

Brief Report**電極位置と舌骨運動に着目した舌骨上筋群に対する表面電気刺激療法**清水五弥子,¹ 目谷浩通,¹ 平岡 崇,¹ 関 聡介,¹ 花山耕三,¹ 椿原彰夫¹¹ 川崎医科大学リハビリテーション医学教室**要旨**

Shimizu S, Metani H, Hiraoka T, Seki S, Hanayama K, Tsubahara A. Electrode position and hyoid movement in surface electrical stimulation of the suprahyoid muscle group. *Jpn J Compr Rehabil Sci* 2014; 5: 97-101.

【目的】摂食嚥下障害に対する表面電気刺激療法を効果的に行うため、電極位置と電気刺激による舌骨運動の関係性について調査した。

【方法】健常人5名に対して、舌骨上筋群を標的に3通りの方法（舌骨上中央、舌骨上外側、舌骨上全体）で表面電極を貼付した。電気刺激による舌骨運動を、垂直方向と水平方向のそれぞれ計測し3群間で比較した。

【結果】表面電極を舌骨上中央に設置した場合、舌骨は有意に前方移動した。表面電極を舌骨上外側に設置した場合は、舌骨は上方移動する傾向にあった。電気刺激による舌骨移動距離は、水分嚥下時の半分程度であった。電気刺激強度は電極貼付位置によって有意差を認めなかった。

【結論】表面電極を舌骨上中央に設置した場合、顎二腹筋前腹やオトガイ舌骨筋を収縮させると考えられ、舌骨を前方に引き出す効果を認めた。表面電極位置と舌骨運動の関係性を理解することで、臨床応用の幅が広がることが期待される。

キーワード：舌骨、表面電気刺激、舌骨上筋群、電極位置、選択的刺

はじめに

近年、標準的な摂食嚥下訓練に電気刺激療法（neuromuscular electrical stimulation：NMES）を併用する割合が増えている。特に、表面電極を用いた電気刺激療法（surface electrical stimulation：SES）は、簡便で安全性が高いため、臨床で広く使用されている。SESは頸部筋の筋力強化や筋萎縮予防を期待して使用

されるが、筋の選択的刺

されるが、筋の選択的刺

方法**1. 対象**

健康成人5名（平均年齢±SD 24.2±1.3, 男女比3:2）を対象とした。咽喉頭疾患、神経障害、その他の原因で嚥下障害を指摘された者は除外した。被験者には、本研究の内容を十分説明し同意を得た。なお、本研究は、川崎医科大学倫理委員会の承認を得て実施した（承認番号1053-1）。

2. 表面電極位置と刺激条件

表面電極は、自己接着型電極（長径32mm）を使用した。貼付位置は、図1に示す通り3通りの方法を採用した。Type1は舌骨上中央、Type2は舌骨上外側、Type3は舌骨上全体（Type1+Type2）で2チャンネル刺激とした。また、電極位置は、頸動脈洞刺激を回避するため、頸部外側になりすぎないように注意した。

電気刺激装置は、総合刺激装置ES-510（伊藤超短波）を使用した（図2）。刺激条件は、干渉波（変調電流）を用い、搬送周波数5,000Hz、干渉周波数30Hzに設定した。刺激強度は、被験者が痛みや不快を感じるまで0.5mAずつ漸増し、最大刺激強度を決定した。

3. 手順**1) 表面電極の貼付**

電極貼付前に、前頸部をアルコール綿で清拭した。男性には、事前に髭剃処理を指示した。表面電極を貼付した後、電極が舌骨上に位置していることを触診と透視下にて確認した。電極はフィルムドレッシングテープで固定し、電極と皮膚を密着させた。

著者連絡先：清水五弥子
川崎医科大学リハビリテーション医学教室
〒701-0192 岡山県倉敷市松島577
E-mail: s-shimizu@med.kawasaki-m.ac.jp
2014年8月4日受理

