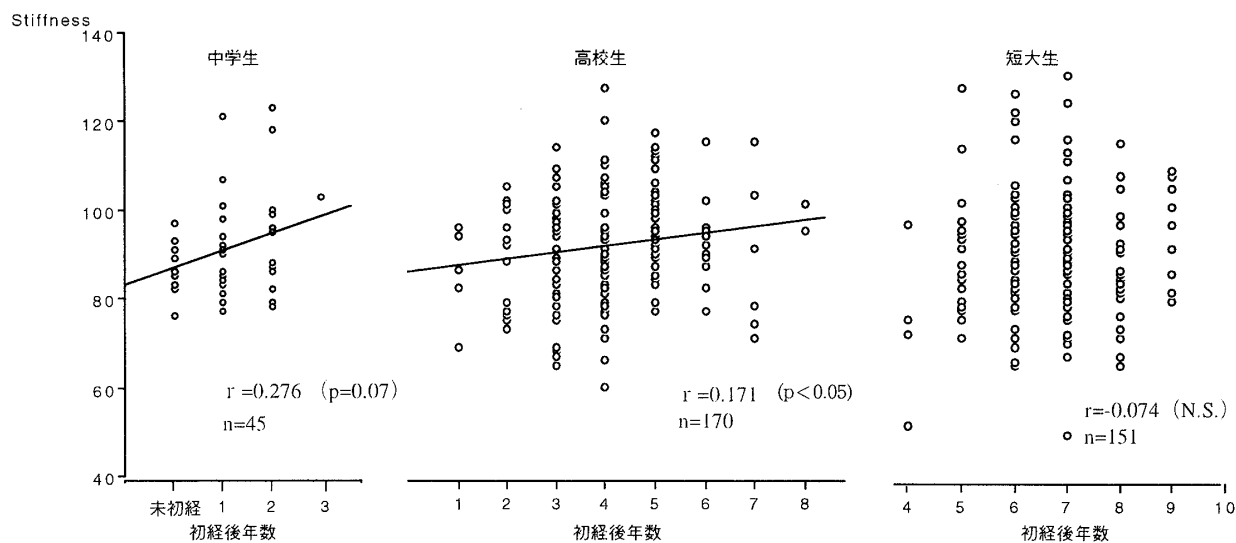


図1 初経後年数と Stiffness

かった ($p<0.001$) (表4)。

3. 運動歴

過去からの運動習慣と骨量の関係を調査した。中学生では、小学5年生より継続して週1回以上課外クラブで運動している群(a群)は、そうでない群(b群)よりSTが高値であったが有意な関係ではなかった(表5-1)。

高校生では、中学1年生より継続して週1回以上課外クラブで運動している群(a群)は、そうでない群(b群)よりSTが有意に高かった($p<$

表4 体格因子と Stiffness との相関係数

	中学生	高校生	短大生
身長	0.162	0.234**	0.223**
体重	0.141	0.275***	0.341***
BMI	0.153	0.193*	0.263**

* $p<0.05$, ** $p<0.01$, *** $p<0.001$

0.05)。短大生でも同様の結果が得られた(表5-2)。

表5 運動歴と Stiffness

表5-1			表5-2		
中学生			高校生	短大生	
a群	94.5±13.5	(n=12)	a群	93.9±11.8	(n=92)
b群	89.5±10.7	(n=33)	b群	89.2±12.2	(n=78)
a群；小学5年生より継続して週1回以上課外クラブで運動している群			* $p<0.05$ mean±S.D.		
b群；a群のような継続した運動経験がない群			a群；中学1年生より継続して週1回以上課外クラブで運動している群		
			b群；a群のような継続した運動経験がない群		

表6 牛乳摂取と Stiffness

	中学生	高校生	短大生
a群	91.6±13.5 (n=28)	89.5±11.6 (n=55)	90.2±11.6 (n=35)
b群	87.6± 9.6 (n=8)	91.9±12.5 (n=74)	92.1±14.7 (n=99)
c群	90.4± 6.2 (n=9)	94.5±12.1 (n=41)	86.9±12.6 (n=17)

mean±S.D.

