

機関番号：33921

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2009～2010

課題番号：21800074

研究課題名（和文） 運動開始直後の換気急増の生理学的役割の解明

研究課題名（英文） The physiological implication of ventilatory response at the onset of exercise

研究代表者

堀田 典生 (HOTTA NORIO)

愛知淑徳大学・健康医療科学部・助教

研究者番号：60548577

研究成果の概要（和文）：

生体には、活動する筋の酸素要求に応じて呼吸を調節する機能がある。しかし、運動開始直後の20秒間程度では、活動筋の酸素消費はまだ少ないにも関わらず換気量は急増する。その生理学的な意味を検討した。運動開始直後の20秒間の呼吸を増加させると口腔レベルで測定する酸素摂取量の立ち上がりの速度が速くなった。一方、運動開始直後の20秒間の呼吸を減らすと酸素摂取量の立ち上がりの速度が遅くなった。運動開始直後の換気急増は酸素摂取応答を早めようとする生理学的な意味をもつ可能性が考えられた。

研究成果の概要（英文）：

In the living body, the regulation of breathing functions in accordance with the metabolic demand of active muscles. However, the ventilatory response at the onset of exercise rapidly increases even when there are still few demands for oxygen in the active muscle. In this study, we examined the physiological implications of this. The response speed of oxygen uptake was faster when we increased 20-second breathing immediately after the start of exercise. On the other hand, the oxygen uptake response speed slowed when we reduced 20-second breathing just after the start of exercise. These results suggest that the initial rapid increase of breathing at the onset of exercise has physiological implications that hasten oxygen uptake in response to exercise.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	730,000	219,000	949,000
2010年度	310,000	93,000	403,000
年度			
年度			
年度			
総計	1,040,000	312,000	1,352,000

研究分野：運動生理学

科研費の分科・細目：スポーツ科学

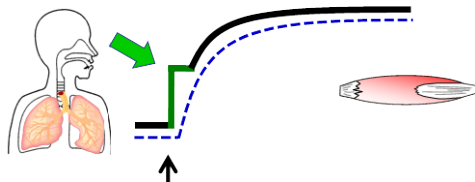
キーワード：運動生理学, 運動開始, 酸素摂取量, 酸素摂取動態, 換気亢進, Phase I

1. 研究開始当初の背景

酸素を活動筋の代謝要求に応じて生体に取り込むためには、換気量を平行に増加させる必要がある。実際、生体には筋の代謝

要求に応じて換気量を調節する機能がある。しかし、興味深いことに、矩形波状負荷の運動開始直後の20秒間程度(Phase I)にはそれがあてはまらず、筋における酸素消費(代

謝応答)は穏やかにしか上昇していかないのに対して、換気量は急増する(下図)。これは一見すると無駄な換気ドライブにみえるが、Phase I の換気急増は、酸素摂取の応答を可能な限り早めたいという生理的反応の現れと捉えることができる。しかし、Phase I の換気急増が、どの程度酸素摂取の立ち上がりの速さに貢献しているのかは分かっていない。



(V_E :換気量, $\dot{V}O_2$:酸素摂取量, 緑の矢印がPhase I の換気応答)

2. 研究の目的

Phase I の換気急増が酸素摂取動態に及ぼす影響を検討すること。

3. 研究の方法

(1) 実験 1 の被験者は 7 名であった。まず運動開始直後のペダル回転数が Phase I 換気応答に及ぼす影響を検討し、さらに酸素摂取動態に及ぼす影響を検討した。

運動は 5 分間の矩形波状負荷による自転車運動だった。乳酸が蓄積しないような軽-中程度の運動強度で行った。ペダル回転数の基準を 60 回転/分 (rpm) とし、運動開始直後 20 秒間のみ、①60rpm(Control), ②90rpm, ③30rpm の 3 種類の試行を設けて変化させた。尚、仕事率はどの種類も同じに設定した。

(2) 実験 2 の被験者は 8 名であった。運動開始直後 15 秒間だけ強制的に呼吸を強く(深く)速くするように指示した。ペダル回転数は常に 60rpm で、運動強度や様式は実験 1 と同じであった。

(3) 実験 1, 2 共に主となる測定項目は、換気量と酸素摂取量であった。下の写真のように呼吸マスクに差圧式流量計と呼気ガス分析装置からのサンプリングチューブをつけて口腔レベルにて測定した。

呼吸に伴う変動ノイズを小さくするために、各試行をそれぞれ 5 回程度繰り返し、加算平均した。

(4) 値はすべて平均値±標準偏差で示した。実験 1 については、繰り返しのある 1 要因の分散分析を行い、多重比較は Scheffe 法を用いた。

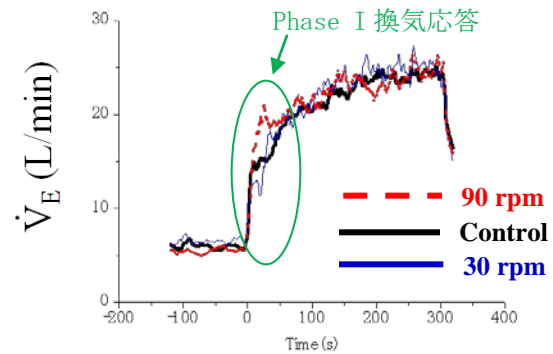
実験 2 では、対応ある t 検定を用いて検討した。危険率 5%未満をもって有意差ありとした。



