

平成 29 年 6 月 14 日現在

機関番号：13101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2016

課題番号：25462990

研究課題名(和文) ICT(情報通信技術)とピエゾセンサーを融合した在宅嚥下機能評価訓練システム開発

研究課題名(英文) The Development of the swallowing function evaluation training system for home care patients applied ICT (Information and Communication Technology) and piezo sensor

研究代表者

櫻井 直樹 (SAKURAI, Naoki)

新潟大学・医歯学総合研究科・非常勤講師

研究者番号：50251830

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：咽頭期嚥下の観察にVF検査は有用であるが、被曝や造影剤誤嚥の危険性、装置が高価なため臨床応用に制限がある。我々は、非侵襲的にかつ簡便に嚥下機能を評価する方法として、PPTを頸部に貼付して嚥下運動を解析する方法を考案した。この結果から、在宅患者用の小型でピエゾセンサーを用いた嚥下機能評価訓練装置を試作し、正常者の嚥下機能が評価可能か検討した。試作機を用いたRSSTでの嚥下運動の検出率は89.4(%)であり、精度向上のために改造した。さらに試作機が判定した被験者の嚥下情報をICT(情報通信技術)を応用してインターネット経由で主治医に転送できる遠隔医療としての在宅嚥下機能評価訓練システムを構築した。

研究成果の概要(英文)：There is a limitation in the clinical application because the danger of the exposure and the contrast medium aspiration and devices are expensive though the VF inspection is useful for the observation of the pharyngeal phase swallowing. We designed the method of sticking PPT on the cervix as a method of evaluating the swallowing function noncritical and handily and analyzing the deglutition movement. A small swallowing function evaluation training device with a piezo sensor for the home care patients was developed as a prototype by using past study results. The detection rate of the normal person's swallowing in RSST by the prototype was 89.4(%), and it was remodeled for the accuracy improvement. In addition, the data from the swallowing function evaluation training system as the telemedicine to be able to transmit to the doctor by applying ICT (Information and Communication Technology) by way of the Internet was constructed.

研究分野：補綴理工系

キーワード：ピエゾセンサー 嚥下機能 在宅高齢者 RSST 食塊移送 誤嚥性肺炎 遠隔医療 ICT

## 1. 研究開始当初の背景

在宅の嚥下障害患者が急増している我が国において、嚥下造影検査に変わる非侵襲で簡便な嚥下機能評価法の確立は喫緊の課題である。これまで非侵襲的な嚥下機能評価方法として喉頭運動測定器、超音波断層装置、筋電図が用いられてきたが、検査および解析方法が複雑なため、いまだ臨床応用には及んでいない。我々はチェアサイドで行える嚥下機能評価方法として頸部にピエゾセンサーを貼付して嚥下機能を評価する方法を考案し、科研費(平成16-18年度 課題番号:16591939)を用いて、その有用性とピエゾセンサーで得られた波形は同じ条件の嚥下反射で再現性が高く、X線嚥下造影との同時測定によって嚥下咽頭期の食塊移動時間を正確に計測できることを示した(A. Toyosato 2007)。舌骨の運動は、咽頭期の嚥下動態が深く関連していることが報告されている(Palmer 2002)。我々は、市販のピエゾセンサーに改良を加え、嚥下時の頸部の動きを高精度に感知することで舌骨の動きに対応した波形解析が可能となった。

上記の研究成果を踏まえて、健常嚥下の標準値を作成し、嚥下障害患者に対しては、新たに購入する嚥下内視鏡(VE)およびVFと比較しながら嚥下障害の診断基準を明確にすることによって、非侵襲的で簡便な嚥下検査訓練装置の開発が可能になるとの着想に至った。これに対しては既に、先行科研費(平成22-25年度 課題番号:22592145)とシーズ研究費(平成21年度(発掘型) 課題番号:05-043)により、小型嚥下機能評価訓練装置の試作機を開発、特許出願し、この装置によるRSSTの診断精度は91.5%であることを明らかにした。遠隔医療に関して、近年、医科領域では、様々な生体情報を通信する遠隔診断支援システムが実用化されているが、歯科領域での報告は少ない。我々は、遠隔医療を計画して予備研究を行い報告した(櫻井2005)。第21回日本顎関節学会にて在宅の顎関節症患者に対して当科にて開発した関節雑音検査用マイクとADSLを介したIPTV電話を用いた遠隔診断が可能であるか実証実験を行ない、経過観察程度の遠隔診断は可能であることを報告した。しかし、高齢の顎関節症患者では、自宅にインターネット回線が無い場合や、患者自身でIPTV電話の設定困難などのデジタル・デバイドの問題があり、臨床応用が困難であった。

