

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 6 月 18 日現在

機関番号：26402

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2014

課題番号：25750408

研究課題名(和文)片腕・両腕運動の運動制御脳内プロセスの探求

研究課題名(英文)Neural processes for unimanual and bimanual movements

研究代表者

木村 岳裕(Kimura, Takahiro)

高知工科大学・公立大学の部局等・助教

研究者番号：50632254

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：両手運動は右手運動と左手運動を単純に組み合して構成されていると考えられてきた。だが、運動学習を用いた行動科学研究から両手運動の脳内過程は、単純に右手と左手それぞれの片手運動を制御する素過程の組み合わせだけでは構成されておらず、両腕運動特有の脳内過程の存在が示唆された。本研究では片腕運動中と両腕運動中の運動野へ経頭蓋磁気刺激を与え、皮質脊髄路の興奮性を評価することで、電気生理学的に神経プロセスの違いを調査した。その結果、両腕運動中の反対側の腕の運動方向特異的な皮質脊髄路興奮性の影響が確認された。さらに、右腕から左腕には興奮性、左腕から右腕には抑制的に作用し、興奮性への影響の左右差を確認した。

研究成果の概要(英文)：Bimanual movement had been considered to be simply composed right and left manual movements. However, behavioral research of motor learning demonstrated the same arm is supported by partially overlapping neural processes for unimanual and bimanual movements. This results suggested existence of the specific neural processes for bimanual movement. Here, we investigated the neural processes for unimanual and bimanual movement to evaluate corticospinal excitability during unimanual and bimanual force exertion with transcranial magnetic stimulation over motor cortex. We confirmed that contralateral manual force exertion of the particular orientation changed the unimanual corticospinal excitability. Moreover, the changes of corticospinal excitability had the asymmetric property. Right manual force exertion facilitated left manual corticospinal excitability, while left manual force exertion inhibited right manual one.

研究分野：神経生理学

キーワード：経頭蓋磁気刺激 運動誘発電位 運動制御 片手・両手運動

1. 研究開始当初の背景

我々の日常生活において、ダーツを投げるような片腕で行う動作や自動車のハンドルを切るような両腕で行う動作が多数存在する。これまで両腕運動は右腕運動と左腕運動の素過程を単純に組み合わせで構成されていると考えられてきた(右腕運動+左腕運動=両腕運動)。しかし、片腕と両腕での運動学習課題から、両腕運動の脳内過程は右腕と左腕それぞれの片腕運動を制御する素過程の組み合わせだけで構成されておらず(右腕運動+左腕運動≠両腕運動)、両腕運動特有の脳内過程の存在が明らかになった。

2. 研究の目的

行動学指標から明らかにされた、片腕運動と両腕運動の運動制御素過程の違いを、電気生理学的に評価することを目的とする。具体的には、一次運動野へ経頭蓋磁気刺激(TMS)を与えることで、末梢の筋肉から運動誘発電位(MEP)が記録でき、これは皮質脊髄路の興奮性を評価できる。片腕、または両腕運動中に MEP を計測し、片腕と両腕の運動制御脳内プロセスが異なる、という仮説検証をする。

3. 研究の方法

等尺性運動で操作するマニピュランダムに被験者(右利き成人男性 12 名)の両腕を固定し、画面上に表示される筋力発揮によって操作できるカーソルをターゲットに合わせる到達運動を課した。カーソルがターゲットに到達し、筋力発揮が安定したときに一次運動野へ TMS を与え、刺激と対側の上腕二頭筋から MEP を計測した。

(1) 実験 1 として、左腕は常に 315° 方向へ筋力発揮させ、右腕は 8 方向への筋力発揮条件と安静条件(左腕のみの片腕運動)を行わせた。このとき、右一次運動野へ TMS を与え、左腕から MEP と背景筋電図(BGA)を計測した。(図 1)

