

研究論文

右利きと左利きにおける後出し負けじゃんけんでの脳活動の比較研究

牧野 均・生駒 一憲*

(2015年1月5日受稿)

抄録： 脳皮質における右半球と左半球の認知機能に関する左右差を比較検討するために、認知的葛藤を含む後出し負けじゃんけんを用いてfMRI測定を行った。対象は右利き群9名、左利き群9名である。足趾を用いた後出し負けじゃんけんの場合、利き足趾では動作を行う運動野と同側の腹側運動前野が賦活したが、上肢の右利き右手指を用いた後出し負けじゃんけんの場合、動作を行う運動野とは対側の右脳の腹側運動前野が賦活した。これは日頃課題に慣れた手指はスクリーン上の課題を他者として見て右の頭頂葉-腹側運動野が賦活するのに対し、日頃課題に慣れない足趾は自己の課題遂行を目的として動作を行うため右利きでは左の（左利きでは右の）運動野と同側の頭頂葉-腹側運動野系を賦活するためと考える。このことにより、上肢では右利き群は自己と他者の判断を左右の頭頂葉-腹側運動野で分業するのに対し、左利き群は頭頂葉-腹側運動野を両側性に使用していることが推察される。また、背外側運動前野と前頭極は、課題の相違により分業し活動していることが示唆された。

I. はじめに

脳の右半球と左半球の機能的左右差の報告が多数されている。

右利きでは、主要な言語機能の多くは左半球が担っており、左半球を優位半球と呼ぶ。

聴覚野の研究では、聴覚野の優位半球と言語野の優位半球は別にあるという報告がある¹⁾。頭頂葉も報告があり、右半球の頭頂葉の電気刺激では対側の手、腕、足を動かす意思や欲求の誘発、左半球の頭頂葉の電気刺激では唇の動きや話したい意思や欲求が誘発された²⁾。

前頭葉の報告では、快刺激の予測により左の背外側前頭前野が活動し、不快刺激の予測により右の内側前頭前野が活動するとの報告がある³⁾。うつ病患者の報告でも左外側前頭前野のブロードマン46野の活動低下を認め⁴⁾、うつ病患者では左右半球間に機能的不均衡が存在し、左半球の機能低下による相対的な右半球の機能増大が指摘されている⁵⁾。

一方、Calauttiは、運動前野や補足運動野は運

動野を介さず両側性に脊髄へ信号を送るとし⁶⁾、聴覚野においても高次になるほど統合される要素が増えて解析がより困難となる⁷⁾という報告もある。

このように脳の右半球と左半球の機能的左右差が指摘されながらも、いまだ厳密な定義づけは困難であり、高次の機能では左右の統合が示唆されている。

じゃんけんは、古くから中国に伝わる拳遊びを基に江戸時代に日本で考案された「三すくみ」を構成することで勝敗を決める方法である⁸⁾。20世紀以降は、日本の海外発展と共に世界中に普及し、英語圏では「Rock-paper-scissors」と呼ばれている。

Luriaは、じゃんけん類似した手の運動負荷検査「fist-edge-palm test（こぶし-てがたな-てのひら）」を考案し、運動前野に損傷のある症例の検査としても用いている⁹⁾。

抑制障害の検出に手指構成課題として「後出し負けじゃんけん」が優れているという報告がある¹⁰⁾。これは直前に掲示された指示に従い瞬時の判

断が要求される課題である。「負けよう」とする行為は認知的葛藤を含む課題となるため、Omoriはこの遂行には左前頭葉が重要であるとしている¹¹⁾。河原も同様の報告¹⁰⁾を行っている。

Omoriの直前に勝ち負けを指示する後出しじゃんけんの研究では、左中前頭回(Brodmann area 46, 以下BA46)、両側下前頭回(BA44)が賦活したとしている¹¹⁾。Paulusの勝ちを指示する研究では、内側前頭回(BA10)、左腹外側前頭回(BA11/47)と左淡蒼球が賦活した¹²⁾。

一方、福永の負けとあいこを指示する研究では¹³⁾、右利きの被験者に左手じゃんけんを指示した場合に左補足運動野(以下SMA)動作を抑制する機能を示唆している。

このように後出し負けじゃんけんは、前頭葉の認知関連領域と運動関連領域を幅広くは活動させる課題である。

そこで本研究では、右利き症例と左利き症例の後出し負けじゃんけんを行い、課題中の脳活動について比較し、運動関連領域と認知的活動における左右の脳活動の分業について検討することとする。

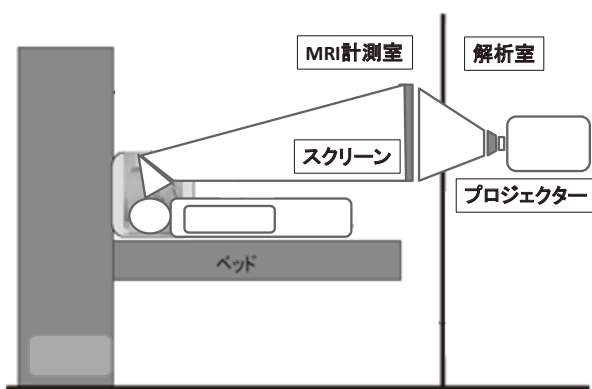


図1 f - MRI測定模式図

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手指動作・足趾動作によるじゃんけんを見、それぞれ手による後出し負けじゃんけん・足趾による後出し負けじゃんけんを行う。

II. 対象と方法

1. 対象

健全な成人男女18名で内訳は、右利き群9名(男性5名,女性4名),左利き群9名(男性5名,女性4名)が参加した。右利き左利きの判定は、事前にチャップマンの利き手利き足テストを行い、上下肢共に右利きの被験者を右利き群、上下肢共に左利きの被験者を左利き群とした。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、MRI装置の中から背臥位姿勢からプリズムメガネにてスクリーン上に投影された手指動作と足趾動作のじゃんけん映像をみて、指示された課題に従うこととした(図1)。

スクリーン上に投影される映像は、対面する第三者が手指または足趾でジャンケンを提示する場面を想定した(図2)。

課題提示はブロック課題とした。1ブロックを30秒とし、手指じゃんけんの実行課題、手指じゃ

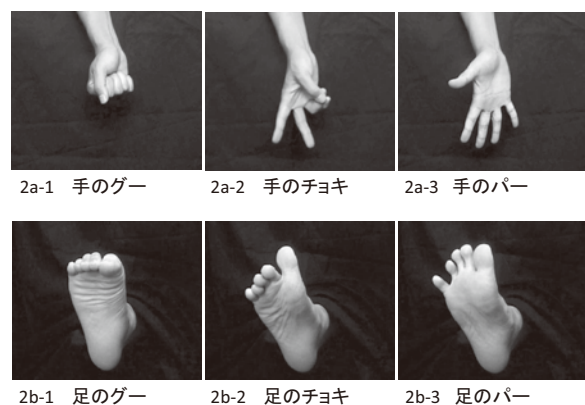


図2 手指・足趾のじゃんけん

スクリーン上に被験者と対面した第三者を想定した映像を投射し、指示に従って、後出し負けじゃんけんを行う。

じゃんけんは、2秒ごとに提示され指示に従い、瞬時に「負ける」もしくはただ「見る」課題を行う..

