

## 減量に伴う体重・体組成の変化が中年肥満女性の骨量に及ぼす影響

中田由夫<sup>1)</sup>, 田中喜代次<sup>2)</sup>, #, 重松良祐<sup>2)</sup>, #  
 天貝均<sup>3)</sup>, #, 鈴木隆雄<sup>4)</sup>, #

## EFFECTS OF CHANGE IN BODY MASS AND BODY COMPOSITION DURING BODY MASS REDUCTION ON BONE MASS IN OBESE MIDDLE-AGED WOMEN

YOSHIO NAKATA, KIYOJI TANAKA, RYOSUKE SHIGEMATSU, HITOSHI AMAGAI and TAKAO SUZUKI

## Abstract

Although body mass is known to be related to bone mass, defined as bone mineral density (BMD) and bone mineral content (BMC), little is known about the effects of body mass reduction programs on bone mass. This study assessed bone mass changes in response to four body mass reduction programs that utilized diet and/or exercise. Ninety-four obese or overweight women (age  $49.3 \pm 7.1$  years, body mass  $68.5 \pm 7.7$  kg) were randomly assigned 4 groups (2 intervention forms  $\times$  2 trials): diet in trial 1 (D<sub>1</sub>, n=27), diet plus exercise in trial 1 (DE<sub>1</sub>, n=28), diet in trial 2 (D<sub>2</sub>, n=21), and diet plus exercise in trial 2 (DE<sub>2</sub>, n=18). Body mass, body mass index (BMI), absolute and relative (%fat) fat mass, lean mass, BMC, and BMD were measured by dual energy X-ray absorptiometry before and after the 3-month intervention program. Body mass loss was similar in D<sub>1</sub> (-9.7%) and D<sub>2</sub> (-11.6%), and in DE<sub>1</sub> (-13.8%) and DE<sub>2</sub> (-12.2%). However, BMC loss was different ( $P < 0.05$ ) between trial 1 and trial 2 for each intervention form (D<sub>1</sub>: -3.2% vs D<sub>2</sub>: -0.9%, DE<sub>1</sub>: -4.5% vs DE<sub>2</sub>: -0.8%). With this in mind, multiple regression analyses were applied, with either change in BMC or BMD as the dependent variable, and other physical characteristics measured before and after the intervention program as independent variables. Results indicated that multiple correlation coefficients were statistically significant ( $R = 0.61$  with BMC,  $R = 0.49$  with BMD). BMI after the intervention program and change in body mass were identified as the significant contributors to the change in BMC, while change in %fat and age were identified as the significant contributors to the change in BMD. These results suggest that, during body mass reduction, (1) physical characteristics are the significant contributors to changes in BMC and BMD and (2) exercise may not prevent the loss of bone mass.

(Jpn. J. Phys. Fitness Sports Med. 2002, 51 : 129~138)

**key word** : bone mineral content, bone mineral density, body mass reduction, exercise, physical characteristic

## I. 緒 言

高齢社会の到来とともに、痴呆症を含む寝たきり高齢者が増加しており、その数は2000年に

120万人、2025年に230万人と予測されている<sup>1)</sup>。厚生省は、寝たきりの原因疾患として脳血管障害や骨粗鬆症を挙げ、「寝たきり老人ゼロ作戦」として原因疾患の発生を予防するための対策を展開

<sup>1)</sup> 筑波大学体育科学研究科  
〒305-8574 茨城県つくば市天王台1-1-1

<sup>2)</sup> 筑波大学体育科学系  
〒305-8574 茨城県つくば市天王台1-1-1

<sup>3)</sup> 守谷慶友病院整形外科  
〒302-0018 茨城県北相馬郡守谷町立沢980-1

<sup>4)</sup> 東京都老人総合研究所疫学部門  
〒173-0015 東京都板橋区栄町35-2

# 筑波大学先端学際領域研究センター  
〒305-8577 茨城県つくば市天王台1-1-1

*Doctoral Program in Health and Sport Sciences, University of Tsukuba, 1-1-1 Tennodai, Tsukuba, Ibaraki, 305-8574, Japan*  
*Institute of Health and Sport Sciences, University of Tsukuba, 1-1-1 Tennodai, Tsukuba, Ibaraki, 305-8574, Japan*  
*Department of Orthopaedics Surgery, Moriya-keiyuu Hospital, 980-1 Tatsuzawa, Moriya, Kitasouma, Ibaraki, 302-0018, Japan*  
*Department of Epidemiology, Tokyo Metropolitan Institute of Gerontology, 35-2 Sakae, Itabashi, Tokyo, 173-0015, Japan*  
*Tsukuba Advanced Research Alliance, University of Tsukuba, 1-1-1 Tennodai, Tsukuba, Ibaraki, 305-8577, Japan*

してきた<sup>2)</sup>. 骨粗鬆症の治療としては, 食事療法や運動療法, 薬物療法が用いられているが, 食事療法と運動療法の効果やそのプロトコルが十分確立されているとはいい難く, 薬物療法によっても骨量を確実に増加させることは容易でない<sup>3)</sup>. そのため, 骨粗鬆症に対する予防・治療法を確立することが, 重要な課題として注目されてきている.

女性の骨量は閉経後に急速に減少し, 男性でも女性ほどではないものの, 加齢とともに緩やかに減少する. このような骨量の減少は, 閉経期の女性では, エストロゲンの急激な喪失に呼応して副甲状腺ホルモンなどの分泌が亢進し, 骨吸収が進むことによって生じる<sup>4)</sup>. また, 男女ともに高齢者では, 腸管でのカルシウム吸収力の低下, 腎機能の低下によるビタミンD産生力の低下, 性ホルモン分泌の低下など, 複数の因子が絡み合い, 骨量が減少する<sup>5)</sup>. しかし, これらの因子を調節することは困難であるため, 骨量減少を予防するためには, その他の調節可能な因子に着目していくことが重要である.

