

食事療法と運動療法の併用が肥満女性の内臓脂肪に 及ぼす効果： $\dot{V}O_2\max$ の増加度からみた検討

魏 丞 完¹⁾ 田中 喜代次^{2,3)} 中田 由 夫^{2,3)}
李 東 俊^{3,4)} 大河原 一 憲¹⁾ 藤 村 透 子⁵⁾

EFFECTS OF DIET PLUS EXERCISE ON VISCERAL FAT IN OBESE WOMEN : WITH SPECIAL REFERENCE TO THE INCREASE IN $\dot{V}O_2\max$

SEUNGWAN WEE, KIYOJI TANAKA, YOSHIO NAKATA, DONGJUN LEE,
KAZUNORI OHKAWARA and MICHIKO FUJIMURA

Abstract

The purpose of this study was to determine the loss of visceral fat during weight loss program with diet only or diet plus exercise in premenopausal obese women (age 44 ± 6 yr). One hundred seventeen women (body mass index 29 ± 3 kg/m²) were divided into diet only group (DO, n=40) and diet plus exercise group (DE, n=77). DE was further divided into two groups: a group with a small change in $\dot{V}O_2\max$ (DE₁, n=26) and a group with a large change in $\dot{V}O_2\max$ (DE₂, n=51). Height, weight, fat mass, %fat, fat-free mass (FFM), abdominal total fat area (TFA), visceral fat area (VFA), subcutaneous fat area (SFA) and $\dot{V}O_2\max$ (ml/kg FFM/min) were measured before and after weight loss. The changes of weight, fat mass, %fat were significantly larger in DE than in DO. No difference was found in the changes of weight, fat mass, %fat between the DE₁ and DE₂. Percentage of change in VFA was significantly larger in DE₂ ($41 \pm 15\%$) than in DE₁ ($31 \pm 16\%$). These data suggest that both weight-loss programs (DO and DE) contribute to a remarkable decrease in visceral fat. Addition of exercise training, which would induce an improvement in $\dot{V}O_2\max$, to dietary restriction, may elicit a greater effect on visceral fat.

(Jpn. J. Phys. Fitness Sports Med. 2004, 53 : 311~320)

key word : premenopausal obese women, visceral fat, subcutaneous fat, diet, exercise, $\dot{V}O_2\max$

I. 緒 言

日本肥満学会は2000年に「新しい肥満の判定と肥満症の診断基準」を定め、body mass index (BMI) 25以上の者のうち、computed tomography (CT) スキャンによる臍高位の内臓脂肪面積が100 cm² 以上の者を内臓脂肪型肥満(肥満症)と定

義し、医学的に減量を必要とする病態(疾患単位)として取り扱っている¹⁾。また、冠危険因子の異常所見や肥満に起因ないし関連する健康障害は、減量によってその多くが改善しうるが、特に内臓脂肪の減少が大きいほど、耐糖能障害や高脂血症の改善度も大きいと報告されている²⁾。したがって、単に全身の脂肪量を評価するだけでなく、脂

¹⁾ 筑波大学人間総合科学研究科
〒305-8574 茨城県つくば市天王台1-1-1

Doctoral Program in Graduate School of Comprehensive Human Sciences,
University of Tsukuba, 1-1-1 Tennodai, Tsukuba, Ibaraki, 305-8574,
Japan

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

Institute of Health and Sport Sciences, University of Tsukuba, 1-1-1
Tennodai, Tsukuba, Ibaraki, 305-8574, Japan

³⁾ 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

Center for Tsukuba Advanced Research Alliance (TARA), University of
Tsukuba, 1-1-1 Tennodai, Tsukuba, Ibaraki, 305-8577, Japan

⁴⁾ 慶熙大学校スポーツ科学研究所
韓国 京畿道 龍仁市 器興邑 書川里1

Institute of Sports and Science, Kyung Hee University, Sochen-ri 1,
Giheung-eup, Yongin-si, Gyeonggi-do, 449-701, Korea

⁵⁾ つくばヘルスフィットネス研究会
〒305-8574 茨城県つくば市天王台1-1-1

Tsukuba Health Fitness Research Lab, University of Tsukuba, 1-1-1
Tennodai, Tsukuba, Ibaraki, 305-8574, Japan

肪分布を考慮することは重要である。

Shimomura et al.³⁾はラットを用いた研究によって、運動が内臓脂肪の合成能の低下に特異的に働きかけることを示唆している。また、運動時のエネルギー産生が内臓脂肪の特異的な動員によってまかなわれている可能性もあり、内臓脂肪を効果的に減少させるために運動療法(食事療法の併用も含む)を用いることが有効と考えられている^{4~6)}。しかしながら、先行研究において、運動により内臓脂肪が特異的に減少するという仮説は必ずしも支持されていない^{7~11)}。

