

青年女性の体骨塩量が BODY MASS INDEX に及ぼす影響

宮元章次*・石河利寛**・高良宏明***・伊佐真徳****

Effect of Bone Mineral Content on Body Mass Index in Female Adults

Shoji MIYAMOTO*, Toshihiro ISHIKO**, Hiroaki TAKARA*** and Shintoku ISA****

Summary

This study was conducted to find how the ratio of bone mineral content to body weight (%BMC) influences body mass index (BMI). The subjects were 52 female students (ages 19-24) with BMI between 16.2 - 31.2kg/m². Dual energy x-ray absorptiometry was used to measure their body composition and bone mineral density. Height was 158.7 ± 3.5cm, weight was 55.8 ± 9.3kg, BMI was 22.0 ± 3.4kg/m², %BMC was 4.4 ± 0.5% and the ratio of bone mineral content to fat-free mass (%BMC/FFM) was 6.2 ± 0.4%. Bone mineral density was 0.828 ± 0.078g/cm² in the arms, 1.182 ± 0.112g/cm² in the legs, 0.918 ± 0.078g/cm² in the trunk and 1.153 ± 0.086g/cm² in the entire body. Body weight and BMI were found to have a significant interrelation with the bone mineral densities of the trunk and the entire body, respectively. The amount of body fat was found to have a significant interrelation with the bone mineral density of the trunk. Bone mineral content and %BMC/FFM were found to have significant interrelations with the bone mineral densities (arms, legs, trunk and entire body). There was a large negative interrelation between BMI and %BMC (r = -0.619). In other words, the heavier the subjects were the lower the %BMC was. There was a positive interrelation between BMI and %BMC/FFM (r = 0.456). In other words, the thinner the subjects were the lower the %BMC/FFM was. These results indicate that BMI is a valid estimate of %BMC measured with dual energy x-ray absorptiometry.

Key words: dual energy X-ray absorptiometry, BMI, %BMC

-
- * 宮崎公立大学人文学部 (〒 880-8520 宮崎県宮崎市船塚 1-1-2)
Faculty of Humanities, Miyazaki Municipal University (1-1-2, Funatsuka, Miyazaki-shi, Miyazaki 880-8520)
 - ** 順天堂大学スポーツ健康科学部 (〒 270-1695 千葉県印旛郡印旛村平賀学園台 1-1)
School of Health and Sports Science, Juntendo University (1-1, Hiragagakuendai, Inba-mura, Inba-gun, Chiba 270-1606)
 - *** 琉球大学保健管理センター (〒 903-0129 沖縄県中頭郡西原町千原 1)
Health Administration Center, University of the Ryukyus (1 Senbaru, Nishihara-cho, Nakagami, Okinawa 903-0129)
 - **** 琉球大学医学部 (〒 903-0100 沖縄県中頭郡西原町 207)
School of Medicine, University of the Ryukyus (207 Nishihara-cho, Nakagami, Okinawa 903-0100)

I. 緒言

3成分モデルによる身体組成は体脂肪量・体骨塩量・除脂肪除骨塩量の3つの成分に分けられている。これらの成分のうち、脂肪の密度0.9007は低く、骨塩の密度2.982は高い値を示す²⁾。

密度法を用いて算出された体脂肪率は Body Mass Index (BMI) との間に中等度の相関関係が認められたことから、BMI によって体脂肪量 (body adiposity) を推定することが可能となった²²⁾。現在では、BMIは肥満症の診断基準として臨床的に広く利用されている^{3, 8, 12, 27)}。

しかし dual energy x-ray absorptiometry (DEXA) 法などを用いて測定された骨密度は BMI との間に相関があることが報告されている^{14, 19)} もの、BMI は骨粗鬆症の診断基準として用いられていない。高齢者では身長の変縮が生じており、身長の変縮が BMI に影響を及ぼすからである¹³⁾。高齢者を対象とする骨粗鬆症検診の目的は骨密度の値、即ち骨折危険閾値²³⁾より低い者を発見することにある。骨粗鬆症検診のもう一つの目的は閉経などにより急速に骨密度が低下する者を発見して生活習慣を変えさせることである。現在の骨粗鬆症による骨折の発症率、並びに今後とも骨折の発症率が増加傾向を示すことが予想されていること^{9, 24)}を考慮すれば、骨粗鬆症の検診をうながす簡易な診断基準を作成する必要がある。BMIが骨粗鬆症の診断基準として適用できるかどうかの身体組成上の問題点は、身長・体重から算出される BMI から体骨塩量が推定されていないことにある。従って、BMI と体骨塩率との関連から、BMIが骨粗鬆症の診断基準として適切か否かを調査することは重要である。

