

(財)在宅医療助成 勇美記念財団
2009 年度 在宅医療助成

完了報告書

「在宅での食事姿勢を考慮した
嚥下機能評価システムの研究開発」

申請者：前田悟

所属機関：兵庫県立福祉のまちづくり研究所

職名：非常勤研究員

平成 22 年度 9 月 1 日

共同研究者：加藤順一*、廣居直子**、服部託夢***

共同研究者所属：

*兵庫県立西播磨総合リハビリテーションセンター リハビリテーション西播磨病
院

**兵庫県立総合リハビリテーションセンター リハビリテーション中央病院

***兵庫県立福祉のまちづくり研究所

1. 研究の背景と目的
2. 嚥下しやすい調節式嚥下枕の開発
 - 2.1 X線による解剖学的アプローチ
 - 2.2 目視点頸部前屈モデルの定義
 - 2.3 X線による頭頸部可動範囲の計測
 - 2.4 調節式嚥下枕の開発
 - 2.5 まとめ
3. 嚥下音を利用した摂食嚥下訓練評価システムの開発
 - 3.1 CTによる、喉頭蓋の3次元位置の検証
 - 3.2 嚥下音計測システムを構築し、嚥下音計測における基礎的検証
 - 3.3 「多チャンネル嚥下音計測システムの開発」
 - 3.4 まとめ

1. 研究の背景と目的

摂食嚥下を治療する専門病院と在宅、施設でのケアの格差（嚥下機能の経過観察及び評価・食事姿勢の調節・摂食嚥下情報の共有）が原因となり、在宅や施設では誤嚥、低栄養、脱水、QOLの低下が問題となっている。

水分や食物を口に取り込み、咽頭と食道を経て胃へ送り込む動作の障害を摂食嚥下障害という。摂食嚥下障害は、誤嚥性肺炎や窒息、脱水、低栄養を招くだけでなく、食べる楽しみを奪いQOLを低下させる。病院や福祉施設などにおいても誤嚥事故や危険な場面も多くあると考えられる。

摂食・嚥下障害の有効な代償的介入方法として、頸部前屈位や顎引き頭位といった咽頭と気管を一定の角度にする姿勢調整法により嚥下がしやすくなることが知られている。しかしこれらの方法は、食事介助を行う人の経験に基づいており、明確な基準が無く再現性に乏しいといった問題がある。

また、嚥下機能を診断する検査にVF検査がある。VF（嚥下造影）検査は運動学的見地から機能的診断を行うという重要な検査であると言われている。しかし、VF検査時に最適な嚥下の姿勢を決定したとしても、定量的にその姿勢を計測する機器は無い。加えて、ベッドにおいても同様に、VF検査時に再現する装置が無く、検査結果が現場で生かし切れていないという問題がある。

(ア) ケアの格差

摂食嚥下を治療する専門病院では、医師（リハビリ科、内科、脳神経科、歯科、耳鼻咽喉科等）、看護師、言語聴覚士、作業療法士、理学療法士、管理栄養士、歯科衛生士、薬剤師など多職種が医療チームを作り摂食嚥下治療をサポートしている。一方、地域保健医療を担う開業医、訪問看護、通所リハ等では設置母体となる単一医療機関でのケアが多くチーム医療として摂食嚥下リハを行うのが難しい。

(イ) 食事姿勢調節の研究

食事姿勢は座位カリクライニングである。後者を対象に摂食嚥下機能の代償法として、姿勢調節法が多く考案されているが明確な定義が無い。また、医療従事者でも姿勢の専門は理学療法士であるが、食事介助は看護師、言語聴覚士、食事支援員があたり姿勢についての連携がうまくいっていない。そのため、専門病院でも日々の食事姿勢には再現性が無く、介助者によって姿勢が異なり苦勞している。

(ウ) 在宅での嚥下機能を経過観察し定量的に評価する方法

嚥下障害患者のケアを学ぶ研修機関がほとんどなく、嚥下知識や技術を習得し経験

を積むには多くの年月がかかる。現状、在宅や施設では嚥下知識、技術、経験を持った支援員が極めて少ない。そのため、日々の嚥下状態の把握や嚥下機能の検査、評価がおろそかになり、誤嚥の危険性や、嚥下機能の低下を予見することは難しい。

