

局所トレーニングは運動部位の皮下脂肪を減少させるか？

—片脚の有酸素性脚自転車トレーニングがトレーニング脚の 脂肪断面積および酸素利用能に及ぼす影響—

広島女子大学 三 浦 朗

(共同研究者) 広島工業大学 佐 藤 広 徳

広島女子大学 福 場 良 之

Does the Training of One-legged Low-intensity Cycling Decrease the Subcutaneous Adipose Tissue in the Thigh of Training-leg Alone ?

by

Akira Miura, Yoshiyuki Fukuba

Department of Exercise Science and Physiology

Hiroshima Women's University

Hironori Sato

Hiroshima Institute of Technology

ABSTRACT

It is well known that the regular aerobic exercise training has a certain effect to decrease the adipose tissue. However, it is difficult to evaluate the exercise training *per se* on the body compositional change due to the contamination effect derived from the change of other factors (e.g., the diet and seasonal change) during the training period in humans. Therefore, to assess the effect induced by the low-intensity exercise training *per se*, we employed one-legged training model using an alternative leg as a control, and measured the cross-sectional area of fat, muscle and bone in both thighs (50 % of the thigh distance) before and after the training. Eight young sedentary women (aged: 21-23 yr) were participated in the 12 weeks training

program. Each subject had the supervised 60-min one-legged cycle ergometer training three-times a week. The training or non-training leg (TL or NTL) was assigned randomly, and the exercise intensity was selected as 40 % of peak $\dot{V}O_2$ (i.e., below AT : anaerobic threshold) at the start of training. Before and after the training, the subjects performed one-legged (using TL or NTL) and two-legged incremental cycle exercise tests until exhaustion to determine the peak $\dot{V}O_2$. Each compositional area of both thighs were evaluated by our developmental ultrasound-measuring system. As a result, there was no essential difference of the fat area of both thighs at the end of training (TL : 68.6 ± 17.8 vs NTL : 68.3 ± 18.5 cm²). The remaining (muscles and fat) and the total areas also showed no differences between both thighs, as same as the body mass and LBM (lean body mass). Only significant improvement was noticed in the duration time on one-legged cycle incremental exercise after training (TL : 1049 ± 122 vs NTL : 930 ± 109 s, $p < 0.05$). The results show that low-intensity one-legged aerobic training can not induce any body compositional change in the trained thigh, while some peripheral factor may be improved the endurance rather than the O₂ transport.

要 旨

本研究では片脚の有酸素性自転車トレーニングによって、トレーニング脚 (TL) の大腿部皮下脂肪が選択的に減少するか否かを確かめた。

被検者は女子大学生 8 名 [年齢: 21.4 ± 0.7 歳, 身長: 157.0 ± 5.5 cm, 体重: 49.4 ± 6.2 kg, 体脂肪率: 23.2 ± 3.2 %, mean $\pm$ SD] であった。トレーニングは、アイソパワー自転車エルゴメータによる片脚のサイクリング運動であった。トレーニング以外の生活要因による影響を考慮して、非トレーニング脚 (NTL) を対照脚とすべく片脚トレーニングとした。トレーニング強度は 40 % peak $\dot{V}O_2$ の強度で 60 分間、週 3 回、12 週間に渡って行われた。トレーニング前後における両脚大腿部横断面の超音波映像を撮影し、脂肪、筋および骨それぞれの横断面積を算出した。なお、撮影部位は、大転子から脛骨転までの距離の 50 % の位置ではほぼ大腿部中央であった。また、トレーニング前後に両脚および左右片脚によるランブ負荷テストを行い、呼吸応答パラメータ ($\dot{V}O_2$, $\dot{V}CO_2$, $\dot{V}_E$) と運

動継続時間を記録した。

トレーニング前後における体重と体脂肪率に有意な変化は見られなかった [体重: 49.4 ± 6.2 vs 49.3 ± 5.8 , 体脂肪率: 23.2 ± 3.2 vs 22.7 ± 3.9 %, mean $\pm$ SD]。トレーニング前後および TL と NTL をそれぞれ 2 要因とした分散分析の結果、片脚ランブ負荷テストにおける TL の運動継続時間は、NTL より有意に延長した [TL: 1049 ± 122 , NTL: 930 ± 109 , sec. ; $p < 0.05$]。片脚トレーニングによって両脚大腿部の脂肪断面積が減る傾向にあったが、トレーニング後の TL と NTL に有意な差はみられなかった [TL: 68.6 ± 17.8 , NTL: 68.3 ± 18.5 cm²]。以上のことから、12 週間の低強度自転車・トレーニングによってトレーニング脚の皮下脂肪が選択的に減少しないことが確かめられた。

