

歯科パノラマ X 線写真における 動的輪郭モデルを用いた下顎皮質骨の厚みの自動計測

松本 拓也[†] 林 達郎[†] 原 武史[†] 勝又 明敏^{††} 村松 千左子[†] 周 向栄[†]
飯田 幸弘^{††} 松岡 正登^{††} 片木 喜代治^{†††} 藤田 広志[†]

[†] 岐阜大学大学院医学系研究科再生医科学専攻知能イメージ情報分野 〒501-1194 岐阜県岐阜市柳戸 1-1

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

^{†††} 朝日大学歯学部附属病院放射線室 〒501-0296 岐阜県瑞穂市穂積 1851-1

E-mail: [†] matsumoto@fjt.info.gifu-u.ac.jp

あらまし 歯科パノラマ X 線写真に描出される下顎皮質骨の厚みの減少は、骨粗鬆症の危険性を示すスクリーニング指標として注目されている。しかし、パノラマ X 線写真の撮影の目的は歯科領域の検査であり、下顎皮質骨を注視する歯科医は少ない。そこで、我々は皮質骨の異常を歯科医に示唆するコンピュータ支援診断システムの開発に取り組んできた。本研究では、システムの性能を向上させるため、下顎骨の輪郭抽出において動的輪郭モデルを用いた改良を行った。提案手法では、まず下顎骨の下縁部から後縁部のエッジを抽出した。次に、動的輪郭モデルを用いて下顎骨の輪郭を推定した。最後に、輪郭情報から計測位置を決定し、下顎皮質骨の厚みを計測した。本手法を 100 症例に適用した結果、98/100 症例で正しく計測できた。また、下顎皮質骨の厚み 2.8 mm をしきい値として識別したとき、感度 89 %、特異度 94 %の結果を得た。

キーワード 骨粗鬆症, 歯科パノラマ X 線写真, 動的輪郭モデル, 下顎皮質骨, コンピュータ支援診断

Automatic method for measuring mandibular cortical thickness by using active contour model on dental panoramic radiographs

Takuya MATSUMOTO[†] Tatsuro HAYASHI[†] Takeshi HARA[†] Akitoshi KATSUMATA^{††}
Chisako MURAMATSU[†] Xiangrong ZHOU[†] Yukihiko IIDA^{††} Masato MATSUOKA^{††}
Kiyoji KATAGI^{†††} and Hiroshi FUJITA[†]

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

^{††} Department of Oral Radiology, Asahi University, 1851 Hozumi, Mizuho-shi, Gifu, 501-0296 Japan

^{†††} Radiological Technology, Asahi University hospital, 1851 Hozumi, Mizuho-shi, Gifu, 501-0296 Japan

E-mail: [†] matsumoto@fjt.info.gifu-u.ac.jp

Abstract The purpose of this study is to develop an automated mandibular cortical thickness (MCT) measurement method on dental panoramic radiographs (DPRs). The relevance of deteriorated MCT and osteoporotic diseases has been paid to attention. First, the mandibular contour was detected by use of an active contour model. The locations of mental foramina were estimated on the basis of the mandibular contour. Finally, MCT was measured on the basis of the grayscale profile analysis. A hundred of DPRs were used to evaluate our proposed scheme. As a result, the sensitivity and specificity were 89% and 94%, respectively. Experimental results showed that our system may contribute for screening osteoporotic diseases at an early stage.

