

Original Article

舌骨挙上障害を持つ摂食嚥下障害に対する反復末梢磁気刺激の実現可能性：2例報告

森 志乃,¹ 加賀谷 齊,¹ 長島 有毅,¹ 戸田 芙美,¹ 桑原 亜矢子,² 増田 容子,²
佐藤 百合子,² 小川 真央,¹ 角田 哲也,¹ 赤堀 遼子,¹ 柴田 斉子,¹ 才藤 栄一¹

¹藤田医科大学医学部リハビリテーション医学I講座

²藤田医科大学病院リハビリテーション部

要旨

Mori S, Kagaya H, Nagashima Y, Toda F, Kuwabara A, Masuda Y, Sato Y, Ogawa M, Tsunoda T, Akahori R, Shibata S, Saitoh E. Feasibility of repetitive peripheral magnetic stimulation for dysphagia with reduced hyoid elevation: a report of two cases. *Jpn J Compr Rehabil Sci* 2019; 10: 42–46.

【目的】舌骨挙上障害を持つ摂食嚥下障害に対する末梢磁気刺激治療の実現可能性を検討した。

【方法】2秒間の磁気刺激を30回で1セットとして1日に2～3セット、1週間に5日以上反復末梢磁気刺激治療 (repetitive peripheral magnetic stimulation: rPMS) を6週間、舌骨挙上障害を持つ摂食嚥下障害患者2例に対して施行した。

【結果】2例ともに、6週間のrPMSを問題なく施行可能であった。82歳の誤嚥性肺炎後の廃用症候群患者ではrPMS後に筋力および舌骨挙上距離の改善を認めた。47歳の皮膚筋炎患者ではrPMS介入後に筋力および筋疲労の改善を認めた。磁気刺激後には頸部のこわばりが軽減し、食事時の疲労感が軽減した。

【結論】舌骨挙上障害に対するrPMSは新しい治療法となりうる可能性がある。

キーワード：摂食嚥下障害、舌骨挙上障害、舌骨上筋、反復末梢磁気刺激

はじめに

摂食嚥下障害患者に対する電気刺激療法はメタ解析

著者連絡先：森 志乃

藤田医科大学医学部リハビリテーション医学I講座

〒470-1192 愛知県豊明市杣掛町田楽ヶ窪1-98

E-mail: shino@fujita-hu.ac.jp

2019年4月24日受理

利益相反：本研究で使用した舌骨上筋刺激専用コイルは特許申請中であり、加賀谷 齊が発明者の1人である。他の著者は本研究において一切の利益相反はありません。

でその有効性が証明されている [1, 2]。舌骨挙上障害がある場合には電気刺激は舌骨を挙上させる作用を持つ舌骨上筋群に対して行われることが多いが、表面電極を用いた電気刺激では下歯槽神経なども同時に刺激されるため疼痛を伴うことも多い [3]。また、皮膚に電極を密着させるために男性では毎日の髭剃りを要するなど多くの手間を要する。これに対し、磁気刺激は電磁誘導により生体内に渦電流を誘導し皮膚に存在する侵害受容器を刺激しないため、電気刺激よりも疼痛が少ないという大きなメリットを持つ [4, 5]。さらに、刺激コイルは皮膚に必ずしも接触させる必要がないため、衣服の上からでも刺激が可能である。ただし、刺激コイルが大きいために小さな部位の刺激はこれまで困難であった。われわれはより小さな舌骨上筋刺激専用コイルを開発し、舌骨よりも前方に存在する舌骨上筋をターゲットに末梢磁気刺激を行うことで表面電極を用いた電気刺激より有意に大きな舌骨挙上を得ることに成功した [3]。したがって、摂食嚥下障害患者に対する末梢磁気刺激は電気刺激療法に置き換わる治療法になりうると思われる。本研究の目的は、舌骨挙上障害を持つ摂食嚥下障害2例に対し反復末梢磁気刺激治療 (repetitive peripheral magnetic stimulation: rPMS) を行い、その実現可能性を検討することである。

