

令和元年6月14日現在

機関番号：17104

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K07542

研究課題名(和文)短縮性/伸張性筋収縮比率に依存する大腿筋群部位別活動水準と全身性生体負担度の評価

研究課題名(英文)Contribution of activity level in thigh muscle group to whole body metabolic rate depending on the ratio of concentric and eccentric contraction

研究代表者

平木場 浩二(Hirakoba, Kohji)

九州工業大学・教養教育院・教授

研究者番号：70173226

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：任意の一定走速度で、3水準の負荷強度(0%、30%、60%)での一定負荷運動中に7部位の標的筋の積分筋電図(iEMG)および全身性生体負担度を評価した。中高齢者では3水準の一定負荷運動中、低斜度運動では確認されなかったが、高斜度(60%)では運動2分目以降終了時まで漸増する酸素摂取量の緩成分が出現した。運動テスト終了時点の7部位のiEMG合計値への貢献度では、0%に比し、60%では3部位(大臀筋、大腿直筋、大腿二頭筋の)の筋活動水準の上昇が顕著であった。従って、中高齢者における高斜度走行運動での全身性生体負担度増加には前述の3部位の筋活動水準の上昇が密接に関与していると考えられた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

一定走速度で斜度のみで設定された3水準の6分間の一定負荷運動を行った結果、低水準の斜度では運動終了時まで代謝率はほぼ一定であったが、高斜度(斜度5-6%)走行時では、運動終了時点まで代謝率が漸増した。この代謝率上昇には高斜度の運動条件での7部位の標的筋の中で大臀筋、大腿直筋、大腿二頭筋の活動水準の顕著な上昇が貢献していた。中高齢者における運動処方では単なる代謝上昇を目的とするばかりではなく、運動の主役をなす下肢筋群への負荷も筋量を増やす目的で重要であり、そのためには中高齢者における運動処方として登り坂勾配運動を処方することが、これからの高齢化社会における健康寿命延伸への貢献の一助となるだろう。

研究成果の概要(英文)：Focusing on decreases in the ratio of eccentric contraction with elevating gradient during uphill slope running, we evaluated the age characteristics of the relationship between activity levels of lower limb muscle group and whole body metabolic rate with changing only gradient at an individually chosen comfortable running velocity. Ten middle-aged men carried out a constant-load exercise for 6 min at three gradients. $\dot{V}O_2$ at lower gradients maintained an almost constant value throughout the exercise test, whereas $\dot{V}O_2$ at higher gradient gradually increased from 2th min to the end of exercise. At the end of the exercise, sum of integrated electromyogram on 7 sites at higher gradient shows a significantly higher value than that of lower gradient ($P < 0.05$), and it was found that the remarkable increases in activity levels on the three sites of major gluteus, rectus femoris and the biceps femoris muscles, compared to lower gradient, contributed to the increased in whole body metabolic rate.

研究分野：運動生理学

キーワード：走運動 斜度 積分筋電図 酸素摂取量 酸素摂取緩成分 初期酸素債

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

短縮性/伸張性収縮様式が混在した走行運動ではその比率の変化により、大腿筋群の部位別活動水準および走路面への筋発揮張力がどのような変化を示すのか、またそれに由来した生理応答の全身性生体負担度がどのような関係を示すのか明らかではないと考える。走行運動時の水平レベル（斜度：0%）では、短縮性収縮：伸張性収縮の比率が **1:1** の関係にあるが、斜度上昇に伴いその比率が変化し、斜度 10%ではその比率が **9:1** になると報告されている (Minetti et al, 1993; 1994)。したがって、身体運動の全体像を明らかにするためには、自転車駆動運動だけではなく、短縮性/伸張性収縮様式が混在した走運動での走行面の斜度を変化させる走運動モデルを用いて、短縮性/伸張性収縮様式比率を変化させ、その比率変化に伴う大腿筋群の部位別活動水準と呼吸・循環系機能を反映する呼気ガス代謝応答を測定・評価する必要がある。また、走行面の斜度 0%と 10%における酸素摂取動態を比較した研究 (Pringle et al, 2002) では、斜度変化と酸素摂取動態変量の関係のみの検討に留まっているため、走路面の斜度変化に伴う大腿筋群活動水準の評価や筋内環境変動を反映する代謝率を含んだ全身性生体負担度の関係、およびそれらと加齢に伴う筋量減少との関連（年齢特性）について検討する必要があるだろう。研究仮説：走路面の斜度の上昇に伴い伸張性収縮が有意に低下するという事は骨格筋自体の弾性エネルギーの貢献も低減することを意味しており (Bijker et al, 2002)、大腿筋群の部位別活動水準にも影響を及ぼし、このことが、大腿筋群の部位別活動水準と全身性生体負担度（二酸化炭素過剰排出量：CO₂ excess、初期酸素債：O₂ deficit および酸素摂取量緩成分：VO₂SC）の関係にも変化を招来すること、および中高齢者の加齢に伴う筋量減少により両者の関係が異なると想定される。