んけんを「見る」課題，中央の点を見つめる固視課題，足趾じゃんけんの実行課題，足趾じゃんけんを「見る」課題の5種類とし，1セッション4分で2セッションに組み合わせた。後出し負けじゃんけんの「実行」と「見る」の課題指示は，各映像の最初の1秒間に提示した。じゃんけんは2秒ごとにランダムに提示し，実行課題の場合は，被験者は瞬時に負けるじゃんけんを実行することとした。「見る」課題の場合，被験者は投影されたじゃんけん映像を「見る」こととした。固視課題は，画面の中央にある「白い点」を見ることとした（図3）。

この2セッション1セットを，右利き群は，右手足に1セット，左手足に1セット，同じく，左利き群も，右手足に1セット，左手足に1セット行った。

得られた結果は，右利き群と左利き群で差分比較を行った。

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

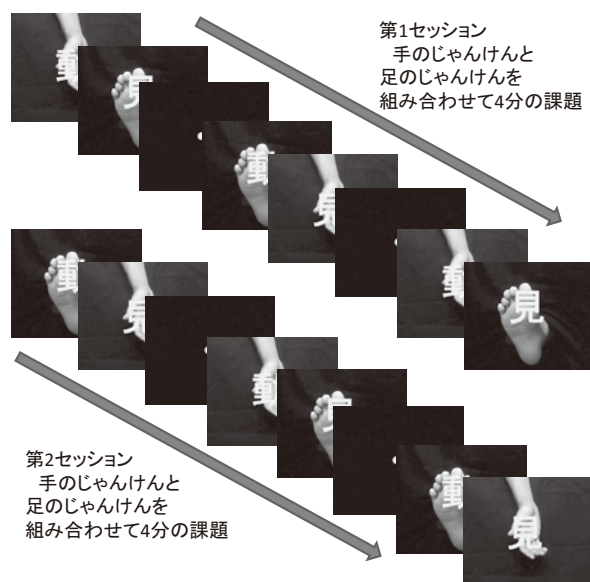


図3 課題提示方法

課題は，1セッション4分で2セッションの計8分間。

手指と足趾の実行課題の間にじゃんけんの動作を「見る」課題と固視課題を挟んだ。

第1セッション

手実行⇒足見る⇒固視⇒足実行⇒手見る⇒固視⇒手実行⇒足見る

第2セッション

足実行⇒手見る⇒固視⇒手実行⇒足見る⇒固視⇒足実行⇒手見る

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 40, TR 3000, Flip Angle 90, Slice Thickness 4.0, Spacing 1.0, 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SPM2を組み合わせて行った。統計処理は，SPM2上のuncorrectedで統計的推論を行い， $p < 0.001$ を有意水準として行った。

脳賦活部位の同定は，SPM2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Brodmann areaの決定を行なった。

Ⅲ. 結果

まず，各課題の結果について示す。

左利き群の左側足趾の後出し負けじゃんけん時の脳活動は（図4），両側の背外側前頭前野（DLPFC：BA46），補足運動野（SMA：BA6），体性感覚連合野（BA7），右脳の左足趾運動野（BA4），右脳感覚野（BA1.2.3）が賦活した。

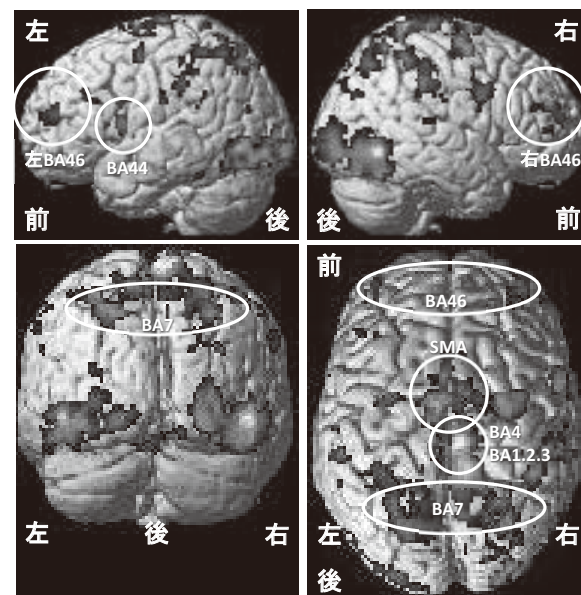


図4 左利き群の左側足趾の後出し負けじゃんけん実行課題時の脳活動

左利き群の左側足趾に後出し負けじゃんけんを行った場合，両側のBA46，SMA，BA7と右脳のBA4が賦活した。

左利き群の右側足趾の後出し負けじゃんけん時の脳活動は(図5), 両側の背外側前頭前野(DLPFC: BA9), 補足運動野(SMA: BA6), 体性感覚連合野(BA7), 左脳の左足趾運動野(BA4), 左脳感覚野(BA1.2.3)が賦活した。

