

学位論文内容の要旨

愛知学院大学

論文提出者	村田 淳
論文題目	パノラマ X 線画像による上顎洞炎診断のための深層学習システム

I. 緒言

上顎洞炎はしばしば根尖性歯周炎や辺縁性歯周炎に関連して引き起こされ、歯科医師がパノラマ X 線画像を用いて上顎洞炎の有無を判定する必要に迫られることもしばしばある。臨床研修歯科医師などの読影経験の浅い観察者にとって、パノラマ X 線画像で上顎洞内やその周囲に発生した病変を正しく診断することは困難なことも多い。このような状況に対して経験の少ない観察者の画像診断支援のために、コンピュータ支援検出 (CAD) システムの開発がなされてきた。また近年では深層学習システムの歯科領域での応用も試みられている。

本研究の目的は、深層学習システムをパノラマ X 線画像における上顎洞炎の診断に適用し、その診断能を明らかにすることである。

II. 対象と方法

1. 対象

本研究は愛知学院大学歯学部倫理委員会の承認を得て (No. 496)、ヘルシンキ宣言に則って行われた。

対象は画像データベースに保管された画像から抽出した。CT あるいは CBCT 画像で粘膜肥厚あるいは液体貯留の所見が上顎洞全体の 3 分の 1 以上にみられるものを上顎洞疾患ありとし、以下上顎洞炎群とした。大きな粘液貯留嚢胞も上顎洞炎群に含めた。対照は他の疾患のために CT あるいは

CBCT 検査が施行され、上顎洞全域が十分に含まれ、粘膜肥厚が 4 mm 以下のものを健常な上顎洞とし、以下健常群とした。

訓練データのためにそれぞれ 100 例からなる 4 グループ、すなわち両側上顎洞が健常なもの、左側上顎洞に病変を有するもの、右側上顎洞に病変を有するもの、両側上顎洞に病変を有するものが抽出された。テストデータのためには、両側上顎洞が健常な 30 例と片側上顎洞に病変を有する 60 例の 2 グループが抽出された。訓練—テスト症例間および各グループ間で男女比や平均年齢に差はなかった。

2. 訓練データ用画像の準備とデータ拡張

訓練用の画像パッチを作成するために、片側上顎洞を含むように 200 x 200 ピクセルの矩形の関心領域をパノラマ X 線画像上に設定した。画像処理ソフトウェア (Adobe Photoshop) のマクロ機能を用いて、全症例のパノラマ X 線画像において左右側それぞれの上顎洞に設定された関心領域が半自動的に切り取られた。結果的に、健常な上顎洞と炎症性の上顎洞それぞれについて 400 の画像パッチが作成された。

学習モデルの信頼性を高めるために、IrfanView を使用してデータ拡張が行われ訓練データの数が増強された。画像の輝度、コントラスト、鮮鋭度などの変更がなされた結果、健常および炎症性の上顎洞それぞれについて 6000 の画像パッチが作成された。

3. テストデータの準備

テストデータ用の画像パッチも同様に作成された。健常群と両側に健全な上顎洞を有する 30 例の患者のパノラマ X 線画像から左右側それぞれの上顎洞を切り取り 60 の画像パッチが、また上顎洞炎群として片側に炎症性的上顎洞を有する 60 例の患者のパノラマ X 線画像から炎症側の上顎洞を切り取り 60 の画像パッチが作成された。

4. 深層学習の過程

深層学習システムは 11GB の NVIDIA GeForce GTX 1080Ti の GPU 上に構築された。深層学習トレーニングシステムは DIGITS (NVIDIA) を使用し、フレームワークとして Café を、ネットワークとして AlexNet を採用した。DIGITS の「分類 (Classification)」を使用して学習過程を遂行した。

訓練用の画像パッチが深層学習システムに適用され、200 エポックの学習が行われた。テスト用の画像パッチを作成された学習モデルに適用して、正診率、感度、特異度、陽性的中率、陰性的中率を求めた。さらに ROC 曲線を描いて曲線下の面積 (AUC) を求めた。

5. 観察者の診断能との比較

20 年以上の経験を有する歯科放射線専門医 2 名と卒後 1 年未満の臨床研修歯科医師 2 名がパノラマ X 線画像上で上顎洞炎の有無を判定した。数例

のパノラマ X 線画像で練習を行った後に、実際の判定を行った。深層学習の評価に使用したテストデータ用画像と同じ 120 の上顎洞をモニター上で観察し、上顎洞炎の有無を 4 段階で評価した (1: 上顎洞炎が存在しない。2: 上顎洞炎がおそらく存在しない。3: 上顎洞炎がおそらく存在する。4: 上顎洞炎が存在する)。判定結果に基づいて、正診率、感度、特異度、陽性的中率、陰性的中率および AUC を決定し、深層学習の診断能と比較した。

