

学位論文の全文に代えてその内容を要約したもの

愛知学院大学

乙 第 号	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	

I. 緒言

下顎第一大臼歯は永久歯の中で最初に萌出する歯であり、齲蝕や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、根数や根管形態は重要な因子とされている。根数について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ことが報告されている。根管形態は Vertucci の分類が一般的に使用され、歯科用コーンビーム CT (CBCT)を用いて根管形態を正確に把握できるようになった。

パノラマ X 線撮影は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。パノラマ X 線画像で根管治療が困難な根の検出や根管形態の把握が可能になれば、スクリーニング検査として有用となる可能性がある。近年、人工知能の深層学習が医用画像でも活用されてきている。

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の根管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)。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、下顎第一大臼歯の根数と根管形態の評価における深層学習システムを適用したパノラマ X 線診断能を明らかにすることとした(研究 2)。

II. CBCT による根数および根管形態の評価(研究 1)

1. 対象

対象は CBCT とパノラマ X 線検査を受け、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症例とし、画像データベースから 200 例、360 の下顎第一大臼歯を抽出した。本研究は歯学部倫理委員会の承認 (No.496) を得て行った。

2. 方法

遠心根が単根か過剰根を持つかの評価は CBCT の軸位断、矢状断、冠状断および三次元再構築画像を用いて行った。近心根および遠心根の根管形態は Vertucci の分類に基づいて、CBCT の軸位断および歯列直交断像で評価を行った。

3. 結果

遠心根の根数は、単根 285 歯(79.2%)、過剰根 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。

III. 深層学習を適用したパノラマ X 線画像による根数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、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、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数および根管形態の評価を行った。

2) 深層学習システムの構築

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 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。

3) 学習過程

(1) 学習画像の準備

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た。

(3) データ拡張(Data augmentation)

画像の輝度、コントラスト、鮮鋭度を変更することによって、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

訓練データセットを使用し 150 エポックの学習過程が行われ、5つの学習モデルが作成された。

4) 診断能の決定

学習モデルをそれぞれのテストデータセットに適応して、それぞれの fold での診断能が計算され、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

2人の20年以上の経験を有する歯科放射線専門医が、遠心根の根数の判定を行った。深層学習と歯科放射線専門医の診断能は Mann-Whitney U 検定を用いて比較した。AUC の比較には χ^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

遠心根が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

遠心根の根数の判定において、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 は深層学習が有意に大きい値を示した。

IV. 考察

1. 根および根管形態について

遠心根の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、その頻度は人種によって異なる。ヨーロッパ人では遠心舌側根の頻度は 5%未満とされているが、日本人では 23.6%、中国人では 22.1%と高い頻度が示されている。今回の結果は 20.8%であり、東アジアの報告に一致した。

Vertucci の根管形態の分類は一般的に使用され、CBCT でこの分類を行った報告が多くみられる。Vertucci は近心根の形態は Type IV(43%)と Type II(28%)が高頻度でみられると報告した。本研究では Type IV が 74.4%、Type II が 19.7%であり、Zhang らや Celikten らの報告に近い結果を示した。遠心根の形態について Vertucci は Type I が 70%にみられたと報告した。本研究では Type I が 60.7%であり、他の報告(65.3%~84.6%)と同様の結果を示した。遠心根管は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。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。しかし歯科領域ではまだ広く適用されているとは言えない。歯内療法領域への応用として、本研究ではパノラマ X 線画像における下顎第一大臼歯の根数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あり、これには多分割検証法の使用が有効である。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が必要となり、データ量が不十分な場合はデータ拡張が適用される。本研究ではデータ拡張後にそれぞれの群に 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。

生活歯の形態の観察には CBCT が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ので、本研究では CBCT 所見をゴールドスタンダードとして用いた。遠心根における過剰根の有無の判定では、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、歯科放射線専門医と同様の診断能であった。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考えられる。もしパノラマ X 線診断能が向上すれば、それによって CBCT 検査の適応を決定できるかもしれない。

深層学習システム適応の利点の一つとして、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。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。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。本研究で使っ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数と根管形態の評価

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。