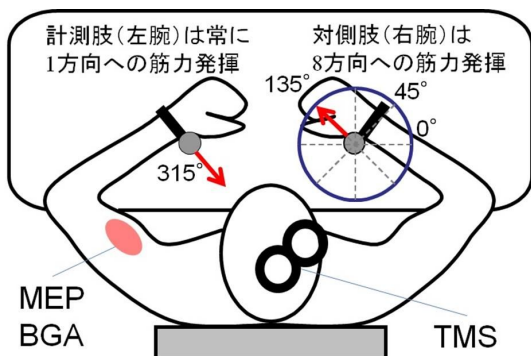


図 1. 両腕筋力発揮中の MEP と BGA 計測

(2) 実験 2 として、実験 1 から左右の腕の役割を入れ替え、右腕から MEP を計測した。このときの右腕は常に 225° 方向へ筋力発揮を行い、左腕は 8 方向への筋力発揮条件と安静条件(右腕のみの片腕運動)を行った。

(3) 予備計測として、本実験である実験 1, 2 の前に、実験 1 では左腕を 315° 方向、実験 2 では右腕を 225° 方向へ 6-30N の範囲で片腕の筋力発揮をさせ、MEP と BGA を計測した。得られた MEP と BGA のデータから被験者毎に回帰式を求め、各実験で計測した BGA に当てはめ MEP の推定値を求めて実測データとの比較用に使用した(図 2)。

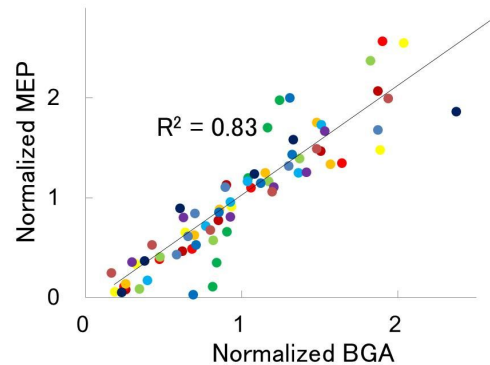


図 2. 左上腕二頭筋の MEP と BGA の相関図  
各被験者を色別で表示。図は全被験者の回帰式。解析には被験者毎の回帰式を用いた。

4. 研究成果

(1) 実験 1 では、右腕の運動が左腕の皮質脊髄路の興奮性に影響があるか、さらに右腕の運動方向特性は存在するか検討した。左上腕二頭筋から計測した MEP は、右腕の運動方向が 135° の両腕運動条件で片腕運動条件よりも増大した(図 3)。

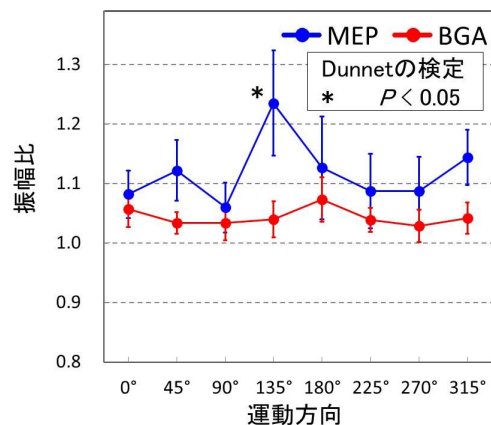


図 3. 両腕筋力発揮中の左腕の MEP と BGA  
右腕安静条件(左腕のみの片腕運動条件)の MEP または BGA の振幅値を基準値として、各両腕運動条件の MEP と BGA を正規化している。Y 軸は振幅比で、1.0 < は片腕運動条件と比べて振幅値の増大を示す。X 軸は右腕の運動方向を示す。135° への右腕筋力発揮は片腕運動条件と比較して MEP を有意に増加させた。

