

令和 6 年 6 月 13 日現在

機関番号：12602

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K10016

研究課題名（和文）人工知能を活用した部分床義歯設計システムの開発研究

研究課題名（英文）Development of artificial intelligence to generate denture design

研究代表者

笛木 賢治（Fueki, Kenji）

東京医科歯科大学・大学院医歯学総合研究科・教授

研究者番号：30334436

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,900,000円

研究成果の概要（和文）：部分床義歯の設計を自動化する人工知能を開発することを目的として、約1,000例の義歯設計の症例情報を収集して電子化とデータベースを構築した。これを教師データとして、義歯の大連結子を予測する人工知能モデルの構築を試みた。上顎と下顎それぞれの大連結子の種類をアウトカムとし、欠損部位、欠損歯数、歯周組織のパラメータ、欠損部顎堤の形状などの多変量パラメータを予測因子として深層学習により予測モデルを試作し、臨床的に実用レベルまで改良を行った。さらに、AIモデルの臨床パラメータのアウトカムへの寄与率を可視化することで、アウトカムを予測する臨床的根拠を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

部分床義歯の設計には歯列欠損の状態、残存歯と顎粘膜の3次元形態、支台歯の動揺度などの様々な臨床情報に基づき判断を要する重要なステップであり、歯科医師の経験と技量が義歯の質に大きく影響する。本研究では、義歯の設計プロセスに人工知能を導入することで、歯科医師の経験と技量に依存せず適切な設計が自動的にできるシステムを開発することを見据えて構想しており、人工知能が社会実装されれば社会的な意義は大きい。また、歯科補綴学領域への人工知能の導入は比較的遅れており、本研究の成果は歯科補綴学における先駆的な例となり学術的意義も大きい。

研究成果の概要（英文）：With the aim of developing artificial intelligence to automate the design of partial dentures, we collected case information on 1,000 cases of denture design and built a database of them. Using this as training data, we attempted to construct an artificial intelligence model to predict the large coupler of dentures. Using the types of large couplers of the upper and lower jaws as outcomes, we prototyped a prediction model by deep learning using multivariate parameters such as defective sites, number of missing teeth, periodontal tissue parameters, and the shape of the missing jaw ridge as predictors, and improved it to a clinically practical level. By visualizing the contribution of the AI model to the outcome of clinical parameters, we clarified the clinical basis for predicting outcomes.

研究分野：歯科補綴学

キーワード：部分床義歯 義歯設計 人工知能 説明可能AI 深層学習

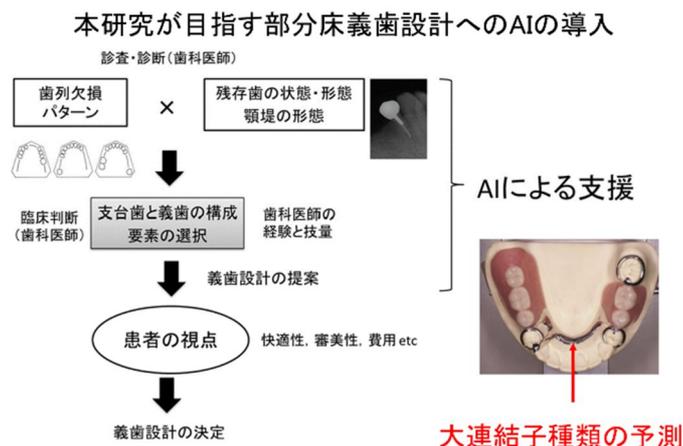
様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

部分床義歯を設計する際には、歯列欠損の状態、残存歯と顎粘膜の3次元形態、支台歯の動揺度などの臨床情報に加え、異物感、患者の審美性への要望、耐久性、費用など多面的な情報も総合的に考慮する必要がある。歯科医師は、その上で、適切な支台歯を選定し、義歯の設計原則にもとづき支台装置の種類と配置、連結子の種類と走行、義歯床の大きさなどの構造因子を決定する。義歯の設計はこのような多変量情報に基づく臨床判断を要する重要なステップであり、歯科医師の経験と技量が義歯の質に大きく影響する。

2. 研究の目的

部分床義歯の設計プロセスに人工知能を導入することで、歯科医師の経験と技量に依存せず適切な設計が自動的にできるシステムを開発することを目的とする(図1)。



3. 研究の方法

(1) 対象データ

2007~2019年度に東京医科歯科大学病院第一総合診療室で製作された部分床義歯1,000例(上顎457例, 下顎543例)を用いた(表1, 図2)。義歯の設計は日本補綴歯科学会の専門医が行い、指導医が臨床的妥当性を確認した。

	上顎 (457)	下顎 (543)
欠損歯数	5 (2.8)	5 (2.3)
義歯種類(金属)	307 (67%)	420 (77%)
片側/両側(両側)	388 (85%)	448 (83%)
大連結子の有無(有)	430 (94%)	511 (94%)

