

空気圧力センサを応用した嚥下運動分析装置の検討

—センサ設置位置が測定結果に及ぼす影響—

松村奈美¹ 今関 肇² 関根貴仁¹ 山内貴子¹
下出 毅³ 小林康二⁴ 山森徹雄¹ 清野和夫¹

Study of a Swallowing Movement Analyzer with a Pneumatic Sensor

—Effects of the Sensor Position on the Measurements—

Nami MATSUMURA¹, Hajime IMAZEKI², Takahito SEKINE¹, Takako YAMANOUCI¹
Takeshi SHIMODE³, Koji KOBAYASHI⁴, Tetsuo YAMAMORI¹ and Kazuo SEINO¹

Purpose : We have been developing a swallowing movement analyzer using a pneumatic sensor. The adequate position of the sensor was investigated in this study to establish the analyzing method.

Materials and methods : Ten healthy male subjects without any swallowing disorders participated. Almond pudding was used as a test food. The sensor of the analyzer was set at the center of laryngeal protuberance (M), 5mm upper(U) or lower(L) position of M. The electric potentials during deglutition of the test food were recorded and their wave patterns were analyzed. The potential fluctuation period was calculated according to the term when the electric potential was more than 20% of the maximum value.

Results : The electric potential increased while the opposite pattern was observed at the beginning of swallowing and then decreased with sensor position U, when the sensor position was M or L. The swallowing movement of each subject was recorded twice and those two patterns were similar to each other. Although no significant differences were found in the maximum values of electric potential or in the potential fluctuation period among 3 positions of sensor, the maximum electric potential tended to be higher and the potential fluctuation period be shorter in position M than in other two positions.

Conclusion : Position M was recommended to precisely evaluate the differences of wave patterns.

Key words : swallowing movement, pneumatic sensor, analyzing system, sensor position

緒 言

舌・口底腫瘍患者には舌切除や放射線治療が適

用され、これらは、食塊形成や嚥下に影響を及ぼすとされている¹⁻³⁾。これらの患者には、嚥下機能回復訓練とともに舌接触補助床を用いた機能回

受付：平成24年7月3日，受理：平成24年8月23日
奥羽大学歯学部歯科補綴学講座¹
池田歯科クリニック²
下出歯科診療所³
こばやし歯科医院⁴

Department of Prosthetic Dentistry, Ohu University
School of Dentistry¹
Ikeda Dental Clinic²
Shimode Dental Clinic³
Kobayashi Dental Clinic⁴

復が図られる⁴⁻⁷⁾が、良好な機能回復を得るためには、治療効果の評価に基づく調整が必要となる。

嚥下機能の評価には、嚥下造影検査⁸⁾、嚥下内視鏡検査⁹⁾、嚥下圧検査^{4,10-12)}などが用いられるが、放射線被曝のため頻繁な検査が困難であったり、特殊な設備や技術が求められるためチェアサイドで適用できる施設が限られたり、装置自体が嚥下に影響を及ぼす可能性があるなどの欠点があった。一方、嚥下機能のスクリーニングに利用される水飲みテスト¹³⁾や改訂版水飲みテスト¹⁴⁾、反復唾液嚥下テスト¹⁵⁾は、舌接触補助床の調整による変化を定性的に評価するのには向かない方法である。

そこで著者らは、生体への侵襲が少なく、かつ簡便な検査法として、空気圧力センサを応用した嚥下運動分析装置を試作した¹⁶⁾。しかし、本装置による計測を進めてきたところ、センサの設置位置によって得られる結果が異なることが判明した。本研究では、本装置を用いた嚥下機能検査法の確立を目的として、適切なセンサ設置位置を求めるため、センサ設置位置による検査結果の差異を検討した。

材料と方法

1. 被験者と試験食品

被験者は嚥下機能に障害がなく、実験に同意の得られた成人男性10名(平均年齢29.6歳)とした。試験食品には、嚥下が容易な杏仁豆腐を用い、咀嚼することなく嚥下ができるように20×30×15mmの大きさに調整した。

2. 試作嚥下運動分析装置

本研究では、山森らが試作した嚥下運動分析装置¹⁶⁾を使用した。本装置は空気圧力センサ、データ取込解析システム、センサ固定用シーネからなる。

空気圧力センサのパッド部が加圧されることにより生じた空気圧の変動を、差動圧力トランスデューサで電位に変換し、汎用トランスデューサアンプにて増幅、ADボードにてAD変換し、パーソナルコンピュータ上に圧力波形として表示する。データは5ms毎に記録し、その解析には添付の解析ソフトAcqknowledge (BIOPAC Systems社, Goleta, USA)を用いた。

