

減量補助食品を使用した低エネルギー食療法と有酸素性運動が 内臓脂肪型肥満女性の体組成, 体脂肪分布, 体力に及ぼす影響

大藏 倫博¹⁾ 重松 良祐²⁾ 中田 由夫³⁾
坂井 智明³⁾ 李 東俊³⁾ 田中喜代次⁴⁾

Influences of diet using supplemental foods and aerobic exercise on segmental body composition, body fat distribution and physical fitness in middle-aged women with intra-abdominal fat obesity

Tomohiro Okura¹, Ryosuke Shigematsu², Yoshio Nakata³,
Tomoaki Sakai³, Dong Jun Ree³ and Kiyoji Tanaka⁴

Abstract

A study was conducted to investigate the influences of diet using supplemental foods and aerobic exercise on segmental body composition, body fat distribution and physical fitness in middle-aged women with intra-abdominal fat (IF) obesity. Twenty-five women were randomly divided into two treatment groups; a group with a low-energy diet (D) and a group with D combined with exercise (DE). To ensure proper daily nutrition, the subjects were instructed to take every day a well-balanced supplemental food developed for very low-energy diets (170 kcal per pack). In addition to restricting energy intake, subjects from the DE group performed a bench-stepping exercise 3 days/wk for 75 min per session under in-hospital supervision. Whole-body fat mass (FM) and fat- and bone-free mass (FBFM) were assessed by dual energy x-ray absorptiometry. The intra-abdominal fat area (IFA) and subcutaneous fat area (SFA) were measured at the level of the umbilicus using computed tomography. Grip and leg extension strength, and maximal oxygen uptake were measured for eval-

-
- 1) 国立長寿医療研究センター疫学研究部
〒474-8522 愛知県大府市森岡町源吾 36-3
2) 三重大学教育学部生涯教育講座
〒514-8507 三重県津市上浜町 1515
3) 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
4) 筑波大学体育科学系
〒305-8574 茨城県つくば市天王台 1-1-1
連絡先 大藏倫博

1. *Department of Epidemiology, National Institute for Longevity Sciences*
36-3 Gengo, Morioka-cho, Obu, Aichi 474-8522
2. *Health & Sport Science, Department of Education, Mie University*
1515 Kamihama-cho, Tsu, Mie 514-8507
3. *Doctoral Program in Health and Sport Sciences, University of Tsukuba*
1-1-1 Tenmodai, Tsukuba, Ibaraki 305-8574
4. *Institute of Health and Sport Sciences, University of Tsukuba*
1-1-1 Tenmodai, Tsukuba, Ibaraki 305-8574
Corresponding author okura@nils.go.jp

uation of physical fitness. All assays and measurements were carried out before and after a 14-week intervention period. Weight and FM were significantly reduced in both the D (-7.7 kg and -5.8 kg, respectively) and DE (-8.9 kg and -7.3 kg, respectively) groups. All segmental FBFMs were significantly reduced in the D group, whereas FBFMs in the upper and lower limbs of the DE group remained unchanged. IFA and SFA were significantly reduced in both the D (-35 cm² and -48 cm²) and DE (-32 cm² and -51 cm²) groups. In the D group, changes in SFA were significantly and inversely correlated ($r=-0.68$) with initial values of IFA, but changes in IFA were not. Grip strength (+17%) and maximal oxygen uptake (+28%) were significantly increased in the DE group. No significant decreases were found between any physical fitness variables in the D group. These results suggest that (1) the DE treatment possibly diminished the reduction in the FBFMs in the upper and lower limbs, and that (2) less SFA was reduced in the D group with much more IFA at the baseline. Moreover, the D treatment did not induce decreases in physical fitness in response to the weight loss.

Key words : fat mass, fat- and bone-free mass, intra-abdominal fat, subcutaneous fat, muscular strength, maximal oxygen uptake

(Japan J. Phys. Educ. Hlth. Sport Sci. 48: 269-279, May, 2003)

キーワード：体脂肪組織，除脂肪除骨塩組織，内臓脂肪，皮下脂肪，筋力，最大酸素摂取量

Ⅰ 緒 言

日本肥満学会は1999年の「東京宣言」において、欧米の肥満基準に対応させるために日本人の肥満の定義を「body mass index (BMI) が25 kg/m²以上」と改訂した(松澤ほか, 2000)。同時に、肥満症の診断基準も提示することで、それまであいまいであった肥満と肥満症の関係(位置付け)を明確に区別した。肥満症とは肥満かつ肥満を基盤とする様々な合併症(糖・脂質代謝異常, 循環器障害, 動脈硬化など)を有する場合を指し、この中にはcomputed tomography (CT) スキャンによる臍位の内臓脂肪面積が100 cm²を超える場合(内臓脂肪型肥満)も含まれる。内臓脂肪型肥満はハイリスク肥満とも呼ばれ、現時点で肥満合併症を発症していなくても将来的に発症する可能性が高いことから、減量治療の対象となる(松澤ほか, 2000)。

内臓脂肪型肥満者の減量治療の効果を判定する際、(1) 体組成における体脂肪と除脂肪組織、(2)

