超音波画像診断装置と心音マイクを用いた嚥下時の 咽頭運動評価の妥当性と再現性

*The Validity and Reproducibility of Pharynx Movement Evaluation at Deglutition by
an Ultrasonic Imaging Device and Heart-Beat Microphone*

内田 学¹⁾ 原田 亜由美²⁾ 加藤 宗規³⁾

MANABU UCHIDA¹⁾, AYUMI HARADA²⁾, MUNENORI KATOU³⁾

¹⁾ Health Science University: 7187 Kodachi, Fuji-Kawaguchiko, Minamitsuru, Yamanashi 401-0380, Japan. TEL+81 555-83-5299
11 E-mail: m-uchida@u-ths.ac.jp

²⁾ Fuefuki Central Hospital

³⁾ Ryotokuji University

Rigakuryoho Kagaku 27(5): 539-543, 2012. Submitted Mar. 29, 2012. Accepted May 12, 2012.

ABSTRACT: [Purpose] We examined the validity and reproducibility of a method of pharynx movement analysis using a combination of a microphone, to record the sound of swallowing for frequency analysis, and a redesigned ultrasonic diagnostic imaging device, aiming to develop a visual and quantitative evaluation method of the dynamics of deglutition. [Subjects] The subjects were four healthy adults. [Methods] We compared the reproducibility of the measured pharynx movement time and frequency analysis of the swallowing sound with the conventional method of contrast radiography. To investigate the validity, we made the same measurements using VF and compared them. [Results] In the comparison of the measured values, the frequency analysis of the swallowing sound using a voice microphone and an ultrasonic diagnostic imaging device gave measured values that were comparable with those of VF which has superior visual judgement of the maximal pharyngeal movement. [Conclusion] We consider the evaluation utilizing an ultrasonic diagnostic imaging device is an effective way of quantitatively evaluating patients suffering from aspiration.

Key words: deglutition, frequency, swallowing time

要旨:〔目的〕嚥下動態の視覚的、定量的評価法の開発に向けて新たに考案された超音波画像診断装置による画像と、マイクにより録音された嚥下音の周波数解析との組み合わせによる咽頭運動分析方法の妥当性と再現性を検討すること。〔対象〕健康成人4名とした。〔方法〕嚥下音の周波数解析と計測された咽頭運動時間の再現性を従来法である嚥下造影によるものと比較した。本研究の妥当性を検討するためにVFでも同様の測定を実施し比較検討を行った。〔結果〕超音波画像診断装置と音声マイクを用いた嚥下音の周波数解析は、最も咽頭運動の視覚的判断が優良であるVFを用いた測定値と比較して同程度の再現性が得られた。〔結語〕超音波画像診断装置を用いた評価は、誤嚥状態にある患者の定量的な評価手法として有効な手段であると考えられた。

キーワード: 嚥下, 周波数, 嚥下時間

¹⁾ 健康科学大学 健康科学部 理学療法学科:山梨県南都留郡富士河口湖町木立7187 (〒401-0380) TEL 0555-83-5299

²⁾ 笛吹中央病院リハビリテーション科

³⁾ 了徳寺大学 健康科学部 理学療法学科

I. はじめに

植松¹⁾によると、近年、日本人の死亡率要因として第4位である肺炎の9割以上が65歳以上の高齢者であり、そのうち3～5割が誤嚥性肺炎で亡くなっていると述べている。高齢者では加齢に伴い口腔機能の低下を背景とした不顕性肺炎の発症が多くなっている。また、認知症などの因子も合併することで呼吸器症状を訴えられず、客観的にも気づきにくい特徴があり重症化してから気づかれることも日常的に起こっている。リハビリテーションにおいて摂食嚥下領域における専門的立場は言語聴覚士の範疇であるが、言語聴覚士の在籍に関しては医療保険領域に偏っている傾向がある。愛知県言語聴覚士協会の調査によると、高齢者が多く存在する介護保険領域での言語聴覚士の在籍率は38%であり、その中でも非常勤雇用が42%を占めており体制の低さが報告²⁾されている。介護保険領域における理学療法士の在籍に関しては作業療法士、言語聴覚士と比較しても大幅な配置がなされており³⁾、高齢者の摂食嚥下領域における介入は理学療法士の職域として必要不可欠であると考えられる。新屋⁴⁾は、「嚥下障害を有する症例に対するリハビリテーションは嚥下機能向上のための介入のみならず身体機能改善や環境調整など総合的な介入が必要であるが、嚥下場面での的確な評価が最も重要である」と述べている。したがって、実際の嚥下場面での評価は重要であり、誤嚥性肺炎の予防、および早期発見・早期治療のためにも、理学療法士が実施できる評価方法の確立が望まれる。

