

第二次審査（論文公開審査）結果の要旨

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. 2024 Oct 10;18:1455587 掲載

DOI: 10.3389/fnhum.2024.1455587

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。MR 課題を含む運動イメージトレーニングが脳卒中、幻肢痛、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。申請者らのグループは、今までに手の MR 課題中の末梢神経刺激において F 波の振幅や出現頻度が増加し、脊髄前角細胞の興奮性が高まることを報告した。脊髄前角細胞の興奮性は上位中枢による影響を受けるため、脳血流に着目した。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 課題でも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。そこで、手の MR 課題における回転角度と脳活動の関連性を明らかにすることを目的とし、右利きの健常者 20 名を対象に手の MR 課題を施行中の脳活動を機能的磁気共鳴画像法 (fMRI) を用いて測定した。測定した fMRI データは SPM12 (Wellcome Centre for Human Neuroimaging, UK) を用いて解析した。

角度と側性を 2 要因とした二元配置反復測定分散分析の結果、角度に関する主効果が右下前頭回、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 ($p < 0.05$)。さらに角度と脳活動の相関分析を行った結果、左右 SMA 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 ($p < 0.05$)。関心領域の解析の結果、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。

先行研究では、手の MR 課題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。本研究では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認識に関与していることが示唆された。さらに、 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、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。

第二次審査では、①本研究における fMRI 測定の方法論、②手の MR 課題における脳皮質のネットワークに関して、③今後の臨床応用、などについて質疑応答が行われ、いずれも的確な回答が得られた。

本研究では、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を明らかにした初めての報告であり、臨床的意義は高いと考えられた。以上より、本論文は学位論文として価値あるものと認定した。