体脂肪分布における内臓脂肪と皮下脂肪、(3) 体力評価指標としての筋力や全身持久能(最大酸素摂取量)に着目することの重要性を疑う余地はないであろう。すなわち、除脂肪組織を維持しながら体脂肪と内臓脂肪を減少させ、筋力や全身持久能を維持または向上させることが理想的な減量方法と言える。それにもかかわらず我々の知る限り、内臓脂肪型肥満者を対象として上記の3要素の関連性を検討した研究はほとんど見当たらない。加えて、体組成や体脂肪分布、体力に好ましい変化をもたらすという観点からは、低エネルギー食療法(diet)のみによる減量よりはdietと有酸素性運動の併用が望ましいであろう。しかしながら、内臓脂肪型肥満者を対象にした研究ではDespres (1991) や Rossの一連の研究(Ross et al., 1996; Ross, 1997; Janssen and Ross, 1999; Ross et al., 2000)で散見されるに過ぎない。

本研究ではdietと有酸素性運動が内臓脂肪型肥満者の体組成、体脂肪分布、体力に与える影響を明らかにするために、dietのみによる減量グループ(D)とdietと有酸素性運動の併用グループ(diet and exercise: DE)の2グループを設定し、次の仮説を検証することにした。

(1) Ballor and Poehlman (1994)がおこなっ

表 1 対象者の身体的特徴

項目		D 群	DE 群	群間比較
		平均値 ± 標準誤差	平均値 ± 標準誤差	
年齢	歳	48 ± 2	52 ± 2	ns
【形態】				
体重	kg	72.8 ± 1.8	70.2 ± 2.1	ns
BMI	kg/m ²	29.9 ± 0.7	29.9 ± 0.8	ns
ウエスト	cm	107.7 ± 1.9	104.5 ± 2.2	ns
【体組成】				
体脂肪率	%	37.5 ± 0.9	39.3 ± 1.0	ns
体脂肪量	kg			
	上肢	3.4 ± 0.3	3.4 ± 0.4	ns
	下肢	8.5 ± 0.5	8.2 ± 0.6	ns
	体幹	14.8 ± 0.5	14.8 ± 0.6	ns
	全身	28.6 ± 1.2	28.2 ± 1.4	ns
除脂肪除骨塩組織量	kg			
	上肢	4.3 ± 0.1	4.1 ± 0.1	ns
	下肢	13.3 ± 0.4	12.9 ± 0.4	ns
	体幹	20.7 ± 0.5	19.8 ± 0.6	ns
	全身	41.1 ± 0.9	39.6 ± 1.0	ns
【体脂肪分布】				
内臓脂肪面積	cm ²	143 ± 10	131 ± 11	ns
皮下脂肪面積	cm ²	302 ± 18	290 ± 21	ns
内臓/皮下脂肪面積比		0.49 ± 0.05	0.49 ± 0.06	ns
【体力】				
握力	kg	30.1 ± 1.4	26.2 ± 1.5	ns
脚伸展力	kg	55.0 ± 3.3	48.5 ± 3.8	ns
最大酸素摂取量	ml/kg/min	25.8 ± 1.0	24.1 ± 1.2	ns

D 群：低エネルギー食療法群

DE 群：低エネルギー食療法 + 有酸素性運動群

ns：D 群と DE 群の間で有意差なし

たメタアナリシスによると、BMIで定義された肥満者がdietと有酸素性運動を併用した場合の除脂肪組織の減少量はdietのみで減量した場合の半分以下であったという。ゆえに、内臓脂肪型肥満者においても、DEによる除脂肪組織の減少量はDより有意に小さいと考えられる。

(2) Fujioka et al. (1991) はDEによる検討から、Leenen et al. (1992) はDによる検討から、減量による内臓脂肪の減少量はベースラインにおける内臓脂肪量と有意に関連したと報告している。ゆえに、内臓脂肪の減少量は減量方法 (D vs. DE) にかかわらずベースラインにおける内臓脂肪量の影響を受けると考えられる。

(3) DEでは有酸素性運動の実践に伴い筋力および全身持久能は向上すると考えられる。一方、Dでは運動による効果は得られないことから、除脂肪組織の減少に伴い筋力や全身持久能は低下すると考えられる。

II 対象者と方法

1. 対象者

対象者は、筆者らが主催する14週間の減量教室に参加した茨城県および千葉県に在住する34—64歳の女性30名であった。対象者の選定条件は、日本肥満学会の肥満症の診断基準「BMI

が $25\text{kg}/\text{m}^2$ 以上かつCTスキャンによる臍位の内臓脂肪面積が 100cm^2 以上(松澤ほか, 2000)」を満たす内臓脂肪型肥満者であった。対象は15名ずつ無作為にD群とDE群に割り振られた。そのうちの5名(D群1名, DE群4名)は個人的な理由により一部の検査, 測定, 減量プログラムを遂行できなかったため, D群14名, DE群11名のデータが本研究の検討に供された。なお, 検査や測定に先立ち, 詳細な問診と病歴調査をおこない, ホルモン補充療法を受けている者および調査内容に影響を与える恐れのある薬物服用者はあらかじめ対象から除外した。また, 最終月経の発来以降1年を経過している者を閉経者と定義したところ, その数と割合はD群7名(50%), DE群7名(64%)であり, 両群間の閉経者数および割合に有意差はみられなかった。研究参加に際しては本研究の内容および目的を詳細に説明し, 特にCTスキャンや二重エネルギーX線吸収法(dual energy X-ray absorptiometry: DXA)による放射能被曝の人体への影響を十分理解させた上で研究参加の同意を得た。対象者の身体的特徴は表1に示した。

