

令和 5 年 6 月 7 日現在

機関番号：12701

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2017～2022

課題番号：17K00230

研究課題名（和文）モデルベースによる簡易計測手法を用いた高信頼な日常生活機能評価システムの構築

研究課題名（英文）Development of reliable daily physical function evaluation system using model-based simple measurement method

研究代表者

杉本 千佳 (Sugimoto, Chika)

横浜国立大学・大学院工学研究院・准教授

研究者番号：40447347

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,500,000円

研究成果の概要（和文）：簡易に導入・測定が可能なRGB-Dカメラを用いて、人間の重要な機能である咀嚼・嚥下、呼吸の状態、能力を高信頼に評価するための新たな手法を提案した。深度情報から得られる顔、頸部、胴体の3D特徴点を基に、咀嚼ではサイクル毎の咬合・開閉口運動の経路、速度、リズム、咬合筋の体積変化等を導出、嚥下では喉頭領域の3D特徴量を自動抽出し咽頭隆起を検出して運動軌跡をトラッキング、呼吸では肋骨弓から横隔膜の動きを検出し胸部・腹部の体積変化から胸式・腹式呼吸の度合いを算出、RGB動画像からも深層学習により咀嚼能力の高低に伴う特徴を抽出し、簡易手法により咀嚼・嚥下、呼吸の状態や機能を高精度に評価できることを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

高価な専用装置を用いず、簡易に導入可能な機器の測定データを基に、先端的かつ高度な機械学習手法やデータ解析手法、有用な生体モデルを活用することで、口や顎周辺、頸部の喉頭隆起、胸腹部の細かな動きを高精度に検出し、非侵襲・非接触に咀嚼・嚥下、呼吸機能を客観的に評価する手法は新規性があり学術的意義がある。また、簡易計測手法の構築により経時的データ取得が容易になるため、機能低下の特徴や原因の分析、予防・訓練手法の開発に有用であり、健康維持、疾患予防や早期発見にもつながることから社会的意義も高い。

研究成果の概要（英文）：We proposed a new reliable method for evaluating the important human functions of chewing, swallowing, and breathing using an RGB-D camera. The evaluation models were developed based on the 3D feature points of the face, neck, and body obtained from RGB and depth information. The path, speed, and rhythm of the movement of occlusion and mouth opening and closing and the volume change of the occlusal muscles for each cycle are evaluated for mastication. The movement trajectory of pharyngeal prominence is tracked by extracting 3D features of the laryngeal region and detecting the prominence for evaluation of swallowing. The degree of thoracic and abdominal breathing is calculated based on the changes in volume of the chest and abdomen by detecting the movement of the diaphragm from the costal arch for evaluation of breathing. As the result, the methods showed that the states and functions of chewing, swallowing, and breathing can be evaluated with high accuracy using a simple device.

研究分野：人間情報学、ヒューマンセンシング

キーワード：咀嚼・嚥下 呼吸 機能評価 深度情報 RGB画像 機械学習

## 1. 研究開始当初の背景

急速に進む超高齢化社会において、健康維持、病気の予防・早期発見により健康寿命を延ばすことが重要な課題である。医療機関に掛かる前に日常生活の中で身体機能を維持、改善することが望ましく、日々のエクササイズやリハビリの中で自身の健康状態を把握するために、身体機能を客観的に簡易に評価する指標やシステムが必要である。

ICT デバイスが発達し一般家庭にもスマートスピーカーや見守りシステムが導入されるようになり、日常における行動モニタリングや健康管理支援、異常や予兆の検知の実現が期待される。一方、ヘルスケア機器による評価の詳細な算出根拠は必ずしも明確ではなく、精度にばらつきがあり、有用性や信頼性が担保されているとは言えない。ヘルスケア・医療に役立つ低コストで手軽に利用可能な簡易計測評価システムの開発が必要であり、とりわけ、QOL を維持するために重要な人間の基本的身体機能を評価可能な信頼性の高い評価手法の確立が求められている。

基本的かつ重要な身体機能として、歩行や姿勢維持、咀嚼・嚥下、呼吸が挙げられる。このうち、歩行や姿勢に関する研究の取り組みは多く最も進んでいる。一方、咀嚼・嚥下の研究は高齢社会において重要度が増しているが、いまだ取り組みは不十分である。

## 2. 研究の目的

本研究では、人間の基本的身体機能として重要な咀嚼・嚥下、呼吸の簡易的な計測評価手法の構築を目的とする。

咀嚼については、食物を摂取してから食塊にして嚥下するまで様々な機能がある。咀嚼能力を総合的に評価する単一の方法はなく、機能要素の評価が行われている。本研究では、専用の装着器具を用いて咀嚼回数のカウントや咬合力の測定を行うのではなく、非接触に咀嚼状態や咀嚼能力を複数の指標により評価する手法を提案する。