体骨塩量の減少は閉経期の女性において問題になるために、この年代を対象にした研究が中心であるが、予防医学的には最大骨量 (peak bone mass) に達してくる青年期の体骨塩量の値が骨粗鬆症予防の基準にされている¹¹⁾。そこで、本研究では青年女性を対象として体骨塩量と BMI との関係について検討することを目的とした。

II. 方法

A. 対象

被検者は BMI が16.2–31.2kg/m²の範囲にある女子学生52名 (19–24歳) を対象とした。これらの対象者のうち、日本肥満学会における肥満判定基準

BMI 26.4kg/m²以上の者7名については健康診断の結果を参考にしてボランティアとしての同意を得たが、この時口頭及び文書にて調査の主旨及び内容を伝えた。残りの45名については大学の一般体育実技を受講している者の中から無作為に抽出し、前述の被検者と同じように調査の主旨及び内容を伝えてボランティアとしての同意を得た。なお、被検者の健康診断の結果はすべて良好であった。

B. 測定項目

測定項目は、身長 (cm)、体重 (kg) {体脂肪量 (kg) + 体骨塩量 (kg) + 除脂肪除骨塩量 (kg)}、BMI (kg/m²) {体重 (kg) ÷ 身長² (m²)}、体脂肪率 (%), 体骨塩率 (%) {(体骨塩量 ÷ 体重) × 100}、体骨塩量/除脂肪体重 (%), 及び骨密度 (kg/m²) (上肢, 下肢, 軀幹, 全身) であった。ただし、除脂肪体重 (kg) は体骨塩量 (kg) + 除脂肪除骨塩量 (kg) であった。

C. 測定方法

体重、体脂肪量、体骨塩量、除脂肪除骨塩量、体脂肪率、及び骨密度の測定には DEXA (Lunar 社、商品名 DPX) を用いた。なお、DEXA による測定は宮崎市内にある整形外科病院放射性同位元素検査室で実施した。測定期間は全員の健康診断が終了してから3ヶ月以内に実施した。

D. 統計処理

各測定項目の平均値及び標準偏差を求めた。相関分析には Pearson's correlation coefficient (ピアソンの相関係数) を用いた。BMI を独立変数にして、体骨塩量、体骨塩率、及び体骨塩量/除脂肪体重を従属変数にし、それぞれの回帰分析をおこなった。回帰の有意性検定には分散分析を用いた。いずれも確率水準5%を有意限界とした。回帰分析においては標準誤差 (standard error of estimate; SEE) を求めた。

III. 結果

表1は被検者の身長、体重、体脂肪量、体骨塩量、除脂肪除骨塩量、BMI、体脂肪率、体骨塩率、及び体骨塩量/除脂肪体重の平均値と標準偏差を示している。身長 158.7±3.5cm、体重55.8±9.3kg、体脂肪量17.0±8.2kg、体骨塩量2.413±0.314kg、

青年女性の骨塩量が BMI に及ぼす影響

除脂肪除骨塩量 $36.4 \pm 3.2\text{kg}$, BMI $22.0 \pm 3.4\text{kg/m}^2$, 体脂肪率 $30.5 \pm 9.3\%$, 体骨塩率 $4.4 \pm 0.5\%$, 及び体骨塩量/除脂肪体重 $6.2 \pm 0.4\%$ であった。

表2は被検者の骨密度（上肢、下肢、軀幹、及び全身）の平均値、及び標準偏差を示している。骨密度は上肢 $0.828 \pm 0.078\text{g/cm}^2$, 下肢 $1.182 \pm 0.112\text{g/cm}^2$, 軀幹 $0.918 \pm 0.078\text{g/cm}^2$, 及び全身 $1.153 \pm 0.086\text{g/cm}^2$ であった。

