

## 肥満中年女性の身体組成に及ぼす複合トレーニングとタンパク質摂取の併用効果

前田有美<sup>1)</sup> 横山典子<sup>1)</sup> 高橋康輝<sup>2)</sup> 土居達也<sup>3)</sup>  
 松元圭太郎<sup>3)</sup> 上野裕文<sup>3)</sup> 久野譜也<sup>1)</sup>

EFFECTS OF COMBINED TRAINING OF RESISTANCE AND AEROBIC  
 TRAINING WITH PROTEIN INTAKE ON BODY COMPOSITION  
 IN OBESE MIDDLE-AGED WOMEN

YUMI MAEDA, NORIKO YOKOYAMA, KOUKI TAKAHASHI, TATSUYA DOI,  
 KEITARO MATSUMOTO, HIROFUMI UENO and SHINYA KUNO

## Abstract

The purpose of this study was to investigate the effects of combined resistance training and aerobic training with protein intake after resistance training on body composition in obese middle-aged women.

The subjects were 42 middle-aged women (age :  $56.5 \pm 4.3$  years, BMI :  $26.6 \pm 2.3$  kg/m<sup>2</sup>), who were classified into three supplementation groups: Protein group (PG), Isocalorie placebo group (IG), and Noncalorie placebo group (CG) by Double Blind Randomized Trial. The training program consisted of combined resistance training and aerobic training for 10 weeks, 5 times per week: twice a week in a university training room and 3 times per week at home. The subjects took the nutrient supplement immediately after each resistance training session. We measured body weight (Bw), body fat volume (Bf) by bioelectrical impedance analysis (BIA), and cross-sectional area (CSA) of muscle of the thigh extensor group (Te), flexor group (Tf), and psoas major (Pm) by magnetic resonance imaging (MRI) before and after the 10-week training period. Irrespective of group, Bw and Bf showed a significant decrease after the training period compared to before ( $p < 0.001$ ), and the CSA of Te muscle showed a significant increase after the training period ( $p < 0.01$ ). Moreover, the interaction of time  $\times$  group was accepted in the CSA of Pm muscle ( $p < 0.05$ ), and the increase in muscle volume for PG was the highest increase among the three supplementation groups ( $p < 0.05$ ) (PG :  $2.1 \pm 0.8$  cm<sup>2</sup>, IG :  $1.3 \pm 1.0$  cm<sup>2</sup>, CG :  $1.3 \pm 0.9$  cm<sup>2</sup>).

These results suggest that combined training in middle-aged obese women improves body composition, and resistance training with protein intake may increase the CSA of muscle of psoas major.

(Jpn. J. Phys. Fitness Sports Med. 2007, 56 : 269~278)

**key word** : middle-aged women, combined training, protein intake, body composition, obesity

## I. 緒 言

女性において中年期は、閉経に伴って生じるエストロゲンの分泌低下により、肥満をはじめとして、

高脂血症、糖尿病、高血圧症、動脈硬化性疾患、あるいは骨粗鬆症の罹患率が急激に上昇する時期である。現在までにこれらの疾病予防を目的として、運動の実施がすすめられてきた<sup>1~6)</sup>。

<sup>1)</sup>筑波大学大学院 人間総合科学研究科  
 スポーツ医学専攻

〒305-8577 茨城県つくば市天王台1-1-1

<sup>2)</sup>倉敷芸術科学大学 生命科学部 健康科学科  
 〒712-8505 岡山県倉敷市連島町西之浦2640

<sup>3)</sup>大塚製薬株式会社 佐賀栄養製品研究所  
 〒842-0195 佐賀県神埼郡吉野ヶ里町大曲  
 5006-5

*Doctoral Program of Sports Medicine, Graduate School of Comprehensive  
 Human Sciences, University of Tsukuba, 1-1-1 Tennodai, Tsukuba  
 305-8577, JAPAN*

*Department of Health and Sports Sciences, College of Life Science,  
 Kurashiki University of Science and the Arts, 2640 Nishinoura,  
 Tsurajima, Kurashiki 712-8505, JAPAN*

*Saga Nutranceuticals Research Institute, Otsuka Pharmaceutical Co.,  
 Ltd., Yoshinogari, Kanzaki, Saga 842-0195, JAPAN*

また, 性差に関係なく, 加齢に伴う身体機能の変化として, 筋力低下, および筋量減少を要因とした基礎代謝の低下が伴ってくる. そして, 基礎代謝が低下することによって, 消費エネルギー量の減少が起こるため, 結果的に肥満を招くといった悪循環が生じてくる.

現在までに, 肥満における減量を目的として, 栄養のみ, あるいは運動および栄養の両面からの研究が数多く報告され, 栄養に関しては低カロリー量での食事制限, 運動に関しては, 特に有酸素性トレーニングが実施されてきている<sup>7-10)</sup>. それらの結果の大部分において, 介入による体重と体脂肪量の減少のみではなく, 筋量の減少に伴う除脂肪量の減少もみられることが報告されている<sup>11-14)</sup>. 有酸素性トレーニングは, 一般的に, 体重や体脂肪量が減少する. 一方, 筋力トレーニングは除脂肪量を維持あるいは増大することが報告されているため<sup>15)</sup>, 肥満者に対する減量においては, 有酸素性および筋力トレーニングを併用させた複合トレーニングが望ましいとされている<sup>16)</sup>が, 研究報告が少ない<sup>17)</sup>. 本邦および諸外国を含めて, 肥満中年女性を対象として, 筋力トレーニングおよび有酸素性トレーニングの複合トレーニングを実施することによって生じる, 身体組成の変化に関する研究報告は見当たらないのが現状である.