方法

本研究は藤田医科大学倫理審査委員会の承認を受けて行った。舌骨上筋群に対するrPMSの適応は舌骨挙上障害を持つ摂食嚥下障害患者であり、てんかんの既往がある患者、ペースメーカーを有する患者、人工内耳などの刺激部位に近接する部位に取り外しのできない磁性体がある患者、妊娠している患者は適応外とした。適応がある2例に対し通常の摂食嚥下リハビリテーションに加えて末梢神経磁気刺激装置 Pathleader™ (株式会社 IFG, 仙台市) と舌骨上筋刺激専用コイルを用いて舌骨上筋のrPMSを施行した。舌骨上筋の中で顎二腹筋前腹、顎舌骨筋、オトガイ舌骨筋は舌骨と下顎先端の間の正中線の両側に位置しているため、これらの筋を刺激するためにコイルをオトガイ下の舌骨上筋直上に当てて2秒間の刺激を30回で1セットとして1日に2～3セット、1週間に5日以上、6週間実



図 1. 舌骨上筋刺激専用コイル
専用コイルをオトガイと舌骨の間の部分に当てて舌骨上筋群を刺激した。

施した (図 1)。rPMS に要する時間は機器の準備に約 3 分、磁気刺激は 1 セット約 2 分と短い。刺激は X 線透視で舌骨挙上運動が疼痛なく十分に得られる強度とした。

症例 1

82 歳男性で誤嚥性肺炎後の廃用症候群であった。2 年前に右内包後脚脳梗塞、さらに前立腺癌の既往があり、併存症として睡眠時無呼吸症候群がみられた。脳梗塞後遺症として左片麻痺、摂食嚥下障害があり、杖と装具を利用して見守りで移動し、食事は全粥咀嚼嚥下食、水分 1% nectar-thick を座位姿勢で自己摂取しており、臨床的重症度分類 (Dysphagia severity scale: DSS) [6] は 3 (水分誤嚥) であった。

誤嚥性肺炎の診断で入院し、全身状態安定後の第 11 病日に実施した嚥下造影検査 (videofluoroscopic examination of swallowing: VF) にて、舌骨挙上障害および上部食道括約筋 (upper esophageal sphincter: UES) 開大不全、多量の咽頭残留を認めた。また、舌運動不良、食塊形成不良、喉頭閉鎖不良、咽頭収縮不良、咳嗽力低下もみられた。DSS は 3 であり食事はリクライニング 60° の姿勢で、全粥粒あり食、水分 2% honey-thick とした。摂食嚥下障害に対しては、口唇・舌・頬・頸部の可動域訓練、舌抵抗訓練、前舌保持訓練、supraglottic swallow, Shaker exercise [7]、呼吸筋トレーニングを実施した。ただし、Shaker exercise は易疲労性にて原法どおり行えないため頭部反復挙上訓練のみ 5 回を 1 セットとして 1 日 5 セット実施した。書面で本人から同意が得られたので第 23 病日より rPMS を開始した。介入開始時、意識清明で認知機能は良好、廃用性筋力低下および耐久性の低下あり移動は車椅子で最大介助レベルであった。

透視下で舌骨運動を計測した。第 3 頸椎前縁上端と第 5 頸椎前縁下端を結んだ線を Y 軸、Y 軸に垂直に交わる線を X 軸とし、磁気刺激による舌骨の前方移動距離、上方移動距離を画像解析ソフト ImageJ (NIH 米国国立衛生研究所) を用いて評価した。介入前後では 1% nectar-thick 4 mL 嚥下時の舌骨の最大前方移動距離、上方移動距離を計測した。また、座位で

の頭頸部屈曲筋力および臥位での頸部屈曲筋力を、ミュータス F-1™ (アニマ株式会社、東京都) を用いて計測した。さらに、椅子座位姿勢での開口最大努力時の開口筋力を、開口カトレーナー KT2014™ (リプト株式会社、東京都) を用いて評価した [8]。なお、各筋力は 3 回計測した値の最大値を評価した。

