

2012/7022A

厚生労働科学研究費補助金

長寿科学総合研究事業

頸部装着型機器による嚥下機能評価と食事介助支援装置の実用化  
に関する研究

平成24年度 総括研究報告書

研究代表者 松村 明

平成25（2013）年 5月

頸部装着型機器による嚥下活動評価に関する研究

研究代表者 松村 明 脳神経外科・筑波大学附属病院副病院長

研究要旨 本研究では、提案する装置を用いた嚥下活動記録の利便性を向上させるため、実証実験用に高機能携帯端末による記録システムを実装し、主に入院患者にご協力頂き、開発した機器により食事中及び就寝中の嚥下活動の記録を行う。まず、平均嚥下時間、毎分の嚥下回数、嚥下異常音の取得を行うとともに、就寝中を想定して平均嚥下時間、毎時間あたりの嚥下回数を計測し記録するシステムを構築する。さらに、嚥下造影検査やマノメータ（圧力計測）と比較を通じて嚥下音信号解析の高度化を目指す。

鈴木 健嗣	筑波大学システム情報系 准教授
日高 紀久江	筑波大学医学医療系 教授
鮎澤 聡	筑波技術大学保健科学部 准教授
江口 清	筑波大学医学医療系 准教授
中井 啓	筑波大学医学医療系 講師

A. 研究目的

本申請研究では、加齢に伴い嚥下機能の低下が見られる在宅高齢者、嚥下機能障害のおそれのある入院患者を対象とし、障害の程度に応じた適切な治療・リハビリテーションを行うため、手軽で高齢者でも容易に利用可能であり、かつ実時間で嚥下機能を計測・記録及び提示可能な新規開発した嚥下計測機器による臨床研究を実施し、その有効性を検証する。我々は、脳卒中等の神経疾患や神経外傷に伴う機能障害の回復を目指し、臨床を目指して臨床医学・看護学・ロボット工学の研究者とともに本研究を推進している。在宅高齢者・入院患者の嚥下機能評価、嚥下障害者の介護の実態調査を実施するとともに、その新たな対処方法を確立する。

本年度は、提案する装置を用いた嚥下活動記録の利便性を向上させるため、実証実験用に高機能携帯端末による記録システムを実装し、在宅高齢者・入院患者にご協力頂き、開発した機器により嚥下活動の記録を行う。まず、嚥下時間、嚥下回数、嚥下異常音の取得を行うための

臨床研究を実施した。初期目標被験者数は入院患者10名とする。さらに、本装置を用いた嚥下音取得実験を通じて、嚥下直後の湿性音・泡立ち音、さらにむせに伴う喀出音と誤嚥の関係を明らかにするため、嚥下造影検査やマノメータ（圧力計測）と比較を通じて嚥下音信号解析の高度化を目指す。また、病院内および外部協力機関と連携して研究を実施するため、嚥下計測デバイスの改善およびスマートフォンを利用した計測システムの構築に着手する。ここでは、在宅状況から情報収集を行う通信ネットワークを用いたデータ収集システムの構築を目指す。小型スマートフォンでの計測、及びPCでの計測システムを実現し、当初計画通り実証実験用に高機能携帯端末にて記録システムを実装する。

B. 研究方法

B. 1 装置開発（ゴクリ）

提案手法は、頸部の皮膚表面から装着型マイクであるエレクトレットコンデンサマイクを利用して採取する嚥下音に基づき、嚥下能力の推定を行うものである。ここでは口腔内の喉頭蓋の開閉音及び食物の通過音を取得するため、輪状軟骨直下気管外側上付近より食物を嚥下する際の嚥下音や嚥下前後の呼吸音を取得し、異常音となる気道狭窄音や唾液、痰などの貯留音、嚥下音の長さから嚥下障害の程度を推定することを目指す。

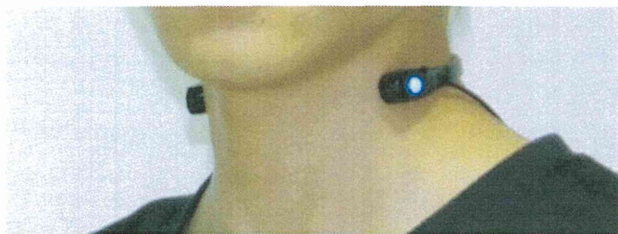


図 1. 頸部装着型嚥下機能計測インタフェース

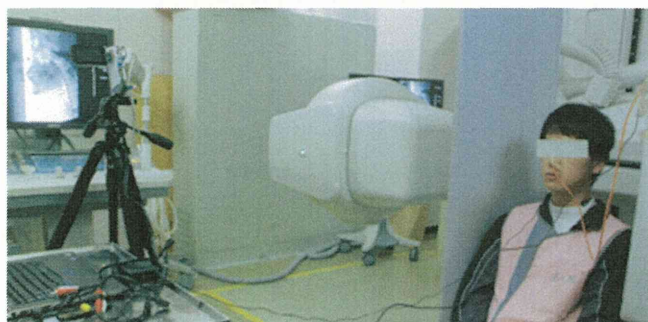


図 2. 実験風景

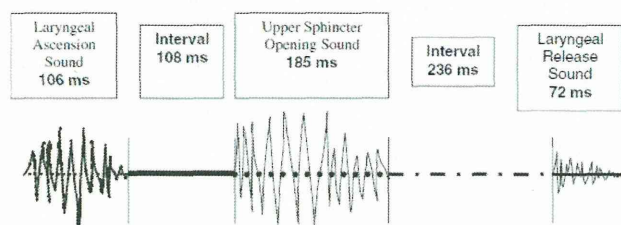


図 3. 嚥下音の構成要素  
(Moriniere et al. より抜粋)

