

原著論文

咽頭への溶液刺激が嚥下時喉頭運動と 舌骨上筋群筋活動に与える影響

本間正寿¹⁾, 林 豊彦^{1,2)}, 井上 誠³⁾, 道見 登⁴⁾

¹⁾ 新潟大学大学院自然科学研究科電気情報工学専攻

²⁾ 新潟大学工学部福祉人間工学科

³⁾ 新潟大学大学院医歯学総合研究科摂食嚥下リハビリテーション学分野

⁴⁾ 新潟医療センター歯科

[受付：平成27年3月27日]

Effect of pharyngeal liquid application on laryngeal movement and suprahyoid muscle activity during swallowing

Masatoshi Homma¹⁾, Toyohiko Hayashi^{1,2)}, Makoto Inoue³⁾, Noboru Michimi⁴⁾

¹⁾ Department of Electrical and Information Engineering, Graduate School of
Science and Technology, Niigata University

²⁾ Department of Biocybernetics, Faculty of Engineering, Niigata University

³⁾ Division of Dysphagia Rehabilitation, Niigata University Graduate School of
Medical and Dental Sciences

⁴⁾ Dentistry, Niigata Medical Center

[Received: March 27, 2015]

Key words: Voluntary swallow, Involuntary swallow, Laryngeal movement

Abstract: In order to clarify mechanisms of swallowing initiation and patterns of swallowing motor sequence, numerous physiological studies have been done over the decades. In human studies, electromyographic and kinesiological recordings of related muscles/organs are commonly employed. The present study aimed at analyzing the effects of liquid stimulation applied to the pharynx on swallowing behaviors by means of simultaneous measurement of laryngeal movement and electromyogram of suprahyoid muscles. Both voluntary and involuntary swallowings were recorded during pharyngeal liquid stimulation using distilled water or 0.3 M NaCl solution in ten healthy volunteers. During voluntary swallow, we found the difference in the the first phase of laryngeal elevation between the liquids, in that the time duration of the first phase was shorter in swallowing of distilled water than that of NaCl solution. Between voluntary and involuntary swallows, the time duration of the first phase was longer while that of the second phase was shorter in voluntary swallow. The results suggest that the first phase of laryngeal

elevation may represent effort of elevation of hyolaryngeal complex to initiate pharyngeal swallowing while the second phase may represent transition from voluntary component of movement to reflexively evoked movement.

抄録 これまで嚥下誘発のメカニズムや嚥下運動関連筋活動のパターンを解明するために、さまざまな生理学的研究が行われてきた。そこでは、舌骨上筋・下筋群などの嚥下関連筋の筋電図、喉頭や舌などの運動などが評価対象となっているが、これらを同時に記録した例は少なく、さらに嚥下誘発条件の違いがもたらす効果についてはいまだに明らかにされていない。そこで本研究では、喉頭運動と舌骨上筋群筋電図の同時測定により、咽頭への溶液刺激が嚥下動態に与える影響について解析することを目的とした。健常成人10名を対象に、蒸留水もしくは0.3 M NaCl 溶液による咽頭刺激時の随意性嚥下運動および反射性嚥下運動を記録し、各溶液間における随意性嚥下の比較および随意性嚥下と反射性嚥下の比較を行った。随意性嚥下時の溶液間の比較では、喉頭運動の挙上第1相のみに有意な変化がみられた。一方、随意性嚥下と反射性嚥下の比較では、反射性嚥下に比べて随意性嚥下で挙上第1相が延長し、第2相が短縮していた。第1相の延長は、嚥下反射の準備として舌骨を引き上げを示し、第2相の短縮は、その準備により随意性運動から反射性運動への移行が円滑になっていること示すと考えられる。

キーワード：随意性嚥下、反射性嚥下、喉頭運動

I. 緒言

消化管活動としての嚥下は、口腔内の食塊を胃にまで移送することを含んでいる。この運動は随意性と反射性の運動が組み合わさった半自働運動である^{1,2)}。随意性嚥下の誘発には大脳皮質の咀嚼野、一次運動野、島皮質などの多くの部位が関わる一方で、反射性嚥下の誘発に関しては咽喉頭への機械刺激や化学刺激が有効であるとされる²⁾。しかし、いずれの嚥下運動誘発に関してもその詳細なメカニズムについては明らかにされていない。

