

令和 7 年 6 月 4 日現在

機関番号：15301

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2024

課題番号：20K10071

研究課題名（和文）人工知能による深層学習を応用した運動障害性咀嚼障害の多軸診断支援システムの開発

研究課題名（英文）Development of an AI-Based Multiaxial Diagnostic System for Masticatory Disorders

研究代表者

大野 彩（木村彩）（Kimura-Ono, Aya）

岡山大学・大学病院・准教授

研究者番号：20584626

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、高齢者の咀嚼機能を非侵襲かつ簡便に定量評価する手法の構築を目的に、三次元認識カメラおよび二次元カメラによる多視点動画撮影と動作解析アルゴリズムを開発した。健常者による基礎的検証により、咀嚼動作に関する動作パラメータ（変位量・速度・加速度等）の精密な抽出が可能であることを確認した。また、多様な高齢者群から得られた臨床情報と運動データを統合し、咀嚼機能レベルを判別するための解析モデルを設計し、予備的な検証を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、運動障害性咀嚼障害の客観的評価手法が未確立である現状に対し、画像動作解析に基づく新たな咀嚼機能評価技術を提示するものである。従来の評価機器では困難であった高齢者への応用を可能とし、補綴歯科の対応が難しい神経疾患等による咀嚼機能低下をより早期に把握する一助となる。さらに、専門的評価が困難な在宅・介護現場への展開可能性を有し、地域包括ケアシステムにおける新たな口腔機能評価支援技術としての意義を有する。

研究成果の概要（英文）：To establish a non-invasive and efficient method for evaluating masticatory function in older adults, we developed a motion analysis system using synchronized three-dimensional (3D) and two-dimensional (2D) video recordings. In preliminary validation with healthy individuals, the system successfully quantified motion parameters such as displacement, velocity, and duration on a per-chewing-cycle basis with high temporal resolution. Additionally, we constructed an integrated dataset combining motion metrics and clinical data from a diverse population of older adults, stratified by dental status and oral function, and developed a computational model to classify levels of masticatory performance.

研究分野：歯科補綴学、口腔インプラント学

キーワード：咀嚼運動 摂食・嚥下障害

1. 研究開始当初の背景

高齢化が急速に進行する現代社会において、高齢者の口腔機能の低下、とりわけ咀嚼・嚥下機能障害は、低栄養、誤嚥性肺炎、窒息といった重大な健康障害の原因として注目されている。中でも、脳血管疾患、神経変性疾患、認知症などにより生じる「運動障害性咀嚼障害」は、中枢神経系の運動制御機構の破綻に起因するため、通常の補綴歯科治療では十分な対応が困難である。

この障害は、器質性咀嚼障害との鑑別が難しく、加えて客観的な診断基準が未確立であることから、専門的な訓練を受けた摂食嚥下リハビリテーション医でなければ診断が困難な場合が多い。さらに、在宅医療や介護施設といった現場では、専門医による直接的評価が不可能なことも多く、患者の咀嚼障害が見逃されたまま経過することが少なくない。

これまでにも、咀嚼機能を定量的に評価する手段として、三次元的下顎運動記録装置や、グミゼリーを用いたグルコース溶出量測定法などが導入されてきたが、いずれも操作に習熟を要する機器であり、検査指示への対応が難しい認知機能や身体機能の低下した高齢者においては測定が困難である。また、装置の設置スペースやコスト、測定時間などの観点から、在宅や介護施設での日常的な活用は現実的ではない。

こうした背景のもと、より簡便で客観的な咀嚼機能評価ツールの開発が強く求められている。特に、非接触かつ短時間で運動データが取得できる画像解析技術は、医療者以外でも扱いやすく、施設・在宅などあらゆる現場への展開が可能であるという利点を有している。加えて、人工知能(AI)技術の進展により、視覚的な動作情報から高精度なパターン認識と分類を行うことが可能となりつつある。

医療分野においても、深層学習を活用した画像診断AIは、皮膚疾患や乳がんの診断を皮切りに広がりを見せており、診断支援技術としての有効性が国際的にも注目されている。厚生労働省も、AIを活用した診療支援システムの導入に関する方針を明確にし、診療報酬や遠隔医療への展開を見据えた制度整備が進みつつある。

本研究では、これらの技術的・社会的背景をふまえ、ToF方式の三次元カメラおよびRGB方式の二次元カメラにより、咀嚼・嚥下動作を多視点かつ非接触で撮影し、抽出された運動データをAIにより解析・分類する手法の確立を目指す。将来的には、診断が困難な患者に対しても早期に対応できる地域包括ケア体制の一助となることが期待される。

2. 研究の目的

本研究の目的は、AIと三次元画像解析技術を融合させることにより、運動障害性咀嚼・嚥下障害を対象とした新たな診断支援手法を開発し、その有用性と妥当性を予備的に検討することである。具体的には、携帯型三次元カメラを用いて咀嚼・嚥下運動を撮影し、動画データから顔面および頸部の微細運動を時系列的に抽出・数値化するプログラムを構築する。健常高齢者および咀嚼・嚥下障害患者を対象に撮影した動画データと、専門医の診断情報を紐づけた教師データセットを作成し、自動分類アルゴリズムによる解析に供する。構築された自動分類モデルの診断精度をROC解析、Grad-CAMによる可視化、専門医の診断との比較によって検証する。