図 1 に、提案する頸部装着型インタフェースの装着図と外観を示す。頸部に使用するマイクは、エレクトレットコンデンサ型咽喉マイクを用いる。この咽喉マイクは喉周辺の振動のみを取得するものであり、外界からの音響や周囲の環境に影響されず被験者の口腔内の音のみを採取することが出来る。

本システムは、咽喉マイクより嚥下の計測を行う計測部と、計測データを蓄積し嚥下判断を行う処理部、処理後のデータを基に情報提示を行う提示部からなる。計測部のマイクは頸部に装着し、11.025kHz のサンプリング周波数で音響データを取得する。咽喉マイクの入力感度は -663[dB] であり、マイクからの入力を200倍に増幅して取得する。計測部からコンピュータ上の処理部へ音響データを送り、処理部では音声データ

の蓄積及び解析を逐次行う。解析装置には携帯端末（スマートフォン）と計算機の2種類を用意した。解析部に用いるスマートフォンは SAMSUNG 製の GALAXY NEXUS(GT-I9100, OS:Android4.1.1, CPU:1.2GHz DualCore, RAM:1GB), 計算機は DELL 製の Vostro 3360(OS: Windows7, CPU:1.7GHz, RAM:4GB) を用いる。

インタフェースに備えた提示部は、LED を用いて情報提示を行う。解析部によりデータをシリアル通信でマイクロコントローラ (dsPIC30F3012) に送り、LED 制御により光提示を実現する。

さらに、計測後に記録した嚥下の音声ファイルと嚥下回数や平均嚥下時間などの解析結果をネットワーク経由でサーバにデータの蓄積し、データベースを構築する。データベースのデータは後にオフラインでの解析や症状進行の経過などを見るために利用されることを想定する。

本手法の妥当性を検証するため、一般に用いられる嚥下機能評価と比較し、開発する装置の有効性を検証するものである。嚥下造影検査、嚥下圧測定とともに嚥下音を同時測定する様子を図 2 に示す。

ここでは、頸部の輪状軟骨直下期間外側上付近より音を採取するため、嚥下音以外にも通常の発声や咳、その他ノイズが含まれる。そこで取得した音に対して、振幅特徴や周波数領域の特徴を見出すことで、嚥下音とそのほかの音を特徴づけ、適切に嚥下音の区間の抽出を実時間で行うことを目指している。またさらに、推定した嚥下区間で個々の被験者毎の嚥下活動の特徴について信号解析を行うものである。

図 3 に示す通り、嚥下音を構成する嚥下要素である。i: 喉頭挙上音, ii: UES開大音, iii 喉頭下降音の3要素から構成されるため、口腔内の食塊の動きを追従し、それに伴う嚥下状態を把握できると考える。特に嚥下音を構成する2番目の要素、食塊が食道を通過する際に発生する音は、食塊自体の飲み込みやすさ、または嚥下時の飲み込みの力の大きさに関係することがわかる。たとえば、水のような粘性の低い物質の嚥下時には、空嚥下に比べ嚥下時間がわずかに長いものの食道の通過速度はそれほど変わらないため第2音にも変化はあまりない。一方、ゼリーのようなゲル



図 4. スマートフォン (android 携帯) による嚥下音実時間解析およびデータ収集システムの概要図

状の粘性の高い物質は、嚥下において第 2 音の占める時間が長くなる。

また、高齢者などの嚥下能力衰退者の中には、飲み込みの力が弱すぎるため、食塊がなかなか食道を通過しないことより、この第 2 音が通常より大きく長くなり傾向が見られる。このため、嚥下音信号が第 1、第 3 要素に混入してしまい、嚥下の構成要素間隔に時間的なばらつきが見られる。このように、嚥下の構成要素を同定し、かつその時間間隔を推定することで嚥下機能評価の指標にできると考える。

なお食事介助中において、嚥下動作は外界から判断することは容易でないため、食事介助を行う家族や介護士の負担となっている。そのため、図 3 に示すように嚥下動作を光によってフィードバックすることで、他者に対して現在正常に嚥下が行われたかを容易に示すことが可能である。なお、フィードバックする情報は、デバイスが測定可能状態の時に緑、正常な嚥下が行われた時に青、嚥下以外の咳などの異常音を検知した時や嚥下時間が通常より長くなった時に赤の LED を点灯させる。嚥下障害者の介護やリハビリテーションにおいて嚥下が行われたかどうか重要な情報であり、このように簡易的に LED の点灯のみで情報提示を行うことで直感的な理解を助けるものとする。また、水飲みテスト RSST の自動計測や客観評価など、嚥下測定器の役割も果たす。

## B. 2 ネットワークシステムの構築

長期的および日々の持続的な計測を想定し、開発した装置により記録した嚥下音データをネットワーク上の管理するためのデータベースを構築した。データベースは Windows 上にサーバを構

築し、スマートフォンの Android 上に構成したプログラムを利用することで、FTP 通信により嚥下データ、嚥下回数、各回の嚥下時間、平均嚥下時間をあわせて格納させるシステムを構築した。なお、音声ファイルとテキストデータは記録日時で関連づけられ、リハビリ時の経過などの指標に利用することが可能である。

