

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 5 月 15 日現在

機関番号：10101

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2017

課題番号：16K12440

研究課題名(和文) 脳内身体マップに基づく手指運動能力の個人差の解明および介入法の開発

研究課題名(英文) Investigation of finger movement abilities based on individual cortical sensorimotor map and manipulation with neurofeedback.

研究代表者

小川 健二(Ogawa, Kenji)

北海道大学・文学研究科・准教授

研究者番号：50586021

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は手指運動能力に関する神経基盤の検討を行った。健常成人を対象にし、示指、中指、環指、小指を使ったタッピングを実行してもらい、脳活動を機能的磁気共鳴画像法(fMRI)で計測した。空間的なボクセル活動パターンを解析した結果、一次運動野の活動を使ってそれぞれの指パターンを識別できた。さらに参加者のピアノ練習経験の有無に応じ、タッピング運動中の指の神経表現が異なっていることが示された。またニューロフィードバックを使って一次運動野の活動レベルを視覚提示するシステムを開発し、運動イメージ化を用いて一次運動野の活動を上げることにより、手指運動のパフォーマンスが促進される可能性を示した。

研究成果の概要(英文)：This study aimed to investigate the relationship between individual finger movement abilities and their cortical sensorimotor map. In our experiment, participants performed individual finger-tapping of four digits (index, middle, ring, and little fingers), which was visually cued by a single Japanese character. Synchronized with the timing of this visual cue, the subjects made repeated tapping movements with the same finger 12 times, once for every second. Our results showed that the individual piano experience affects the multi-voxel pattern activities in the primary sensorimotor cortex. Furthermore, the neurofeedback was used to increase the activities in the primary sensorimotor cortex to enhance the motor learning.

研究分野：認知神経科学

キーワード：感覚運動制御 脳機能イメージング

1. 研究開始当初の背景

私たちの身体部位は、大脳皮質の一次運動野/体性感覚野上で2次元のマップ(ホムンクルス)として表現されていることが知られている。この脳内の身体マップは固定化されたものではなく、学習や障害等によって可塑的に変化することも知られている。例えば、事故で腕を失ったヒトでは、マップ上で失った身体部位に対応する場所が消失し、残存する部位によって侵食されることも明らかになっている(Flor et al., 1995, Nature)。また手指運動に熟達した被験者群(例えばピアニストやギタリスト等)では、熟達した技能に対応する脳内身体マップの拡大が見られる点も示されている(e.g., Elbert et al., 1995, Science)。

このように脳内身体マップの変化については、患者や熟達者を対象とした知見は得られてきているが、指などの脳の領域全体の広さといったおおまかな指標に関する、かつ断片的な知見にとどまっている。本研究は、機能的磁気共鳴画像(fMRI)で計測した脳活動パターンの違いに着目し、指毎の詳細な神経表象についての検討を行った。

2. 研究の目的

本研究はヒトの手指運動に焦点をあて、脳機能イメージングを用いて、脳内身体マップに基づく指運動能力の個人差の検討を行った。具体的には、まず(1)運動経験(熟達度)に応じた運動能力の個人差の解明、さらに(2)運動野を対象としたニューロフィードバックによる運動学習の促進を試みた。具体的には、(1) fMRI で計測した脳活動パターンの違いを基に脳内身体マップについて検討するとともに、運動の熟達さによる影響についてピアノ演奏の熟達者群と未経験者群とを比較することで調べた。次に、(2)ニューロフィードバックを使って運動野の活動を変調させることで、効果的な運動学習トレーニングへの応用を試みた。

3. 研究の方法

(1) 運動経験の個人差に基づく指の神経表象の変化の検討

実験参加者は健常成人40名であり、うち20名はピアノの経験者(9-26年)、他20名は未経験者であった。実験ではスクリーン上の指の指示に従って示指、中指、環指、小指をそれぞれ使ったタッピング運動を1Hzで繰返し12回ずつ実行してもらった(図1)。その運動中の脳活動を、fMRI を使って計測した。活動パターンに対して、マルチボクセルパターン分析を用い、被験者がどの指を動かしているかを識別可能かを検討した。さらに指の識別精度が個人のピアノ経験によって影響を受けるかを検討した。