表3は被検者の身長、体重、体脂肪量、体骨塩量、BMI、体脂肪率、体骨塩率、体骨塩量/除脂肪体重と骨密度（上肢、下肢、軀幹、全身）との関係

を相関係数によって示した。体重、BMIは、軀幹の骨密度、全身の骨密度との間に、それぞれ有意の相関関係が認められた。体脂肪量は軀幹の骨密度との間に低い有意の相関関係が得られた。体骨塩量、及び体骨塩量/除脂肪体重は骨密度（上肢、下肢、軀幹、全身）との間にそれぞれ正の相関関係が得られたが、体骨塩率と軀幹の骨密度との間には有意な相関関係が認められなかった。

表4は体骨塩量、体骨塩率と身長、体重、体脂肪量、BMI、体脂肪率、体骨塩量/除脂肪体重との関係を示している。体骨塩量（BMC）は身長、体重、

Table 1. Physical characteristics of the subjects.

N=52	Height (cm)	Weight (kg)	Fat (kg)	BMC (kg)	Lean (kg)	BMI (kg/m ²)	%Fat (%)	%BMC (%)	%BMC/FFM (%)
Mean	158.7	55.8	17.0	2.413	36.4	22.0	30.5	4.4	6.2
SD	3.5	9.3	8.2	0.314	3.2	3.4	9.3	0.5	0.4

BMC: bone mineral content,

Lean: fat-free bone-free mass,

BMI: body mass index {weight (kg) $\div$ height² (m²)},

%BMC: (BMC $\div$ Weight) $\times$ 100,

%BMC/FFM: (BMC $\div$ fat-free mass) $\times$ 100,

SD: standard deviation,

Table 2. Bone mineral density of the subjects.

N=52	Arms (g/cm ³)	Legs (g/cm ³)	Trunk (g/cm ³)	Total (g/cm ³)
Mean	0.828	1.182	0.918	1.153
SD	0.078	0.112	0.078	0.086

SD: standard deviation

Table 3. Correlation coefficients between bone mineral density (BMD) (arms, legs, trunk, total) and variables of whole body of the subjects.

(N=52)	Height	Weight	Fat	BMC	BMI	%Fat	%BMC	%BMC/FFM
BMD Arms	-0.116	0.175	0.018	0.562*	0.261	-0.080	0.400*	0.415*
Legs	0.024	0.193	-0.030	0.594*	0.231	-0.140	0.530*	0.526*
Trunk	0.034	0.570*	0.382*	0.827*	0.590*	0.254	0.090	0.560*
Total	-0.020	0.386*	0.197	0.833*	0.436*	-0.090	0.396*	0.650*

BMC: bone mineral content,

BMI: body mass index {weight (kg) $\div$ height² (m²)},

%BMC/FFM: (BMC $\div$ fat-free mass) $\times$ 100,

BMD: bone mineral density, %BMC: (BMC $\div$ Weight) $\times$ 100,

*: P<0.05

体脂肪量, BMI, 体脂肪率, 体骨塩量/除脂肪体重との間に有意の相関関係が認められた. 体骨塩率(%BMC)は体重, BMI, 体脂肪率との間に有意の負の相関関係が認められた.

図1に青年女性におけるBMIと体骨塩量との関係を示した. 両者の間には中等度の正の相関関係が

認められた ($r=0.646$, $SEE=1.1\text{kg}$, $P<0.05$).

図2に青年女性におけるBMIと体骨塩率との関係を示した. 両者の間には負の相関関係が認められた ($r=-0.619$, $SEE=2.8\%$, $P<0.05$). 即ち, 体重に占める体骨塩量の割合はBMIの大きい者ほど小さかった.

Table 4. Correlation coefficients between bone mineral content and variables of the subjects.

