

令和 4 年 6 月 15 日現在

機関番号：15301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K12898

研究課題名(和文)嚥下機能の評価および支援システムの開発

研究課題名(英文)Development of a system for evaluation and support of swallowing function

研究代表者

村田 尚道(MURATA, Naomichi)

岡山大学・歯学部・客員研究員

研究者番号：10407546

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：【目的】申請者らは過去の研究で摂食嚥下機能を評価し、喉頭挙上を補助するシステムを開発した。本研究は、喉頭挙上を保持する部位(支持部)の改良およびシステム駆動方法について検討した。

【方法】対象は健康ボランティアである。(1)ジャミング現象を応用した支持部を作成し、対象者での動作確認を行った。(2)システム動作を嚥下動作に同期させるために嚥下音の解析を行った。

【結果】(1)改良した支持部を組み込むことで、喉頭隆起の形状に関わらずに本システムが使用できることが示唆された。(2)嚥下音をウェーブレット解析することで、嚥下動作に同期して自動的にシステム駆動できる可能性が示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で改良を加えた嚥下支援システムは、実際に臨床で行われている訓練の動作を模倣することを目的としたシステムである。本研究によって、これまで課題であった対象者の喉頭形状に左右されない支持部の改良ができた。改良したシステムを利用することで、嚥下機能の低下した高齢者や障害者に対する訓練に行い、摂食嚥下障害を改善することで健康な生活を支援することに寄与できると考えられた。また、システム動作の解析によって、嚥下開始からの喉頭挙上の測定も可能と考えられ、訓練による改善度が提示できたり、機能低下の判断によって訓練の必要性が簡便に提示ができると考えられた。

研究成果の概要(英文)：[Purpose] The applicants evaluated the swallowing function in the past research and developed a system to assist the laryngeal elevation. In this study, we investigated the improvement of the part (support part) that holds the laryngeal elevation and the system driving method.

[Method] The target is a healthy volunteer. (1) A support part to which the jamming phenomenon was applied was created, and the operation was confirmed by the subject. (2) Swallowing sound was analyzed to synchronize the system operation with the swallowing.

[Results] (1) It was suggested that this system can be used regardless of the shape of the laryngeal prominence by incorporating the improved support part. (2) By wavelet analysis of the swallowing sound, it was shown that the system can be automatically driven in synchronization with swallowing motion.

研究分野：摂食嚥下障害

キーワード：摂食嚥下機能 支援システム 嚥下訓練 メンデルソン手技 嚥下障害 嚥下評価

### 1. 研究開始当初の背景

食べる機能(摂食嚥下機能)は、日常生活を送る上で欠かせない機能の一つであり、その機能が傷害されることはQOL(Quality Of Life)に大きな影響を与える。摂食嚥下障害(以下、嚥下障害)は、様々な疾患によって生じることに加えて、加齢などが原因となるサルコペニアに伴う摂食嚥下機能の低下も知られている。そのため、様々な疾患を併発している高齢者では、低栄養や誤嚥・窒息など生命の危機となる事故を起こし得る。医療や介護の現場では、それらのリスクを回避するために、食事制限の対策が取られる場合があるがQOLの観点からみるとあまり適切ではない。また、高齢者の誤嚥性肺炎の発症割合が高く、その対応も重要である。

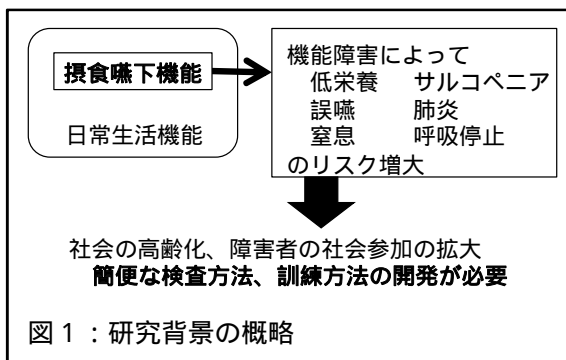


図1：研究背景の概略

また、現在の日本の人口構造では、高齢化が進行するため、嚥下障害を有する患者数は確実に増加すると予想される。一方、生産人口は減少するので医療従事者も減少することになり、医療の需要と供給のバランスが崩れてしまうことが予測される。この状況を打開する方法の一つとして、評価・訓練の自動化(ロボット化)の導入が考えられる。適切な評価・支援システムが開発され、医療従事者の補助あるいは一部を代行できれば、より少ない医療従事者の人数で十分な数の患者に対する摂食嚥下機能の評価・訓練を提供できると考えられる。(図1)

