

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 16 日現在

機関番号：34519

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2014

課題番号：25560271

研究課題名(和文) 頸部干渉波電気刺激の嚥下機能改善効果の検討

研究課題名(英文) Effects of interferential current stimulation on swallowing reflex in dysphagic patients

研究代表者

越久 仁敬 (OKU, Yoshitaka)

兵庫医科大学・医学部・教授

研究者番号：20252512

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：頸部干渉波刺激は健常者において嚥下回数を増加させる。本研究では、干渉波刺激が嚥下障害患者の嚥下機能を改善するか検討した。軽度～中等度の嚥下障害があり、明らかな認知障害を認めない12名の被検者に干渉波刺激を15分間行った。嚥下造影検査(VF)を刺激前、刺激中、および刺激終了10分後に行った。刺激中、舌骨の挙上開始から安静時に復帰するまでの時間は13例全例で短縮(刺激前 $1.37 \pm 0.31$  s、刺激後 $1.16 \pm 0.29$  s、 $p < 0.001$ )した。嚥下反射の惹起が遅延している患者3例ではいずれも反射惹起の改善を認めた。干渉波刺激は嚥下障害の治療への応用の可能性が示された。

研究成果の概要(英文)：We have previously shown that surface interferential current (IFC) stimulation at the sensory threshold significantly increases the number of swallows. In the present study, we evaluated the effects of IFC stimulation at the sensory threshold on the swallowing reflex of 12 dysphagic patients by videofluoroscopic (VFS) measurements. Each subject underwent three series of VFS examination, before, during, and after the IFC stimulation. We tested three food types, juice, jelly, and biscuits, however, only juice consistency resulted in significant changes in temporal measurements of VFS parameters before, during and after IFC stimulation. For juice consistency, IFC stimulation shortened the pharyngeal response duration (the duration from the hyoid bone beginning maximum elevation to its return to the resting position by 15%. No painful sensations were reported. We conclude that IFC stimulation has a potential to be an alternative mode of therapy for dysphagic patients.

研究分野：呼吸生理学

キーワード：嚥下障害 機能的電気刺激 干渉波刺激 嚥下造影検査

### 1. 研究開始当初の背景

嚥下反射の遅延は、誤嚥性肺炎の主要な危険因子である。しかし、嚥下反射を正常化する有効な治療法はまだ確立されていない。現在、嚥下障害治療に用いられている VitalStim<sup>®</sup>などの神経筋電気刺激法は、嚥下反射を改善するものではなく、嚥下に用いられる筋群(嚥下筋)に直接電気刺激を与え、舌骨や喉頭の挙上を増強させるものである。さらに、低周波(<120Hz)の筋肉が収縮する強度(運動閾値)以上の経皮的電気刺激(VitalStim<sup>®</sup>の場合、4.5 - 25mA)は、皮膚の痛みや筋収縮による強い不快感を伴うという問題点がある。

我々は、一連の動物実験(J. Physiol., 1993; Brain Res., 1993; J. Physiol., 1994)によって、上喉頭神経に対する電気刺激が脳幹の嚥下関連ニューロンを活性化させることによって嚥下反射を促進させることを見出していたので、運動閾値より低い刺激強度での電気刺激でも、感覚神経への刺激の上乗せ効果により嚥下反射を促進させることができるのではないかと考えた。さらに、皮膚の痛みは、低周波パルスが皮膚の侵害受容器(c-fiber)を活性化させるために生じるので、c-fiberを活性化させない数千Hzの中周波をベースとした干渉波を用いれば、皮膚の痛みを生じさせることなく上喉頭神経を低周波帯域で刺激することができるのではないかと考えた。

干渉波刺激は、2対の電極を用いてそれぞれの電極対により周波数のわずかに異なる中周波数領域の電気刺激を行い、深部に干渉による周波数差に等しい低周波のエンベロープを発生させる方法(図1)で、皮膚の痛みや不快感が少ない。この時、ベースとなる中周波の周波数をキャリア周波数、干渉波エンベロープの周波数をビート周波数という。

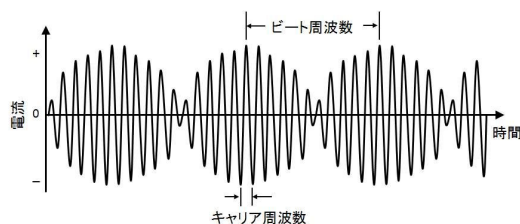


図1. 周波数の異なる交流電流を交差させると、周波数差に等しいエンベロープが生じる。例えば、2000Hzと2050Hzの交流電流を交差させて皮膚表面に流すと、深部に50Hzの低周波エンベロープ(干渉波)が生じる。