(N=52)	Height	Weight	Fat	BMI	%Fat	%BMC/FFM
BMC	0.329*	0.684*	0.483*	0.646*	0.419*	0.731*
%BMC	-0.112	-0.626*	0.130	-0.619*	-0.783*	0.132

BMI: body mass index {weight (kg) $\div$ height² (m²) },

BMC: bone mineral content,

%BMC/FFM: (BMC $\div$ fat-free mass) $\times$ 100,

*: $P<0.05$ *

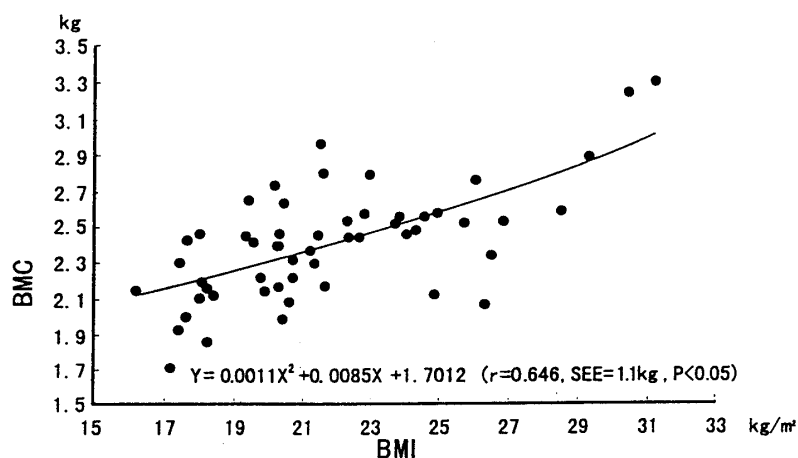


Fig. 1. Relationship between body mass index (BMI) and bone mineral content (BMC) of the subjects.

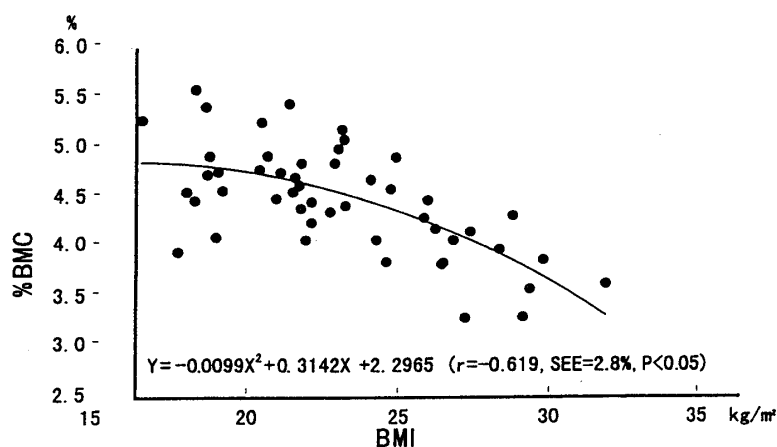


Fig. 2. Relationship between body mass index (BMI) and percent bone mineral content (%BMC) of the subjects.

図3に青年女性におけるBMIと体骨塩量/除脂肪体重との関係を示した。両者の間には正の相関関係が認められた ($r=0.456$, $SEE=3.0\%$, $P<0.05$)。即ち、除脂肪体重に占める体骨塩量の割合はBMIの低い者ほど小さかった。

IV. 考察

DEXA法を用いて算出された青年女性の体骨塩率 $4.4 \pm 0.5\%$ は、同じ方法を用いて算出された日本女性 (BMI 21.1 kg/m^2 , 体骨塩量 2.530 kg , 年齢 20.1 ± 1.3 歳) の体骨塩率 4.8% ¹⁷⁾、及び female reference body (BMI 19.8 kg/m^2 , 体骨塩量 2.432 kg , 年齢 $18-22$ 歳) の体骨塩率 4.8% ¹⁶⁾ よりも低い値を示した。本研究の対象者はこれらの報告の対象者よりも体重に相当する体骨塩量を獲得していなかったものと考えられる。