現在、摂食嚥下障害に対する感度特異度の高い検査として嚥下造影 (Video fluoroscopic Examination of swallowing: 以下VF) が用いられている⁵⁾。VFは透視下でバリウムを含んだ試験食品を患者に摂食させることにより、画像を用いた摂食・嚥下動態の視覚的評価ができるものの嚥下状態の定量化は困難である。さらに放射線被爆の問題や、費用の負担が大きいことなどにより、この方法はあまり実施されていない傾向にある。また、専門知識を有するスタッフや特殊機器が必要であり、在宅や高齢者施設では行うことは不可能である。したがって、この標準的な従来法の実施上の困難性により嚥下障害が見逃され誤嚥性肺炎による死亡、心身機能の低下を招いているのが現状であると考えられる。

摂食・嚥下障害に対する検査として、VF以外には改定水飲みテスト (Modified Water Swallowing Test: 以下MWST) や反復唾液嚥下テスト (Repetitive Saliva Swallowing Test: 以下RSST) などの簡易スクリーニング法が多用されている⁶⁾。これらの検査は間接的な手法であり誤嚥リスクの判定はできるが、RSSTは、感度69.4%、特異度40.0%、WSSTは、感度71.4%、特異度42.9%であったと報告⁷⁾されており、VFのような咽頭運動の視覚化も困難であるため誤嚥が見逃される可能性

もある。またMWST、RSSTとVF所見の乖離が報告⁸⁾されているなど誤嚥の検出に関しては見逃されることも少なくはないと思われる。

諸臓器の動態を視覚的に、かつ安全に検査できる方法として超音波画像診断が循環器疾患や消化器疾患などで用いられている。超音波は被爆の問題もなく、比較的簡便に画像診断に用いることが可能である。しかし、超音波画像診断を嚥下検査に用いた場合、誤嚥の有無、および咽頭運動の開始と終了を特定し、視覚化することは可能となるが、咽頭運動の程度、および誤嚥の程度を判定することが困難である。一方、咽頭運動の程度、および誤嚥の有無と程度は聴診器を用いて嚥下音を検査することにより評価することが臨床的に用いられているが、咽頭運動の特定が不可能であり、また、妥当性や再現性を高めるためには多くの知識と経験が必要になると考えられる。

そこで我々は、理学療法士が嚥下状態を明確に把握し、的確な介入を遂行するための評価手法として、被爆の問題がなく、嚥下動態を視覚的、定量的に評価できる方法として、MWSTを実施する際に、超音波画像診断装置とCardio Microphone (心音マイク) を用いて、咽頭運動時間とその間の平均周波数解析を行う方法を考案した。本研究では周波数ごとの強さを定量的に求めるためにスペクトル解析として実施した。これらの手法をVFと心音マイクを用いた方法と比較することにより妥当性を検討するとともに、同日内・日をあらためた再現性について検討した。

II. 対象と方法

被検者は、健康成人4名 (男性2名、女性2名) とした。平均年齢 22.5 ± 0.5 歳、平均身長は 164.7 ± 4.2 cm、平均体重は 61.53 ± 6.2 kg (いずれも平均値 $\pm$ 標準偏差) であった。過去の呼吸、循環、代謝に関する既往がなく、胸郭や脊柱に変形も見られなかった。被検者には事前に研究の趣旨を説明し、同意を得たあとに測定を実施した。

