

減量に伴う四肢・体幹別にみた身体組成の変化： 中年肥満女性の骨量に着目して

中田 由夫¹⁾ 田中喜代次^{2)#} 金 憲経^{3)#}
天貝 均^{4)#} 重松 良祐^{2)#} 中塘二三生^{5)#}

Changes in regional body composition during diet-induced body mass reduction in obese middle-aged women: Bone mineral content

Yoshio Nakata¹, Kiyoji Tanaka^{2#}, Hunkyung Kim^{3#}, Hitoshi Amagai^{4#},
Ryosuke Shigematsu^{2#} and Fumio Nakadomo^{5#}

Abstract

It is well known that total body mass (BM) is positively associated with bone mineral content (BMC). However, the extent to which BM, fat mass (FM), and lean mass (LM) are related to BMC remains unclear. Considering that chronic loading of a bone is perhaps the most important factor affecting bone mass, evaluation of the relationship between these variables should consider the load placed on segments of the body. Therefore, this study examined the changes in regional body composition (*i.e.*, total body, arms, legs, and trunk) during diet-induced reduction of BM. Seventy obese women (age 48.5 ± 7.8 yr) were randomly assigned to two groups: diet (D, $n = 42$) and control (C, $n = 28$). Subjects in group D participated in one dietary counseling session per week and their energy intake was restricted to 1070 ± 240 kcal/d. BM, FM, LM, and BMC of each segment decreased signifi-

1) 筑波大学大学院体育科学研究科
〒305-8574 茨城県つくば市天王台1-1-1

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

3) 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

4) 守谷慶友病院整形外科
〒302-0018 茨城県守谷市立沢980-1

5) 大阪府立看護大学看護学部
〒583-8555 大阪府羽曳野市はびきの3-7-30

筑波大学先端学際領域研究センター(田中プロジェクト)

〒305-8574 茨城県つくば市天王台1-1-1

連絡先 中田由夫

1. *Doctoral Program in Health and Sport Sciences, University of Tsukuba*

1-1-1 Tennodai, Tsukuba, Ibaraki, 305-8574

2. *Institute of Health and Sport Sciences, University of Tsukuba*

1-1-1 Tennodai, Tsukuba, Ibaraki, 305-8574

3. *Department of Epidemiology, Tokyo Metropolitan Institute of Gerontology*

35-2 Sakae, Itabashi, Tokyo, 173-0015

4. *Department of Orthopaedics Surgery, Moriya-keiryuu Hospital*

980-1 Tatsuzawa, Moriya, Ibaraki, 302-0018

5. *Department of Nursing, Osaka Prefecture College of Nursing*

3-7-30, Habikino, Osaka, 583-8555, Japan

Tsukuba Advanced Research Alliance, University of Tsukuba

1-1-1 Tennodai, Tsukuba, Ibaraki, 305-8574

Corresponding author nakata@stat.taiiku.tsukuba.ac.jp

jp

cantly ($P < 0.05$) except for BMC_{ARMS}. Positive correlations ($P < 0.05$) between percentage change (%change) in BMC and %changes in BM, FM, and LM were observed for every segment except FM_{TRUNK}, LM_{LEGS}, and total LM. Comparing the correlations of %changes in BM, FM, and LM to %change in BMC, %change in BM had the highest association with %change in BMC in each segment ($r = 0.39$ to 0.65). However, in the arms, the correlation between %change in BMC_{ARMS} and %change in LM_{ARMS} ($r = 0.65$) was equivalent to the correlation between %change in total BMC and %change in total BM ($r = 0.61$). These results suggest that BM is the greatest contributor in the loaded segment (*i.e.*, trunk and legs), and LM is also an important contributor in the unloaded segment (*i.e.*, arms).

Key words : bone mineral content, body composition, dietary restriction

(Japan J. Phys. Educ. Hlth. Sport Sci. 48: 27-35, January, 2003)

キーワード：骨塩量，身体組成，食事制限

I 緒 言

寝たきりの原因となり，高齢者のQoL (quality of life) を著しく損なわせる大腿骨頸部骨折の発生数は，1987年から1997年の10年間で約2倍に増加している (Orimo et al., 2000). その背景には，「低骨量で，かつ骨組織の微細構造が変化し，そのため骨が脆くなり骨折しやすくなった病態」(折茂ら，1996) と定義される骨粗鬆症の存在がある. この定義にもあるように，骨粗鬆症は骨量の減少や，微細構造の劣化などいくつかの解剖学的変化をあわせもつ1つの症候群と考えられる. このため，骨粗鬆症に対する予防策を議論する場合，何に焦点をあてて検討するのかを明確にしなければならない (鈴木，1999). そこで本研究では，骨粗鬆症の診断基準として用いられている骨量に着目し，以下の議論を展開していくこととする.

