

令和元年6月14日現在

機関番号：32689

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2018

課題番号：26750308

研究課題名(和文) 筋収縮制御時の皮質脊髄路の興奮性変化機構の解明と筋疲労が及ぼす影響の検討

研究課題名(英文) Modulations in corticospinal excitability accompanying contraction-mode conversion during joint movements

研究代表者

東原 綾子(Higashihara, Ayako)

早稲田大学・スポーツ科学学術院・助教

研究者番号：90724237

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、手関節運動における筋収縮様式の変化に伴い橈側手根屈筋の皮質脊髄路興奮性がどのように変化するかを明らかにすることを目的とした。対象者は座位にて、手関節掌屈位より重りに抵抗しながら下るす伸張性手関節掌屈動作を開始し、手関節背屈位に達した後に重りを持ち上げる短縮性手関節掌屈動作への転換を素早く行った。動作方向の転換前後に経頭蓋磁気刺激を左大脳皮質一次運動野に与え、右橈側手根屈筋の皮質脊髄路興奮性を評価した。その結果、手関節運動時の筋収縮様式の変化に伴う橈骨手根屈筋の皮質脊髄路興奮性は収縮様式依存性を有し、伸張性収縮期における皮質脊髄路興奮性は抑制性の修飾を受けている可能性が示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

スポーツ活動時に多く発生する「肉離れ」の受傷には、素早い筋収縮の切り替え時に起こる神経筋協調機能の失調が密接に関連していると考えられる。本研究によって、素早い筋収縮制御時における皮質脊髄路興奮性の変調特性が明らかとなり、中枢神経系と筋がどのような機序で協調性を取り合い、筋収縮様式の素早い切り替えを遂行しているのか、その一端が明らかになった。本研究成果は、ヒトの日常動作やスポーツ活動時における中枢神経系の運動制御機構解明において重要な基礎的知見となると期待される。

研究成果の概要(英文)：The present study investigated phasic modulation in corticospinal excitability during wrist joint movements. Participants performed single, rapid wrist movements by resisting and lifting weights connected to a dynamometer through a pulley system. Single transcranial magnetic stimulation was applied at random times before and after wrist movement conversion. The differences between before (LEN phase) and after (CON phase) wrist movement conversion for the corresponding symmetric angles were compared. Current results suggest that during the LEN phase before the wrist movement conversion, the inhibitory component of the corticospinal pathway was relatively higher than that during SHO contractions.

研究分野：スポーツ科学

キーワード：皮質脊髄路興奮性 伸張性収縮 短縮性収縮

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

## 1. 研究開始当初の背景

ヒトの日常動作やスポーツ活動時における円滑な運動は、筋の収縮・弛緩や筋収縮様式(筋の長さが変化せずに収縮する等尺性収縮、筋が短縮しながら張力を発揮する短縮性収縮、筋が伸張されながら張力を発揮する伸張性収縮)の切り替えによって達成され、このときの筋活動は皮質脊髄路興奮性の変調によって調整されている。筋の活動は、脊髄の $\alpha$ 運動ニューロンの発火によって決定される。 $\alpha$ 運動ニューロンは脊髄反射回路や皮質脊髄路などに代表される様々な神経経路を介して末梢神経と中枢神経の入力を受けて活動が調整されている。伸張性収縮中は短縮性収縮中よりも求心性入力が大きくなる(Burke et al., 1978)ことから、脊髄反射回路の興奮性は伸張性収縮中に増大することが考えられるが、H反射は伸張性収縮中のほうが小さい(Sekiguchi et al., 2003)。したがって、伸張性収縮中は $\alpha$ 運動ニューロンプールの興奮性を抑制する修飾がかけられていると考えられている。皮質脊髄路興奮性に収縮様式依存性があることは肘関節屈筋群(Abbruzzese et al., 1994)、およびヒラメ筋(Sekiguchi et al., 2003)において観察され、伸張性収縮中におけるMEPの振幅が短縮性筋収縮中よりも小さくなることが明らかになっている。また、伸張性収縮中はMEP-TMS intensity 曲線の傾きやMEPの最大値が短縮性収縮中よりも小さくなることが報告されている(Sekiguchi et al., 2001; 2003)。このように、収縮様式に依存した収縮筋の皮質脊髄路興奮性変調が存在し、その興奮性修飾は皮質レベルと脊髄レベルで行なわれていると考えられている。