最近、Lynch et al.¹²⁾は閉経後女性を対象に食事療法と運動療法を併用した結果、 $\dot{V}O_2\max$ の増加量が大きい者ほど内臓脂肪の減少量が大きいことを報告している。この結果は、運動療法による内臓脂肪の減少量には個人差があり、その個人差は $\dot{V}O_2\max$ の増加量によって説明できることを示唆している。一般に、有酸素性運動を実践させた場合にみられる $\dot{V}O_2\max$ の増加量は、運動実践による効果を表すものと言える。すなわち、運動療法による内臓脂肪減少量の差は、運動実践による $\dot{V}O_2\max$ の変化量を指標として説明できるという仮説が立てられる。しかしながら、我々の知る限り、内臓脂肪の減少を目的とした介入研究において、運動実践に伴う個々人の体力改善度を考慮した上で、“食事療法のみ”と“食事療法と運動療法の併用”の効果を比較した研究は皆無である。

そこで、本研究は有酸素性運動の実践による体力改善度の指標として $\dot{V}O_2\max$ の変化量を用い、閉経前女性に対する食事療法のみと食事療法と運動療法の併用が内臓脂肪に及ぼす効果を検討することにした。

II. 方 法

A. 対象者

対象者は、筆者らが提供する3ヵ月間の減量教室に参加した肥満女性117名であり、日本肥満学会¹⁾が定めた肥満の判定基準(BMI 25以上)を満たし、定期的な月経を有することを選定基準とした。対象者には、本研究の目的および検査内容、CT

スキャンによる放射線被曝について詳細に説明した上で、14週間の減量プログラムに参加することの同意を得た。また、対象者が妊娠していないこと、妊娠の予定がないことを確認した。対象者は食事療法のみ群(diet only : DO)40名、食事療法に有酸素性運動を加えた群(diet plus exercise : DE)77名に分けられた(表1)。

B. 検査項目および測定方法

測定項目は身長、体重、BMI、体脂肪量(fat mass)、体脂肪率(%fat)、除脂肪量(fat-free mass : FFM)、腹部総脂肪面積(total fat area : TFA)、内臓脂肪面積(visceral fat area : VFA)、皮下脂肪面積(subcutaneous fat area : SFA)であった。体脂肪率の測定にはSekisui製インピーダンス計(SS103)を用い、測定された電気抵抗値からTanaka et al.¹³⁾の成人肥満女性用の式により身体密度を求め、Brozek et al.¹⁴⁾の式により体脂肪量と体脂肪率を算出した。腹部脂肪面積(TFA, VFA, SFA)はYoshizumi et al.¹⁵⁾の方法に基づいて撮影し、内臓脂肪計測ソフトFat Scan(ver. 2.0, N2システム)を用いて算出した。 $\dot{V}O_2\max$ (ml/min)の決定には、Monark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¹⁶⁾。DE群に対する運動指導において強度の目安となる無酸素性代謝閾値(anaerobic threshold : AT)は、 $\dot{V}O_2\max$ を測定する漸増負荷運動時1分ごとに正中肘皮静脈より約1mlずつ血液を採取し、YSI製乳酸分析器(1500L)により分析された血中乳酸濃度によって決定される乳酸閾値(lactate threshold : LT)とした。 $\dot{V}O_2\max$ を評価する際、絶対値(ml/min)と相対値(ml/kg/min)のいずれを用いるべきなのは議論の多いところである。 $\dot{V}O_2\max$ の絶対値はやせより肥満で高く、体重あたりの相対値はやせの方が高い^{17~20)}。本研究では、 $\dot{V}O_2\max$ は筋肉量にほぼ比例する^{21~23)}ことや介入前後の体重変化による影響を考慮し、FFM 1kgあたりの $\dot{V}O_2\max$ を用いることとした。

Table 1. Physical characteristics and their changes during weight loss in DO and DE.

		DO (n = 40)	DE (n = 77)	DO vs. DE
Age (yr)		43.9 ± 5.9	43.6 ± 6.4	n. s.
Height (cm)		155.5 ± 5.0	157.3 ± 4.9	n. s.
Weight (kg)	Baseline	70.8 ± 8.9	71.2 ± 7.2	n. s.
	Change	-7.6 ± 3.3 *	-9.0 ± 3.4 *	P < 0.05
	%change	-10.8 ± 4.3	-12.6 ± 4.4	P < 0.05
BMI(kg/m ²)	Baseline	29.3 ± 3.3	28.8 ± 2.8	n. s.
	Change	-3.1 ± 1.3 *	-3.5 ± 1.8 *	n. s.
	%change	-10.7 ± 4.2	-12.2 ± 6.1	n. s.
%fat (%)	Baseline	34.6 ± 3.1	35.4 ± 4.5	n. s.
	Change	-3.7 ± 2.4 *	-5.5 ± 3.0 *	P < 0.05
	%change	-10.6 ± 6.8	-15.2 ± 7.8	P < 0.05
Fat mass (kg)	Baseline	24.6 ± 4.3	25.4 ± 5.1	n. s.
	Change	-4.9 ± 2.3 *	-6.6 ± 3.0 *	P < 0.05
	%change	-20.0 ± 8.6	-25.6 ± 9.8	P < 0.05
FFM (kg)	Baseline	46.2 ± 5.5	45.8 ± 4.3	n. s.
	Change	-2.7 ± 1.8 *	-2.4 ± 1.9 *	n. s.
	%change	-5.9 ± 3.8	-5.2 ± 4.0	n. s.
VO ₂ max (ml/min)	Baseline	1864 ± 276	1876 ± 307	n. s.
	Change	-39.6 ± 172	119.8 ± 284 *	P < 0.05
	%change	-1.6 ± 9.6	7.4 ± 17	P < 0.05
VO ₂ max (ml/kg/min)	Baseline	26.4 ± 3.0	26.5 ± 4.5	n. s.
	Change	2.7 ± 2.9 *	5.7 ± 4.6 *	P < 0.05
	%change	10.5 ± 11.2	23.2 ± 20.6	P < 0.05
VO ₂ max (ml/kg FFM/min)	Baseline	40.4 ± 4.6	41.0 ± 5.8	n. s.
	Change	1.7 ± 3.9 *	5.0 ± 6.3 *	P < 0.05
	%change	4.7 ± 10.4	13.3 ± 17.1	P < 0.05
VFA (cm ²)	Baseline	116.7 ± 46.9	101.6 ± 37.3	n. s.
	Change	-35.2 ± 19.2 *	-40.2 ± 28.0 *	n. s.
	%change	-31.9 ± 15.2	-37.5 ± 16.1	n. s.
SFA (cm ²)	Baseline	264.1 ± 61.4	270.8 ± 75.9	n. s.
	Change	-52.6 ± 38.8 *	-70.2 ± 38.8 *	P < 0.05
	%change	-20.1 ± 13.4	-26.9 ± 14.5	P < 0.05
TFA (cm ²)	Baseline	380.7 ± 82.7	372.3 ± 89.5	n. s.
	Change	-88.0 ± 45.0 *	-110.5 ± 52.1 *	P < 0.05
	%change	-23.7 ± 11.9	-30.2 ± 13.3	P < 0.05