多くの研究で体重と骨量の間には正の相関関係があることが報告されており，肥満者の骨量は一般成人と比べて有意に高いとされている (Holbrook and Barrett-Connor, 1993). Frost (1993) は，骨にかかる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いることから，肥満者の骨量の高いことは骨が体重の増加に適応した結果と考えられる (Lindsay et al.,

1992; Ramsdale and Basse, 1994). 脂肪と筋が独立して骨に影響を与えているという説もあり (Slemenda et al., 1990), これに関連するメカニズムとして，脂肪組織の産生するエストロゲン (Kaye et al., 1991) や，筋収縮により骨に与えられる歪み (Lanyon et al., 1982) が骨量を増加させるという推察がなされている. 実際，横断研究ではあるが，身体の構成要素である脂肪量や筋量が骨量と密接に関連することが報告されている (Reid et al., 1992; Valdimarsson et al., 1999). しかし，体重や脂肪量，筋量の変化が骨量に及ぼす影響を縦断的に検討した研究は少ない. また，骨量に影響を与える要因の1つである力学的負荷は，負荷のかかる骨に局所的な影響を与えるため (Frost, 1993), 骨量の変化を全身についてだけでなく，腕，脚，体幹などの部位ごとに検討することが望まれる.

以上のことを踏まえ，本研究では，中年肥満女性を対象とした減量プログラムの前後に身体組成を測定し，減量に伴う体重，脂肪量，筋量の変化が骨量に与える影響を部位ごとに検討することとした.

II 方 法

1. 対象者

対象者は，日本肥満学会 (松澤ら，2000) の定めた肥満の判定基準 (body mass index : BMI

25以上)を満たす中年肥満女性70名(平均年齢 48.5 ± 7.8 歳)である。70名を3カ月間の食事制限による減量教室に参加した食事制限(diet: D)群42名と対照(control: C)群28名に分けた。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。閉経を「最終月経が発来した後、月経が1年以上無い状態」(水沼, 1999)と定義すると、閉経者はD群で15名(35.7%), C群で11名(39.3%)であった。また、骨代謝に影響を与えるような疾患を持つ者や薬物を服用している者はいなかった。対照群には、3カ月間、普段と変わらない生活をするように指示した。対象者の身体的特徴についてはTable 1にまとめた。D群とC群の両群間において、次節に示す各測定項目に有意な差はみとめられなかった。

2. 測定項目および測定方法

測定項目は、身長(height)および二重エネルギーX線吸収法(dual energy X-ray absorptiometry: DEXA)の全身骨測定から得られる骨塩量(bone mineral content: BMC)、脂肪量(fat mass: FM)、除脂肪除骨塩量(fat- and bone-free lean tissue mass: LM)であり、 $BMC + FM + LM$ を体重(body mass: BM)、 $BM/height^2$ をBMI(kg/m^2)として算出した。さらに、全身をFig 1に示したように頭(head)、腕(arms)、脚(legs)、体幹(trunk)の4つの

部位に分け、headを除く各部位のBMC, FM, LM, BMを算出した。なお、LM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(Heymsfield et al., 1990; Wang et al., 1996)ため、本研究ではLMを筋量とみなした。

測定に際しては、測定の前からの飲食を控えるように指示し、測定時には身につけていた金属類を外し、検査用の衣服に着替えさせた。その後、対象者をベッド上に仰臥位で寝かせ、前腕を最大回内位で固定した。測定に要した時間は約10分であった。全ての測定および解析は同一の熟練した検者がおこない、測定機器(Lunar社製DPX-L, Version 1.35)と測定手順を同一にした。本研究の対象者の中から無作為に抽出した5名に対し、2回続けて測定し、BMC, FM, LM, BMの変動係数を求めた結果は、BMC 1.1%, FM 1.4%, LM 1.2%, BM 0.2%であり、先行研究(Compston et al., 1992a; Ramsdale and Bassey, 1994)で報告されている変動係数と同程度であった。

