

令和 元 年 6 月 6 日現在

機関番号：32404

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K20502

研究課題名（和文）口腔内圧測定を用いた吸引・嚥下能力診断システムの確立 - 安全な摂食嚥下を目指して -

研究課題名（英文）Establishment of the clinical swallowing diagnosis system by the intraoral pressure at the time of sucking and swallowing

研究代表者

三分一 恵里（深田恵里）（SAMBUICHI, Eri）

明海大学・保健医療学部・講師

研究者番号：10758238

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,000,000 円

研究成果の概要（和文）：工業用気圧センサを応用して作製した口腔内圧測定装置（装置）を用いて、最大吸引力、嚥下時口腔内圧の測定を行い、測定の方法や口腔機能との関連について検討した。また、あらゆる環境において簡便に測定を行うために、装置に替わる小型で安価な測定装置の試作も並行して行った。口腔内圧測定装置（装置）は、吸引・嚥下時の圧力変化の測定において概ね良好な再現性を示した。プローブの交換も容易であることから、多人数の測定にも有用であると考えられる。また、気圧センサ、アンプを小型デバイスに置き換え、PCをマイコン、ディスプレイ、SDカードに置き換えることで小型化、低価格化した装置を試作することができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまでに、吸引・嚥下時に口腔内に圧力変化が生じることは明らかとなっているが、その圧力変化を詳細に検討し、臨床的な評価方法として応用している研究は少ない。本研究で試作した口腔内圧測定装置は、プローブとしてポリウレタンチューブを用いることで小児から高齢者まで誰でも簡易に、安全に測定を行うことが可能である。また、センサーの取り換えや滅菌、消毒を行う必要がなく、衛生的であるという利点もある。本試作装置を用いることで多人数のデータを収集することが可能となり、吸引・嚥下時の口腔内圧力変化について、新たな知見が得られると考えられる。

研究成果の概要（英文）：I made an intraoral pressure measuring equipment using an industrial pressure sensor, and used it to measure the maximum suction force and the intraoral pressure of swallowing. Then I examined the measurement method, the relation between the oral function and the intraoral pressure. In addition, I tried to make a compact and inexpensive measuring equipment to make it easier to measure it.

The intraoral pressure measuring equipment which produced experimentally showed almost good reproducibility in the measurement of pressure at the time of suction and swallowing. Because I can easily exchange probes, it is also useful for multi-person measurement. Also, I was able to make a more compact, cheap equipment.

研究分野：口腔発達機能学、口腔保健学

キーワード：口腔内圧力測定 最大吸引力 口腔機能 摂食嚥下

1．研究開始当初の背景

近年、我が国では超高齢社会を迎え、加齢に伴う咀嚼・嚥下機能の低下による誤嚥を主訴とする患者が増加してきている。さらに嚥下機能の低下は高齢者の誤嚥性肺炎の要因としても指摘されている¹⁾。摂食嚥下は生命維持に直結する重要な機能であり、障害を有する患者の症例においては、その障害の部位や程度を客観的に判断し、病態を正確に把握することが求められる。また、飲食物の取り込みにおける吸引動作は様々な口腔機能を用いて行うものであり²⁾、吸引（吸啜）力も摂食嚥下において重要な役割を果たしている。

吸引・嚥下時に口腔内に圧力変化が生じることは明らかとなっているが、その圧力変化を詳細に検討し、臨床的な評価方法として応用している研究は少ない。

これまでに報告されている吸引（吸啜）動作の評価方法は、乳首にセンサを埋入するものや、口腔内に圧力センサを固定する方法を用いたものが多い。乳首にセンサを埋入する方法は、幼児や成人の評価を行うにあたっては、日常生活動作に即した吸引能力の測定には不向きであり、口腔内に圧力センサを固定する方法は、被験者毎にセンサを交換する必要があるため、多人数での測定は困難である。

2．研究の目的

本研究では、ベッドサイドや在宅環境でも容易に測定できる新たな摂食嚥下機能評価方法として、吸引・嚥下時の口腔内圧変化に着目した。そこで、吸引・嚥下時に生じる口腔内の気圧変化を客観的かつ簡易に測定することを目的として、市販工業用気圧センサを用いた口腔内圧測定装置を試作し、新たな機能評価方法としての実用化を目指した。

