

研究論文

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

—運動イメージ課題をリハビリテーションに用いる場合の効果的方法についての検討—

牧野 均・生駒 一憲*

(2015年10月30日受稿)

抄録： 運動イメージ課題をリハビリテーションに効果的に応用するために、一人称イメージと三人称イメージの運動イメージ想起の方法の違いに着目し、機能的磁気共鳴画像法（functional magnetic resonance imaging, 以下 f-MRI）を用いて脳活動部位の比較を行った。対象は、一人称イメージ課題群 19 名、三人称イメージ群 17 名である。結果、一人称イメージ課題群では、被験者自身の動く足趾映像を見ながら運動イメージ課題を行った場合、第三者の動く足趾映像を見ながら運動実行課題を行った場合と比較して、左角回と右紡錘状回の活動が増加した。三人称イメージ課題群では、第三者の動く足趾映像を見ながら運動イメージ課題を行った場合、被験者自身の動く足趾映像を見ながら運動実行課題を行った場合と比較して、左中前頭回ブロードマンの 9 野の後部領域の活動が増加した。一人称イメージ課題群と三人称イメージ課題群の群間比較では、三人称イメージとしての被験者自身の動く足趾映像を見ながら運動イメージ課題を行った場合、一人称イメージとしての第三者の動く足趾映像を見ながら運動イメージ課題を行った場合と比較して、左右の舌状回と右前帯状皮質の活動が増加した。これは、一人称イメージ課題と三人称イメージ課題に被験者自身と第三者を組み合わせることで相補的な制御で課題の遂行を行った可能性があることを示す。以上の結果より、一人称イメージを運動イメージ課題として用いる場合は被験者自身の足趾を見つめさせつつセラピストが他動的に足趾を動かすこと、三人称イメージ課題を用いる場合は向かいに座ったセラピストの足の動作を模倣しつつ同時にセラピストが他動的に足趾を動かすことが自己を認識しつつ効果的にリハビリテーションを行う可能性があると考えられる。

キーワード：fMRI, 一人称イメージ, 三人称イメージ, 運動イメージ課題, 運動実行課題

I. はじめに

運動イメージを利用してパフォーマンスを向上させる報告が多数なされている^{1) 2) 3)}。先行研究では、運動イメージを想起することで、実際に運動を実行することと同じ効果が神経機構に生ずるとしている^{4) 5)}。運動イメージは、直接筋活動に影響を与えるのではなく、運動のプランニングやプログラム等の高次レベルでの活動に関与する⁶⁾。このことは、何らかの麻痺により随意運動を行うことが障害された症例に対し中枢レベルでの

機能を維持する有効な手段であると考えられる。

運動イメージは大別して、一人称イメージと三人称イメージに分けられる。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かのような運動イメージであり筋感覚的イメージとも呼ばれる。三人称イメージは他者が行っているのを見ているかのような運動イメージであり視覚的運動イメージとも呼ばれる。

内藤は、一人称イメージを運動イメージに結びつけて想起する場合、ある程度の経験と対象とす

る運動の認知的要素が不可欠としている⁷⁾。Rubyは、三人称イメージを運動に結びつけて想起する場合、右下頭頂小葉が活動したと報告している⁸⁾。我々の研究では、一人称イメージを運動イメージに結びつけて想起した場合、運動実行課題では左頭頂間溝前部、イメージ課題では左腹側運動前野が賦活傾向にあった⁹⁾。

このように、一人称イメージと三人称イメージによる運動想起方法の違いで脳の活動部位に相違があることが分かった。

リハビリテーションにおいて、何らかの障害を持った症例に対し、療法士や症例自身の身体の模倣を通して、運動課題の運動イメージを想起させ課題を遂行する治療を行う場合がある。たとえば、症例自身が自身の足趾を見ながら一人称イメージとして運動イメージを想起する場合、鏡に映った自身の足趾を見ながら三人称イメージを応用して運動イメージを想起する場合や、隣に座った療法士の動く足趾を見つつ一人称イメージを応用して自身の運動イメージを想起する場合、また、向かいに座った療法士の動く足趾を見つつ三人称イメージを応用して自身の運動イメージを想起する場合である。

特に、麻痺した手足の治療に際し、治療者・セラピストが介助または自動介助運動を行いつつ被験者に運動をイメージしていただく治療を行う場合も多い。

しかし、中枢神経疾患を伴った症例の場合、一人称イメージと三人称イメージという運動想起方法による脳活動部位の相違を考慮しなければ治療の効果を得られない可能性がある。

そのため我々は、運動イメージ課題をリハビリテーションに用いる場合、一人称イメージと三人称イメージの運動イメージ想起の方法の違いに着目し、運動実行と比較し運動イメージ想起の脳活動部位の相違を検討することが重要であると考え

る。今回我々は、自己の一人称イメージと他者の一人称イメージを比較する一人称イメージ課題

群、および自己の三人称イメージと他者の三人称イメージを比較する三人称イメージ課題群の映像を提示し運動実行課題と運動イメージ課題を各々比較することによって一人称イメージと三人称イメージでの脳活動部位の違いを検討し、さらに両群を比較することで脳活動の相違に関して知見を得たので報告する。

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36名（男性18名、女性18名、平均年齢 21.6 ± 0.68 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。参加者は無作為に2群に分けた。

【一人称イメージ課題群】

健常成人男女19名（男性9名、女性10名、平均年齢 21.7 ± 0.65 歳）。

【三人称イメージ課題群】

健常成人男女17名（男性9名、女性8名、平均年齢 21.5 ± 0.70 歳）。

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

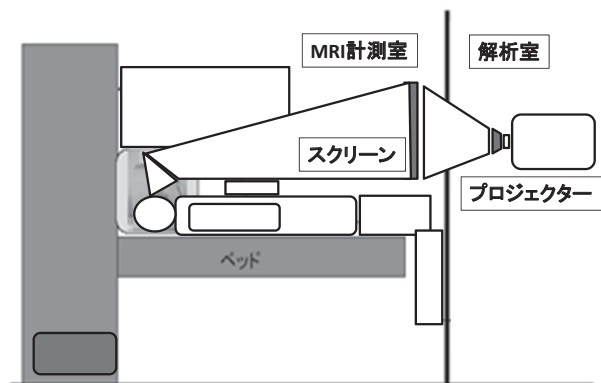


図1 f-MRI測定模式図

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。

投影された足趾動作の映像の指示に基づき、運動イメージ課題および運動実行課題を行うこととした(図1)。

測定後各群内にて運動イメージ課題と運動実行課題および「見る」課題の各課題間の比較を行った。その後、運動イメージ課題において一人称イメージ課題群と三人称イメージ群の群間比較を行った。

