

機関番号：37101
 研究種目：若手研究（スタートアップ）
 研究期間：2009～2010
 課題番号：21800083
 研究課題名（和文） 運動時に末梢性疲労が求心性信号として中枢神経系からの遠心性指令に及ぼす影響
 研究課題名（英文） Effects of afferent signals derived from peripheral fatigue on efferent command from central nervous system during exercise
 研究代表者
 松浦 亮太（MATSUURA RYOUTA）
 九州共立大学・スポーツ科学部・助手
 研究者番号：10551278

研究成果の概要（和文）：

本研究の目的は、運動によって起こる筋の代謝変化が、運動に関わっていない部位への運動指令に及ぼす影響を検討することであった。特に、脚ペダリング運動によって引き起こされる筋の代謝変化が肘屈曲による最大等尺性筋収縮（maximal voluntary contraction: MVC）時の運動指令に及ぼす影響に着目したが、脚ペダリング運動の運動強度の変化や重曹による代謝変化の操作では、明らかな影響を見ることが出来なかった。したがって、運動によって引き起こされた脚の代謝変化は肘屈曲 MVC 時の遠心性指令に影響を及ぼさないことが示唆された。

研究成果の概要（英文）：

The purpose of this study was to determine the effects of changes in muscle metabolites during leg pedaling exercise on force and surface electromyogram activity during subsequent maximal isometric elbow flexion. Exercise intensity during the leg pedaling exercise or oral administration of sodium bicarbonate 2 hours before the initiation of the leg pedaling exercise did not influence force and surface electromyogram activity during subsequent maximal isometric elbow flexion. Therefore, these results suggest that changes in muscle metabolites in active muscles induced by leg pedaling exercise do not act as afferent signals to modify efferent command from the central nervous system during subsequent maximal voluntary contraction in inactive muscles.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,050,000	315,000	1,365,000
2010年度	570,000	171,000	741,000
年度			
年度			
年度			
総計	1,620,000	486,000	2,106,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：健康・スポーツ科学・身体教育学

キーワード：筋疲労，非活動筋，表面筋電図

1. 研究開始当初の背景

筋内 pH の低下やクレアチンリン酸の減少といった末梢性疲労は、長年筋疲労（パフォーマンスや発揮パワーの低下）の原因とされ

てきた (Fitts 1994)。また、運動時には末梢性疲労のみならず、脳自体が疲労し、末梢への遠心性指令が低下する可能性（中枢性疲労）も指摘されている (Nybo and Nielsen 2001)。しかしながら近年、末梢性疲労が直

接筋疲労を引き起こすのではなく、「末梢で起きた代謝変化が中枢神経系（central nervous system: CNS）へ求心性情報を送り、その情報に基づいて CNS が末梢への遠心性指令を変化させた結果、筋疲労が起きる」という主張がなされている（Lambert et al. 2005, Ulmer 1996）。後者の考え方において筋疲労は、極度のストレスから末梢組織を守るという「防御メカニズム」と捉えることが出来る（次頁図 1）。後者の考え方を支持する研究結果も報告されており、本研究代表者のこれまでの研究成果もそのうちの 1 つである（Matsuura et al. 2005）。

しかしながら、上述の研究にはいくつか問題点がある。末梢性疲労が求心性情報として CNS からの遠心性指令に及ぼす影響を検討したこれまでの研究では、CNS からの遠心性

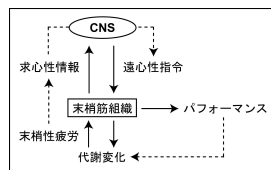


図 1 防御メカニズムとしての筋疲労

指令を表面筋電図 (surface electromyogram: SEMG) から検討している。それに加えて、SEMG を導出する筋は疲労を起こしている状態であった。SEMG によって導出される筋電波形には、脳から筋までを経た電気的信号が反映されるため、疲労状態の筋では筋電波形に筋動員の影響だけでなく、興奮収縮連関の機能減衰による影響や神経筋接合部の機能低下の影響も表れる。したがって、SEMG を遠心性信号として解釈する際には複雑さが付きまとう。また、これまでの検討では中枢性疲労が末梢性疲労と独立して起こる可能性が考慮されていなかった。末梢性疲労が求心性情報として CNS からの遠心性指令に影響を及ぼすとしても、中枢性疲労そのものが独立して起きるのであれば、CNS からの遠心性指令が変化する可能性がある。

