

学位論文内容の要旨

愛知学院大学

論文提出者

渡邊裕文

論文題目

パノラマ X 線画像による上顎骨嚢胞様病変の診断における物体検出機能を備えた深層学習システムの利用

I 緒言

近年、深層学習 (deep learning) を利用した人工知能を医療用画像へ適用して、診断能の向上を目指す研究が増加してきており、歯科領域でもパノラマ X 線画像による病変の診断について深層学習を利用したコンピュータ支援診断 (computer-assisted detection/diagnosis: CAD) システムに関する種々の研究が行われている。従来型の CAD システムは観察者や画像処理技術によって特徴量をあらかじめ抽出し、これに基づいて構築されたシステムを診断に用いるもので、種々の方法が報告されている。これに対して深層学習システムでは、畳み込みニューラルネットワーク (CNN: convolutional neural network) を利用して人工知能が自動的に学習を行うので、特徴量の抽出や入力などの操作は不要であり、得られた学習モデルにテスト用のデータを入力するだけで結果が得られる。パノラマ X 線画像の診断では人工知能の機能として、画像の分類 (classification) や物体検出 (object detection) などが頻繁に使用されている。申請者の所属する施設でも、下顎に発生する嚢胞様病変 (cyst-like lesion) に適用した結果、人工知能は高い検出能を有しており、自動診断への可能性が示されたことを報告している。嚢胞様病変とは、歯科の X 線画像診断で一般的に使用される用語で、X 線画像上で、境界明瞭な透過性を

示し、通常嚢胞を示唆するとされる所見で、病理組織学的な診断としては、歯根嚢胞などの上皮性嚢胞はもとより、単純性骨嚢胞などの非上皮性嚢胞や歯原性腫瘍などの良性腫瘍を含むもので、X線透過性（骨吸収性）の良性病変とされる。

パノラマX線画像における下顎の嚢胞様病変は周囲をX線不透過性の骨に囲まれており、コントラストが十分であるために比較的検出しやすいと考えられる。一方、上顎の嚢胞様病変については、鼻腔や上顎洞のように正常では空気を含みX線透過性の高い構造が隣接するために検出が困難になることもあると思われる。さらに硬口蓋や下鼻甲介の陰影が重畳してコントラストの低下をきたすことも予想される。

以上より本研究では、物体検出機能と分類機能を備えた深層学習システムをパノラマX線画像に適用し、上顎骨に発生した嚢胞様病変に対する診断能を検証することを目的とした。

II 方法

この研究は愛知学院大学歯学部倫理委員会の承認(承認番号：496、577)を得て、ヘルシンキ宣言に則って行われた。

1. 対象

対象は愛知学院大学歯学部附属病院においてパノラマX線画像

検査をおこなった症例で、上顎骨に発生した嚢胞様病変 410 例(女性 191 例、男性 219 例)である。パノラマ X 線画像で直径 10 mm 以上の嚢胞様病変を認め、病理組織学的に確定診断の得られた症例とした。病理組織学的診断の内訳は歯根嚢胞が最も多く(299 例、323 病変)、次いで鼻口蓋管嚢胞(44 例、44 病変)、含歯性嚢胞(36 例、37 病変)、歯原性角化嚢胞(22 例、23 病変)であった。病変の発生部位を切歯から犬歯の間前方と小臼歯より遠心の後方に分類すると、291 (66.7%) 病変が前方に、145 (33.3%) 病変が後方に位置していた。

2. 画像の準備

パノラマ X 線画像は Bitmap 形式(.BMP)で画像データベースからダウンロードし、900 × 900 ピクセルの画像とした。

3. 訓練データ、検証データおよびテストデータの割付

すべての画像を任意に訓練データ、検証データおよびテストデータに割付けたが、それぞれの疾患の割合が各データでおおそよ等しくなるようにした。

4. アノテーション

訓練データと検証データにおいて、病変を囲む長方形の region of interest (ROI)を設定し、この ROI の左上と右下の座標を病変ごとに記録した。ここで、病変の病理組織学的分類を「歯根嚢胞」

と「それ以外の病変」の2分類とした。これらの class 分類と座標を含むラベルをテキスト形式で作成した。

5. 深層学習システムの構成

深層学習システムは GPU (Graphic processing unit) として 11GB の NVIDIA GeForce GTX を用いて Ubuntu OS (Operating system) 上に構築された。CNN としては DIGITS Library に提供されている DetectNet を Caffe のフレームワークで使用した。

6. 学習および推論過程

訓練データと検証データおよびそれらのラベルが深層学習システムに転送され、1000 エポックの学習が行われた。作成された学習モデルにテストデータを適用すると、学習モデルが病変を検出した場合は、その境界を示す長方形のボックスがパノラマ X 線画像上に描出され、歯根嚢胞 (jaw1) と分類した場合は赤のボックスで、その他の病変 (jaw2) と分類した場合は青のボックスで提示される。

7. 検出能および分類能の評価法

検出能の評価のために IoU (Intersection over Union) の方法を用い、IoU が 0.6 以上の場合に物体検出が成功したとし、分類結果にかかわらず検出された病変について

