

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 9 日現在

機関番号：14401

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2013

課題番号：24659859

研究課題名(和文) 舌圧 喉頭運動の協調性に着目した包括的嚥下機能評価システム

研究課題名(英文) Evaluation of tongue pressure and laryngeal movement during swallowing

研究代表者

小野 高裕 (Ono, Takahiro)

大阪大学・歯学研究科(研究院)・准教授

研究者番号：30204241

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円、(間接経費) 870,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、嚥下時における舌と口蓋との接触と舌骨・喉頭の動きの協調性を、新たに開発した計測システムを用いて明らかにすることを目的とした。舌圧の測定には舌圧センサシートを用い、喉頭の動きの記録には前頸部皮膚に貼付した屈曲センサを用いて、水嚥下時の両者の時間的協調性について分析した。その結果、舌圧発現と舌骨-喉頭複合体の動きの順序性が描写された。すなわち、舌圧は舌骨のかすかな動きの後に続く急速な挙上のタイミング付近で発現し、舌骨が最前上方位に到達した時点で最大値に達し、舌骨が下降を開始するのとほぼ同じタイミングで消失していた。

研究成果の概要(英文)：This study was aimed to investigate the sequential coordination between tongue contact against palate and hyoid movement during swallowing water. We applied a sensor sheet on the hard palate to measure tongue contacting pressure and a bend sensor on the frontal neck to monitor the laryngeal movement for assessing the coordination between both actions during swallowing. The sequential order of tongue pressure and hyoid-laryngeal excursion was successfully displayed: tongue pressure was produced after the hyoid slight movement and closely to the hyoid elevation, then reached maximal value when the hyoid began stable in the most anterior-superior position, and ceased concurrently with the onset of hyoid descending.

研究分野：医歯薬学

科研費の分科・細目：補綴系歯学

キーワード：嚥下 舌 喉頭 摂食・嚥下リハビリテーション 舌圧 センサ 診断 嚥下障害

1. 研究開始当初の背景

超高齢社会においては、嚥下障害を持つ高齢者の数が増加し、北米における推計では年間 30~60 万人が神経疾患により嚥下障害を来し、そのうち脳卒中以外の原因によるものは約 5 万人、脳卒中後に嚥下障害を有する患者の 43~54% が誤嚥、約 37% が肺炎を生じ、3.8% が死亡すると報告されている (Dyshagia 誌の Review、2001)。こうした状況の背景には、複雑な嚥下運動の全体を評価することの難しさがある。申請者は、これまで嚥下時の舌圧を測定するセンサシートシステムを開発し、健常者における舌圧発現パターン(図 1)(Hori 2009、Tamime 2010)を確認するとともに、舌圧パターンの定性的・定量的異常が、脳卒中急性期の嚥下障害の検出に有用であることを報告してきた(図 2)(Konaka 2010、Hirota 2010)。さらに嚥下咽頭期の指標として重要な喉頭挙上運動と舌圧発現との協調性を評価することができれば、嚥下運動を包括的に評価しより高い診断精度を得ることができると期待される。

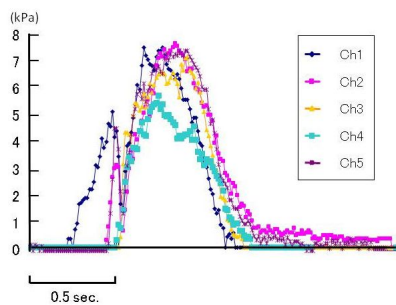


図 1. 正常な嚥下時舌圧発現パターン

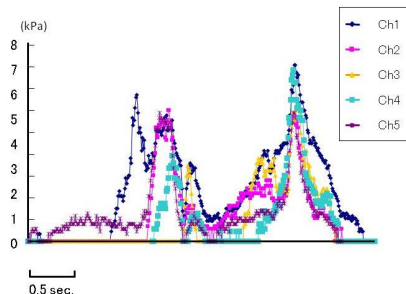


図 2. 嚥下障害のある脳卒中患者に見られた多峰性の異常舌圧発現パターン

2. 研究の目的

まず、喉頭運動の測定に有望な「屈曲センサ」を採用し、舌圧・喉頭運動同時計測システムを構築する。次に、同システムを用いて健常若年者を対象に舌圧・喉頭運動・嚥下造影(VF)画像の同時記録を行い、VF画像上のイベントと舌圧・喉頭運動のシグナルとの関係を解析することにより、舌圧・喉頭運動の協調性の評価に有効な時系列上のパラメータを確定する。さらに、同システムを用いて、食塊量、粘度、姿勢などの影響が舌圧・喉頭運動の協調性に及ぼす影響を検証する。本研究期間中にここまでの目標が達成されれば、次の段階として嚥下障害患者における誤嚥の検出精度の研究に進むことができると考える。

