

## 原著論文

## 一人称イメージを用いた「一定でないリズム」と「一定リズム」の脳活動の相違について

ーリズムに関するBA46:ワーキングメモリの左右差に関する fMRI 研究一

牧野 均・生駒 一憲\*

(2017年10月20日受稿)

**抄録：** 運動イメージには、一人称イメージと三人称イメージがある。今回我々は、隣に座る治療者を第三者の一人称イメージと想定し、「一定でないリズム」と「一定リズム」での第三者の映像とあらかじめ撮影した被験者自身の一人称イメージ映像の足趾模倣運動を行い、fMRIにて脳画像を比較した。結果、被験者自身の「一定でないリズム」課題、「一定リズム」課題ともに、第三者の「一定でないリズム」課題と比較し、広く認知と運動に関する脳の領域が賦活した。特に、「一定でないリズム」課題では左BA46:ワーキングメモリ、「一定リズム」課題では右BA46:ワーキングメモリが賦活した。隣坐する第三者としての治療者の一人称イメージを患者さまが模倣する場合、「一定でないリズム」で見本を示し、それを患者さまに模倣していただくことで広く認知や予測、運動に関する脳領域を賦活させ、また左右のワーキングメモリを個別化し活動させる可能性があることが示唆された。

キーワード：fMRI、一人称イメージ、BA46:ワーキングメモリ、リズム

## I. はじめに

運動イメージを利用しパフォーマンスを向上させる報告が多数なされている<sup>1)</sup>。運動イメージは大別して2種類あり、一人称イメージは自分から突き出たあたかも自分が行っているようなイメージ、三人称イメージは他者の行為を見るようなイメージである。

fMRIを用いた一人称イメージによる課題と三人称イメージによる課題を比較した我々の先行研究では、左右の紡錘上回と下頭頂小葉及び中頭前回の賦活領域に相違があった<sup>2) 3) 4)</sup>。

実際の治療場面では、麻痺した自己の四肢の動作に対し、隣に座る治療者の動作を模倣することで治療を行うことが多い。この場合、隣に座る治療者の下肢を第三者の一人称イメージとして用いて被験者自身の運動イメージを生成したと考える。

先行研究では、自己の下肢映像を模倣する課題

を一人称イメージによる課題として来たが、本研究では、「隣に座る治療者の動きを模倣すること」を「一人称イメージによる模倣」と考え、「自己の下肢映像を模倣する課題」は、麻痺した足趾を治療者によって他動的に動かされつつ自ら動かそうと努力する課題と同義として解釈し考察する。理学療法の治療場面では、心理的に非常に親密な距離で治療が行われるため、治療者の動きはあたかも自身の動きとして感じられることを前提として、第三者の映像の模倣も一人称イメージとして本研究を計画した。

我々の先行研究では、比較対象として被験者自身の下肢映像と第三者の下肢映像を用いて模倣課題の比較検討を行った場合、被験者自身と第三者では脳の賦活領域に相違があった<sup>4)</sup>。

したがって、我々は、実際の治療場面を想定した場合、模倣する対象により賦活する脳の領域を考慮した治療が必要と考える。

一方、リズム認知と運動は密接な関係がある。提示リズムの時間間隔はヒトのリズム生成に関与するとの報告がある<sup>5)</sup>。

パーキンソン病の患者では、時間再生課題において、時間が過少する報告がされている<sup>6)</sup>。大脳基底核はリズムのような繰り返される時間に関与し、小脳は単一時間の処理に関与する<sup>7) 8)</sup>。また、前頭前野の損傷においても時間知覚課題がパフォーマンスの低下を生ずることが報告されている<sup>9)</sup>。

歩行におけるリズム生成は、中枢性パターン発生器 central pattern generator と呼ばれ中枢は脊髄である<sup>10)</sup>。除脳ネコの実験では、中脳の電気刺激にて歩行が誘発される<sup>11)</sup>。しかし、ヒトでは中脳の電気刺激での歩行の誘発は困難であり、ヒトは他の四肢動物と比較し上位中枢の関与が歩行に強くかかわっていると考える<sup>12) 13)</sup>。我々は下肢の動きに伴う上位中枢でのリズム生成の関わり方に関して検討する必要があると考える。

したがって、脳神経系に何らかの障害が生じた場合、リズムや時間知覚の障害が生じ、歩行等の基本的な動作が遂行困難にある可能性がある。そのため、我々は下肢の動きに伴う上位中枢でのリズム生成の関わり方に関して検討する必要があると考える。

また、我々の三人称映像を用いた下肢の模倣研究では、運動イメージ課題では、「一定リズム」で両側運動前野、頭頂後頭溝領域と左側背外側運動前野に賦活傾向があった。運動実行課題では、「一定でないリズム」で左側前頭眼野に賦活傾向があった<sup>14)</sup>。

今回我々は、一人称イメージを用いた足趾の模倣運動に着目し運動方法の違いとして「一定リズム」と「一定でないリズム」での脳賦活の相違を検討した。

## II. 対象と方法

### 1. 対象

神経学的既往のない健常な成人男女32名（男

性16名、女性16名、平均年齢 $21.7 \pm 0.9$ 歳）が参加した。視力の悪い被験者に関してはMRI検査用メガネを着用し、視力を0.7以上に矯正した後に撮像を行った。全例、事前にチャップマンの利き手利き足テストを行い、右手右足共に右利き者のみ測定に参加した。参加者は無作為に2群に分けた。

#### 【一人称イメージ：一定でないリズム群】

健常成人男女16名（男性8名、女性8名、平均年齢 $21.8 \pm 0.55$ 歳）。

あらかじめ撮影した被験者自身の右下肢を用いた課題映像と第三者の右下肢を用いた「一定でないリズム」の課題映像を組み合わせた。

#### 【一人称イメージ：一定リズム群】

健常成人男女16名（男性8名、女性8名、平均年齢 $21.7 \pm 0.70$ 歳）。

あらかじめ撮影した被験者自身の右下肢を用いた課題映像と第三者の右下肢を用いた「一定リズム」の課題映像を組み合わせた。

なお、第三者の右下肢の映像は各被験者に対して共通の映像を用いた。

すべての被験者は、北海道大学医学研究科・医学部「医の倫理委員会」の審査に基づくアンケート調査と十分な説明の後、同意書に署名の上、ボランティアとして今回の測定に参加した。

### 2. 方法

課題はブロックデザインとし、MRI装置の中から背臥位にてプリズムメガネにてスクリーン上に投影された足趾動作の映像の指示に基づき、運動実行課題を行うこととした（図1）。

「一定でないリズム」群、「一定リズム」群ともに、あらかじめ撮影した「被験者自身の下肢」課題と「第三者の下肢」課題を組み合わせた（図2, 図3）。

測定後、各群内にて「被験者自身の下肢」課題と「第三者の下肢」課題の各課題間の脳活動の比較を行った。その後、「一定リズム」課題群と「一定でないリズム」課題群において脳活動について

群間比較を行った。

スクリーンに投影される映像は、両群ともに被験者自身と第三者の一人称イメージ（下から突き出た足）の映像である（図2）。映像は、あらかじめ撮影した被験者自身の足趾映像と他者の映像を組み合わせた（図3）。また、課題の練習用の映像を別途作成し、被験者自身の下肢映像と第三者の下肢映像を正確に区別できることを確認の上、測定を行った。

提示する映像の足趾動作の基本動作パターンは、どの課題でも足趾を開いた状態から一趾握り、そして残りの四趾を握る動作とした（図4）。

課題は、映し出された映像の足趾を握る動作に合わせて被験者の足趾を、実際には握る「動」課題とした。課題開始指示には、課題映像中に1秒間「動」の字を用いて指示を行った（図3、図4）。