DO : diet only, DE : diet plus exercise, BMI : body mass index, FFM : fat-free mass, VFA : visceral fat area, SFA : subcutaneous fat, area, TFA : total fat area.

*Significant within-group difference using a paired *t*-test.

n. s. : not significant.

C. 食事指導内容

本研究では減量期間中の良好な栄養バランスの保持を目的として、減量補助食品であるマイクロダイエット(サニーヘルス社)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⁵ 169

~173 kcal と低く抑えられている。マイクロダイエットの栄養成分は、たんぱく質 21.0 g, 糖質 16.5 g, 脂質 2.4 g, ビタミン A 1167 IU, ビタミン B₁ 0.9 mg, ビタミン B₂ 0.9 mg, ビタミン B₆ 1.3 mg, ビタミン B₁₂ 2.2 mg, ビタミン C 43.3 mg,

ビタミンD 166 IU, ビタミンE 4.4 mg, 鉄 6.7 mg, カルシウム 380 mg, マグネシウム 116 mg などであり, 各栄養素をバランスよく摂取でき, 減量に対する顕著な効果が報告されている²⁴⁻²⁶). 減量補助食品を最初の2週間は1日2食, その後は1日1食使用するよう指示し, その他の食事は, 1食あたり400~600 kcalの普通食を摂取させた. 対象者には一日あたりの総摂取エネルギーが1200 kcal前後になるよう指導し, 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. 食事記録から摂取エネルギー量を確認するとともに, 食事のとり方や栄養バランス, 食習慣などについて定期的に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指導した.

D. 運動指導内容

DE群に対しては, 週3回の監視型運動プログラムまたは週1回の監視型運動と自宅での運動実践を組み合わせたプログラムを提供した. 週3回の監視型運動プログラムの内容は, ベンチステップエクササイズ^{27,28})とPACE(programmed aerobic/anaerobic/accommodating circuit exercise)²⁹)を中心とした内容であった. 運動強度は有酸素性体力の向上と血中脂質の改善を図るため, 多くの局面でAT水準付近を保つよう指導し, 目標心拍数は原則としてAT時の心拍数 ± 20 beat/minとなるよう指導した. 運動中に測定した酸素摂取量や心拍数などから, 消費エネルギー量は1回あたり約240~300 kcalと推定された. 一方, 週1回の監視型運動は自宅でも実践できるように配慮したウォーキングであり, 運動指導がない日は自宅付近でウォーキングなどを自覚的運動強度(rating of perceived exertion: RPE)12~14(“ややきつい”)あたりで30分以上おこなうよう指示するとともに, 運動日誌を毎日つけるよう指導した. 運動日誌によって確認した運動頻度は週2~6回, 1回あたりの平均時間は約20~60分と個人差がみられ

たものの, 全員が運動を継続的に実践していた. アメリカスポーツ医学会が推奨する運動処方指針(METs表)³⁰)に基づいて推定した消費エネルギー量は1回あたり約80~120 kcalと推定されたが, 1週間あたりの消費エネルギー量は700~900 kcalであり運動プログラム間で差はなかった.

E. 統計処理

全ての測定結果は, 平均値 \pm 標準偏差で表した. 介入前後の各群における平均値の差の検定には対応のあるt-testを用いた. 2群間の平均値の比較は対応のないt-test, また3群間の平均値の比較には一元配置の分散分析を適用し, 有意差が認められた場合, *post hoc test*としてBonferroni法を用いた. 本研究における統計学的有意水準はすべて5%とした.