症例 2

47 歳男性で皮膚筋炎であった。既往歴、併存症には特記すべきことはみられず、日常生活活動は自立し摂食嚥下障害もみられなかった。

入院 1 か月ほど前より近位筋優位の筋力低下、筋痛が出現、入院 1 週間ほど前より嚥下困難も出現した。皮膚筋炎と診断され他科に入院し、入院後ステロイドパルスを施行した。ステロイドパルス直後の摂食嚥下機能検査では DSS2 (食物誤嚥) で、咽頭収縮および舌骨挙上の著明な障害を認め、1% nectar-thick 4 mL で多量の咽頭残留を認めた。入院 4 か月後には採血上、疾患活動性はない状況に改善を認め、第 110 病日の VF にて DSS6 (軽度問題) となったが、筋力低下が残存している状況で、舌骨挙上障害は残存しており咽頭残留が多く、一口ごとに複数回嚥下が必要で食事の強い疲労感を認めた。認知機能は良好であり書面で本人から同意が得られたので rPMS を開始した。介入開始時、摂食嚥下機能は、舌骨・喉頭挙上障害、UES 開大不全、喉頭閉鎖不良、咽頭収縮不良を認め、口唇・舌・頬・頸部の可動域訓練、舌抵抗訓練、前舌保持訓練、supraglottic swallow, Shaker exercise [7] を実施していた。ただし、Shaker exercise は負荷が強筋の疲労も強いため、頭部挙上位保持訓練のみを 1 回約 10 秒、1 日 2-3 回施行していたが、訓練後に胸鎖乳突筋などの頸部周囲筋のこわばり悪化も生じることがあった。

磁気刺激による舌骨の前方移動距離、上方移動距離、また、開口筋力 [8] を症例 1 と同様の方法で評価した。筋疲労の評価として臥位での頸部屈曲時の筋電図計測を行った。MQ16™ 筋電計 (KISSEI コムテック株式会社、松本市) を使用しサンプリング周波数 1,000Hz、周波数帯域 20-500 Hz で舌骨上筋群と舌骨下筋群の中央周波数の変化 (rate of change in the median frequency: MF rate) を算出した。MF rate は負の値を示し筋疲労に伴い低下するので、筋疲労が減弱すると MF rate の値が大きくなり 0 に近づく [9]。

結果

症例 1: 磁気刺激による舌骨挙上距離は、前方 5.0 mm、上方 11.5 mm であった (図 2)。磁気刺激中に疼痛は認めず Numerical rating scale (NRS) は 0 であった。磁気刺激は負担感なく目的とする回数を実施でき、6 週間の rPMS は特に問題なく終了した。筋力、1% nectar-thick 4 mL 嚥下時の舌骨最大挙上距離はいずれも経過中改善を得た (図 3)。6 週間後の介入終了時には DSS3 と不変であったが、食事はリクライニング 70° の姿勢で、全粥粒あり食、水分 1.5% nectar-thick を摂取することが可能になった。