図 3 にスマートフォン上に実装したインターフェースとデータ収集システムの概要図を示す。画面上部にはマイクからの入力を視覚化し波形を表示する。なお、マイクからの入力がある一定値を超えた区間だけ表示することとした。画面中央には、録音時間、録音中の嚥下回数、平均嚥下時間および解析結果（嚥下音の有無）を表示させる。画面の操作は録音のみの録音ボタン、録音と同時に解析を行う解析ボタン、録音停止用ボタンおよび過去に録音したデータを参照するデータボタンを操作するボタンのみからなり、介護者や医療従事者にとっても使いやすいインターフェースとなるように設計している。

録音ボタンでの実行時は、咽頭マイクからの入力を録音し、嚥下音データの生成のみ行うものであるが、同時に嚥下音解析は行わない。一方、解析ボタンでの実行時には、マイクからの入力を録音すると同時に入力データ群に対し、嚥下音解析を行う。この際、嚥下活動が見られた場合、スマートフォンの画面上で複数の色を用いた情報提示（緑：録音画面、青：嚥下音判定、赤：ノイズ判定）を行う。また、無線通信 (Bluetooth) 機能により、インターフェースに備えた LED を点灯させるための制御信号を生成する。また、データ参照ボタンは、これまでに取得したファイルを聴

取するために用いると同時に、取得した嚥下音データはネットワークを介してデータサーバへアップロードする機能を持たせた。

一方、計算機上でも同様に解析を行うシステムを構築した。スマートフォンと同様に録音のみ、解析と録音、録音停止ボタンからなる。解析ボタンでの実行時には同時に音響解析を行い、解析結果を提示部を制御するための信号を生成する。

### B. 3 嚥下音解析アルゴリズム構築

本システムでは、嚥下音の識別に加え、その他口腔内の活動により消日咳や、患者自身の声との判別を行う必要がある。嚥下とその他の音との区別を行うためには周波数特徴が有用であるが、本システムは実時間応答性も重要であるため時間領域の情報も利用する必要がある。そこで嚥下音の判断を行うため、ウェーブレット変換により解析を行う。窓関数にはガウス窓を用いる。

まず、有意音声部を抽出することで、嚥下または咳、発声が終了したとみなし、有意音声データ全体に対し、ウェーブレット変換を行う。ここで得られる周波数特徴から嚥下、咳、声などの時間区間を同定するものである。なお、嚥下音の前後では嚥下時無呼吸時間が続くため嚥下音データの後には無音データが続くことが分かっている。

嚥下音の判断後、嚥下時間の計算及び記録を行い、結果に応じて提示部にて音響情報の同定結果の表示を行うとともに、インタフェース上で嚥下音に関する情報を表示させる。取得した音データから嚥下音を区別するため、音波形の振幅情報と周波数情報の両方を用いて判別する。図5は嚥下音、咳、発声の振幅波形とウェーブレット解析の例を示す。本手法は、嚥下特有の波形の形を利用し、振幅数の違いで大まかに嚥下区間とその他の音の区間との区別を行い、最終的には周波数解析によって出た周波数要素を各区間に照らし合わせそれぞれの区間の区別を行うものである。

嚥下音要素構成区間推定法： 嚥下音を構成する要素の時間間隔は極めて重要である。この3要素を解析することにより、これらに起因する嚥下活動が異なるため、この関係を明らかにすることで口腔内の動態解析に寄与するものと考えている。この3音の構成は飲み込む食塊などによっても

変化するが、高齢化などの要因で飲み込みの筋力が衰えることにもよって変化する。

そこでこれらの嚥下の要素音が嚥下音全体でどのような構成間隔を持つかを調べ嚥下音個々の評価としていく。この時の嚥下活動中の3要素それぞれの時間を嚥下音要素構成間隔と呼ぶ。

我々は、この嚥下音要素の構成間隔を抽出するアルゴリズムを提案している。ここではまず、嚥下音を構成する3要素のそれぞれのピークを検出するため、入力信号の疑似的な包絡線を求める。まず、入力信号に対してヒルベルト変換を行う。そこで、嚥下区間と判定された区間を参照し、嚥下判定区間内で弁別された区間が3区間あれば、その区間を順番に嚥下要素の構成区間とする。なお、早い嚥下などは嚥下要素の第2音目が前後の音と近づきすぎてしまうと2区間以下に弁別される場合があるが、全嚥下区間の2分の1以上を占める要素が抽出された場合は、適応的に閾値を変化させ、再判定を行う。

測定場所の影響に関する検証： 頸部での嚥下音聴取位置は嚥下運動に伴う生理的活動上、輪状軟骨の近くの気道外側に設置するのが望ましい。しかしながら、計測者の体格や日常の体動により、毎回同様の位置での計測は難しい。そこで計測位置における差異が信号強度や周波数特性に与える影響を検証する必要がある。ここでは、頸部6カ所から嚥下音を採取し、それぞれの計測位置で5回の嚥下を2セットずつ繰り返し行い計測位置の違いによる音響特性を検証する。

それぞれの計測位置における音響波形とウェーブレット解析した結果より、各計測位置における信号損失と嚥下特有の波形形状が確認できるか評価を行った。ここでは、各計測位置での嚥下の波形特徴はどの点でも、ほぼ同様の結果となった。なお、気道及び食道から距離があり、かつ筋活動の影響を受けやすい箇所においては、信号強度が低いという結果が得られたが、周波数解析においては問題ないという結果が得られた。このように、計測位置に対して大きな制約を設けず嚥下音抽出が可能であるといえる。

(倫理面への配慮)

