

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 24 日現在

機関番号：33916
 研究種目：基盤研究（C）
 研究期間：2010～2012
 課題番号：22500485
 研究課題名 随意運動介助型電気刺激を用いた摂食・嚥下障害患者の嚥下動作再建法
 研究課題名（英文）
 Restoration of laryngeal elevation during swallowing by power-assisted functional electrical stimulation
 研究代表者
 加賀谷 齊（KAGAYA HITOSHI）
 藤田保健衛生大学・医学部・准教授
 研究者番号：40282181

研究成果の概要（和文）：

舌骨上筋上に表面電極を装着し、嚥下反射が生じたときに舌骨上筋に発生する筋電量に比例した電気刺激を発生させる随意運動介助型電気刺激を行った。随意運動介助型電気刺激を用いることで嚥下反射が起こったときのみ電気刺激を与えることが可能になり、液体、並びにクッキー咀嚼時の喉頭挙上距離を大きくすることができた。実際に重度の摂食・嚥下障害患者に適用し、摂食・嚥下障害患者に対する新たな治療法の選択枝を示した。

研究成果の概要（英文）：

The surface electrodes were put on the suprahyoid muscles and the electrical stimulation in proportion to the integrated electromyography was applied by using the power-assisted functional electrical stimulation system. The electrical stimulation was only given during swallowing reflex and the elevation of the larynx increased both in the liquid swallow and in the chew swallow. The application of this system to the severe dysphagic patients showed the new treatment for dysphagia.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	2,500,000	750,000	3,250,000
2011 年度	400,000	120,000	520,000
2012 年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：人間医工学，リハビリテーション科学・福祉工学

キーワード：リハビリテーション医学，摂食・嚥下障害，機能的電気刺激

1. 研究開始当初の背景

摂食・嚥下は日常的に行われる行為であり、多数の筋肉と神経により制御された複雑な

運動でもある。高齢や脳卒中などによる筋収縮力の低下、筋収縮タイミングのずれなどが生じると、誤嚥や誤嚥性肺炎に結びつくこと

も多い。高齢者肺炎の多くは誤嚥性肺炎と考えられており、高齢化社会に突入している本邦においては摂食・嚥下障害は重大な問題である。嚥下時には舌骨・喉頭が挙上して嚥下反射が生じ食道入口部の輪状咽頭筋が弛緩するが、舌骨・喉頭の挙上不良、並びに輪状咽頭筋弛緩不全が摂食・嚥下障害の原因になることも多い。舌骨・喉頭の挙上不良があると嚥下反射が生じないまたは遅延し、輪状咽頭筋弛緩不全があると食塊が食道入口部を通過できない。

機能的電気刺激(functional electrical stimulation: FES)は低周波を人体に与え筋収縮を生じさせることで失われた動作を再建する技術であり、これまで脳卒中や脊髄損傷などによる四肢の再建に用いられてきた。摂食・嚥下障害に対する機能的電気刺激の研究は2000年代に入ってから始まり、いずれも舌骨上筋群などに電気刺激を行い舌骨・喉頭を挙上させることを目的としている。機能的電気刺激による動作再建には刺激開始のトリガーとなる信号入力が必要であるが、実際の食事場面において何をトリガーとするかに関しては未解決である。ハンドスイッチを用いて、患者がスイッチを押してから一定時間後に電気刺激が入るようにするシステムなども考案されているが、電気刺激による舌骨・喉頭の挙上と、嚥下障害患者の随意的な舌骨・喉頭の挙上のタイミングを一致させることは困難であるため、タイミングのずれが必発である。また、嚥下障害をもつ患者は他に上肢、下肢の麻痺を合併することも多いため、1回嚥下するたびにハンドスイッチを押すという動作自体が実際の食事場面では実用的ではない。

