

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 30 日現在

機関番号：32622

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2014～2016

課題番号：26350663

研究課題名（和文）甲状軟骨（のど仏）の移動距離に着目した非侵襲・嚥下機能評価法の開発

研究課題名（英文）Development of a new sensor array for noninvasive measurement of laryngeal movement during swallowing

研究代表者

飯塚 眞喜人（Iizuka, Makito）

昭和大学・医学部・准教授

研究者番号：40274980

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,600,000円

研究成果の概要（和文）：食べ物の飲み込み（嚥下）の際、「のど仏（甲状軟骨）」が上昇し、喉頭蓋で気道を塞ぐことにより誤嚥を防いでいる。つまり「のど仏」の移動は嚥下機能の重要な指標である。嚥下機能の評価する手法として嚥下造影検査があるが、被曝が問題となり頻繁に検査できない。本研究では嚥下に伴う「のど仏」の移動を非侵襲的に精密に測定する装置の開発、その装置の嚥下機能評価における有用性の検証、を目指した。その結果、新しいピエゾセンサーシートを開発し、頸部に軽く押し当てることにより嚥下に伴う「のど仏」の移動の計測に成功した（特願2017-24592）。成人男女の標準値を得た。嚥下リハビリテーションへの臨床応用が期待できる。

研究成果の概要（英文）：During swallowing, an insufficient rise of the larynx causes incomplete closure of the trachea with the epiglottis and consequently causes aspiration. Although the laryngeal movement could be monitored by video fluorography, the radiation exposure involved in this method makes it impossible to do repeated measurements. To solve this problem, we made small piezo pressure sensors, and five of these sensors were lined up with 3.0-mm intervals and embedded in the middle of a palm-size urethane resin sheet. When the sensor sheet was lightly attached to the ventral surface of the neck near the laryngeal prominence, various swallowing parameters, such as the latency and the rising and lowering velocities of the larynx, could be obtained repeatedly even in women with no apparent laryngeal prominence (Japanese patent application No. 2017-24592). We have obtained the standard values of these parameters using healthy adults. This sensor sheet will be useful in evaluating the swallowing function.

研究分野：呼吸生理学

キーワード：嚥下機能評価 嚥下リハビリテーション ピエゾセンサー 喉頭隆起

1. 研究開始当初の背景

食べ物を飲み込む機能(嚥下機能)は加齢と共に低下し、脳卒中など加齢以外の要因が加わることによって嚥下障害は起きる。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り、三大死因であった脳卒中は第4位になった。一方で、脳卒中に伴う後遺症を持つ人が増加している。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。嚥下時に食べ物が誤って気管に入ってしまうことを誤嚥と言い、肺炎(誤嚥性肺炎)になる危険性を著しく高める。肺炎は脳卒中に換わり死因の第3位に上がり、その多くが誤嚥性肺炎である。つまり脳卒中で死亡する人は減ったが、後遺症である嚥下障害をもち、そして最終的に誤嚥性肺炎で死亡する人が多くなっている。

嚥下造影検査が嚥下機能検査のゴールドスタンダードとして用いられている。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では鼻から光ファイバースコープを挿入する必要があり、多少の苦痛を伴う。いずれの方法でも分かることは誤嚥の有無と程度のみである。以上、誤嚥性肺炎の予防や嚥下リハビリテーションの効果判定に嚥下機能を非侵襲・定量的に繰り返し評価できる手法の確立が必要とされている。

嚥下は食べ物の位置によって口腔期、咽頭期、食道期に分けられ、舌骨と喉頭(のど仏)が引き上げられることによって喉頭蓋が閉じ、食べ物が気管に入らずに食道を通り胃へと送られる。「のど仏」の上昇が不十分であったりや上昇の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」の移動を1mm単位で正確に記録できれば、喉頭蓋の閉じ方やタイミングを知り、嚥下機能の定量的評価ができると考えた。

2. 研究の目的

以上の背景から本研究では高空間分解能で柔らかなセンサーアレイシートを新たに開発し、これを首に張り付け、食べ物の飲み込み(嚥下)に伴う「のど仏」の移動を精密に測定する装置を作成することを目的とした。そして嚥下機能評価における有用性を検証し、嚥下リハビリテーションへの臨床応用を目指した。

3. 研究の方法

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40mmの長さのセンサーアレイの作成を目標とした。予備実験において、フィルム上にピエゾセンサーを並べた場合、センサー間の干渉により頸部表面の甲状軟骨の移動に伴う圧変位をとらえることが困難であった。それゆえ個々に独立した小さなピエゾセンサーを作成することに