嚥下機能評価ということで新規デバイスを用い

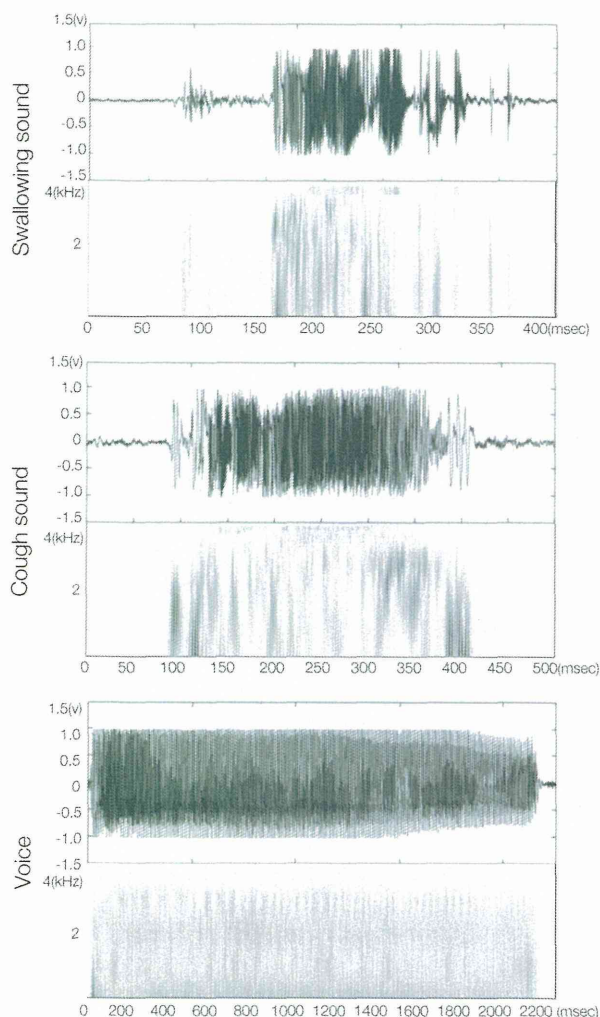


図5. 取得する信号パターンとウェーブレット解析後の信号例（上から嚥下・咳・音声）

て観察を行う，観察研究の範疇に属するため，UMIN等の臨床研究には登録しない．また，臨床研究用の補償保険に加入する予定はない．誤嚥などが起こった場合には通常の保険診療の範囲内で最善の治療を提供する．

筑波大学附属病院倫理委員会へ，研究内容の申請のうえ，審査をうけ，承認を得た．研究承認期間は，2014年3月31日まで，この間に病棟，他院回復期リハビリテーション病棟，在宅介護者等のデータ収集を行うこと，情報管理責任者をおき，対象個人が特定されない非連結データとして管理すること，目標症例数20例賭することが承認された．これのための同意書を資料として添付する．

被験者実験に際しては被験者の承諾を得て実験を実施するとともに，得られたデータについて

では統計的に処理し，被験者個人が特定されることがないようにするなど被験者個人の情報の取り扱いには十分に注意を行っている．

## C. 研究結果

### C. 1 嚥下音識別実験結果

実際に開発したインタフェースを用いてどの程度嚥下の識別が可能かどうか検証を行う．正常嚥下が可能な被験者10名に協力してもらい，空嚥下，水嚥下，発生などを任意に行ってもらった結果，嚥下音の認識に関する適合率と再現率を得る．被験者10名により合計87回の自由嚥下を行わせた結果，嚥下区間以外での嚥下と認識した回数は3回のみ，再現率は96.1%という高い結果を得た．一方，適合率は86.2%である．さらに，嚥下区間と認識された区間のうち，嚥下要素の構成区間の検出を行ったところ，55回の嚥下に対して正常に区間認識を行うことが出来た．適合率は73.3%であるが，改善の余地があると考えている．

また，健康な若者と嚥下能力に衰退の疑いのある高齢者の嚥下音を採取し，それぞれの嚥下時間と嚥下音要素の構成間隔を調べた．健康者群として20代の男性3名，高齢者群として50～80代の高齢者男女8名に，こちらからの指示に対し空嚥下と水嚥下を複数回行わせ，開発したインタフェースにより嚥下音を計測した．若年健康者群の嚥下時間には個人差はあまり見られないが，高齢者群には大きなばらつきが見られるとともに殆どのケースで嚥下時間が長いことがわかった．さらに各個人の結果を見ても若年健康者群では，嚥下運動毎における嚥下時間のばらつきが見られなかったが，高齢者群では一部で嚥下時間は一定でなく，かなりの差異が見られた．

高齢者群の中には，非常に長い嚥下のあとに，むせが見られたケースもあった．また，高齢者群の実験の中で，短い嚥下を連続で繰り返すパターンも見られた．これは，嚥下の際に飲み込みが上手くいかず食塊が口腔内に残留し，残留物を食道に押し込むため反射的に嚥下運動が行われた現象と推測される．そこで，嚥下時間だけでなく嚥下時間中の第2段階，つまり食塊が食道を通過するまでの時間も評価指標として使用することを検討を行った．嚥下のタイミングとは前述した嚥下

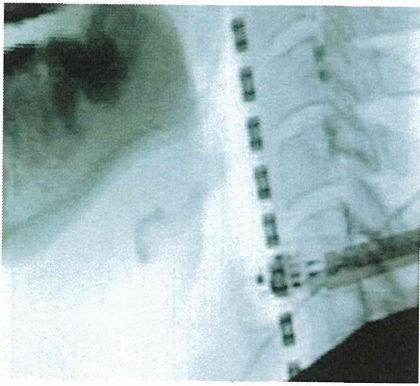


図6．嚥下造影検査中の嚥下圧・嚥下音同時計測  
(嚥下音計測部を拡大)

