

平成 30 年 6 月 11 日現在

機関番号：25406

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2017

課題番号：26462618

研究課題名(和文) 耳内嚥下音および頸部光ファイバーセンサによる非侵襲嚥下解析システムの有用性の検討

研究課題名(英文) Usefulness of detective systems for swallowing movement using intra-aural swallowing sounds and optical fiber sensors

研究代表者

土師 知行 (HAJI, Tomoyuki)

県立広島大学・保健福祉学部(三原キャンパス)・教授

研究者番号：20145147

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では耳内嚥下音の解析と光ファイバーセンサーによる頸部での喉頭挙上運動の検出の2つで嚥下モニタリングシステムを作り、その有用性を検討した。耳内嚥下音に特徴的なクリック音は嚥下時の耳管開大に関連しており、嚥下反射の時間的指標として極めて重要なことが示された。これを用いて反覆唾液嚥下での嚥下間隔を測定し、加齢による嚥下機能の低下を鋭敏に検出できることを示した。また光ファイバーセンサーの技術的改良と耳内嚥下音との同時記録により、成人例での嚥下の際の喉頭挙上運動の同定が可能になり特許出願に至った。

研究成果の概要(英文)：We designed detective systems for swallowing movement using intra-aural swallowing sounds and optical fiber sensors and evaluated their usefulness in this study. We found that characteristic click-like sounds in intra-aural swallowing sounds were related to the Eustachian tube's quick open-close movements. Using this sound as the indicator, timing of repetitive saliva swallowing was precisely measured in healthy volunteers. It was found that aging caused a deterioration in the swallowing ability even without any subjective complaints, which could be better detected with the intra-aural swallowing sounds than with a conventional test such as repetitive saliva swallowing test. Utilizing micro-bending loss of the optical fibers, we designed a detective system for laryngeal movements during swallowing by placing the optical fiber on the neck. This system was found sensitive enough to detect swallowing movement especially with simultaneous recordings of intra-aural swallowing sounds.

研究分野：耳鼻咽喉科学，音声言語医学，嚥下医学

キーワード：耳内嚥下音 嚥下障害 光ファイバー F-SASセンサー 耳管開大 喉頭挙上運動

1. 研究開始当初の背景

わが国はすでに超高齢社会に突入しており、加齢による嚥下障害やそれに伴う誤嚥性肺炎は、単に医療問題を越えて大きな社会問題となっている。このような状況で嚥下障害の早期診断が必要となるが、嚥下動態を客観的かつ時系列で正確に把握する手段としては嚥下内視鏡検査かX線造影検査に拠らざるを得ないのが現状である。これらはいずれも特別な施設や高価な機器が必要で、放射線被曝や内視鏡挿入という侵襲も加わる。またこれらの方法では検査の施行や診断にも医師などの専門職を必要とするため、嚥下障害患者が多い長期療養施設などでの検査が困難である。一方、嚥下障害のスクリーニング検査として反復唾液嚥下テスト (RSST) や水飲みテストなどがあるが、嚥下を行ったことを正確に示せないことや嚥下を行ったことは把握できても軽度の嚥下障害や不顕性誤嚥を検出できないなど客観性や信頼性に問題がある。このようなことから被検者に不要な苦痛や危険を与えず、簡便でかつ客観的な嚥下検査法を確立すれば、日常臨床にもきわめて有益である。

2. 研究の目的

本研究では被験者への侵襲がなく、機器や設備に必要な経費が少なく、しかも客観的でしかも時間軸に対して詳細な嚥下動態の評価が可能な嚥下運動の検出システムを考案、作成し、その臨床的な有用性を検討することを目的とした。具体的には耳内から記録した嚥下音 (以下、耳内嚥下音) を指標にした嚥下検知システムとマイクロベンディングロス特性を利用して光ファイバーをひずみセンサーとして使い、嚥下の際の喉頭の前上方への挙上運動を検知するシステムとを作成し、その有用性について検討した。

3. 研究の方法

耳内嚥下音については、先行研究から特徴的な短くて高周波成分に富むクリック音が嚥下の際の耳管開大に関連した音であることが示唆されている。

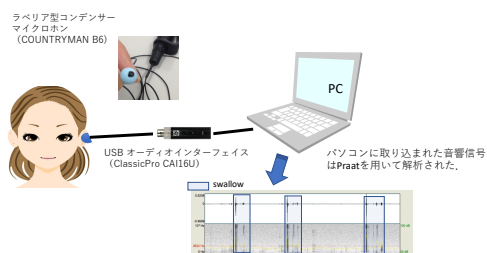


図1 耳内嚥下音の記録

本研究ではまずそのクリック音が耳管開大に関連したものであることをさらに証明するために、嚥下造影検査との同時記録、耳内嚥下音と従来からの頸部嚥下音との比較、さらに耳管開大を直接的に検知できる phototubometry との同時記録を行い、解析した。嚥下音の解析、とくにクリック音の同定