6. 統計的解析

AUC の比較は χ^2 検定によった。観察者間の判定の一致度は Cohen κ 値を使用した。危険率 5%未満を統計的に有意とした。

III. 結果

深層学習システムによる正診率、感度、特異度はそれぞれ 87.5%、86.7% および 88.3%であった。歯科放射線専門医による診断ではそれぞれ、89.6%、90.0%および 89.2%であったが、臨床研修歯科医師では 76.7%、78.3%および 75.0%であった。深層学習による診断能は歯科放射線専門医と同等であった。

AUC は深層学習システムで 0.875、歯科放射線専門医で 0.896、臨床研修歯科医師で 0.767 であった。深層学習システムの AUC は歯科放射線専門医と同等で、臨床研修歯科医師よりも高く有意差を認めた (深層学習システム vs 歯科放射線専門医: $p=0.4670$ 、深層学習システム vs 臨床研修歯科

医師： $p=0.0018$ 、歯科放射線専門医 vs 臨床研修歯科医師： $p=0.0001$ 、 χ^2 検定)。

2名の歯科放射線専門医における判定は κ 値0.733と十分な一致度であったが、臨床研修歯科医師における一致度は0.508と中等度の値を示した。

IV. 考察

本研究で作成した深層学習システムでは、正診率 87.5%、感度 86.7%、特異度 88.3%、ROC 解析における AUC は 0.875 と歯科放射線専門医と同等で十分に高い診断能を示した。一方、臨床研修歯科医師は深層学習システムおよび歯科放射線専門医に比較して低い診断能であった。これらの結果に基づくと、本研究で作成された人工知能を用いたシステムは、パノラマ X 線画像による上顎洞炎の診断において、特に経験の少ない観察者に対して、診断支援が可能となることが示された。

多層畳み込みニューラルネットワークに画像パッチを入力すると、深層学習システムが学習過程を繰り返し、学習モデルを作成する。このようにして作成された学習モデルは病変の検出や分類、領域分割など様々な領域で利用されている。本研究ではパノラマ X 線画像における上顎洞炎の診断について、5層の畳み込み層と3層の全結合層を有する AlexNet を使用して、病変分類の学習過程が遂行された。GoogleNet などのさらに進化したニューラルネットワークの応用も可能かもしれないが、本研究で使用した 12000

の画像パッチの学習では、AlexNet は十分に有効であり、短時間で問題なく学習モデルを作成できた。深層学習では、臨床データなどデータが少ないときにはデータ拡張の手法を用いることが多く、訓練データを数倍に拡張できる。十分に有効な学習モデルを作成するためには訓練データの数をどれほどにすればよいかを事前に確定する方法はないが、本研究で 87.5% の高い診断能が得るには、使用した訓練データ数は適切であったと考えられた。

以前の研究で開発した CAD システムは、サブトラクションの技術を利用して、左右の上顎洞の透過性を比較することによって、片側性の上顎洞炎を検出した。このシステムを利用した診断支援によって、臨床研修歯科医師など経験の少ない観察者の診断能を経験豊富な歯科放射線専門医の診断能に匹敵するまでに向上することができた。しかしながら、経験豊富な歯科放射線専門医では CAD システムを使用しなくても高い診断能を示し、その利用によって診断能が向上することはなかった。この CAD システムの結果と本研究のそれを直接的に比較することはできないが、両研究において歯科放射線専門医は本研究の人工知能システムと同等の高い診断能を示した。以前の CAD システムは、読影者の診断支援を目的として作成されたが、本研究におけるシステムはそれ自身で上顎洞炎を分類でき、高い診断能を示したことを考慮すると、パノラマ X 線画像の自動診断を可能とするシステムと位置付けることができる。

本研究はパノラマ X 線画像の完全自動診断システム確立を目指す研究の一部と位置付けることができるが、この目的を達成するためには多くの解決しなければならない問題がある。本研究では画像パッチは市販のソフトウェアを用いて半自動的に行ったが、最終ゴールに達するには、完全自動化された画像パッチの切り出しシステムの開発が必要不可欠である。さらに、臨床応用を目指した研究も企画されなければならない。つまり、他の施設および他のパノラマ装置で撮影された画像を収集して訓練データを増加することによって、さらに高精度の学習モデルを作成することが可能となる。

V. 結論

パノラマ X 線画像による上顎洞炎の診断に深層学習システムを適用したところ、正診率 87.5%、感度 86.7%、特異度 88.3%、ROC 解析における AUC は 0.875 と高い診断能を示した。この診断能は臨床研修歯科医師よりも高く歯科放射線専門医と同等であった。パノラマ X 線画像による上顎洞炎の診断には、深層学習による診断支援が十分に可能であることが示された。