

歯科パノラマ X 線写真における上顎洞炎の検出手法の高度化

三木 勇磨[†], 原 武史[†], 村松 千左子[†],
林 達郎^{††}, 勝又 明敏^{†††}, 周 向荣[†], 藤田 広志[†]

[†]岐阜大学大学院医学系研究科知能イメージ情報分野 〒501-1194 岐阜県岐阜市柳戸 1-1

^{††}メディア株式会社 〒113-0033 東京都文京区本郷 3-26-6

^{†††}朝日大学歯学部口腔病態医療学講座放射線学分野 〒501-0296 岐阜県瑞穂市穂積 1851-1

(2015年7月10日受付, 2015年10月13日最終受付)

Advanced automatic method for detecting maxillary sinusitis on dental panoramic radiographs

Yuma MIKI[†], Takeshi HARA[†], Chisako MURAMATSU[†],
Tatsuro HAYASHI^{††}, Akitoshi KATSUMATA^{†††}, Xiangrong ZHOU[†], Hiroshi FUJITA[†]

[†]Department of Intelligent Image Information, Graduate School of Medicine, Gifu University
1-1, Yanagido, Gifu-shi, Gifu 501-1194, Japan

^{††}Media Co., Ltd.,

3-26-6, Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo 113-0033, Japan

^{†††}Department of Oral Radiology, Asahi University School of Dentistry,

1851-1, Hodumi, Mizuho-shi, Gifu 501-0223, Japan

(Received on July 10, 2015. In final form on October 13, 2015)

Abstract : In this study, we propose an improved method to detect abnormal regions in maxillary sinuses by accurate determination of regions of interest (ROIs) based on the anatomical information. The ROIs are set based on the automated search of a hard palate and the average widths of tooth crowns. Preferably, dental panoramic radiographs are obtained with the Frankfort plane aligned horizontally. In order to manage the ROI setting in images with inappropriate positioning, the ROI locations are individually adjusted on the basis of the relationship between the reference line and the alveolar line. The proposed method was evaluated with two databases, DB-1 and DB-2, consisting of 59 and 39 images. Using the proposed method, the average concordance rate (Jaccard Index) was improved by more than 10%. The areas under the ROC curves for the sinusitis detection were comparable (0.86 and 0.82 for the two databases) with the previous method. As a result, it is expected that the reliability of the computer output was increased with the improved ROI determination.

Keywords : computer-aided detection (CADe), dental panoramic radiograph, maxillary sinus, contralateral subtraction, ROI

1. はじめに

近年, 歯科治療を行う際のスクリーニングとして, 顎骨と歯の全体像が観察可能なデジタルパノラマ X 線画像を撮影する歯科医師が増えている。パノラマ X 線画像で観察可能な解剖構造の一つに上顎洞がある。上顎洞には, 一般に蓄膿症と呼ばれる上顎洞炎が生じる。正常な上顎洞は, 内部が空気で満たされており, X 線画像上で黒い X 線透過像を示すが, 上顎洞炎によって内部に液体貯留や粘膜肥厚を生じた患者のパノラマ X 線画像では, 上顎洞内が白く X 線不透過性に描出される。しかし, 上顎洞内 X 線透過性の微細な変化を肉眼的に確認するのは難しい。また, 歯科医師は日常的に歯とその周囲の骨を重点的に観察して, 上顎洞領域にはあまり注意を払わないため, 異常が見逃されるケースも心配される。そこで, 歯科パノラマ X 線像から上顎洞炎の疑いがある症例を検出するコンピュータ支援検出 (computer-aided detection : CADe) システムの開発が期待されている[1]。

他のグループの研究では, 副鼻腔 X 線写真における上顎洞陰影の定量解析に関する研究が報告されている[2]。ここでは, 上顎洞内の関心領域内の平均銅相当厚値を眼窩内の関心領域内の平均銅相当厚値で除した値は, 陰影の程

