

令和 5 年 9 月 16 日現在

機関番号：22101

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2021

課題番号：18H03561

研究課題名(和文) 言語聴覚士の手の感覚を数値化する新たな嚥下機能評価法の確立

研究課題名(英文) Establishment of a new evaluation method for swallowing function that quantifies the sensation of a speech-language-hearing therapist's hand

研究代表者

武島 玲子 (Takeshima, Reiko)

茨城県立医療大学・保健医療学部・教授

研究者番号：30188180

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 5,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究課題では前課題(課題番号26350663)で解決できなかった嚥下時の「のど仏」の移動距離を求めるためにセンサー数を25に増やした。その結果、さらに薄くかつ高強度のセンサーシートの開発に成功した。このシートを用いて推定した「のど仏」移動距離は、男性の「のど仏」を横から撮影した動画の解析で得た移動距離よりも小さい傾向があった。さらに同一被験者の3ml水の嚥下試行間で「のど仏」移動距離に大きな変動があることが分かった。本研究により性別によらず嚥下時の「のど仏」移動距離の繰り返し計測が可能となった。脳梗塞などの後遺症により嚥下障害に苦しむ患者数は多く、嚥下機能評価にこのシートの適用が期待できる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

誤嚥性肺炎は2019年度の我が国における死因の6位である。嚥下機能評価のゴールドスタンダードは嚥下造影検査による誤嚥の有無の判定であるが大掛かりな装置であり、被曝も問題となる。「食べ物を飲み込む能力」を非侵襲で定量的に繰り返し評価できる手法の確立が喫緊の課題である。嚥下の際に上下運動する「のど仏」の移動距離は嚥下機能の重要な指標であるが測定複雑さから行われてこなかった。本研究では「のど仏」の移動距離を推測できるセンサーシートの開発に成功した。実用化のための第一歩である。

研究成果の概要(英文)：In our previous project (JSPS KAKENHI Grant Number 26350663), we developed a flexible polyurethane sensor sheet with piezoelectric pressure sensors embedded at intervals of 3.0 mm. At this research project, the number of sensors was increased to 25 to obtain the distance of movement of the laryngeal prominence which could not be resolved in the previous project. As a result, the estimated distance measured by this sensor sheet tended to be smaller than the distance obtained by the motion analysis of the video taken of a man's throat from the side. The distance of the laryngeal prominence moved varied widely even when the same amount of water was swallowed. However, this research has made it possible to repeatedly measure the moving distance of the laryngeal prominence regardless of gender. There are many patients who suffer from dysphagia due to the aftereffects of cerebral infarction, and this sheet is expected to be applied to swallowing function evaluation of these patients.

研究分野：嚥下リハビリテーション

キーワード：嚥下センサー のど仏 非侵襲的

## 1. 研究開始当初の背景

近年の救急医学の発達に伴い脳卒中に対する救命率が上がった一方で、後遺症を持つ人が増大している。わが国では年間約40万人の脳卒中患者が新たに発生し、その約5%が後遺症として嚥下障害をもつとされている。食べ物を飲み込む時に誤って気管に入ってしまうことを誤嚥と言ひ、肺炎（誤嚥性肺炎）になる危険性を著しく高める。その結果、肺炎は死因の第3位に上がり、その多くが誤嚥性肺炎である。嚥下機能検査のゴールドスタンダードとして嚥下造影検査が用いられている。しかし被曝が問題となり頻繁に検査することはできない。もう一つの手法である嚥下内視鏡検査は鼻から光ファイバースコープを挿入する必要があり、苦痛を伴う。「食べ物を飲み込む能力」を非侵襲で定量的に繰り返し評価できる手法の確立が喫緊の課題である。