右利き群の右側足趾の後出し負けじゃんけん時

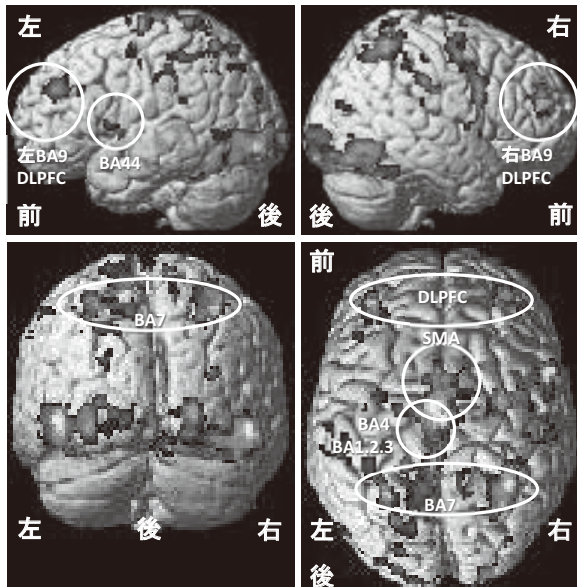


図5 左利き群の右側足趾の後出し負けじゃんけん実行課題時の脳活動

左利き群の右足趾に後出し負けじゃんけんを行った場合, 両側の BA10, SMA, BA7 と左脳の A4 が賦活した。

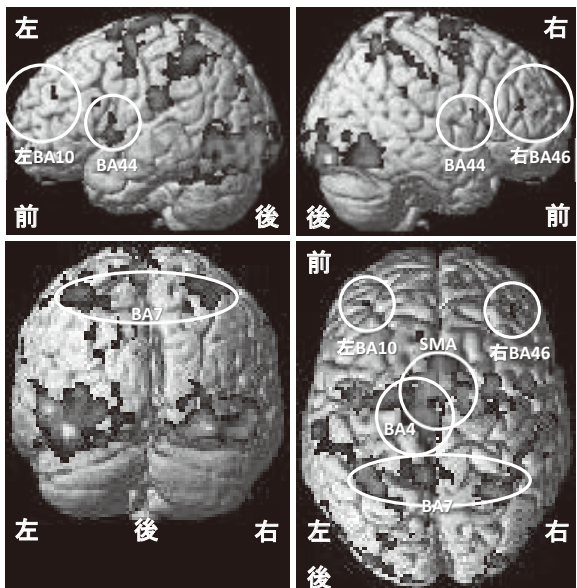


図6 右利き群の右側足趾の後出し負けじゃんけん実行課題時の脳活動

右利き群の右足趾に後出し負けじゃんけんを行った場合, 両側の BA44, SMA, BA7, 左脳の BA10, 右脳の BA46, BA4 が賦活した。

の脳活動は(図6), 両側の補足運動野(SMA: BA6), 体性感覚連合野(BA7), 下前頭回弁蓋部(BA44), 左脳の左足趾運動野(BA4), 前頭極(BA10), 右脳の背外側前頭前野(DLPFC: BA46)が賦活した。

右利き群の左側足趾の後出し負けじゃんけん時の脳活動は(図7), 両側の補足運動野(SMA: BA6), 体性感覚連合野(BA7), 下前頭回弁蓋部(BA44), 左脳の背外側前頭前野(DLPFC: BA46), 右脳の左足趾運動野(BA4), 感覚野(BA1.2.3)が賦活した。

左利き群の左側手指の後出し負けじゃんけん時の脳活動は(図8), 両側の補足運動野(SMA: BA6), 体性感覚連合野(BA7), 右脳の前頭極(BA10), 左手指運動野(BA4)が賦活した。

左利き群の右側手指の後出し負けじゃんけん時の脳活動は(図9), 両側の補足運動野(SMA: BA6), 体性感覚連合野(BA7), 左脳の右手指運動野(BA4)が賦活した。

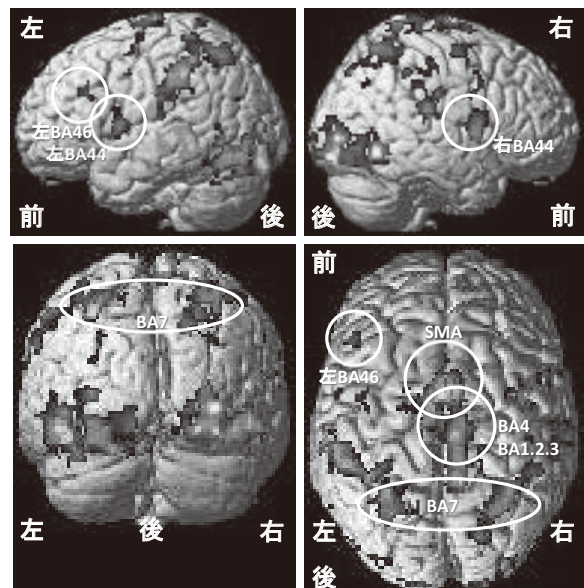


図7 右利き群の左側足趾の後出し負けじゃんけん実行課題時の脳活動

右利き群の左側足趾に後出し負けじゃんけんを行った場合, 両側の SMA, BA7, BA44 と左脳の BA46, 右脳の BA4 が賦活した。

右利き群の右側手指の後出し負けじゃんけん時の脳活動は(図10), 両側の補足運動野(SMA: BA6), 左脳の右手指運動野(BA4), 下前頭回弁蓋部(BA44)が賦活した.

右利き群の左側手指の後出し負けじゃんけん時の脳活動は(図11), 両側の補足運動野(SMA: BA6), 体性感覚連合野(BA7), 左脳の前頭前野背外側部(DLPFC: BA46), 左右手指運動野

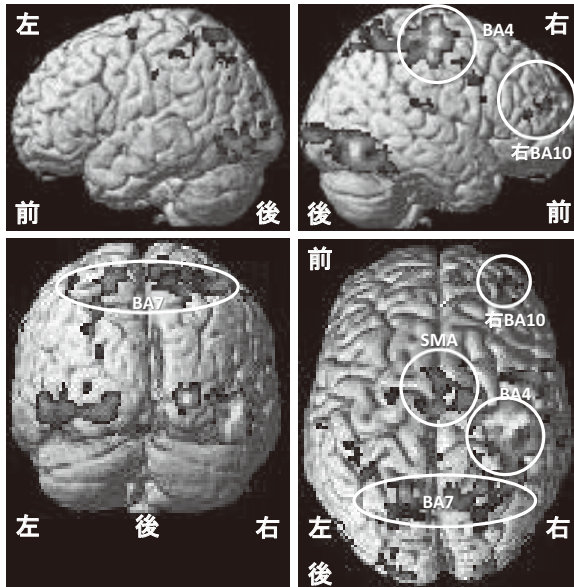


図8 左利き群の左側手指の後出し負けじゃんけん実行課題時の脳活動

左利き群の左手指に後出し負けじゃんけんを行った場合, 両側のBA7, SMA, 右脳のBA4, BA10が賦活した.