3．研究の方法

（１）研究１ 最大吸引力の測定

試作した口腔内圧測定装置（図１）を用いて、最大吸引力の測定を行った。最大吸引力の測定は、座位をとり、被験者の任意の位置でプローブをくわえ、口唇を閉鎖した状態で「ストローで水を飲む時のように最大の力でプローブを吸引する」ように指示し、計測された陰圧を最大吸引力とした。また、加齢や口腔内状況、口腔機能との関連性を検討するために、最大舌圧、頬圧、オーラルディアドコキネシス（以下ODとする）、口唇閉鎖力、肺活量の測定を行い、併せて、残存歯数、義歯の使用の有無などの口腔内診査および問診を行った。対象は、20代の若年者女性70名（平均年齢 23.0 ± 2.8 歳）および自覚的に摂食・嚥下障害を認めない健常高齢者女性44名（平均年齢 74.3 ± 5.1 歳）、健常高齢者男性65名（平均年齢 76.6 ± 5.3 歳）とした。

（２）研究２ 嚥下時口腔内圧の測定

試作した口腔内圧測定装置を用いて、嚥下時の口腔内圧測定を行った。座位をとり、プローブとして直径1.8mm、長さ300mmのポリウレタンチューブを口腔内に挿入し、プローブ先端を口蓋正中に沿わせて前歯部から後方へと徐々に移動させながら吸引・空嚥下を行い、嚥下時に陰圧が生じた部位を測定部位とした。喉頭挙上を確認しながら、空嚥下時の口腔内圧変化を3回測定した。測定項目は、陰圧の最大値である嚥下時口腔内圧、陰圧の発生から終了までの時間を示す陰圧持続時間および陰圧波形の面積とし、同時に、陰圧発生時の前歯部から測定部位までのプローブの長さを記録した。対象は、研究１の20代女性70名と、高齢者女性44名とした。

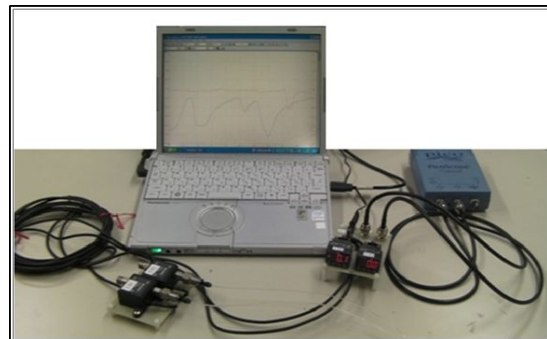


図１ 試作口腔内圧測定装置

（３）研究３ 小型装置の試作

試作した口腔内圧測定装置は、PC、センサ、デジタルオシロスコープなど構成機器が多く、ベッドサイドや在宅環境で使用するためには、装置を小型化し、簡易に測定を行えるように改良する必要があると考えられた。そこで、呉工業高等専門学校電気情報工学科と協力して、小型のマイコンモジュールと気圧センサなどを組み合わせた小型で安価な測定装置を試作し、その性能を検討した。

4．研究成果

（１）研究１ 最大吸引力の測定

最大吸引力は、若年者女性群 - 37.9 ± 13.0 kPa、高齢者女性群 - 32.2 ± 11.7 kPa、高齢者男性群 - 16.03 ± 6.4 kPa であった。若年者女性群と高齢者女性群の比較では、若年者が有意に高い値を示した（ $p < 0.01$ ）。高齢者女性群を、前期高齢者群（65～74歳）24名と後期高齢者群（75歳以上）20名に分けて比較したところ、前期高齢者群 - 32.3 ± 10.9 kPa、後期高齢者群 - 32.0 ± 12.9 kPa であり有意な差は認められなかった。最大吸引力の再現性は良好であったが、個人差が大きく、特に高齢者男性の最大吸引力の測定時には、プローブであるチューブの吸引方法

に戸惑う様子がみられ、最大の力での吸引が行えていない可能性が考えられる。

最大吸引力と口腔機能や年齢等との関連においては、女性のみ解析を行った。若年者女性および高齢者女性では関連する検査項目が異なり、若年者では体重 ($r=0.241$, $p=0.045$)、口唇閉鎖力 ($r=0.337$, $p=0.004$)、最大舌圧 ($r=0.321$, $p=0.007$)、OD の /ta/ ($r=0.260$, $p=0.030$)、/ka/ ($r=0.321$, $p=0.007$)、肺活量の基準値との差 ($r=0.514$, $p=0.000$) との間に有意な相関があった。高齢者では、OD の /ka/ ($r=0.361$, $p=0.016$) との間に相関が認められた。また、重回帰分析においては、若年者では口唇閉鎖力 ($r=0.283$, $p<0.05$)、最大舌圧 ($r=0.264$, $p<0.05$) の順に有意な正の相関が認められ、高齢者では有意な相関を認める項目はみられなかったが、最大舌圧 ($r=0.296$, $p=0.058$)、頬圧 ($r=0.283$, $p=0.062$) との間に弱い相関が認められた。以上の結果より、最大吸引力が口腔周囲筋の筋力や巧緻性に影響を受けている可能性が示唆された。また、高齢者において、義歯の有無や摂食嚥下質問紙における判定による最大吸引力の有意な差は認められなかった。

