



Title	インプラント治療の術式決定を支援する人工知能モデルの開発
Author(s)	堺, 貴彦
Citation	大阪大学, 2023, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/91846
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

論文内容の要旨

氏 名 (堺 貴 彦)	
論文題名	インプラント治療の術式決定を支援する人工知能モデルの開発
論文内容の要旨 【研究目的】 インプラント治療における初期固定の獲得は、長期的に良好な予後を獲得するうえで重要である。初期固定を獲得するには、術部の骨質に応じた術式で埋入窩を形成する必要があるが、エックス線写真の読影と術中の術者の手指感覚に基づいて骨質の判断がなされるが、とくに手術経験の少ない歯科医師にとっては、最適な埋入窩形成の術式を決定することはそう容易ではない。 人工知能 (Artificial Intelligence : AI) は、入出力の関係から規則性を抽出してモデル化することで、未知の入力から出力を予測することのできる極めて有用なツールである。なかでも深層学習は、規則性の抽出に必要となる特徴量をコンピュータで自動的に抽出可能であるため、人では特徴を抽出することが困難なデータにも対応可能である。したがって、深層学習を用いれば、術前の CBCT 画像から人が認識することが困難な特徴に基づいて骨質を客観的に判断し、埋入窩形成の術式を的確に導きだせるものと予測される。 そこで本研究では、インプラント埋入前の CBCT 画像と術後に記録された埋入窩形成の術式から深層学習で規則性を抽出し、さまざまな条件のもとで AI モデルの作成を行い、確実な初期固定獲得のための埋入窩形成術式の決定を支援するツールとしての有用性を評価した。 【材料および方法】 <u>被験データ</u> 大阪大学歯学部附属病院口腔補綴科にてインプラント治療を受けた患者から27症例を抽出し、匿名化されたCBCT画像を得た（大阪大学大学院歯学研究科・歯学部及び歯学部附属病院倫理審査委員会承認番号: R2-E11）。インプラント埋入後のCBCT画像から埋入部位の骨領域を目視で確認し、当該領域を術前のCBCT画像から画像解析ソフトウェア (Image J) を用いて20×20 pixelの画像として25枚抽出した。 実際に行われた埋入窩形成の術式に基づき、各症例を、A：タッピングドリルを使用して形成した症例、B：インプラント体の径に最も近い径まで形成した症例、C：インプラント体の径よりも小さい径まで形成した症例、の3群に分類した。 <u>実験1. AIモデルの選択と条件の最適化</u> 抽出した画像（675枚）を、訓練用画像（200枚×3分類＝600枚）とテスト用画像（25枚×3分類＝75枚）に分類し、深層学習の種類、深層学習で用いる最小化アルゴリズムの種類、学習回数、ならびに画像の選択方法をさまざまに変化させてAIモデルを作成し、その性能を比較検討した。 3種の深層学習構造 (LeNet, GoogleNet, AlexNet) でAIモデルを作成し、性能（正確率、適合率、再現率）を比較した。 6種の最小化アルゴリズム (Adagrad, Adam, RMSprop, Adadelta, SGD, NAG) を用いてAIモデルを作成し、性能を比較した。 3種の学習回数 (30回, 50回, 100回) でAIモデルを作成し、性能を比較した。 訓練用画像とは異なる症例からテスト用画像を選択する方法 (T1) と、各症例から均等配分でテスト用画像を選択する方法 (T2) でAIモデルを作成し、性能を比較した。	

実験2. 抽出した画像の仕様がAIモデルの性能に与える影響の評価

1. 異なる画像サイズが AI モデルの性能に及ぼす影響の評価
3 種の画像サイズ (5×5 pixel, 10×10 pixel, 20×20 pixel) で学習した AI モデルを作成し、その性能を比較した。
2. 画像の枚数が AI モデルの性能に及ぼす影響の評価
症例数を 60 に増やし、2 種の画像枚数 (675 枚, 1,200 枚) で学習した AI モデルを作成し、その性能を比較した。
3. 異なる関心領域が AI モデルの性能に及ぼす影響の評価
皮質骨を含む領域と海綿骨のみを含む領域を各々抽出し学習した AI モデルを作成し、その性能を比較した。