日本人を対象とした多くの疫学的研究によって, 体重や BMI (body mass index) が骨量と有意な正の関連を示すことが報告されている<sup>6~8)</sup>. このことから, 体重は骨量に影響を与える主な因子の1つと考えられ, その機序は体重が骨にかかる力学的負荷<sup>9)</sup>によって説明される. 骨は, 体重に限らず何らかの力学的負荷が加わると, その負荷に適応するように変化する. このことは1世紀以上前から Wolff の法則として知られ, この現象が運動療法に応用されている<sup>10)</sup>. このため, 恒常的な負荷として働く体重の影響は大きく, 体重の増加または維持が, 骨量の減少を予防するために重要な役割を果たすと考えられる.

一方, エネルギーの過剰摂取と運動不足が蔓延する現代社会において, 成人期に増加する体重のほとんどすべては脂肪組織の蓄積によるものであり, 糖尿病や高脂血症, 痛風, 動脈硬化性疾患につながる危険性を有している<sup>11)</sup>. このため, 過体重の肥満者に対して減量が勧められている. しかし, 体重の変化と骨量の変化の関連性を考慮すると, 体重減少に伴う骨量減少の可能性が危惧さ

れる.

減量を実施した際の骨量の変化を報告した先行研究では, 減量に伴い骨量が減少する<sup>12,13)</sup>, 減量しても骨量は変化しない<sup>14,15)</sup>, という2つの相反する結果が報告されている. このように定まった見解が得られていない主な因子としては, 1) 減量プログラムの内容や期間, 2) 対象者の年齢や体重・BMI などの身体的特徴, 3) 減量効果(体重・体組成の変化量)に差があるためと考えられる. しかし, 先行研究を比較検討しても, これらの因子が異なっているため, 何が骨量の変化により大きな影響を与えているのかを特定することはできない.

そこで, 本研究では, 減量プログラムに起因する差異を除くため, 同一の減量プログラムを異なる2つの集団に提供することにした. 減量プログラムには, 食事制限のみと, 食事制限に加えて運動を実践する2つのプログラムを設定した. また, 異なる2つの集団とはいえ, 身体的特徴に大きな差異のない集団とした. 以上の研究デザインにより, 1) 体重・体組成の変化が骨量に与える影響, 2) 運動が減量に伴う骨量の減少を抑えるか否か, を明らかにすることを本研究の目的とした.

## Ⅱ. 方 法

### A. 対象者

対象者は, 地域情報誌にて募集した茨城県および千葉県に在住する中年肥満もしくは肥満傾向女性94名(平均年齢 $49.3 \pm 7.1$ 歳)である. 選定条件は, 二重エネルギーX線吸収法(dual energy X-ray absorptiometry: DEXA)の全身骨測定による体脂肪率30%以上とした. 対象者のうち55名が, 1999年2月から4月に東取手病院(茨城県取手市)で開催された第1回目の減量教室(教室①)に, 39名が1999年12月から2000年2月に開催された第2回目の教室(教室②)に参加した. 教室①に参加した55名を, 食事制限のみをおこなった(diet: D<sub>1</sub>)群27名と, 食事制限に加えて週3回の運動教室に参加した(diet+exercise: DE<sub>1</sub>)群28名に分けた. 教室②に参加した39名も教室①と同様に, D<sub>2</sub>群21名と, DE<sub>2</sub>群18名に分けた. 対照群の設定は,

Table 1. Personal and anthropometric characteristics of the subjects at baseline.

		Trial 1		Trial 2		C (n = 19)	ANOVA
		D <sub>1</sub> (n = 27)	DE <sub>1</sub> (n = 28)	D <sub>2</sub> (n = 21)	DE <sub>2</sub> (n = 18)		
Age	(yr)	49.2 ± 7.7	50.3 ± 7.1	47.3 ± 7.6	50.0 ± 5.3	47.7 ± 7.8	ns
Height	(cm)	156.0 ± 5.0	154.8 ± 4.3	155.8 ± 5.5	156.1 ± 5.7	155.1 ± 5.5	ns
Body mass	(kg)	66.4 ± 8.5	67.1 ± 6.5	70.7 ± 7.6	71.4 ± 7.2	68.5 ± 6.3	ns
BMI	(kg/m <sup>2</sup> )	27.3 ± 3.3	28.0 ± 1.9	29.0 ± 2.2	29.3 ± 2.5	28.5 ± 1.8	ns
%fat	(%)	36.5 ± 3.0	38.7 ± 3.4	38.9 ± 2.4	39.1 ± 4.5	38.4 ± 2.3	ns

Body mass and %fat were measured by dual energy X-ray absorptiometry.

Values are presented as means ± standard deviations.

D=diet ; DE=diet+exercise ; C=control ; ANOVA=analysis of variance ; BMI=body mass index ; ns=not significant.

