

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年6月14日現在

機関番号：82632

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2011～2012

課題番号：23800076

研究課題名（和文） 運動時の筋内エネルギー変化が酸素摂取動態に及ぼす影響

研究課題名（英文） Effects of intramuscular energy change on the oxygen uptake kinetics during exercise

研究代表者

有光 琢磨 (ARIMITSU TAKUMA)

日本スポーツ振興センター国立スポーツ科学センター・スポーツ科学研究部・契約研究員

研究者番号：00616021

研究成果の概要（和文）：本研究の目的は、運動中の活動筋エネルギー代謝の変化が酸素摂取量に及ぼす影響を検討する事であった。その結果、運動中の活動筋内エネルギー出力は減少し、同時に、酸素摂取量と表面筋電図より導出した活動筋活動度は有意な増大を示した。予め筋内代謝状況を変化させた一定負荷運動中の活動筋内エネルギーは、高強度前運動を有さない一定負荷運動中と変わらない変化を示した。従って、高強度負荷運動中の筋内エネルギーの減少が、筋動員の増大と酸素摂取量の増大を引き起こす事が示唆された。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study was to reveal the effect of alteration in metabolism of active muscle energy on the oxygen uptake during exercise. As a result, the Gibbs free energy in active muscle during exercise decreased, at the same time, oxygen uptake and activity level of active muscle derived from the surface EMG revealed significant increase. Also, compare with controlled condition, prior severe exercise does not effects the intramuscular energy release, however, activity level of muscle activity significantly increased. Therefore, these results suggest that increase of oxygen uptake and muscle recruitment were induced by the metabolic effects of (decrease of) intramuscular energy in high intensity exercise.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2011年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2012年度	1,200,000	360,000	1,560,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,400,000	720,000	3,120,000

研究分野：スポーツ科学

科研費の分科・細目：健康・スポーツ科学、スポーツ科学

キーワード：酸素摂取量、<sup>31</sup>P-MRS、筋エネルギー代謝、表面筋電図、筋力

## 1. 研究開始当初の背景

換気性閾値 (VT) 以下での一定負荷運動に対する呼気ガス動態は、①急峻に増大する相 (phase I)、に続き、②指数関数的に増大する相 (phase II)、その後、③定常状態 (phase III) を示す。一方、VT 以上の場合、

phase IIIで定常状態に達することなく運動終了時まで漸増する事が知られている。この相は、VO<sub>2</sub> slow componentと定義され、多くの研究者によって“VO<sub>2</sub> slow componentは、なぜ引き起こされるのか”の検証がなされてきた。しかし、未だ詳細は明らかとなつ

ていない。

近年、肺と脚の VO<sub>2</sub> を同時に測定した研究において VO<sub>2</sub> slow component の～86%は、活動筋 (Exercising muscles) における VO<sub>2</sub> によって説明できると報告されている (Poole et al. 1991)。しかし、『活動筋への酸素供給の変化が原因なのか、活動筋内の酸素利用の変化や代謝性阻害などが原因なのか』が明らかでない。近赤外線分光法 (NIRS) を用いて運動時の非活動筋への酸素供給と全身への酸素供給の変化を検討した本研究代表者は、運動時の非活動筋への変化から推定した活動筋への酸素供給の増大と VO<sub>2</sub> slow component 間に有意な関係性が見られないことを報告し活動筋への酸素供給の増大というよりは活動筋内の影響 (末梢内因子) が VO<sub>2</sub> slow component に影響を与えることを示唆した (Arimitsu et al. 2010, 2011)。しかしながら、活動筋内の影響 (エネルギー代謝効率の変化 or 機械的効率の変化) までは明らかにしていない。<sup>31</sup>P-MRS を用いた動物実験では、運動時に動員される筋線維タイプによってエネルギー効率が異なることが報告されている。これは、運動中に出力されるエネルギーが変化している可能性を示唆する。

## 2. 研究の目的

本研究は、活動筋内のエネルギー変化に着目して実験を遂行する。本研究の目的は、運動時に生じるエネルギー出力の変化 (出力エネルギーから仕事量への変換時の変化) と VO<sub>2</sub> 動態の関係を明らかにすることである。

