

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和元年6月6日現在

機関番号：32623

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2015～2018

課題番号：15H03062

研究課題名(和文) 両手協調動作の制御における利き手・非利き手の役割に関する研究

研究課題名(英文) Role of dominant and non-dominant hands in the bimanual coordinated movement

研究代表者

山中 健太郎 (YAMANAKA, KENTARO)

昭和女子大学・生活機構研究科・教授

研究者番号：90359662

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は両手協調動作の制御における利き手・非利き手の役割を調べることであった。まず、両手Go/Stop課題中のパフォーマンスとEEGを記録し、両手の選択的動作遂行/抑制の困難さは利き手に依存し、それはパワー減少で示される左右感覚運動皮質の準備状態に関与している可能性を示した。次に、両手力発揮課題遂行中の活動筋からH反射とTMSによるMEPを測定し、非利き手は両手力発揮において利き手の姿勢や力発揮方向に応じて脊髄および大脳皮質レベルで制御されることを示した。最後に、鏡の錯覚現象下での両手到達動作の軌跡を調べ、右利きの非利き手である左手が鏡の錯覚の影響下で制御が困難であることを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

両手を用いる動作では利き手と非利き手をうまく協調させることが重要であり、単純な2つの片手制御の加算ではない、両手固有の制御システムが関与していることが示唆されている。本研究では3つの両手協調動作についての実験系を構築し、動作のパフォーマンスと脳・神経活動記録から利き手・非利き手との関係性を検討した。この結果は、両手協調動作における利き手・非利き手制御のメカニズムを明らかにするのみならず、利き手・非利き手の発育・発達および運動学習との関連、利き手矯正トレーニングや利き手交換のリハビリテーションへの応用などが期待されるものと言えるであろう。

研究成果の概要(英文)：The aim of this study is to investigate the role of dominant and non-dominant hands in the bimanual coordinated movement. First, we recorded performance and EEG in bimanual go/stop task and demonstrated that the difficulty of the bimanual selective motor execution/inhibition is dependent on handedness, which might be associated with the preparatory states, representing -power decrease, at the left and right sensorimotor areas. Second, we measured H-reflex and MEP induced by TMS in the active muscle during bimanual force execution task and indicated non-dominant hand control at the spinal and cortical levels according to dominant hand position and movement direction. Finally, we investigated trajectories of the bilateral reaching under the influence of the mirror illusion and found that right-handed individuals are difficult to control their non-dominant left hand during bimanual reaching under the influence of the mirror illusion.

研究分野：身体教育学

キーワード：利き手 協調動作 コーディネーション 脳波 経頭蓋磁気刺激

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

1. 研究開始当初の背景

巧みな動作や発揮する力・タイミングの正確性が求められる動作を遂行する場合には優位な手(利き手)が存在し、利き手は約9割のヒトにおいて右手である。一方、両手を用いる動作では利き手と非利き手をうまく協調させることが重要であり、単純な2つの片手制御の加算ではない、両手固有の制御システムが関与していることが示唆されている。利き手・非利き手の動作の制御に関わる脳・神経系のメカニズムについては、PET・fMRI・脳波(EEG)・経頭蓋磁気刺激(TMS)などの様々な脳機能計測の手法を用いてなされてきているが、これらの研究は片手動作を用いた利き手・非利き手の反対側半球優位性を検討したものがほとんどで、両手を同時に協調して用いる動作課題において、利き手・非利き手をそれぞれどのように制御しているか、さらにそれが右利きと左利きで異なるか否か、についての詳細は報告されていない。

最近、Yokoi et al. (2014) がマニピュランダムを用いた力場における両手動作の学習課題を用いて、非利き手が利き手に応じて柔軟に対応し調節する能力がある可能性を報告した。これは、極端に言えば両手を協調させて動かす場合には利き手の動作に応じた非利き手の微妙な調節こそが重要であり、左右を逆にすると両手協調動作がうまくできないのは利き手が非利き手に必要な柔軟な調節という役割を担うことが難しいため、という可能性を示唆していた。それゆえ、左右の手を同時に協調させて用いる動作課題を遂行する際の、動作のパフォーマンスと脳・神経活動を記録し、それが利き手・非利き手とどう関係するかを明らかにすることが重要であると考えた。

2. 研究の目的

こうした背景から本研究では両手協調動作を用いて、動作のパフォーマンスと脳・神経活動を記録する3つの実験パラダイムを構築して両手協調動作における利き手・非利き手制御のメカニズムを検討することを目的とした。