## 2. 研究の目的

高齢者では在宅の嚥下障害患者が増加している。ゴールドスタンダードとされるX線嚥下造影検査はX線被曝があり、装置は高価であるため検査機関が限定される。そこで非侵襲で簡便なピエゾセンサーを用いた嚥下機能評価訓練装置とインターネット技術を組み合わせて在宅嚥下障害患者の嚥下機能

評価訓練システム開発を目的としている。ピエゾセンサーとVF(嚥下造影)、筋電図で測定し、病態生理の分析、診断基準決定する。その結果から既存のピエゾセンサー嚥下機能評価訓練装置試作機の改良と検査の試行を行う。最終的にはピエゾセンサーデータをモバイルネットワークを介したインターネットでリアルタイム転送する遠隔医療支援システムの確立を目的とした。

## 3. 研究の方法

### (1) ピエゾセンサーによる嚥下生理機能の分析と診断基準の作成と試作機の試作・実験 ピエゾセンサーによる嚥下生理機能の分析と診断基準の作成

嚥下機能に異常のない健常成人41名(男性21名、女性20名、27歳から77歳までの平均58歳)に対し、90°座位での5mlバリウム水ならびにとろみ付バリウム水嚥下時の、嚥下時頸部ピエゾセンサー波形と食塊動態との時間的関連について解析した。

頸部に貼付したピエゾセンサーを用いた測定と舌骨上筋群の筋電図から正常嚥下の標準値を作成する。嚥下誘発には、嚥下障害者の誤嚥の危険性や嚥下リハビリテーションの効果判定を考慮し、標準値作成は、5mlバリウム水3回指示嚥下で行い、得られた波形から嚥下パターンの解析と潜時を計測。生体電気信号記録用のPowerLabシステムを使用。具体的にはVF所見から舌骨運動を、嚥下開始時の安静位から後上方へ移動(S1)、これに続く前上方への急速な移動(S2)、安静位へ戻る移動(S3)と3相に区分し、各相の時間を測定した。ピエゾセンサー波形では、波出現から第1陰性波終了まで(S1P)、そこから最終陽性波開始まで(S2P)、そこから波が基線に戻るまで(S3P)の3相に区分し、その潜時を測定した。

### 嚥下機能評価訓練装置の実験と改良

我々は、非侵襲的かつ簡便に嚥下機能を評価する方法として、Piezoelectric Pulse Transducer(以下PPT)を頸部に貼付して同部の動きを電気信号として出力し、咽頭期の嚥下運動を解析する方法を考案した。PPTから出力された電圧とVF画像とを同時比較して、PPTの嚥下機能評価についてその有用性を報告してきた。本開発研究では、PPTのセンサー部分がセンサー状になったピエゾセンサー(東京センサー社)を使用した。ピエゾセンサーとは柔軟性のある圧電素子の一種である。ピエゾセンサーの嚥下機能評価についても報告があり、我々は嚥下時にPPTとピエゾセンサーは近似した電圧波形が記録できることを報告した。以上の先行研究の結果から、在宅の患者自身での使用を考慮し、小型でピエゾセンサーを用いた嚥下機能評価訓練装置を試作済みであり、RSSTの診断精度は91.5%と報告済みである。その試作機は

頸部に貼付したピエゾセンサーの電圧値から嚥下運動を判定する装置を考案し、その回数を自動的に計測する機能も付与し、嚥下機能評価訓練装置である。本研究では、試作機の精度に影響を与える因子として、頸部皮膚から甲状軟骨までの距離（厚さ）と肥満度について検討した。被験者は、顎口腔機能に異常を認めず、嚥下困難感がなく、正常嚥下が可能な健康成人 21 名（男性 9 名、女性 12 名、平均年齢 57.1 歳）を対象とし、試作機を使用して RSST を行い、試作機で計測された嚥下回数を被験者の嚥下運動に対する自覚回数で除して検出率とした。肥満度には BMI、頸部皮膚からの厚さは超音波エコーを用いて計測した。

## (2) インターネット環境による遠隔医療の基礎的研究

歯科領域での遠隔医療支援システムとして IPTV 電話の応用に関する基礎的研究を行った。遠隔医療システムの基礎的研究は顎関節症患者を対象にしたシステムから開発を試みた。

