

令和 6 年 5 月 22 日現在

機関番号：17301

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2023

課題番号：18K09856

研究課題名（和文）人工知能(AI)を利用した顎顔面の成長予測技術の開発

研究課題名（英文）Development of artificial intelligence (AI)-based maxillofacial growth prediction technology

研究代表者

古賀 義之 (Koga, Yoshiyuki)

長崎大学・病院（歯学系）・講師

研究者番号：50175329

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）：セファロ画像（DICOM 画像）を訓練データとして、画像から年齢を予測させるためのモデルを作成し、AI が年齢予測時にどの部分に注目しているのかを調査した。また、セファロ画像を部分的に隠すことで、年齢を予測が難しい状態での AI が注目する部分を調べた。AI がセファロ画像から予測した年齢と実際の年齢との間に強い関連性が認められた。Attention map の結果から、歯と歯胚に注目していることが分かった。また、歯牙年齢を予測できないセファロ画像では、頸椎と前頭骨に注目する傾向を認めた。AI モデルは従来の年齢予測に使われてきた部位だけでなく、前頭骨の形状も年齢予測の評価に利用していた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

矯正歯科の成長発育は、治療の対象となる下顔面つまり口腔を含む上下顎骨の変化に注視しがちである。しかしながら、今回の研究でわかったことを基にすると、成長発育には当然ながら頭部全体の変化が含まれることと、その変化が特定の部分で特徴的に起こることがわかる。これまでの成長発育の報告では、最も変化の大きい下顔面に偏ったものが多く思春期成長までのものがほとんどだったが、本研究での画像の変形を予測する方法を利用することにより思春期成長後の形態変化を含めて成長予測できるシステムが構築できた。

研究成果の概要（英文）：Using Cephaloimages (DICOM images) as training data, we created a model for having the AI predict age from the images, and investigated which parts of the image the AI paid attention to when predicting age. The results of the Attention map showed that the AI paid more attention to teeth and tooth embryos. The AI model used the shapes of both the frontal bone and cervical spine as well as the region traditionally used for age prediction to evaluate age prediction.

研究分野：歯科矯正学

キーワード：ディープラーニング 人工知能 畳み込みニューラルネット

1. 研究開始当初の背景

不正咬合は「叢生」「上顎前突」「開咬」などの病名でラベリングがなされているが、個々の病態はより複雑である。例えば、同じ「叢生」という病名に分類される症例であっても、個々の歯の傾斜や位置異常は症例によって大きく異なっており、治療にあたってはそれらの要素を全て考慮し、各患者について個別化した治療計画を立案する事は矯正治療にとって重要だと考えられた。顎顔面の成長量の予測にはセファログラムのトレースと計測に基づく方法が古くから用いられてきたが、これにはいくつかの問題がある。まず、トレースにより線画とする事で X 線画像の濃淡の情報が失われてしまうことが挙げられる。つまり、X 線画像の濃淡は骨の成熟度などを反映すると考えられるが、線画のトレースによりこのような情報が失われる欠点がある。また、トレースと計測では、マンパワーが必要となると同時にヒューマンエラーが生じることも問題となる。撮影装置のデジタル化により大量の画像データを得ることは比較的容易になっているが、数千枚以上の大量の画像を手計測で処理し、分析を行う事は非常に困難である。近年、ディープラーニングと呼ばれる人工知能(AI)技術は特に画像処理の分野で急激に発展しており、大量のデータを用いてニューラルネットワークの学習を行う事で、画像から自動的に情報を抽出し、さまざまな処理や予測を行う事が可能になっている。このようなニューラルネットワークを用いた手法では画像の濃淡の情報を含めた、全ての画像情報を利用することが出来るため、より高精度な顎顔面の成長予測システムが開発できると考えられた。また、特に2016年以降、人工知能分野では敵対的生成ネットワークと呼ばれる写実的な画像を生成するネットワークの研究が活発になっており、ここ数年で学習データからその確率分布を推定し、それに基づく高画質な画像を人工的に生成することが可能となった。しかし、そのような手法が成長を予測できるかは未だ明らかになっていない。

2. 研究の目的

本研究の目的は近年急速に発達している人工知能技術AIの一つであるディープラーニング(多層畳み込みニューラルネットを用いた機械学習)を用いる事で、従来方法より高い精度で顎顔面の成長量と成長方向を予測する事である。従来方法では X 線画像上にランドマークとなる点を人力でプロットしてから解析を行っていたのに対して、画像を直接学習データとして使用することで、今まで切り捨てられていた X 線画像の微妙な濃淡などの細かな情報を全て利用することが可能となり、予測精度の向上が期待できる。これまでの成果として、人工的に成長前の画像を参考に成長後の X 線画像が生成できることを確認済みである。さらに学習後のネットワークに成長期の患者の X 線画像を入力すると、下顔面が前方に成長した X 線画像が出力された。一方で成人の患者の X 線画像を入力すると、入力画像から殆ど変化が無い画像が成長後の画像として出力された。当初は予測画像を直接生成することを目標としていたが、画像を直接予測することは先鋭度の面から臨床利用が困難であると考えられたことから、より複雑な Grid generator を用いて画像の変形を予測する方法が利用できるか検討を行う事を目的とした。