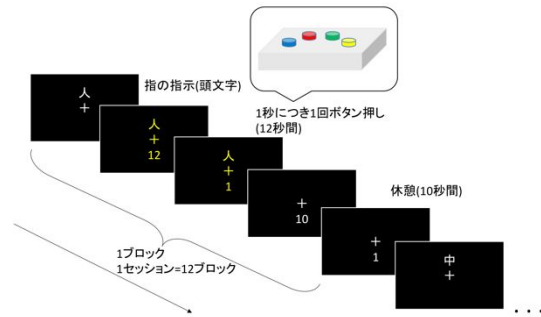


図1：課題の流れ

(2) ニューロフィードバックによる運動学習の促進

健常成人26名(女性12名、男性14名、平均年齢23.1歳、右利き)が参加し、参加者を実験群(13名)と統制群(13名)に分けた。実験の順番は、1セッションの視覚運動課題の後、4セッションのニューロフィードバック課題を行った。最後に1セッションの視覚運動課題を行った。

視覚運動課題では、利き手でジョイスティックを操作し、スクリーン上をランダムに動いているターゲットをカーソルで追跡する課題を用いた(Ogawa & Imamizu, 2013, J Neurosci)。学習成績の指標として、ターゲットとカーソルの距離を運動誤差とした。

ニューロフィードバック課題では、参加者は視覚運動課題で行った運動をイメージした。その時の一次運動野(M1)の活動のフィードバックスコアが提示され、そのスコアを上昇させる様に教示された(図2)。実験群には参加者自身のM1の活動をフィードバックし、統制群には別の実験群の被験者のM1の活動を偽のフィードバックとして提示した。

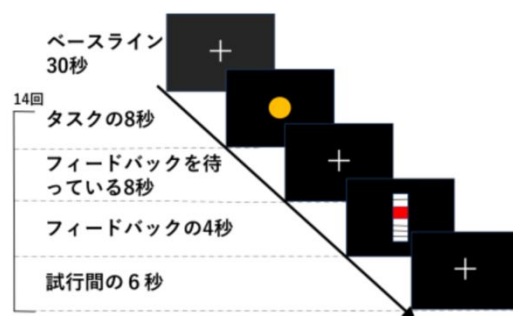


図2：課題の流れ

4. 研究成果

(1) タッピング運動中の脳活動の空間的なボクセル活動パターンを解析した結果、一次運動野の活動を使って4本それぞれの指パターンを識別できた、すなわち被験者がどの指を動かしているかを脳活動パターンから識

別することが可能であった。また運動実行時のみならず、実際の運動実行をとみなさないイメージ化のみでも指パターンを識別することが可能なことが示され、このことから一次運動野における運動実行時の指マップが、個々の指運動のイメージ化にもかかわっている点が示された。

次に指運動スキルの個人差について調べたために、ピアノ経験者群と未経験者（統制）群で識別精度を比較した結果、経験者群で未経験者群より有意に低い識別精度が得られた（図3）。このことは、参加者のこれまでのピアノ練習経験の違いに応じて、タッピング運動中の一次運動野の指の神経表現が異なっていることを示唆する。

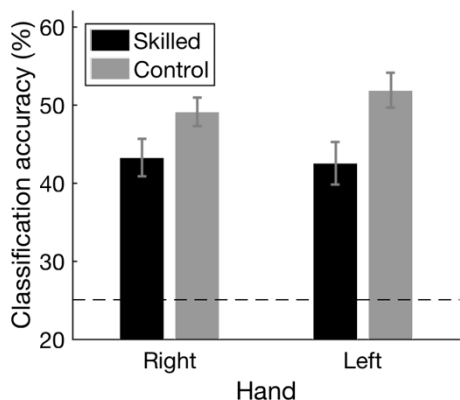


図3：指運動の識別精度
 (Skilled：経験者群、Control：統制群；破線はチャンスレベル)

(2) ニューロフィードバック中の M1 の脳活動を、運動イメージ化によって増加させることが可能であった(図4)。ニューロフィードバック・スコアに対し、実験群と統制群それぞれでブロック(タスク・レスト)とセッション数(4)の2要因分散分析を行った結果、両群でタスクでレストよりスコアが高かった。この結果は、運動イメージによって M1 の活動を増加させる事ができたことを示す。さらに統制群のみでセッション数の有意な単純主効果が認められ、セッション2でセッション4よりスコアが高かった。この結果は、偽のNFB がタスク時の脳活動の減少を招いた可能性を示す。