### 2. 研究の目的

嚥下障害による誤嚥や窒息のリスクを軽減するためには、摂食嚥下機能の評価と機能改善のための訓練を行うことが必要である。機能評価の方法として、一般的に機器を用いた嚥下造影検査や嚥下内視鏡検査があるが、実施するには場所や時間の制限がある。そのため、簡便な方法で嚥下機能の低下を評価し、問題がある場合は医療施設で上記の検査を受ける方法が考えられている。簡便な評価方法の一つに喉頭挙上の回数を計測する方法(反復唾液嚥下テスト)があり、その他にも、喉頭隆起の挙上距離を測定する方法なども研究されている。喉頭挙上は、嚥下時に食塊が咽頭を通過するとき、喉頭が反転して食塊の喉頭侵入を防ぐだけでなく、食塊が食道へ移送する際に食道入口部海内にも影響している(図2)。訓練方法の一つとして、物理的に喉頭を挙上させて嚥下機能を促す方法がある(メンデルソン手技)。この方法は、患者の喉頭挙上を意識させて保持する方法であるが、患者本人だけで難しい場合、補助的に医療従事者が喉頭隆起を上方へと押し上げて、喉頭挙上を保持させる方法である。

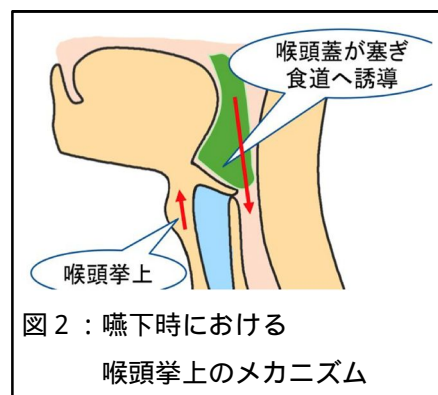


図2：嚥下時における

喉頭挙上のメカニズム

そこで、申請者らは過去の研究で摂食嚥下機能の評価し、低下を判断した上で喉頭挙上を補助するシステム(図3：以下、本システム)を開発した。本システムは、嚥下動作に伴って挙上した喉頭を支持部の先端(部)が上方へ移動し保持・支える機構を有している。本研究は、その機構に下記の改良を加え、喉頭挙上の支援を簡便にできる装置を検討した。

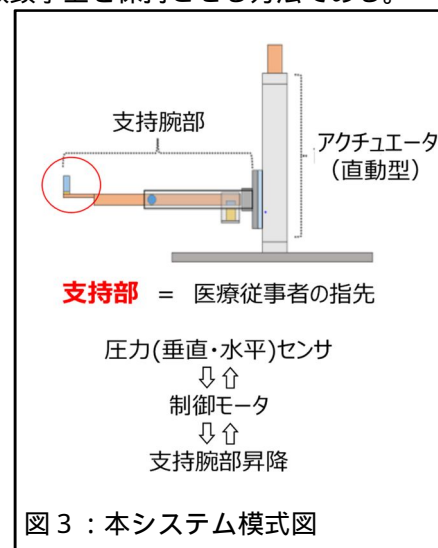


図3：本システム模式図

(1) 支持部の先端(部)が変形しないため、喉頭隆起の形状に左右されやすい。そのため、先端部を変形させるための機構を組み込むことで、喉頭隆起の形状に関わらず、本システムが利用できることを検討した。

(2) 支持腕部昇降は、モーターによって制御されている。モーターはスイッチで制御されているが、そのタイミングは使用者が操作する必要がある。本システムの使用者は高齢者または障害者を想定しているため、スイッチ操作が難しいことが想定される。そこで、システム自体が使用者の嚥下動作を検知し、自動的に動作できる方法を検討した。

