

# 論文内容の要旨

Supplementary motor area is deactivated during mental rotation tasks  
with biomechanical constraints in fMRI

生体力学的制約を伴う心的回転課題中の fMRI において  
補足運動野の活動は脱賦活化する

日本医科大学大学院医学研究科 リハビリテーション学分野

大学院生 野村 真

*Frontiers in Human Neuroscience, Volume 18*

2024 年 10 月 10 日掲載

## 【背景と目的】

心的回転 (mental rotation, MR) は、心の中に思い浮かべた物体のイメージを回転変換する認知活動である。身体部位の MR 課題は、手や足の画像が回転されて提示された際に、その画像が右側か左側かを判断する認知課題であり、心の中で思い描いた手や足を回転することで運動イメージが想起される。先行研究では、MR 課題を含む運動イメージトレーニングが脳卒中患者や幻肢痛を有する患者、複合性局所疼痛症候群を有する患者の四肢の機能改善や疼痛緩和に有効である可能性が示唆されている。脳の運動関連領域、特に補足運動野 (supplementary motor area, SMA) は、運動のイメージや実行に関与する領域であり、身体の動作をシミュレートする際に賦活することが知られている。MR 課題においても SMA を含む運動関連領域が賦活されることが報告されているが、提示される身体部位の回転角度の違いがどのように影響するかについては明らかにされていない。本研究の目的は、手の MR 課題における回転角度の違いが SMA を含む運動関連領域の脳活動にどのような影響を与えるかを明らかにすることとした。

## 【方法】

対象は 20~39 歳の右利きの健常者 20 名 (男性 10 名、女性 10 名) とした。MR 課題では、対象者に左右どちらかの手掌の写真 ( $0^\circ$ )、もしくは  $90^\circ$ 、 $180^\circ$ 、 $270^\circ$  回転した手掌の写真をランダムに提示し、右手か左手かを判断させた。左右・4 角度の 8 パターンの画像が全て提示された時点を 1 セットとし、8 セット (計 64 回) 実施した。機能的磁気共鳴画像法 (fMRI) を用いて課題実施中の脳活動を測定した。測定した脳活動に関する fMRI データについて SPM12 (Wellcome Centre for Human Neuroimaging, UK) を用いて解析した。まず、脳活動の変化について、角度と側性を 2 要因とした二元配置反復測定分散分析を行った。次に、角度と脳活動について相関分析を行った。さらに、相関が認められた右 SMA の脳活動について、関心領域 (region of interest, ROI) を設定して各角度の活性化の違いを比較した。また、MR 課題における正答率と反応時間を角度別に算出し、それぞれ統計学的に比較した。

## 【結果】

二元配置反復測定分散分析の結果、角度に関する主効果は右下前頭回、右上側頭回、右海馬傍回、右前帯状皮質で認められ ( $p < 0.05$ )、側性に関する主効果は右内側前頭回、右中心前回、左中心前回、左後帯状皮質で認められ ( $p < 0.05$ )、角度と側性の交互作用は左内側前頭回で認められた ( $p < 0.05$ )。角度と脳活動の相関分析の結果、左右 SMA および右前帯状回後部において回転角度が大きくなるにつれて脳活動が減少するという負の相関関係が認められた ( $p < 0.05$ )。ROI 解析の結果、右 SMA の脳活動は  $0^\circ > 180^\circ$  ( $p = 0.027$ ) および  $0^\circ > 270^\circ$  ( $p = 0.001$ ) の条件で有意差が認められた。MR 課題の正答率は各角度において有意差がなかったが、反応時間は  $180^\circ$  および  $270^\circ$  の条件で  $0^\circ$  の条件と比較して有意に遅延した (それぞれ  $p < 0.001$ 、 $p = 0.002$ )。

## 【考察】

手の MR 課題における脳活動に関する先行研究では、主に両側上頭頂小葉、視覚野、運動皮質が賦活すると報告されている。本研究の結果、左内側前頭回において角度と側性における交互作用が得られたことから、左内側前頭回は MR 課題において角度と側性のより細かい違いを認識することに関与していることが示唆された。また、本研究の結果より、手の MR 課題において回転角度が大きくなると SMA の活動が低下することが示された。特に 180° および 270° 回転した手の画像は、生体力学的にその肢位を取ることが困難であるため、一人称視点での運動イメージの生成が難しくなり、結果として SMA の脱賦活化が生じた可能性が考えられた。

#### 【結論】

本研究より、生体力学的制約のある MR 課題中に SMA が脱賦活化されることが明らかになった。身体部位の MR 課題では回転角度に応じて心的回転の神経基盤が変化し、課題を効率的に実行するために異なる戦略が採用されることが示唆された。