骨格筋に関する性差については, 筋線維組成に関しては分布に性差はない<sup>18)</sup>が, 女性の筋線維1本あたりの平均横断面積は男性と比較すると, 約20~60%低値であり<sup>18-21)</sup>, また, 横断面積あたりの筋力においては性差がない<sup>22-24)</sup>が, 女性においては筋線維数が少ないことが報告されている. したがって, 女性は男性と比較した場合, 筋線維の横断面積が小さく, 筋線維数が少ないことから, 筋力低下あるいは基礎代謝低下への対応策として, 筋力トレーニングの有用性が高いことが推察できる.

筋力トレーニングによって, 一定のトレーニング効果を獲得するためには, 目的とした筋において, 確実に筋量を増大させることが必要である. その方法として, 最近, 筋力トレーニングとタンパク質摂取のタイミングに関する研究がみられる<sup>25,26)</sup>. それらの研究では, いずれも筋力トレーニング実施直後にタンパク質を摂取する群が, 有意にタンパク質の合成亢進や筋量の増大があることを示した<sup>25,26)</sup>.

あわせて, タンパク質を単独で摂取するよりも, 糖質を同時に摂取した方が, 摂取したタンパク質を効率的に体タンパク質合成に利用でき<sup>27)</sup>, 筋横断面積が有意に増大<sup>28)</sup>することも報告されている. また, 運動後の骨格筋タンパク質の合成は, アミノ酸と糖質を運動後に速やかに摂取した方が2, 3時間後に摂取した場合よりも高いと報告されている<sup>29)</sup>ことから, 筋力トレーニング実施直後に糖質を含有したタンパク質を摂取することによる筋量の増大への好効果が期待できる.

そこで, 本研究では, 第一に, エストロゲンの分泌低下が生じる中年女性が肥満を招きやすい点に着目して, 減量を目的とした複合トレーニングの効果について検討し, 第二に, 筋力トレーニング実施直後に糖質を含有したタンパク質を摂取することが, 複合トレーニングの効果をより顕著なものにできるか否かについて検討することを目的とした.

## II. 方 法

### A. 被検者

ホルモン補充療法(hormone-replacement therapy : HRT)を受けておらず, 医師より運動制限の指示がなく, かつ筋力トレーニングを実施していない肥満中年女性42名〔平均年齢:  $56.5 \pm 4.3$ 歳(49歳~64歳), BMI:  $26.6 \pm 2.3$ kg/m<sup>2</sup>(22.2~31.1kg/m<sup>2</sup>), 体脂肪率:  $35.9 \pm 2.2\%$ (28.2~42.0%), 閉経前期2名, 閉経周辺期4名, 閉経期36名]を対象とした. 本研究における肥満は, 体脂肪率が30%以上としたが, 被検者が本研究実施に応募しての参加であったため, 30%未満であった者が1名該当していた. 事前に研究目的, 測定項目と方法, トレーニング内容, およびトレーニング実施における身体組成の変化などの結果について口頭および文書にて十分な説明を行い, 理解の上, 同意書を得た者を対象とした. なお, 本研究は, 筑波大学体育科学系倫理委員会の承認を得て実施した.

トレーニング開始前の測定結果において, BMI, 大腿筋群および大腰筋横断面積を因子として群が同一になるように, 被検者の群分けを実施し, 無作為二重盲検法にてタンパク質摂取群(P群)14名, 等カロリープラセボ群(I群)16名, プラセボ群(C群)12名の3群に分類した.

## B. 測定項目および方法

### 1. 身体組成

体脂肪量はトレーニング開始前および終了後ともに、同一時間帯に生体電気インピーダンス (Bioelectrical impedance: BI) 法にて、身体組成計 (オムロン: auto BIA) を用いて測定し、その後、体脂肪量を算出するプログラムを用いて得られた値とした。

大腿筋群ならびに大腰筋横断面積は永久磁石型 MR 装置 (日立: AIRIS mate) を用いて、トレーニング開始前および終了後に撮影した。大腿筋群は、大腿骨大転子から外側顆間結節までを100%として、大腿骨大転子より近位30%位置の横断画像を、大腰筋は、第4腰椎および第5腰椎の間にある椎間板を中心とした横断画像を用いた。得られた画像は、統計解析ソフトウェア (NIH: NIH Image Ver. 1.62 USA) を用いて、横断面積を計測した。大腿筋群は右脚とし、大腿四頭筋を大腿伸筋群、ハムストリングスおよび内転筋群を大腿屈筋群とし、大腰筋は左右の横断面積の合計値とした。

### 2. 食事調査

食事調査は、土曜日、日曜日および祝日を除いた連続3日間、計9食について摂取した食事内容について、自記式にてトレーニング開始前および終了後に調査をし、毎回の食事内容と残食状況については写真撮影を実施した。これらの調査内容をエクセル栄養君 ver. 2.3 (建帛社) によって解析し、1日あたりの摂取エネルギー量、タンパク質、炭水化物および脂質の4項目について算出した。

