

非拘束生体計測における嚥下障害の簡易診断システムの開発

Dysphagia Diagnosis System using Biometric Technology

2151036



研究代表者

兵庫医科大学

特任講師

八木直美

[研究の目的]

本研究では、人間の生存に関わる基本活動である「モノを飲み込み胃に送り込む」という嚥下機能を、人工知能を用いて音や呼吸に関する情報を解析し、非侵襲かつ身体的・心理的ストレスフリーな方法でセンシングして、嚥下障害の簡易診断システムを開発することを目的とした。現状の嚥下機能検査は、X線造影検査が一般的であるが、本システムでは、計測精度を従来と同程度に維持した上で場所、時間、体位・動作等の制限や拘束が少なく、さらにX線取り扱い技術が不要な、安価で簡便な検査を実現する。それにより健康維持のため、健康管理にも役立てられる。高齢者にもやさしく、生活のリズムを乱さない診断を実現し、「人間と機械の調和の促進」に貢献することを目指した。

嚥下機能が低下することを「嚥下障害」と言い、それによる「誤嚥」は、特に体力が衰退している老人にとっては致命傷となりうる(図1)。

誤嚥性肺炎は、咽頭、副鼻腔、歯周、口腔に常在する病原体が、嚥下障害のために唾液などの分泌物とともに気管に入り込んで、気道内に感染することによって引き起こされる。実際、食事の誤嚥よりは、細菌を含む唾液などの分泌物が夜間知らず知らずのうちに気道に入り込む不顕性誤嚥が原因になることも多い。本研究で

は、日本に1,000万人以上いる嚥下障害者のなかで、誤嚥性肺炎になる危険性が高く、治療が必要な人を選別する。同時に日本に300万人以上いる睡眠時無呼吸症候群患者も拾い出す。生死を分けるともいえる誤嚥の早期発見が肺炎の診断にも非常に有効になる。本システムは、人間にとって優しく非侵襲、非拘束な嚥下診断システムであり、X線造影で検査不能な日中、夜間を問わない日常の嚥下モニタリングを実施できる。患者と医療従事者双方の身体、心理的負担を軽減させ、超高齢化社会の健康管理にも役立てることで一人ひとりが安心して元気で暮らすことができる社会を実現し得るという点で、非常に独創的で社会的に大きな意味を持つと考える。

従来研究では、嚥下音による周波数解析等が行われているが高精度の診断には至っていないのが現状である。また、嚥下後の呼気音のウェーブレット解析で、およそ350 Hz以上の

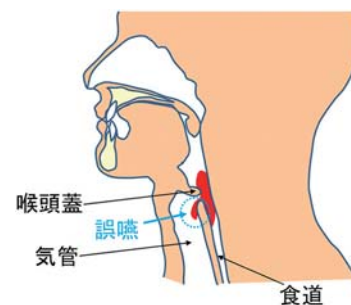


図1 誤嚥
(食物・飲料物が誤って気管に入ること)

帯域における「ゆらぎ」を確認することによって、不顕性誤嚥が検出できると報告されている。本研究では、呼気音の信号解析、音情報解析を組み合わせたアルゴリズムを開発した。これは従来の方法より精度が高い。さらに、嚥下機能を簡易診断するシステムのプロトタイプを構築した。診断結果をフィードバックすることで、個人に適応したリハビリテーションプログラムに繋げて自主的な健康管理を促すことも可能である。多職種のプロフェッショナルが関わる嚥下診断の高効率化、省力化を図り、データ収集して有効性を評価することを目的とした。

[研究の内容, 成果]

嚥下モニタリング装置の装着位置を図2に示す。呼吸情報は、「鼻腔カニューラ型フローセンサ」(Pro-Tech ProFlow cannula, Sleep Lab Products, USA)と微差圧トランスミッタ(KL-17, 長野計器)から1 kHz サンプリングで計測した。また音の情報は、甲状軟骨上に張り付ける「フィルム型ピエゾセンサ」(10 mm×30 mm 大)を用いて音波形信号を取得した。

嚥下状態を同環境下での比較解析するために、物性(固さ、凝集性等)をコントロールした3種類の検査食(L0ゼリー, L2ゼリー, L3ペースト)、水3 mlを使用した。姿勢条件は、椅子座位で行った。対象者は、健常者11名(男性9名, 女性2名, 40.1±10.7歳)、嚥下障害患者10名(男性4名, 女性6名, 75.6±9.47歳, 嚥

