

## 皮膚冷刺激が90%VT強度での定常負荷運動中における 活動筋内の酸素動態におよぼす影響について

### Effect of skin cooling on muscle oxygenation during cycling exercise at 90% ventilatory threshold

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

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

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。自転車運動は下肢に直接体重負荷がかからないため、関節障害や筋力低下の見られる高齢者の下肢筋力強化や肥満解消対策として有用な運動手法である。また、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。したがって、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低負荷強度でも筋力増加が得られると考えられる。本研究では90%VT強度の自転車運動を実施中に皮膚冷刺激を併用した場合の活動筋の血液酸素動態の変化を検討した。

対象は健康な成人男性4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 (Table 1)。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3分後、0Wで3分間のウォームアップに続いて90%VTの強度での6分間の自転車ペダリング運動を行った。回転

数は60RPMを目安とした。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) を左右の大腿部に装着して運動中の皮膚表面温度を26℃前後になるように調整した。同一被験者に対し、皮膚冷刺激なしでの同様の運動をコントロールとして実施した。この実験をランダムに3回ずつ同一被験者に対して繰り返して実施した。

運動前および運動中は連続して心拍数を測定した。同時に、右外側広筋のEMG測定と共に、レーザー組織血液酸素モニター (BOM-L1TRW, オメ

Table 1. The physical characteristics of the subjects

Number	4
Age(yr)	33.0 (9.2)
Height(m)	177.9 (5.5)
Body weight(kg)	74.0 (8.1)
VO <sub>2max</sub> (L/min)	4.1 (0.5)
Watt <sub>max</sub> (watts)	300 (49)
VO <sub>2VT</sub> (L/min)	1.6 (0.3)

Values are means (SD)

\* 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)

\*\*\* 新潟経営大学 (Niigata University of Management)

\*\*\*\* 東邦大学医学部 (Medical school, Toho University)

ガウエーブ)を用いて組織内酸素飽和度 (TOI)、組織総ヘモグロビン量 (Total Hb)、酸素化ヘモグロビン量 (oxy-Hb)、脱酸素化ヘモグロビン量 (deoxy-Hb) 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。

心拍数および酸素摂取量は皮膚冷刺激群とコントロール群は共に増加したが、皮膚冷刺激による影響はなかった (Table 2)。また、両群での運動終了直後の血中乳酸濃度は2.3mmol/l前後と有意な違いはなく、皮膚冷刺激による影響はなかった。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増加したが、今回は統計学的には有意な差ではなかった。

被験筋の酸素動態に関連した各パラメータのbaselineと運動中の平均値をTable 3.に示した。TOIとdeoxy-Hbは運動実施により皮膚冷刺激群とコントロール群共に有意な変化を示したが、皮膚冷刺激による影響はなかった。しかし、TOIの変化率を求めたところ皮膚冷刺激群とコントロール群間で有意な違いが認められた ( $p < 0.05$ )。さらに、活動筋内の脱酸素化動態については運動開始直後の筋内脱酸素動態の時間遅れ (time-delay ; TD) および脱酸素動態の応答速度を示す時定数 (time-constant ; TC) を求めて検討した (Table 4)。皮膚冷刺激群はコントロール群と比較していずれの値も減少する傾向が観察された。

90%VTの運動強度での自転車運動でも皮膚冷刺激を同時に加えることで筋活動は増加し、活動筋内酸素飽和度は有意に低下した。さらに、冷刺激群では活動筋の脱酸素化速度が亢進されることがわかった。これより、VT以下の定常負荷自転車運動でも皮膚冷刺激を同時に加えることで循環動態に影響を与えずに、より速筋運動単位を動員する高強度の運動を実施しているのと同様な効果が期待できることが示唆された。最近、血流量の変動が酸素動態の変動に影響を及ぼすとの報告が

あることから、今後は血流量による補正を行うとともに、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。

Table 2. Mean values of work rate, HR, blood lactate, and EMG activity during a constant cycling exercise at 90%VT with skin cooling

	Skin cooling	Control	p value	
Work rate (watts)	103.5 (8.7)	103.5 (8.7)	—	
Heart rate (BPM)	rest	70.0 (1.7)	68.9 (2.9)	0.755
	exercise	119.5 (2.9)	116.9 (2.5)	0.504
Blood lactate (mmol/L)	rest	1.3 (0.1)	1.4 (0.1)	0.777
	exercise	2.2 (0.2)	2.3 (0.2)	0.679
RMS-EMG	2.4 (0.1)	2.1 (0.1)	0.096	

Values are means (SD).

Table 3. Mean values of NIRS data during a constant cycling exercise at 90%VT with skin cooling

	Skin cooling		Control	
	baseline	exercise	baseline	exercise
TOI (%)	65.2 (3.2)	57.8 (4.5)*	64.2 (3.4)	58.4 (3.7)*
TotalHb ( $\times 10^6/\text{mm}^3$ )	3.4 (0.5)	3.6 (0.5)	3.5 (0.4)	3.7 (0.5)
Oxy Hb ( $\times 10^6/\text{mm}^3$ )	2.2 (0.2)	2.0 (0.1)	2.2 (0.2)	2.1 (0.2)
DeoxyHb ( $\times 10^6/\text{mm}^3$ )	1.2 (0.2)	1.6 (0.3)*	1.2 (0.2)	1.5 (0.3)*

TOI : tissue oxygenation index, totalHb : total-hemoglobin, oxyHb:oxy-hemoglobin, and deoxyHb:deoxy-hemoglobin.

Values are means (SD).

\*Significant difference from baseline ( $p < 0.05$ ).

Table 4. Mean values of parameter estimates for deoxy-Hb kinetics during a constant cycling exercise at 90%VT with skin cooling.

	Skin cooling	Control	P value
$\tau$ deoxy-Hb (s)	5.6 (1.9)	9.2 (5.7)	0.11
TD (s)	7.3 (2.2)	8.2 (1.1)	0.33
$\tau'$ deoxy-Hb (s)	18.6 (2.4)	20.7 (1.0)	0.03*

Values are means (SD).

$\tau$  deoxy-Hb :time constant for the exponential-like increase in the deoxy-Hb response, TD: time delay prior from the onset of exercise to a time corresponding to a sustained increase in deoxy-Hb,  $\tau'$  deoxy-Hb : effective time constant for the increase in the deoxy-Hb response. \*Significant difference between skin cooling and control.