(2) 研究2 嚥下時口腔内圧の測定

対象とした若年者女性 70 名のうち 50 名、高齢者女性 44 名のうち 12 名で嚥下時に口腔内圧力変化が計測された。口腔内圧力変化が計測できたのは、若年者女性で約 70%、高齢者女性で約 30%であった。測定の精度や再現性を高めるために、計測方法や嚥下の指示の方法を検討する必要があると考えられた。

嚥下時口腔内圧が計測された若年者女性 50 名の結果を分析したところ、嚥下時口腔内圧の平均は -3.4 ± 2.3 kPa、陰圧持続時間 361.6 ± 180.8 msec、陰圧波形面積 0.6 ± 0.5 kPa であった。嚥下時の口腔内圧波形の形状は大きく 5 種類に分類され、ほぼすべての対象者が複数回の測定において同様の波形を示した (図 2)。波形毎の嚥下時口腔内圧は、C の陰圧が高い傾向にあったが、各群間に有意な差は認められなかった。陰圧持続時間は B が最も長く、A および E との間に有意な差が認められた ($p<0.05$)。

嚥下時口腔内圧と口腔機能等との関連においては、口唇閉鎖力 ($r=0.318$, $p=0.024$)、陰圧持続時間 ($r=0.405$, $p=0.003$)、陰圧波形面積 ($r=0.864$, $p=0.000$) との間に有意な正の相関が、挿入したプローブの長さ ($r=-0.42$, $p=0.002$) との間に有意な負の相関が認められた。

研究 (1) (2) の結果より、試作した口腔内圧測定装置は吸引・嚥下時の圧力変化の測定を容易に行えることから、臨床的な口腔内圧評価方法として有用である可能性が示唆された。しかしながら、測定の方法についてはさらなる検討が必要である。

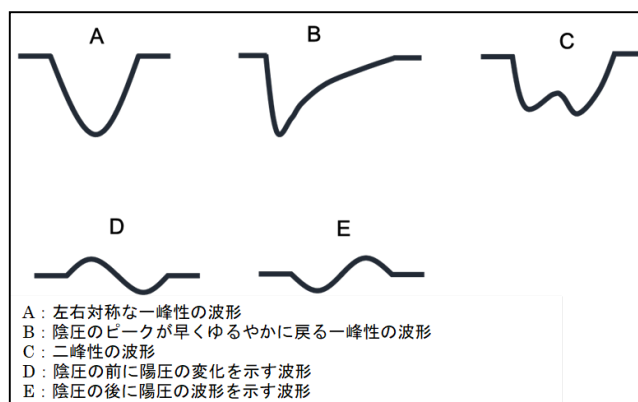


図 2 嚥下時口腔内圧波形の形状

(3) 小型装置の試作

図 3 に既存の口腔内圧測定装置と試作した小型装置のシステム概略図を示す。試作した小型装置 (図 3(b)) では、気圧センサ、アンプを小型デバイスに置き換え、パソコンをマイコン、ディスプレイ、SD カードに置き換えることで小型化と低価格化を目指した。また、既存の口腔内圧測定装置で計測した波形を根拠に、目標スペックを決定した。

第 1 回目の試作小型装置を用いて吸引時の口腔内圧力変化を測定したところ、1.8 インチディスプレイでは画面が小さすぎて波形が見えづらく、測定点が少ないため正確な波形を計測することができなかった。そのため、変数保存用メモリとして外付けメモリを増やす必要が生じた。また、アンプの可変抵抗に対するゲインの感度が高いため、固定ゲインのアンプを導入し、AD

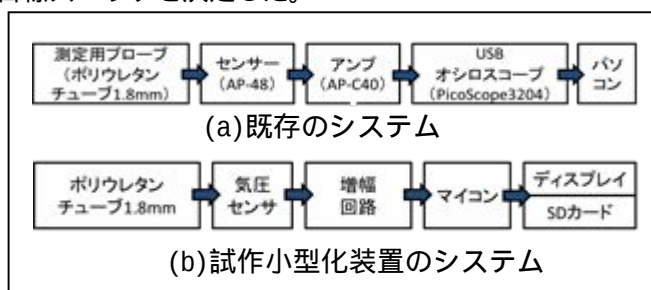


図 3 口腔内圧測定装置のシステム概略図

コンバータの高ビット化を検討する必要がある。さらにゲインの固定により 200 [Pa/LSB] の分解能が維持できなくなるおそれがあるため、AD コンバータの精度を向上させる必要がある。