被検者に対しVFと心音マイクを用いたMWST、および超音波画像診断装置と心音マイクを用いたMWSTを行った。

MWSTに用いた検査食は、40%に希釈し水と同程度の粘稠度に調整した硫酸バリウム液とした。シリンジにて計量し、5 mlの希釈硫酸バリウムを摂取させた後に口腔内に保持させた。口腔内に検査食を含んだのちに行う嚥下は、被検者が飲み込みやすい任意のタイミングとして、1回で飲み込むものとした。測定姿勢は安楽な立位姿勢とし、頭頸部を前額面と矢状面の中間位に保持させた。

嚥下音の測定に用いる心音マイク (ADINSTRUMENTS社製MLT201) の固定部位は、

Takahashiら⁹⁾の頸部聴診法に準じ、輪状軟骨直下の気管外側とした。心音マイクによる音声は、Powerlab (ADINSTRUMENTS社製 ML142GP) を介してパーソナルコンピュータにデータ化して取り込んだ。また、心音マイクによって発生するアーチファクトの影響を除外するために、咽頭に接触させたマイク (心音マイク①) の上面に、同型の心音マイク (心音マイク②) の集音側を外側に向けて固定し、解析の過程でマイク①のデータからマイク②のデータを減算した。嚥下音の測定は、超音波画像診断、あるいはVFに合わせて行った。モニター画面に映し出された映像をWebカメラ (BAFFALO社製 BWC-35H01) にて撮影し、映像をパーソナルコンピュータに取り込み、PowerlabのVideo Captureを用いて音声データと画像を同期させた。

超音波画像診断装置は、SonoSite社製MicroMaxxを使用し、咽頭撮影にはリニアプローブ (HFL38/13-6) を甲状軟骨外側から後内側方面に向けて固定し咽頭全体を撮影した。周波数は7.6 MHzとし咽頭運動全体を撮影し、超音波画像をモニターに映し出した。なお、超音波画像診断装置での測定は、検者間の不一致が生じないようにするため同一検者が実施することとした。

VFには、日立メディコ製CUREVISTAを使用し、咽頭撮影は被検者の利き手側の側方から行い、頭部から上胸部が視野となる距離に照射口を設置し、VF画像をモニターに映し出した。

なお、超音波画像診断装置と心音マイクを用いたMWST、およびVFと心音マイクを用いたMWSTでは、田澤ら¹⁰⁾がMWSTの嚥下量が少なく不顕性誤嚥を検出しにくいと述べていることから合計15回の嚥下運動に対して検討した。それぞれの測定間隔は、3分以上の休憩を設け疲労や慣れの影響を除外した。咽頭運動時間と平均周波数の再現性を確認するために、測定は3-7日の間を空けて2セッション実施した。

そして、Powerlabにて取り込んだ嚥下音声データと同期したVideo Captureの画面から視覚的に咽頭運動の開始と終了を確認し、咽頭運動における嚥下音の範囲を特定するとともに咽頭運動時間を算出した。咽頭運動の開始と終了の確認においては、嚥下時のVideo Captureを再生しながら画面上にて咽頭運動の開始点と終了点をマークした。得られた嚥下音声データからアーチファクトを除外するにあたり、咽頭運動時間に対応した時間軸内の嚥下音波形を心音マイク①側、②側ともにテキストデータに変換し、エクセル上にてマイク①の測定値からマイク②からの測定値を減算した値を補正された嚥下音声データとした。この補正された嚥下音声データに対しKyplot5.0のSpectral Analysisにて1変量の高速フーリエ変換を行い平均周波数の算出を行った。なお、サンプリング間隔は1/1000とした。

VFおよび超音波画像診断における周波数、咽頭運動

時間の再現性は、セッション内の再現性、およびセッション間での再現性について級内相関 (ICC(1,1)) を用いて検討した。VFを基準とした超音波画像診断の妥当性は、各セッションにおける全被検者の周波数と咽頭運動時間を採用したVFと超音波画像診断間におけるt検定、および各セッションにおける各被検者の平均値を採用したVFと超音波画像診断間のスピアマンの順位相関を用いて検討した。統計ソフトは、PASW Statistics 18 for windowsを用い、有意水準は5%未満とした。