はじめに

食事のカロリー摂取制限や長期に渡って定期的に有酸素性トレーニングを行うと、体脂肪率が減少することは良く知られている^{1,9,15)}。この食事制限やトレーニングを行う場合、実施者にはそれ

それに最も皮下脂肪を減らしたい部位があることも事実である。体脂肪の分布に関しては、皮脂厚と総脂肪量の比率は遺伝的な影響が強い³⁾ という報告があるものの、脂肪細胞は、ホルモンに対する感受性に違いがあり^{2,4,14)}、その分布には性差や年齢差およびスポーツ種目特有の分布パターンがあることも知られている^{1,7,11)}。

体脂肪の分布に関するトレーニングの影響について、体内深部脂肪は有酸素的なトレーニングによって選択的に減少することが知られようになってきた（たとえばRossの総説¹⁶⁾を参照）。また、皮下脂肪の分布パターンについては、安部ら¹⁾は3ヶ月間の自転車トレーニング（週3～4回、強度50～60% HRmax, 時間30～60分）によって、皮下脂肪分布の変化を観察し、身体各部位の皮下脂肪減少率には差があることを報告している。また、田中ら¹⁹⁾は12週間に渡る60% $\dot{V}O_{2max}$ のウォーキングおよびサイクリング運動による、体幹部や腕部および大腿部皮下脂肪厚の選択的な減少を報告している。これらのことは、有酸素性トレーニングを行うと、皮下脂肪の減りやすい部位と減りにくい部位が存在する可能性を示唆するものである。

そこで本研究では、片脚の有酸素性自転車トレーニングを12週間行い、トレーニング脚（以下TL）の脂肪断面積が減少するか否かを確かめ、もし、減少したならば非トレーニング脚（以下NTL）との減少の度合いを比較し、活動的な部位が選択的に表在する脂肪細胞を減少させるか否かについて検討することを第1の目的とする。なお、トレーニング様式を片脚トレーニングとしたのは、トレーニング効果以外の生活要因による影響を考慮し、非トレーニング脚を対象脚とするためである。

自転車エルゴメータによるサイクリング運動中に発揮される脚筋力は、この強度が最大筋力を増大させる強度でないことは過去の研究が指摘する

ところである^{6,20)}。しかし、とくに運動歴もなく、規則的な運動習慣のない、成人女性において、週3回、1回60分の自転車トレーニングが、脚筋力に何らかの効果をもたらすか否かを今一度確かめることは意義深いことと考える。そこで、極めて実学的な観点から、有酸素性自転車トレーニングが、脚筋力および大腿部筋および骨断面積を増大させるか否かを、片脚自転車トレーニングモデルで確かめることを第2の目的とする。

さらに、この片脚トレーニングを生理学的な酸素摂取能力の規定要因に焦点を当てて見直してみると、酸素摂取能力の規定要因は筋、呼吸、循環機能の様々な要因が関与し^{10,17)}、本研究の片脚トレーニングモデルによる機能改善は、トレーニング脚のみに末梢の酸素利用能改善を期待できる運動様式であると予想される。このことに着目して、トレーニング脚と非トレーニング脚の作業能力を、自転車エルゴメータによるランプ負荷試験で比較し、末梢の改善による有酸素的作業能力への貢献度についても若干の考察を加える。

1. 方 法

1. 1 被検者

被検者は日常的に運動習慣のない健康な女子大学生8名（年齢: 21.4 ± 0.7 歳, 身長: 157.0 ± 5.5 cm, 体重: 49.4 ± 6.2 kg, 体脂肪率: 23.2 ± 3.2 %, mean $\pm$ SD）であった（表1）。被検者はあらかじめ実験の目的、内容およびリスクについて説明を受けた後に、実験を途中で辞退できることを理解の上、本実験に参加することに承諾し同意書に署名した。

1. 2 ランプ負荷運動テスト

各被検者は、アイソパワー自転車エルゴメーター（コンビ社製 RS232C-XL）を用い、両脚と片脚運動時（TLとNTL共に）のランプ負荷テストを行った。両脚のランプ負荷テストのプロトコールは、12W/分の漸増負荷により、4分間のウォーミ

ングアップ (20W) の後に実施され、終了後は4分間のクーリングダウン (20W) とした。片脚のランプ負荷テストのプロトコールは、5W/分の漸増負荷により、2分間のウォーミングアップ (10W) の後に実施され、終了後は、両脚で2分間のクーリングダウン (20W) とした。両ランプ負荷テストともに、ペダル回転数は55～65rpmとし、運動終了の判定は回転数が40rpmを下回った時点とした。運動テスト中は、breath-by-breathモードでガス交換諸量 ($\dot{V}O_2$, $\dot{V}CO_2$, $\dot{V}_E$) と運動継続時間および心拍数を、エアロモニタ (ミナト社製) によって測定した。この測定によって、 $ss\dot{V}O_2$ -WRの直線関係を示す回帰式を算出し、トレーニングで用いる運動の強度を決定した。なお、結果として得られたトレーニング前の各被検者の両脚の $\dot{V}O_{2max}$ とTLおよびNTLの $peak\dot{V}O_2$ の平均値はそれぞれ、両脚: 32.4 ± 5.0 , TL: 25.7 ± 3.3 , NTL: $25.3 \pm 3.3 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ であった。