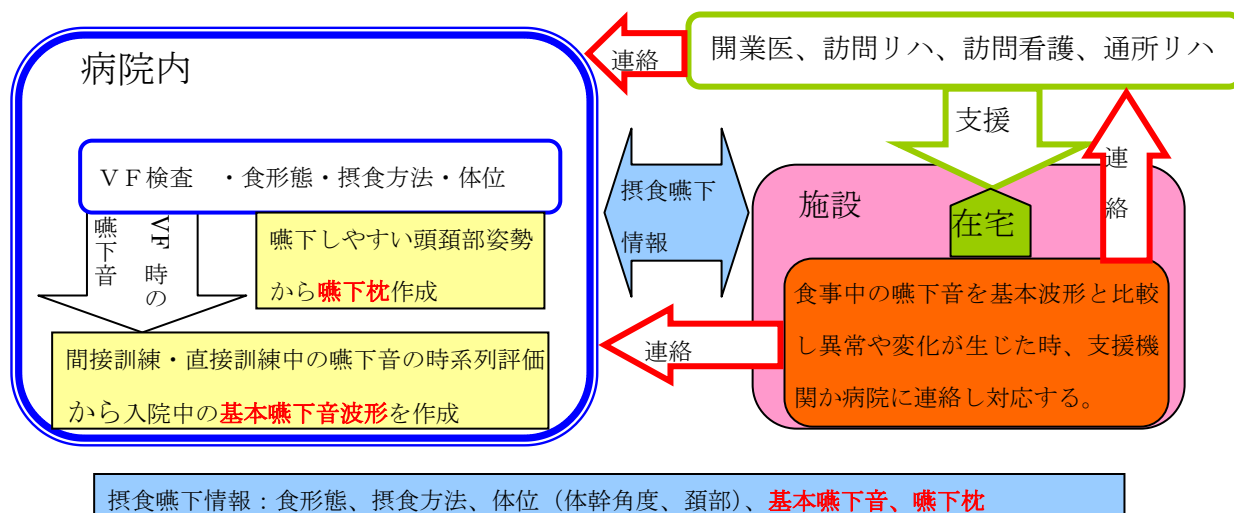


図1. 嚥下音を利用した在宅・施設における摂食嚥下支援システム

以上を踏まえて、本研究で期待される成果と波及効果について図1に示す。

摂食嚥下障害者が在宅や施設で安心して生活するためには、食事時の誤嚥を予見し、未然に防ぐ工夫が望まれている。また、在宅支援機関が利用者の嚥下状態を把握するためには、訪問や通所の利用時間での情報だけでは不足する場合もあると思われる。支援員の摂食嚥下知識や技術、経験が少なくても、利用者の嚥下能力を簡便に定量的に評価できることが望まれている。さらに、安全に食事できる姿勢調節を習得している支援員が極めて少ないのが現状である。

本研究では、これら実現のために以下について研究開発を行う。

1. 嚥下しやすい調節式嚥下枕の開発
2. 嚥下音を利用した摂食嚥下訓練評価システムの構築

2. 嚙下しやすい調節式嚙下枕の開発

2.1 X線による解剖学的アプローチ

我々は、頭頸部の動きとして図 2-1 に示すような、耳孔を中心とした頭部の可動と頸部の持ち上げによる頸部前屈モデルを提案している。このモデルを X 線画像で検証した結果、頭頸部を矢状面に投影した動きに限定すれば、“持ち上げる”、“傾ける”の 2 動作で表現できることがわかった。このモデルにおける角度 θ_1 を推定するためには、ベッド面に平行な線を定義する必要がある。しかし、実際のベッドにはマットレスが敷かれているので身体が沈み込み、基準となる点と θ_1 の推定が困難となる。さらに、第 7 頸椎は目視での確認が困難である。そのため、ベッド面ではなく身体上のみで、目視できる点に置き換える必要がある。

そこで、頸部前屈モデルを基に目視できる基準点を定義する。定義したモデルの妥当性を、頭頸部を可動させたときの X 線画像から検証する。

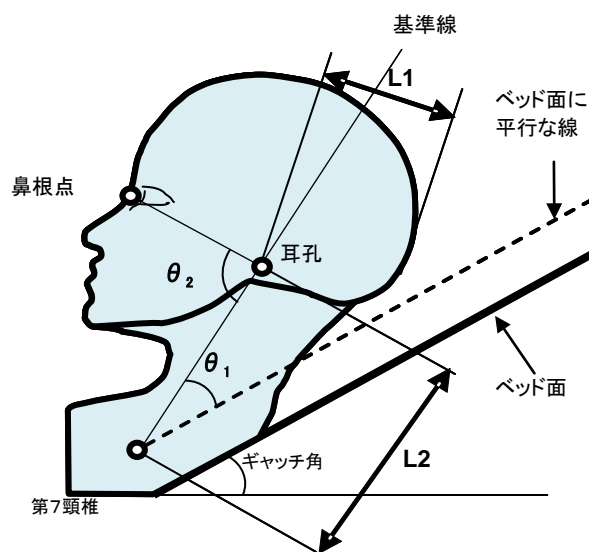


図 2-1 頸部前屈モデル

2.2 目視点頸部前屈モデルの定義

頸部前屈モデルを基に新たに、目視出来る点を定義する。定義に当たり、耳孔と鼻根点に関しては、既に目視できる点であるのでそのまま利用する。第 7 頸椎に代わるものとして、解剖学的には、ベッド面に近い点が考えられる。しかし、ベッド面に近くなるとクッションなどの影響により特徴点をとらえることが困難となる。そこで、

背面である第7頸椎の代わりに、身体の前面で確認できる頸窩点とした。

ベッド面を定義に使用しないため、 θ_1 を求める為の新たな基準線が必要となる。そこで、基準線は、図1に示す第7頸椎と耳孔を通る線から、耳孔を通る鉛直線へと変更した。図2-2に示すように θ_1 を、耳孔を通る鉛直線と耳孔と頸窩点を通る線のなす角とし、 θ_2 を鼻根点、耳孔、頸窩点のなす角とした。

つまり、 θ_1 は頭頸部の持ち上げ、 θ_2 は頭部の傾きを表す指標となる様に指定した。これにより、マットレスの硬さに影響されるベッド面に左右されずに基準となる角度の設定が可能である。

