

令和 3 年 6 月 8 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18K09653

研究課題名(和文)人工知能による機械学習を基盤とした支台歯形成技能評価自動化システムの開発

研究課題名(英文) Development of a machine learning-based automatic evaluation system for clinical skills in tooth preparation

研究代表者

奥山 弥生 (Okuyama, Yayoi)

東北大学・大学病院・助教

研究者番号：30223697

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)： 歯科治療における支台歯形態の良否の臨床的判断は主観的な目視に依存している。本研究では学生が模型上で形成した人工歯の3Dデータを対象に、指導者による採点用ルーブリックを用いた評価結果を「教師」として機械学習を行い、支台歯形成技能評価自動化システムの開発に取り組んだ。その結果、評価項目「軸面のテーパ」では高い正解率の解析方法(1D-CNN)が得られ、「咬合面の削除量」では、断面作成の方向や測定箇所を選択など、10名の学生データを対象に数値解析を行った結果、次元を減らした検討により「3Dデータのままの解析」の可能性が示唆された。研究遂行上、汎用性に富む有益な結果で、研究をさらに進める計画である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

デジタル技術が広く応用されている歯科治療の中で、主観的な目視による評価を行っている現状を打破する上で客観的デジタルデータに基づき、機械学習による解析を基盤とした支台歯形成の評価システムの開発は学術的に新規性に富み、歯科医学教育向上の点でも、臨床歯科治療における支台歯形成の研修に有用なデバイスとなり、歯科医療界全体の医療技術のボトムアップ、および医療の質の向上に寄与することが期待できる。人の目による評価には限界があり、それを補う意味でも必要なシステムであり、画像によるリアルタイム評価ならびにフィードバックの実現化、さらに自学自習システムへの展開など本システム開発の社会的意義は大きい。

研究成果の概要(英文)： A systematic evaluation system for tooth preparation skills has not been established. We tried a machine learning-based automatic evaluation system for clinical skills in tooth preparation. The students prepared the upper second premolars for CAD/CAM composite crown in manikin head. At the end of the class, the instructors evaluated the tooth preparation skills of these students using a scoring rubric. The results were called “instructors’ score”. These prepared teeth were scanned and labeled into STL-format data tooth model. We focused on ‘taper’ and used 1D-CNN. Our results show that the accuracy was 61.38% between “instructors’ score” and “predicted class”. For the first time, we proposed machine learning-based automatic evaluation system for clinical skills in tooth preparation.

研究分野： 歯科補綴学

キーワード： 支台歯形成 技能評価 人工知能 機械学習 ニューラルネットワーク解析 ルーブリック

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年、デジタル技術を基盤とした歯科治療はめざましい発展を遂げてきた。このデジタルデンティストリーにおいて高い治療効果を得るには、適切な支台歯形態が必要不可欠である。しかし、支台歯形態の良否の臨床的判断は、いまだ定性的・主観的な目視に依存している。申請者はこれまで、「高精度・高速の三次元スキャナーによる支台歯形態の三次元計測方法」および「支台歯形態を特徴抽出したルーブリック」を開発してきた。ただし、これらの技術は手動の過程を多く残しており、人的資源に頼らざるを得ない。申請者は、これまでの独自技術を基盤に、自律的に学習した特徴を基に対象を自動的に判定する「人工知能」に支台歯形態の評価法を学習させることで、客観性、定量性、正確性および迅速性に優れた支台歯形態評価の自動化システムが開発可能であると考えた(図1)。

2. 研究の目的

研究代表者は「人工知能による機械学習」に着目し(図1)、ルーブリックを発展させた支台歯形態の特徴量を人工知能に学習させ、支台歯形態のデジタルデータを分析させることにより、客観性、定量性、正確性および迅速性に優れた支台歯形態評価自動化システムを構築することを目的とした。

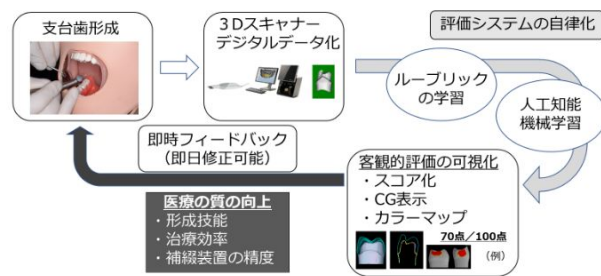


図1. 本研究計画の構想

3. 研究の方法

(1) 解析資料は、東北大学歯学研究科現有のデンタルスキャナー(Aadva スキャン D810, 株式会社ジーシー)を用いて測定した平成28年度から平成30年度までの2学年分3年間の試料、合計365本の学生が切削した人工歯のデジタルデータ(STLデータ)、および同一試料365本を指導者(3~12名)が東北大学版採点用ルーブリックを用いて評価を行った結果である。なお、2020年度には試料数は561本に増加した。