Keywords Osteoporosis, Dental panoramic radiographs, Active contour model, Mandibular Cortical thickness, Computer-aided diagnosis

1. まえがき

近年、日本では骨粗鬆症の患者数が増加しており、男性は 200 万人、女性は 800 万人以上とされている。また、骨粗鬆症に起因する骨折は高齢者の寝たきりになる原因の第 3 位であり、高齢化が進む本邦において社会的な問題となっている [1]。骨粗鬆症は早期発見・

早期治療が重要であるが、初期の段階において自覚症状がない。そこで、有効な予防法の確立が課題とされている。

本研究の対象である下顎皮質骨の厚みは、骨粗鬆症のスクリーニング指標の一つとして注目され、下顎皮質骨の厚みの減少と骨粗鬆症の関連性を示す報告があ

る[2]. 歯科パノラマ X 線写真は、歯科の臨床において虫歯などの歯科疾患の診断に用いられている。この画像は、歯や周囲の歯槽骨以外に顎動脈、上顎洞や下顎骨などの顔面の広い範囲を展開した像として描出される。そのため、下顎皮質骨の厚みの計測が可能である。しかし、歯科医院では歯科疾患の検査が目的であるため、多くの歯科医は下顎皮質骨を注視していないと考えられる。そこで、歯科治療で撮影されたパノラマ X 線写真を計算機に入力して、下顎皮質骨の厚みを自動計測する。下顎皮質骨の厚みが基準値以下であった場合、計算機は歯科医に警告を発する。警告を受けたら、歯科医は計算機の出力を基に皮質骨の厚さをチェックし、患者に対して骨粗鬆症のリスクを説明する。最後に、歯科医は患者の希望に応じて専門の医療機関を紹介する。以上により、患者が骨粗鬆症を早期に発見する新たな機会を提供できる。

本研究では、歯科パノラマ X 線写真に描出される下顎皮質骨の厚みを自動計測するコンピュータ支援診断 (Computer-aided diagnosis, 以下, CAD) システムの開発とその評価を行う。これまで我々は、歯科パノラマ X 線写真から下顎骨輪郭のエッジを検出し、輪郭情報から下顎皮質骨の厚みを計測する位置を決定し、濃度プロファイルに基づく下顎皮質骨の厚みの計測をするアプローチを提案し、歯科用 CAD システムを開発した[3]。しかし、従来手法のエッジ検出処理のみでは下顎骨の輪郭抽出に失敗し、下顎皮質骨の厚み計測に失敗する問題がある。提案手法では、下顎骨の輪郭エッジを検出後、動的輪郭モデルを適用する処理などを追加した。そして、エッジ検出処理では抽出できない下顎骨輪郭を推定することで、下顎皮質骨の厚み計測の失敗を減らし、システムの性能を向上させた。

2. 手法

提案手法では、まず下顎皮質骨の厚みの計測位置を設定するために、下顎骨の下縁から後縁の輪郭を抽出する。しかし、歯科パノラマ X 線写真は撮影機構の問題として、解剖学的構造や人工物が重なって写る障害陰影が発生する。そのため、全体的にボケた画像になり、エッジ検出処理などで輪郭全体を抽出するのは困難である。そこで、雑音除去を含めたエッジ検出法の1つである Canny フィルタを用いてエッジ検出を行う。そして、新たな処理としてマスク画像を利用して輪郭エッジの候補を絞り、動的輪郭モデルによる輪郭の推定を行う。次に、輪郭情報から計測位置を決定し、輪郭に対する垂線を引く。最後に、垂線の濃淡値プロファイルを取得し、皮質骨の厚みを決定する。各処理の詳細を以下に示す。

2.1. マスク画像による輪郭エッジの限定

Canny フィルタ[4]を用いて原画像からエッジ検出を行った結果を図 1 に示す。エッジ検出した画像は、下顎骨の輪郭だけでなく、ノイズを含むエッジが多数描出される。しかし、下顎骨の輪郭の位置は、撮影の原理上ある程度限定される。そこでマスク画像を作成し、下顎骨の輪郭エッジの限定を行う。

マスク画像は朝日大学附属病院で撮影された歯科パノラマ X 線写真 100 症例の中から、入力症例とは異なる 99 症例を用いて作成する。まず、あらかじめ手動で抽出しておいた輪郭を重ね、膨張処理 (反復回数 20 回) をする。作成したマスク画像の例を図 2 に示す。

