

氏 名 ・ (本籍)	奥寺 良弥 (青森県)
専攻分野の名称	博士 (医学)
学 位 記 番 号	医博甲第 878 号
学位授与の日付	平成 27 年 3 月 22 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
研 究 科 ・ 専 攻	医学系研究科医学専攻
学 位 論 文 題 名	The impact of high-frequency magnetic stimulation of peripheral nerves : muscle hardness, venous blood flow, and motor function of upper extremity in healthy subjects (末梢神経に対する高頻度磁気刺激法の効果：健常人における筋硬度，静脈血 流量，手指巧緻運動機能への影響)
論 文 審 査 委 員	(主査) 教授 河谷 正仁 (副査) 教授 西川 俊昭 教授 橋本 学

## 学位論文内容要旨

### 論文題目

The impact of high-frequency magnetic stimulation of peripheral nerves  
: muscle hardness, venous blood flow, and motor function of upper extremity  
in healthy subjects

末梢神経に対する高頻度磁気刺激法の効果：

健常人における筋硬度，静脈血流量，手指巧緻運動機能への影響

申請者氏名　奥寺良弥

### 研　究　目　的

磁気刺激法は刺激コイルに電流を流すことでコイル平面と垂直方向に磁場が生じ，その磁場によって渦電流が生じて神経を刺激する方法である．電気刺激と異なり非接触性，低侵襲，深部まで刺激可能という利点があり，近年，経頭蓋的磁気刺激法による麻痺肢運動機能の改善に関しての報告が散見される．一方でヒト末梢神経に対する高頻度磁気刺激法の運動機能への効果を検討した報告は我々の渉猟し得た限りない．本研究の目的は，末梢神経高頻度磁気刺激法の運動器への影響を検討することである．

### 研　究　方　法

対象

対象は健常成人 25 名（男性 16 名，女性 9 名，平均年齢 28.8 歳）とした．

高頻度磁気刺激装置を用いて，非利き手側橈骨神経を連続刺激した．刺激条件は，頻度 20Hz，強度 1.2 rMT とし，合計 55 秒間 600 発連続刺激した．刺激の確認は刺激側総指伸筋から MEP を検出し行った．

手順は，刺激前測定，磁気刺激施行，刺激直後測定，刺激 15 分後測定の順で行った．

測定は全て非利き手側で行い，評価項目は次の事項とした．機械式筋硬度計による筋硬度計測：検者が被検者の被測定部位に垂直に押し込み，外套と内套の圧差によって組織の硬さを測定するものである．超音波シアウェーブイメージングによる筋硬度計測：プローブから組織内部に横波の弾性波（シアウェーブ）を送り伝搬速度を測定し，組織の硬さを数値化する手法である．超音波による刺激側橈側皮静脈血流量測定：対象となる血管を最大径で描出し波形を解析することによって血流量を測定するものである．Box and Block test（以下 BBT）：60 秒間の最大努力において仕切り板を越えて運んだブロックの数を測定する．主に手指の粗大な巧緻運動の評価に用いられている．

各項目について刺激前，刺激直後，刺激 15 分後の 3 群間において比較した．検定は，

Bonferroni 法を用いて検討し，有意水準 0.1%未満で有意差ありとした．

### 研　究　成　績

機械式組織硬度計による筋硬度は，刺激前平均  $54 \pm 4.8$  (mean  $\pm$  SD)，刺激直後  $54 \pm 4.6$ ，刺激 15 分後  $55 \pm 4.9$  であり，各群間で統計学的な有意差は認めなかった．シアウェーブイメージングによる筋硬度計測結果は，刺激前  $2.5 \pm 0.36$  m/sec (mean  $\pm$  SD)，刺激直後  $2.0 \pm 0.29$ ，刺激 15 分後  $2.0 \pm 0.31$  であり，刺激前と比較して刺激直後と刺激後 15 分で筋硬度は有意に低下していた[刺激前 vs 刺激直後：95%信頼区間  $0.115 - 0.478$  ( $p < 0.001$ )，刺激前 vs 刺激 15 分後：95%信頼区間  $0.153 - 0.557$  ( $p < 0.001$ )]．刺激 15 分後でも筋硬度の低下は継続していたが，刺激直後と刺激 15 分後では統計学的有意差を認めなかった[95%信頼区間  $-0.069 - 0.186$ ]．末梢静脈血流量は刺激前平均  $4.5 \pm 0.74$  mL/min (mean  $\pm$  SD)，刺激直後  $7.0 \pm 1.0$ ，刺激 15 分後  $8.6 \pm 1.3$  であり刺激前と比べ，刺激直後と刺激 15 分後で有意に増加していた[刺激前 vs 刺激直後：95%信頼区間  $-0.004 - -0.001$  ( $p < 0.001$ )，刺激前 vs 刺激 15 分後：95%信頼区間  $-0.006 - -0.002$  ( $p < 0.001$ )]．刺激 15 分後でも血流量の増加は継続していたが，刺激直後と刺激 15 分後では統計学的有意差を認めなかった[95%信頼区間  $-0.003 - 0.000$ ]．BBT は刺激前平均  $67 \pm 1.4$  (mean  $\pm$  SD)，刺激直後  $74 \pm 1.4$ ，刺激 15 分後  $76 \pm 1.4$  であり刺激前と比べ，刺激直後と刺激 15 分後で有意に増加していた．[刺激前 vs 刺激直後：95%信頼区間  $-9.034 - -6.566$  ( $p < 0.001$ )，刺激前 vs 刺激 15 分後：95%信頼区間  $-11.273 - -7.207$  ( $p < 0.001$ )]刺激 15 分後でも BBT の増加は継続していたが，刺激直後と刺激 15 分後では統計学的有意差を認めなかった[95%信頼区間  $-3.115 - 0.235$ ]．