また、筋疲労はスポーツ外傷受傷危険因子の一つである。筋疲労時には、固有受容器が末梢(筋)における代謝的变化、機械的变化を中枢神経系へ求心性入力として送り、中枢神経系が末梢への遠心性出力を変化させる(Lambert et al., 2005)。このことから、筋疲労によって運動遂行時の中枢神経系の興奮性に変化が生じ、このことがスポーツ動作における筋収縮・弛緩の切り替え、あるいは収縮様式の切り替えといった円滑な筋収縮制御機能の失調に何らかの影響を及ぼす可能性がある。このような背景から、円滑な関節運動に貢献する筋収縮様式の切り替え時に皮質脊髄路興奮性がどのように変化するかを明らかにすることが必要であると考えられる。

## 2. 研究の目的

ヒトの運動は筋の収縮・弛緩、あるいは収縮様式の切り替えによって円滑に遂行されている。異なる様式の筋収縮を行う際は、収縮中の筋における皮質脊髄路の興奮性が収縮様式に依存して変化することは明らかになっているが、円滑な関節運動に貢献する筋収縮様式の切り替え時に皮質脊髄路興奮性がどのように変化するかは明らかになっていない。

そこで本研究では、筋収縮制御時の皮質脊髄路興奮性動態を明らかにすることを目的とした。

## 3. 研究の方法

### (1) 対象者

対象者は健康成人男性 12 名  $24.7 \pm 5.5$  歳)であった。

すべての対象者に研究の目的や測定内容を十分説明し、書面において同意を得た。なお、本研究は早稲田大学に帰属する倫理委員会の承認を経て実施した。

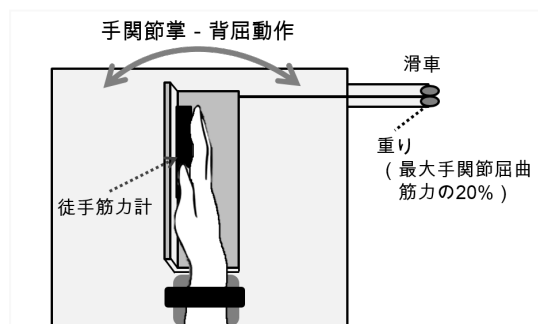


図1. 実験セットアップ  
対象者は座位にて右手部を実験装置に固定し、素早い手関節掌 - 背屈動作を行なう。

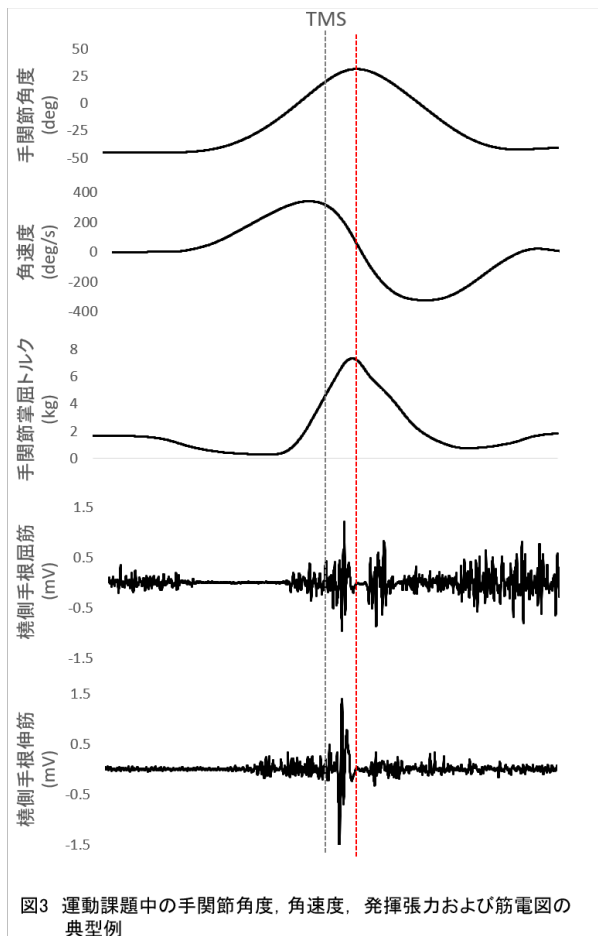
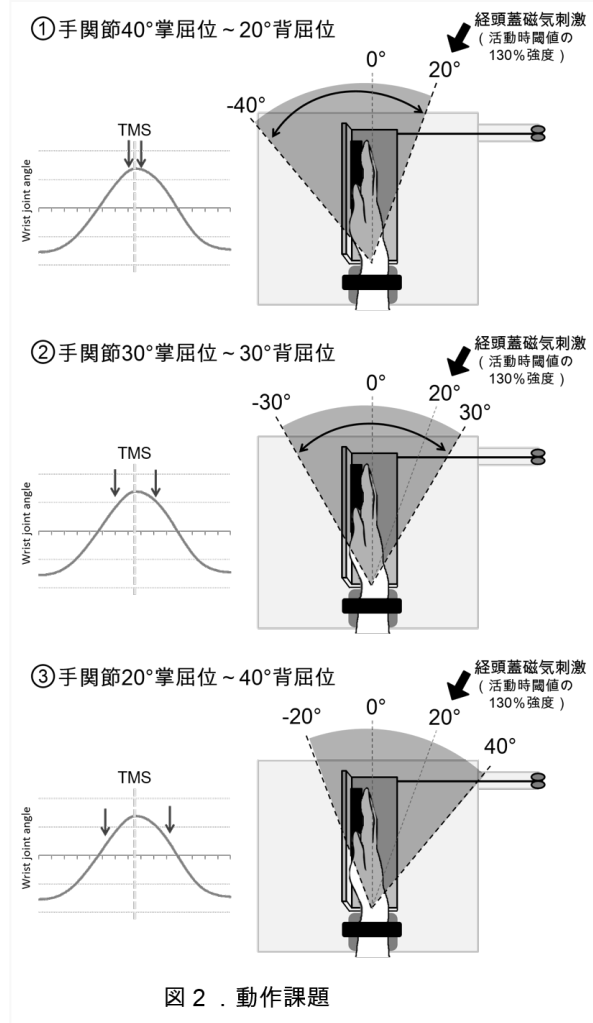
## (2) データ取得方法

