

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 25 日現在

機関番号：34315

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2015

課題番号：26560228

研究課題名(和文) 歯の噛みしめに着目した嚥下機能の評価方法の検討

研究課題名(英文) Study of Evaluation Method of Swallowing Function Focusing on Teeth Clenching

研究代表者

牧川 方昭 (Masaaki, Makikawa)

立命館大学・理工学部・教授

研究者番号：70157163

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、下顎部咬筋隆起の動きと、喉頭隆起の上下動を曲率センサで計測する小型計測機器を開発した。また、健常者を対象に、様々な硬さの固形食塊の嚥下実験を行った。その結果、嚥下開始から気管閉鎖、下顎固定までの時間と咀嚼回数に反比例傾向を確認することができた。脳血管疾患の後遺症、加齢に伴う筋力や神経系の機能低下などの影響により、嚥下に伴う一連の流れが乱れることで、食塊が気管に流入するなどの誤嚥が生じることが示唆された。また努力嚥下によって固形の食塊を嚥下することができなかった。このため、固形の食塊の摂取は液体を摂取する場合に比べ、下顎の固定がより重要であることが明確になった。

研究成果の概要(英文)：In this study, we have developed a portable monitor for measuring the movement of the lower jaw masseter uplift and the laryngeal prominence using a curvature sensor. In the experiments, healthy individuals were asked to swallow solid food mass of varying hardness. As a result, the period between the start swallowing and the trachea closure / the lower jaw fix was proved to confirm an inverse trend in time and chewing number of times. Hence, it was suggested that the aspiration will occur due to the disturbed series of swallowing process by aftereffect of cerebral vascular disease or functional decline of muscle strength and the nervous system associated with aging. Moreover, all healthy subjects could not swallow the bolus without clenching. Therefore, ingestion of food solid mass in comparison with the case of ingesting the liquid became clear that the lower jaw fixed is more important.

研究分野：生体医工学

キーワード：嚥下 噛みしめ 摂食・嚥下障害 曲率センサ 咬筋 喉頭蓋 食道 歯列

1. 研究開始当初の背景

高齢者の死亡原因の4位である肺炎には、誤嚥性肺炎が多いと考えられており、高齢者の健康寿命の延伸のために、摂食・嚥下をモニタし、誤嚥の可能性を警告できるシステムの開発が求められている。高齢者の摂食・嚥下障害の原因は、歯の欠損による咀嚼能力の低下、舌の運動機能の低下、唾液分泌の低下、口腔感覚の鈍化、咽頭への食物の送り込みの遅延、喉頭位置の低下による嚥下の際の不十分な喉頭挙上、上部食道括約筋の機能不全など、様々である。これらの原因の内、食物を細かく調理する、水分を欠かさないなど、調理の仕方での誤嚥を防ぐことが可能であるが、咽頭・食道への食物の送りこみに関しては、そのメカニズムが明確でないこともあり、誤嚥防止方法は明確でない。

歯科の現場では、誤嚥を防ぐためには、噛みしめる歯があり、飲み込む力があることが必要であるとされている。共同研究者の田中は、健康成人においても、奥歯の噛みしめなしに嚥下することが困難であることに気付き、嚥下における高齢者の歯列の残存の重要性を示している。すなわち、嚥下時の歯の噛みしめの有無をモニタすることで、誤嚥の危険性を警告することが可能となると考えられる。

2. 研究の目的

曲率センサとμプロセッサ技術を用い、噛みしめに伴う下顎部咬筋隆起、嚥下に伴う咽頭軟骨隆起の上下動を日常生活の中でモニタしうる携帯型の嚥下機能モニタシステムを開発し、嚥下における噛みしめの役割を明らかにすることを目的とする。

本システムを用いた日常生活の中でのヒトの噛みしめ、飲み込み行動を連続計測することで、無意識下の唾の飲み込み状況など、これまで明らかにされてこなかった日常生活における噛みしめ、嚥下動作の実態が明らかになり、誤嚥メカニズムを解明する上で、有用な情報を与えてくれることが期待される。