まず実験1として、右利き・左利きのヒトが片手および両手での反応遂行/抑制課題を遂行しそのパフォーマンスとEEGを記録し、利き手・非利き手との関係から検討した。次に実験2として、右利きのヒトが左右の手の姿勢と力発揮方向が異なる両手力発揮課題を遂行中にH反射とTMSを行って生じる運動誘発電位(motor evoked potential: MEP)を測定し、動作を制御する運動出力経路における脊髄および大脳皮質レベルでの制御メカニズムを検討した。さらに実験3として、右利き・左利きのヒトが鏡の錯覚現象下において片手もしくは両手到達動作課題を遂行中の動作の軌跡を記録し、利き手・非利き手との関係から検討した。

これらの実験パラダイムの構築とその結果は、両手協調動作における利き手・非利き手制御のメカニズムのみならず、利き手・非利き手の発育・発達および運動学習との関連、利き手矯正トレーニングや利き手交換のリハビリテーションへの応用などが期待されるものであると考えられた。

3. 研究の方法

参加者はすべて同意を得た健常成人で、実験1は右利き16名(女性10名・男性6名)・左利き16名(女性10名・男性6名)、実験2は右利き男性15名、実験3は右利き女性6名・左利き女性6名であった。

実験1では片手・両手Go/Stop課題(図1)を遂行中のパフォーマンスとEEGを記録し、そ

れらを利き手・非利き手の関係性から評価した。両手Go/Stop課題は研究代表者が先行研究で用いた片手Go/Stop課題(Yamanaka et al. 2013)を両手用にしたものを用いた。パフォーマンス評価指標として停止信号反応時間(stop-signal reaction time: SSRT)を、片手課題・両手課題で両手同じ動作の場合・両手課題で左右の手で遂行と停止を別々に行う場合、でそれぞれ算出した。EEGはアクティブ・ドライ電極対応の脳波計測システム(g.USBamp/g.SAHARA; g.tec社製)を用いて、国際10-20法の19か所から記録した。本研究ではとくに加算平均波形における準備電位(readiness potential)とパワー減少( $\alpha$ -band power decreases)の左右感覚運動皮質(C3/C4)間の差異を、右利き・左利きで比較した。

実験2では両手の姿勢と力発揮方向が異なる両手力発揮課題(図2)を遂行中

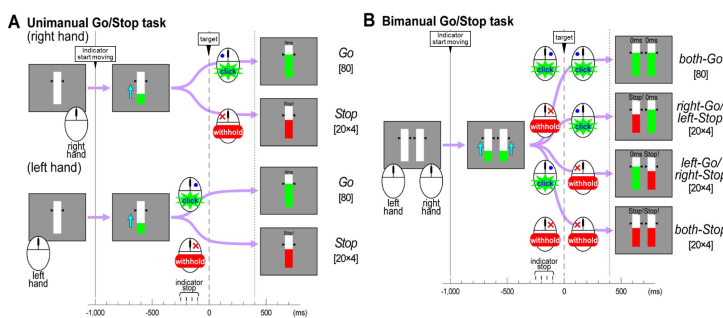


図1 片手・両手Go/Stop課題(実験1)

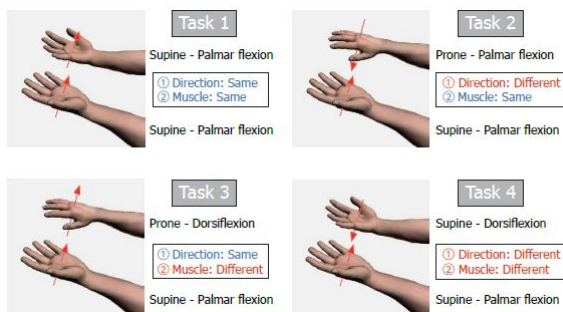


図2 両手力発揮課題(実験2)

の脊髄および大脳皮質による制御メカニズムを検討した。被験筋はすべて左手橈骨側手根屈筋 (flexor carpi radialis: FCR) とし、左手は常に回外位・掌屈動作で統一した。右手の姿勢と動作方向を、回外位・掌屈動作 (Task 1)、回内位・掌屈動作 (Task 2)、回内位・背屈動作 (Task 3)、回外位・背屈動作 (Task 4) とした。左右の手は固定して同時に 10% MVC での等尺性収縮を行った。FCR の H 反射は正中神経電気刺激を、MEP は右運動皮質上への TMS (Magstim200; Magstim 社製) を用いて誘発した。刺激強度は左手 FCR を 10% MVC で等尺性収縮させ、右手 FCR は安静状態においておよそ 1mV、0.5mV の振幅でそれぞれ誘発できる強度とした。