(2) 研究協力者である東京工業大学熊澤研究室において、上記資料を対象に最適解析方法を求めて、画像認識におけるmachine learningの手法を応用し、3D-CNNから解析を開始し、様々な解析方法を試み、試料の特徴抽出を実践した。すなわち上記(1)の指導者による評価結果を「教師」として「教師あり学習」を様々な解析条件下でCNN解析を繰り返し行った。

2018年度、2019年度は採点用ルーブリックの評価項目「テーパー」、2020年度は評価項目「形成面の性状」、「咬合面の削除量」について解析を行った。

(3) 2019年度の解析結果から、上記資料のスキャナーによる測定方法を見直し、研究協力者である東京工業大学吉岡勇人准教授の指導のもと、対象となる人工歯の歯根部のデジタルデータを用いて新しい測定ジグを製作し、高精度かつ安定した3Dデータの取得方法を確立した。その後すべての人工歯3Dデータの取得を実施した。

(4) 高精度、高速度かつデータの軽量化を満足する測定機器の設計は、CNN解析と並行して、研究協力者である東京工業大学吉岡研究室において進められた。

4. 研究成果

(1) 評価項目「テーパー」 2019年度、様々な解析を経たのち、3Dデータから断面を作成し、対象とするデータの次元を減らし、特徴を明らかにしていく1D-CNNの手法がこの項目については、最適な解析方法であることがわかった(図2)。(引用文献)

その結果、当初55%だった「テーパーBL」の精度は、最終的に69%へと上昇した。また、評価項目別、評価部位別に解析をしたほうが高い精度が得られることが示唆された。

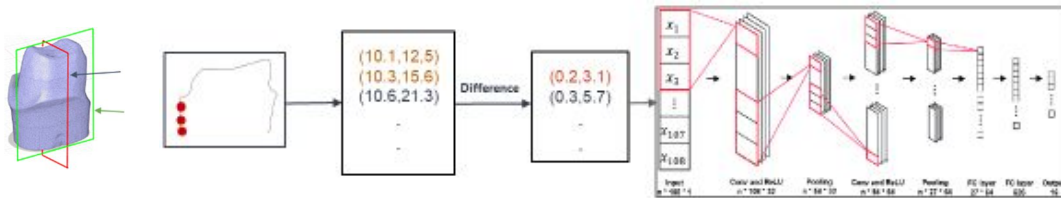


図2．3D支台歯に断面を作成し，1D-CNNによる解析を行ったアルゴリズム

(2) 評価項目「形成面の性状」 2020年度，歯軸に対し垂直な断面形態による検討を試みた．すなわち形成した歯の軸面の凹凸の有無，およびその深さがどの程度か判断する採点項目に対し，歯の輪郭画像を用いて学習させたCNNを用いて採点を行った．歯の軸面の輪郭を表現するため，水平に3回スライスした際の輪郭の画像を学習データとし，またデータ数が少ないことなどを考慮しData Augmentationを行い，180°回転させたデータも利用してDropout層やBatch Normalization層等を取り入れたオリジナルのネットワークモデルを用いた．結果としてvalidation accuracyは最高値で0.71となった(図3，図4)．しかしながら，他の条件下での結果と大きな差異は認められなかったため，本項目については今後最適な解析手法を調査する必要があることが示唆された．

また，この評価項目については教員による評価のばらつきが大きいため，ルーブリック評価表の評価項目「形成面の凹凸」のわかりやすい分類方法について検討を加える必要があることが示唆された．

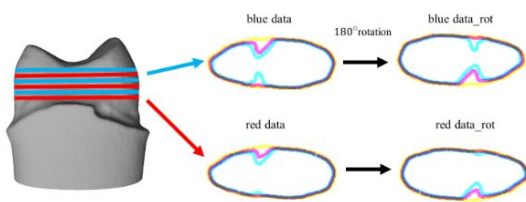


図3．測定断面とData Augmentation

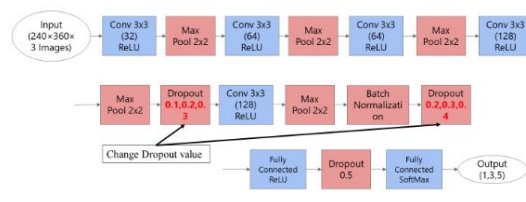


図4．CNNのモデル

(3) 評価項目「咬合面の削除量」 2020年度，学生が形成した人工歯のSTLデータの重ね合わせ精度を確認した(図5)．

この評価項目はルーブリック表の中でも配点の割合が高く，臨床においてクラウンセット後の予後を左右する一番重要な項目の一つである．

数値による判定が細かく分類されていることも特徴である．そこで断面作成の方向や測定箇所を選択など，支台歯形成前後の歯において基準となる3点，およびそれら最も近い点の2点間の距離がどの程度か判断する採点項目に対し，歯の輪郭画像を用いて3つの基準点の画素，およびそれらに最も近い点の画素を探索，距離の計算を行った．様々なラインで画像を取得し採点に用いることで採点精度を向上，また領域分割することで採点効率を向上させた．実際の学生のデータ(5~10例)を対象に数値解析を行った(図6)．

