

学 位 論 文 内 容 の 要 旨

愛知学院大学

論文提出者	平岩 輝彦
論文題目	歯科用コーンビーム CT および深層学習システムを適用した パノラマ X 線画像による下顎第一大臼歯の歯根と根管形態の 評価

## 緒言

下顎第一大臼歯は永久歯のなかで最初に萌出する歯であり、齲蝕やそれに継発する歯髄疾患のリスクが高く、歯内治療が必要となることも多い。歯内治療の成否は様々な因子に依存するが、根や根管の形態は重要な因子とされている。根の数については、日本人や中国人では、遠心過剰根の出現頻度が比較的高い（20%以上）ことが報告されている。パノラマ X 線撮影は、現在最も頻繁に使用される X 線検査法の一つであり、CBCT に比較して患者の被曝線量を低く抑えることができる。したがって、パノラマ X 線画像で根管治療が困難な根を検出することや根管の形態を把握することが可能になれば、スクリーニング検査として有用となる可能性がある。

本研究の目的は、第一に CBCT によって下顎第一大臼歯遠心過剰根の出現頻度と近遠心根管の形態についてタイプごとの頻度を明らかにすることとした（研究 1）。次いで、第二の目的として、CBCT の画像所見をゴールドスタンダードとして、パノラマ X 線画像を用いた下顎第一大臼歯の根と根管形態の評価に深層学習システムを適用した場合の診断能を明らかにすることとした（研究 2）。

## II. CBCT による根および根管形態の評価（研究 1）

### 1. 対象と検査法

愛知学院大学歯学部附属病院放射線画像診断科の画像データベースから男女それぞれ 100 例を抽出した。対象となる症例は CBCT とパノラマ X 線画像検査を受けており、根尖が完成し、根管治療を受けていない下顎第一大臼歯を含むものとした。両側を対象とできる症例も含むため、結果として 360 の下顎第一大臼歯が抽出された。

## 2. 評価方法

遠心根が単根か過剰根を持つかの評価は CBCT の 3 断面（軸位断、矢状断、冠状断）および画像解析ソフト（Aquarium NET ; TeraRecon 社）を使用して作成した三次元再構築画像を用いて行った。

根管形態は Verrucci の分類に基づいて行った。歯列直交断像を近心根と遠心根で別々に作成して、それぞれの評価を行った。

## 3. 結果

遠心根の中、単根は 285 歯 (79.2%)、過剰根は 75 歯 (20.8%) にみられた。近心根で最も頻度の高い根管形態は Type IV (74.4%)、次いで type II (19.7%) であった。遠心根では type I が 285 歯中 173 歯 (60.7%) と最も多く、次いで type II (17.2%)、type IV (13.3%) であった。遠心根の歯根数および近心・遠心根の根管形態のタイプの頻度に明らかな男女差はみられなかった ( $\chi^2$ 検定)。

### Ⅲ. 深層学習を適用したパノラマ X 線画像による根および根管形態の評価

#### (研究 2)

#### 1. 対象

対象は研究 1 と同じ症例を用い、CBCT による分類結果をゴールドスタンダードとして使用した。

#### 2. 方法

##### 1) 検討項目

CBCT による形態評価の結果に基づいて、以下の 3 項目について、パノラマ X 線画像に深層学習を適用して、下顎第一大臼歯の根および根管形態の評価を行った。

(1) 遠心根は単根かあるいは過剰根を有するか

(2) 近心根管は最も多い Type IV かあるいはそれ以外か

(3) 遠心根は最も多い Type I かあるいはそれ以外か

##### 2) 深層学習システムの構築

今回使用した深層学習システムは 11GB の GPU、128 GB のメモリーを有する NVIDIA GeForce GTX ワークステーションに構築され、学習過程は Caffe フレームワーク上で畳み込みニューラルネットワーク AlexNet を用いて DIGITS 標準アルゴリズムで遂行された。訓練データセットを深層学習システムに入力すると学習課程が開始され、検証データセットで汎化性能を確認しながら、訓練データで重み更新を行い、訓練データの間違い率が 0

に近づくまで学習過程が繰り返される。今回は 150 回 (150 エポック) の学習を行った。この過程の結果として学習モデルが作成される。これらの過程において、人間が画像特徴量を入力する必要はなく、畳み込みニューラルネットワークが画像から直接特徴抽出を行う。

### 3) 学習過程

#### (1) 学習画像の準備

最初に画像データベースから Bitmap 形式でダウンロードしたパノラマ X 線画像において、第一大臼歯の近心根と遠心根を別々に 70 x 120 ピクセルの矩形領域で切り出しを行った。

