

令和 4 年 6 月 7 日現在

機関番号：13101

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2018～2021

課題番号：18H03070

研究課題名（和文）介護予防促進のための「むせる」を予測するシステム開発

研究課題名（英文）Developping prediction system of choking for better care prevention

研究代表者

山村 健介（Yamamura, Kensuke）

新潟大学・医歯学系・教授

研究者番号：90272822

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 12,700,000円

研究成果の概要（和文）：身体に加齢変化は不可避であるが、適正な介入支援は機能低下を緩やかとする。急増する在宅療養者の適切な嚥下機能評価を可能とする日常生活を妨げないウェアラブルな嚥下評価機器の開発を目的とした。
舌骨上筋筋電図および頸部に装着した触圧センサあるいはオプティカルフロー法で記録した喉頭の動きを生体信号として用い、得られたデータを機械学習させることにより、むせや嚥下困難度を推定することが可能になった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、医療機関で行われる既存の大型機器を用いた嚥下機能評価ではなく、在宅や通所施設などでの使用を念頭にいた簡易的な嚥下機能評価を目指したシステム開発を行い、3種類の生体信号について臨床応用が可能な記録方法を確立した。研究開発を継続し、機械学習の精度の向上、IoT化をすすめることで社会実装が可能で、在宅でのアセスメントの充実による嚥下障害の早期発見・予防が実現することが期待される。

研究成果の概要（英文）：Age-related changes in the body are unavoidable, but proper intervention support moderates functional decline. The aim of the present study was to develop a wearable swallowing evaluation device without interfering with daily life, which enables the appropriate evaluation of swallowing function of the rapidly increasing number of home care patients. The suprahyoid muscle electrocardiogram and the tactile pressure sensor attached to the neck or the movement of the larynx recorded by the optical flow method are used as biological signals, and the obtained signals were machine-learned. Estimating choking and swallowing difficulty became possible by repeating the improvement of the learning platform.

研究分野：口腔生理学

キーワード：嚥下 リハビリテーション 咀嚼 介護 地域包括ケア 在宅医療 人工知能

1. 研究開始当初の背景

近年、要介護者・脳卒中有病率は増加の一途を辿り、摂食嚥下障害を有したまま自宅退院となる高齢者が増加している。摂食嚥下機能を損なうことは、有病者の低栄養・身体衰弱を引き金となるだけでなく、誤嚥性肺炎のリスクを増大させる。しかし、有病者から食事の機会、すなわち「口から食べる楽しみ」を奪うことは、生きる喜びを奪い、認知機能の低下や引きこもり状態のきっかけとなることが知られており、有病者の「口から食べる楽しみ」を守る食支援の重要性が社会的に認知されている。ただ一方で、嚥下障害患者への食支援は、介護者に嚥下障害食の購入や調理、食事介助などの経済的、時間的な負担を強いることで介助者のQOLを低下させる。また、障害の程度によっては歯科医師・看護師・歯科衛生士など医療の専門家の頻繁な介入を必要とする場合も多々あり、医療リソースの圧迫も懸念されている。さらに「団塊の世代」800万人全員が75歳以上の後期高齢者となる2025年には介護費が2014年の倍となる約20兆円、介護人材の需給ギャップは37.7万人となることが試算されており、国家財政の圧迫も懸念されている。このような現状を鑑みると、現在行われている「有病者に対するの食支援や医療者の介入による重症化予防」から「高齢者の健康管理と病気・介護予防」「自立支援促進」へと軸足を変換する必要に迫られているといえる。このことを実現する上で不可欠なのが、在宅でのアセスメントの充実による早期発見・予防である。我々は、医療の専門家が嚥下機能評価に用いている「むせ」に着目し、日常生活を営む中で生じる「むせ」を専門家の力に頼らず非侵襲的に検出することで、「むせ」数を計測でき、かつ日常生活を妨げないウェアラブルなシステムを開発し、このシステムを進化させることで記録中の信号から危険を予測し、「むせ」が生じる直前に外部刺激を加え「むせ」状態から離脱させることを可能とするデバイスの開発につなげようと考えた。

2. 研究の目的

我々の研究目的は、アセスメントで用いられる「むせ」の際に得られる生体信号を基に「むせ」を予測し、予測された「むせ」が生じる前に外部刺激を加えることで円滑な嚥下遂行させるシステム開発のための基本データを得ることである。このことを実現するために、健常者を対象とした生体機能計測と機械学習用プラットフォームの構築、負荷嚥下モデルを用いた健常者を対象とした生体機能計測、機械学習の実施と解析結果の検証を行うことを目指した研究計画であった。

