

学位論文内容の要旨

愛知学院大学

論文提出者

桑名良輔

論文題目

パノラマ X 線画像による上顎洞病変自動診断のための
深層学習システム

I. 緒 言

パノラマX線画像における上顎洞やその周辺の構造には鼻腔底や硬口蓋あるいは下鼻甲介などの不透過性の構造が重って描出されることが多く、この領域に発生した病変の読影が困難となる場合がある。この問題を解決する一つ的手段として、コンピュータ処理技術を用いて画像情報の定量化や分析を行うコンピュータ診断支援(CAD)システムが開発され、病変の検出や分類(診断)に用いられてきた。近年では、深層学習技術を用いた人工知能が開発され、CADシステムに適用されるようになった。パノラマX線画像を用いて上顎洞病変の全自動診断を行うためには、上顎洞を自動的に検出するシステムが必要となるが、これには対象となる領域を自動的に検出することができる物体検出機能と検出物体の分類を同時に行う機能を備えた深層学習システムが有用と考えられる。

本研究では、第1の目的として、パノラマX線画像において上顎洞の領域を検出するという深層学習システムの物体検出能を評価することとした。ここでは病変の有無にはかかわらず、上顎洞自体の検出が出来るか否かを評価した。第2の目的として、この深層学習システムによって、健常な上顎洞を健常群として、炎症を有する上顎洞および嚢胞性疾患を有する上顎洞との分類ができるか否かという分類能の評価を行うこととした。

II. 材料と方法

1. 対象

対象症例は愛知学院大学歯学部附属病院の画像データベースから選択した。選択された症例は、パノラマX線画像に加えて、コンピュータ断層法 (CT) あるいは歯科用コーンビーム CT (CBCT) 検査がパノラマX線撮影の後 3 週間以内に施行されたものである。CT および CBCT はゴールドスタンダードとして上顎洞炎の有無の判定に使用し、パノラマX線画像は深層学習のためのデータセットとして使用した。学習モデル作製のための健常上顎洞のデータとして、上記の患者のうち対側に疾患を有さないことが CT あるいは CBCT で確定できた 351 の上顎洞と、上顎洞に臨床症状を示さず他の疾患 (埋伏歯、顎変形症、顎関節疾患など) で CT あるいは CBCT を行った 141 名の患者のパノラマX線画像における両側の 282 の上顎洞を用いた。CT あるいは CBCT による健常上顎洞の定義は、4 mm以上の粘膜肥厚を示さないものとした。これらを健常群 (Class 0) とした。上顎洞炎の患者は頬部腫脹や上顎歯周囲からの排膿を認めた症例で、CT あるいは CBCT で液面形成あるいは上顎洞の 3 分の 1 を超える粘膜肥厚などの軟組織構造を認めるものとした。結果として、348 名の患者 (男性 166 例、女性 182 例、平均年齢 50.8 歳) の 435 の上顎洞に加えて、片側性に嚢胞様所見

を呈した症例の対側上顎洞が炎症所見を示した 16 の上顎洞を含めて合計 451 の上顎洞を炎症群 (Class 1) とした。さらに、片側に上顎洞炎を持つ患者については、その反対側の 261 の上顎洞を CT あるいは CBCT で確認の上、健常群 (Class 0) とした。嚢胞性疾患を有する上顎洞としては、粘液貯留嚢胞、術後性上顎嚢胞が存在する症例および歯原性の嚢胞様疾患が上顎洞に及んだものを選択した。嚢胞様疾患とは X 線画像で嚢胞様の境界明瞭な単胞性の透過像を示す病変で、数例の歯原性腫瘍を含んでいる。合計で、161 名の患者 (男性 96 例、女性 65 例) の 180 の上顎洞を嚢胞群として Class 2 に割り当てた。さらに、術後性上顎嚢胞を除く症例の対側上顎洞 (90 の上顎洞) を健常群 (Class 0) に追加し、学習モデルを作製する過程およびテストの過程で使用した。

2. 深層学習のためのデータセットの作製とアノテーション

パノラマ X 線画像は附属病院の画像データベースから、900 × 900 ピクセルの BMP フォーマットでダウンロードされた。健常群 (Class 0)、炎症群 (Class 1) および嚢胞群 (Class 2) は任意に訓練データ、検証データおよびテストデータに割付けられた。作製された学習モデルにテストデータを適用して、モデルの性能を評価した。

訓練データと検証データでは、アノテーション（ラベルの作製）が行われた。片側の上顎洞を十分に含む長方形の ROI (region of interest) を設定し、その左側上縁と右側下縁の角の座標を Class 分類と共に記録した。これらのラベルはテキスト形式で保存され、学習過程に使用された。