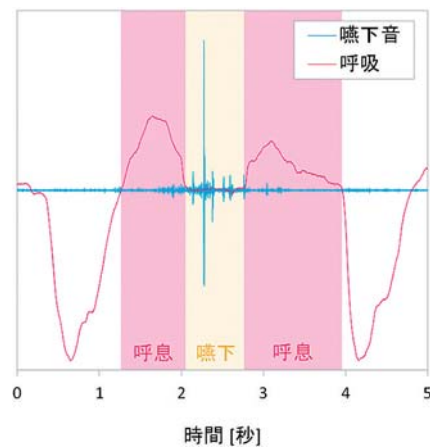


図2 装置の装着位置

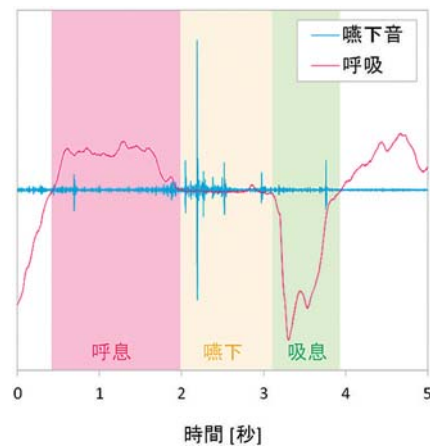
下レベル FLS より判定)とした。

標準的な嚥下パターンは、呼息の途中で起こり、嚥下中は呼吸が抑制されて無呼吸となり、嚥下後の呼吸は呼息から開始する(図3a)。標準的でない嚥下パターンとは、嚥下が吸息の途中で起きる場合、および嚥下後の呼吸が吸息から再開する場合(図3b)を示す。本研究において、標準的な嚥下パターン時の呼吸停止時間は、健常者 1,441±1,152 ms (range 302-5,834 ms) に対し、嚥下障害患者 2,386±2,089 ms (range 375-11,599 ms) であった。

一般的には標準的な嚥下パターンで嚥下動作が起こるが、健常者において嚥下98回のうち嚥下4回(4/98=4.08%)において吸息-嚥下



(a) 標準的な嚥下パターン
呼息-嚥下-呼息 (E-SW-E) パターン



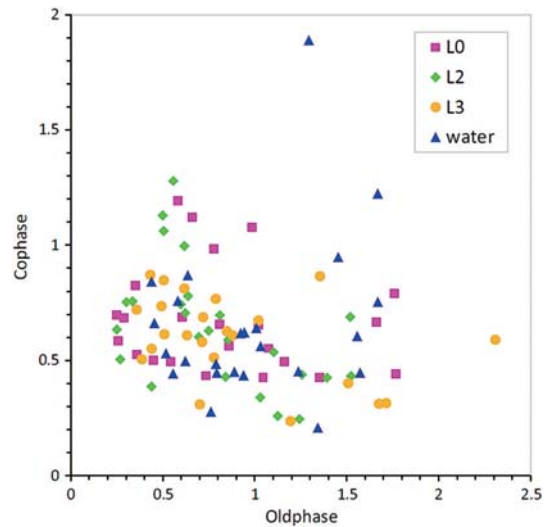
(b) 標準的でない嚥下パターン
呼息-嚥下-吸息 (E-SW-I) パターン

図3 呼吸と嚥下の関係(呼吸波形は、上向き:呼息, 下向き:吸息を示す)(研究成果:雑誌1の図1より引用)

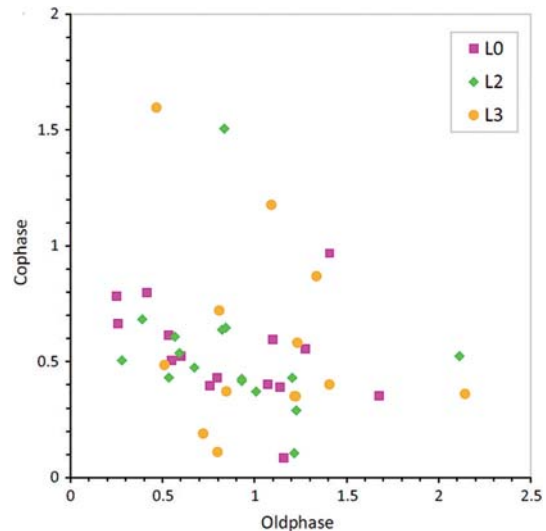
(I-SW) パターン、嚔下 5 回 (5/98=5.10%) において嚔下-吸息 (SW-I) パターンが観測された。それに対し、嚔下障害患者では嚔下 46 回のうち嚔下 6 回 (6/46=13.04%) において吸息-嚔下 (I-SW) パターン、嚔下 5 回 (5/46=10.87%) において嚔下-吸息 (SW-I) パターンが観測された。健常者と嚔下障害患者との間において、カイ二乗検定より、吸息-嚔下パターンは $P=0.019$ 、嚔下吸息パターンは $P=0.094$ の有意差が認められた (統計解析: JMP Pro, SAS Institute Inc, version 12)。

さらに、嚔下イベントによって呼吸リズムがどのようにリセットされるかを示す位相応答曲線を図 4 に示す。1 呼吸サイクルを 1 とすると、Oldphase は吸息の始まりを 0 として呼吸相のどのタイミングで嚔下が起こったかを、Cophase は嚔下の開始タイミングから次の吸息開始までの標準化した時間を表したものを表す値である。Cophase は、吸息と呼息の遷移近くで開始した嚔下の影響を受けたとみられるばらつきを生じた。また 1 以上の Oldphase は、完全な呼吸サイクルの後に嚔下が発生したことを示している。これは、嚔下の複雑な挙動によって引き起こされる嚔下の開始タイミングの遅延に起因すると考えられる。これらの検討では、健常者と嚔下障害患者との間で有意な差はみられなかった。