a群；1本以上毎日飲む，b群；1本以上週1～6日飲む，c群；全く飲まない

4. 食事摂取状況

普段の牛乳摂取と ST との関係を表 6 に示す。表脚注 (a~c 群) に示したように摂取状況を分類したが、中学・高校・短大生とも関連はみられなかった。

食事調査を施行した短大生98名の普段の1日あたりの栄養摂取量と ST との関係を表 7 に示す。カルシウムをはじめとした、どの栄養素、食品群も関連はみられなかった。

表 7 1日あたりの栄養摂取量と Stiffness

	相関係数	p value
エネルギー	-0.054	0.605
たんぱく質	0.000	0.973
脂質	-0.034	0.742
炭水化物	-0.081	0.435
カルシウム	0.017	0.868
穀類	-0.031	0.769
いも類	-0.045	0.666
菓子類	-0.050	0.630
油類	-0.048	0.646
豆類	0.000	0.953
魚類	0.069	0.508
肉類	-0.012	0.909
卵類	-0.046	0.660
乳類	0.019	0.855
淡黄色野菜類	-0.077	0.462
緑黄色野菜類	-0.087	0.403
海藻類	0.171	0.098
果物類	-0.047	0.654
飲物	-0.085	0.413

短大生98名

表 8 影響因子の重回帰分析

	回帰係数	p value
高校生		
運動歴	3.310	<0.01
初経後年数	1.412	<0.05
身長(cm)	2.252	0.16
体重(kg)	-2.575	0.29
BMI	7.243	0.24
短大生		
運動歴	3.863	<0.05
身長(cm)	0.829	0.61
体重(kg)	-0.244	0.92
BMI	2.013	0.74

高校生； $R^2=0.150$ ，短大生； $R^2=0.162$

5. 多変量解析

高校・短大生において ST と有意な関連がみられた影響因子について重回帰分析を行ったところ、高校生では運動歴と初経後年数が、短大生では運動歴が説明変数として妥当であった(表 8)。

考 察

子供の腰椎骨密度(DEXA 法)は、1~4歳⁵⁾の間に急増し、緩徐な増加を示した後、10~15歳⁶⁾又は12~17歳⁵⁾⁷⁾の間に再び急激な増加があるという。

PBM の形成時期についての研究は、Bonjour et al.¹⁾が、9~18歳の健康な男女207名の腰椎・大腿骨頸部骨密度(DEXA 法)を測定、女性では14~15歳ですでに成人女性(20~35歳)の平均値とほぼ同等であったと報告している。また日本人女性の横断的研究では腰椎骨密度(DEXA 法)は、10歳代後半にピークに達するといわれている³⁾。

このように、DEXA 法による若年女性の腰椎・大腿骨頸部骨密度の解明がすすむ一方、20歳未満の女性踵骨骨量に関する検討は少なく、Single-energy X-ray absorptiometry(SXA 法)による報告¹⁰⁾などがみられるのみである。近年になって、放射線被曝がなく測定場所に制約が少ない超音波法による踵骨骨量測定が普及し、わが国でも地域住民の骨粗鬆症健診等に利用されている。超音波法による健康女性の踵骨骨量の測定は、Damilakis et al.¹¹⁾をはじめとして諸家の報告^{12)~14)}がみられるが、そのいずれもが20歳ないしは30歳以上の健康女性の報告であり、20歳未満の女性を対象とした論文は極めて少ない。また超音波法は同じ踵骨骨量を測定する SXA 法に比べて、測定精度やデータ収集時間が同等であり、なおかつ放射線被曝がないという基本性能のほか、わが国における普及の面からも健診に適している¹⁵⁾といわれている。

そこで我々は、中学・高校・短大生の踵骨骨量を超音波法にて測定し、地域住民の骨粗鬆症健診にて得られた20歳以降の健康女性のそれと比較検討した。今回の検討では超音波法にて得られた ST は高校生がピークで、20歳以降の各年代より有意に高いことが判明した。

PBM は約50～80%が遺伝的要因により決定され、20～50%が環境要因といわれる¹⁶⁾。これまでの検討では、身長・体重・初経後年数¹⁷⁾、Tanner stage^{4)～7)}が若年女性の骨量に影響する因子としていわれている。