3. 食事プログラム

本研究では摂取エネルギー量を抑えながらも良

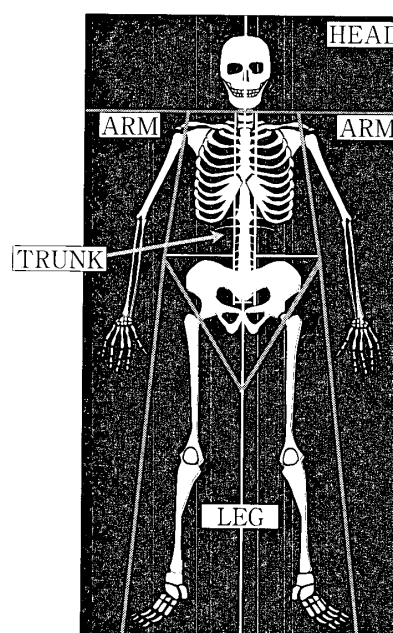


Fig 1 How to divide the total body measurements into values for the head, arms, legs, and the trunk.

Table 1 Personal and physical characteristics of the subjects at baseline

	Diet (n = 42)	Control (n = 28)
Age (yr)	48.5 ± 7.7	48.4 ± 8.2
Height (cm)	155.8 ± 4.6	155.6 ± 6.1
BM (kg)	68.5 ± 7.9	69.3 ± 6.5
BMI (kg/m^2)	28.2 ± 2.7	28.6 ± 1.6
FM (kg)	25.9 ± 4.3	26.9 ± 3.3
LM (kg)	40.0 ± 4.0	39.8 ± 4.3
BMC (g)	2577 ± 349	2598 ± 341

BM = body mass; BMI = body mass index; FM = fat mass; LM = lean mass; BMC = bone mineral content.

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みとめられている（平尾，1995；鹿児島ら，1993；田中ら，1999；矢野ら，1996）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により製品・市販化され，わが国ではサニーヘルス社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—173 kcal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である。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—600 kcal程度に抑えた栄養バランスのよい食事を摂取するよう指導した。対象者には1食ごとの食事内容を記録させ，教室参加時に提出させた。教室は週1回で，食事記録をもとに摂取エネルギー量を確認するとともに，食習慣などについて管理栄養士が指導した。なお，教室期間中は，教室前と変わらない身体活動を続けるように指示し，教室前と教室中の平均運動量を加速度センサ（スズケン社製メモリ加速度計装置付歩数計 Lifecorder）で測定した。測定期間は，教室前，教室中ともに7日間であり，入浴時間と睡眠時間を除く1日中，加速度センサを

装着させた。

4. 統計解析

各項目の測定結果は，平均値±標準偏差で表した。減量前，減量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。D群とC群の平均値の比較には，対応のない t 検定を適用した。身体組成項目とBMCとの関連性を検討するためには，Pearsonの積率相関係数（ r ）を算出した。これらの統計解析には，SPSS 9.0Jを用いた。また，同一標本における2つの相関係数の有意差検定には，以下の式を用いた。

$$t_0 = \frac{\{r_{12} - r_{13}\} \sqrt{(n-3)(1+r_{23})}}{\sqrt{2(1-r_{12}^2 - r_{13}^2 - r_{23}^2 + 2r_{12}r_{13}r_{23})}}$$

ここで， r_{12} ， r_{13} ， r_{23} は3変量間の相関係数， n は標本数であり，上記の式は r_{12} と r_{13} の有意差検定である。なお，すべての検定において，統計学的有意水準を5%に設定した。

III 結 果

1. 減量に伴う測定項目の変化

3カ月間の減量プログラムによるD群の測定項目の変化をTable 2に示した。全身のFM（ -5.7 ± 2.7 kg），LM（ -1.5 ± 1.2 kg），BMC（ $-$

Table 2 Changes in body composition before and after body mass reduction in diet group (n = 42)