「のど仏」の上昇が不十分あるいはタイミングがずれると、食べ物が気管へと侵入する。我々は「のど仏」の移動のタイミングと距離を記録することにより「食べ物を飲み込む能力」の定量的評価ができると考えた。平成26~28年度の科研費・基盤研究Cの補助を受け、首にフィットするセンサーシートを開発した（特許申請番号2017-24592）。そのシートを用いて、嚥下時の「のど仏」の移動速度の非侵襲的な計測に成功した<sup>(1)</sup>。特に「のど仏」を外見から確認できない女性からの記録は世界初である。この研究から以下の3つの問題点が生じた。センサーの数が少なく「のど仏」の移動距離を計測できなかった。センサーシートの厚さが8mmと厚く、実験者の手から「のど仏」の動きをはっきりと感じ取ることが困難であった。首の形や大きさには個人差があり、「のど仏」の移動距離について正常の基準値がない。これらの問題点を解決できれば、言語聴覚士の手の感覚を邪魔せず、非侵襲的かつ正確に「のど仏」の移動を計測でき、基準値から「飲み込み能力」の定量的評価ができる。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は嚥下に伴う「のど仏」の移動距離を非侵襲的にかつ正確に測定することである。「のど仏」の移動距離に基づいた「飲み込み能力」の評価方法は、その手軽さから2つの大きな利点がある。第一に、これまで嚥下造影検査の対象とならなかった高齢者から記録し、誤嚥性肺炎の危険性判定や予防に用いることができる。第二に、繰り返し計測が可能なので嚥下リハビリテーション前後の「のど仏」の動きやタイミングの改善度を評価できる。

## 3. 研究の方法

### (1) 新しいセンサーシートの開発

前回の基盤研究C（課題番号26350663）において我々は、1.5mmまでセンサーの幅を小さくしても、わずかな圧力変化を記録できることを明らかにした<sup>(1)</sup>。嚥下造影を用いた研究から嚥下時の「のど仏」の動きは20~30mm程度であることが分かっており、余裕をもって3mm間隔で25個のセンサーを並べたセンサーシートを開発することにした。前回のセンサーではリード線を後ろから導出するなど機械的に弱く、かつ厚い構造であった。そのため、センサーの形状を見直し、機械的な手のひらからも「のど仏」の動きを感じることができるようになる限り薄いセンサーシートを開発を目指した。

### (2) センサーシートで得た嚥下信号から推定した「のど仏」移動距離と動画解析との比較

喉頭隆起の顕著な成人男性5名を用いた。作成したセンサーシートを用いて嚥下時の信号を取得し、それを基に「のど仏」の初期位置からの移動距離を推測した。3mlの水を口に含ませ、声かけによる指示で嚥下させた。また男性は「のど仏」が明確であるため、嚥下時の「のど仏」の移動を横から動画で撮影し、その動画解析から得た「のど仏」の初期位置からの移動距離との比較を行った。

### (3) 「のど仏」の嚥下時の運動解析

上記の研究で「のど仏」の動画解析から、「のど仏」の初期位置からの移動距離に変動が認められたため、「のど仏」の初期位置と到達位置、それらの変動について喉頭隆起の顕著な成人男性6名を用いて検討した。頸部を側面から動画撮影し、側方から眺めた時の頸部中央の上下方向に沿って平行な点を5cm間隔で2つつけた。1点は喉頭隆起の下方になるように付け、その点を原点、もう1点とつないだ直線を上下軸とし、嚥下に伴う喉頭隆起の座標変化を計測した。水3mlを10回程度嚥下させ、各被験者の各嚥下で嚥下開始前、最大上昇時、嚥下終了時の喉頭隆起の座標を計測した。

## 4. 研究成果

### (1) 新しいセンサーシートの開発

前回の研究で、ピエゾフィルムの幅を1.5mmまで小さくしても、嚥下に伴い「のど仏」がセンサーを押した時の圧力を電位変化としてとらえることができた。しかし、ピエゾフィルムを収納したステンレスケースも含めたセンサー全体の厚さが約3.6mmで、同軸ケーブルを後ろから導出したため、これをアレー状に並べてウレタンレンジシートに埋め込んだとき、そのシートの厚さは約8mmと厚くなってしまった<sup>(1)</sup>。本研究ではそのセンサーの厚さを減らすことを目標にセンサーを組み入れるケースの形状を再設計した。リード線を横から導出することにし、ノイズ減