4. 研究成果

(1) 実験 1

①Phase I 換気応答は、運動開始直後のペダル回転数を基準 (60rpm) よりも下げる (30rpm) と減り、上げる (90rpm) と有意に増えることが分かった。以下の図は、1 例の換気応答を示している。



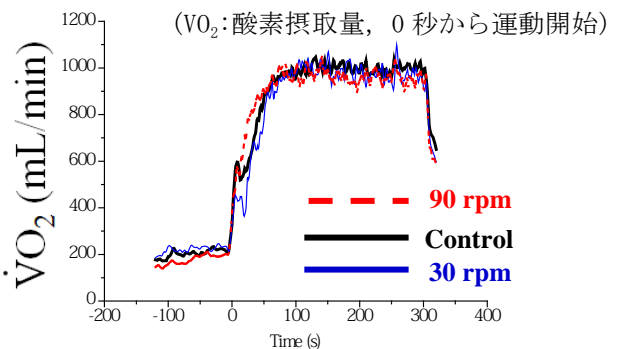
(V_E :換気量, 0 秒から運動開始)

	Control trial	30 rpm trial	90rpm trial
Phase I V_E ($\Delta L/min$)	9.8 ± 3.3	7.3 ± 2.7 *	12.6 ± 4.7 *

(V_E :換気量, *:Control に対して有意差あり)

②続いて、この Phase I 換気応答の変化が酸素摂取動態に及ぼす影響を検討した。以下の図は、1 例の酸素摂取動態を示している。

Phase I 換気量が多いと酸素摂取応答は速まり、Phase I 換気量が少ないと酸素摂取応答は遅くなるように見えた。



($\dot{V}O_2$:酸素摂取量, 0 秒から運動開始)

そして、1 次の指数関数にフィットさせて、定量化してみたところ、酸素摂取応答の速度を示す時定数(τ)には有意な差は認められなかったが、時定数(τ)と酸素摂取量が増加し始めるまでの遅れ時間(TD)の和である平均応答時間(MRT)は、90rpm 試行(Phase I 換気応答が通常より大きい)で有意に速くなった。一方、30rpm 試行(Phase I 換気応答が通常より小さい)では、有意に遅くなった。

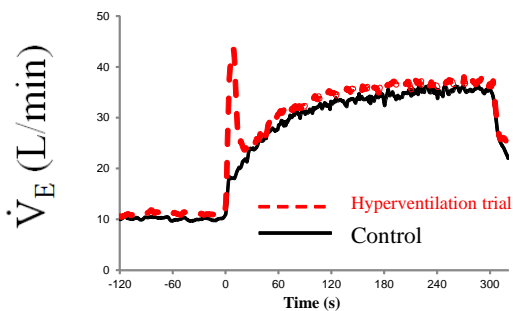
	Control trial	30 rpm trial	90rpm trial
Time delay [TD](s)	8.4 ± 4.6	9.7 ± 5.8	1.0 ± 4.3 *
Time constant [τ](s)	24.0 ± 6.4	28.3 ± 3.5	21.8 ± 4.9
Mean response time [MRT](s)	32.4 ± 5.1	38.0 ± 5.9	22.8 ± 4.4 *

(*:Control に対して有意差あり)

(2) 実験 2

①実験 1 により、Phase I 換気量を反射的に変化させると酸素摂取動態に影響を及ぼすことが分かった。

実験 2 では、意識的に Phase I 換気量を増加させる(Hyperventilation)とどうなるか検討した。Hyperventilation 試行では、Phase I 換気量が通常の 2 倍以上であった。以下の図は被検者 8 人のデータを平均した換気量の変化を示している。

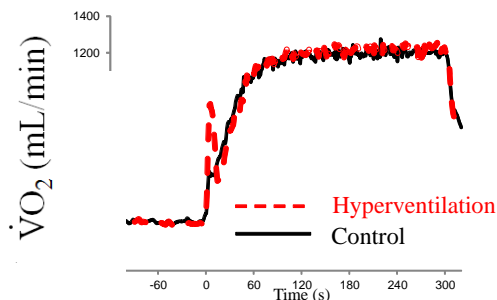


(V_E :換気量, 0 秒から運動開始)

	Control trial	Hyperventilation trial
Phase I V_E (Δ L/min)	8.6 ± 2.6	20.8 ± 12.2 *

(V_E :換気量, *:Control に対して有意差あり)