一方、運動歴や食事摂取状況などの生活習慣と若年女性の骨量との関係も各種測定法で検討されているが、対象年齢の幅や質問項目、測定部位がそれぞれ異なっており、一定の見解が得られていない。また若年女性を対象に超音波法を用いて生活習慣と骨量との関係を検討した論文はこれまでみられない。

これまでの検討では Fehily et al.¹⁷⁾が、20～23歳の女性182名の前腕骨密度(Single-photon absorptiometry, SPA 法)は、現在や12歳時の運動習慣と有意な正の相関があったとしている。しかし現在のカルシウム・ビタミンD摂取との相関は低く、重回帰分析では有意な相関はみられなかった。また Cooper et al.¹⁸⁾は、21歳女性153名の腰椎・大腿骨頸部骨密度(DEXA 法)が、身長や体重のほかに現在の outdoor walking や学生時代のスポーツ活動の程度と有意な正の相関があったとしている。カルシウム摂取量は腰椎骨密度との相関を認めたが、大腿骨頸部骨密度とは関連がなかった。

今回の我々の検討は、対象年齢の幅をできるだけ少なくするため、ST に影響する因子を中学・高校・短大生別に検討し、中学時代からの運動継続の重要性について明らかにした。

影響因子は中学生では有意ではないが初経後年数、高校生では身長、体重、BMI、初経後年数、運動歴、短大生では身長、体重、BMI、運動歴であった。さらに高校・短大生において、これら因子について重回帰分析を行ったところ、説明変数として妥当な因子は、高校生では運動歴と初経後年数、短大生では運動歴のみであった。

一般に、運動による骨量増加の機序は、直接的には運動刺激が骨を電氣的に刺激し、骨芽細胞の活性化を図り骨形成を促進させること、また間接的には筋肉量の増加、食欲亢進によるカルシウム摂取亢進、戸外運動による皮膚でのビタミンD合成亢進などがいわれている¹⁹⁾。

しかし、この年代の女性の運動と骨量の関係については注意を要する。Dhuper et al.²⁰⁾は、13～20歳の女性43名の第1中足骨骨密度(DEXA 法)を測定し、骨密度の低い群は逆に日常の活動性が高かったとしている。この理由として、この群には過度の運動による続発性無月経が含まれていたことを挙げている。我々の検討では、そのような対象者は含まれていない。

今回の検討では初経後年数は中学・高校生のSTとは関連するが、短大生では関連がなかった。腰椎骨密度(DEXA 法)の縦断的研究²⁾では、初経後2年間の増加が大きく、初経後4年以上経ている人は増加がみられなくなっている。今回対象となった短大生はすべて初経後4年以上経ており妥当な結果と考えられた。

カルシウム摂取は、前述のように運動歴ほど骨密度との相関が少ないという報告¹⁷⁾¹⁸⁾もあるが、Hirota et al.²¹⁾は19～25歳の日本人女性161名の前腕骨密度(SPA 法)は、子供時代の牛乳摂取や現在のカルシウム摂取量と有意な相関があったと報告している。また Matkovic et al.²²⁾は、カルシウム摂取量が2倍違う二つの地域の骨量の比較し、有意な差を報告している。我々の成績からは、牛乳摂取との関連は見出せなかった。また、食事調査を実施した短大生98名の成績でも、1日のカルシウム摂取量との相関はみられなかった。今後、過去からの摂取状況を検討することが必要と思われる。

我々の成績から、PBM の形成時期にある高校・短大生の骨量は、中学時代からの継続的な運動習慣によって高められることが示唆された。

本研究にご協力いただいた富山県小杉保健所、国立富山商船高等専門学校、富山女子短期大学、同桑守豊美教授、富山医科薬科大学医学部保健医学教室山上孝司講師に心から感謝いたします。

本論文の要旨は、第48回日本産科婦人科学会学術講演会において発表した。

文 献

1. Bonjour J-PH, Theintz G, Buchs B, Slosman D, Rizzoli R. Critical years and puberty for spinal and femoral bone mass accumulation during adolescence. J Clin Endocrinol Metab 1991;