3. 深層学習の方法

深層学習システムは GPU (Graphic processing unit) として 11GB の NVIDIA GeForce GTX (Nvidia Corp., Santa Clara, USA) 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。DetectNet は物体検出のみならず、検出した物体を分類（診断）する機能も併せ持つ CNN である。作製された学習モデルにテストデータを適用すると上顎洞の領域が自動的に検出され、病変の種類 (Class) によって、異なる色の長方形でパノラマ X 線画像上に描出される。学習モデルがパノラマ X 線画像 (テストデータ) 上の上顎洞を健常群 (Class 0) と推定した場合には赤、炎症群 (Class 1) とした場合には青、嚢胞群 (Class 2) とした場合は緑の長方形が描出される。

4. 検出能および分類能の評価法

検出能を評価するために、再現率 (Recall: Sensitivity)、適合率 (Precision: Positive predictive value)、両者の調和平均である F1 値および一画像あたりの偽陽性率 (False-positive rates per image) を算出した。次に、上顎洞が上顎洞として正しく検出された画像 (テストデータ) について、炎症群 (Class 1) および嚢胞群 (Class 2) を健常群 (Class 0) から分類する際の感度、特異度および正診率を算出した。

III. 結果

作製された学習モデルの性能をテストデータで評価するのに要した時間は 12 秒であった。全例の再現率は 0.994 で検出できなかったのは嚢胞群における 1 上顎洞のみで、健常群および炎症群ではすべての上顎洞が検出できた。偽陽性は健常群および炎症群ではみられず、一画像あたりの偽陽性は嚢胞群で 0.087、全体では 0.012 であった。炎症群を健常群から区別する場合には、正診率、感度、特異度はそれぞれ 0.943、0.939、0.946 であった。嚢胞群を健常群から区別する場合には、感度がやや低くなったが、両者の合計で見ると正診率 0.939、感度 0.930、特異度 0.946 であった。

IV. 考 察

本研究で使用した 11GB の GPU では 1000 エポックの学習に 15 時間を要したが、さらに強力な GPU を使用すれば、この時間を短縮することは可能と思われる。臨床での使用を想定した場合には推論 (テスト) 過程に要する時間が問題となるが、この過程に要した時間は 12 秒であり、十分に短く臨床での使用は可能と思われる。

今回のテストデータは少数であるが、健常群および炎症群ではすべての上顎洞が正しく検出され、嚢胞群でも検出率は 0.957 と良好な結果であった。一画像当たりの偽陽性も 0 に近く、今回作製された学習モデルは臨床使用には十分な検出能を有するものと考えられた。他の施設や装置で取得されたデータによって検証されなければならないが、上顎洞はパノラマ X 線画像上で比較的広範な領域を占める構造であり、検出の対象としては容易であると考えられる。

炎症群と健常群では上顎洞はすべて正しく検出され、その分類でも正診率が 0.943 となり、非常に高い精度で分類できたことになる。嚢胞群の再現率は 0.957 であり、23 上顎洞中 22 上顎洞が検出された。その健常群に対する分類能は 0.833 の感度であった。従って正しく検出されて、正しく嚢胞群と分類されたのは $0.957 \times 0.833 = 0.800$ となり、嚢胞群では 80% の症例が正しく診断さ

れたことになる。比較の対象を過去の論文に見出すことはできないが、比較的高い診断能を示していると思われる。

この研究にはいくつかの欠点があると考えられる。まず、結論を一般化するにはテストデータ数が少ないことが挙げられる。また訓練データを含めて、根治術後で嚢胞形成の無い上顎洞や線維性異形成症や骨肉腫などの上顎洞を形成する骨に原発する腫瘍性疾患が含まれていない。これらの症例は発生自体が少なく、収集が困難であるが、将来的にはこれらを判別するモデルも必要となる。次に、今回は DetectNet を使用したが、他の施設からの報告では、faster R-CNN や YOLO など他のネットワークが使用されている。より高性能のシステムを構築するためには他のネットワークによる結果との比較も必要となると考えられる。

V. 結論

1. 上顎洞炎及び嚢胞様上顎洞疾患のパノラマX線画像における診断に対して、DetectNetを利用した深層学習システムを適用して、上顎洞の検出能およびその病変の分類能を検証した。
2. 再現率は健常上顎洞および炎症性上顎洞で1.000、嚢胞様疾患上顎洞で0.957であった。
3. 分類能も0.900以上の正診率を示した。

4. 以上より、物体検出と分類の機能を備えたDetectNetによる深層学習システムは、パノラマX線画像において上顎洞疾患の自動診断の可能性を示すものと結論した。