した。入手可能な最小のピエゾセンサーを作成している会社(エルメック電子工業㈱)に、空間解像度1mm程度、40チャンネルのセンサーアレイの設計と作成を依頼した。頸部に張り付けるために必要な柔軟性のある素材、適切な基板材料等を選定した。センサーアレイに配置された各センサー間の独立性や、力の向きと得られる信号の強さなどについて調べた。頸部にセンサーアレイを装着した時に、各センサーにかかる応力の影響を最小限にし、センサーに垂直にかかる力を検出できるように工夫した。

被験者を用いた実験は昭和大学倫理委員会と茨城県立医療大学倫理委員会の承認を受けて行われた。実験には健康成人(男6名、女6名)を用いた。各被験者の頸部を正面と横から写真撮影した。3mlの水を口腔内に保持させ、指示に従って速やかに一回嚥下させた。この時、シートが一番下方にあるセンサーが喉頭隆起の上になるように軽く密着させた。

4. 研究成果

(1) 嚥下信号を取得するための小さな圧センサーの開発

研究開始当初、空間解像度を1.0mm程度とするために、0.5mmのピエゾセンサーの開発を目指した。しかし、ピエゾフィルムであるポリフッ化ビニリデンフィルム(PVDFフィルム、40 μ m厚、クレハ)の歪みに伴う電圧信号は大きさに依存し、0.5mmのセンサーを作成しても十分な電圧信号が得られない可能性があった。そのため、縦1.5mm、横7mm、肉厚0.2mm、高さ3.5mmのステンレスケースを作成し、縦7mm、横1.5mmに収まるように、ポリフッ化ビニリデンフィルム(PVDFフィルム、40 μ m厚、クレハ)を縦1mm、横5mmの大きさ切断した。このフィルムに直径1mmの同軸ケーブルをつなぎ、ステンレスケースの後ろ側からケーブルを出し、樹脂で固めた。PVDFフィルムの前面に縦1.2mm、横6.7mmのクロロプレンゴムシートを貼り付け、ステンレスケースから0.1mm出るようにした。

電圧信号を得る事ができるようにインピーダンス変換回路を作成した。その結果、増幅率は0.56、時定数は3.0秒であった。センサー表面にわずかな圧力を加えるのみで電圧信号を導出できた。予算的に5つのセンサーしか作成できなかった。

(2) 嚥下信号を取得するためのセンサーアレイシートの開発

作成したセンサーは耐熱性が低いことが分かり、干渉を抑えるための弾性素材として熱で硬化させるシリコン樹脂を使用できなかった。そのため、低温で硬化するポリウレタン樹脂を使用した。センサー間の干渉を抑えるため、硬度の低い材料にてシートを作成した場合、シート自体が柔らかすぎで扱いにくいことが想定された。正確に3.0mm間隔で

並べるために、ゲルシート（アスカ-C 硬度0, (株)タイカ）を縦 2.5mm、横 7.0mm、厚さ 1.5mm で切断し、両面テープにてセンサーのステンレケース面と接着した。これをセンサーのクロロブレンゴムシート面がわずかに上になるようにして縦 100 mm、横 80 mm、厚み 8 mm のポリウレタンゲルシート（人肌ゲル、アスカ-C 硬度5、エクシールコーポレーション）に埋め込んだ（図1）。

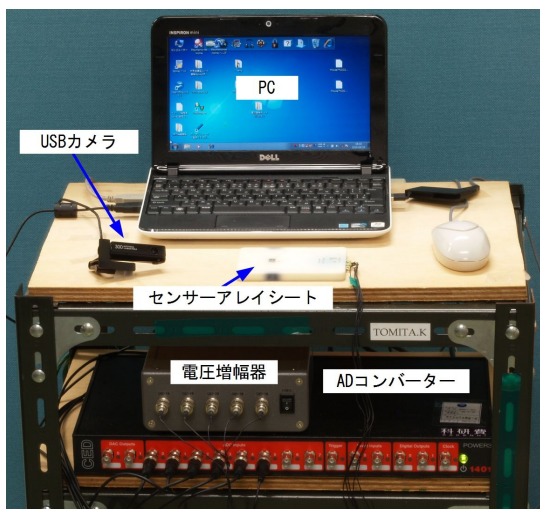


図1 作成したセンサーアレイシートと電圧増幅器およびその他の実験装置の外観

出来上がったセンサーシートを用いて、皮膚に見立てたシート（ラップ）を貼り付け、上から直径約 9mmの先の丸い木の棒を滑らせたところ、センサー間の干渉は無視できるほど小さく、電圧信号を記録することができた。

