

皮膚冷刺激下での低強度有酸素トレーニングが被験筋に及ぼす影響

The effect of short term low-intensity cycling exercise training with skin cold stimulation of the working leg component

内 藤 祐 子*, 熊 川 大 介**, 与 那 正 栄***
只 野 千 茅****, 松 本 高 明*, 室 増 男****Yuko NAITO*, Daisuke KUMAGAWA**, Masae YONA***
Chigaya TADANO****, Takaai MATSUMOTO* and Masuo MURO****

ABSTRACT

High intensity strength exercise has been regarded as optimal for muscle strength gain. However, high-intensity resistance training can increase the risk of injury, especially for frail and elderly-people. It is a fact that the stimulation of skin cold receptors in working muscles changes the pattern of motor unit recruitment during sub-maximal voluntary contraction. Our recent study showed that aerobic training with skin cold stimulation induced oxygen uptake and muscle strength, despite the lower level of exercise intensity. In this study, we investigated the effect of short-term low-intensity strength exercise training with skin cold stimulation in working leg muscle and fat size using the MRI technique and multi-impedance methods. Seven healthy subjects without experience of regular exercise training participated in this study. They were divided into two groups, which performed aerobic cycling exercise training with leg skin surface cooling, and the same training without cold stimulation as a control. The training period was 8 weeks long, including three 30-min sessions per week at an intensity of 80% AT with skin surface cooling. Body composition and leg muscle volume were measured by multi-impedance, and cross-sectional areas (CSA) of the thigh were measured by Magnetic Resonance Imaging (MRI). The percentage change of leg muscle volume using the multi-impedance method increased after exercise training with skin cooling stimulation but not in the control exercise ($p<0.05$). Conversely, there was no change in MRI-measured mid-thigh muscle and fat CSA in both groups. However, the percentage change of leg muscle volume was found to correlate with that of the mid-thigh quadriceps and hamstrings muscle CSA in the skin cooling group ($p<0.05$). The percentage change of MRI-measured mid-thigh fat CSA seemed to decrease after training in both groups, especially the skin cold stimulation group, although there was no significant statistical change. The results suggest that low-intensity cycling exercise training with skin surface cold-stimulation was effective in changing the working leg components, and would thus be a useful method for promoting neuromuscular functionality and muscle mass.

* 国士館大学体育学部 (Faculty of physical education, Kokushikan University)

** 国士館大学スポーツシステム研究科 (Graduate school of Sport System, Kokushikan University)

*** 東京薬科大学薬学部 (The school of Pharmacy, Tokyo University of Pharmacy and Life Sciences)

**** 東邦大学医学部 (Department of Exercise Physiology, School of Medicine, Toho University)

はじめに

日本は世界一の長寿国でありながら、要介護高齢者は年々増加し、メタボリックシンドロームやロコモティブシンドロームは社会問題になっている。こうした疾患予防のためには適度な運動が効果的である。肥満を予防し健康を維持するためにはウォーキングなどの有酸素運動が有効であり、高齢者の生活機能を低下させるロコモティブシンドロームには下肢の筋力を向上させるような筋力トレーニングが効果的である。従来型の筋力トレーニングは最大筋力 (maximal voluntary contraction: MVC) の60%以上の負荷が推奨されている³⁾。しかし、生活習慣病の改善が必要な中高年者や低体力者には従来型のトレーニングでは負担が大きく、トレーニングの継続が難しい^{2, 5)}。そこで、肉体的負担が少なく、しかも安全かつ効果的な運動トレーニング方法の開発が必要とされる。

低強度トレーニングとしては加圧トレーニングやスロートレーニングが注目されている^{1, 7, 8, 9, 10)}。例えば、加圧トレーニングはチューブを巻いて被験筋の血流を抑制することで組織酸素を低下させ低強度でも筋肥大の効果を増加することができる。Abeら¹⁾は若い男子を被験者に加圧下でウォーキングを実施すると大腿部の筋力が増強したと報告している。一方、このような血流の制限を伴うトレーニングは高血圧症や膝疾患を抱えている高齢者には安全面でのリスクを伴うためにその実施には十分な配慮が必要とされる。

