

嚥下運動の時系列的解析の試み —表面筋電図、喉頭運動、呼吸軌跡を用いて—

横井輝夫 平上二九三 加藤 浩

A Time Series Analysis of Swallowing Movement in Trial
—By Means of Surface Electromyogram, Laryngeal Movement, & Respirogram—

Teruo YOKOI, Fukumi HIRAGAMI, Hiroshi KATO

要 旨

目的は嚥下障害を有する者に対する摂食姿勢、介助方法、運動療法の評価に有効な非侵襲的で日常的に使用できる時系列なパラメータを抽出することである。そのために、表面筋電図（口輪筋、咬筋、舌骨上筋群の筋活動）、喉頭運動、呼吸軌跡を同時記録して嚥下動態を評価するシステムを開発した。本システムを使用して同一被験者で10mlの水を嚥下した際の典型例と特異例を紹介し、今後の課題を示した。典型例では、口輪筋、咬筋、舌骨上筋群の順で筋活動が開始し、舌骨上筋群の活動の直後に嚥下性無呼吸が生じた。そして、舌骨上筋群の活動とほぼ同期して一峰性の喉頭運動が開始された。一方、特異例では、筋活動の順序性は同様であるが、嚥下性無呼吸の開始が不明瞭で、舌骨上筋群の活動前に二峰性の喉頭運動が生じた。また、筋活動や喉頭運動の持続時間は典型例においてもばらつきがあるように思えた。今後、条件設定などを充分検討し、再現性の高い方法を求めていく。

キーワード：嚥下障害、嚥下運動、表面筋電図、喉頭運動、呼吸軌跡

key words : dysphagia, swallowing movement, surface electromyogram, laryngeal movement, respirogram

はじめに

正常な嚥下運動は、呼吸も含めた多数の筋がタイミングよく働く協調運動により成立している¹⁾。嚥下障害の評価は嚥下造影検査を用いて、誤嚥の有無や嚥下諸器官の解剖学的構造と動き、および食塊の動き²⁾を観察することが golden standard である。しかし、それだけでは嚥下障害へのアプローチの方法は充分にはみえてこない。すなわち、嚥下諸器官の動きや食塊の動きは結果であり、その結果を規定している筋の協調運動を評価してはじめて、嚥下障害へのアプローチの方法がみえてくる。言い換えれば、摂食姿勢、介助方法、様々な摂食訓練、および運動療法などの適切性の判断には、筋の協調運動を時系列的に評価し、嚥下造影検査や内視鏡検査を用いて、その結果を確認するこ

とが必要である。このような筋の協調運動の評価は、できるかぎり臨床の中で頻回に使用できる非侵襲的な方法が求められる。

そこで、我々は嚥下運動を非侵襲的な方法で時系列的に観察するために、表面筋電図、圧電センサー、温度センサーを組み合わせたシステムを開発した。表面筋電図では、口腔内の食物がこぼれないように口唇を閉じさせる口輪筋、下顎を固定させる咬筋、嚥下反射の開始の指標としてしばしば用いられる舌骨や喉頭を挙上させる舌骨上筋群の筋活動を測定した。圧電センサーでは、舌骨上筋群と同様に、嚥下反射の開始の指標として喉頭運動を測定した。嚥下運動は、随意運動から開始され、不随運動である嚥下反射に移行するが、その移行の瞬間を正確には同定できないために、

舌骨上筋群と喉頭運動の両者を測定した。さらに、呼吸軌跡と嚥下性無呼吸を評価するための温度センサーを組み合わせた。

今回は本システムを紹介し、今後の課題を示した。

研究背景

摂食に伴う筋活動の協調性を時系列に評価するためには、運動の進行状態を示す“期”(stage)と食塊の移動状態を示す“相”(phase)に分けて³⁾とらえると理解しやすい。摂食は、認知期、準備期、口腔期、咽頭期、食道期の5期(stage)と口腔相、咽頭相、食道相の3相(phase)に分けられる。この関係からみれば、誤嚥は食塊の流入に対して嚥下運動の発現が遅れる相と期のタイミングがずれる場合、嚥下運動の出力機構に障害がある場合、および嚥下運動自体が生じない場合に分けられる⁴⁾。嚥下障害の原因として多い脳卒中に伴う仮性球麻痺では、食塊が咽頭に流入しているにも関わらず、口腔や咽頭の感覚が低下しているために、嚥下反射の誘発が遅れる⁵⁾、相と期のタイミングのずれにより誤嚥が生じることがよく観察される⁶⁾。