最近、随意運動が生じた場合に随意運動の筋電図を拾い、随意筋電量に比例した電気刺激を発生させる随意運動介助型電気刺激法が紹介されるようになり、四肢の麻痺患者に応用され始めている。重度の摂食・嚥下障害患者でも舌骨・喉頭挙上に関与する筋肉の随意収縮が全くみられないことは少なく、随意収縮が弱いために舌骨・喉頭挙上が不十分な症例が多い。随意運動介助型電気刺激を摂食・嚥下障害患者に用いれば、舌骨・喉頭挙上に関与する筋肉の随意運動が生じたとき、その随意運動をトリガーとして電気刺激を与えることが可能になると考えられる。そこで、随意運動介助型電気刺激法を用いて舌

骨・喉頭挙上に関与する筋肉の随意運動が生じたときに電気刺激を与えることで機能的電気刺激を用いた摂食・嚥下障害患者の嚥下動作再建が可能になるのではないかと考えた。

2. 研究の目的

随意運動介助型電気刺激を用いて舌骨・喉頭挙上に関与する筋肉の随意運動が生じたときに電気刺激を与えることで、機能的電気刺激を用いた摂食・嚥下障害患者の嚥下動作再建を行う。

3. 研究の方法

(1) 刺激検出回路作成

本研究では電気刺激装置としてPAS システム[®] (オージー技研)を使用した。PAS システム[®]は随意運動介助型電気刺激装置であり、随意筋電量に比例した電気刺激を発生させる装置であるが、実際に嚥下運動に伴って電気刺激が生じているかどうかを定量化できない。そこで、PASシステム[®]における刺激電圧の変化をサンプリング周波数20Hzでモニターする回路を作製した(図1)。

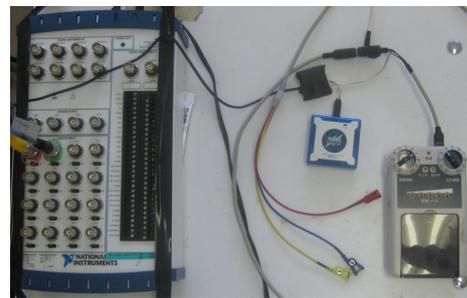


図1 作製した回路

(2) 健常人における検討

① 液体嚥下

健常成人12名(年齢 32 ± 6 歳, 身長 167 ± 8 cm, 体重 62.5 ± 13.3 kg)の舌骨上筋上に表面電極(Vitrode F-150M)を装着し、随意運動介助型電気刺激装置PAS システム[®] (オージー技研)を接続した。PAS システム[®]の刺激波形はパルス幅 $50 \mu s \times 6$ 回, 刺激周波数20Hzの振幅変調方式である。刺激強度は痛みを感じない範囲に設定した。乱数表を用いて電気刺激あり, 電気刺激なし, 液体3ml, 液体10mlの4通りの組み合わせでランダムに3回ずつ嚥下させ、喉頭の動きを三次元動作解析装置KinemaTracer[®](キッセイコムテック社)を用いて計測した。カラーマーカは喉頭隆起に装

着し、CCDカメラは2台使用した。嚥下中の刺激電圧の変化を今回作製した回路で検出し、KinemaTracer[®]と同期させた。統計学的検討はSPSS Ver. 19 を使用し、有意水準を5%とした。

② 咀嚼嚥下

上記①と同じ被験者にクッキー5gを咀嚼嚥下させた。咀嚼嚥下の場合には、咀嚼に伴い舌骨上筋に筋活動が生じる。したがって、咀嚼中には電気刺激を発生させないようにするため、咀嚼が終了して嚥下に移行する直前に被験者自身がハンドスイッチを押し、PAS システム[®]を有効にさせてから計測を行った。乱数表を用いて電気刺激あり、電気刺激なしの2通りの組み合わせでランダムに3回ずつ嚥下させ、喉頭の動きを三次元動作解析装置 KinemaTracer[®](キッセイコムテック社)を用いて計測した。カラーマーカは喉頭隆起に装着し、CCDカメラは2台使用した。