実験3. AIモデルの信頼性と解釈性の評価

1. 画像間の類似度の評価
3 種の分類ごとに訓練用画像 (320 枚) とテスト用画像 (80 枚) の全ての組み合わせ (320×80=25,600 通り) で相互情報量を求め、比較した。
2. AI モデルが注目した領域の可視化
AI モデルの予測に対する局所的な説明を与えるために考案された Gradient-weighted Class Activation Mapping (Grad-CAM) を用いて、テスト用画像上にアテンションマップを重畳表示し、予測に影響を与えた部位を視覚的に評価した。

【結果および考察】

1. 深層学習モデルとしてLeNetを選択し、最小化アルゴリズムをAdam、学習回数を50回、画像の選択方法をT2とした場合に、高い性能が認められた。LeNetが白黒の手書き文字を識別するために開発された深層学習モデルであることから、同様に白黒の濃淡で表現されたCBCT画像においても高い性能を発揮したものと考えられた。また、Adamは様々なパラメータを含む誤差の最小化に適していることから、画像に大きな特徴のない場合でも高い性能を示したと考えられた。学習回数を50回とした場合、最小限の計算コストで十分に高い性能が得られることを確認した。T2を用いた場合に高い性能が認められたのは、テスト用画像と重複しない特徴の近似した画像をAIモデルの訓練に使えるためであると考えられた。これらのことから、CBCT画像を用いて高性能なAIモデルを作成できることが明らかとなった。
2. 初期固定の獲得に関わる皮質骨を含む領域から、20×20 pixelで抽出した画像を用いて学習したAIモデルが最も高い性能を示した。また、1,200枚の画像で学習した場合、675枚の場合と比較して性能が低下したことから、単に画像枚数を増やすことよりも、入力データとして用いる画像の質を向上すること（適切な領域から抽出すること）の方が、AIの性能が向上する可能性が示唆された。
3. AIモデルの学習に用いた訓練用画像とテスト画像の間に重複する画像は認められなかった。また、Grad-CAMで生成したアテンションマップにより、AIモデルが人の目視では識別することの難しい骨梁構造に注目していることが分かった。すなわち、AIモデルでは、抽出された特定の領域の特徴（骨梁構造）からその分布比率に基づいて骨質を正確に判断し、よりの確に埋入窩形成の術式を選択できるものと考えられた。

【結論】

本研究において、深層学習を用いて適切な条件でAIモデルを作成し、皮質骨を含む領域から抽出した画像を用いれば、高い性能で埋入窩形成の術式を選択できることが明らかとなった。以上のことから、本研究で開発したAIモデルは、インプラント治療の術式決定を支援するツールとして有用であることが示された。

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (堺 貴 彦)			
	(職)	氏 名	
論文審査担当者	主 査	教授	今里 聡
	副 査	教授	十河 基文
	副 査	准教授	和田 誠大
	副 査	准教授	野崎 一徳
論文審査の結果の要旨 本研究は、インプラント埋入前の CBCT 画像と術後に記録された埋入窩形成の術式から深層学習で規則性を抽出し、さまざまな条件のもとで人工知能モデルの作成を行い、確実な初期固定獲得のための埋入窩形成術式の決定を支援するツールとしての有用性を評価したものである。 その結果、適切な深層学習と最小化アルゴリズムの種類、学習回数、ならびに画像の選択方法を採用することで、CBCT 画像を用いて高性能な人工知能モデルを作成できることが分かった。また、皮質骨を含む領域から抽出した画像を用いれば埋入窩形成の術式的確に選択でき、開発した人工知能モデルが人の目視では識別することの難しい骨梁構造に注目しているために高い性能を示すことが明らかになった。 以上の研究成果は、インプラント治療の術式決定を支援するツールとして有用な人工知能モデルの開発に成功したことを示すものであり、本研究は博士（歯学）の学位授与に値するものと認める。			