エッジ画像にマスク画像を重ね、マスク画像の白い領域内に存在するエッジのみを残す。エッジを限定した画像を図 3 に示す。



図 1 Canny フィルタによるエッジ検出結果の例



図 2 マスク画像の例



図 3 下顎骨の輪郭エッジの限定

2.2. 動的輪郭モデルを用いた下顎骨輪郭の推定

動的輪郭モデル[5]は Kass らによって提案された輪郭抽出の代表的な手法であり、ノイズを含む画像の領域抽出に有効である。動的輪郭モデルは、画像平面内に設定する閉曲線 $v(s)=(x(s), y(s))$ ($0 \leq s \leq 1$) 上で、形状エネルギー E_{int} と画像エネルギー E_{image} の線形和として式 (1) で表されるエネルギー関数 E_{snakes} を定義する。また、形状エネルギー E_{int} と画像エネルギー E_{image} はそれぞれ式 (2), (3) で表す。動的輪郭モデルは初期モデルを与え、エネルギー関数 E_{snakes} を最小化するように形状を修正し、対象の抽出を行う。本研究では、動的輪郭モデルを応用して下顎骨の輪郭推定を行う。

$$E_{\text{snake}} = E_{\text{int}}(\mathbf{v}) + E_{\text{image}}(\mathbf{v}) \quad (1)$$

$$E_{\text{int}} = \frac{1}{2} \int_0^1 \alpha(s) \left| \frac{\partial \mathbf{v}}{\partial s} \right|^2 + \beta(s) \left| \frac{\partial^2 \mathbf{v}}{\partial s^2} \right| ds \quad (2)$$

$$E_{\text{image}} = \int_0^1 P(\mathbf{v}(s)) ds \quad (3)$$

2.2.1. 初期モデルの配置

エッジを限定した画像からユークリッド距離を計算し、距離画像を作成する。作成した距離画像を図 4 に示す。次に、距離画像と学習データを重ね、重なった画素の平均距離値を計算する。平均距離値が最小となった学習データを初期モデルとして配置する。学習データは第一著者が朝日大学歯学部附属病院で撮影された歯科パノラマ X 線写真から、下顎骨の輪郭をあらかじめ手動で抽出したものを使用する。

2.2.2. 動的輪郭モデルの適用

配置した初期モデルに対し、動的輪郭モデルを適用し、下顎骨の輪郭の推定を行う。制御点は初期モデルに対し、100 画素間隔で配置する。終了条件は制御点が移動しない、もしくは反復回数が 200 回に到達した場合とする。形状エネルギーは式 (2) と同様の式で計算し、すべての点で $\alpha=0.1$, $\beta=0.1$ とする。通常、画像エネルギーの計算には微分した勾配画像が用いられる。しかし、歯科パノラマ X 線写真の場合、輪郭の後縁部があまり強調されないことや頸椎などのエッジが隣接する問題がある。本研究では、初期モデルの距離画像から

$$P(x, y) = -\gamma \text{dist}(\text{mask}([G_{\sigma} \otimes I(x, y)])) \quad (4)$$

で表される式 (4) を利用して画像エネルギーを計算する。このとき、 $\gamma=0.8$ とし、制御点は隣接する制御点の法線方向のみに移動させる。以上の条件で動的輪郭モデルを適用する。そして、適用後の制御点を利用し、スプライン補間により下顎骨の輪郭を推定する。輪郭の推定結果の例を図 5 に示す。



