

平成 29 年 6 月 13 日現在

機関番号：32620

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2016

課題番号：26750200

研究課題名(和文)筋音図を用いた嚥下機能の定量的評価とバイオフィードバックへの試み

研究課題名(英文)the quantitative evaluation of the swallowing function using the figure of muscle sound and the trial to a biofeedback

研究代表者

沖崎 貴子(OKIZAKI, Takako)

順天堂大学・医学部・助手

研究者番号：40624854

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000 円

研究成果の概要(和文)：本研究では、「筋音図を用いた嚥下機能の定量的評価とバイオフィードバックへの試み」と題し、人々のQoL(Quality of Life)を著しく低下させる恐れがある嚥下障害の予防と嚥下機能の維持・回復を目的に、筋音図を用いて人間の嚥下運動を定量的に評価・再構成する方法を提案した。そして、嚥下リハビリテーションとしてShaker法施行時におけるバイオフィードバックとして、舌骨上筋群の有効な筋し収縮を視覚的に提示できるシステムを構築した。これにより個々の患者に合わせた効率的なリハビリテーションが可能となることが示された。

研究成果の概要(英文)：In this study, we suggested a method to evaluate the swallowing exercise of human being using a figure of muscle sound for the purpose of maintenance, the recovery of the prevention and the swallowing function of dysphagia that might remarkably reduce QoL (Quality of Life) of people quantitatively, and to reconstitute titled "the quantitative evaluation of the swallowing function using the figure of muscle sound and the trial to a biofeedback". And we built the system which we did an effective line of the suprahyoid muscles as a biofeedback in the Shaker method as swallowing rehabilitation, and could show the shrinkage visually. It was in this way shown that the effective rehabilitation that we matched with an individual patient was enabled.

研究分野：耳鼻咽喉科学

キーワード：嚥下障害 筋音図 PVDFフィルム Shaker法 舌骨上筋群

1. 研究開始当初の背景

我が国は、世界に類を見ない速度で高齢化が進み、2007年に高齢化率が21%を超え、超高齢社会へと突入した。当然のことながら、加齢に伴って身体機能や認知能力の低下が起こるため、これからの日本においては、高齢者が安心・安全に暮らせるための環境づくりが大きな課題となる。

身体機能に関する大きな問題の一つとして、嚥下機能の低下が挙げられ、誤嚥性肺炎の大きな要因の一つとなっている。日本における肺炎による死亡率は高く、先ごろ発表された厚生労働省の平成24年人口動態調査によれば、日本人の死因の第3位は肺炎であり、その多くが高齢者となっている。また、人間は日常的に経口摂取により栄養を補給しており、食物や飲料水を飲み込む機能に障害が生じることは、窒息、脱水および低栄養状態という問題も引き起こす。そして、「食べたい」という人間の基本的な欲求も阻害されることになり、心的ストレスの増大も懸念される。さらに、嚥下と同一器官を共有する呼吸機能やコミュニケーションのための構音・発声機能にも影響が及ぶため、当然の如くQoL (Quality of Life) は大きく低下する。このことから、嚥下機能に障害が生じることは、高齢者のみならず若年者にとっても深刻な問題であり、嚥下障害の予防と嚥下機能の維持・改善は、健康寿命の延長やQoLの向上、介護者の負担軽減の観点から喫緊の課題と言える。

嚥下機能に障害が生じた際の対処法として、経口摂取の確立に向けたリハビリテーションが実施されている。このリハビリテーションは、主に、嚥下運動の改善や嚥下反射の誘発の促進を目的とした食物を用いない基礎 (間接) 訓練と、食物を嚥下しながら経口摂取の導入と確立を目的とした摂食 (直接) 訓練に分けられる。いずれの場合でも、効果的なリハビリ効果を得るためには嚥下障害の病態を的確に把握し、それに応じた訓練内容を組む必要がある。しかしながら、嚥下障害の原因として器質的原因、機能的原因、心理的原因などが複雑に関与するため、その病態を的確に把握することは難しい。現在、嚥下障害を診断する際の主流として、嚥下運動をX線透視画像で観察するビデオ嚥下造影検査 (VideoFluoroscopic examination of swallowing: VF) やファイバースコープを用いた嚥下内視鏡検査 (VideoEndoscopic

examination of swallowing: VE)

