

舌骨上筋群刺激のための表面電極設置部位の検討

百田 貴洋^[1], 加賀谷 齊^[2], 伊藤 慎英^[3], 酒野 直樹^[4]

[1] 植草学園大学保険医療学部, [2] 藤田医科大学医学部,

[3] 藤田医科大学保健衛生学部, [4] 金城大学保健衛生学部

近年, 摂食嚥下に対する機能的電気刺激が用いられている。生体を電気刺激する場合には, 最も大きな筋収縮が得られる運動点を刺激することが重要である。運動点は解剖学的には運動神経が筋膜を貫通する部位で舌骨・喉頭挙上筋の運動点はすでに確認されている。しかし, 表面電極を用いて電気刺激を行う場合, 通常は運動点を挟んで電極を設置する双電極法を用いるが, 喉頭挙上筋が存在する頸部は弧を描いているため, 運動点を最も有効に刺激が可能である表面電極設置部位は明らかでない。そこで本研究ではX線透視下で電気刺激時の舌骨の運動を計測し, 表面電極の最適設置部位を検討した。今回の結果から, 舌骨上端より上方1～2cm 舌骨正中より側方2cm に表面電極を設置したときに電気刺激による舌骨の総移動距離と水平方向の移動距離が大きくなることが明らかとなった。

キーワード: 嚥下, 機能的電気刺激, 舌骨上筋群, 表面電極, 刺激部位

1. はじめに

機能的電気刺激 (functional electrical stimulation ; FES) は, 神経や筋に電気刺激を行い失われた生体機能の再建を行う手法であり, 1961年にLibersonらが片麻痺患者の総腓骨神経を刺激して歩行再建を行ったのが嚆矢とされている¹⁾。FESは主として四肢の機能再建に用いられることが多かったが, 2000年代に入り摂食嚥下障害に対するFESが試みられるようになった。摂食嚥下障害患者では, 舌骨・喉頭挙上が不十分であることが多いため, 主として摂食嚥下障害のFESは舌骨・喉頭挙上筋に対して試みられることが多い。生体を電気刺激する場合には, 最も大きな筋収縮が得られる部位, すなわち運動点を刺激することが重要である。運動点は解剖学的には運動神経が筋膜を貫通する部位である²⁾。舌骨・喉頭挙上筋の運動点はすでに解剖学的に確認されている³⁾。しかし, 表面電極を用いて電気刺激を行う場合, 通常は運動点を挟んで電極を設置する双電極法を用いるが⁴⁾, 喉頭挙上筋が存在する頸部は

弧を描いているため, 運動点がわかっていても, 運動点を最も有効に刺激が可能である表面電極設置部位は明らかでない (図1)。そこで本研究ではX線透視下で複数の表面電極設置部位を電気刺激し, 舌骨の運動を計測し表面電極の最適設置部位について検討した。

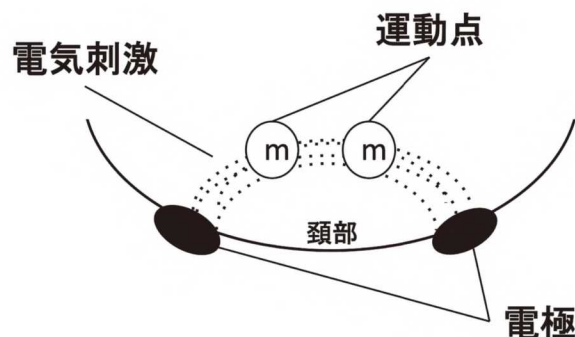


図1 表面電極（双電極法）刺激と舌骨上筋群の運動点

2. 方法

2.1 対象と方法

健康成人 10 名（平均年齢 26 歳 ± 標準偏差 2 歳，平均身長 170 ± 標準偏差 5cm，平均体重 67kg ± 標準偏差 4kg）を対象とした。嚥下造影検査用車いす（VF Style，東名ブレース）を用いて座位にて実施した（図 2）。また，電気刺激中の頭部や下顎の位置変化を避けるため，被験者の頭部を固定し，電気刺激中は開口しないよう口頭で指示した。