近年、嚥下誘発のメカニズムを解明するための一端として、咽頭への水刺激や電気刺激などの手法を用いた生理学的研究が行われてきた^{3,4)}。Nakamuraらは、咽頭に蒸留水もしくはNaCl溶液を用いた溶液刺激を与えた際の随意性嚥下運動パターンについて舌骨上筋群の表面筋電図を用いて調査した⁵⁾。その結果、蒸留水嚥下時に比べてNaCl溶液嚥下時には、筋活動時間が有意に延長することを明らかにした。しかし、表面筋電図のみでは顎、舌、咽頭、喉頭などを含めたいずれの筋がどのように関わったかについては評価が難しい。

臨床的には、嚥下機能評価のために嚥下造影検査 (Videofluorography, VF) や嚥下内視鏡検査 (Videoendoscopy, VE) が用いられる。VFでは、被験者に造影剤を含む食品を摂取してもらい、その際の嚥下諸器官の運動と食塊の動きを可視化している。しかし、VFではエックス線被曝という問題がある。一方VEで

は、経鼻的に挿入したファイバーを介して咽喉頭を直接観察できる。しかし、ファイバー挿入は鼻腔感覚に違和感を生じさせること、術者の技術がもとめられること、咽喉頭以外の観察ができないことなどが問題となる。そこで我々は、嚥下動態を非侵襲的に評価するため、圧力センサないし反射型フォトセンサを用いた嚥下機能評価システム SFN/3A を開発してきた⁶⁻⁸⁾。本システムは、嚥下諸器官のひとつである喉頭の上下運動と舌骨上筋群筋電図を同時計測することができる。これまで本システムを用いて、ビールののど越しや錠剤の飲み込みやすさの評価^{9,10)}、さらに喉頭運動の視覚バイオフィードバックを用いた嚥下リハビリテーション支援システムへの応用とその効果検証^{11,12)} などを行ってきた。本研究では、Nakamuraらの実験系⁵⁾ に本システムを組み込み、咽頭への溶液刺激が随意性嚥下に与える影響および随意性嚥下と反射性嚥下の違いについて筋電図と喉頭運動の両面から詳しく解析することを目的とした。

II. 研究方法

1. 被験者

被験者は、摂食・嚥下機能に臨床的な異常を認めない健常成人男性10名 (24.1 ± 2.73歳) とした。実験は、被験者に内容を十分に説明し同意を得た上で行った。本研究は新潟大学歯学部倫理委員会による承認 (管理番号: 25-R27-10-24) を受けて実施した。

2. 刺激溶液

咽頭への刺激溶液は、蒸留水と0.3 MのNaCl溶液の2つを選択した。両溶液の温度は、室温と同程度の20-25℃とした。

3. 嚥下機能評価システム SFN/3A

本システムは、喉頭運動測定器と筋電計から構成されており、喉頭運動と舌骨上筋群筋電図を同時に計測する^{7,8)}。はじめに喉頭運動測定器について述べる。本装置は、12個の反射型フォトセンサ列を用いて、前頸部正中矢状面の皮膚面形状を測定・表示する装置で、検出部と分析部から構成される。検出部は反射型フォトセンサ（超薄型フォトリフレクタ, NJL5165K, 新日本無線）とコントロール回路から構成される。ここで反射型フォトセンサとは、発光ダイオードとフォトダイオードの対からなる素子である。コントロール回路は、発光ダイオードを駆動するパルス発振器とフォトダイオードの出力電圧を検出する電圧検出回路からなる。分析部は、A/D変換器（CBI-360116, インターフェース）とパーソナルコンピュータ（CF-T4, Panasonic）から構成される。検出部の出力電圧は、A/D変換器を介してパーソナルコンピュータに取り込まれる。筋電計には多チャンネルテレメータシステム（WEB-1000, 日本光電）を用いた。表面電極は双極アクティブ電極（ZB-100H, 日本光電）とし、左側舌骨上筋群相当部の皮膚面に貼付した。筋電計の出力電圧は、A/Dコンバータ（PowerLab, ADInstruments）を介してサンプルレート1 kHzにてパーソナルコンピュータ（CC-700H, DELL）に取り込まれた。

次に、皮膚面形状の計測原理について述べる。検出部の発光ダイオードで皮膚面に近赤外光を照射し、その反射光をフォトダイオードで検出する。反射型フォトセンサの距離/出力特性をあらかじめ求めておけば、センサの出力電圧から皮膚面との距離を推定できる⁷⁾。相互の影響を防ぐために12個のセンサ列を時分割で駆動し、その出力電圧から前頸部正中矢状面の皮膚面形状点を推定する。センサ部の安定性を確保し、かつセンサ部が皮膚に触れて喉頭運動を妨害することを防ぐため、センサ列を挟むようにウレタンフォームを貼付した（図1）。前頸部への固定には両面テープとマジックテープを用い、連続した嚥下でも固定位置がずれないようにした。図1に、測定した正中矢状面の皮膚面形状を示す。この曲線は、12個のセンサから得られたデータ点をカーディナル・スプライン補間して得られたものである。