本研究のように対象者を地域情報誌で募集した場合、体重を変化させないことを希望する者はほとんどいないため非常に困難であることを踏まえ、教室②を開始する3ヵ月前に教室②の対象者の中から無作為に抽出した19名に対して、教室前後と同一の項目を測定した。この測定後、教室開始まで普段と変わらない生活をするように指示し、教室前までの3ヵ月間の変化を、対照(control:C)群の結果として扱うこととした。対象者の身体的特徴は表1に示した。いずれの項目においても、5群の平均値間に有意な差はなかった。なお、対象者の中に骨代謝に影響を与える疾患を持つ者や薬物療法を受けている者はいなかった。教室開始前の時点で最終月経発来後1年以上経過している者を閉経者と定義すると、その数はD<sub>1</sub>群12名(44.4%)、DE<sub>1</sub>群13名(46.4%)、D<sub>2</sub>群6名(28.6%)、DE<sub>2</sub>群9名(50.0%)、C群7名(36.8%)であった。閉経者が含まれる比率に5群間で有意差はなかった。対象者には、研究の内容および目的を詳細に説明し、研究参加の同意を得た。

## B. 測定項目および測定方法

測定項目は、身長(height)およびDEXAの全身骨測定から得られる骨密度(bone mineral density : BMD)、骨塩量(bone mineral content : BMC)、体脂肪率(%fat)、脂肪量(fat)、筋量(fat- and bone-free lean tissue mass : lean)であった。また、BMC+fat+leanを体重(body mass)、body mass/height<sup>2</sup>(kg/m<sup>2</sup>)をBMIとして算出した。なお、

leanは筋量以外の重量も含む除脂肪除骨塩量であるが、実際の筋量との相関が極めて高い<sup>16,17)</sup>ため、本研究ではleanを筋量とみなした。測定機器はLunar社製DPX-L(Version 1.35)であった。本研究の対象者の中から無作為に抽出した7名の被検者に対し、測定を2回繰り返した際の各測定項目の変動係数は、BMD 0.7%、BMC 1.6%、%fat 2.1%、fat 2.1%、lean 1.5%、body mass 0.4%であった。

## C. 食事指導内容

食事指導の内容は、C群を除く全ての群に共通したものである。本研究では摂取エネルギー量を抑えながらも良好な栄養状態を維持する目的で、減量補助食品としてその顕著な効果が認められている<sup>18~21)</sup>マイクロダイエット(サニーヘルス社)の使用を指示した。マイクロダイエットは英国のサリー大学生化学教室で開発、ユニバイト・ニュートリション社(英国)により製品・市販化され、わが国ではサニーヘルス社(長野)によってライセンス生産されている。1食分のエネルギー量は169~173kcalであり、たんぱく質、糖質、脂質、アミノ酸、ビタミン、ミネラルなどをバランスよく摂取することが可能なことから<sup>19,21)</sup>、1食に求められる各栄養素の摂取基準<sup>22)</sup>をほぼ満たしている。摂取頻度は原則として、最初の2週間は1日2食、その後は1日1食とした。その他の食事は1食あたり400~600kcal程度に抑えた栄養バランスのよい食事を摂取するように指導した。しかし、実際にはこれらの内容を理想とし

つも, マイクロダイエットを摂取する際に, 他の食品の併用を認めるなど柔軟に指導した. 対象者には1食ごとの食事内容を記録させ, 各教室参加時に提出させた. その記録をもとに摂取エネルギー量を確認し, 管理栄養士が食習慣などについて栄養指導した.

1日の総摂取エネルギー量の平均値を3日間の食事記録から推定すると, 教室前はD<sub>1</sub>群(n=21)が1948±512 kcal/d, DE<sub>1</sub>群(n=27)が1912±283 kcal/d, D<sub>2</sub>群(n=13)が1958±304 kcal/d, DE<sub>2</sub>群(n=16)が1841±374 kcal/dであり, 教室中はD<sub>1</sub>群が1120±228 kcal/d, DE<sub>1</sub>群が1085±135 kcal/d, D<sub>2</sub>群が944±225 kcal/d, DE<sub>2</sub>群が903±166 kcal/dであり, いずれの群も有意に減少した. 教室前からの総摂取エネルギー量の変化量はD<sub>1</sub>群が-828±378 kcal/d, DE<sub>1</sub>群が-826±280 kcal/d, D<sub>2</sub>群が-1014±340 kcal/d, DE<sub>2</sub>群が-937±468 kcal/dであり, 4群間で有意差はみられなかった. また, カルシウム摂取量については教室②の対象者についてのみの分析結果であるが, 教室前はD<sub>2</sub>群が585±163 mg/d, DE<sub>2</sub>群が598±170 mg/dであったのに対し, 教室中はD<sub>2</sub>群が834±291 mg/d, DE<sub>2</sub>群が775±172 mg/dであり, 2群とも有意に増加したが, その変化量に群間差はなかった.

#### D. 運動指導内容

DE<sub>1</sub>群およびDE<sub>2</sub>群に対しては, 75分間の運動指導を週3回実施した. このうち, 週2回はベンチステップエクササイズ<sup>23,24)</sup>を中心とした内容であり, 週1回はペース(programmed aerobic/anaerobic/accommodating circuit exercise: PACE)<sup>25)</sup>を中心とした内容であった. ベンチステップエクササイズは, 個人の体力レベルに合わせて高さを調節できるベンチを用いた aerobic dance の一種である. ウォーミングアップ, メインエクササイズ, クーリングダウンは, ベンチステップエクササイズの中で, 一連の運動として取り入れられた. PACEは, 有酸素性運動のステーション(フロアエクササイズ)と, レジスタンス運動のステーション(油圧式トレーニングマシン8

台を用いる)を30秒間ずつ交互におこなうサーキット形式の運動である. マシン8台は, 上半身, 下半身をバランスよくトレーニングできるよう交互に配置された. 1セットは8分間で, 2分ほどの休憩をはさみながら2~3セット実践させた. PACEの前には準備運動を, 後には自宅のできる筋力運動と整理運動を指導した. 消費エネルギー量は1回あたり約200~300 kcalと推定された<sup>23,26)</sup>.