		FM (kg)	LM (kg)	BMC (g)	BM (kg)
Total	Baseline	25.9 ± 4.3	40.0 ± 4.0	2577 ± 349	68.5 ± 7.9
	Change	-5.7 ± 2.7 *	-1.5 ± 1.2 *	-57 ± 74 *	-7.2 ± 2.9 *
	%change	-22.4 ± 10.7	-3.6 ± 2.9	-2.2 ± 2.9	-10.5 ± 4.1
Arms	Baseline	2.4 ± 0.5	4.1 ± 0.6	267 ± 43	6.8 ± 1.0
	Change	-0.5 ± 0.3 *	-0.2 ± 0.2 *	2 ± 11	-0.7 ± 0.5 *
	%change	-21.4 ± 13.7	-4.4 ± 4.1	1.0 ± 4.1	-10.2 ± 6.5
Legs	Baseline	8.1 ± 2.0	12.9 ± 1.6	850 ± 112	21.8 ± 3.3
	Change	-1.7 ± 0.9 *	-0.2 ± 0.5 *	-31 ± 30 *	-1.9 ± 1.0 *
	%change	-21.3 ± 9.6	-1.4 ± 3.6	-3.6 ± 3.2	-8.7 ± 3.9
Trunk	Baseline	13.9 ± 2.3	20.3 ± 2.1	915 ± 175	35.1 ± 4.3
	Change	-3.3 ± 1.6 *	-1.2 ± 1.0 *	-32 ± 47 *	-4.5 ± 2.0 *
	%change	-24.3 ± 12.1	-5.7 ± 4.7	-3.5 ± 5.2	-12.9 ± 5.5

FM = fat mass; LM = lean mass; BMC = bone mineral content; BM = body mass.

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

57 ± 74 g), BM (-7.2 ± 2.9 kg) のいずれも, 有意に減少した. 部位ごとに検討しても, BMCARMSを除くすべての項目が有意に減少した. また, 各測定項目の変化量をC群と比較すると, LMARMSを除くすべての変化量で群間差がみとめられた (Table 3). D群の1日の総摂取エネルギー量を食事記録から推定すると, 教室前の1909 ± 448 kcal/dから, 教室中の1070 ± 240 kcal/dへと有意に減少していた ($n = 28, P < 0.05$). また, カルシウム摂取量は教室前の585 ± 179 mg/dから, 教室中の866 ± 293 mg/dへと有意に増加していた ($n = 11, P < 0.05$). 加速度センサによって推定された1日の平均運動量は, 教室前は269 ± 82 kcal/d, 教室中は242 ± 75 kcal/d ($n = 24$) であり, 有意な変化を示さなかった.

2. 減量前の測定結果からみたBMCとFM, LM, BMの相関関係

D群の減量前の測定結果から, BMCとFM, LM, BMとの相関係数を算出し, Table 4に示した. 全身のBMCはFM ($r = 0.57$), LM ($r = 0.70$), BM ($r = 0.71$) のいずれとも有意な相関関係にあり, 相関係数の差を検討すると, FMよりもBMの相関係数が有意に高かった. 部位ごとに検討しても, BMCARMSとFMARMSを除くすべての2変数間で, 有意な正の相関係数が得られた. 相関係数の差を検定すると, BMCARMSとはFMARMS ($r = 0.30$) よりもBMARMS ($r = 0.66$),

BMARMSよりもLMARMS ($r = 0.78$) との相関係数が有意に高く, BMCLEGSとはFMLEGS ($r = 0.64$) よりもLMLEGS ($r = 0.82$) とBMLEGS ($r = 0.81$) との相関係数が有意に高かった. また, BMCTRUNKとはFMTRUNK ($r = 0.50$) よりもBMTRUNK ($r = 0.59$) との相関係数が有意に高かった.

3. 減量前後の測定結果からみたBMCとFM, LM, BMの変化率間の相関関係

D群の減量前後の測定結果から各項目の変化率を算出した後, BMCとFM, LM, BMの変化率間の相関係数を算出した (Table 5). 全身のBMC変化率はFM ($r = 0.38$) とBM ($r = 0.46$) の変化率と有意な相関関係にあったが, LMの変化率との相関関係は有意でなかった ($r = 0.16$). 部位ごとに検討すると, BMCLEGSとLMLEGS,

Table 4 Correlations between bone mineral content and FM, LM, and BM in each segment before body mass reduction in diet group ($n = 42$)

	FM	LM	BM	Significant difference [†]
Total	0.57 *	0.70 *	0.71 *	FM < BM
Arms	0.30	0.78 *	0.66 *	FM < BM < LM
Legs	0.64 *	0.82 *	0.81 *	FM < LM, BM
Trunk	0.50 *	0.58 *	0.59 *	FM < BM

FM = fat mass; LM = lean mass; BM = body mass.
* $P < 0.05$

[†]Significant differences within three correlation coefficients.