空気圧力センサを所定の位置に設置するため、

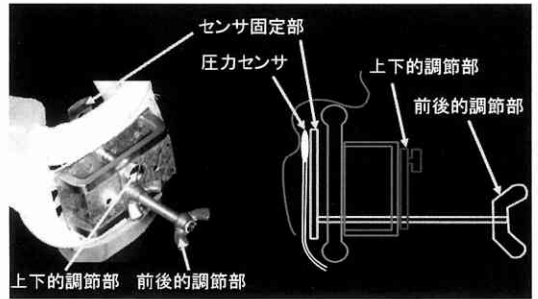


図1 センサ位置調節装置の構造

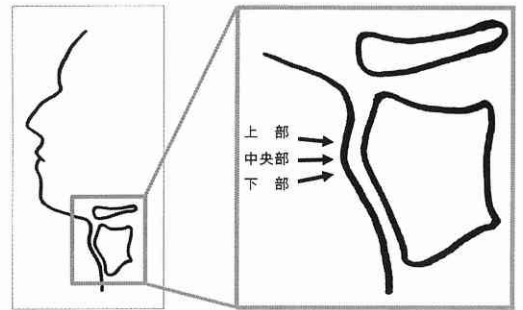


図2 センサ位置の設定

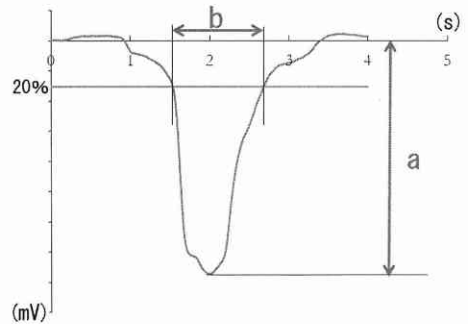


図3 圧変動曲線の定量的解析項目

- a 圧変動量最大値
- b 圧変動時間

頰椎固定用シーネにセンサ位置調節装置を組み込み、センサ位置調節装置のセンサ固定部に両面テープで固定された空気圧力センサの位置を上下的、前後的に微調整できる機構を付与した(図1)。

3. センサ位置の設定(図2)

本研究では、被験者の喉頭隆起の正中で側面からみた最大突出部を基準に設置位置を設定した。センサ中央を最大突出部に適合させた場合を中央部、その上方5mmに位置づけた場合を上部、下方5mmとした場合を下部とした。固定用シーネの装着に際しては、瞳孔線と調節金具の固定部上

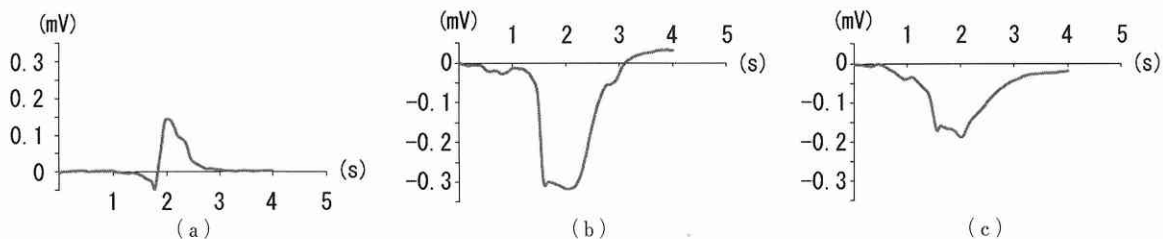


図4 圧変動曲線(被験者A)

a センサ位置：上部、b センサ位置：中央部、c センサ位置：下部

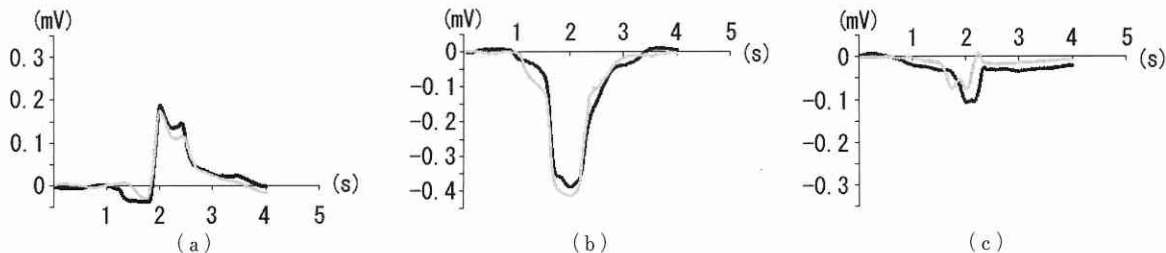


図5 2回測定した圧変動曲線の重ね合わせ(被験者B)