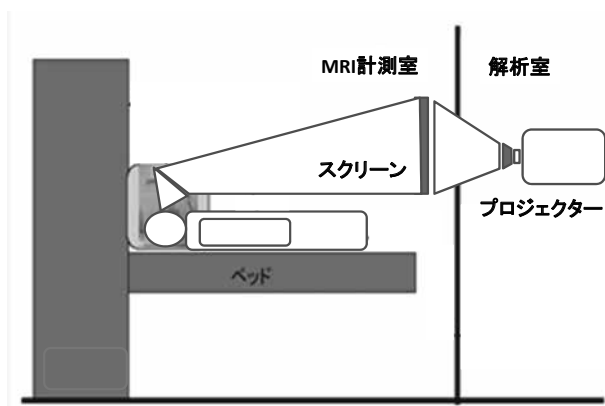


図1 f - MRI測定模式図

MRI装置の中からプリズムメガネにてスクリーン上に投影された映像と指示に従い課題を遂行する。



図2 一人称イメージ

左図：あらかじめ撮影した被験者自身の映像  
右図：あらかじめ撮影した第三者の映像

また、固視課題は、中心に黒地で白抜きの小さい「・」（点印）を入れ、課題時間中は中央の点を固視するものとした。

投影される映像の、第1足趾握る、残り4足趾握る、の一連の動作は、課題開始指示1秒間を含む30秒間に14回行った。また、「一定でないリズム」群に、把握動作を被験者に予測させないように、

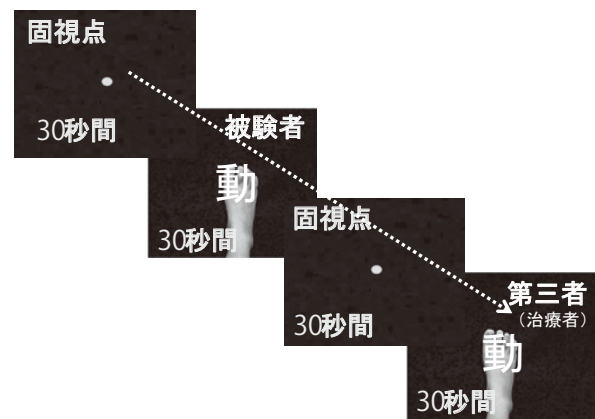


図3 一人称イメージ：課題の提示

あらかじめ撮影した被験者の一人称イメージ右下肢映像と第三者の一人称イメージ右下肢映像を組み合わせ、4分間の課題を行った。映像と映像の間に中心の点を見つめる固視課題を行った。運動開始指示は、画面上「動」で表した。「動」の課題指示は、30秒間の課題中の最初の1秒間に映像と重ねて提示した。

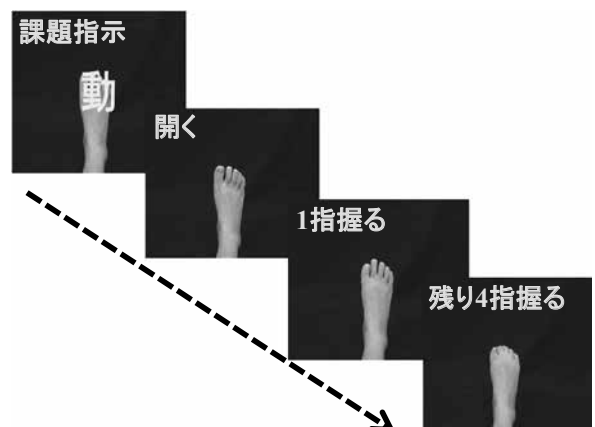


図4 課題の足趾動作の基本パターン

一人称足趾動作基本パターンは、1秒間の課題指示後、足趾を開いた状態から一趾握りそして残り四趾を握る動作とした。一連の動作は30秒間に14回行い、被験者に予測させないように一定でないリズムで行った。また映像を2パターン準備し組み合わせた。

30秒間の映像はリズムが異なる2パターンの映像を準備し組み合わせた(図4)。

「一定リズム」課題は、図4の課題を一定リズムで行った映像を見て模倣する課題とした。一定リズムとは、第1足趾を握る動作を1秒、残り4足趾を握る動作の1秒を基本として規則正しく14回動かすことを示す。

すべての課題を30秒間としたブロックデザインとし、それぞれのパターンを図3のように組み合わせ合わせて4分間課題映像として行った。被験者自身の下肢映像と第三者の下肢映像は、4分間に2回ずつ交互に提示した。

また、スクリーン上で足趾の動作と動作指示の映像は、視野角2度以内に収まるよう投影画像を調節し眼球運動を抑制するよう工夫して全測定を行った。

この設定の上で、「一定でないリズム」課題群と「一定のリズム」課題群の各群内において、「被験者自身の下肢」課題と「第三者の下肢」課題の各課題間の脳活動の比較検定を行った。その後、「一定リズム」課題群と「一定でないリズム」課題群において脳活動について群間比較を行った。比較は各イメージ間の脳賦活の差分を用いた。

### 3. fMRIデータの測定と解析

fMRIの撮影は、北海道大学医歯学総合研究棟MRI室GE製MRIスキャナSigna Lightning (1.5T)を用いた。撮像パラメータは、TE 40ms, TR 3000ms, Flip Angle 90°, Slice Thickness 4.0mm, gap 1.0mm, voxel size 2mm, スライス枚数22である。

解析は、MathWorks社製数値計算ソフトMatlabとSPM12を組み合わせで行った。得られたfMRIデータは、SPM12上にて頭部の動きを補正するためのrealignmentを行った後、Slice timing correction及びCoregistrationを行い、Montreal Neurological Institute(以下MNI)標準脳に変形するためのNormalisation, 空間的平滑化を行うSmoothingを8mmとして前処理を順次行った。前

処理したfMRIデータを個人解析した後、集団解析を行った。

集団解析の統計処理は、「一定でないリズム」課題群と「一定リズム」課題群の各群内において、SPM12上の仮説検定であるuncorrectedを用いて $p < 0.001$ で統計的推論を行った。

「一定でないリズム」課題群と「一定リズム」課題群の群間比較の統計処理は、各課題間でTwo-sample t-testを行った。その後、SPM12上の仮説検定であるuncorrectedを用いて $p < 0.001$ で統計的推論を行った。

脳賦活部位の同定は、SPM12で出力される標準脳のMNI座標系をMATLAB上でmni2talにて変換し、その後Talairach Daemon ClientにてTalairach座標に変換して脳活動部位の決定を行なった(<http://www.talairach.org/index.html>)<sup>15)</sup>。

## Ⅲ. 結果

### 1. 「一定でないリズム」課題群の群内比較(図5, 表1)

「一定でないリズム」課題群において、被験者

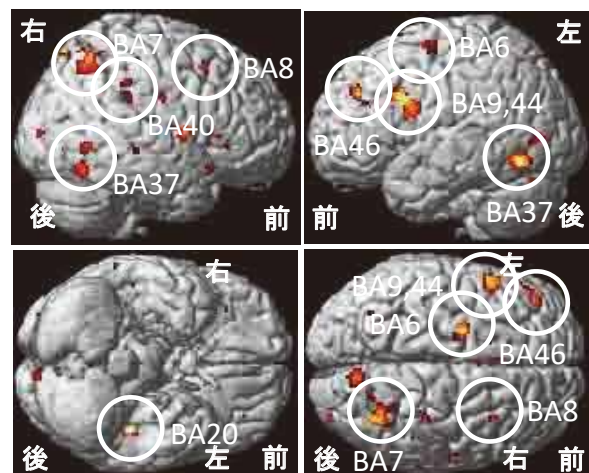


図5 「一定でないリズム」課題群の群内比較

被験者自身の映像 vs. 第三者の映像

「一定でないリズム」課題群において、被験者自身の映像を見ながら運動を行った場合の脳賦活部位から第三者の映像を見ながら運動を行った場合の脳賦活部位を差分した場合、右BA7 (SPL), 右BA40 (SG), 右BA8 (FEF), 右BA37 (FG), 左BA46 (DLPFC), 左BA6 (PM), 左BA9 (DLPFC), 左BA44 (IFG), 左BA20 (ITG), 左BA37 (FG)の活動が増加した(活動部位は、 $P < 0.001$ の部位のみ記入, 表1参照)。