そこで、健常者に対して、被検者が刺激をかるうじて感じる強度(感覚閾値; 2 - 3mA)で頸部干渉波電気刺激を行ったところ、嚥下回数が増加することを見出した(Furuta et al., Dysphagia 27: 94-100, 2012)。

### 2. 研究の目的

本研究では、軽症～中等症の嚥下障害患者に対して、感覚閾値レベルの頸部干渉波電気刺激を行い、刺激前、刺激中および刺激後の嚥下機能を評価し、干渉波の短期(15分間)刺激の効果と刺激後効果を明らかにする。また、長期間反復刺激の安全性と効果を検討する。患者背景や嚥下障害の原因と刺激効果との関係を検討することにより、どのような患者に干渉波電気刺激が有効であるか適応を明らかにする。

### 3. 研究の方法

全ての試験において、干渉波刺激装置は、ビート周波数を50Hz、キャリア周波数を2000Hzに設定して刺激した。刺激電流値は、クランプ電流計(HIOKI 3283)で計測した。刺激強度は各被検者が刺激感を自覚しえた強度より一段階低い強度とした。ただし、刺激電流が3mAを越えても刺激感を自覚しえない被検者に対しては、刺激電流が3mAを越えない最大の電圧設定で刺激を行った。通電に対して感じたかどうか申告できないものは試験対象から除外した。電極は側頸部に図2のように装着した。

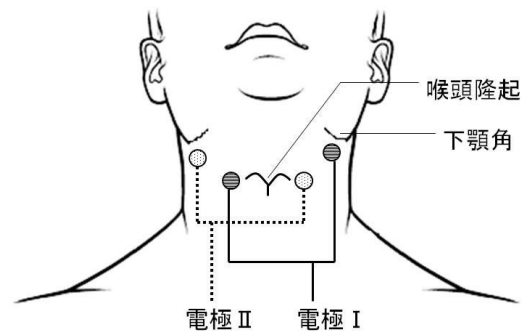


図2. 電極の貼り付け位置

#### (1) 嚥下造影検査による頸部干渉波電気刺激の嚥下機能改善効果の検討

軽度～中等度の嚥下障害(臨床的嚥下重症度分類3～6)があり、明らかな認知障害を認めない(MMSE22点以上)もの12名を対象とし、干渉波刺激を被検者の頸部に15分間行った。嚥下造影検査を刺激前、刺激中(刺激開始10分後)および刺激終了10分後に行った。姿勢条件は、車いす座位または椅子座位とした。

嚥下造影検査(VF; Video Fluoroscopy)造影剤はイオパミロン(オイパロミン370<sup>®</sup>)を2倍希釈して、ジュースと1.6%ゼリーを模擬食品として各2回ずつ食べさせた。評価は、時相解析および定性評価を2名の言語聴覚士が独立して行った。

(2) 単純二段階嚥下誘発テストによる干渉波電気刺激の嚥下機能改善効果の検討

軟菜食患者のうち、高度の認知障害を認めず (MMSE 10 点以上) 二段階嚥下誘発テストが異常であった (嚥下反射に 3 秒以上かかった) 者 10 名を対象とし、干渉波刺激を被検者の頸部に 15 分間行った。簡易二段階嚥下誘発試験を刺激前、刺激中 (刺激開始 10 分後) および刺激終了 10 分後に行った。姿勢条件は、臥位とした。

(3) 長期間反復刺激の安全性と効果の検討

嚥下障害患者 4 名に対して間接嚥下訓練に干渉波刺激を併用して連日 (18 回 ~ 60 回) 行い、VF における喉頭挙上遅延時間 (LEDT) で嚥下障害の改善度を評価した。

#### 4. 研究成果

(1) 嚥下造影検査による頸部干渉波電気刺激の嚥下機能改善効果の検討

VF データの時相解析を行ったところ、ジュース嚥下で舌骨の挙上開始から安静時に復帰するまでの時間 (PRD; pharyngeal response duration) は 13 例全例で短縮 (刺激前  $1.37 \pm 0.31$  s、刺激後  $1.16 \pm 0.29$  s、 $p < 0.001$ ) した (図 3)。

