

## 皮膚冷刺激が低負荷自転車運動中の筋酸素動態におよぼす影響

### The effects of skin cold stimulation in relation to low-intensity cycling exercise and intramuscular oxygen saturation

内藤 祐子\*, 松本 高明\*, 与那 正栄\*\*, 下瀬 良太\*\*\*  
関 博之\*\*\*, 只野 千茅\*\*\*, 室 増 男\*\*\*

Yuko NAITO\*, Takaaki MATSUMOTO\*, Masae YONA\*\*, Ryota SHIMOSE\*\*\*  
Hiroyuki SEKI\*\*\*, Chigaya TADANO\*\*\* and Masuo MURO\*\*\*

高齢化社会を迎え、いつまでの健康で充実した生活を送りたいと考えている高齢者は多い、特に、高齢になっても歩行能力を維持することは生活機能の維持につながり、QOLを高めると考えられる。そのためには歩行動作の制限につながるような筋肉の衰えを食い止めるための筋力トレーニングが効果的である。高齢者に対しての筋力改善のための一般的なトレーニングはマシンやフリーウェイトを用いて、1RMの60%以上の負荷で10回前後のセット数を2セット、週2～3回程度実施するように推奨されている。しかし、このような高強度な筋力トレーニングはリスクが高く、安全面での十分な配慮が必要となる。さらに、高齢者では変形性関節症などの疾患を抱えているケースも多く、通常のトレーニング理論に則った運動を実施するのは困難である。その点、軽い負荷での自転車運動は直接下肢に体重がかからないために、関節障害や筋力低下のみられる高齢者でも実施することが可能であり、下肢筋力の低下を抑えるだけでなく心肺機能の強化にも有効である。

先行研究によると、被験筋に皮膚冷刺激を与えながら筋力トレーニングを行うと最大筋力の35

～50%の低負荷強度でも筋力増加が得られることが報告されている。このことは被験部位に皮膚冷刺激を加えれば低負荷なトレーニングでもtype II線維萎縮の改善に効果的であることを示している。さらに、我々は皮膚冷刺激を用いた短期間の低負荷での有酸素トレーニングで被験部位の身体組成に変化があったことを報告している。そこで、本実験では同様の皮膚冷刺激を用いての低負荷による自転車運動を実施し、活動筋における血液酸素動態を検討したので報告する。

対象者は健康な成人男性17名で、予め、本実験の目的や安全性について十分な説明を行い、実験参加の同意を得た (Table1.)。事前に自転車エルゴメーターを用いた25watt/minのランプ負荷によるテストを実施し、最大酸素摂取量およびVTを求めた。本実験では被験者は安静5分後、80%ATの強度で合計15分間の自転車ペダリング運動を行った。回転数は60rpmとした。運動終了後5分間はそのままの姿勢で安静を保持した。運動中の皮膚冷刺激は5℃に設定したアイシングシステム (CF3000, 日本シグマックス) を左右の

\* 国士舘大学体育学部 (Faculty of Physical Education, 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 (Medical school, Toho University)

大腿部に装着して運動中の皮膚表面温度を25～26℃になるように調整した。同一被験者に対し、皮膚冷刺激なしの同様の運動をコントロール実験として実施した。運動前、運動中、運動後は連続して呼気ガス、心拍数を測定するとともに、右外側広筋のEMGを測定した。筋内酸素動態の測定はレーザー組織血液酸素モニター(BOM-L1TRW, OMEGAWAVE)を用いて、組織内酸素飽和度( $StO_2$ )を測定した。近赤を用いての測定では皮脂厚の影響を受けるとされているが、対象者に肥満者は含まれておらず、深層部分での筋内酸素動態を測定できているものと考えられる。

酸素摂取量および心拍数はコントロールおよび冷刺激条件ともに運動時に増加し、回復期で減少したが、皮膚冷刺激による影響はなかった。また、運動前と運動直後に血中乳酸濃度を測定したが、運動後の血中乳酸濃度は $2.2 \pm 0.5$  mmol/lと低く、両条件に有意な違いはなかった。一方、運動実施中の筋活動はコントロールと比較して皮膚冷刺激条件で有意に増加した ( $p < 0.001$ )。