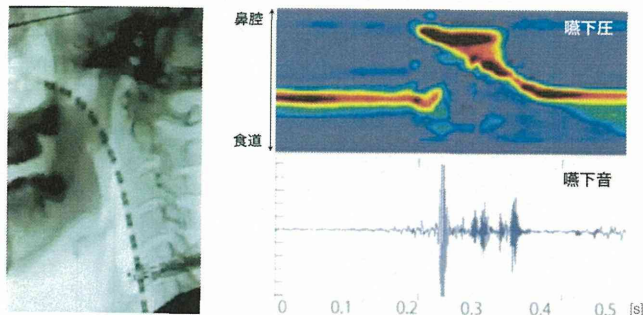


図7．嚥下造影検査中の嚥下圧・嚥下音同時計測

音を構成する3音の内、中間にあたる第2段階の音に注目するものである。全体の嚥下時間を $T1$ とし、中間の食道通過音の中間時間までの時間を $T2$ としたとき、嚥下一食道通過時間比 $T2=T1$ を評価関数とする。

若年者群の嚥下では、この評価関数はほぼ0.5で一定であり、大きな変動はあまり見られない。一方、高齢者ではかなりの差異がみられ、食塊の食道通過時刻にばらつきがあると予想される。嚥下能力が弱くなっているとこのような現象が生じると推測されることから、この評価関数は嚥下能力の評価として妥当性があることを示唆している。

### C. 2 嚥下造影検査及びマノメータとの比較

一般的な嚥下機能検査である嚥下造影検査 (VF) を用い、開発した機器で取得した嚥下音とを比較し、嚥下時の口腔動作が嚥下音に与える影響について解析を行った。事前に検証実験を行い、嚥下造影検査中に混入するノイズの影響を明らかにした後、実験を実施した。これに加え、口腔内での挙動を詳細に解析するために口腔内圧の測

定も同時に行う。ここでは、嚥下造影検査 (VF) を行う際、頸部装着型機器と嚥下圧測定機器とが同期して測定し、記録できるようソフトウェアの開発・検証をおこなった。具体的には VF による画像計測、開発したインタフェースからの音声信号計測、マノメトリーによる口腔内圧計測を同時に行い、嚥下時の動態解析を行う。

口腔内圧測定にはスターメディカル社製のカテーテル型マノメータを使用する。この測定では、正常嚥下が可能な健常者 (男性28歳) に開発したインタフェースを装着してもらった際のVF画像を図6・7に示す。ここでは、それぞれの装置を同期させるための実験設備を整えることで、3つの計測を同時に行うことが可能になる。なお、VFの動画撮影は30fpsで行った。

図8は嚥下時のタイミングで切り出したVF画像と音声データ、マノメータの値、開発したインタフェース上での嚥下判断区間および嚥下要素構成間隔を推定したものである。マノメータは16chの圧力センサの値を読み取り、それぞれの測定位置における圧力値によって色分けされている。ここではマノメータは鼻腔から入れ、喉頭蓋上部から食道入口付近までの位置における圧を表す。図中②の時刻における嚥下音から判断すると、この時点が嚥下開始動作にあたる。ここで、対応するVF画像の1と2を比べると、喉頭蓋挙上が見られる。また、マノメータの値から判断すると、喉頭蓋上部に圧力増加が見られることがわかる。さらに、マノメータの圧力値同様、嚥下音の振幅強度も高くなっており、嚥下圧と嚥下音の関係が示唆される。③の時刻では、食塊が食道入口にまで到達していることがVF画像からみて取れる。嚥下音解析では、第2要素部分にあたることわかる。また、マノメータでは、圧力値のピークが下方に移動していることがわかる。最後に、④の時刻では、喉頭蓋はすでに最初の状態に戻っていることがVF画像からわかり、同様にマノメータでも圧力値の低下がわかる。

なお、開発したインタフェース上での判定結果は、青線が嚥下区間の判定、緑線は嚥下要素の構成区間候補の判定である、嚥下要素の構成区間は最終的に嚥下区間の判定結果と参照し決定するため、嚥下区間以外でも判定が出ているが、最終