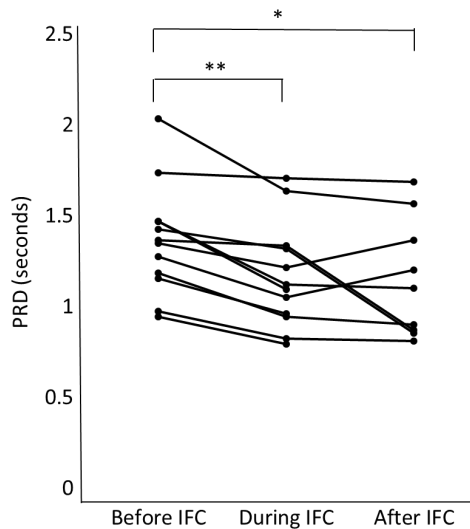


図 3 .干渉波電気刺激による PRD 短縮効果。ジュース嚥下。\*\* $p < 0.001$ , \* $p = 0.010$  Bonferroni 法で調整済み。Int. J. Speech Lang. Pathol. Audiol.より引用。

この PRD の短縮は、舌骨の前方および上方への移動量の変化を伴わなかった。また食塊が下顎枝を通過してから舌骨の挙上開始までの時間 (STD : Stage Transition Duration) には有意な差を認めなかったが、STD が 0.4s 以上遅延している 3 例ではいずれも STD の改善を認めた (図 4)。

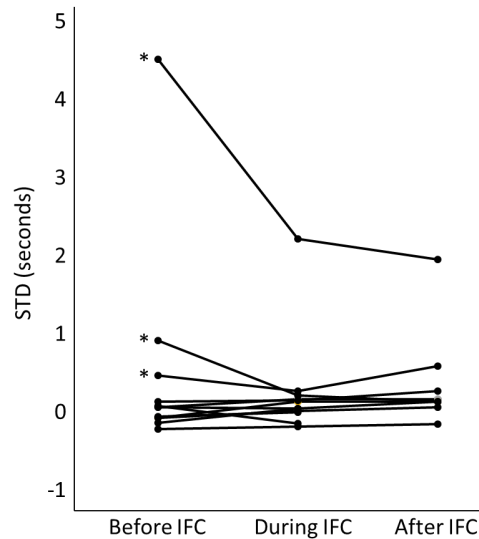


図 4 .干渉波電気刺激による PRD 短縮効果。ジュース嚥下。\*は STD が 0.4s 以上遅延している症例。Int. J. Speech Lang. Pathol. Audiol.より引用。

従って、嚥下反射惹起遅延を認める症例に対して、特に本法が有効である可能性が示唆された。ジュース嚥下における嚥下関連諸器官の動きのタイミングと持続時間を見てみると (図 5) 軟口蓋の挙上開始から元に戻るまでの時間も短縮しており、干渉波刺激によって嚥下反射が全体的に 15% 程度コンパクトになっていることが分かる。

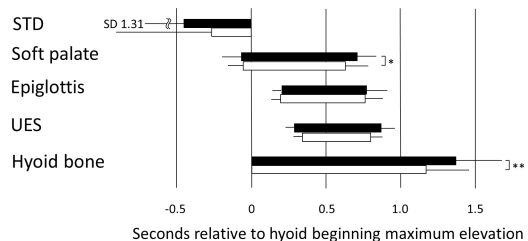


図 5 .干渉波電気刺激による嚥下関連諸器官のタイミングと持続時間の変化。\*\* $p < 0.001$ , \* $p = 0.035$  Bonferroni 法で調整済み。Int. J. Speech Lang. Pathol. Audiol.より引用改変。

(2) 単純二段階嚥下誘発テストによる干渉波電気刺激の嚥下機能改善効果の検討  
生理食塩水 0.4ml 注入時の嚥下誘発潜時は、10 名中 5 名で改善、3 名で不変、2 名で悪化した (Wilcoxon's signed test,  $p = 0.45$ )。

(3) 長期間反復刺激の安全性と効果の検討  
いずれの症例でも LEDT で評価した嚥下反射惹起性の改善を認めた。刺激強度を感覚閾値レベルとすることで被験者の不快感は問題とならず、耐容性は良好であった。

#### (4) 本研究の意義

本研究によって、感覚閾値レベル (<3mA) の頸部干渉波刺激は、不快感を与えることなく、短時間刺激では PRD の短縮と、症例によっては STD の短縮という形で、長期的には LEDT の改善という形で、嚥下障害患者の嚥下機能を改善することが示された。