次に、BMIを独立変数に体骨塩率を従属変数にしてBMIと体骨塩率との関係 ($r=-0.619$, $SEE=2.8\%$, $P<0.05$) を図2に示した。この図の回帰式の標準誤差 2.8% をみるとやや変動の幅が大きいものの、BMIによる体骨塩率の推定が可能であることが示された。体骨塩率は痩身 (BMI 19.8 kg/m^2) のときに 4.6% 、標準体重 (BMI 22 kg/m^2) のときに 4.4% 、肥満 (BMI 26.4 kg/m^2) のときに 3.7% を示した。この結果、青年女性においてBMIが大きいということは体骨塩量が多い反面、体骨塩率が低い値を示すことが明らかになった。骨が単位体重当りを支える力は体骨塩率に比例していることから、青年女性において痩身 (BMIの値が低い) ほど骨折の発症率が低いことが推察される。しかし、痩身女

性においては閉経期以後に骨密度の顕著な減少が報告されており^{5, 15)}、閉経後6年以内の骨密度の減少は約 20% と見積もられている²⁶⁾。さらに、骨密度はBMIと相関すること^{14, 19)} から、痩身女性では骨密度が骨粗鬆症レベルまで低下する可能性が高いことが窺われる。このような骨密度の減少から推察して、痩身女性は閉経後に骨粗鬆症の発症率が高くなることが考えられる。さらに、身体組成についてはその被検者の日常生活状況、食事の状況、運動の状況などに深く関わっている。これらの点から骨粗鬆症の予防として、閉経後の痩身女性を見つけ出して適切な指導・管理を実施することが重要と思われる。

次に、体骨塩量の獲得に除脂肪体重が高く関連していることから^{7, 18, 21)}、BMIを独立変数 (X)、体骨塩量/除脂肪体重を従属変数 (Y) にしてBMIと体骨塩量/除脂肪体重との関係 ($r=0.456$, $SEE=3.0\%$, $P<0.05$) を示した (図3)。この図から体骨塩量/除脂肪体重はBMI 19.8 kg/m^2 のときに 5.8% 、BMI 22 kg/m^2 のときに 5.9% 、BMI $=26.4 \text{ kg/m}^2$ のときに 6.3% を示し、肥満者の体骨塩量/除脂肪体重は痩身及び標準体重者のそれと比較して増加していた。

BMIの高い者において体骨塩量/除脂肪体重が大きい要因として、体重による負荷や筋収縮による骨への歪 (strain) による力学的負荷、並びに女性ホルモンが挙げられる。力学的負荷については体骨塩量が増加する条件として骨に与えられる歪の大きさ、モード、頻度が関与することから^{7, 18, 21)}、BMIが高いほど大きな歪を得やすいことが推測される。

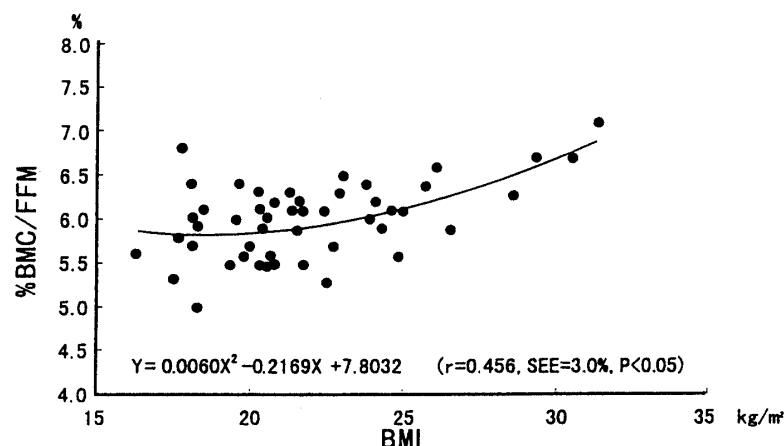


Fig. 3. Relationship between body mass index (BMI) and bone mineral content /fat - free mass (%BMC/FFM) of the subjects.

