

【課題番号：SHP2507】

経頭蓋静磁場刺激が一次運動野下肢領域の興奮性に及ぼす影響

渡邊龍憲¹⁾ *、田中優生¹⁾、高橋碧希¹⁾

1) 青森県立保健大学

Key Words ①経頭蓋静磁場刺激 ②一次運動野 ③運動誘発電位 ④下肢

I. はじめに

経頭蓋静磁場刺激 (transcranial static magnetic stimulation: tSMS) は、小型ネオジム磁石を頭皮上に留置することで、直下の脳皮質興奮性を抑制する非侵襲的脳刺激法 (non-invasive brain stimulation: NIBS) である¹⁾。これまでに、tSMS は磁石直下のみならず、脳全体のネットワークや遠隔皮質領域にも影響を及ぼすことが報告されている²⁾。近年、3つのネオジム磁石を組み合わせたトリプル tSMS が開発され、従来法 (シングル tSMS) より強力な磁場を生成できることが示された (図 1)³⁾。このことから深部脳領域への作用が示唆されるものの、その効果を直接検証した研究は未だ報告されていない。そこで本研究では、大脳縦裂内に位置する一次運動野 (primary motor cortex: M1) 下肢領域に対するトリプル tSMS の有効性を検討した。

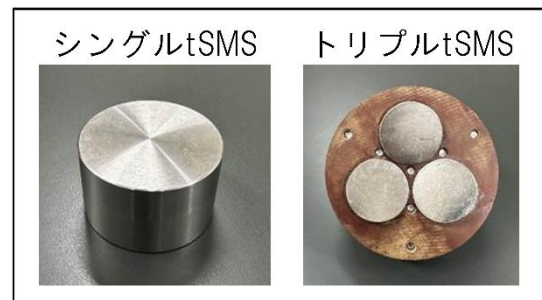


図 1: シングルtSMSとトリプルtSMS

脳卒中患者の M1 下肢領域に対しては、theta-burst stimulation, transcranial direct current stimulation, repetitive transcranial magnetic stimulation などの非侵襲的脳刺激法により脳皮質興奮性が変化することが報告されており、促進・抑制のいずれの場合でも機能回復が得られる可能性が示されている。しかしながら、これらの従来の非侵襲的脳刺激法は、不快感や副作用リスク、高価な装置、専門的技術の必要性が課題とされてきた。一方、tSMS は誘導電流を生じないため安全性が高く、低コストかつ簡便に実施可能である。したがって、M1 下肢領域に対する tSMS の抑制効果が明らかになれば、脳卒中患者の下肢機能回復に向けた重要な基礎知見となり得る。

II. 目的

本研究は、将来的な脳卒中患者への臨床応用を見据え、M1 下肢領域に対する tSMS が脳皮質興奮性に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。

III. 方法

本研究では、小型ネオジム磁石を 1 個使用するシングル tSMS および 3 個のネオジム磁石を並べて組み立てたトリプル tSMS を用いて (図 1) M1 下肢領域に対する効果を検証した。

*連絡先：〒030-8505 青森市浜館間瀬 58-1 E-mail: t_watanabe3@ms.uuhw.ac.jp

1. シングル tSMS

1) 対象

健常成人 26 名 (男性 15 名、女性 11 名、平均年齢 21.6 ± 0.7 歳) が参加した。実験開始前に、研究内容について書面および口頭で十分な説明を行い、全参加者から文書によるインフォームドコンセントを得た。

2) 実験方法

被験者はリクライニングチェアに座位姿勢をとり、右の前脛骨筋および大腿直筋に表面筋電図電極を貼付した。シングル tSMS の実施前、実施直後、および実施 10 分後に、経頭蓋磁気刺激 (transcranial magnetic stimulation: TMS) を用いて各筋から運動誘発電位 (motor evoked potential: MEP) を記録した。TMS は、ダブルコーンコイルを用いて M1 下肢領域に実施した。刺激部位は、右大腿直筋において最も大きな MEP が誘発される部位 (ホットスポット) とした。

tSMS には、直径 50mm、厚さ 30mm、表面磁束密度 5,340G、吸着力 88kgf の円柱型ネオジム磁石 1 個 (ネオマグ株式会社、東京) を使用した。疑似刺激には、ネオジム磁石と同質量・同形状の非磁性ステンレス製シリンダを用いた (ネオマグ株式会社、東京)。