②続いて、酸素摂取動態を検討したところ、実験 1 とは逆に、平均応答時間(MRT)が有意に遅くなった。しかし、時定数(τ)は実験 1 と同様に有意な変化は示さなかった。以下の図は被検者 8 人のデータを平均した酸素摂取量の変化を示している。



(V_{O_2} :酸素摂取量, 0 秒から運動開始)

	Control trial	Hyperventilation trial
Time delay [TD] (s)	4.8 ± 5.7	10.5 ± 6.3 *
Time constant [τ] (s)	27.5 ± 6.5	26.1 ± 4.9
Mean response time [MRT] (s)	32.3 ± 4.3	36.6 ± 4.1 *

(*:Control に対して有意差あり)

(3) まとめ

①運動開始直後の換気応答を反射的に増加させた場合、酸素摂取動態の平均応答時間(MRT)は速くなり、運動開始直後の換気応答を低下させた場合は、平均応答時間(MRT)が遅くなるということが分かった。

身体全体の応答として捉えた場合(酸素摂取量を口腔レベルで測定した場合)、Phase I 換気急増は酸素摂取応答を速めようとする生理学的な意味があるのではないかと考えられた。

②しかし、Phase I 換気応答を過度に増やすぎると、逆に酸素摂取動態の平均応答時間(MRT)は遅くなるということが分かった。

③これまでの多くの研究から、筋における酸素消費の速度は酸素摂取動態における時定数(τ)と関連があることが知られている。

本研究では、いずれの実験においても、時定数(τ)に変化はなかった。従って、運動開始直後に換気を高め、少しでも酸素摂取応答が遅れないようにしているものの、筋での酸素利用(消費)は変化し得ないことも分かった。

(4) 得られた成果の位置づけとインパクト

高齢化・高ストレス・運動不足・飽食社会を迎えた現在では、生活習慣病の患者の数は膨大な数にのぼり、それに伴う重篤な疾病、生活の質の低下、労働力の損失や医療費増大といった社会的問題は、現代の克服すべき重要な課題である。このような問題を解決し得る潜在能力をもった身体運動を、適切に処方することが重要である。

しかし、運動開始直後のような過渡応答期(非定常時)は、酸素を十分に消費できないなどの理由により生体には多くの負担をもたらし得る。そこで、運動開始時の酸素摂取動態を解析するような研究が頻繁に行われている。

これまでに、Phase I における換気急増の機序などについては非常に多くの研究者が調べている。しかしながら、その役割や意味、酸素摂取動態に及ぼす影響については、調べられていない。本研究は、世界で初めて Phase I における換気急増の役割について検討した貴重な研究であろう。また、酸素摂取動態の研究者の多くにインパクトを与え得るものであると考えられる。

(5) 今度の展望

本研究の弱点は、活動筋における酸素消費を実測していない点である。我々は口腔で測定する酸素摂取量から筋における酸素消費を酸素摂取動態の時定数(τ)から評価している。今後、活動筋における酸素消費を実測できるシステムを作成し評価する必要がある。

また、我々はスポーツ科学・運動生理学立場から、運動開始直後の換気急増が酸素摂取動態に及ぼす影響のみ検討した。しかし、運動開始直後の換気急増が呼吸(エネルギー代謝)のみならず、他のシステムに対しても重要な役割を果たしている可能性も否定できない。今後、運動開始直後の換気急増が呼吸以外のシステムに及ぼす影響も検討していく必要がある。

(6) 本研究の実践的な意味

本研究から得られたことは、筋での酸素消費速度には影響を及ぼさないが、運動開始直後の換気急増には、whole body(身体全体)として運動時の酸素摂取応答を速めようとする役割があり得るということである。

重要なことは、運動開始時のような過渡応答期には生体は酸素を利用した筋収縮のためのエネルギー供給が需要に追いついていない、そしてそれが生体に負担をかけることにつながることである。

従って、運動を安全かつ効果的に行うためには、運動開始時の酸素摂取応答を“絶対に”遅らせるわけにはいかない。そのため、本研究は、運動開始時の換気応答がとても重要であることの証拠となり得る研究といえる。

そして、この結果は、健康の維持・増進のための運動指導の現場にて役立つと考えている。

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)

[学会発表] (計1件)

Norio Hotta. The physiological implication of phase I ventilatory response. Oxygen uptake kinetics: Systems integration and future directions. University of Leeds, August 5, 2010

[その他]

ホームページ等

http://www3.chubu.ac.jp/faculty/hotta_norio/

6. 研究組織

(1) 研究代表者

堀田 典生 (Hotta Norio)

愛知淑徳大学・健康医療科学部・助教

研究者番号：60548577

(2) 研究協力者

石田 浩司 (ISHIDA KOJI)

名古屋大学・総合保健体育科学センター・教授

研究者番号：50193321

古賀 俊策 (KOGA SHUNSAKU)

神戸芸術工科大学・デザイン学部・教授

研究者番号：50125712