

活動筋の酸素供給と消費の過渡応答を 非侵襲計測するシステムの開発

神戸芸術工科大学大学院 古賀 俊策
(共同研究者) 神戸大学 近藤 徳彦
県立広島大学 福場 良之
熊本県立大学 福岡 義之
山形大学 斉藤 直

Non-invasive Measurement System for Transient Responses of Oxygen Delivery and Consumption of Active Muscles

by

Shunsaku Koga

Graduate School of Kobe Design University

Narihiko Kondo

School of Human Development, University of Kobe

Yoshiyuki Fukuba

Faculty of Human Culture and Science,

Prefectural University of Hiroshima

Yoshiyuki Fukuoka

Faculty of Environmental and Symbiotic Sciences,

Prefectural University of Kumamoto

Tadashi Saitoh

Faculty of Engineering, Yamagata University

ABSTRACT

We developed a non-invasive measurement system for transient responses of oxygen delivery (\dot{Q}) and consumption ($\dot{V}O_2$) of active muscles. Further, effect of prior heavy

exercise on spatial heterogeneity of muscle deoxygenation kinetics during subsequent heavy exercise was examined. Eight healthy men completed two 6-min bouts of cycling exercise at 80% of peak pulmonary $\dot{V}O_2$, separated by 6 min of unloaded exercise. Pulmonary $\dot{V}O_2$ was measured breath-by-breath, and the absolute concentration of deoxy-hemoglobin/myoglobin (HHb) were assessed simultaneously at 4 different sites on the quadriceps muscle using multi-channel time-resolved near-infrared spectroscopy. Prior exercise had no effect on the time constant of the phase II pulmonary $\dot{V}O_2$, but reduced the slow component of the bout 2. The amplitude of HHb was significantly larger at distal vastus lateralis muscle compared with other sites of the quadriceps. However, the kinetics of HHb was not different for all sites. Microvascular \dot{Q} estimated from $\dot{V}O_2$ and HHb was significantly higher in bout 2 compared with bout 1. In conclusion, it is suggested that muscle oxygen deliver for both bulk- and peripheral vascular sites are not limiting factor for muscle $\dot{V}O_2$ kinetics at the onset of heavy exercise.

要 旨

運動開始時における酸素摂取動態のメカニズムが検討するために、活動筋の酸素供給と消費の過渡応答を非侵襲的に計測するシステムを開発し、高強度運動中の活動筋における酸素消費動態の規定要因を考察した。活動筋における酸素消費量 ($\dot{V}O_2$) と微小循環の動静脈酸素量差の動態計測から、毛細血管レベルの血流量 (\dot{Q}) を推定した。運動の開始直後から微小循環の \dot{Q} は増加したが、その応答時定数は第1運動よりも第2運動において有意に速くなった。外側広筋・大腿直筋の4部位における脱酸素化Hb+Mb (HHb) 絶対値を測定した結果、遠位側の外側広筋HHbの増加は他の部位のそれよりも大きくなった。また、第2運動開始前のHHbは第1運動前のそれに比べて、より減少した。結論として、活動筋全体に酸素を供給する血管、および末梢血管のレベルでは、運動開始時における $\dot{V}O_2$ の応答動態は酸素供給の制限を受けないと示唆された。

緒 言

日常の身体活動では、活動の強度やパターンが時間と共に変化する非定常的な場合も数多く見られる(例、陸上競技場面でのスタート、球技、駅の階段の駆け上り)。運動の強度が急に変化した場合に有酸素性エネルギーの発動が遅れると、酸素が不足して運動を長時間続けることが困難になる。そこで、非定常状態、とくに運動開始時における酸素摂取動態のメカニズムが検討されている。健康者が運動を開始する時、活動筋全体に流入する動脈血流量 (\dot{Q}) は酸素消費量 ($\dot{V}O_2$) よりも速く増加するので、 $\dot{V}O_2$ のダイナミクスを規定する要因は活動筋内部の血流分布、ないしは酸素利用であると推測される¹⁾。また、繰り返し高強度運動を用いたウォームアップ運動の効果については、1回目の運動時と比較して、2回目の運動開始時では活動筋の酸素不足が減少する²⁾。したがって、運動開始時における $\dot{V}O_2$ 動態の規定要因の一つに微小循環レベルの $\dot{V}O_2$ と \dot{Q} のバランス(マッチング)が挙げられている³⁾。