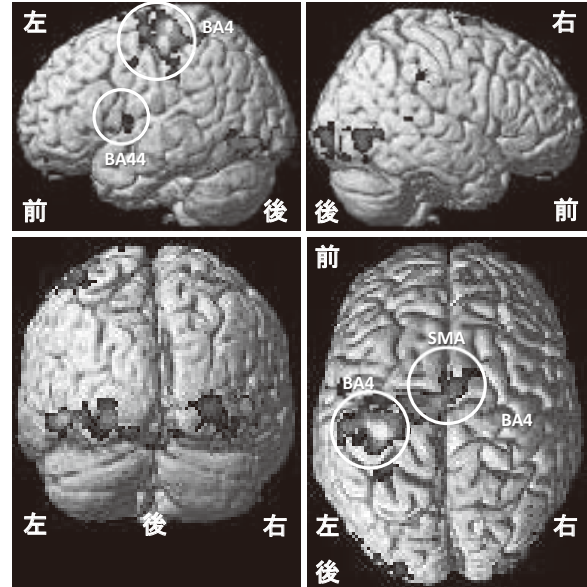


図10 右利き群の右側手指の後出し負けじゃんけん実行課題時の脳活動

右利き群の右手指に後出し負けじゃんけんを行った場合, 両側のSMAと左脳のBA4が賦活した.

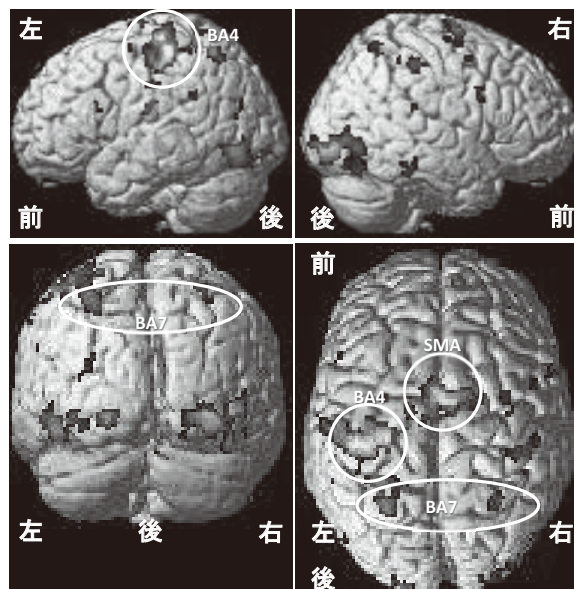


図9 左利き群の右側手指の後出し負けじゃんけん実行課題時の脳活動

左利き群の右手指に後出し負けじゃんけんを行った場合, 両側BA7, SMA, 左脳BA4が賦活した.

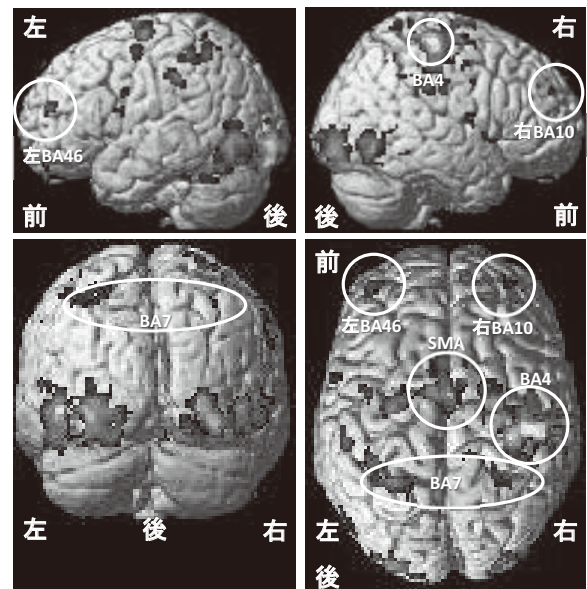


図11 右利き群の左側手指の後出し負けじゃんけん実行課題時の脳活動

右利き群の左手指に後出し負けじゃんけんを行った場合, 両側のBA7, SMA, 左脳のBA46, 右脳のBA4, BA10が賦活した.

(BA4), 右脳の前頭極 (BA10) が賦活した。

次に利き側間及び非利き側間の比較について示す。

まず, 左利き群の左側足趾の後出し負けじゃんけんの実行課題と右利き群の右側足趾の後出し負けじゃんけん実行課題の比較を行った。

左利き群の左側足趾の後出し負けじゃんけんの実行課題は (図12), 右利き群の右側足趾の後出し負けじゃんけん実行課題と比較して, 右脳の前頭運動野 (SMA:BA6), 左側足趾運動野 (BA4), 左側体性感覚野 (BA5), 腹側運動前野 (BA6:PMv), 視覚連合野 (BA19:V3) が賦活した。

右利き群の右側足趾の後出し負けじゃんけんの実行課題は (図13), 左利き群の左側足趾の後出し負けじゃんけん実行課題と比較して, 左脳の体性感覚連合野 (BA5), 腹側運動前野 (BA6:PMv), 体性感覚連合野の契前部 (BA7) が賦活した。

次に, 左利き群の左側手指の後出し負けじゃんけんの実行課題と右利き群の右側手指の後出し負けじゃんけん実行課題の比較を行った。

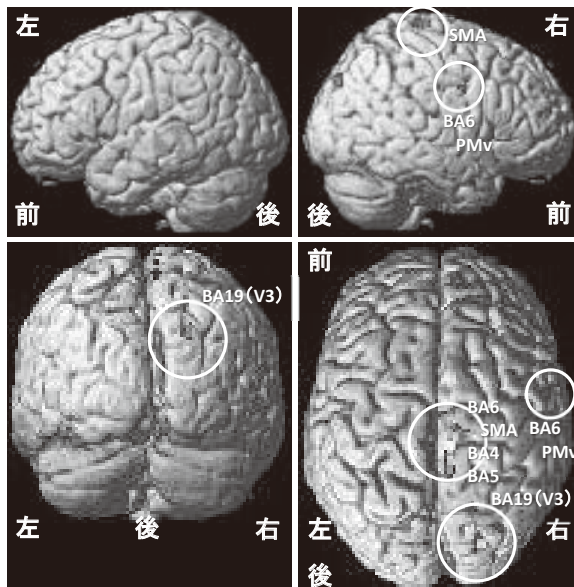


図 12 左利き群の左側足趾の実行課題

右利き群の右側足趾の実行課題の差

左利き群の左側足趾の後出し負けじゃんけん実行課題と右利き群の右側足趾の後出し負けじゃんけん実行課題の差分は, 左利き群の左側足趾の後出し負けじゃんけん実行課題の方が, 右脳の SMA, BA5, BA6, BA19 (左 V3) が賦活した。