スクリーンに投影される映像は、一人称イメージ群は自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)、三人称イメージ群は被験者自身と第三者の三人称イメージ(正面から突き出た足)の映像である(図2-A, B)。一人称イメージ映像、三人称イメージ映像ともに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-A, B)。被験者自身の映像と第三者の映像は予想がつかないようにランダムに組み合わせた(図4)。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、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5-A, B)。

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右側足趾を、実際には握らずに握ろうとイメージする運動イメージ課題と動く足趾映像を見る課題と実際に握る運動実行課題を組

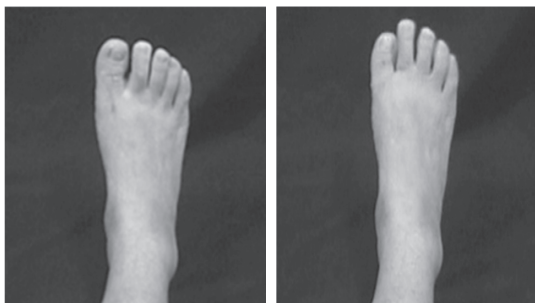


図2-A 一人称イメージ課題

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

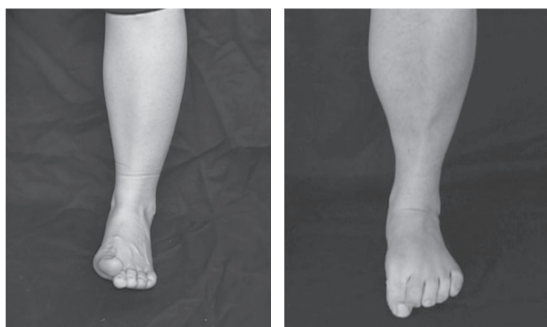


図2-B 三人称イメージ課題

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

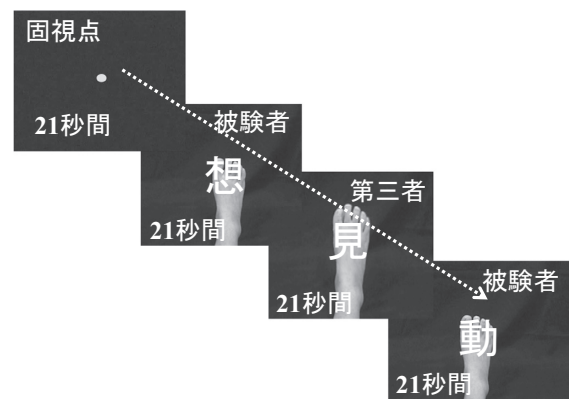


図3-A 一人称イメージ群の課題提示

あらかじめ撮影した被験者の一人称イメージ映像と第三者の一人称イメージをランダムに同回数組み合わせ、4分12秒間の課題を2セッション行った。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。指示は「想」が運動イメージ課題、「見」が映像を見る課題、「動」が運動実行課題とした。

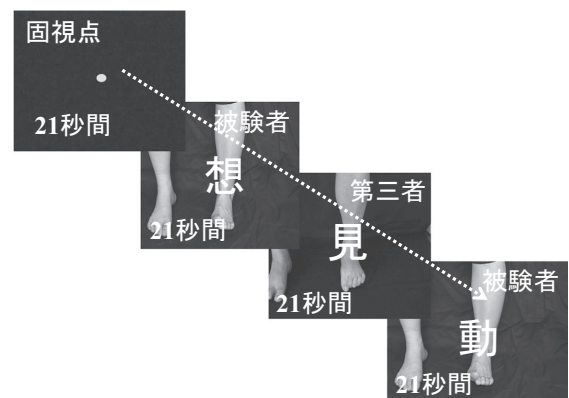


図3-B 三人称イメージ群の課題提示

あらかじめ撮影した被験者の三人称イメージ映像と第三者の三人称イメージをランダムに同回数組み合わせ、4分12秒間の課題を2セッション行った。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。指示は「想」が運動イメージ課題、「見」が映像を見る課題、「動」が運動実行課題とした。

み合わせることにした。運動イメージ課題は「想」の「想」の字を用いて指示し提示を行った。この課題指示の文字の「想」は、映像最初期の1秒間提示した。同様に見る課題には「見」の字を用い、運動実行課題には「動」の字を用いて課題の指示を行った (図3-A, B)。

また、固視課題は、中心に黒地で白抜ききの小さい「・」(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、一足趾握る、残り4足趾握る、の一連の動作は、21秒間に9回行った。この把握動作は、被験者に予測させないよう一定でな