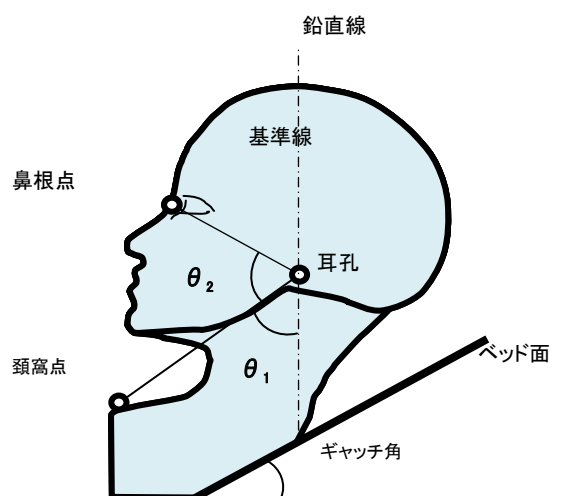


図 2-2 目視点頸部前屈モデル

2.3 X線による頭頸部可動範囲の計測

前節で目視点頸部前屈モデルを定義した。ここでは、定義したモデルから角度推定が可能かを検証する。検証は、X線画像から頭頸部の姿勢を変えた場合の各角度を算出して行った。

2.3.1 測定方法

ギャッチ角度はリクライニングチェアを用いて 30° に設定した。頸部及び頭部の角度はウレタン製枕を用いて調節した。調節した角度は、前屈位と後屈位が最大になる位置、中間位、前突位有り無し計6種類とした。そのときのX線画像をそれぞれ取得した。同時にそれぞれの角度に調節した姿勢をカメラで真横から撮影した。測定時姿勢の一例を図2-3に示す。



中間位

後屈位

前屈位

図 2-3 測定姿勢の一例

2.3.2 結果

得られたX線画像から図 2-4、2-5 に示すように、前屈位・中間位・後屈位の 3 パターンをそれぞれ、前突有りか無しの画像と重ね合わせて、図 2-2 に示す θ_1 と θ_2 を求めた。さらに、頸窩点を基準に頸部の前突角度として、前突無しから有りまで耳孔が変位した角度 α を求めた。

図 2-4 は前屈位の時で図 2-5 は中間位の時の画像を重ねたものである。それぞれ、頸部前突有を実線、前突無を破線、基準となる鉛直線を一点鎖線とした。

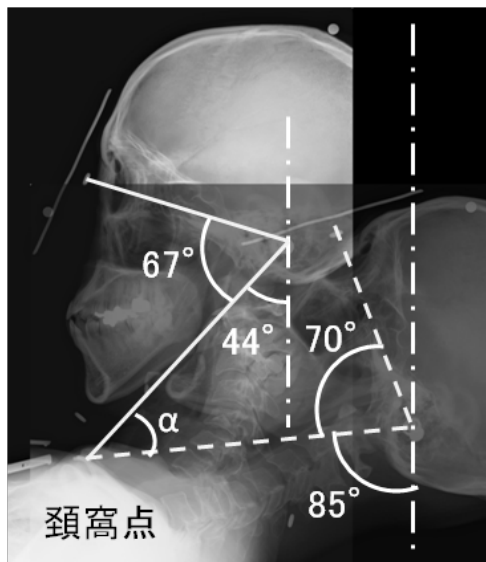


図 2-4 前屈位の時 X 線画像から推定した角度

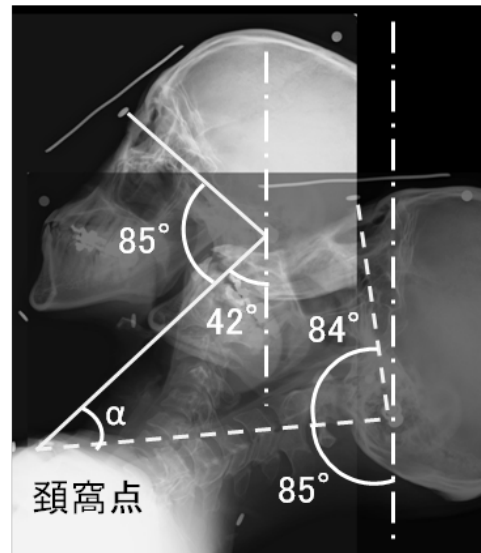


図 2-5 中間位の時 X 線画像から推定した角度

図 2-4 に示すようにX線画像から前屈位の時の前突有の時の角度は、 θ_1 は 44° 、 θ_2 は 67° であった。前突無の時の θ_1 は 85° 、 θ_2 は 70° であった。頸窩点を基準とした変位 α は 41° であった。

図 2-5 に示すように、中間位の時は、前突有の時の角度 θ_1 は 42° 、 θ_2 は 85° であった。前突無しの時の θ_1 は 85° 、 θ_2 は 84° であった。頸窩点を基準とした変位 α は 39° であった。

また、前突有り無しそれぞれにおいて、中間位と前屈位の時の θ_2 を比較すると、中間位に比べて前屈位の方が小さくなっている。これより、 θ_2 は頭部の傾きを表していると考えられる。 θ_1 を比較すると、ほぼ同じ値を示している。また、前突の角度を表す α も 41° と 39° であり、ほぼ同じ値を示していた。そのため、 θ_1 は前突に関わる角度として定義可能であると考えられる。

2.4 調節式嚙下枕の開発

ベッド上での食事において、喉頭蓋の位置を調節するために頭頸部を固定する枕は必要不可欠である。しかし、病棟などでは、堅さが異なる枕や、患者の使用するタオルなどによって調節される。そのため、調節者によってその角度が異なりやすく、さらに再現性にも乏しい。また、現場での使用や介助者による利用を考えた場合、金属を使用した機構を用いず、簡便簡潔でかつ軽量であることが望ましい。