左利き群の左側手指の後出し負けじゃんけんの実行課題は (図14), 右利き群の右側手指の後出し負けじゃんけん実行課題と比較して, 左脳の視

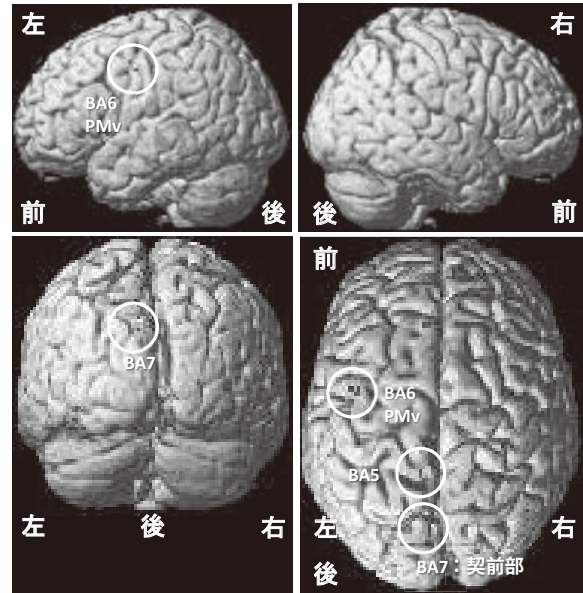


図 13 右利き群の右側足趾の実行課題

左利き群の左側足趾の実行課題の差

右利き群の右側足趾の後出し負けじゃんけん実行課題と左利き群の左側足趾の後出し負けじゃんけん実行課題の差分は, 右利き群の右側足趾の後出し負けじゃんけん実行課題の方が, 左脳の BA5, BA6, BA7: 契前部が賦活した。

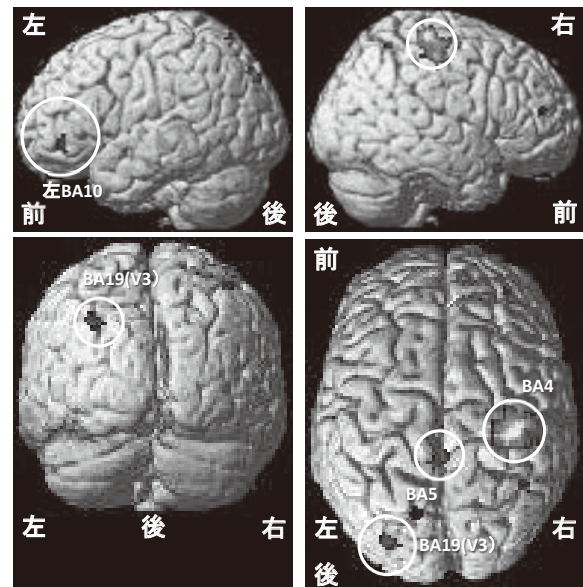


図 14 左利き群の左側手指の実行課題

右利き群の右側手指の実行課題の差

左利き群の左側手指後出し負けじゃんけん実行課題と右利き群の右側手指の後出し負けじゃんけん実行課題の差分は, 左利き群の左側手指の後出し負けじゃんけん実行課題の方が, 左側の BA19 (左 V3), 右脳の BA4, BA5 が賦活した。

覚連合野 (BA19: V3), 右脳の左側手指運動野 (BA4), 体性感覚連合野 (BA5) が賦活した。

右利き群の右側手指の後出し負けじゃんけんの実行課題は (図15), 左利き群の左側手指の後出し負けじゃんけん実行課題と比較して, 左脳の右側手指運動野 (BA4) と右脳の腹側運動前野 (BA6: PMv) が賦活した。

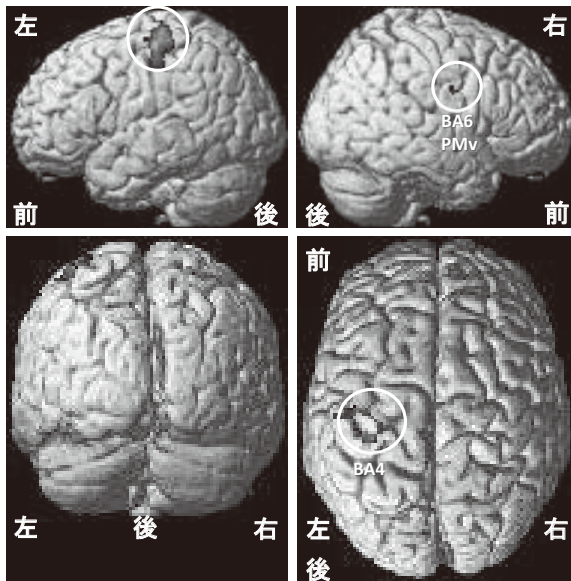


図 15 右利き群の右側手指の実行課題

左利き群の左側手指の実行課題の差

右利き群の右側手指の後出し負けじゃんけん実行課題と左利き群の左手指の後出し負けじゃんけん実行課題の差分は, 右利き群の右手指の後出し負けじゃんけん実行課題の方が, 左脳の BA4 と右脳の BA6 が賦活した。

左利き群の左側足趾の後出し負けじゃんけんの実行課題と右利き群の左側足趾の後出し負けじゃんけん課題, 右利き群の右側足趾の後出し負けじゃんけんの実行課題と左利き群の右側足趾の後出し負けじゃんけん課題, 左利き群の左側手指の後出し負けじゃんけんの実行課題と右利き群の左側手指の後出し負けじゃんけん課題, 右利き群の右側手指の後出し負けじゃんけんの実行課題と左利き群の右側手指の後出し負けじゃんけん課題では有意に賦活する部位を認めなかった。

IV. 考察

今回, 後出し負けじゃんけんによる脳活動を測

定し, 右利き群と左利き群の脳活動の比較を行った (図12図13図14図15)。

右利き群, 左利き群の左右の上下肢共に, 前頭葉, SMA, 対側感覚運動野, 両側後頭野, 下前頭回の賦活がみられた。これは, 福永¹³⁾の報告と一致する。SMAは, 運動の順序制御に不可欠な部位で^{14) 15)}, 対側の手の複雑な運動に参与している^{16) 17)}。

先行研究にある, 前頭葉, SMA, 対側感覚運動野, 両側後頭野, 下前頭回は, 多くの場合, 共通する賦活部位となり差分において消失したと考える。

しかし, 左利き群の左側足趾の後出し負けじゃんけん実行課題は, 右利き群の右側足趾の後出し負けじゃんけん実行課題と比較して, 右脳の腹側運動前野 (BA6: PMv) が賦活した (図12)。右利き群の右側足趾の後出し負けじゃんけん実行課題は, 左利き群の左側足趾の後出し負けじゃんけん実行課題と比較して, 左脳の腹側運動前野 (BA6: PMv) と左脳の体性感覚連合野の契前部 (BA7) が賦活した (図13)。左利き群の左側手指の後出し負けじゃんけん実行課題は, 右利き群の右側手指の後出し負けじゃんけん実行課題と比較して, 左前頭前野前頭極 (BA10) が賦活した (図14)。右利き群の右側手指の後出し負けじゃんけん実行課題は, 左利き群の左側手指の後出し負けじゃんけん実行課題と比較して, 右側腹側運動前野 (BA6: PMv) が賦活した (図15)。