本研究は、兵庫医科大学 (No. 1580, 1636)、京都大学 (No. C819, C820)、各臨床試験実施病院での倫理審査承認済みの臨床試験プロトコルに基づいて実施した。本助成金にて購入した解析装置一式 (64-bit Windows 8 professional-based computer) を用いて、MATLAB (R2014b, Mathworks, USA) ソフトウェアにて特異度 88.3% の嚔下判定アルゴリズムを開発することができた。また、吸息-嚔下パターンの頻度が、嚔下障害を有する患者において有意に増加することを確認した。これらの結果は、本システムが、誤嚔リスクの検出と同様に、嚔下機能障害を評価できることを示唆している。



(a) 健常者



(b) 嚔下障害患者

図 4 Oldphase と Cophase の関係 (研究成果: 学術論文 1 の Fig8 より引用)

[今後の研究の方向, 課題]

正常な嚔下と異常な嚔下を判別するために、本嚔下判定アルゴリズムを改善して健康な被験者および嚔下障害を有する患者からさらなるデータ収集が非常に重要となる。また、パターン認識手法等を用いて全自動判定方法を開発し、有効性を検証することも課題となる。今後、呼吸と嚔下の非協調が、誤嚔リスクを予測できるかを明らかにするために、さらなる研究が必要であると考えられる。

[成果の発表, 論文等]

〈学術論文〉

1. N. Yagi, S. Nagami, M. K. Lin, T. Yabe, M. Itoda, T. Imai, Y. Oku, "A noninvasive swallowing measurement system using a combination of respiratory flow, swallowing sound, and laryngeal motion," *Medical & Biological Engineering & Computing Journal*, Sep. 2016.
2. 永見慎輔, 八木直美, 魚住龍史, 山縣誉志江, 田中信吾, 伊藤圭子, 平位知久, 延原浩, 森田智視, 高橋良輔, 栢下淳, 越久仁敬, "物性調整した食品別の嚥下動態の相違と適切な嚥下調整食選択への応用", *嚥下医学*, 第5巻, 第2号, pp. 206-213, 2016.

〈招待講演〉

1. N. Yagi, "Swallow Evaluation System," The 6th International Conference on Electronics, Communications and Networks, 2016. 12. 13.
2. N. Yagi, "Medical Signal Processing — Medical and Health Care," 2016 International Conference on Machine Learning and Cybernetics and 2016 International Conference on Wavelet Analysis and Pattern Recognition, 2016. 7. 12.
3. N. Yagi, "Bioinformation Measurement for Dysphagia," 2015 International Conference on Machine Learning and Cybernetics and 2015 International Conference on Wavelet Analysis and Pattern Recognition, 2015. 7. 14.
4. N. Yagi, "Healthcare Monitoring System for Swallowing by Wearable Sensors," 4th International Conference on Informatics, Electronics & Vision, 2015. 6. 16.

〈学会発表〉

1. 濱口達也, 高田柚乃加, 松枝沙弥香, 高田優, 八木直美, 永見慎輔, 岡田雅博, 越久仁敬, "MCI患者における嚥下機能の変化," 第2回淡路島早期認知症研究会学術集会, 2016.
2. 井上勝文, 吉岡理文, 八木直美, 永見慎輔, 上野博司, 越久仁敬, "嚥下音・喉頭変位呼吸圧データに基づく障害判定の検討," 第12回日本神経筋疾患摂食・嚥下・栄養研究会, 2016.
3. 永見慎輔, 室繁郎, 佐藤篤靖, 佐藤晋, 八木直美, 越久仁敬, "呼吸と嚥下の整合性から見た COPD 患者の嚥下機能異常," 第24回バイオフィジィオロジー研究会, 2016.
4. 永見慎輔, 八木直美, 魚住龍史, 山縣誉志江, 延原浩, 平位知久, 伊藤圭子, 田中信吾, 森田智視, 高橋良輔, 栢下淳, 越久仁敬, "物性調整した食品別の嚥下動態の相違と適切な嚥下調整食選択への応用," 第39回日本嚥下医学会学術講演会, 2016.
5. N. Yagi, S. Nagami, H. Ueno, T. Yabe, J. Kayashita, Meng-Kuan Lin, Y. Oke and Y. Oku, "Noninvasive Assessments of Swallowing Function by Sound Frequency Analysis," the 37th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, no. 3758, 2015.

〈雑誌〉

1. 越久仁敬, 永見慎輔, 呼吸器疾患における嚥下障害の病態生理 (Pathophysiology of impaired swallow in respiratory Diseases), *呼吸器内科*, 第29巻, 第2号, pp. 155-159, 科学評論社, 2016. (解析画像提供: 八木直美)