

<シンポジウム 06—2>Brain-machine-interface はどこまで可能か？

## Real-time NIRS によるニューロフィードバックをもちいた 神経リハビリテーション

三原 雅史

(臨床神経 2011;51:924-926)

**Key words** : リハビリテーション, 運動想像, ブレイン-マシンインターフェース, 近赤外分光法, ニューロフィードバック

### 脳損傷患者への Brain-machine interface (BMI) 応用

脳卒中をはじめとする中枢神経損傷は、麻痺などの運動機能障害を合併し、歩行や更衣動作などの日常生活機能の低下によって、介護量の増大、Quality of life (QOL) の低下をもたらす。社会的にも非常に大きな問題となっている。これらの脳損傷患者に対して Brain-machine interface (BMI) を応用する方法としては、幾つかのことなるアプローチが存在する。多くの研究において、検討されている方法としては、障害がある神経系をバイパスし、喪失した機能を補う目的での運動出力型 BMI があり、様々な装置、機器をコントロールする補装具としての応用が期待されている。一方、脳損傷後の機能回復過程においては、残存する脳組織が新たな神経ネットワークを形成し、損傷部位の機能を代償する機能的再構成が重要と考えられているが、この機能的再構成を促進する目的でも BMI 技術の応用が可能である<sup>1)</sup>。その一つが脳波や機能的 MRI などをもちいて、脳活動をリアルタイムに解析し、被験者に提示するニューロフィードバックと呼ばれる手法であり、近年の機能的脳画像法の進歩と BMI 技術を応用したリアルタイムでの decoding 技術の進歩によって応用が進んでいる技術である<sup>2)</sup>。ニューロフィードバックはこれまで、難治性てんかんや注意欠陥多動障害患者などに対する発作のコントロールや、慢性疼痛患者に対する痛みのコントロールなどの治療に応用が試みられているが<sup>3)4)</sup>、これは被験者の脳情報をもちいて、理想的な脳活動を誘導する「治療型」の BMI 応用といえる。

### NIRS をもちいたニューロフィードバック システムの開発

今回われわれは、このニューロフィードバックを脳損傷後の神経リハビリテーションに応用する目的で、課題施行にともなう大脳皮質表面の血流変化を非侵襲的に捉えることが可能である近赤外分光法 (Near-infrared spectroscopy : NIRS)

をもちいたシステムを開発した (Fig. 1)。NIRS は、大脳皮質におけるヘモグロビン濃度変化を間接的に測定することで、神経活動にともなう血流変化を検出することが可能な装置であり、空間分解能が数 cm 程度で脳深部の測定が難しいなどの技術的な問題はあるものの、被験者に対する拘束が少なく、より一般臨床において応用しやすいと考えられる。われわれはまず、本システムで採用した課題遂行中の局所ヘモグロビン信号変化を基に、課題にともなう脳活動がどの程度おこっていたかを推定するアルゴリズム (sliding windows GLM analysis) の妥当性を検討するために、5名の右きき健常者を対象に、5秒間の右手指屈伸動作を15回くりかえす運動課題をもちいて機能的 NIRS 測定をおこなった。sliding windows GLM analysis をもちいたリアルタイムでの解析結果と、オフラインでの解析 (task-by-task GLM analysis) の結果を比較検討したところ、リアルタイムでの解析結果、とくに酸素化ヘモグロビン信号を指標にした解析が、従来法での解析結果との間に高い相関関係を示すことが明らかになった。この結果より、本システムをもちいたリアルタイムでの脳活動推定アルゴリズムは、ニューロフィードバックへの応用が可能であると考えられた。

### 運動想像をもちいたリハビリテーションへの ニューロフィードバックの応用

運動の想像と実際の運動遂行とは共通した神経基盤を有することから<sup>5)</sup>、これまでも、脳損傷後の機能的再構成を誘導するための手法として、運動の想像をもちいたリハビリテーション介入 (mental practice with motor imagery) がもちいられてきており、脳卒中後の機能的再構成を促進させる可能性が示唆されてきている<sup>6)7)</sup>。しかしながら、これまでの研究では、脳卒中後の患者に対する効果は一定していない。このように研究毎に効果に差がある原因としては、発症からの時期など、被験者因子の問題の他に、被験者間での運動想像能力の差や、質的な違いなど、介入因子が一定していないことが影響を与えている可能性が考えられる。ニューロフィードバック