4.1 大脳半球右半球と左半球の左右差に関する先行研究

大脳皮質において, 一次運動野は反対側支配が中心となる。しかし, 脳梗塞の運動障害に関する高次の運動関連領域の報告では, 梗塞部位による障害と同側の運動前野や補足運動野の障害を認めた報告や¹⁸⁾, 梗塞部位による障害と反対側の運動前野や補足運動野の障害を認めた報告があり^{19) 20)}, Calauttiは, 運動前野や補足運動野は運動野を介さず両側性に脊髄へ信号を送るとしている⁶⁾。

聴覚野の研究では、左右聴覚野の反応を比較した場合、聴覚野の優位半球と言語野の優位半球は別であり²⁵⁾、音楽は右半球優位で語音は左半球優位との報告もあるが、高次になるほど統合される要素が増えて解析がより困難となる⁷⁾。

今回の研究でも賦活を示したBA9とBA46は背外側前頭前野(DLPFC)とされる^{21) 22)}。DLPFCは、ワーキングメモリ課題遂行時に例外なく活性化し²³⁾、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²⁴⁾。ワーキングメモリとは、Alan Baddeley と Graham Hitch が、提案した概念で²⁵⁾、理解、学習、推論など認知的課題の遂行中に情報を一時的に保持し操作するためのシステムである²⁶⁾。このDLPFCを含む前頭前野の研究では、エピソード記憶の研究では記銘は左半球で主に働き、想起は右半球が主に働く²⁷⁾。また、以前見たことがあるかどうかの再認記憶の研究では、左半球の前頭前野が recollection、右半球の前頭前野が familiarity に強く関係するという報告がある²⁸⁾。

頭頂葉に関する報告もある。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²⁾。また、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²⁹⁾。しかし、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³⁰⁾。左角回の研究では、左角回と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がある³¹⁾。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。

前頭極の左右差についても最近の報告がある。前頭極は前頭-頭頂ネットワークから内部に帯状-弁蓋ネットワークを構成し、課題を効果的に達成する注意機能を担う³²⁾。運動実行機能の向上に関

与する部位は、若年成人では左脳の背外側前頭前野であるが高齢者では右脳の前頭極との報告もある³³⁾。

4.2 右利きと左利きによる脳の局在に関する先行研究

利き手利き足による脳の局在の報告の報告が散見される。

言語野の報告では、右利き者の言語中枢は左半球に95～96%、右半球に4～5%、両半球では0%に存在するのに対して、左利き者の言語中枢は左半球に61～70%、右半球に15～19%、両半球に15～20%となる^{34) 35)}。言語中枢に関して言えば、右利き者と左利き者が対称的な脳の局在を持つわけではない。

しかし、左右の脳半球の機能の相違が多数報告されているにもかかわらず、利き手の違いによる脳機能の相違の報告は少ない。

4.3 本研究における右利き群と左利き群の比較

今回の右利きと左利きの比較では、感覚の高次の統合⁷⁾や高次運動関連領野の両側性支配⁶⁾の報告に関わらず、右利きと左利きの差分において脳機能に左右差が見られた。

左利き群の左側足趾の後出し負けじゃんけんの実行課題は(図12)、右脳の腹側運動前野(BA6: PMv)が賦活した。また、右利き群の右側足趾の後出し負けじゃんけんの実行課題は(図13)、左脳の腹側運動前野(BA6: PMv)が賦活した。異なる体の部位(口、手、足)の動作を被験者に見せた時には、Broca野や腹側運動前野、下頭頂小葉が体部位局在性を持って活動する³⁶⁾。今回の研究で賦活傾向にあったPMv部分は、足の運動部分に相当する³⁷⁾。これらの部位は、Rizzolattiのミラーニューロン^{38) 39)}と一致する。

左利き群の左側足趾の後出し負けじゃんけんの実行課題で右脳のPMvが賦活し(図12)、右利き群の右側足趾の後出し負けじゃんけんの実行課題で左側のPMvが賦活した(図13)。これにより、

利き足側に課題を行った場合は運動野と同側のPMvが存在することとなる。

また、右利き群の右側足趾の後出し負けじゃんけんの実行課題にて(図13)、左脳の体性感覚連合野の契前部(BA7)が賦活した。この部位は、感覚情報に基づく身体マップがあり⁴⁰⁾、他の人の意志の理解に基づいて共感的な判断を行う部位である⁴¹⁾。今回の研究でも、「負けよう」と判断する際に賦活したと考える。しかし、他の課題で見られなかったことにより、右利き左利き動作側に関わらず、左BA7が活動に関与することが考えられる。これは、右利き左利きに関わらず、左半球に言語中枢が存在する比率が高い^{33) 34)} 事と関係があるかもしれない。

左利き群の左側手指の後出し負けじゃんけんの実行課題(図14)と右利き群の右側手指の後出し負けじゃんけんの実行課題(図15)では、対応する運動野が賦活した。手指動作では、右利き群においても左利き群においても体性感覚連合野は共通する脳部位にて判断しているものと考えられる。しかし、左利き群の左側手指の後出し負けじゃんけん時に左側前頭極(BA10)が賦活し、右利きの右手指の後出し負けじゃんけん時のみ右の腹側運動前野(BA6:PMv)が賦活した。

頭頂間溝前方部(AIP)は、動く手の視覚像に反応する⁴²⁾。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⁴³⁾。サルのF5は、ヒトのBA44に相当する⁴⁴⁾。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⁴⁴⁾。今回の研究でもBA44は賦活した(図4、図5、図6、図7)。このように頭頂葉と腹側運動野は密接に関係し、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^{30) 31)}。

今回の研究の結果、右利き群の手指の課題に関しては日頃運動に慣れており、スクリーン上の手

指を他者として俯瞰することができるため、右脳の頭頂葉-腹側運動野が賦活した。しかし、左利き群の手指の課題では左脳の頭頂葉-腹側運動野は賦活しなかった。一方、日頃から細かい動作に慣れていない足趾は、自己の動作を遂行することを主要な課題としたため、利き側の運動野と同側のPMv、つまり右利き群の右足趾動作で左の頭頂葉-腹側運動野系が、左利き群の左足趾動作で右の頭頂葉-腹側運動野が賦活したものと考えられる。これにより、足趾の頭頂葉-腹側運動野は右利き左利き共に利き側と同側で自己を行為主体とするものと考えられる。これに対して上肢は、右利き群は他者性の右脳頭頂葉-腹側運動野、自己の左頭頂葉-腹側運動野と機能を分離して使用しているのに対して、左利き群は両側性に頭頂葉-腹側運動野を使用していることを示していると考えられる。