摂食の5期の内、嚥下運動は口腔期、咽頭期、食道期の3期で生じ、随意運動である口腔期から始まり嚥下反射である咽頭期の終了までは1秒から1.5秒、その内嚥下反射は健常成人ではわずか0.4秒から0.7秒で行われている⁷⁾。このような0.1秒単位の嚥下運動について、DotyとBosma⁸⁾が、経皮的に電極を挿入し、動物で嚥下に関わる多数の筋活動のタイミングと順序性、および筋活動持続時間を詳細に報告している。

しかし、人に適応する場合は、非侵襲的な方法で0.1秒単位の変化をとらえることが求められる。近年、健常者を対象に表面筋電図など非侵襲的な方法で正常な嚥下運動を時系列的にとらえる試みがなされてきている。

舌骨上筋群の表面筋電図の活動を嚥下開始の指標としてDingら⁹⁾が、若年者と高齢者と比較をし、高齢者では嚥下開始のタイミングが遅れることを報告している。Vaimanら¹⁰⁾も、唾液嚥下時、水分嚥下時の咬筋や舌骨上筋群などの筋活動を年齢別に3群に分け、70歳以上の高齢群で筋活動の持続時間が延長したと述べ

ている。さらにVaimanら¹¹⁾は、4歳から12歳までの子どもでは、成長と共に嚥下に伴う筋活動の持続時間が短くなることを報告している。

表面筋電図と喉頭運動を用いた嚥下運動の時系列的研究としては、Dingら¹²⁾が舌骨上筋群の活動開始と喉頭挙上の開始の時間差は0.1秒以内であり、舌骨上筋群の活動停止から喉頭の下位での停止までは0.24秒以内であること、および口輪筋、咬筋、舌骨上筋群、舌骨下筋群の収縮と弛緩の順序性を示している。

鎌倉ら¹³⁾¹⁴⁾は、舌骨上筋群の表面筋電図と呼吸軌跡を時系列的に評価して、加齢に伴う呼吸周期の変化、および水分量やその温度が呼吸周期に与える影響について報告している。

林ら¹⁵⁾においては、適切な嚥下食の根拠を示すために、舌骨上筋群の表面筋電図と喉頭運動、さらに嚥下音を用いて、嚥下運動の時系列的变化を詳細に検討している。

また、表面筋電図や喉頭運動などを用いて、疾患の特徴を検討している報告もみられる。Ertekinら¹⁶⁾は、重症筋無力症、筋萎縮性側索硬化症、仮性球麻痺、パーキンソン病などの神経疾患の嚥下障害は、その特徴から3群に分類でき、表面筋電図や喉頭運動の評価は診断に有用であると述べている。さらに、Ertekinら¹⁷⁾は、多発性筋炎の患者では嚥下反射の開始は正常であるが、咽頭期が延長していると述べている。Potulskaら¹⁸⁾は、パーキンソン病患者の嚥下運動について、嚥下反射の開始の遅延と喉頭挙上の持続時間の延長を報告している。

このように非侵襲的な方法を用いて、1秒程度で終了する口腔期から咽頭期までの嚥下運動を時系列的に評価し、加齢の影響や疾患の特徴、および食形態の選定などに応用する試みがなされている。しかし、表面筋電図を用いて、摂食時の適切な頸部角度を求めようとする試みはわずかにみられる¹⁹⁾が、頸部角度も含めた摂食姿勢、介助方法、および運動療法の評価について、非侵襲的な方法を用いた時系列的な研究はほとんどみられない。

目的

嚥下障害を有する者に対する摂食姿勢、介助方法、

および運動療法の評価に有効な、非侵襲的で日常的に使用できるパラメータを抽出すること。

対象と方法

被験者は、研究に同意が得られた学生1名。

システム（図1）は、口輪筋、咬筋、舌骨上筋群の筋活動を測定する無線式表面筋電図 Telemetry2400T（Noraxon 社製）、喉頭運動を測定する圧電センサーピエゾフィルム（東京センサ製）、呼吸軌跡を測定する鼻孔に取り付けられた disposable airflow センサー（Dymedix 社製）から構成されている。尚、圧電センサーピエゾフィルムと disposable airflow センサーは筋電図アンプと同期させている。

測定手順は、鎌倉らの方法¹³⁾を参考にした。被験者は椅座位の姿勢をとり、10mlの水を含み、測定者がディスプレイ上の呼吸軌跡と筋電図が安定したことを確認した後、自由に嚥下するように依頼した。