本研究において、一切の利益相反はありません。

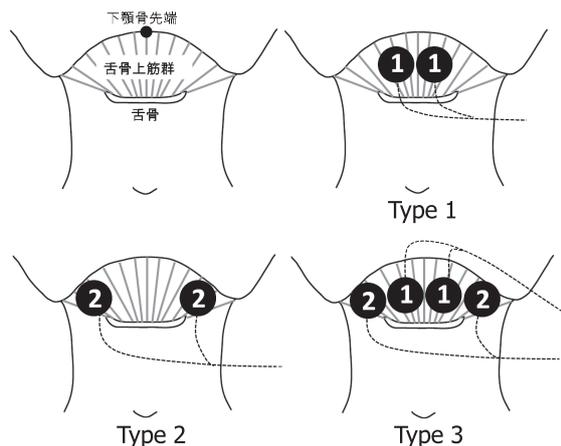


図 1. 表面電極貼付位置

Type1：舌骨上中央（下顎骨先端と舌骨中央を結んだ中点の左右）

Type2：舌骨上外側（Type1 のすぐ外側の舌骨上）

Type3：舌骨上全体（Type1+Type2）



図 2. 電気刺激装置, 自己粘着型電極

電気刺激装置（総合刺激装置 ES-510 伊藤超短波）
自己粘着型電極（低周波導子パルス 32 mm 伊藤超短波）

2) VF

頭頸部を固定する目的で、股関節角度 80 度の背もたれと枕の付いた椅子を使用した。マーカーとして、嚥下運動に影響を及ぼさないと考えられる軽量の金属球（直径 11 mm, 重量 5.5 g）を頸部中央に固定した。VF は側面像を撮像し、DVD に録画した。まず電気刺激を行う前に、コントロールとしてコップに入れた水分 10 ml の自由嚥下を各被験者 2 回ずつ行った。次に、食材を用いない頸部表面電気刺激を、最大刺激強度で実施した。VF は、Type1, Type2, Type3 の順番で行った。被験者には随意的な嚥下を行わないよう指示した。

4. 舌骨移動距離の測定

撮像された VF 画像は、1/30 秒コマ送り再生を行い、舌骨の安静位（original position）と、舌骨の最大移動時の画像を同定した。最大移動時の画像とは、水

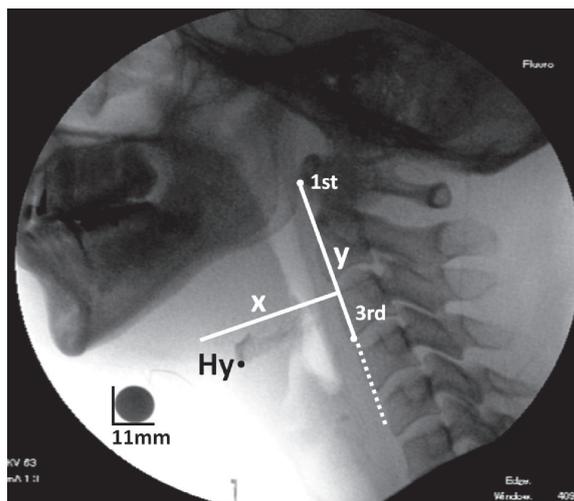


図 3. 舌骨移動距離の測定方法（VF 画像）

Hy：舌骨，1st：第 1 頸椎，3rd：第 3 頸椎，y：Y 軸，x：X 軸

舌骨位置は、舌骨体前下部を測定点（Hy）とした。舌骨移動距離は、第 1 頸椎と第 3 頸椎の椎体前下部を結んだ縦の線（y）と、それに垂直の線（x）を基準とした。

分嚥下時は、最大前方移動時と最大上方移動時のそれぞれ、電気刺激時は、最大前上方移動時の画像である。Humbert らの用いた方法を参考に、第 1 頸椎と第 3 頸椎を結んだ線を Y 軸、それに垂直の線を X 軸として舌骨運動方向を定め、舌骨移動距離（前方移動、上方移動、直線移動）を測定した [1]（図 3）。それぞれの画像は、NIH で開発された画像処理ソフト Image J を用いて解析した。

5. 統計解析

舌骨前方移動距離、舌骨上方移動距離、舌骨直線移動距離、最大刺激強度について、3 種類の表面電極位置による違いを検討するために、Friedman 検定を実施した。この検定で有意差を認めた場合は、Bonferroni 法にて多重比較を行った。有意水準は、 $p < 0.05$ とした。統計学的解析は SPSS for Windows ver. 16.0 を用いた。

結果

被験者全員が、疼痛や気分不良を訴えることなく、本研究を遂行することができた。被験者 5 名の、水分嚥下時と電気刺激時の舌骨移動距離、最大刺激強度の結果を表 1 に示す。電気刺激時の舌骨前方移動距離は、3 種類の電極位置で有意差を認めた ($p=0.007$)。多重比較では、Type1 で舌骨は有意に前方移動し、Type3 では前方移動距離がもっとも小さい結果となった（図 4）。舌骨上方移動距離と直線移動距離は、3 種類の電極位置で有意差を認めなかったが、Type2 は上方移動と直線移動ともに他の電極位置と比較して大きい傾向にあった。刺激強度は被験者が疼痛や不快を感じるまで漸増させたが、その最大電気刺激強度は、電極位置によって有意差はなかった。