本研究では、頭頸部の高さと角度を固定することにより再現性ある姿勢を提供できる枕として、ビニールで成形した袋の空気圧によって、頸部高さと後頭部角度を調整して頭頸部の“持ち上げ”、“傾け”を可能とするエア枕の試作・検討をする。

2.4.1 第一次試作

エアによる枕を作成するに当たりまず、市販の枕を組み合わせて頭頸部の“持ち上げ”“傾け”が可能かを検証した。図 2-6 は 2 種の異なるエア枕を組み合わせた物で、土台となるエア枕の空気を出し入れすることで頭頸部を持ち上げる動きについて検証している様子である。

複数の空気セルを組み合わせて空気を出し入れする事で、1. 後頭部を持ち上げ、2. あごを引く の 2 段階の調節が可能であることを確認できた。



図 2-6 2つのエアークッションを組み合わせた様子

2.4.2 第二次試作

一次試作を受けてビニールをカットし、シーラーを用いて空気セルを作製した。これを、図 2-7 の用に二段重ねたものを開発した。図 2-7 は始めに下側の空気セルに空気を入れることにより後頭部を持ち上げ、次に上側の空気セルに空気を入れることにより傾けのあご引きが可能となった。

しかしながら、頭部を前後・左右に動かすと空気セルが変形し頭部の安定感に欠けた。これは、頭部荷重を受ける空気セルの体積が大きかったと考えられる。これより、首を横に振る等の動きを伴っても変化しないように固定出来る機構が必要であることがわかった。

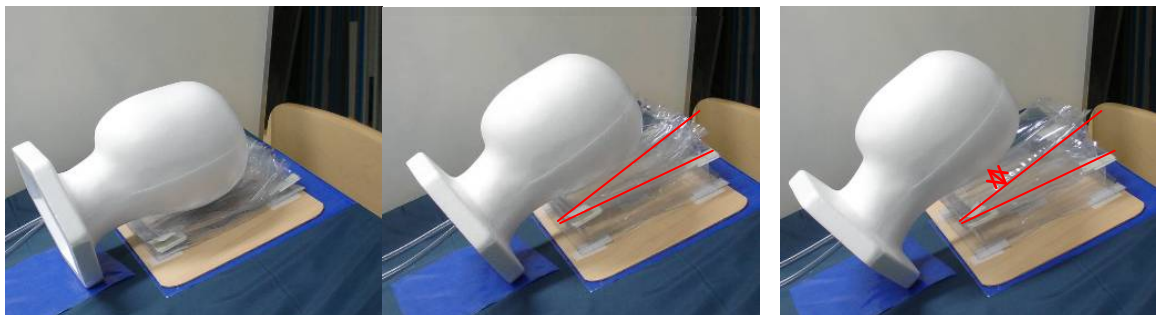


図 2-7 二次試作のエアークッション

2.4.3 第三次試作

7つの椎体から構成されている頸部は、各椎体間がずれたり、曲がるなど複雑な動きをしながら頭部と繋がっている。頭頸姿勢を調整する過程において、頭部を保持した状態で7つの椎体の動きに追随する自由度が必要である。また、頭頸姿勢作製後は頭部の動きにより変形しないこと、更に繰り返し使用する際に頭頸姿勢が再現できることと体調変化や体幹姿勢の変化に応じて頭頸姿勢の微調整が必要となる。

そこで、後頭部を保持する枕とその枕の底面とリクライニング面との空間を高さ、前後左右の傾きを可変調節するため、複数の空気セルを用いることにより、頭頸姿勢作製過程における7つの椎体の動きに追随する自由度を確保し、頭頸姿勢作製後の長期安定と微調整可能な機構を開発した。(図 2-8)

さらに、図 2-8 のように傾斜センサーをベッド面と枕面の2カ所に取り付けた。これより、頭頸部姿勢の定量的計測とベッド上での頭頸姿勢再現の目安となる頭頸部姿勢の前屈方向・回旋方向の角度計測が可能となった。これより、VF 検査時における、頭頸部姿勢を定量的に計測することを可能とした。

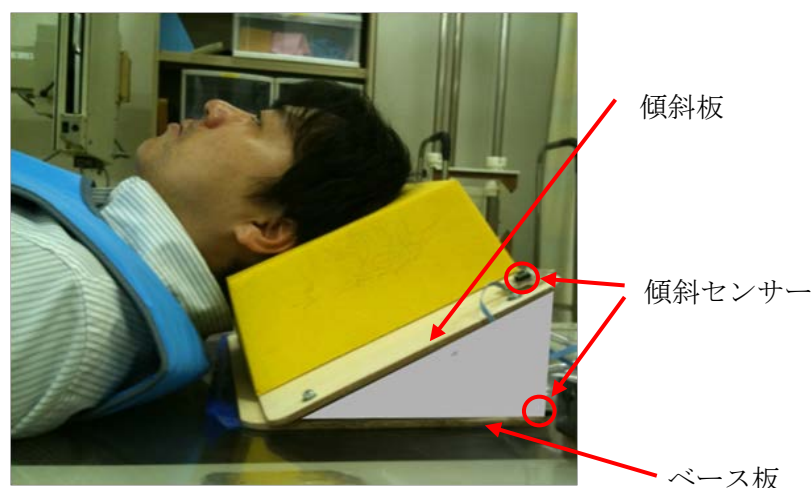


図 2-8 三次試作のエアークッション

2.4.3.1 三次試作を用いた頭頸部姿勢調節

図 2-8 に示すように傾斜センサーによって、頭頸部姿勢の前屈方向・回旋方向が得られる。試作したエアークッションで3パターンの姿勢について、それぞれの角度を調べた。一例として、その結果を図 2-9 に示す。図 2-9a)は、頸部前屈角度が水平から70度、右回旋角度6度傾斜した図である。b)は、回旋角度が0度であり、首振りはない状態である。c)は、前屈角度70度はそのままに、左回旋角度が7度であった。