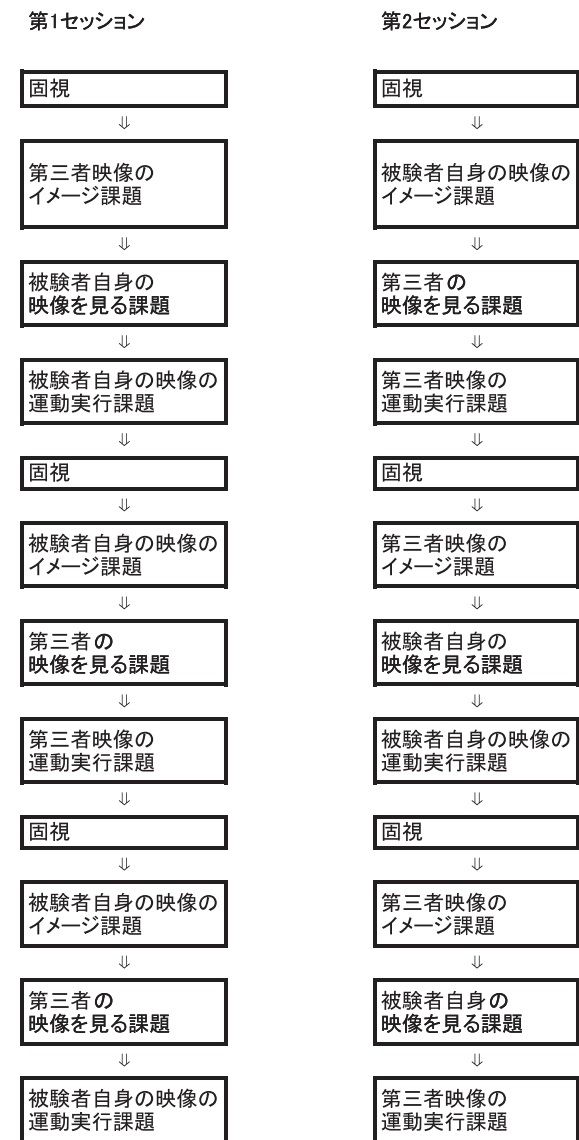


図4 一人称イメージ課題の足趾動作の基本パターン
一人称イメージ群, 三人称イメージ群ともに図の順にて課題を行った。

いリズムで動く映像とした。また、同一映像を2パターン準備し組み合わせさせた。

すべての課題は21秒間のブロックデザインとし、それぞれ組み合わせせて4分12秒課題映像として2セッション行った。

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。

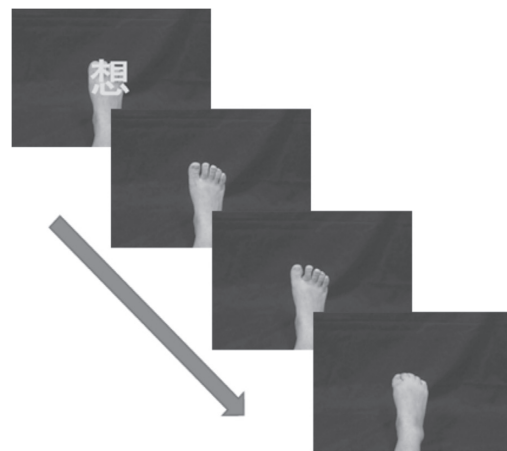


図5-A 一人称イメージ課題の足趾動作の基本パターン
一人称足趾動作基本パターンは、1秒間の課題指示後、足趾を開いた状態から一趾握りそして残り四趾を握る動作とした。一連の動作は21秒間に9回行い、被験者に予測させないよう一定でないリズムで行った。また映像を2パターン準備し組み合わせさせた。

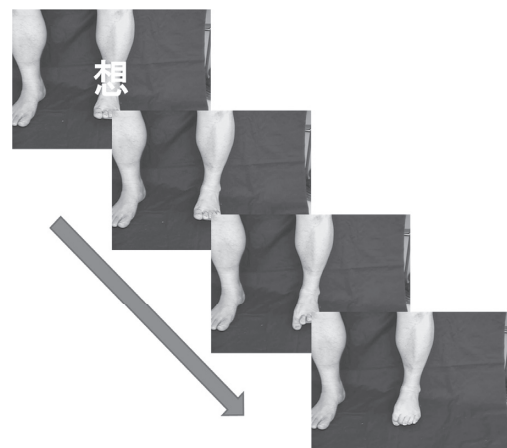


図5-B 三人称イメージ課題の足趾動作の基本パターン
三人称足趾動作基本パターンは、1秒間の課題指示後、足趾を開いた状態から一趾握りそして残り四趾を握る動作とした。一連の動作は21秒間に9回行い、被験者に予測させないよう一定でないリズムで行った。また映像を2パターン準備し組み合わせさせた。

この設定の上で、各群内の運動イメージ課題と運動実行課題の比較、一人称イメージ群と三人称イメージ群の群間にて比較検定を行った。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SPM8を組み合わせで行った。得られたfMRIデータは、SPM8上にて頭部の動きを補正するための realignment, 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を前処理として順次行った。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、一人称イメージ群と三人称イメージ群の各群内の各課題間で One-sample t-test を行った後、各群内においてSPM8上のfamily wise error (以下FWE) の $p < 0.05$ で統計的推論を行った。各群内での比較では、2要因とも対応がある2元配置分散分析の交互作用の検定を行った。分散分析を行う際、要因1は「誰の映像を見たか。」とし水準を「被験者自身」と「第三者」の2水準、要因2は「課題の種類」とし水準を「運動実行課題」・「運動イメージ課題」・「見る課題」の3水準とした。

一人称イメージ群と三人称イメージ群の群間比較の統計処理は、各課題間で Two-sample t-test を行った後、各群間においてSPM8上のfalse discovery rate (以下FDR) の $p < 0.05$ で統計的推論を行った。

脳賦活部位の同定は、SPM8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>)⁴⁶⁾。

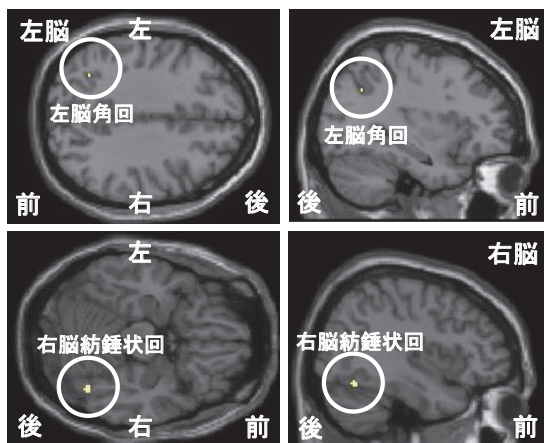


図6 一人称イメージ群内での運動イメージ課題を行った場合と運動実行課題を行った場合の比較

運動イメージ課題 — 運動実行課題

被験者の足趾 vs. 第三者の足趾

一人称イメージ群内で被験者自身の足趾映像を見ながら運動イメージ課題を行った場合と第三者の足趾映像を見ながら運動実行課題を行った場合の比較。運動イメージ課題を行った方が左角回と右紡錘状回の活動が増加した。