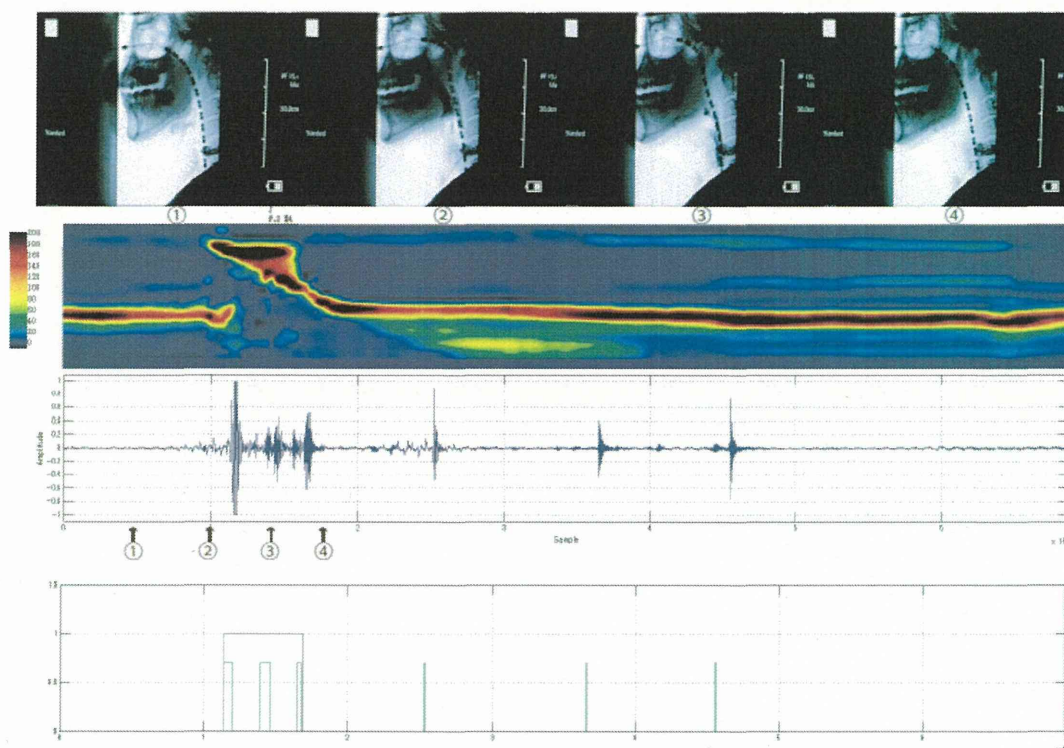


図8．正常嚥下中の嚥下造影検査画像（上図）・嚥下圧（中図）・嚥下音（下図）同時計測結果

的な判定（緑線）では嚥下要素の構成区間とは判定していないことがわかる．これより，喉頭蓋開閉にあわせて嚥下区間として判定できていることがわかる．また，嚥下要素構成間隔をみても，②，③，④のそれぞれの時刻で推定していることより，本インタフェースによる嚥下音計測が，実時間で口腔内の動態解析を示すことが出来る可能性を示唆している．

### C. 2 神経筋疾患患者での嚥下音パターン集積

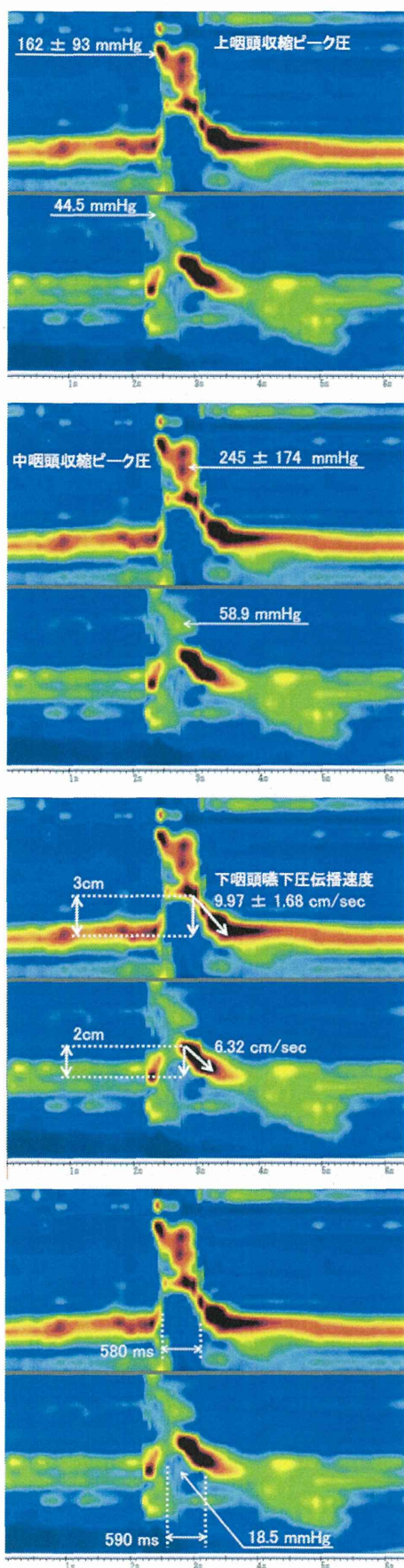
ここでは，嚥下障害を有した神経筋疾患患者14名に装着し，嚥下造影検査，嚥下圧測定と同時に測定を行った．ここでは，コマンド嚥下及びコップより随意嚥下の際の嚥下音収集を行った．特に，進行性球麻痺における嚥下圧および嚥下音の検証について詳細な解析を行った．

嚥下障害をもつ患者の嚥下はその病態ごとに健常者の通常の嚥下とは違う異常音となる嚥下音が含まれるケースがあることがわかっている．こうした異常音が生じる場合，誤嚥の危険性が非常に高い．さらにこうした異常音嚥下は口腔内の機能不全から成るため，感覚が鈍ることから不顕性誤嚥になりやすい．不顕性誤嚥では，食塊の食道流入を防ぐための咳の反射が起こりにくいた

め，非常に危険な状態であるといえる．こうした嚥下機能の低下した患者に対し，開発した装置によりどのような嚥下音解析が可能であるかについての検証を行った．

ここでは，進行性球麻痺の症状を持つ75歳男性の例を示す．対象となる被験者は，自発的な嚥下運動の誘発が思わしくない患者であり，VF所見では，舌の運動不良，口腔保持困難，早期咽頭流入，嚥下反射惹起遅延，軟口蓋挙上不良，喉頭流入と誤嚥，咳嗽反射域値の低下，喉頭蓋谷、梨状陥凹の残渣，口腔残渣，嚥下後の咽頭流入が見られた．（重度の構音障害、発話明瞭度：4/5，改訂水飲みテスト：3点，摂食・嚥下能力のグレード：7）

ここでは，3ccの水，及びゼリーを複数回コマンド嚥下による計測実験を行った．健常者の嚥下音に比べ嚥下圧，音圧ともに非常に小さいことがわかる．また，喉頭蓋付近の圧力変化が少なく，開閉がほとんど行われていないことがわかる．このため，嚥下音の構成要素抽出も困難であり，識別にも失敗している．第1要素の嚥下音は極めて小さいが，周波数解析での特徴量は抽出され，判定できた．しかしながら，第3要素の抽出は困難