実験 1 で計測された BGA を予備計測から得られた被験者毎の回帰式に当てはめ、推定 MEP を求め実測 MEP と比較した。その結果、

右腕 135° 方向への筋力発揮時は有意に推定 MEP を上回った (図 4)。さらに同様の傾向が、45° 方向への筋力発揮時にも確認された (図 4)。

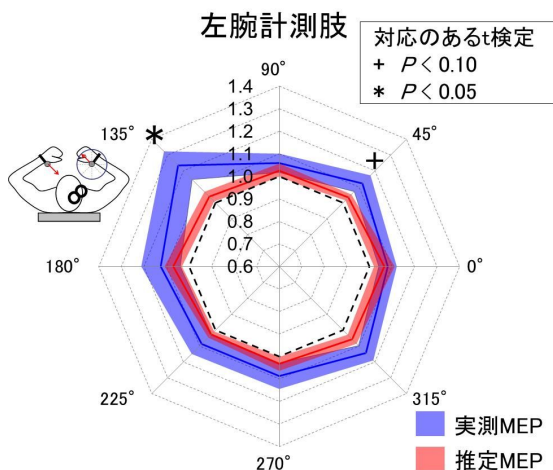


図 4. 右腕の運動方向による左腕の実測 MEP と推定 MEP への影響

右腕安静条件 (左腕のみの片腕運動条件) の MEP を基準値として正規化している。また各両腕運動条件で計測された BGA を予備実験で計測した回帰式に当てはめ求めた推定 MEP を右腕安静条件の推定 MEP を基準として正規化している。青線は実測 MEP の全被験者の平均値、青領域は標準誤差を示し、赤線と赤領域は推定 MEP を同様に示す。点線は 1.0 を示し、 $1.0 <$  は増大、 $1.0 >$  は減少を示す。

(2) 実験 2 では、実験 1 の腕の役割を左右入れ替えて同様に実施した。しかし、MEP や BGA から有意な差は確認できなかった (図 5)。

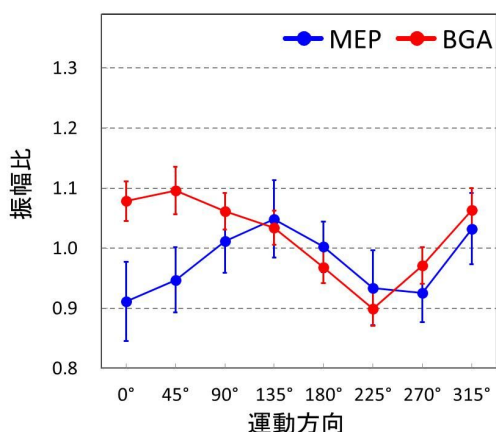


図 5. 両腕筋力発揮中の右腕の MEP と BGA

しかし、BGA からの推定 MEP と実測 MEP の比較において、左腕 45° 方向への筋力発揮時は有意に推定 MEP を下回った。さらに同様の傾向が、0° 方向への筋力発揮時に確認された (図 6)。

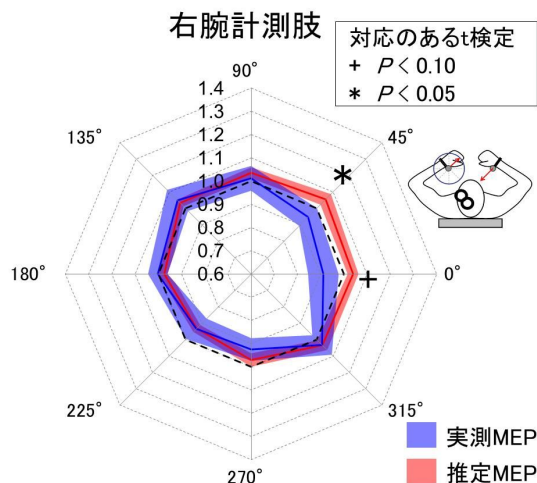


図 6. 左腕の運動方向による右腕の実測 MEP と推定 MEP への影響

実験 1、2 から、特定の方向への右腕筋力発揮は左上腕二頭筋の皮質脊髄路の興奮性を増加させた。一方で、特定の方向への左腕の筋力発揮は、右上腕二頭筋の皮質脊髄路の興奮性を片腕運動条件における筋活動レベルから推定される値よりも有意に下回らせた。この対側上肢への影響は、左右で興奮性と抑制性に分かれ、さらに運動方向が左右で鏡像反転していた。これらの結果は、行動科学的に示唆された、片腕運動と両腕運動の運動制御プロセスの違いを電気生理学的に実証するものである。

今後は半球間の抑制作用の影響や、運動学習課題前後での変化を調査することで、両手の巧緻な運動を支える神経基盤の解明に着手する。

## 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)

### 〔雑誌論文〕(計 2 件)

Urakawa T, Ogata K, Kimura T, Kume Y, Tobimatsu S. Temporal dynamics of the knowledge-mediated visual disambiguation process in humans: An MEG study. *European Journal of Neuroscience*, 2015 Jan;41(2):234-42. doi: 10.1111/ejn.12778. 査読有。

Kimura T, Ogata K, Nakazono H, Tobimatsu S. Repetitive Paired-pulse Transcranial Magnetic Stimulation Over the Visual Cortex Selectively Inhibits Focal Flash VEPs. *Brain Stimulation*, 2014;Mar-Apr 7(2):275-80. doi: 10.1016/j.brs.2013. 査読有

### 〔学会発表〕(計 13 件)

Nozaki D, Yokoi A, Kimura T, Hirashima M, Orban de-Xivry JJ. Artificial manipulation of human motor memories using noninvasive brain stimulation. 1st International Brain

Stimulation Conference. 4<sup>th</sup> March 2015. Singapore.

