

反復末梢磁気刺激の手部に対する刺激方法の検討
(23-11)

主任研究者 小田 早耶香 国立長寿医療研究センター 作業療法士

研究要旨

中枢神経疾患を持つ患者では、手指の動作が困難となることがあり、様々な生活動作が障害される。上肢機能治療として、反復末梢磁気刺激（**repetitive Peripheral Magnetic Stimulation**:以下 **rPMS**）を用いた治療が注目されている。**rPMS** は表面電極を用いた電気刺激より深層の筋まで収縮させることができ、また、痛みや不快感が少ない特徴がある。**rPMS** は手内筋を刺激できる可能性があるが、**rPMS** を手背に実施して手掌側にある虫様筋を収縮させるか、また、目的の虫様筋を刺激するための最適な刺激部位は報告されていない。本研究は分担研究 1 と分担研究 2 に分けられる。分担研究 1 の目的は、健常者の手部の 4 箇所（第 1、2、3、4 指）に **rPMS** を実施し、それぞれの位置で生じる虫様筋の筋収縮についてエコーを用いて検討することである。分担研究 2 の目的は、健常者の手部の 4 箇所（第 1、2、3、4 指）に **rPMS** を実施し、それぞれの位置で生じる中手指節関節（**Metacarpo Phalangeal 関節**：以下、**MP 関節**）の関節運動について動作解析を用いて検討することである。

研究デザインは介入研究で、健常成人 30 名を対象に計測を実施した。対象者の手部の 4 箇所に、刺激強度レベル 85～100、周波数 30Hz、刺激時間 2,000ms で磁気刺激を実施した。分担研究 1 では磁気刺激実施中の手部にエコーを当て安静時と刺激時の虫様筋の筋厚を計測した。また、分担研究 2 では磁気刺激実施中の示指・中指・環指・小指の **MP 関節** の関節運動を動作解析で計測した。

分担研究 1 で行ったエコー撮影の結果、すべての虫様筋で、安静時より刺激時で筋厚の増大が認められた。分担研究 2 で行った動作解析の結果、すべての **MP 関節** は屈曲方向に変化した。さらに、**rPMS** は手背の中心に近い部位で行うことで、**MP 関節** の屈曲角度は大きくなる傾向にあった。**rPMS** を手背から行うことで、虫様筋を刺激できることが確認でき、特に手背の中央にあたる部位から刺激することで、どの手指の **MP 関節** も効率よい運動を引き起こすことができたと考えられる。

今回の研究は健常者を対象としているが、手指の巧緻性が低下した患者に対しても **rPMS** を虫様筋にも実施できる可能性がある。上肢麻痺に対するリハビリテーションの選択肢の拡大につながる可能性があると考えられる。

主任研究者

河村 紗世 国立長寿医療研究センター 作業療法士 (2023年4月1日～2023年9月20日)
小田 早耶香 国立長寿医療研究センター 作業療法士 (2023年9月21日～2025年3月31日)

分担研究者

小田 早耶香 国立長寿医療研究センター 作業療法士 (2023年4月1日～2023年9月20日)
河村 紗世 国立長寿医療研究センター 作業療法士 (2023年9月21日～2025年3月31日)
高綱 亜由美 国立長寿医療研究センター 作業療法士 (2023年4月1日～2025年2月28日)
松井 孝之 国立長寿医療研究センター 理学療法主任
松村 純 国立長寿医療研究センター 理学療法主任
相本 啓太 国立長寿医療研究センター 理学療法主任
霜鳥 大希 国立長寿医療研究センター 研究員 (2024年4月1日～2025年3月31日)
戸田 彩乃 国立長寿医療研究センター 先進医療開発推進センター 臨床研究支援部 (2023年4月1日～2023年8月13日)
木ノ下 智康 国立長寿医療研究センター 臨床研究教育研修室長 (2023年9月21日～2025年3月31日)
加賀谷 斉 国立長寿医療研究センター リハビリテーション科部長

