

> 研究速報 <

歯科パノラマ X 線写真を用いた骨粗鬆症早期発見のための 下顎皮質骨自動厚み計測法の開発 — 線状構造の抽出 —

堀場 一輝*¹ 村松千左子*¹ 林 達郎*² 福井 達真*³
原 武史*¹ 勝又 明敏*⁴ 藤田 広志*¹

要 旨

歯科パノラマ X 線写真における下顎皮質骨の変化は、骨粗鬆症をスクリーニングする指標として注目されている。われわれは、これまでに下顎皮質骨の厚みを自動計測する手法を提案した。しかし、骨密度の低下により下顎皮質骨に線状の骨吸収像（線状構造）が現れる場合、既存手法では正確な厚みを計測できなかった。本研究では、線状構造抽出法を用いて、下顎皮質骨の密な部分のみを自動計測し、骨粗鬆症の可能性を示す手法を提案する。線状構造抽出には、濃度勾配に基づき線を抽出する手法を用いた。提案手法を、朝日大学で撮影された、異常症例 26 症例を含む 100 症例に適用し、診断能を検討した。これらの診断は骨塩定量検査に基づいている。また、7つの歯科クリニックで撮影された、歯科放射線科医による骨粗鬆症疑いの所見をもつ 21 症例を含む 458 症例に対しても性能の検討を行った。その結果、前者は感度 80.8%、特異度 94.6%であり、後者では感度 90.5%、特異度 79.2%であった。よって、提案手法は歯科診療を通した骨粗鬆症の早期発見に有用であり、さらに異なる撮影環境下における汎用性を有することを示唆した。

キーワード：骨粗鬆症、歯科パノラマ X 線写真、コンピュータ支援診断システム、下顎皮質骨の厚み、線状構造

Med Imag Tech 32(5): 342-346, 2014

1. はじめに

骨粗鬆症罹患者は年々増加しており、国内の罹患者数は約 1,280 万人と推測されている [1]。しかし、骨粗鬆症は初期段階での自覚症状がなく、さらに厚生労働省と総務省の調査 [2, 3] から推定される骨粗鬆症の検診率は 4.87%と低い。よって、早期発見の機会を設けることが急務である。

近年、歯科パノラマ X 線写真 (dental panoramic radiograph: DPR) における下顎皮質骨の厚み (mandibular cortical width: MCW) は骨粗鬆症を

スクリーニングする指標として注目されている。

しかし、歯科クリニックでは歯科疾患に集中して診療を行うため、下顎皮質骨の変化が見逃されることが少なくない。そこで、歯科治療のために撮影された DPR における下顎皮質骨の所見から骨粗鬆症のスクリーニングを支援するコンピュータ支援診断 (computer-aided diagnosis: CAD) システムの開発が有効である。

骨粗鬆症が進行するとともに、骨は粗造化が進むことが知られており、DPR 上でも下顎皮質骨の粗造化が線状の骨吸収像 (線状構造) として現れる [4]。

われわれが CAD で選択的な計測を目指している MCW は、線状構造が存在する粗な皮質骨領域を含まない、密な皮質骨領域の厚みである。これは、粗な皮質骨領域は皮質骨の一部ではあるが、骨の粗造化の現れであるので、この領域は皮質骨としての厚みに含むべきではないから

*¹ 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 岐阜市柳戸 1-1)
e-mail: horiba@fjl.info.gifu-u.ac.jp

*² メディア株式会社

*³ 朝日大学歯学部口腔機能修復学講座歯科補綴学分野

*⁴ 朝日大学歯学部口腔病態医療学講座歯科放射線学分野

投稿受付：2014 年 5 月 23 日

採録決定日：2014 年 9 月 24 日

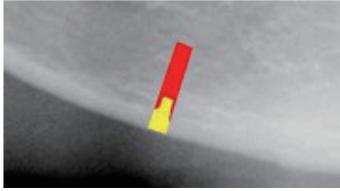


図1 線状構造を含めた厚み計測. 黄線: 計測結果, 赤線: 計測範囲. 黄線の長さがMCWとして計測される.

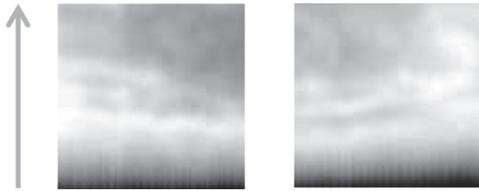


図2 両側から取得した関心領域画像. 矢印はプロファイルの走査方向を示す.

である.

これまでわれわれはDPR上のMCWを自動計測する手法を報告している[5].しかし,この手法では骨粗鬆症患者の下顎皮質骨に現れる線状構造は厚みに含まれてしまう場合があった(図1).また,われわれの知る限りでは,他の先行研究[6]などにおいて,線状構造に注目した厚み計測法の報告はない.