Ⅲ. 結果

1. 一人称イメージ群の群内比較

一人称イメージ群内にて群内比較を行った。分散分析による交互作用は認めなかった。被験者自身の動く足趾映像を見ながら運動イメージ課題を行った場合、第三者の動く足趾映像を見ながら

表1 一人称イメージ群内での運動イメージ課題を行った場合と運動実行課題を行った場合の比較

運動イメージ課題 — 運動実行課題

被験者の足趾 vs. 第三者の足趾

	p-value	MNI coordinates			Talairach coordinates		
		x	y	z	x	y	z
Right FG	0.001	42	-62	-16	42	-50	-12
Left AG	0.023	-32	-60	36	-32	-56	36

一人称イメージとしての被験者自身の動く足趾映像を見ながら運動イメージ課題を行った場合、一人称イメージとしての第三者の動く足趾映像を見ながら運動実行課題を行った場合と比較して、右紡錘状回 (BA37 近傍) と左角回 (BA39 近傍) の活動が増加した。脳活動部位の同定は、SPM8 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。

運動実行課題を行った場合と比較して、左角回（以下Angular gyrus:AG）と右紡錘状回（以下Fusiform gyrus:FG）の活動が増加した（表1, 図6）。それ以外の被験者自身の足趾映像同士や第三者の足趾映像同士等のいずれの比較も有意に賦活する部位はなかった（図7）。

2. 三人称イメージ群の群内比較

三人称イメージ群内にて群内比較を行った。分散分析による交互作用は認めなかった。第三者の動く足趾映像を見ながら運動イメージ課題を行った場合、被験者自身の動く足趾映像を見ながら運動実行課題を行った場合と比較して、左中前頭回ブロードマンの9野（以下BA9）の後部領域の活動が増加した（表2, 図8）。それ以外の被験者自

身の足趾映像同士や第三者の足趾映像同士等のいずれの比較も有意に賦活する部位はなかった。

3. 一人称イメージ群と三人称イメージ群の群間比較

一人称イメージ群と三人称イメージ群の群間比較を行った。三人称イメージとしての被験者自身の動く足趾映像を見ながら運動イメージ課題を行った場合、一人称イメージとしての第三者の動く足趾映像を見ながら運動イメージ課題を行った場合と比較して、左右の舌状回と右前帯状皮質（以下Anterior cingulate cortex:ACC）の活動が増加した（表3, 図9）。それ以外のいずれの比較も有意に賦活する部位はなかった。

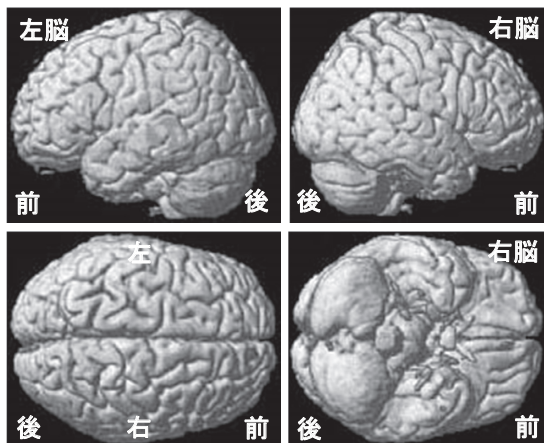


図7 一人称イメージ群内での運動イメージ課題を行った場合と運動実行課題を行った場合の比較

運動実行課題 — 運動イメージ課題

第三者の足趾 vs. 被験者の足趾

被験者の足趾 vs. 第三者の足趾

運動イメージ課題 — 運動実行課題

第三者の足趾 vs. 被験者の足趾

図5で示した比較以外のいずれの場合も有意に賦活する部位はなかった。

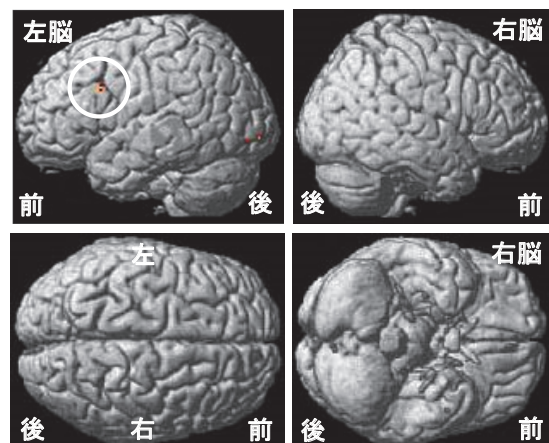


図8 三人称イメージ群内での運動イメージ課題を行った場合と運動実行課題を行った場合の比較

運動イメージ課題 — 運動実行課題

第三者の足趾 vs. 被験者の足趾

三人称イメージ群内で第三者の足趾映像を見ながら運動イメージ課題を行った場合と被験者の足趾映像を見ながら運動実行課題を行った場合の比較。運動イメージ課題を行った方が左中前頭回ブロードマンの9野の活動が増加した。

表2 三人称イメージ群内での運動イメージ課題を行った場合と運動実行課題を行った場合の比較

運動イメージ課題 — 運動実行課題

第三者の足趾 vs. 被験者の足趾

	p-value	MNI coordinates			Talairach coordinates		
		x	y	z	x	y	z
Left BA9	0.007	-48	16	28	-48	17	25

三人称イメージとしての第三者の動く足趾映像を見ながら運動イメージ課題を行った場合、三人称イメージとしての被験者自身の動く足趾映像を見ながら運動実行課題を行った場合と比較して、左中前頭回ブロードマンの9野の活動が増加した。脳活動部位の同定は、SPM8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。Cluster-levelにて、 $p < 0.05$ を示した。

IV. 考察

脳が情報処理や行動、反応を決定する際、神経活動が生じる。神経活動が増加すると脳の血流量が増加する。酸素化ヘモグロビン（以下oxyHb）の変化が局所脳血流量の変化をもっとも反映する³⁷⁾。したがって、oxyHbの変化を知ることにより脳活動を測定しリハビリテーションに応用することが可能と考える。現在、oxyHbの増加を反映する方法としてfMRIが用いられている。