最後に、甲状軟骨位置の決定法およびトラッキング法

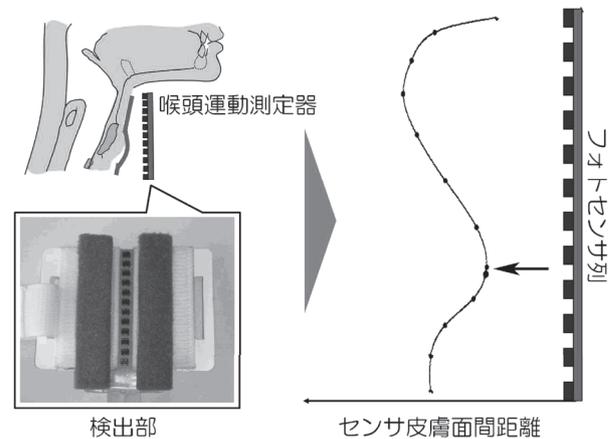


図1 喉頭運動測定器と前頸部皮膚面形状波形
矢印は喉頭のピーク位置である甲状軟骨位置を示す。

Fig. 1 Larynx-elevation measurement device and a measured sagittal contour of the anterior neck.
Arrow indicates peak position of larynx.

について述べる。図1に示すように、スプライン補間された形状には喉頭位置のピークが現れる。このピーク位置を以後「甲状軟骨位置」と呼ぶことにする。初期の安静時の表示データにおいて甲状軟骨位置を手動で決定し、その位置を基準にして、次のサンプル時刻における甲状軟骨位置の探索範囲を設定する。すなわち、任意の時刻における甲状軟骨位置は、ひとつ前の時刻で決めた範囲内において探索する。まずその範囲内で形状データの極値を求め、各極値を与える点群を甲状軟骨位置の候補点とする。次に範囲内の時系列データに最小二乗法で直線を当てはめる。その直線と各候補点との距離を求め、距離の最大値を与え、かつひとつ前の甲状軟骨位置に最も近い点を甲状軟骨位置とする。このようにして、甲状軟骨位置を自動トラッキングする。

4. 実験手順

被験者の姿勢は座位とし、カンベル平面が床とほぼ水平になるようヘッドレスト付チェアにて調整した。経鼻的に外形2.67 mmのシリコンチューブを挿入し、その先端が外鼻孔から120-130 mmの位置で中咽頭に来るようにした（図2）。

はじめに随意性嚥下を記録した。被験者には「合図後できるだけ速く嚥下を繰り返す」と教示し、嚥下回数が5回に達するまで続けさせた（1試行）。検者は測定開始から5秒後に合図を出し、それと同時に溶液の注入を

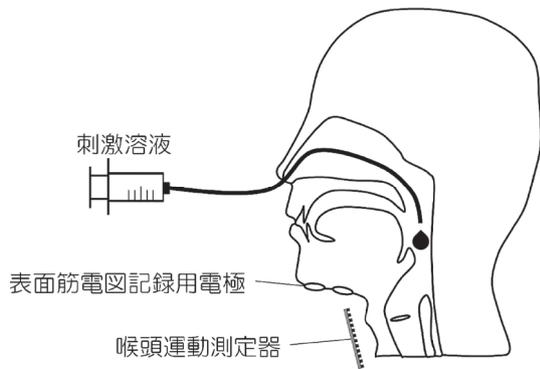


図2 実験模式図
Fig. 2 Experimental schema.

始めた。記録した嚥下運動は、溶液を注入しないときの嚥下運動（コントロール）、蒸留水もしくは0.3 M NaCl 溶液を0.2 mL/min で注入しているときの嚥下運動の3つとした。0.3 M NaCl 溶液は咽頭内の水受容器の興奮を最も効果的に抑制するとされている^{4,5)} ことから、随意性嚥下時に本溶液を咽頭へ微量注入することは、唾液などを含む咽頭への末梢刺激を最も抑えた随意性嚥下の記録を行うものとして設定した。各記録間には2分以上の休息を与えた。唾液による影響を避けるため、測定直前に唾液嚥下を1回行わせて、口腔内の唾液をできるだけ少なくした。