Ⅲ. 結 果

DO群とDE群における各項目の減量前の測定値, 減量前後の変化量および変化率を表1に示し

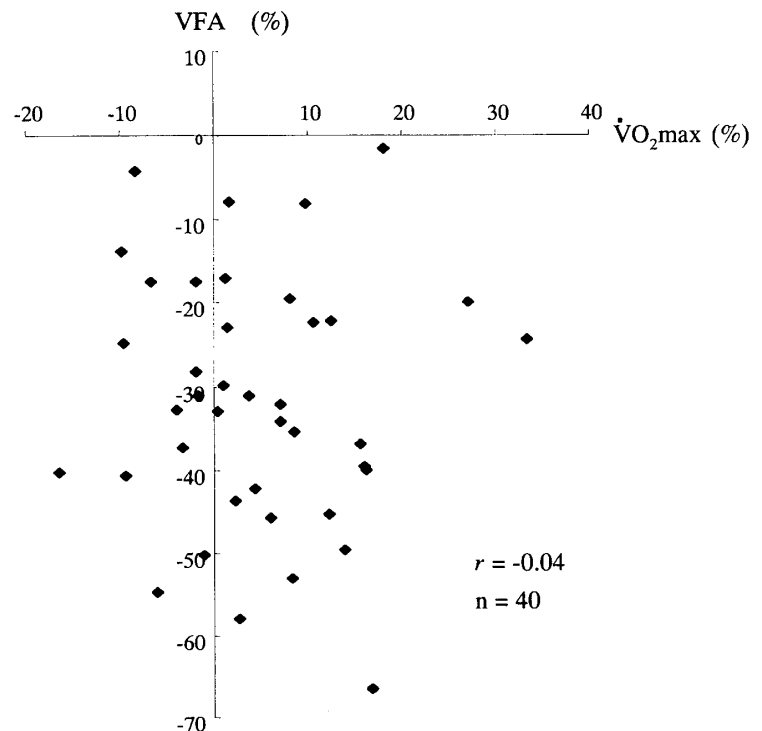


Fig. 1. Scatter diagram between %change of visceral fat area and %change of $\dot{V}O_{2\max}$ in DO.

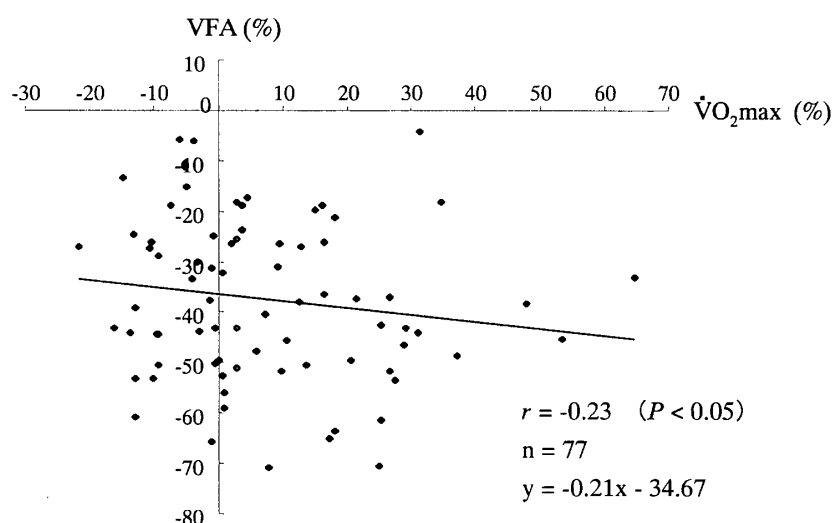


Fig. 2. Scatter diagram between %change of visceral fat area and %change of $\dot{V}O_2\max$ in DE.

Table 2. Physical characteristics and their changes during weight loss in DO, DE₁ and DE₂.