#### E. 統計処理

各項目の測定結果は, 平均値±標準偏差で示した. 教室前, 教室後における各測定項目の平均値の比較には, 対応のあるt検定を適用した. 教室前の測定値や減量に伴う変化率の群間比較には, 一元配置の分散分析を用いた. 分散分析で平均値間に有意差が認められた項目については Scheffe の多重比較検定を適用した. なお, Levene の等分散性の検定により正規性を仮定できなかった項目については, Kruskal-Wallis の分散分析と Mann-Whitney のU検定を用いた. また, 各項目間の相関関係の検討には Pearson の積率相関係数を用い, 骨量の変化と関連のある因子を特定するためには, stepwise 法による重回帰分析を適用した. 全ての統計解析には, SPSS 9.0J for Windows を用い, 統計学的有意水準を5%に設定した.

### Ⅲ. 結 果

#### A. 減量に伴う測定項目の変化

各群の減量に伴う測定項目の変化を表2に示した. Body mass, BMI, %fat, fat, lean はC群を除く全ての群で有意に減少し, その減少率はC群と比べて有意に大きかった. BMC はD<sub>1</sub>群とDE<sub>1</sub>群で有意に減少し, その減少率はC群と比べて有意に大きかった. BMD はC群を除く全ての群で有意に減少したが, その減少率がC群と比べて有意に大きかったのはDE<sub>1</sub>群のみであった.

各項目の変化率の差を, 運動実践の有無によって比較すると, 教室①では body mass, BMI, %fat, fat がD<sub>1</sub>群よりもDE<sub>1</sub>群で大きく減少していた

Table 2. Changes in body composition and bone mineral density measured by dual energy X-ray absorptiometry.

	Trial 1		Trial 2		C (n = 19)	Post hoc test <sup>1</sup>
	D <sub>1</sub> (n = 27)	DE <sub>1</sub> (n = 28)	D <sub>2</sub> (n = 21)	DE <sub>2</sub> (n = 18)		
Body mass (kg)						
Baseline	66.4 ± 8.5	67.1 ± 6.5	70.7 ± 7.6	71.4 ± 7.2	68.5 ± 6.3	
Change	-6.4 ± 2.2*	-9.3 ± 3.0*	-8.1 ± 3.2*	-8.8 ± 3.3*	0.2 ± 1.3	D <sub>1</sub> , DE <sub>1</sub> , D <sub>2</sub> , DE <sub>2</sub> < C
%change	-9.7 ± 3.2	-13.8 ± 4.1	-11.6 ± 4.7	-12.2 ± 4.0	0.4 ± 2.0	DE <sub>1</sub> , DE <sub>2</sub> < D <sub>1</sub>
BMI (kg/m <sup>2</sup> )						
Baseline	27.3 ± 3.3	28.0 ± 1.9	29.0 ± 2.2	29.3 ± 2.5	28.5 ± 1.8	
Change	-2.6 ± 0.9*	-3.8 ± 1.2*	-3.3 ± 1.5*	-3.6 ± 1.3*	0.0 ± 0.6	D <sub>1</sub> , DE <sub>1</sub> , D <sub>2</sub> , DE <sub>2</sub> < C
%change	-9.7 ± 3.2	-13.7 ± 4.1	-11.6 ± 4.7	-12.2 ± 4.0	0.1 ± 2.0	DE <sub>1</sub> , DE <sub>2</sub> < D <sub>1</sub>
%fat (%)						
Baseline	36.5 ± 3.0	38.7 ± 3.4	38.9 ± 2.4	39.1 ± 4.5	38.4 ± 2.3	
Change	-4.5 ± 2.5*	-7.7 ± 3.0*	-5.8 ± 3.8*	-6.3 ± 2.5*	-0.7 ± 1.2*	D <sub>1</sub> , DE <sub>1</sub> , D <sub>2</sub> , DE <sub>2</sub> < C
%change	-12.5 ± 7.3	-20.3 ± 8.5	-15.2 ± 10.2	-16.1 ± 6.7	-1.9 ± 3.0	DE <sub>1</sub> < D <sub>1</sub>
Fat (kg)						
Baseline	24.4 ± 4.6	26.1 ± 4.4	27.6 ± 4.1	28.1 ± 5.2	26.3 ± 3.5	
Change	-4.9 ± 1.9*	-8.0 ± 2.6*	-6.5 ± 3.0*	-7.4 ± 2.7*	-0.4 ± 1.2	D <sub>1</sub> , DE <sub>1</sub> , D <sub>2</sub> , DE <sub>2</sub> < C
%change	-20.8 ± 8.6	-31.1 ± 9.9	-24.7 ± 12.3	-26.2 ± 8.5	-1.5 ± 4.6	DE <sub>1</sub> , DE <sub>2</sub> < D <sub>1</sub>
Lean (kg)						
Baseline	39.5 ± 4.4	38.6 ± 3.0	40.4 ± 3.7	40.8 ± 3.8	39.6 ± 3.3	
Change	-1.4 ± 1.2*	-1.2 ± 1.0*	-1.5 ± 1.3*	-1.5 ± 1.6*	0.7 ± 0.6*	D <sub>1</sub> , DE <sub>1</sub> , D <sub>2</sub> , DE <sub>2</sub> < C
%change	-3.4 ± 3.0	-3.0 ± 2.4	-3.7 ± 3.0	-3.4 ± 3.6	1.7 ± 1.4	
BMC (g)						
Baseline	2525 ± 372	2441 ± 392	2615 ± 362	2548 ± 356	2549 ± 283	
Change	-80 ± 68*	-110 ± 45*	-23 ± 82	-19 ± 103	-17 ± 29*	D <sub>1</sub> , DE <sub>1</sub> < D <sub>2</sub> , DE <sub>2</sub> , C
%change	-3.2 ± 2.7	-4.5 ± 1.6	-0.9 ± 3.2	-0.8 ± 3.8	-0.6 ± 1.1	
BMD (g/cm <sup>2</sup> )						
Baseline	1.16 ± 0.08	1.13 ± 0.09	1.19 ± 0.08	1.17 ± 0.09	1.17 ± 0.07	
Change	-0.01 ± 0.01*	-0.02 ± 0.02*	-0.01 ± 0.02*	-0.01 ± 0.02*	0.00 ± 0.01	DE <sub>1</sub> < D <sub>1</sub> , C
%change	-0.9 ± 1.2	-2.1 ± 1.5	-0.9 ± 1.4	-1.2 ± 1.4	0.1 ± 0.9	