次に反射性嚥下を記録した。被験者には「嚥下したくなったら嚥下する」と教示し、嚥下回数が5回に達するまで続けさせた（1試行）。検者は測定開始から5秒後に合図を出し、それと同時に溶液の注入を始めた。記録した嚥下運動は、蒸留水を1.0 mL/min で注入しているときの嚥下運動とした。随意性嚥下記録時と同様に、測定直前に唾液嚥下を1回行わせた。

5. 分析法

評価パラメータは、図3に示す「立上がり・立下がり時間」「挙上第1相・第2相・第3相時間」の5つの時間とした。まず筋電波形を整流平滑化処理（20 Hz）し、開始から5秒間の波形の平均値と標準偏差（SD）を求め、「平均値+4×SD」を舌骨上筋群筋活動の閾値とした。立上がり・立下がり時間は、それぞれ「筋活動開始から筋活動のピークまでの時間」「筋活動のピークから筋活動終了までの時間」とした。挙上第1相・第2相・第3相時間は、それぞれ「筋活動開始から喉頭挙上開始までの時間」「喉頭の挙上開始から急速な挙上開始ま

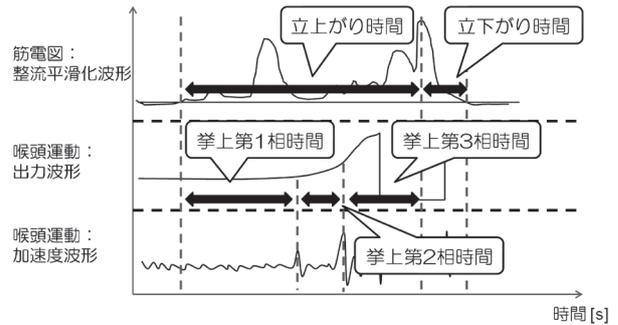


図3 嚥下動態の評価パラメータ
Fig. 3 Evaluation parameters for swallowing motion.

での時間」「喉頭の急速な挙上開始からピークまでの時間」とした。ここで、「喉頭挙上開始」は、喉頭運動波形が立上がる付近で、かつ加速度が最大になる時刻で定義し、「喉頭の急速な挙上開始」は、喉頭運動波形が急速に立上がる付近で、かつ加速度が最大になる時刻とした。

最後に、分析データおよび統計処理について述べる。本実験では、1試行で5回の嚥下を測定した。いずれの評価パラメータにおいても、5回の測定値の平均を個人の代表値とした。次いで全被験者10名の平均値を、溶液を使用しない場合と蒸留水および0.3 M NaCl 溶液を使用した場合との間で比較した。随意性嚥下における各溶液間の嚥下動態の比較には、対応のある1要因分散分析およびTukey法による多重比較検定を用いた。随意性嚥下と反射性嚥下との比較では対応のあるt検定を用いた。

Ⅲ. 結 果

1. 各溶液間における随意性嚥下の比較

図4に立上がり・立下がり時間の結果を示す。立上がり時間は、溶液なしで平均 1.46 ± 0.73 [s]、蒸留水で平均 1.04 ± 0.40 [s]、0.3 M NaCl 溶液で平均 1.61 ± 0.50 [s]であった。3条件間の比較では、溶液なし-蒸留水間 ($p < 0.05$)、蒸留水-0.3 M NaCl 溶液間 ($p < 0.01$) で有意差を認めた。一方、立下がり時間は、溶液なしで平均 0.44 ± 0.13 [s]、蒸留水で平均 0.43 ± 0.15 [s]、0.3 M NaCl 溶液で平均 0.50 ± 0.19 [s]であった。3条件間の比較では、すべてのデータ間に有意差はみられなかった。

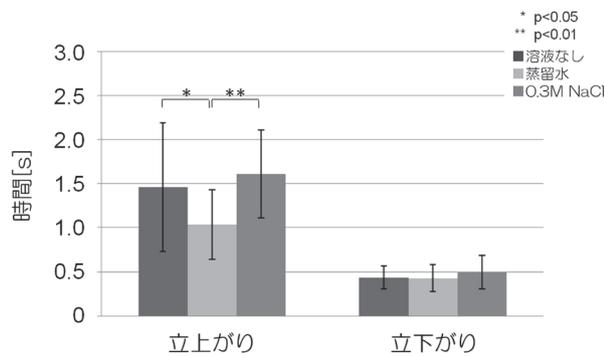


図4 随意性嚥下における立上がり・立下がり時間パラメータ

Fig. 4 Rising and falling time parameters in the voluntary swallowing.

