

令和 6 年 6 月 10 日現在

機関番号：13301

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20K11443

研究課題名（和文）運動を起因とする神経抑制性作用の機能的意義

研究課題名（英文）Functional significance of exercise-induced neuroinhibitory effects

研究代表者

木村 岳裕（Kimura, Takahiro）

金沢大学・GS教育系・准教授

研究者番号：50632254

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,800,000円

研究成果の概要（和文）：肘関節の運動を起因として、指先の筋肉を神経支配するM1の神経細胞の興奮性が時間特異的に抑制することが確認されているが、機能的意義や神経生理学的な特性が明らかにされていない。本研究で以下のことを示した。個人内での再現性は確認されたが個人間の差も大きいこと。個人間の差についてこれまでの運動経験による差が影響している可能性があること。運動性疲労によって抑制性作用が調整されること。M1の皮質内で生じる抑制性作用は特定のI波成分の影響を強く受ける可能性があること。機能的意義や神経生理学的な特性について今後も継続的に調査をする必要がある。

研究成果の学術的意義や社会的意義

冗長性に富んだ身体運動を作り上げる際に、ヒトの神経系は様々な情報処理をしている。その中で、肘関節の運動時に生じる抑制性作用は、腕の運動協調性に関係しているのではないかと推測している。この研究がさらに発展すれば、腕の運動だけでなく、多くの多関節運動を対象に調査を進めることができる。さらにこの抑制性作用の機能的意義を示すことができれば、スポーツでは新しい運動学習方法の提案、臨床では脳卒中後の運動リハビリテーションの新規方法の開発に貢献できると考えている。

研究成果の概要（英文）：Although it has been confirmed that the excitability of M1 neurons, which innervate the finger muscles, is time-specifically inhibited by elbow joint movements, the functional significance and neurophysiological characteristics of this phenomenon remain unclear. This study demonstrated the following: reproducibility within individuals was confirmed, but significant interindividual differences were observed. These differences might be influenced by previous exercise experiences. Additionally, it was found that inhibitory effects are modulated by motor fatigue and that the inhibitory effects within the M1 cortex are likely strongly influenced by specific I-wave components. Continuous investigation into the functional significance and neurophysiological characteristics is necessary.

研究分野：身体運動科学

キーワード：経頭蓋磁気刺激 身体運動制御 運動協調性 運動誘発電位

## 1. 研究開始当初の背景

ヒトの運動系の神経生理学研究法の 1 つに、非侵襲的な脳刺激法である経頭蓋磁気刺激 (TMS) を一次運動野 (M1) に与え、末梢の筋肉で誘発される収縮を筋電図で記録する方法がある。これは運動誘発電位と呼ばれ、M1 から脊髄、筋肉までの経路 (皮質脊髄路) の興奮性を評価でき、安静時や運動前後、運動中の興奮性変化を調査できる。この TMS を用いて、人差し指の運動の 3ms 後に M1 への TMS を与え小指から運動誘発電位を計測したところ、運動誘発電位の振幅が抑制されることが確認された。これは、ヒトが指の運動をする際にそれぞれの指を独立して動かせるための機能であると示唆された [Sohn and Hallett, *Experimental Brain Research* 2004. ]。

ヒトの動作の中には独立した指の運動だけでなく、ダーツのスローイングに見られる肘関節の素早い伸展と指先の繊細なリリースのような、多関節を用いた運動的な動作もあるが、それを支える神経機能について十分調査されていない。そこで、肘関節と指先の連携動作を支える神経機能を調査するために、肘関節の運動 (上腕筋の筋放電) をトリガとした M1 への TMS を様々な時間 (運動 3 ~ 1,000 ミリ秒後) で与え、複数の筋肉 (手内筋、前腕の筋、上腕の筋; 計 7 箇所) における運動誘発電位の変化を計測した。その結果、筋特異的 (短母指外転筋 (APB)・第一背側骨間筋 (FDI))、時間特異的 (運動の 200 ~ 300 ミリ秒後) な抑制性作用が生じることを確認している (図 1)。さらに脊髄の興奮性を評価するために、TMS での計測と同様のシステムを用いて肘関節の運動をトリガとした尺骨神経への電気刺激により FDI と ADM から F 波を計測したところ、TMS によって抑制が確認された運動の 200 ~ 300 ミリ秒後において F 波では抑制が確認されなかったため、TMS で確認された抑制性作用は脊髄よりも上位中枢で生じている可能性が示唆されている (図 2)。