		DO (n = 40)	DE ₁ (n = 26)	DE ₂ (n = 51)	DO vs. DE ₁ vs. DE ₂
Age (yr)		43.9 ± 5.9	43.5 ± 6.5	43.7 ± 6.4	n. s.
Height (cm)		155.5 ± 5.0	155.8 ± 5.2	158.1 ± 4.5	DE ₂ > DO
Weight (kg)	Baseline	70.8 ± 8.9	70.1 ± 7.2	71.7 ± 7.2	n. s.
	Change	-7.6 ± 3.3 *	-8.7 ± 3.5 *	-9.2 ± 3.3 *	n. s.
	%change	-10.8 ± 4.3	-12.4 ± 4.6	-12.7 ± 4.4	n. s.
BMI (kg/m ²)	Baseline	29.3 ± 3.3	28.9 ± 2.9	28.7 ± 2.7	n. s.
	Change	-3.1 ± 1.3 *	-3.6 ± 1.5 *	-3.5 ± 2.0 *	n. s.
	%change	-10.7 ± 4.2	-12.4 ± 4.6	-12.1 ± 6.7	n. s.
%fat (%)	Baseline	34.6 ± 3.1	36.0 ± 3.7	35.1 ± 4.8	n. s.
	Change	-3.7 ± 2.4 *	-5.6 ± 3.2 *	-5.4 ± 3.0 *	DE ₁ , DE ₂ > DO
	%change	-10.6 ± 6.8	-15.4 ± 8.5	-15.1 ± 7.6	DE ₁ , DE ₂ > DO
Fat mass (kg)	Baseline	24.6 ± 4.3	25.4 ± 5.0	25.3 ± 5.2	n. s.
	Change	-4.9 ± 2.3 *	-6.6 ± 3.1 *	-6.6 ± 3.0 *	DE ₂ > DO
	%change	-20.0 ± 8.6	-25.6 ± 10.3	-25.6 ± 9.7	DE ₂ > DO
FFM (kg)	Baseline	46.2 ± 5.5	44.6 ± 3.1	46.5 ± 4.7	n. s.
	Change	-2.7 ± 1.8 *	-2.2 ± 1.8 *	-2.6 ± 1.9 *	n. s.
	%change	-5.9 ± 3.8	-4.8 ± 4.0	-5.4 ± 4.0	n. s.
$\dot{V}O_2\max$ (ml/min)	Baseline	1864 ± 276	1941.6 ± 236	1843.1 ± 335	n. s.
	Change	-39.6 ± 172	-160.2 ± 118 *	262.5 ± 232 *	DE ₂ > DO > DE ₁
	%change	-1.6 ± 9.6	-8.3 ± 6.0	15.3 ± 15.2	DE ₂ > DO, DE ₁
$\dot{V}O_2\max$ (ml/kg/min)	Baseline	26.4 ± 3.0	27.9 ± 3.9	25.8 ± 4.6	n. s.
	Change	2.7 ± 2.9 *	1.3 ± 2.0 *	8.0 ± 3.8 *	DE ₂ > DO, DE ₁
	%change	10.5 ± 11.2	4.9 ± 7.5	32.5 ± 18.8	DE ₂ > DO, DE ₁
$\dot{V}O_2\max$ (ml/kg FFM/min)	Baseline	40.4 ± 4.6	43.5 ± 4.8	39.7 ± 5.9	DE ₁ > DE ₂
	Change	1.7 ± 3.9 *	-1.6 ± 2.5 *	8.3 ± 4.8 *	DE ₂ > DO > DE ₁
	%change	4.7 ± 10.4	-3.6 ± 5.6	21.9 ± 14.4	DE ₂ > DO > DE ₁

DO : diet only, DE₁ : diet plus exercise 1 (%change of $\dot{V}O_2\max < 4.7\%$), DE₂ : diet plus exercise 2 (%change of $\dot{V}O_2\max \geq 4.7\%$), BMI : body mass index, FFM : fat-free mass.

*Significant within-group difference using a paired *t*-test.

n. s. : not significant.

た. 体重, BMI, 体脂肪量, 体脂肪率, FFM, VFA, SFA, TFA は DO 群, DE 群ともに介入前後で有意に減少し, 体重, 体脂肪量, 体脂肪率, SFA, TFA の変化量および変化率は DO 群より DE 群の方が有意に高かった. BMI, FFM, VFA の変化量と変化率は両群間に有意な差はみられなかった. DO 群と DE 群における VFA の変化率と $\dot{V}O_{2\max}$ の変化率の散布図を図 1 と図 2 に示した. DO 群においては有意な相関関係が認められず ($r = -0.04$), DE 群 ($r = -0.23$) において有意な負の相関関係が認められた.

減量に伴い生じる DO 群の $\dot{V}O_{2\max}$ 変化率の平均値 (4.7%) を基準とし, DE 群を DE₁ 群 (26 名, $\dot{V}O_{2\max}$ の変化率 < 4.7%) と DE₂ 群 (51 名, $\dot{V}O_{2\max}$ の変化率 $\geq 4.7\%$) に分けて, DO 群, DE₁ 群, DE₂ 群の 3 群を比較した結果を表 2 に示した. 一元配置の分散分析の結果, $\dot{V}O_{2\max}$ と身長以外の初期値には 3 群間で有意な差はなかった. VFA の変化率は DE₂ 群 (41 \pm 15%) が DO 群 (32 \pm 15%) と DE₁ 群 (31 \pm 16%) より有意に大きかった. SFA の変化率は DO 群 (20 \pm 13%) より DE₁ 群 (25 \pm 14%) と DE₂ 群 (28 \pm 15%) で有意に大きか

った (図 3).

IV. 考 察

本研究の目的は, 有酸素性運動の実践による体力改善度の指標として $\dot{V}O_{2\max}$ の変化量を用い, 閉経前女性に対する食事療法のみと食事療法と運動療法の併用が内臓脂肪に及ぼす効果を検討することであった.