図 2 電気刺激時の被験者の姿勢

電気刺激は，IVES（PAS システム[®]：オージー技研）を用い，刺激波形 $50\mu s \times 3$ 回，周波数は 100Hz で立ち上がり時間 1 秒，持続時間 3 秒，立ち下がり時間 1 秒の 5 秒間台形状刺激パターンで舌骨・喉頭挙上筋を電気刺激した。刺激強度は被験者毎に不快なく耐えられる最大の刺激強度とした。なお，電極には Vitrode F-150M[®]（電極サイズ 25 × 45mm，日本光電社）を用い，舌骨を左右から挟み込む形で一对の電極を配置した。表面電極設置部位は，三次元動作解析装置 KinemaTracer[®]（キッセイコムテック社）を用いた予備実験を行い絞り込んだ以下の 4 パターンとした。パターン A は，舌骨上端より上方 1cm，舌骨正中より側方 2cm，パターン B は舌骨上端より上方 1cm，側方 3cm，パターン C は舌骨上端より上方 2cm，舌骨正中より側方 2cm，パターン D は舌骨上端より上方 2cm，舌骨正中より側方 3cm の位置に貼付（図 3）し，各条件で電気刺激し舌骨の運動を X 線透視下で計測した。

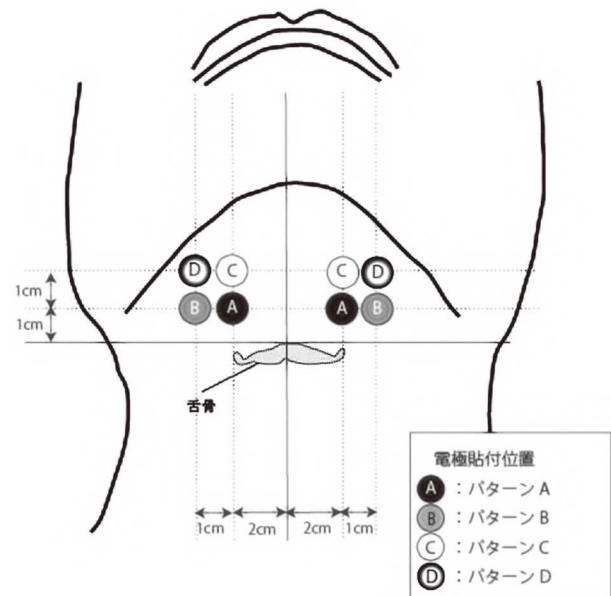


図 3 電極貼付位置パターン

電極位置は，できるだけ被験者の被曝を避けるため，事前に三次元動作解析器を用いた検討により 4 パターンに絞り込んだ。

X 透視下で撮影した動画は，Image-J（NIH 米国国立衛生研究所）を用い解析した。基本となる Y 軸を第 3 頸椎前縁上端と第 5 頸椎前縁下端を結んだ線，X 軸を舌骨体前下部を通り Y 軸に垂直に交わる線とし舌骨体前下部の位置を計測した。起点を電気刺激前の舌骨体前下部の位置とし，移動点を電気刺激中の舌骨体前下部の位置とし，起点-移動点間の直線距離を①移動距離，Y 軸と平行する線上の起点-移動点間の距離を②垂直移動距離，X 軸と平行する線上の起点-移動点間の距離を③水平移動距離とした（図 4）。なお，解析データは SPSS Ver.21（IBM 社）を使用し，repeated measure ANOVA（Bonferroni 補正）有意水準 5% で検定した。

2.2 倫理的配慮

本研究は，藤田保健衛生大学疫学・臨床研究倫理審査委員会で審査を受け，承認を得た（11-034）。研究に先立ち，被験者に対して研究の趣旨を口頭並びに文書で十分に説明し，書面にて同意を得た。

