＜シンポジウム　(4)-17-5＞ALS におけるコミュニケーション障害とその対策：
完全閉じ込め状態への挑戦

ALS 患者におけるコミュニケーション戦略：脳外科からのアプローチ

吉峰　俊樹[1)]　柳沢　琢史[1)]　澤田　甚一[3)]
狭間　敬憲[3)]　望月　秀樹[2)]　平田　雅之[1)]

要旨：ALS 患者の基本的コミュニケーション手段がすべて失われて「閉じ込め状態」となったばあい，脳活動そのものから患者の意思を読み取る方法が考えられる．これは脳信号の計測技術と解読技術（デコーディング）の発達により現実のものとなってきた．「ブレイン・マシン・インターフェイス（BMI）」と呼ばれる技術である．BMI のための脳信号をとらえる方法には非侵襲的方法と侵襲的方法があるが，本稿では，脳神経外科的アプローチとして私どもが研究，開発を進めている低侵襲的出力型 BMI を紹介する．世界ではじめて ALS 患者において臨床研究がなされ，「考えるだけで」コミュニケ―ションツールを操作できた例である．

（臨床神経 2013;53:1405-1407）
Key words：ALS，コミュニケーション，BMI，閉じ込め症候群，皮質脳波

はじめに

Brain-machine interface（BMI）とは「脳と機械の間で直接信号をやりとりすることにより，失われた神経機能の代行あるいは回復促進に役立てる技術」である．BMI には脳信号を取り出して外部装置に伝える「出力型」と，外部機器で感知した信号を脳に伝える「入力型」があるが，下位運動ニューロンの脱落により全身の筋萎縮をきたした筋萎縮性側索硬化症患者における運動・コミュニケーション機能を支援するには，脊髄，末梢神経，筋などの本来の出力経路をもちいることなく，脳情報そのものを解読して直接，外部装置を操作することができる出力型 BMI を利用する方法が考えられる[1)2)]．

出力型 BMI は，解読する脳信号を取得する手段により，さらに「非侵襲的 BMI」と「侵襲的 BMI」に分けることができる．本稿では脳神経外科的アプローチとして研究，開発が進められている侵襲的 BMI，とくに世界ではじめて ALS 患者において臨床研究がなされた私どもの硬膜下電極をもちいた低侵襲的出力型 BMI を紹介する．

低侵襲的出力型 BMI による運動・コミュニケーションの支援

脳神経外科領域では，難治性てんかんや脳腫瘍患者において脳表に硬膜下電極をおいて大脳皮質機能マッピングをおこなうことがある．このような患者の承諾をえて，各種の運動課題遂行時の皮質脳波（ECoG）を解析した．その結果，運動開始時にはとくに高周波帯（γ波）のパワーが増加すること，そしてこのγ波の分布パターンが運動の種類ごとにことなることがわかる．この分布パターンの相違を機械学習（machine learning）の手法で解析すると，数種の運動の種類をほぼ正確にいい当てることができる[3)]．この方法をもちいると，実際に運動を行わなくてもイメージするだけでも運動の種類をいい当てることができるため，「考えただけで」モニター上のカーソル移動をおこなったりロボットアームの操作をおこなうことも可能であるため，これを ALS 患者の運動やコミュニケ―ションの支援にもちいることを計画した[4)]．

実際の ALS 患者への応用に先立ち，慢性の運動麻痺患者においても「運動をイメージするだけで」，その種類の解析が可能か否かを検討した．ALS 患者では慢性の運動麻痺により運動皮質に機能低下がもたらされ，解析が困難な可能性も危惧されたからである．その結果，長期にわたる完全麻痺患者が運動をイメージしたばあい，運動麻痺のない患者や軽度の患者が実際に運動したばあいにくらべ，γ波の出現は不良ではあるが，解析は可能であることが明らかになった（Fig. 1）[5)]．またこの際，「運動をイメージすることが容易である」と自己申告した被験者では運動内容の正答率が高く，「イメージすることが困難である」と答えた被験者では低いことも明らかとなった．