Values are presented as means ± standard deviations.

D=diet; DE=diet+exercise; C=control; BMI=body mass index; BMC=bone mineral content; BMD=bone mineral density.

\*Significantly different between baseline and the month 3 ( $P < 0.05$ ).

<sup>1</sup> Post hoc test was applied to analyze specific mean comparisons for % changes ( $P < 0.05$ ).

が、lean の変化率に群間差はなかった。骨量の変化についてみれば、BMC は D<sub>1</sub> 群と DE<sub>1</sub> 群とで差はなかったが、BMD は DE<sub>1</sub> 群が D<sub>1</sub> 群よりも大きく減少していた。一方、教室②では、全ての項目の変化率に群間差はなかった。

各項目の変化率の差を、教室の違いによって比較すると、body mass, BMI, %fat, fat, lean については、教室の違いによる差はなかったが、BMC についてみれば、D 群、DE 群ともに、教室②よりも教室①で大きく減少していた。

## B. 骨量の変化と関連のある因子

骨量の変化と関連のある因子を検討するために、BMC と BMD の変化量と body mass, BMI, %fat, fat, lean の変化量との相関係数を算出した(表3)。なお、ここでは検定力を高めるために、教室①と教室②の結果を合わせて統計処理した。

その結果、BMC と BMD の変化量は lean を除く全ての項目の変化量と有意な相関関係にあった。しかし、変化量どうしの相関関係だけでは対象者の身体的特徴を考慮した分析ができないことから、年齢や月経の有無、height, body mass, BMI, %fat, fat, lean の教室前、教室後の測定値、さらに各項目の教室前後の変化量を独立変数として投入し、BMC と BMD の変化量を従属変数とし

Table 3. Correlations between change in body mass, BMI, %fat, fat, and lean and change in BMC and BMD (n=94).

	Body mass	BMI	%fat	fat	lean
BMC	0.41*	0.40*	0.44*	0.41*	0.02
BMD	0.34*	0.36*	0.41*	0.36*	0.03

BMI=body mass index; BMC=bone mineral content; BMD=bone mineral density.

\*Significantly correlated ( $P < 0.05$ ).

Table 4. Multiple regression analyses with changes in bone mineral content (BMC) and bone mineral density (BMD).

Dependent variable	Independent variable	$\beta$	R
Change in BMC	Post body mass index	0.42	0.57
	Change in body mass	0.29	
Change in BMD	Change in %fat	0.42	0.45
	Age	-0.20	

Multiple regression analyses were applied, with either change in BMC or BMD as the dependent variable, and other anthropometric characteristics measured before and after the diet and/or exercise intervention program as independent variables ( $P < 0.05$ ).

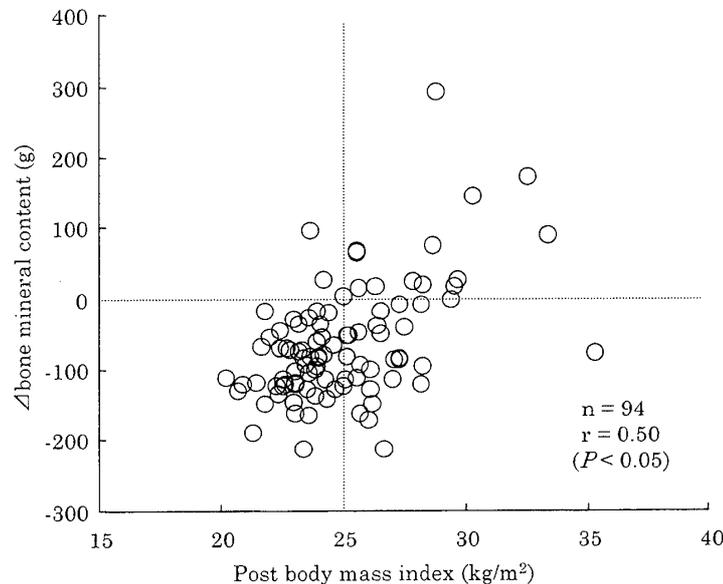


Fig. 1. Scatter diagram between change in bone mineral content and body mass index after the diet and/or exercise intervention program.

た stepwise 法による重回帰分析を施した(表4). 重回帰分析の結果, 独立変数として採択された変数は, BMCでは教室後のBMIとbody massの変化量であり, BMDでは%fatの変化量と年齢であった. BMCの変化量に対する独立変数として, 減量に伴う各測定項目の変化量ではなく, 先行研究で報告されていない教室後のBMIが採択されたことから, 教室後のBMIとBMCの変化量との関係を確認したところ,  $r=0.50$ の有意な相関関係があった(図1).

