

# 運動実行と筋感覚運動イメージに共通した 一次運動野の神経表象

○今井 史<sup>1</sup> (会員)・篠崎 淳<sup>2</sup>・齊藤 秀和<sup>2</sup>・長濱 宏史<sup>2</sup>・櫻井 佑樹<sup>2</sup>・長峯 隆<sup>2</sup>・小川 健二<sup>1</sup>  
(<sup>1</sup>北海道大学 <sup>2</sup>札幌医科大学)  
筋感覚運動イメージ, 一次運動野, fMRI

本研究では MRI を用い、一次運動野が運動の実行とイメージに共通した神経表象を有するかを検証した。身体を動かしたり、筋活動を生じさせたりせずに身体運動を心的にシミュレーションすることを運動イメージと呼ぶ (e.g., Grush, 2004)。先行研究の成果により、運動イメージは脳の高次運動関連領域を活動させることが認められつつあるが、一次運動野が運動イメージに関与するか否かはよくわかっていなかった (e.g., Hanakawa, 2016)。しかし、マルチボクセルパタン分析 (Kriegeskorte et al., 2008) を用いた近年の研究によって、運動イメージ中の一次運動野における活動の空間的パターンに基づき、異なる運動イメージ同士の弁別ができることが報告された (Pilgramm et al., 2016; Zabicki et al., 2017)。このことは、一次運動野が運動イメージの内容の違いを反映するような神経表象を有することを示唆する。Zabicki et al はさらに、身体運動を実行した際の一次運動野の活動パターンに基づき、同じ運動をイメージした際の一次運動野の活動パターンを弁別できるか、また、その逆向きの弁別は可能かという、運動実行とイメージに共通の神経表象の検討も行った。だが、モダリティをまたいだ弁別は成功せず、神経表象の共通性は示されなかった。

ただし、Zabicki et al. (2017) の研究成果から一次運動野には運動実行と運動イメージに共通の神経表象が存在しないとみなすのは早計である。彼らが課題に用いた運動は、「ターゲットへの指差し」、「クッションを掴む」、「手を開閉させる」の 3 種であり、これらは空間性、ターゲットの有無など様々な点で異なると指摘されている。さらに、ある脳領域でどのようなタイプの情報が表象されるかを検討するためには、それぞれの要素を統制すべきだと述べられている (Pilgramm et al., 2016)。

そこで本研究では、実行およびイメージされる運動を右手の人差し指から小指までのうちいずれか一つを動かすという単指タッピングに統一し、改めて一次運動野における運動実行とイメージ間に共

通した神経表象の有無を検討する。今回の課題に用いられる運動はどの指を動かすかという点だけが互いに大きく異なり、先行研究に比べて、空間性などの運動要素はより類似性が高くなったといえよう。もし、運動実行中の一次運動野の活動の空間的パターンに基づいて同じ運動のイメージを識別したり、イメージ中の脳活動パターンに基づいて運動実行時の脳活動パターンを識別したりできれば、それは運動実行とイメージに共通の神経表象があることを意味し、一次運動野が運動実行と運動イメージで何らかの共通の役割を果たすことを示せる。

## 実験

### 方法

**実験参加者** 右利きの男性 10 名 (平均 27.2 歳) が実験に参加した。

**装置** Philips Healthcare 製の 3T の MRI, Current Designs 製の MRI 用 4 ボタンレスポンスパッド 2 つ, BRAIN PRODUCTS 製の筋電図計を用いた。

**手続き** 参加者ははじめに、MRI スキャナ内で身体を動かさず安静にするという Rest 条件の fMRI 撮像を 5 分間受けた。これは後述する実行・イメージ条件の 1 セッション分に等しい長さであった。この時の筋電活動が計測され、Rest 状態の筋活動として分析に利用された。その後、参加者は実行条件を 4 セッション行って指運動の筋感覚に慣れてから、イメージ条件を 4 セッション行った。どのセッションも、各試行では右手の人差し指から小指いずれか一つが視覚刺激により指定され、参加者はその指で右手のレスポンスパッドのボタンを 1 秒間隔で 12 回押す (実行条件) か、12 回押す様を筋感覚的にイメージした (イメージ条件)。各セッションでは各指はランダムに合計 3 回ずつ指定されるようになっていた。各試行後は運動実行がうまくいったか、あるいはイメージが容易だったかを左手のレスポンスパッドを使って 4 件法で回答する時間が 5 秒設けられ、その後 7 秒を置いて次の試行が始まった。以上の 8 セッションでは脳活動およ