1. 3 トレーニング

トレーニングの運動様式は、アイソパワー自転車エルゴメータによる片脚のサイクリング運動であった。なお、トレーニングする脚は、無作為に選択された。運動強度は、主として脂肪代謝が行われるであろう無酸素性作業閾値以下の運動強度⁵⁾、つまりトレーニング脚のランプ負荷テストで得られた $peak\dot{V}O_2$ の40%の負荷の強度で60分間一定負荷の運動を1セットとし、トレーニング時のエルゴメータの回転数は、55～65rpmとした。トレーニング頻度は、1日1セットで週3日、期間は12週間とした。実際の各被検者のトレーニング強度は、平均 $25.3 \pm 4.1\text{W}$ であった。運動中の心拍数は、12週間のトレーニング中、100拍/分前後であり、大きく変動する被検者がいなかったことから、強度は12週間のトレーニング期間中に途中変更させなかった。

1. 4 大腿部横断面積、下腿部筋厚の測定および形態計測

多用途超音波診断装置 (誠鋼社製) を用い¹⁸⁾、トレーニング前後における、両脚大腿部それぞれの大腿長の大転子点から遠位50%・30%の超音波横断面画像を撮影し、得られた映像から皮下脂肪および筋断面積を算出した。また、下腿部の膝関節点から遠位70%の全面および後面の筋厚をトレーニング前後で、両脚それぞれ、測定した。形態計測は身長、大転子高、膝関節高および踝高を測定した。また、全身の体脂肪率 (% Fat) はインピーダンス法による体脂肪計 (SEKISUI社製 Bio impedance ss-103) を用いて測定した。

1. 5 筋力測定

筋力測定は、多用途筋力測定器 (テイアック社製) を用い、等尺性膝関節伸展力を両脚それぞれについて測定した。測定時の被検者の姿勢は、椅座位とし、体幹部をベルトで固定した。膝関節の測定角度は90度とした (完全伸展位180度)。測定は各被検者とも左右それぞれについて2回行い、大きな方の値を随意性最大筋力とした。

1. 6 統計処理

統計処理として、各測定項目の平均値と標準偏差を求めた。トレーニング前後およびトレーニング脚、非トレーニング脚の分散分析は、Stat view (ver.4.5) により行った。5%水準で有意となった場合には、その後に、Fisherのpost-hoc-testを行い有意差を検定した。平均値の差は、paired t-testを行い、統計的有意水準を5%として比較した。

2. 結 果

2. 1 身体組成

各被検者のトレーニング前 (以下B) トレーニング後 (以下A) における、体重、体脂肪率、体脂肪量および除脂肪量の平均値とSDを表1に示した。いずれの項目においても、統計的に有意な差は見られなかった。

表1 片脚自転車トレーニング前後における被検者の身体的特性

n=8	height (cm)	weight (kg)		% Fat (%)		Fat (kg)		LBM (kg)	
		B	A	B	A	B	A	B	A
mean	157.0	49.4	49.3	23.2	22.7	11.5	10.7	37.9	38.6
SD	5.5	6.2	5.8	3.2	3.9	2.7	2.8	4.0	5.2