実験 3 では、鏡の錯覚現象下において片手もしくは両手到達動作課題を遂行中の動作の軌跡を利き手・非利き手の関係性から評価した。鏡の錯覚現象とは、身体の正中矢状面に立てた鏡の両側に両手を置き、片側から鏡の反射面を覗き見ることで、鏡に映った鏡の手前側の手が、鏡の背後にある手と錯覚する現象である。この環境で鏡の手前側の手を移動させると、鏡の背後の手も移動したと錯覚し、背後の手の到達動作が錯覚の大きさに応じて変化する (Holmes et al. 2004)。この状況で鏡の背後の片手のみ・手前の手も含めて両手同時に到達動作を行いその軌跡と最終到達点を、右利き・左利きで比較した。

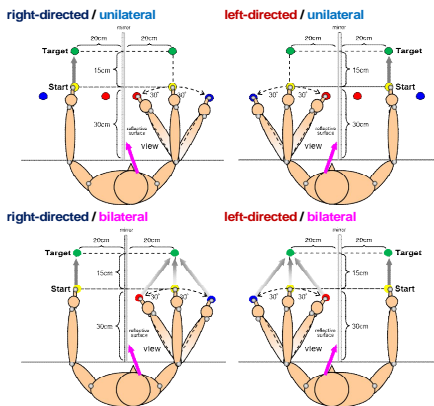


図 3 両手到達動作課題 (実験 3)

#### 4. 研究成果

まず実験 1 の結果、課題遂行のパフォーマンス (図 4) は、利き手によらず片手課題では右手・左手で差はなかったが、両手課題では左右で遂行と停止を別々に行う場合に SSRT が極端に長くなる傾向があった。さらに右利きは右停止・左遂行が、左利きは左停止・右遂行の SSRT が長くなり、利き手を停止させたときに非利き手で動作を遂行するほうがより困難であることが示唆された。次に準備電位 (図 5) については、その左右差に課題の有意な主効果が認められたが、利き手の有意な主効果はなく右利き・左利きによる違いはみられなかった。一方、 $\alpha$  パワー減少 (図 6) については、その左右差に課題と利き手の有意な主効果が確認された。これは、 $\alpha$  パワー減少の左右差が課題と利き手によって異なり、課題に用いる手が、片手で右手・両手・片手で左手の順に C4-C3 の値が小さくなるが、全体に右利きで大きく左利きは小さい傾向があった。これは右手を動かすときは左半球、左手を動かすときは右半球の感覚運動皮質が準備状態になるが、全体に右利きは左半球、左利きは右半球の感覚運動皮質の準備状態が高くなることを示していた。実験 1 の結果から、左右の手を別々に動作の遂行と停止を行うこと、とくに利き手の動作を停止して非利き手の動作を遂行させることが困難であり、それは準備電位ではなく  $\alpha$  パワー減少に反映される感覚運動皮質の準備状態が関係している可能性を示唆していた。