び両手の筋電活動が計測され、課題遂行中の脳活動および筋電活動として分析に利用された。

## 結果

**脳活動** 実行・イメージ条件間で左の一次運動野における脳活動の空間パターンに共通性があるかを以下の手順で検証した。まず、実行条件の脳活動データを用い、どの指を動かしたかを弁別できるよう識別器を訓練した。次に同識別器によって、イメージ条件においてどの指がイメージされたかを弁別し、その精度を求めた。同様に、イメージ条件のデータで訓練した識別器を用い、実行条件のデータを弁別するという逆向きの精度も求めた。両方向で得られた精度を平均し、モダリティをまたいだ識別の総合的な精度を求め、両側 1 サンプル  $t$  検定を行ったところ、識別精度はチャンスレベルの 25% を有意に上回っていた ( $32.71\%$ ,  $t(9) = 2.93$ ,  $p = 0.0166$ )。同様の分析を統制領域として選ばれた両側視覚野 (ブロードマン 17 野と 18 野を合わせた領域) および両側補足運動野の脳活動データを用いて行なった場合、精度はチャンスレベルを有意に超えはしなかった ( $ts(9) > 0.65$ ,  $ps > 0.5299$ ) (Fig.1)。

**筋電活動** 各条件の筋電活動の大きさを比べるために、実行・イメージ条件の課題遂行中および Rest 条件の筋電データを積分した。Rest 条件に関しては 5 分間のデータの中から、実行・イメージ条件で課題が行われたのと同じタイミングに当たる部分のデータを使用した。セッション数の違いを考慮し、実行・イメージ条件のデータは積分値を 4 で除した。得られた値に対して課題条件 (実行・イメージ・Rest)  $\times$  手 (左右) の参加者内 2 要因分散分析を行うと、交互作用が有意となった ( $F(2, 18) = 17.759$ ,  $p < 0.001$ )。交互作用の単純主効果の検定では課題条件における手の単純主効果と右手における課題条件の単純主効果が有意となり、右手でのみ実行条件は他の 2 条件より値が大きいことや、実行条件でのみ右手は左手より値が大きいことが示された ( $F(1, 27) = 50.761$ ,  $p < 0.001$  および  $F(2, 36) = 36.180$ ,  $p < 0.001$ ) (Fig.2)。

## 考察

一次運動野において運動実行と筋感覚的な運動イメージでモダリティをまたいだ識別精度がチャンスレベルを超えたことは、一次運動野に両モダリティに共通の神経表象が存在することを意味し、同

部位が運動実行と筋感覚運動イメージに共通した何らかの役割を果たすことを示唆する。イメージ条件でベースラインを超える筋活動が検出されなかったことから、イメージ条件で参加者が実際に指を動かしていた可能性はある程度棄却される。

今回の課題で用いられた運動は全て指タッピングであり、空間性などの特徴は相互に類似しており、大きな違いは右手の四指のうちどれが対象になるかの点にあった。よって今回の実験結果からは、一次運動野が運動実行と筋感覚運動イメージの双方で同じように運動の効果器 (i.e., どの指か、またはどの筋か) を表象するのではないかと推測される。他の運動の要素 (e.g., 空間性、ターゲットの有無) に関しても、運動実行とイメージに共通の神経表象の有無が引き続き検討されるべきである。

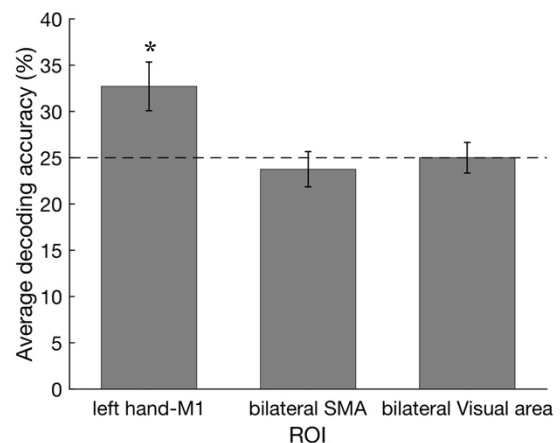


Figure 1 各脳領域における四指の識別精度 (\*は  $p < .05$ )

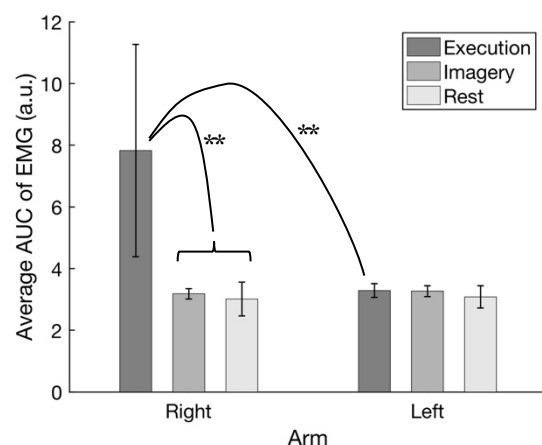


Figure 2 筋電活動の積分値における課題条件と手の交互作用 (\*\*は  $p < .01$ )

(Fumihito IMAI, Jun SHINOZAKI, Hidekazu SAITO, Hiroshi NAGAHAMA, Yuuki SAKURAI, Takashi NAGAMINE & Kenji OGAWA)