

令和元年6月11日現在

機関番号：37104

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K01715

研究課題名(和文) 長距離走の戦術としてのペース変化を意図した過渡応答運動に対する生体反応の検討

研究課題名(英文) Physiological responses to transient exercise intended to change of pace during long distance race

研究代表者

右田 孝志 (Migita, Takashi)

久留米大学・その他部局等・教授

研究者番号：00239211

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、長距離走レースのペース変化を想定し、一定強度の運動からの過渡運動に対して、ペースアップ前の走速度がペースアップ後の生体応答に及ぼす影響、ペース変化のタイミングの認知/非認知の条件差が生体応答に及ぼす影響を検討した。ペースアップ前の走速度が高い場合、ペースアップ後の酸素摂取動態は遅くなる可能性が示唆されたが、筋組織の酸素化レベルおよび筋電図の応答に影響は認められなかった。ペースアップのタイミングの認知は、本研究の走速度の範囲内であれば、呼吸循環系および組織の代謝応答に影響を及ぼさないことが示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で用いたペースアップのタイミングの認知/非認知の条件は、長距離走レースにおける戦術としてのペースアップを「仕掛ける走者」と「追従する走者」のモデルとして考えられる。ペースアップ後の生体応答に認知/非認知の条件の違いが認められなかったことから、本研究で用いた範囲内の走速度であれば、突然のペース変化にすぐに追従しても生体への負担度は大きくないことを示唆できる。これは、指導者や選手がレース戦術を検討する場合の情報の一要因となりえる。

研究成果の概要(英文)：The aim of this study was following tow, 1) whether running speed immediately before speed up affected the V_{O2} kinetics during subsequent high-intensity running, 2) whether prior knowledge of increase in running speed affected cardiorespiratory responses during running. Subjects performed pre-acceleration and post-acceleration continues running. In 1), pre-acceleration was velocity corresponding to either 80% V_T (ventilation threshold) or V_T . Post-acceleration was velocity corresponding to 40% [$V_T+(V_{O2peak}-V_T)*0.4$]. In 2), pre-acceleration was velocity corresponding to V_T and post-acceleration was corresponding to 40%. The results of these studies suggest that 1) the difference of running speed immediately before speed up affects oxygen uptake kinetic velocity during subsequent running, and 2) prior knowledge of increase in running speed did not affect cardiorespiratory system during running, at least not with respect to the change in running speed within the confines in this study.

研究分野：運動生理学

キーワード：ペース変化 戦術 過渡運動 酸素摂取量 呼吸循環 組織酸素化レベル

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) 長距離走レースの戦術として、一定ペースの定常状態からペース変化に伴う過渡応答的な運動に対して如何に素早く対応できるかは重要な課題である。何故ならば、急激なペース変化に対して生体の対応が遅れることは、生体内のエネルギー需要に対して供給の間に合わない状況が発生し、結果的に生体内の恒常性をかく乱させることが予想される。したがって、非定常状態の運動に対する生理学的な機構を把握することはパフォーマンスに有用な知見を提供する。

(2) レースペース変化を長距離走の戦術として位置付けた場合、意図的にペース変化を行う走者に対して、他の走者は過渡応答的運動に追従する状況となる。その相違が生体の応答にも影響を及ぼすのかどうかは、戦術としてのペース変化を考える競技者や指導者に有用な情報を提供できると思われる。

(3) 過渡応答的な運動に対する生体の適応能力を検討する上で、酸素摂取動態は有用な指標となる。申請者らも過渡運動時の酸素摂取動態と競技力の関連性を検討してきた。また、酸素摂取動態に関連する呼吸循環系、および組織レベルでの代謝応答も指標として有用である可能性がある。

2. 研究の目的

(1) これまでの過渡応答に対する生体応答の研究は、安静時もしくは軽強度の定常状態に続く応答特性を検討しているに過ぎない。長距離走レースのペース変化を想定した場合、生体応答に影響を及ぼす体温や循環血液量が亢進した生理的状态からの応答特性を検討することが重要である。そこで、ペースアップ前の運動強度がペースアップ後の生体応答に影響を及ぼすのかどうかを検討した。

(2) レース中、意図的にペースを「仕掛ける走者」と、それに「追従する走者」の相違が生体応答に影響を及ぼすのかどうかを検討するために、過渡応答の運動同開始のタイミングの認知の有無が生体応答に及ぼす影響を検討した。

3. 研究の方法

(1) 過渡応答運動前の運動強度の影響を検討するモデルとして、6分間の一定走速度に続けてペースアップをしてさらに6分間、計12分間の最大下走運動を実施した。ペースアップ前の強度は各自の換気閾値(VT)もしくは80%VT相当の走速度を用いた。ペースアップ後の走速度はVT速度に酸素摂取量のピーク値(VO_{2peak})とVTの速度差の40%相当を加えた走速度 $[VT + (VO_{2peak} - VT) \times 0.4 : 40\%]$ を用いた。呼気ガスおよび心拍数を運動中、連続して測定した。筋の酸素化/脱酸素化レベルを左脚の外側広筋に近赤外分光装置(NIRS)を装着して、運動中連続して測定した。筋電図(EMG)を右脚の外側広筋に装着し、運動開始30秒前から運動後4分まで、4分30秒から8分まで、8分30秒から運動終了まで測定した。 VO_2 のデータは非線形回帰モデルを用いて過渡応答に対する動態を検討した。NIRSのシグナルは2Hzでサンプリングし、10秒毎のデータを平均して解析に用いた。EMGは1000Hzでシグナルをサンプリングし、連続して10回の発火を積分して解析に用いた(iEMG)。

(2) ペースアップの認知の有無が生体応答に及ぼす影響を検討するモデルとして、4分間の一定走速度に続けてペースアップをしてさらに6分間、計10分間の最大下走運動を実施した。ペースアップ前の強度は各自VT相当の走速度、ペースアップ後の走速度は上記(1)と同様の40%相当の走速度を用いた。各被験者は、ペースアップのタイミングをカウントダウンして知らされる条件(認知)と、タイミングに関する情報が知らされずに突然ペースアップする条件(非認知)で試行した。呼気ガスおよび心拍数を運動中連続して測定した。 VO_2 データのみ非線形回帰モデルを用いて過渡応答に対する動態特性を検討した。他の変数および心拍数は5秒毎の平均値を時系列で比較して検討した。NIRSのシグナルは2Hzでサンプリングして解析に用いた。

(3) 本研究で用いた酸素摂取動態の解析は、ペースアップ前の応答に関しては一次の非線形モデル、ペースアップ後の解析には2相の応答を前提として二次の非線形モデルを用いた。用いたパラメータは次の通りである。bは酸素摂取動態のベースラインの VO_2 、apは1相の VO_2 の増加分、tdは1相の VO_2 応答の開始時間遅れ、tcは1相の VO_2 応答の時定数(速度定数)、sc'は2相の二次の非線形モデルから導き出せる VO_2 緩成分、tdsおよびtscは2相の VO_2 応答の開始時間遅れおよび VO_2 応答の時定数である。

4. 研究成果

(1) 長距離走レースの戦術の一つとしてのペース変化に着目し、ペースアップ前の強度(走速度)がペースアップ後の生体応答に影響を及ぼすかどうかを検討した。ペースアップ前の強度は80%VT相当が60.1% VO_{2peak} (80%試行)およびVT相当が80.9% VO_{2peak} (VT試行)に相当

した。両試行に酸素摂取動態の解析結果を表1に示した。ペースアップ後のVT試行時の1相の時定数 (tc) は、73.4 ± 25.2 秒であり、80%試行時の 49.1 ± 8.0 秒よりも有意に遅くなった (P<0.05)。この結果はペースアップ直前の強度が高い場合、ペースアップ後の生体応答が

遅れることを示す可能性がある。80%試行のペースアップ後の1相の時間遅れ (td) は 359.8 秒であり、ペースアップ前の走行時間が6分間 (360 秒) であることから、ペースアップ後の1相の時間遅れがほとんど認められなかったことを示唆する。これはペースアップ前の走行時に既に循環系が促進しており、ペースアップと同時に代謝系が応答できたことを反映していると思われる。一方、VT試行時のペースアップ後の時間遅れ (td) は6分間 (360 秒) に対してネガティブであった (-6.8 秒)。つまり、ペースアップ前からVO₂が漸増していた可能性がある。本研究ではペースアップ前の酸素摂取動態をVO₂緩成分の出現しない一次の非線形モデルで解析したが、ペースアップ前の走強度が高い場合、VO₂緩成分が出現し、それがペースアップ後の時定数に影響を及ぼした可能性が考えられる。

(2) 80%試行およびVT試行時のNIRSおよびiEMGの応答に相違は認められなかった。これは、本研究で用いたペースアップ直前の走速度の範囲内であれば、ペースアップ後の筋出力および組織酸素化レベルの応答に影響を及ぼさない可能性が示唆される。

(3) ペースアップのタイミングの認知/非認知の条件における過渡運動に対する酸素摂取動態の解析結果を表2に示した。ペースアップ後の時間的応答特性を示す時定数 (tc) は認知/非認知間で有意な差は認められなかった。ペースアップ後の応答の時間遅れ (td) がネガティブな場合、ペースアップ前

から酸素摂取動態の応答が開始する可能性を示唆する。しかしながら、認知/非認知の条件の違いによる酸素摂取動態の応答の時間遅れに差は認められなかった。ペースアップ前およびペースアップ後において、呼吸系の指標となる呼吸数と換気量、循環系の指標としての心拍数の応答は、タイミングの認知/非認知の条件間で差は認められなかった。ペースアップ前後1分間の組織レベルでの脱酸素化ヘモグロビンの応答を図1に示した。ペースアップ前1分から30秒前の値を基準にして、変化分を示した。ペースアップのタイミングの認知/非認知の条件差による応答の違いは認められなかった。

表1. 酸素摂取動態の変数

| | | 80%試行 | | VT試行 | |
|-----|--------|------------|--------------|------------|---------------|
| | | 80%VT | Δ40% | VT | Δ40% |
| b | ml/min | 323 ± 45 | 2064 ± 404 | 327 ± 30 | 2739 ± 449 |
| ap | ml/min | 1741 ± 384 | 1009 ± 239 | 2415 ± 434 | 457 ± 96 |
| td | sec | 4.3 ± 5.4 | 359.8 ± 3 | 1.2 ± 7.4 | 353.2 ± 7* |
| tc | sec | 27.6 ± 5.8 | 49.1 ± 8 | 39 ± 15.4 | 73.4 ± 25.2* |
| sc' | ml/min | | 173 ± 103 | | 178 ± 154.1 |
| tds | sec | | 510.9 ± 56.3 | | 531.9 ± 33.4 |
| tes | sec | | 206.4 ± 157 | | 710.2 ± 832.1 |

表2. 酸素摂取動態の解析された変数の結果

| | | ペースアップ前 | | ペースアップ後 | |
|-----|--------|------------|-------------|--------------|--------------|
| | | 認知群 | 非認知群 | 認知群 | 非認知群 |
| b | ml/min | 277 ± 64 | 261 ± 36 | 2087 ± 405 | 2012 ± 418 |
| ap | ml/min | 1784 ± 371 | 1728 ± 399 | 650 ± 177 | 597 ± 151 |
| td | sec | 1.6 ± 7.6 | 8.7 ± 5.5 | 3.1 ± 8.1 | 0.8 ± 8.7 |
| tc | sec | 34.7 ± 8.5 | 26.1 ± 10.5 | 58.1 ± 16 | 44.5 ± 16.6 |
| sc' | ml/min | | | 127 ± 97.0 | 179 ± 38 |
| tds | sec | | | 157.0 ± 47.3 | 130.8 ± 55.5 |

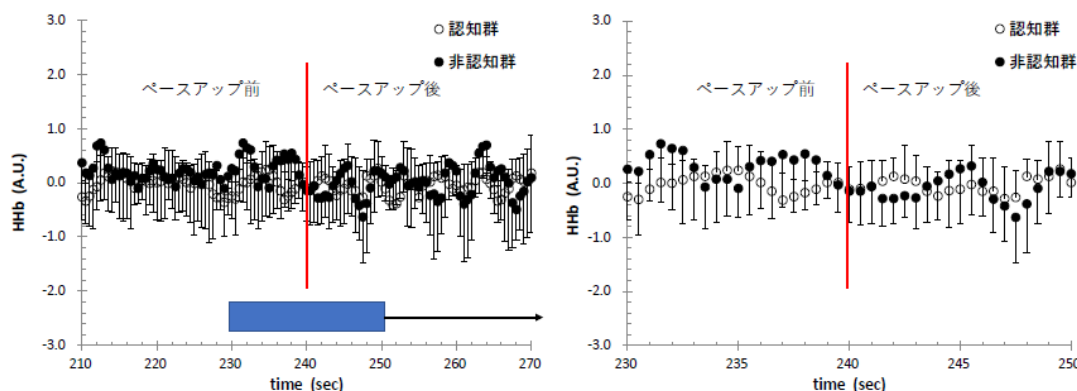


図1. ペースアップ前後の走運動に対する認知群および非認知群の脱酸素化ヘモグロビンの応答

(4) 運動をイメージすることで呼吸循環系が亢進すること、合図に合わせて運動を開始する

よりも「自発的」に運動を開始する方が運動開始直後の筋血流量を増加させるという先行研究が報告されている。その運動開始前の生体応答の亢進のメカニズムとしてセントラルコマンドの発生が示唆されている(引用文献)。本研究におけるペースアップのタイミングを認知していることがセントラルコマンドの発生を誘発すれば、ペースアップ前から生体が早めに応答する、もしくはペースアップ後の生体応答の速度が速くなる可能性が考えられた。しかしながら、本研究ではペースアップのタイミングの認知は過渡運動時の生体応答に非認知条件と差は認められなかった。この要因として、先行研究は安静状態からの過渡運動であるのに対して、本研究は生体応答に影響を及ぼす可能性のある体温や循環血液量等が既に亢進した生理的状态からの過渡運動であり、セントラルコマンドの発生が生体応答に及ぼす影響を相殺した可能性が考えられる。

(7) 本研究では長距離走レースの中盤におけるペース変化を想定し、ペースアップ前を VT 相当、ペースアップ後を平均的なレースペースとして検討した。しかし、レースのラストスパート局面を想定した場合、ペースアップ後の走速度は一過性に高い走速度となることが予想できる。ペースアップ後の走速度が本研究以上の場合、ペースアップのタイミングの認知の条件が生体応答の遅れを軽減し、負担を小さくする可能性が考えられるので今後の課題としたい。

< 引用文献 >

Kei Ishii et al. Central command generated prior to arbitrary motor execution induces muscle vasodilation at the beginning of dynamic exercise. J Appl Physiol 120, 2016, 1424-1433

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 1 件)

右田 孝志、高強度過渡運動に対するペースアップ直前の走速度の影響、久留米大学健康・スポーツ科学センター研究紀要、査読無し、24 巻、2017 年、1-11

[学会発表] (計 2 件)

Takashi Migita, Effect of prior knowledge of acceleration increase on oxygen uptake and oxygenation during running, 47nd European Muscle Conference, 2018

Takashi Migita, The effect of running speed immediately before speed up on oxygen kinetics during subsequent heavy intensity running, 22nd annual Congress of the ECSS, 2017

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

出願状況 (計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年：
国内外の別：

取得状況 (計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年：
国内外の別：

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名：

ローマ字氏名：

所属研究機関名：

部局名：

職名：

研究者番号（8桁）：

(2)研究協力者

研究協力者氏名：

ローマ字氏名：

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。