Nakazono H, Ogata K, Kimura T, Tobimatsu S. Induction of plasticity in the human visual cortex by transcranial alternating current stimulation. 1st International Brain Stimulation Conference. 4<sup>th</sup> March 2015. Singapore

木村岳裕、日高 一郎、野崎大地. Self-triggered TMS による上腕筋-手内在筋間の運動野内側方抑制の調査. 第44回日本臨床神経生理学学会学術大会. 2014年11月21日. 福岡国際会議場(福岡市)

木村岳裕、日高 一郎、門田宏、平島雅也、野崎大地. 最新鋭ロボットアーム TMS システムの開発: 近接した皮質領域間の連携機能調査を目指して. 第44回日本臨床神経生理学学会学術大会. 2014年11月20日. 福岡国際会議場(福岡市)

Nozaki D, Yokoi A, Kimura T, Hirashima M, Urban de-Xivry JJ. Artificial manipulation of human motor memories using noninvasive brain stimulation. Society for Neuroscience 2014. 18<sup>th</sup> November 2014. Washington DC (USA).

Nozaki D, Yokoi A, Kimura T, Hirashima M, Urban de-Xivry JJ. Artificial manipulation of human motor memories. Translational and Computational Motor Control 2014. 14<sup>th</sup> November 2014. Washington DC (USA).

野崎大地、横井惇、木村岳裕、平島雅也、Urban de-Xivry JJ. ヒトの運動記憶を操作する. 第8回 Motor Control 研究会. 2014年8月9日. 筑波大学(つくば市)

木村岳裕、進矢正宏、野崎大地. 右腕は語り役、左腕は聞き役: 両腕運動中の皮質脊髄路興奮性の左右差. 第8回 Motor Control 研究会. 2014年8月8日. 筑波大学(つくば市)

Kimura T, Hidaka I, Kadota H, Hirashima M, Nozaki D. Stimulation of multiple adjacent points of the human brain using a novel robotized TMS system. Annual meeting of Society for Neuroscience. 13<sup>th</sup> December 2013. San Diego (USA)

日高 一郎、浜崎洸太郎、木村岳裕、野崎大地. 視覚探索トレーニングによる周辺視力向上メカニズムの解明. 生体医工学シンポジウム 2013. 2013年9月21日. 九州大学(福岡市)

木村岳裕、日高 一郎、門田宏、平島雅也、野崎大地. 最新鋭ロボットアーム TMS システムの開発と運動野の連携機能の調査. 生体医工学シンポジウム 2013. 2013年9月20日. 九州大学(福岡市)

木村岳裕、日高 一郎、門田宏、平島雅也、野崎大地. 新型ロボットアーム TMS システムを用いた運動野隣接領域連携機能の検討. 第7回 Motor Control 研究. 2013年9月6日. 東京大学(東京都文京区)

Kimura T, Hidaka I, Kadota H, Hirashima M, Nozaki D. A novel robotized TMS system enabling the stimulation of multiple adjacent points of the human brain. The 23rd Annual Meeting Society for the Neural Control of Movement. 17<sup>th</sup> April 2013. San Juan (Puerto Rico)

〔図書〕(計 件)

〔産業財産権〕  
○出願状況(計 件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:  
出願年月日:  
国内外の別:

○取得状況(計 件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:  
出願年月日:  
取得年月日:  
国内外の別:

〔その他〕  
ホームページ等  
なし

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

木村 岳裕 (KIMURA TAKAHIRO)  
高知工科大学・総合研究所・助教  
研究者番号: 50632254

### (2) 研究分担者

( )

研究者番号:

### (3) 連携研究者

( )

研究者番号: