

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

松本 拓也[†] 林 達郎^{††} 原 武史^{††} 勝又 明敏^{†††} 周 向栄^{††}
村松 千左子^{††} 飯田 幸弘^{†††} 藤下 昌巳^{†††} 藤田 広志^{††}

[†] 岐阜大学工学部応用情報学科 〒501-1193 岐阜県岐阜市柳戸 1-1

^{††} 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

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

E-mail: [†] matsumoto@fjt.info.gifu-u.ac.jp, ^{††} {hayashi, hara, fujita}@fjt.info.gifu-u.ac.jp

あらまし 下顎骨の皮質骨の厚みは、骨粗鬆症の危険性を示す指標として注目されている。歯科パノラマエックス線画像では、下顎骨が描出されるので皮質骨の厚みを計測できる。本研究では、歯科パノラマエックス線画像から、下顎骨の皮質骨の厚みを自動で計測する手法を開発した。提案手法では、まず皮質骨の厚さの計測位置を設定するために、下顎骨の下縁部と後縁部の輪郭を抽出した。次に、輪郭から計測位置を決定し、輪郭に対する垂線を引いた。最後に、その垂線の濃淡値プロファイルから皮質骨の厚みを計測した。本手法を 30 症例に適用した結果、28/30 症例で正しく計測した。また、True Negative(TN)100%のとき、4/5 症例で異常の識別に成功した。

キーワード 骨粗鬆症, 歯科パノラマエックス線画像, 下顎皮質骨, コンピュータ支援診断

Automatic method for measuring mandibular cortical thickness on dental panoramic radiographs

Takuya MATSUMOTO[†] Tatsuro HAYASHI^{††} Takeshi HARA^{††}
Akitoshi KATSUMATA^{†††} Xiangrong ZHOU^{††} Chisako MURAMATSU^{††}
Yukihiro IIDA^{†††} Masami FUJISHITA^{†††} and Hiroshi FUJITA^{††}

[†] Department of Information Science, Faculty of Engineering, Gifu University, 1-1 Yanagido, Gifu-shi, Gifu, 501-1193
Japan

^{††} 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

E-mail: [†] matsumoto@fjt.info.gifu-u.ac.jp, ^{††} {hayashi, hara, fujita}@fjt.info.gifu-u.ac.jp

1. まえがき

近年、日本では高齢者人口の増加に伴い、骨粗鬆症の患者数が年々増加しており、男性は 200 万人、女性は 800 万人といわれている。骨粗鬆症に起因する骨折は、脳卒中、老衰に次いで高齢者が寝たきりになる原因の第 3 位となっており、早期発見、早期治療が重要である [1]。

骨粗鬆症の診断には、単純 X 線画像を用いた二重エネルギー X 線吸収法 (DXA 法) が用いられている。しかし、骨粗鬆症は自覚症状がなく、検査を受ける人が少ないことや、DXA 法による診断は規模の大きい医療機関でしか行えないといった問題がある。近年、下顎骨の皮質骨の厚みの減少は骨粗鬆症と関連性があるといわれており、新たな診断基準として注目され

ている [2]。

歯科医院では、診断や治療のため歯科パノラマ X 線撮影法により、歯科パノラマ X 線画像が撮影される。この画像には、形態的に湾曲した下顎骨が展開した像として描出されるので、下顎骨の皮質骨の厚みを計測できると考える。しかし、歯科では歯科疾患を中心に診療を行うため、皮質骨の厚みを計測する機会は少ない。そこで、歯科パノラマ X 線画像を用いて自動で下顎骨の皮質骨の厚みを計測し、結果を歯科医に提示するコンピュータ支援診断 (computer-aided diagnosis: CAD) システムの開発は有用と考えられる。

本研究では、歯科パノラマ X 線画像を用いて下顎骨の皮質骨の厚みを自動的に計測する手法を提案する。また、本手法によって得られた計測結果を統計的

に解析し、皮質骨の厚みによる異常の識別が可能であるかを示す。

2. 手法

2.1. パノラマ画像データ

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歯科パノラマ X 線画像を使用する。歯科パノラマ X 線画像は、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 線量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される。歯科パノラマ X 線画像の例を図 1 に示す。