研究期間 2023年4月1日～2025年3月31日

A. 研究目的

脳卒中や脊髄損傷などの中枢神経疾患をもつ患者では、麻痺により手指の巧緻動作が困難となることがあり、様々な生活動作が障害される。中枢神経疾患は、年齢とともに発症率は高くなる疾患である。高齢者リハビリテーションにおいても、手指の動作障害により箸を利用できなくなったり、手すりを適切に把持できずに介護負担が増加したりすることがあり、手指動作の改善を目的としたリハビリテーションは高齢者医療においても必要である。脳卒中治療ガイドライン 2021 では神経筋電気刺激について、中等度

から重度の麻痺、亜脱臼に対して神経筋電気刺激を与えることは妥当である（推奨度：B エビデンスレベル：中）としている。近年は磁気を用いる反復末梢磁気刺激

（repetitive Peripheral Magnetic Stimulation:以下 rPMS）が注目されている。rPMSでは体内で渦電流となり電気刺激と同様の機序で神経や筋を刺激する。表面電極を用いる電気刺激より深層の筋まで収縮させることができ、痛みや不快感が少ないという特徴をもつ。rPMSによって手内筋が刺激できればより巧緻動作の向上につながる事が期待される。手掌は感覚が鋭敏なため手部に実施する場合は手背から刺激することで対象者に不快感を与えずに刺激できる可能性がある。rPMSでは α 線維とIa線維を刺激することが可能であり、虫様筋には手指の微細な動きに必要な感覚情報を提供する筋紡錘が豊富にある。そのため、rPMSにより虫様筋を刺激することができれば固有感覚神経を賦活することで巧緻動作を改善できる可能性がある。rPMSが最も手掌側にある虫様筋まで収縮させるか、また、目的の虫様筋を刺激するための最適な刺激部位は報告されていない。また、患者が目標とする作業に必要な関節運動を生じさせるための最適な刺激部位も報告されていない。

本研究は分担研究1と分担研究2に分けられる。分担研究1の目的は、健常者の手部の4箇所にてrPMSを実施し、それぞれの位置で生じる虫様筋の筋収縮についてエコーを用いて検討することである。分担研究2の目的は、健常者の手部の4箇所にてrPMSを実施し、それぞれの位置で生じる中手指節関節（Metacarpo Phalangeal 関節：以下、MP関節）の関節運動について動作解析を用いて検討することである。本研究の最終的な研究目的は、上肢に運動麻痺のある中枢神経疾患患者の手指の巧緻性改善につなげる。

B. 研究方法

分担研究1、2ともに研究対象者は30名とした。研究対象者は安楽な椅子座位をとり、右前腕を回内位で台または机に置き、MP関節より先は台または机の外で安楽な下垂位をとることを指示した。分担研究1の際は台を、分担研究2の際は机を使用した。本研究では磁気刺激装置 Pathleader™（株式会社 IFG）を使用した（図1）。Pathleader™のコイルは、パルス電流により磁場を作り出し、筋内で渦電流を発生させる仕組みである。渦電流はコイルの中心では弱く、中心から半径25~30mm程度の位置で最も強くなる性質を持つ。

刺激強度レベル85~100（運動閾値以上）、周波数30Hz、刺激時間2,000msで実施した。刺激部位は手背の4箇所、第1中手骨と第2中手骨の中央（以下、A）、第2中手骨と第3中手骨の中央（以下、B）、第3中手骨と第4中手骨の中央（以下、C）、第4中手骨と第5中手骨の中央（以下、D）とし、コイルの中央が当たるように実施（図2）した。分担研究1では安静時とrPMSでの刺激時にエコーを用いて虫様筋の動画撮影を行い、安静時と刺激時の筋厚を計測した。分担研究2ではrPMS実施時のMP関節の関節運動を三次元動作解析にて計測した。それぞれの詳細は分担研究報告に記載した。