自身の下肢映像を見ながら課題を行った場合、第三者の下肢映像を見ながら課題を行った場合と比較して、右BA7 (SPL:上頭頂小葉) 近傍部, 右BA40 (SMG:縁上回) 近傍部, 右BA8 (FEF:前頭眼野) 近傍部, 右BA37 (FG:紡錘状回) 近傍部, 左BA46 (DLPFC:前頭前野背外側部) 近傍部, 左BA6 (PM:運動前野) 近傍部, 左BA9 (DLPFC:前頭前野背外側部), 左BA44 (IFG:下前頭回), 左BA20 (ITG:下側頭回), 左BA37 (FG:紡錘状回) 近傍部の活動が増加した。

一方、第三者の下肢映像を見ながら課題を行った場合、被験者自身の下肢映像を見ながら課題を行った場合と比較して、活動が増加する部位はなかった。

2. 「一定リズム」課題群の群内比較 (図6, 表2)

「一定リズム」課題群において、被験者自身の下肢映像を見ながら課題を行った場合、第三者の

下肢映像を見ながら課題を行った場合と比較して、左BA6 (PM:運動前野) 近傍部, 左BA3 (S1:

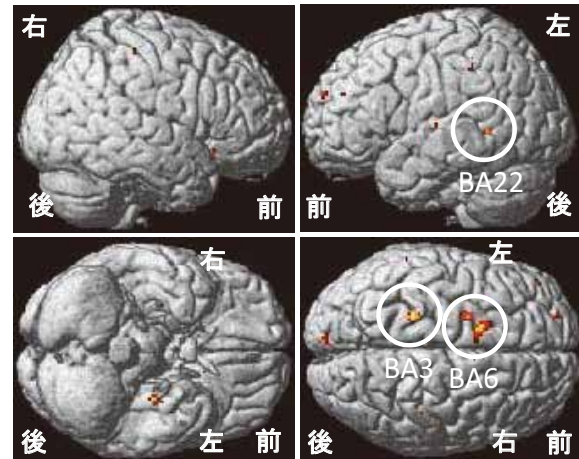


図6 「一定リズム」課題群の群内比較

被験者自身の映像 vs. 第三者の映像

「一定リズム」課題群において、被験者自身の映像を見ながら運動を行った場合の脳活動部位から第三者の映像を見ながら運動を行った場合の脳活動部位を差分した場合、左BA6, 左BA3, 左BA22の活動が増加した (活動部位は、 $P < 0.001$ の部位のみ記入, 表2参照)。

表1 「一定でないリズム」課題群: 被験者自身の下肢映像 vs. 第三者の下肢映像

| Cluster size (mm <sup>3</sup> ) | MNI coordinates |     |     | Talairach coordinates |     |     | Z value | P value<br>P uncorr | Hem | Anatomical<br>Region |
|---------------------------------|-----------------|-----|-----|-----------------------|-----|-----|---------|---------------------|-----|----------------------|
|                                 | x               | y   | z   | x                     | y   | z   |         |                     |     |                      |
| 344                             | 52              | -64 | -18 | 51                    | -63 | -12 | 4.18    | $P < 0.001$         | rt  | BA37近傍               |
| 120                             | 68              | -34 | 30  | 67                    | -32 | 29  | 3.9     | $P < 0.001$         | rt  | BA40近傍               |
| 520                             | 10              | -76 | 60  | 10                    | -71 | 59  | 3.87    | $P < 0.001$         | rt  | BA7近傍                |
| 1116                            | 30              | -58 | 56  | 30                    | -54 | 54  | 3.64    | $P < 0.001$         | rt  | BA7近傍                |
| 120                             | 48              | -34 | 38  | 48                    | -31 | 37  | 3.67    | $P < 0.001$         | rt  | BA40近傍               |
| 144                             | 36              | 14  | 48  | 36                    | 16  | 43  | 3.61    | $P < 0.001$         | rt  | BA8近傍                |
| 504                             | -42             | -32 | -20 | -42                   | -32 | -15 | 4.56    | $P < 0.001$         | lt  | BA20近傍               |
| 392                             | -44             | 40  | 34  | -44                   | 40  | 29  | 4.14    | $P < 0.001$         | lt  | BA46近傍               |
| 984                             | -46             | -66 | -12 | -46                   | -64 | -7  | 4.11    | $P < 0.001$         | lt  | BA37近傍               |
| 1672                            | -54             | 14  | 34  | -53                   | 15  | 31  | 3.87    | $P < 0.001$         | lt  | BA9                  |
| 1672                            | -52             | 8   | 20  | -51                   | 9   | 18  | 3.8     | $P < 0.001$         | lt  | BA44                 |

右BA7 (SPL:上頭頂小葉) 近傍部, 右BA40 (SG:縁上回) 近傍部, 右BA8 (FEF:前頭眼野) 近傍部, 右BA37 (FG:紡錘状回) 近傍部, 左BA46 (DLPFC:前頭前野背外側部) 近傍部, 左BA6 (PM:運動前野) 近傍部, 左BA9 (DLPFC:前頭前野背外側部), 左BA44 (IFG:下前頭回), 左BA20 (ITG:下側頭回), 左BA37 (FG:紡錘状回) 近傍部の活動が増加した。脳活動部位の同定は,SPM12のuncorrectedで得られたMNI座標系をMATLAB上でmni2talを用いて変換し,その後Talairach Daemon Client で変換し決定。

表2 「一定リズム」課題群: 被験者自身の下肢映像 vs. 第三者の下肢映像

| Cluster size (mm <sup>3</sup> ) | MNI coordinates |     |    | Talairach coordinates |     |    | Z value | P value<br>P uncorr | Hem | Anatomical<br>Region |
|---------------------------------|-----------------|-----|----|-----------------------|-----|----|---------|---------------------|-----|----------------------|
|                                 | x               | y   | z  | x                     | y   | z  |         |                     |     |                      |
| 368                             | -14             | 8   | 58 | -14                   | 10  | 53 | 4.32    | $P < 0.001$         | lt  | BA6 近傍               |
| 264                             | -22             | -36 | 62 | -22                   | -32 | 58 | 4.01    | $P < 0.001$         | lt  | BA3 近傍               |
| 88                              | -54             | -50 | 0  | -53                   | -48 | 2  | 3.87    | $P < 0.001$         | lt  | BA22近傍               |
| 192                             | -22             | 0   | 56 | -22                   | 3   | 51 | 3.76    | $P < 0.001$         | lt  | BA6 近傍               |

左BA6 (PM:運動前野) 近傍部, 左BA3 (S1:一次体性感覚野) 近傍部, 左BA22 (STG:上側頭回) の活動が増加した。脳活動部位の同定は,SPM12のuncorrectedで得られたMNI座標系をMATLAB上でmni2talを用いて変換し,その後Talairach Daemon Client で変換し決定。

一次体性感覚野) 近傍部, 左BA22 (STG: 上側頭回) 近傍部の活動が増加した。

一方, 第三者の下肢映像を見ながら課題を行った場合, 被験者自身の下肢映像を見ながら課題を行った場合と比較して, 運動関連領域に活動が増加する部位は無かった。

### 3. 「一定でないリズム」課題群と「一定リズム」課題群の群間比較

#### (1) 被験者自身の下肢映像を用いた「一定リズム」

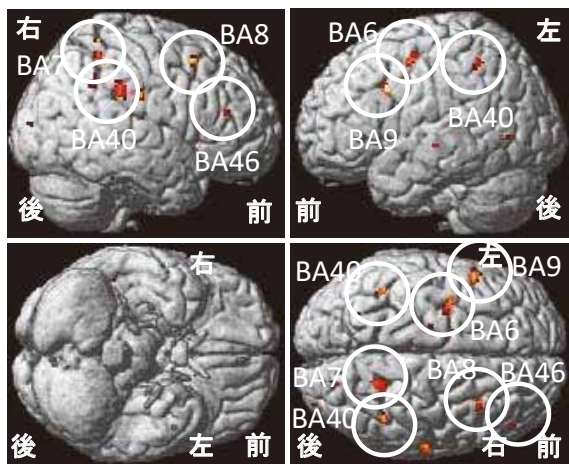


図7 「一定リズム」課題群と「一定でないリズム」課題群の群間比較

被験者自身の下肢映像「一定リズム」課題

VS. 第三者の下肢映像「一定でないリズム」課題

被験者の下肢映像「一定リズム」課題は, 第三者の下肢映像「一定でないリズム」課題と比較して, 右BA8, 右BA46, 右BA7, 右BA40, 左BA6, 左BA9, 左BA40の活動が増加した(活動部位は,  $P < 0.001$ の部位のみ記入, 表3参照)。