度を客観的に判別できたと結論づけている。我々は, 副鼻腔の撮影を目的としない歯科パノラマ X 線写真上に撮像される上顎洞を対象とし, 異常を検出するシステムを開発してきた[3-5]。歯科パノラマ X 線写真は, 副鼻腔 X 線写真に比べて国内の撮影件数は非常に多く, 大きなスクリーニング効果が期待できると考える。このシステムでは, まず原画像と原画像を左右反転させた画像との差分画像を作成する。単なる差分処理では画像に位置ずれが生じてしまうことがあるため, 相互情報量[6]による位置合わせを用いてずれを補正する。次に, 左右の上顎洞領域を関心領域として設定し, それぞれの領域内で平均濃度値を計算する。左右の関心領域の平均濃度値の差が閾値よりも大きい場合に「異常がある」と判断し, 閾値よりも小さい場合に「異常なし」と判断する。また平均濃度値が高い側に異常があるとする。このシステムにおいて, 左右の上顎洞領域を関心領域として正確に設定する必要があるが, 従来手法では経験に基づいて設定されており, 写り方に応じて柔軟な設定ができなかった。そこで本研究では, 解剖学的位置情報及び撮影ポジショニングを考慮した上顎洞領域の設定法を用いて関心領域を設定することで, 上顎洞領域設定の正確さの向上[7], 及びシステム性能の向上を試みた。

2. 方法

2.1 解剖学的な位置情報及び撮影ポジショニングを考慮した上顎洞領域の設定[7]

我々の従来法における上顎洞領域の設定は、下顎骨の幅に応じて経験的に決定していた[3-5]。今回我々は、解剖学的な位置情報及び撮影ポジショニングを考慮した上顎洞領域の設定法[7]を用いて、上顎洞領域の設定を行った。そして、これを用いて、異常領域検出精度の評価を ROC 解析によって行った。

2.1.1 上顎洞領域上端の設定

上顎洞領域の上端はフランクフルト平面と呼ばれる基準面を利用して設定を行う。フランクフルト平面とは外耳孔上端と眼窩下縁を結んでできる面である。フランクフルト平面は上顎洞領域の上端の位置とほぼ一致する。しかしながら、歯科パノラマ X 線写真上の外耳孔と眼窩下縁は、不明瞭であることが多い。そこで、これらの部位の代わりに、外耳孔と隣接している下顎頭の上端の位置を推定し、それによりフランクフルト平面を定める。下顎頭の上端は、下顎頭の上方に存在する側頭骨下顎窩との濃度差を利用して推定を行う。側頭骨下顎窩の濃度は比較的高く、また下顎頭の濃度は低い。濃度勾配が大きい点を下顎頭と側頭骨下顎窩の境界と判断し、下顎頭上端とする。下顎頭上端の画像縦方向の位置を関心領域上端として設定する。

2.1.2 上顎洞領域下端の設定

上顎洞領域の下端は、硬口蓋の位置を基準にして設定する。パノラマ X 線写真上の硬口蓋は、画像の中心部に高濃度で白く描出されるため、コンピュータでの認識が容易である。取得した硬口蓋の縦方向における位置を pl とし、硬口蓋から下顎骨輪郭[8]の先端までの長さを h とする。この時、画像縦方向の位置が $pl+h/7$ である位置を関心領域の下端として設定する。

2.1.3 上顎洞前壁の設定

パノラマ X 線写真上での上顎洞前壁は正中線から中切歯、側切歯を数えた位置（犬歯付近）に存在する。そのため、中切歯、側切歯の歯冠平均幅を用いて上顎洞前壁の位置設定を行う。歯冠平均幅を用いる理由は、歯牙欠損が認められる症例に対応するためである。パノラマ X 線写真の拡大率（1.3 倍程度）を考慮すると、前壁の位置は正中線から約 200 ピクセル離れた位置に存在する。よって、正中線から 200 ピクセル離れた位置を上顎洞前壁として設定する。なお、今回用いた試料画像のピクセルサイズは 0.1×0.1 [mm²]である。

2.1.4 上顎洞後壁の設定

パノラマ X 線写真は通常フランクフルト平面が地面と平行になるように患者の頭部を位置付けし、撮影を行う。しかしながら、必ずしも正しい位置付けで撮影されるとは限らない。顔が上下に傾いた状態で撮影されると、パノラマ写真上における像の写り方は変化する。上顎洞後壁は、顔が上を向いた状態で撮影された場合、通常よりも画像外側に像が形成され、顔が下を向いた状態で撮影された場合、通常よりも画像内側に像が形成される。我々は、歯列弓の形状と撮影ポジショニングの関係に注目した。撮影ポジショニングの違いによる写り方の違いを Fig.1 に示す。歯列弓は、顔が下を向くと通常時よりも「U字型」に湾曲し[Fig.1(a)], 逆に上を向くと「へ字型」に湾曲する[Fig.1(c)].