#### (2) 5 分割交差検証

訓練とテストに使用されるデータセットの偏りを解消するために、5 分割交差検証の手法を用いた。用意されたデータは無作為に 5 分割され、その一つが検証データセットおよびテストデータセットとして、その他の 4 つのデータ群が訓練データセットとして使用される方法である。5 分割されたそれぞれの群 (a~e) では、分類ごとに画像数がほぼ同数となるように配慮した。どの群のデータをテストデータとして使用するかによって 5 種類の fold が形成された。訓練データセットと検証およびテストデータセットには同一の患者や部位から作成された画像が含まれないことを確認した。

#### (3) データ拡張

対象数の少ない臨床データを使用する場合には、結果の信頼性を増すために画像の輝度、コントラスト、鮮鋭度を変更することや、画像の回転や反転をおこなって方向を変えることによってデータ数を拡張するデータ拡張 (Data augmentation) の過程が加えられることが多い。今回の研究では、訓練データセットにデータ拡張を適用した。

#### (4) 学習モデルの作成

それぞれの訓練データセットを使用した学習過程により、5つの学習モデルが作成される。学習モデルがそれぞれのテストデータセットに適応され、診断能が求められる。

例えば、検討項目1については、fold 1 では訓練データセットとして4群分 (b~e) の単根歯の228画像と過剰根を有する歯の60画像についてデータ拡張を行って、それぞれ2052画像と2040画像が訓練用のデータセットとしてシステムに入力された (図4)。150エポックの学習過程が行われ、学習モデルが作成された。このモデルをテストデータセットに適用して、fold 1 における診断能が計算される。次は異なる訓練データセットとテストデータセットを用いて fold 2 について同様の過程が行われる。このようにして同様の過程が5回繰り返される。

#### 4) 診断能の決定

診断能はそれぞれの fold でテストデータセットについて計算されるので、

これを平均して推定診断能とした。正診率、感度、特異度、陽性的中率、陰性的中率が CBCT の所見をゴールドスタンダードとして計算された。ROC 曲線下の面積 (AUC) も算出した。

#### 5) 歯科放射線専門医の評価との比較

遠心根が単根かあるいは過剰根が存在するかについて、深層学習と歯科放射線専門医の診断能を比較した。歯科放射線専門医の診断能については、単根の 75 画像と過剰根を有する 75 画像を用いて、2 人の 20 年以上の経験を有する歯科放射線専門医が単根か過剰根を有するかの判定を行った。深層学習では非常に多くの画像を使用してラーニングモデルを作成したが、専門家では長年の経験がこれにあたり、判定前に数枚の画像で練習を行った後に判定を行った。2 人の専門家の判定の一致度は  $\kappa$  値で 0.622 であった。診断能は Mann-Whitney U 検定を用いて比較した。また AUC の比較には  $\chi^2$  検定を用いた。危険率 0.05 以下を有意差ありとした。

### 3. 結果

#### 1) 深層学習による診断能

単根か過剰根を有するかの判定では正診率 82.2%、感度 71.2%、特異度 93.0%、陽性的中率 93.0%、陰性的中率 77.0% であった。近心根および遠心

根の根管形態の判定は満足できる診断能を得られなかった。

## 2) 歯科放射線専門医との比較

単根か過剰根を有するかの判定において統計的有意差はないものの、深層学習システムの診断能が若干専門医を上回っていた。ROC解析の結果、AUCは統計的有意差をもって、深層学習が大きい値を示した。

## IV. 考察

### 1. 根および根管形態について

根管形態の把握は適切な歯内療法を行うためには重要とされる。遠心根における過剰根は、下顎第一大臼歯における重要な解剖学的変異であり、その発生頻度は人種によって異なることが報告されている。例えば、ヨーロッパ人では遠心舌側根の頻度は5%未満とされている。しかし、日本人ではその頻度は23.6%、中国人では22.1%と報告され、他の報告よりも高い頻度が示されている。今回の結果は20.8%と比較的高い頻度を示し、東アジアの報告に一致した。

Vertucciが提唱した根管形態の分類は、一般的に使用されているが、近年では、CBCTでこの分類を行った報告が多くみられるようになった。Vertucciは近心根における形態はtype IV (43%)とtype II (28%)が高頻度で見られると報告している。頻度そのものは異なるものの、他の報告でも同様の



傾向が示されている。本研究の結果は Zhang らや Celikten らの報告に近く、それらの中間的な値を示した。

本研究では年齢に伴う形態変化については検討していない。子供や高齢者についてはさらに検討が必要と思われる。遠心根管は湾曲していることがあり、遠心舌側根管の湾曲程度はさまざまである。複雑な根管形態は根管洗浄と根管形成を困難にする。根管の湾曲についてもさらなる検討が必要と思われる。