先行研究によると、活動筋に皮膚冷刺激を加えると高い閾値張力の運動単位を選択的に動員することが知られている¹²⁾。この皮膚冷刺激を用いた低強度トレーニングは速筋運動単位を選択的に引き出すため筋活動が増加してトレーニング効果が現れやすい¹³⁾。我々は皮膚冷刺激を利用した短期間の低負荷有酸素トレーニングによって有酸素能力の改善傾向および筋力の増加が観察されたことを報告した⁴⁾。しかし、このトレーニングの被験

筋の組成変化に及ぼす影響を検討するには至らなかった。

そこで、本研究では、同様の条件下での自転車ペダリング運動を実施し、被験部位の脂肪および筋肉量に及ぼす影響をインピーダンス法ばかりでなくMRIからも明らかにすることを目的とした。

方法

実験の被験者は日頃から運動をしていない7名の健康な成人男女 (平均年齢: 40 ± 17 歳) とした。事前に問診を行い、生活習慣病の既往歴を持たないことを確認するとともに本研究の目的および測定に伴う危険性を説明し書面で実験参加の同意を得た。本研究は倫理面や個人情報への配慮を盛り込んだ実験計画書を作成し、国士舘大学体育学部研究倫理委員会の承認を受けた後、ヘルシンキ宣言に則って行った。

対象者はランダムにコントロール群と皮膚冷刺激群に分類し、週3日、80% ATの運動強度および60rpmの回転数で30分間の自転車ペダリング運動を実施した。期間は8週間とした。皮膚冷刺激群は5℃に設定したアイシングシステム (CF3000、日本シグマックス) のパッドを左右の大腿部に装着し、皮膚表面温度を25~27℃となるように調整して運動を実施した。コントロール群は皮膚冷刺激なしで同様のトレーニングを行った。

測定項目はトレーニング開始前の週およびトレーニング終了2日後に体重と身体組成を計測した。被験筋である大腿部の筋肉・脂肪量の測定はMRI診断装置 (ECLIPSE 1.5T System, Marconi社) を用いて、T1強調スピンエコー像を撮像して算出した (図1)。被験者は仰臥位膝伸展位とし、大腿骨の長軸方向に対して垂直に連続した1cm間隔 (スライス厚10mm、スライスギャップ0mm) を脛骨上端部より上前腸骨棘まで撮影した。大腿長の50%部位にあたる横断画像から骨を除き、屈曲筋群と伸展筋群を合わせて筋肉とし、その他を脂肪として分類した。得られた画像は画

像解析ソフト（Osiris）を用いて各組成の横断面積（Cross-Sectional Area：CSA）を算出した。

体重および身体組成の測定はIN BODYシステム（8点接触型電極インピーダンス法）を用いた。

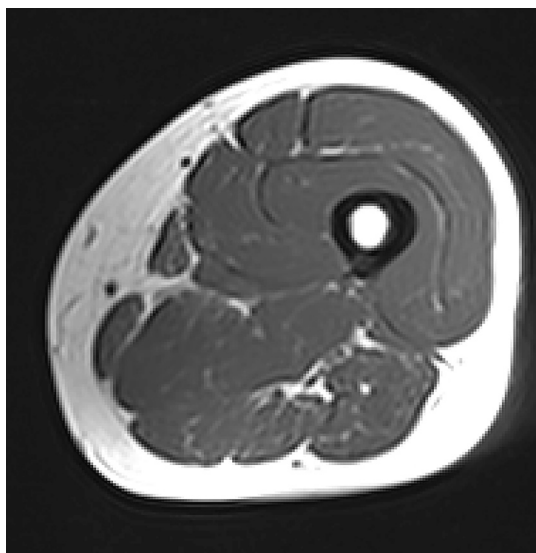


Figure1. Cross-sectional area (CSA) of the mid-thin was measured by magnetic resonance imaging scans

測定項目は体重、除脂肪体重、脂肪量、四肢の筋肉量、内臓脂肪／皮下脂肪比率であった。

得られたデータはすべて平均（±標準偏差）で示した。統計処理はt検定あるいはMann-Whitney U検定を用いた。さらに、IN BODY法による身体組成の変化率とMRI法による変化率との相関係数を算出した。いずれの分析においても有意水準は危険率5%未満とした。

結 果

トレーニング前の被験者の身体特性を表1に示した。身長、体重、BMI、最大酸素摂取量、体脂肪率には両群間に違いはなかった。

IN BODY装置で測定した体重ならびに身体組成の変化率を図2に示した。皮膚冷刺激下でのトレーニング群はコントロール群と比較して下肢の筋肉量が有意に増加した（ $p < 0.05$ ）。体重および全身の除脂肪体重量では両群ともに有意な変化は見られなかった。

Table1. Characteristics of subjects

	control	cold stimulation
Number (male/female)	3 (2/1)	4 (1/3)
Height, cm	171.0 (11.5)	170.0 (5.7)
Body mass, kg	63.0 (5.0)	60.6 (4.9)
BMI, kg/m ²	21.4 (2.1)	20.9 (1.0)
Body fat, %	18.7 (9.4)	25.4 (7.4)
VO _{2max} , ml/kg/min	36.2 (7.6)	34.5 (9.6)

Values are means (SDs).

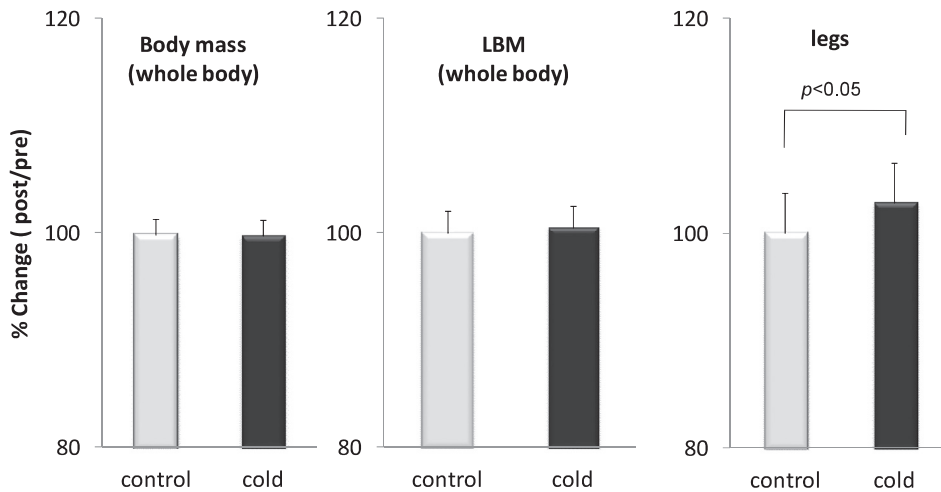


Figure2. Change of body composition assessed by bioelectrical impedance analysis (IN BODY) following cycling-training with and without cold stimulation

Table2. Effects of cycling-training with and without cold stimulation on mid-thigh muscle and fat CSA

	control		cold stimulation	
	pre	post	pre	post
muscle (cm ²)	135.6 (9.3)	134.7 (10.0)	111.0 (9.6)	112.1 (9.0)
fat (cm ²)	41.9 (8.4)	41.7 (8.9)	52.4 (5.6)	51.3 (6.6)
total (cm ²)	177.5 (5.9)	176.5 (9.5)	163.5 (4.5)	163.4 (4.1)

Values are means (SDs)

また、MRIによる大腿部50%でのCSAを表2に示した。筋肉および脂肪に関して両群ともにトレーニングによる変化は認められなかった。次に、各群のトレーニング後の筋肉と脂肪のCSAの変化率を求めてみたのが図3である。変化率においても両群ともに筋肉の有意な変化は見られなかった。しかし、皮膚冷刺激群の中にはトレーニング後に5～7%の筋肉CSAの増加が観察された被験者が4名中2名ほどいた。脂肪CSAは介

入後両群共にトレーニング前よりも減少していたが有意な変化ではなかった。コントロール群と比較して皮膚冷刺激群での脂肪減少率は大きく、両足の平均で8%の低下が観察されたが、統計学的には有意ではなかった。また、皮膚冷刺激群においてインピーダンス法とMRI法でそれぞれ得られたトレーニング後の筋肉の変化率に関して有意な相関関係を示した ($Y=87.5X+12.6$, $r^2=0.654$, $p<0.05$)。

考 察

本研究で得られた知見は①8週間にわたる皮膚冷刺激下での低強度自転車ペダリングトレーニングの実施で下肢筋肉量に有意な変化が見られた(図2)。②大腿部50%部位でのMRIの横断面積(CSA)から筋肉量および脂肪量を算出した結果、本トレーニング介入後の顕著な変化はみられなかった。③統計学的な有意差は得られなかったが、コントロール群と比較して皮膚冷刺激群では介入後に被験筋の脂肪減少率が大きかった(図3)。これらのことから、皮膚冷刺激下での自転車ペダリング運動は低強度で短期間にもかかわらず、形態の変化に関与する可能性が示唆された。

インピーダンス法で顕著な下肢筋量の増加が観察されたのに対して、MRIによる筋断面積では同様の結果が得られなかった。その理由のひとつ

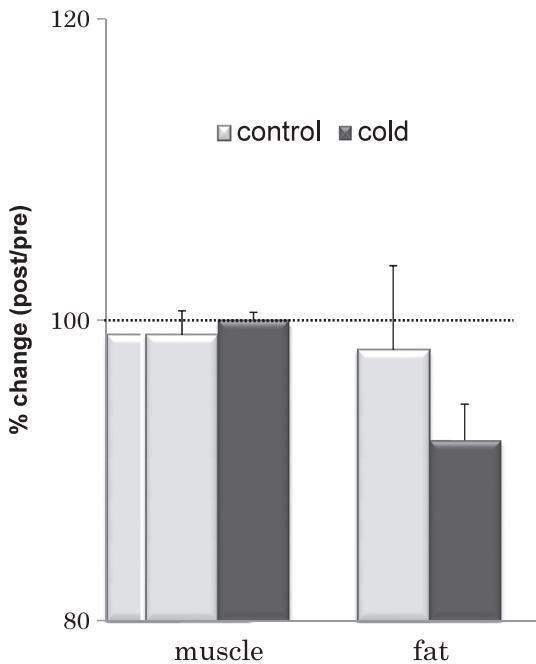


Figure3. Change of mid-thigh muscle and fat CSA following cycling-training with and without cold stimulation

に手法の違いが挙げられる。今回、MRI診断画像からは大腿骨長の50%部位のみの骨格筋量を算出した。本部位が骨格筋の筋肥大を観察する部位として最適か否かについては議論の余地がある。今後、各筋での筋肥大を算出して検討する必要があると考えている。手法の違い以外の理由として被験者数と被験者特性があげられる。被験者が少ないために統計学的な有意が得られなかったこと、さらに被験者は男女混合としたため筋量の違いが影響したと考えられる。また、運動習慣がなく筋力の低い人ほどトレーニング効果は早期に現れる。そのため8週間という短期間では被験者間でのばらつきが大きかったと考えられる。筋肥大を中心とした筋力向上を期待するには10週間以上のトレーニングが必要であるという報告¹¹⁾からもトレーニング期間の妥当性については検討すべきであろう。

その一方で、皮膚冷刺激群の中にはMRIからの筋量の増加が観察された被験者が半数いた。その上、インピーダンス法とMRI法で測定した筋量変化率の間には有意な相関関係が示された。このことは本トレーニングの実施で筋肥大が起こる可能性を肯定するものである。廃用性萎縮の筋肉では従来のリハビリに筋力トレーニングを加えると筋力および筋量の変化が実施開始5週目から観察されたという報告もある⁶⁾。したがって、8週間という短期間ではあるが皮膚冷刺激下での低強度トレーニングは被験筋の筋量に影響を及ぼすと考えられる。