3. 研究の方法

本研究計画における柱は、高齢者を対象として、嚥下機能を無侵襲且つ無拘束な環境下での記録と解析を実現するプラットフォームを構築することにある。

1：健常者を対象とした生体機能計測と機械学習用プラットフォームの構築（筋電図）

嚥下機能の評価として用いる時系列を伴う電気生理学的データとして、嚥下関連筋である舌骨上筋からの筋電図記録データに注目し、多層ニューラルネットワークモデルを用いて解析を行うことを実現するプラットフォームの構築を行う。ニューラルネットワークモデルに際して用いる解析データは、様々な体位での嚥下時筋活動、異なる粘度に調整した嚥下調整食品の嚥下時筋活動記録とした。教師データは、被験者からの官能評価の結果（VAS）とした。

2：健常者を対象とした生体機能計測と機械学習用プラットフォームの構築（触圧センサ）

筋電図記録に加えて、嚥下時に挙上する喉頭隆起の動きの可視化を目指して、近年安価且つ小型化が進むことで様々な使用用途で用いられるキューブ型触圧センサ（4x4の16点で変位検出ができるスポンジ形状）に注目し、安定した固定を実現するためのネックベルトを自作するなどし、喉頭隆起の動きの可視化を目指した。被験者には、様々な体位での嚥下、異なる粘度に調整した嚥下調整食品の嚥を指示して記録を行った。

3：健常者を対象とした生体機能計測（オプティカルフロー法）

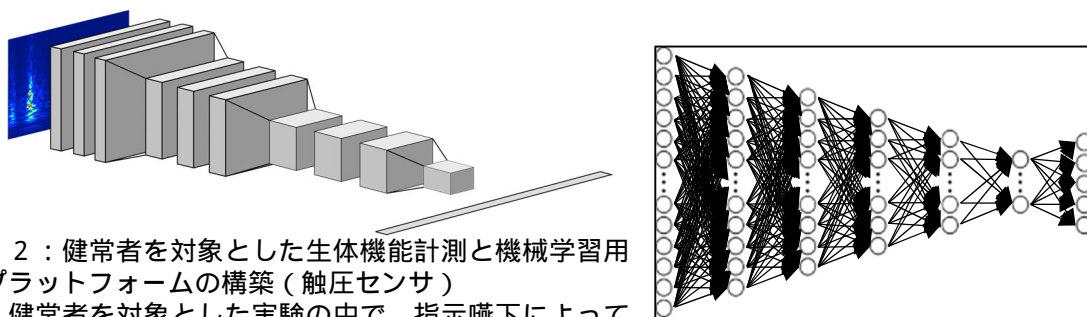
筋電図記録・触圧センサに加えて、移動先推定法の1つであるオプティカルフロー法を活用したシステムの構築に着手した。筋電図記録・触圧センサは、現行システムでは軽量・小型化は実現可能であるが、新型コロナウイルス感染症の流行などの社会情勢の大きな変化を受けて、非接触での機能評価の実現を目指した。オプティカルフロー法は古典的な技術であるものの、リアルタイム計測を実現すべく精度と計算コストの両者をバランスよくしたアルゴリズムが近年開発されており、本研究計画では、特徴点を追いかけて続ける手法である勾配法を活用したオプティカルフロー法を用いた解析システムの開発を行った。

4. 研究成果

1：健常者を対象とした生体機能計測と機械学習用プラットフォームの構築（筋電図）

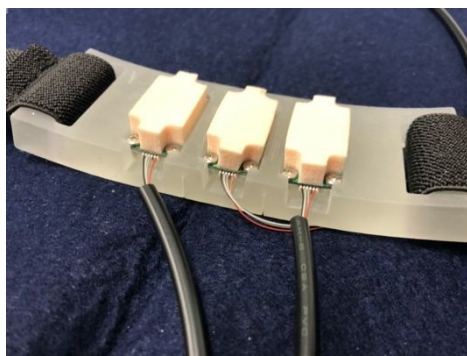
入力データとして、筋電図記録の結果をFFT解析したデータを用いた方法では、訓練データにおいて筋電図データから80-90%の高い確率で“飲み込み易さ”を導き出せたのに対し、テストデータでは30-40%の正答率を推移した。そこで、より高い精度の獲得を目指して、畳み込みニューラルネットワークモデルおよび多層ニューラルネットワークモデルの二つを組み合わせ