シアウェーブイメージングにおいて磁気刺激後の筋硬度低下を認めた．末梢神経電気刺激では，被刺激筋からの I a 群求心性神経線維やゴルジ器からの Ib 群求心性神経線維，皮膚からの II 群求心性神経線維を活性化させ筋硬度が低下することが報告されている．末梢神経高頻度磁気刺激が，同様の機序で筋硬度を低下させた可能性がある．

磁気刺激後に被刺激側における末梢静脈血流が有意に増加した．その理由として，電気刺激において，刺激時の筋収縮による筋ポンプ作用で静脈還流が増加するという報告がある．磁気刺激においても筋収縮時の筋ポンプ作用で同様の効果が生じたものと考えられる．

BBT は刺激後有意に増加しており運動機能が向上した．電気刺激において，末梢神経電気刺激後に脳脊髄興奮性が増加することで上肢協調運動性改善を認めた，とする報告がある．本研究のような連続磁気刺激でも同様の効果があったため運動機能の向上が認められたと考えられる．

### 結　　　　論

健常成人に対する末梢神経高頻度磁気刺激法の運動器への効果を検討した．刺激後の末梢循環血流量の増加，運動機能改善を認め，筋硬度低下をシアウェーブ・イメージングにて確認した．高頻度末梢神経磁気刺激は電気刺激と同様の効果をより低侵襲で行える可能性があり，新しいリハビリテーションの手法となる可能性がある．

## 学位（博士一甲）論文審査結果の要旨

主 査： 河谷 正仁

申請者： 奥寺 良弥

論文題名： The impact of high-frequency magnetic stimulation of peripheral nerves :  
muscle hardness, venous blood flow, and motor function of upper extremity  
in healthy subjects

(末梢神経に対する高頻度磁気刺激法の効果:健常人における筋硬度,  
静脈血流量, 手指巧緻運動機能への影響)

### 要旨

著者の研究は論文内容要旨に示すように、健常成人に対する末梢神経高頻度磁気刺激法の上肢運動器への効果を、刺激前後で比較検討したものである。末梢神経高頻度磁気刺激法が人体に及ぼす生理的变化や運動機能変化の評価は殆どなされていない。筆者らは初めて磁気刺激前後における、筋硬度変化、静脈血流量変化、手指巧緻運動性の変化を比較検討した。

本研究の斬新さ、重要性、実験方法の正確性、表現の明瞭さは以下のとおりである。

#### 1) 斬新さ

磁気刺激法は非接触性に神経を刺激可能な新しい方法である。末梢神経電気刺激の人体への有用性は多数の報告があるが、末梢神経高頻度磁気刺激法が人体に及ぼす影響は今まで検討されたことが無い。著者らは磁気刺激前後の生理学的変化を筋硬度、静脈血流量で評価し、運動機能変化を **Box and Block test** で評価した。

本研究は、健常成人に対する末梢神経高頻度磁気刺激法の上肢運動器への効果を検討した初の報告である。

#### 2) 重要性

本研究では末梢神経高頻度磁気刺激法によって、筋硬度低下、静脈血流量増加、上肢運動機能が改善することを実証した。従来の電気刺激法と異なり、非接触性、低侵襲で神経刺激が可能であり、今まで電気刺激が出来なかった症例に適応が拡がることが考えられる。

健康成人における末梢神経高頻度磁気刺激法が上肢運動器に及ぼす影響を検討した本研究は、臨床上非常に重要である。

### 3) 実験方法の正確性

本研究では、計測に非利き手側を用い、学習効果のバイアスを取り除いている。また、筋硬度計測に用いたシアウェーブイメージングはプローブから発射される剪断弾性波が伝わる速度で組織硬度を算出するため、検者による影響が少ない。運動機能評価の **Box and Block test** はマニュアルに従い 15 秒の練習後に施行されているため、学習効果の影響は無いと考えられる。刺激方法、測定手順は一定であり厳密に行っている。

さらに、全ての結果は統計学的検討が加えられており、実験方法は客観的で正確性がある。

### 4) 表現の明瞭さ

本研究の持つ意味、末梢神経高頻度磁気刺激前後における計測方法、測定肢位、評価パラメータ、得られた結果、考察は簡潔、明瞭に記載されている。

以上述べたように、本論文は学位を授与するに十分値する研究と判定する。