第 1 回試作装置の改善点をもとに、図 4 の回路を試作した。第 1 回試作装置と同じく電源を Arduino UNO の 5 [V] 基準とし、ワンボード化するためにマイコンだけを基板に実装した。電源は AC アダプターから DC ジャックを介して得た 12V をレギュレータで 5 [V] と 3 [V] に変換して供給する。各モジュールはマイコンをマスタとし、SPI 通信でデータのやり取りを行う。PGA は SPI インターフェースで 1 倍から 128 倍のゲイン調整が可能な PGA (PGA112) を使用した。

今回の設計では1倍、2倍、4倍、8倍を使用している。ADコンバータは12[bit]のADコンバータ(MCP3204-CISL)を使用して分解能を満たした。オフセット設定にデジタルアナログ(DA)コンバータ(MCP4922)、オペアンプ(NJM2732D)を使用し、オフセット電圧をArduinoからデジタル信号で制御することができるようにした。

メモリは128[kbyte]の容量を持つSRAM(23LC1024-I/P)を外付けし、ディスプレイはSDカードスロットが付いている3.2インチのディスプレイ(M032C9341B3)を使用した。その後、基板を作成し、基板に取り付けた各部品が、設計通りに動作するかを確認した。

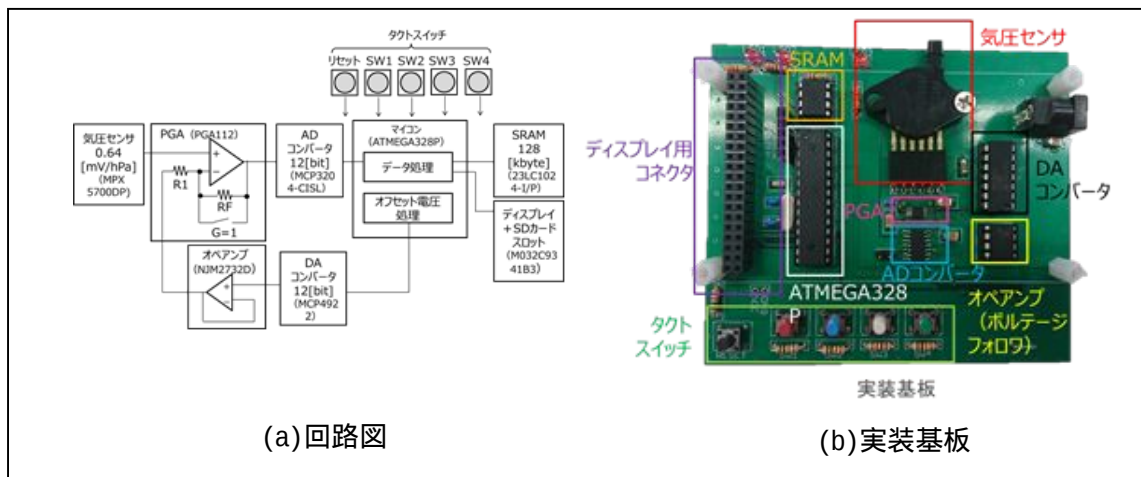


図4 第2回目試作装置

PGA 出力評価

波数 f 、振幅 V_{p-p} 、中心電圧の信号をPGAに入力し、オフセット電圧を電源装置より2.5[V]入力した時の出力振幅をオシロスコープで確認した。測定結果を図5に示す。アンプのゲインを2倍、4倍、8倍と変えたときの振幅 V_{p-p} が209.8[mV]、412.8[mV]、821.8[mV]と変化しており、誤差は多少あるものの、正しく出力されることを確認した。

PGA ノイズ評価

PGAとArduinoを接続したときのノイズ評価を行った。測定結果を図6に示す。ゲイン2倍ではノイズが-80[dBV]、信号が-2.6[dBV]であるためSFDRは12.6[bit]相当(77.4[dBV])であった。同様にゲイン4倍ではSFDRは12.5[bit]相当(77.1[dBV])、ゲイン8倍ではSFDRは12.3[bit]相当(74.2[dBV])であった。以上のことから、第1回試作装置で使用した10[bit]ADコンバータでは精度が不足しており、12[bit]ADコンバータが必要であること、DAコンバータを組み合わせることで圧力変化の測定が可能となることを確認した。