再現率 (Recall) = $TP / (TP + FN)$

適合率 (Precision) = $TP / (TP + FP)$

F1 値 (F1-score) = $2 \cdot Precision \cdot Recall / (Precision + Recall)$

を算出した。

次に検出された病変について分類能の評価を行った。歯根嚢胞 (jaw1) およびその他の病変 (jaw2) をそれぞれ正しく検出した場合を真陽性として、感度を計算して、これを分類能とした。

III 結果

1. 検出能

上顎骨に発生した嚢胞様病変全体の再現率、適合率および F1 値は、それぞれ 77.1%、90.0% および 83.1% であった。前方と後方を比較すると前方の病変の検出能が高い値を示した。歯根嚢胞とその他の病変を比較すると、再現率は歯根嚢胞が高い値を示した。

2. 分類能

歯根嚢胞についての分類能は 100.0% であった。またその他の病変については、71.4% であった。分類能は歯根嚢胞が高い値を示した。

IV. 考察

近年、深層学習システムを医用画像へ適用する多くの研究が報

告されているが、歯科領域でも、画像分類、物体検出あるいは領域分割などの機能を利用した報告が増加している。物体検出の機能に関しては、頸動脈の石灰化、下顎骨嚢胞様病変、歯根破折などの検出や歯牙の検出と番号付けなどの研究が行われている。

申請者の施設では以前の研究で、物体検出の技術を用いると、パノラマX線画像で下顎の嚢胞様病変を88%という高い再現率で検出できることを報告した。本研究は、パノラマX線画像において上顎の骨吸収性病変の DetectNet による検出能（再現率、適合率、F1 値）を検証することを目的としたが、その結果、再現率 (Recall) は77.1%となり、以前報告した再現率(88%)よりも低い値となった。これは下顎ではほとんどの病変が周囲をX線透過性の低い骨で囲まれているのに対して、上顎では鼻腔や上顎洞など骨吸収性病変と同様にX線透過性の高い領域が近接することや、下鼻甲介や硬口蓋などの他の構造が重責するために、検出が困難になるものと思われる。

部位（前方と後方）による検出能を比較すると、前方のほうが高い値を示した。これは、前方の病変数は後方のものより多く、十分な学習が行われたためと思われる。さらに、後方では歯原性角化嚢胞などの比較的大きな病変が多く含まれ、上顎洞病変や上顎洞自身との区別がつかなかったことも原因かもしれない。

図 3 に示したように、側切歯および犬歯部と大臼歯部で偽陽性の判定が多くみられたが、前歯部では犬歯窩の骨が菲薄になる部分を誤検出しており、大臼歯部では歯槽部まで広がった上顎洞を誤検出していた。

病変別（歯根嚢胞とその他の病変）に検出能を比較すると、再現率は歯根嚢胞のほうが高く、適合率はその他の病変のほうが高く、F1 値はほぼ同等値を示した。検出できた症例についての分類能は歯根嚢胞が高い値を示した。この理由としても、歯根嚢胞の症例数が多いことがあげられるであろう。さらに歯根嚢胞は根尖に円形で見られるという部位的あるいは形態的特徴が関係しているかもしれない。病変分類では、前方の歯根嚢胞では鼻口蓋管嚢胞や含歯性嚢胞との鑑別が必要であるが、これらは比較的容易であったと思われる。歯根嚢胞は歯根尖周囲に、鼻口蓋管嚢胞は歯とは関係なく正中部に、含歯性嚢胞は歯冠周囲に発生するという特徴が理由の一つとしてあげられるであろう。一方、後方の歯根嚢胞では歯原性角化嚢胞や含歯性嚢胞あるいは他の歯原性腫瘍との鑑別が必要となるが、これらの疾患は数が少なく、十分な学習が行われていない可能性がある。さらに、後方の比較的大きな病変では、上顎洞や上顎洞に発生した病変と混同される可能性がある。逆に、小さなエナメル上皮腫が歯根嚢胞と誤分類されたよう

に、今回使用した症例数を考慮すると、小さな病変は歯根嚢胞に分類された可能性が高いと思われる。

上顎の歯根嚢胞については、比較的高い検出能と分類能をもつ学習モデルを作成できる可能性が示されたが、この研究にはいくつかの欠点があると思われる。まず、深層学習システムの最終的な有用性を決定するには症例数が少ないことである。特に歯根嚢胞以外の病変に対する検出能と分類能を向上させるには多くの症例の収集が必要であると思われる。今後は他の施設で撮影された症例も含めて、より多くのパノラマX線画像を用いて学習モデルを作成することが重要と思われる。次いで、実際の臨床使用を考慮に入れると、種々の部位の種々の病変について、それぞれに学習モデルを適用するとなると、画像の判定には多大な時間を要することが推察される。効率的な学習モデルの作成が必要となるが、上顎および下顎の嚢胞様病変を同時に検出し分類するモデルも必要となるであろう。さらに、上顎洞に広く進展した病変では、上顎洞原発の病変との鑑別が必要となるため、これを考慮したモデルを作成することも求められる。

V. 結論

DetectNet を用いた深層学習システムで作成した学習モデルは、

パノラマX線画像において、上顎骨嚢胞様病変を再現率77.1%で検出し、検出された病変では歯根嚢胞は100%の感度で分類できた。