2つの圧変動曲線の圧変動量最大値が一致するように重ね合わせた。

a センサ位置：上部、b センサ位置：中央部、c センサ位置：下部

縁が平行になるように、また側面観においてセンサのパッド部が被験者の前頸部に対して平行となるように固定した。

また、いずれの設置位置でも、電圧が約0.3mVとなるよう加圧した状態で装置を設置した。

4. 圧変動曲線の定量的解析

圧変動曲線から圧変動量最大値と圧変動時間を求め、評価項目とした(図3)。すなわち、圧変動の絶対値が最大となる2秒前を原点とし、圧変動の絶対値が最大となった値を圧変動量最大値(a)とした。また圧変動量最大値の20%以上の変動量を示す時間を圧変動時間(b)とした。統計解析にはKruskal-Wallis検定を用いた。

なお、本研究は奥羽大学倫理審査委員会の承認を得て行った。

結 果

1. 空気圧力センサの圧変動曲線

設置位置が上部(図4a)の場合は嚥下開始後に圧が上昇し、次いで下降したのに対し、中央部(図4b)と下部(図4c)では圧が下降しその後回復した。また、同一被験者で繰り返し測定した場合、近似した圧変動曲線が得られた(図5a

～c)。なお、顎下部から頸部にかけての解剖学的形態のため、4名の被験者では上部へのセンサの設置が困難であった。

2. 圧変動曲線の定量的解析

10名の被験者におけるセンサ設置位置毎の圧変動最大値(図6)、圧変動時間(図7)は、被験者間の差異が大きく、また統計的に有意な差は認められなかったが、センサを中央部に設置した場合に圧変動最大値が大きく、圧変動時間が短い傾向がみられた。

考 察

嚥下機能の評価法として、嚥下造影検査が推奨され、その標準化が検討されている⁸⁾。しかし、設備の点から本法を実施できる施設に限られる上、舌接触補助床を調整する度に検査することを想定すると、放射線被曝の観点から困難となる。また近年、頻用されている検査法に嚥下内視鏡検査がある。経鼻的に挿入した内視鏡により嚥下を動的に捉えることができ、嚥下造影検査のような放射線被曝がないという利点があるが、観察できるのが咽頭に限られ、嚥下の瞬間は観察できないという欠点がある。また鼻出血や声門損傷、迷走神経

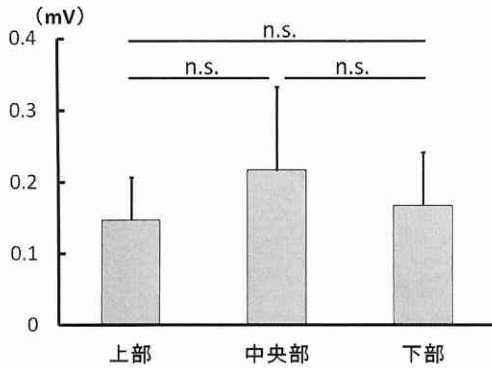


図6 圧変動量最大値

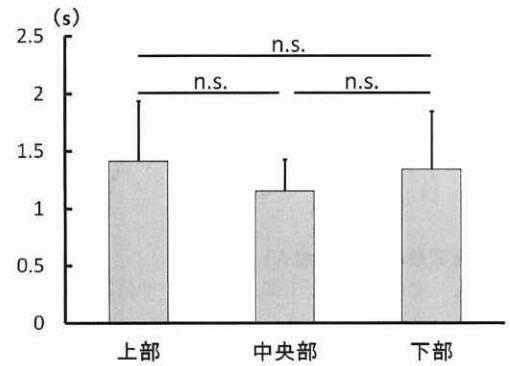


図7 圧変動時間

反射, 使用薬剤によるアレルギーなどのリスクを有し, 内視鏡の扱いに熟習する必要がある⁹⁾ うえ, 器材の準備が必須である。さらに嚥下圧検査として, 舌圧^{10,11)} や咽頭圧^{4,12)} の検査が試みられているが, これらは口腔内や咽頭に設置された装置による影響を受ける可能性がある。嚥下障害のスクリーニングとしては, 水飲みテスト¹³⁾ や改訂版水飲みテスト¹⁴⁾, 反復唾液嚥下テスト¹⁵⁾ が臨床応用されている。これらは簡便な臨床的検査として有用性が高いが, 定性的評価については主観的な評価となる上, 経時的な比較が困難である。