## C. 運動プログラム

運動プログラムは筋力トレーニングおよび有酸素性トレーニングの複合トレーニングとした。期間は馴化期間を1週間設けた後、複合トレーニング期間を10週間、頻度は大学内施設での実施が週2回、自宅での実施が週3回の合計週5回とした。

### 1. 筋力トレーニング

種目については、股関節屈曲、伸展、外転、および内転筋、膝関節屈曲および伸展筋、体幹屈曲筋、上肢複合筋を主働筋とした下肢、体幹および上肢の大筋群を中心に8種目とした。負荷および回数は、種目あるいはトレーニングの実施場所によって変えた。マシントレーニングは、施設で10RMを2セッ

ト、チューブあるいは自重を負荷としたトレーニングは、施設ならびに自宅にて10回を3セットとした。施設においてマシンを用いたトレーニングは、膝関節伸展ならびに屈曲筋を主働筋とする2種目とした。膝関節伸展ならびに屈曲筋以外の主働筋に対するトレーニングは、チューブあるいは自重負荷とした。マシントレーニングに際しては、初回時に筋力測定を実施し、結果から10RMの負荷を算出して用いた<sup>30)</sup>。そして、5週目に再度初回時と同様に筋力測定を実施して10RMを算出し、6週目より負荷を変更して10週目まで実施した。自宅でのトレーニングは、8種目すべてがチューブあるいは自重負荷でのトレーニングとした。トレーニングで使用するチューブの強度は6週目より変更した。

### 2. 有酸素性トレーニング

施設においては、自転車エルゴメータを用いて45分間実施した。負荷については、トレーニング開始前に、池上による基準<sup>31)</sup>をWattに換算した上で、自転車エルゴメータ (COMBI AEROBIKE EX90) を用いて、60rpmになるように、12分間の最大下運動負荷テストを実施した。そして、トレーニング1週目から5週目においては70%HRmax、6週目から10週目においては、75%HRmaxに相当する負荷で実施した。自宅においては、自覚的運動強度で「やや楽である」から「ややきつい」の強度で継続して45分間のウォーキングを実施した。ウォーキングを含む日常生活での歩行は、1日あたりの目標歩数を8000歩とした。しかしながら、トレーニング期間中の1日あたりの目標歩数が達成しづらい場合には、1週間あたり56000歩を目標に歩行してもよい旨をあわせて指導した。

## D. 栄養プログラム

### 1. トレーニング期間中の摂取エネルギー量ならびに栄養指導

「日本人の食事摂取基準2005年版」における、エネルギーの食事摂取基準 推定エネルギー必要量のうち、50歳以上69歳以下の女性の身体活動レベルが低い (I) が1日あたり1650kcal、ふつう (II) が1日あたり1950kcalであることを参考にして、トレーニング期間中の目標摂取エネルギー量は1日あたり1800kcalとした。なお、1日あたりの摂取エネルギー量の食事内容について、トレーニング開始

Table 1. Nutrients in three supplementation groups by Double Blind Randomized Trial.

	P group (n=14)	I group (n=16)	C group (n=12)
Protein	10g	0g	0g
Carbohydrate	15g	25g	0g
Fat	0g	0g	0g
Vitamin D	200IU	200IU	0IU
Calcium	250mg	250mg	0mg
Energy	100kcal	100kcal	0kcal

P group : protein intake group

I group : isocalorie placebo group

C group : noncalorie placebo group

前に管理栄養士が集団で栄養指導を1回実施した。

2. 栄養被験物および対照被験物, 被験物摂取のタイミング, 摂取状況の確認

栄養被験物ならびに対照被験物の栄養組成をTable 1に示す。被験物は容器に入ったゼリーであり, タンパク質の含有量は, P群で10g, I群およびC群においては0g, 糖質の含有量は, P群で15g, I群で25g, C群で0gとした。P群で用いたタンパク質含有量の10gは, ヒトを対象にタンパク質摂取における運動効果を検証する先行研究において, 用いられた量と同等の量とした<sup>25,26,32~</sup>

<sup>35)</sup>。施設および自宅において, 10週間のトレーニング期間中, 筋力トレーニング終了直後に摂取した。摂取および未摂取状況の確認は, 施設および自宅でのトレーニング後に容器を回収することで確認した。

#### E. 統計解析

統計ソフトはMacintosh版Stat view-J5.0を用い, 基本的統計量は平均値±標準偏差値で表した。P群, I群, C群の3群間の比較については, 一元配置分散分析および多重比較(Fisher's PLSD)を用

Table 2. Baseline characteristics of subjects before training period.

	Pgroup (n=14)	Igroup (n=16)	Cgroup (n=12)
Age (year)	56.5 ± 4.3	57.4 ± 3.7	57.7 ± 4.6
Height (cm)	156.5 ± 5.2	153.7 ± 3.5	155.0 ± 4.2
Weight (kg)	64.4 ± 8.3	63.6 ± 5.3	64.0 ± 6.2
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	26.2 ± 2.7	26.9 ± 2.1	26.6 ± 2.0
Body fat (kg)	22.9 ± 3.8	22.9 ± 2.6	23.5 ± 3.7
Cross-sectional area of muscle			
Thigh extensor group (cm <sup>2</sup> )	40.3 ± 6.6	39.8 ± 3.8	40.6 ± 4.6
Thigh flexor group (cm <sup>2</sup> )	35.8 ± 4.6	37.5 ± 7.0	36.5 ± 5.0
Psoas major (cm <sup>2</sup> )	12.9 ± 2.4	13.4 ± 2.6	13.3 ± 2.3
Food intake			
Energy (kcal/day)	2137 ± 207	2084 ± 455	1902 ± 371
Protein (g/day)	86.7 ± 14.6	83.2 ± 21.6	78.9 ± 13.9
Carbohydrate (g/day)	291.3 ± 47.1	297.7 ± 71.3	261.4 ± 62.7
Fat (g/day)	65.1 ± 12.2	59.9 ± 14.4	56.2 ± 15.3

n. s.