が行われているが、特別な環境や機器が必要であり、被爆や侵襲の問題もある。また、嚥下障害の評価は医師の主観評価が中心であり、定量的な評価指標がないという問題もある。

さらに、効果的なリハビリテーション方法として、運動時の生体信号を理解しやすい形で視覚的に提示するバイオフィードバックの重要性が高まっているが、嚥下運動は身体内の運動であるため、視覚的に分かりやすい情報提示が難しいという問題がある。以上のような観点から、家庭や介護施設で低侵襲かつ簡易に嚥下運動を定量的に評価でき、なおかつ嚥下運動を視覚的に再現する事ができる方法論の確立が望まれている。

2. 研究の目的

上述のような背景の下、主に、(A) 筋音図を用いた嚥下運動の測定方法の確立、(B) 従来の嚥下機能評価法との比較による筋音図による嚥下運動の定量化、(C) 筋音図を用いた嚥下運動の再構成法とバイオフィードバックへの応用、の3項目について取り扱う。各項目における具体的な目標は以下の通りである。

(A) 筋音図を用いた嚥下運動の測定方法の確立: 嚥下運動において支配的に働く筋肉の運動を計測し、正常な場合と障害がある場合との比較を行えるようにする。非侵襲的に筋肉の活動を計測するための生体情報としては、通常、表面筋電図 (ElectroMyoGraphy: EMG) が用いられるが、嚥下運動の支配筋には深層部のものも含まれるため、EMGでは全体像を把握できない。そこで本研究では、比較的深層部の筋肉の活動も計測することが可能な筋音図 (MechanoMyoGraphy: MMG) を用いる。この筋音は、筋肉の収縮伸張に伴って発生する微振動を計測するもので、筋の機械的な活動を反映した信号であり、加速度計やマイクを体表面に貼付するだけで非侵襲かつ連続的に測定することができる。本研究では、センサとしてPVDF (PolyVinylidene DiFluoride: PVDF) というシート状の圧電素子を用いて、嚥下運動時の筋音図を取得する際の最適な数や貼付位置を明らかにする。

(B) 筋音図による嚥下運動の定量化:

(A)で得られた筋音図を用いて嚥下運動を定量化する方法を検討する。そこで、従来方法によって嚥下機能を検査するのと同時に筋音図を取得する。そして、従来方法で

得られる嚥下運動の様子と筋音図の特徴を比較することにより、嚥下運動における各器官の動きと筋音図の特徴との対応を明らかにする。また、嚥下運動が正常な場合と障害がある場合との比較を行い、障害がある部位と筋音図の特徴の変化の対応を明らかにする。

(C) 筋音図を用いた嚥下運動の再構成法とバイオフィードバックへの応用:

嚥下運動のリハビリテーションの効率化を目指し、(A)(B)の結果を用いたバイオフィードバックとして、嚥下運動を視覚的に提示するためのシステムを構築する。そこで、上記(A)(B)の結果を基にして筋音図から嚥下運動を再構成する方法を明らかにし、再構成された嚥下運動をCGや咽喉部の動きを再現できる精密模型による嚥下シミュレータで再現できるようにする。これにより、障害がある器官を視覚的に提示できるような嚥下リハビリテーション支援システムを構築する。

これまでに、聴診器を用いて嚥下時の音から嚥下運動を診断する方法や、嚥下時の筋肉の活動を筋電図(EMG)を用いて定量化するための取り組みは見られるが、筋音図(MMG)を用いた研究は非常に少なく、独創的な研究であると言える。また、MMGの計測から得られる嚥下運動をCGまたは実体のある嚥下シミュレータで再現するような試みはこれまでに行われておらず、先駆的な研究であると言える。

前述の通り、日本において肺炎による死亡率は高く、誤嚥性肺炎の要因となる嚥下機能の維持・改善を目的とする本研究の波及効果は極めて大きいと言える。

3. 研究の方法

概要: まず、筋音図を用いて嚥下運動の支配筋の動きを安定的に測定するために、筋音図を取得するためのPVDFの配置について検討を行う。また、得られた筋音図を解析し、嚥下運動を定量的に評価するための指標を抽出する。そして、従来方法と提案手法を比較し、筋音図から得られる特徴量を用いて嚥下運動の際の食塊の流れと各器官の協調運動とを推定可能かどうか調査する。最終的には、筋音図から得られる情報を基に嚥下運動を再構成し、それをCGや咽喉部の動きを再現できる精密模型に実装し、視覚的に提示できるようにする。