嚥下については、評価に重要な部位である喉頭隆起は皮膚下で動くため、皮膚上にマーカーやセンサを装着して外部から動きを高精度に測定することは難しく、非侵襲に十分な精度で客観的に評価可能な手法は確立されていない。そこで、人にセンサを装着せずに外部から非侵襲に計測可能で、計測者不在で簡易に継続的に評価可能な手法を提案する。

呼吸については、呼吸検出だけでなく胸式・腹式呼吸度合いの高精度評価が重要であり、健康維持や肺疾患等の呼吸訓練に有用な呼吸評価法を提案する。

高齢者福祉施設や家庭などにおいて、日常の中で簡易に継続的に機能評価を可能とし、機能低下の予防や早期発見、リハビリ支援ができるようにするとともに、医療施設においては、患者への測定負荷が低い診断補助・支援装置として役立つものとする。また、自分自身で身体機能の状態を認識できるようにすることが重要であり、視覚的フィードバックを可能とし、健康寿命の延伸や予防医療に寄与できるようにする。

## 3. 研究の方法

人間の生命・健康維持において重要な役割を果たす咀嚼・嚥下、呼吸の各機能について、重要な評価指標を検証し、簡易計測デバイスである汎用 RGB-D カメラを用いて、その状態および機能を高精度に評価するための計測手法と認識評価モデルを構築する。先端かつ高度な深層学習を含む機械学習手法、データ解析手法、画像処理手法、最適化手法、既存研究で提案されている有用な生体モデルを活用することで、ノイズや誤差を含むセンサデータから各部位の形状や細かな動きを高精度に認識できるようにし、高信頼な評価モデルを開発する。

咀嚼機能については、正面及び斜めから撮影した深度画像をもとに咀嚼運動や咀嚼筋動態を検出して分析し、咀嚼能力に関連するパラメータを評価する。また、より簡易に取得可能な RGB 可視画像に対し先端の深層学習モデルを適用し、咀嚼能力の高低（正常/低下）の認識性能を評価する。

嚥下機能については、深度情報から喉頭・咽頭周辺の認識モデルを作成して咽頭隆起を自動検出し、嚥下時の咽頭隆起の動きの特徴を表すパラメータを算出し嚥下を評価できるようにする。

呼吸機能については、深度情報及び可視情報をもとに呼吸時の胸式呼吸・腹式呼吸の度合いを評価するため、横隔膜の動きの検出に、横隔膜モデルで基準となっている肋骨弓により胸部と腹部の境界を設定して胸部・腹部の体積を算出し、呼吸波形を解析して特徴量を抽出し、機械学習により腹式呼吸度を推定する。また、肺疾患 COPD の呼吸訓練で用いられる腹式呼吸グレード評価法と性能を比較評価する。

精度向上を図るため、認識・評価に影響を与える体形や筋骨格、年齢、性別等に起因する要因を明らかにし、適切なモデルの導入やモデルの補正を行う。また、構築した身体機能評価システムについて医師ら専門家から助言を得て改良・評価を行う。

#### 4. 研究成果

(1)人間の重要な機能である咀嚼、嚥下、呼吸を RGB-D カメラを用いて高信頼に評価するための手法を提案し、簡易計測システムにより各状態や能力を高精度に評価できることを示した。図 1 は計測イメージであり、咀嚼機能、嚥下機能、呼吸機能の各評価法について以下に述べる。

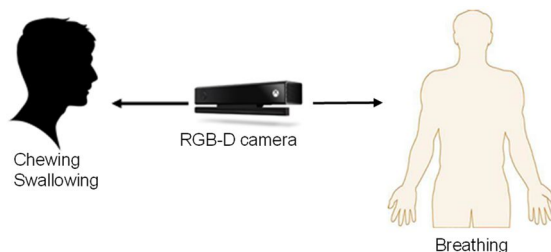


図 1 計測イメージ図

(2)咀嚼機能評価では、図 2 に示すように、咀嚼運動の安定性やリズムなどの指標をもとに咀嚼能力を、咬合筋の収縮度合をもとに咀嚼力を評価し、これらを組み合わせて総合的に評価した。

深度データの利用では、モデルの個人差に対応するため咀嚼の測定前に顔の 3 次元データを取得し、3 次元モデルの自由な形状変更を実現するガウス関数に基づく Free-Form Deformation (3 次元ガウシアン自由形状変形顔モデル) で個別の顔形状に合わせて 3D 特徴点を補正し、顔特徴点の測定精度を向上させたうえで特徴領域や特徴点を抽出して動的变化を求める。咀嚼運動は、鼻先端と唇、顎の特徴点をもとに一咀嚼サイクル毎の開口時および閉口時の運動経路を求め、そのパターンと変動から有用な指標を導出し評価する。咬合筋は、機械学習により作成した識別モデルで個別の咬合筋領域を自動抽出し、咀嚼時の領域の体積変化から咀嚼力を推定する。実証実験により、咀嚼能力および咀嚼力の高低によりそれらの指標にそれぞれ有意な差があることが示された。また、咀嚼運動経路からある程度の精度で摂取した食品の硬さや大きさの推定が可能であることが示された。