2. 検査項目および測定方法

以下の検査および測定は減量教室の前後でおこなわれ, 原則として同一検者が同一の方法でおこなった。

1) 体組成の評価

本研究では, 人体は体脂肪組織(fat mass: FM), 骨組織, 除脂肪除骨塩組織(fat- and bone-free mass: FBFM)からなると仮定し, DXA(DPX-L, Lunar社製)によりセグメントごと(頭部, 上肢, 下肢, 体幹)のFMおよびFBFMを測定した。体脂肪率(percentage fat mass: %FM)は頭部, 上肢, 下肢, 体幹におけるFMの合計値を体重(FM, FBFM, 骨塩量の合計値)で除した値に100を乗じて求めた。FBFMは除脂肪組織量と強い相関関係にあることが確認されている(Heymsfield et al., 1990)上, 除脂肪組織より体力(筋力)と関連が強いと考えられる。なお, BMIは体重(kg)を身長

(m)の2乗で除することで求めた。本研究で使用したDXAの信頼性は我々の研究グループがおこなった別の論文(中田ほか, 2002)で確認されている。

2) 体脂肪分布の評価

体脂肪分布は, 臍位における内臓脂肪面積(intra-abdominal fat area: IFA), 皮下脂肪面積(subcutaneous fat area: SFA)およびIFAとSFAの比(IFA-to-SFA ratio: ISR)から評価した。仰臥位にて腹部(臍位: 第4—5腰椎)のCT画像を撮影した後, Yoshizumi et al. (1999)の方法に基づき, 撮影した25名分の腹部横断面画像を各々について脂肪組織の最大(平均値+2SD)CT値(=X線吸収度)および最小(平均値-2SD)CT値を決定した。実際の面積の算出には, この理論を用いた専用のコンピュータソフトウェア(FatScan, N2システム社製)を利用した。無作為に抽出した10名について, IFAおよびSFAを各々2回繰り返し算出した際の信頼性係数は, いずれも0.99と高かった。

3) 体力の評価

体力評価指標として握力, 脚伸展力(以上, 筋力), 最大酸素摂取量(全身持久能)を測定した。握力は左右2回ずつ計測し, 左右の最高値の平均値とした。脚伸展力は座位姿勢にて膝を90度に曲げた状態から両脚を同時に伸展する時の力を脚筋力計(GF-300, ヤガミ社製)にて測定した。最大酸素摂取量の決定には, Monark社製の自転車エルゴメータ(818E)を使用し, 症候性限界を呈した時点の酸素摂取量と定義した(大藏・田中, 1999)。

3. 低エネルギー食療法

ベースラインにおける体重や体脂肪量を考慮して, 体重の5—15%程度の減量となるよう個人ごとに目標体重を設定し, 運動中のエネルギー消費量も考慮した上で, 1日のエネルギー摂取量の目安を示した。低エネルギー食療法期間中の良好な栄養バランスの保持を目的として, 対象者に対して減量補助食品(マイクロダイエット, サニーヘルス社製)の使用を勧めた。マイクロダイエッ

トは、1食分のエネルギー量が170kcalと低エネルギーの食品であるにもかかわらず、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り、顕著な減量効果が認められている（田中ほか、1999；大蔵ほか、2000a；大蔵ほか、2000b）。原則として、初期の2週間はマイクロダイエットを1日1〜2食、その後は1日1食を摂取させ、他の食事は普通食（平均約500kcal）を摂取するよう指導した。毎週、食事日誌に基づき経験豊富な管理栄養士が個別にアドバイスし、栄養状態が不良

にならないよう、また当初の目標を達成できるように指導した。同様のdietをおこなった我々の以前の検討では、減量期間前のエネルギー摂取量の平均値が1950kcal/dから期間中1090kcal/dへと860kcal/dの減少を示したこと、および減量期間中において望ましい栄養バランス（蛋白、脂質、糖質）へ変容したことが認められている（大蔵ほか、2000a）。