BA9とBA46はDLPFCを構成し²⁷⁾ワーキングメモリに関与する^{23) 24) 25) 26)}。利き足と非利き足の運動ではワーキングメモリの使用方法に相違があることが考えられる。また、右利き群の左側足趾の後出し負けじゃんけん実行課題を行った場合で左脳のBA46が賦活し(図7)、右利き群の左側手指の後出し負けじゃんけん実行課題を行った場合で左脳のBA46が賦活した(図11)。これらのことから、右利き群では、非利き側を用いる場合に左前頭葉が有意に賦活することが分かった。しかし、左利き群の右足趾動作(図5)では両側BA9が賦活し、左利き群の右手指動作(図9)では前頭葉に有意な賦活部位が存在しなかった。このことから、利き側と非利き側だけではなく、右利き群と左利き群の間でもワーキングメモリの使用方法の相違があると推察する。課題の困難さの程度が影響することも考えられる。

一方、BA46とBA9近傍の前頭極BA10の賦活も認められた。BA10は、前頭-頭頂ネットワークから内部に帯状-弁蓋ネットワークを構成し³²⁾、高次の認知機能を司る。右利き群の右側足趾の後出し負けじゃんけん実行課題(図6)では、左BA10

と両側の弁蓋部 (BA44) の賦活を認めた。また、左利き群の左側手指の後出し負けじゃんけん実行課題 (図8) や右利き群の左側手指の後出し負けじゃんけん実行課題 (図11) でも賦活し、運動実行を担う運動野と同側の四肢の運動時に関与することが推察される。

しかし、近接する前頭前野のBA9, BA10, BA46の注意や行為に対する役割の分担について今後検討する必要がある。

脳の半球間での左右差が多数報告されているが、右利き群と左利き群の言語中枢に関する報告では、左利き群の言語中枢が右利き者と同率で右半球にあるわけではなかった^{34) 35)}。今回の研究でも右利き群と左利き群の脳活動に関して共通する部分が多数みられた。しかし、両側性に支配するといわれる⁶⁾運動前野と補足運動野に足趾運動時に運動野と同側に賦活を認めた。

ヒトの脳が持つ機能的な左右差は、半球が独自に獲得したのではなく、もともと持っていた両側性的な機能を各々の半球が失ったものであり、言語能力の出現が感覚能力を左半球から放逐したという報告もある⁴⁵⁾。また、左利き群では幼少期からの利き手交換の練習の影響もあり、脳機能は複雑に機能分担を行っていることも推察される。

頭頂葉-腹側運動前野の相違に関しては、左利き群は両側性に機能を持っている場合が多いのに対し、右利き群は左右に機能が分離している場合が多いと考える。これは、幼少期からの親による利き手交換の影響もあると考える。今後の課題としたい。

まとめ

左利き群と右利き群に対して後出し負けじゃんけんを行い脳の左右両半球の機能について比較を行った。多くの部位は共通して機能した。しかし、足趾運動に関しては運動側と同側の腹側運動前野と補足運動野が賦活した。これより、日頃課題に慣れた右利き手手指はスクリーン上の課題を他者

として見て右の頭頂葉-腹側運動野が賦活するのに対し、日頃課題に慣れない足趾は自己の課題遂行を目的として動作を行うため右利きでは左の(左利きでは右の)運動野と同側の頭頂葉-腹側運動野系を賦活するためと考える。このことにより、右利き群は自己と他者の判断を左右の頭頂葉-腹側運動野で分業するのに対し、左利き群は頭頂葉-腹側運動野を両側性に使用していると推察する。また、前頭前野は、注意や行為に関して機能分担を持つことがわかった。今後、リハビリテーションに向けて検討が必要と考える。

文 献

- 1) 山田泰子, 鈴鹿有子, 樋口正法 脳磁図を用いた左右脳半球の機能分析に関する研究. 金医大誌 (J Kanazawa Med Univ) 30 : 235-244. 2005.
- 2) Desmurget, M., et al.: Movement intention after parietal cortex stimulation in humans. *Science* 324: 811-813. 2009.
- 3) Ueda K, Okamoto Y, Okada G, et al : Brain activity during expectancy of emotional stimuli: an fMRI study. *Neuroreport* 14 : 51-55. 2003.
- 4) Okada G, Okamoto Y, Morinobu S, et al : Attenuated left prefrontal activation during a verbal fluency task in patients with depression. *Neuropsychobiology* 47 : 21-26. 2003.
- 5) Hecht D.: Depression and the hyperactive right-hemisphere. *Neurosci Res* 68 ; 77-87, 2010.
- 6) Calautti C, Baron JC : Functional neuroimaging studies of motor recovery after stroke in adults : A review. *Stroke* 34: 1553-1566. 2003.
- 7) Hirata M, Kato A, Taniguchi M, et al: Determination of language dominance with synthetic aperture magnetometry: comparison with the Wada test. *NeuroImage* 23: 46-53. 2004.
- 8) Sepp Linhart, : 拳の文化史. 角川書店 : 1998.
- 9) Luria, A.R. : Higher cortical functions in man.