また、RGB 画像データを利用し、顔画像からランドマークを取得して咀嚼サイクルを検出、咀嚼回数を算出して、深層学習モデル 3D-ResNet による一咀嚼サイクル毎の口周辺部の動きの特徴抽出と学習により、咀嚼能力の正常/低下を評価する識別モデルを構築した。咀嚼時の口の動かし方には人による癖があり咀嚼動態に差異があるため、識別精度に個人差はあったが、画像に表れる咀嚼時の顔表面形状の時間的变化から、咀嚼能力の低下した咀嚼状態を高精度に識別できることが示された。

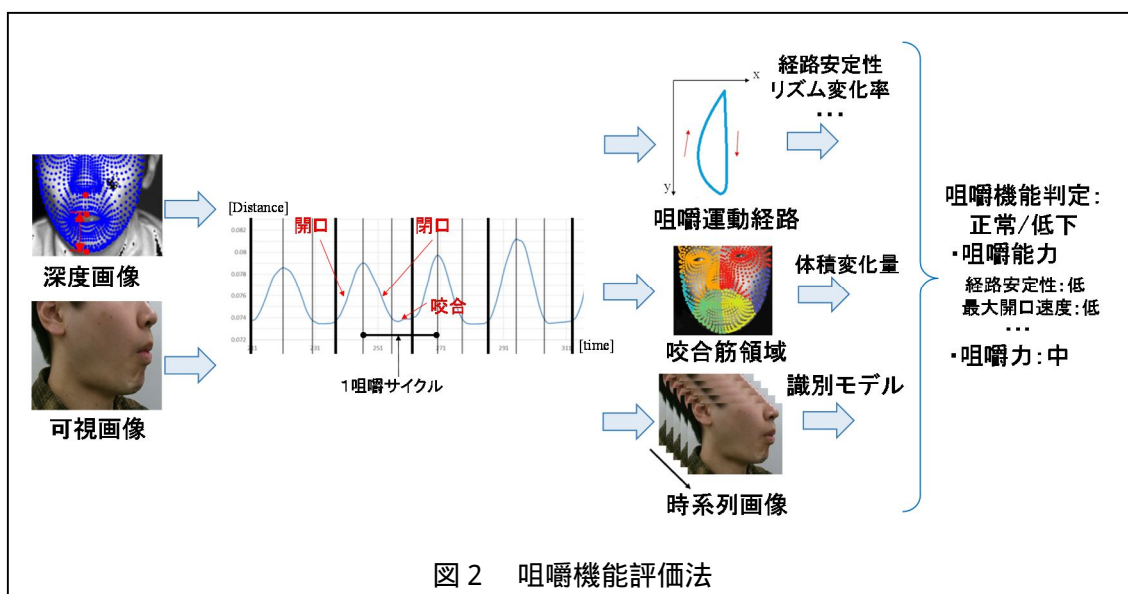
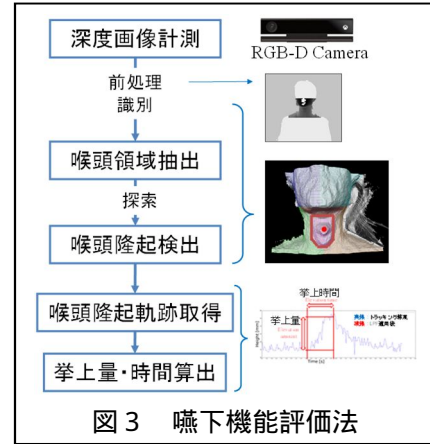


図 2 咀嚼機能評価法

(3) 嚥下機能評価では、図3に示すように、深度画像データから喉頭挙上動態を測定する手法を考案した。

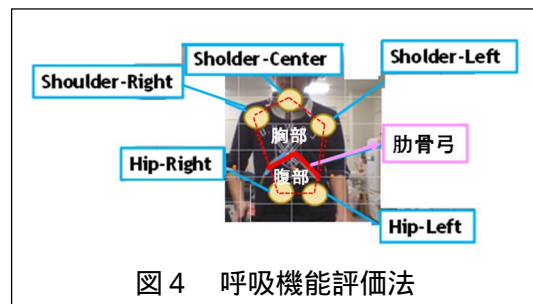
深度データを基に、Depth Image Features と法線ベクトルを合わせた 373 次元の特徴量を用いて解析対象となる喉頭領域を抽出し、PSO によるトラッキングを用いて喉頭挙上を評価する。検出した喉頭隆起の時系列データから喉頭の最大挙上までの時間と挙上量を算出する。低分解能のデータを補正するため、画像処理において用いられるノイズキャンセルや非剛体レジストレーション、最適化手法を用いて高精度化を図った。