2. 研究の目的

本研究では、走運動時の短縮性/伸張性筋収縮様式の比率が走路面の斜度に依存して変化すること、および加齢に伴う筋量減少に着目して、任意の走速度一定で走路面の斜度変化の組み合わせによる3水準の運動条件における大腿筋群部位別の活動水準の評価とそれに由来する全身性生体負担度の指標としての CO₂ excess、O₂ deficit および VO₂SC の関係を明らかにし、これまでの先行研究で検討されてきた筋収縮様式が短縮性収縮のみの自転車運動に対する生理応答とは異なる側面から、短縮性/伸張性収縮比率変動に対する大腿筋群部位別活動水準と全身性生体負担度の関係におよぼす年齢特性を明らかにすることを目的とする。

3. 研究の方法

1) 研究初年度においては、本研究課題の主要目的である斜度上昇に伴う走運動時の伸張性収縮様式比率の低下による大腿筋群の部位別活動水準を考慮した運動負荷テスト構築のための基礎資料を収集することに焦点を当て、若年者（10名、年齢 21.2±1.55歳）を対象に、任意の一定走速度を用い、2分間の水平走行（斜度 0%）での warming-up 後、2分毎に 2%の斜度（0%~10%）のみを上昇させる“斜度漸増運動テスト”を行い、走路面の斜度変化に対応する代謝率上昇に及ぼす大腿筋群の部位別活動水準に関する基礎資料の取得を行った。

2) 研究2年目～3年目においては、中高齢者（10名、年齢 59.0±6.22歳）を対象として、走行運動時の主働筋と考えられる大臀筋を含む下肢筋群の7部位（大臀筋、外側広筋、大腿直筋、大腿二頭筋、腓腹筋、前脛骨筋、ヒラメ筋）の筋活動水準に及ぼす運動条件の検討に焦点を当て、1)と同様のプロトコルにて“斜度漸増運動テスト”を行い、酸素摂取量 (VO₂) と斜度の関係式を個人毎に求め、“一定負荷運動テスト”で設定する負荷（Δ0%、Δ30%、Δ60%）

に相当する斜度を算出した。即ち、“斜度漸増運動テスト”と同様の任意の一定走速度で、3水準の運動条件（ $\Delta 0\%$ 、 $\Delta 30\%$ 、 $\Delta 60\%$ ）における6分間の“一定負荷運動テスト”での下肢筋群の部位別筋活動水準とそれに関連した筋内環境の内乱と連動する全身性生体負担度（ CO_2 excess、 O_2 deficit、 VO_2SC ）の関連性とその年齢特性を検証した。

3) 全身性生体負担どの変数測定と統計解析： CO_2 excess と O_2 deficit は、それぞれ Hirakoba et al. (1996)および Rossiter et al. (1999)の報告した解析方法によって、そして VO_2SC は Wasserman et al. (1987) が示した方法を改変して評価した。また、大腿容量は、Jones & Pearson (1969)の形態学的計測法によって算出した。得られた変数の3運動条件間の統計的な有意差検定には、一元配置の反復分散分析および post hoc test として Tukey HSD を用い、有意性水準は $P < 0.05$ とした。

4. 研究成果

1) 大腿筋量への加齢の影響を検討するため、形態学的計測に従って算出された大腿容量には、若年者（ $7,053 \pm 1303$ ml）と中高齢者（ $6,964 \pm 734$ ml）には大きな差がなく、大腿筋量に及ぼす加齢の影響は確認できなかった。これには、若年者が日常殆ど運動を実施していない非活動者であったのに対し、中高齢者の参加者の大部分が日常規則的な運動習慣を有していたことが関連していると考えられた。

2) 基礎実験である斜度漸増運動テストにおける VO_2 は、斜度 (gradient) を関数として、若齢者 ($\text{VO}_2 = 1764 + 120.3 * \text{gradient}$, $r = 0.9994$) および中高齢者 ($\text{VO}_2 = 1897 + 90.2 * \text{gradient}$, $r = 0.9997$) の両群で直線的に上昇することが確認され、両群の VO_2 と斜度の一次回帰直線はほぼ同程度であった。そこで、本研究の主眼である中高齢者において7部位の標的筋の筋電図 (EMG) の波形を計測し、積分筋電図 (iEMG) を解析した。斜度 2%を基準に標準化した7部位の活動筋の iEMG の合計値の相対的变化は、斜度 4%まで変化が認められなかったが、その後斜度上昇に伴い急激に上昇に転じた (Fig. 1)。従って、斜度上昇に伴う VO_2 上昇には下肢筋群全体もしくは部位別活動水準の増加が貢献していることが推測された。

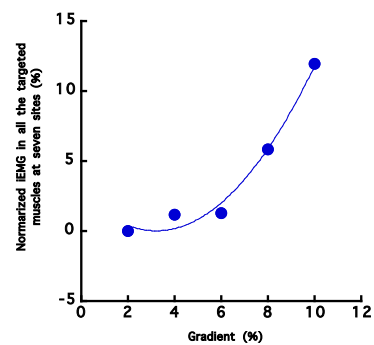


Figure 1. Changes in sum of normalized iEMG at seven sites as a function of gradient during gradient-incremental running in middle-aged men

3) 上記の因果関係を詳細に検討するための主実験として実施した、斜度漸増運動と同じ任意の一定走速度で斜度のみで設定した3水準の運動条件での6分間の一定負荷運動テストにおける VO_2 は、 $\Delta 0\%$ と $\Delta 30\%$ では定常値に達した後、運動終了までほぼ一定値が維持されていたが、 $\Delta 60\%$ では運動開始2分目から運動終了時まで漸増し、 VO_2SC の出現が確認された。この VO_2SC の出現に下肢筋群の活動水準の貢献が予測された。従って、走運動での主働筋と考えられた7部位の標的筋の iEMG の合計値を解析し、一定負荷運動テストの3水準の運動条件下間で比較した結果 (Fig. 2)、 $\Delta 60\%$ の運動終

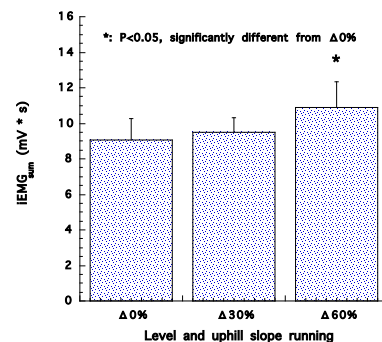


Figure 2. Comparison of sum of iEMG at exercise end point of level ($\Delta 0\%$) and uphill slope running ($\Delta 30\%$, $\Delta 60\%$)

了時点の iEMG の合計値が、 $\Delta 0\%$ と $\Delta 30\%$ 水準での走行運動終了時点のそれよりも有意に高値を示していた ($P<0.05$)。

4) 上記の結果を受けて、大臀筋を含んだ下肢筋群全体および部位別の活動水準と全身性生体負担 (呼吸ガス代謝関連指標) との関連性を検討する必要性が指摘された。 $\Delta 0\%$ における VO_2 と標的筋 7 部位の iEMG の合計値を基準にして、 $\Delta 30\%$ と $\Delta 60\%$ における両変数の変化率の関係を検討したところ、両者には正の相関関係 ($Y=10.07+0.954*X$, $r=0.764$, $P<0.01$, Fig. 3) が確認され、各運動条件では走速度と斜度が一定にも関わらず、 $\Delta 0\%$ の水平走行 (斜度 0%) 運動と比較して、高斜度の VO_2 上昇には、 $\Delta 30\%$ (斜度 $3-4\%$) と $\Delta 60\%$ (斜度 $5-6\%$) の運動時間経過に伴う下肢筋群の活動水準の上昇が貢献していることが裏付けられた。さらに、呼吸ガス代謝関連の主要指標である二酸化炭素排出量と酸素摂取量動態変量の解析から得られた全身性生体負担を反映すると考えられる O_2 deficit、 VO_2SC 、 CO_2 excess を 3 水準の運動条件で比較した。 O_2 deficit および CO_2 excess は、運動条件の負荷が高くなるにつれて増加傾向にあるものの個人間の変動が大きく、一定負荷運動の 3 条件間に統計的な有意差は確認されなかった。一方、 $\Delta 0\%$ と比較して、 $\Delta 60\%$ の VO_2SC は有意に高値となった ($P<0.05$)。 $\Delta 60\%$ の VO_2SC には、 $\Delta 0\%$ と $\Delta 60\%$ の運動終了時点の各筋における iEMG の比較から、大臀筋 (74.5% 上昇)、大腿直筋 (39.3% 上昇) および大腿二頭筋 (50.0% 上昇) の活動水準上昇の貢献が大きいことが立証された。これらのことから、前述した 3 部位の運動筋の活動水準が高斜度の一定負荷運動時の全身性生体負担度の増加に重要な役割を果たしていることが指摘された。