#### IV. 考 察

身体組成と骨量の関連性を横断的に検討した先行研究により, 肥満者の骨量は一般成人と比べて有意に高い値を示すことが報告されている<sup>27~30</sup>. そのため, 本研究の対象者の骨量も一般成人と比べて高いことが予想できたが, 測定機種やソフトウェアが異なると測定値に差が生じるため<sup>31,32</sup>, 異なる施設で測定された結果と比較する際には慎重を期さなければならない. そこで, 本研究と同一の施設で同一の機種とソフトウェアを用いて田中たち<sup>33</sup>が測定した一般成人女性109

名(平均年齢52.5歳, 体重 54.4 kg)の平均 BMC 2.1 kg と比較すると, 本研究の対象者94名の平均 BMC は 2.5 kg であり, 約20%高い値であった. このことから, 本研究の対象者の骨量も, 一般成人と比べて高いことが示唆された.

先行研究において, 肥満者の骨量の高いことは, 体重が骨にかかる力学的負荷によって説明されている. Frost<sup>9)</sup>は, 骨にかかる力学的負荷が増大すれば, その負荷に耐えられるように骨は適応すると述べており, 肥満者の高骨量は体重の増加に適応した結果と考えられる<sup>29,34)</sup>. これと同様に, 減量に伴う骨量の減少も, 体重が減少することによる生理的な適応と考えられる. 実際, Compston et al.<sup>12)</sup>は, 体重の変化量と BMD の変化量との間に  $r=0.67$  ( $n=12$ ), Jensen et al.<sup>13)</sup>は脂肪量の変化量と BMC の変化量との間に  $r=0.86$  ( $n=51$ )の相関関係があったことを報告し, 骨量の変化は体重の変化に適応した結果であると結論づけている.

本研究においても, 体重の変化量と BMC の変化量との間には  $r=0.41$ , BMD の変化量との間には  $r=0.34$  の有意な相関関係があった(表3). しかし, 同一の減量プログラムを実施した DE<sub>1</sub> 群と DE<sub>2</sub> 群を比較すると, 体重の減少率に有意な差がなかったにもかかわらず, DE<sub>1</sub> 群の BMC 減少率が DE<sub>2</sub> 群よりも有意に大きかった(DE<sub>1</sub> 群 -4.5%, DE<sub>2</sub> 群 -0.8%). また, D<sub>1</sub> 群と D<sub>2</sub> 群を比較しても, BMC 減少率が D<sub>2</sub> 群 (-0.9%) よりも D<sub>1</sub> 群 (-3.2%) で有意に大きかった(表2). このように, 教室①と教室②で生じた骨量の減少率の差を体重の減少率のみで説明することはできなかった. 本研究では, 2つの教室で同一の減量プログラムを提供したことから, 食事内容や運動内容に大きな差があるとは考えられない. 平均年齢や閉経者数にも有意差はないことから, 加齢や月経による影響は小さいと考えられる.

そこで, 各測定項目の教室前, 教室後の測定値, 教室前後の変化量を独立変数とし, BMC と BMD に対する重回帰分析を施すことによって, 骨量の変化と関連のある因子を検討した(表4). その結果, それぞれの重相関係数(R)は BMC で0.57,

BMD で0.45と統計的に有意であり, 骨量の減少を引き起こす因子として, 体重や体脂肪率の減少量に加えて, 対象者の年齢や教室後の BMI の関係が示唆された. 特に, 教室後の BMI が低いほど BMC の減少量が大きいという知見は, Ramsdale & Bassey<sup>34)</sup>の報告した, BMI 25.6 の軽度肥満女性が体重を 3.3 kg 減少させただけで BMC が0.8%減少したことの説明にもつながる.

教室後の BMI が骨量の減少を説明する機序については, Frost が提唱しているメカノスタット理論<sup>35)</sup>があてはまるかもしれない. メカノスタット理論とは, 骨量の恒常性が保たれる力学的負荷の範囲が決まっており, その範囲を超えたときに骨量が増加するという理論である. BMI が骨にかかる力学的負荷を反映していると仮定すれば, 骨量の恒常性が保たれる BMI の範囲を下回ったときに, 骨量が減少するという推論が成り立つ. しかし, 図1に示したように, BMI だけでは説明できない部分も多いため( $r^2=0.25$ ), 今後さらにデータを蓄積して検討する必要がある.

日本肥満学会が定めた肥満の判定基準<sup>11)</sup>によると, BMI 25 以上が肥満と判定される. 本研究の対象者の中で, 教室後に BMI が25未満となった者は53名(56.4%)であったが, そのうち減量に伴い BMC が減少しなかった者は, わずか3名であった(図1). このことから, 教室後の BMI が25未満となるような軽度肥満女性において, 減量に伴い骨量が減少する可能性の高いことが示唆された. このため, 軽度肥満女性に対して減量を指導する際には, 骨量が減少しないように配慮することが必要であり, 今後はその具体的な方策について検討をすすめていくべきであろう.