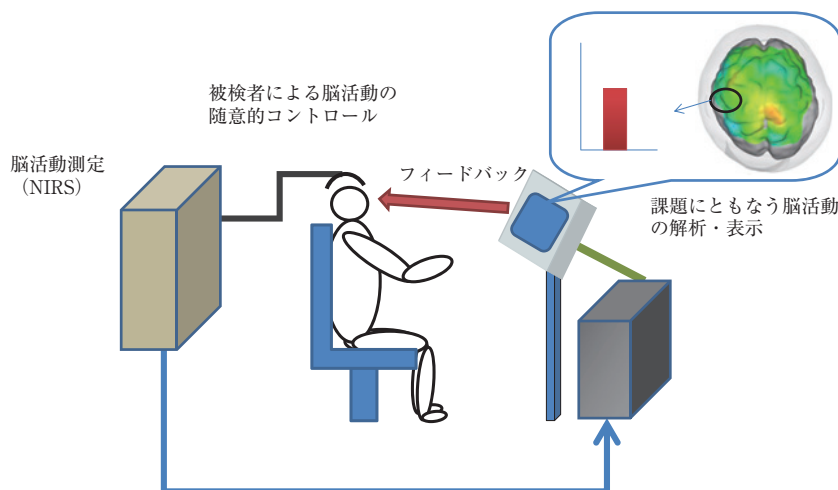


Fig. 1 NIRS をもちいたニューロフィードバックシステム.

をもちいることで、運動想像のトレーニングおよびモニタリングが可能となり、これらの問題が解決できる可能性がある。そこで、今回われわれはこのシステムをもちいた脳卒中後リハビリテーションへの応用に向けて、健常者におけるニューロフィードバックの効果を検討した。健常な右きき成人21名を対象に、ニューロフィードバックが右手指運動想像中の脳活動および運動想像の質に影響を与えるかを検討する為に、各被験者に対して、実際の対側運動野付近の脳活動をフィードバックしたばあいと、ランダムな値をフィードバックしたばあいとで動作想像中の脳活動と、運動知覚的な動作想像の自己評価とを比較した。対側運動野付近の脳活動をフィードバックした群においては、右手指運動想像中の対側運動前野を中心とした大脳皮質活動の拡大と背側頭頂連合野付近の活動が低下し、運動知覚的な運動想像が上昇する傾向がみとめられた。先行研究において、運動知覚的な動作想像は運動野の興奮性を高め、リハビリテーションに対しても効果的と考えられていることから、これらの結果は、ニューロフィードバックが mental practice with motor imagery の効果をより高める可能性を示唆しているものと考えられる。

### 今後の展望

現在、われわれは、このシステムを実際の亜急性期脳卒中後患者に応用して、mental practice with motor imagery による機能改善効果に影響を与えるかどうかを検証する研究を進めている。ニューロフィードバックをもちいたリハビリテ

ーション介入は、安全性も高く、今後は運動想像以外の課題や、神経変性疾患患者などへの応用が期待される。

### 文 献

- 1) Daly JJ, Wolpaw JR. Brain-computer interfaces in neurological rehabilitation. *Lancet Neurol* 2008;7:1032-1043.
- 2) deCharms RC, Christoff K, Glover GH, et al. Learned regulation of spatially localized brain activation using real-time fMRI. *Neuroimage* 2004;21:436-443.
- 3) deCharms RC, Maeda F, Glover GH, et al. Control over brain activation and pain learned by using real-time functional MRI. *Proc Natl Acad Sci U S A* 2005;102:18626-18631.
- 4) Kotchoubey B, Strehl U, Uhlmann C, et al. Modification of slow cortical potentials in patients with refractory epilepsy: a controlled outcome study. *Epilepsia* 2001;42:406-416.
- 5) Lotze M, Halsband U. Motor imagery. *J Physiol Paris* 2006;99:386-395.
- 6) Page SJ, Levine P, Leonard A. Mental practice in chronic stroke: results of a randomized, placebo-controlled trial. *Stroke* 2007;38:1293-1297.
- 7) Sharma N, Pomeroy VM, Baron JC. Motor imagery: a backdoor to the motor system after stroke? *Stroke* 2006; 37:1941-1952.

**Abstract****Neurorehabilitative intervention with neurofeedback system using functional near-infrared spectroscopy**

Masahito Mihara, M.D., Ph.D.

Neurorehabilitation Research Institute, Morinomiya Hospital

Recent advance in Brain-Machine interface (BMI) technology, including analysis of brain signal, enable a real-time interaction between patients and environment bypassing their damaged neuromuscular systems. Although most of researches have focused on substituting output function, it has been growing interest in applying this technology for restoring their brain. Several studies have proved that feedback of cortical activities (neurofeedback) enable regulating brain activation voluntarily. According to this notion, we have developed a real-time neurofeedback system mediated by near-infrared spectroscopy (NIRS) as a neurofeedback tool in neurorehabilitation. First, we have evaluated whether real-time cortical oxygenated hemoglobin (OxyHb) feedback signals correlated with reference OxyHb signals analyzed off-line during a motor execution task. Our results showed high correlation between results from two analyses. Second, we investigated whether the self-assessment scores for kinesthetic motor imagery and motor imagery related cortical activation was enhanced by neurofeedback. Our experiment with right handed healthy subjects revealed significant improvement of the imagery scale, and enhanced cortical activations including the contralateral premotor area. These results suggest that the neurofeedback technique may improve the efficacy of mental practice with motor imagery.

(Clin Neurol 2011;51:924-926)

**Key words:** Neurorehabilitation, Motor Imagery, Brain Machine Interface, Near Infrared Spectroscopy, Neurofeedback

---