対象者は、まず右前腕の橈骨手根屈筋、橈骨手根伸筋に筋電図センサーを貼付し、座位にて右手部を実験装置（手関節運動装置 A0-H16AD）に固定した。右手関節掌屈方向に対し抵抗が生じるように滑車を介して重り（最大手関節屈曲筋力の 20% の重量）を設定した（図 1）。

対象者は 3 つの動作範囲（手関節 40° 掌屈位 ~ 20° 背屈位、手関節 30° 掌屈位 ~ 30° 背屈位、手関節 20° 掌屈位 ~ 40° 背屈位：図 2）において素早い手関節掌 - 背屈動作を一往復行なった。動作中、背屈位 20° を通過した時に経頭蓋磁気刺激（活動時間値の 130% 強度）を左大脳皮質一次運動野に与え、右橈側手根屈筋に貼付した表面筋電図センサーより背景筋電図および運動誘発電位（MEP）を記録した（図 2）。このように経頭蓋磁気刺激が加わる手関節角度を一定とし、課題動作範囲を変化させることで手関節動作方向の切り返し前後の異なるタイミングで誘発電位を得ることができるようにした。尚、課題動作時の手関節角度・角速度、および手関節運動装置に装着された徒手筋力計（MT100、酒井医療）より手関節屈曲トルクを計測した。

課題動作はそれぞれの動作範囲につき 15 回ずつランダムに実施し、さらにそれぞれの動作範囲につき経頭蓋磁気刺激を与えるタイミングを手関節背屈時・掌屈時と 2 種類設けるため、課題動作は計 90 回行った。ただし、疲労の影響を考慮し、全試行を 15 回ずつの 6 ブロックに分け、試行の間には十分な休憩を入れた。

すべての課題動作における MEP を記録した後、経皮的腕神経叢電気刺激によって最大 M 波（M-max）を橈側手根屈筋から 5 回記録した。



### (3) データ解析

本実験において計測したデータは Power Lab. (AD Instruments Japan Inc.) を介して A/D 変換を行い、パーソナルコンピュータに記録し、解析は専用ソフト (LabChart7, AD Instruments, Japan) を用い、オフラインにて行った。