4. 有酸素性運動

DE群に対しては、週3回（1回75分間）の口

表2 各項目の教室前後における比較および変化量の群間比較

		D群	DE群	教室前後の比較		群間比較
		平均値±標準誤差	平均値±標準誤差	D群	DE群	
【形態】						
体重	kg	-7.7 ± 0.9	-8.9 ± 1.0	***	***	ns
BMI	kg/m ²	-3.6 ± 0.4	-4.0 ± 0.4	***	***	ns
ウエスト	cm	-8.1 ± 1.5	-8.6 ± 1.7	***	***	ns
【体組成】						
体脂肪量	kg					
	上肢	-0.8 ± 0.2	-1.0 ± 0.2	***	***	ns ^a
	下肢	-1.7 ± 0.3	-2.0 ± 0.4	***	***	ns ^a
	体幹	-3.1 ± 0.4	-3.9 ± 0.5	***	***	ns ^a
	全身	-5.8 ± 0.8	-7.3 ± 0.9	***	***	ns ^a
除脂肪除骨塩組織量	kg					
	上肢	-0.2 ± 0.1	-0.1 ± 0.1	*	ns	ns ^a
	下肢	-0.4 ± 0.1	-0.2 ± 0.2	**	ns	ns ^a
	体幹	-1.4 ± 0.3	-1.4 ± 0.3	***	***	ns ^a
	全身	-1.9 ± 0.3	-1.6 ± 0.4	**	***	ns ^a
【体脂肪分布】						
内臓脂肪面積	cm ²	-35 ± 6	-32 ± 7	***	***	ns ^b
皮下脂肪面積	cm ²	-48 ± 12	-51 ± 13	***	***	ns ^b
内臓/皮下脂肪面積比		-0.06 ± 0.03	-0.03 ± 0.06	**	*	ns ^b
【体力】						
握力	kg	-1.0 ± 0.6	-0.6 ± 0.7	ns	ns	ns
脚伸展力	kg	1.6 ± 2.9	8.0 ± 3.3	ns	††	DE>D
最大酸素摂取量	ml/kg/min	3.0 ± 1.0	7.0 ± 1.1	ns	†††	DE>D

D群：低エネルギー食療法群

DE群：低エネルギー食療法+有酸素性運動群

*教室後有意に減少 (p<0.05), ** p<0.01, *** p<0.001

††教室後有意に増加 (p<0.01), ††† p<0.001

ns：有意差なし

^a減少した体重を調整変数とした共分散分析により検討した

^b減少した体脂肪量を調整変数とした共分散分析により検討した

DE>D (p<0.05)

ーインパクト／ミドルインパクトのベンチステッピングエクササイズ (Hayakawa et al., 1996) を病院内施設において実践させた。実施に際しては2—3名の専門運動指導員が安全性等を監視した。ベンチステッピングエクササイズは個人の体力に合わせてステップ台 (ベンチ) の高さを調節することができるエアロビックダンスの1つである。上肢の動きも多くとり入れているため、下肢のみならず上肢の筋群 (上腕三頭筋, 上腕二頭筋, 三角筋) も十分活動させることが可能である。75分間の中には, ウォーミングアップ (徒手体操) とクーリングダウン (ストレッチング) も含まれ

ている。ベンチステッピングエクササイズ中の運動強度は, その日の体調などによって15段階 (6—20) のボルグ指数 (Borg, 1973) で13—17に相当する「ややきつい」から「かなりきつい」と感じる強さであり, 目標心拍数は原則として130—150b/minの範囲となるよう指示した。心拍数から推定された運動強度は最高心拍数の70—90%に相当すると考えられた。運動中のエネルギー消費量を代謝測定装置 (Oxycon Alpha, Mijnheart社製) によって測定したところ, 1セッション (75分間) あたりの平均値は約350kcalであった。

5. 統計解析

すべての測定データは平均値±標準誤差で記した。ベースラインにおける各項目の平均値の差についてはStudent t-testを行った。減量に伴う教室前後の各項目の変化は対応のあるt-testで検討した。セグメントごとのFMおよびFBFMの変化量の群間 (D群 vs. DE群) 比較には, 体重の変化量を調整変数とした共分散分析を適用した。また, IFAとSFAの変化量の群間比較には, FMの変化量を調整変数とした共分散分析を用いた。IFAとSFAの変動に影響する因子を特定するために, 体重の変化量を調整変数とした偏相関係数を算出した。FBFMの変化量と体力項目の変化量との関連性は各々のベースライン値を調整変数とした偏相関係数から検討した。2項目間の関連性はPearsonの積率相関係数から検討した。以上の検討には統計解析ソフトウェアSAS 6.12

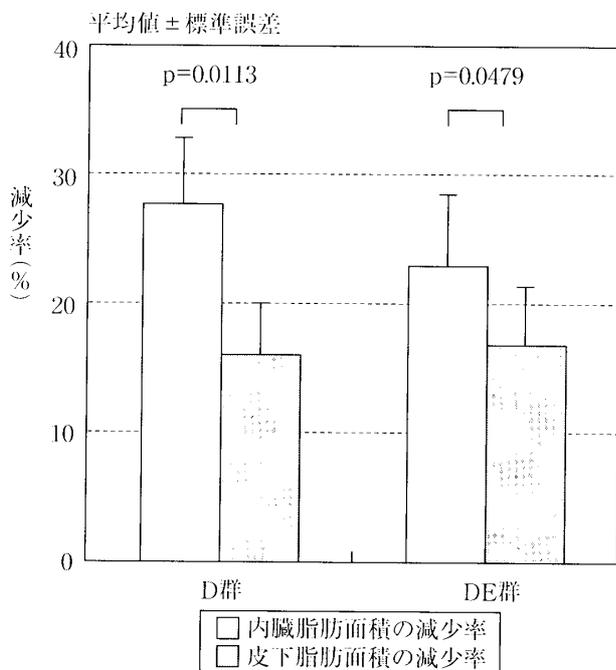


図1 内臓脂肪面積と皮下脂肪面積の減少率の比較

表3 体重の減少量を調整変数とした内臓脂肪面積および皮下脂肪面積の変化量と各項目のベースライン値との偏相関係数

	内臓脂肪面積	皮下脂肪面積	体重	体脂肪量	除脂肪除骨塩組織量
【D群】					
内臓脂肪面積の変化量	-0.06	-0.04	-0.29	-0.17	-0.27
皮下脂肪面積の変化量	-0.68a	0.30	-0.23	-0.29	0.00
【DE群】					
内臓脂肪面積の変化量	0.63b	-0.18	-0.33	-0.17	-0.37
皮下脂肪面積の変化量	0.02	0.41	0.28	0.27	0.31