3. 研究の方法

1) 喉頭運動記録システムの開発

被験者は自覚的、他覚的ともに摂食・嚥下機能に問題を認めない健常成人男性 6 名(平均年齢 31.7±10.6 歳)とし、座位における 5ml の水嚥下を各被験者 6 回ずつ行ない、VF および喉頭運動の同時記録を行なった。VF 撮影には東芝社製 ULTIMAX80 を使用し、1 秒間 30 フレームで撮影した。

喉頭運動の記録は、屈曲センサ(日本サンテック社製 MaP1783、75mm×7mm×1mm、図 1)を両面テープを用いて前頸部皮膚表面に貼付し、嚥下時の喉頭運動によるセンサ自体の形態変化を電位変化としてとらえ、サンプリング周波数 1kHz でモニタを介して

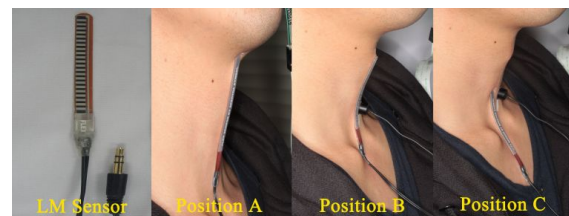


図 3. 屈曲センサと 3 種類の貼付位置 (Position A-C)。センサの先端を合わせる基準は以下の通り。Position A: 嚥下時の喉頭頂の最高点、Position B: 安静時における喉頭頂、Position C: 輪状軟骨と甲状軟骨の間の気管切開術を行う領域。

パーソナルコンピュータ上に保存した。本実験に先立って、経皮的な喉頭運動の記録に適した屈曲センサ貼付位置について検討した結果、Position A が安定した信号波形を得る上で最も適していることが確認された（図 1）。

屈曲センサにより記録された原波形（動き）から微分波形（速度）と 2 回微分波形（加速度）を求め、各波形の変化を参考に喉頭運動を評価するための 7 つの基準点（T1～T7）を設定した（図 2）。

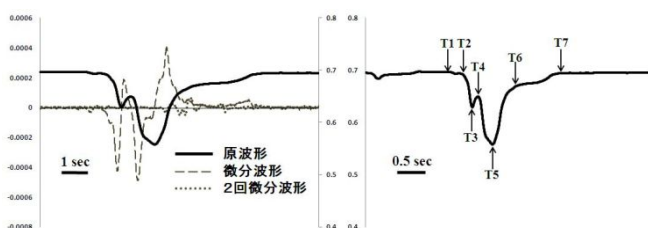


図 2 左：原波形、微分波形、2 回微分波形、右：原波形上における基準点（T1～T7）

次に、VF 画像上で舌骨の動きをトレースし、以下の 6 種類のイベントの時点を算出した。

- V1：嚥下反射に先立ち舌骨が小さな動きを開始した時点
- V2：嚥下反射にともなって舌骨が急速な挙上を開始した時点
- V3：舌骨が挙上に続いて前方移動を開始した時点
- V4：舌骨が最前上方位の維持を開始した時点
- V5：舌骨が最前上方位の維持を終了した時点
- V6：舌骨が急速な下降を終了した時点

これらのイベントの時点を、V2 を 0 とした時系列上で、波形上の基準点（T1～T7）と比較することにより、各基準点の意味について考察した。

2) 嚥下時舌圧と喉頭運動との協調性

被験者は自覚的、他覚的ともに摂食・嚥下機能に問題を認めない健常成人男性 14 名（平均年齢 27.0±2.2 歳）とし、座位における 5ml の水嚥下を各被験者 5 回ずつ行なった。

舌圧の測定には、スワローズキャンシステム（ニッタ社製）の舌圧センサシートを硬口

蓋に貼付し、正中部 3 点（Ch1-3）ならびに後方周縁部 2 点（Ch4、5）の 5 点における舌圧を記録した（図 3 A）。喉頭運動の記録は、屈曲センサ（日本サンテック社製 MaP1783、図 3 B）を嚥下時に喉頭の最大豊隆部が最高点をとる位置にセンサ上端をあわせ、前頸部皮膚表面に両面テープを用いて貼付し、嚥下時の喉頭運動によるセンサ自体の形態変化を電位変化としてとらえ、サンプリング周波数 1kHz でモニタを介してパーソナルコンピュータ上に保存した（図 3 D）。嚥下音は、輪状軟骨下相当部で、屈曲センサを避けた位置にマイクロフォン（小野測器社製 JM-0116）を貼付し、記録した（図 3 C）。