图 1. 磁气刺激装置 Pathleader™

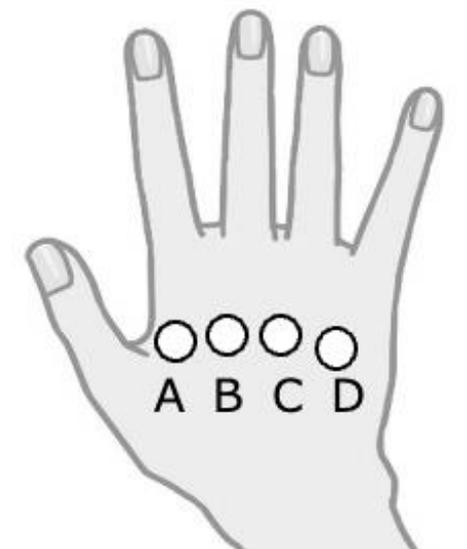


图 2. 刺激部位

(倫理面への配慮)

I. 研究等の対象とする個人の人権擁護

- 1) 書面によるインフォームド・コンセントに基づき、対象者の同意が得られた場合にのみ研究を行う。
- 2) 個人情報、個人データの管理には細心の注意を払い、紛失や漏洩することのないよう安全管理に努める。
- 3) 可能な限り早い時期に匿名化し、対応表はデータとは別にし、第1診療棟リハビリテーション室で保管する。
- 4) プライバシーを尊重するため、個別の研究結果については秘密を厳守し、研究結果から得られるいかなる情報も研究の目的以外に使用しない。集計された匿名ファイルへのアクセスは、主任研究者および分担研究者とする。ファイルにパスワードを設定し、閲覧制限を設ける。
- 5) 研究結果の公表に際しては個人が特定できないよう配慮する。

II. 研究等の対象となる者の理解と同意

対象者に文書と口頭で説明を行い、研究の目的や内容を理解した上で同意が得られた場合にのみ、本人の了解を著した同意書に署名を依頼する。また対象者が何らかの理由により研究の拒否、中断を申し出た場合はすぐに中断する。

III. 研究等によって生ずる個人への不利益並びに危険性

本研究は Pathleader™ を用いた rPMS を伴う。Pathleader™ は検査用機器であり、痛みや不快感が少なく、侵襲性が低いことが特徴であるが、対象者によっては痛みや不快感がある可能性がある。

IV. 利益相反について

本研究は長寿医療研究開発費にて行うため、利益相反はない。

V. 倫理審査について

国立長寿医療研究センター倫理・利益相反委員会へ申請し、承認を受けた（受付番号 No.1723）。

C. 研究結果

研究対象者 30 名のデータ収集を分担研究 1 と分担研究 2 において実施した。

分担研究 1 で各虫様筋の安静時と刺激時の筋厚を比較した結果、すべての虫様筋で安静時より刺激時で筋厚の増大が認められた。第一虫様筋では、B、C を刺激した時に統計学

的有意差を認めた (A : $p=0.070$ 、B : $p=0.005$ 、C : $p=0.007$ 、D : $p=0.118$)。第二虫様筋 (A : $p=0.007$ 、B : $p<0.001$ 、C : $p=0.001$ 、D : $p=0.021$)、第三虫様筋 (A : $p<0.001$ 、B : $p=0.001$ 、C : $p<0.001$ 、D : $p<0.001$)、第四虫様筋 (A : $p=0.049$ 、B : $p=0.004$ 、C : $p<0.001$ 、D : $p=0.001$) ではすべての刺激部位で統計学的有意差を認めた。