体重, 体脂肪率, 体脂肪量の変化量および変化率は DE 群において DO 群より有意に減少しており, 食事療法によるエネルギー摂取量の減少に加えて, 有酸素性運動によるエネルギー消費量の増大が体重・体脂肪をより大きく減少させることが確認できた (表 1). しかしながら, 運動によって多くのエネルギー量が消費されたと考えられる DE 群の VFA 減少率 ($-38 \pm 16\%$) は, DO 群における VFA 減少率 ($-32 \pm 15\%$) と有意差がなく, SFA においてのみ有意な群間差がみとめられた (DO 群: $-20 \pm 13\%$, DE 群: $-27 \pm 15\%$). すなわち, 内臓脂肪に対して運動はほとんど影響を与えておらず, 与えていたとしても食事療法のみによる効果と差がないと考えられる. 一方, Lynch

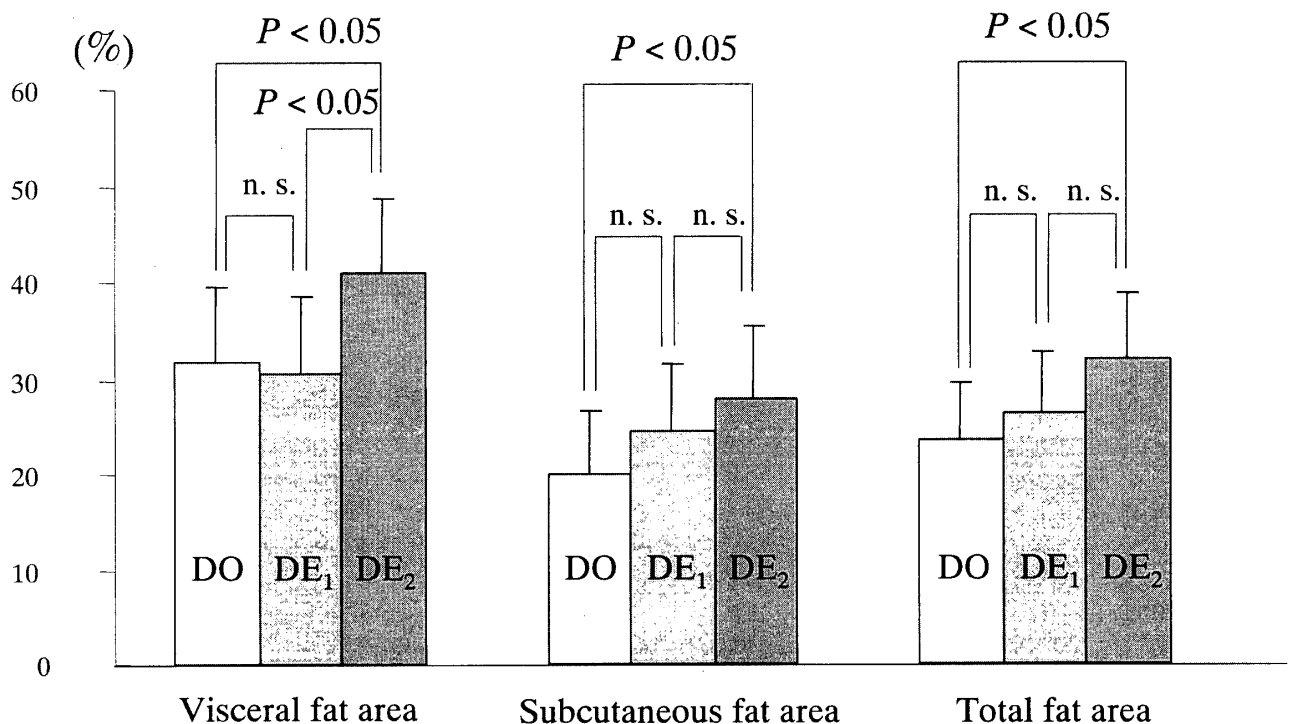


Fig. 3. The rate of reduction of the abdominal fat area in each group.

et al.¹²⁾は閉経後女性を対象に食事療法とウォーキングを併用した結果、内臓脂肪の変化量と $\dot{V}O_2\text{max}$ の変化量(ml/min)との間に有意な相関関係($r=0.55$, $n=40$, $P<0.01$)を観察している。本研究におけるDE群の内臓脂肪の変化量と $\dot{V}O_2\text{max}$ の変化量の相関係数($r=-0.23$, $n=77$)はそれほど高くなかったが(図2)、DO群の $\dot{V}O_2\text{max}$ の改善度を基準としてDE群を2群に分けて検討した。その結果、DE₁群とDE₂群の体重、体脂肪率、体脂肪量の変化に両群間の差はなかったが(表2)、運動実践によって持久性体力が向上したDE₂群におけるVFAの変化率($-41\pm 15\%$)はDE₁群($-31\pm 16\%$)と比べて有意に高かった。このことから、図3に示したように、DE群の $\dot{V}O_2\text{max}$ を改善させることがVFAの減少につながる事が示唆された。また、DE₁群とDE₂群のSFAの変化率には有意差がなく、VFAの変化率のみに有意差がみとめられたことから、 $\dot{V}O_2\text{max}$ の改善が内臓脂肪の減少と特異的な関係にあると推察された。