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。

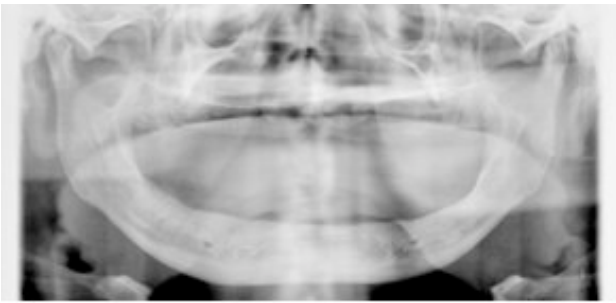


図 1. 歯科パノラマ X 線画像の例

2.2. 提案手法の処理の流れ

提案手法では、まず皮質骨の厚みの計測を開始する位置を設定するために、下顎骨の下縁部と後縁部の輪郭を抽出する。次に、輪郭から計測を開始する位置を決定し、輪郭に対する垂線を引き、その領域のプロファイルから皮質骨の厚みを計測する。各処理の詳細を以下に示す。

2.3. 下顎骨の下縁部から後縁部の輪郭抽出

2.3.1. Canny フィルタによるエッジ検出 [3]

歯科パノラマ X 線画像には画像全体に雑音が多く混入しているので、提案手法では、雑音除去を含めたエッジ検出法である Canny フィルタを適用する。

Canny フィルタを用いて原画像からエッジ検出を行った結果の例を図 2 に示す。

2.3.2. エッジの結合と復元

エッジの検出画像には、下顎骨の輪郭とは無関係なエッジも多く検出されるので、輪郭領域を絞りこむ。次に、図 3 に示すように下顎骨の輪郭が、途切れる箇

所が存在するので、次のように修正する。まず、各エッジの端点を検出し、各端点の最小距離 d を求める。

$|d| \leq 30$ の場合：対象の端点を直線で結ぶ。

$|d| > 30$ の場合：対象の端点の最小矩形領域を求め、図 2 上で対応する領域内にエッジがあれば、そのエッジを復元する。

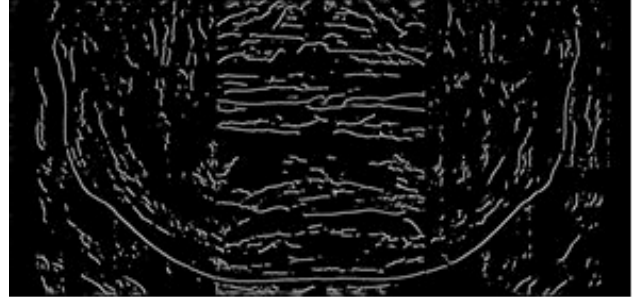


図 2. Canny フィルタによるエッジ検出結果の例

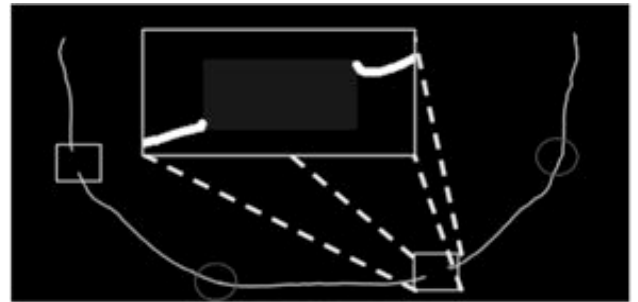


図 3. 下顎骨の輪郭領域の絞り込みの例
(○：エッジを結合する必要がある箇所，□：エッジを復元する必要がある箇所)

2.4. 下顎骨の皮質骨の厚みの計測

前の手順で抽出した下顎骨の輪郭を利用して、計測を行う垂線を決定し、皮質骨の厚みの計測を行う。

2.4.1. 計測開始点の設定

様々な研究グループが下顎骨内の組織の 1 つであるオトガイ孔を基準とし、皮質骨の厚みの計測を行っている [4-6]。しかし、歯科パノラマ X 線画像からオトガイ孔を高精度に自動識別することは困難である。そこで、オトガイ孔の位置は下顎骨の横幅を 3 等分する位置に存在すると仮定する。エッジ画像から下顎骨の横幅 w を求める。 w を 3 等分するエッジ上の各点を計測開始点 (x_s, y_s) とする。