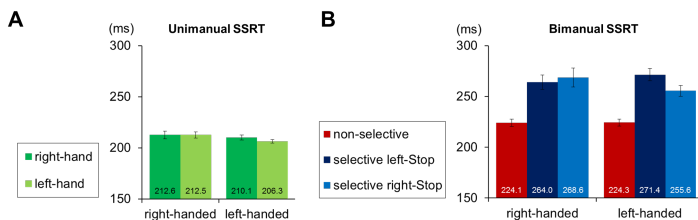


図 4 実験 1 の結果 (Go/Stop 課題のパフォーマンス)  
A. 片手 Go/Stop 課題 B. 両手 Go/Stop 課題

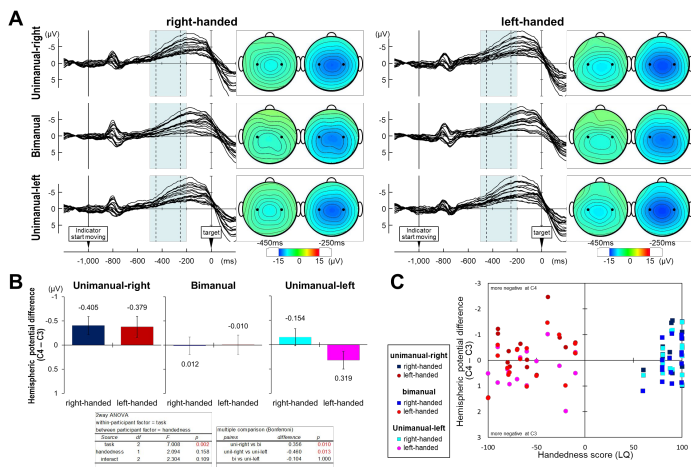


図 5 実験 1 の結果 (準備電位) A. 準備電位の波形と分布 B. 準備電位の左右差 C. 準備電位と利き手スコアの関係

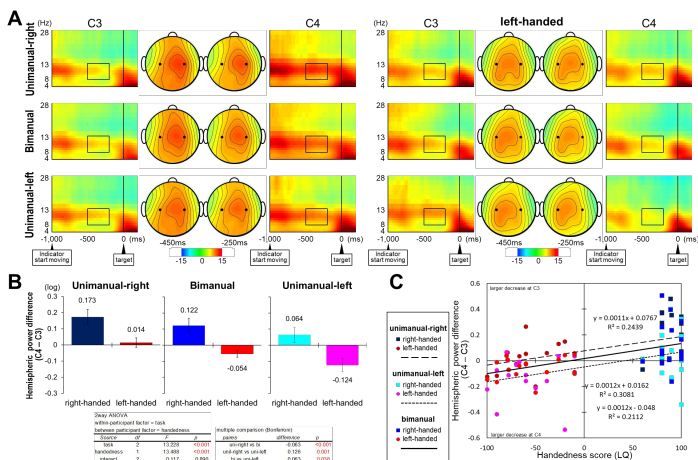


図 6 実験 1 の結果 ( $\alpha$  パワー減少) A. パワーの時間・周波数マップと分布 B.  $\alpha$  パワーの左右差 C.  $\alpha$  パワーと利き手スコアの関係

次に実験 2 の結果、非利き手（左手）の FCR は同レベルでの等尺性筋収縮中にもかかわらず、利き手（右手）の姿勢と動作方向によって H 反射と MEP は異なる変容を受けていた。具体的には、H 反射は姿勢と力発揮方向の影響を強く受け、反対側の手が安静のときと比較して背屈動作をするときにより促通される傾向があった。また姿勢の影響も受け、反対側の手が安静のときと比較して回外位で促通される傾向があった。一方、MEP は姿勢の影響を受け、反対側の手が安静のときと比較して回内位で促通し回外位で抑制される傾向があった。すなわち、同一動作・同一レベルでの筋収縮を行っている非利き手において、反対側の利き手の姿勢と動作の方向により脊髄運動ニューロンと皮質脊髄路の興奮性は異なる調節がなされていることが明らかになった。

実験 2 の結果から、両手力発揮課題において利き手の姿勢や動作を変えたときに非利き手の力発揮は、脊髄レベルでは主に反対側の動作と姿勢による自動的な調整がなされ、それを補償する調整が大脳皮質レベルでなされており、これが非利き手の利き手に合わせた無意識の調節の背後にあるメカニズムの一端である可能性が示唆された。

最後に実験 3 の結果、先行研究と同様に到達動作は鏡の錯覚現象によって左右に偏るが、偏りは片手動作より両手動作のほうが大きく、鏡の裏側の手を動かすだけでなく手前側の手を同時に動かすとき錯覚の影響が大きくなることを示していた。これは逆に、両手を同時に動かすときのほうが反対側の手の動作の影響を受けやすいとも言えた。利き手の影響は、左手の到達動作のみで有意であった。これは、右利きが鏡の裏側の非利き手（左手）を動かすときは左利きが利き手（左手）を動かすときと比較して鏡の錯覚の影響が大きいことを示していた。一方で、右手の到達動作で利き手の影響は有意ではなく、左利きが非利き手（右手）を動かすときと右利きが利き手（右手）を動かすときで鏡の錯覚の影響は変わらないことを示していた。

実験 3 の結果から、到達動作においても、右利きの非利き手（左手）が特に錯覚と反対側の動作の影響を受けやすいことが示唆された。

これらの結果は、両手協調動作における利き手・非利き手制御のメカニズムの一端を明らかにするものであった。さらに、本研究で構築した実験系を用いることで今後、利き手・非利き手の発育・発達および運動学習との関連、利き手制御と脳の側性の関連を、健常者だけでなく様々な障害の観点から検討できると考えられる。その先には、利き手矯正トレーニングや利き手交換のリハビリテーションへの応用などが期待されるであろう。

## 5 . 主な発表論文等

[雑誌論文](計 2 件)

Ohmatsu S, Takamura Y, Fujii S, Tanaka K, Morioka S, Kawashima N. **Visual search pattern during free viewing of horizontally flipped images in patients with unilateral spatial neglect.** *Cortex* 113: 83-95, 2019

Takamura Y, Imanishi M, Osaka M, Ohmatsu S, Tominaga T, Yamanaka K, Morioka S, Kawashima N. **Intentional gaze shift to neglected space: a compensatory strategy during recovery after unilateral spatial neglect.** *Brain* 139: 2970-2982, 2016