自転車運動の主活動筋である外側広筋の組織内酸素飽和度 ( $StO_2, \%$ ) は運動前・運動中・運動終了後に分類して、各期での平均値を求めた。コ

ントロールおよび冷刺激条件ともに安静時と比較して運動中に活動筋内酸素飽和度は有意な低下が見られ、その減少量は冷刺激を加えた時に大きかった (Fig.1,  $p < 0.05$ )。運動後においても皮膚冷刺激群の方が酸素飽和度は低い傾向が観察されたが、有意な違いではなかった。

低負荷の自転車運動でも皮膚冷刺激を同時に加えることで活動筋の筋活動は有意に増加した。運動中の活動筋内酸素飽和度は皮膚冷刺激条件下で有意に低下し、回復期においても酸素飽和度の低下が観察された。活動筋の血液制限は最大随意筋収縮力 (MVC) の15～22%においても生じるが、

Table1. The physical characteristics of the subjects

Number	17
Age(yr)	$27.9 \pm 9.9$
Height(cm)	$173.5 \pm 7.1$
Body weight(kg)	$64.8 \pm 12.6$
BMI(kg/m <sup>2</sup> )	$21.3 \pm 2.8$
VO <sub>2max</sub> (ml/kg/min)	$52.7 \pm 8.0$
VO <sub>2VT</sub> (ml/kg/min)	$31.5 \pm 6.4$

Values are means  $\pm$  SD.

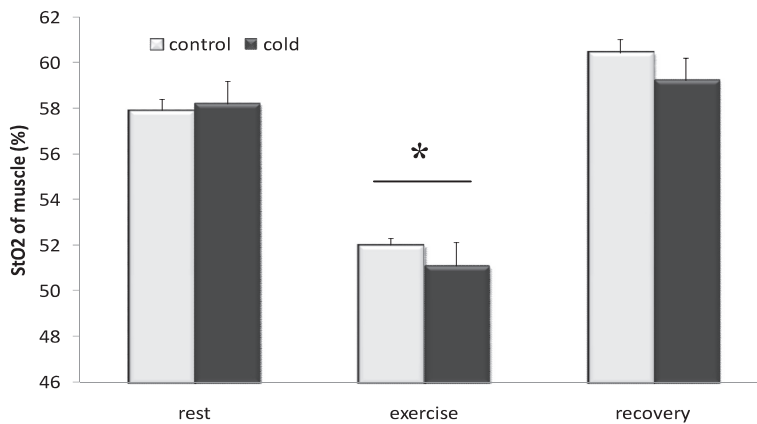


Figure1. Mean values of oxygen saturation ( $StO_2$ ) of the right VL muscle at rest, during cycling exercise at 80%AT, and the recovery with and without skin cold stimulation. Mean  $\pm$  SE are shown.

\*Significant differences ( $p < 0.05$ ) between groups. Compared with the resting level, the values for both groups of exercise showed significant changes ( $p < 0.05$ ).

本研究の自転車運動の強度は低く、筋内圧の上昇を惹起させずに運動は可能である。しかし、その自転車運動に冷刺激を加えると速筋線維の動員が選択的に増加する。そのため毛細血管から活動筋への酸素の抜き取りに変化が生じ、結果的に酸素飽和度の低下や運動終了後の筋再酸素化時間の延長が観察した可能性が考えられる。速筋繊維の動員の増加は筋収縮スピードの増加をもたらし、その結果、エネルギー消費量も大きくなると考えら

れる。一方、本研究では運動時の心拍数の顕著な増大は観察されていない。したがって、皮膚冷刺激下での低負荷自転車運動は全身の循環への負担が少なく、下肢筋量低下を予防できるため、高齢者向けのトレーニングとして応用できる可能性が高い。今後、さらに、全身の呼吸循環と筋内血液循環量に関して詳細な検討を行って行きたいと考えている。