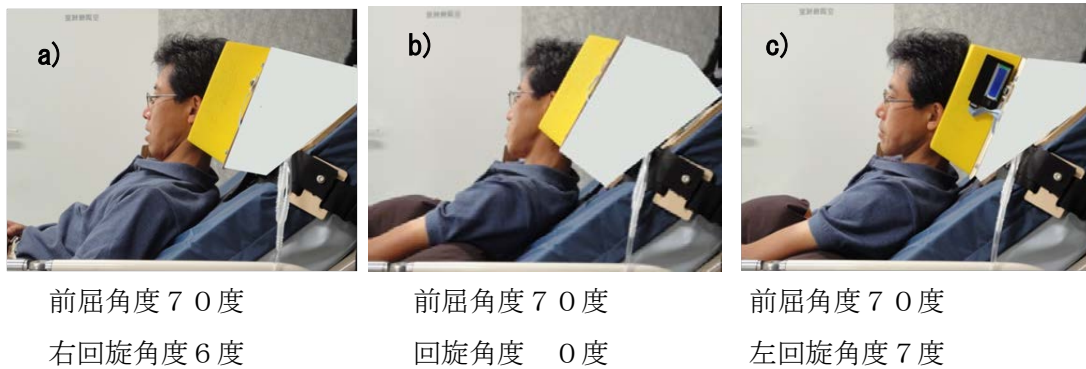


図 2-9 三次試作のエアークッションによる頭頸部の固定と角度の一例

2.4.3.2 三次試作のエアークッションが X 線画像に及ぼす影響

VF 検査などの X 線撮影において撮像対象に空気層が存在する場合、得られる X 線画像への影響を調べた。

図 2-10 に開発したエアークッションを X 線撮影した時の撮影風景側面 (a) と X 線画像 (b) を示す。図 2-10a) の撮影風景側面から、X 線撮影時には、試作枕が X 線に及ぼさないことが確認できる。さらに、図 2-10b) の X 線画像から摂食嚥下診断に必要な咽頭部に、枕の構成部品が映っていないことが確認された。

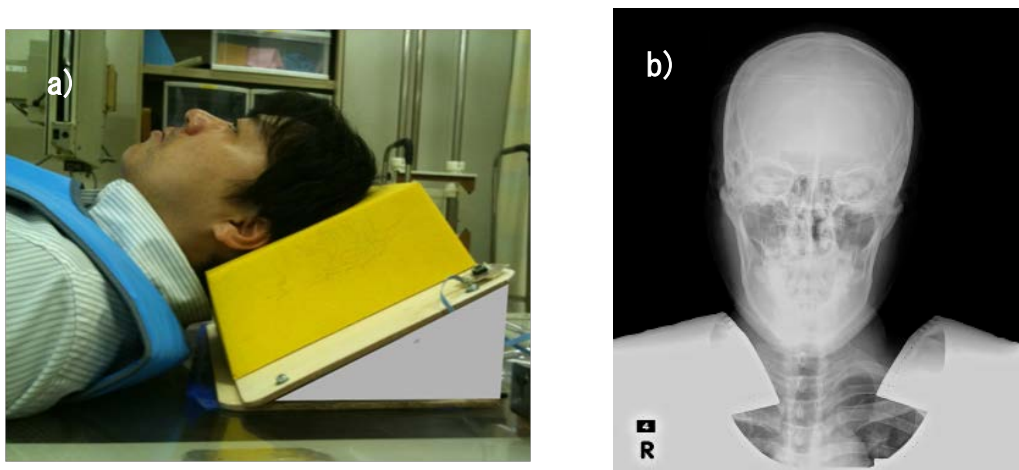


図 2-10 X 線撮影風景と X 線画像

2.5 まとめ

本研究において、開発した嚥下しやすい調節式嚥下枕は、VF 検査時における頭頸部姿勢情報として、定量的に計測されベッド上での食事姿勢再現に有効活用できると思われる。

3. 嚥下音を利用した摂食嚥下訓練評価システムの開発

摂食時に発声する嚥下音の計測には頸部聴診法を用いる。頸部聴診法とは、心音等を聞く際に用いる聴診器を用いて、頸部の任意の位置で音を聴診する手法である。

先行研究として、頸部聴診法に基づき咽頭部にマイクロフォンを固定して嚥下音と呼吸音から非侵襲的に誤嚥や咽頭部の貯留を判定する方法が桐蔭横浜大学 佐藤敏夫より報告されている。佐藤らは、嚥下音を時間 - 周波数分析し、喉頭蓋の開閉によって I 音、II 音、III 音と特徴付けている。しかし、食事時の頭頸部姿勢の変化に対して飲み込みやすさを定量的に評価されていない。本研究でも同様の手法で頸部聴診を電気信号として PC に取り込むシステムを開発し、定量的な評価ができる新しい嚥下評価法の構築を目指す。

本研究の成果として、「CT による、喉頭蓋の 3 次元位置の検証」「嚥下音計測システムを構築し、嚥下音計測における基礎的検証」、「多チャンネル嚥下音計測システムの開発」をおこなった。