B : before training, A : after training

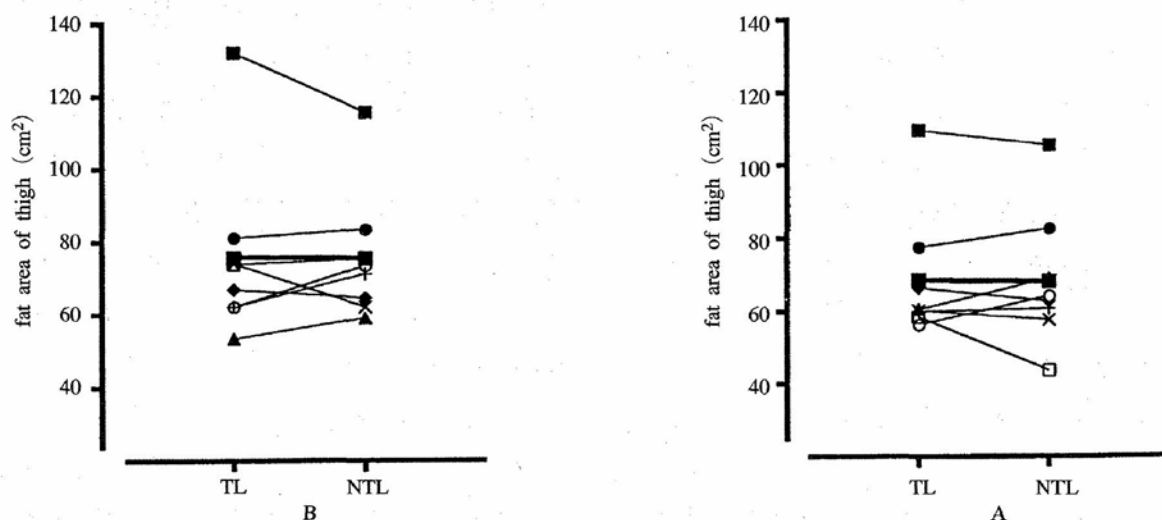


図1 片脚自転車トレーニング前後における大腿部脂肪断面積の変化
TL : training leg, NTL : non-training leg, B : before training, A : after training

2. 2 大腿部脂肪、筋および骨断面積と下腿部の筋厚

各被検者のトレーニング前後における、大腿部前断面積、皮下脂肪断面積、筋断面積および骨断面積の平均値とSDを表2に示した。大腿部脂肪断面積は、トレーニング後において、両脚ともに減る傾向（大腿50% TL : B ; 75.6 ± 24.3 , A ; 68.6 ± 17.8 [p=0.076], NTL : B ; 75.4 ± 18.0 , A ; 68.3 ± 18.5 cm²)が見られたものの、TLとNTLとの間に有意な差は見られなかった（図1）。このことにより、トレーニングによって、トレーニング脚の皮下脂肪が選択的に減少しないことが示唆された。同様に筋断面積は、TLとNTLの両方において有意な変化は見られず骨断面積も、トレーニング前後でほとんど同じ値を示し（表2）、本実験のトレーニング条件による筋や骨断面積へのトレーニング効果の可能性を否定した。

下腿部前面および後面の筋厚について、各被検者の平均値とSDをトレーニング前後について比

較したところ（表3）。トレーニング前後およびTLとNTLにおいて有意な差は見られなかった。

2. 3 等尺性膝関節伸展力

等尺性膝関節伸展力は、トレーニング前後において平均値に有意な変化はみられず、TLとNTLとの間にも差はみられなかった（表4）。

表4 片脚自転車トレーニング前後における等尺性膝関節伸展筋力 (kg)

n=8	TL		NTL	
	B	A	B	A
mean	35.7	37.9	35.8	36.9
SD	8.4	7.1	7.9	5.8

B : before training, A : after training
TL : training leg, NTL : non-training leg

2. 4 呼吸循環系能力

トレーニング前後におけるランブ負荷テスト時TLとNTLのpeak $\dot{V}O_2$ には有意な差が認められなかった（図2）。また、運動継続時間は、トレーニング前後においては、両脚、TLおよびNTLのランブ負荷テストも有意に増加していなかったが、

表2 片脚自転車トレーニング前後における大腿部の脂肪, 筋および骨断面積 (cm²)

Whole		TL			NTL			B	A
		B	A	A-B	B	A	A-B	TL-NTL	TL-NTL
50 %	mean	204.4	198.1	-6.3	199.3	193.9	-5.4	5.1	4.2
	SD	27.4	26.0	13.6	18.7	23.7	9.7	10.9	9.8
30 %	mean	157.3	150.1	-7.2	153.9	149.5	-4.4	5.9	0.7
	SD	18.0	22.0	11.0	17.5	23.9	11.1	9.7	4.9
Fat		TL			NTL			B	A
		B	A	A-B	B	A	A-B	TL-NTL	TL-NTL
50 %	mean	75.6	68.6	-7.0	75.4	68.3	-7.2	0.2	0.4
	SD	24.3	17.8	9.5	18.0	18.5	11.9	9.7	7.7
30 %	mean	48.0	44.0	-4.0	47.3	44.8	-2.5	3.2	-0.9
	SD	13.9	9.2	5.6	10.8	11.5	4.5	8.9	2.9
Muscle		TL			NTL			B	A
		B	A	A-B	B	A	A-B	TL-NTL	TL-NTL
50 %	mean	121.9	121.0	-0.9	117.2	117.3	0.1	4.8	3.7
	SD	10.9	14.9	8.0	11.7	13.9	9.1	7.4	7.2
30 %	mean	102.1	97.7	-4.3	99.6	97.3	-2.3	2.6	0.4
	SD	10.2	14.9	11.1	9.8	15.1	9.5	5.8	5.8
Bone		TL			NTL			B	A
		B	A	A-B	B	A	A-B	TL-NTL	TL-NTL
50 %	mean	8.5	8.5	0.0	8.4	8.4	0.0	0.1	0.1
	SD	1.2	1.1	0.3	1.2	1.2	0.3	0.4	0.4
30 %	mean	8.4	8.4	0.0	8.3	8.3	0.0	0.1	0.1
	SD	1.2	1.1	0.3	1.2	1.2	0.3	0.7	0.3