脚運動で生じた代謝産物は、血液循環によって非活動部である腕にも送られることが予測される。しかし、活動部で代謝産物が筋の電気的過程やエネルギー供給に及ぼす影響が、非活動部の筋内で起きるとは考えられない。したがって、脚運動で生じた代謝産物が求心性情報として CNS に及ぼす影響は、脚運動直後に腕運動時における SEMG を検討することで容易に明らかになると推察される。

重曹 (NaHCO₃) の摂取によって運動時に起こる筋内 pH の低下が遅延することは、多くの研究者によって報告されている (Bishop et al. 2004, Bouissou et al. 1989, Gaitanos

et al. 1991, Stephens et al. 2002)。NaHCO₃ の摂取によって末梢の状態には差が生じるが、中枢性疲労には差が生じないと考えられる。したがって、NaHCO₃ 摂取後に脚での疲労運動を行い、脚の筋内 pH に差がある状態で腕運動時の SEMG を検討すれば、同等の中枢性疲労を考慮に入れた検討が可能になる。本研究代表者も、NaHCO₃ 摂取後における SEMG を以前に検討している (Matsuura et al. 2007) が、疲労状態にある脚から SEMG を導出したため、結果が明白ではなかった。

運動によって引き起こされる末梢の代謝変化が求心性信号として CNS からの遠心性指令に影響を及ぼすのであれば、脚運動の運動強度の変化や脚運動前の NaHCO₃ の摂取が、その後の腕運動の発揮パフォーマンス及び SEMG 活動に影響を及ぼすことが予想される。

2. 研究の目的

運動によって引き起こされる末梢性の代謝変化 (末梢性疲労) が求心性信号として CNS からの遠心性指令に及ぼす影響を検討することを目的とした。遠心性指令の変化を SEMG 活動から評価するため、脚に末梢の代謝変化を引き起こし、その後の上腕二頭筋の発揮張力と SEMG 活動から検討を行った。

3. 研究の方法

本研究の目的を達成するため、以下の 2 つの実験を実施した。

(1) 脚運動の運動強度がその直後に行う腕での MVC 時における発揮張力及び SEMG 活動に及ぼす影響

被験者は健康な成人男性 8 名であり、6 分間の脚ペダリング運動 (60 rpm) を行った直後、5 分後、10 分後に肘屈曲 (90°) による 2 秒間の MVC を行った。6 分間の脚ペダリング運動の運動強度は、各被験者の換気性作業閾値 (ventilatory threshold: VT), 最大酸素摂取量の 70% に相当する強度 (70%VO₂max), 最大酸素摂取量の 80% に相当する強度 (80%VO₂max) の 3 つに設定した。脚ペダリング運動の運動強度を評価するため、酸素摂取量、心拍数、血中乳酸濃度、主観的運動強度 (全身及び脚) を測定した。肘屈曲 MVC 時には発揮張力、上腕二頭筋の

SEMG活動を記録し、それぞれ発揮張力がピークに至る直前の0.5秒間を分析に用いた。なお、SEMG活動は該当する区間の二乗平均平方根 (root mean square: RMS) を評価の指標とし、6分間の脚ペダリング運動前に測定した肘屈曲 MVC 時の値とも比較した。

(2) NaHCO_3 摂取が長時間脚ペダリング運動直後の肘屈曲 MVC 時における発揮張力及び SEMG 活動に及ぼす影響

被験者は健康な成人男性 7 名であり、20分間の脚ペダリング運動 (60 rpm) を行った直後に 2 分間の肘屈曲 MVC を行った。これらは、脚ペダリング運動前に NaHCO_3 を摂取する条件 (ALK 条件) と偽薬 (炭酸カルシウム: CaCO_3) を摂取する条件 (CON 条件) で行った。20分間の脚ペダリング運動の運動強度は各被験者の $70\% \text{VO}_2\text{max}$ に設定した。脚ペダリング運動の運動強度を評価するため、酸素摂取量、心拍数、血中乳酸濃度、主観的運動強度 (全身及び脚) を測定した。 NaHCO_3 を摂取した効果は血液ガスの測定から評価した。肘屈曲 MVC 時には発揮張力、上腕二頭筋の SEMG 活動を記録し、5 秒間ごとの発揮張力の平均値、1 秒間ごとの SEMG 活動の RMS を分析に用いた。なお、これらの値は脚ペダリング運動前に実施した肘屈曲 MVC 時の値とも比較した。