図 4 ユークリッド距離画像。輪郭からの距離が遠いほど、グレースケール値が高くなる。

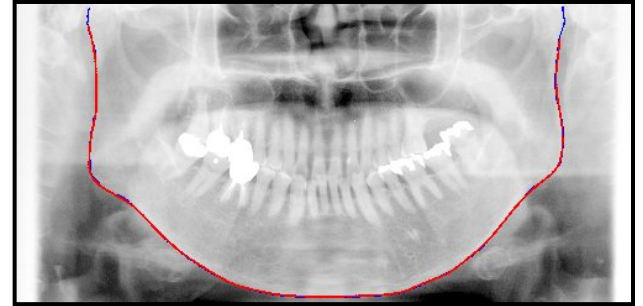


図 5 下顎骨の輪郭推定

2.3. 下顎皮質骨の厚み計測

下顎皮質骨の厚み計測は、従来手法と同様の輪郭情報から計測位置を決定し、輪郭に対する垂線の濃淡値プロファイルの情報から厚みを決定する手法を用いた。

3. 実験結果と考察

3.1. 試料画像

本研究では、歯科疾患の診断のために朝日大学歯学部附属病院で撮影された 100 症例[正常群: 73, 骨粗鬆症群 (疑い例も含む): 27] の歯科パノラマ X 線写真を使用する。歯科パノラマ X 線写真は、パノラマ X 線装置 (Veraview epocs, Morita, Japan) と イメージングプレート方式デジタル X 線システム (CR 75.0, Agfa, Germany) を用いて撮影された。撮影は、フランクフルト平面を基準とする標準的なポジショニングで行い、X 線被曝の制御には自動モードを使用した。得られた画像は、DICOM 形式でコンピュータに保存した。

なお、本研究は、岐阜大学および朝日大学の倫理審査委員会にて承認を受けている。

3.2. 結果

異常群は、医科の Dual Energy X-Ray Absorptiometry (DXA) 検査によって確認済みである。動的輪郭モデルの学習データは、実験に用いる症例と同様の 100 症例から、手動で輪郭を抽出したものを使用し、Leave one out 法を用いて学習させた。正常群と異常群の下顎皮質骨の厚みの計測結果の例を図 6 に示す。

提案手法を適用した結果、98/100 症例で下顎皮質骨の厚みを正しく計測した。正常群の平均値は 3.5 [mm]、異常群の平均値は 2.2 [mm] であり、 t 検定(有意水準：5%)を行った結果、有意確率 $p<0.05$ となり正常群と異常群の間には有意差がみられた。また、皮質骨の厚み計測に成功した 98 症例について、2.8 [mm] の単一のしきい値で正常群と異常群の識別を行った結果、感度 89 % (24/27 症例)、特異度 94 % (67/71 症例) となった。各症例の下顎皮質骨の厚みの計測結果を図 7 に示す。さらに、ROC 解析を用いて、提案手法と歯科放射線科医による計測結果を比較したところ、図 8 に示す ROC 曲線を得た。歯科放射線科医による AUC が 0.987 に対し、提案手法による AUC が 0.944 であった。

3.3. 考察

今回、我々は従来手法の下顎皮質骨の計測成功率を向上されるために、下顎骨の輪郭抽出に動的輪郭モデルを導入した。これにより、従来手法では輪郭の抽出が失敗していた症例でも、輪郭の抽出に成功した。従来手法では、正しく計測できたのは 91/100 症例であったが、提案手法では、98/100 症例となった。また、提案手法は輪郭を一つの連続した線として抽出できるので、正常構造や走査領域の推定に有用であると考えられる。

下顎皮質骨の厚み計測に関する従来研究では、Kavitha ら[6]がモロフォロジカルな処理と動的計画法に注目した手法を提案しており、下顎皮質骨の上下の境界線を推定することで下顎皮質骨の厚みを計測する手法を開発している。しかし、用いるデータベースが異なるため、直接的かつ定量的な評価・比較はできない。

現在、我々は、システムの有用性を実証するために、多施設の撮影機器で撮影された歯科パノラマ X 線写真を用いて実験をしている。撮影機器の違いが画質に与える影響は大きく、撮影機器による影響を受けにくい計測手法を開発する必要がある。