a : p=0.0108

b : p=0.0497

表4 ベースラインにおける体力とセグメントごとの除脂肪除骨塩組織量との相関係数

	上肢の FBFM	下肢の FBFM	胴体の FBFM	全身の FBFM
握力	0.41a	0.38	0.32	0.39
脚伸展力	0.17	0.30	0.08	0.06
最大酸素摂取量	0.34	0.38	0.45b	0.43c

FBFM: fat-and bone-free mass (除脂肪除骨塩組織量)

a: $p=0.0405$

b: $p=0.0257$

c: $p=0.0321$

(1997) を使用し、有意水準は5%未満とした。

III 結 果

表1に示したように、いずれの測定項目もD群とDE群の間で有意差を認めず、ベースラインの身体的特徴にグループ間の違いはないことを確認した。

表2には減量プログラム前後の各項目の変化量を示した。形態項目においては、D群とDE群はともにすべての項目で有意な減少がみられた。体重の減少量に群間差異(D群 vs. DE群)はみられなかった。体組成においてはDE群の上肢と下肢のFBFMが維持されたことを除き、その他すべての項目が有意に減少した。体重の減少量で調整された変化量に群間差異はみられなかった。体脂肪分布においてはすべての項目が有意に減少し、その減少量に群間差異は見られなかった。体力についてみると、D群ではいずれの項目も顕著な変化はなかったが、DE群では脚伸展力と最大酸素摂取量が有意に増加した。また、両群間で脚伸展力と最大酸素摂取量の変化量に有意差が認められた。

図1には減量に伴うIFAとSFAの減少量の割合(平均値±標準誤差)をD群、DE群ごとに示した。D群のIFAの減少率($27.7 \pm 5.0\%$)はSFAの減少率($16.1 \pm 3.9\%$)より有意に高く、DE群においてもIFAの減少率($22.9 \pm 5.7\%$)はSFAの減少率($16.9 \pm 4.4\%$)より有意に高か

った。

表3には体重の減少量を調整変数としたIFAおよびSFAの変化量と各項目のベースライン値との偏相関係数を示した。D群において、IFAの変化量はいずれとも有意に相関しなかったが、SFAの変化量はIFAのベースライン値と有意な負の相関を呈した($r = -0.68$)。DE群においてはIFAの変化量はIFAのベースライン値と有意に正相関した($r = 0.63$)が、SFAの変化量はいずれとも有意な関連性がみられなかった。

表4には、ベースラインにおける体力項目とセグメントごとのFBFMの相関係数を示した。握力は上肢のFBFMと($r = 0.41$)、最大酸素摂取量は体幹($r = 0.45$)および全身($r = 0.43$)のFBFMと有意に相関した。脚伸展力はいずれのFBFMとも有意に相関しなかった。さらに、各体力項目の変化量とFBFMの変化量との関連性について、各々のベースライン値を調整変数とした偏相関係数から検討したが、すべての組合せで有意な相関関係はみられなかった。

IV 考 察

近年の研究から、有酸素性運動は体重(体脂肪)の減少に必ずしも効果的に働かないことが確認されつつある(Ross and Janssen, 1999; Ross et al., 2000; Westerterp, 1999; Donnelly et al., 2000; Mertens et al., 1998)。中年の肥満男性(Mertens et al., 1998)や肥満女性(Donnelly et al., 2000)を対象とした検討によると、dietを伴わない週あたり1500—2000kcalの有酸素性運動による体重の減少は、低強度運動(ウォーキング)と中強度運動(室内自転車)のいずれであっても、3カ月間で初期体重の1%前後(約1kg)でしかなかった。この理由として、運動期間中の食事が以前より僅かながら増加したこと(Mertens et al., 1998)やエクササイズとして処方された以外の場面(日常)での不活動化(Leon et al., 1996)が挙げられている。本研究ではこのような成果を踏まえた上で、肥満症患者(内臓脂肪型肥満)である本研究の対象者が確実に減量を成し遂げられ