分担研究 2 で rPMS 実施時の MP 関節最大屈曲角度を算出した。各 MP 関節の最大屈曲角度について刺激部位別に群間差を調べたところ、測定した全ての手指の MP 関節において統計学的に有意な差を認めた (示指 : $p<0.001$ 、中指 : $p=0.021$ 、環指 : $p<0.001$ 、小指 : $p<0.001$)。多重比較の結果、示指では A より B を刺激したとき ($p=0.008$)、D より他部位を刺激したとき (A ($p=0.003$)、B ($p<0.001$)、C ($p<0.001$)) に最大屈曲角度が統計学的に有意に大きくなった。中指は D より C を刺激したとき ($p=0.012$) に最大屈曲角度が統計学的に有意に大きくなった。環指は A より B ($p<0.001$) や C を刺激したとき ($p<0.001$) に最大屈曲角度が統計学的に有意に大きくなった。また、D よりも、B ($p<0.001$) や C を刺激したとき ($p<0.001$) に最大屈曲角度が統計学的に有意に大きくなった。小指は A より他部位を刺激したとき (A ($p<0.001$)、B ($p<0.001$)、C ($p<0.001$)) に最大屈曲角度が統計学的に有意に大きくなった。

データは各分担研究報告に記載した。

D. 考察と結論

rPMS により、すべての MP 関節は屈曲方向に変化し、虫様筋は収縮した。また、分担研究 2 より、手背の中心に近い部位で MP 関節の屈曲角度は大きくなる傾向にあった。

先行研究において、Fujimura らは rPMS を第 2 中手骨と第 3 中手骨の間に当てることで、MP 関節は平均 82 ± 10 度程度屈曲し、示指に作用する虫様筋や背側・掌側骨間筋を刺激できたと報告している。分担研究 2 でも先行研究に近い平均 72 ± 10 度の屈曲角度を得ることができ、本研究の方法でも虫様筋や背側・掌側骨間筋を刺激できたと考えられる。また、全ての刺激部位において、どの MP 関節も屈曲しており、さらに分担研究 1 では、4 つすべての虫様筋において収縮が確認できた。

分担研究 2 で動作解析を行った結果、示指、環指においては A や D より、B や C への rPMS で MP 関節屈曲角度が有意に大きくなった。中指においては D より C、小指においては A より他部位で有意に大きくなった。したがって、他の部位を刺激した時よりも、手背の中央にあたる B、C を刺激した時に、どの手指の MP 関節も効率よい運動を引き起こすことができたと考えられる。

Pathleader™ で生じる渦電流は、中心から半径 25~30mm 程度の位置で最も強くなる性質を持つ。日本人成人の手幅は平均 80mm とされており、B や C を刺激することでそれぞれの MP 関節を屈曲させる虫様筋や背側・掌側骨間筋を同時に刺激できたと考えられる。したがって、手背の中央から rPMS を実施することで MP 関節屈曲に作用する筋をより刺

激できる可能性があることが示唆された。Struppler らは、上腕に rPMS を実施した際、運動機能の改善に寄与することを報告しており、今回の研究のように手部への rPMS を実施することで、手指の運動機能の改善に寄与する可能性が考えられた。

本研究の限界として、動作解析を実施する際に、刺激中は一部のマーカを取り除いて MP 関節最大屈曲角度を計測しているため、ずれが生じた可能性を否定できない。また、エコー撮影による筋厚計測については信頼性を確かめているが、複数の検者で行っているため、誤差が生じた可能性がある。

今後は実際の患者においても同様の結果が出ることを確認し、実際に rPMS を手部に実施することで、より効果的な手指巧緻動作の改善が得られるのかを検討していく。

中枢神経疾患は、年齢とともに発症率は高くなる疾患である。高齢者リハビリテーションにおいても、手指の動作障害により箸を利用できなくなったり、手すりを適切に把持できずに介護負担が増加したりする経験をする。そのような患者に対し、手指の巧緻性を改善することで、生活動作の改善に寄与できる可能性があると考えられる。

E. 健康危険情報

なし

F. 研究発表

1. 論文発表

なし

2. 学会発表

2024 年度

- 1) 小田早耶香. 手部への反復末梢磁気刺激の刺激方法に関する動作解析を用いた検討. 第 16 回日本ニューロリハビリテーション学会学術集会. 2025. 2. 15. 東京

G. 知的財産権の出願・登録状況

1. 特許取得

なし

2. 実用新案登録

なし

3. その他

なし