### 遠隔診断支援の予備実証実験

新潟大学医学総合病院顎関節治療部を受診し、顎関節症状が改善した顎関節症患者 2 名（a 型）を対象とした。本研究の目的は、この問題に対応するためにモバイルネットワークを介した簡便な遠隔医療システムを構築し、臨床応用が可能か、実証実験を行うことである。IPTV 電話を用いた遠隔診断支援の実証実験を行なった。IPTV 電話として Skype を用いた。Skype は無料の IP 電話ソフトでサーバーを利用しない peer to peer 型通信である。IPTV 電話を介してテレメンタリング、関節雑音と開閉口運動の確認、および記録が可能であるか実証実験を行なった。

### ピエゾセンサーを用いた遠隔医療実験

試作機を電池駆動可能にして携帯可能な装置にして、さらに試作機が判定した被験者の嚥下情報を ICT の応用としてインターネット経由で主治医側の PC に転送できる遠隔嚥下評価訓練システムを構築し、実証実験を計画した。

## 4. 研究成果

(1) ピエゾセンサーによる嚥下生理機能の分析と診断基準の作成と試作機の試作・実験  
ピエゾセンサーによる嚥下生理機能の分析と診断基準の作成

VF から計測された S1-S3 時間、ピエゾセンサーから計測された S1P-S3P 時間ともに同一被検者内の高い再現性が確認された。VF からの所見とピエゾセンサーからの所見を比較した結果、S1 と S1P 時間、S2 と S2P 時間の間には有意な正の相関を認めしたが、S3 と S3P 間については有意な相関は認められなかつ

た。嚥下運動に重要と考えられる S1, S2 時間については、ピエゾセンサーによる予測値によって推察できる可能性が示唆された。同法を用いた嚥下機能評価は非侵襲的にベッドサイドで行える嚥下機能評価法として応用できる可能性が見出された。

### 嚥下機能評価訓練装置の実験と改良

ピエゾセンサーから出力される電圧値によって嚥下運動を診断する嚥下機能評価訓練装置を試作し、特許出願した。この嚥下機能評価訓練装置を用いた RSST での嚥下運動の検出率は、平均 89.4%であった。RSST における試作機での検出率 100%の被験者（14 名）では頸部皮膚からの厚さ 3.5mm、BMI 21.1 であった。検出率 100%未満の被験者（7 名）では厚さ 4.9mm、BMI 25.3 であり、両因子ともに両群間に 5%以下の危険率で有意差が認められた。頸部の肥満傾向が強くなると、皮膚上から舌骨の動きをセンサーが感知しにくくなり、検出率が低下することが推測された。嚥下検出率は、平均 89.4%であったが、これは、powerlab にて確認してセンサーからの入力信号に対して試作機の判定嚥下閾値が高すぎる場合もあった。以上の実験結果から、嚥下閾値を微調整できるように改造するために、ピエゾセンサーからの入力信号のボリュームの追加により、内部信号の倍率調整ができるようにした。

## (2) インターネット環境による遠隔医療の基礎的研究

### 遠隔診断支援の予備実証実験

モバイルネットワークを介して行った遠隔医療において、顎関節雑音用マイクにて録音した顎関節雑音のクリック音は確認可能であり、IPTV 電話を用いた顎関節症患者に対する遠隔診断支援の実証実験では、テレメンタリングは可能であった。関節雑音について遠隔診断および波形分析は可能であった。IPTV 電話動画の録画画面については通話時の画面と比較すると画質の劣化はみられるが、およそその開口量を判断することは可能であった。以上より、本研究で開発した遠隔診断法による動画、音声および関節雑音の記録レベルは、臨床応用可能であると考えられる。顎関節症の主症状である疼痛、関節雑音、開口障害について、疼痛の問診を加えれば、いずれも IPTV 電話を通して遠隔診断は可能であった。このシステムは顎関節症診察に対しては実用レベルにあると考えられる。本研究で開発したモバイルネットワークを介した遠隔歯科医療システムは、臨床応用可能であると考えられる。

この遠隔診断支援システムをベースにして嚥下検査に応用することは可能であった。具体的には、ピエゾセンサーと Web カメラを用いて、低コストの在宅患者嚥下機能スクリーニング診断システムの実証実験を行った。

Piezosenサーを用いた遠隔医療実験  
 Piezosenサーのデータを ICT の応用と  
 してインターネット経由で主治医側の PC に  
 転送できる遠隔嚥下評価訓練システムを構  
 築し、実証実験を行い、開発したシステム  
 全体として運用可能であることを確認した。

<引用文献>

Toyosato A., Nomura S., Igarashi A.,  
 Ii N., Nomura A.