表 1. 舌骨移動距離と最大刺激強度

	舌骨前方移動距離 (mm)				舌骨上方移動距離 (mm)				舌骨直線移動距離 (mm)			最大刺激強度 (mA)		
	水分嚥下	Type 1	Type 2	Type 3	水分嚥下	Type 1	Type 2	Type 3	Type 1	Type 2	Type 3	Type 1	Type 2	Type 3
被験者 1	17.1	3.5	3.2	2.8	16.1	2.2	8.0	5.5	4.1	8.6	6.2	23	23	23
被験者 2	10.1	7.2	4.1	1.2	12.6	4.2	3.6	3.1	8.3	5.5	3.3	22	22	22
被験者 3	7.8	5.8	0.2	0	13.2	2.9	12.7	10.0	6.5	12.7	10.0	23	20	22
被験者 4	10.7	7.0	3.2	0.9	12.1	3.1	7.9	6.5	7.7	8.5	6.6	28	28	28
被験者 5	13.9	3.4	1.8	1.6	17.8	0.6	5.6	2.4	3.5	5.9	2.9	23	18	21
Friedman 検定	$p=0.007^*$				$p=0.074$				$p=0.074$			$p=0.135$		

* $p<0.05$ 有意差あり

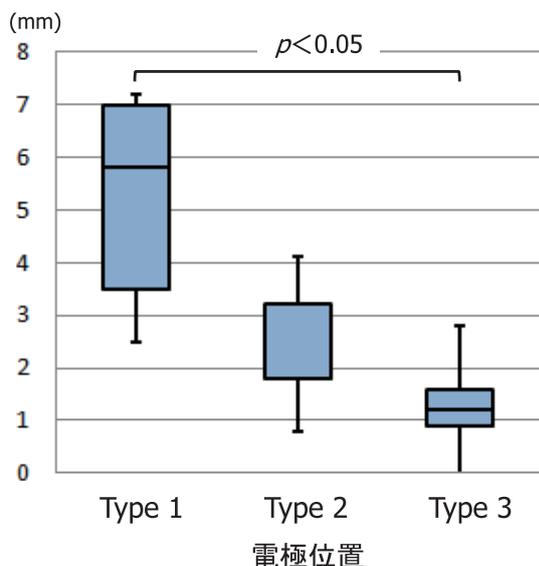


図 4. 舌骨前方移動距離
Friedman 検定 $p=0.007$
Bonferroni Type1-2 $p=0.095$, Type1-3 $p=0.024$, Type2-3 $p=0.45$

考察

1. 筋の選択的刺激

前頸部に対する SES は筋の選択的刺激が困難であると報告されている。Humbert らは、前頸部に 10 通りの方法で表面電極を貼付し SES を行ったところ、ほとんどの場合で舌骨や喉頭は下降し、舌骨上だけに電極を設置した場合は舌骨がわずかに挙上すると報告している [1]。Kagaya らは、舌骨下筋群である甲状舌骨筋を標的に SES を行うと、舌骨や喉頭は下降し、これは胸骨舌骨筋も複合的に刺激した結果であると述べているが、舌骨上筋群である顎舌骨筋を標的にを行うと、舌骨や喉頭は挙上すると報告している [3]。過去の報告から、SES による舌骨下筋群の選択的刺激は困難であると考え、本研究では舌骨上筋群のみを対象とした。