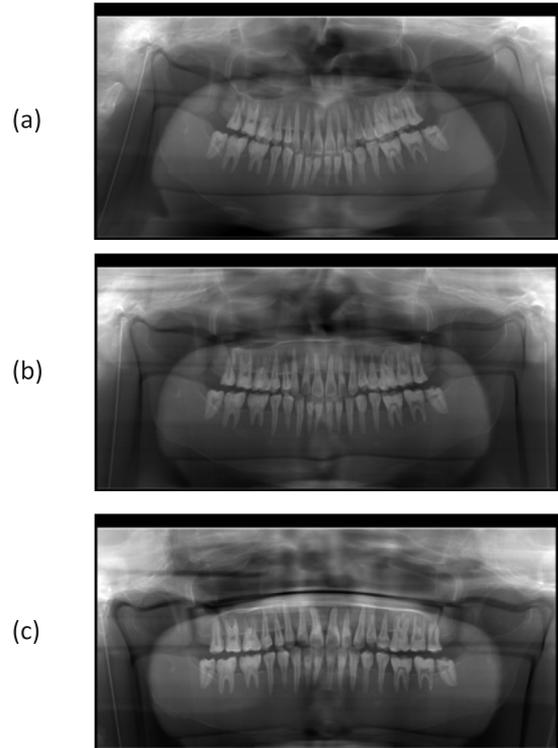


Fig.1 The difference by the patient positioning during examinations. (a) downward position. (b) normal position, (c) upward position.

歯列弓の湾曲度合いをコンピュータで認識し、湾曲度合いから撮影ポジション及び上顎洞後壁の位置を推定した。

2.2 異常判別

異常判別は、従来システムと同様の手法で行った[3-5]。まず、2.1において設定された位置に囲まれた領域を関心領域とする。差分画像に関心領域を適用し、左右それぞれの上顎洞領域において平均画素値を計算する。得られた左右の平均画素値の差が閾値以上であれば、システムは「異常あり」と判断し、閾値以下であれば「異常なし」と判断する。どちらに異常があるかは、平均画素値の大小により判別可能である。右関心領域の平均画素値の方が大きい場合、右上顎洞に異常があり、左関心領域の平均画素値の方が大きい場合、左上顎洞に異常があると判断する。本研究では、異常判別の性能を ROC 曲線下の面積（area under the curve：以下、AUC）により評価した。

3. 実験と結果

3.1 試料画像

本研究の実験では、2施設にて撮影された歯科パノラマ X 線写真を使用する。症例数は朝日大学のデータ（以下、DB-1）が 59 症例（正常 40 症例，異常 19 症例），日本大学のデータ（以下、DB-2）が 39 症例（正常 20 症例，異常 19 症例）である。すべての画像は、パノラマ X 線装置（Veraview epocs, Morita, Japan）と computed radiography（DB-1：Agfa, Germany, DB-2：FUJIFILM, Japan）を用いて撮影された。撮影条件は、フランクフルト平面を基準とする頭部の標準のポジショニング、X 線被曝の制御を自動モードに設定して行われた。異常例はすべて片側だけに炎症が存在するものであり、歯科医師が CT 等の他のモダリティにて異常を確認している。なお、両施設の倫理委員会の承認を得ている。

3.2 結果

手動でマーキングした上顎洞領域とシステムが設定した ROI の比較をおこなった[7]. 従来手法による ROI とマーキング領域の平均一致率 (Jaccard Index) は, DB-1 において $40 \pm 7.46\%$, DB-2 において $38 \pm 5.78\%$ であった. これに対し, 提案手法による ROI とマーキング領域の平均一致率は, DB-1 において $53 \pm 7.99\%$, DB-2 において $51 \pm 8.82\%$ であった. ここで, 一致率は両領域全体における共通領域の割合である. また, 両データベースにおいて平均一致率の上昇に関する有意差検定を行ったところ, 有意水準 5% で両者とも有意差が認められた (DB-1: $p < 0.00001$, DB-2: $p < 0.00001$). よって, 両データベースにおいて, 平均一致率は有意に向上していることが分かる.