・平成26年度の研究内容及び方法

平成26年度では、主に、研究目標(A)に取

り組んだ。まず、PVDFを用いて筋音信号を安定的に計測する方法について研究を行った。また、得られた筋音信号を解析し、嚥下運動を定量的に評価するための特徴量の抽出方法についても一部検討を始める予定とした。具体的な内容は以下の(A-1)～(A-3)の通りである。

(A-1) PVDFによる筋音信号の測定

PVDFは、フッ素樹脂の長所である耐薬品性と良好な機械的・熱的・電気的特性を併せ持ったポリマーである。なお、測定の際のフィルタやアンプの構成については実験を通して決定するようにする。

(A-2) PVDFの最適配置の検討

PVDFを貼付する位置については、嚥下運動の客観的評価のために筋電図や聴診器を用いている先行研究を参考に、嚥下運動に支配的な筋肉の活動が取得できるようにする。

(A-3) 筋音図の解析方法の検討

(A-2)で得られた筋音図を解析し、嚥下運動時に特徴的に現われる信号の変化を抽出する。

・平成27・28年度の研究内容及び方法

平成27年度以降は、主に、研究目標(B)、(C)に取り組むことを目標とした。筋音図から嚥下運動をモデル化する方法について検討した。そして、モデル化された嚥下運動をCGや実体のある嚥下シミュレータで再現できるようにする。具体的な内容は以下の(B-1)、(B-2)、(C-1)、(C-2)の通りである。

(B-1) 筋音図による評価と従来法との比較
健康者を対象とした臨床試験を行なった。従来の嚥下造影検査(VF)や嚥下内視鏡検査(VE)と同時に筋音図の計測を行い、嚥下運動の観察結果と筋音図の測定結果との比較を行う。

(B-2) 筋音図による嚥下障害の分析

様々な症例の嚥下障害患者を対象に、(B-1)と同様の臨床試験を行う。

(C-1) 筋音図を用いた嚥下運動の再構成

(B-1)、(B-2)が奏功すると、筋音図の情報から嚥下運動を再現することが可能になる。そこで、筋音図から得られる嚥下運動の推定結果をCGや咽喉部の動きを再現できる精密模型に反映させる。

(C-2) 嚥下リハビリテーションへの適用とまとめ

(C-1)で構築した嚥下リハビリテーション支援システムを用いて、実際の患者に対してバイオフィードバック訓練を実施し、そのリハビリ効果を検証する。

4. 研究成果

・平成 26 年度の研究成果

平成 26 年度で取り組んだ前述の研究目標 (A) の成果を示す。

(A-1) PVDF による筋音信号の測定

前述の通り、筋音図は筋肉の収縮伸張に伴う微細な振動を記録するもので、筋の機械的活動が反映される。本研究では、その機械的活動（微振動）を測定するセンサとして、フィルム状の PVDF（PVDF フィルム）を使用した。この PVDF は、フッ素樹脂の長所である耐薬品性と良好な機械的・熱的・電気的特性を併せ持ったポリマーである。なお、測定の際のフィルタやアンプの構成については実験を通して決定した。

(A-2) PVDF の最適配置の検討

PVDF を貼付する位置については、嚥下運動の客観的評価のためには嚥下運動に支配的な筋肉の活動が取得できるようにする。PVDF フィルム貼付位置としては舌骨上筋群を設定した。舌骨上筋群は顎舌骨筋、頤舌骨筋、顎二腹筋が嚥下運動を支持する筋肉である。複数の筋肉の共同運動により成立する動作であり、個々の筋音の選別が必要となった。PVDF フィルムを 2 次元アレイ状に配したセンサフィルムを舌骨上筋群レベルに巻き、筋音を複数のセンサで同時計測すること、筋音の発信源を特定した。筋活動量を定量化することの重要性を再認識することとなった。