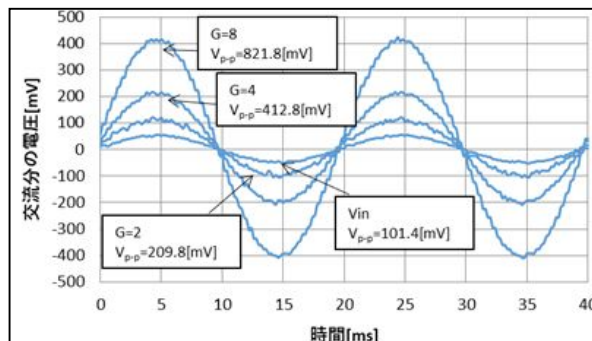


図5 PGA 出力波形

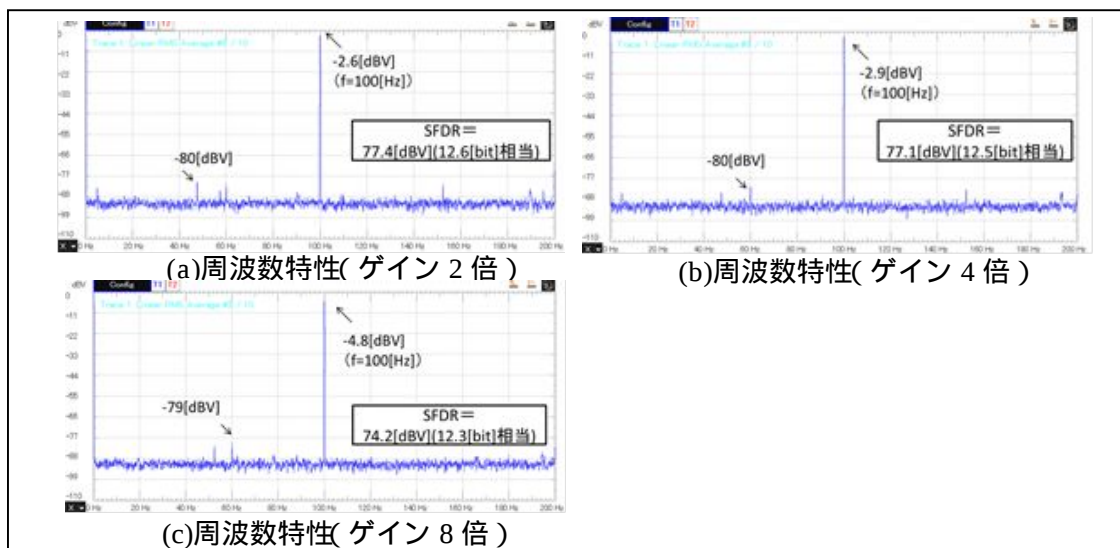


図6 周波数特性

PGA 応答特性の評価

発振器で PGA に短パルスを入力して応答特性を評価した結果、出力電圧レベルが各ゲインに対応する振幅に増幅していることを確認した。また、ゲインが 2 倍、4 倍、8 倍の際のスルー・レート（立ち上がり）は、 $1.51[V/\mu s]$ 、 $2.62[V/\mu s]$ 、 $3.62[V/\mu s]$ となり、口腔内圧測定に必要な性能を満たしていることがわかった。

以上の動作確認の結果、100 回サンプリングされた測定値がディスプレイに表示されていることを確認し、総合的に、吸引・嚥下時の口腔内圧力測定に必要な性能を満たしていると考えられた。しかし、実用化に向けてはさらなる動作確認およびスペックの向上が必要である。

<引用文献>

- 1) 桑澤実希、米山武義、佐藤裕二 他、施設における誤嚥性肺炎・気道感染症発症の関連要因の検討、Dental Medicine Research、31 巻、1 号、2011、7 - 15
- 2) 黒田敬之、吸嚥運動時の口腔内圧の研究 - 拇指吸引癖に関連して - 、口病誌、31 巻、4 号、1964、276 - 300

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 1 件)

深田 恵里、西村 瑠美、杉山 勝、天野 秀昭、口腔内圧力測定装置を用いた成人の最大吸引力の検討、広島大学歯学雑誌、49 巻、2 号、2017、87-96 (査読無)

〔学会発表〕(計 1 件)

深田 恵里、西村 瑠美、杉山 勝、天野 秀昭、嚥下時口腔内圧測定による臨床的摂食嚥下機能評価の試み、日本歯科衛生学会第 11 回学術大会 (広島) 2016

6 . 研究組織

(2)研究協力者

研究協力者氏名：天野 秀昭、杉山 勝、西村 瑠美、吉田 光由、外谷 昭洋、難波 佳那

ローマ字氏名：Hideaki Amano、Masaru Sugiyama、Rumi Nishimura、Mitsuyoshi Yosida、Akihiro Toya、Kana Namba

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。