

経頭蓋磁気刺激における全頭型刺激部位表示システムの開発†

松山香織*, 小田垣雅人**, 菊地豊***

Development of Whole-head Type Visualization System of Stimulating Cortical Area in Transcranial Magnetic Stimulation†

Kaori Matsuyama*, Masato Odagaki** and Yutaka Kikuchi***

Transcranial magnetic stimulation (TMS) is a noninvasive stimulation method for human cortical neuron. It has several clinical uses such as in the assessment of corticospinal excitability and treatment of depression. The operator of a TMS device must allocate the stimulation coil on the target considering its purpose. In this study, we developed the whole-head type visualization system of stimulating cortical area in TMS.

Key words : Transcranial magnetic stimulation, Stimulating area

(**Key words** 経頭蓋磁気刺激, 刺激部位, 刺激コイル)

1 はじめに

経頭蓋磁気刺激 (Transcranial Magnetic Stimulation :TMS) は磁気コイルにパルス電流を流すことにより脳内に渦電流を励起させ、脳神経を非侵襲かつ局所的に刺激する方法であり、現在はいくつ病等の治療や脳機能の評価に用いられている。TMS は使用目的に応じて刺激部位が異なるため、脳表へ刺激部位を提示するシステムが必要である。

現在市販されている TMS 刺激部位提示システムは、後頭部を固定した状態で、頭部に取り付けた 3 次元マーカとコイルマーカの位置から刺激部位をリアルタイムで推定している¹⁾。しかし、このような刺激部位を提示するシステムは脳一次運動野などの前頭部のみに限られている。また、小脳機能評価などの後頭部刺激に関する研究は多くあるが²⁾、いずれにおいても解剖学的に判断しやすい位置を基準にして刺激部位を決定しているため、目的部位を実際に刺激しているか検討できていない。そこで本研究では、全頭型刺激部位提示システムを開発し、システムの妥当性を検証した。

2 システムの概要

2・1 使用言語とページ数および概要

本システムは MRI データおよび 3 次元モーションキャプチャ VICON (VICON460, Vicon Industries, Inc.) の撮影データに含まれる頭部マーカ位置情報をもとに座標系のキャリブレーションを行い、脳表におけるコイル刺激部位提示を行った。3D プリンターを用いて頭部用



図 1 8 の字コイル及びマーカ

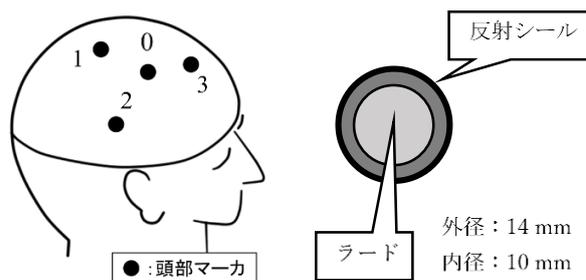


図 2 頭部マーカ

図 3 頭部マーカ構成

マーカと 8 の字コイルに装着するマーカを作成した。図 1 に 8 の字コイル用マーカとマーカ台を示す。マーカ台には反射シールを貼りつけた VICON 用マーカを 4 点取り付け、交点がコイル中心となるように設計した。また図 2 に示すように、キャップを装着した被験者の頭部にマーカを固定した。図 3 に頭部用マーカの構成を示す。頭部マーカには VICON 撮影用の反射シールを貼り、

† 原稿受理 平成 29 年 2 月 24 日 Received February 24, 2016

* システム生体工学科学生 (Student enrolled in the department of Systems Life Engineering)

** システム生体工学科 (Department of Systems Life Engineering)

*** (公財) 脳血管研究所 美原記念病院 (Institute of Blood and Vessels, Mihara Memorial Hospital)

MRI で撮影できるように内部にラードを注入した。マーカ位置は、コイルによる刺激の妨げにならず、かつ MRI 撮影の妨げにならない任意の 4 箇所とした。

2・2 マーカ抽出

MRI 撮影により得られた画像から 4 点の頭部マーカの重心座標を求めた。VICON においては、TMS コイルを刺激部位に当てた 0.1 秒間の平均の頭部およびコイルのマーカ重心座標計 8 点を使用した。

2・3 キャリブレーション

頭部マーカ 4 点の座標をもとに、回転行列を用いて MRI 座標系と VICON 座標系のキャリブレーションを行った。VICON で撮影した頭部マーカ 4 点のうち 1 点を原点とし、残り 3 点の座標が MRI 頭部座標 3 点と誤差が最小になるように 3 角度で回転させた。求められた回転角度を VICON のコイル座標に適用させ、MRI 座標系におけるコイルマーカ座標を導出した。