今回、一人称イメージ映像を用いて足趾の運動イメージ課題を行った群と三人称イメージを用いて足趾の運動イメージ課題を行った群の各群内比較を行った後、群間比較を行った。

一人称イメージ課題で被験者自身の動く足趾を見ながら自身の足趾を動かす運動イメージ課題を行った場合、第三者の動く足趾を見ながら自身の

足趾を動かす運動実行課題と比較して、左AGと右FGの活動が増加した。

三人称イメージ課題で第三者の動く足趾を見ながら自身の足趾を動かす運動イメージ課題を行った場合、被験者自身の動く足趾を見ながら自身の足趾を動かす運動実行課題と比較して、左中前頭回BA9後部領域の活動が増加した。

一人称イメージ群と三人称イメージ群の群間比較では、三人称イメージとしての被験者自身の動く足趾映像を見ながら運動イメージ課題を行った場合、一人称イメージとしての第三者の動く足趾映像を見ながら運動イメージ課題を行った場合と比較して、左右の舌状回と右ACCの活動が増加した。

4.1 一人称による運動イメージ課題

Rubyは、三人称イメージを運動に結びつけて想起する場合、右下頭頂小葉（以下IPL）が活動したと報告している⁸⁾。今回の研究では、一人称による被験者自身の運動イメージ課題で左IPLである左AGと右FGの活動が増加した。

Chambonは、左AGは行為主体と随意性に関する¹⁰⁾と報告している。Desmurgetが行った頭頂葉の角回、縁上回と運動前野に対する電気刺激の研究では、実際の筋活動はないものの、右半球の頭頂葉刺激では対側の手、腕、足を動かす意思や欲求の誘発、左半球の頭頂葉刺激では唇の動きや話したい意思や欲求が誘発された¹¹⁾。角回は自己を行為主体とみなした場合と比較して他者を行為主体とみなした場合に強く活性化する¹²⁾。さらに、右半球のほうがより他者を行為主体とみなした場合に強く活性化する¹³⁾。Chambonは、左角回

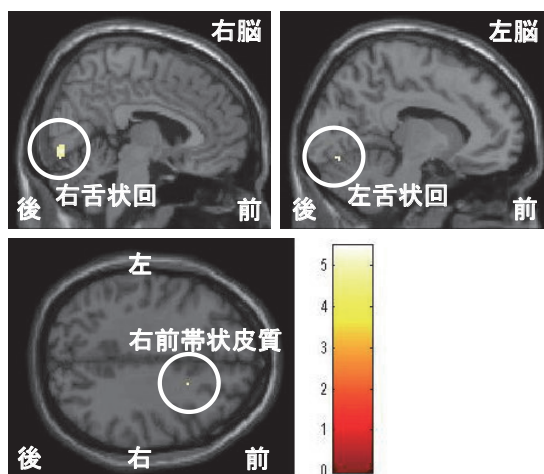


図9 一人称イメージ群と三人称イメージ群の群間比較

三人称イメージとしての被験者自身の動く足趾映像を見ながら運動イメージ課題を行った場合、一人称イメージとしての第三者の動く足趾映像を見ながら運動イメージ課題を行った場合と比較して、左右の舌状回と右の前帯状皮質の活動が増加した。

表3 一人称イメージと三人称イメージの群間比較

	p-value	MNI coordinates			Talairach coordinates			
		x	y	z	x	y	z	
Left	Lingual Gyrus	0.046	-10	-80	-12	-10	-78	-6
Right	Lingual Gyrus	0.046	6	-82	-6	6	-80	-1
Right	ACC	0.047	20	12	36	20	13	32

三人称イメージとしての被験者自身の動く足趾映像を見ながら運動イメージ課題を行った場合、一人称イメージとしての第三者の動く足趾映像を見ながら運動イメージ課題を行った場合と比較して、左右の舌状回(Lingual Gyrus)と右前帯状皮質の活動が増加した。脳活動部位の同定は、SPM8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。

とDLPFCの機能結合は行為主体や意思作用に関係するという報告している¹⁰⁾。つまり、右角回は他者を行為主体とした場合に、左角回は自己を行為主体とした場合に活性化する部位である。

IPLの損傷では、右半球に広範囲に生じた場合、半側空間無視、構成障害、半側身体失認等の視空間認知障害を生ずる。左AGに損傷を生じた場合、手指失認、左右定位障害、失書、失算のいわゆるGerstmann症候群が生じる。これらの研究により、Geschwindは、角回は視覚・聴覚の異種感覚間の連合が形成される部位としている¹⁴⁾。

今回の研究では、一人称による被験者自身の足趾運動を見ながら運動イメージ課題を行った場合に左AGが活動した。このことは、被験者自身の一人称イメージ映像と共に運動イメージ課題を行うことが自己を行為主体として認識しつつ、視覚と筋感覚の異種感覚間の連合を形成したと考える。

また、FGには、顔や手足、物に関して見ることや想像することによって賦活する部位が多数存在している^{15) 16) 17) 18)}。

今回の研究では、一人称による被験者自身の足趾運動を見ながら運動イメージ課題を行った場合に右FGが活動した。

紡錘状回の左右差の研究で、Mionは、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報告している¹⁹⁾。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²⁰⁾。

今回の我々の研究では、右FGが活動した。これは、被験者自身の足趾運動という非言語的な視覚刺激により右FGの活動が生じたと考える。

4.2 三人称によるイメージ課題

今回の三人称による第三者の動く足趾映像を用いた運動イメージ課題では、左中前頭回BA9の後部領域が活動した。

BA9とBA46はDLPFCを構成し²¹⁾ワーキングメモリに関与する^{22) 23) 24) 25)}。今回の研究でも、ワーキングメモリを使用することにより第三者の足趾と自己の足趾を結び付け運動イメージ課題を行った可能性がある。

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⁴⁴⁾。左中前頭回に関しては、Christoffは、穴埋め問題で複雑さが増すほど左中前頭回前方部が賦活することを示した⁴⁵⁾。今回の我々の研究は、自己と第三者の足趾が複雑に入り組み、第三者の足趾映像のイメージ課題で左中前頭回が賦活した。