## 3. 研究の方法

本研究の目的を達成するために、以下の3つの実験を実施した。

### (1) 漸増負荷運動中の活動筋内エネルギー代謝の変化が運動時の酸素摂取量に及ぼす影響

被験者は健康な成人男性 10 名であり、3 分間の安静の後、1 分間に 1 kg ずつ負荷を漸増させる動的漸増負荷膝伸展運動を 50 回/分を持続できなくなるまで行った。漸増負荷運動は、磁気共鳴装置 (MRI) 内外で実施した。各被験者の最大酸素摂取量、運動持続時間、筋内クレアチンリン酸 (PCr) 濃度、無機リン酸 (Pi) 濃度、pH を測定した。また、筋内代謝産物濃度を利用して自由エネルギーを算出した。運動時の活動筋活動度は、表面筋電図 (SEMG) を用いて大腿四頭筋より記録し、運動 1 分毎の直前 5 秒間を分析に用いた。なお、SEMG 活動は、該当する区間の平均周波数

(MPF) および積分筋電値 (iEMG) を評価指標とした。

### (2) 高強度一定負荷運動中の活動筋内エネルギー代謝の変化が酸素摂取量に及ぼす影響

被験者は健康な成人男性 10 名であり、3 分間の安静の後、6 分間の一定負荷膝伸展運動を行った。一定負荷運動時の運動強度は、漸増負荷運動の最大負荷強度の約 60%とした。一定負荷運動は、磁気共鳴装置 (MRI) 内外で実施した。各被験者の酸素摂取量、筋内クレアチンリン酸 (PCr) 濃度、無機リン酸 (Pi) 濃度、pH を測定した。また、筋内代謝産物濃度を利用して自由エネルギーを算出した。運動時の活動筋活動度は、表面筋電図 (SEMG) を用いて大腿四頭筋より記録し、各 1 分毎の直前 5 秒間を分析に用いた。なお、SEMG 活動は、該当する区間の平均周波数 (MPF) および積分筋電値 (iEMG) を評価指標とした。

### (3) 激強度前運動がそれに続く一定負荷運動中の活動筋内エネルギー代謝および酸素摂取量に及ぼす影響

被験者は健康な成人男性 6 名であり、3 分間の安静の後、1 分間の激強度の一定負荷運動を行い、6 分間の安静後、6 分間の一定負荷膝伸展運動を行った。激強度の運動強度は、漸増負荷運動の最大強度の 2 倍 (200%) とし、一定負荷運動時の運動強度は、漸増負荷運動の最大負荷強度の約 60%とした。安静、前運動を含めた一定負荷運動は、磁気共鳴装置 (MRI) 内外で実施した。各被験者の酸素摂取量、筋内クレアチンリン酸 (PCr) 濃度、無機リン酸 (Pi) 濃度、pH を測定した。また、筋内代謝産物濃度を利用して自由エネルギーを算出した。運動時の活動筋活動度は表面筋電図 (SEMG) を用いて大腿四頭筋より記録し、1 分毎の直前 5 秒間を分析に用いた。なお、SEMG 活動は、該当する区間の平均周波数 (MPF) および積分筋電値 (iEMG) を評価指標とした。

## 4. 研究成果

本研究では、以下の成果が得られた。

### (1) 漸増負荷運動中の活動筋内エネルギー代謝の変化が運動時の酸素摂取量に及ぼす影響

疲労困憊時の PCr は、ほぼ枯渇していた。酸素摂取量は、運動強度の増大に伴い線形的に増大していた。SEMG より導出した筋動員を

反映する iEMG は、運動開始時と比べて有意に増大していたが、筋線維タイプを反映する MPF は有意に減少していた。<sup>31</sup>P-MRS から算出した活動筋内の自由エネルギーは、安静時と比べて疲労困憊時において有意に減少していた ( $p < 0.05$ )。

#### (2) 高強度一定負荷運動中の活動筋内エネルギー代謝の変化が酸素摂取量に及ぼす影響

一定負荷運動 6 分目における活動筋内の自由エネルギー量は、安静時と比べて減少していた。また、一定負荷運動時の酸素摂取量を指数関数式でフィッティングすると  $\dot{V}O_2$  slow component が観られた。運動時の活動筋内エネルギー量と  $\dot{V}O_2$  slow component 間をプロットすると、両者間には相関関係が観られた (図 1)。運動時の iEMG は、安静時と比較して運動終了時は有意な増大を示した。しかし、MPF は、安静時と比べて減少していた。