A Relation between the Piezoelectric  
 Pulse Transducer Waveforms and Food  
 Bolus Passage during Pharyngeal Phase  
 of Swallow

Prosthodontic Research & Practice. 6  
 (4):272-275, 2007

ネットワークを活用した顎関節症患者遠  
 隔診断支援システム構築のための予備的  
 調査 櫻井直樹, 河野正司, 小林 博,  
 鈴木一郎, 八木 稔, 宮崎秀夫, 野村修  
 一, 林 孝文, 山田一尋, 星名秀行, 高  
 木律男, 寺田員人, 荒井良明, 本間 濟,  
 新潟歯学会雑誌, 35(1):29-39, 2005

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 5 件)

Kon H, Kobayashi H, Sakurai N, Watanabe  
 K, Yamaga Y, Ono T.

Personal computer versus personal  
 computer/mobile device combination users'  
 preclinical laboratory e-learning  
 activity.

J Investig Clin Dent. 2016 Nov 15.

doi: 10.1111/jicd.12248.

(査読有り)

Sato N, Ono T, Kon H, Sakurai N, Kohno  
 S, Yoshihara A, Miyazaki H.

Ten-year longitudinal study on the state  
 of dentition and subjective masticatory  
 ability in community-dwelling elderly  
 people.

J Prosthodont Res. 2016 Jul;60(3):177-84.

doi: 10.1016/j.jpjor.2015.12.008. Epub

2016 Jan 16.

(査読有り)

Sogawa Y, Kimura S, Harigai T, Sakurai  
 N, Toyosato A, Nishikawa T, Inoue M,  
 Murasawa A, Endo N. New Swallowing  
 Evaluation Using Piezoelectricity in  
 Normal Individuals.

Dysphagia. 2015 Dec;30(6):759-67. doi:

10.1007/s00455-015-9654-x. Epub 2015 Oct  
 20.

(査読有り)

昆 はるか, 佐藤直子, 櫻井直樹, 金城  
 篤史, 山田一穂, 小林 博, 金田 恒, 野村  
 修一 複数評価者による全部床義歯後縁外  
 形評価の一致性. 日本補綴歯科学会誌 7 巻 2  
 号 Page154-160, 2015.04

(査読有り)

Yamashita-Mikami E, Tanaka M, Sakurai N,  
 Yamada K, Ohshima H, Nomura S, Ejiri S:  
 Microstructural observation with  
 microCT and histological analysis of  
 human alveolar bone biopsy from a  
 planned implant site: A case report.  
 Open Dent J, 17(7):47-54, 2013

[https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/art  
 icles/PMC3680989/](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3680989/)

(査読有り)

[学会発表](計 12 件)

曾川裕一郎, 木村慎二, 張替 徹, 豊里 晃,  
 櫻井直樹, 井上 誠

嚥下時 Piezosenサー波形と食塊移動  
 との時間的関連

第 22 回日本摂食嚥下リハビリテーシ  
 ョン学会, 2016 年 9 月 23-24 日

朱鷺メッセ(新潟県・新潟市)

田中みか子, 三上絵美, 櫻井直樹, 芳澤  
 享子, 荒井良明, 山田一穂, 江尻貞一,  
 小野高裕: ヒト抜歯後歯槽堤における骨  
 改造現象と骨代謝活性の抜歯後期間によ  
 る違い - 骨形態計測学的・組織学的解  
 析 - 第 43 回日本口腔インプラント学会,  
 2016 年 9 月 16-18 日, 日本口腔インプ  
 ラント学会誌 第 29 巻 特別号  
 P60, 2016 名古屋国際会議場(愛知県・  
 名古屋市)

菊地さつき, 小野高裕, 金田 恒,  
 Simonne Salazar, 堀 一浩, 田中みか子,  
 五十嵐直子, 昆はるか, 櫻井直樹, 藤原  
 茂弘, 三上絵美, 山鹿義郎, 大川純平, 設  
 楽仁子: 有床義歯臨床における客観的な  
 咀嚼能力評価の展開(1) システムの概要.  
 日本補綴歯科学会関東支部 平成 27 年度  
 学術大会, 2016 年 1 月 16 日 ホテルメ  
 トロポリタン高崎 (群馬県・高崎市)