そこで本研究では,線集中度フィルタを用いて線状構造を抽出し,密な皮質骨のみを自動計測する手法を提案する.そして,提案手法の骨粗鬆症判別に対する有効性を示す.

2. 手法

1) 下顎骨輪郭抽出と計測基準点

下顎骨輪郭は,エッジ勾配を考慮したエッジ検出法と動的輪郭法を用いて,1本の線で抽出される.さらに,輪郭情報を利用して,オトガイ孔直下として推測された計測基準点を下顎骨左右に決定する.これらの処理の詳細は,文献[5]を参照されたい.

2) 関心領域

計測基準点を中心とする計101点の下顎骨輪郭上の点において,下顎骨輪郭に対して垂直な長さ10.0mmの濃淡値プロファイルを並べることに関心領域画像(図2)を作成する.このため,作成される関心領域画像は縦:10.0mm,横:

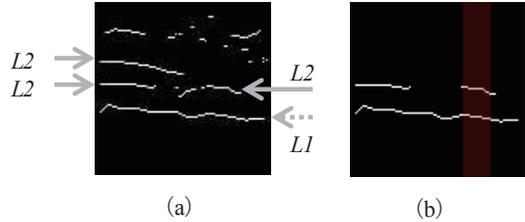


図3 プロファイルの選択. (a) 図2左図への線集中度フィルタ適用後, (b) 2.4項の処理によって選択されたL1とL2,そして最終的に使用される15本のプロファイル群の位置(赤).

10.1mmに相当する.

3) 線状構造抽出

線状構造抽出は,線集中度フィルタ[7]に関心領域画像に適用して行う.

線状構造は,下顎骨輪郭に対して平行に生じるといふ特徴がある.そこで,線集中度フィルタのターゲットに関心領域画像における水平な線とすることで,輪郭に対して水平に生じる線状構造を抽出する.

関心領域画像に以上のような線集中度フィルタを適用することで,図3(a)のような画像が作成される.適用後の画像は「密な皮質骨による線」と「線状構造による線」が抽出される.以下簡略のため,「密な皮質骨による線」をL1,「線状構造による線」をL2と定義する.例えば,図3(a)のような画像では,点線の矢印で示す線がL1,実線の矢印で示す線がL2である.

4) L1とL2の選択

本研究が目指すものは密な皮質骨のみの厚み計測である.そして,前項で作成された画像上のL1とL2に挟まれる領域が密な皮質骨の境界線を含む領域である.よって,線集中度フィルタ適用後の画像から2種類の線(L1とL2)を選択しなければならない.L1とL2の判別方法を以下に示す.

まず,線の長さが1.5mm未満の線をノイズとして削除する.この閾値は最終的な厚み計測に15本のプロファイルを使用することに起因する.

ノイズ処理後の画像において,最下端の線をL1とする.L1が途切れている,または二重になっている場合,システムは最下端の線のみをL1と認識する.L1を構成する点からy軸方向に2.0mm以上離れて存在する線は厚み計測には影

響しないため削除する。また、L1とy軸上で重なる座標数が15未満の線も削除する。これは、厚み計測には連続した15本のプロファイルを使用するためである。これらの結果、残った線をL2とする。以上の処理によって、最終的に残ったL1、L2を図3(b)に示す。

5) 皮質骨の境界位置の検索範囲決定

関心領域画像の最下端から垂直に、あるいは下顎骨輪郭に対して垂直に取得した10.0 mm長の濃淡値プロファイルをMCWの計測に使用する。提案手法では、密な皮質骨の境界領域を厚みの候補領域として設定することで、線状構造を含まない厚み計測を実現する。そのために以下のような処理を行う。

まず、前項で求めたL1に交差しないプロファイルは厚み計測に用いる情報として不適であり、以降では使用しない。そして、残ったプロファイルに対して、L1とL2の位置情報に対応する点を、プロファイル上にT1とT2として決定する。L2が存在しない場合は、密な皮質骨の境界はT1から20ピクセル以内であると実験に用いる症例群から考え、T2は(T1+20)ピクセルの箇所とする。

よって、各プロファイルにおいて、T1からT2までが密な皮質骨の境界位置の検索範囲として決定される。

6) 計測に有効なプロファイル選択

取得したプロファイルの中には、障害陰影などの影響により厚み計測に不適なプロファイルが存在する。そのため、厚み計測に適するプロファイル選択が重要である。そこで、計測に使用する最良なプロファイルの選択方法を、以下のように行う。