## 2. 深層学習について

近年では深層学習システムの発達によって、人工知能が多くの医学領域に適用されている。畳み込みニューラルネットワークは、画像認識などによく使われるニューラルネットワークの構造である。AlexNet では5層の畳み込み層と3層の全結合層よりなる。第1層にデータセットが入力されると、正しい分類のための学習が開始され、次の層への情報伝達が繰り返され、最終層で分類のための学習モデルが提案される。人による読影や他のコンピュータ支援診断システムのように画像特徴量を入力することなく、適切な画像の特徴を学習し、それを分類することが行われる。深層学習システムは多くの医学領域で使用されているが、歯科領域ではまだ広く適用されているとは言えない。したがって、歯内療法領域への応用として、今回はパノラマ X 線画像における下顎第一大臼歯の根および根管形態の評価

を行った。

深層学習の実行にはいくつかの方法が採用されている。深層学習による診断能は学習用とテスト用のデータセットの決定時にバイアスが発生する可能性が考えられるので、症例の偏りは避けなければならないが、これには多分割検証法の使用が有効である。また、診断能は学習データセットの質と量に依存するので、学習モデルを作成するためには非常に多くの学習データセットが必要となる。同一の患者や部位から作成された多くの画像を使用する方法はアルゴリズムを訓練する一つの戦略となり、CT画像などではこれが可能である。データ量が不十分な場合はデータ拡張 (data augmentation) が適用される。今回の研究では、データ拡張後にはそれぞれの群に 2000 以上の画像を用意したが、それでもまだ全体的な学習データは少ないと思われる。特に特定の集団の特徴に焦点を当てる場合には、さらに大きな対象が必要となるであろう。

本研究では、CBCT の所見をゴールドスタンダードとして用いた。生活歯の形態の観察には CBCT の使用が考えられる最も適切な方法であり、その高い信頼性が報告されている。遠心根における過剰根の有無を判定する場合には深層学習システムは正診率 82.2%、感度 71.2%、特異度 93.0% と高い診断能を示した。さらに歯科放射線専門医と比較した場合も、この項目については同様の診断能を示している。しかしながら、他の 2 項目、すなわち、根管形態の評価においては、その診断能は満足できるものではなかった。

この事実は、臨床において下顎第一大臼歯の根管形態の評価を行う際には、現段階では CBCT の使用が妥当であるということを裏付けるものと考えられる。もし、パノラマ X 線画像による診断能が今少し向上すれば、それによって CBCT 検査の適応を決定できるかもしれない。

深層学習システムの使用は画像診断において様々な利点を持っている。その一つとして、画像の解釈について、経験の浅い観察者を支援するということがあげられるが、臨床的な使用を目標とすれば、まだ発展途上にある。学習用のデータセットが準備された後は、学習モデルの作成までにそれほど時間を要しないが、それでも臨床での使用にはさらに時間を単縮する必要があるであろう。さらに、本研究で行ったように画像の切り出しを手動で行うと、それなりの時間を要するということも解決すべき問題である。したがって、本研究は将来的にパノラマ X 線画像の完全自動診断を目指す研究の一環として企画されたが、そのための重要課題の一つとして、目的とする画像の自動切り出しのシステムを開発することがあげられる

切り出した学習用画像の大きさも検討されなければならない課題である。学習用画像の大きさは、目的とする領域のテクスチャーターンの一般化を行うために、周囲の構造物を含みすぎないようにすることが重要とされる。つまり、画像が大きすぎると周囲の構造物からの情報を誤って読み込むために、学習エラーが大きくなることが懸念される。逆に小さすぎると解剖学的な情報を十分に読み取ることができなくなることも考え

られる。本研究で使用した大きさは、結果的に過剰根の評価には適切なものであったが、他の項目についてはさらに検討する必要があるかもしれない。

## V. 結論

### 1. CBCTによる下顎第一大臼歯の根と根管形態の評価

- 1) 遠心過剰根は20.8%にみられた。
- 2) 近心根管の形態はVertucciのtype IVが最も多く、次いでtype IIであった。
- 3) 遠心根管の形態はVertucciのtype Iが最も多く、次いでtype IIであった。

### 2. 深層学習を適応したパノラマX線画像による評価

- 1) 下顎第一大臼歯遠心過剰根の有無の判定には高い診断能を示した。
- 2) 根管形態評価の診断能は十分ではなく、現段階ではその評価にはCBCTが必要と思われた。