### 3. 研究の方法

( 1 ) 支持部先端の改良

変形可能な支持部の作成

変形可能な支持部は、ジャミング現象を応用して複雑な形態にも対応できる剛性可変グリッパ(以下、新支持部)を作成した。新支持部の表面は天然ゴムとし、直径0.5mmの球状ビーズを充填させ、ジャミング現象を生じるためのシリンジは、60mlのサイズを用いた。平均的な男女の甲状軟骨を模した形状をした模擬甲状軟骨(図4)を6種類(表1)作成し、喉頭挙上訓練の動きを簡易的に表現した装置(以下、模擬装置)を作成した。

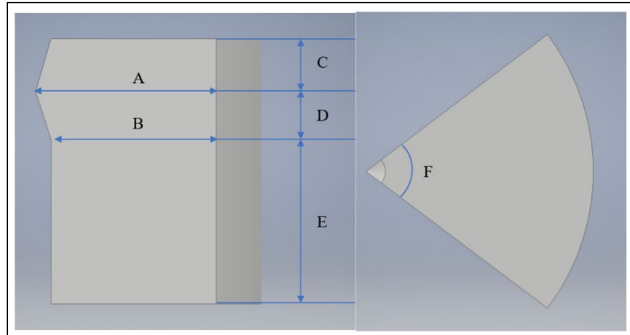


図4：模擬甲状軟骨の概形(左：側面、右：上面)

表1：模擬甲状軟骨のパラメータ

性別	サイズ	A[mm]	B[mm]	C[mm]	D[mm]	E[mm]	F[°]
男性	小	34.0	31.3	8.5	7.0	27.5	74.1
	中	40.4	37.0	11.2	8.6	29.5	
	大	44.5	42.5	13.5	11.0	31.0	
女性	小	27.3	24.6	5.0	5.5	25.5	90.0
	中	30.4	27.9	7.3	6.5	26.8	
	大	34.0	32.0	10.0	7.5	28.5	

新支持部に10Nの力がかかるようにしながら、模擬装置を挙上させた状態で5秒以上静止させた(図5)。新支持部のビーズの充填率を50・75・100%と変化させ、模擬装置の支持を5回ずつ実施して、静止できた時間を算出した。

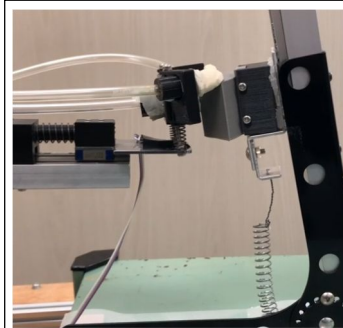


図5：模擬装置での保持の様子

改良システムの挙動

対象は、嚥下機能に問題のない成人ボランティア(男性5名、女性1名、平均年齢25歳)である。新支持部は、表面の柔軟膜に天然ゴムを使用し、内部の粉体は発表ポリエチレンビーズ、充填率は90%とした(図6)。新支持部を装着させた改良支援システムを、対象者の喉頭隆起部を可変支持部に当てた状態で真空ポンプを作動させて保持し、嚥下時に挙上した喉頭隆起を5秒間保持させた。動作の検証は、新支持部にかかる保持力および支持部の移動距離を測定し、これまでのシステム挙動時のものと比較した。



旧支持部 新支持部：ジャミング支持部

図6：支持部先端の形状

(左：旧支持部、右：新支持部)

( 2 ) 動作スイッチの検討

対象は、嚥下機能に問題のない成人ボランティア3名である。対象者の嚥下音を5回ずつ記録し、嚥下動作毎に1分間の休憩時間を設け、疲労の蓄積が生じないようにした。嚥下音の解析は、ウェーブレット解析により、嚥下開始から喉頭挙上までの時間及び下降時間(図7)を記録し、嚥下開始からシステム駆動までに必要な時間を算出した。嚥下音の聴取および解析は、咽喉マイク(SH-12jK、NANZU社)を使用して嚥下音を聴取し、MATLAB Wavelet Toolbox(Math Works社)を使用した。