3. 研究の方法

倫理審査委員会の承認を得た上で、以下の検討を行った。

(1) 動画を用いた咀嚼・嚥下機能評価法の確立

本研究では、咀嚼・嚥下運動の定量的評価手法を確立することを目的としているため、まず、健常者を対象とした基礎的検討を行った。対象者は、研究参加に同意した健常者3名とし、歯の欠損を有しないこと、咀嚼・嚥下運動に問題がないことを確認した。

動作の記録には、ToF(Time of Flight)方式の三次元認識カメラと、RGB方式の二次元カメラを併用した。三次元カメラは正面、左右側面、左右斜位の計5方向、二次元カメラは正面および左右斜位の3方向に配置し、それぞれ同時撮影を行った。非侵襲的かつ短時間で、自然な摂食場面を再現可能なセッティングとした。試験食品は、5段階の咀嚼難易度分類に従って選定した3種類(咀嚼難易度カテゴリ1、3ならびに5)とした。

撮影された動画データからは、顔面の特徴点を抽出し、X・Y・Z各軸における変位量、速度、変位時間といった動作パラメータを一咀嚼単位で解析した。データの平滑化にはMoving Average法を用いた。

定量評価のための運動指標としては、下顎の開閉速度、顔面正中に対する軌道偏差、左右への振幅、頸部前方突出動作の振幅などを設定し、運動パターンの正確な把握を試みた。二次元カメラでは、立体情報の欠落を補うために複数視点のデータを統合解析した。

(2) 学習用教師データの検討

検討1で得られた運動データとともに、健常高齢者を対象とした学習用データセットの検討を行った。研究対象は、可撤性床義歯(義歯群)またはインプラント義歯を装着した65歳以上の患者で、本研究参加に同意を得た者とした。認知症等の理由で調査への参加が困難な患者は除外

した。これらを対象に、事前にキャリブレーションを行った3名の歯科医師が、現在歯数、機能歯数、治療歯数、咀嚼能率スコアを評価した。また、摂取可能食品質問票を使用し摂取可能食品スコアを算出した。また、基本情報として年齢、性別、基礎疾患を調査した。対象者の臨床情報（性別、年齢、機能歯数、義歯の有無、食形態、認知機能、舌圧、基礎疾患の有無など）を集計し、個別の症例情報としてデータベース化した。

動画データはフレームごとに前処理を行い、必要に応じてリサイズ・正規化・フレーム間補完処理を行った。さらに、各フレームの運動特徴量（ x , y , z 移動量、速度、加速度、顔面正中に対する軌道偏差、左右への振幅、頸部前方突出動作の振幅）を抽出した。初期段階ではCNN単体による学習も併用し、最適なモデル構造の選定を並行して進めた。

(3) 初期学習の実施と検証

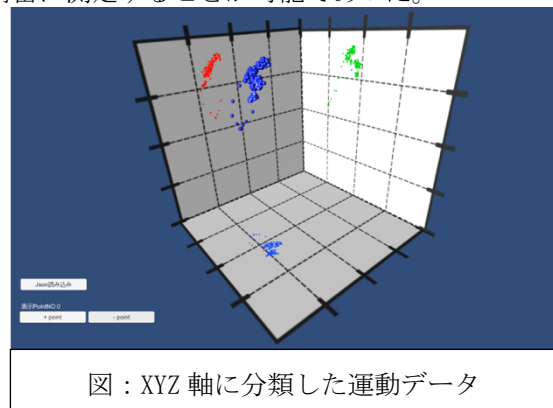
検討2で構築した教師データセットを用いて、学習を実施した。対象とする動画データは、フレーム単位で位置情報や運動パターンを抽出済みであり、各対象者の咀嚼能率スコアとの組み合わせによって分類対象としてデータ構造を設計し、解析処理を試行した。モデルには複数の公開畳み込みニューラルネットワーク（CNN）を導入し、それぞれの構造に応じた層の深さ、フィルタサイズ、学習率などを検討した。

4. 研究成果

(1) 動画を用いた咀嚼運動評価法の確立

健常者を対象とした基礎的検証として、三次元カメラおよび二次元カメラを用いた咀嚼運動時の動画から、顔面および頸部の特徴点を一咀嚼単位ごとに抽出し、 $X \cdot Y \cdot Z$ 軸における動作パラメータ（変位量、速度、変位時間、加速度）を精密に測定することが可能であった。

三次元カメラによる記録では、深度情報を活かし、顔面正中に対する軌道偏差、左右への振幅、下顎前方突出動作の振幅・速度の変化を明瞭に捉えることができた。特に、咀嚼難易度の異なる食品（カテゴリ1・3・5）に対する運動パターンの変化が観察され、食品硬度に応じた運動の適応性を定量的に評価する指標の抽出が可能であることが確認できた。一方、二次元カメラは立体情報が制限され、複数視点からの同時撮影と動作角度推定アルゴリズムの併用なども検討したが、分析精度が低い結果となった。