少のためセンサーの後ろにコンデンサマイクロホン用の FET を新たに取り付けた。リード線と FET を取り付けるため、前回と同様にセンサー部分の幅は 1.5mm で長さは 5 mm であるが、さらに長さを約 11 mm 伸ばした。そして Piezo センサーシートにクロロプレキシシート (厚さ 0.2 mm) を張り付けた。前はノイズ対策のためステンレスの容器を作成し、そこに Piezofilm を入れたが、今回は FET を取り付けすぐに増幅することにしたため、ケースをガラスエポキシ樹脂 (厚さ 1.6mm) に変更し、その周りに導電性塗料を塗ることによってノイズが入らないようにした。リード線は強度が高くかつ細い外径 0.61mm の同軸ケーブルに変更した。その結果、センサーの厚みは FET を取り付けた最も厚い部分でも 2 mm 程度に抑えることができた。作成した Piezo センサーを前回の研究と同様に 3mm 間隔でウレタンレジンに埋め込んだ。約 5mm に厚さを減少することができた (長さ 88mm、幅 80mm)。開発したセンサーシートについて学会発表した<sup>(2,3)</sup>。

### (2) センサーシートで得た嚥下信号から推定した「のど仏」移動距離と動画解析との比較

「のど仏」が真中のセンサー周辺になるようにして、頸部に軽くセンサーシートを押し当てて、水 3ml の命令嚥下を行わせた。前回の研究と同じく、センサー下を「のど仏」が通過するとと思われる時点で電圧信号が取得できた。嚥下の時に「のど仏」は上昇し、その後下降して元の位置に戻る。つまり、「のど仏」が通過したと思われるセンサーからは 2 山の電圧信号が記録される。前回と同様に、上に位置するセンサーほどこの 2 山の電圧信号の間隔が短くなった。そして、この 2 山が確認できなかったセンサーの手前まで「のど仏」が到達したと考え、1.5mm を追加した。同様に 2 山を示した最も下のセンサーと 1 つ手前のセンサー間に「のど仏」があったと考え、1.5mm を足した。そして「のど仏」の推定移動距離を  $1.5 \text{ mm} + (2 \text{ 山を示したセンサーの数} - 1) \times 3.0 \text{ mm} + 1.5 \text{ mm}$  で求めた。センサーシートを用いた推定移動距離は  $21.4 \pm 1.7 \text{ mm}$  で、動画解析による  $27.1 \pm 3.2 \text{ mm}$  よりも有意に小さかった ( $P < 0.05$ )。動画解析に比べて  $5.7 \pm 2.9 \text{ mm}$  小さかった。センサーシートでの推定移動距離が動画解析に比べて小さい原因は不明である。概算方法が適切でない可能性や、センサーシートの影響により「のど仏」の移動が妨げられた可能性、センサーシートは手で頸部に押し当てているため、嚥下の際にシートが移動した可能性などが考えられる。これらの結果を学会発表した<sup>(3,4)</sup>。

### (3) 「のど仏」の嚥下時の運動解析

上記の研究において、同じ 3ml の水を嚥下した場合にも、同一被験者において数 mm 程度の移動距離の変動が認められた。この変動の原因が「のど仏」の初期位置の変動によるのかどうかについて、動画解析を行った。各被験者における嚥下開始前、最大上昇時、嚥下終了時の上下軸と前後軸の標準偏差 (SD) は  $1.9 \pm 0.8 \text{ mm}$  と  $0.9 \pm 0.4 \text{ mm}$ 、 $1.3 \pm 0.4 \text{ mm}$  と  $0.9 \pm 0.3 \text{ mm}$ 、 $2.3 \pm 1.3 \text{ mm}$  と  $1.0 \pm 0.6 \text{ mm}$  であった。嚥下開始前と最大上昇時において上下軸も前後軸もその標準偏差間に有意差は認められなかった。嚥下時の喉頭隆起の移動距離は  $26.3 \pm 2.3 \text{ mm}$  で、各被験者における移動距離の SD は  $1.7 \pm 0.7 \text{ mm}$  であった。以上の結果から、「のど仏」の移動距離の変動は、初期位置の変動によるのではなく、初期位置および最大上昇時両者の位置の変動によると考えられた。これらの結果を学会発表した<sup>(5)</sup>。