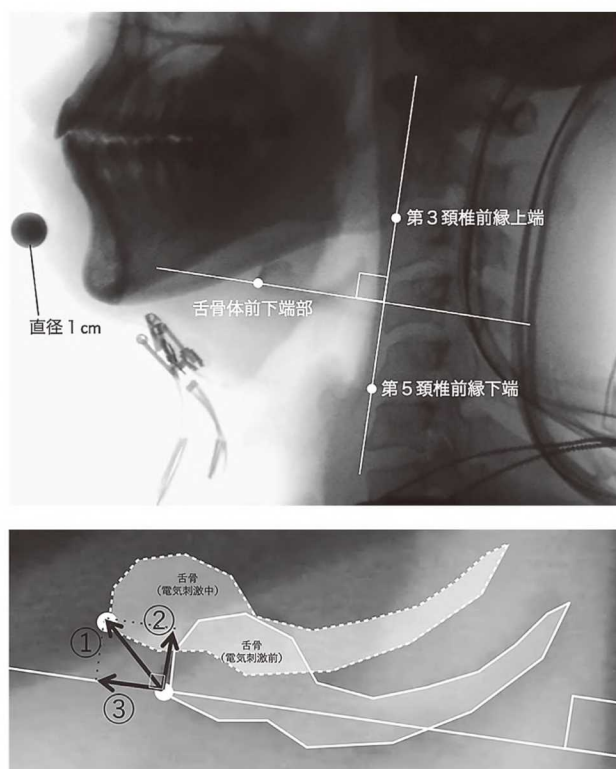


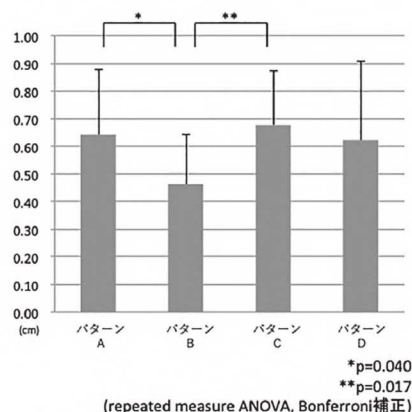
図4. 舌骨運動の解析（基本軸と移動距離）

- 1) 舌骨体前下部を観測点とし距離を計測。
- 2) 基本軸は、Y軸：第3頸椎前縁上端と第5頸椎前縁下端を結んだ線、X軸：舌骨体前下部を通りY軸に垂直に交わる線。
- 3) 移動距離 - 垂直移動距離 - 水平移動距離
 - ①移動距離：起点－移動点間の直線距離、②垂直移動距離：Y軸と平行する線上の起点－移動点間③水平移動距離：X軸と平行する線上の起点－移動点間の距離をとした

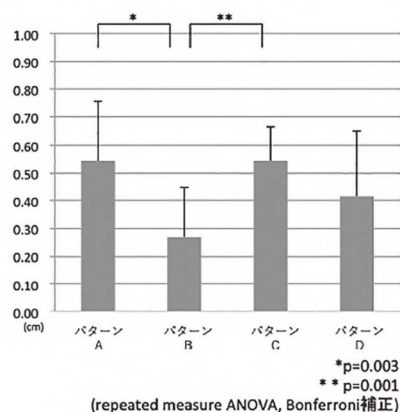
3. 結果

舌骨の移動距離はパターンCでもっとも大きく $0.68 \pm 0.19\text{cm}$ 、次いでパターンAで $0.64 \pm 0.24\text{cm}$ であった。水平移動距離はパターンAが $0.54 \pm 0.21\text{cm}$ 、パターンCが $0.54 \pm 0.13\text{cm}$ と大きくなった。垂直移動距離は4群で有意差はみとめられなかったがパターンDでもっとも大きく平均 $0.41 \pm 0.32\text{cm}$ 、次いでパターンCで $0.35 \pm 0.27\text{cm}$ であった（図5）。

舌骨移動距離の比較



舌骨水平移動距離の比較



舌骨垂直移動距離の比較

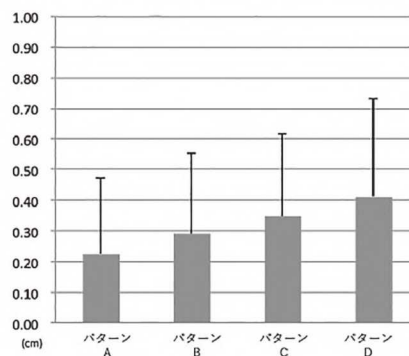


図5 舌骨移動距離の比較

4. 考察

今回、健常人を対象に舌骨上筋群の表面電極刺激最適部位を検討した。健常人に対する被曝を最小限とするために、われわれは、三次元動作解析装置で刺激部位を絞り込んでから、透視下での計測を行った。喉頭の動きを三次元動作解析装置で計測した場合、マーカーは皮膚に設置されるため、喉頭自体で

はなく、皮膚の動きが計測されてしまう。皮膚と喉頭は密着していないため誤差が生じうるが、健常人では喉頭が透視で確認できないこともあるため、透視では全例が確認可能である舌骨の動きを計測した。