結果

典型例を図2に特異例を図3に示した。

典型例では、筋活動の開始の順序性は口輪筋、咬



図1 システム

筋、舌骨上筋群の順であった。呼吸軌跡からみられる嚥下性無呼吸は、呼気に後続し、舌骨上筋群の活動の開始直後にみられた。喉頭運動は、舌骨上筋群の活動開始とほぼ同期し、はじめは緩やかに立ち上がり、その後急激に上昇していた。また、口輪筋、咬筋、舌骨上筋群の筋活動の持続時間、および喉頭運動の持続時間は典型例においてもばらつきがみられた。

一方、特異例では、筋活動の開始の順序性は典型例と一致していたが、嚥下性無呼吸の時期が不明瞭であり、喉頭運動の開始が舌骨上筋群の活動に先行し、かつ2峰性であった。

考察

正常な嚥下運動は、口腔内の食物を口腔外にこぼれないように口唇を閉じ、上下顎の歯をしっかりと噛み合わせて下顎を固定させ、オトガイに向かって舌骨上筋

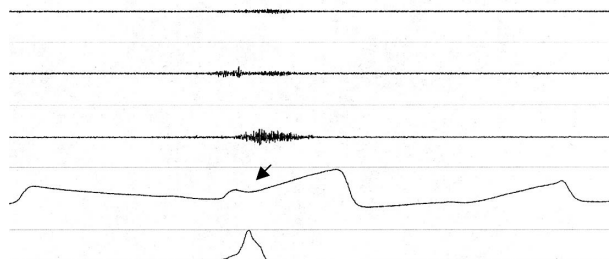


図2 咬筋、口輪筋、舌骨上筋群、呼吸軌跡、喉頭挙上の同時記録の典型的データ例

（注）上から1段目：咬筋、2段目：口輪筋、3段目：舌骨上筋群、4段目：呼吸軌跡（上方への曲線は呼気を、下方への曲線は吸気を表し、矢印は嚥下性無呼吸を示す）、5段目：喉頭挙上

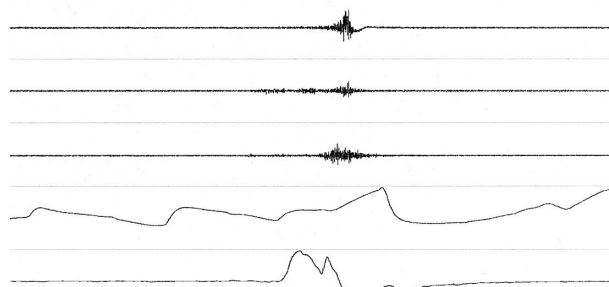


図3 咬筋、口輪筋、舌骨上筋群、呼吸軌跡、喉頭挙上の同時記録の特異なデータ例

（注）上から1段目：咬筋、2段目：口輪筋、3段目：舌骨上筋群、4段目：呼吸軌跡（上方への曲線は呼気を、下方への曲線は吸気を表す）5段目：喉頭挙上

群が収縮する⁷⁾。今回の口輪筋、咬筋、舌骨上筋群の筋活動の順序性は、Ding ら¹²⁾の報告とも一致しており、正常な嚥下運動を表面筋電図上で示したものと見える。

嚥下性無呼吸に関しては、典型例では呼気に後続き、舌骨上筋群の活動直後に見られたことは、鎌倉らの結果¹³⁾¹⁴⁾と同様であった。しかし、特異例では嚥下性無呼吸の開始が不明瞭であった。

喉頭運動に関しては、典型例では舌骨上筋群の活動と喉頭挙上はほぼ同期しており、Ding ら¹²⁾の報告と同様であるが、特異例では喉頭挙上は舌骨上筋群の活動に先行していた。

筋活動の持続時間に関しては、典型例においてもばらつきがみられた。今回測定した3筋の内、少なくとも口輪筋と咬筋は、随意運動の影響を受けるために、筋活動の持続時間にばらつきが生じたと考えられる。また、嚥下反射開始後の口輪筋、咬筋、および舌骨上筋群の筋活動や喉頭運動の持続時間に関しては、嚥下反射の開始時期の問題もあり今後の検討課題である。

現状では、同一被験者での測定において、筋活動や喉頭運動の開始時期、および持続時間にばらつきがみられる。これらが測定条件の設定によるものか、試行を複数回繰り返すことに伴うものかなど不明な点が残されている。

今後、測定条件などを充分検討し、再現性の高い方法を求めていく。そして、各筋の筋活動や喉頭運動、および嚥下性無呼吸の開始のタイミングや持続時間などから摂食姿勢、介助方法、運動療法の評価に有効なパラメータを求め、嚥下造影検査との関連を比較検討していく。