最後に, 骨量の減少を抑制するための運動の効果について論じたい. Chilibeck et al. がまとめた運動と骨の関係についてのレビュー<sup>36)</sup>によれば, 筋力運動や衝撃の強い持久性トレーニングに骨密度を高める効果があることが示唆されている. 本研究では, 減量に伴う骨量の減少を抑制することを意図し, DE 群に対して, 食事制限に有酸素性運動とレジスタンス運動を組み合わせた運動プログラムを提供した. しかし, 表2に示したように,

骨量の変化に D 群と DE 群の差はなく, 運動の実践による効果はみられなかった. このような結果が得られた原因として, 運動プログラムにレジスタンス運動を取り入れたにもかかわらず, 減量に伴う筋量の減少を抑制することができなかったことが挙げられる. Valdimarsson et al.<sup>37)</sup>は, 若年女性を対象とした横断的研究ではあるが, 筋量と骨量の相関関係が高いことを報告していることから, 減量に伴う骨量の減少を抑制するためには, 筋量を維持・増加させることが重要であると考えられる. 今後は, 本研究で取り入れたレジスタンス運動よりも高強度の運動を提供した際の骨量の変化を検討することが必要であろう.

## V. ま と め

本研究では, 3 ヶ月間の減量プログラムを2つの集団に対して提供し, 減量に伴う体重・体組成の変化が骨量に及ぼす影響を検討した. その結果, 異なる2つの集団では体重の減少率に有意差はなかったが, 骨量の変化率に有意差が生じた. この骨量の変化に影響を及ぼす因子を重回帰分析によって検討すると, BMC の変化には教室後の BMI と体重の変化量が, BMD の変化には体脂肪率の変化量と年齢が関与していた. また, 本研究では, 運動の実践により減量に伴う骨量の減少を抑えることはできなかった.

## 謝 辞

本研究は, 筑波大学先端学際領域研究センター (TARA 田中プロジェクト) の支援を受けた. また, 東取手病院の中西とも子氏, 筑波大学大学院生にはデータ収集に対して多大なご協力を頂いた. ここに記して感謝したい. なお, 本研究の一部は, 第56回日本体力医学会大会にて発表した.

(受理日 平成13年10月22日)

## 文 献

- 1) エイジング総合研究センター, 岡崎陽一, 山口喜一(監修) 高齢社会の基礎知識, 中央法規出版, 東京, (1998), pp. 60-71.
- 2) 厚生省老人保健福祉局老人保健課, 新寝たきり老人ゼロ作戦関係通知集, 日本法令, 東京, (1998), pp. 6-10.
- 3) 山本逸雄, 治療の基本的問題, 折茂肇(編)最新骨粗鬆症, ライフサイエンス出版, 東京, (1999), pp. 436-440.
- 4) 山崎 薫, 井上哲郎, 閉経後骨粗鬆症, 折茂 肇(編)最新骨粗鬆症, ライフサイエンス出版, 東京, (1999), pp. 47-51.
- 5) 堀内敏行, 老人性骨粗鬆症. 折茂 肇(編)最新骨粗鬆症, ライフサイエンス出版, 東京, (1999), pp. 51-55.
- 6) 宮村季浩, 山縣然太郎, 飯島純夫, 浅香昭雄, 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, 日公衛誌, (1994), **41**, 1122-1130.  
Miyamura, T., Yamagata, Z., Iijima, S., Asaka, A. Study on the association between risk factors for osteoporosis and bone mineral density. Jpn. J. Public Health, (1994), **41**, 1122-1130.
- 7) 梶田悦子, 伊木雅之, 飛田芳江, 三田村純枝, 日下幸則, 緒方 昭, 寺本路夫, 土田千賀, 山本和高, 石井 靖, 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 要因と骨密度の関係, 日衛誌, (1995), **50**, 893-900.  
Kajita, E., Iki, M., Tobita, Y., Mitamura, S., Kusaka, Y., Ogata, A., Teramoto, M., Tsuchida C., Yamamoto, K., Ishii, Y. Bone mineral density of the lumbar spine and its relation to biological and lifestyle factors in middle-aged and aged Japanese women (Part 3). Relationships of physical fitness and lifestyle factors to bone mineral density in premenopausal and postmenopausal women. Jpn. J. Hyg., (1995), **50**, 893-900.
- 8) 鈴木隆雄, 楠本彩乃, 永井晴美, 吉田英世, 渡辺修一郎, 熊谷 修, 天野秀紀, 柴田 博, 閉経期の女性の骨密度測定法の差異による骨量評価についての研究-DXA 法と超音波法の比較-, 日公衛誌, (1996), **43**, 16-27.  
Suzuki, T., Kusumoto A., Nagai, H., Yoshida, H., Watanabe, S., Kumagai, S., Amano, H., Shibata, H. Comparison of bone mineral levels in healthy Japanese perimenopausal women measured by dual energy X-ray absorptiometry and ultrasound methods. Jpn. J. Public Health, (1996), **43**, 16-27.
- 9) Frost, H. M. Suggested fundamental concepts in skeletal physiology. Calcif. Tissue Int., (1993), **52**, 1-4.
- 10) 楊 鴻生, 運動療法総論, 折茂 肇(編)最新骨粗鬆症, ライフサイエンス出版, 東京, (1999), pp. 452-458.
- 11) 松澤佑次, 井上修二, 池田義雄, 坂田利家, 齋藤康, 佐藤祐造, 白井厚治, 大野 誠, 宮崎 滋, 徳永勝人, 深川光司, 山之内国男, 中村 正, 新しい肥満の判定と肥満症の診断基準, 肥満研, (2000), **6**, 18-28.
- 12) Compston, J. E., Laskey, M. A., Croucher, P. I., Coxon, A., Kreitzman, S. Effect of diet-induced weight loss on total body bone mass. Clin. Sci., (1992), **82**,