るよう、有酸素性運動のみの群は設定せず、DとDEの2群を設定した。

1. 体組成の変化

体重の減少量はD群(-7.7kg)、DE群(-8.9kg)とも有意であり、本研究の減量プログラムが内臓脂肪型肥満女性に対して有効であったことが確認できた。体重の減少量に対するFMおよびFBFMの減少量の割合は、D群でそれぞれ75%と25%、DE群でそれぞれ82%と18%であり、これらの2要素で体重減少の概ね100%を説明していた。Ballor and Poehlman (1994)は、メタアナリシスにおいて減量による除脂肪組織の変化量をD群とDE群で比較している。これによると女性の除脂肪組織の減少率はDの24%に対して、DEでは11%と半分以下であり、減量期間中に運動することで除脂肪組織の減少を抑制することが可能と述べている。本研究ではFBFMで除脂肪組織を代表していることから、彼らの報告と単純に比較することには注意を要するが、本研究におけるD群のFBFMの減少率(25%)は彼らの報告と同程度にあると言える。一方、DE群のFBFMの減少率は彼らの報告より大きかった。その理由として、上肢と下肢のFBFMは減量後も維持されていたにもかかわらず、体幹ではD群と同量(1.4kg)のFBFMが減少したためと考えられる。体幹におけるFBFMの内訳(筋、臓器、循環組織など)を考えた場合、上肢や下肢に比べてFBFMに占める筋の割合は少ないために、相対的にも絶対的にも運動による効果(この場合はFBFMの維持)を受けにくい部位と言える。加えて、DEで指導されたベンチステップングエクササイズでは、下肢や上肢への運動刺激に比べて、体幹の筋群(腹直筋、腹斜筋群、脊柱起立筋など)への刺激が少なく、トレーニング後に筋(筋力)の超回復を引き起こすまでには至らなかったためかもしれない。最近では減量(diet)期間中、筋量を維持または増大させることを目的としてレジスタンス運動を実施する試みもなされているが、その有効性については意見が分かれる。Garrow and Summerbell (1995)によると、diet

をおこなうことなくレジスタンス運動を指導したところ、体重は変化せず除脂肪組織量が増加した(FMが減少した)と報告している。一方、減量(diet)を伴う場合には、レジスタンス運動によって除脂肪組織量は維持されたとする報告(Sale et al., 1995; Rice et al., 1999)と増加したとする報告(Ross et al., 1996)の両方が見受けられる。前者は対象が女性であり、後者は男性であることから、減量期間中に実践するレジスタンス運動が除脂肪組織に与える効果には性差が存在する可能性がある。本研究において、DE群では上肢と下肢のFBFMは維持できたが、体幹のFBFMがD群と同程度の減少を呈したことから、当初の仮説(1)は部分的に棄却される結果となった。今後、本研究で指導した運動内容にレジスタンス運動を加えることによって、特に体幹の筋量を維持(または増大)できるよう工夫する余地があると考えられた。

2. 体脂肪分布の変化

IFA, SFA, ISRは減量プログラムの実施によって有意に減少し(表2)、いずれの項目の変化量もD群とDE群の間に差異はみられなかった。また本研究のデータからは、体重減少1kgあたりのIFA減少量はD群とDE群でそれぞれ4.5cm²と3.6cm²と計算された(群間有意差はなし)。Ross (1997)の検討によると、体重減少1kgにつきIFAは3—4cm²減少し、DとDEの間に差異はなかったことから、運動は内臓脂肪に対して特異的には作用しないと結論づけている。これらの知見は我々の結果と軌を一にするものであるが、Rossは同論文の中で「今回の結果は、生物学的事実を正確に反映しているものなのか、もしくは対象者の“free-living”な状況におけるエネルギー摂取量と消費量を厳密にコントロールできていないという方法的な問題を含んでいるのかは定かではない」と述べている。我々の検討においても同様の問題(限界)があることに留意しなければならない。この点に関する詳細な研究が待たれる。

体重減少1kgあたりのSFAの減少量はIFAに

比べて大きく、D群とDE群でそれぞれ6.2cm²と5.7cm²であった（群間有意差はなし）。しかし、図1が示すように初期値で減少量を除した相対値（減少率，%）でみると，IFAの減少率の方がSFAの減少率より有意に大きいことがわかる。介入方法にかかわらず，減量によって内臓脂肪が皮下脂肪より優先的に減少することは過去の研究からも伺える（Leenen et al., 1992；Ross et al., 1996）。内臓脂肪が優先的（選択的）に減少する理由として，安静時（Arner, 1995）と運動時（Arner et al., 1990）のいずれであっても内臓脂肪組織のlipolysis（脂質分解）が皮下脂肪組織より高レベルにあることが挙げられる。これは各種ホルモン（性ホルモン，インスリン，アドレナリンなど）に対する感受性の違い（Abate and Garg, 1995）や内臓脂肪組織のサイズが皮下脂肪組織よりも大きい傾向にあるためと考えられている（Rebuffe-Scrive et al., 1990）。

本研究の体脂肪分布に関する新たな知見の1つに，D群のSFAの変化量がIFAの初期値と負（逆）相関したことが挙げられる。つまり，ベースラインにおいて内臓脂肪が多く蓄積している者ほど，皮下脂肪は減少しにくいことを意味している。その理由として，内臓脂肪が優先的に減少したためと推測されたが，D群では内臓脂肪面積の初期値と変化量とは有意に相関しておらず，必ずしも内臓脂肪が皮下脂肪に優先して減少したという理由では説明できない。従来，仮説（2）で掲げたように内臓脂肪はベースラインにおける内臓脂肪量が多い者ほど多く減少すると言われてきた（Fujioka et al., 1991；Leenen et al., 1992）が，本検討により減量方法によって内臓脂肪の減少の仕方に違いの生じる可能性が示唆されたと言えよう。