B : before training, A : after training

TL : training leg, NTL : non-training leg

50 and 30 % : 50 and 30 % of the thigh distance

表3 片脚自転車トレーニング前後における下腿部の筋厚 (cm)

		〈anterior crural〉				〈lateral crural〉			
		TL		NTL		TL		NTL	
n=8		B	A	B	A	B	A	B	A
mean		2.2	2.5	2.1	2.2	1.9	2.0	1.8	1.9
SD		0.3	0.3	0.3	0.3	0.1	0.1	0.2	0.1

B : before training, A : after training

TL : training leg, NTL : non-training leg

トレーニング後において, TLがNTLよりも有意に高い値を示した ($p<0.05$) (図3). さらに, 片脚のサイクリング運動における効率の変化を, $ss\dot{V}O_2$ -WR関係のグラフの傾きから検討してみた (図4). つまり, この $\dot{V}O_2$ /WRの逆数が効率に相当する. トレーニング前後においては, どのラング負荷テストの効率も有意に向上していなかったが, トレーニング後において, TLがNTLよりも効率が高い傾向にあった ($p=0.095$).

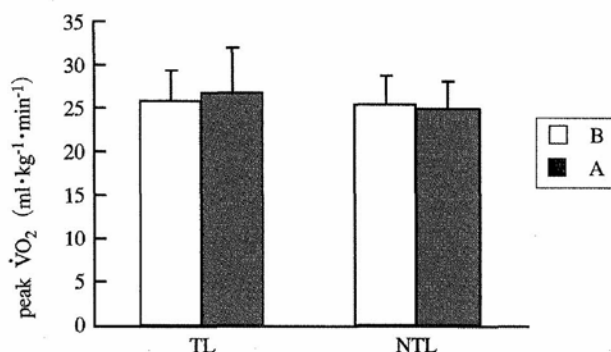


図2 片脚自転車トレーニング前後におけるラング負荷運動テスト時のpeak $\dot{V}O_2$

TL : training leg, NTL : non-training leg,
B : before training, A : after training

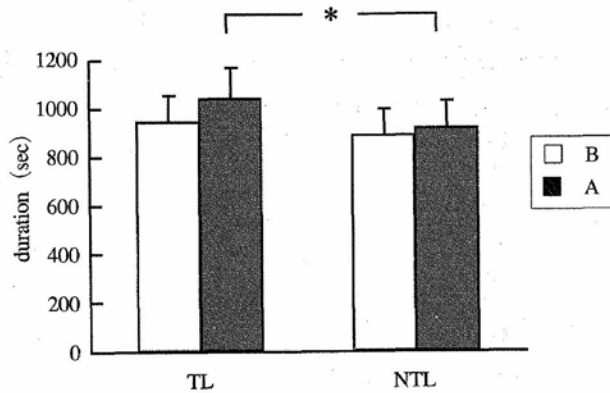


図3 片脚自転車トレーニング前後におけるランブ負荷運動テスト時の運動継続時間
* : $p < 0.05$

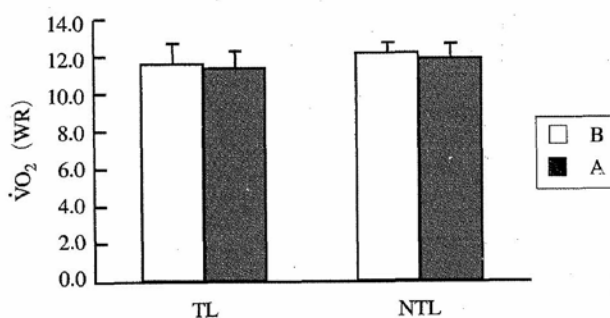


図4 片脚自転車トレーニング前後におけるランブ負荷運動テスト時の $\dot{V}O_2/WR$

3. 考 察

本研究の第1の目的は、片脚の有酸素性自転車トレーニングによってトレーニング脚の脂肪断面積が選択的に減少するか否かを確かめることであった。トレーニング後の大腿部脂肪断面積は、トレーニング前に比べてTLが9.2%，NTLが9.5%と両脚において減少傾向が見られたものの、トレーニング後のTLとNTLとの間に有意な差は見られなかった。このことにより、有酸素性トレーニングによって、トレーニング脚の皮下脂肪が選択的に減少しないことが確認された。この結果は、局所の筋運動によって、その部位の活動性を長期間に渡って高めたとしても、そこに表在する皮下脂肪が選択的に動員されることはないというこれまでの論述を支持するものである^{1,8,12)}。同時に、本研究の結果は、田中ら¹⁹⁾の12週間の60%