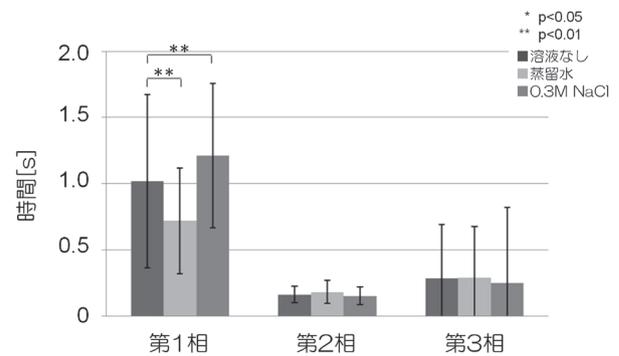


図5 随意性嚥下における挙上第1相・第2相・第3相時間

Fig. 5 Duration of the first, second, and third phases of larynx elevation in the voluntary swallowing.

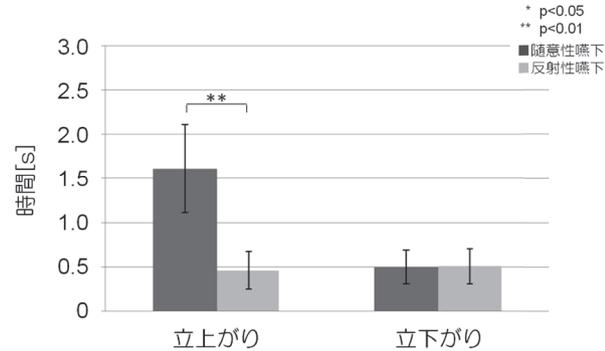


図6 随意性嚥下ならびに反射性嚥下における立上がり・立下がり時間パラメータ

Fig. 6 Rising and falling time parameters in the voluntary and reflex swallowings.

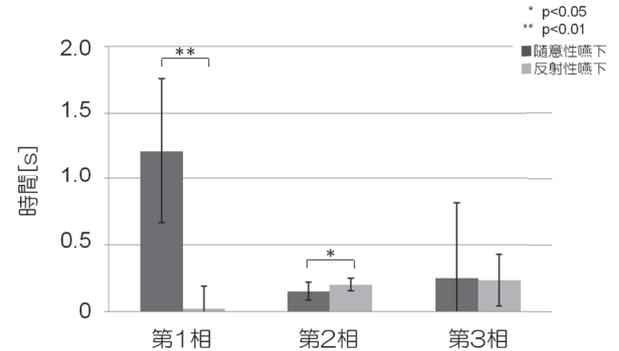


図7 随意性嚥下ならびに反射性嚥下における挙上第1相・第2相・第3相時間

Fig. 7 Duration of the first, second, and third phases of larynx elevation in the voluntary and reflex swallowings.

図5に挙上第1相・第2相・第3相時間の結果を示す。第1相は、溶液なしで平均 1.01 ± 0.66 [s]、蒸留水で平均 0.72 ± 0.40 [s]、0.3 M NaCl 溶液で平均 1.21 ± 0.55 [s]であった。3条件間の比較では、溶液なし-蒸留水間 ($p < 0.01$)、溶液なし-0.3 M NaCl 溶液間 ($p < 0.01$) で有意差を認めた。第2相は、溶液なしで平均 0.16 ± 0.06 [s]、蒸留水で平均 0.18 ± 0.09 [s]、0.3 M NaCl 溶液で平均 0.15 ± 0.07 [s]であった。3条件間の比較では、すべてのデータ間に有意差はみられなかった。第3相は、溶液なしで平均 0.28 ± 0.41 [s]、蒸留水で平均 0.29 ± 0.39 [s]、0.3 M NaCl 溶液で平均 0.25 ± 0.57 [s]であった。3条件間の比較では、すべてのデータ間に有意差はみられなかった。

2. 反射性嚥下と随意性嚥下との比較

図6に立上がり・立下がり時間の結果を示す。反射性嚥下の立上がり時間は平均 0.46 ± 0.21 [s]であり、随意性嚥下に比べて有意に短縮した ($p < 0.01$)。一方、反射性嚥下の立下がり時間は平均 0.51 ± 0.20 [s]であり、随意性嚥下との有意差はみられなかった。

図7に挙上第1相・第2相・第3相時間の結果を示す。反射性嚥下の第1相は平均 0.02 ± 0.17 [s]であり、随意性嚥下に比べて有意に短縮した ($p < 0.01$)。第2相は平均 0.20 ± 0.05 [s]であり、随意性嚥下に比べて有意に延長した ($p < 0.05$)。第3相は平均 0.23 ± 0.19 [s]であり、随意性嚥下との有意差はみられなかった。