4. 研究成果

本研究では以下の成果が得られた。

(1) 脚運動の運動強度がその直後に行う腕での MVC 時における発揮張力及び SEMG 活動に及ぼす影響

脚ペダリング運動による血中乳酸濃度、酸素摂取量、心拍数、主観的運動強度の変化は運動強度間で有意な差が見られたが、肘屈曲 MVC 時の発揮張力及び RMS には、運動直後、5 分後、10 分後のいずれにおいても運動強度間で有意な差が見られなかった。これらの結果から、脚ペダリング運動の運動強度の違いによって引き起こされる末梢の代謝変化は、非活動部である肘関節での MVC 時における遠心性指令に影響を及ぼさないことが推察される。

(2) NaHCO_3 摂取が長時間脚ペダリング運動直後の肘屈曲 MVC 時における発揮張力及

び SEMG 活動に及ぼす影響

NaHCO_3 を摂取したことにより、脚ペダリング運動開始前の血中 pH は ALK 条件で有意に高くなった。20 分間の脚ペダリング運動によって生じた血中乳酸濃度の変化に条件間で有意差がなかったため、ALK 条件では CON 条件と比べて筋内 pH の低下が抑えられていたことが推察される。このような状況で、脚ペダリング運動による酸素摂取量、心拍数、主観的運動強度には条件間で有意な差が見られなかった。脚ペダリング運動後の肘屈曲 MVC 時における発揮張力及び SEMG 活動の RMS は、脚ペダリング運動前の値よりも有意に低下していたが、各値の推移に ALK 条件と CON 条件で有意な差は見られなかった。これらの結果から、脚ペダリング運動によって生じる末梢の代謝変化を NaHCO_3 の摂取によって操作しても、非活動部での MVC 時における遠心性指令に影響はないことが推察される。

本研究の成果をまとめると、運動によって末梢で生じた代謝変化は非活動部に対する遠心性指令に影響を及ぼさなかった。本研究の成果から、以下の 2 点が今後の課題として考えられる。

本研究では SEMG 活動から遠心性指令を検討することが前提であったため、非活動部に着目して研究を進めてきた。しかしながら、ヒトの神経調節機構は対象とする部位で異なることが予想される。したがって、筋疲労が末梢の代謝変化を入力とした「防御メカニズム」であることを実証するためには、末梢の代謝変化が起きている筋を対象とした検討をより進める必要がある。しかしながら最初にも述べたように、末梢の代謝変化は筋そのものの電気的特性に大きな影響を及ぼすため、電気生理学の分野で用いられている経頭蓋磁気刺激法 (transcranial magnetic stimulation: TMS) などを応用し、これまでにない画期的な実験プロトコルの作成が必要不可欠であると考えられる。

2 つ目として、本研究の結果からは、運動によって末梢で生じた代謝変化は非活動部に対する遠心性指令に影響を及ぼさなかったと言わざるを得ないが、本研究の 20 分間の脚ペダリング運動を用いた実験では、脚ペダリング運動直後の肘屈曲 MVC 時における発揮張力及び SEMG 活動が脚ペダリング運動前よりも減少していた。20 分間という長い運動によって中枢性疲労が起きていた可能性は除外できないが、末梢の代謝変化が非活動部に対する遠心性指令に求心性信号として作用していた可能性は完全に否定できな

いかかもしれない。実際に、TMS を用いた研究によって、脚で引き起こされた筋疲労が非活動部である第一背側骨間筋の運動誘発電位に影響を及ぼすことが示されている (Takahashi et al. 2011)。本研究では MVC という非常に大きな出力を必要とする方法を用いたので、信号雑音比 (S/N 比) の大きさが NaHCO_3 によってもたらされた小さな差を隠してしまったのかもしれない。

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)

松浦亮太, 平木場浩二, 高橋恭平. 脚ペダリング運動がその後の最大等尺性肘屈曲時における筋力発揮と表面筋電図活動に及ぼす影響. 第 18 回日本運動生理学会, 2010 年 8 月 1 日, 鹿児島大学 (鹿児島県)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

松浦 亮太 (MATSUURA RYOUTA)

九州共立大学・スポーツ科学部・助手

研究者番号: 10551278