3.1 CTによる、喉頭蓋の3次元位置の検証

嚥下時には声門を塞ぐために、甲状軟骨を上下させて喉頭蓋による喉頭閉鎖が行われる。つまり、頸部が伸展していると咽頭と気管が直線になり、咽頭入り口が広く開き誤嚥しやすくなる。逆に、頸部を前屈させると誤嚥しにくくなる。さらに、頸部前屈では嚥下運動がおこる前に食物が咽頭に流れ込んで誤嚥を防ぐと言われている。

嚥下音は喉頭蓋の開く・閉じる・食物流動時の音が含まれる。そのため、嚥下音を得るためには、概観したときにどの位置に喉頭蓋が存在するのかを知る必要がある。そこで本研究での頸部前屈における解剖学的な基礎知識を深めるために、頭頸部の姿勢を変化させた際の喉頭蓋の位置関係を調べた

検証には、共同研究者である加藤が所属する西播磨リハビリテーションで CT を用いて 3 次元画像分析を行った。

3.1.1 検証方法

検証は、頸部付近の X 線 CT 画像から構築した 3 次元画像より行う。頸部の姿勢は図 3-1 に示すように、仰臥位で頭頸部の角度をウレタン製の枕で調節して、前屈位・中間位・後屈位それぞれの頸部前突有・無の 6 通りとした。図 3-1 に実際の撮影の様子を示す。

X線 CT で得られた画像には色がなく、各部位の境界を確認することが困難となる。そこで、CT 値に色を割り当てて咽頭や気道がよく確認できるようにする。続いて、3次元 CT から喉頭蓋がよく確認できる断面を探す。



図 3-1 X線 CT 撮影の様子例

3.1.2 結果

図 3-2a)、d) は後屈位でありいわゆる顎を挙げて気道確保した状態である。ここでは、破線丸に示す喉頭蓋が咽頭の前壁に接しており、咽頭後壁から離れていることが確認できた。図 3-2b)、e) は中立位であり、喉頭蓋が b) では咽頭の前壁と後壁両方に接していること、e) では、咽頭の前壁と後壁共に離れていた。

図 3-2c)、f) は前屈位であり、いわゆる顎引きの状態である。この状態では、c) と f) 共に咽頭後壁に接しており、咽頭前壁には空間が生じていた。

嚥下しやすい姿勢とは、喉頭蓋が咽頭後壁に接触し、飲食物が通過しにくい状態を作りかつ喉頭蓋谷が大きく開いて飲食物が溜まりやすい状態であると言われる。そのため、嚥下の際には図 3-2 に示すように、顎引きの状態である前屈位に近い姿勢の方が良いことが確認できた。

また、頸部聴診において、聴診器と喉頭蓋との位置関係を確認することが出来た。

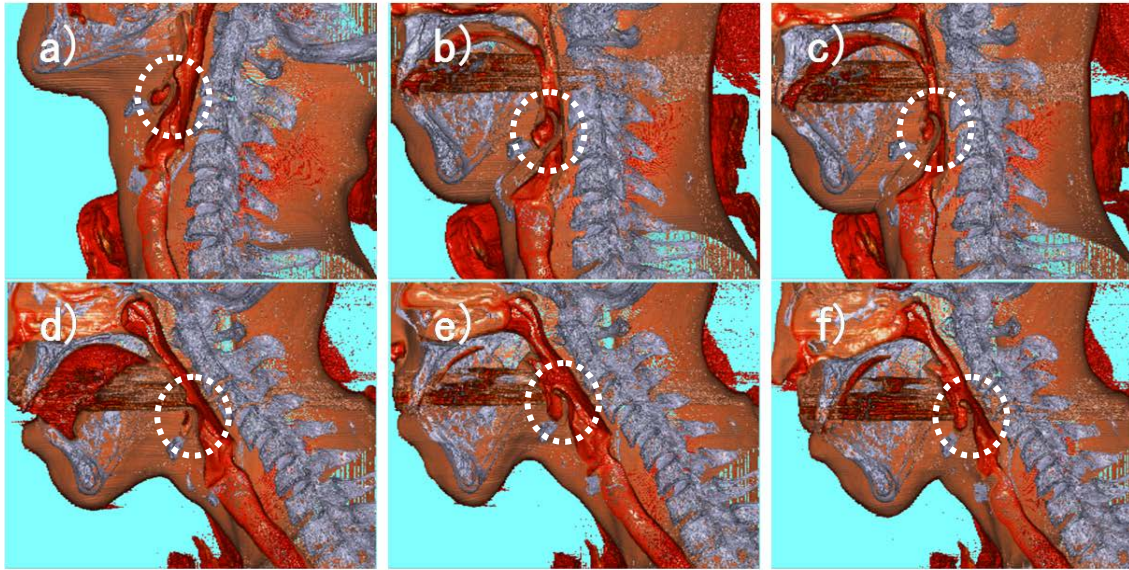


図 3-2 X線 CT より作成した各姿勢における喉頭蓋付近の 3 次元画像
(仰臥位の状態から 90 度回転)

3.2 嚙下音計測システムを構築し、嚙下音計測における基礎的検証

頰部聴診法による嚙下音を定量的に取得する為の計測システムについてのべる。このシステムは聴診器の先端

部分から得られる音を、マイクロフォンによりデジタルの音声として取り込むものである。

本研究ではまず、嚙下音収集のため図 3-3 に示すような、嚙下音計測システムを構築した。本システムは、聴診器、コンデンサマイク、PC で構成される。つまり、聴診器で得られた音をコンデンサマイクによって電気信号に変換し、PC で録音するシステムである。