IV. 考 察

1. 実験系の有効性

本研究では、Nakamura らの実験系⁵⁾にしたがい、溶液刺激のために経鼻的に挿入したシリコンチューブを用いた。チューブ自体が鼻腔や咽頭壁を刺激することによる分泌物の誘発を極力抑制するために、比較的軟性が高く外径の細いチューブを用いた。また、チューブ固定後2分の時間を置くことで、すべての被験者は違和感を訴えることなく記録を行うことができた。従って、チューブ自体の刺激は今回の実験結果にはほとんど影響しなかったと考えられる。また、今回の実験では甲状軟骨の記録が容易な男性のみを被験者とした。健康若年者における基本的な嚥下機能に関する男女差については過去に報告がないことから、本結果を女性にも適用できることが予想されるものの、今後は女性を対象とした実験も行い、より詳細なデータを取る必要がある。

本研究では、Nakamura らの実験系⁵⁾に我々が独自に開発してきた嚥下機能評価システム SFN/3A^{6,8)}を組み込み、嚥下時の筋電図と喉頭運動を同時測定した。この運動測定は、装置を前頸部に装着することから嚥下動態に影響する可能性がある。そこで上記の先行研究⁵⁾と本研究の結果を比較し、嚥下機能測定装置の装着が嚥下動態に与える影響を考察した。Nakamura らの研究⁵⁾では、立上がり時間は、蒸留水使用時に比べて0.3 M NaCl 溶液使用時に有意に延長し、立下がり時間は、両液間で有意差はみられなかった。図4に示すように、本実験においても、上記の先行研究と同様の結果が得られたことから、喉頭運動と舌骨上筋群筋電図の同時測定が嚥下動態に与える影響は無視できると考えられる。また、センサの特性を考えると、被験者の皮膚の色や性状などが距離測定に誤差を与える可能性は否定できないものの、今回は甲状軟骨位置の経時変化を追うことを目的に使用しており、時間に関する結果には影響を与えなかったものと考えられる。

2. 咽頭水刺激が随意性嚥下に与える影響

本研究では、咽頭への刺激溶液として、蒸留水と0.3 M NaCl 溶液の2つを選択した。前者は、咽頭にある水受容器の応答を活性化して嚥下反射の誘発を促進する¹³⁻¹⁵⁾。一方、後者に含まれる Cl イオンは水受容器の応答を抑制し、その抑制効果は、0.3 M NaCl 溶液のときに最も効果的であるとされる¹⁵⁾。Nakamura らの研究⁵⁾では、蒸留水使用時に比べて0.3 M NaCl 溶液使用時に立上がり時間が延長し、立下がり時間は変化しなかつ

た。前節で述べたように、本研究でも同様の結果が得られた。さらに、立上がり時間は、溶液なし時に比べて蒸留水使用時は有意に短縮した。0.3 M NaCl 溶液使用時では、有意差は確認できなかったが、延長する傾向はみられた(図4)。この立上がり時間の変化は、咽頭水刺激に用いた溶液による嚥下運動誘発に対する促進・抑制効果によるものと考えられる。

挙上第1相時間は、溶液なし時に比べて蒸留水使用時では有意に短縮し、0.3 M NaCl 溶液使用時では有意に延長した。しかし、第2相・第3相時間は、全溶液間で有意差は確認できなかった(図5)。このことから、溶液の違いによる随意性嚥下時の促進・抑制効果は、喉頭運動の第1相のみに影響を与えられ、嚥下咽頭期以降の嚥下動作は、喉頭運動も含めて反射性の高い運動である¹⁾。条件の異なる食塊や口腔内の環境における随意性嚥下時の運動様式の違いについては、そのほとんどが嚥下咽頭期誘発までの時間間隔^{4, 15-17)}や嚥下反射誘発までの随意成分に関わる筋活動¹⁸⁻²⁴⁾に関するものであり、結果として筋活動時間全体が延長するなどの知見は得られているものの、条件の違いが、嚥下反射誘発以降の筋活動時間にどのような影響をもたらすかについては Nakamura らの報告以外には明らかにされていない⁵⁾。今回の結果からは、喉頭挙上開始前の第1相は、嚥下反射以前の運動相であるため随意性が高く、挙上開始後の第2相・第3相は、嚥下反射以降の運動相であるため反射性が高いと考えられ、溶液による嚥下促進・抑制効果は、随意性の高い運動相に影響を与える一方で、反射性の高い運動相には影響を与えないことが示唆された。