3. 研究の方法

ヒトの摂食動作は、食物であることを認識する先行期、咀嚼と食塊形成を行う準備期、食塊を舌によって咽頭に送り込む口腔期、食塊が咽頭を通過し、食道へ送り込まれる咽頭期、食塊が食道を通過する食道期の5期に分割される。本研究では口腔期、咽頭期に着目した。舌の運動によって食塊が正常に咽頭へ送り込まれるためには下顎が頭蓋骨に固定されている必要があり、噛みしめが不可欠となる。本実験においては擬似的な誤嚥を再現するため、前歯で舌の先を噛み、下顎を不安定にした嚥下を被験者に行ってもらった。これを努力嚥下とした。

本研究では曲率センサの出力電圧をグラフィ

ックディスプレイに表示、microSD カードに保存する計測機器を開発した。Fig.1 にその構成を示す。

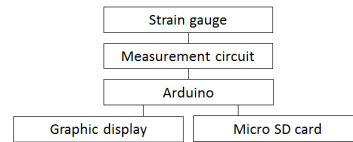


Fig. 1. Schematic of the measurement system

Fig.1に示すように、計測機器は、汎用箔ひずみゲージ、AVR マイコン、計測回路、グラフィックディスプレイ、microSD カードで構成される。ひずみゲージと計測回路で下顎と喉頭隆起の動きを計測し、AVR マイコンで出力電圧の波形をグラフィックディスプレイに表示、microSD カードに保存する。Fig.2 に計測機器の外観と寸法を示す。機器の重さは 145 g である。

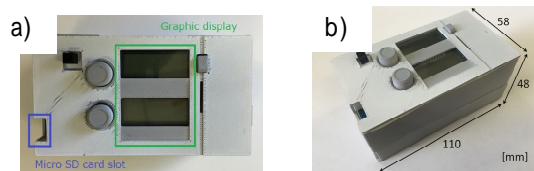


Fig. 2. The measurement system.

本研究では汎用ひずみゲージを用いた曲率センサを使用した。Fig.3 に汎用箔ひずみゲージを用いた曲率センサの外観を示す。Fig.3 が示すように曲率センサはプラスチック板 (40×4×0.2 mm) に汎用箔ひずみゲージを接着剤で固定した後にセロハンテープを貼りつけた。またこの曲率センサは曲率と出力電圧変化は線形性がある。Fig. 4 にキャリブレーション結果を示す。

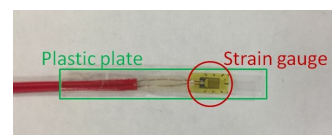


Fig. 3. Overview of the curvature sensor

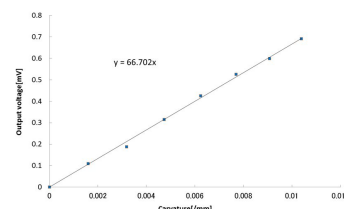


Fig. 4. Calibration results

本実験では Fig.5 のように曲率センサを 2 つ用いて喉頭隆起と下顎の動きの計測を行った。喉頭隆起の動きを計測する曲率センサは動きがもっとも大きい箇所である喉頭隆起の頂点と咬筋の筋腹付近にポリマー曲率センサを貼り付けして計測した。

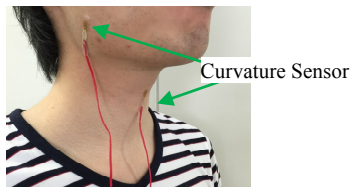


Fig. 5. Setting of sensors.