以上の結果を踏まえ，私どもは倫理委員会の承認をえて，重症 ALS 患者に硬膜下電極をもちいた BMI の安全性と機能性を検討する臨床研究を開始した．被験者は，まず，MEG をもちいて運動イメージによる皮質運動野の脳信号の出現が良好であることを確認したのち，硬膜下電極を設置し，ECoG の解析による運動意図の推定が可能か否かを検討した．その結果，患者は「考えるだけで」コンピュータ（オペレート・

1) 大阪大学大学院医学系研究科脳神経外科〔〒565-0871　大阪府吹田市山田丘 2-2〕
2) 大阪大学大学院医学系研究科神経内科
3) 大阪府立急性期・総合医療センター神経内科
（受付日：2013 年 6 月 1 日）

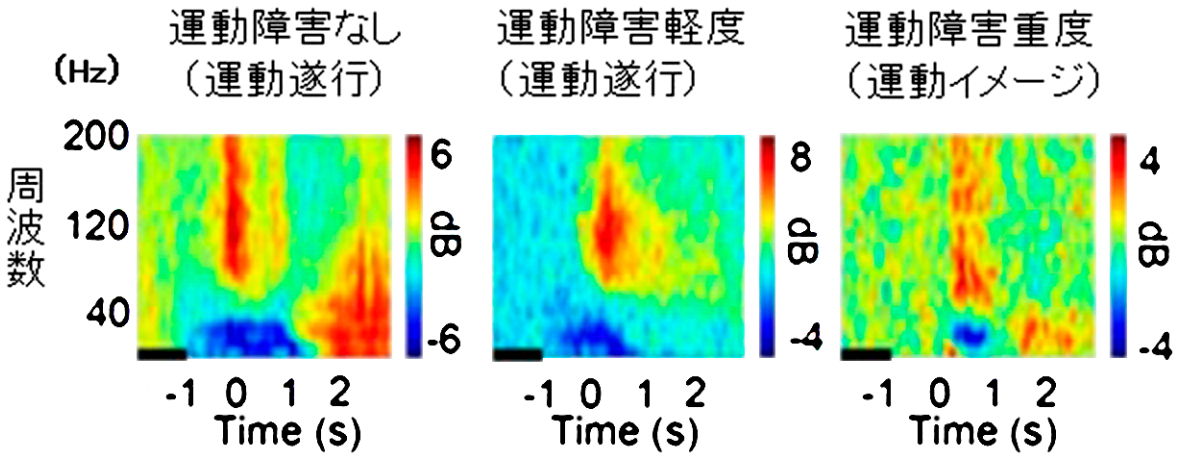

Fig. 1　Power spectra of movement-related ECoG of patients with no (left), mild (center) and severe (right) paresis. Gamma band power decreases as the paresis increases. Patient with severe paresis only imaged to move the hand.

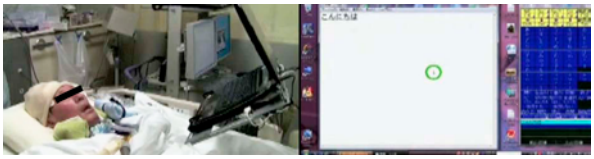

Fig. 2　An ALS patient with severe motor disability after implantation of subdural electrodes (left).
Using our BMI system, he operated OPERATENAVI only by “thinking”.

ナビ）を操作して文章を綴ることが可能であった（Fig. 2）.

おわりに

重症 ALS 患者が呼吸不全に陥った際の生命維持については，なお国際的議論が続いている状況であるが，本邦では，呼吸麻痺出現時に長期機械呼吸（気管切開をともなう人工呼吸）を選択する率が 24.5%（厚労省班会議）～46%（日本 ALS 協会）である[6]．長期機械呼吸の選択が例外的といわれる米国などとくらべ，世界的に突出した値である．しかし，最近の国際的調査では，重症 ALS 患者であっても患者自身が自己評価した QOL は意外に良好であると報告され[7)8)]，長期機械呼吸は患者の選択肢として見直される傾向もある．