よって著者らは, 非侵襲性に繰り返し嚥下機能検査を行うための装置として空気圧力センサを応用した嚥下運動分析装置を試作した。前報⁶⁾ では, センサの特性や測定条件を検討し, 室温24~28℃で計測すべきであること, また試験食品の違いによって嚥下時の円滑さが異なることを報告した。その過程で, 本装置ではセンサの設置位置により得られるデータが異なることがわかったため, 本研究では空気圧力センサを応用した嚥下機能検査法を確立することを目的に, センサ設置位置による圧変動の差異を調べ, センサの適切な設置位置を検討した。

センサの設置位置を, 喉頭隆起最突出部(中央部)とその上方5mm(上部), 下方5mm(下部)の3箇所を設定し, 圧変動を調べたところ, 上部の場合には, 嚥下開始後に圧は上昇→下降の順に変化し, 中央部と下部では逆となった。嚥下の咽頭期には甲状軟骨が挙上し, その後安静時の位置に戻るため, 設置位置が上部の場合, 甲状軟骨の

挙上時に喉頭隆起部によりセンサが加圧されたものと考えられた。一方, 中央部と下部では, 設定時にセンサが喉頭隆起部およびその下方にあるため, 甲状軟骨の挙上にもない設定時の加圧が解除されることになり, センサの圧は最初に低下し, その後回復したものと考えられた。また, 同一被験者で繰り返し測定した圧変動曲線が近似していたため, 同一患者における経時的な変化を確認するうえで有効であると推察された。

次に, 圧変動曲線から圧変動量最大値と圧変動時間を算出し, センサ設置位置の影響を定量的に検討した。これらの評価項目においては, 被験者間の差異が大きく, またセンサ設置位置による有意な差はみられなかった。しかし, センサを喉頭隆起中央部に設置すると前者が大きく, 後者が小さくなる傾向がみられた。したがって, 嚥下による甲状軟骨の変位を空気圧センサが最も鋭敏に記録できるのは, 設置位置が中央部の場合であると考えられた。

本装置は嚥下の咽頭期における甲状軟骨の動きを捉えることで嚥下運動を分析するため, 嚥下造影検査や嚥下内視鏡検査のように誤嚥の判定をすることはできない。しかし, 放射線被曝や組織損傷のリスクがなく, 口腔や鼻腔, 咽頭に設置される部分がないため装置による嚥下運動に対する障害も少ないという特徴を有する。前報⁶⁾ で, 嚥下の円滑さの違いが波形に明確に表れることを報告し, さらに本研究によりセンサの設置位置を一定にすることで, 検査結果の再現性が得られることが示された。したがって本装置の代表的な利用法

としては、舌接触補助床の調整において、円滑な嚥下が可能となるように表面形状を微調整する場合などが考えられた。すなわち視覚的に嚥下運動の円滑さを評価しながら調整を進められるため、効率的に、またより適切な形態を付与できるものと推察された。今後は臨床例への応用を通して、さらに詳細な検討を加えたい。

結 論

空気圧力センサを応用した嚥下運動分析装置による嚥下機能検査法を確立することを目的に、センサ設置位置による圧変動の差異を調べた結果、以下の結論を得た。

1. 設置位置が上部の場合は嚥下開始後に圧が上昇し、次いで下降したのに対し、中央部と下部では圧が下降しその後回復した。
2. 同一被験者で繰り返し測定した場合は、近似した圧変動曲線が得られた。
3. センサを喉頭隆起最突出部である中央部に設置すると圧変動量最大値が大きく、圧変動時間が短くなる傾向がみられたことから、最適な設置位置であると考えられた。