しかし、今回の研究での賦活部位は、BA46から離れた後部領域であった。

近接するBA44と運動前野(以下PMv)は、ミラーニューロンシステムの重要な一部である。

Rizzolattiは、行動するときと行動を観察するときと同様な応答を示すニューロンをミラーニューロンと名付けた²⁶⁾。頭頂間溝前方部(以下AIP)は、動く手の視覚像に反応する²⁷⁾。サルの研究においてAIPはサルのPMv前部にあるF5と結合し、手や口の運動と関係している²⁸⁾。サルのF5は、ヒトのBA44に相当する²⁹⁾。BA44は、PMvにあるBroca野である。Rizzolattiは、F5-PF-STSa(PFはヒトの40野もしくは39野、STSaは上側頭溝前方部)をサルにおけるミラーニューロンシステムと呼んだ²⁹⁾。

今回の研究では、第三者の足趾映像を用いた運動イメージ課題を行った。BA9後部領域は、隣接するBA44とPMvとともにミラーニューロンとして活動した可能性がある。

しかし、Talairach座標よりBA9と決定した今回の賦活部位は、先行研究と比較してBA44の上方部、PMvの前方部に位置し、今後関連部位として検討する必要がある。

一方、左中頭前回後部領域は、病巣研究から失書の関連が示唆されている^{38) 40) 41)}。Gerstmann症候群は、角回と同様に中頭前回後部領域の障害で

も症状を呈することが報告されている³⁹⁾。

今回の研究では、三人称イメージによる足趾映像を用いた。第三者の足趾映像は、被験者から見て左足趾であり、被験者自身の映像は、被験者自身の映像の鏡映化されたものであり映像自体は被験者自身から見て左足趾となる。しかし、求められる動作は被験者自身の右足趾のため、被験者自身のイメージ想起を行う際に、足趾の確認と左右の確認のため中前頭回後部領域が強く賦活した可能性もある。

今回賦活した後部領域に近接する部分は特にExnerの書字中枢と呼ばれ純粋失書の責任病巣である⁴²⁾。Exnerの書字中枢は、単語の形態を想起し適切な文字を結び付けるアクセス指南を担っている⁴³⁾。

今回の研究でも、映像を見てイメージ想起を行う課題のため、足趾の形態から自身の適切な動作イメージを形成するために使用した可能性もある。

4.3 一人称イメージ群と三人称イメージ群の群間比較

三人称イメージとしての被験者自身の動く足趾映像を見ながら運動イメージ課題を行った場合、一人称イメージとしての第三者の動く足趾映像を見ながら運動イメージ課題を行った場合と比較して、左右の舌状回と右ACCの活動が増加した。

ACCは、実行に特別な努力を要する課題に関係し⁵⁰⁾、課題の予測やエラー検出に関与する⁵¹⁾。ストループ課題でも反応が高くなることが報告されている⁵²⁾。

今回の研究でも、三人称イメージ課題でありながらも被験者自身の足趾映像であったため、矛盾に対するエラー検出の役割を行ったことが考えられる。

舌状回は、人が他人の笑顔を視覚的に認知する時に活性化する^{30) 31)}。

我々は、身体に取り付けた十数個の光点運動から他者の様々な情報を得ることができる。この

知覚現象をバイオリジカルモーションと呼ぶ³²⁾。我々は、その光点の運動のみで性別³³⁾ や行為³⁴⁾ を読み取ることが可能である。バイオリジカルモーションの知覚処理のメカニズムにおいて舌状回は、輪郭に対して活動する³⁵⁾。特に情報処理の初期成分に対し舌状回、後期成分に対しFGが働く³⁶⁾。

今回の研究でも、三人称イメージとしての被験者自身の動く足趾を見ながら運動イメージ課題を行った場合、輪郭の情報処理に働いたと考える。

Kinno等は、言語の文法処理の神経回路の研究において⁴⁹⁾、左PMv、左AGと舌状回、および左下前頭回弁蓋部/三角部のネットワークについて報告している。この研究では、視覚入力を中継する舌状回と単語中枢である左AGを中心として、左下前頭回弁蓋部/三角部を含むネットワークと左運動前野外側部を含むネットワークが互いに相補的に制御を行っていることを報告している。

我々の研究では、被験者自身の一人称イメージ課題で左AGが、第三者の三人称イメージ課題で左中前頭回後部領域が、群間比較で被験者自身の三人称イメージ課題で左右の舌状回が賦活した。特に、今回の研究で反応を示した左中前頭回後部領域は、Kinno等が示した左下前頭回弁蓋部/三角部に非常に近い位置にある。

今回の結果より、舌状回と左下前頭回弁蓋部/三角部を関連付ける文法中枢のネットワークが三人称イメージ課題によっても使用され、舌状回と左AGを関連付ける文法処理のネットワークが一人称イメージ課題によっても使用された可能性がある。つまり、一人称イメージ課題と三人称イメージ課題の中に、被験者自身と第三者が組み合わせられた結果、自己と他者の理解で相補的に制御を行い、課題遂行を行ったと考える。

今後、様々な課題を行う上で検討していきたい。

4.4 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群の群内比較の結果、被験者自身の動く足趾を見ながら運動イメージ課題を

行った場合、有意に左AGと右FGが賦活した。

このことをリハビリテーションに応用する場合、セラピストが隣に座って足趾運動を模倣させる、というよりも被験者自身の足趾を見つめさせつつセラピストが他動的に足趾を動かしてあげる、ということが重度の下肢の麻痺を持った症例には効果的であると考え。つまり、他動的に動かされる自己の足趾を見つつ運動イメージを生成することで、自己の足と認識する効果があると考え。

三人称イメージ課題群の群内比較の結果、第三者の動く足趾を見ながら運動イメージ課題を行った場合、有意に左BA9後部領域が賦活した。

また、一人称イメージ課題群と三人称イメージ課題群との群間比較においても、三人称イメージとしての被験者自身の動く足趾映像を見ながら運動イメージ課題を行った場合、左舌状回の活動が増加した。