ム」課題と第三者の下肢映像を用いた「一定でないリズム」課題の群間比較(図7, 表3)

被験者自身の下肢映像を用いた「一定リズム」課題は, 第三者の下肢映像を用いた「一定でないリズム」課題と比較して, 右BA8 (FEF: 前頭眼野) 近傍部, 右BA46 (DLPFC: 前頭前野背外側部), 右BA7 (SPL: 上頭頂小葉), 右BA40 (SMG: 縁上回), 左BA6 (PM: 運動前野) 近傍部, 左BA9 (DLPFC: 前頭前野背外側部), 左BA40 (SMG: 縁上回) 近

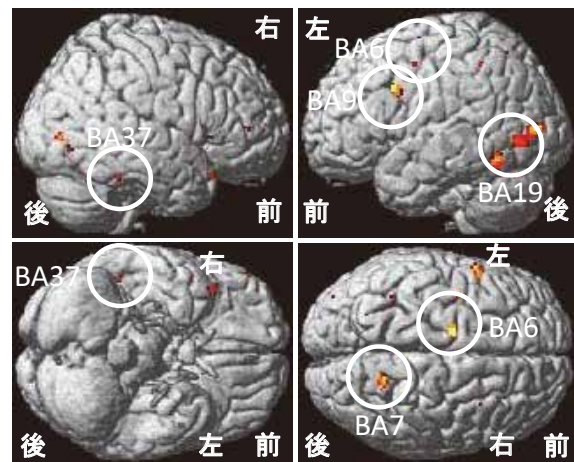


図8 「一定リズム」課題群と「一定でないリズム」課題群の群間比較

第三者の下肢映像「一定リズム」課題

vs. 第三者の下肢映像「一定でないリズム」課題

第三者の下肢映像「一定リズム」課題は, 第三者の下肢映像「一定でないリズム」課題と比較して, 右BA7, 右BA19, 右BA37, 左BA19及び近傍, 左BA6, 左BA6, 左BA9の活動が増加した(活動部位は,  $P < 0.001$ の部位のみ記入, 表4参照)。

表3 「一定リズム」課題群と「一定でないリズム」課題群の群間比較

: 被験者の下肢映像「一定リズム」課題 vs. 第三者の下肢映像「一定でないリズム」課題

| Cluster size (mm <sup>3</sup> ) | MNI coordinates |     |    | Talairach coordinates |     |    | Z value | P value<br>P uncorr | Hem | Anatomical<br>Region |
|---------------------------------|-----------------|-----|----|-----------------------|-----|----|---------|---------------------|-----|----------------------|
|                                 | x               | y   | z  | x                     | y   | z  |         |                     |     |                      |
| 328                             | 54              | -34 | 32 | 53                    | -31 | 31 | 3.71    | $P < 0.001$         | rt  | BA40近傍               |
| 168                             | 42              | -52 | 34 | 42                    | -49 | 34 | 3.59    | $P < 0.001$         | rt  | BA40近傍               |
| 320                             | 20              | -52 | 62 | 20                    | -48 | 59 | 3.5     | $P < 0.001$         | rt  | BA7                  |
| 168                             | 34              | 14  | 52 | 34                    | 16  | 47 | 3.44    | $P < 0.001$         | rt  | BA8 近傍               |
| 56                              | 44              | 38  | 16 | 47                    | 38  | 13 | 3.33    | $P < 0.001$         | rt  | BA46                 |
| 304                             | -52             | 12  | 32 | -51                   | 13  | 29 | 3.91    | $P < 0.001$         | lt  | BA9                  |
| 328                             | -34             | -4  | 50 | -34                   | -2  | 46 | 3.73    | $P < 0.001$         | lt  | BA6 近傍               |
| 128                             | -42             | -50 | 50 | -42                   | -46 | 48 | 3.5     | $P < 0.001$         | lt  | BA40近傍               |

右BA8 (FEF: 前頭眼野) 近傍部, 右BA46 (DLPFC: 前頭前野背外側部), 右BA7 (SPL: 上頭頂小葉), 右BA40 (SG: 縁上回), 左BA6 (PM: 運動前野) 近傍部, 左BA9 (DLPFC: 前頭前野背外側部), 左BA40 (SG: 縁上回)の活動が増加した。脳活動部位の同定は, SPM12のuncorrectedで得られたMNI座標系をMATLAB上でmni2talを用いて変換し, その後Talairach Daemon Client で変換し決定。

傍部の活動が増加した。

一方、第三者の下肢映像を用いた「一定でないリズム」課題は、被験者自身の下肢映像を用いた「一定リズム」課題と比較して、活動が増加する部位は無かった。

(2) 第三者の下肢映像を用いた「一定リズム」課題と第三者の下肢映像を用いた「一定でないリズム」課題の群間比較 (図8, 表4)

第三者の下肢映像を用いた「一定リズム」課題は、第三者の下肢映像を用いた「一定でないリズム」課題と比較して、右BA7 (SPL: 上頭頂小葉), 右BA19 (V3: 視覚連合野) 近傍部, 右BA37 (FG: 紡錘状回), 左BA19 (V3: 視覚連合野) 及び近傍, 左BA6 (PM: 運動前野), 左BA9 (DLPFC: 前頭前野背外側部) の活動が有意に高かった。

一方、第三者の下肢映像を用いた「一定でないリズム」課題は、第三者の下肢映像を用いた「一定リズム」課題と比較して、活動が増加する部位はなかった。

(3) 第三者の下肢映像を用いた「一定リズム」

課題と被験者自身の下肢映像を用いた「一定でないリズム」課題の群間比較 (図9, 表5)

被験者自身の下肢映像を用いた「一定でないリズム」課題は、第三者の下肢映像を用い

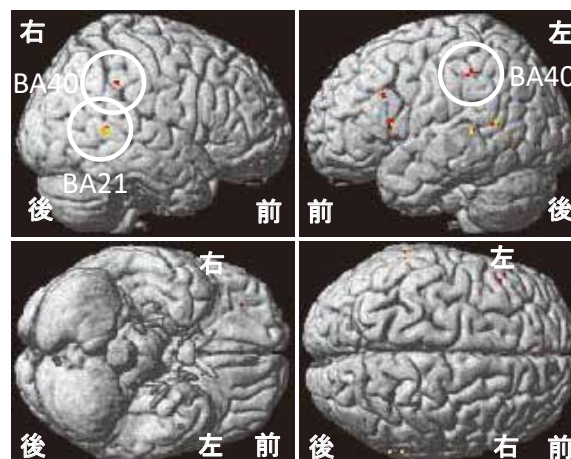


図9 「一定リズム」課題群と「一定でないリズム」課題群の群間比較

被験者自身の下肢映像「一定でないリズム」課題 vs. 第三者の下肢映像「一定リズム」課題

被験者の下肢映像「一定でないリズム」課題は、第三者の下肢映像「一定リズム」課題と比較して、右BA21, 右BA40, 左BA40の活動が増加した (活動部位は, P < 0.001 の部位のみ記入, 表5参照)。