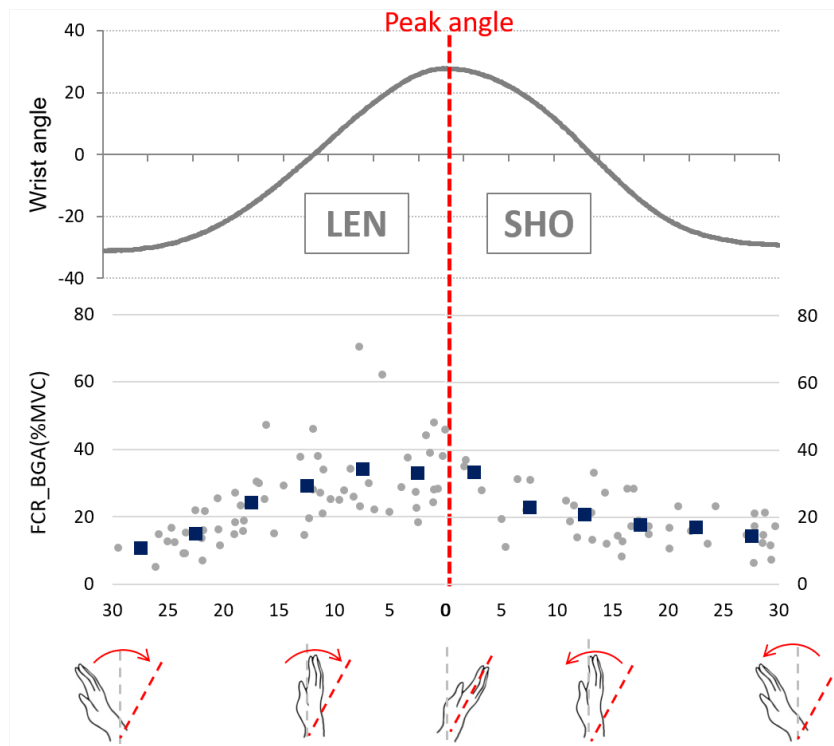


図4 課題動作時の最大背屈角度に対してTMSが与えられた時の角度を基にデータをプロットし、5° 毎の平均値を算出した

手関節角度：実験装置（手関節運動装置 A0-H16AD）に内蔵されているゴニオメータにより手関節角度を計測した。動作方向転換時の手関節角度に対し、経頭蓋磁気刺激が与えられたときの手関節角度の差を算出し、対応する下記データを並び替えた。

手関節角速度：手関節角度と同様に計測し、経頭蓋磁気刺激を与えた時の手関節角速度を算出した。

手関節屈曲トルク：手関節運動装置に装着された徒手筋力計（MT100，酒井医療）を用いて計測し、経頭蓋磁気刺激を与えた時の手関節屈曲トルクを算出した。

背景筋電図：経頭蓋磁気刺激を与える直前 20ms の RMS を算出した。

MEP 振幅(%M-max)：橈側手根屈筋より計測した最大 M 波(M-max)を用いて、動作中の運動誘発電位(MEP)を正規化することによって皮質脊髓路興奮性を評価した。

### 4 . 研究成果

手関節運動方向の転換前後 15° の範囲において、伸張性収縮局面における橈骨手根屈筋の背景筋活動は短縮性収縮局面と比較して有意に高値を示したが( $p < 0.01$ )，このときの MEP 振幅値に有意な変化は認められなかった（図 5）。