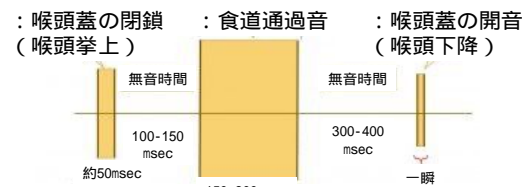


図7：嚥下音発生のタイミング



( 1 ) 支持部先端の改良

50%の充填率では男性の甲状軟骨を模した場合でも、1-2.6秒と保持時間は短かったが、75%では5.8-8秒、100%では10秒以上の保持が可能であった。女性の甲状軟骨を模した場合は、いずれも5秒以上保持が可能であった。以上の結果より、充填率が、75%以上あれば、喉頭隆起の大きさに関わらず、喉頭挙上を支持することは可能であると考えられた。

改良したシステム挙動時の計測データより、保持力の幅は9-11(N)、挙上距離約30(mm)であった。支持部挙動時の計測データを図8に示す。本結果は、これまでのデータ(旧支持部)と同様の挙動を示していた。そのため、新支持部に変更することで、喉頭隆起の形状が変化しても、これまでと同様の喉頭挙上を保持するシステム動作が可能と推察された。

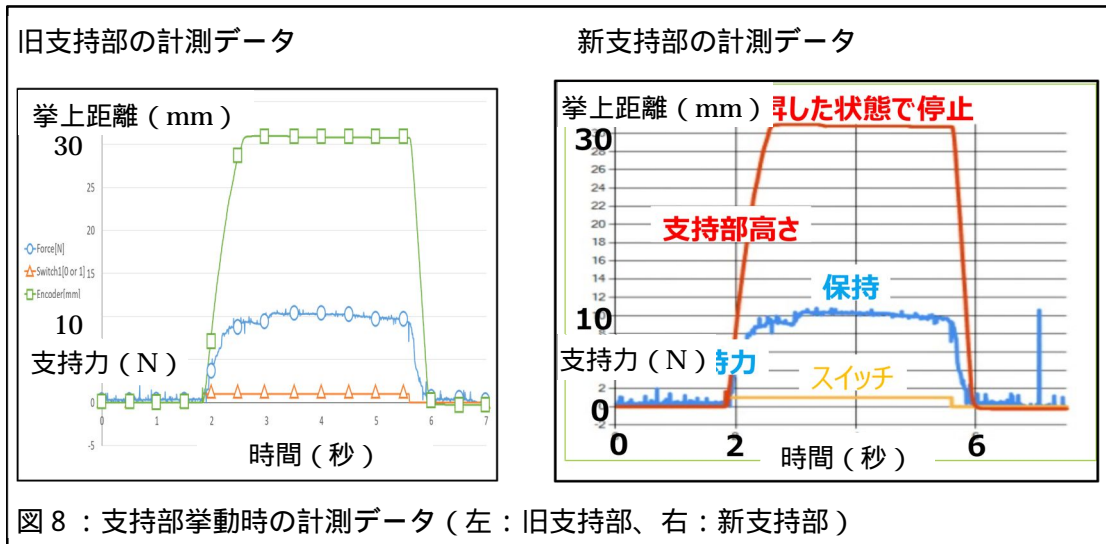


図8：支持部挙動時の計測データ(左：旧支持部、右：新支持部)

( 2 ) 動作スイッチの改良

聴取した嚙下音とそのウェーブレット解析結果例(図9)および解析結果(表2)を示す。表2のA：音発生時間は、測定開始時間0[s]から音が確認されたときの時間、B：嚙下確認時間は、嚙0[s]からウェーブレット変換で一番高いレベルが確認されたときの時間とした。A-Bは、両者を引いたものは、支持部が挙上して喉頭を保持する位置にまで移動にかかる時間として許容できる時間(以下、許容時間(A-B))とした。すなわち、A-Bはウェーブレット変換によって嚙下が行われていると判断ができてから喉頭下降が起こるまでの時間と考えられる。

ウェーブレット解析の結果、3名の対象者の平均は、A：1.22±0.21[s]およびB：0.79±0.15[s]であった。よって、許容時間は、0.42±0.17[s]と算出された。