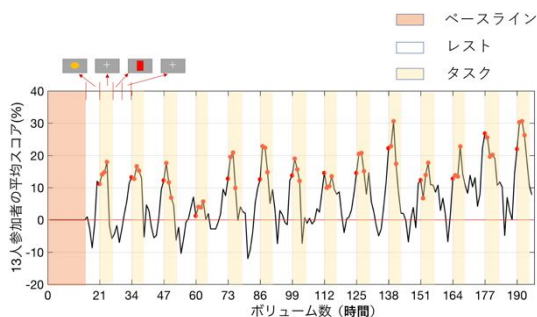


図4：ニューロフィードバック中の一次運動野の活動時系列の平均(n=13)

また、ニューロフィードバック前後の視覚運動課題の誤差とニューロフィードバック・スコアのタスクとレストの差の間で相関を求めた結果、実験群のみで有意な正の相関が見られたが、統制群では見られなかった。この結果は、実験群でニューロフィードバック・スコアが高い参加者ほど、学習効果が高かった事を示す。本結果から、運動イメージを通して M1 の活動を増加させることができ、運動のパフォーマンスの向上も見られた。よってニューロフィードバックによる M1 の制御と視覚運動課題の学習促進との関連性が示唆された。

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1件)

Ogawa K., & Imai F. (2016) Hand-independent representation of tool-use pantomimes in the left anterior intraparietal cortex, *Experimental Brain Research*, 234(12), 3677-3687. 【査読あり】

[学会発表](計9件)

Ogawa K., Imai F., Shinozaki J., Nagahama H., Sakurai Y., & Nagamine T. (2017) Role of the precentral cortex for kinesthetic motor imagery: fMRI multivariate decoding of finger movements. 47th annual meeting of the Society for Neuroscience. [November 11-15, Washington D.C., USA]

楊惠翔・小川健二 (2017) ニューロフィードバックが視覚運動学習に与える影響. 北海道心理学会第64会大会 [10月28日, 帯広市とかちプラザ]

Imai F., Ogawa K., Nihashi J., & Abe J. (2017) Neural representational similarity of individual finger movements: the study including a skilled piano player who suffered from focal hand dystonia. 6th Conference of the Asia-Pacific Society for the Cognitive Sciences of Music (APSCOM) [August 25-27, Kyoto, Japan]

小川健二 (2016) fMRI を使った運動スキルの脳内基盤の検討. 第17回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 [12月16日, 札幌コンベンションセンター]

小川健二 (2016) 心理学研究のツールとしての脳イメージングの最前線. 日本イメージ心理学学会第17回大会 [11月26日, 岩手大学]

小川健二 (2016) 認知神経科学の諸問題に対する「プロジェクションサイエンス」

からの検討. オーガナイズドセッション
“プロジェクション科学の創出をめざして”日本認知科学会第 33 回大会 [9 月 16
日, 北海道大学]

小川健二 (2016) 脳内表象を調べるツ
ールとしての fMRI. 日本認知科学会サマ
ースクール [9 月 1 日, 箱根湯本富士屋ホ
テル, 神奈川県箱根市]

小川健二 (2016) 脳計測における個人差
の扱い. 日本認知心理学会ベーシックセ
ミナー [6 月 17 日, 広島大学]

小川健二 (2016) fMRI デコーディング
による運動学習の検討. 札幌医科大学医
学部 神経科学講座セミナー [4 月 12 日,
札幌医科大学]

〔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

<http://cogpsy.let.hokudai.ac.jp/~ogawa-lab/>

6. 研究組織

(1)研究代表者

小川 健二 (OGAWA KENJI)

北海道大学・大学院文学研究科・准教授

研究者番号：50586021

(2)研究分担者

今井 史 (IMAI FUMIHITO)

北海道大学・大学院文学研究科・学術研究
員

研究者番号：40758413

(3)連携研究者

なし

(4)研究協力者

なし