P group : protein intake group

I group : isocalorie placebo group

C group : noncalorie placebo group

Values are mean±SD.

Statistical analysis : one-factor ANOVA, n. s. : not significant

Table 3. Results of body composition before and after training period and three supplementation groups (P group, I group, C group).

	P group (n=14)		I group (n=16)		C group (n=12)		time Pre and Post	group P, I, and C group	time×group
	Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post			
Body weight (kg)	64.4 ± 8.3	62.0 ± 7.5	63.6 ± 5.3	61.5 ± 5.5	64.0 ± 6.2	61.8 ± 5.3	***	n.s.	n.s.
Body fat (kg)	22.9 ± 3.8	21.1 ± 3.4	22.9 ± 2.6	21.3 ± 3.2	23.5 ± 3.7	21.6 ± 2.6	***	n.s.	n.s.
Cross-sectional area of muscle (cm <sup>2</sup> )									
Thigh extensor group	40.3 ± 6.6	41.5 ± 6.5	39.8 ± 3.8	41.5 ± 3.6	40.6 ± 4.6	41.6 ± 4.3	**	n.s.	n.s.
Thigh flexor group	35.8 ± 4.6	35.5 ± 4.9	37.5 ± 7.0	37.3 ± 7.3	35.5 ± 5.0	35.5 ± 4.6	n.s.	n.s.	n.s.
Psoas major	12.9 ± 2.4	15.0 ± 2.5	13.4 ± 2.6	14.7 ± 2.1	13.3 ± 2.3	14.6 ± 1.8	***	n.s.	*

P group : protein intake group

I group : isocalorie placebo group

C group : noncalorie placebo group

Values are mean ± SD.

Statistical analysis : Two-factor factorial ANOVA by time (Pre and Post training session) × group (P, I, and C group)

\*\*\* p < 0.001, \*\* p < 0.01, \* p < 0.05, n. s. : not significant

いた。また、3 (P群, I群, C群) × 2 (トレーニング開始前, トレーニング終了後) の二元配置分散分析を用いた。すべての統計処理において、危険率5%未満を有意とした。

### Ⅲ. 結 果

#### A. 3群におけるトレーニング開始前の状態

年齢, 身長, 体重, BMI, 体脂肪量, 大腿伸筋群および屈筋群, 大腰筋の筋横断面積, 摂取エネルギー量, タンパク質, 炭水化物, および脂質の摂取状況について, P群, I群, C群の3群における有意差は認められなかった (Table 2)。

#### B. 3群における身体組成の変化

体重およびBI法による体脂肪量は, 二元配置分散分析の結果, トレーニング開始前および終了後とP群, I群, C群の3群との交互作用がなく, 群間 (P群, I群, C群) に有意差はなかった。群内 (トレーニング開始前および終了後) に有意差が認められ (p < 0.001), トレーニング終了後の体重および体脂肪量が開始前よりも有意に減少していた。MRIを用いて計測した大腿伸筋の筋横断面積は, 交互作用がなく, 群間に有意差はなかったが, 群内に有意差が認められ (p < 0.001), トレーニング終了後の横断面積が開始前よりも有意に増大していた。また, 大腿屈筋の筋横断面積については, 交互作用がなく, 群間および群内においても有意差は認められなかった (Table 3)。大腰筋の筋横断面積は, 二元配置分散分析の結果, 交互作用 (p < 0.05) が認められ (Table 3), 変化量はP群で  $2.1 \pm 0.8 \text{ cm}^2$ , I群

で  $1.3 \pm 1.0 \text{ cm}^2$ , C群で  $1.3 \pm 0.9 \text{ cm}^2$  であった。一元配置分散分析で変化量に有意差が認められ (p < 0.05), 多重比較 (Fisher's PLSD) を実施したところ, P群はI群およびC群に比較して有意に増大していた (p < 0.05) (Fig. 1)。

#### C. 3群における被験物摂取状況

トレーニング実施期間が10週間で, 最多摂取回数が50回のうち, 平均でP群  $48.1 \pm 2.3$  回, I群  $48.6 \pm 2.2$  回, C群  $46.1 \pm 5.0$  回であり, 3群に有意差は認められなかった (Table 4)。

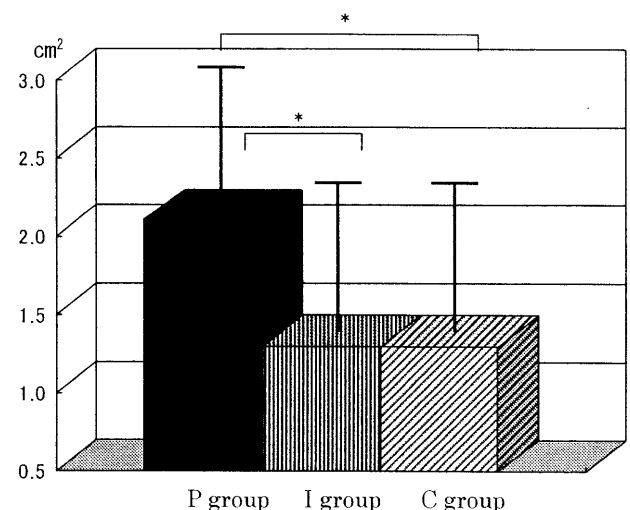


Fig. 1. Change volume of muscle of cross-sectional area of psoas major in three supplementation groups (P group, I group, C group).

Statistical analysis : one-factor ANOVA p < 0.05 and post-hoc test by Fisher's PLSD p < 0.05, \* p < 0.05

Table 4. The number of protein or placebo intake in three supplementation groups (P group, I group, C group).

	P group (n=14)	I group (n=16)	C group (n=12)
Intake (times)	48.1 ± 2.3	48.6 ± 2.2	46.1 ± 5.0

n. s.

P group : protein intake group

I group : isocalorie placebo group

C group : noncalorie placebo group

Values are mean ± SD.

Statistical analysis : one-factor ANOVA, n. s. : not significant

Maximal numbers of protein or placebo intake : 50 times

Table 5. Food intake (energy, protein, carbohydrate, and fat intake per a day) before and after training period and three supplementation groups (P group, I group, C group).

	P group (n=14)		I group (n=16)		C group (n=12)		time Pre and Post	group P, I, and C group	time×group
	Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post			
Energy (kcal/day)	2137 ± 207	1964 ± 458	2084 ± 455	2047 ± 356	1902 ± 371	1802 ± 336	n.s.	n.s.	n.s.
Protein (g/day)	86.7 ± 14.6	85.8 ± 23.9	83.2 ± 21.6	87.3 ± 15.0	78.9 ± 13.9	81.9 ± 22.5	n.s.	n.s.	n.s.
Carbohydrate (g/day)	291.3 ± 47.1	251.4 ± 54.2	297.7 ± 71.3	279.2 ± 53.0	261.4 ± 62.7	248.0 ± 57.3	*	n.s.	n.s.
Fat (g/day)	65.1 ± 12.2	64.1 ± 20.9	59.9 ± 14.4	62.9 ± 15.0	56.2 ± 15.3	50.9 ± 12.3	n.s.	n.s.	n.s.

P group : protein intake group

I group : isocalorie placebo group

C group : noncalorie placebo group

Values are mean ± SD.

Statistical analysis : Two-factor factorial ANOVA by time (Pre and Post training session) × group (P, I, and C group)

\*p&lt;0.05, n. s. : not significant

#### D. 3群における食事調査状況

摂取エネルギー量, タンパク質, 脂質および炭水化物摂取量は, 交互作用, 群間においてすべて有意差がなかった. 炭水化物摂取量において, 群内に有意差が認められ, トレーニング終了後が開始前よりも有意に減少していた. その他の3項目については群内に有意差は認められなかった (Table 5).

#### IV. 考 察

本研究における栄養プログラムは, 過度の食事制限を含んだ指導は実施せずに, トレーニング開始前に管理栄養士による食事指導を1回実施しただけであり, その後の食事摂取のコントロールは被検者に委ねるプログラムとした. 強制的な食事制限によって, 一時的に減量は達成されるが, 一般的には長期にわたって継続することは困難であること, 場合によっては健康障害を招き, 食事制限中止後のリバウンド現象がみられること<sup>36)</sup>や, 逆に脂肪量の減少ではなく, 筋タンパク質の分解を促進することから, 減量の方法としては望ましくないことが指摘さ

れている<sup>37)</sup>. したがって, 本研究においては, 長期的な食事制限が比較的可能であると推察される栄養プログラムを実施することにした. 骨格筋の合成に関与するタンパク質の1日あたりの栄養摂取基準については, 「日本人の食事摂取基準2005年版」において, 50歳から69歳の女性で1日あたりの推奨量が55gと策定されているが, トレーニング開始前および終了後ともに, 3群すべてにおけるタンパク質摂取量の平均値は, 推奨量に達していた. 本研究において, 減量を目的としながらも, 3群すべてにおいて大腿伸筋群の筋横断面積が増大し, 大腿屈筋群の筋横断面積が維持されたことは, 減量を目的としたプログラムに食事制限が伴う場合, 筋力トレーニングの実施においては, 推奨量以上のタンパク質の摂取が必要となる可能性を示唆している. また, 被検者群全体で, 体重が平均2.3±1.7kg(3.5±2.4%), および体脂肪量が平均1.8±1.5kg(7.5±5.9%)と有意な減少を示したことにより, 本研究で実施したプログラムは, 減量プログラムとして一定の効果を果たしたものと考えられる.

本研究における有酸素性トレーニングの内容は、施設でのトレーニング強度は70~75%HRmax, 1回の実施期間が45分, 頻度は, 自宅でのウォーキングや日常生活の歩行を追加すると, 週5~7回であり, 先行研究<sup>38,39)</sup>とほぼ同程度の有酸素性トレーニングプログラムの内容であった。したがって, 極端な食事制限を実施することなく, 体脂肪量および体重の減量効果を獲得するためには, 本研究での内容を含めた過去の報告と同内容の有酸素性プログラムを実施する必要があることを推察できる。

筋横断面積に対する複合トレーニングの効果において, 大腿屈筋群は3群間, およびトレーニング開始前と終了後に有意な差が認められなかったが, 大腿伸筋群においては, 全体でトレーニング開始前よりも終了後において, 平均  $1.3 \pm 2.2 \text{ cm}^2$  ( $3.4 \pm 5.3\%$ )と有意な増大が認められた。過去における中年女性を対象にした, 膝関節伸展筋の筋力トレーニング効果については, トレーニング内容として, 12 RM 3セット, 週3回を12週間実施した際の横断面積は8.0%の増大が示されている<sup>40)</sup>。それに対し, 本研究では, 膝関節伸展筋におけるマシントレーニングの実施内容は, 10 RM 2セットで週2回, および週3回は自宅にて, チューブを用いた自重負荷の筋力トレーニングを10週間実施した。先行研究と比較すると, 相対的なトレーニング強度が低かったため,  $3.4 \pm 5.3\%$ とやや低いトレーニング効果となった。しかしながら, 食事制限を伴う減量を目的としたプログラムでは, 筋横断面積の減少を招くことを考慮すると, 本研究の結果は, 一定のトレーニング効果が認められたことを示すと考えられる。

さらに, 大腰筋横断面積において統計学的に交互作用が認められ, 変化量はP群で平均  $2.1 \pm 0.8 \text{ cm}^2$  ( $16.5 \pm 7.1\%$ ), I群で平均  $1.3 \pm 1.0 \text{ cm}^2$  ( $11.3 \pm 9.8\%$ ), およびC群で平均  $1.3 \pm 0.9 \text{ cm}^2$  ( $11.1 \pm 9.0\%$ )であり, 一元配置分散分析および多重比較の結果, P群はI群およびC群よりも有意に筋量が増大していることが認められた。大腰筋は, 起始部を全腰椎の横突起, および, 最下部胸椎と全腰椎の椎体の外側面およびこれに相当する椎間板前面, 停止部を大腿骨小転子とする股関節屈曲筋である<sup>41)</sup>。また, 体幹と下肢をつなぐ筋であるだけでなく, 姿勢を支持および安定させる<sup>42,43)</sup>とともに, 大腿部を上部あるいは前方上部に引き揚げる動作時, すな

わち, 歩行あるいは階段昇り動作の際に作用する筋である。大腿部を引き揚げて股関節を大きく屈曲させる動作は, 仕事上の労作などの特殊な状況を除いて, 日常生活においては比較的少ない。本研究で実施した股関節屈曲筋のトレーニングは, 椅座位で膝関節を屈曲した状態で大腿部を体幹部に引き寄せる際にチューブの張力を抵抗として用いる動作である。日常生活での実施頻度が少ない股関節を比較的大きく屈曲する動作をトレーニング種目に用いたことにより, 筋力トレーニング直後にタンパク質を摂取したP群が, I群およびC群と比較して変化量が有意に大きくなった可能性が高いことが示唆される。なぜならば, 筋力トレーニング直後におけるタンパク質摂取は, 経口投与されたタンパク質の筋肉への転換がより効率的になされることが, いくつかの研究によって示されているからである<sup>26,35)</sup>。したがって, 中高齢期の筋力トレーニングプログラムにおいて, トレーニング実施直後にタンパク質を摂取することは, より確実な効果を得るためには重要であることが示唆された。

10週間の比較的短期間のプログラムであったが, 肥満中年女性に対して, 体重および体脂肪量が減少し, 大腿伸筋群および大腰筋群の筋横断面積が増大したという結果が得られた。このことは, 本研究における有酸素性および筋力トレーニングによる複合トレーニングの有効性が示されたものと考えられる。さらに, 食事の制限量が少なく, 運動プログラムと併用して, タンパク質を摂取する栄養プログラムは, 大腰筋における筋横断面積の増大をもたらしたことから, 運動および栄養の両プログラムの組み合わせの重要性が示唆された。

## V. ま と め

本研究では, エストロゲンの分泌低下が生じる中年女性は肥満を招きやすいことに着目して, 肥満中年女性を対象に, 減量を目的として筋力および有酸素性トレーニングの複合トレーニングを実施し, さらに, 筋力トレーニング実施直後にタンパク質を摂取させることで, 身体組成に及ぼす効果について検討したところ, 下記の結果が得られた。

1. トレーニング開始前と比較して, トレーニング終了後において, 体重および体脂肪量が有意に減少し, 大腿伸筋群および大腰筋の筋横断面積が有

意に増大した。

2. 大腰筋の筋横断面積においては, 統計学的に交互作用が認められ, タンパク質を摂取した群は, 等カロリープラセボ群およびプラセボ群と比較して, 有意に筋横断面積が増大していた。

以上の結果から, 肥満中年女性を対象とした複合トレーニングの実施は身体組成を改善できる可能性があることが推察される。さらに, 運動および栄養の併用プログラムを用いた, 筋力トレーニング実施直後におけるタンパク質の摂取は, 日常生活動作の中でも多くの割合を占める, 歩行あるいは階段昇り動作のような股関節屈曲動作に参与する大腰筋の筋横断面積が, より効果的に増大することが示された。

本研究は, (株)つくばウェルネスリサーチとの産学共同研究費(代表 久野譜也)にて実施した。

(受理日 平成19年1月29日)

#### 参 考 文 献

- 1) Sower, M. R., La Pietra, M. T. Menopause : its epidemiology and potential association with chronic diseases. *Epidemiol. Rev.*,(1995), **17**, 287-302.
- 2) Mosca, L., Manson, J. E., Sutherland, S. E., Langer, R. D., Manolio, T., Barrett-Connor, E. Cardiovascular disease in women : a statement for health professionals from the American Heart Association. Writing Group. *Circulation*,(1997), **96**, 2468-2482.
- 3) Mosca, L., Grundy, S. M., Judelson, D., King, K., Limacher, M., Oparil, S., Pasternak, R., Pearson, T. A., Redberg, R. F., Smith, S. C. Jr., Winston, M., Zinberg, S. Guide to Preventive Cardiology for women. AHA/ACC Scientific Statement Consensus panel statement. *Circulation*,(1999), **99**, 2480-2484.
- 4) Jakicic, J. M., Clark, K., Coleman, E., Donnelly, J., Foreyt, J., Melanson, E., Volek, J., Volpe, S. L. American College of Sports Medicine position stand. Appropriate intervention strategies for weight loss and prevention of weight regain for adults. *Med. Sci. Sports. Exerc.*,(2001), **33**, 2145-2156.
- 5) National Institutes of Health. Consensus Conference: osteoporosis: factors contributing to osteoporosis. *J. Nutr.*,(1986), **116**, 316-319.
- 6) American College of Sports Medicine. Position Stand. Physical activity, physical fitness, and hypertension. *Med. Sci. Sports. Exerc.*,(1993), **25**, i-x.
- 7) Hays, N. P., Starling, R. D., Liu, X., Sullivan, D. H., Trappe, T. A., Fluckey, J. D., Evans, W. J. Effects of an ad libitum low-fat, high-carbohydrate diet on body weight, body composition, and fat distribution in older men and women : a randomized controlled trial. *Arch. Intern. Med.*,(2004), **2**, 210-217.
- 8) Pavlou, K. N., Steffe, W. P., Lerman, R. H., Burrows, B. A. Effects of dieting and exercise on lean body mass, oxygen uptake, and strength. *Med. Sci. Sports. Exerc.*,(1985), **17**, 466-471.
- 9) Hagan, R. D. Benefits of aerobic conditioning and diet for overweight adults. *Sports med.*,(1988), **5**, 144-155.
- 10) Shinkai, S., Watanabe, S., Kurosawa, Y. Effect of 12 weeks of aerobic exercise plus dietary restriction on body composition, resting energy expenditure and aerobic fitness in mildly obese middle-aged women. *Eur. J. Appl. Physiol.*,(1994), **68**, 258-265.
- 11) Heilbronn, L. K., Ravussin, E. Calorie restriction and aging : review of the literature and implications for studies in humans. *Am. J. Clin. Nutr.*,(2003), **78**, 361-369.
- 12) Svendsen, O. L., Hassager, C., Christiansen, C. Effect of an energy-restrictive diet, with or without exercise, on lean tissue mass, resting metabolic rate, cardiovascular risk factors, and bone in overweight postmenopausal women. *Am. J. Med.*,(1993), **95**, 131-140.
- 13) Cox, K. L., Burke, V., Morton, A. R., Beilin, L. J., Puddey, I. B. The independent and combined effects of 16 weeks of vigorous exercise and energy restriction on body mass and composition in free-living overweight men - a randomized controlled trial. *Metabolism*,(2003), **52**, 107-115.
- 14) Tsai, A. C., Sandretto, A., Chung, Y. C. Dieting is more effective in reducing weight but exercise is more effective in reducing fat during the early phase of a weight-reducing program in healthy humans. *J. Nutri. Biochem.*,(2003), **14**, 541-549.
- 15) Ballor, D. L., Katch, V. L., Becque, M. D., Marks, C. R. Resistance weight training during caloric restriction enhances lean body weight maintenance. *Am. J. Clin. Nutr.*,(1988), **47**, 19-25.
- 16) Hill, J. O., Sparling, P. B., Shields, T. W., Heller, P. A. Effect of exercise and food restriction on body composition and metabolic rate in obese women. *Am. J. Clin. Nutr.*,(1987), **46**, 622-630.
- 17) Park, S-K., Park, J-H., Kwon, Y-C., Kim, H-S., Yoon, M-S., Park, H-T. The effect of combined aerobic and resistance exercise training on abdominal fat in obese middle-aged women. *J. Physiol. Anthoro. Appl. Human. Sci.*,(2003), **22**, 129-135.
- 18) Saltin, B., Henriksson, J., Nygaard, E., Anderson, P., Jansson, E. Fiber types and metabolic potentials of skeletal muscles in sedentary man and endurance runners. *Ann. NY Acad. Sci.*,(1977), **301**, 3-29.
- 19) Nygaard, E. Skeletal muscle fiber characteristics in young women. *Acta. Physiol. Scand.*,(1981), **112**, 299-304.
- 20) Grimby, G., Danneskiold-Samsoe, B., Hvid, K., Saltin, B. Morphology and enzymatic capacity in arm and leg