なお、嚥下機能の測定は、医師、看護師、および診療放射線技師の立ち会いの下で行い、緊急時には吸引などの処置が可能な環境設定とした。倫理的配慮として、本研究は健康科学大学倫理委員会の承諾を得た (健倫-03)。

Powerlabにて取り込んだ嚥下音声データと同期したVideo Captureの画面を示す (図1)。

III. 結 果

VFと超音波画像診断装置による嚥下運動における平均周波数、咽頭運動時間、セッション内、セッション間のICC、VFと超音波画像診断装置間の相関係数の測定結果を表1に示す。

VFにおける平均周波数は1日目で612.2 Hz、2日目で587.5 Hz、超音波画像診断装置における平均周波数は1日目で597.6 Hz、2日目で602.4 Hz、VFにおける平均咽頭運動時間はセッション1で0.94秒、セッション2で0.96秒、超音波画像診断装置における平均咽頭運動時間はセッション1で0.91秒、セッション2で0.93秒であった。

セッション内における平均周波数の再現性について、ICC(1,1)の値は、VFのセッション1で0.82、セッション2で0.76、超音波画像診断のセッション1で0.80、セッション2で0.78であった。セッション内における平均咽頭運動時間の再現性について、ICC(1,1)の値は、VFのセッション1で0.77、セッション2で0.71、超音波画像診断のセッション1で0.74、セッション2で0.70であった。セッション間における平均周波数の再現性について、ICC(1,1)の値は、VFで0.76、超音波画像診断で0.73、セッション

図1 解析画面 (嚥下音声と超音波画像診断装置の同期)

表1 測定結果

		セッション1		セッション2		セッション間
		測定値	ICC (1,1) ¹⁾	測定値	ICC (1,1) ¹⁾	ICC (1,1) ²⁾
平均周波数	嚥下造影 (Hz)	612.2 ± 32.5	0.82	587.5 ± 41.4	0.76	0.76
	超音波画像診断 (Hz)	597.6 ± 60.2	0.80	602.4 ± 92.1	0.78	0.73
	相関係数 ³⁾	0.81		0.72		
咽頭運動時間	嚥下造影 (秒)	0.94 ± 0.3	0.77	0.96 ± 0.6	0.71	0.81
	超音波画像診断 (秒)	0.91 ± 0.5	0.74	0.93 ± 0.4	0.70	0.77
	相関係数 ³⁾	0.63		0.62		

± : mean ± SD, ICC : 級内相関係数, 1) セッション内でのICC, 2) セッション間でのICC, 3) 嚥下造影と超音波画像診断間の相関係数

間における平均咽頭運動時間の再現性について, ICC(1,1)の値は, VFで0.81, 超音波画像診断で0.77であった. VFを基準とした超音波画像診断の妥当性について, 両セッションともにVFと超音波画像診断間において平均周波数および平均咽頭運動時間には有意な差を認めなかった. VFと超音波画像診断間における周波数の相関係数は, セッション1で0.81, セッション2で0.72, VFと超音波画像診断間における咽頭運動時間の相関係数は, セッション1で0.63, セッション2で0.62であり, いずれも有意な相関を示した.

IV. 考 察

今回実施した超音波画像診断装置と音声マイクを用いた嚥下音の周波数解析は, 咽頭運動の視覚的判断が優良であるとされるVFを用いた測定値と比較して同程度の結果を示した. 平均周波数帯域は両群において差を認めない結果から周波数の解析結果がVFにおいても, 超音波画像診断装置においても同等の結果が導き出されているものと考えられる. また, 同日における15回の測定に対する再現性と日をあらためた再現性の検討においても, いずれも0.7以上の係数が確認された. 桑原¹¹⁾らは, 大まかな目安として再現性検定が0.7以上の場合普通, 0.8以上の場合良好であると述べていることから, 今回の手法は再現性を有した測定方法であると考えられる. 超音波画像診断装置と音声マイクを併用して検討した周波数解析は, VFを基準とした基準関連妥当性と検者内再現性を有するものと考えられる. 嚥下音の解析には嚥下時に生じる咽頭運動の開始点と終了点を明確にすることが必要条件であり, 過去の研究においては咽頭運動の視覚的判断に優れているという理由から, VFを用いたもの^{12,13)}が主となっている. しかし, 意識障害のある患者や安静を強いられる患者に対する実施が困難である¹⁴⁾という報告があるように, 対象者が限定されてしまうことと, 実施する環境が限定されてしまうという点などから汎用性という意味では問題が残る. また, 被爆