- 73: 555—563
2. Theinz G, Buchs B, Rizzoli R, Slosman D, Clavien H, Sizonenko PC, Bonjour J-PH. Longitudinal monitoring of bone mass accumulation in healthy adolescents. *J Clin Endocrinol Metab* 1992; 75: 1060—1065
 3. 清野佳紀. 日本人女性の最大骨量. *Clinical Calcium* 1995; 5: 571—572
 4. Lappe JM, Recker RR, Malleck MK, Stegman MR, Packard PP, Heaney RP. Patellar ultrasound transmission velocity in healthy children and adolescents. *Bone* 1995; 4: 251S—256S
 5. Southard RN, Morris JD, Mahan JD, Hayes JR, Torch MA, Sommer A, Zipf WB. Bone mass in healthy children. *Radiology* 1991; 179: 735—738
 6. Glastre C, Braillon P, David L, Cochat P, Meunier PJ, Delmas PD. Measurement of bone mineral content of the lumbar spine by dual energy X-ray absorptiometry in normal children. *J Clin Endocrinol Metab* 1990; 70: 1330—1333
 7. Zanchetta JR, Plotkin H, Alvarens ML. Bone mass in children. *Bone* 1995; 4: 393S—399S
 8. 山崎 薫, 串田一博, 大村亮宏, 佐野倫生, 佐藤義弘, 井上哲郎. 超音波骨量測定装置(Achilles Ultrasound Densitometer)の使用経験—測定精度と有用性の検討—. *Ther Res* 1992; 13: 3647—3655
 9. Gonnelli S, Cepollaro C, Agnusdei D, Palmieri R, Rossi S, Gennari C. Diagnostic value of ultrasound analysis and bone densitometry as predictors of vertebral deformity in postmenopausal women. *Osteoporosis Int* 1995; 5: 413—418
 10. 片平弦一郎, 稲垣慶正, 辻 正裕, 松井秀章. 青少年期における踵骨骨密度の検討. *日本骨形態計測学会雑誌* 1994; 4: 39—48
 11. Damilakis JE, Dretakis E, Gourtsoyiannis NC. Ultrasound attenuation of the calcaneus in the female population. *Calcif Tissue Int* 1992; 51: 180—183
 12. Waud CE, Lew R, Baran DT. The relationship between ultrasound and densitometric measurement of bone mass at the calcaneus in women. *Calcif Tissue Int* 1992; 51: 415—418
 13. Palacios S, Menendez C, Calderon J, Rubio S. Spine and femur density and broadband ultrasound attenuation of the calcaneus in normal spanish women. *Calcif Tissue Int* 1993; 52: 99—102
 14. Yamazaki K, Kushida K, Ohmura A, Sano M, Inoue T. Ultrasound bone densitometry of the os calcis in Japanese women. *Osteoporosis Int* 1994; 4: 220—225
 15. 白木正孝, 福永仁夫, 高松まり子, 白石 穰, 檜垣多希子, 柏谷美紀, 高梨美鈴, 村上祐子, 大井照, 白井アキ子, 石黒久江, 大坪美津江, 畑山善行. 骨粗鬆症と検診システム 東京: ライフサイエンス出版, 1996; 57—59
 16. 田中弘之. ビタミンD受容体多様性と骨量. *Clinical Calcium* 1995; 5: 638—639
 17. Fehily AM, Coles RJ, Evans WD, Elwood PC. Factors affecting bone density in young adults. *Am J Clin Nutr* 1992; 56: 579—586
 18. Cooper C, Cawley M, Bhalla A, Egger P, Ring F, Morton L, Barker D. Childhood growth, physical activity, and peak bone mass in women. *J Bone Miner Res* 1995; 10: 940—947
 19. 太田博明, 冬城高久, 杉本 到, 牧田和也, 高松潔, 野澤志朗. 骨粗鬆症の予防法. *産婦人科治療* 1996; 72: 315—322
 20. Dhuper S, Warren MP, Brooks-Gunn J, Fox R. Effects of hormonal status on bone density in adolescent girls. *J Clin Endocrinol Metab* 1990; 71: 1083—1088
 21. Hirota T, Nara M, Ohguri M. Effect of diet and lifestyle on bone mass in Asian young women. *Am J Clin Nutr* 1992; 55: 1168—1173
 22. Matkovic V, Kostial K, Simonovic I, Buzina R, Brodare A, Nordin BEC. Bone status and fracture rates in two regions of Yugoslavia. *Am J Clin Nutr* 1979; 32: 540—549

(No. 7808 平8・9・9受付)