2.4.2. 最小二乗法による垂線の設定 [7]

皮質骨の厚みの計測を行う垂線を決定するために、最小二乗法を用いてエッジの近似式 $f(x)$ を導出する。計測開始点 (x_s, y_s) の周辺 10 画素のエッジの座標データ (x, y) をデータ群として利用し、最小二乗法によって一次の近似式 $f(x) = a_0 + a_1x$ を導出する。

導出した近似式から以下の条件を満たす垂線を計

測開始点から設定する.

$$\text{垂線} : y = ax + b$$

$$\text{傾き} : a = -1 / f'(x_s)$$

$$\text{切片} : b = y_s - ax$$

2.4.3. 垂線のプロファイル情報の取得

下顎骨の皮質骨と海綿骨の境界は目視で確認できるため、皮質骨と海綿骨の濃淡値には差があると考えられる。そこで、前の手順で設定した垂線の原画像上での濃淡値プロファイル(図4)を取得する。図4の横軸は輪郭上の開始点からの距離を示す。

2.4.4. 皮質骨の厚みの計測

前の手順で取得した図4のプロファイルから、濃淡値 $h_i(0 \leq i \leq 100)$ を用いて皮質骨の厚みを計測する。図4より濃淡値 h_i の値は測定開始点より値が上昇し、境界では濃淡値の値は下がる。したがって、 $h_i - h_{i+1} < 0$ となるような h_i の垂線上の位置を調べ、測定開始点までの距離を皮質骨の厚みとする。計測結果の例を図4の矢印で示す。

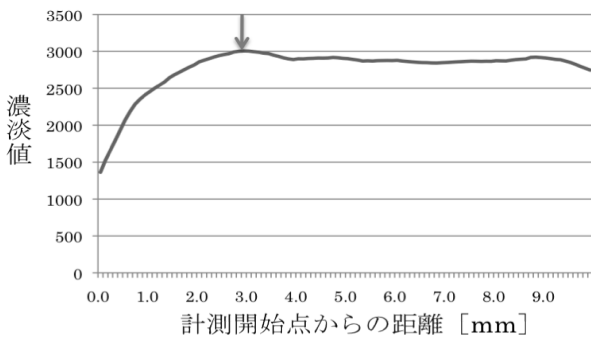


図4. 垂線の濃淡値プロファイルの例

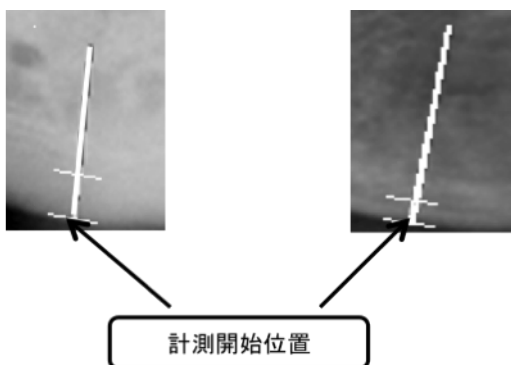


図5. 厚みの計測結果の例
(左側：正常例，右側：異常例)

3. 結果と考察

今回の実験では 30 症例(正常：25 症例，異常：5 症例)の歯科パノラマ X 線画像に対して提案手法を適用した。正常と異常(骨粗鬆症の可能性のある症例)の判断は一名の歯科医師によって行われた。また、初め

に設定した開始点だけではなく、エッジ上を左右に 10 画素ずつずらして、厚みの計測を行い、その平均値を最終的な計測結果とした。計測結果の例を図5、各症例の皮質骨の厚みの計測結果を図6に示す。正常例の全体の平均は 4.4 [mm]，異常例の全体の平均は 2.8 [mm] であった。

提案手法を適用した結果、28/30 症例で皮質骨の厚みを正しく計測した。また、3.0 [mm]の単一のしきい値で正常例と異常例の識別を行った結果、True Negative(TN)100%のとき、4/5 症例(80%)の異常例の識別に成功した。識別に失敗した 1 症例は皮質骨と海綿骨の境界が不明瞭であったため、厚さの計測に失敗し、誤った値を示していた。したがって、原画像に前処理を加えるか、計測手法を改良する必要があると考えられる。また、正常例の平均値の集合と異常例の平均値の集合で t 検定(有意水準：5%)を行った結果、有意確率 $p=0.0003$ となり正常例と異常例の間には有意差がみられた。以上より、提案手法が異常の検出に有効である可能性が示唆された。