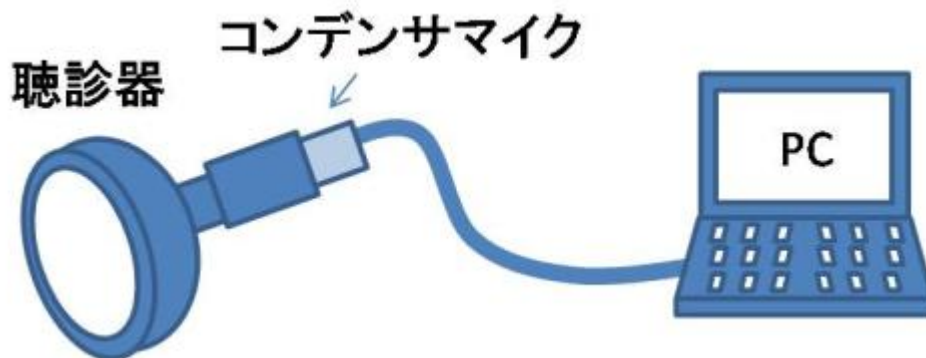


図 3-3 嚙下音測定システム

嚙下音は、CTにより確認した位置での取得を試みた。結果、嚙下音発生箇所と口頭蓋からの距離によって嚙下音波形が異なった。

これは、計測位置が異なると、再現性のある波形を取得できないと考えられる。また、最適な位置を探すために、繰り返し嚙下を行う必要があり回数を重ねることで苦痛を伴うことが確認された。

そこで本結果をうけて、計測範囲を広げることにより一度に多数の信号を取得できる新たな嚙下音計測システムの開発を行うこととした。

3.3 「多チャンネル嚙下音計測システムの開発」

従来の聴診法では、単チャンネルから得られた嚙下音による解析を行っている。しかし、対象となる頸部は大人用の聴診器を用いるには大きすぎるため、子供用の聴診器を用いる場合がある。つまり、計測できる範囲をできるだけ小さくする必要がある。しかし、小さくしすぎると本研究による検証で得られた結果のように、計測対象となる場所からずれる事で音が聞こえないなどの問題が生じる。その場合、計測のやり直しをする事になり患者への負担、嚙下検査時間の延長につながる可能性がある。

以上の問題を解決するため図 3-4 に示すように、従来の聴診器と同じ面積内に 8 個のマイクを配置した多チャンネル嚙下音マイクモジュールを開発した。

さらに、多チャンネルマイクモジュールによる計測を行うために専用の計測ソフトウェアの開発も同時に行った。図 3-5 に多チャンネルマイクモジュールと聴診器にマイクをつないだものを AD 変換機に接続した様子を示す。図 3-6 に計測ソフトウェアにて得られた信号の一例を示す。本システムは 12bit、サンプリング周波数 44 kHz で 9 チャンネルを AD 変換することが可能である。