表4 「一定リズム」課題群と「一定でないリズム」課題群の群間比較

: 第三者の下肢映像「一定リズム」課題 vs. 第三者の下肢映像「一定でないリズム」課題

| Cluster size (mm <sup>3</sup> ) | MNI coordinates |     |     | Talairach coordinates |     |     | Z value | P value<br>P uncorr | Hem | Anatomical Region |
|---------------------------------|-----------------|-----|-----|-----------------------|-----|-----|---------|---------------------|-----|-------------------|
|                                 | x               | y   | z   | x                     | y   | z   |         |                     |     |                   |
| 424                             | 18              | -54 | 58  | 18                    | -50 | 56  | 4.24    | P<0.001             | rt  | BA7               |
| 136                             | 36              | -78 | 2   | 36                    | -75 | 6   | 3.73    | P<0.001             | rt  | BA19近傍            |
| 56                              | 50              | -40 | -24 | 50                    | -40 | -18 | 3.42    | P<0.001             | rt  | BA37              |
| 792                             | -38             | -80 | 6   | -38                   | -77 | 9   | 3.85    | P<0.001             | lt  | BA19              |
| 560                             | -44             | -56 | -10 | -44                   | -55 | -6  | 4.02    | P<0.001             | lt  | BA19近傍            |
| 294                             | -16             | -8  | 64  | -16                   | -5  | 59  | 3.97    | P<0.001             | lt  | BA6               |
| 304                             | -54             | 10  | 34  | -53                   | 11  | 30  | 3.75    | P<0.001             | lt  | BA9               |

右BA7 (SPL: 上頭頂小葉), 右BA19 (V3: 視覚連合野) 近傍部, 右BA37 (FG: 紡錘状回), 左BA19 (V3: 視覚連合野) 及び近傍, 左BA6 (PM: 運動前野), 左BA9 (DLPFC: 前頭前野背外側部) の活動が増加した。脳活動部位の同定は, SPM12の uncorrected で得られたMNI座標系をMATLAB上でmmi2talを用いて変換し, その後Talairach Daemon Client で変換し決定。

表5 「一定リズム」課題群と「一定でないリズム」課題群の群間比較

: 被験者自身の下肢映像「一定でないリズム」課題 vs. 第三者の下肢映像「一定リズム」課題

| Cluster size (mm <sup>3</sup> ) | MNI coordinates |     |    | Talairach coordinates |     |    | Z value | P value<br>P uncorr | Hem | Anatomical Region |
|---------------------------------|-----------------|-----|----|-----------------------|-----|----|---------|---------------------|-----|-------------------|
|                                 | x               | y   | z  | x                     | y   | z  |         |                     |     |                   |
| 104                             | 64              | -48 | 6  | 63                    | -46 | 8  | 3.4     | P<0.001             | rt  | BA21近傍            |
| 40                              | 66              | -42 | 36 | 65                    | -39 | 35 | 3.38    | P<0.001             | rt  | BA40近傍            |
| 40                              | -62             | -40 | 44 | -61                   | -37 | 42 | 3.46    | P<0.001             | lt  | BA40              |

右BA21 (MTG: 中側頭回), 右BA40 (SG: 縁上回) 近傍部, 左 (SG: 縁上回) の活動が増加した。脳活動部位の同定は, SPM12の uncorrected で得られたMNI座標系をMATLAB上でmmi2talを用いて変換し, その後Talairach Daemon Client で変換し決定。

た「一定リズム」課題と比較して、右BA21 (MTG: 中側頭回), 右BA40 (SMG: 縁上回) 近傍部, 左 (SMG: 縁上回) の活動が有意に高かった。

一方, 第三者の下肢映像を用いた「一定リズム」課題は, 被験者自身の下肢映像を用いた「一定でないリズム」課題と比較して, 活動が増加する部位はなかった。

#### (4) 被験者自身の下肢映像を用いた「一定リズム」課題と被験者自身の下肢映像を用いた「一定でないリズム」課題の群間比較 (図10)

被験者自身の下肢映像を用いた「一定リズム」課題は, 被験者自身の下肢映像を用いた「一定でないリズム」課題と比較して, 活動が増加する部位はなかった。

同じく, 被験者自身の下肢映像を用いた「一定でないリズム」課題は, 被験者自身の下肢映像を用いた「一定リズム」課題と比較して, 活動が増加する部位はなかった。

## IV. 考察

### 1. 「一定でないリズム」の群内比較において

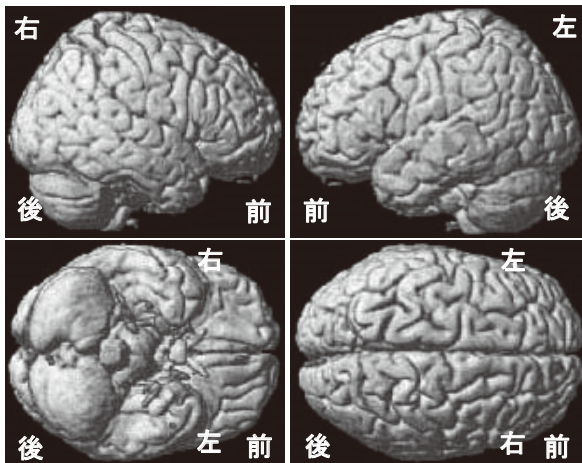


図10 「一定リズム」課題群と「一定でないリズム」課題群の群間比較

被験者自身の下肢映像「一定リズム」課題

vs. 被験者自身の下肢映像「一定でないリズム」課題  
「一定リズム」課題 vs. 「一定でないリズム」課題, 「一定でないリズム」課題 vs. 「一定リズム」課題ともに有意に賦活する部位はなかった。

「一定でないリズム」課題群の群内比較において, 被験者自身の下肢映像を見ながら課題を行った場合, 第三者の下肢映像を見ながら課題を行った場合と比較して, 広範囲で運動や認知に関連する領野の活動が増加し, 右の体性感覚連合野, 上頭頂小葉, 下頭頂小葉および前頭眼野, 左の前頭前野背外側部, 両側の紡錘状回の活動が増加した (図5, 表1)。

しかし, 第三者の下肢映像を見ながら課題を行った場合, 被験者自身の下肢映像を見ながら行った場合と比較して, 活動が増加する部位はなかった。

Rubyらは, 三人称イメージの動作観察で右上頭頂小葉が活動したと報告している<sup>16)</sup>。これは, 自己と他者の分離において他者認識の右頭頂葉の優位性を示す。今回は, 一人称イメージでの運動実行課題で右SPL近傍部の活動が増加した。

一方, 右IPLは, 自己運動と視覚的フィードバックの不一致により賦活するという報告がある<sup>17)</sup>。頭頂葉では, 前方にある体性感覚野からの体性感覚情報と後方から来る視覚情報がSLPで統合され, IPLに送られ総合的な認知情報となる<sup>18)</sup>。このように, SPLとIPLは非常に密接に関係しており, 今回の研究においても, 被験者自身の動く足趾動作であってさえ, 模倣による視覚的フィードバックと固有受容感覚フィードバックの不一致が影響した可能性がある。そのため, 今回の研究においても被験者自身の映像に反応し, 映像の動きとの不一致によりSPL近傍部の活動が増加したと考える。

BA9とBA46は前頭前野背外側部 (DLPFC) とされ<sup>19)</sup>, 特にBA46はワーキングメモリ課題遂行時に例外なく活性化する<sup>20)</sup>。今回の研究でも, イメージ生成の際, ワーキングメモリが使用されたと考える。

FEFは眼球運動に関与し, そのニューロンの視覚応答成分が予測に応答する<sup>21)</sup>。脳は次に起こりうる運動を予測する。眼球運動の場合, 上丘から



前頭眼野への随伴発射により眼球の運動を予測し知覚が安定する<sup>22)</sup>。

今回の研究でも、「一定でないリズム」課題において、運動を予測したと考える。

第三者の下肢映像を見ながら課題を行った場合、活動が増加する部位はなかった。

## 2. 「一定リズム」課題群の群内比較

「一定リズム」課題群の群内比較において、被験者自身の下肢映像を見ながら課題を行った場合、第三者の下肢映像を見ながら課題を行った場合と比較して、運動や感覚、認知に関連する領野の活動が増加した(図6, 表2)。