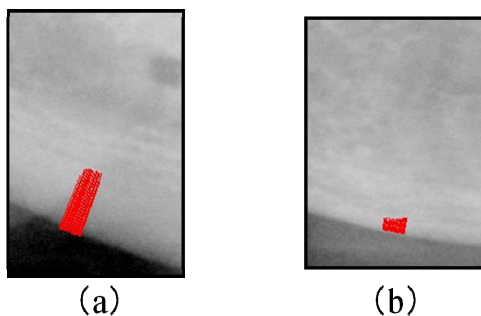


図 6 下顎皮質骨の厚みの計測結果の例。
(a) 正常例, (b) 異常例

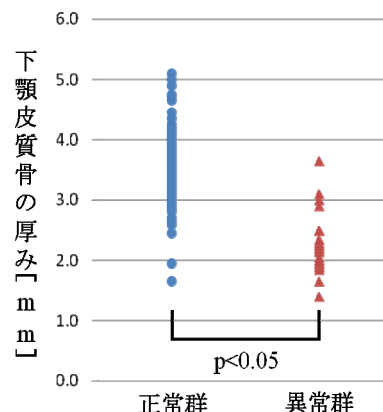


図 7 下顎皮質骨の厚みの計測結果

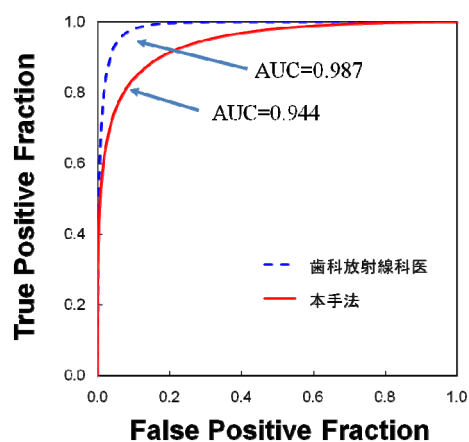


図 8 ROC 解析による
歯科放射線科医と本手法の比較

4. まとめ

本研究では、歯科パノラマ X 線写真における下顎皮質骨の厚みの自動計測法を提案した。実験の結果、98/100 症例で下顎皮質骨の厚みを正しく計測した。また、2.8 [mm] の単一のしきい値で正常群と異常群の識別を行った結果、感度 89 % (24/27 症例)、特異度 94 % (67/71 症例) となり、ROC 解析でも良好な結果が得られた。この結果から、提案手法の有用性が示唆された。

今後の課題は、下顎皮質骨の厚み計測精度の向上や撮影機器の違いによる影響を受けにくい手法の開発が挙げられる。

謝 辞

本研究を遂行するにあたり、有益なご助言をいただいた藤田研究室の方々、朝日大学病院の方々、タック(株)の方々、および岐阜県研究開発財団の柳瀬氏と四ッ谷氏に感謝の意を表します。本研究の一部は文部科学省地域イノベーション戦略支援プログラム(都市エリア型)岐阜県南部エリア「モノづくり技術と IT を活用した高度医療機器の開発」によって行われました。

文 献

- [1] 折茂肇, 骨粗鬆症の予防と治療ガイドライン 2006年版, 骨粗鬆症の予防と治療ガイドライン作成委員会(編), ライフサイエンス出版, 東京, 2006.
- [2] H. Devlin, P. D.Allen, J.Graham, et al. Automated osteoporosis risk assessment by dentists: A new pathway to diagnosis. *Bone*, vol.40, pp.835-842, 2007.
- [3] 松本拓也, 林 達郎, 原 武史, 他 : 歯科パノラマエックス線画像における下顎骨の皮質骨の厚みの自動計測手法の開発, 電子情報通信学会技術報告, MI2009-137, pp.333-336, 2010.
- [4] J.Canny, A computational approach to edge-detection. *IEEE Trans PAMI*, vol.8, pp.679-698, 1986.
- [5] M. Kass, A. Witkin and D. Terzopoulos, Snakes: Active contour models, *International Journal of Computer Vision*, pp.321-331, 1998.
- [6] M.S. Kavitha, 李 亮, F. Sampa, 他 : 骨粗鬆症診断のための歯科パノラマ X 線画像における皮質骨厚みの連続測定, 電子情報通信学会技術報告, MI2010-53, pp.21-26, 2010.