[学会発表](計 8 件)

Yamanaka K. **No-go specific EEG activities during response inhibition training associated specifically with subsequent chocolate eating behavior.** *Society for Neuroscience 48th Annual Meeting, San Diego, California, USA, Nov.7. 2018*

Yamanaka K. **Cortical EEG dynamics during reaching movement under the influence of the**

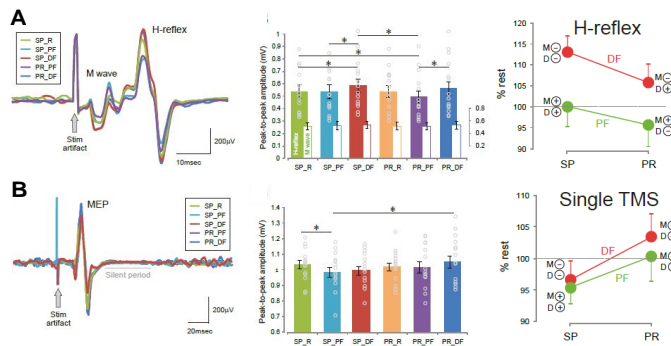


図 7 実験 2 の結果 A. H 反射 B. TMS による MEP

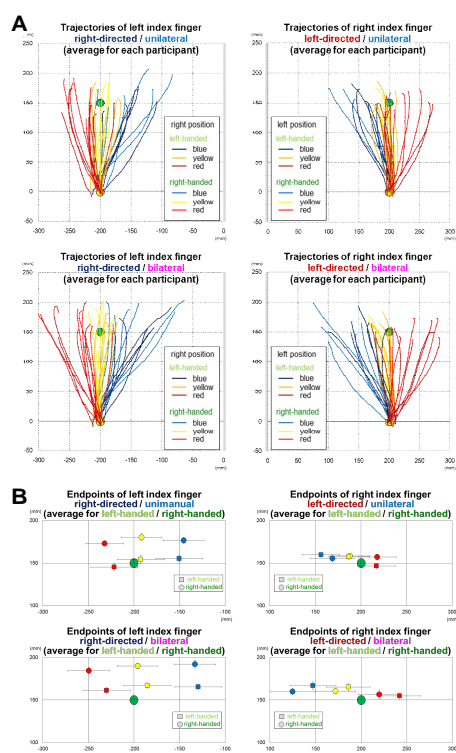


図 8 実験 3 の結果 A. 被験者ごとの到達動作の軌跡 B. 右利き・左利きの最終到達点

**mirror illusion.** *Society for Neuroscience 47th Annual Meeting, Washington DC, USA, Nov.13. 2017*

Yamanaka K. **Participant's strategy of response execution/inhibition training linked with chocolate image affects subsequent chocolate intake.** 第40回 日本神経科学大会, 幕張メッセ, 千葉市(千葉県), 2017年7月22日

Yamanaka K. **Effect of handedness on unilateral and bilateral reaching movements under the influence of the mirror illusion.** *Society for Neuroscience 46th Annual Meeting, San Diego, California, USA, Nov.12. 2016*

Kawashima N, Takamura Y, Ohmatsu S, Abe H, Ikuno K, Tanaka K, Manji A, Tominaga T, Morioka S. **Dissociative evaluation of neglect behavior and attention deficit based on the spatial distribution of reaction time in patients with unilateral spatial neglect.** *Society for Neuroscience 46th Annual Meeting, San Diego, California, USA, Nov.15. 2016*

Yamanaka K. **Handedness-related differences in EEG activities during preparation for bimanual selective execution/inhibition task.** 第39回 日本神経科学大会, パシフィコ横浜, 横浜市(神奈川県) 2016年7月21日

Ishikawa F, Yamanaka K. **Performance and ERP in the Iowa Gambling task is related to body weight and daily eating behavior in Japanese healthy young females.** *Society for Neuroscience 45th Annual Meeting, Chicago, Illinois, USA, Oct. 21. 2015*

Yamanaka K. Ishikawa F. **Cortical responses and autonomic balance related to risky decision-making in the Iowa Gambling task.** 第38回 日本神経科学大会, 神戸国際会議場, 神戸市(兵庫県) 2015年7月30日

〔その他〕

ホームページ等

## 6. 研究組織

### (1)研究分担者

研究分担者氏名：河島 則天

ローマ字氏名：KAWASHIMA NORITAKA

所属研究機関名：国立障害者リハビリテーションセンター研究所

部局名：運動機能系障害研究部

職名：室長

研究者番号(8桁)：30392195

### (2)研究協力者 なし

※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。