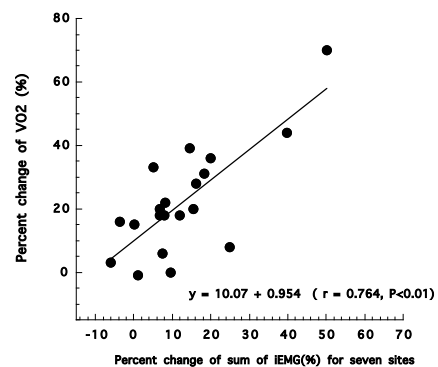


Figure 3. Percent changes of VO_2 and sum of iEMG at the end point from $\Delta 0\%$ to $\Delta 30\%$ and $\Delta 60\%$

5) 本研究結果を総合的に考慮すると、中高齢者における運動処方では、単なる水平走行での呼吸・循環系への負荷を目的とするばかりではなく、登り坂での斜度上昇に応じて水平走行では利用していない活動筋の部位活動水準が上昇することに着目して、運動の主役をなす下肢筋群への日常利用されない骨格筋への負荷も筋量を増やす目的では重要であり、そのためには中高齢者における運動処方として登り坂勾配運動を処方することが、これからの高齢化社会における健康寿命延伸への貢献の一助となるだろう。

<引用文献>

- ① Minetti AE et al, Mechanical determinations of gradient walking energetics in man, J. Physiol., Vol.471, 1993, 725-735
- ② Minetti AE et al, Mechanical determinations of the minimum energy cost of gradient running in humans, J. Exp. Biol., Vol.195, 1994, 211-225
- ③ Pringle JSM et al, Oxygen uptake kinetics during horizontal and uphill treadmill running in humans, Eur. J. Appl. Physiol., Vol.88, 2002, 162-169
- ④ Bijker KE et al, Differences in leg muscle activity during running and cycling, Eur. J. Appl. Physiol., Vol.87, 2002, 556-561
- ⑤ Hirakoba K et al, Prediction of blood lactate accumulation from excess CO_2 output

during constant exercise, Appl. Human Sci., Vol.15, 1996, 205-210

- ⑥ Rossiter HB et al, Influences from pulmonary O₂ uptake with respect to intramuscular [phosphocreatine] kinetics during moderate exercise in humans, J. Physiol., Vol. 518, 1999, 921-932
- ⑦ Wasserman K et al, Measurement of the physiological response to exercise, In: Principles of exercise testing and interaction, Lea & Febiger, 1987, pp.27-46
- ⑧ Jones PRM and Pearson J, Anthropometric determinations of leg fat and muscle plus bone volumes in young male and female adults, J. Physiol., Vol.51, 1969, 807-830

5. 主な発表論文等

[学会発表] (計 3 件)

- ① Kohji HIRAKOBA and Masato TOKUI: Association of lower limb muscle activities with increased metabolic rate during uphill slope running at a constant high gradient, 27th Annual Congress of the European College of Sport Science, 2019
- ② Kohji HIRAKOBA and Masato TOKUI: Contribution of muscle activity in leg muscle to metabolic rate during uphill slope running in middle-aged men, 47th European Muscle Conference, 2018
- ③ Masato TOKUI and Kohji HIRAKOBA: Effects of uphill running on metabolic rate and muscle activity, 2017 Symposium of the Society for the Study of Human Biology & International Association of Physiological Anthropology, 2017

6. 研究組織

(1) 研究分担者

「なし」

(2) 研究協力者

研究協力者氏名：得居 雅人

ローマ字氏名：TOKUI, Masato

※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。