Abstract

The purpose of this trial is to obtain some time-series parameters useful for evaluations of ingesting postures, assisting methods and exercise therapies in the patients with dysphagia, being noninvasive and ordinarily usable. A system then was developed for evaluation of the swallowing movement by the simultaneous recording of surface electromyograms (activities of orbicularis oris, masseter, and suprahyoid muscles), laryngeal movements

and respirograms. Upon application of this system to the same subject a typical example and a specific example were introduced when 10 ml of water was swallowed to see future problems causable. In the typical example, the muscular activity started in the order of the orbicularis oris, masseter and suprahyoid muscles, and deglutition apnea was noted immediately after movement of the suprahyoid muscles. A single peak laryngeal movement was nearly synchronized with the movement of suprahyoid muscles. On the other hand in the specific example, although the muscular movement was noted in the same order, the start of deglutition apnea was indistinct, showing a double-peak laryngeal movement before movement of the suprahyoid muscles. Duration of muscular and laryngeal movements seemed to vary also in the typical examples. In the future conditions should be set after sufficient studies to find out a method with the higher reproducibility.

文 献

- 1) 横山正人 (1998) 摂食・嚥下療法における検査—その他の検査—. 摂食・嚥下リハビリテーション 才藤栄一 藤島一郎 向井美恵 編 医歯薬出版 東京 p113
- 2) 藤島一郎 稲田晴生 (1998) 摂食・嚥下療法における検査—VF検査所見と解釈—. 摂食・嚥下リハビリテーション 才藤栄一 藤島一郎 向井美恵編 医歯薬出版 東京 p96-104
- 3) 藤谷順子 (2001) 用語. よくわかる嚥下障害 藤島一郎 編 永井書店 大阪 p242-247
- 4) 大前由紀雄 (2001) 評価と診断. よくわかる嚥下障害 藤島一郎 編 永井書店 大阪 p86-113
- 5) 藤 雄一 (1982) 脳血管障害症例の嚥下動態—X線透視と筋電図の同時記録による研究. 耳鼻 28: 1126-1160
- 6) 藤島一郎 (1998) 脳卒中の摂食・嚥下障害 第2版. 医歯薬出版 東京
- 7) 山田好秋 (1999) よくわかる摂食・嚥下のしくみ. 医歯薬出版 東京
- 8) Doty RW, Bosma JF (1956) An electromyographic

- analysis of reflex deglutition. *J Neurophysiol* 19(1): 44-60
- 9) Ding R, Logemann JA, Larson CR et al (2003) The effects of taste and consistency on swallow physiology in younger and older healthy individuals: a surface electromyographic study. *J speech, language and hearing research* 46: 977-989
- 10) Vaiman M, Eviatar E, Segal S (2004) Evaluation of normal deglutition with the help of rectified surface electromyography records. *Dysphagia* 19: 125-132
- 11) Vaiman M, Segal S, Eviatar E (2004) Surface electromyographic studies of swallowing in normal children, age 4-12 years. *International journal of pediatric otorhinolaryngology* 68: 65-73
- 12) Ding R, Larson CR, Logemann JA et al (2001) Surface electromyographic and electroglottographic studies in normal subjects under two swallow conditions: normal and during the mendelsohn maneuver. *Dysphagia* 17: 1-12
- 13) 鎌倉やよい 杉本助男 深田順子 (1998) 加齢に伴う嚥下時の呼吸の変化. *日摂食嚥下リハ会誌* 2: 13-22
- 14) 鎌倉やよい 深田順子 杉本助男 (2000) 嚥下と呼吸の協調への量と温度の影響. *日摂食嚥下リハ会誌* 4(2): 38-46
- 15) 林 豊彦 金子裕史 秋田好秋 他 (2002) お粥の性状と嚥下動態の関係-喉頭運動・筋電図・嚥下音の同時計測による評価-. *日摂食嚥下リハ会誌* 6(2): 73-91
- 16) Ertekin C, Aydogdu I, Yuceyar N et al (1998) Electrodiagnostic methods for neurogenic dysphagia. *Electroencephalography and clinical Neurophysiology* 109: 331-340
- 17) Ertekin C, Secil Y, Yuceyar N et al (2004) Oropharyngeal dysphagia in polymyositis / dermatomyositis. *Clinical neurology and neurosurgery* 107: 32-37
- 18) Potulska A, Friedman A, Krolicki L et al (2003) Swallowing disorders in parkinson's disease 9: 349-353
- 19) 真寿田三葉 宮崎泰 伊藤直栄 他 (2001) 嚥下時の舌骨上筋の活動に頸部のポジションが与える影響. *茨城県立病院医学雑誌* 19(1): 33-38