

中心溝内皮質脳波を用いた Brain machine interface による運動機能再建 Restoration of motor function using brain machine interface (BMI) based on intrasulcal electrocorticogram (ECoG)

柳澤琢史(PY)^{1,2)}, 平田雅之¹⁾, 齋藤洋一¹⁾, 福間良平²⁾, 後藤哲¹⁾, 加藤天美³⁾,
横井浩史⁴⁾, 神谷之康²⁾, 吉峰俊樹¹⁾

Takufumi Yanagisawa^{1,2)}, Masayuki Hirata¹⁾, Youichi Saitoh¹⁾, Ryohei Fukuma²⁾, Tetsu Goto¹⁾, Amami Kato³⁾,
Hiroshi Yokoi⁴⁾, Yukiyasu Kamitani²⁾ and Toshiki Yoshimine¹⁾

¹⁾ 大阪大学大学院医学研究科脳神経外科

²⁾ ATR 脳情報研究所

³⁾ 近畿大学医学部脳神経外科

⁴⁾ 東京大学工学部精密工学科

tyanagisawa@nsurg.med.osaka-u.ac.jp

Abstract — An electrocorticogram of the human primary motor cortex (M1) within the central sulcus (intrasulcal ECoG) was examined for BMI. A support vector machine classified the single-trial ECoG signals to infer the three classes of the upper limb movement. The intrasulcal ECoG on M1 was shown to be the most efficient signal for motor restoration.

Keywords — Brain machine interface (BMI), intrasulcal ECoG, motor restoration, Neural decoding

1 はじめに

脊髄損傷などによる四肢麻痺患者は、運動機能障害のために著しく生活の質が低下し、看護・介護の負担も問題となる。我々は Brain machine interface (BMI) 技術を用いて、四肢麻痺患者が念じるだけで操作できるロボットハンド(電動義手)を開発し臨床応用することで、麻痺患者の運動機能再建を目指している。

BMI とは脳信号をコンピュータ処理して運動意図などを推定し、その結果に基づいてコンピュータやロボットを制御する技術である[3]。既に米国では、脊髄損傷患者に臨床応用され注目されている[1]。

BMI に用いる脳信号は様々であるが、我々は感覚運動野上に留置した脳表電極から計測した皮質脳波 (Electrocorticogram: ECoG) を用いている。特にヒトの一次運動野の多くが中心溝内にあることに注目し、中心溝内に留置した電極から中心溝内皮質脳波 (intrasulcal ECoG) を計測し BMI に利用している(図 1)。本稿では中心溝内皮質脳波を用いた運動推定の結果を示し、通常用いられる脳溝外の脳表脳波 (gyral ECoG) と比較して中心溝内皮質脳波がより有用であることを示す。また、皮質脳波による運動推定をリアルタイムで行い、皮質脳波のみでロボットハンドを制御するシステムを紹介する。

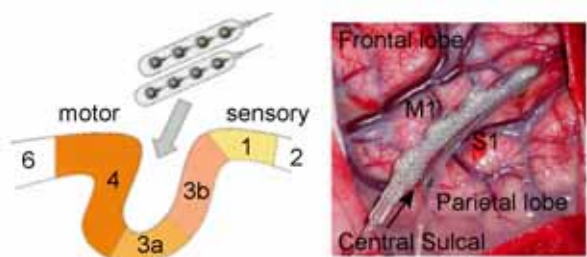
2 患者と方法

硬膜下電極を留置した難治性疼痛患者 5 名に協力して頂いた。電極は大脳皮質刺激療法 (motor cortex stimulation: MCS、大脳皮質感覚運動野を電気刺激することで卒中後疼痛や幻肢痛などの難治性疼痛を軽減する治療法) の為に留置した[2]。中心溝内運動野側に 4 極 (中心溝 M1)、感覚野側に 4 極 (中心溝 S1)、脳表の感覚運動野に 12~20 極の電極(表面)を留置した。患者が 3 種類の上肢運動課題(拇指屈曲、握手、肘屈曲の想像もしくは実行)を施行し、その際の皮質脳波を留置した電極から記録した。

記録した皮質脳波を運動前後の 1 秒間で切り出して規格化した。更に 50ms ずつスライドする 100ms の時間区間で電極毎に平均し平滑化した。これを特徴量として、線形の support vector machine (SVM) を用いて弁別した。つまり運動 1 回毎の皮質脳波から施行した運動を推定した。この際、推定精度と推定に用いた電極の解剖学的位置との関係を検討した。