以上のことから、嚥下の円滑さを視覚的に捉えることができるという本装置の特徴を考慮すると、本装置は舌接触補助床の調整などに有効であることが示唆された。

文 献

- 1) Logemann, J. A. : 切除法や再建法と摂食・嚥下障害の関連性. Logemann 摂食・嚥下障害 1 版; 212-216 医歯薬出版 東京 2000.
- 2) Logemann, J. A. : 放射線治療後の摂食・嚥下障害. Logemann 摂食・嚥下障害 1 版; 216-217 医歯薬出版 東京 2000.
- 3) 城下尚子, 堀 一浩, 阪上 穰, 山本雅章, 田峰謙一, 近藤重悟, 濱中 里, 小野高裕, 前田芳信, 古郷幹彦, 岩井聡一, 中澤光博, 由良義明, 野首孝嗣: 下顎・舌・口底腫瘍術後患者の嚥下能力の回復に影響を及ぼす因子. 顎顔面補綴 **32**; 79-92 2009.
- 4) 中島純子, 唐帆健浩, 安藤俊史, 佐藤泰則: 舌部分切除症例における舌摂食補助床装着による嚥下動態の変化 - Manofluorography による解析の試み -. 日摂食嚥下リハ会誌 **9**; 206-212 2005.
- 5) Okayama, H., Tamura, F., Kikutani, T., Kayanaka, H., Katagiri, H. and Nishiwaki, K. :

Effects of a palatal augmentation prosthesis on lingual function in postoperative patients with oral cancer : Coronal section analysis by ultrasonography. *Odontology* **96**; 26-31 2008.

- 6) 関谷秀樹, 濱田良樹, 園山智生, 福井暎子, 川口浩司, 瀬戸皖一, 工藤泰一: 口腔悪性腫瘍術後の摂食嚥下障害に対する舌接触補助床を用いた機能回復法の有効性の検討 - 第 1 報: 舌接触補助床使用群と非使用群の術後状態における比較 -. 顎顔面補綴 **32**; 100-105 2009.
- 7) 村山龍平, 武部 純, 伊藤茂樹, 田邊憲昌, 島崎伸子, 石橋寛二: 舌切除再建症例に対して舌接触補助床により機能回復を図った一例. 顎顔面補綴 **34**; 20-26 2011.
- 8) 日本摂食・嚥下リハビリテーション学会医療検討委員会: 嚥下造影の標準的検査法 (詳細版) 日本摂食・嚥下リハビリテーション学会医療検討委員会案作成にあたって. 日摂食嚥下リハ会誌 **8**; 71-86 2004.
- 9) Groher, M. E. and Crary, M. A. : 嚥下内視鏡検査. 嚥下障害の臨床マネジメント (高橋浩二監訳) 第 1 版; 203-210 医歯薬出版 東京 2011.
- 10) 萬屋 陽, 田村文誉, 向井美恵: 口蓋部舌圧測定による舌運動評価 - 口蓋床の厚みが嚥下時舌運動に与える影響 -. 日摂食嚥下リハ会誌 **6**; 93-103 2002.
- 11) Hori, K., Ono, T., Iwata, H., Nokubi, T. and Kumakura, I. : Tongue pressure against hard palate during swallowing in post-stroke patients. *Gerodontology* **22**; 227-233 2005.
- 12) Hiss, S. G., Huckabee, M. L. : Timing of pharyngeal and upper esophageal sphincter pressures as a function of normal and effortful swallowing in young healthy adults. *Dysphagia* **20**; 149-156 2005.
- 13) 窪田俊夫, 三島博信, 花田 実: 脳血管障害における麻痺性嚥下障害 - スクリーニングテストとその臨床応用について -. 総合リハ **10**; 271-276 1982.
- 14) 本多知行: 医師・歯科医師のための摂食・嚥下障害ハンドブック (本多知行, 溝尻源太郎編) 第 2 版; 101-102 医歯薬出版 東京 2002.
- 15) 鎌倉やよい, 熊倉勇美, 藤島一郎, 山田好秋編: 各種スクリーニングテスト, 摂食・嚥下リハビリテーション 第 2 版; 137-142 医歯薬出版 東京 2007.
- 16) 山森徹雄, 小林康二, 山本裕之, 中山公人, 阿部剛一, 服部典子, 清野和夫: 空気圧力センサを応用した嚥下運動分析装置の開発. 奥羽大歯学誌 **35**; 115-120 2008.

著者への連絡先: 松村奈美, (〒963-8611) 郡山市富田町字三角堂31-1 奥羽大学歯学部歯科補綴学講座
Reprint requests : Nami MATSUMURA, Department of Prosthetic Dentistry, Ohu University School of Dentistry 31-1 Misumido, Tomita, Koriyama 963-8611, Japan