システムの支持部が挙上する時間は、(1)の結果より、約0.4[s]必要であった。そのため、嚙下音を用いた喉頭挙上のタイミングを図ることにより、システムを自動的に駆動させることは可能と推察された。ただし、嚙下音のタイミングには個人差があり、嚙下自体が短い場合には困難となることが考えられた。

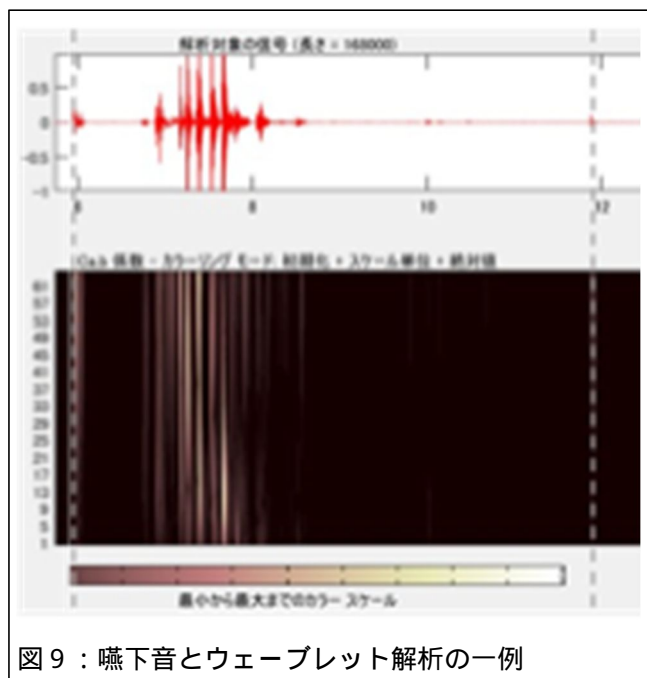


図9：嚙下音とウェーブレット解析の一例

表2：嚥下音（音）の発生時間(A)および嚥下開始時間（B）、許容時間(A-B)

対象者	A：音発生時間[s] 平均値（範囲）	B：嚥下確認時間[s] 平均値（範囲）	許容時間（A-B）[s] 平均値（範囲）
a	1.15(0.95-1.32)	0.72(0.53-0.93)	0.43(0.39-0.49)
b	1.4(1.11-1.57)	0.83(0.68-1.12)	0.57(0.41-0.89)
c	1.1(0.82-1.26)	0.82(0.61-0.97)	0.28(0.21-0.37)

#### まとめ

本研究結果より、ジャミング転移現象を利用した支持部を組み込むことで、喉頭隆起の形状に関わらずに嚥下訓練の支援システムが使用できることが示唆された。また、嚥下音をウェーブレット解析することで喉頭挙上のタイミングが判別可能であり、システムの駆動を自動化についての可能性が示された。今後、患者に応用するためには、高齢ボランティアを対象にシステムの使用について検討が必要である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 岡崎智哉 村田尚道 五福明夫 山本昌直 古西隆之 藤田隼平 江草正彦
2. 発表標題 メンデルソン手技を行うロボットシステムの適用範囲と嚙下機能評価への拡張
3. 学会等名 第25回日本摂食嚙下リハビリテーション学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岡崎智哉、富田崇史、古西隆之、藤田隼平、村田尚道、山本昌直、江草正彦、五福明夫
2. 発表標題 嚙下機能の評価および支援システムの開発－メンデルソン手技の補助が可能な支援システムについて－
3. 学会等名 第26・27回日本摂食嚙下リハビリテーション学会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	五福 明夫  (Gofuku Akio)  (20170475)	岡山大学・ヘルスシステム統合科学研究科・教授   (15301)	
研究分担者	山本 昌直  (Yamamoto Masanao)  (60712859)	岡山大学・大学病院・助教   (15301)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	江草 正彦  (Egusa Masahiko)  (90243485)	岡山大学・大学病院・教授    (15301)	

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 協 力 者	古西 隆之  (Konishi Takayuki)		
研究 協 力 者	藤田 隼平  (Fujita Jumpei)		

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関