L1とL2に挟まれる領域の特定が重要であることから、関心領域画像においてL2が存在する場合、L2に対応するT2を有するプロファイルを有効なプロファイルの候補とする。ただし、関心領域画像においてL2が存在しない場合は、L1に対応するT1を有するプロファイルすべてを有効なプロファイルの候補とする。

最終的に計測に使用するプロファイルは隣接する15本のプロファイルである。これには、隣接する15本のプロファイルにおいて、T1の濃淡値とT1からT2の範囲の最小濃淡値の差の合計が最大となるようなプロファイル群を選択す

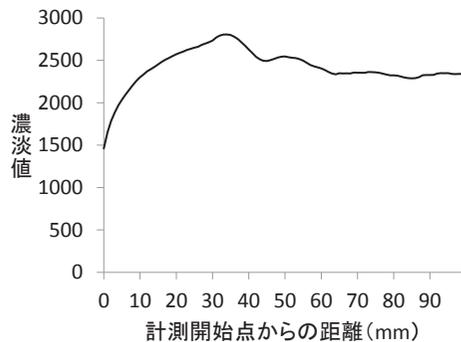


図4 選択したプロファイルの例。

る。図3(b)に選択したプロファイル群の範囲(赤)、図4にそれらのうち左より6本目のプロファイルの例を示す。

7) 皮質骨の厚み計測

左右の計測基準点における厚み計測の結果は、左右それぞれで選択された15本のプロファイルごとの厚み計測値の平均とする。プロファイルごとの厚み計測は既存手法[5]によるものであるが、皮質骨の境界位置の検索範囲は2.5項の「皮質骨の境界位置の検索範囲決定」で求めたT1からT2までとする。

以上のプロセスによって、下顎骨の左右において密な皮質骨のみの厚み計測を行う。また、症例ごとのMCWの計測値は左右計測結果の平均とする。

3. 実験

1) 試料画像

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(朝日大学症例)を倫理委員会の承認を得て使用した。データ数は骨塩定量検査で骨粗鬆症と診断された骨粗鬆症26症例を含む100症例である。保存形式digital imaging and communication in medicine (DICOM)、空間分解能は0.1 mm、濃度分解能は12 bits、画像サイズは1420×2920ピクセルである。

また、同様に倫理委員会の承認を得て7施設の歯科クリニックで撮影された歯科パノラマX線写真(クリニック症例)458症例に対しても、提案手法を適用した。撮影装置は5種類で画像形式はJPEGである。画像サイズ、空間分解能は施設の撮像装置に依存し、横幅約30 cmに対して、

表1 朝日大学症例に対する感度と特異度.

| 閾値 (mm) | 既存手法 | | 提案手法 | |
|------------|-----------|------------|-----------|------------|
| | 感度 (%) | 特異度 (%) | 感度 (%) | 特異度 (%) |
| 2.8 | 65.4 | 98.6 | 76.9 | 94.6 |
| 2.9 | 65.4 | 98.6 | 80.8 | 94.6 |
| 3.0 | 73.1 | 95.9 | 84.6 | 90.5 |

表2 クリニック症例に対する感度と特異度.

| 閾値 (mm) | 既存手法 | | 提案手法 | |
|------------|-----------|------------|-----------|------------|
| | 感度 (%) | 特異度 (%) | 感度 (%) | 特異度 (%) |
| 2.8 | 66.7 | 91.1 | 81.0 | 83.5 |
| 2.9 | 66.7 | 88.6 | 90.5 | 79.2 |
| 3.0 | 71.4 | 85.4 | 90.5 | 75.7 |

画素数 1244 から 3444 ピクセルまでのものを含む。歯科放射線専門医が診断した所見は、骨粗鬆症例疑い 21 症例、対照群 437 症例である。

2) 実験結果

朝日大学症例に対して、開発した手法を適用し、計測結果の評価を行った。Receiver operating characteristic analysis (ROC 解析) の結果、提案手法の ROC 曲線下の面積 (以下 AUC) は 0.95、既存手法の AUC は 0.93 であった。感度 80.8% のとき、提案手法の特異度は 94.6%、既存手法の特異度は 91.9% であった。その他の閾値に対する感度と特異度を表 1 に示す。また、既存手法と比べ、提案手法では線状構造を厚みの一部としない症例が増加した。

クリニック症例に対しても同様な実験を行った。その結果、ROC 解析による提案手法の AUC は 0.92、既存手法の AUC は 0.88 であった。感度 90.5% のとき、提案手法の特異度は 79.2%、既存手法の特異度は 65.9% であった。閾値別の感度と特異度を表 2 に示す。