- Basic Books, New York, 1996.
- 10) 川原真理, 鳥居方策, 榎戸秀昭, ほか : 両側前頭葉損傷の一例. 北陸神経精神医学誌 4 : 84—96, 1990.
 - 11) Omori, M., Yamada, H., Murata, T., et al. : Neuronal substrates participating in attentional set-shifting of rules for visually guided motor selection : A functional magnetic resonance imaging investigation. *Neurosci. Res* 33 : 317—323, 1999.
 - 12) Paulus, M. P., Feinstein, J. S., Tapert, S. F., et al. : Trend detection via temporal difference model predicts inferior prefrontal cortex activation during acquisition of advantageous action selection. *NeuroImage* 21 : 733—743, 2004.
 - 13) 福永篤志. : 後出し負けじゃんけん時の補足運動野の役割. 高次脳機能研究 25 : 242—250, 2005.
 - 14) Roland, P. E., Larsen, B., Lassen, N. A., et al. : Supplementary motor area and other cortical areas in organization of voluntary movements in man. *J. Neurophysiol* 43 : 118—136, 1980.
 - 15) 丹治 順 : 補足運動野と手の運動の順序制御. 神経進歩 42 : 29—38, 1998
 - 16) Shibasaki, H., Sadato, N., Lyshkow, H., et al. : Both primary motor cortex and supplementary motor area play an important role in complex finger movement. *Brain* 116 : 1387—1398, 1993.
 - 17) Kawashima, R., Matsumura, M., Sadato, N., et al. : Regional cerebral blood flow changes in human brain related to ipsilateral and contralateral complex hand movements—a PET study. *Eur. J. Neurosci* 10 : 2254—2260, 1998.
 - 18) Small SL, Hlustik P, Noll DC, Genovese C, Solodkin A. Cerebellar hemispheric activation ipsilateral to the paretic hand correlates with functional recovery after stroke. *Brain* 125: 1544—1557. 2002.
 - 19) Chollet F, DiPiero V, Wise RJ, Brooks DJ, Dolan RJ, Frackowiak RS. The functional anatomy of motor recovery after stroke in humans: a study with positron emission tomography. *Ann Neurol* 29: 63—71.1991.
 - 20) Weiller C, Chollet F, Friston KJ, Wise RJ, Frackowiak RS. Functional reorganization of the brain in recovery from striatocapsular infarction in man. *Ann Neurol* 31: 463—472. 1992.
 - 21) Okamoto M, Dan H, Sakamoto K, et al : Three-dimensional probabilistic anatomical cranio-cerebral correlation via the international 10—20 system oriented for transcranial functional brain mapping. *NeuroImage* 21 : 99—111. 2004.
 - 22) Muzur et al. *Trends Cogn Neurosci* 6 (11) : 475—481. 2002.
 - 23) Cabeza & Nyberg, Image cognition: An empirical review of PET studies with normal subjects. *Journal of Cognitive Neuroscience* 9:1—26. 1997.
 - 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) 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.
 - 26) 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.
 - 27) E Tulving, S Kapur, HJ Markowitsch, FIM Craik, R Habib, and S Houle.; Neuroanatomical Correlates of Retrieval in Episodic Memory: Auditory Sentence Recognition, *PNAS* 91: 2012—2015. 1994.
 - 28) Henson RNA, Rugg MD, Shallice T, Josephs

- O, Dolan RJ.: Recollection and familiarity in recognition memory: an event-related functional magnetic resonance imaging study. *J Neurosci* 19:3962–3972. 1999.
- 2) Desmurget, M., et al.: Movement intention after parietal cortex stimulation in humans. *Science* 324: 811–813. 2009.
- 29) Farrer, C., Frith, C. D.: 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.
- 30) 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.
- 31) Chambon, V., Wenke, D., Fleming, S. M., Prinz, W., & Haggard, P.: An online neural substrate for sense of agency. *Cerebral Cortex* 23: 1031–1037. 2013.
- 32) Dosenbach NUFair DA, Cohen AL, Schlaggar BL, Petersen SE.: A dual-networks architecture of top-down control. *Trends Cognitive Science* 12 : 99–105. 2008.
- 33) Hyodo K, Dan I, Suwabe K, Kyutoku Y, Yamada Y, Akahori M, Byun K, Kato M, Soya H.: Acute moderate exercise enhances compensatory brain activation in older adults. *Neurobiol Aging* 33:2621–2632. 2012.
- 34) Segalowitz, S. J., & Bryden, M. P. Individual differences in hemispheric representation of language. In S. J. Segalowitz (Ed.), *Language functions and brain organization*. New York: Academic Press: 341–372. 1983.
- 35) 平山恵造, 出川皓一編集: 脳卒中中の神経心理学. 医学書院. 東京: 63–66. 1995.
- 36) Buccino G. ; The mirror neuron system and action recognition. *Brain Lanb* 89: 370–376, 2004.
- 37) Buccino, G. ET AL.; Action observation activates premotor and parietal areas in a somatotopic manner: an fMRI study. *European Journal of Neuroscience* 13 : 400–404. 2001.
- 38) Rizzolatti, G., Fadiga, L., Fogassi, L., Gallese, V. Premotor cortex and the recognition of motor actions. *Cognitive Brain Research* 3 : 131–141, 1996.
- 39) Rizzolatti, G., and Craighero, L. The mirror-neuron System. *Ann. Rev. Neurosci* 27 : 169–192. 2004.
- 40) Ruby P, Decety J. Effect of subjective perspective taking during simulation of action: a PET investigation of agency. *Nat Neurosci* 4: 546–50. 2001.
- 41) Ochsner KN, Knierim K, Ludlow DH, Hanelin J, Ramachandran T, Glover G, et al. Reflecting upon feelings: an MRI study of neural systems supporting the attribution of emotion to self and other. *J Cogn Neurosci* 16 : 1746–72. 2004.
- 42) 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.
- 43) Ferrari, P. F. et al.: Mirror neuron responding to the observation of ingestive and communicative mouth actions in the monkey ventral premotor cortex. *Eur J Neurosci* 106: 283–296. 1998.
- 44) Rizzolatti G, et al.: The organization of the cortical motor system: new concepts, *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 106: 283–296. 1998.
- 45) Gazzaniga MS.: Groundbreaking work that began more than a quarter of a century ago has led to ongoing insights about brain organization and consciousness. *Scientific American* ; 35–39. 1998.

An fMRI Study of the Cortex Related to the Movements of Fingers and Toes in Dominant Hands and Feet While Intentionally Losing at Rock-Paper-Scissor

MAKINO Hitoshi and IKOMA Katsunori

Abstract: The purpose of this study is to determine the differences cortex representations during movements of toes and fingers of dominant hands and feet using functional Magnetic Resonance Imaging (fMRI). Subjects and **METHODS:** We enrolled 9 right dominant hand-foot and 9 left-dominant hand-foot healthy students, age-matched controls, and they signed consent forms. fMRI of 1.5T was used to map cortical representations associated with motor tasks of the fingers and toes in the two groups. In these tasks, subjects watched a videoclip depicting “performance of rock- paper-scissors” of fingers or toes and were required to purposely lose. We used SPM 2 for analysis. **RESULTS:** We compared the right-dominant hand-foot group with the left-dominant hand-foot group in fMRI maps. During toe movements, the right-dominant hand-foot group showed increased representations of activation in the left primary motor area and left ventral premotor area, and the left-dominant hand-foot group showed increased representations of activation in the right primary motor area and right ventral premotor area. But during finger movements, the right-dominant hand-foot group showed increased representations of activation in the left primary motor area and right ventral premotor area. **CONCLUSIONS:** Our results suggest that there are some functional changes in the cortex of left dominant hand-foot individuals.