内臓脂肪の特異的な減少がDE₁群に比べDE₂群において顕著であった理由として、運動実践による血中カテコールアミン濃度の上昇³¹⁾による内臓脂肪細胞の特異的な脂肪分解^{32,33)}が、安静時と運動時のいずれであっても皮下脂肪組織より大きいこと^{34,35)}が考えられる。加えて、運動中および運動後には血中インスリン濃度が低下する^{36,37)}ことから、インスリンのantilipolysis(抗脂質分解)の感受性が皮下脂肪組織より3倍低い内臓脂肪組織においてインスリンのantilipolysisの抑制が生じ³⁸⁾、内臓脂肪の分解が進むと考えられる。したがって、 $\dot{V}O_2\text{max}$ の増加度が高いDE₂群ではDE₁群よりもインスリン濃度の低下やアドレナリンの分泌量が多くなった可能性が推察され、それらに対する感受性の高い内臓脂肪が優先的に分解された結果、DE₂群における内臓脂肪が特異的に減少したと考えられる。

先行研究では、運動が内臓脂肪に対して影響を及ぼすことは少なく、及ぼすとしても食事療法の影響がより大きく、運動の効果は明確ではなかった。本研究の主たる成果は、食事制限に加えて

$\dot{V}O_2\text{max}$ の増加を意図した運動をすることで内臓脂肪の特異的な減少が示されたことである。今後は、 $\dot{V}O_2\text{max}$ と内臓脂肪との関連性について、その他の冠危険因子などを考慮に入れた詳細な検討が必要である。

VI. 結 論

本研究では、有酸素性運動による効果の指標としてFFMあたりの $\dot{V}O_2\text{max}$ を用い、食事療法のみと食事療法と運動療法の併用における内臓脂肪減少効果の違いを検討した。その結果、食事療法群と食事療法と運動療法の併用群ともに内臓脂肪が減少したが、食事療法に $\dot{V}O_2\text{max}$ の増加を意図した運動を併用することで、より内臓脂肪の特異的な減少効果が得られることが示唆された。

謝 辞

本研究は以下に示す研究費の交付を受けて遂行することができた。ここに記して感謝の意を表す。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; 1999-2002)、科学研究費補助金(2000-2003; #12480005)、研究拠点形成費補助金(21世紀COEプログラム; 2002-2004)。

(受理日 平成16年4月12日)

文 献

- 1) 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, 肥満研究, (2000), **6**, 18-28.
- 2) Fujioka, S., Matsuzawa, Y., Tokunaga, K., Kawamoto, T., Kobatake, T., Keno, Y., Kotani, K., Yoshida, S., Tarui, S. Improvement of glucose and lipid metabolism associated with selective reduction of intra-abdominal visceral fat in premenopausal women with visceral fat obesity. *Int. J. Obes.*, (1991), **15**, 853-859.
- 3) Shimomura, I., Tokunaga, K., Kotani, K., Keno, Y., Yanase-Fujiwara, M., Kanosue, K., Jiao, S., Funahashi, T., Kobatake, T., Yamamoto, T., Masuzawa, Y. Marked reduction of acyl-CoA synthetase activity and mRNA in intra-abdominal visceral fat by physical exercise. *Am. J. Physiol.*, (1993), **265**, E44-E50.
- 4) Mourier, A., Gautier, J. F., De Kerviler, E., Bigard, A. X., Villette, J. M., Garnier, J. P., Duvallet, A., Guezennec, C. Y., Cathelineau, G. Mobilization of