女性ホルモンについては、体骨塩量が女性ホルモンの影響を受けること²⁵⁾、及び脂肪組織が性ステロイドホルモンの代謝に重要な働きをし、男性ホルモンのアンドロゲンをエストロゲンに変換したり、卵巣ホルモンのエストラジオールをエストリオールに変換して排出していることから、脂肪細胞が増殖・肥大している肥満女性は痩身女性よりも女性ホルモンの分泌が安定していて骨のリモデリングが促進されていることが推測される。

肥満者とは体重に占める脂肪の割合が多い人であるように、痩身者とは除脂肪体重が少なく体重に占める脂肪の割合が少ない人である。骨密度は筋肉量と高い相関を示すことから^{4, 20, 22)}、除脂肪体重の軽い者ほど骨粗鬆症の危険が大きいことが推察される。健康診断の項目に腰椎や大腿骨部の骨密度の測定を導入するには経済的にも人的にも多大な出費を必要とする^{1, 6)}。そこで、骨粗鬆症の検診を実施するにあたっては、腰痛や体の変化に対する問診やX線写真による圧迫骨折などの状態が判断資料になっている。しかし、このような症状が現れる前に、痩身女性を対象にして骨粗鬆症の検診を実施することは重要であると推察される。

この点でBMIは従来から肥満の判定基準として用いられているが¹⁰⁾、体骨塩率とも相関が認められたことから、骨粗鬆症の診断基準にもBMIが利用できることが示唆された。しかし、本研究の対象者は月経が定期的にある青年女性であり、高齢者の場合には閉経を十分考慮しての検討が必要であると考えられる。

V. まとめ

本研究ではBMIが体骨塩量の影響をどの程度受けるかについて検討した。被検者はBMIが16.2–31.2 kg/m²の範囲にある女子学生52名(19–24歳)であった。身体組成及び骨密度の測定にはDEXAを用いた。被検者の身長は158.7±3.5cm、体重は55.8±9.3kgであり、BMIは22.0±3.4kg/m²であった。彼女らの体骨塩率は4.4±0.5%、体骨塩量/除体脂肪体重は6.2±0.4%であった。骨密度は上肢0.828±0.078g/cm²、下肢1.182±0.112 g/cm²、軀幹0.918±0.078g/cm²、及び全身1.153±0.086 g/cm²であった。体重及びBMIは、軀幹の骨密度、全身の骨密度との間に、それぞれ有意な相関関係が認められた。体脂肪量は軀幹の骨密度との間に有意な相関関

係が得られた。体骨塩量、及び体骨塩量/除脂肪体重は骨密度(上肢、下肢、軀幹、全身)との間にそれぞれ有意な相関関係が得られた。BMIと体骨塩率との間には負の相関関係が認められた($r=-0.619$)。即ち、体重に占める体骨塩量の割合は太った者ほど低値を示した。BMIと体骨塩量/除脂肪体重との間には正の相関関係が認められた($r=0.456$)。即ち、除脂肪体重に占める体骨塩量の割合は痩せた者ほど低値を示した。以上のように、BMIは二重エネルギー吸収法によって測定された体骨塩率を表す指標として適切であることが示唆された。

引用文献

- 1) Avioli L V (1991) Significance of osteoporosis: a growing international health care problem. *Calcif Tissue Int* 49: S5–S7
- 2) Brozek J, Grande F, Anderson J T and Keys A (1963) Densitometric analysis of body composition: Revision of some quantitative assumptions. *Ann N Y Acad Sci* 110: 113–140
- 3) Collins V R, Aloaina F L, Dowse G K, Spark R A, Toelue P M, Zimmet P Z and Imo T T (1994) Increasing prevalence of NIDDM in the pacific island population of Western Samoa over a 13-year period. *Diabetes Care* 17: 288–296
- 4) Doyle F and Brown J (1970) Relation between bone mass and muscle weight. *Lancet* 21: 391–393
- 5) Ernst M, Schmid C and Froesch E R (1988) Enhanced osteoblast proliferation and collagen gene expression by estradiol. *Proc Natl Acad Sci USA* 85: 2307–2310
- 6) Evans W J and Campbell W W (1993) Sarcopenia and age-related changes in body composition and functional capacity. *J Nutr* 123: 465–468
- 7) Frost H M (1987) Bone “mass” and the “mechanostat”: a proposal. *Anatomical Record* 219: 1–9
- 8) Harris T, Cook E F, Garrison R, Higgins M, Kannel W and Goldman L (1988) Body mass index and mortality among nonsmoking older persons: the Framingham heart study. *JAMA* 259: 1520–1524
- 9) 橋本勉, 吉村典子, 檀上茂人 (1991) 日本人における老人の転倒・骨折の実態. 別冊総合ケア26–32
- 10) 井上修二 (1993) 肥満とは. 日本肥満学会肥満症