- muscles in 78-81 year old men and women. *Acta. Physiol. Scand.*, (1982), **115**, 125-134.
- 21) Essen-Gustavsson, B., Borges, O. Histochemical and metabolic characteristics of human skeletal muscle in relation to age. *Acta. Physiol. Scand.*, (1986), **126**, 107-114.
  - 22) Ikai, M., Fukunaga, T. Calculation of muscle strength per unit cross sectional area of human muscle by means of ultrasonic measurement. *Int. Z. Anger. Physiol.*, (1986), **26**, 26-32.
  - 23) Maughan, R. J., Watson, J. S., Weir, J. Strength and cross-sectional area of human skeletal muscle. *J. Physiol.*, (1983), **338**, 37-49.
  - 24) Sale, D. G., MacDougall, J. D., Always, S. E., Sutton, J. R. Voluntary strength and muscle characteristics in untrained men and women and male body builders. *J. Appl. Physiol.*, (1987), **62**, 1786-1793.
  - 25) Levenhagen, D. K., Gresham, J. D., Carlson, M. G., Maron, D. J., Borel, M. J., Flakoll, P. J. Postexercise nutrient intake timing in humans is critical to recovery of leg glucose and protein homeostasis. *Am. J. Appl. Physiol.*, (2001), **280**, E982-993.
  - 26) Esmarck, B., Anderson, J. L., Olsen, S., Richter, E. A., Mizuno, M., Kjaer, M. Timing of postexercise protein intake is important for muscle hypertrophy with resistance training in elderly humans. *J. Physiol.*, (2001), **535**, 301-311.
  - 27) Hamada, K., Hasunuma, K., Komatsu, S. Effect of amino acids and glucose on exercise-induced gut and skeletal muscle proteolysis in dogs. *Metabolism*, (1999), **48**, 161-166.
  - 28) Holm, L., Esmarck, B., Matsumoto, K., Doi, T., Mizuno, M., Hansen, H., Hölmich, P., Kjaer, M. Protein intake enhances skeletal muscle hypertrophy following resistance exercise training in knee patients. 9th Annual congress European College of Sport Science, France, (2004), 113.
  - 29) Okamura, K., Doi, T., Hamada, K., Sakurai, M., Matsumoto, K., Imaizumi, K., Yoshioka, Y., Shimizu, S., Suzuki, M. Effect of amino acid and glucose administration during postexercise recovery on protein kinetics in dogs. *Am. J. Physiol.*, (1997), **272**, E1023-E1030.
  - 30) Thomas, R. B. ストレングストレーニング&コンディショニング, 第1版, ブックハウス・エイチデイ, 東京, (1999), 474-475.
  - 31) 池上晴夫, 運動処方の実際, 初版, 大修館書店, 東京, (1987), 86.
  - 32) Doi, T., Matsuo, T., Sugawara, M., Matsumoto, K., Minehira, K., Hamada, K., Okamura, K., Suzuki, M. New approach for weight reduction by a combination of diet, light resistance exercise and the timing of ingesting a protein supplement. *Asia. Pacific. J. Clin. Nutr.*, (2001), **10**, 226-232.
  - 33) Levenhagen, D. K., Carr, C., Carlson, M. G., Maron, D. J., Borel, M. J., Flankoll, P. J. Postexercise protein intake enhances whole-body and leg protein accretion in humans. *Med. Sci. Sports. Exerc.*, (2002), **34**, 828-837.
  - 34) Holm, L., Esmarck, B., Suetta, C., Matsumoto, K., Doi, T., Mizuno, M., Miller, B. F., Kjaer, M. Postexercise nutrient intake enhances leg protein balance in early postmenopausal women. *J. Geront. Med. Sci.*, (2005), **60**, 1212-1218.
  - 35) Holm, L., Esmarck, B., Mizuno, M., Hansen, H., Suetta, C., Hölmich, P., Krogsgaard, M., Kjar, M. The effect of protein and carbohydrate supplementation on strength training outcome of rehabilitation in ACL patients. *J. Orthop. Res.*, (2006), **24**, 2114-2123.
  - 36) Franklin, B. A., Mackeen, P. C., Buskirk, E. R. Body Composition effects of a 12-week physical conditioning program for normal and obese middle-aged women, and status at 18-month follow-up. *Int. J. Obes.*, (1978), **2**, 394.
  - 37) 岡村浩嗣, サプリメントの現状, 日本臨床スポーツ医学会誌, (2004), **12**, 216-222.
  - 38) National Institute of Health. Clinical guidelines on the identification, evaluation, and treatment of overweight and obesity in adults : the evidence report. NIH Publication, (1998), **98**, 4083.
  - 39) Wing, R. R. Physical activity in the treatment of the adulthood overweight and obesity : current evidence and research issues. *Med. Sci. Sports. Exerc.*, (1999), **33**, S547-S552.
  - 40) 久野譜也, 石津政雄, 岡田守彦, 西嶋尚彦, 松田光生, 勝田 茂. 加齢にともなう筋萎縮における個人差と活動量との関係, 小野スポーツ科学, (1997), **5**, 47-55.
  - 41) Daniels, L., Worthingham, C. 徒手筋力検査法, 改定第5版, 協同医書出版社, 東京, (1999), 42.
  - 42) Nachemson, A. Electromyographic studies on the vertebral position of the psoas muscle. *Acta. Orthop. Scand.*, (1966), **37**, 177-190.
  - 43) Keagy, R. D., Brumlik, J., Bergan, J. L. Direct electromyography of the psoas major muscle in man. *J. Bone. Joint. Surg.*, (1966), **48**, 1377-1382.