さらに、短期間でも自転車ペダリングトレーニングの実施は被験筋の脂肪減少に効果をもたらした。特に皮膚冷刺激群でその傾向が強くみられた。本来、低強度トレーニングなのでエネルギー消費量は少ない。しかし、皮膚冷刺激下における低負荷有酸素トレーニングは選択的に高閾値張力の運動単位を動員するため、皮膚冷刺激を加えることで速筋線維をより多く動かす。その結果、エネルギー量も増加し、被験部位の脂肪量の減少に貢献したと考えられる。

本研究の結果から皮膚冷刺激が被験筋の筋量増加ならびに皮下脂肪量減少に効果をもたらす可能性が示唆された。しかし、被験者数も少なかったため、明確な結果は得るまでには至らなかった。今後は被験者数を増やし、トレーニング期間を長くすることで皮膚冷刺激の有用性を検証できると考えている。

稿を終わるにあたり、本研究にご協力いただいた東邦大学医学部の田島多恵子氏、下瀬良太氏、重田枝里子氏、ならびに厚医会の田名綱氏に深謝する。なお、本研究は国士舘大学体育学部体育研究所・平成21年度研究助成により行われた。

参考文献

- 1) Abe T, Charles F, Kearns FC, and Sato Y. Muscle size and strength are increased following walk training with restricted venous blood flow from the leg muscle. Kaatsu-walk training. *J Appl Physiol* **100** : 1460-1466, 2006.
- 2) Fleck SJ. Cardiovascular adaptations to resistance training. *Med Sci Sports Exerc* **20**:S146-S151, 1988
- 3) McDonagh MJN, and Davies CTM. Adaptive response of mammalian skeletal muscle to exercise with high loads. *Eur J Appl. Physiol* **52** : 139-155, 1984
- 4) Naito Y, Yona M, Tajima T, Shimose R, Seki H, Tadano C, and Muro M. The effect of low-intensity aerobic training with skin surface cooling in healthy sedentary subjects. 13th annual congress of ECSS (Estoril) book of abstract 379p, 2008
- 5) Pollock ML, Carroll JF, Graves JE, et al. Injuries and adherence to walk/jog and resistance training programs in the elderly. *Med Sci Spors Exer* **23** : 1194-1200, 1991
- 6) Suetta C, Aagaard P, Rosted A, et al. Training-induced changes in muscle CSA, muscle strength, EMG, and rate of force development in elderly subjects after long-term unilateral disuse. *J Appl Physiol* **97** : 1954-1961, 2004
- 7) Takarada Y, and Ishii N. Effects of low-intensity resistance exercise with short interest restperiod on muscular function in middle-aged women. *J Strengh Cond Res* **16** : 123-128, 2002
- 8) Takarada Y, Takazawa H, Sato Y, Takebayashi S, e al. Effects of resistance exercise combined with moderate vascular occlusion on muscular function in humans. *J Appl Physiol* **88** : 2097-2106, 2000
- 9) Tanimoto M, Sanada K, Yamamoto,K, et al. Effects of whole body low-intensity resistance training with slow movement and tonic force generation on muscular size and strength in young men. *J Strengh Cond Res* **22** : 1926-1938, 2008
- 10) TanimotoT, and Ishii N, Effects of low-intensity resistance exercise with slow movement and tonic force generation on muscular function in young men. *J Appl Physiol* **100** : 1150-1157, 2006
- 11) Wilmore J, and Costill DL. *Physiology of sport and exercise* 3rd Ed. Human kinetics publishing, 2004
- 12) Yona M, Effects of cold stimulation of human skin on motor unit activity. *Jpn J Physiol.* **47** : 341-348, 1997
- 13) 与那正栄, 上林清孝, 関博之, 内山靖, 室増男 : 高齢者に対する皮膚冷刺激をもちいた軽負荷筋力トレーニングの効果. *総合リハビリテーション* **33** : 361-366, 2005