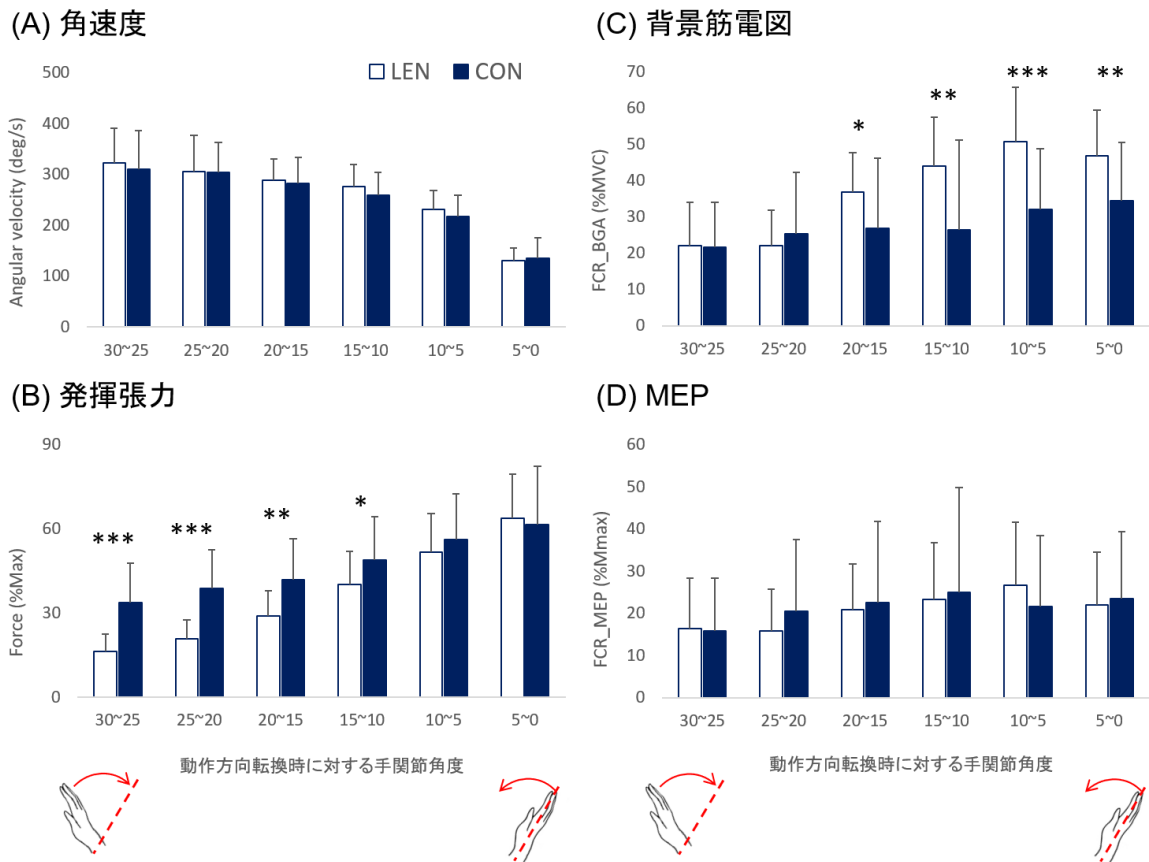


図5 動作方向転換時(0°)に対する手関節角度5°毎の(A)角速度、(B)発揮張力、(C)背景筋電図、(D)MEPの平均値。伸張性収縮局面(LEN:□)および短縮性収縮局面(CON:■)の比較  
\* $p < 0.05$ ; \*\* $p < 0.01$ ; \*\*\* $p < 0.001$

本研究結果より、手関節運動時の筋収縮様式の変化に伴う橈骨手根屈筋の皮質脊髄路興奮性は収縮様式依存性を有し、伸張性収縮期における皮質脊髄路興奮性は抑制性の修飾を受けている可能性が示唆された。

#### <引用文献>

1. Burke, D., Hagbarth, K. E. and Lofstedt, L. (1978). Muscle spindle activity in man during shortening and lengthening contractions. *J Physiol.* 277, 131-142.
2. Sekiguchi, H., Nakazawa, K., & Suzuki, S. (2003). Differences in recruitment properties of the corticospinal pathway between lengthening and shortening contractions in human soleus muscle. *Brain Res*, 977(2), 169-179.
3. Abbruzzese, G., Morena, M., Spadavecchia, L., & Schieppati, M. (1994). Response of arm flexor muscles to magnetic and electrical brain stimulation during shortening and lengthening tasks in man. *J Physiol*, 481 ( Pt 2), 499-507.
4. Sekiguchi, H., Kimura, T., Yamanaka, K., & Nakazawa, K. (2001). Lower excitability of the corticospinal tract to transcranial magnetic stimulation during lengthening contractions in human elbow flexors. *Neurosci Lett*, 312(2), 83-86.

## 5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計0件)

〔学会発表〕(計2件)

1. **Higashihara A**, Nakagawa K, Nakazawa K. Modulations in corticospinal excitability accompanying contraction-mode conversion during joint movements. Society for Neuroscience. Washington DC, USA. 2017.11.
2. **東原綾子**, 中川剣人, 中澤公孝. 手関節運動時の筋収縮様式の変化に伴う皮質脊髄路興奮性の分析. 第72回日本体力医学会学術大会(愛媛). 2017.9.

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

〔その他〕

ホームページ等: なし

## 6 . 研究組織

(1)研究協力者

研究協力者氏名: 中川 剣人

ローマ字氏名: Kento Nakagawa

研究協力者氏名: 中澤 公孝

ローマ字氏名: Kimitaka Nakazawa

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。