- 429-432.
- 13) Jensen, L. B., Quaade, F., Sorensen, O. H. Bone loss accompanying voluntary weight loss in obese humans. *J. Bone Miner. Res.*, (1994), **9**, 459-463.
  - 14) Andersen, R. E., Wadden, T. A., Herzog, R. J. Changes in bone mineral content in obese dieting women. *Metabolism*, (1997), **46**, 857-861.
  - 15) Thompson, J. L., Gylfadottir, U. K., Moynihan, S., Jensen, C. D., Butterfield, G. E. Effects of diet and exercise on energy expenditure in postmenopausal women. *Am. J. Clin. Nutr.*, (1997), **66**, 867-873.
  - 16) Heymsfield, S. B., Smith, R., Aulet, M., Bensen, B., Lichtman, S., Wang, J., Pierson, R. N. Jr. Appendicular skeletal muscle mass: measurement by dual-photon absorptiometry. *Am. J. Clin. Nutr.*, (1990), **52**, 214-218.
  - 17) Wang, Z. M., Visser, M., Ma, R., Baumgartner, R. N., Kotler, D., Gallagher, D., Heymsfield, S. B. Skeletal muscle mass: evaluation of neutron activation and dual-energy X-ray absorptiometry methods. *J. Appl. Physiol.*, (1996), **80**, 824-831.
  - 18) 平尾絃一, マイクロダイエットによる単純肥満および成人病を伴った肥満治療: 臨床的效果と安全性の検討, 診療と新薬, (1995), **32**, 669-676.
  - 19) 鹿児島正豊, 藤巻正樹, 島田英世, マイクロダイエットの減量効果に関する研究, *New Food Industry*, (1993), **35**, 1-8.
  - 20) 田中喜代次, 田中英和, 大蔵倫博, 重松良祐, 中西とも子, 下帯正直, 渡邊 寛, 檜山輝男, 有酸素性運動およびエネルギー摂取制限が腹部脂肪面積に与える影響, *肥満研*, (1999), **5**, 40-45.
  - 21) 矢野尚子, 高戸 毅, 松波紀行, 益子研土, 高梨真教, 関口順輔, 長田秀幸, 成人男性におけるマイクロダイエットを用いたLCD療法による減量効果について, *Ther. Res.*, (1996), **17**, 1441-1447.
  - 22) 健康・栄養情報研究会. 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), pp. 9-17.
  - 23) Hayakawa, Y., Isono, K., Tanaka, K., Asano, K. Metabolic responses during bench stepping exercise. *J. Educ. Health Sci.*, (1996), **41**, 351-358.
  - 24) Hayakawa, Y., Miki, H., Takada, K., Tanaka, K. Effects of music on mood during bench stepping exercise. *Percept. Mot. Skills*, (2000), **90**, 307-314.
  - 25) 田中喜代次, 新しいエクササイズ・ペース(PACE)トレーニング, 田中喜代次, 野田洋平(編)ペーストレーニングのすべて, ミズノ株式会社施設事業本部, 大阪, (1998), pp.16-17.
  - 26) 盧 昊成, 中西とも子, 早川洋子, 田中喜代次, ペーストレーニング中のエネルギー消費量, 田中喜代次, 野田洋平(編)ペーストレーニングのすべて, ミズノ株式会社施設事業本部, 大阪, (1998), pp. 27-31.
  - 27) Slemenda, C. W., Hui, S. L., Williams, C. J., Christian, J. C., Meaney, F. J., Johnston, C. C. Jr. Bone mass and anthropometric measurements in adult females. *Bone Miner.*, (1990), **11**, 101-109.
  - 28) Compston, J. E., Bhabhani, M., Laskey, M. A., Murphy, S., Khaw, K. T. Body composition and bone mass in post-menopausal women. *Clin. Endocrinol.*, (1992), **37**, 426-431.
  - 29) Lindsay, R., Cosman, F., Herrington, B. S., Himmelstein, S. Bone mass and body composition in normal women. *J. Bone Miner. Res.*, (1992), **7**, 55-63.
  - 30) Holbrook, T. L. & Barrett-Connor, E. The association of lifetime weight and weight control patterns with bone mineral density in an adult community. *Bone Miner.*, (1993), **20**, 141-149.
  - 31) Van Loan, M. D., Keim, N. L., Berg, K., Mayclin, P. L. Evaluation of body composition by dual energy x-ray absorptiometry and two different software packages. *Med. Sci. Sports Exerc.*, (1995), **27**, 587-591.
  - 32) 森田陸司, 游 逸明, 山本逸雄, ① 軀幹骨, 折茂肇(編)最新骨粗鬆症, ライフサイエンス出版, 東京, (1999), pp.328-333.
  - 33) 田中喜代次, 金 憲経, 中西とも子, 天貝 均, 多周波数インピーダンス法による日本成人の身体組成の評価, *日運動生理誌*, (1999), **6**, 37-45.
  - 34) Ramsdale, S. J. & Basse, E. J. Changes in bone mineral density associated with dietary-induced loss of body mass in young women. *Clin. Sci.*, (1994), **87**, 343-348.
  - 35) Frost, H. M. Bone "mass" and the "mechanostat": a proposal. *Anat. Rec.*, (1987), **219**, 1-9.
  - 36) Chilibeck, P. D., Sale, D. G., Webber, C. E. Exercise and bone mineral density. *Sports Med.*, (1995), **19**, 103-122.
  - 37) Valdimarsson, O., Kristinsson, J. O., Stefansson, S. O., Valdimarsson, S., Sigurdsson, G. Lean mass and physical activity as predictors of bone mineral density in 16-20-year old women. *J. Intern. Med.*, (1999), **245**, 489-496.