(2) 学習用データセットの検討

本研究では、研究参加に同意を得た323名のうち、最終的に適格基準を満たした297名を解析対象とした。平均年齢は75.3歳、性別は男性109名、女性188名であり、高齢者集団としての標準的な構成であった。

対象者には、歯科医師による現在歯数、機能歯数、治療歯数の評価を行った結果、平均現在歯数は16.7本、機能歯数は26.9本であった。また、最終補綴装置の装着期間は平均53.7ヶ月と長期間に及んでおり、補綴処置の安定性に問題のない集団であった。

摂食・栄養関連の評価としては、摂取可能食品スコアの平均は88.7点、食品摂取多様性スコア（DVSスコア）は3.9点であり、個人差が認められた。また、咀嚼能率スコアの平均は4.4点で、対象者の間で明確なばらつきが観察され、機能の個人差が明確となった。

生活環境に関する情報として、同居家族の有無は「有」が239名、「無」が58名であり、多くの対象が家族支援のある環境下にあった。身体機能関連のデータとして、BMIの平均は22.7kg/m²、体脂肪率は26.2%、骨格筋量指数は6.4kg/m²で、栄養・体格の標準的な範囲にある者が多かった。

これらの結果から、本研究における解析対象群は、補綴装置使用歴や口腔機能、栄養状態、生活環境、全身状態において多様性を有しており、自動分類モデル構築に際して咀嚼機能の多層的な側面を反映できる豊かな症例群であったといえる。動画データは、1症例あたり10回の咀嚼データを記録・解析対象とした。特徴量として抽出された x , y , z 軸の変位量、速度、加速度などを学習入力に使用した。

(3) 初期学習の実施と検証

教師データを用いた初期学習では、CNNベースのモデルを中心に、構造的特性の異なる複数ネットワークを比較検討した。学習データ（全体の70%）と検証データ（30%）を分割し、適応度の高いモデル構成を探索した。入力特徴量には、開閉速度、軌道偏差、咀嚼周期時間などを使用し、モデルの性能評価では、Accuracy 80.3%という結果を得た。今後は特徴量選択の最適化やデータ拡張手法の導入を通じた精度改善が必要である。本研究は初期段階ではあるが、提案手法が高齢者における咀嚼機能の自動分類・診断支援に有用である可能性を示唆する成果が得られた。

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 1件）

1. 著者名 Kimura-Ono Aya, Maekawa Kenji, Kuboki Takuo, Nawachi Kumiko, Fujisawa Masanori, Sato Hironobu et al.	4. 巻 67
2. 論文標題 Prosthetic treatment can improve the ingestible food profile in Japanese adult outpatients	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Prosthodontic Research	6. 最初と最後の頁 189 ~ 195
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2186/jpr.JPR_D_22_00017	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4件（うち招待講演 0件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 坂本和基, 大野 彩, 三野卓哉, 黒崎陽子, 中川晋輔, 下村侑司, 大森 江, 樋口隆晴, 小山絵里, 徳本佳奈, 縄稚久美子, 窪木拓男
2. 発表標題 高齢メインテナンス患者における欠損補綴治療法と食品摂取状況との関連
3. 学会等名 令和5年度公益社団法人日本補綴歯科学会中国・四国支部学術大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Yuji Shimomura, Aya Kimura-Ono, Yoko Kurosaki, Takuya Mino, Takaharu Higuchi, Kazuki Sakamoto, Kana Tokumoto, Takuo Kuboki.
2. 発表標題 Test-retest reliability of alveolar bone mineral density assessment for peri-implantitis.
3. 学会等名 102nd International Association for Dental, Oral, and Craniofacial Research General Meeting (国際学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 坂本和基, 大野 彩, 三野卓哉, 黒崎陽子, 下村侑司, 大森 江, 樋口隆晴, 小山絵理, 徳本佳奈, 縄稚久美子, 窪木拓男
2. 発表標題 欠損補綴治療が高齢者の食品摂取の多様性や摂取可能食品に与える影響
3. 学会等名 第36回一般社団法人 日本口腔リハビリテーション学会学術大
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大森 江, 大野 彩, 大野充昭, 小山絵里, 徳本佳奈, 山本道代, 三野卓哉, 黒崎陽子, 中川晋輔, 窪木拓男
2. 発表標題 要介護高齢者の腸内細菌叢と治療抵抗性低栄養および生命予後との関係
3. 学会等名 公益社団法人日本補綴歯科学会第131回学術大会
4. 発表年 2022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	窪木 拓男 (Kuboki Takuo) (00225195)	岡山大学・医歯薬学域・教授 (15301)	
研究分担者	森田 瑞樹 (Morita Mizuki) (00519316)	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	菊谷 武 (Kikutani Takeshi) (20214744)	日本歯科大学・生命歯学部・教授 (32667)	
研究分担者	百田 龍輔 (Momota Ryusuke) (80263557)	岡山大学・医歯薬学域・助教 (15301)	

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