被験者は健康成人男性 12 名 (23±0.7) で行った。実験手順としては、計測時間は約 30 秒間、被験者は安静座位状態で計測開始から 5 秒後にカンパン(サンリツカンパン, 三立製菓株式会社)を咀嚼してもらった。咀嚼終了後 5 秒後に再び安静状態を保ち嚥下してもらう。試行回数は各咀嚼回数でそれぞれ 3 回である。自由咀嚼を 100%として、90, 80, 70%の回数を整数で算出、また 100%の場合のみ通常嚥下と努力嚥下を行ってもらった。努力嚥下では 2 章で示したように、舌を前歯で軽く噛んだ状態で嚥下を行ってもらった。

Fig.6 に 1 試行における実験プロセスを示す。



Fig. 6. Experimental process in one trial

4. 研究成果

1 試行における出力電圧の波形の例を Fig.7 に示す。Fig.7 における曲率センサの出力電圧の立ち上がりや、ゼロクロスのような特徴点を抽出するため、出力電圧を微分し、また単純移動平均 (n=10) による平滑化を行った。また微分結果のグラフを Fig. 8 に示す。実験中の体動による影響を考慮し、実験開始直後から 5 秒間の安静状態における出力電圧より、嚥下開始の閾値を設定する。Fig. 8 の各特徴点は A 点(嚥下開始)、B 点(喉頭隆起が最上部まで移動)、C 点(咬筋活動最大時)を示す。被験者ごとに 3 試行の各特徴点間の時間の平均値を算出した。その値から各咀嚼回数の比較を行った。また解析結果は t 検定 ($\alpha < 0.05$) を用いて有意差検定を行った。

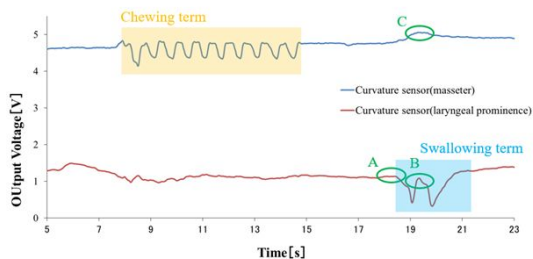


Fig. 7. Feature points of the graph

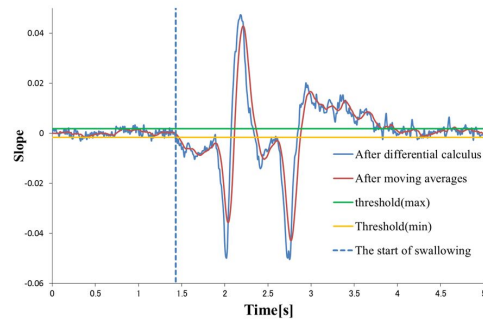


Fig. 8. Rate of sleep stage

解析結果を Fig.9 に示す。A-B 間については、咀嚼回数が少ないほうが、時間間隔が長くなった、つまり気管閉鎖までの時間が遅くなっていると考えられる。B-C 間については、咀嚼回数が少ないほうが、時間間隔が長くなった、よって嚥下開始が遅れていることがわかる。このことから、健康者であれば、嚥下しにくい状態の食塊を嚥下する際には反射的に下顎の固定を遅らせ、嚥下行動のメカニズムを調整していると考えられる。すべての被験者において努力嚥下の場合、食塊を嚥下することができなかった。

よって脳血管疾患の後遺症、加齢に伴う筋力や神経系の機能低下などの影響により、嚥下に伴う一連の流れが乱れた場合、気管閉鎖までの時間調節ができず、誤嚥が発生しやすくなると考えられる。また歯列の欠如や咬筋の筋力が衰えなどにより、嚥下時の下顎の固定が不十分な場合、咀嚼が正常に行われない場合、また咀嚼回数が少ない場合に誤嚥が発生しやすくなると考えられる。

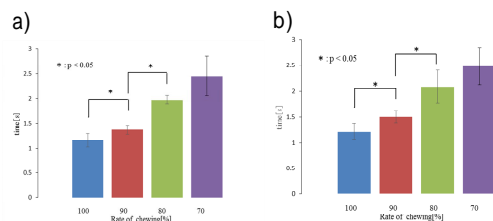


Fig. 9. Analytical results, a) A-B, b) B-C.