しかし、第三者の下肢映像を見ながら課題を行った場合、被験者自身の下肢映像を見ながら課題を行った場合と比較して、活動が増加する部位はなかった。

STG後部領域は、第三者と被験者自身の同調を示す<sup>23)</sup>。今回の結果も、提示された第三者の「一定リズム」映像に同調し、活動が増加したこと、本研究で隣に座る治療者の動きを一人称イメージとして想定したことから、第三者としての治療者の動きが同調した状態を示すと考える。

## 3. 「一定でないリズム」課題群と「一定リズム」課題群の群間比較

被験者自身の下肢映像を用いた「一定リズム」課題は、第三者の下肢映像を用いた「一定でないリズム」課題と比較して、感覚や認知に関連する領野の活動が増加した。しかし、第三者の下肢映像を用いた「一定でないリズム」課題は、被験者自身の下肢映像を用いた「一定リズム」課題と比較して、活動が増加する部位は無かった。

第三者の「一定リズム」課題と「一定でないリズム」課題の比較では、「一定リズム」課題の方が、右SPL, 右BA19近傍部, 右FG, 左BA19及び近傍, 左PM, 左BA9の活動が増加した。

被験者自身の下肢映像を用いた「一定でないリ

ズム」課題は、第三者の下肢映像を用いた「一定リズム」課題と比較して、感覚や認知に関連する領野の活動が増加した。しかし、第三者の下肢映像を用いた「一定リズム」課題は、被験者自身の下肢映像を用いた「一定でないリズム」課題と比較して、活動が増加する部位はなかった。

被験者自身の下肢映像を用いた「一定リズム」課題は、被験者自身の下肢映像を用いた「一定でないリズム」課題と比較して、活動が増加する部位はなかった。同じく、被験者自身の下肢映像を用いた「一定でないリズム」課題は、被験者自身の下肢映像を用いた「一定リズム」課題と比較して、活動が増加する部位はなかった。

### 3.1 被験者の下肢映像「一定リズム」課題 vs. 第三者の下肢映像「一定でないリズム」課題

被験者自身の下肢映像を用いた「一定リズム」課題は、第三者の下肢映像を用いた「一定でないリズム」課題と比較して、感覚や認知に関連する領野の活動が増加した(図7, 表3)。

BA46は背外側前頭前野(DLPFC)とともにワーキングメモリとされる<sup>20)</sup>。DLPFCは、ワーキングメモリ課題遂行時に例外なく活性化<sup>19)</sup>、ワーキングメモリ課題の負荷が高くなるとより活性化が高まる部位である<sup>24)</sup>。

Bollingerは、ワーキングメモリの実験において、右中前頭回から紡錘状回顔領域への顔に関する出現の期待や予期の認知的制御機構を示した<sup>25)</sup>。

今回の研究においても、「一定リズム」課題で出現した被験者自身の下肢映像に反応したと考える。

しかし、第三者の下肢映像を用いた「一定でないリズム」課題は、被験者自身の下肢映像を用いた「一定リズム」課題と比較して、活動が増加する部位は無かった。

### 3.2 第三者の下肢映像「一定リズム」課題 vs. 第三者の下肢映像「一定でないリズム」課題

第三者の下肢映像を用いた「一定リズム」課題は、第三者の下肢映像を用いた「一定でないリズム」課題と比較して、感覚や認知に関連する領野の活動が増加した(図8, 表4).

右の上頭頂小葉は、三人称イメージの動作観察で活動が増加する<sup>16)</sup>. 今回の研究では、被験者自身の映像との比較のため活動が増加したと考える.

紡錘状回において、右FG前部領域は非言語性の意味記憶に関連し、左FG前部領域は言語性の意味記憶に関連するとの報告がある<sup>26)</sup>. また、Cantlonは、顔と他の対象物の比較において顔の提示で有意に右紡錘状回が活動し、文字の提示で左紡錘状回が活動したと報告している<sup>27)</sup>.

紡錘状回には顔や手足に反応する部位が有り<sup>27)</sup>, 今回の研究においても、第三者の下肢映像を用いたため右紡錘上回が反応したと考える.

しかし、第三者の下肢映像を用いた「一定リズムでない」課題は、第三者の下肢映像を用いた「一定リズム」課題と比較して、活動が増加する部位はなかった.

### 3.3 被験者自身の下肢映像「一定でないリズム」課題 vs. 第三者の下肢映像「一定リズム」課題

被験者自身の下肢映像を用いた「一定でないリズム」課題は、第三者の下肢映像を用いた「一定リズム」課題と比較して、感覚や認知に関連する領野の活動が増加した(図9, 表5).

活動部位は、右BA21 (MTG: 中側頭回), 右BA40 (SMG: 縁上回) 近傍部, 左 (SMG: 縁上回) である.

我々の利き足と非利き足の運動イメージ生成の相違に関する研究では、利き足は、非利き足と比較して、左右のBA40 (SMG: supramarginal gyrus, 縁上回) と右BA10 (前頭極) 及び左BA21 (MTG: Middle temporal gyrus, 中側頭回) の活動が増加することが示唆された<sup>28)</sup>.

今回の研究においても左右のSMGの活動が増加した. 利き足と非利き足の研究では、我々は、

非利き足は利き足と比較して運動イメージをしづらく、利き足は運動イメージをし易い為だと考えた. しかし、今回の研究では、右のMTGの活動が増加した. 今後、MTGの左右差に関する研究が必要である.

しかし、第三者の下肢映像を用いた「一定リズム」課題は、被験者自身の下肢映像を用いた「一定でないリズム」課題と比較して、活動が増加する部位はなかった.

### 3.4 被験者自身の下肢映像「一定リズム」課題と被験者自身の下肢映像「一定でないリズム」課題での活動変化

特に有意に変化する部分はない.

他者の顔写真と自分自身の顔写真との比較を行ったfMRI研究では、他者の顔を見たときに比べ、自分自身の顔を見たときに、FG, 頭頂葉楔前部, vPMとIFGの活動増加が報告されている<sup>29)</sup><sup>30)</sup>. 今回の研究では、両者ともに被験者自身の映像であったため、被験者自身と判断し活動が増加した部位がなかったと考える.

## 4. 一人称イメージを用いた「一定リズム」課題と「一定でないリズム」課題の自己と他者の認識について

群内比較においては、「一定でないリズム」課題群、「一定リズム」課題群ともに、第三者の下肢映像と比較して、被験者自身の下肢映像課題に多く賦活部位が現れた. 特に「一定でないリズム」課題において広く認知と運動に関する領野が賦活した(図5, 表1).

群間比較においては、「一定リズム」課題は、被験者自身の下肢映像, 第三者の下肢映像ともに、第三者の下肢映像「一定でないリズム」と比較して、「一定リズム」課題に多く賦活部位が現れた. 特に被験者自身の下肢映像「一定リズム」課題において広く認知と運動に関する領野が賦活した(図7, 表3).