図．正常嚥下圧（上）と神経筋疾患患者の嚥下圧（下）パターンの比較

であり、全体として正常嚥下と判断されなかった。

図9・10に、嚥下圧からみた正常嚥下との比較を順に示す。マノメータでの計測により、上咽頭収縮ピーク圧の著明な低下、中咽頭収縮ピーク圧の低下、嚥下圧伝播速度の遅延、UES 開大中に陰転化不良が見られる。

これらを嚥下音の観点から見て、VF画像による所見と嚥下圧との比較を行った結果を示す。

- (1) 喉頭挙上音の振幅低下：VF画像からは、軟口蓋挙上不全が認められ、同様に嚥下圧からは上咽頭収縮ピーク圧の低下が認められる。
- (2) UES開大までの時間延長：VF画像からは、咽頭残留が認められ、同様に嚥下圧からはUES開大不全の低下が認められる。
- (3) 喉頭下降音の持続時間延長：VF画像からは、咽頭残渣が認められ、同様に嚥下圧からは嚥下圧伝播速度の遅延が認められる。

#### D. 考察

本研究では、実生活下での計測を可能にする嚥下計測のための頸部装着型インタフェースの開発を行い、嚥下音による口腔内での動態解析の商法を提案した。また、実時間で嚥下音を推定するための特徴量の決定を行うための研究を実施した。特に、嚥下造影検査および、マノメータとの嚥下運動同時データ取得実験より、嚥下音解析による口腔内の動態解析を行った。これにより、健常者及び神経筋疾患患者での嚥下音と口腔内の動態の関係性について詳細な解析を行った。

また、今回行ったVF、圧検査、音検査はそれぞれ特性が異なる。嚥下機能検査において、複数の観点から比較したものを表1に示す。この表からわかる通り、本研究では口腔期・咽頭期・食道期などの障害の検知に利用可能かどうか検証していきたい。

特に、嚥下障害患者での嚥下音には、その障害部位および程度によって、複数のパターンがあることが観察により明らかにされた。具体的には、1) 上咽頭収縮圧低下型、2) 下咽頭収縮圧低下型、3) 咽頭収縮圧亢進型、4) 嚥下反射惹起遅延型、5) 食道入口部開大不全型、それぞれの障害パターンに応じた検討が必要であり、提案する機器により上記5型への分類を目指す。

表 1. VF, 圧検査, 音検査の特性比較

	VF	圧検査	音検査
口腔期障害の検知	◎	△	?
咽頭期障害の検知	◎	◎	?
食道期障害の検知	◎	○	?
誤嚥の検知	◎	×	?
データの数値化	△	◎	○
検査機器の価格	△	×	◎
取り扱い	×	×	◎
検査場所の自由度	×	△	◎
検査者の自由度	×	×	◎
被爆がない	×	◎	◎
患者の苦痛がない	△	×	◎

また、高度医療の進展や高齢者数の増加に伴い、脳損傷以外にも呼吸・循環器系の疾患による心肺停止後の意識障害など、生活習慣病に起因する意識障害患者も増加している。なかでも意識障害が長期化している遷延性意識障害（以後、意識障害患者とする）は推定55,000人以上（藤原, 2010）といわれている。意識障害の治療および看護の方法は国際的にいまだ確立していないが、看護においては廃用症候群等の合併症予防に留まらず、身体機能の回復を促進し生活機能を高めることが急務の課題である。

意識障害の生活機能のなかでも、食べる機能の回復、すなわち経口摂取を確立することは患者のみならず家族のQOLの向上を図るためにも重要な意味を成している。また、経口摂取は視覚、聴覚、嗅覚、触覚そして温冷覚などあらゆる感覚を使用することからも、脳への有効な刺激となる。これまで、意識レベルがJCS (Japan coma scale) でⅡ桁以上になると摂食嚥下訓練の対象外とされてきた経緯がある。しかしながら、在宅で家族が経口摂取を可能にした事例もあり、それらの事例を分析した結果意識障害患者の経口摂取を可能にするための介入方法についていくつかの示唆を得ている。

一方、摂食嚥下に関する懸念事項として、肺炎発症者が増加しわが国の死亡原因の第三位になった。肺炎による死亡者数の増加の背景には高齢化が挙げられるが、高齢社会において、高齢者が心身共に健康であるためには運動と栄養状態を良好

に保つことが重要であると思われるが、咀嚼を含めた嚥下機能をいかに維持できるかが重要なポイントである。栄養状態の維持または改善を図りながら経口的に食事を摂取するという生活は高齢者のQOL向上に資するだけでなく、医療費抑制に繋がるものと考える。

E. 結論

本研究では、嚥下計測デバイスの改善とともに、スマートフォンを利用した計測システムの構築を行った。これより、在宅状況から情報収集を行う通信ネットワーク網を用いたデータ収集システムが実現したとともに、小型スマートフォンでの計測、及び計算機上での計測システムを実現し、実証実験用に高機能携帯端末による記録システムが実現した。また、嚥下音解析に関する信号処理技術を高度化させ、これまでよりさらに精度を向上させることに成功した。

さらに、研究倫理審査の承認を受け、臨床研究を開始している。本デバイスの有効性を検証するため、嚥下造影検査時に同時に嚥下音の取得実験を実施している。すでに入院患者14名に対して実施しており、である。また、異なる手法を用いて嚥下活動を記録することを目的とし、マノメータ（圧力計測）を導入し、提案手法との比較実験を開始してした。さらに、1例ではあるが、入院患者にご協力頂き、開発した機器により食事時の嚥下活動の記録を開始した。