本研究では下顎の動きに伴う下顎部咬筋隆起の活動と、嚥下に伴う喉頭隆起の上下動を、ひずみゲージを用いた曲率センサを用いて簡易的に計測した。小型計測機器を開発し、咀嚼回数が嚥下に与える影響の解明を目的とした。健康者を対象として固形食塊の摂取してもらい、比較実験を行った。実験結果より、嚥下開始から気管閉鎖、下顎固定までの時間と咀嚼回数に反比例傾向を確認することができた。脳血管疾患の後遺症、加齢に伴う筋力や神経系の機能低下などの影響により、嚥下に伴う一連の流れが乱れることで、食塊が気管に流入するなどの誤嚥が生じると考えた。

また努力嚥下によって固形の食塊を嚥下することができなかった。このため、固形の食塊の摂取は液体を摂取する場合に比べ、下顎の固定がより重要であることが明確になった。

以上より従来の嚥下能力評価の要素に咀嚼能力の評価を追加することで、より精密な能力評価ができる可能性がある。

本研究で用いた計測機器は単純で計測環境の準備が容易であり、小型なため、臨床などの様々な場面で利用することが可能であると考えられる。

<引用文献>

安田裕貴:喉頭隆起の動きと咀嚼に着目した嚥下能力の評価方法の検討,2015年度立命館大学大学院理工学研究科修士論文,2016。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計4件)

松原忠志,坂上友介,牧川方昭:複数柔軟ポリマー曲率センサによる足部構造変化の動的計測,生体医工学,査読有,53(2),2015,63-68

松原忠志,坂上友介,牧川方昭:複数柔軟ポリマー曲率センサによる足部第1リスラン関節の動きの動的計測,生体医工学シンポジウム2014講演予稿集,無し,2014,73-73

[学会発表](計4件)

安田裕貴,坂上友介,田中昌博,向井憲夫,覺道昌樹,牧川方昭:喉頭隆起と下顎骨の固定に着目した携帯型嚥下データロガーの開発,第54回日本生体医工学会大会,2015.05-09,名古屋国際会議場

松原忠志,坂上友介,牧川方昭:複数柔軟ポリマー曲率センサによる足部第1リスラン関節の動きの動的計測,生体医工学シンポジウム2014,2014.09.26-27,東京農工大,東京

Hiroki Yasuda, Yusuke Sakaue, Masahiro Tanaka, Motomi Matsushima, Mikiya Matsuura, Katsuei Takahashi, Kazuhiko Maekawa, Masaaki Makikawa: Development of Swallowing Measurement System Focused on Prominentia Laryngea and Mandible, 第53回日本生体医工学大会,2014.06.24-26,仙台国際センター,仙台

牧川方昭:足のバイオメカニクスとその計測,日本フットケア学会第12回年次学術集会,2014.03.07-08,ホテル日航奈良,奈良

[図書](計2件)

田中昌博,牧川方昭:生体電気信号の計測での基本原理,顎口腔機能の検査・分析:基礎と実践,日本顎口腔機能学会編,2015,pp.1-6

牧川方昭:携帯型デジタル生体情報計測

装置の開発と日常生活のモニタリング技術,次世代ヘルスケア機器の新製品開発,第3章ヘルスケア用センサの高感度化と計測技術,(株)技術情報協会,2014,170-175

[その他]

ホームページ等

<http://www.ritsumeai.ac.jp/se/~makikawa/>

6. 研究組織

(1)研究代表者

牧川方昭(MAKIKAWA, Masaaki)

立命館大学・理工学部・教授

研究者番号:70157163

(2)研究分担者

田中昌博(TANAKA Masahiro)

大阪歯科大学・歯学部・教授

研究者番号:60163573