提案手法によって得られた挙上時間と挙上量を筋電位と嚥下音から求めた平均挙上時間、光学カメラで撮影した動画像から得た挙上量との比較により評価した結果、十分な精度で評価できる可能性が示された。



(4) 呼吸機能評価では、RGB 画像と深度データを用いて、胸腹式呼吸のパターンと胸式・腹式呼吸の度合いを高精度に評価する手法を提案した。

深度情報から胸腹部の体積変化を算出することで呼吸を検出できるが、肺疾患 COPD の呼吸訓練で用いられる腹式呼吸グレイド評価や胸式・腹式呼吸度合いの高精度評価には、横隔膜の動きを検出することが必要である。そこで、横隔膜モデルで基準となっている肋骨弓により胸部と腹部の境界を設定し胸部・腹部の体積を算出(図4)、呼吸波形を解析して Konno-Mead Diagram における特徴量を抽出し、機械学習アルゴリズムの SVM を用いて腹式呼吸度を推定する手法を構築した。腹部隆起と呼吸補助筋群のひとつである中斜角筋の触診から横隔膜呼吸の度合いを評価するグレイド評価法と比較した結果、十分な精度で腹式呼吸度を評価できることを示した。



(5) 簡易計測装置で測定された深度データから得られる顔、頸部、胴体の 3D 特徴点をもとに、高度な機械学習、データ解析、画像処理、最適化の技術や生体モデルを活用することで、咀嚼・嚥下、呼吸の評価に有用なパラメータを導出して各機能の評価法を構築した。

構築した評価法を内蔵したシステムは家庭環境や施設等に容易に導入できるため、日常の中で機能評価や訓練支援に利用することができ、有用性が高いと言える。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Chika Sugimoto	4. 巻 vol 1026
2. 論文標題 Masticatory Evaluation in Non-Contact Measurement of Chewing Movement	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Human Systems Engineering and Design 2. IHSED 2019. Advances in Intelligent Systems and Computing	6. 最初と最後の頁 737-741
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/978-3-030-27928-8_112	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 -

〔学会発表〕 計13件（うち招待講演 2件 / うち国際学会 5件）

1. 発表者名 杉本千佳
2. 発表標題 生体情報のスマートセンシング -心身状態の認識と活用-
3. 学会等名 SICE計測部門スマートセンシングシステム部会研究発表会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Chika Sugimoto
2. 発表標題 Design for healthcare IT systems using recognition models to improve reliability
3. 学会等名 the 2018 International Conference on Human Systems Engineering and Design（国際学会）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 串宮昌考, 杉本千佳
2. 発表標題 非接触咀嚼運動経路計測による摂食食品性状識別と咀嚼評価
3. 学会等名 第12回ITヘルスケア学会学術大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 杉本千佳
2. 発表標題 深度画像を用いた嚥下機能評価とリハビリ支援
3. 学会等名 電子情報通信学会H30年度第4回MICT研究会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Chika Sugimoto, Yuto Masuyama
2. 発表標題 Elevation Measurement of Laryngeal Prominence from Depth Images for Evaluating Swallowing Function
3. 学会等名 40th International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society（国際学会）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Chika Sugimoto, Yuto Masuyama
2. 発表標題 Laryngeal Prominence Movement Measurement with Depth Sensor for Evaluation of Swallowing Function
3. 学会等名 39th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society（国際学会）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 稲川隼輔，杉本千佳
2. 発表標題 COPDの呼吸訓練における深度センサを用いた腹式評価
3. 学会等名 第11回ITヘルスケア学会学術大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 申宮昌考, 杉本千佳
2. 発表標題 非接触咀嚼評価のための咀嚼運動経路に基づく摂食食品性状識別
3. 学会等名 IEICE_HCGシンポジウム2017
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 稲川隼輔, 杉本千佳
2. 発表標題 深度センサを用いた呼吸訓練における腹式呼吸グレイド評価
3. 学会等名 2018年IEICE総合大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 杉本千佳, 若林悠太
2. 発表標題 3D SE-ResNetを用いた動画像データに基づく咀嚼能力推定
3. 学会等名 2023年IEICE 総合大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Chika Sugimoto, Yuta Wakabayashi
2. 発表標題 Masticatory Ability Evaluation Based on Moving Images of Face during Chewing Using Deep Learning
3. 学会等名 45th International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (国際学会)
4. 発表年 2023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
--	---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------