表1 症例の特性

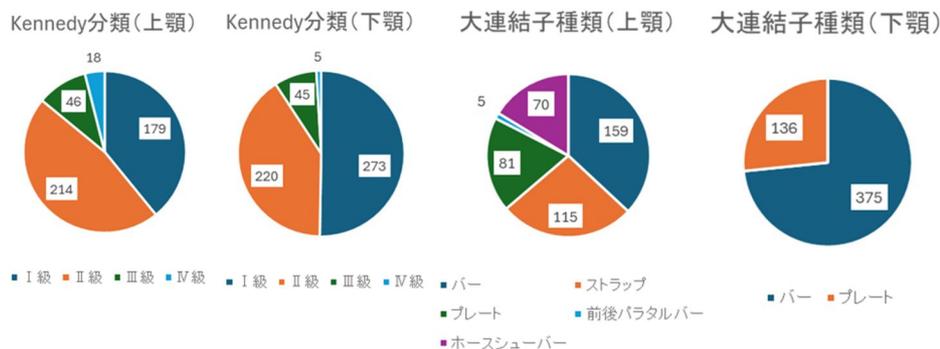


図2 欠損と大連結子の特性

(2) 入力変数

口腔情報として、歯の残存状況、補綴状況、残存歯の状態（動揺度、歯周ポケット深さ、歯肉からの出血の有無、プラークコントロール、歯槽骨の吸収の程度）、欠損部顎堤の形状と顎粘膜の性状など 252 変数とした（表 2）。

入力変数		スコア			
X1	上下顎	0 上顎	1 下顎		
X2	欠損状態	0 片側	1 両側		
X3	Kennedy分類	1 I級	2 II級	3 III級	4 IV級
X4	Eichner分類	1 A	2 B1,B2	3 B3, B4	4 C
X5	遊離端欠損の数				
X6	中間欠損の数				
X7	対合の状態	1 全部床義歯	2 部分床義歯	3 義歯なし	
X8	顎堤形態	0 不良	1 問題なし		
X9	粘膜性状	0 不良	1 問題なし		
X10	骨隆起	0 なし	1 あり		
X11	治療計画	0 治療用	1 最終補綴		
X12-27	残存歯	0 欠損	1 残存		
X28-43	残根	0 なし	1 根面板		
X44-59	メタルクラウン	0 なし	1 クラウン		
X60-75	前装冠	0 なし	1 前装冠		
X76-91	ブリッジの支台歯	0 なし	1 支台歯		
X92-107	歯髓の状態	0 失活歯	1 生活歯	-1 不明	
X108-123	プラーク付着	0 なし	1 あり		
X124-139	動揺度	0 動揺なし	1 頬舌方向	2 近遠心方向	3 上下方向
X140-155	歯周ポケット深度	1 0-3 mm	2 4,5 mm	3 6 mm 以上	
X156-171	BOP	0 なし	1 あり		
X172-187	歯槽骨の吸収	0 スコア 2	1 スコア 1	2 スコア 0	
X188-203	インプラント	0 なし	1 インプラント		
X204-219	ボンテック	0 なし	1 ボンテック		
X220-235	隣在歯との連結	0 連結なし	1 連結あり		
X236-251	人工歯	0 なし	1 あり		
X252	排列した人工歯数				

表 2 入力変数とコード

(3) 出力変数

義歯の種類（レジン床 / 金属床）、片側 / 両側設計、大連結子の有無、大連結子の種類とした（表 3）。

出力データ	スコア
義歯種類	0 レジン床義歯 1 金属床義歯
片側 / 両側設計	0 片側設計 1 両側設計
大連結子の有無	0 なし 1 あり
上顎大連結子種類	1 パラタルバー 2 パラタルストラップ 3 パラタルプレート 4 前後パラタルバー 5 ホーシューバー
下顎大連結子種類	1 リンガルバー 2 リンガルプレート

表 3 出力変数とコード

(4) モデルの構築

臨床アルゴリズムに基づき、入力変数から義歯の種類、片側 / 両側設計、大連結子の有無、大連結子の種類（上顎：バー / ストラップ、プレート、前後パラタルバー、ホーシューバー、下顎：バー、プレート）を順に予測し、各ステップにおいて直前のステップまでで予測された情報も入力情報に加えるモデルとした（図 3）。

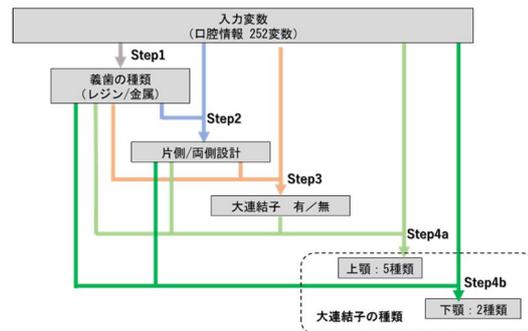


図 3 モデル構築のアルゴリズム

CNN モデルでは、各歯の入力情報を行列化し、隣在歯同士で畳み込みを実施した。上下顎ごとに、学習：検証：テストデータ=6.4：1.6：2 の割合で分割して評価した (Python 3.9.8) (図 4)。