Table 3 Comparisons each change in diet group with in control group

		FM (kg)	LM (kg)	BMC (g)	BM (kg)
Total	Diet	-5.7 ± 2.7 *	-1.5 ± 1.2 *	-57 ± 74 *	-7.2 ± 2.9 *
	Control	-0.2 ± 1.2	0.6 ± 0.8	-8 ± 33	0.4 ± 1.3
Arms	Diet	-0.5 ± 0.3 *	-0.2 ± 0.2	2 ± 11 *	-0.7 ± 0.5 *
	Control	-0.2 ± 0.4	-0.1 ± 0.2	-7 ± 8	-0.3 ± 0.6
Legs	Diet	-1.7 ± 0.9 *	-0.2 ± 0.5 *	-31 ± 30 *	-1.9 ± 1.0 *
	Control	0.1 ± 0.4	0.3 ± 0.4	-0 ± 16	0.3 ± 0.7
Trunk	Diet	-3.3 ± 1.6 *	-1.2 ± 1.0 *	-32 ± 47 *	-4.5 ± 2.0 *
	Control	-0.1 ± 0.7	0.4 ± 0.5	-3 ± 23	-0.3 ± 0.9

FM = fat mass; LM = lean mass; BMC = bone mineral content; BM = body mass.

* Significantly different between diet group and control group ($P < 0.05$).

Table 5 Correlations between %change in bone mineral content and %changes in FM, LM, and BM in each segment in diet group (n = 42)

	FM	LM	BM	Significant difference [†]
Total	0.38 *	0.16	0.46 *	NS
Arms	0.47 *	0.65 *	0.61 *	FM < BM
Legs	0.54 *	0.15	0.65 *	LM < BM
Trunk	0.22	0.34 *	0.39 *	FM < BM

FM = fat mass; LM = lean mass; BM = body mass; NS = not significant.

* $P < 0.05$

[†]Significant differences within three correlation coefficients.

BMC_{TRUNK}とFM_{TRUNK}を除くすべての2変数間で、有意な正の相関係数が得られた。相関係数の差を検定すると、BMC_{ARMS}とはFM_{ARMS} ($r = 0.47$) よりもBM_{ARMS} ($r = 0.61$)、BMC_{LEGS}とはLM_{LEGS} ($r = 0.15$) よりもBM_{LEGS} ($r = 0.65$)、BMC_{TRUNK}とはFM_{TRUNK} ($r = 0.22$) よりもBM_{TRUNK} ($r = 0.39$) との相関係数が有意に高かった。

IV 考 察

身体組成と骨量の関連性を横断的に検討した多くの先行研究により、体重 (BM) のみならず、脂肪量 (FM) や筋量 (LM) が骨量と高い相関関係にあることが報告されている (Compston et al., 1992b; Holbrook and Barrett-Connor, 1993; Lindsay et al., 1992; Slemenda et al., 1990)。しかし、BM, FM, LMのいずれが骨量に最も強い影響を与えるのか、また、その背景にあるメカニズムの詳細について、定まった見解は得られていない。Reid et al. (1992) は、140名の閉経後女性を対象とした横断研究から、全身の骨密度 (bone mineral density: BMD) とFMとの間に $r = 0.55$ の有意な相関関係をみとめているが、BMDとエストロゲンレベルとの間には有意な相関関係は得られなかったことを報告している。また、BMDとLMの相関関係は $r = 0.18$ にとどまったことから、脂肪が骨に与える影響を指

摘している。一方、Valdimarsson et al. (1999) は16—20歳の女性254名を対象とした横断研究により、全身のBMDとLMの相関関係が $r = 0.53$ 、BMCとLMの相関関係が $r = 0.77$ と有意であり、LMがFMやBMよりも貢献度の高い因子であることを報告している。