(3) 摂食・嚥下障害における検討

重度の摂食・嚥下障害患者3名(表1)の摂食・嚥下訓練時に舌骨上筋上に表面電極(Vitrode F-150M)を装着しPAS システム[®]を使用した。刺激強度は刺激中に痛みを感じない範囲に設定した。いずれの症例も嚥下反射惹起が極めて不良であり、電気刺激開始時は症例AとBは経口摂取をしておらず、症例Cはゼリーのみ経口摂取していた。訓練時にはthermal stimulationなどによって嚥下反射惹起したときに、電気刺激が生じるようにした。

表1 重度の摂食・嚥下障害患者症例

症例	年齢	性	疾患名	発症後期間
A	73	男	両側橋梗塞	4か月
B	68	男	脳梗塞(放線冠)	3.5か月
C	49	男	くも膜下出血	2年

なお、本研究の人体に関わる部分の全ては藤田保健衛生大学倫理委員会の承認を得て行った。

4. 研究成果

(1) 喉頭挙上と刺激強度

図2は健常人1名の嚥下反射時の喉頭の動きとPASシステム[®]における刺激電圧の変化である。喉頭挙上に伴い刺激が加わり、喉頭下降とともに刺激が終了していることがわかる。したがって、PAS システム[®]を用いて、嚥下反射時のみ電気刺激を与えることが可能であることがわかった。

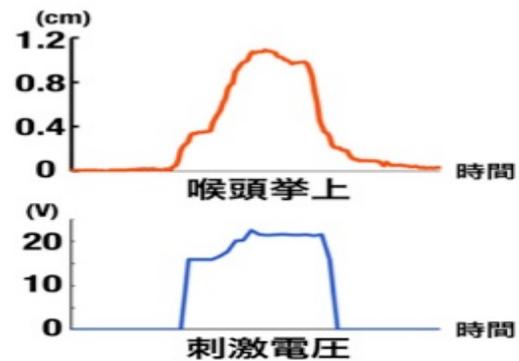


図2 喉頭挙上と刺激電圧

(2) 健常人における検討

嚥下時の喉頭挙上距離平均は液体3ml刺激なし、液体3ml刺激あり、液体10ml刺激なし、液体10ml刺激ありの順に 6.7 ± 3.0 mm, 8.8 ± 5.1 mm, 6.7 ± 3.3 mm, 10.0 ± 4.1 mm (平均値±標準偏差)であり、repeated measure ANOVAにより有意差がみられ、Tukey HSD法による多重比較では液体10ml刺激ありの場合に、液体3ml刺激なしと液体10ml刺激なしよりも有意に喉頭挙上距離が大きかった。また、咀嚼嚥下の場合には、喉頭挙上距離平均が刺激なしで 14.3 ± 5.3 mm、刺激ありで 21.3 ± 9.6 mm (平均値±標準偏差)とpaired-t検定で同じく刺激ありのときに有意に大きくなった。したがって、液体嚥下、咀嚼嚥下のいずれにおいても、随意運動介助型電気刺激法を利用したFESを用いることで、喉頭挙上距離を大きくできることが明らかになった。嚥下反射が生じている間のみ電気刺激を与えることができるようになり、摂食・嚥下障害に対するFESにおけるトリガーの問題を世界で初めて解決したことの意義は大きい。また、この方法では嚥下運動時のみ電気刺激が与えられるため、FESで常に問題となる筋疲労の問題がほぼ解決されるという利点もある。しかし、咀嚼を伴う嚥下では咀嚼と同時に舌骨上筋に筋活動が生じるため、今回は嚥下直前に被験者自身がハンドスイッチを押している。健常者であれば問題は少ないが、摂食・嚥下障害患者の場合はハンドスイッチを1回1回押すという動作が実用的でないことも多く、今後は咀嚼と嚥下における舌骨上筋の筋活動を区別して、咀嚼嚥下においてもハンドスイッチを使用せずにFESを行う手法の開発が望まれる。

(3) 摂食・嚥下障害患者における検討

摂食・嚥下障害の重症度を嚥下造影検査、

嚥下内視鏡検査などの結果を用いて、臨床的重症度分類(Dysphagia Severity Scale : DSS)で評価した。DSSは7段階の順序尺度であり、1が最重症、7が正常範囲を示す。表2にDSSの変化を示す。