喉頭運動、舌圧、嚥下音は、スワローズキャンの信号に基づいて同期させ、嚥下音の peak を 0s と定義した時系列上で解析を行った（図 4 A）。

各 Ch の舌圧波形上で、舌圧の onset time（TPon）、peak time（TPmax）、offset time（TPoff）、TPon から TPoff までの舌圧持続時間（DP）を算出した（図 4 B）。屈曲センサにより記録された喉頭運動波形から、前回の発表¹⁾における定義にしたがって、T1 から T7 までの解析点を抽出した（図 4 C）。

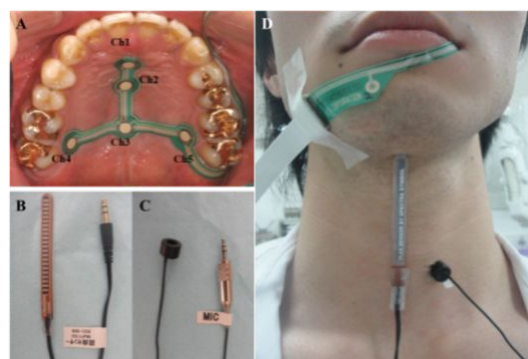


図 3 計測装置

A: 口蓋に貼付した舌圧センサシート
B: 屈曲センサ、C: 嚥下音測定用マイクロフォン、D: 測定時の被験者

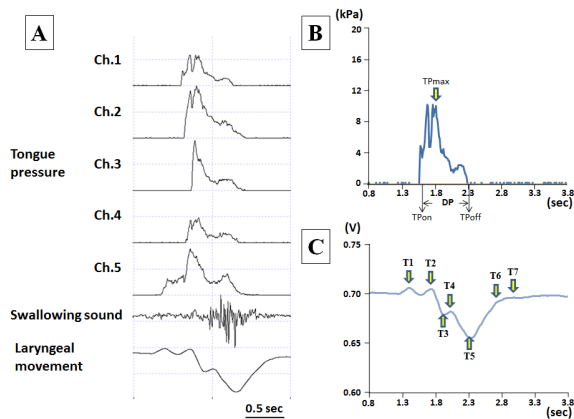


図4 原波形ならびに解析方法

- A: 舌圧、喉頭運動、嚥下音の記録(例)
- B: 舌圧波形の onset time (TPon)、peak time (TPmax)、offset time (TPOff)、舌圧持続時間 (DP)
- C: 喉頭運動波形上の解析点 (T1~T7)

嚥下音の peak time を 0s とした時系列上において (図5) 前述した喉頭運動波形の基準点と TPon, TPmax, TPOff との順序性と相関性について、一元配置分散分析 ($P < 0.05$) と級内相関係数 ($P < 0.05$) を用いて、それぞれ分析した。

4. 研究成果

1) 喉頭運動記録システムの開発

T7 を除く同番号の波形上の基準点と VF イベントとの時間差は、0.010~0.169 秒の間に分布し、特に T2 と V2 (0.034 秒) T4 と V4 (0.030 秒) T5 と V5 (0.030 秒) T6 と V6 (0.010 秒) は平均時間差が VF 1 フレーム分 (0.033 秒) と同等以下と非常に小さかった (表1)。このことから、T2 において舌骨・喉頭は嚥下に伴う急速な挙上を開始し、T4 - T5 間において舌骨は食塊の咽頭通過に有利な最前上方の位置を維持し、T6 においてほぼ復位したと推測できる。一方で、T4 - T5 間において屈曲センサの原波形と微分波形が示す喉頭表面の皮膚形状の変化が舌骨と喉頭の挙動の差異を反映したものであるかどうかは、精査を要する問題として残った。

表1. 波形上の各基準点と VF 上のイベントの時系列上における比較 (V2 を 0 とした時系列上)

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
平均	-0.682	0.034	0.350	0.464	0.695	1.276	2.137
S.D.	0.303	0.141	0.143	0.174	0.149	0.338	0.377
	V1	V2	V3	V4	V5	V6	
平均	-0.594	0	0.181	0.430	0.725	1.266	
S.D.	0.337	0	0.115	0.121	0.165	0.215	

(秒)

今回の波形分析と VF イベントとの比較より、屈曲センサから得られた波形上の基準点を用いて嚥下咽頭期における重要なイベントのタイミングを把握し得ることが示唆された。

2) 嚥下時舌圧と喉頭運動との協調性

T1 は各 Ch の TPon より有意に早く、かつ有意な相関 ($r=0.56 \sim 0.739$) を認めたことから、嚥下初期の舌骨・喉頭の小さな動きは口腔期の開始と関連していることが示唆された。T2 は TPon との間に時間差を認めず、Ch.4,5 の TPon との間に強い相関 (Ch.4: $r=0.739$, Ch.5: $r=0.746$) を認めたことから、口腔期において後方部の Ch.4,5 まで強固な舌のアンカーが確立することが、咽頭期の開始、すなわち喉頭の上方向への急速な挙上と関係が深いことが示唆された。

