

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 19 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：2012～2013

課題番号：24800091

研究課題名(和文)筋発揮力に及ぼす中枢性および末梢性要因の影響と呼吸応答の役割の解明

研究課題名(英文)Effect of central and peripheral factors on muscle performance and elucidation of a role for respiratory response to muscle performance

研究代表者

山中 亮(Yamanaka, Ryo)

独立行政法人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：50632840

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,100,000円、(間接経費) 630,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の主要な目的は、筋発揮力に対する末梢性因子および中枢性因子の関係性を検討することであった。中枢性因子の指標として考えられる運動に対する脚の努力感は、末梢性因子である血中乳酸濃度の増加および筋内pHの低下によって影響を受けなかった。また、運動開始前の脚の努力感が大きいほど、高強度運動時の筋発揮力は低下した。これらの結果から、筋発揮力は末梢性因子よりもむしろ脚の努力感によって影響を受けることが示唆された。

研究成果の概要(英文)：The main purpose of this study was to determine the relationship between central and peripheral factors to motor performance. Effort sense of legs which is thought to be as an index of central factor was not affected by the increase in blood lactate concentration and the decrease in intramuscular pH. Motor performance to intense exercise was decreased with effort sense of legs at pre-exercise. Thus, it was suggested that motor performance is affected by effort sense of legs rather than peripheral factors.

研究分野：社会科学

科研費の分科・細目：スポーツ科学

キーワード：リン核磁気共鳴分光法 短時間高強度運動 努力感 筋内pH 呼吸応答 反復運動

## 1. 研究開始当初の背景

ヒトは休まずに運動を継続することや、最大の力を発揮し続けることができない。つまり、人の筋発揮力を制限しているメカニズムが体内に存在すると考えられる。これまでの筋発揮力の制御に関する研究の中で、中枢神経系からの指令 (Central Motor Drive: 以下 CMD) によって筋発揮力が制御されることが報告されている (Amann 2011, Marcora et al. 2009)。この筋発揮力を制御する CMD が生成されるメカニズムとして、筋内などの末梢系からの情報が中枢系で統合されて起源する統合説 (Amann 2011) と、末梢性要因に影響を受けず中枢系 (一次運動野) において起源する中枢起源説 (Marcora et al. 2009) が提唱されているが、詳細な検討をしている研究が少なく、未だ曖昧な部分が多い。さらに、CMD の指標として主観的な運動強度 (Proske 2005) があるが、この主観的運動強度と筋発揮力の関連性を検討した研究も少ないため、この両者の関係性を検討することが、筋発揮力を制御するメカニズムの解明への最優先事項であると考えられる。

一方、筋発揮力の低下に直接影響を及ぼすと考えられている筋内部環境に関する研究も行われている。つまり、高強度の運動を行うことによって生じる乳酸由来の水素イオン濃度の増加 (pH の低下) が、最大筋収縮速度の低下 (Edman and Mattiazzi 1981) や解糖系律速酵素の働きの阻害 (Fitts 1994) を引き起こすことなどである。この筋発揮力の低下を引き起こす pH の低下を抑制するための体内における働きの一つとして、動脈血 CO<sub>2</sub> 分圧の低下を伴った体外への CO<sub>2</sub> 排出を通じた呼吸応答系 (Wasserman et al. 1986) が存在する。だが、筋発揮力に関する呼吸応答の影響を検討した研究では、持続的な運動種目に焦点を当てたものが多く、極度の pH の低下が生じるような運動種目においては呼吸応答の重要な役割が認識されていない。従って、極度の pH の低下を伴う運動においても、呼吸応答の重要性が認識できるような詳細な知見を提供することで、呼吸系に関わる新たなトレーニング方法を用いて筋発揮力が向上するということを証明できる。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、以下の二つとした。

①筋発揮力の低下に対する中枢性要因 (人の主観的な感覚) および末梢性要因 (筋内代謝変量) の関与を明確にすること。②筋発揮力の維持・充進に貢献する呼吸応答の役割を明確にすることである。

## 3. 研究の方法

本研究の目的を達成するために、2 つの実験を実施した (実験 I, II)。

## (1) 実験 I

### ①被験者

被験者は、健康な男性 7 名であった (年齢:  $23.5 \pm 0.8$  year, 身長:  $175.5 \pm 4.3$  cm, 体重:  $81.9 \pm 16.3$  kg)。