### ・まとめ

嚥下にとまなう「のど仏」の移動全範囲を感受できるセンサーシートを開発できた。しかし、このセンサーシートで得た波形から推定した嚥下時の「のど仏」の総移動距離は、動画解析で求めた移動距離よりも有意に小さかった。今後、波形の解釈やセンサーシートを押し当てたことによる影響等について研究する必要がある。そのために、現在、正確に移動距離を設定できる人工「のど仏」運動モデルの作成を計画している。センサーシートによる計測は同じ被験者でくり返し計測できることから、このセンサーシートを用いた「のど仏」の移動距離の推定は嚥下リハビリテーションの効果の検証等に有用であると我々は考える。

また健常者において同じ容量の水の嚥下において「のど仏」の移動距離には数 mm の変動があることが分かった。嚥下障害患者の「のど仏」の移動距離は健常者に比べて小さいということが報告されているが、変動については検討されていない。今後の課題である。

### < 引用文献 >

- (1) Iizuka M, Kobayashi M, Hasegawa Y, Tomita K, Takeshima R, Izumizaki M. A new flexible piezoelectric pressure sensor array for the noninvasive detection of laryngeal movement during swallowing. *J Physiol Sci*. 2018; 68: 837-846.
- (2) Iizuka M, Tomita K, Takeshima R, Izumizaki M. Non-invasive methods to evaluate the swallowing function. *J Physiol Sci*. 69, Suppl 1, 2019, S20.
- (3) Iizuka M, Mori T, Tomita K, Watanabe N, Takeshima R, Izumizaki M. Development of a sensor array for noninvasive measurement of the total length of the laryngeal movement during swallowing. *J Physiol Sci*. 72, Suppl 1, 2022, 147.
- (4) 飯塚真喜人, 森貴彦, 富田和秀, 渡邊尚彦, 武島玲子, 泉崎雅彦. 嚥下時の喉頭の総移動距離を計測するための Piezo センサーシートの開発. 第 28 回日本摂食・嚥下リハビリテーション学会, 2022.10 (東京).
- (5) 飯塚真喜人, 森貴彦, 富田和秀, 渡邊尚彦, 武島玲子, 泉崎雅彦. 嚥下時の喉頭移動のバラ

ツキについて . 第 29 回日本摂食・嚥下リハビリテーション学会, 2023.9 (東京) .

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Makito Iizuka, Kazuhide Tomita, Reiko Takeshima, Masahiko Izumizaki
2. 発表標題 Non-invasive methods to evaluate the swallowing function
3. 学会等名 9th Federation of the Asian and Oceanian Physiological Societies Congress, (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Makito Iizuka, Takahiko Mori, Kazuhide Tomita, Naohiko Watanabe, Reiko Takeshima, Masahiko Izumizaki
2. 発表標題 Development of a sensor array for noninvasive measurement of the total length of the laryngeal movement during swallowing
3. 学会等名 The 99th Annual Meeting of the Physiological Society of Japan
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 飯塚真喜人、森貴彦、富田和秀、渡邊尚彦、武島玲子、泉崎雅彦
2. 発表標題 嚥下時の喉頭の総移動距離を計測するためのピエゾセンサーシートの開発
3. 学会等名 第28回日本摂食嚥下リハビリテーション学会学術大会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	富田 和秀  (Tomita Kazuhide)  (00389793)	茨城県立医療大学・保健医療学部・教授    (22101)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	飯塚 眞喜人  (Iituka Makito)  (40274980)	昭和大学・医学部・准教授    (32622)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関