3. 随意性嚥下と反射性嚥下の違い

嚥下は、随意性と反射性の成分が組み合わさった運動である^{1, 2)}。咽頭水刺激に用いた蒸留水と0.3 M NaCl 溶液は、それぞれ嚥下反射の促進・抑制効果をもつ¹³⁻¹⁵⁾。0.3 M NaCl 溶液を用いた随意性嚥下は、溶液のもつ嚥下抑制効果および「できるだけ速く嚥下を繰り返す」という指示内容から、反射成分の少ない随意性優勢の嚥下と考えられる。一方、蒸留水を用いた反射性嚥下は、溶液のもつ嚥下促進効果および「嚥下しなくなったら嚥下する」という指示内容から、随意成分の少ない反射性優勢の嚥下であると考えられる。この2つの嚥下の違いについて、立上がり・立下がり時間および挙上第1相・第2相・第3相時間の観点から論じる。

随意性嚥下では、挙上第1相時間は有意に延長し、第2相は有意に短縮した(図7)。すなわち、随意性嚥下

では、舌骨上筋群が活動した後、喉頭挙上が始まったのに対して、反射性嚥下では、筋活動開始と同時に喉頭挙上が始まっていた。一方、第3相への移行期と考えられる第2相では、反射性嚥下の方が有意に延長していた。この違いについて論じる。随意性嚥下では、嚥下反射以前に随意性に舌骨を引き上げて嚥下反射による喉頭挙上の準備をするため第1相が延長し、その準備のゆえに短時間で反射性優位の運動に移行できたことで第2相が短縮したと考えられる。それに対して、反射性嚥下では、随意成分をほとんど含まないために、第1相の時間が有意に短縮したのに対して、嚥下反射開始時に必要な舌骨の位置移動が十分にできなかったことで過渡期である第2相が延長したことが予想され、今回の我々の知見は、この期における喉頭運動の違いをより詳細に明らかにしたものである。今後は、喉頭運動に直接関わる筋活動を同時記録することにより、甲状軟骨位置の決定に関わる要素をいっそう明らかにする必要がある。

第3相時間は、両嚥下間に違いがみられなかった。Ertekinらは、反射性嚥下と随意性嚥下を比較し、嚥下反射誘発までの舌骨上筋群筋活動に差が認められるのに対して、筋活動のピークや嚥下反射開始に伴う喉頭運動の時間には差が認められないことを示した²⁵⁾。彼らは、喉頭運動の指標にピエゾセンサーを使用しており、我々の方法とは異なるものの、立下り時間や第3相時間に差がみられなかったという今回の結果は、彼らの知見を支持しており、溶液の違いによる随意性嚥下の記録時同様、第3相時間は条件による影響を受けにくいことが考えられる。一方で、その個人差は第2相に比べて大きかった。個人間の差が大きかったことについては、嚥下咽頭期開始時の甲状軟骨の位置を反映しているのではないかと考える。すなわち、嚥下反射時に必要とされる甲状軟骨の挙上位置が個人差なく決められているのに対して、その開始時における位置に大きな個人差があることを示唆していると思われる。本研究では、甲状軟骨の絶対的な位置については調べておらず、この点については今後の追試を必要とする。

V. 結 論

健康成人男性において、蒸留水および0.3 M NaCl溶液を用いた咽頭水刺激が随意性嚥下および反射性嚥下に与える影響を筋電図と喉頭運動の両面から実験的に検証した。その結果、咽頭水刺激下の随意性嚥下では喉頭運動の挙上第1相のみに変化がみられたことから、溶液による効果は、嚥下動態の中でも随意性の高い運動相に現

れることが示唆された。さらに、随意性嚥下では、反射性嚥下に比べて第1相が延長、第2相が短縮したことから、舌骨挙上による準備期が長く、そのため反射性優位の第3相への移行が円滑に行われたと考えられた。