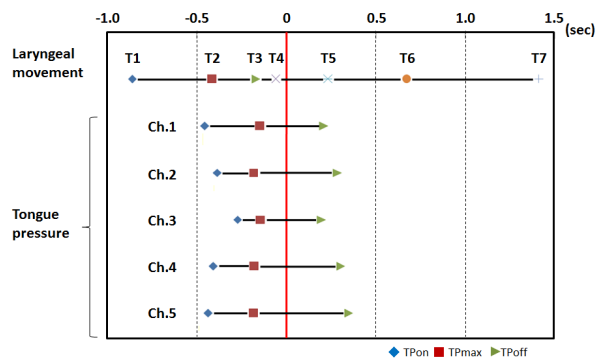


図5 嚥下音の peak time を 0s とした時系列上における喉頭運動の解析点 (T1-T7) と舌圧発現の順序関係

T4 は TPmax との間に時間差を認めず、なおかつ T5 は TPmax より有意に遅く、TPOff との間に時間差を認めなかった。さらに T5 とほぼすべての Ch の TPOff との間に相関 ($r=0.464 \sim 0.693$) を認めた。このことは、

舌圧は舌骨が食塊通過に最も有利とされる最前上方位をとる時点(T4)に同期してピークに達し、最前上方位の維持を終了する時点(T5)まで維持されることを示唆している。今回の結果より、舌圧と喉頭運動を指標とした嚥下口腔期と咽頭期の時間的協調パターンを明らかにできたことから、今後は嚥下障害患者における協調パターンの異常の検出を試みて行きたい。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計5件)

堀 一浩, 小野高裕. 咀嚼・嚥下時の舌圧のはたらき. FFI ジャーナル, 査読無し, 2012, No.217, pp234-241.

小野高裕, 堀 一浩, 中島純子. 舌接触補助床(PAP)を用いた口腔機能リハビリテーション. 日本歯科医師会雑誌, 査読無し, 2013, vol.66, pp.6-15.

小野高裕, 堀 一浩, 藤原茂弘, 皆木祥伴, 摂食・嚥下障害患者への対応 - 舌圧測定と舌接触補助床 -. 日本補綴歯科学会誌, 査読無し, 2013, vol.5, pp.247-253.

Li Q, Hori K, Minagi Y, Ono T, Chen Y-J, Kondo J, Fujiwara S, Tamine K, Hayashi H, Inoue M, Maeda Y. Development of a system to monitor laryngeal movement during swallowing using a bend sensor. PLoS ONE, 査読有り, 2013, 8:e70850.

Li Q, Minagi Y, Hori K, Kondoh J, Fujiwara S, Liu J, Ono T, Chen Y-G. Effects of tongue pressure sensor sheet on the signal waveform of laryngeal movement produced by bend sensor during deglutition. Chin J Otorhinolaryngol Head Neck Surg, 査読有り, 2014, vol.49, pp.218-222.

〔学会発表〕(計4件)

皆木祥伴, 李 強, 堀 一浩, 小野高裕, 近藤重悟, 藤原茂弘, 田峰謙一, 前田芳信, 林 宏和, 井上 誠. 屈曲センサを用いた喉頭運動記録法の開発, 第17・18回日本摂食・嚥下リハビリテーション学会学術大会, 2012年8月31日, 札幌市.

皆木祥伴, 李 強, 小野高裕, 堀 一浩, 近藤重悟, 藤原茂弘, 田峰謙一, 林 宏和, 井上 誠, 前田芳信. 嚥下時舌圧発現と喉頭運動の協調性. 日本顎口腔機能学会第49回学術大会. 2012年10月20日, 北九州市.

Ono T, Li Q, Minagi Y, Hori K, Tamine K, Kondo J, Fujiwara S, Chen Y, Inoue M, Maeda Y. Non-invasive assessment of coordination between tongue pressure production and hyoid movement during swallowing. 28th Store Kro Group Conference, 2013.5.24, Amsterdam, The Netherlands.

皆木祥伴, 小野高裕, 李 強, 藤原茂弘, 堀 一浩, 井上 誠, 前田芳信, 横江 勝, 望月秀樹. 舌圧・喉頭運動計測システムによるパーキンソン病患者の嚥下動態評価. 日本顎口腔機能学会第51回学術大会. 2013年10月5日, 新潟市.

〔図書〕(計1件)

小野高裕. 舌圧について. 疾患別に診る嚥下障害, 医歯薬出版, 東京, 2012, 290.

6. 研究組織

(1)研究代表者

小野 高裕 (ONO TAKAHIRO)
大阪大学・大学院歯学研究科・准教授
研究者番号: 30204241