次に, システムの性能評価を AUC によって評価した. ROC 曲線を Fig.2 に示す. 従来手法による AUC の結果は, DB-1 において 0.81, DB-2 において 0.89 であった. これに対し, 提案手法による結果は, DB-1 において 0.86, DB-2 において 0.82 であった. また, これらの性能に有意差は認められなかった. 出力結果の例を Fig.3 に示す. システムによって設定された関心領域は楕円で示されている. システムが異常と判断した場合には赤色の楕円で示し, 正常と判断した場合には緑色の楕円で示す. 示した画像は左側上顎洞に異常がある症例である. 従来手法による ROI の設定[Fig.3(a)]では, 上顎洞領域を十分に捉えきれていなかったため, 異常を検出することができていなかった. しかし, 提案手法[Fig.3(b)]においては, 眼窩下縁付近まで ROI として含めることができ, 異常の検出に成功している.

4. 考察

マーキング領域との平均一致率が従来手法に比べて向上し, 解剖学的位置情報及び撮影ポジショニングの影響を考慮した上顎洞領域の設定方法の有効性が示唆された. しかしながら, 平均一致率は, まだ 50% 程度であり十分に高くない. これは, ROI の形状を楕円形としたことが原因と考えられる. 幾何学的図形で近似するのではなく, 上顎洞領域の形に沿った設定方法が求められる. また, 撮影ポジショニングが, フランクフルト平面が水平な基準位置に対して大きく上下に傾いていた場合, 画像上のフランクフルト平面の位置と上顎洞上端の位置は, 必ずしも一致しない. したがって, 撮影ポジショニングに応じて上顎洞上端の設定を微調整する必要がある. 左右の顔の傾きについても未対応であるため, 今後は左右の顔の傾きも考慮した上で上顎洞領域を設定する必要がある.

システム性能には有意差は確認できなかった. システム性能の向上のためには, ROI の設定方法だけではなく, 金属補綴物の影響によるコントラストの変化や局所的に存在する炎症への対応が必要となる. また, 今回のシステムにおいては上顎洞の両側に異常があるケースに対応できない. 左右の上顎洞の濃度差だけではなく, 他の特徴を提案する必要がある.

5. 結語

解剖学的位置情報及び撮影ポジショニングを考慮して, 上顎洞領域を定める方法の有効性が, 平均一致率によって

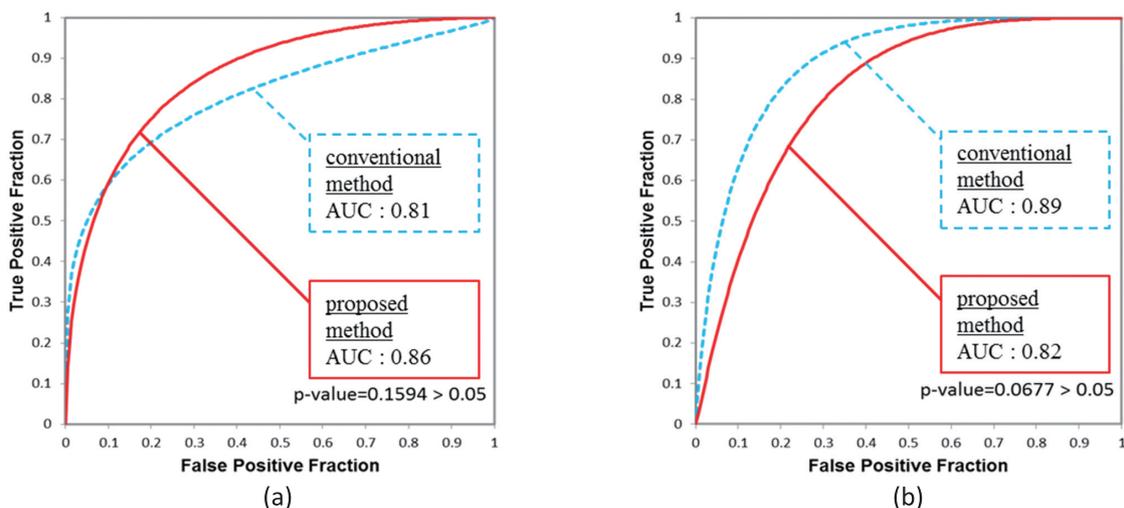


Fig.2 ROC curves for the conventional method and proposed method. (a) ROC curves with DB-1, (b) ROC curves with DB-2.