本研究の対象者 (D群) について、減量前の測定結果から横断的に検討すると (Table 4)、BMCとFMの相関関係は $r = 0.57$ 、LMとの相関関係は $r = 0.70$ 、BMとの相関関係は $r = 0.71$ であった。FMよりもLMやBMがBMCと高い相関関係にあることが示唆されたが、統計的な有意差がみとめられたのはFMとBMの差についてだけであった。横断的な検討だけでは先行研究と同じように、対象とする集団の違いによって結果の異なる可能性があるため、本研究では、減量に伴って生じた身体組成の変化から縦断的に検討した。

3カ月間の減量に伴い、BMは 7.2 ± 2.9 kg ($10.5 \pm 4.1\%$) 減少し、その内訳はFM 5.7 ± 2.7 kg ($22.4 \pm 10.7\%$)、LM 1.5 ± 1.2 kg ($3.6 \pm 2.9\%$)、BMC 57 ± 74 g ($2.2 \pm 2.9\%$) であった (Table 2)。Chapurlat et al. (2000) は、閉経前からすでにエストロゲンの分泌量が減少しており、月経が定期的であっても骨量が低下することを報告している。そのため、本研究では年齢、身体的特徴に差のない対照群 (C群) を設定し、D群の変化と比較した (Table 3)。その結果、C群のBMC減少量 -8 ± 33 gと比べてD群のBMC減少量 -57 ± 74 gは有意に大きく、3カ月間の減量がD群のBMCを減少させたことが示された。また、教室中のD群のカルシウム摂取量は減量前よりも有意に高く (585 ± 179 mg/d \rightarrow 866 ± 293 mg/d)、1食に求められるカルシウムの摂取基準である600 mg (健康・栄養情報研究会, 1999) を大きく上回っていたことから、減量に伴って生じたBMCの変化はカルシウム摂取不足によるものではないと考えられる。本研究の減量プログラムでは、骨形成を促すといわれている運動 (Chilibeck et al., 1995) を実践するように指示しておらず、D群の身体活動量も教室前と比

べて変化していない (269 ± 82 kcal/d \rightarrow 242 ± 75 kcal/d). このため, 減量に伴う BM, FM, LM の減少が, BMC を減少させたと考え, BM, FM, LM と BMC の変化率間の相関関係を検討した (Table 5). その結果, 全身の BMC と FM との間には $r = 0.38$, BMC と BM との間には $r = 0.46$ の有意な相関関係がみとめられ, 減量に伴う BM や FM の変化が BMC に影響を与えたことが示唆された. しかし, 相関係数の差を検定すると, 統計的に有意な差はみとめられなかった.

次に, 骨量に影響を与える要因の1つである力学的負荷は, 負荷がかかる部位の骨に局所的な影響を与える (Frost, 1993) ことを踏まえ, 減量に伴う身体組成の変化を, 腕 (arms), 脚 (legs), 体幹 (trunk) という3つの部位に分けて検討した. その結果, どの部位においても BM と BMC の相関関係が強く, 力学的負荷の減少に伴う BMC の減少が示唆された. しかし, 腕では BMC_{ARMS} と LM_{ARMS} の相関係数が $r = 0.65$ と高く, 他の部位よりも LM が BMC に与える影響の大きいことが示唆された. このことは, 各部位の骨にかかる重力負荷の影響と関連づけて説明することができる. すなわち, 重力負荷が大きくかかる脚や体幹では, 減量に伴う力学的負荷の減少が骨に影響を与えることから, その部位での LM と BMC の関連性は相対的に小さくなるが, 重力負荷の小さい腕では, BM の変化と同等に LM の変化が骨に影響を与えられられる. この推論は, 横断的な結果である Table 4 において, BMC_{ARMS} が LM_{ARMS} と最も高い相関関係にあった ($r = 0.78$) ことから支持される.