- visceral adipose tissue related to the improvement in insulin sensitivity in response to physical training in NIDDM. Effects of branched-chain amino acid supplements. *Diabetes Care.*, (1997), **20**, 385-391.
- 5) 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. 有酸素性運動及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*, (1999), **5**, 40-45.
 - 6) 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. 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*, (2000), **6**, 173-178.
 - 7) Despres, J. P., Pouliot, M. C., Moorjani, S., Nadeau, A., Tremblay, A., Lupien, P. J., Theriault, G., Bouchard, C. Loss of abdominal fat and metabolic response to exercise training in obese women. *Am. J. Physiol.*, (1991), **261**, E159-E167.
 - 8) Schwartz, R. S., Shuman, W. P., Larson, V., Cain, K. C., Fellingham, G. W., Beard, J. C., Kahn, S. E., Stratton, J. R., Cerqueira, M. D., Abrass, I. B. The effect of intensive endurance exercise training on body fat distribution in young and older men. *Metabolism*, (1991), **40**, 545-551.
 - 9) Ross, R., Rissanen, J., Pedwell, H., Clifford, J., Shragge, P. Influence of diet and exercise on skeletal muscle and visceral adipose tissue in men. *J. Appl. Physiol.*, (1996), **81**, 2445-2455.
 - 10) Abe, T., Sakurai, T., Kurata, J., Kawakami, Y., Fukunaga, T. Subcutaneous and visceral fat distribution and daily physical activity: comparison between young and middle aged women. *Br. J. Sports Med.*, (1996), **30**, 297-300.
 - 11) 田中喜代次. 運動処方: 個人の生きがい (life benefits) を最大化 (maximize) するために. *日本健康運動指導士会会報*, (2002), **67**, 2-6.
 - 12) Lynch, N. A., Nicklas, B. J., Berman, D. M., Dennis, K. E., Goldberg, A. P. Reductions in visceral fat during weight loss and walking are associated with improvements in $\dot{V}O_2\max$. *J. Appl. Physiol.*, (2001), **90**, 99-104.
 - 13) Tanaka, K., Nakadomo, F., Watanabe, K., Inagaki, A., Kim, H. K., Matsuura, Y. Body composition prediction equations based on bioelectrical impedance and anthropometric variables for Japanese obese women. *Am. J. Hum. Biol.*, (1992), **4**, 739-745.
 - 14) Brozek, J., Grande, F., Anderson, J. T. Densitometric analysis of body composition: revision of some quantitative assumptions. *Ann. NY. Acad. Sci.*, (1963), **110**, 113-140.
 - 15) Yoshizumi, T., Nakamura, T., Yamane, M., Islam, A. H., Menju, M., Yamasaki, K., Arai, T., Kotani, K., Funahashi, T., Yamashita, S., Matsuzawa, Y. Abdominal fat: Standardized technique for measurement at CT. *Radiology*, (1999), **211**, 283-286.
 - 16) 大蔵倫博, 田中喜代次. 自覚的運動強度を用いて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*, (1999), **48**, 111-124.
 - 17) Dempsey, J. A., Reddan, W., Balke, B., Rankin, J. Work capacity determinants and physiologic cost of weight-supported work in obesity. *J. Appl. Physiol.*, (1966), **21**, 1815-1820.
 - 18) Williams, C. G., Wyndham, C. H., Morrison, J. F. The influence of weight and of stature on the mechanical efficiency of men. *Int. Z. Angew. Physiol.*, (1966), **23**, 107-124.
 - 19) Moody, D. L., Kollias, J., Buskirk, E. R. Evaluation of aerobic capacity in lean and obese women with four test procedures. *J. Sports Med. Phys. Fitness*, (1969), **9**, 1-9.
 - 20) Tanaka, K., Nakadomo, F., Yoshimura, T., Wakita, M., Fukuda, T., Sumida, S., Watanabe, H., Yamada, T. Specificity of training on the anaerobic threshold in middle-aged obese women. *Jpn. J. Appl. Physiol.*, (1986), **16**, 293-298.
 - 21) Reybrouck, T., Heigenhauser, G. F., Faulkner, J. A. Limitations to maximum oxygen uptake in arms, leg, and combined arm-leg ergometry. *J. Appl. Physiol.*, (1975), **38**, 774-779.
 - 22) Seals, D. R., Mullin, J. P. $\dot{V}O_2\max$ in variable type exercise among well-trained upper body athletes. *Res. Q. Exerc. Sport.*, (1982), **53**, 58-63.
 - 23) Withers, R. T., Sherman, W. M., Miller, J. M., Costill, D. L. Specificity of the anaerobic threshold in endurance trained cyclists and runners. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.*, (1981), **47**, 93-104.
 - 24) 鹿兒島正豊, 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.
 - 25) 平尾敏一. 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.
 - 26) 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. 成人男性におけるマイクロダイエットを用いた LCD 治療による減量効果について. *Ther. Res.*, (1996), **17**, 1441-1447.
 - 27) Hayakawa, Y., Isono, K., Tanaka, K., Asano, K. Metabolic responses during bench stepping exercise. *J. Educ. Health Sci.*, (1996), **41**, 351-358.
 - 28) Hayakawa, Y., Miki, H., Takada, K., Tanaka, K. Effects of music on mood during bench stepping exercise. *Percept Mot. Skills*, (2000), **90**, 307-314.
 - 29) 田中喜代次, 野田洋平編. ベーストレーニングのすべて. ミズノ株式会社スポーツ施設事業本部, 大阪, (1998):
 - 30) American College of Sports Medicine, ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription. Williams & Wilkins, 5th edition, Philadelphia, (1995), 164-165.
 - 31) Arner, P. Impact of exercise on adipose tissue metabolism in humans. *Int. J. Obes.*, (1995), **19**, S18-S21.

- 32) Fried, S., Leibel, R., Edens, N., Kral, J. Lipolysis in intraabdominal adipose tissues of obese women and men. *Obes. Res.*, (1993), **1**, 443-448.
- 33) Marin, P., Andersson, B., Ottosson, M., Olbe, L., Chowdhury, B., Kvist, H., Holm, G., Sjostrom, L., Bjorntorp, P. The morphology and metabolism of intraabdominal adipose tissue in men. *Metabolism*, (1992), **41**, 1242-1248.
- 34) Arner, P. Differences in lipolysis between human subcutaneous and omental adipose tissues. *Ann. Med.*, (1995), **27**, 435-438.
- 35) Arner, P., Kriegholm, E., Engfeldt, P., Bolinder, J. Adrenergic regulation of lipolysis in situ at rest and during exercise. *J. Clin. Invest.*, (1990), **85**, 893-898.
- 36) Felig, P., & Wahren, J. Fuel homeostasis during exercise. *N. Engl. J. Med.*, (1975), **293**, 1078-1084.
- 37) Kirwan, J., Kohrt, W., Wojta, D., Bourey, R., Holloszy, J. Endurance exercise training reduces glucose-stimulated insulin levels in 60- to 70-year old men and women. *J. Gerontol. Med. Sci.*, (1993), **48**, M84-M90.
- 38) Bolinder, J., Kager, L., Ostman, J., Arner, P. Differences at the receptor and postreceptor levels between human omental and subcutaneous adipose tissue in the action of insulin lipolysis. *Diabetes*, (1983), **32**, 117-123.