や詳細な時間的測定は音響分析用フリーソフトウエアの Praat を使い、サウンドスペクトログラムによる分析を使用した。

またその結果を踏まえて、健常成人 12 名で蒸留水、10%レモン水および 30%レモン水 10ml を飲取後に反復唾液嚥下を行ってもらい、クリック音を指標として嚥下時間や嚥下間隔の時間軸での詳細な測定を行い、唾液分泌刺激が反復唾液嚥下にどのように影響するかを調べた。次に各年齢層にわたる、自覚的にも他覚的にも嚥下障害のない健常者 117 名で反復唾液嚥下を 7 回施行し、同じくクリック音を指標として嚥下時間や嚥下間隔の時間軸での詳細な測定を行い、若年群、中年群、高齢群の間に変化が見られるかどうかを検討した。

マイクロベンディングロスを利用した光ファイバーセンサー (F-SAS センサー) の医学分野での応用は、すでに睡眠時無呼吸の検出で実用化されている。本研究ではこれに応用し、前頸部を覆うように光ファイバーセンサーを密着させ、嚥下時の喉頭挙上運動を検知するシステムをデザインした。光ファイバーの材質、配置方法、頸部への装着方法およびセンサーからの信号の増幅法や記録法について改良を加えた。本システムではとくに喉頭隆起が明確でなく、皮下脂肪の多い女性で喉頭運動を捉えることが難しいと考えられるため、健常成人女性での喉頭運動の記録が十分に行えるかどうかについて検討した。また、光ファイバーセンサーシステムに耳内嚥下音を同時記録した場合の効果についても検討した。

4. 研究成果

耳内嚥下音、とくに咽頭期嚥下 (嚥下反射期) の早期に見られる特徴的なクリック音は、軟口蓋が挙上し、鼻咽腔が閉鎖したタイミングで生じること、喉頭挙上や食塊の穏当通過よりも早いタイミングで生じること、立ち上がり方が鋭く、高周波成分を多く含むこと、頸部からは記録できないこと、および phototubometry による耳管開大での光量の増大とほぼ同時に生じることから、このクリック音は嚥下時の耳管開大に関連して生じる音であることが確認された。さらにこのことから、耳内嚥下音、とくにこのクリック音は嚥下反射が起こったという客観的指標になるとともに咽頭期嚥下のシークエンスにおける定点の時間的指標として重要な意義があることがわかった。また、このクリック音と頸部から記録された嚥下音との時間差が口腔期から咽頭期にかけての嚥下動態を反映することが示唆された。

この結果を踏まえて、耳内嚥下音を指標にしてレモン水による唾液分泌刺激が反復唾液嚥下にどのように影響するかについて検討した。唾液分泌刺激による唾液分泌の増加は 4 回目までの嚥下に関してはあまり影響を及ぼさなかったが、5 回目以降の嚥下間隔

時間の延長を有意に抑制することが示された。また、その効果は唾液分泌刺激の強さによっても差異があった。これらの結果から反復唾液嚥下によって嚥下機能を評価する場合は、唾液分泌能に影響されない3回目あるいは4回目までの嚥下で行うのが望ましいと考えられた。さらに、通常の反復唾液嚥下に加え、レモン水刺激による反復唾液嚥下を行うことで唾液分泌能の機能的評価や唾液分泌障害のスクリーニングが可能であることが示唆された。

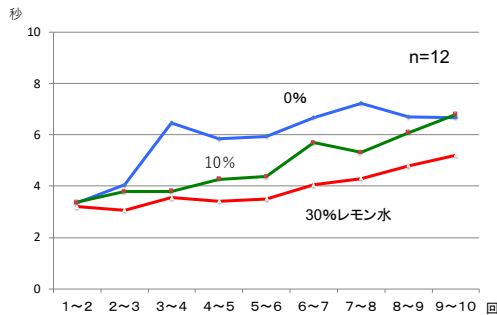


図2 唾液分泌刺激による嚥下間隔の変化 (全被検者での平均)

次に、若年・中年・高齢者、各年代の嚥下障害のない健康成人で反復唾液嚥下を行った結果、1番目と2番目、2番目と3番目の嚥下間隔 および指示から3番目の嚥下が始まるまでの時間については、いずれも年齢が高くなると時間が延長する傾向がみられ、若年群と中年群、若年群と高齢群間に有意差がみられた(p<0.01)。これらは従来のRSSTでは検知できない差異であり、嚥下の詳細な時間的解析が嚥下障害のスクリーニング能力を高める可能性が示された。

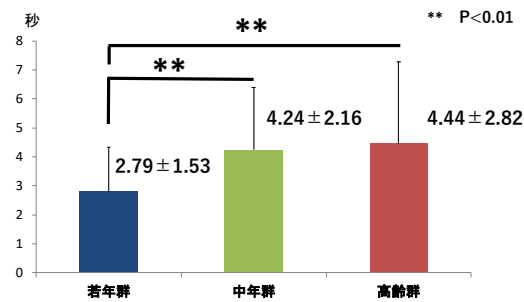


図3 1-2回目嚥下間隔(S1-2)