症例 2: 介入開始時の磁気刺激による舌骨最大挙上距離は、前方 2.9 mm、上方 4.2 mm であった。rPMS

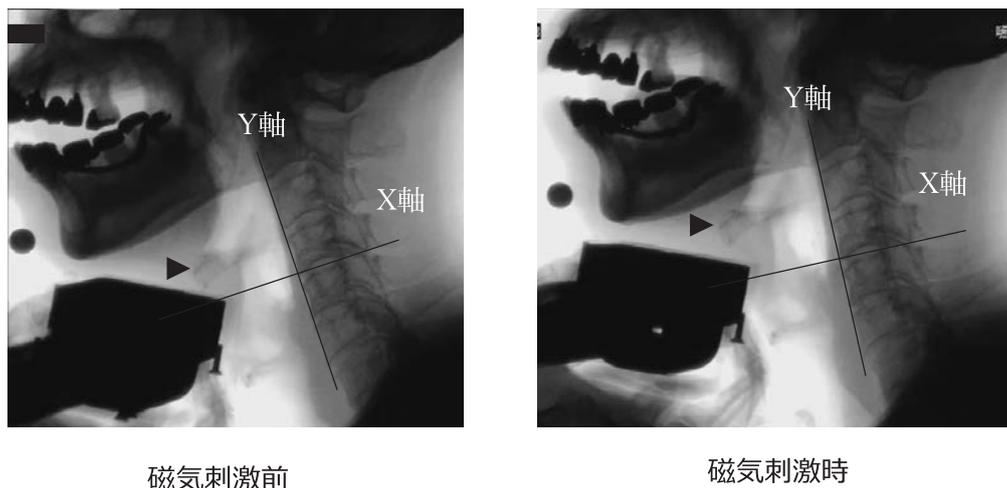


図 2. 透視下の舌骨上筋磁気刺激（症例 1）
舌骨上筋群が収縮し舌骨の挙上を得られた。

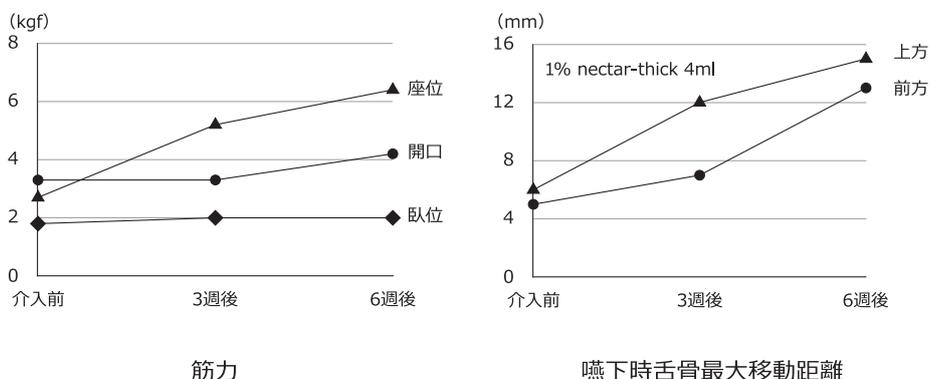


図 3. 筋力と嚥下時舌骨最大移動距離の変化（症例 1）
座位での頭頸部屈曲筋力，臥位での頸部屈曲筋力，開口筋力は増加した。また，1% nectar-thick 4 mL 嚥下時の舌骨最大挙上距離も増加した。

中の疼痛は認められず (NRS=0)，訓練後の疲労感も認めなかった。6週間の rPMS は特に問題なく終了した。採血および臨床上，疾患活動性の再燃も認められなかった。開口筋力は rPMS 開始時 1.7 kgf であり，3週後 5.6 kgf，6週後 7.5 kgf に向上した。MF rate は舌骨上筋群が介入前-3.03，6週後-1.45 (図 4)，舌骨下筋群が介入前-0.73，6週後-0.76 であった。rPMS の標的とした舌骨上筋群で筋疲労の減少が大きかった。臥位での頸部屈曲が可能時間は，介入前 10 秒であったのが 6週後には 30 秒に延長した。また，患者は磁気刺激後には頸部のこわばり軽減を感じ，磁気刺激直後の食事が最も疲労感少なく摂取できるようになったことを自覚した。

考察

症例 1 は脳卒中後遺症による摂食嚥下障害に肺炎後の廃用性筋力低下が加わり摂食嚥下障害の増悪をきたした症例である。6週間の介入を通して，rPMS による疼痛や不快感を認めず，目的とする回数を患者の負担感なく実施可能であった。介入前後で，筋力増強および舌骨最大移動距離の向上を認め，日常生活にお

いては食事摂取姿勢の変更および水分のとりみ軽減が可能となった。

症例 2 は皮膚筋炎に伴う摂食嚥下障害の患者である。原疾患の治療開始後約 4 か月経過し，すでに疾患活動性はない状況からの rPMS 開始であった。rPMS 実施により疾患活動性の再燃は認めず，筋疾患患者に対しても安全に行える可能性が示唆された。また，介入時開始時，著明な筋力低下が残存しており，通常訓練としての嚥下間接訓練を実施していたが訓練負荷を増やせない状態であった。rPMS は 6週間の介入を通して訓練後の疲労感も認められず，むしろ磁気刺激直後は頸部のこわばり軽減を認め直後の食事が最も疲労感少なく摂取できたという効果も得られた。筋力増強と舌骨上筋の筋疲労減弱も得られた。

Shaker exercise は舌骨上筋筋力増強作用があり，rPMS も舌骨を挙上させるため舌骨上筋筋力増強作用が期待できる。今回は 2 例ではあるが，rPMS は Shaker exercise を原法どおり行うことができない患者に対しても安全に行うことが可能であった。われわれは今回の rPMS の適応を舌骨挙上障害を持つ摂食嚥下障害患者と考えている。現時点では対象疾患を限定することは考えていない。主な目的は顎二腹筋前腹，顎