VI. 文 献

- 1) Miller A. J. Deglutition. *Physiol Rev* 1982; 62: 129-184.
- 2) Jean A. Brain stem control of swallowing: neuronal network and cellular mechanisms. *Physiol Rev* 2001; 81: 929-969.
- 3) Tsukano H, Taniguchi H, Hori K, et al. Individual-dependent effects of pharyngeal electrical stimulation on swallowing in healthy humans. *Physiol Behav* 2012; 106: 218-223.
- 4) Kitada Y, Yahagi R, Okuda-Akabane K. Effects of Stimulation of the Laryngopharynx with Water and Salt Solutions on Voluntary Swallowing in Humans: Characteristics of Water Receptors in the Laryngopharyngeal Mucosa. *Chem Sense* 2010; 35: 743-749.
- 5) Nakamura Y, Hatakeyama A, Kitada Y, et al. Effects of pharyngeal water stimulation on swallowing behaviors in healthy humans. *Exp Brain Res* 2013; 230: 197-205.
- 6) 林 豊彦, 金子裕史, 中村康雄ほか. お粥の性状と嚥下動態の関係—喉頭運動・筋電図・嚥下音の同時測定による評価—. *日摂食嚥下リハビリ会誌* 2002; 6(2): 73-81.
- 7) 村山 愛, 林 豊彦, 中村康雄ほか. 反射型フォトセンサを用いた喉頭運動測定システム SFN-2A の改良. *信学技報* 2005; 104(755): 61-64.
- 8) 本間正寿, 林 豊彦, 道見 登ほか. 嚥下機能評価システム SFN/3A における喉頭位置トラッキング法の改良. *信学技報* 2013; 113(103): 33-38.
- 9) Kojima H, Kaneda H, Watari J, et al. Relationships among throat sensation, beer flavor, and swallowing motion while drinking beer. *J Am Soc Brew Chem* 2009; 67(4): 1-7.
- 10) 覚嶋慶子, 林 豊彦, 渡辺哲也ほか. 嚥下機能評価システム SFN/3A を用いた錠剤服用時の嚥下動態の解析. *顎機能誌* 2012; 18(2): 200-201.
- 11) 佐藤将大, 覚嶋慶子, 林 豊彦ほか. 喉頭運動の視覚バイオフィードバックを用いた喉頭挙上訓練. *日*

- 摂食嚥下リハビリ会誌 2012 ; 16 (3) : 235-242.
- 12) 覚嶋慶子, 林 豊彦, 道見 登ほか. 高齢者における喉頭運動の視覚フィードバックを用いた喉頭挙上訓練の効果. 日摂食嚥下リハビリ会誌 2014; 18 (1): 22-29.
 - 13) Shingai T, Shimada K. Reflex swallowing elicited by water and chemical substances applied in the oral cavity, pharynx, and larynx of the rabbit. *Jap J Physiol* 1976; 26: 455-469.
 - 14) Shingai T, Miyako Y, Ikarashi R, et al. Swallowing reflex elicited by water and taste solutions in humans. *Am J Physiol* 1989; 256: R822-826.
 - 15) Yahagi R, Akabane K, Fukami H, et al. Facilitation of voluntary swallowing by chemical stimulation of the posterior tongue and pharyngeal region in humans. *Neurosci Lett* 2008; 448: 139-142.
 - 16) Mansson I and Sandberg N. Effects of surface anesthesia on deglutition in man. *Laryngoscope*. 1974; 84: 427-37.
 - 17) Mansson I and Sandberg N. Salivary stimulus and swallowing reflex in man. *Acta Otolaryngol.* 1975; 79: 445-50.
 - 18) Sugita K, Inoue M, Taniguchi H, Ootaki S, Igarashi A and Yamada Y. Effects of food consistency on tongue pressure during swallowing. *J. Oral Biosci.* 2006; 48: 278-85.
 - 19) Taniguchi H, Tsukada T, Ootaki S, Yamada Y and Inoue M. Correspondence between food consistency and suprahyoid muscle activity, tongue pressure, and bolus transit times during the oropharyngeal phase of swallowing. *J Appl Physiol.* 2008; 105: 791-9.
 - 20) Miyaoka Y, Ashida I, Kawakami S, Tamaki Y and Miyaoka S. Activity patterns of the suprahyoid muscles during swallowing of different fluid volumes. *J Oral Rehabil.* 2010; 37: 575-82.
 - 21) Ruark JL, McCullough GH, Peters RL and Moore CA. Bolus consistency and swallowing in children and adults. *Dysphagia.* 2002; 17: 24-33.
 - 22) Palmer PM, Luschei ES, Jaffe D and McCulloch TM. Contributions of individual muscles to the submental surface electromyogram during swallowing. *J Speech Lang Hear Res.* 1999; 42: 1378-91.
 - 23) Reimers-Neils L, Logemann J and Larson C. Viscosity effects on EMG activity in normal swallow. *Dysphagia.* 1994; 9: 101-6.
 - 24) Leow LP, Huckabee ML, Sharma S and Tooley TP. The influence of taste on swallowing apnea, oral preparation time, and duration and amplitude of submental muscle contraction. *Chem Senses.* 2007; 32: 119-28. Epub 2006 Oct 27.
 - 25) Ertekin C, Kiylioglu N, Tarlaci S, Turman AB, Secil Y and Aydogdu I. Voluntary and reflex influences on the initiation of swallowing reflex in man. *Dysphagia.* 2001; 16: 40-7.