つまり、被験者自身の下肢映像「一定でないリ

ズム」, 被験者自身の下肢映像「一定リズム」課題ともに, 第三者の下肢映像「一定でないリズム」課題と比較して, 共通する認知と運動に関する領域が賦活した。

また, 第三者の下肢映像「一定でないリズム」課題, 第三者の下肢映像「一定リズム」課題ともに, 被験者自身の下肢映像「一定リズム」と比較して, 活動が増加する部位はなかった。

共通する認知と運動に関する領域は, 右BA7 (SPL), 右BA40 (SG), 右BA8 (FEF), 左BA9 (DLPFC), 左BA6 (PM) であった,

相違する部位としては, 特に, 「一定でないリズム」課題では左BA46, 「一定リズム」課題では右BA46が賦活した。

BA46は背外側前頭前野 (DLPFC) とともにワーキングメモリとされる<sup>20</sup>。Nybergは, ワーキングメモリの左右差について, 記銘は左半球, 想起は右半球で処理すると報告している<sup>31</sup>。

記銘とは何かを覚えることであり, 想起とは思いつくことである。

#### 4.1 被験者自身のBA46の賦活に関して

Berryの研究では<sup>32</sup>, ワーキングメモリの視覚と聴覚の刺激処理は異なる部分を使用することが示唆されており, Smithは<sup>33</sup>, 空間情報では右側の前頭葉と頭頂葉, 物体情報では左側の前頭葉と頭頂葉が賦活するとし, 課題により活性化する領域が違ふことが示唆される。

脳梗塞患者の報告において, 右のDLPFCの損傷は, 時間知覚の障害を求めた報告がある<sup>9</sup>。

また, 前頭前野損傷患者に時間弁別課題を行った場合, 注意負荷の影響が大きいと報告されている<sup>34</sup>。

このように, 時間知覚には前頭前野が深く関わっていると考える。

基準間隔と比較間隔を比較した研究では, 基準間隔では両側運動前野と右下頭頂小葉が賦活し,

比較間隔では右背外側運動前野が賦活した<sup>35</sup>。Raoは, このことより, 両側の運動前野と右下頭頂小葉は時間情報の符号化を行う領域とした。また, 右背外側前頭前野は, 時間情報の比較過程に従事している領域とした。

また, 右のDLPFCを中心とする皮質ネットワークは時間弁別に関連する<sup>36</sup>。

今回の研究では, 基準間隔が2秒間隔の「一定リズム」, 比較間隔が「一定でないリズム」に相当すると考える。先行研究では, 比較間隔課題で右のDLPFCが賦活した<sup>33</sup>。しかし, 今回の研究では, 「一定でないリズム」課題群の群内比較において, 被験者自身の下肢映像を見ながら課題を行った場合, 第三者の下肢映像を見ながら課題を行った場合と比較して左のBA46が賦活し (図5, 表1), 「一定リズム」課題群と「一定でないリズム」課題群の群間比較において, 被験者自身の下肢映像を用いた「一定リズム」課題は, 第三者の下肢映像を用いた「一定でないリズム」課題と比較して右のBA46が賦活した (図7, 表3)。

#### 4.2 SPL, IPLとSGの自己と他者の分離について

Farrerは, 右IPLは, 自己運動と視覚的フィードバックの不一致により賦活するとしている<sup>37</sup>。前述したように, SPLとIPLは非常に密接に関係しており, 今回の研究においても, 被験者自身の動く足趾動作であってさえ, 模倣による視覚的フィードバックと固有受容感覚フィードバックの不一致が影響した可能性がある。この点に関して今後の課題としたい。

BA7 (SPL), BA40 (SG) に関しては, 自己と他者の分離において他者認識の右頭頂葉の優位性を示す<sup>16</sup>。一方, 前述した通り, 右IPLは, 自己運動と視覚的フィードバックの不一致により賦活するという報告がある<sup>17</sup>。

今回の研究では, 被験者自身の下肢映像「一定でないリズム」課題群の群内比較においては, 自己運動との視覚フィードバックの不一致が考えら

れるが、被験者自身の下肢映像「一定リズム」課題は、第三者の下肢映像「一定でないリズム」課題との比較において、実際の運動による賦活増加と考えることが妥当と考える。

また、体性感覚と視覚のタイミングの整合性に関する研究では、見ている手の映像の遅延が大きいと右IPL、遅延が小さいと左右のSPLが活動した<sup>38)</sup>。今回の研究では、被験者自身の下肢映像「一定リズム」課題は、第三者の下肢映像「一定でないリズム」課題と比較して、右SPLと左右のIPLの活動が増加した。SPLに障害を生じると、自分が行っているのに自分の運動として認識しない症状が現れる<sup>39)</sup>。被験者自身の下肢映像と第三者の下肢映像の加え、「一定でないリズム」下肢映像の模倣運動に対しタイミングの非整合性が関与したものと考える。今後、詳細に検討を行いたい。

したがって、このように、比較対象が変わることにより、責任活動部位が変化することが考えられる。

#### 4.3 リハビリテーションへの応用について

一人称イメージ課題を用いた場合、第三者の「一定でないリズム」下肢映像と比較して、被験者自身の「一定でないリズム」課題、「一定リズム」課題ともに幅広く認知や運動に関する脳部位が賦活した。

これらの結果より、広く認知や運動に関する脳部位の賦活を行うためには、本研究で第三者と想定した隣坐する治療者の「一定でないリズム」課題を模倣することが重要と考える。

脳には可塑性が存在する<sup>40)</sup>。可塑性を導くためには、随意運動が重要である<sup>41)</sup>。脳活動の賦活、運動企図を繰り返す事により可塑性が誘導されることが報告されている<sup>42)</sup>。したがって、「一定でないリズム」で運動を行うことは脳の可塑性に有効な手段となり得る可能性があると考えられる。

また、模倣と同時に麻痺した下肢に対して「一定リズム」「一定でないリズム」で他動的に動かすことも重要な治療法と考える。

今回の検定では、SPM12を用いた。SPM12の統計処理には、FWEとuncorrectedがある。FWEは、多重比較補正を行い課題に関係しないvoxelを除去する検定である。一方、uncorrectedは、多重比較補正を行わない検定方法である。以前より多重比較補正を用いない仮説検定であるuncorrectedをfMRIの統計検定に用いることの問題性が指摘されている<sup>43)</sup>。しかし、多重比較補正を用いるFWEでは検定が厳しく有意な脳の賦活部位の確認ができない可能性もあり、今回は、傾向を見るためにuncorrectedを用いた。

今後さらに精度を向上させた研究方法が必要と考える。

しかし、大脳皮質レベルでのリズム生成に関しては、今回の研究で明確にすることができなかった。今後の課題としたい。

#### 結 語

被験者自身の群内比較での「一定でないリズム」課題、群間比較での「一定リズム」課題ともに、第三者の「一定でないリズム」課題と比較し、広く認知と運動に関する脳の領野が賦活した。特に、「一定でないリズム」課題では左BA46、「一定リズム」課題では右BA46が賦活した。隣坐する治療者を模倣する場合、治療者は「一定でないリズム」で見本を示し、それを模倣することで広く認知や予測、運動に関する脳領野を賦活させることが示唆された。

#### 文 献

- 1) Yue G, et al.: Strength increase from the motor program : comparison of training with maximal voluntary and imagined muscle contractions. *J Neurophysiol* 67: 1114-1123 ; 1992.
- 2) 牧野 均, 生駒一憲: 一人称イメージと二パターンの三人称イメージによる足趾運動の脳活動について. *北海道文教大学研究紀要*, 36 : 63-72, 2011.