このことをリハビリテーションに応用する場合、重度の麻痺を呈した症例の治療においても、向かいに座ったセラピストの足の動作を模倣するよう努力することで、自分の足であることを認識しつつ運動を企画し、ワーキングメモリやミラーニューロンを賦活することが可能と考える。同時に、鏡に映った自己の足を見つつ運動する際にもセラピストが患者の動作に合わせて他動的に動かすことで、同じく自分の足であることを認識しつつ運動を企画し、ワーキングメモリやミラーニューロン、バオロジカルモーションに関する脳部位を賦活する可能性があると考え。

このように、リハビリテーションにおいても療法士が立ち位置を考慮し、他動運動を組み合わせることによって、症例が自己を認識しつつ運動イメージ課題を効果的に応用できる可能性があると考え。

4.5 今後の課題について

今回、被験者自身と第三者の映像を用いて、一人称イメージと三人称イメージ映像を用いた運動

イメージ課題と運動実行課題を比較して、運動イメージ課題に特有の部位を認めた。考察では、課題による賦活部位の先行研究を基に検討を行った。

しかし、Poldrack⁴⁷⁾ 48) のように、このような逆推論に疑問を呈する報告もある。逆推論とは、計測された脳活動の結果から被験者の精神的状態を推定することである。

今後、他の運動イメージ課題の研究を交え脳イメージング以外の指標も用いることにより検討し、脳部位を同定しリハビリテーションに幅広く応用する必要があると考え。

文 献

- 1) Yue G. et al.: Strength increase from the motor program : comparison of training with maximal voluntary and imagined muscle contractions. *Journal of Neurophysiology*, 67: 1114-1123, 1992.
- 2) Fansler CL. et al.: Effects of mental practice on balance in elderly women. *Physical Therapy*, 65: 1332-1338, 1985.
- 3) Crosbie JH. et al.: The adjunctive role of mental practice in the rehabilitation of the upper limb after hemiplegic stroke: a pilot study. *Clinical Rehabilitation*, 18: 60-68, 2004.
- 4) Dickstein R, Dunsky A, Marcovitz E. : Motor imagery for gait rehabilitation in post-stroke hemiparesis. *Physical Therapy*, 84:1167-1177, 2004.
- 5) Ranganathan VK, Siemionow V, Liu JZ, et al. : From mental power to muscle power : gaininigStrength by using the mind, *Neuropsychologia*, 42:944-956, 2004.
- 6) Mulder T, Zijlstra S, Zijlstra W, Hochstenbach J.: The role of imagery in learning a totally novel movement ; *Experimental Brain Research*, 154: 211-217, 2004.
- 7) 内藤栄一:運動習熟のメカニズム. 臨床スポー

- ツ医学, 21: 1057-1065, 2004.
- 8) Ruby P, et al.: Effect of subjective perceptive taking during simulation of action- a PET investigation of agency. *Nature Neuroscience*, 4: 546-550, 2001
 - 9) 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.
 - 10) Chambon V, Wenke D, Fleming SM, Prinz W, Haggard P: An online neural substrate for sense of agency. *Cerebral Cortex*, 23: 1031-1037, 2013.
 - 11) Desmurget, M. et al.: Movement intention after parietal cortex stimulation in humans. *Science*, 324: 811-813, 2009.
 - 12) Farrer C, Frith CD.: Experiencing oneself vs another person as being the cause of an action: the neural correlates of the experience of agency. *Neuroimage*, 15: 596-603. 2002.
 - 13) 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.
 - 14) Geschwind N. : Disconnexion syndromes in animals and man. *Brain*, 88 : 237-294, 1965.
 - 15) Cohen L, Dehaene S, Naccache L, Lehericy S, Lambertz GD, Henaff MA, Miechel F.: The visual word form area. Spatial and temporal characterization of an initial stage of reading in normal subjects and posterior split-brain patients. *Brain*, 123: 291-307, 2000.
 - 16) Cohen L, Lehericy S, Chochon F, Lemer C, Rivaud S, Dehaene S.: Language-specific tuning of visual cortex? Functional properties of the visual word form area. *Brain*, 125:1054-1069, 2002.
 - 17) Kanwisher N, Woods RP, Iacoboni M, Mazziotta JC.: A Locus in Human Extrastriate Cortex for Visual Shape Analysis. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 9:133-142, 1997.
 - 18) Peelen MV. et al.: Selectivity for the human body in the fusiform gyrus. *Journal of Neurophysiology*. 93: 603-608. 2005.
 - 19) Mion M. et al.: What the left and right anterior fusiform gyri tell us about semantic memory. *Brain*. 133: 3256-3268, 2010.
 - 20) Cantlon, J.F.et al.: Cortical Representations of Symbols, Objects, and Faces Are Pruned Back during Early Childhood. *Cerebral Cortex*, 21, 191-199, 2011.
 - 21) Tulving E, Kapur S, Markowitsch HJ, Craik FIM, Habib R, Houle S.: Neuroanatomical Correlates of Retrieval in Episodic Memory: Auditory Sentence Recognition. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 91: 2012-2015. 1994.
 - 22) Cabeza R, Nyberg L.: Image cognition: An empirical review of PET studies with normal subjects. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 9:1-26. 1997.
 - 23) Cohen JD, Perstein WM, Braver TS, Nystrom LE, Noll DC, Jonides J, Smith EE.: Temporal dynamics of brain activation during a working memory task. *Nature*, 386: 604-608, 1997.
 - 24) Baddeley, A.D. Hitch, G.J.: Working Memory, In G.A. Bower (Ed.) , *Recent advances in learning and motivation*, New York: Academic Press 8: 47-90. 1974.
 - 25) Baddeley, A.D. Logie, R., Bressi, S., Della Sala, S., & Spinnler, H. : Dementia and working memory. *Quarterly Journal of Experimental Psychology* 38A, 603-618. 1986.
 - 26) Rizzolatti. G, et al.: Premotor cortex and the recognition of motor actions, *Cognitive Brain Research*, 3: 131-141, 1996.