また、てんかん治療の為に脳表電極を留置した患者に協力して頂き、皮質脳波によるロボットハンド制御を行った。つまり、上記の皮質脳波による運動推定をリアルタイムで行い、推定結果を用いてロボットハンドを制御した。大阪大学医学部付属病院倫理委員会の承認を得て、十分なインフォームドコンセントの下、実験を行った。

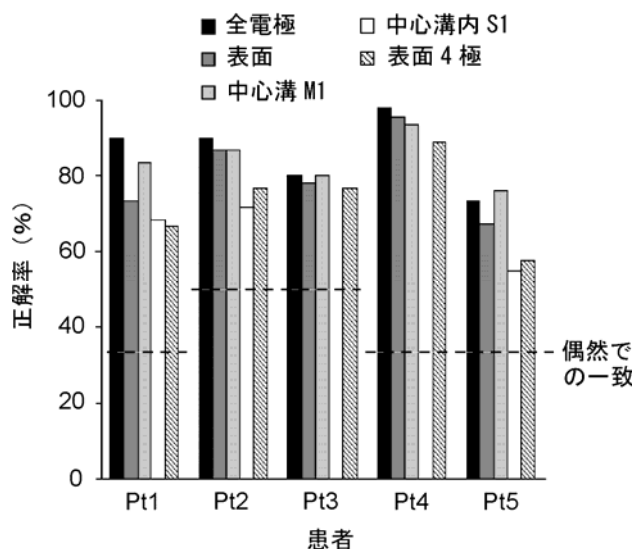
図 1：中心溝内電極



3.1 中心溝内運動野皮質脳波の有用性 (図2)

患者が運動課題を施行している際の皮質脳波から、施行した3種の課題を推定した。図2に示すように、運動1回毎の皮質脳波により、実行もしくは想起した運動を70-90%の精度で推定することでできた(図2)。また、中心溝 M1 の4極を用いるだけで、留置した全電極(12~20極)を用いた場合とほぼ同等の推定精度を得ることが出来た。電極の数を統一し、脳表から運動推定に寄与していると考えられる4極(脳表4極)を選び、中心溝 M1 及び S1 と比較したところ、中心溝 M1 が統計学的有意に高い推定精度を示した。

図2：皮質脳波による運動推定



3.2 皮質脳波によるロボット制御 (図3)

てんかん治療の為に感覚運動野の脳表に電極を留置した患者に、音刺激に合わせてグーチョキパーをして頂いた。この際の皮質脳波を計測し、A/D変換した後、MATLAB上でリアルタイムにデータ処理を行った。患者はグーチョキパーを自由に選んで施行した。この際の皮質脳波だけから、ジャンケンの手を推定した。皮質脳波だけでリアルタイムにロボットを制御できることが示された。

図3：皮質脳波によるロボット制御



4 まとめと今後の展望

中心溝内運動野の皮質脳波を用いることで、より高精度の運動推定が可能となることを示した。ヒトの一次運動野の皮質脳波を中心溝内も含めて解析した研究はこれまでにない。今後、より高性能で実用的なBMIを開発するためには、中心溝内運動野に注目した研究が重要になると考える。

また、皮質脳波によるロボット制御は、BMIによる運動機能再建の可能性を示した。ロボット制御と脳信号復号化技術を一体として開発することで、より実用的で患者の福音となるBMIもしくは運動機能再建技術を実現できると考える。

参考文献

- [1] Hochberg LR, Serruya MD, Friehs GM, Mukand JA, Saleh M, Caplan AH, Branner A, Chen D, Penn RD, Donoghue JP (2006) "Neuronal ensemble control of prosthetic devices by a human with tetraplegia." *Nature*, **442**, 164-171.
- [2] Saitoh Y, Yoshimine T (2007) "Stimulation of primary motor cortex for intractable deafferentation pain." *Acta Neurochir Suppl*, **97**, 51-56.
- [3] Wolpaw JR, Birbaumer N, McFarland DJ, Pfurtscheller G, Vaughan TM (2002) "Brain-computer interfaces for communication and control." *Clin Neurophysiol*, **113**, 767-791.