たモデルを採用した(下図・左が畳み込みニューラルネットワークモデルの模式図 右が多層ニューラルネットワークモデルの模式図)。さらに、入力データとして波形データである筋電図記録の結果に対して連続ウェーブレット変換を施した2次元データ(スカログラム)を用いることで、その有効性の検討を行った。実験には、物性の異なる(粘着性)食品を準備し嚥下させ、その際の舌骨上筋からの表面筋電図記録を行った。嚥下動作に関連する筋活動に対してウェーブレット変換より得られた時間-周波数に関する2次元データ(スカログラム)をプラットフォームに入力し、出力層には、各嚥下遂行時に行った官能評価の分類と同様の5段階のニューロンを設定し、官能評価を教師データとした。入力された周波数データから、5段階に分類された“飲み込み易さ”のどれに相当する筋電図記録のデータかを推定するモデルとした。推定結果と教師データを比較し学習することで、筋電図記録から「飲み込み易さ」を判断するプラットフォームの構築を行った。構築されたプラットフォームは、推定結果に対する正答率によって評価した。正答率は、学習に用いたデータに対する正答率と学習には用いていないデータに対する正答率の二つを算出した。機械学習の結果、学習に用いたデータに対しては約90%の正答率が得られたのに対して、学習に用いていないデータに対する正答率は約80%程度という高い正答率の確保に至った。筋電図波形を、スカログラムという画像データに変換することで、明確な特徴を機械学習によって見いだす術の確立に成功した。

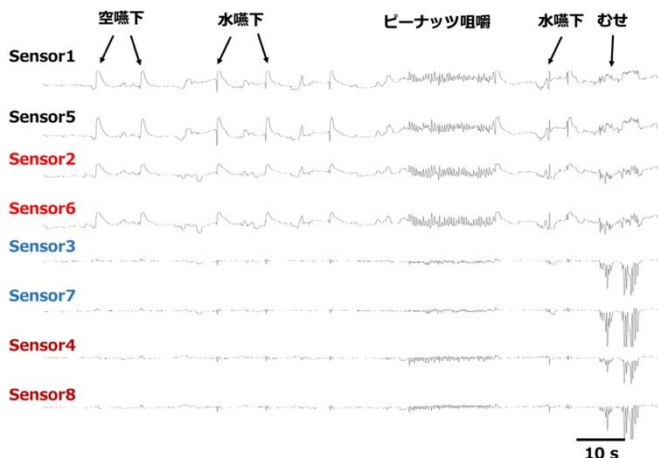


2：健常者を対象とした生体機能計測と機械学習用プラットフォームの構築(触圧センサ)

健常者を対象とした実験の中で、指示嚥下によって生じた筋電図活動を入力データとしたプラットフォームの構築には成功してきたが、高齢者だけでなく健常者においても、日常動作時に生じる筋活動と不随意(食事中など)で生じる嚥下時の筋活動間で、筋活動パターンに明確な特徴の抽出が容易ではなく、将来の臨床現場での応用を検討する上での障壁であった。そこで、研究目的の実現に繋がる異なるアプローチとして、表面に複数の素子が配置されスポンジの変形を変位量として検出可能な新開発された触圧センサを軸としたシステム開発に着手した。



それぞれ8つの素子が埋め込まれている3つのスポンジセンサを配列し、頸部形状にフィットするようにネックベルトを3Dプリンタを用いて自作した(上図)。右図に記録の一例を示す。被験者に空嚥下・水嚥下、そしてピーナッツ咀嚼と随意的に“むせ”を指示した。喉頭隆起上に設置したセンサのうち、喉頭隆起の顎側(上方)の素子からは嚥下や咀嚼といった運動時に一過性の出力変化が記録され、“むせ”時には喉頭隆起の顎側(上方)だけでなく首側(下方)においても一過性の出力変化が記録されるなど、喉頭隆起やそれに関連する軟骨の動きの可視化を実現してきた。



3：健常者を対象とした生体機能計測(オプティカルフロー法)

オプティカルフローとは動画像中の物体の動きを検出して、速度をベクトルで表示する手法であり、そのフローの推定法として勾配法とブロックマッチング法が代表的な手法である。画像中の輝度の空間的・時間的勾配を手がかりに運動を推定する手法であるため、撮影条件を検討しながら解析用アルゴリズムを自作した。通常、輝度の空間的・時間的勾配を指標とする解析であることから、特殊な環境下での撮影による計測・解析が行われてきたが、スマートフォンやタブレットなどを用いて臨床現場で計測・解析を行えるシステム構成を目指して、汎用性のあるデジタルビデオ、カメラ撮影用の照明を用いて解析が行えるようにアルゴリズムの調整を行った。開発を行ったシステム検証のため、粘性の異なる食品を被験者に嚥下させ、撮影・解析を行った。撮影条件は、30fpsで、解像度は解析用プロセッサのことも考慮して



720X480 となるように調整した。上図に粘性の高い食品嚥下時(連続した 20 秒間)の解析結果の一例を示す。喉頭隆起付近では、トラッキングに用いた 4 点において、上下左右方向への移動が顕著に検出され、その移動量や移動速度は官能評価と類似していた。