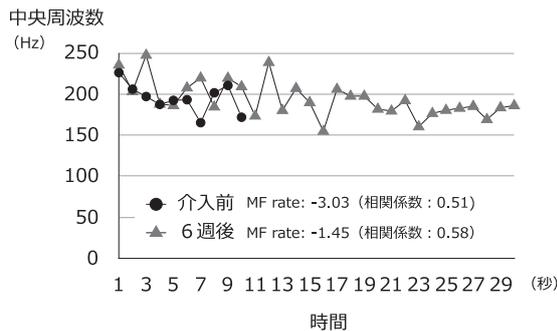


図 4. 舌骨上筋群の筋電図を用いた筋疲労計測 (症例 2)

6 週間後に MF rate の値が大きくなり、筋疲労改善を認めた。また、臥位での頸部屈曲時間は介入前 10 秒であったのが 6 週間後には 30 秒に延長した。

舌骨筋、オトガイ舌骨筋の筋力増強であり、電気刺激においては電気刺激で得られる筋力が大きいほど筋力増強効果が強いことが知られているので [10]、rPMS においても同様の効果が期待できる。舌骨上筋筋力の直接的な評価は必ずしも容易ではないため、頸部屈曲筋力や開口筋力での評価が有用と思われる。また、今回の 2 例の検討からは嚥下時の舌骨の移動距離の増大、筋疲労の減少も期待できる。rPMS は電気刺激療法に比して電極貼付などの手間がないことから準備に要する時間が短く疼痛も小さい。刺激は on time 2 秒、off time 2 秒で可能なことから 30 回の刺激に要する時間は 2 分であり、機器の準備に要する時間も約 3 分であることから他の摂食嚥下リハビリテーションとの併用も容易である。ただし、1 日何回の刺激が最適であるか、治療効果を得るためにはどのくらいの期間が必要かはまだわかっていない。また、コイルは一定の大きさを要することから、舌骨と下顎先端の距離が短い患者では十分な舌骨挙上を得られない可能性がある。さらに、他の治療も並行して行っているため rPMS の寄与の程度についても明確ではない。rPMS は実現可能性のある新たな摂食嚥下障害に対する治療法となり得るが、エビデンスを確立するためには無作為化比較試験を用いた検証が今後必要と考えられる。

謝辞

本研究の一部は JSPS 科研費 16K01475 と 19K11311 の助成を受けている。

文献

1. Tan C, Liu Y, Li W, Liu J, Chen L. Transcutaneous neuromuscular electrical stimulation can improve swallowing function in patients with dysphagia caused by non-stroke diseases: a meta-analysis. *J Oral Rehabil* 2013; 40: 472-80.
2. Chen YW, Chang KH, Chen HC, Liang WM, Wang YH, Lin YN. The effects of surface neuromuscular electrical stimulation on post-stroke dysphagia: a systemic review and meta-analysis. *Clin Rehabil* 2016; 30: 24-35.
3. Kagaya H, Ogawa M, Mori S, Aoyagi Y, Shibata S, Inamoto Y, et al. Hyoid bone movement at rest by peripheral magnetic stimulation of suprahyoid muscles in normal individuals. *Neuromodulation* 2018 (Epub ahead of print).
4. Barker AT, Freeston IL, Jalinous R, Jarratt JA. Magnetic stimulation of the human brain and peripheral nervous system: an introduction and the results of an initial clinical evaluation. *Neurosurgery* 1987; 20: 100-9.
5. Barker AT. An introduction to the basic principles of magnetic nerve stimulation. *J Clin Neurophysiol* 1991; 8: 26-37.
6. Baba M, Saitoh E, Takeda S, Onogi K. Swallowing evaluation for accomodation of oral feeding. *Sogo Rehabil* 2002; 30: 1309-16. Japanese.
7. Shaker R, Kern M, Bardan E, Taylor A, Stewart ET, Hoffmann RG, et al. Augmentation of deglutitive upper esophageal sphincter opening in the elderly by exercise. *Am J Physiol* 1997; 272: G1518-22.
8. Hara K, Tohara H, Wada S, Iida T, Ueda K, Ansai T. Jaw-opening force test to screen for dysphagia: preliminary results. *Arch Phys Med Rehabil* 2014; 95: 867-74.
9. White KT, Easterling C, Roberts N, Wertsch J, Shaker R. Fatigue analysis before and after shaker exercise: physiologic tool for exercise design. *Dysphagia* 2008; 23: 385-91.
10. Kagaya H, Shimada Y, Sato K, Sato M. Changes in muscle force following therapeutic electrical stimulation in patients with complete paraplegia. *Paraplegia* 1996; 34: 24-9.