皮質骨の厚みの正常、異常を判断する基準値について、田口ら [5] や Karayianni ら [8] の研究でも議論されている。これらの研究では、3.0 [mm] が有効な値として示されており、本研究でもこれを肯定する結果が得られた。Devlin ら [2] や Arifin ら [6] の手法では、歯科医がオトガイ孔の位置を手動で示さなければならないが、提案手法では、検出した輪郭からオトガイ孔の位置を下顎骨の幅から自動で推定した。また、提案手法で検出した輪郭は下顎骨の下縁部から後縁部までを検出している。この輪郭の情報は、他の組織の位置の推定にも利用できると考えられる。

今回の実験では、検出した輪郭の評価や、他の検査方法との比較による計測結果の検証、関連性の調査などはしていない。また、検出した輪郭には、誤検出している例がいくつかあった。今後は、輪郭検出の高精度化や検出した輪郭の検出の評価、ファントムによる皮質骨の厚みの計測精度の検証実験、多症例での提案手法の頑健性の実証が課題として挙げられる。

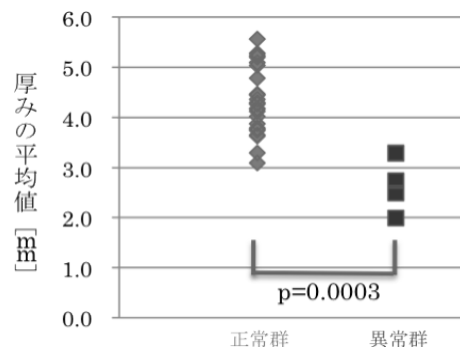


図6. 皮質骨の厚みの計測結果

4. まとめ

本研究では、歯科パノラマ X 線画像における下顎骨の皮質骨の厚みの自動計測手法を開発した。提案手法では、下顎骨の下縁部から後縁部の輪郭を抽出し、計測開始点を決定し、下顎骨の輪郭に対する垂線を求め、垂線の濃淡値プロファイル情報から皮質骨の厚みを計測した。提案手法を 30 症例に適用した結果、28 症例で厚みを正しく計測し、4/5 症例の異常例の識別に成功した。この結果から、提案手法の有効性が示唆された。

今後の課題は、下顎骨の輪郭抽出の高精度化、ファントム実験による厚みの計測精度の検証、多数の症例での提案手法の頑健性の実証である。

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、片木喜代治氏はじめ朝日大学病院の方々、タック柵の方々、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。本研究の一部は都市エリア産学官連携促進事業(発展型)岐阜南部エリア「モノづくり技術と IT を活用した高度医療機器の開発」、科学研究費補助金(若手研究 B: 21700462)、および財団法人骨粗鬆症財団リリー研究助成金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, April 2007.
- [3] J.Canny, A computational approach to edge-detection. IEEE Trans PAMI, vol.8, pp.679-698, 1986.
- [4] 音琴淳一, 渡邊英俊, 大野美知昭, 他 “パノラマ X 線写真パラメーターを用いた歯周病と骨粗鬆症の関係の検討および骨粗鬆症診断の試み”. 日歯周誌, vol.43, pp.13-24, January 2001.
- [5] A.Taguchi, M.Tsuda, M.Ohtsuka, et al. Use of dental panoramic radiographs in identifying younger postmenopausal women with osteoporosis. Osteoporos Int, vol.17, pp.387-394, 2006.
- [6] A.Z.Arifin, A.Asano, A.Taguchi, et al. Computer-aided system for measuring the mandibular cortical width on panoramic radiographs in osteoporosis diagnosis. Proceedings of the SPIE Medical Imaging, no.5747, pp.813-821, 2005.
- [7] 川崎晴久. C & FORTRAN による数値解析の基礎, 共立出版, 東京, 1993.
- [8] K.Karayianni, K.Horner, A.Mitsea, et al. Accuracy in osteoporosis diagnosis of a combination of