

報告番号	※甲	第	号
------	----	---	---

## 主論文の要旨

### 論文題目

運動イメージ中の運動関連皮質間の機能的連結：脳磁計による計測

氏名 大林 陽太

## 論文内容の要旨

### 【背景】

運動イメージとは運動の心的な表象であり、運動に関する感覚を長期記憶から再生し、ワーキングメモリ内で精査・操作する認知的処理である。また運動イメージには運動を想起しつつ実際には運動が起こらないように運動を抑制する機能がある。運動イメージは、運動の外観をイメージする視覚的運動イメージと、実際に自身が運動するイメージをする運動感覚性運動イメージに分類できるが、本研究では運動感覚性運動イメージを扱った。近年、脳皮質各部位間の機能的連結性が測定可能となり、運動イメージに関する脳活動を新たな視点から捉えることが可能となりつつある。機能的連結性とは、空間的に離れた部位と部位の神経群が、連関を持って活動していることを示す指標で、脳ネットワークの機能的役割を示す。運動イメージ想起に関する神経活動の研究は数多く報告されているが、運動イメージの運動抑制に関連した脳の機能的連結性はまだよくわかっていない。

### 【目的】

本研究の目的は、神経細胞の電氣的活動の経時変化について高い時間分解能と電流源推

定の信頼性を持つ脳磁計を用いて、運動抑制処理を含めた運動イメージ中の皮質間連結性の特性を明らかにするとした。

### 【方法】

9人の右利き健常成人男性(平均年齢  $24 \pm 1.3$  歳)を対象とした。本研究は名古屋大学医学部生命倫理委員会保健学部の承認を受け実施した(承認番号 14-604)。課題は運動実行(Motor Execution: ME)、運動イメージ(Motor Imagery: MI)、画像注視(Control: CON)の3条件とした。被験者は仰臥位で頭部を脳磁計内に置き、前方のスクリーンを注視して課題を行った。「提示された数字に対応して(1→母指、2→示指、3→中指、4→環指、5→小指、0→動かさない)右手指を屈曲し、再度同じ数字が提示されたら伸展する」と教示し、ME条件では実際の指運動を、MI条件では実際の運動は行わず、自身が運動しているイメージをするように指示した。CON条件では数字画像の注視だけを行わせた。1試行につき4回の数字を無作為の順番で提示し(同じ数字の提示は1試行につき最大4回まで)、続いて数字によって手指を正しく、もしくは誤って動かした状態の手指の画像を示した。被験者には、手指の画像が正しいか否かを口頭で答えさせた。各条件につき10試行を無作為な順序で行った。数字提示中(課題実施中)の脳磁場記録について7箇所の運動関連皮質部位間のコヒーレンス値を各周波数帯域( $\theta$ : 5-7Hz,  $\alpha$ : 8-12Hz,  $\beta$ : 15-29Hz,  $\gamma$ -1: 30-59Hz,  $\gamma$ -2: 60-90Hz)について算出し、3条件の値についてCON条件で標準化した後、条件間で比較した。検定にはスティーラ・ドゥワス法を用い、有意水準は5%未満とした。

### 【結果】

全被験者が全条件、全試行を実施した。二人の被験者がそれぞれ1回ずつMI条件の手の画像の正誤を誤答したが、他の被験者は全ての試行を正確に行った。有意差のあった項目

のほとんどは低周波数帯域( $\theta$ 、 $\alpha$ 、 $\beta$ )で、ME 条件と MI 条件のコヒーレンス値は CON 条件よりも小さくなった。一方でいくつかの高周波数帯域( $\gamma 1$ 、 $\gamma 2$ )については逆に CON 条件よりも大きくなった。また ME 条件と MI 条件で有意差のあった項目は、左前補足運動野と左下前頭回間の  $\theta$  帯域のコヒーレンス値のみで MI 条件で小さくなった。ME 条件と MI 条件で共通して CON 条件と有意差のあった項目は、右前補足運動野と左運動前野間と左補足運動野と左運動前野間の  $\beta$  帯域でより小さく、両側前補足運動野間の  $\gamma 2$  帯域でより大きくなった。

#### 【考察】

コヒーレンス値の低下はその部位の活動の低下を意味しないことに注意が必要である。コヒーレンス値が低下しても活動の低下・向上のどちらもありえる。コヒーレンス値は部位間の連結性の指標であり、その低下は二つの部位が他の条件より独立して機能したことを示し、その増加はそれらの部位がより連関を持って機能したことを示す。本研究の MI 課題では、数字提示後に手の画像の正誤を回答するために、課題実施中は指の動きと位置に関する運動感覚の記憶の保持が必要とされた。先行研究は、 $\theta$  と  $\gamma$  帯域の神経振動が記憶処理の間に起こると報告した。一方で、MI 課題には運動を想起しつつ実際には運動しないように抑制する必要性もある。実際の運動の抑制機能については、下前頭回と前補足運動野が運動抑制に関与すると言われている。また前補足運動野と右下前頭回は MI 中の運動抑制システムにも関連する。本結果における左前補足運動野と左下前頭回間の  $\theta$  帯域のコヒーレンス値の減衰が、MI 中の運動感覚の記憶の制御と運動の抑制のどちらを、または両方を反映するのか結論付けることは難しい。しかし運動の抑制に関して報告された部位と本研究で明らかにされた部位の類似性から、下前頭回と前補足運動野間の機能が MI 中の運

動抑制処理に部分的に寄与するかもしれないことを本結果は示唆したと考える。また先行研究は ME と MI 中の感覚運動野上で  $\alpha$  と  $\beta$  帯域の事象関連脱同期と、類似した連結性を報告した。本研究では ME と MI 中の感覚運動野間の  $\alpha$  と  $\beta$  帯域のコヒーレンス値が CON 中と比べて低下することが示された。これは先行研究の結果を支持する。 $\gamma$  帯域については、先行研究は ME と MI 中の感覚運動野上の  $\beta$  パワーの低下と同期した低  $\gamma$  (32-41Hz) パワーの増加を示し、運動野での高  $\gamma$  (60-180Hz) パワーの増加を示した。コヒーレンス値の増減と活動の大小は一致するとは限らないことに注意が必要だが、本結果は先行研究と同様に、MI 中の感覚運動野上の  $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$  2 帯域の神経活動が ME 中のものと類似することを示唆した。

#### 【結論】

本研究は経時的な ME 課題と MI 課題実施中の主に左半球の運動関連皮質間のコヒーレンス値を解析した。MI 課題時の感覚運動野ネットワークは  $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$  2 帯域において ME 課題時と類似した機能を示す一方で、下前頭回と前補足運動野間の  $\theta$  帯域の連結性においては MI 課題に特異的に低下が見られ、それは運動イメージの運動抑制機能との関連が考えられた。