この方法を利用することで、これまでよりもさらに詳細な画像の生成が可能となり、臨床応用への有効性が高くなったと言える。

3. 研究の方法

本研究では以下の5点を行った

- (1) ニューラルネットを用いて口腔内写真から各症例の特徴抽出が可能であることを示す
- (2) 多層畳み込みニューラルネットが学んだ不正咬合の概念を明らかにする
- (3) 抽出された特徴量の類似度と、臨床的な類似度が一致しているかどうか検証する
- (4) 当院のデータを用いて検索可能なデータベースを実際に構築する
- (5) AI モデルによる側面頭部エックス線規格写真画像からの年齢予測とそのモデル解析

4. 研究成果

矯正臨床に関わる不正咬合は、口腔内写真上で特徴的な部分が強調されるのは、主に上下顎前歯部の前後のおよび垂直的關係によるものが大きい。このような前歯の關係は、側方頭部 X 線画像上でも十分に表現されているため、口腔内写真と X 線画像そして不正咬合の關係の強い相關性を示すことができた。しかしながら口腔内写真で見られる臼歯部側方方向の咬合不正は、当然ながら X 線画像としてとらえるのは難しいことがわかった。歯列の側方方向の咬合不正は、PA 方向の X 線画像でも左右方向の大きさとして表現されていることはわかったが、複数の X 線画像を比較する際に耳杆を中心として頭部が回転するために、どうしても頭蓋前方部の構造物が耳杆による回転軸から離れるため、同じ個体であっても直接の比

較が難しいことがわかった。一方で、前述したように垂直的、前後的な咬合不正は、口腔内写真から側方頭部 X 線画像からも十分に比較し画像構築が可能であり年齢とともに起こる成長変化も画像構築に含めるため、研究方向として側方頭部 X 線画像を中心とした基盤を構築できた。

本来矯正の診断において、顎顔面の成長の予測はより正確な診断を行うために重要である。従来はセファロ画像の計測値や身長、手根骨の成熟度等から成長量を総合的に判断しており、定量的な評価が難しかった。しかし、近年の AI 技術の発展により、様々な特徴を数値化して判断できる可能性が広がったため、今回の研究でも矯正歯科の診断支援として、AI を用いて顎顔面の成長を予測するような研究を行うこととした。また、セファロ画像から顎顔面の成長度に関わる要素を抽出できるかも未だ解明することとした。

そこで、顎顔面の成長発育に焦点を絞り、一般的に言われているように矯正治療に直接関係する上下顎骨を含む下顔面を中心とした成長変化だけではなく、頭蓋骨全体から見た成長変化を検討した。つまり AI がセファロ画像から年齢の予測をすることができるか明らかにし、また、AI が年齢を予測するために着目した部位を調べることを行った。

まず、長崎大学病院矯正歯科で受診した患者の治療前後もしくは治療中のセファロ画像 (DICOM 画像) を訓練データとして、画像から年齢を予測させるためのモデルを作成した。ライブラリには PyTorch を使用し、ネットワークモデルには ResNet を採用した。更に学習したモデルから Attention map を作成し、AI が年齢予測時にどの部分に注目しているのかを調査した。また、これまで矯正歯科の成長発育に最も注目され検討されてきた下顔面部、つまり、セファロ画像の右下 4 分の 1 を隠すことで、上下顎骨や歯を含む年齢を予測できない状態をあえて作った上で AI が注目する部分を調べた。AI によるセファロ画像からの年齢の予測については、AI が予測した年齢と実年齢には正の相関が認められ、予測の精度も約 1.5 歳と非常に高い精度で年齢の予測ができた。さらに 11 歳以下、11 歳から 20 歳までと 20 歳以上の年齢で 3 分割した場合の各 AI モデルの予測年齢を算出したところ、実際の年齢との差の平均では、右下 4 分の 1 を隠した画像を学習させた AI の 20 歳以上の年齢の差が最大で 6.15 歳となったが、平均では 1.54 歳と比較的小さい値に収束した。また、10 歳から 20 歳までのグループで右下 4 分の 1 を隠さない場合と隠す場合を比較した時の予測年齢では、前者が平均で実年齢と 1.08 歳の差があり後者が 1.43 歳となっていて、前下顔面画像の有無にかかわらず AI は非常に高精度で年齢予測していることがわかった。

結果として、学習したモデルから Attention map を作成した結果、頸椎と前頭骨に注目する傾向を認めた。AI モデルは従来の年齢予測に使われてきた部位だけでなく、前頭骨の形状も年齢予測の評価に利用していることがわかり、頭蓋顔面成長の特徴がさらに明らかになった。

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 0件）

1. 発表者名 古賀義之、森田幸子、吉田教明
2. 発表標題 下顎臼歯部の著しい近心傾斜のため咬合崩壊を生じた上顎前突症例
3. 学会等名 九州矯正歯科学会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 江森利郎、濱中僚、空閑大輝、山口留奈、岩田紗耶香、小牧博也、富永淳也、古賀義之、吉田教明
2. 発表標題 ResNet を用いた AI モデルによる側面頭部エックス線規格写真画像からの年齢予測とそのモデル解析
3. 学会等名 日本矯正歯科学会
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
研究分担者	吉田 教明 (Yoshida Noriaki) (40230750)	長崎大学・医歯薬学総合研究科(歯学系)・教授 (17301)	
研究分担者	濱中 僚 (Hamanaka Ryo) (70805986)	長崎大学・医歯薬学総合研究科(歯学系)・助教 (17301)	

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