$\dot{V}O_{2max}$ のウォーキングおよびサイクリング運動による、体幹部や上腕部および大腿部皮下脂肪厚の選択的な減少についての報告や、安部¹⁾らの3ヶ月間の自転車エルゴメータを用いたトレーニング（週3～4回、強度50～60% HRmax、時間30～60分）によって、身体各部位の皮下脂肪減少率の差に関する報告は、運動部位の影響によってもたらされたものではないということも示唆する。ただし、片脚のトレーニングで、左右両脚ともに全脂肪断面積にして約10%の減少傾向が見られたことは実に興味深い結果である。

また、40% peak $\dot{V}O_2$ の強度で60分間の自転車サイクリング運動は、そのエネルギー供給を主として脂肪代謝に依存すると考えられるので⁵⁾、12週間に渡って有酸素性トレーニングすると体脂肪率が減少するのではないかと予想していたが、今回のトレーニング実験においてその傾向はみられなかった。このことは、片脚自転車トレーニングという運動様式で消費されるエネルギー量がさほど大きくないことにも起因していると考えられる（1回のトレーニングによる消費エネルギーは約150kcal）。また、本研究の被検者群は、トレーニング前において、% Fatが 23.2 ± 3.2 、BMIが 19.9 ± 1.3 %で標準的よりもむしろ痩せ気味な身体組成を有する集団であり、トレーニングによる体脂肪減少の効果が顕著に現れにくい集団であったこともうかがえる。Lamarcheら¹³⁾は、肥満女性（ 35.4 ± 5.1 歳）を対象とした集団であっても、最大酸素摂取量の55%で90分、週に4～5回トレーニングを実施させたが、6ヶ月後、体重、体脂肪量の全被検者の平均値では有意な変化はみられなかったと報告している。しかし、個人別に詳しくみると、体重増加群と体重減少群に分けられ、体重減少群では体脂肪が有意に減少し、同時に最大酸素摂取量の増大も伴っていたと報告している。このことは、生体に対して負担度が同じになるようにトレーニングを負荷したとしても、

その体脂肪の減り具合には個人差が存在することを意味する。我々の実験では8名の被検者中トレーニング前後で体脂肪率が低下したものが5名、ほとんど変わらなかったものが2名、増加したものが1名と、その反応はさまざまであり、個人差が存在することを印象づける結果であった。

自転車エルゴメータによるサイクリング運動中に発揮される脚筋力は、70 % $\dot{V}O_{2max}$ の作業強度で60回転の場合、随意性最大筋力のおおよそ13 %²⁰⁾と報告されており、この強度が筋力を増大させる条件を満たさないであろうことは過去の研究が示すところである⁷⁾。しかし、とくに運動歴もなく、規則的な運動習慣のない、セデンタリーな成人女性において、自転車によるトレーニングが、脚筋力に何らかの効果をもたらすか否かを片脚自転車トレーニングモデルで今一度確かめることは意義深いことと考え、検討を加えた。しかしながら、等尺性膝関節伸展力は、トレーニング後において平均値に有意な増加はみられず、トレーニング後のTLとNTLとの間にも差はみられなかった。同様に大腿部筋断面積も、TLとNTLの両方において有意な変化は見られなかった。さらに我々は、片脚サイクリング運動において、ペダル引き上げおよび踏み込みに動員されると考えられる下腿部の筋の肥大を検討するために、下腿部全面および厚面の筋厚について、トレーニング前後で比較したところトレーニング前後およびトレーニング後のTLとNTLにおいて有意な差は見られなかった。これらのことより、低強度の有酸素性自転車サイクリング運動では筋肥大を見込めないことが確認された。

トレーニング後の片脚ランプ負荷運動における $\text{peak}\dot{V}O_2$ に関してはTLとNTL間において有意な差はみられなかった。また、運動継続時間は、トレーニング前後においては、両脚、TLおよびNTLのランプ負荷テストも有意に増加していなかったが、トレーニング後において、TLがNTLよ