3. 体力の変化および除脂肪除骨塩量との関係

仮説（3）に反して，D群では全身またはセグメントごとのFBFMが減少したにもかかわらず，体力は低下しなかった。すなわち，dietはFBFMを減少させるものの，体力へ悪影響を与えるほどではないと考えられる。このことは運動に慣れて

いない，または運動が苦手な肥満者への減量治療の導入として，dietを単独で処方することの有効性を示唆している。一方，DE群では脚伸展力（+17%）と最大酸素摂取量（+28%）が向上した。本研究と同様の有酸素性運動を3週間実践させたところ，脚伸展パワーが13.2%向上したとの報告がなされている（Sartorio et al., 2001）。また，dietおよび最大酸素摂取量の60—70%強度の有酸素性運動（週3回，1回30分間）を実践させたところ，大幅な体重減少がみられ，最大酸素摂取量は24%増大したとの報告（Cox et al., 1996）もなされている。本研究の結果はこれらの報告を支持するものと言える。本研究では集中（専門）的なレジスタンス運動をおこなわなかったにもかかわらず，脚伸展力が向上した。これは高さ10—30cmのステップ台を昇り降りする中で肥満である対象者の体重そのものが負荷となり，拮抗筋の協応性の向上や動員される運動単位数の増加などにより，筋量は変化することなく筋力が増大したものと考えられる。

表4で示したように，握力および最大酸素摂取量はそれぞれ腕と体幹および全身のFBFMと有意に相関したことから，体力はFBFMによって部分的に説明されることがわかった。しかし，体力の変化量とFBFMの変化量は有意に相関せず，「FBFMの減少＝体力の低下」といった単純な図式は成り立たなかった。これは，前述したようにD群やDE群においてFBFMが減少したにもかかわらず，体力は維持または向上したことからもわかる。今後は，FBFMと体力との関連性について，介入方法や運動様式の違いを考慮に入れた詳細な検討が待たれる。

V 結 語

本研究では，中年の内臓脂肪型肥満女性を対象としてdietと有酸素性運動による減量が，（1）体組成，（2）体脂肪分布，（3）体力にいかなる影響を与えるかについて検討した。以下に本研究の結果を仮説に沿って示した。

（1）D群ではDE群に比べてFBFMが大幅に減

少すると予想されたが、全身の変化量で見ればDE群と有意な違いはなかった。DE群では上肢と下肢のFBFMの減少は抑えられたが、体幹のFBFMの減少は抑えられなかった。

(2) DE群では、ベースラインにおいて内臓脂肪量が多い者ほど減量に伴う内臓脂肪の減少量が大きかった。D群ではベースラインにおいて内臓脂肪が多く蓄積している者ほど皮下脂肪は減少しにくくなることが示唆された。

(3) 体力の変化量とFBFMの変化量は有意に関連しなかったことから、FBFMの減少が体力の低下に直接影響するとは言えなかった。D群においてFBFMが減少したにもかかわらず、筋力や全身持久能は維持した。

以上より、本研究でおこなった低エネルギー食療法と有酸素性運動の組合せは、内臓脂肪型肥満女性の内臓脂肪を顕著に減少させ、減量に伴う上肢と下肢の除脂肪除骨塩組織の減少を抑える可能性が示された。一方、低エネルギー食療法は内臓脂肪型肥満女性の内臓脂肪を顕著に減少させるだけでなく、減量に伴う体力低下を引き起こさなかったことから、運動を実践しづらい条件下(環境, 身体状況, 性格)の者にとって減量治療の導入として有効であると考えられた。

文 献

- Abate, N. and Garg, A. (1995) Heterogeneity in adipose tissue metabolism: causes, implications and management of regional adiposity. *Prog. Lipid. Res.* 34: 53-70.
- Arner, P. (1995) Differences in lipolysis between human subcutaneous and omental adipose tissues. *Ann. Med.* 27: 435-438.
- Arner, P., Kriegholm, E., Engfeldt, P., and Bolinder, J. (1990) Adrenergic regulation of lipolysis in situ at rest and during exercise. *J. Clin. Invest.* 85: 893-898s.
- Ballor, D.L. and Poehlman, E.T. (1994) Exercise-training enhances fat-free mass preservation during diet-induced weight loss: a meta-analytical finding. *Int. J. Obes. Relat. Metab. Disord.* 18: 35-40.
- Borg, G. (1973) Perceived exertion: a note on "history" and methods. *Med. Sci. Sports Exerc.* 5: 90-93.
- Cox, K.L., Puddey, I.B., Morton, A.R., Burke, V., Beilin, L.J., and McAleer, M. (1996) Exercise and weight control in sedentary overweight men: effects on clinic and ambulatory blood pressure. *J. Hypertens.* 14: 779-790.
- Despres, J.P., Pouliot, M.C., Moorjani, S., Nadeau, A., Tremblay, A., Lupien, P.J., Theriault, G., and Bouchard, C. (1991) Loss of abdominal fat and metabolic response to exercise training in obese women. *Am. J. Physiol.* 261: E159-167.
- Donnelly, J.E., Jacobsen, D.J., Heelan, K.S., Seip, R., and Smith, S. (2000) The effects of 18 months of intermittent vs. continuous exercise on aerobic capacity, body weight and composition, and metabolic fitness in previously sedentary, moderately obese females. *Int. J. Obes. Relat. Metab. Disord.* 24: 566-572.
- Fujioka, S., Matsuzawa, Y., Tokunaga, K., Keno, Y., Kobatake, T., and Tarui, S. (1991) Treatment of visceral fat obesity. *Int. J. Obes.* 15 Suppl 2: 59-65.
- Garrow, J.S. and Summerbell, C.D. (1995) Meta-analysis: effect of exercise, with or without dieting, on the body composition of overweight subjects. *Eur. J. Clin. Nutr.* 49: 1-10.
- Hayakawa, Y., Isono, K., Tanaka, K., and Asano, K. (1996) Metabolic responses during bench stepping exercise. *J. Educ. Health. Sci.* 41: 351-358.
- 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.
- Janssen, I. and Ross, R. (1999) Effects of sex on the change in visceral, subcutaneous adipose tissue and skeletal muscle in response to weight loss. *Int. J. Obes. Relat. Metab. Disord.* 23: 1035-1046.
- Leenen, R., van der Kooy, K., Deurenberg, P., Seidell, J.C., Weststrate, J.A., Schouten, F.J., and Hautvast, J.G. (1992) Visceral fat accumulation in obese subjects: relation to energy expenditure and response to weight loss. *Am. J. Physiol.* 263: E913-919.
- Leon, A.S., Casal, D., and Jacobs, D. Jr. (1996) Effects of 2,000 kcal per week of walking and stair climb-