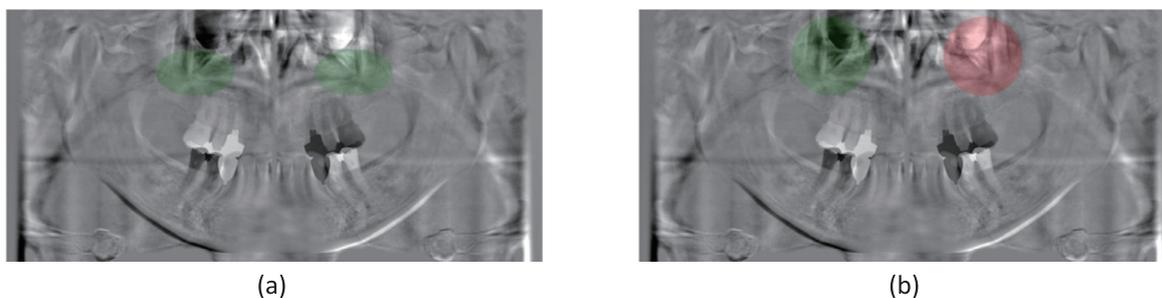


Fig.3 Comparison of the result images by the conventional method and proposed method (green : normal and red : abnormal)
(a) a result of the conventional method, (b) a result of the proposed method

示唆することができた。また、システムの性能については、ROC 曲線下の面積では有意差は認められなかったが、性能を落とすことなく上顎洞領域をより正確に ROI として設定することが可能となった。今後のシステム性能の向上には、金属補綴物による影響や局所的に存在する炎症への対応や ROI の形状の見直しが必要となる。

謝 辞

日本大学松戸歯学部放射線科・金田 隆氏、森 進太郎氏（現：森の歯科医院院長）に感謝申し上げます。なお、本研究の一部は日本学術振興会の科学研究費補助金（基盤 B：26293402，新学術領域研究：26108005）及び岐阜大学技術交流研究会活動助成金の支援によって実施しました。

参考文献

- [1] Katsumata A and Fujita H: Progress of computer-aided detection/diagnosis (CAD) in dentistry, *Japanese Dental Science Review*, 50, 63-68, 2014.
- [2] 田頭裕之, 中田 茂, 吉本正弘, 他: 上顎洞陰影の定量解析—上顎洞炎の CAD の試み, *日本放射線技術学会雑誌*, 52(6), 735-740, 1996.
- [3] Hara T, Mori S, Kaneda T, et al.: Automated contralateral subtraction of dental panoramic radiographs for detecting abnormalities in paranasal sinus, *Proc. of SPIE Medical Imaging 2011: Computer-Aided Diagnosis*, 7963, 79632R-1 - 79632R-6, 2011.
- [4] Mori S, Hara T, Tagami M, et al.: Automated detection of abnormalities in paranasal sinus on dental panoramic radiographs by using contralateral subtraction technique based on mandible contour, *Proc. of SPIE Medical Imaging 2013: Computer-Aided Diagnosis*, 8670, 86702R-1 - 86702R-6, 2013.
- [5] 原 武史, 田上元基, 森進太郎, 他: 歯科パノラマ X 線写真における左右差分像技術を用いた上顎洞の異常自動検出法, *電子情報通信学会論文誌 D*, 114(4), 885-891, 2013.
- [6] q Pluim JPW, Maintz JBA, and Viergever MA: Mutual information based registration of medical images: A survey, *IEEE Trans. on Med. Imag.*, 22(8), 986-1004, 2003.
- [7] 三木勇磨, 原 武史, 村松千左子, 他: 歯科パノラマ X 線写真における上顎洞領域の半自動決定法, *電子情報通信学会技術研究報告*, 114(482), 111-114, 2015.
- [8] Muramatsu C, Matsumoto T, Hayashi T, et al.: Automated measurement of mandibular cortical width on dental panoramic radiographs, *International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery*, 8(6), 877-885, 2013.