櫻井直樹, 木村慎二, 昆はるか, 堀 一浩,  
 小野高裕: Piezosenサーを応用した嚥  
 下機能評価訓練装置の精度に対する肥満  
 度の影響に関する研究. 第 21 回摂食嚥下  
 リハビリテーション学会, 2015 年 9 月  
 11 日. 国立京都国際会館(京都府・京  
 都市)

三上絵美, 田中みか子, 櫻井直樹, 芳澤  
 享子, 荒井良明, 山田一穂, 江尻貞一,

小野高裕: 抜歯窩歯槽骨の骨梁構造および骨塩量と抜歯後経過期間との関係. 日本補綴歯科学会第 124 回学術大会, 2015 年 5 月 29-31 日. 大宮ソニックシティ (埼玉県・さいたま市)

池 真樹子, 田中 礼, 西山秀昌, 櫻井直樹, 小島 拓, 林 孝文: 歯根破折の診断に歯科用 CT が有効であった一例 日本歯科放射線学会・第 219 回関東地方会・第 34 回北日本地方会・第 22 回合同地方会 2014 年 7 月 12 日 抄録集 P6, 2014 松本歯科大学 (長野県・塩尻市)

櫻井直樹, 昆はるか, 野村修一, 小林 博, 田中みか子, 佐藤直子, 山鹿義郎, 小飯塚仁美 ピエゾセンサーを応用した嚙下機能評価訓練装置の測定精度に影響する因子に関する研究 日本補綴歯科学会第 123 回学術大会, 2014 年 5 月 24-25 日 プログラム・抄録集 P274, 2014 仙台国際センター (宮城県・仙台市)

櫻井直樹, 昆はるか モバイルネットワークを介した遠隔歯科医療システムの開発 第 27 回 一般社団法人 日本顎関節学会総会・学術大会 2013 年 7 月 19-20 日 日顎誌 26 巻 Suppl. P100, 2013. 九州大学医学部百年講堂 (福岡県・福岡市)

櫻井直樹, 木村慎二, 曾川裕一郎, 張替徹, 昆はるか ピエゾセンサーを用いた嚙下機能評価システムの開発 第 19 回日本摂食・嚙下リハビリテーション学会学術大会, 2013 年 9 月 22 日, プログラム・抄録集 P230, 2013. 川崎医療福祉大学 (岡山県・倉敷市)

河村篤志, 高嶋真樹子, 白井友恵, 荒井良明, 奥村暢旦, 安島久雄, 櫻井直樹, 小野由紀子, 西山秀昌, 高木律男 RDC/TMD 分類と病態分類の併用と比較検討について 第 26 回 一般社団法人 日本顎関節学会総会・学術大会 2013 年 7 月 20-21 日 日顎誌 25 巻 Suppl. P101, 2013 学術総合センター一橋記念講堂 (東京都・千代田区)

三上絵美, 田中みか子, 櫻井直樹, 吉澤享子, 山田一穂, 船山昭典, 三上俊彦, 野村修一, 江尻貞一 ヒト抜歯窩治癒家庭における歯槽骨の骨梁構造・骨塩量の変化 日本骨計測学会第 23 回学術大会 2013 年 7 月 5 日 プログラム・抄録集: P593, 2013 浜松アクトシティコンgresセンター (静岡県・浜松市)

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

取得状況 (計 0 件)

〔その他〕  
ホームページ等

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

櫻井 直樹 (SAKARAI NAOKI)  
新潟大学・医歯学総合研究科・  
非常勤講師  
研究者番号: 50251830

### (2) 研究分担者

野村 修一 (NOMURA SHUICHI)  
新潟大学・医歯学系・教授  
研究者番号: 40018859  
(平成 26 年度より連携研究者)

堀 潤一 (HORI JYUNICHI)  
新潟大学・自然科学系・教授  
研究者番号: 80209262

小林 博 (KOBAYASHI HIROSHI)  
日本歯科大学・新潟生命歯学部・  
非常勤講師  
研究者番号: 00225533  
(平成 27 年度より連携研究者)

木村 慎二 (KIMURA SHINJI)  
新潟大学・医歯学総合病院・准教授  
研究者番号: 40361901

昆 はるか (KON HARUKA)  
新潟大学・医歯学総合病院・助教  
研究者番号: 40447636

### (3) 研究協力者

豊里 晃 (TOYOSATO AKIRA)