患者自身の生活満足度が予想外に高いとしても，生活の多くの面で不自由を被っていることには変わりなく，とくに患者はコミュニケーション能力の喪失を強く悲嘆している．私どもが日本 ALS 協会の協力をえて，患者ないしその家族が BMI に期待する機能を調査した結果でも，コミュニケーション手段としての機能を「強く希望」ないし「希望」していた[9]．川口によれば，呼吸麻痺時には長期機械呼吸を希望した患者であっても，眼球運動まで喪失して閉じ込め症候群にいたった際には生命維持を中止して欲しい胸希望していたた患者もあったという[10]．人の生存基盤のひとつとして，コミュニケーション機能には筆舌に尽くしがたい重要性があるものと想像される．BMI はその支援手段としておそらくもっとも実現性の高い技術であると考えられる．

※本論文に関連し，開示すべき COI 状態にある企業，組織，団体はいずれも有りません．

文　献

1）平田雅之，吉峰俊樹．ブレイン・マシン・インターフェース．再生医療 2013;12:33-49.
2）吉峰俊樹．Brain-machine interface（BMI）概観．医学のあゆみ 2013;245:318-325.
3）Yanagisawa T, Hirata M, Saitoh Y, et al. Neural decoding using gyral and intrasulcal electrocorticograms. Neuroimage 2009;45:1099-1106.
4）Yanagisawa T, Hirata M, Saitoh Y, et al. Real-time control of a prosthetic hand using human electrocorticography signals. J Neurosurg 2011;114:1715-1722.
5）Yanagisawa T, Hirata M, Saitoh Y, et al. Electrocorticographic control of a prosthetic arm in paralyzed patients. Ann Neurol 2012;71:353-361.
6）Borasio GD, Gelinas DF, Yanagisawa N. Mechanical ventilation in amyotrophic lateral sclerosis: a cross-cultural perspective. J Neurol 1998;245(Suppl 2):S7-12; discussion S29.
7）Bruno MA, Bernheim JL, Ledoux D, et al. A survey on self-assessed well-being in a cohort of chronic locked-in syndrome patients: happy majority, miserable minority. BMJ Open 2011;1:e000039
8）Laureys S et al. (Eds.). Chapter 23: Life can be worth living in locked-in syndrome. In: Progress in Brain Research. Elsevier B.V.; 2009. p.177.
9）景山　悠，平田雅之，柳澤琢史ら．難病と在宅ケア 2012;17:52-55.
10）長岡紘司，川口有美子．解題．生きよ．生きよ．在宅人工呼吸療法の黎明期を生きた男の遺言．現代思想　2012;40:72-89.

Abstract

Communication with ALS patients: Neurosurgical approach

Toshiki Yoshimine, M.D., Ph.D.[1], Takufumi Yanagisawa, M.D., Ph.D.[1], Jin-ichi Sawada, M.D., Ph.D.[3], Takanori Hazama, M.D., Ph.D.[3], Hideki Mochizuki, M.D., Ph.D.[2] and Masayuki Hirata, M.D., Ph.D.[1]

[1]Department of Neurosurgery, Osaka University Medical School
[2]Department of Neurology, Osaka University Medical School
[3]Department of Neurology, Osaka General Medical Center

By progression of the disease, motor neurons degenerate in patients with amyotrophic lateral sclerosis (ALS) eventually lose nearly all voluntary muscles in the body. They are awake and aware but cannot move or communicate (locked-in state). Since the function of the brain is preserved, one possible measure to support their communication is to interpret their motor intention by decoding (deciphering) brain signals and present it with external devices. This technology called “brain-machine interface (BMI)” is now close to clinical use in Japan and USA.

In our system, we record electrocorticogram (ECoG) obtained with subudural electrodes during their motor imagery, decode it and determine the movement they intended. So far, one patient of ALS with severe paralysis, implanted with this electrodes, successfully operated the PC communication tool only by thinking.

(Clin Neurol 2013;53:1405-1407)

Key words: ALS, communication, BMI, locked-in, ECoG