りも有意に($p<0.05$)延長した。この $\text{peak}\dot{V}O_2$ の延長を伴わない運動継続時間の増加には、ひとつの要因として、片脚のサイクリング運動における効率の向上が考えられることから、 $\text{ss}\dot{V}O_2$ -WR関係のグラフの傾きから検討してみたところ、トレーニング後において、TLがNTLよりも効率が高い傾向にあった。また、運動継続時間の延長というトレーニング効果の規定要因は筋、呼吸、循環機能の様々な要因が関係するが^{10,17)}、片脚トレーニングによる機能改善は、トレーニング脚のみに末梢の酸素利用能改善を期待できる運動様式である。そこで、この問題に関して、トレーニング後に次のような実験を追加した。すなわち、TLおよびNTLのそれぞれの脚において、ランプ負荷運動テストで得られた $\text{ss}\dot{V}O_2$ -WR関係から算出した50 % $\text{peak}\dot{V}O_2$ の一定負荷運動テストを、安静4分後に6分間課し、その後2分の回復というプロトコルで、その時の $\dot{V}O_2$ -kineticsを検討した。このテストはTLとNTLでそれぞれ2回繰り返して行った。ステップ運動時の $\dot{V}O_2$ 経時変化は、運動負荷がかかると次に到達すべき定常状態に向かって指数関数的に上昇することを仮定して、運動開始後20秒間(いわゆるPhase 1)を除いた上記2回のテストの経時変化データを次式にフィッティングし、それより求められたパラメータを酸素摂取能力改善の解析に用いた¹⁰⁾。

$$X(t) = \text{baseline}X + \text{gain}X (1 - \exp(-(t - T_d) / \tau))$$

$$X : \dot{V}O_2$$

ここで $\text{baseline}X$ とは運動開始前の安静定常レベル、 $\text{gain}X$ とは運動開始後 X が増加し始めて次の定常状態に至るまでの増加量、 τ とは X が $\text{gain}X$ の63 %に達するまでの時間、 T_d とは時間遅れを示す。解析処理には、解析ソフト：Sigma Plot ver 2.0 (Jandel Scientific) の非線形最小二乗法を用いた。

結果として、 $\dot{V}O_2$ の立ち上がりの速さを表す指標である τ はTLがNTLに比べて短縮していた

(TL: 22.8 ± 6.5 , NTL: 31.0 ± 9.0 , $p < 0.05$). これまでの研究において, 中強度 (AT) 以下の運動開始後の過渡応答期における酸素摂取動態には, 活動筋の酸素利用が酸素輸送系よりも強い制限因子となることがいわれており¹⁰⁾, 本研究の片脚トレーニングモデルによる, トレーニング脚の τ の短縮は, トレーニング脚の活動筋組織における酸素利用能の向上が起因しているものと考えられる. Rowell¹⁷⁾ は, 活動筋の酸素利用が向上し, 作業能力が向上しても, $\dot{V}O_{2max}$ が必ずしも増加しないことを指摘しており, いわゆる endurance の向上は, 酸素の肺胞への取り込みからミトコンドリアへの輸送能力の向上を伴わなくとも, 筋内における酸素利用の改善によって得られると述べている. これらのことから, 本研究の片脚トレーニングモデルは, 酸素輸送系の改善は見込めないレベルの強度であったが, 活動筋内の酸素利用能を向上させ, 運動継続時間の延長をもたらしたと考えることができよう. このように, ウェイトコントロールを目的とした有酸素性トレーニングには, 筋力の増強には効果を見込めないものの, 身体作業能力の増大に貢献する筋内の質的变化に対してもうひとつの恩恵があることも忘れてはならない事実である.

4. まとめ

本研究の第1の目的は, 片脚の有酸素性自転車トレーニングによってトレーニング脚の皮下脂肪断面積が選択的に減少するか否かを確かめることであった. トレーニング後の大腿部脂肪断面積は, トレーニング前に比べて両脚において減少傾向が見られたものの, トレーニング後のトレーニング脚と非トレーニング脚との間に有意な差は見られなかった. この結果により, 局所の筋運動によって, その部位の活動性を長期間に渡って高めたとしても, そこに表在する皮下脂肪が選択的に減少することはないということが明らかになった.

とくに運動歴もなく, 規則的な運動習慣のない, セデンタリーな成人女性において, 自転車による有酸素的トレーニングが, 脚筋力や大腿部の筋・骨断面積および下腿部の筋厚の増大に何らかの効果をもたらすか否かを, 片脚自転車サイクリング・モデルで今一度確かめることは意義深いことと考え検討を加えたが, 脚伸展力や大腿部筋断面積および下腿部筋厚の増加を見込めないものであることが確認された.

トレーニング後の片脚ランブ負荷運動において, トレーニング脚の運動継続時間が非トレーニング脚よりも有意に延長していた. また, ステップ負荷運動中の $\dot{V}O_2$ の立ち上がりの速さを表す指標である τ において, トレーニング脚が非トレーニング脚よりも有意に短縮していたことから, 活動筋内の酸素利用能を向上させ, 運動継続時間の延長をもたらしたと考えられた.

謝 辞

本研究を行うにあたって, 超音波画像処理に関しては, 広島工業大学の平本英幸氏に多大なるご協力をいただいた. また, 測定およびトレーニング期間を滞りなく終えられたのは, 広島女子大学の山本直美, 木野扶美子, 梶谷さおり諸氏の誠実なる助力のおかげである. ここに記して感謝の意を表します.