結果、舌骨正中より側方 2cm 舌骨上端より上方 1 ～ 2cm の位置での電気刺激により舌骨の移動距離および水平移動距離は大きくなった。垂直移動距離に関しては優位な差は認められなかった。舌骨上筋群の働きは各筋で舌骨運動に与える影響は異なる。今回の表面電極で刺激した可能性が高いのはオトガイ舌骨筋、顎二腹筋前腹、顎舌骨筋である。これらの筋は、解剖学的に運動点が同定されており、それぞれオトガイ舌骨筋が舌骨上縁から $2.1\text{cm} \pm 0.6\text{cm}$ 上方、正中から $0.8\text{cm} \pm 0.3\text{cm}$ 側方、顎二腹筋前腹と顎舌骨筋は舌骨上縁から $2.3\text{cm} \pm 0.6\text{cm}$ 上方、正中から $2.2\text{cm} \pm 0.6\text{cm}$ (平均値 \pm 標準偏差) 側方である³⁾ Pearson⁵⁾ らは、オトガイ舌骨筋は舌骨を前方に、顎舌骨筋は舌骨を上方に牽引する可能性が高いと報告しており、Okada⁶⁾ らも、オトガイ舌骨筋が舌骨の前方移動に対し重要な筋であり、また、顎二腹筋前腹は舌骨の前方移動に寄与する二次的な筋であると報告している。今回の結果から、弧を描く頸部に表面電極を設置する場合の最適位置は側方 2cm の位置で舌骨上端より上方 1 ～ 2cm の位置であり、特にオトガイ舌骨筋、顎二腹筋前腹の運動点を刺激できる可能性が高いと考える。また、垂直方向の有意差は認められなかったが、最も移動距離が大きくなったパターン D においては、運動点の位置も考慮し顎舌骨筋をより強く刺激した可能性が高いと考える。舌骨上筋群のうち顎二腹筋後腹、茎突舌骨筋は近傍に内頸動静脈、顔面神経通るため電気刺激を行うためにはリスクが高い⁷⁾ ため、本研究結果で得られた刺激位置が安全性の面からも最適刺激部位であると思われる。

謝辞

稿を終えるにあたり、御懇篤なるご指導ならびに校閲をいただいた藤田医科大学医学部リハビリテーション医学 I 講座加賀谷斉教授に深甚なる誠意を捧げます。また、データ収集にあたって多大なる協力

をいただいた藤田医科大学病院リハビリテーション部の方々に厚くお礼申し上げます。

文献

- 1) Liberson WT, Holmquest HJ, Scot D, and Dow M: Functional electrotherapy: stimulation of the peroneal nerve synchronized with the swing phase of the gait of hemiplegic patients. *Arch. Phys. Med. Rehabil.* 1961; 42:101-105
- 2) Liu J, Lau HK, Min WX, Pereira BP, Kumar VP, and Pho RW: Contractile characteristics on electrical stimulation of muscle with multiple motor points. An in vivo study in rabbits. *Clin. Orthop.* 1995; 313: 231-238.
- 3) Kagaya H, Baba M, Saitoh E, Okada S, Yokoyama, and Muraoka Y: Hyoid Bone and Larynx Movements During Electrical Stimulation of Motor Points in Laryngeal Elevation Muscles: A Preliminary Study. *Neuromodulation.* 2011; 14: 278-283.
- 4) 村岡慶裕, 鈴木里砂, 島岡秀奉 他. 運動介助型電気刺激装置の開発と脳卒中片麻痺患者への使用経験. *理学療法学* 2004 ; 31 : 29-35.
- 5) Pearson WG Jr, Langmore SE, and Zumwalt AC: Evaluating the structural properties of suprahyoid muscles and their potential for moving the hyoid. *Dysphagia.* 2011; 26: 345-351.
- 6) Okada T, Aoyagi Y, Inamoto Y, Saitoh E, Kagaya H, Shibata S, Ota K, and Ueda K: Dynamic change in hyoid muscle length associated with trajectory of hyoid bone during swallowing : analysis using 320-row area detector computed tomography. *J. Appl. Physiol.* 2013; 115: 1138-1145.

Abstract

Examination of surface electrode placement site for suprahyoid muscle stimulation

Takahiro Momota^[1], Hitoshi Kagaya^[2], Norihide Ito^[3], Naoki Sakano^[4]

[1] Faculty of Health Science, Uekusa Gakuen University

[2] School of Medicine, Fujita Health University

[3] School of Health Science, Fujita Health University

[4] Faculty of Health Science, Kinjo University

In recent years, functional electrical stimulation has been used for swallowing. When electrically stimulating a living organism, it is important to stimulate the exercise point where the largest muscle contraction is obtained. The motor point is anatomically the site where the motor nerve penetrates the fascia, and the motor point of the hyoid bone and laryngeal elevation muscle has already been confirmed. However, when electrical stimulation is performed using surface electrodes, and the dual electrode method is usually used in which the electrodes are placed across the movement point, it is not clear where the surface electrodes are most effectively stimulated.

Therefore, movement of the hyoid bone during electrical stimulation was measured under fluoroscopy, and the optimal placement site for surface electrodes was examined in this study. From the results, it was determined that the total movement distance of the hyoid bone and horizontal movement distance due to electrical stimulation increase when the surface electrode is placed 1 to 2 cm above the upper end and 2 cm laterally from the center of the hyoid bone.

Keywords: Swallowing, functional electrical stimulation, hyoid laryngeal elevation muscles, surface electrodes, stimulation site.