- ing on physical fitness and risk factors for coronary heart disease. *J. Cardiopulm. Rehabil.* 16: 183-192.
- 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. *肥満研究* 6: 18-28.
- Mertens, D.J., Kavanagh, T., Campbell, R.B., and Shephard, R.J. (1998) Exercise without dietary restriction as a means to long-term fat loss in the obese cardiac patient. *J. Sports Med. Phys. Fitness* 38: 310-316.
- 中田由夫・田中喜代次・重松良祐・天貝 均・鈴木隆雄 (2002) 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. *体力科学* 51: 129-138.
- 大蔵倫博・田中喜代次 (1999) 自覚的運動強度を用いた全身持久性体力推定法の総合的検討: 最大下多段階漸増負荷サイクリングテストを利用して. *体力科学* 48: 111-124.
- 大蔵倫博・上原一人・和田実千・中西とも子・大川修一・田中喜代次 (2000a) 内臓脂肪型肥満女性に対する“有酸素性運動+エネルギー摂取制限”を用いた減量方法の意義. *肥満研究* 6: 173-178.
- 大蔵倫博・和田実千・上原一人・中西とも子・田中喜代次 (2000b) 有酸素性運動およびエネルギー摂取制限による減量プログラムの評価: 冠動脈硬化性心疾患の危険因子への影響. *健康支援* 2: 12-21.
- Rebuffe-Scrive, M., Anderson, B., Olbe, L., and Bjorntorp, P. (1990) Metabolism of adipose tissue in intraabdominal depots in severely obese men and women. *Metabolism* 39: 1021-1025.
- Rice, B., Janssen, I., Hudson, R., and Ross, R. (1999) Effects of aerobic or resistance exercise and/or diet on glucose tolerance and plasma insulin levels in obese men. *Diabetes Care* 22: 684-691.
- Ross, R. (1997) Effects of diet- and exercise-induced weight loss on visceral adipose tissue in men and women. *Sports Med.* 24: 55-64.
- Ross, R., Dagnone, D., Jones, P.J., Smith, H., Paddags, A., Hudson, R., and Janssen, I. (2000) Reduction in obesity and related comorbid conditions after diet-induced weight loss or exercise-induced weight loss in men. A randomized, controlled trial. *Ann. Intern. Med.* 133: 92-103.
- Ross, R., Rissanen, J., Pedwell, H., Clifford, J., and Shragge, P. (1996) Influence of diet and exercise on skeletal muscle and visceral adipose tissue in men. *J. Appl. Physiol.* 81: 2445-2455.
- Sale, J.E., McCargar, L.J., Crawford, S.M., and Taunton, J.E. (1995) Effects of exercise modality on metabolic rate and body composition. *Clin. J. Sport Med* 5: 100-107.
- Sartorio, A., Lafortuna, C.L., Conte, G., Faglia, G., and Narici, M.V. (2001) Changes in motor control and muscle performance after a short-term body mass reduction program in obese subjects. *J. Endocrinol. Invest.* 24: 393-398.
- SAS Procedures Guide, Release 6. 12 Edition. SAS Institute Inc., Cary, NC, 1997.
- 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. *肥満研究* 5: 40-45.
- Westerterp, K.R. (1999) Obesity and physical activity. *Int. J. Obes. Relat. Metab. Disord.* 23 Suppl 1: 59-64.
- Yoshizumi, T., Nakamura, T., Yamane, M., Islam, A.H., Menju, M., Yamasaki, K., Arai, T., Kotani, K., Funahashi, T., Yamashita, S., and Matsuzawa, Y. (1999) Abdominal fat: standardized technique for measurement at CT. *Radiology* 211: 283-286.

(平成14年4月12日受付)
(平成14年10月5日受理)