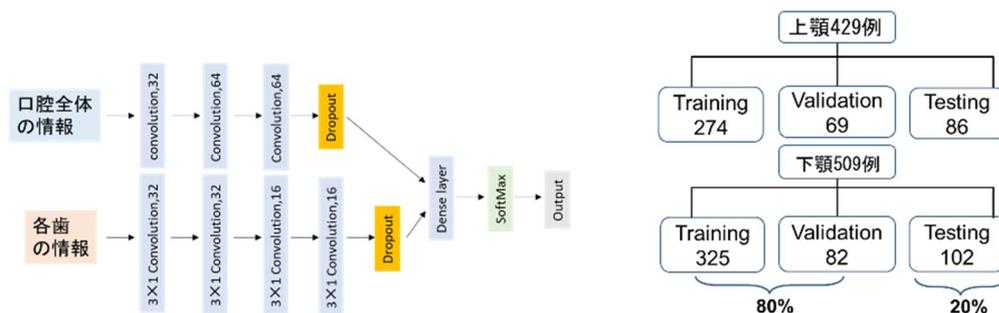


図 4 CNN モデルの構築

さらにその予測根拠を可視化するために、Grad-CAM を用いてどの変数が予測に寄与しているかを検討した。

4. 研究成果

(1) テストデータの平均精度

義歯種類上顎：0.80，下顎 0.74，片側/両側 0.93，大連結子の有無 0.95，上顎のバー/ストラップ 0.86，プレート 0.91，前後パラタルバー1.0，ホースシューバー0.85であった。下顎は0.80であった（表4）。

	精度	感度	特異度
①義歯種類(上顎)	0.78	0.81	0.72
①義歯種類(下顎)	0.75	0.84	0.41
②片側 or 両側	0.93	0.96	0.70
③大連結子の有無	0.91	0.95	0.18
バー/ストラップ	0.88	0.94	0.79
④a プレート	0.91	0.69	0.96
上顎 前後パラタルバー	1.00	—	—
ホースシューバー	0.85	0.54	0.90
④b			
下顎 バー or プレート	0.79	0.58	0.87

表4 テストデータの平均精度，感度，特異度

(2) GradCAM の評価結果

歯の残存状況と残存歯の歯周状態が大連結子の予測に寄与する傾向を認めた（図5）。

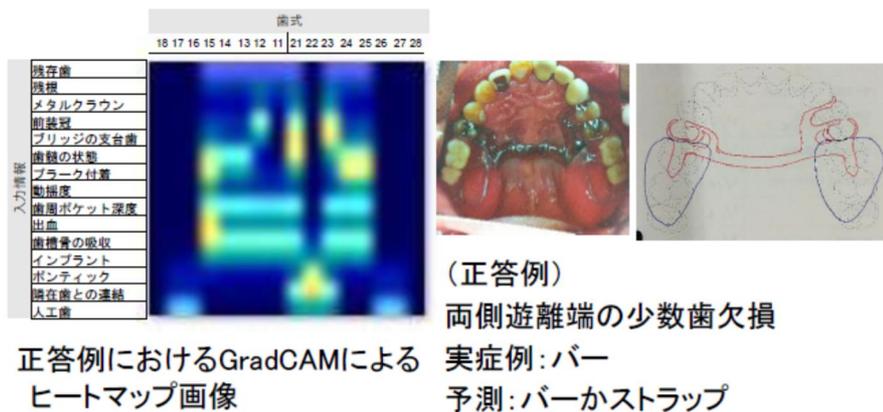


図5 GradCAM の評価結果

本研究の成果から，作成したモデルでは，両側遊離端の少数歯欠損，多数歯欠損のケースは予測しやすい可能性が示唆された。一方，類が多い欠損，前歯部遊離端欠損，片側遊離端欠損のケースは予測精度が低下する傾向が認められた。口腔底までの距離の情報が組み入れることで，下顎の大連結子の精度を向上すること考えられる。

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 1件）

1. 発表者名 稲用友佳, 安齋達彦, 高橋邦彦, 笛木賢治
2. 発表標題 Convolutional Neural Networkを用いた 部分床義歯の設計を予測するAI開発
3. 学会等名 日本メデイカルAI学会第6回学術集会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Y Li, Y Inamochi, T Anzai, K Takahashi, N Wakabayashi, K Fueki
2. 発表標題 Development of an Artificial Intelligence System for Designing the Framework of Removable Partial Dentures. Part I. Designing Major Connectors Using Explainable Convolutional Neural Network
3. 学会等名 The 14th Biennial Congress of the Asian Academy of Prosthodontics (国際学会)
4. 発表年 2024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	若林 則幸 (Wakabayashi Noriyuki) (00270918)	東京医科歯科大学・大学院医歯学総合研究科・教授 (12602)	
研究分担者	高橋 邦彦 (Takahashi Kunihiko) (50323259)	東京医科歯科大学・M & D データ科学センター・教授 (12602)	

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	稲用 友佳 (Inamochi Yuka) (50802302)	東京医科歯科大学・大学院医歯学総合研究科・助教 (12602)	

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