

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	体性感覚誘発電位の脳機能マッピングを用いた手指運動機構の解明に関する研究
Title(English)	The study on elucidation of finger movement mechanisms using functional brain mapping of sensory evoked potentials
著者(和文)	小澤 勇介
Author(English)	Yusuke Ozawa
出典(和文)	学位:博士(学術), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第12796号, 授与年月日:2024年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:吉村 奈津江,山口 雅浩,金子 寛彦,小池 康晴,八木 透,永井 岳大
Citation(English)	Degree:Doctor (Academic), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第12796号, Conferred date:2024/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	論文要旨
Type(English)	Summary

論文要旨

THESIS SUMMARY

系・コース：	情報通信	系	申請学位（専攻分野）：	博士	（ 学術 ）
Department of, Graduate major in	ライフエンジニアリング	コース	Academic Degree Requested	Doctor of	
学生氏名：	小澤 勇介		審査員主査：	吉村 奈津江	
Student's Name			Chief Examiner		

要旨（和文 2000 字程度）

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters)

本論文は、四肢神経への電気刺激により誘発され、脳の一次体性感覚野（S1）で観測される体性感覚誘発電位（SEP）を用いて手指運動機構の解明を目指すものであり、「体性感覚誘発電位の脳機能マッピングを用いた手指運動機構の解明に関する研究」と題し、和文 4 章からなる。頭皮から非侵襲的に計測される脳波が脳全体の信号を計測可能であることを活かし、手指運動による SEP の変調（感覚ゲーティング）が S1 以外の領域においても観測されることを示し、さらに手指運動を通じた物体認識において視覚と触覚の一致性がどの脳領域でも感覚ゲーティングを引き起こさないことを示している。

第 1 章「序論」では、運動における体性感覚情報の重要性について述べ、本論文で対象とする SEP が運動制御と体性感覚情報処理の神経伝達機構の解明に利用され、さらに感覚ゲーティングの現象が SEP から観測可能であることについて言及している。また、SEP がこれまで概ね S1 に限定して観測されていること、近年の脳機能マッピング技術の向上により、これまでの脳機能マッピングの知見が大幅に更新されていることを指摘し、全脳を対象として信号を計測できる脳波に対して信号源電流推定手法を適用することで、S1 以外の領域における感覚ゲーティングの観測の可能性と脳波を用いた脳機能マッピングの可能性を示すことを本論文の目的とすると述べている。

第 2 章「SEP の脳機能マッピングの有用性検証と脳機能マッピングによる感覚ゲーティング解析」では、手指運動における感覚ゲーティングを引き起こす実験システムとして、力触覚デバイス SPIDAR-GCC を用いて構築し、指の能動運動を正確に受動運動として再現できることを示し、脳波から記録した SEP により受動運動、能動運動の順に感覚ゲーティングが強くなることを示した。脳波から推定した信号源における SEP 波形の極性が脳皮質の中心溝を境に反転するという生理学的に正しい現象を示したことから、脳波を用いた脳機能マッピングの有用性を示唆すると述べている。さらに、このシステムと解析法を用いて、健常者 20 名の能動および受動的な手指運動中の SEP を計測した結果、S1 以外にも運動前野や補足運動野においても感覚ゲーティングの違いが現れることを示し、S1 以外の領域が感覚ゲーティングに寄与する可能性がある」と結論づけている。

第 3 章「脳機能マッピングを用いた物体認識における視覚・触覚情報の感覚ゲーティングへの影響解析」では、第 2 章で脳波を用いた脳機能マッピングの有用性を示したことを基に、手指運動を通じた物体認識における視覚および触覚情報の入力が見えが感覚ゲーティングを引き起こすか否かを検証した。12 名の健常者が表面の凹凸が異なる 2 種の素材に触れて素材の名称を返答する課題において、素材の写真（視覚情報）に触れている素材（触覚情報）と一致するか否かを、SEP を入力とする機械学習を用いて識別した結果、有意に識別できる脳領域が存在しない一方で、事象関連電位(ERP)を入力とした場合には有意な脳領域が存在したことを示した。ERP を入力とした識別において、物体情報提示から 300ms～3000ms にかけて幅広い時間帯の信号が識別に寄与していたことから、物体認識時の視覚と触覚情報の一致性は感覚ゲーティングに影響するほどの早い時間帯ではなく、より高次の情報処理に影響している可能性がある」と結論づけている。

第 4 章「結論」では、脳波を用いた脳機能マッピングの応用可能性について述べるとともに、感覚ゲーティングへの寄与が新たに示唆された領域について、手指運動機構の解明に向けた今後の展開について述べている。その一方で、脳波を用いた脳機能マッピングにおける限界についても言及し、他の計測方法との併用の必要性について言及している。

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note：Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).

論文要旨

THESIS SUMMARY

系・コース：	情報通信	系	申請学位(専攻分野)：	博士	(学術)
Department of, Graduate major in	ライフエンジニアリング	コース	Academic Degree Requested	Doctor of	
学生氏名：	小澤 勇介		審査員主査：	吉村 奈津江	
Student's Name			Chief Examiner		

要旨 (英文 300 語程度)

Thesis Summary (approx.300 English Words)

This dissertation, consisting of four Japanese chapters, suggests that electroencephalography (EEG)-based brain function mapping and sensory evoked potentials (SEP) may provide new insights into finger movement mechanisms. SEP is elicited through electrical stimulation of limb nerves and typically observed in the primary somatosensory cortex (S1). As is widely recognized, the amplitude of SEP is known to be modulated by hand movements. This dissertation demonstrates that the SEP modulation (sensory gating) during finger movements can be observed in brain regions other than S1, and that the congruency between visual and tactile information in object recognition through finger movements does not cause sensory gating.

In Chapter 1, "Introduction," the significance of somatosensory information in movement is discussed. The use of SEPs is highlighted as a means of elucidating the motor control and neural transmission mechanisms underlying somatosensory information processing. It also notes that SEP has been previously recorded only from S1 and that recent advances in functional brain mapping may significantly update our previous understanding of brain functional localization.

In Chapter 2, an experimental system to measure SEPs during finger movements was developed, and the effectiveness of EEG-based brain function mapping based on cortical current source estimation was verified by examining the amplitude and polarity of SEPs obtained from EEG for each cerebral region. By applying this system and method, it was postulated that gating also takes place in regions beyond S1.

Chapter 3 examines the impact of visual and tactile information congruency on sensory gating in object recognition. The analysis suggests that while congruency between visual and tactile information does not significantly impact early information processing, it may have an effect on higher-order information processing.

Chapter 4 describes the potential applications of EEG-based functional brain mapping and explores future developments toward elucidating finger movement mechanisms in newly suggested areas contributing to sensory gating. At the same time, the limitations of EEG-based functional brain mapping are discussed, and the necessity of employing EEG in conjunction with other measurement methods is highlighted.

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note: Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1 copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).