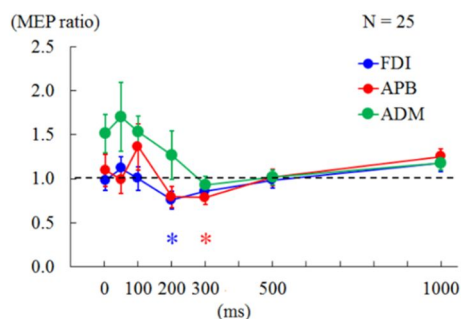


図 1 . 肘関節の運動をトリガとした運動誘発電位の時間ごとの振幅値変化

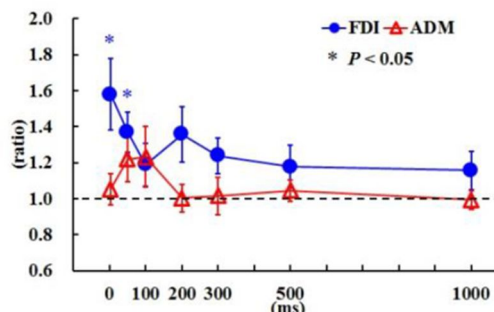


図 2 . 肘関節の運動をトリガとした F 波の時間ごとの振幅値変化

## 2. 研究の目的

肘関節の運動により運動誘発電位の振幅値が抑制されることは確認しているが、同一実験参加者による再現性や運動経験などの個人差、運動性の疲労による影響、TMS による皮質内電流の方向性の差による影響など、神経特性について明らかでないことが多い。様々な条件でのデータを計測することで、「筋・時間特異抑制の神経機能特性と動作に対する機能的意義」を明らかにすることが目的である。

## 3. 研究の方法

同一実験参加者における再現性検証

肘関節運動の 300 ミリ秒後に M1 への TMS を与え、運動誘発電位の計測を行った。計測は日を変えて 2 回実施し、抑制性作用の再現性について検証した。

運動経験者における調査

大学の運動部に所属する学生を対象として、肘関節運動の 300 ミリ秒後に M1 への TMS を与え、運動誘発電位の計測を行った。

### 局所的な運動性疲労による影響

局所的な運動性疲労が神経抑制性作用に対して影響を及ぼすかを検証した。運動課題は、40 % MVC 強度の肘関節屈曲による等尺性運動を課し、上腕二頭筋を疲労困憊に至らせ、疲労の前後で肘関節運動の 300 ミリ秒後に M1 への TMS を与え、運動誘発電位の計測を行った。

### 皮質内電流方向の差による影響

肘関節運動の 300 ミリ秒後に左 M1 へ TMS を与える際に、8 の字コイルの向きを 45 度ずつ 8 方向（前方、前方内側、内側、後方内側、後方、後方外側、外側、前方外側）の条件ごとに計測した。

## 4 . 研究成果

### 同一実験参加者における再現性検証

11 名の実験参加者を対象として、日を変えて 2 回計測を実施することで再現性について検証した。11 名中 8 名は 2 回のうち 1 回抑制性作用が確認され、2 回とも抑制性作用が確認できたのは 11 名中 6 名であった。また 11 名中 3 名は抑制性作用が確認できなかった。個人内での再現性はある程度確認できたが、個人間で抑制性作用の強度や運動誘発電位の振幅値の抑制の有無に差があることも確認できた（図 3）。

肘関節の運動が抑制性作用または促進性作用として働くかは個人内である程度傾向が保たれている可能性があるが、一部の実験参加者では調整作用が大きく変わり得ることが確認できた。この変化が、課題に対する学習効果であるのか、別の要因であるのかは今後の検証課題となる。

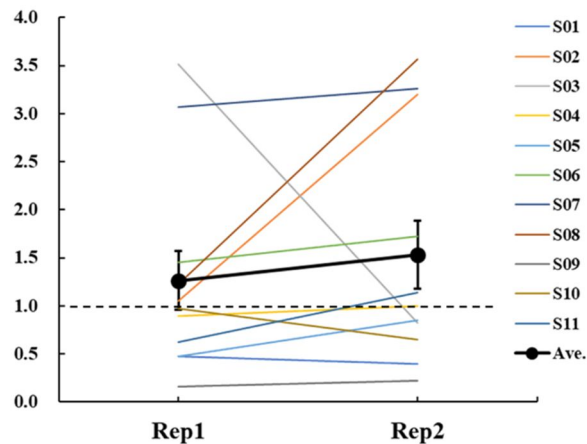


図 3 . 肘関節の運動により生じる FDI 筋への影響の再現性テスト

11 名の再現性計測の結果と全体平均を Ave.として示す。Rep1 は 1 回目の計測、Rep2 は 2 回目の計測での結果である。

### 運動経験者における調査

運動を起因とする神経抑制性作用を確認した結果、これまでに取得した一般実験参加者のデータと比較して抑制性作用は減弱していた。申請者が確認している抑制性作用は運動経験者において脱抑制することが示唆される。今後は運動競技による差の検証を行うことで、抑制性作用の機能的意義を確認する。