- 27) Murata, A. et al.: Selectivity for the shape, size, and orientation of objects for grasping in neurons of monkey parietal area AIP. *Journal of Neurophysiology*, 83: 2580–2601, 2000.
- 28) Ferrari PF. et al.: Mirror neuron responding to the observation of ingestive and communicative mouth actions in the monkey ventral premotor cortex. *European Journal of Neuroscience*, 106: 283-296. 1998.
- 29) Rizzolatti G. et al.: The organization of the cortical motor system: new concepts, *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 106: 283-296. 1998.
- 30) Osaka N. et al.: An emotion-based facial expression word activates laughter module in the human brain : a functional magnetic resonance imaging study. *Neuroscience Letters*, 340 (2) :127-130.2003.
- 31) 荳坂直行 : 擬態語により創発される情動空間の脳内表現-f-MRIによる笑いとうみのクオリアの検討-. *生理心理学と精神生理学*. 23: 127-130, 2003.
- 32) Johansson G.: Visual perception of biological motion and a model for its analysis. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 14: 201-211. 1973.
- 33) Mather G, Murdoch L.: Gender discrimination in biological motion displays based on dynamic cues. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 258:273-279, 1994.
- 34) Dittrich WH.: Action categories and the perception of biological motion. *Perception*, 22:15-22. 1993.
- 35) Saygin AP.: Superior temporal and premotor brain areas necessary for biological motion perception. *Brain*, 130:2452-2461, 2007.
- 36) Jokisch D, Daum I, Suchan B, Troje NF: Structural encoding and recognition of biological motion: evidence from event-related potentials and source analysis. *Behavioural Brain Research*, 157:195-204. 2005.
- 37) Hoshi, Y., Kobayashi, N., Tamura, M.: Interpretation of near-infrared spectroscopy signals: a study with a newly developed perfused rat brain model, *Journal of Applied Physiology*, 90: 1657-1662, 2001.
- 38) 佐野香織, 他.: 左中前頭回から中心前回にかけての脳梗塞による非流暢性失語症の一症例. *高次脳機能研究*, : 29 (2) : 277-285, 2009.
- 39) 安藤 喜仁, 他.: 左中前頭回後部限局性梗塞により不全型Gerstmann症候群・超皮質性感覚失語を呈した65歳男性例. *臨床神経学*, 49 (9) :560-565, 2009.
- 40) 毛束 真知子.: 書字の脳内機構 : 文字の運動変換—表出過程について. *神経心理学*, 19 (1) : 22-29, 2003.
- 41) 阿部和夫, 他.: 左中前頭回後部の梗塞による仮名失書. *神経心理*, 9 : 196-201, 1993.
- 42) 古川哲雄.: Exnerの書字中枢: *神経内科*, 29: 555-557, 1988.
- 43) 大槻美佳.: 書字の神経機構: *臨床神経*, 46: 919-923, 2006.
- 44) 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.
- 45) Christoff, K., et al: Rostrolateral prefrontal cortex involvement in relational integration during reasoning. *NeuroImage*, 14 (5) :1136-1149, 2001.
- 46) Talairach Daemon, Research Imaging Institute of the University of Texas Health Science Center San Antonio, <http://www.talairach.org/index.html>
- 47) Poldrack RA.: Can cognitive processes be inferred from neuroimaging data?: *TRENDS in*

- Cognitive Sciences, 10 (2) : 59-63, 2006.
- 48) Poldrack RA.: The role of fMRI in cognitive neuroscience: where do we stand?: Current Opinion in Neurobiology, 18: 223-227, 2008.
- 49) Kinno R, Ohta S, Muragaki Y, Maruyama T, Sakai KL.: Differential reorganization of three syntax-related networks induced by a left frontal glioma. Brain, 137 (4) :1193-1212, 2014.
- 50) Allman JM, Hakeem A, Erwin JM, Nimchinsky E, Hof P.: The anterior cingulate cortex. The evolution of an interface between emotion and cognition. Annals of the New York Academy of Sciences. 935: 107-17, 2001.
- 51) Nieuwenhuis S, Ridderinkhof KR, Blom J, Band GP, Kok A.: Error-related brain potentials are differentially related to awareness of response errors: evidence from an antisaccade task. Psychophysiology. 38 (5) : 752-760, 2001.
- 52) Pardo JV, Pardo PJ, Janer KW, Raichle ME.: The anterior cingulate cortex mediates processing selection in the Stroop attentional conflict paradigm. Proceedings of the National Academy of Sciences. 81 (1) : 256-259, 1990.

Comparison Between a First-Person Perspective Imagery and a Third-Person Perspective Imagery During Motor Imagery: An f-MRI Study

MAKINO Hitoshi and IKOMA Katsunori

Abstract: We are performing rehabilitation on patients using motor imagery. There are two main modes of motor imagery: a first-person perspective imagery (1PPI: kinesthetic motor imagery) and a third-person perspective imagery (3PPI: visual motor imagery). 1PPI involves imagining the feeling of performing a certain movement. 3PPI involves imagining seeing others performing a certain movement. But little is known about how 1PPI and 3PPI may differentially affect the extent of cortex activation. The purpose of this study is to determine the cortical representations in 1PPI and 3PPI during motor imagery with toe movements in healthy persons using f-MRI. We enrolled 36 healthy subjects with right-handed leg, and they signed consent forms. f-MRI of 1.5T was used to map cortical representations associated with motor tasks of the right toes. In these tasks, subjects watched a video-clip depicting simple 1PPI and 3PPI actions of toes. And they were required, to imagine or to watch the models. Subjects in 1PPI tasks, during imaging toe movement for oneself compared with imitating toe movement for others, showed an increased representation of activation in the left Angular Gyrus and right Fusiform Gyrus. Subjects in 3PPI tasks, during imagining toe movements of others compared with imitating toe movement for themselves, showed an increased representation of activation in the left posterior Brodmann area 9. In the comparison between 1PPI and 3PPI during motor imagery, subjects in 3PPI tasks showed increased representations of activation in the both sides Lingual Gyrus and Anterior cingulate cortex. Our results suggest that passive movement by the therapist should involve tasks during motor imagery.

Keywords: f-MRI, first-person perspective imagery, third-person perspective imagery, motor imagery