- 3) 牧野 均, 生駒一憲: f-MRIを用いた一人称イメージと三人称イメージによる足趾運動の脳活動の相違に関する研究. 北海道文教大学研究紀要, 36: 147-153, 2012.
- 4) 牧野 均, 生駒一憲: 一人称イメージと三人称イメージでの運動イメージ課題を用いた場合の脳活動の比較研究. 北海道文教大学研究紀要, 40: 55-68, 2015.
- 5) Patelet AD, et al.: The influence of metricality and modality on synchronization with a beat. *Exp Brain Res* 163: 226-238; 2005.
- 6) Lange et al.: Subjective time estimation in Parkinson's disease. *J Neural Transm Suppl.* 46, 433-8, 1995.
- 7) Grube et al.: Dissociation of duration-based and beat-based auditory timing in cerebellar degeneration. *Proc Natl Acad Sci USA* 107: 11597-11601, 2010.
- 8) Teki S et al.: Distinct neural substrates of duration-based and beat-based auditory timing. *J Neurosci* 312 3805-3812, 2011.
- 9) Harrington et al: Cortical networks underlying mechanisms of time perception. *Journal of Neuroscience*, 18, 1085-1095, 1998.
- 10) Grillner S, et al.: Control of locomotion in bipeds, tetrapods, and fish. In *Handbook of Physiology. vol. II, The Nervous System, Motor Control* Bethesda, Am. Physiol. Soc.:1179-1236; 1981.
- 11) Armstrong DM, et al: The supraspinal control of mammalian locomotion. *J. Physiol.* 405: 1-37; 1988.
- 12) Nielsen JB, et al: How we walk: central control of muscle activity during human walking. *Neuroscientist.* 9 (3) :195-204; 2003.
- 13) Yang JF, et al.: Spinal and brain control of human walking: implications for retraining of walking. *Neuroscientist.* 12 (5) :379-389; 2006.
- 14) 牧野 均, 生駒一憲: 3人称イメージを用いた「一定リズム」と「一定でないリズム」の足趾の模倣運動を行った場合の脳活動部位の相違に関して. 北海道文教大学研究紀要, 38: 55-68, 2013.
- 15) Talairach Daemon, Research Imaging Institute of the University of Texas Health Science Center San Antonio, <http://www.talairach.org/index.html>
- 16) Ruby P, et al.: Effect of subjective perceptual taking during simulation of action- a PET investigation of agency. *Nature Neuroscience* 4: 546-550, 2001.
- 17) Farrer, C., Franck, N., Georgieff, N., Frith, C.D., Decety, J. and Jeannerod, M.: Modulating the experience of agency: a positron emission tomography study. *Neuroimage* 18: 324-333. 2003.
- 18) 丹治 順: 頭頂連合野と運動前野は何をしているのか? -その機能的役割について-. *理学療法学.* 40 (8). 641-646. 2013.
- 19) Okamoto M, Dan H, Sakamoto K, et al.: Three dimensional probabilistic anatomical cranio-cerebral correlation via the international system oriented for transcranial functional brain mapping. *NeuroImage* 21: 99-111. 2004.
- 20) Cabeza & Nyberg, Image cognition: An empirical review of PET studies with normal subjects. *Journal of Cognitive Neuroscience* 9:1-26. 1997.
- 21) Umeno MM, et al.: Spatial processing in the monkey frontal eye fields. I. Predictive visual responses. *J Neurophysiol* 79: 322-333; 1998.
- 22) Sommer MA, et al: What the Brain Stem Tells the Frontal Cortex. II. Role of the SC-MD-FEF Pathway in Corollary Discharge. *J. Neurophysiol* 91: 1403-1423; 2004.
- 23) Dikker S, et al: On the same wavelength: predictable language enhances speaker-listener brain-to-brain synchrony in posterior superior temporal gyrus. *J Neurosci.* 34 (18) :6267-72; 2014.

- 24) Cohen, J. D., Perstein, W.M., Braver, T.S., Nystrom, L.E., Noll, D.C., Jonides, J., & Smith, E.E., Temporal dynamics of brain activation during a working memory task. *Nature* 386: 604-608. 1997.
- 25) Bollinger, J et al.: Expectation-Driven Changes in Cortical Functional Connectivity Influence Working Memory and Long-Term Memory Performance. *The Journal of Neuroscience*, 30 (43) : 14399-14410, 2010.
- 26) Mion M. et al.: What the left and right anterior fusiform gyri tell us about semantic memory. *Brain*. 133: 3256-3268, 2010.
- 27) Cantlon, J.F.et al.: Cortical Representations of Symbols, Objects, and Faces Are Pruned Back during Early Childhood. *Cerebral Cortex*, 21, 191-199, 2011.
- 28) 牧野 均・生駒一憲.: 利き足と非利き足の運動イメージ生成に関する脳活動の相違に関して. *北海道文教大学紀要*. 41. 13-27. 2017.
- 29) Platek, S.M. et al.: Where sm I ? The neurological correlates of self and other . *Cogn. Brain Res.*, 19 (2) , 114-122. 2004.
- 30) Uddin, L. G. et al.: Self-face recognition activates a frontoparietal “mirror” network in the right hemisphere: An event-related fMRI study. *NeuroImage*, 23 (3) , 926-935. 2005.
- 31) Nyberg, L., et al.: PET studies of encoding and retrieval : The HERA model. *Psychonomic Bulletin and Review*, 3 : 135-148, 1996.
- 32) Berry, A. S. et al.: Shared and distinct factors driving attention and temporal processing across modalities. *Acta Psychologica*, 147, 42-50, 2014.
- 33) Smith, E, et al.: Spatial and object workingmemory: PET investigations. *J Cogn Neurosci* 7: 337-356, 1995.
- 34) Casini L et al.: Effects of divided attention on temporal processing in patients with lesions of the cerebellum or frontal lobe. *Neuropsychology*. 13 (1) , 10-21, 1999.
- 35) Rao et al.: The evolution of brain activation during temporal processing. *Nature Neuroscience* 4, 317-323, 2001.
- 36) Smith EE et al.: Neuroimaging studies of working memory: a meta-analysis. *Cogn Affect Behav Neurosci* 3 (4) , 255-74, 2003.
- 37) Farrer, C.et al.: Modulating the experience of agency: a positron emission tomography study. *Neuroimage* 18: 324-333. 2003.
- 38) Shimada, S. et al.: The parietal role in the sense of self-ownership with temporal discrepancy between visual and proprioceptive feedbacks. *NeuroImage*. 24 (40) . 1225-1232. 2005.
- 39) Sirigu, A. et al.: Perception of self-generated movement following left parietal lesion. *Brain*. 122 (10) . 1867-1874. 1999.
- 40) Nudo RJ, Jenkins WM, Merzenich MM, Prejean T, Grenda R. Neurophysiological correlates of hand preference in primary motor cortex of adult squirrel monkeys. *J Neurosci*. 12, 2918-2947. 1992.
- 41) Lotze M, Cohen LG : Volition and imagery inneurorehabilitation. *Cogn Behav Neurol* 19 : 135-140, 2006.
- 42) Ramos-Murguialday A, Broets D, Rea M, et al : Brain-machine inter face in chronic stroke rehabilitation : a controlled study. *Ann Neurol* .74 : 100-108, 2003.
- 43) <http://deevybee.blogspot.jp/2012/03/time-for-neuroimaging-to-clean-up-its.html>

## Comparison Between “Irregular Rhythmic Movements” and “Regular Rhythmic Movements” Cortical Activation during Motor Imagery Using First-Person Perspective Imagery:

An fMRI Study on the Difference Between Right and Left Working Memory of Each BA46 Relating to Rhythms

MAKINO Hitoshi and IKOMA Katsunori

**Abstract:** We are performing rehabilitation for patients using motor imagery. There are two main modes of motor imagery: first-person perspective imagery (1PPI: Kinesthetic motor imagery) and third-person perspective imagery (3PPI: Visual motor imagery). The purpose of this study is to determine the cortical representations in "irregular rhythmic" and "regular rhythmic" leg movements during motor imagery with toe movements in healthy persons using 1PPI. 32 healthy subjects with right-dominant legs, participated in the study after signing consent forms. fMRI of 1.5T was used to map cortical representations associated with motor tasks of the right toes. In these tasks, subjects watched video clips depicting simple 1PPI actions of toes and were required to imitate the same movements. This process was done twice, once after the patients watched their own leg movements and one more time after they watched someone else's leg movements. The “irregular rhythmic movements” group (16 persons) and the “regular rhythmic movements” group (16 persons), while imitating toe movements for themselves, compared with the “irregular rhythmic movements” while imitating toe movements for others, showed an increased activation in the broad area of cognition, prediction and exercise. Especially the “irregular rhythmic movements” group showed an increased activation in the left BA46, the “regular rhythmic movements” group showed an increased activation in the right BA46. Our results suggest that brain activity within the broad area of cognition, prediction, and exercise, may increase in “irregular rhythmic movements” and “regular rhythmic movements”, while imitating toe movements for themselves. Moreover, it is implied in the results that there is the possibility of activating each working memory in the right and left respectively.

Keywords: fMRI, first-person perspective imagery (1PPI: Kinesthetic motor imagery), Working Memory, Rhythm