本研究で用いた DEXA の測定精度は, 変動係数で BMC 1.1%, FM 1.4%, LM 1.2%, BM 0.2% であり, 先行研究 (Compston et al., 1992a; Ramsdale and Basse, 1994) で報告されている変動係数と同程度であった. しかし, 軟部組織の変化が骨量の測定値に影響を与えることが, いくつかの研究によって報告されている. Madsen et al. (1997) によると, 脂肪率 82.8% のラード 22.3 kg を 11 名の対象者の体表に貼付することにより, BMC は 0.05 kg 過大評価された. ま

た, Svendsen et al. (1993) によると, 脂肪率 92.2% のラード 8.8 kg を 6 名の対象者の体表に貼付することにより, BMC は 0.21 kg 過大評価された. 一方, Jensen et al. (1994) は, 15 kg のラードを体の後面に貼付しても 23 kg のラードを体の前面に貼付しても, BMC に有意な変化は生じず, 脂肪 1 kg あたりの BMC 変化量はわずか 0.5 g であったと報告している. このように, ラードを体表に貼付して, 軟部組織の変化が DEXA の測定精度に与える影響を検討した結果は一致しない. このような差は測定機種や結果を解析するソフトウェアの違いと考えられるが, そもそもラードを用いた実験が実際の身体組成の変化を反映しているかにも疑問が残されている (Madsen et al., 1997). いずれにしても, 本研究結果がどの程度の誤差を含んでいるかを判断することは困難なため, この問題は研究の限界として位置づけたい.

本研究で得られた身体組成の変化と BMC の変化の関連性は, 減量という負の変化に伴うものであることから, 逆に BM や LM が増加することによって BMC が増加することを結論づけることはできない. このため, BM や LM を増加させた際の骨量の変化を縦断的に検討することが今後の課題となる. しかし, 本研究の結果から, 部位によっては LM と BMC の関連性が示されたことから, 減量に伴う BMC の減少を抑えるためには, LM を維持させるような運動が有用であることが示唆された.

V ま と め

中年肥満女性を対象とした減量プログラムの前後に, 身体組成を測定した結果, 以下の点が明らかとなった.

1. 減量前の測定結果から, BM, FM, LM と BMC の関連性を横断的に検討すると, 全身の BMC は FM よりも BM との相関関係が有意に高かった. また, 部位ごとに検討すると, 腕では FM よりも BM, BM よりも LM の影響を強く受けており, 脚や体幹では FM よりも BM の影響を強く受けていた.

2. 減量前後の測定結果から, BM, FM, LM と BMC の関連性を縦断的に検討すると, 全身および各部位における BMC の変化は, BM の変化と最も強い関連性をもっていた。しかし, 腕における LM と BMC の相関関係は BM と同等であり, 重力負荷の小さい腕では LM が BMC に与える影響の大きいことが示唆された。

謝辞

本研究は, 筑波大学先端学際領域研究センター (TARA プロジェクト, 研究代表者: 田中喜代次) による支援, 財団法人水野スポーツ振興会による助成 (研究代表者: 金憲経) を受けた。また, 筑波大学大学院生ならびに大久保真弓さんには, データ収集に対して多大なご協力を頂いた。ここに記して感謝の意を表したい。