4. 結論

朝日大学症例において、線状構造に注目して下顎皮質骨の厚み計測を行った。その結果、本

手法は、既存手法より良好な結果を得て、骨粗鬆症のスクリーニング支援として有効である可能性が示された。さらにクリニック症例という複数の撮像環境下に対する実験を行い、ここでも高い AUC が示された。よって、異なる装置で撮影された症例に対する汎用性も示唆された。

提案手法が既存手法より良好な結果を得たのは、既存手法では線状構造を含めた皮質骨の厚みを計測するのに対し、提案手法は線状構造を皮質骨に含めずに厚みを計測したためである。

よって、骨粗鬆症早期発見のための CAD システムの要素技術として、提案した線状構造抽出を用いた MCW の自動計測法は有用であると考える。

謝 辞

本研究の一部は、総務省・戦略的情報通信研究開発推進事業 (SCOPE) 「地域 ICT 振興型研究開発」と文部科学省・科学研究費補助金 (基盤研究 B) によって行われた。また、本研究を行うにあたり、有益なご助言をいただいた藤田研究室の皆様、朝日大学の皆様、愛知学院大学の皆様、ご協力いただいた歯科クリニックの皆様に感謝の意を表する。

文 献

- [1] 折茂 肇：骨粗鬆症の予防と治療ガイドライン 2011 年版。ライフサイエンス出版株式会社、東京、2011
- [2] 厚生労働省：平成 23 年度地域保健・健康増進事業報告の概況。http://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/c-hoken/11/
- [3] 総務省：平成 23 年人口推計。http://www.stat.go.jp/data/jinsui/2011np/
- [4] Taguchi A, Sueti Y, Ohtsuka M, et al.: Usefulness of panoramic radiography in the diagnosis of postmenopausal osteoporosis in women. Width and morphology of inferior cortex of the mandible. *Dentomaxillofac Radiol* **25**: 263-267, 1996
- [5] Muramatsu C, Matsumoto T, Hayashi T, et al.: Automated measurement of mandibular cortical width on dental panoramic radiographs. *Int J Comput Assist Radiol Surg* **8**: 877-885, 2013
- [6] Kavitha MS, Asano A, Taguchi A, et al.: Diagnosis of osteoporosis from dental panoramic radiographs using the support vector machine method in a computer-aided system. *BMC Med Imaging* **12**: 1-11, 2012
- [7] 吉永幸靖, 小畑秀文: 集中度評価法とベクトル集中度フィルタ. *Med Imag Tech* **19**: 154-160, 2001

Automated Measurement of Mandibular Cortical Width on Dental Panoramic Radiographs for Early Detection of Osteoporosis: Extraction of Linear Structures

Kazuki HORIBA ^{*1}, Chisako MURAMATSU ^{*1}, Tatsuro HAYASHI ^{*2},
Tatsumasa FUKUI ^{*3}, Takeshi HARA ^{*1}, Akitoshi KATSUMATA ^{*4}, Hiroshi FUJITA ^{*1}

^{*1} *Department of Intelligent Image Information, Division of Regeneration and Advanced Medical Sciences, Graduate School of Medicine, Gifu University*

^{*2} *Media Co., Ltd.*

^{*3} *Department of Prosthodontics, Division of Oral Functional Science and Rehabilitation, Asahi University School of Dentistry*

^{*4} *Department of Oral Radiology, Division of Oral Pathogenesis and Disease Control, Asahi University School of Dentistry*

Mandibular cortical width (MCW) on dental panoramic radiograph (DPR) is considered as a guideline for screening osteoporosis. We have previously developed the automated scheme for measuring MCW based on the profile of cortical bone. However, in cases of the presence of linear structures in cortex, the MCW may not be accurately measured. In this study, we propose a computerized scheme that identifies the risk of osteoporosis by measuring the dense part of cortical bones on the basis of the extracted linear structure. Our proposed scheme was evaluated by two sets of DPR obtained at Asahi University Hospital and dental clinics. Asahi cases are composed of 100 DPR including 26 osteoporotic cases based on dual energy X-ray absorptiometry (DXA). Clinic cases are composed of 458 DPR from multiple dental clinics, including 21 suspected osteoporotic cases based on the image findings by dental radiologists. Experimental results on the Asahi cases showed that the sensitivity and specificity for identifying osteoporotic patients were 80.8% and 94.6%, respectively, whereas those on the clinic cases were 90.5% and 79.2%, respectively. The automated MCW measurement technique using extraction of linear structures on DPR has a potential to identify asymptomatic osteoporotic patients and generalizability in different imaging environments.

Key words: Osteoporosis, Dental panoramic radiography, Computer-aided diagnosis, Mandibular cortical width, Linear structure

Med Imag Tech 32(5): 342–346, 2014

* * *