2. トリプル tSMS

1) 対象

健常成人 24 名 (男性 16 名、女性 8 名、平均年齢 21.5 ± 0.72 歳) が参加した。実験開始前に、研究内容について書面および口頭で十分な説明を行い、全参加者から文書によるインフォームドコンセントを得た。

2) 実験方法

シングル tSMS と同様の手順で実施した。トリプル tSMS には、直径 50mm、幅 30mm、表面磁束密度 5,340G、吸着力 88kgf の円柱型ネオジム磁石を 3 個並べて組み立てた装置を使用した。また、疑似刺激には、トリプル tSMS と同質量、同形状の非磁性ステンレス製シリンダを 3 個並べた装置を用いた。

IV. 結果

1. シングル tSMS

シングル tSMS による MEP の有意な変化は、いずれの筋においても認められなかった。

2. トリプル tSMS

前脛骨筋では、tSMS 実施前と比較して実施直後に MEP 振幅が有意に減弱したが、実施 10 分後には実施前レベルに回復した。一方、大腿直筋では、tSMS 実施直後と比較して実施 10 分後に MEP 振幅の有意な増強が認められた。

V. 考察

本研究では、tSMS が M1 下肢領域の皮質興奮性に及ぼす影響を検討するため、刺激前、刺激直後、および刺激 10 分後に前脛骨筋および大腿直筋から MEP を記録した。その結果、トリプル

tSMSにより前脛骨筋のMEPは刺激直後に減弱し、大腿直筋のMEPは刺激直後と比較して刺激10分後に増強した。一方、シングルtSMSでは有意な変化は認められなかった。

シングルtSMSで効果が認められなかった要因として、形成される静磁場の強度および到達深度が不十分であった可能性が考えられる。M1下肢領域は脳縦裂内の深部に位置し、頭皮からの距離が長い。先行研究では、シングルtSMSは磁石表面から2-3cm、トリプルtSMSは4-5cmまで生体に影響を及ぼす強度の静磁場を形成するとされており³⁾、シングルtSMSではM1下肢領域(頭皮から3-4cm)に十分な影響を与えられなかった可能性が示唆される。

トリプルtSMSにおいて前脛骨筋のMEP減弱が認められたが、その大きさは上肢を対象とした先行研究と比較すると小さかった。その要因として、静磁場の到達深度に加え、下肢運動野に特有の可塑性および恒常性制御の違いが関与している可能性が考えられる。下肢運動は姿勢保持や歩行などの安定性が強く要求されるため、上肢運動と比較して皮質興奮性の変化に対する恒常性機構が強く働くとされている。その結果、tSMSによる抑制性刺激が加えられても、皮質興奮性の低下が過度にならないよう補償的に制御され、運動誘発電位振幅の減弱が相対的に小さく観察された可能性がある。

一方、大腿直筋において刺激後にMEP増強が認められた要因として、恒常性に基づく脳の可塑性や刺激強度依存的な効果の反転が考えられる。抑制的刺激に対して皮質興奮性を回復・促進させる恒常性機構が働いた可能性や、刺激強度が高い場合に興奮性が逆に増強する現象が他の非侵襲的脳刺激法でも報告されており、tSMSにおいても同様の機序が関与している可能性がある。ただし、その詳細なメカニズムについては今後の検討が必要である。

VI. 文献

1. Oliviero A, Mordillo-Mateos L, Arias P, Panyavin I, Foffani G, Aguilar J (2011) Transcranial static magnetic field stimulation of the human motor cortex. *J Physiol* 589:4949-4958.
2. Shibata S, Watanabe T, Yukawa Y, Minakuchi M, Shimomura R, Ichimura S, Kirimoto H, Mima T (2021) Effects of transcranial static magnetic stimulation over the primary motor cortex on local and network spontaneous electroencephalogram oscillations. *Scientific reports* 11:8261.
3. Shibata S, Watanabe T, Matsumoto T, Yunoki K, Horinouchi T, Kirimoto H, Zhang J, Wang H, et al. (2022) Triple tSMS system ("SHIN jiba") for non-invasive deep brain stimulation: a validation study in healthy subjects. *Journal of neuroengineering and rehabilitation* 19:129.

VII. 発表

- ・第29回日本基礎理学療法学会学術大会
- ・日本物理療法合同学術大会