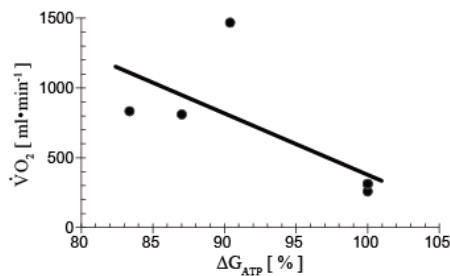


図 1 一定負荷運動時の酸素摂取量と活動筋内エネルギー量の関係

#### (3) 激強度前運動がそれに続く一定負荷運動中の活動筋内エネルギー代謝および酸素摂取量に及ぼす影響

激運動後の自由エネルギー量は、安静時と比べて減少していた。その後、6 分間の休息を経ても安静時まで完全に回復していなかった。また、一定負荷運動 6 分目の自由エネルギー量は、安静時と比べて減少していた。一定負荷運動時の酸素摂取量を指数関数式でフィッティングすると  $\dot{V}O_2$  slow component が観られた。運動時の iEMG は、安静時と比較して運動終了時は有意な増大を示したが、MPF は、安静時と比べて減少していた。

#### (4) 激運動の有無が活動筋内エネルギー代謝と酸素摂取量に及ぼす影響

上述の (2) および (3) において、激運動を伴う高強度一定負荷運動 6 分目の活動筋内自由エネルギー量の変化は、安静時と比べて減少していたが、運動開始直前と比べると減少量が小さかった。また、激強度を伴わない一定負荷運動と比べると、 $\dot{V}O_2$  slow component の振幅や iEMG の増大は抑制され、MPF はコントロールと比べて定値を示した。

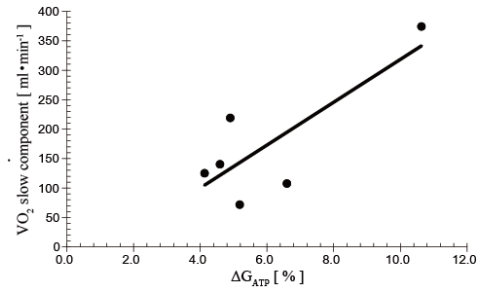


図 2  $\dot{V}O_2$  slow component の振幅と活動筋内エネルギー量の変化の関係

本研究の成果をまとめると、活動筋内のエネルギー出力量は、運動強度の増大に伴い減少する事が明らかとなった。表面筋電図から導出した運動時の大腿四頭筋活動度 (筋動員) は、運動強度の増大と比例して増大していた。つまり、運動中における発揮張力を維持させるためには、筋線維および運動単位の動員増大が生じていることが推察される。言い換えるならば、エネルギー放出量の減少を補うように筋動員の増大が生じていることが示唆される。

運動中の MPF の結果は、減少していた。自転車運動時の SEMG の結果を報告した先行研究では、高強度負荷運動の持続に伴い MPF は増大する (type II 線維の増大) ことを示している。本研究は、自転車運動とは異なり膝伸展運動であったことから、異なる結果が観られたのかもしれない。

予め前運動を行わせることで活動筋内エネルギー状況を変化させた実験において、前運動に続く一定負荷運動時の type II 線維の動員が減少している。それに対して、iEMG は増大していた。これは、活動筋内のエネルギー出力量が異なるため、それを補う反応が引き起こされていたことを示す。事実、活動筋内のエネルギー量の変化は、前運動の有無によって違う動態を示した。また、Glancy et al. (2008) や Bowen et al. (2011) は、運動時の自由エネルギーが変化することで  $\dot{V}O_2$  slow component が誘発されるのではと考察している。

以上のことから、活動筋内の自由エネルギー

一の減少は、運動中の筋動員の変化によって補われ、それに伴い酸素摂取量や  $\text{VO}_2$  slow component は増大する可能性が示唆される。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 0 件)

[学会発表] (計 0 件)

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

有光 琢磨 (ARIMITSU TAKUMA)

日本スポーツ振興センター国立スポーツ科学センター・スポーツ科学研究部・契約  
研究員

研究者番号：00616021