本研究では、将来の臨床応用を目指して 3 つの手法の確立を行った。既存の大型機器を用いた機能評価ではなく、在宅や通所施設などでの使用を念頭においた簡易的な評価を目指したシステム開発であり、今後の研究開発を継続し社会実装させることで、在宅でのアセスメントの充実による早期発見・予防が実現することが期待される結果であった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Horie Masao, Yoshioka Nozomu, Kusumi Satoshi, Sano Hiromi, Kurose Masayuki, Watanabe Iida Izumi, Hossain Ibrahim, Chiken Satomi, Abe Manabu, Yamamura Kensuke, Sakimura Kenji, Nambu Atsushi, Shibata Masahiro, Takebayashi Hirohide	4. 巻 68 (11)
2. 論文標題 Disruption of dystonin in Schwann cells results in late-onset neuropathy and sensory ataxia.	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Glia	6. 最初と最後の頁 2330-2344
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/glia.23843	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Hatta A, Kurose M, Sullivan C, Okamoto K, Fujii N, Yamamura K, Meng ID	4. 巻 21(6)
2. 論文標題 Dry eye sensitizes cool cells to capsaicin-induced changes in activity via TRPV1	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 J Neurophysiol.	6. 最初と最後の頁 2191 2201
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/09168451.2019.1662278.	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

1. 著者名 Shimizu S, Nakatani Y, Kakahara Y, Taiyoji M, Saeki M, Takagi R, Yamamura K, Okamoto K	4. 巻 84(1)
2. 論文標題 Daily administration of Sake Lees (Sake Kasu) reduced psychophysical stress-induced hyperalgesia and Fos responses	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Biosci Biotechnol Biochem	6. 最初と最後の頁 159 170
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/09168451.2019.1662278.	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yamamura K, Kurose M, Okamoto K.	4. 巻 6(3)
2. 論文標題 Guide to Enhancing Swallowing Initiation: Insights from Findings in Healthy Subjects and Dysphagic Patients	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Current Physical Medicine and Rehabilitation Reports	6. 最初と最後の頁 178 185
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s40141-018-0192-y	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 2件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 黒瀬雅之, 長谷川真奈, 岡本圭一郎, 山村健介, 佐藤大祐
2. 発表標題 筋電図波形から官能評価を検出する試み
3. 学会等名 日本咀嚼学会第30回学術大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山村健介
2. 発表標題 摂食嚥下と全身や脳との関係
3. 学会等名 第14回新潟口腔ケア研究会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山村健介
2. 発表標題 高齢者向け食品開発のための 摂食嚥下のメカニズムとテクスチャー測定・制御手法：摂食嚥下の基礎と加齢変化
3. 学会等名 テックデザイン講演会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 黒瀬雅之, 長谷川真奈, 岡本圭一郎, 山田好秋, 山村健介, 佐藤大祐
2. 発表標題 ディープラーニングによる「食べ易さ」「飲み込み易さ」判定の可能性
3. 学会等名 日本咀嚼学会第29回学術大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 田中みか子, 山村健介
2. 発表標題 市販食品の細断能力を指標とした咀嚼能率と咬合接触との関連性
3. 学会等名 日本咀嚼学会第31回学術大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高橋 彩, 熊谷美保, 佐藤大祐, 山村健介, 黒瀬雅之
2. 発表標題 随意嚥下に頼らない多軸触圧センサを応用した嚥下機能評価システムの開発
3. 学会等名 日本咀嚼学会第32回学術大会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 山村健介	4. 発行年 2019年
2. 出版社 朝日新聞出版	5. 総ページ数 144 (うち4ページ担当)
3. 書名 「認知症が気になりだしたら、歯科にも行こう」は、なぜ？	

〔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	定方 美恵子 (Emiko Sadakata) (00179532)	新潟大学・医歯学系・教授 (13101)	

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	白石 葉子 (Yoko Shiraishi) (10305500)	常葉大学・健康科学部・教授 (33801)	
研究分担者	江川 広子 (Hiroko Egawa) (10310492)	明倫短期大学・歯科衛生士学科・教授 (43109)	
研究分担者	内山 美枝子 (Mieko Uchiyama) (10444184)	新潟大学・医歯学系・教授 (13101)	
研究分担者	小野 高裕 (Takahiro Ono) (30204241)	新潟大学・医歯学系・教授 (13101)	
研究分担者	黒瀬 雅之 (Masayuki Kurose) (40397162)	岩手医科大学・歯学部・准教授 (31201)	
研究分担者	岡本 圭一郎 (Keiichiro Okamoto) (50382338)	新潟大学・医歯学系・准教授 (13101)	
研究分担者	佐藤 大祐 (Daisuke Sato) (70778703)	新潟大学・研究推進機構・助教 (13101)	
研究分担者	佐々木 誠 (Makoto Sasaki) (80404119)	岩手大学・理工学部・准教授 (11201)	

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	長谷川 真奈 (Mana Hasegawa) (90779620)	新潟大学・医歯学系・特任助教 (13101)	

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