青年女性の骨塩量が BMI に及ぼす影響

- 診療のてびき編集委員会編 肥満症：診断・治療のてびき 医歯薬出版 東京 pp. 14-24
- 11) 井上哲郎 (1993) 発生頻度と年次的変化. 藤田拓男編 オステオポロシス：診断と治療 (第2版) ライフサイエンス出版 東京 pp. 33-36
 - 12) 藤千賀子 (1990) 疫学：肥満 NIDDM の新しい視点. *Diabetes Frontier* 1 : 26-31
 - 13) Johnell O, O'Neil T W, Felsenberg D, Kanis J, Cooper C, Silman A J and the European vertebral osteoporosis study (EVOS) group (1997) Anthropometric measurements and vertebral deformities. *Am J Epidemiol* 146 : 287-293
 - 14) 梶田悦子, 伊木雅之, 飛田芳江, 三田村純江, 日下幸則, 緒方昭, 寺本路夫, 土田千賀, 山本和高, 石井靖 (1995) 中高年女性の腰椎骨密度とそれに影響する要因 (第3報) 有経者と閉経者別にみた体力指標及び Lifestyle 要因との関係. *日衛誌* 50 : 893-900
 - 15) Komm B S, Terpening C M, Benz D J, Graeme K A, Gallegos A, Korc M, Greene G L, O'Malley B W and Haussler M R (1988) Estrogen binding, receptor mRNA, and biologic response in osteoblast-like osteosarcoma cells. *Science* 241 : 81-84
 - 16) Miyamoto S, Ishiko T, Takara H and Mori S (1994) A modified formula to estimate body fat from body density in adult females. *Adv Exerc Sports Physiol* 1 : 13-17
 - 17) Miyamoto S and Ishiko T (1993) Effect of bone mineral content variation on the body fat ratio computation in young adults. *Jpn J Phys Fitness Sports Med* 42 : 271-277
 - 18) 宮元章次, 石河利寛, 北村虎雄, 押川紘一郎 (1999) ゲートボールの実施が高齢女性の骨密度に及ぼす影響. *体育学研究* 44 : 493-499
 - 19) 宮村季浩, 山縣然太朗, 飯島純夫, 浅香昭雄 (1994) 骨粗鬆症危険因子の骨塩量に与える影響についての検討. *日本公衆衛生誌* 41 : 1123-1130
 - 20) Nichols D, Sanborn C, Bonnick S, Dieringer K, Gench B, Jones C and DiMarco N (1992) Relationship of muscle mass to bone mineral density in female intercollegiate athletes. *Med Sci Sports Exercise* 24 : S46
 - 21) Nilsson B E and Westlin N E (1974) The bone mineral content in the forearm of women with colles' fracture. *Acta Orthop Scand* 45 : 836-844
 - 22) Revicki D A and Israel R G (1986) Relationship between body mass indices and measures of body adiposity. *Am J Public Health* 76 : 992-994
 - 23) Riggs B L, Wahner H W, Seeman E, Offord K P, Dunn W L, Mazess R B, Johnson K A and Melton L J (1982) Changes in bone mineral density of the proximal femur and spine with aging : differences between the postmenopausal and senile osteoporosis syndromes. *J Clin Invest* 70 : 716-723
 - 24) Rose S H and Melton L J (1982) Epidemiologic features of humeral fracture. *Clin Orthop* 168 : 24
 - 25) Snow-Harter C and Marcus R (1991) Exercise, bone mineral density, and osteoporosis. *Exerc Sport Sci Rev* 19 : 351-388
 - 26) Soda M, Mizunuma H (1993) Pre-and post-menopausal bone mineral density of the spine and proximal femur in Japanese women assessed by dual-energy X-ray absorptiometry : a cross-sectional study. *J Bone Miner Res* 9 : 183-189
 - 27) Wood P D, Stefanick M K, Willams P T and Haskell W L (1991) The effect on plasma lipoproteins of a prudent weight-reducing diet, with or without exercise, in overweight men and women. *N Engl J Med* 325 : 461-466

(平成12年8月30日受付, 10月16日訂正, 11月9日受理)