舌骨上で 3 通りの電極位置を比較検討したところ、電極を舌骨上中央に設置した場合 (Type1) は、舌骨

が有意に前方移動することが知れた。電極位置と舌骨運動方向を考慮すると、顎二腹筋前腹やオトガイ舌骨筋など舌骨を前方に引く作用のある筋を選択的に刺激できた可能性が考えられた。電極を舌骨上外側に設置した場合 (Type2) は、有意差は認めなかったが舌骨は上方移動する傾向にあった。これは顎舌骨筋や茎突舌骨筋、顎二腹筋後腹など舌骨を上げる作用のある筋を刺激している可能性が示唆された。一方、電極を舌骨上全体に貼付した場合 (Type3) は、Type1, Type2 と同様の部位に電極を貼付しているにもかかわらず、舌骨前方移動は Type1 よりも、舌骨上方移動は Type2 よりも小さい結果となった。これは、舌骨上筋群全体を同時に収縮させたことにより、舌骨前方運動 (顎二腹筋前腹、オトガイ舌骨筋)、上方運動 (顎舌骨筋、茎突舌骨筋、顎二腹筋)、後方運動 (茎突舌骨筋、顎二腹筋後腹) が同時に働き、舌骨運動が相殺された可能性が考えられた。通常嚥下では、舌骨上筋群を含めた嚥下関連筋群は、それぞれの筋が連携しながらも別々に筋収縮している。電気刺激によって舌骨上筋群全体を同時に収縮させることは、通常の嚥下運動を制限することになると考えられる。また、刺激強度の違いが結果に与える影響があると考えられるが、本研究では被験者の最大刺激強度は有意差がなかった。

2. 舌骨移動距離

Kim らは、舌骨上筋群に対する SES を行い、随意嚥下時の舌骨運動と比較したところ、舌骨上方移動と前方移動はそれぞれ 66.8%, 45.2%であったと報告している [4]。本研究においても、電気刺激による舌骨移動距離は、水分嚥下時の半分程度であり、ほぼ同様の結果であった。

Kagaya らは、舌骨上筋群のモーターポイントに対する埋込み電極刺激では、随意嚥下と同等の舌骨・喉頭運動が得られたと報告している [3]。Burnett らは、フックワイヤーによる電気刺激は、喉頭挙上を十分補助することができるかと報告している [5]。これらの報告と比較すると、筋収縮という点に関して SES は劣っている。しかし手技的に容易であり、安全性が高いため臨床で使用しやすい。Sotoyama らは、マウス型導子を頸部に押し当てて電気刺激を行うと、随意嚥下時とほぼ同等の舌骨運動が得られたと報告している [6]。表面電極で最大限の筋収縮を得るためには、表面電極の密着性を高めること、電極を圧迫すること、

下顎の下垂を制限することなどが必要である。それらを可能にするために簡易装具などの作製を現在検討している。

3. 刺激条件

頸部表面電気刺激療法は、低周波を用いた報告がほとんどである。今回われわれは、皮膚抵抗を下げる目的で、干渉波（変調電流）を用いた。変調電流は、2つのみの電極の単一回路で、干渉波電流と同様の波形を生成する。干渉波は、低周波特有の針で刺すような疼痛が少ないため、低周波と比較して刺激強度を上げることができた可能性がある。

4. 臨床応用

表面電極の貼付位置と舌骨運動の関連を明らかにすることで、患者各々の摂食嚥下障害に応じた嚥下訓練を計画することができる。舌骨前方移動が不十分な患者に対する筋力増強訓練や舌骨運動の補助を目的にSESを行う場合は、表面電極を舌骨上中央に設置すると効果が高いと期待できる。

5. 本研究の問題点

本研究は健常若年者5名と、対象者数が少なく若年であったため、今後は幅広い年齢層を対象に研究を進めていくべきである。また、臨床場面での使用経験を増やし、効果を検討していきたい。

文献

1. Humbert IA, Poletto CJ, Saxon KG, Kearney PR, Crujido L, Wright-Harp W, et al. The effect of surface electrical stimulation on hyolaryngeal movement in normal individuals at rest and during swallowing. *J Appl Physiol* 2006; 101: 1657-63.
2. Heck FM, Doeltgen SH, Huckabee ML. Effects of submental neuromuscular electrical stimulation on pharyngeal pressure generation. *Arch Phys Med Rehabil* 2012; 93: 2000-7.
3. Kagaya H, Baba M, Saitoh E, Okada S, Yokoyama M, Muraoka Y. Hyoid bone and larynx movements during electrical stimulation of motor points in laryngeal elevation muscles: a preliminary study. *Neuromodulation* 2011; 14: 278-83.
4. Kim SJ, Ryoan T. Effect of surface electrical stimulation of suprahyoid muscles on hyolaryngeal movement. *Neuromodulation* 2009; 12: 134-40.
5. Burnett TA, Mann EA, Cornell SA, Ludlow CL. Laryngeal elevation achieved by neuromuscular stimulation at rest. *J Appl Physiol* 2003; 94: 128-34.
6. Sotoyama K, Matsumoto S, Kurasawa M, Noma T, Shimodozono M, Kawahira K. Effect of neuromuscular electrical stimulation on hyoid bone and laryngeal movements to improve swallowing function. *Sogo Rehabilitation* 2011; 39: 977-85. Japanese.