

Physiological Characterization of Event-Related Desynchronization in Human Electroencephalogram

May 2015

Mitsuaki Takemi

主 論 文 要 旨

報告番号	㊦ 乙 第	号	氏 名	武見 充晃
主 論 文 題 目： Physiological Characterization of Event-Related Desynchronization in Human Electroencephalogram (ヒト頭皮脳波における事象関連脱同期の生理学的特性)				
(内容の要旨) 脳卒中は、がん、心筋梗塞と並んで三大疾病のひとつであり、罹患後に患者は一側性の運動麻痺である片麻痺を呈することが多い。しかしこれまで、随意筋電図も発現できないほどの重度片麻痺に対する効果的なリハビリテーション法は存在しなかった。これに対して近年、脳から直接神経活動を計測して運動訓練を行う、ブレイン・コンピュータ・インターフェース (Brain-Computer Interface: BCI) による神経リハビリテーションが提唱され、重度脳卒中片麻痺に対する治療法として注目を集めている。 このような BCI の信号源には、計測器材が比較的安価であること、身体拘束性が低いこと、その誘発と検出が容易であること、非侵襲的であること等を理由として、頭皮脳波を利用することが多く、そのなかでも特に 7-26 Hz 成分の振幅変化 (事象関連脱同期: Event-Related Desynchronization, ERD) が特徴量として用いられている。ERD は、運動イメージあるいは運動遂行にともなって、一次運動野 (M1) 近傍で生じることから、運動に関連した M1 の神経興奮性を反映すると考えられているが、その生理学的実証は進んでいない。またヒトの随意運動は、運動計画を担う高次運動皮質や、M1 との直接結合を有する脊髄運動ニューロンによって仲介されるが、ERD とこれらの領域との活動相関について検討した研究は存在しない。経験則的に用いられて来た脳波信号と、神経活動実体との関連性を理解することは、神経治療を BCI によって実現するリハビリテーション工学の発展上、重要な課題となっている。そこで本研究では、運動イメージ中に発生する ERD と M1 および脊髄運動ニューロンにおける神経興奮性の関係を実験的に明らかにし、BCI リハビリテーションに関する技術原理の確立を目指した。 第 1 章は序論である。最初に随意運動における中枢神経系の役割と、運動イメージが皮質脊髄興奮性におよぼす影響を概説した。また、皮質脊髄興奮性の評価手法を説明した。ついで ERD と神経興奮性の関連について既知の知見をまとめ、最後に現状の課題と本研究の目的を述べた。 第 2 章では、M1 近傍の ERD と、M1 の興奮性および M1 内神経回路の活動性との関連を、健常成人 20 名で検討した。実験では頭皮脳波を M1 近傍から計測し、運動イメージ中に ERD が一定強度に達したタイミングで M1 に経頭蓋磁気刺激を行うことで、その時の M1 興奮性を評価した。その結果、ERD が M1 の興奮性を反映し、ERD の発生時には M1 内の抑制性介在ニューロンの活動が減弱していることが明らかになった。またこの傾向は、手関節の伸筋と屈筋という異なる特性を有する筋においても共通であった。 第 3 章では、M1 近傍での ERD の発生が脊髄運動ニューロンの興奮性におよぼす影響を検討した。健常成人 15 名において、運動イメージ中に M1 近傍の ERD が一定強度に達したタイミングで正中神経に刺激を与え、その時の脊髄興奮性を評価した。結果、ERD は脊髄運動ニューロンの興奮性も反映することが明らかになった。また全頭脳波計測の結果は、M1 だけでなく、高次運動皮質の活動性も、脊髄興奮性亢進のために重要であることを示唆した。 第 4 章は結論である。本研究の成果を総括し、今後の展望と課題を述べている。				

SUMMARY OF Ph.D. DISSERTATION

School Fundamental Science and Technology	Student Identification Number	SURNAME, First name TAKEMI, Mitsuaki
Title Physiological Characterization of Event-Related Desynchronization in Human Electroencephalogram		
Abstract <p>Stroke is the leading cause of disability worldwide, and motor paralysis with one side of the body, called hemiplegia, is main disabilities associated with stroke. However, many stroke survivors do not qualify for existing rehabilitation, as it requires remaining residual muscle activity. Recent advance in neurotechnology led to increase interest in brain-computer interface (BCI) that translates brain activity into control signal of computer as a tool for rehabilitation in patients with severe hemiplegia.</p> <p>This type of BCI often exploits mu and beta (7–26 Hz) oscillations in scalp electroencephalogram (EEG) recorded over the primary motor cortex (M1). The amplitude of these oscillations typically decreases during actual movements, as well as during motor imagery. As a general rule of thumb, this motor-related EEG pattern, referred to as event-related desynchronization (ERD), is believed to represent increased activation of the M1, while its physiological characterization related to the neural excitability remains unclear. Furthermore, though higher motor cortices converge on the M1, which executes motor commands by transmitting them to the spinal motoneurons and muscles, effects of activations in the higher motor cortices and motor imagery accompanied by ERD over M1 on the excitability of spinal motoneurons have not been examined. In the area of rehabilitation engineering, clarifying a relationship between EEG features and the actual neural activity is an urgent issue for enhancing the efficacy of motor recovery by the BCI. Thus, the goal of this dissertation was to empirically reveal an association of ERD during motor imagery with the excitabilities of M1 and spinal motoneurons and to provide fundamental knowledge for establishing the technical principle of BCI rehabilitation.</p> <p>Chapter 1 presents an overview of central nervous system involving actual movement and motor imagery. Assessment methods of the corticospinal excitability were also illustrated. Finally, previous studies related to ERD and neural excitability are summarized, and the purpose of this dissertation is introduced.</p> <p>Chapter 2 presents a study on relationship between M1 excitability and ERD recorded over the M1. To examine the M1 excitability at a fixed magnitude of ERD, magnetic stimulation to the M1 was applied when ERD exceeded the predetermined threshold during motor imagery. The result suggests that motor imagery accompanied by ERD led a significant downregulation of inhibitory interneuron in M1, and ERD over the M1 reflects M1 excitability of agonist muscles regardless of whether they are extensor or flexor.</p> <p>Chapter 3 presents a study on relationship between ERD and spinal motoneuronal excitability. Peripheral nerve stimulation that can examine the spinal excitability was applied at a fixed magnitude of ERD during motor imagery. The result showed that the spinal motoneuron excitability positively correlated to ERD over the M1. Furthermore, comparison of the difference in the ERD topography between the conditions of higher and lower spinal excitability suggested that the activities of both the M1 and higher motor cortices would contribute for increasing the spinal excitability by motor imagery.</p> <p>Chapter 4 is the conclusion. The findings of this dissertation were summarized and the future perspective was given.</p>		