の問題から複数回にわたって検査を実施することは疑問視されている. 今回, 我々が実施した超音波画像診断装置にて撮影した咽頭運動の視覚情報をVFの代用とすることで, 環境を選ぶことなく測定することが可能であり, 被爆の問題も考えられないことから, 汎用性が期待できると推察される.

咽頭運動の視覚化は運動幅を明確に捉えることは可能であるが, 検査時に明確に発生しない誤嚥を見逃してしまうなど, 直接的な検査であるがゆえに運動の質の判断, および運動時間や量の定量化が困難となる問題がある. 我々は, 咽頭運動の視覚的な確認に加えてその運動の質を定量化するために, 咽頭運動中に発生した嚥下音の解析をSpectral Analysisを用いた周波数解析にて判別したものである. 過去の嚥下音に関する先行研究として, 浦上ら¹⁵⁾は嚥下音の画像化を試みており, 小型聴診器から得られた音声を電位変化し, 音圧と嚥下持続時間の関係から検討している. この手法は電位活動のdot数で検討することから単位面積の大小で判断するものであり, 低い電位と長い嚥下時間のパターンと, 高い電位と短い嚥下時間のパターンを同等に扱う危険性がある. また, 中山ら¹⁶⁾の嚥下音産生部位の検討では, 音声の出現を確認できたのは舌根部通過音では64%, 喉頭蓋通過音は89.5%, 食道入口部通過音は95.8%であり, 嚥下最終段階における音声は良好な成績で確認できるものの, 嚥下初期段階における音声の把握が困難であることを報告した. 嚥下時間のみでの解析は喉頭蓋の開鎖不全などの軽度な摂食障害の患者など, 咽頭運動が延長しても嚥下自体には問題が発生しない病態などの詳細の評価が困難である. 今回, 我々が実施した超音波画像診断装置を用いた咽頭運動の視覚化と, マイクによる音声の測定を同時に行うことで, 嚥下初期段階の音声も確実に特定できるものと考えられる. 本研究で実施した超音波画像診断装置を用いた咽頭運動の視覚化と嚥下音に対する周波数解析は, 嚥下に要した時間の特定が極めて重要な因子となる. 嚥下機能全体を全般的に把握する為には咽頭運動の開始から終了までのすべての範囲を視覚的に確認しな

がら測定する必要がある。とくに、聴診などの音声情報だけの分析では舌根部通過音における音声の把握が困難であることから、得られた嚥下音の周波数解析だけの定量化は咽頭運動全体をとらえていることとは言い難い。咽頭運動全体を超音波画像診断装置にて視覚的に特定し、それにかかる時間的要因を明確にした状態での周波数解析が必要であると考えられる。今回は、超音波画像診断装置から得られた咽頭運動時間に関しても同日内に計測を繰り返す場合の検者内再現性、および日を改めて計測する場合の検者間再現性を示す結果が得られた。その時間内における周波数解析の結果が、VFを用いた場合と比較して差が生じないということと、相関係数の大きさから今回の測定方法の信頼性を有していると考えられる。葛谷¹⁷⁾は、介護保険施設における今後の課題として、言語聴覚士がいないために摂食嚥下機能評価が困難であると述べているとともに、誤嚥を疑う兆候が診られてもVFやVEを実施する連携体制が確立していないことを問題提起している。我々が検討した測定法は、VFと聴診における両者の欠点を補い合える優良な手法になるものと考えられ、VFなど検査環境が整っていない医療機関や介護保険領域の施設、在宅患者などでもVFの代用として咽頭運動を評価できる測定方法であり、今後の介護保険領域における汎用性が期待できるものと考えられる。