### 局所的な運動性疲労による影響

再現性検証で参加した実験参加者を対象に、抑制性作用群 6 名と促進性作用群 3 名に分け、局所的な運動性疲労が神経抑制性作用に対して影響を及ぼすかを検証した。その結果、抑制性作用群では運動直後に脱抑制傾向を示し、促進性作用群では脱促進傾向を示した。筋疲労が抑制性または促進性作用を調整することが確認されたが、今後は等尺性の運動だけでなく等張性の運動での検証を行う必要がある（図 4）。

運動性疲労により、抑制性または促進性に限らず調整が減弱することから、運動性疲労により M1 内の上腕領域からの指先領域への影響が減弱する可能性がある。

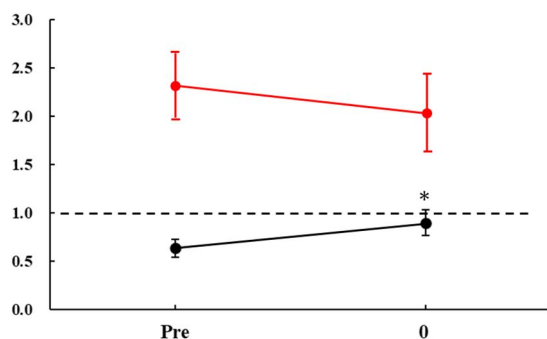


図 4 . 運動性疲労による影響

抑制性作用群は黒丸、促進群は赤丸の結果であり、抑制性作用群は有意な脱抑制が確認された。

### 皮質内電流方向の差による影響

皮質内電流を外側、後方内側にした際に抑制性作用が強化することが確認された。皮質内電流の方向を変えることで、運動誘発電位を構成する成分が異なることが確認されているので、抑制性作用の神経生理学的特性を明らかにするため今後は実験参加者を増やして検証する必要がある（図5）。

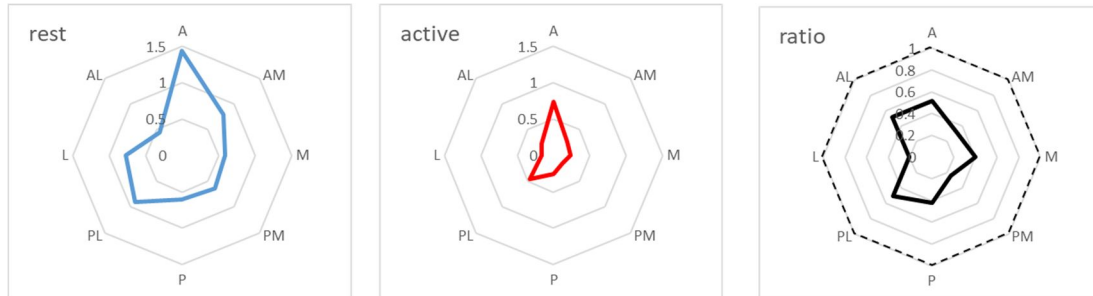


図5 . TMS コイルによる皮質内電流方向ごとの抑制性作用の比較

図の左は安静条件の運動誘発電位の振幅値を示し、中央は運動条件の運動誘発電位の振幅値、右は運動条件の振幅値を安静条件の振幅値で割ったもので、1.0を下回ると抑制性作用を示す。コイルの方向は、前方（A）、前方内側（AM）、内側（M）、後方内側（PM）、後方（P）、後方外側（PL）、外側（L）、前方外側（AL）である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Hironaga Naruhito, Takei Yuichi, Mitsudo Takako, Kimura Takahiro, Hirano Yoji	4. 巻 11
2. 論文標題 Prospects for Future Methodological Development and Application of Magnetoencephalography Devices in Psychiatry	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Frontiers in Psychiatry	6. 最初と最後の頁 1-9
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3389/fpsyt.2020.00863	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 （ローマ字氏名） （研究者番号）	所属研究機関・部局・職 （機関番号）	備考
研究分担者	門田 宏  (Kadota Hiroshi)  (00415366)	高知工科大学・情報学群・准教授    (26402)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------