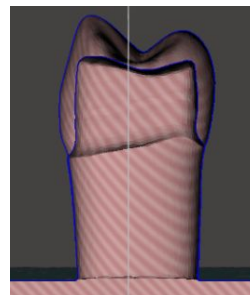


図5．重ね合わせ画像

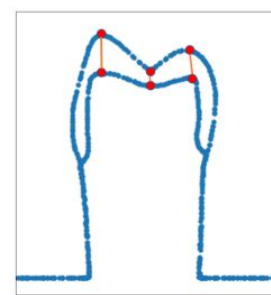


図6．Slice Image

その結果，今後解析を進める上で汎用性に富む有益な解析結果が得られた．すなわち，次元を減らした任意の断面におけるデータを用いて解析，検討した結果，「3Dデータをそのまま用いた解析方法」を考案，評価の精度が向上するか調査することによって最適な評価システムが構築できる可能性が示唆された．今後，画像認識の専門的知識を研究協力者から得て，「客観的データに基づいた評価結果(スコア)をリアルタイムに学生に提示する」という当初目指した支台歯形成技能評価の自動化システムの開発を遂行するよう研究を続ける方針である．

<引用文献>

Jie Yang, et al. 2018 42nd IEEE International Conference on Computer Software and Applications 2018, 492-497.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2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 勝田悠介、山田将博、石橋 実、奥山弥生、江草 宏	4. 巻 10
2. 論文標題 東北大学歯学部におけるCAD/CAM冠模型実習システムの導入	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 日補綴会誌	6. 最初と最後の頁 335-344
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	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 -

1. 著者名 Tenkumo T, Fuji T, Ikawa M, Shoji S, Sasazaki H, Iwamatsu-Kobayashi Y, Okuyama Y, Matsui H, Shiraishi N, Furuuchi T, Higuchi K, Hashimoto W, Takeuchi Y, Simauchi H, Sasaki K	4. 巻 23
2. 論文標題 Introduction of integrated dental training jaw models and rubric criteria	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Eur J Dent Educ	6. 最初と最後の頁 17-31
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1111/eje.12395	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

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 0件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Yayoi Okuyama, Pasin Kunamart, Itsuo Kumazawa, Hayato Yoshioka, Masahiro Yamada, Hiroshi Egusa
2. 発表標題 Machine Learning-Based Assessment with Score for Clinical Skills in Tooth Preparation
3. 学会等名 The 4th International Symposium on Biomedical Engineering/2019/11/15/ Hamamatsu（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 勝田悠介、奥山弥生、石橋 実、山田将博、江草 宏
2. 発表標題 東北大学歯学部における4年次CAD/CAM冠実習が支台歯形成技能に及ぼす教育効果
3. 学会等名 （公社）日本補綴歯科学会 第128回学術大会/2019/05/12/札幌
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 勝田悠介, 山田将博, 奥山弥生, 石橋 実, 江草 宏
2. 発表標題 東北大学歯学部4年次CAD/CAM冠実習が6年生時の支台歯形成技能に与える影響
3. 学会等名 日本補綴歯科学会東北・北海道支部学術大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 奥山弥生, 山田将博, 江草 宏, 吉岡勇人, 熊澤逸夫
2. 発表標題 歯を切削する技能を可視化/スコア化した評価システムの開発
3. 学会等名 平成29年度生体医歯工学共同研究拠点成果報告会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 奥山弥生, P. Kunamart, 勝田悠介, 山田将博, 熊澤逸夫, 吉岡勇人, 江草 宏
2. 発表標題 歯を切削する技能を可視化/スコア化した評価システムの開発 - 2019年度報告 -
3. 学会等名 令和元年度生体医歯工学共同研究拠点成果報告会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 尾山直駿, 吉岡勇人, 奥山弥生, 田島真吾, 江草 宏, 新野秀憲
2. 発表標題 光切断法を用いた人工歯形状評価法
3. 学会等名 2020年度精密工学会秋季大会, 学術講演会講演論文集, オンライン開催
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 奥山弥生, 柳瀬和也, 勝田悠介, 熊澤逸夫, 吉岡勇人, 山田将博, 江草 宏
2. 発表標題 歯を切削する技能を可視化/スコア化した評価システムの開発 - 2020年度報告 -
3. 学会等名 令和2年度生体医歯工学共同研究拠点成果報告会, オンライン開催
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	江草 宏 (Egusa Hiroshi) (30379078)	東北大学・歯学研究科・教授 (11301)	
研究分担者	山田 将博 (Yamada Masahiro) (90549982)	東北大学・歯学研究科・准教授 (11301)	

	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	吉岡 勇人 (Yoshioka Hayato)		
研究協力者	熊澤 逸夫 (Kumazawa Itsuo)		

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