(A-3) 筋音図の解析方法の検討

(A-2) で得られた筋音図を解析し、嚥下運動時に特徴的に現われる信号の変化を抽出した。筋音図の解析方法は筋電図と類似しており、時間領域の解析では、時系列の振幅の変化、積分値、平均二乗振幅値（Root Mean Squared value: RMS 値）といった指標が一般的に用いられる。また、周波数領域での解析では、高速フーリエ変換（Fast Fourier Transfer: FFT）でパワースペクトルを取得し、その平均周波数（Mean Power Frequency: MPF）や周波数中央値（Median Power Frequency: MDF）が指標として用いられる。本研究においても、これらの指標を用いて取得した筋音図を解析し、嚥下運動の評価に有用と思われる特徴の抽出を試みた。また、嚥下の際には筋音の他に咽頭部で生じる嚥下音および嚥下前後の呼吸音も収録されることとなった。嚥下運動の評価には有用と思われるため、それらの音の抽出も今後の検討項目に挙げられた。

・平成 27・28 年度の研究成果

平成 27 年度以降は、主に、研究目標 (B)、(C) に取り組んだ。筋音図から嚥下運動をモデル化する方法について検討した。具体的な成果は以下の (B-1)、(B-2)、(C-1)、(C-2) の通りである。

(B-1) 筋音図による評価と従来法との比較
健常者を対象とした臨床試験を行い、従来の嚥下造影検査 (VF) や嚥下内視鏡検査 (VE) と同時に筋音図の計測を行い、嚥下運動の観察結果と筋音図の測定結果との比較を行った。つまり、嚥下運動における各器官の動きと筋音図から得られる特徴量との対応関係を調査した。これにより、筋音図から得られる特徴を用いて、嚥下運動における食塊の流れと舌骨上筋群の運動と各器官の協調運動とを推定することが出来るかどうか検証する。喉頭が挙上する際の運動様式は特に VF によって透視下での確認が有効であった。

(B-2) 筋音図による嚥下障害の分析

頭頸部癌に伴い嚥下障害を有する患者を対象に、(B-1) と同様の臨床試験を行った。これにより、障害の種類と筋音図の特徴との関係を調査し、筋音図の情報から障害の有無の識別、あるいは障害のある器官の特定が可能かどうかは。また、同様の臨床試験を様々な年齢の健常者にも行い、年齢の違いの影響も調査した。通常高齢者は喉頭が下垂しており、舌骨上筋群も緊張が低下し、延伸していた。舌骨上筋群の嚥下動作における重要性を再確認することとなった。嚥下時の舌骨上筋の収縮音の抽出が嚥下機能評価に有用であることを示した。

(C-1) 筋音図を用いた嚥下運動の再構成

(B-1)、(B-2) が奏功すると、筋音図の情報から嚥下運動を再現することが可能になる。そこで、筋音図から得られる嚥下運動の推定結果を CG や咽喉部の動きを再現できる精密模型に反映させる。これにより、患者に自身の嚥下運動時の食塊の流れや各器官の協調運動の様子を視覚的に提示できる嚥下リハビリテーション支援システムを構築することを目的としていた。しかし、一連の嚥下運動に伴う筋肉の運動は複雑かつ、筋音のみならず、呼吸音・食塊の通過により生じる音などアーチファクトの除外にはまだまだ検討が必要な状態であった。そこで我々の施設で以前より行っていた嚥下リハビリテーションである Shaker 法への筋音図の応用を検討した。Shaker 法とは頭部挙上訓練により、舌骨上筋群の筋力向上を

目指すリハビリテーションである。頭部挙上時の舌骨上筋の筋音図を採取し、筋収縮を可視化することで、リハビリテーションの有効性の評価のみならず、患者自身へのフィードバックにつながると考えられた。

(C-2) 嚥下リハビリテーションへの適用とまとめ

(C-1)で構築した Shaker 法による嚥下リハビリテーション支援システムを用いて、実際の患者に対してバイオフィードバック訓練を実施し、そのリハビリ効果を検証した。当施設では嚥下障害を有する患者に対し、前向き試験にて Shaker 法の有用性を示している。本訓練は比較的高負荷の訓練であり、個々の患者に合わせた内容とすることが望ましい。筋音図で可視化することで嚥下リハビリテーションのオーダーメイド化が可能となる。

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0件)

〔学会発表〕(計0件)

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計)

名称：

発明者：

権利者：

種類：

番号：

出願年月日：

国内外の別：

取得状況(計0件)

名称：

発明者：

権利者：

種類：

番号：

取得年月日：

国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1)研究代表者

沖崎 貴子 (OKIZAKI, Takako)

順天堂大学・医学部・助手

研究者番号：40624854