### ②運動プロトコル

この実験では、運動様式として、核磁気共鳴画像法 (Magnetic Resonance Imaging: 以下 MRI) 装置内でも実施可能な仰臥位右膝伸展運動を用いた。本実験の事前に、仰臥位膝伸展運動時の最大拳上重量 (1 Repetition Maximum: 1RM) を測定した ( $38.3 \pm 5.0$  kg)。

本実験の運動テストとして、6 分間の回復期を挟みながら 2 分間の高強度運動 (0.5Hz のリズムで膝伸展) を 3 セット繰り返し行うプロトコルを用いた。この運動プロトコルを用いて以下の 2 条件で実験を行った。また、MRI 装置内では精密機械を用いた測定ができないため、MRI 装置外で同様に、2 条件の運動テストをそれぞれ別日に実施した。つまり、1 人の被験者は計 4 回の運動テストを行った。4 回の運動テストは、カウンターバランスで実施した。

その 2 つの条件として、3 セットにおける運動負荷がセット毎に増加する (48% 1RM, 50% 1RM, 52% 1RM) 条件 (true) と、被験者にはセット毎に運動負荷が増加するという偽の情報を伝えて実際には運動負荷が一定 (50% 1RM) である条件 (deception) を用いた。その目的として、3 セット目において運動強度が条件間で異なるため (true: 52% 1RM, deception: 50% 1RM)、血中乳酸濃度および筋内 pH には条件間で差異が認められるが運動に対する脚の努力感には条件間で差異が認められないような状態にすることとした。

### ③測定項目

中枢性要因として、Borg の修正スケール (0-10) を用いて脚の努力感を測定した。末梢性因子として、リン核磁気共鳴分光法 (<sup>31</sup>P-Magnetic Resonance spectroscopy: <sup>31</sup>P-MRS) を用いて右大腿直筋の筋内 pH を測定した。測定には専用のコイルを用いた。コイルの中心部を膝蓋骨上縁と前上腸骨棘を結んだ中間点の右大腿直筋上に合わせ、伸縮性を有するテーピングを用いて、血流が阻害されない程度にコイルを固定した。

脚の努力感は、各セットの 1 分目および 2 分目 (運動終了時) に、筋内 pH は 2 分間の運動を 15 秒間隔に分けてそれぞれ測定した。

MRI 装置外における運動テスト時において、呼吸応答は呼気ガス分析装置を用いて、血中乳酸濃度は簡易的血中乳酸濃度測定器を用いてそれぞれ測定が行われた。

## (2) 実験 II

### ①被験者

被験者は、健康な男性 7 名であった (年齢:  $23.4 \pm 0.7$  year, 身長:  $173.8 \pm 6.7$  cm, 体重:  $83.1 \pm 16.9$  kg)。

### ②運動プロトコル

運動テストには、自転車エルゴメータを用いて、15 分間の最大下一定負荷運動テストを行い、その 1 分後に 30 秒間の全力ペダリング運動 (体重  $\times 7.5\%$  kp の負荷) を実施するプロトコルを用いた。各被験者はこの運動テストを 2 回、別の日に行った。2 回の一定負荷運動テストのうち 1 回は、被験者に負荷が徐々に増加していく漸増負荷運動テストであるという偽の情報を伝えた条件で一定負荷運動テストを実施した (deception)。残りの 1 回は、被験者に対して一定負荷であるという正確な情報を伝えて一定負荷運動テストを実施した (true)。2 回の運動テストは、カウンターバランスで実施した。

### ③測定項目

中枢性要因として、Borg の修正スケール (0-10) を用いて脚の努力感を測定した。末梢性因子として血中乳酸濃度を測定した。両変量の測定のタイミングは、一定負荷運動時の 5, 10, 15 分目であった。

また、15 分の一定負荷運動時において、運動に対する呼吸応答は呼気ガス分析装置を用いて測定が行われた。

## 4. 研究成果

### (1) 実験 I

3 セット目の運動時の酸素摂取量は、true 条件の方が deception 条件よりも高い傾向 ( $p = 0.08$ ) であった。両条件における 3 セット目の運動強度は、true 条件が 52% 1RM, deception 条件が 50% 1RM と 2% 1RM しか差異がないけれども、true 条件における酸素摂取量が deception 条件時よりも高い傾向であったことから、3 セット目における運動負荷の差異が適切であったと考えられる。