文 献

- 1) 安部孝, 福永哲夫; 日本人の体脂肪と筋肉分布, 杏林書院, 第1章 体型に影響する皮下脂肪分布, 1-29, 第5章 身体をデザインする, 85-86 (1995)
- 2) Bjorntorp, P.; The association between obesity, adipose tissue distribution and disease, *Acta. Med. Scand.*, suppl., 723, 121-134 (1988)
- 3) Bouchard, C., Perusse, L., Leblanc, C., Tremblay, A., Theriault, G.; Inheritance of the amount and distribution of human body fat, *Int. J. Obes.*, 12, 205-

- 215 (1988)
- 4) Despres, J.P., Moorjani, P.J. Lupien, tremblay, A., Nadeau, A., Bouchard, C. ; regional distribution of body fat, plasma lipoproteins, and cardiovascular disease, *Arteriosclerosis*, **10**, 497-511 (1990)
- 5) Fox, L. E. ; Sports physiology, 朝比奈一男, 渡辺和彦 訳, 大修館書店, 第1章 エネルギーこの必須なもの, 9-24, 第6章 ウエイトトレーニング—その実際と効果—, 123-157 (1982)
- 6) 金久博昭 ; Anaerobics のトレーニング, *Jap. J. Sports Sci.*, **13**, 575-595 (1994)
- 7) Fukunaga, T., Abe, T., Ishida, Y., Kondo, M. ; Subcutaneous fat and muscle distribution patterns in middle and old aged Japanese, *Jap. J. Therm. Biol.*, **18**, 303-306 (1993)
- 8) Katch, F. I., Clarkson, P. M., Kroll, W., T., McBride, T., Wilcox, A. ; Effects of sit up exercise training on adipose cell size and adiposity, *Res. Quart. Exerc. Sports*, **55**, 242-247 (1984)
- 9) 北川薫 ; 身体組成とウエイトコントロール—子どもからアスリートまで—, 杏林書院, 第5章 トレーニングと身体組成, 104-119 (1991)
- 10) 古賀俊策, 新関久一 ; 運動時の酸素摂取動態, 呼吸—運動に対する応答とトレーニング効果, 宮村実晴, 古賀俊策, 宮田好文編, NAP Limited , 122-137 (1998)
- 11) Kohrt, W. M., Malley, M. T., Dalsky, G. P., Holloszy, J. O. ; Body composition of healthy sedentary and trained, young and older men and women, *Med. Sci. Sports Exerc.*, **24**, 832-837 (1992)
- 12) Krotkiewski, M., Aniansson, A., Grimby, G., Bjorntorp, P., Sjostrom, L. ; The effect of unilateral isokinetic strength training on local adipose and muscle tissue morphology, thickness, and enzymes, *Eur. J. Appl. Physiol.*, **42**, 271-281 (1979)
- 13) Lamarche, B., Despres, J. P., Pouliot, M. C., Moorjani, S., Lupien, P. J., Theirtault, G., Tremblay, A., Nadeau, A., Bouchard, C. ; Is body fat loss a determinant factor in the improvement of carbohydrate and lipid metabolism following aerobic exercise training in obese women?, *Metabolism*, **41**, 1249-1256 (1992)
- 14) Rebuffe-Scrive, M., Anderson, L., Olbe, Bjorntorp, P. ; Metabolism of adipose tissue in intraabdominal depots in severely obese men and women, *Metabolism*, **39**, 1021-1025 (1990)
- 15) Ranallo, F. R., Rhodes E. C. ; Lipid metabolism during exercise, *Sports Med.*, **26** (1) , 29-42 (1998)
- 16) Ross, R. ; Effects of diet-and exercise-induced weight loss on visceral adipose tissue in men and women, *Sports Med.*, **24** (1) , 55-64 (1997)
- 17) Rowell, L. B. ; Human cardiovascular control, Limitations to oxygen uptake during dynamic exercise, Oxford university press, Oxford, 326-366 (1993)
- 18) 佐藤広徳, 福田修, 辻敏夫, 三浦朗, 久野譜也, 佐藤陽彦, 福場良之 ; 超音波体肢横断面画像撮影システムの開発, 人間工学, **34** (5) , 255-260 (1998)
- 19) 田中茂穂, 戸部秀之, 甲田道子 ; 体脂肪の分布に影響を与える要因, 特に有酸素運動と日常生活習慣について, 体力研究, **85**, 38-46 (1994)
- 20) Sjogaard, G. ; Force-velocity curve for bicycle work. In: Asmussen, E., Jorgensen, K. (Eds) Biomechanics VI-A, University park Press, Baltimore, 93-99 (1978)