光ファイバーセンサー (F-SAS センサー) を使用した嚥下運動検知システムの構成を図4に示す。

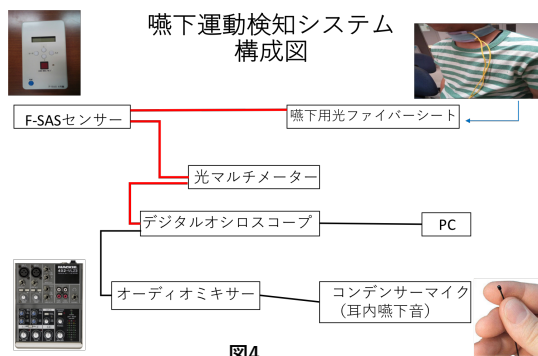


図4

光ファイバーセンサーと耳内嚥下音を同時記録する本システムでは嚥下による喉頭運動とそれ以外で生じる喉頭運動とをほとんどの被検者で明確に区別できたが、女性の一部では嚥下による喉頭運動の検知感度にやや問題があり、今後の改善点と考えられた。

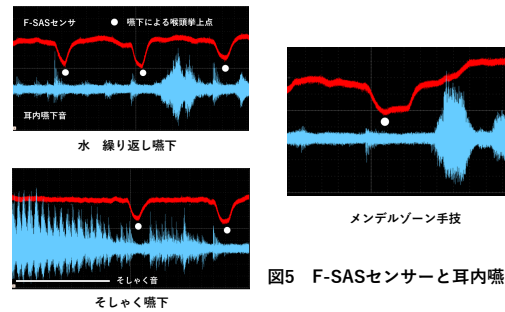


図5 F-SASセンサーと耳内嚥下音

この研究成果に基づき、現在特許申請中である。

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4件)

①土師知行、松橋賀奈子、新しい耳管開大検知システム (phototubometry) の開発とその有用性、耳鼻臨床、査読あり、Vol. 110、No. 12、2017、pp. 857-863

②土師知行、濃縮果汁還元レモン水による唾液分泌刺激が反復唾液嚥下に及ぼす影響—耳内嚥下音を指標とした検討—、音声言語医学、査読あり、Vol. 58、No. 2、2017、pp. 135-142

③土師知行、相沢梨奈、反復唾液嚥下での嚥下時間および間隔の加齢による影響について—耳内嚥下音による解析—、嚥下医学、査読あり、Vol. 6、No. 1、2017、pp. 92-99

④土師知行、岩永健、千代田朋子、大野恒久、耳内より記録した嚥下音について—健康者による予備的研究—、日本気管食道科学会会報、査読あり、Vol. 66、No. 1、2015、pp. 136-139

[学会発表] (計9件)

①三田地成幸、雲藤有貴、佐野貴弘、惟村拓郎、土師知行、F-SAS センサの嚥下障害測定への適応、電子情報通信学会研究会 (弘前市)、2017

②惟村拓郎、三田地成幸、土師知行、実用化に向けた嚥下障害測定装置の女性に対する計測、2017年電子情報通信学会総合大会 (名古屋市)、2017

③土師知行、尾崎洋美、耳内嚥下音による反復唾液嚥下検査の信頼性と反復唾液嚥下の日差変動について、第40回日本嚥下医学会 (東京都)、2017

④Tomoyuki Haji、Saki Hayashi、Clinical Usefulness of the Swallowing Sounds Recorded through the Ear、30th World Congress of the International Association of Logopedics and Phoniatrics (Dublin、Ireland)、2016

(3)連携研究者 なし

(4)研究協力者 なし

⑤佐野貴弘、三田地成幸、土師知行、F-SAS センサの女性に対する嚥下障害測定、2016年電子情報通信学会総合大会(福岡市)、2016

⑥土師知行、相沢梨奈、反復唾液嚥下での嚥下間隔について一耳内嚥下音による解析、第39回日本嚥下医学会(大阪市)、2016

⑦土師知行、細貝智樹、唾液分泌刺激が反復唾液嚥下に及ぼす影響、第60回日本音声言語医学会(名古屋市)、2015

⑧雲藤有貴、三田地成幸、土師知行、F-SAS センサの嚥下障害測定への適用検討、2015年電子情報通信学会総合大会(草津市)、2015

⑨土師知行、林沙季、中尾雄太、矢守麻奈、城本修、耳内より記録した嚥下音について一嚥下運動の指標としての有用性の検討、第59回日本音声言語医学会(福岡市)、2014

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計1件)

名称：嚥下運動モニタリングセンサ
発明者：桑一弘、細谷俊史、三田地成幸、土師知行
権利者：同上
種類：特許
番号：特願2015-163516
出願年月日：2017年2月23日
国内外の別：国内および国外

○取得状況 (計0件)

[その他]
なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

土師 知行 (HAJI、Tomoyuki)
県立広島大学・保健福祉学部コミュニケーション障害学科・教授
研究者番号：20145147

(2) 研究分担者

三田地 成幸 (MITACHI、Seiko)
東京工科大学・コンピュータサイエンス学部・教授
研究者番号：40339768