表2 臨床的重症度分類(DSS)の変化

症例	訓練期間	DSS	
		訓練開始時	訓練終了時
A	4か月	2	4
B	3か月	2	2
C	9か月	2	2

症例AではDSSが訓練開始時の2(食物誤嚥)から訓練終了時の4(機会誤嚥)に改善したが、症例B、Cでは訓練開始時と訓練終了時でDSSが2(食物誤嚥)と変化がみられなかった。食事内容も症例Aは軟菜食を食べることが可能になったが、症例Bでは誤嚥のリスクが高く実用的な経口摂取まで至らなかった。症例Cでは訓練開始時と同様にゼリー摂取のみ可能であった。症例Aでは著明な改善を得たが、症例B、Cで明確な効果が得られなかった理由として、摂食・嚥下障害が重度であったため、FESにより喉頭挙上距離が改善したとしても、それだけでは誤嚥を防ぐには充分ではなかったことが考えられる。今後は、どのような摂食・嚥下障害患者に対して今回のFESが最も効果的であるかの検討が必要と考えられる。

以上から、われわれは世界で初めて摂食・嚥下障害に対するFESにおいて刺激のトリガーの問題を解決した。随意運動介助型電気刺激法によるFESの適応の詳細な決定が今後の検討課題である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計2件)

- ①Kagaya 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* 14: 278-283, 2011.
- ②加賀谷 斉. 電気刺激治療により嚥下障害が改善した患者. 出江紳一, 近藤健男, 瀬田 拓・編: 事例でわかる摂食・嚥下リハビリテーション. 現場力を高めるヒント, 中央法規, 2011. p.139-140

〔学会発表〕(計5件)

- ①加賀谷 斉, 柴田斉子, 太田喜久夫, 尾関恩, 石原 健, 鬼頭弘明, 村岡慶裕, 才藤栄一. 機能的電気刺激を用いた液体命令嚥下による喉頭挙上. 第49回日本リハビリテーション医学会, 福岡市, 2012.6.
- ②Kagaya H, Tanabe S, Sutoh T, Momota T, Muraoka Y, Inamoto Y, Shibata S, Ota K, Saitoh E. Kinematic analysis of laryngeal elevation with power-assisted functional electrical stimulation. 7th World Congress for NeuroRehabilitation, Melbourne, 2012.5.
- ③加賀谷 斉, 青柳陽一郎, 百田貴洋, 尾関恩, 小杉美智子, 小野木啓子, 柴田斉子, 太田喜久夫, 近藤和泉, 才藤栄一. 随意運動介助型電気刺激を用いた嚥下運動の解析. 第17,18回 日本摂食・嚥下リハビリテーション学会, 札幌市, 2012.8.
- ④加賀谷 斉, 柴田斉子, 太田喜久夫, 田辺茂雄, 尾崎健一, 村岡慶裕, 小野木啓子, 田中ともみ, 馬場 尊, 才藤栄一. 随意運動介助型電気刺激による喉頭の運動学的分析. 第48回日本リハビリテーション医学会学術大会, 千葉市, 2011.11.
- ⑤加賀谷 斉, 田辺茂雄, 首藤智一, 村岡慶裕, 才藤栄一. 機能的電気刺激を用いた喉頭挙上再建のための予備的検討. 第18回日本FES研究会学術講演会, 岡山市, 2011.11.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

加賀谷 斉 (KAGAYA HITOSHI)
藤田保健衛生大学・医学部・准教授
研究者番号: 40282181

(2) 研究分担者

田辺 茂雄 (TANABE SHIGEO)
藤田保健衛生大学・医療科学部・講師
研究者番号: 50398632
岡田 澄子 (OKADA SUMIKO)
藤田保健衛生大学・医療科学部・准教授
研究者番号: 10387673
才藤 栄一 (SAITOH EIICHI)
藤田保健衛生大学・医学部・教授
研究者番号: 50162186