現在、誤嚥性肺炎の予防は、口腔ケアと嚥下リハビリテーションを中心に集学的に行われている。これらの療法は一定の効果を挙げているが、65 歳以上の約 1/3、1000 万人が嚥下障害を自覚している (Roy et al., Ann Otol Rhinol Laryngol 116: 858-65, 2007) ことを考えると、言語聴覚士や理学療法士が在宅を含む全ての患者をカバーすることは不可能である。今後、症例を積み重ねて、頸部干渉波刺激の安全性と有効性をさらに確認することができれば、患者にやさしいだけでなく、医療者側の負担も軽減するような、介護療養施設や在宅でも安全に行える嚥下機能改善法となりえ、社会福祉に大きく貢献すると考える。

脳梗塞患者の多くは嚥下障害を発症するが、嚥下障害の回復と共に健側の大脳皮質嚥下関連領域の拡大を認める。また、健常者の咽頭の感覚神経を 10 分間刺激した場合には、少なくとも刺激後 30 分間は皮質運動野の嚥下関連領域が拡大することが示されている

(Hamdy et al., Nat Neurosci, 1: 64-68, 1998)。従って、頸部の干渉波電気刺激を継続的に行うことによって、運動野の嚥下関連領域の神経活動の活性化ならびに新たな神経回路の形成が促され、嚥下機能が回復する可能性も考えられる。

#### 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 1 件)

Sugishita S, Imai T, Matsui T, Daimon T, Nozaki S, Yoshikawa H, Oku Y. Effects of Short Term Interferential Current Stimulation on Swallowing Reflex in Dysphagic Patients. Int. J. Speech Lang. Pathol. Audiol. 査読有 3(1):1-8, 2015. DOI: 10.12970/2311-1917.2015.03.01.

〔学会発表〕(計 3 件)

越久 仁敬．誤嚥性肺炎予防に役立つ呼吸と嚥下の生理学．第 55 回日本呼吸器学会学術講演会 2015.4.17-19 東京国際フォーラム (東京都、東京)

越久 仁敬，杉下 周平，今井 教仁，松井 利浩，大門 貴志，野崎 園子，芳川 浩男．嚥下障害患者に対する短時間頸部干渉波電気刺激の嚥下機能に及ぼす効果．第 38 回日本嚥下医学会学術講演会 2015.2.6-7 コラッセ福島 (福島県、福島市)

渡邊育美，和座雅浩，安藤弘道，磯野倫夫，越久 仁敬．脳梗塞後嚥下障害に対する干渉波電気刺激の咽頭期改善効果：1 例報告．第 38 回日本嚥下医学会学術講演会 2015.2.6-7 コラッセ福島 (福島県、福島市)

〔産業財産権〕  
出願状況 (計 3 件)

名称：嚥下補助装置  
発明者：越久仁敬  
権利者：兵庫医科大学  
種類：特許  
番号：PCT/JP2013/072452  
出願年月日：平成 25 年 8 月 22 日  
国内外の別： 国外

名称：嚥下活動モニタリング装置  
発明者：越久仁敬，尾家慶彦  
権利者：兵庫医科大学  
種類：特許  
番号：PCT/JP2014/062239  
出願年月日：平成 26 年 5 月 7 日  
国内外の別： 国外

名称：ファジィ推論を用いた嚥下検出方法、嚥下モニタリングシステム及び嚥下機能評価方法  
発明者：八木直美，越久仁敬，上野博司  
権利者：兵庫医科大学、京都大学、株式会社ジェイクラフト  
種類：特許  
番号：特願 2014-157803  
出願年月日：平成 26 年 8 月 1 日  
国内外の別： 国内

〔その他〕  
ホームページ等  
<http://www.hyo-med.ac.jp/department/phs1>

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

越久 仁敬 (OKU, Yoshitaka)  
兵庫医科大学・医学部・教授  
研究者番号：20252512

##### (2) 連携研究者

野崎 園子 (NOZAKI, Sonoko)  
兵庫医療大学・医療福祉学部・教授  
研究者番号：50463477

尾家 慶彦 (OKE, Yoshihiko)  
兵庫医科大学・医学部・助教  
研究者番号：50396470

大門 貴志 (DAIMON, Takashi)  
兵庫医科大学・医学部・准教授  
研究者番号：40372156