3 セット目の運動時における筋内 pH の最低値は、true 条件において deception 条件よりも有意 ( $p < 0.05$ ) に低い値を示した (true 条件:  $6.88 \pm 0.10$ , deception 条件:  $6.91 \pm 0.09$ )。しかしながら、血中乳酸濃度は、3 セットの運動を通して、両条件間で差が認められなかった。本研究で用いた仰臥位膝伸展運動の主働筋であると考えられる右大腿直筋内における pH が、true 条件において deception 条件よりも有意に低い値を示したことも、両条件の運動強度の差異による影響

であると考えられる。

3 セット目の運動時の換気量は両条件間で差異が認められなかった。

中枢性因子を反映していると考えられる脚の努力感は、3 セットの運動を通して、条件間で差異が認められなかった。

## (2) 実験 II

15 分間の一定負荷運動テストに対する血中乳酸濃度は、true 条件と deception 条件の間には差異が認められなかった。

一方、15 分間の一定負荷運動時において、運動に対する脚の努力感は、deception 条件の方が true 条件よりも有意 ( $p < 0.05$ ) に高い値を示した。両条件における運動負荷が同様で、そして、運動に対する血中乳酸濃度にも条件間で差異が認められなかったにもかかわらず、脚の努力感に条件間で差異が認められたことから、被験者は deception 条件時の運動負荷が漸増負荷テストであると思いこんだために、脚の努力感も true 条件よりも有意に高くなったと考えられる。

また、15 分の一定負荷運動後に実施した 30 秒間の全力ペダリング運動時の最高回転数は、deception 条件の方が control 条件よりも低い傾向 ( $p = 0.09$ ) を示した (deception 条件:  $153.9 \pm 8.5$  rpm, true 条件:  $158.0 \pm 9.7$  rpm)。それに伴い、最高パワーも deception 条件の方が control 条件よりも低い傾向 ( $p = 0.10$ ) を示した。しかし、30 秒間運動時における平均パワーは、条件間で差が認められなかった。

15 分間の一定負荷運動に対する換気応答および酸素摂取量は、条件間で差異が認められなかった。

## (3) まとめ

本研究の目的を達成するために、二つの実験を行った。中枢性因子の指標として考えられる運動に対する脚の努力感、末梢性因子である血中乳酸濃度の増加および筋内 pH の低下によって影響を受けなかった。

実験 II の結果から、運動開始前の脚の努力感が大きいほど、高強度運動時の筋発揮力は低下する傾向を示した。これらの結果から、運動時の筋発揮力は、血中乳酸濃度や筋内 pH のような末梢性因子よりもむしろ脚の努力感 (中枢性因子) によって影響を受けることが示唆された。

本研究の結果から、仮説としてあげていた筋発揮力の維持・亢進に貢献する呼吸応答の役割を実証することができなかった。本研究で用いた二つの実験の運動負荷よりも、多くの乳酸が生成され筋内 pH がさらに低下するような、高強度の負荷時において検討する必要があると考えられる。

#### (4) 今後の展望

本研究では、運動時の筋発揮力は、末梢性因子よりもむしろ中枢性因子によって影響を受けることが示唆された。本研究では、“きつい運動である”と信じ込むことによって、その後の運動に対する筋出力が低下する傾向を示した。本研究では、中枢性因子を直接的に評価することができなかったが、本研究のようにきつい運動であると認識してしまった場合、大脳皮質内における抑制系が強く働くために、筋出力が低下した可能性もある。この働きとは逆の作用ではあるが、プラセボ効果による筋出力の向上の背景にある神経生理学的な検討を行った結果、力を発揮できると信じ込むことによって、大脳皮質運動野の興奮性が増加したという結果が報告されている (Fiorio et al. 2014)。このようなことから、筋出力時には、中枢性の因子が強く関与していると考えられる。

今後も筋発揮力に対する中枢性因子の関与について検討していくとともに、その検討結果を基に、筋発揮力を向上できるようにするためにはどのようにして中枢神経系の機能を高められるのかといった、トレーニング方法についても検討していきたいと考えている。

#### 5. 研究組織

##### (1) 研究代表者

山中 亮 (YAMANAKA, Ryo)  
独立行政法人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：50632840