

氏名	王 晨宇 (WANG CHENYU)		
授与した学位	博 士		
専攻分野の名称	統合科学		
学位授与番号	博甲第	7 3 1 2	号
学位授与の日付	2 0 2 5 年 3 月 2 5 日		
学位授与の要件	ヘルスシステム統合科学研究科 ヘルスシステム統合科学専攻 (学位規則第4条第1項該当)		
学位論文の題目	Study of the Brain Topological Processing Mechanisms in the Human Sensorimotor System (ヒトの感覚運動システムにおける体部位局在情報処理機構の解明)		
論文審査委員	教授 紀和 利彦	教授 楊 家家	教授 横平 徳美 准教授 高橋 智
学位論文内容の要旨			
<p>In dynamic environments, the human brain flexibly adapts to sensory and motor demands through sensorimotor interactions. Topographic organization within the somatosensory system plays a critical role in processing sensory inputs. Among the various components of the sensorimotor system, the hand stands out due to its unique versatility and frequent usage in daily life. This study employed functional magnetic resonance imaging (fMRI) to investigate the neural mechanisms underlying sensorimotor processing, focusing on the hand's topological processing mechanism.</p> <p>Chapter 1 introduced the theoretical foundation and research objectives. It highlighted the flexibility of brain-environment interactions, the significance of topographic organization in somatosensory processing, and the role of the hand in the sensorimotor system. The chapter also outlined the utility of fMRI as a non-invasive tool to study brain mechanisms and introduces the research focus on sensorimotor mechanisms of the hand based on topological principles.</p> <p>Chapter 2 studied the detailed topological representation of the hand in the primary somatosensory cortex (S1). A significant challenge in this field has been the lack of high-precision, MRI-compatible tactile stimulation devices. Focusing on this issue, we developed a multichannel MR-compatible tactile stimulator with high temporal and spatial resolution. Using this stimulator, we found the topological arrangement of right-hand fingers along the central sulcus, revealing that the index finger has a larger receptive field width compared to the thumb and little finger.</p> <p>Chapter 3 investigated sensory processing mechanisms in S1 based on topological representation characteristics. The large receptive field width indicated that multichannel input information might be processed integratively in S1, benefiting sensory estimation. We investigated task-specific activity in the S1 and functional connectivity (FC) from the S1 during haptic roughness estimation (RE) and curve estimation (CE) on regions of interest (ROIs) in S1. Stronger activity and larger-scale FC were observed in co-activated ROI compared to independent ROIs. These findings suggested that haptic information was processed and integrated within S1 under topological processing mechanism.</p> <p>Chapter 4 explored the integration of sensory information in motor control, particularly during the transfer phase of learned manipulation tasks. We explored how the large receptive field of the index finger facilitated adaptation to changing sensory inputs (adding or removing a digit) during the transfer phase of learned manipulation tasks. By comparing brain activity across transfer phase and learning phase, our findings highlighted the posterior parietal cortex's role in integrating sensory memory and real-time input to generate novel motor signals, enabling the precise reapplication of learned control strategies.</p> <p>Chapter 5 summarized the key findings on the topological processing mechanisms in the human sensorimotor system. These findings provided a framework for future research into neural mechanisms of sensorimotor integration, emphasizing the importance of combining topological principles with advanced neuroimaging techniques to uncover the complexities of human brain function.</p>			

論文審査結果の要旨

ヒトの手は、物を掴むという基本的な動作から楽器を演奏するなどの巧みの技能に至るまで、5本指が器用に動かすことができる。この過程においては、多様な体性感覚と運動信号が相互に影響し合う複雑な情報処理がなされているが、その神経メカニズムについては不明な点が多い。ヒトの一次体性感覚野と運動野には、脳の局所と各身体部位に点对点の対応関係（体部位局在）があり、よく使われる体部位ほど対応する脳の局所が広くなることが知られている。本研究は、機能的磁気共鳴画像法（fMRI）を用いてヒトの感覚運動システムにおける体部位局在情報処理機構の解明を目指している。

本研究は、左右の重さに偏りがある対象物を持ち上げる運動学習課題を用いて、感覚運動システムにおける体部位局在情報処理機構を調べることにした。実験用の対象物は、左右に重りの配置が可能な高さ 15cm、底面の横幅 14cm の「逆 T 字」形のものを使用した。例えば、逆 T 字の右側に重りを入れ、実験参加者に三本指で逆 T 字物体をまっすぐ持ち上げるように指示するが、持ち上がる最中に右方向に偏る現象が発生する。この過程を 4 回程度繰り返して練習を行うことで、偏りが最小限に抑えて持ち上げるのが可能になる。その後、二本指に切り替えて逆 T 字物体を持ち上げる際に、練習がなくても一回でまっすぐ持ち上げることができる。従って、同じ対象に対して三本指を用いて学習した力制御が二本指の条件へ適用できたと考えられる。また fMRI 結果では、一次運動野の指対応領域の脳活動が運動学習に関与していることを検証されたなど、ヒトの感覚運動システムの情報処理機構の解明に寄与できる知見が得られた。その研究成果は、国際学術論文誌 *Brain Science* 誌に 1 報を掲載され、複数の国内国際学会において発表した。現在、すべての fMRI データ解析が完了し、雑誌 2 報の投稿ができ、査読中である。

以上のことより、本論文は学術上および医工学上貢献するところが多い。よって本論文は、博士（統合科学）の学位として価値あるものと認める。