文 献

- Chapurlat, R.D., Gamero, P., Sornay-Rendu, E., Arlot, M.E., Claustrat, B., and Delmas, P.D. (2000) Longitudinal study of bone loss in pre- and perimenopausal women: evidence for bone loss in perimenopausal women. *Osteoporos Int* 11: 493-498.
- Chilibeck, P.D., Sale, D.G., and Webber, C.E. (1995) Exercise and bone mineral density. *Sports Med* 19: 103-122.
- Compston, J.E., Laskey, M.A., Croucher, P.I., Coxon, A., and Kreitzman, S. (1992a) Effect of diet-induced weight loss on total body bone mass. *Clin Sci* 82: 429-432.
- Compston, J.E., Bhamhani, M., Laskey, M.A., Murphy, S., and Khaw, K.T. (1992b) Body composition and bone mass in post-menopausal women. *Clin Endocrinol* 37: 426-431.
- Frost, H.M. (1993) Suggested fundamental concepts in skeletal physiology. *Calcif Tissue Int* 52: 1-4.
- Heymsfield, S.B., Smith, R., Aulet, M., Bensen, B., Lichtman, S., Wang, J., and Pierson, R.N. Jr. (1990) Appendicular skeletal muscle mass: measurement by dual-photon absorptiometry. *Am J Clin Nutr* 52: 214-218.
- 平尾絃一 (1995) 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: 臨床的効果と安全性の検討. *診療と新薬* 32: 669-676.
- Holbrook, T.L. and Barrett-Connor E. (1993) The association of lifetime weight and weight control patterns with bone mineral density in an adult community. *Bone Miner* 20: 141-149.
- Jensen L.B., Quaade, F., and Sorensen, O.H. (1994) Bone loss accompanying voluntary weight loss in obese humans. *J Bone Miner Res* 9: 459-463.
- 鹿兒島正豊・藤巻正樹・島田英世 (1993) マイクロダイエットの減量効果に関する研究. *New Food Industry* 35: 1-8.
- Kaye, S.A., Folsom, A.R., Soler, J.T., Prineas, R.J., and Potter, J.D. (1991) Associations of body mass and fat distribution with sex hormone concentrations in postmenopausal women. *Int J Epidemiol* 20: 151-156.
- 健康・栄養情報研究会 (1999) 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, pp. 9-17.
- Lanyon, L.E., Goodship, A.E., Pye, C.J., and MacFie, J.H. (1982) Mechanically adaptive bone remodeling. *J Biomech* 15: 141-154.
- Lindsay, R., Cosman, F., Herrington, B.S., and Himmelstein, S. (1992) Bone mass and body composition in normal women. *J Bone Miner Res* 7: 55-63.
- Madsen, O.R., Jensen, J.E., and Sorensen, O.H. (1997) Validation of a dual energy X-ray absorptiometer: measurement of bone mass and soft tissue composition. *Eur J Appl Physiol* 75: 554-558.
- 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 (2000) 新しい肥満の判定と肥満症の診断基準. *肥満研* 6: 18-28.
- 水沼英樹 (1999) 閉経期. 折茂 肇編 最新骨粗鬆症. ライフサイエンス出版: 東京, pp. 429-432.
- 折茂 肇・杉岡洋一・福永仁夫・武藤芳照・佛淵孝夫・五来逸雄・中村哲郎・串田一博・田中弘之・猪飼哲夫・大橋靖雄 (1996) 原発性骨粗鬆症の診断基準 (1996年度改訂版). *日骨代謝会誌* 14: 219-233.
- Orimo, H., Hashimoto, T., Sakata, K., Yoshimura, N., Suzuki, T., and Hosoi, T. (2000) Trends in the inci-

- dence of hip fracture in Japan, 1987-1997: the third nationwide survey. *J Bone Miner Metab* 18: 126-131.
- Ramsdale, S.J. and Bassey, E.J. (1994) Changes in bone mineral density associated with dietary-induced loss of body mass in young women. *Clin Sci* 87: 343-348.
- Reid, I.R., Ames, R., Evans, M.C., Sharpe, S., Gamble, G., France, J.T., Lim, T.M., and Cundy, T.F. (1992) Determinants of total body and regional bone mineral density in normal postmenopausal women: a key role for fat mass. *J Clin Endocrinol Metab* 75: 45-51.
- Slemenda, C.W., Hui, S.L., Williams, C.J., Christian, J.C., Meaney, F.J., and Johnston, C.C. Jr. (1990) Bone mass and anthropometric measurements in adult females. *Bone Miner* 11: 101-109.
- 鈴木隆雄 (1999) 骨量の自然史と危険因子. 折茂肇編 最新骨粗鬆症. ライフサイエンス出版: 東京, pp. 413-419.
- Svendsen, O.L., Haarbo, J., Hassager, C., and Christiansen, C. (1993) Accuracy of measurements of body composition by dual-energy x-ray absorptiometry in vivo. *Am J Clin Nutr* 57: 605-608.
- 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 (1999) 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* 5: 40-45.
- Valdimarsson, O., Kristinsson, J.O., Stefansson, S.O., Valdimarsson, S., and Sigurdsson, G. (1999) Lean mass and physical activity as predictors of bone mineral density in 16-20-year old women. *J Intern Med* 245: 489-496.
- Wang, Z.M., Visser, M., Ma, R., Baumgartner, R.N., Kotler, D., Gallagher, D., and Heymsfield, S.B. (1996) Skeletal muscle mass: evaluation of neutron activation and dual-energy X-ray absorptiometry methods. *J Appl Physiol* 80: 824-831.
- 矢野尚子・高戸 毅・松波紀行・益子研士・高梨真教・関口順輔・長田秀幸 (1996) 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* 17: 1441-1447.

(平成13年11月26日受付)
(平成14年7月31日受理)