Teasell¹⁸⁾らは、嚥下機能の低下が低栄養やQOL低下の要因になり、誤嚥が療養上の問題となると述べている。日常的に誤嚥が起こっているにも関わらず、摂食嚥下機能に対する意識が低い。これも、直接的な摂食嚥下機能評価が行えていない状況を物語っていると考えられることから早期の臨床応用が急務であると考えられる。今回は超音波画像診断装置がVFの代用となるための検討を実施したが、今後の課題として、実際に誤嚥を生じている患者に対して測定を実施し、正常嚥下と対比することで誤嚥を呈する患者の周波数解析、および咽頭運動時間の特徴を明確にしていくことが必要である。

引用文献

- 1) 植松宏：セミナーわかる！ 摂食・嚥下リハビリテーションII誤嚥性肺炎の予防と対処法。医歯薬出版、東京、2005、pp16-22.
- 2) 愛知県言語聴覚士協会：介護老人保健施設に勤務するST実態調査のアンケート（第1報）。愛知県言語聴覚士協会報告書、2007、1-3.
- 3) 杉原素子、谷口敬道、三井速雄：特別養護老人ホーム・老人保健施設、特例許可老人病院・療養型病床群における高齢者の日常生活機能の比較と施設機能。医療経済研究vol3、1996、131-141.
- 4) 新屋順子：高齢者の嚥下障害に対する理学療法。理学療法2011、28(9): 1136-1143.
- 5) 佐々木英忠：エビデンス老年医療。医学書院、東京、2006、pp89-94.
- 6) 小口和代、才藤栄一、水野雅康・他：機能的嚥下障害スクリーニングテスト「反復唾液嚥下テスト」の検討(1) 正常値の検討。リハ医、2000、37: 375-382.
- 7) 渡邊 哲：脳卒中後の誤嚥に関連する因子の検討。愛院大歯誌45、2007、579-590.
- 8) 小口和代、才藤栄一、馬場 尊ら：機能的嚥下障害スクリーニングテスト「反復唾液嚥下テスト」(the Repetitive Salva Swallowing Test: RSST)の検討(2) 妥当性の検討。リハ医学37、2000、383-388.
- 9) Takahashi K, Groher ME, Michi K: Methodology for detecting swallowing sounds. Dysphagia, 1994, 9(1): 54-62.
- 10) 田澤 悠、前島伸一郎、大沢愛子、他：60 cc水飲みテストと誤嚥の有無、経口摂取の可否、認知機能の関係。日摂食嚥下リハ会誌(14)、2010、485-485.
- 11) 桑原洋一、斎藤俊弘、増田善昭：検者内および検者間のReliabilityの検討。呼循、1993、42: 945-952.
- 12) 森 俊子、陣内重三、藤川知美、他：192例の高齢者に行ったVF検査所見と水のみテストおよび反復唾液のみテストの結果との相関性。日摂食嚥下リハ会誌(7)、2003、240-241.
- 13) 千葉由美：摂食・嚥下障害患者の包括的医療・看護ケアにおける臨床評価と安全性の基準作成。平成16～19年度文部科学省基盤研究(B)研究成果報告書、2008、15-21.
- 14) 平岡千穂、前島伸一郎、大沢愛子、他：脳卒中急性期におけるベッドサイドの嚥下評価と嚥下造影検査の比較検討。脳卒中、2009、31(3): 148-151.
- 15) 浦上裕司、後藤義朗、生駒一憲：嚥下音の画像化の試み。日摂食嚥下リハ会誌、2008、12(3): 187-196.
- 16) 中山祐司、南雲正男、高橋浩二：嚥下音発生部位の検討。第25回昭和歯学会例会抄録集、2006、105-105.
- 17) 葛谷雅文：高齢者の経口摂取の維持ならびに栄養ケア・マネジメントの活用に関する研究。厚生労働科学研究費補助金(長寿科学総合研究事業)総合研究報告書。2011、1-16.
- 18) Teasell RW, McRae M, Marchuk Y, et al.: Pneumonia associated with aspiration following stroke. Arch Phys Med Rehabil, 1996, 77(7): 707-709.