図 3-4 8チャンネルマイクモジュール

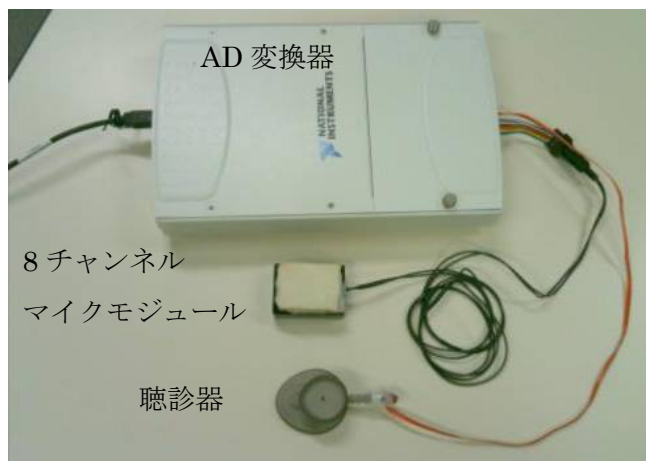


図 3-5 図 3-4 のマイクモジュールと AD 変換器を接続した様子

本システムで得られた嚙下音の一例を図 3-6 に示す。図 3-6 の各チャンネル間で振幅の大きさに差がある事が確認できる。

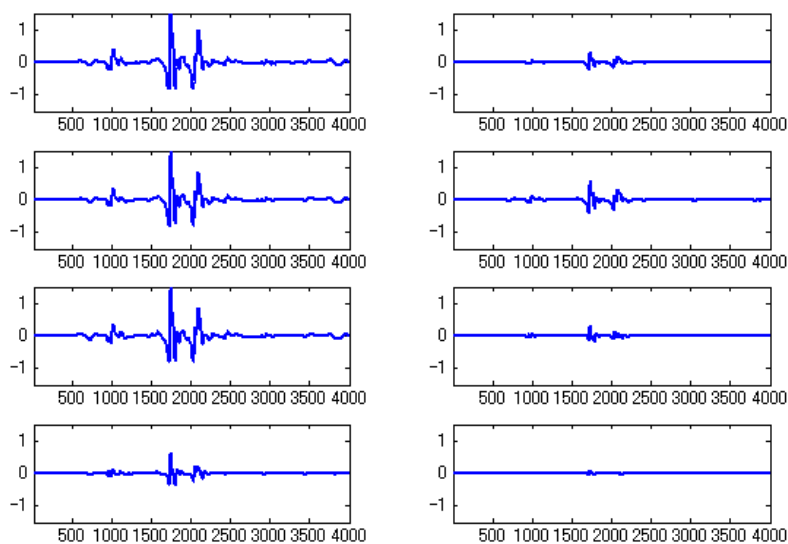


図 3-6 8チャンネルマイクモジュールで計測した嚙下音の一例

図 3-7 に示すように、8 チャンネルマイクモジュールモジュールで同時に計測した嚙下音を加算平均した波形（実線青）と、通常の聴診器で得られた嚙下音（破線赤）を比較した。また、図 3-7b) は時間的に拡大したものであり、加算平均波形（青）と聴診器による嚙下音（赤）を比較すると聴診器で得られた波形はノイズと思われる高周波が加算平均波形よりも多く含まれている事が確認できる。

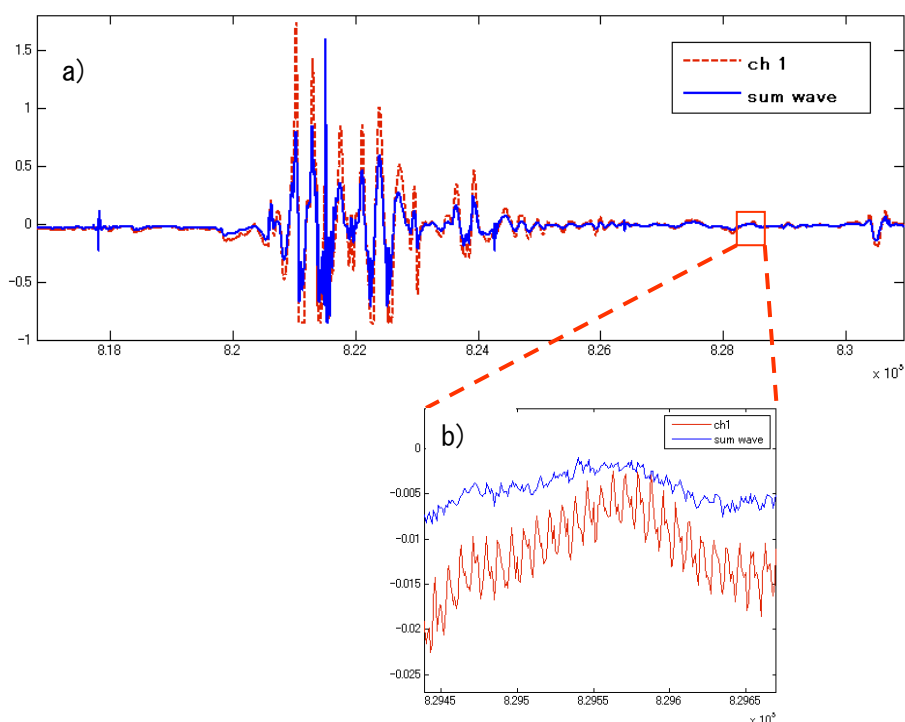


図 3-7 8 チャンネルの加算平均波形と聴診器で得られた波形の比較

3.4 まとめ

本研究では、8 チャンネルの嚙下音計測システムの開発を行った。得られた各チャンネルの嚙下音波形の振幅に違いが見られた。また、8 チャンネルの加算平均波形にすることにより、聴診器で得られた波形よりも高周波ノイズが低減出来ていることが確認できた。

本研究は、公益財団法人 在宅医療助成勇美記念財団 平成 21 年度在宅医療助成により実施された。ご協力頂きました関係各位の方々に謝辞を申し上げます。

研究を終えて

本研究では、VF 検査時の新しい嚥下情報として、「嚥下しやすい調節式嚥下枕」と間接訓練・直接訓練時における「嚥下音を利用した摂食嚥下訓練評価システムの開発」、「嚥下音波形を用いて、頭頸部姿勢と嚥下のしやすさの検証」を目指しております。

本助成金により、「嚥下しやすい調節式嚥下枕」に関して、新しい頭頸部姿勢情報提示器と空気式調整食事支援枕の開発が可能となりました。今後、この成果をもとに、臨床の場および在宅で安全に使用できるよう改良していき、摂食嚥下障害者・高齢者が安心して食事できる枕を研究・開発していきたいと考えております。

「嚥下音を利用した摂食嚥下訓練評価システムの開発」および「嚥下音波形を用いて、頭頸部姿勢と嚥下のしやすさの検証」に関しては、当初予定していた計画よりも大幅に変更する必要が生まれました。これは、嚥下枕開発において、よいアイデアが生まれ、さらなる改良に時間を要した事と、予備実験として嚥下音を計測した際に、定量的なデータを得るためには、頭頸部の固定やその姿勢情報を取得する重要性が確認されたためです。これらをふまえることでより測定対象となる患者の負担を軽減できるような、多チャンネル嚥下音検出用マイクモジュールの開発に着手できました。今後期間中に行えなかった嚥下音の検証を行い、摂食嚥下障害者・高齢者の訓練効果を評価できるシステムを構築していきたいと考えております。

本研究は、平成21年度在宅医療助成により以上の成果を出すことができました。ここに謝辞を申し上げます。

また、諸般の事情により完了報告書掲載を平成24年8月1日より開始させていただきます。この件に関して、公益財団法人 在宅医療助成 勇美記念財団様の寛大な配慮に感謝いたします。