(3) 「のど仏」の性差

明らかな性差が認められ、男性6名中5名で明白な「のど仏」が確認できたが、女性で「のど仏」が横から見て確認できたのは6名中1名のみであった。



図2 センサーシートの頸部表面への装着方法

(4) 嚥下信号の記録

図2に示すようにセンサーシートの一番下のセンサーが「のど仏」のやや上部になるように手で押し当て、指示後なるべく速やかに3mlの水を嚥下させた。

男性より得られた代表的な記録を図3に

示す。同様に女性より得られた代表的な記録を図4に示す。「のど仏」が明白ではない女性においても、「のど仏」の上下に伴う2回の圧変化を記録することができた。

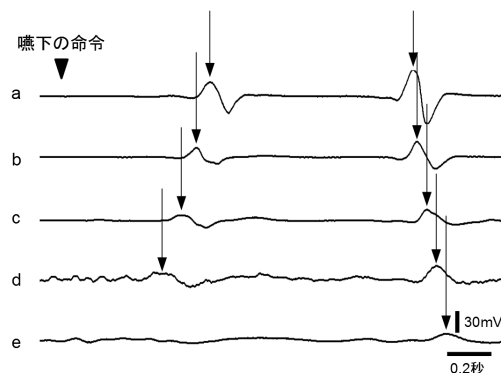


図3 男性より得た代表的な記録

センサーが「のど仏」のやや上になるようにセンサーシートを軽く押し付けた。e から a に向かって上側に順に配置されたセンサーからの電圧を示す。矢印は各電圧のピークを指し、各センサーのピーク時点で「のど仏」がそのセンサー直下にある。嚥下に伴い「のど仏」が上昇し、再び下降し元に戻るタイミングを計測できる。

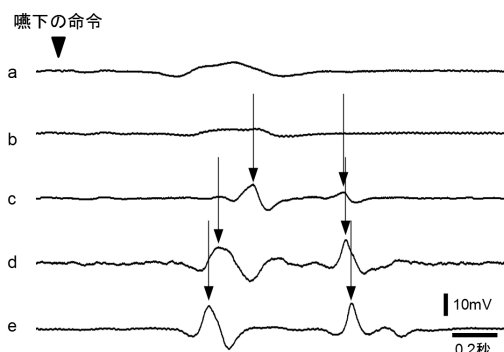


図4 女性より得た代表的な記録

男性と同様の記録波形を取得できた。

(5) 嚥下パラメーターの計測と健常者における標準値

健常人男女各6人よりデータを取得した。嚥下指示後の嚥下潜時は約0.51秒、嚥下持続時間は約0.79秒、喉頭上昇速度は約92mm/秒、下降速度は約102mm/秒であった。性差は認められなかった。この標準値と嚥下障害（パーキンソン病）患者より得た値と比較した結果、患者では顕著に嚥下持続時間が長いことを明らかにした。これらの研究成果をもとに特許申請を行った（特願2017-24592）。

以上、研究開始当初に目標としていた精度までは達成できなかったが、嚥下時の「のど仏」の移動を頸部表面から非侵襲的に繰り返し取得できる装置の開発に成功した。個人内での各嚥下指標のばらつきについてもはじめて明らかにすることができた。今後、さら

に予算を取得し、センサー数を増やすことにより「のど仏」の移動距離全体を計測できる装置の作成、センサーの更なる小型化と高精度化、嚥下障害患者の嚥下リハビリテーション時の各嚥下指標の変化等について研究を進展させていく予定である。

昭和大学・医学部・教授
研究者番号： 20398697

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 1件)

岩崎円, 富田和秀, 武島玲子, 飯塚真喜人,
舌骨上筋群の嚥下時筋活動持続時間の加齢に伴う変化と嚥下機能との関連. 日本摂食嚥下リハビリテーション学会誌 2014; 18: 123-130. (査読有)

〔学会発表〕(計 2件)

飯塚真喜人, 小林雅明, 長谷川義真, 富田和秀, 武島玲子, 泉崎雅彦: ピエゾセンサーアレーを用いた非侵襲嚥下検出装置の開発. 第22回日本摂食嚥下リハビリテーション学会学術大会, 新潟市, 2016年9月.

飯塚真喜人, 小林雅明, 長谷川義真, 富田和秀, 武島玲子, 泉崎雅彦: 非侵襲的に嚥下時の喉頭移動を計測する装置の開発. 第94回日本生理学会大会, 浜松市, 2017年3月.

〔産業財産権〕

出願状況(計 1件)

名称: 嚥下検出装置
発明者: 飯塚 真喜人
権利者: 昭和大学
種類: 特許願
番号: 特願 2017-24592
出願年月日: 平成 29年 2月 14日
国内外の別: 国内

6. 研究組織

(1)研究代表者

飯塚 真喜人 (IIZUKA, Makito)
昭和大学・医学部・准教授
研究者番号: 40274980

(2)研究分担者

富田 和秀 (TOMITA, Kazuhide)
茨城県立医療大学・保健医療学部・教授
研究者番号: 00389793

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

泉崎 雅彦 (IZUMIZAKI, Masahiko)