2・4 脳表刺激部位

キャリブレーションにより求められた MRI 座標系におけるコイルマーカ座標 4 点の交点を、コイル中心座標とした。また中心を通り、コイルマーカ 4 点からなる平面の法線が、コイルに平行な面における最大刺激部位となる。これにより、法線と脳表の交わる座標を脳表における刺激部位として定義した。

3 評価実験

マーカを用いたキャリブレーションによる刺激位置提示の妥当性を検証するため、健常成人 1 名（男性、23 歳）を被験者として評価実験を行った。

被験者はキャップを装着して MRI 撮影を行い、その後キャップを装着したまま TMS 刺激と VICON 撮影を同時に行った。刺激位置は、コイル刺激により右手第一背側骨間筋（FDI）から運動誘発電位を確認できる位置（左一次運動野）および小脳（後頭隆起下 10 mm、右外側 30 mm）とした。また、MRI 計測時に fMRI 計測を同時に行い、被験者の左一次運動野の FDI に該当する部位の同定を行った。fMRI 計測における運動課題は右手のピンチング運動とした。

4 結果および考察

キャリブレーションを行った VICON 頭部マーカ座標と MRI 頭部マーカ座標との距離誤差を表 1 に示す。また、図 2 に実験時の頭部マーカ番号を示す。マーカ 0 はキャリブレーションの基準座標としたため誤差は 0 mm である。残るマーカ 3 点の距離誤差の平均は最大で 2.4 mm となった。このマーカの距離誤差の平均は TMS コイルの空間分解能とされる 5~10 mm³⁾よりも小さいため、キャリブレーションにより提示されるコイルマーカ位置は妥当な位置であると考えられる。図 4 に左一次運動野を刺激し MEP を計測したときの脳表刺激位置を示す。解剖学的に左一次運動野の部分とされる左頭頂部付

表 1 頭部マーカ誤差

マーカ番号	一次運動野 [mm]	小脳 [mm]
1	2.1	5.7
2	1.2	1.1
3	1.7	0.3
1~3 平均	1.7	2.4

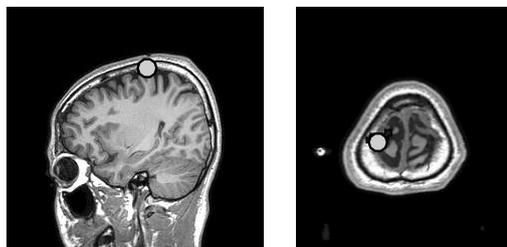


図 4 一次運動野刺激部位（○印）

左図：Sagittal 断面 右図：Axial 断面

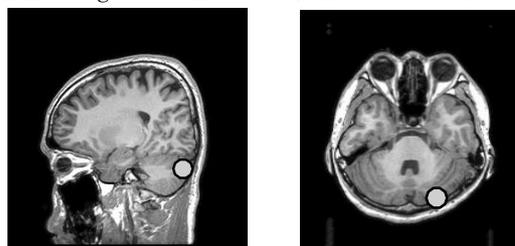


図 5 小脳刺激部位（○印）

左図：Sagittal 断面 右図：Axial 断面

近を刺激できていることがわかる。fMRI の解析により同定した左一次運動野の FDI に該当する活動部位との距離誤差は 6.5 mm であった。図 5 に小脳刺激時の脳表刺激位置を示す。解剖学的に定義されている小脳の位置に刺激できていることが確認できた。

5 まとめ

経頭蓋磁気刺激における全頭型刺激部位提示システムの開発を行い、左一次運動野および小脳における脳表刺激部位を提示した。本システムは脊髄小脳変性症など、解剖学的な位置から刺激位置を決定するのが困難な患者に対して有効な手法になると期待できる。

謝辞

実験に協力していただいた（公財）脳血管研究所 美原記念病院 画像診断科 安居剛先生をはじめとするスタッフの方々に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) J. Ruohonen, J. Karhu: "Navigated transcranial magnetic stimulation," *Neurophysiologie Clinique / Clinical Neurophysiology*, Vol.40, No.1, pp.7-17, 2010.
- 2) 宇川義一: "小脳刺激の基礎と臨床応用," *臨床神経学*, Vol.49, No.10, pp.621-628, 2009.
- 3) 伊津野拓司, 岩波明: "経頭蓋磁気刺激 (TMS) の基礎と臨床," *昭和学会誌*, Vol.73, No.5, pp.411-417, 2013.