本年度得られた基礎的な成果に基づき、来年度は在宅高齢者を対象としたフィールド研究を実施していく予定である。（訪問看護ステーション（らふえる訪問看護ステーション、下呂訪問看護ステーション）、在宅の前段階の状態として老人保健施設（医療法人盈科会 ケアセンター阿見）、その他意識障害患者・家族会（全国遷延性意識障害者・家族の会）など）また入院患者は、本学附属病院、筑波メディカルセンター病院、その他のリハビリ病院（会田記念リハビリテーション病院）から、臨床実験に協力して頂く患者をリクルートする予定である。また特に誤嚥との関連を明らかにするため、誤嚥を繰り返している患者の嚥下音パターンの取得も行いたい。

このように、本年度確立した計測システム及び

データ収集のための基盤システムを利用し、本装置を用いた嚥下音取得実験を通じて、嚥下直後の湿性音・泡立ち音、さらにむせに伴う喀出音と誤嚥の関係を明らかにするため嚥下音信号解析の高度化を進めていく。

なお現在では、正常嚥下音の解析についても、未だ確立した知見が得られていない。このため、客観的評価法として確立されている嚥下造影検査、および、音と相関が高く、かつ高解像度での解析が可能な嚥下圧測定検査をあわせて実施する。両者を比較検討し、嚥下音の正常パターン、ならびに、異常パターンの分類を行い、嚥下音を用いた嚥下機能評価方法を作成する。

また、これまでの成果より、3成分からなる嚥下音の要素抽出について一定の知見が得られた。ため、今後は時間的特性を考慮して嚥下音検出の精度を向上するための研究を行っていく。また、各成分の音圧比、潜時と嚥下動態について比較検討を行い、嚥下音検査による異常の診断方法を確立することを目指す。これらが数値として客観的に評価できれば、ベッドサイドでのスクリーニング手段として、各評価者の技量によることなく、統一した基準で嚥下機能障害者を検出することができるとともに、嚥下機能の回復についての評価を可能とするものである。

なお、嚥下障害を有した患者が必ずしも、嚥下性肺炎を発症するとは限らない。要因としては、口腔内環境、気道内防御因子、咳嗽反射、さらには、嚥下直後呼吸再開時の呼吸相などが考えられる。嚥下性肺炎のリスクを検討するため、頸部装着型嚥下測定機器を使用して、夜間の嚥下状況のモニタリングを行っていきたい。

また、誤嚥性肺炎の早期発見・予防という観点からも、頸部装着型機器によるモニタリングが必要であり、とりわけ施設や在宅などにおいての有用性は高い。さらに、頸部装着型機器は嚥下時に発光することからも食事支援時の安全性の確保が可能である。また、これまでの研究において、意識障害者においても経口摂取が可能であったことから、高齢者のみならず障害者の嚥下状態のモニタリングならびに食支援としても有効性が高いと考える。

本研究により提案した、実生活下での計測を考

慮した嚥下計測の手法は、嚥下障害治療の分野での利用や、嚥下情報の光フィードバックという新たな手法を食事介助の分野での確立を目指してこれらの分野に応用されることが期待される。今後は、長期的食事介助支援における本研究のインタフェースのさらなる有用性を検証していきたい。

## F. 健康危険情報

当該実施期間の本研究の遂行にあたり、健康危険情報は認められなかった。

## G. 研究発表

### 1. 論文発表

特になし

### 2. 学会発表

- ・ 長柄 昌浩, 鈴木 健嗣, 松下 明, 松村 明 : A Neck Mounted Interface for Monitoring and Displaying the Swallowing Activities, 生体医工学シンポジウム2012, 2012
- ・ 中井 啓, 鈴木 健嗣, 日高 紀久江, 鮎澤 聡, 江口 清, 松村 明, 頸部装着型新規デバイスによる嚥下機能評価, 第71回日本脳神経外科学会学術総会, 2012
- ・ 寺元 洋平, 上野 友之, 長柄 昌浩, 鈴木 健嗣, 中井 啓, 山本 詞子, 富所 康志, 玉岡 晃, 江口 清, 松村 明, 進行性球麻痺における嚥下圧および嚥下音の検討, 第36回日本嚥下医学会総会, 2012
- ・ 鈴木 健嗣, 上野 友之, 寺元 洋平, 中井 啓, 江口 清, 鮎澤 聡, 日高 紀久江, 松村 明, 嚥下機能評価のための頸部装着型持続的嚥下モニターの開発, 第36回日本嚥下医学会総会, 2012

## H. 知的財産権の出願・登録状況

(予定を含む。)

### 1. 特許取得

- ・ 装着型インタフェースによる嚥下機能計測に関する特許は出願済である。(嚥下機能データ測定装置及び嚥下機能データ測定システム及び嚥下機能データ測定方法, 特願2011-154216 (出願人: 筑波大学))

・本年度の成果に基づき、1～2件の特許出願  
を検討している。

2. 実用新案登録

特になし

3. その他

特になし

研究成果の刊行に関する一覧表

書籍

著者氏名	論文タイトル名	書籍全体の 編集者名	書 籍 名	出版社名	出版地	出版年	ページ
------	---------	---------------	-------	------	-----	-----	-----

雑誌

発表者氏名	論文タイトル名	発表誌名	巻号	ページ	出版年
-------	---------	------	----	-----	-----

6. 研究成果による特許権等の知的財産権の出願・登録状況

特になし

7. 健康危険情報

- ・本研究の遂行にあたり、健康危険情報は認められなかった。

