

骨粗鬆症早期発見のための 歯科パノラマX線写真上の下顎皮質骨自動解析法

堀場 一輝[†] 村松 千左子[†] 林 達郎^{††} 福井 達真^{†††} 原 武史[†]
勝又 明敏^{†††} 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
^{††} 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歯科放射線分野 〒501-0296 岐阜県瑞穂市穂積 1851-1

E-mail: [†] horiba@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は、骨粗鬆症早期発見の一助となるスクリーニング指標として注目されている。これまで、いくつかの研究チームが皮質骨の形態指標を用いた骨粗鬆症判別手法を提案してきた。しかし、これらの手法では、骨粗鬆症予備軍を含めたスクリーニングは困難であった。そこで、本研究では、骨粗鬆症のリスクに応じて皮質骨を3つのカテゴリに自動分類する手法を提案する。提案手法では、まず下顎骨輪郭を推定した後、下顎骨が含まれた関心領域画像を取得する。次に、この関心領域画像に対して線集中度フィルタ等を用いて画像特徴量を得る。最後にSVM (Support Vector Machine : SVM) を用いてカテゴリを判別する。結果として、提案手法と熟練した歯科放射線専門医との κ 係数は0.76となり、提案手法の推定カテゴリと骨密度との関連性も証明された。よって、提案手法は骨粗鬆症スクリーニングにおいて有効であると示唆された。

キーワード 骨粗鬆症, 歯科パノラマX線写真, 下顎皮質骨の形態指標, コンピュータ支援診断

Automated classification of mandibular cortical bone on dental panoramic radiographs for early detection of osteoporosis

Kazuki HORIBA[†] Chisako MURAMATSU[†] Tatsuro HAYASHI^{††} Tatsumasa FUKUI^{†††}
Takeshi HARA[†] Akitoshi KATSUMATA^{†††} and Hiroshi FUJITA[†]

[†] 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 Hozumi, Mizuho-shi, Gifu, 501-0296
Japan

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

Abstract Condition of mandibular cortical bone on dental panoramic radiographs (DPRs) is considered as a guideline for screening osteoporosis. In previous studies, some methods of automated detections for osteoporosis on DPRs were proposed. However, it is difficult for these methods to detect patients having osteopenia. Purpose of this study is to develop an automated system for quantifying and classifying cortices into three mandibular cortical index (MCI) groups. First, the mandibular contour is detected. Regions of interest (ROIs) including the cortical bone are obtained. Next, linear structure extraction (LSE) images are created by line-convergence filter. Finally, MCI is determined with support vector machine (SVM). As a result, kappa coefficient between MCIs by the proposed method and dental radiologists is 0.76. Moreover, the experimental result suggests that there is relationship between the MCI by the proposed system and BMD. The computerized classification of MCI on DPRs has a potential for osteoporotic risk assessment.

Keywords Osteoporosis, Dental panoramic radiographs, Mandibular Cortical Index, Computer-aided diagnosis

1. まえがき

1.1. 骨粗鬆症と歯科パノラマX線写真

近年、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である [1]。また、日本では骨粗鬆症の患者数が増加しており、国内における推定患者率は10人に1人の割合といわれている [2]。しかし、骨粗鬆症は早期発見・早期治療が重要であるが、初期段階において自覚症状がなく、検診受診率は約4.9%に留まっている [3] [4]。そこで、有効な予防法の確立が急務とされている。

本研究の対象である下顎皮質骨は骨粗鬆症のスクリーニング指標の1つとして注目されている。歯科パノラマX線写真は歯科領域において日常的に利用されており、年間撮影件数は約1200万件と報告されている [5]。この画像は顔面の広い範囲も描出することから、歯や周囲の歯槽骨以外に下顎骨なども観察することができる。そのため、下顎皮質骨を用いた骨粗鬆症のスクリーニングが可能である。

しかし、歯科医院では歯科疾患に注視して診断するため、骨粗鬆症に関する異常像が描出されていても見落とされる可能性がある。そこで、パノラマX線写真上の下顎皮質骨を自動解析し、骨粗鬆症のリスクを歯科医に提示するコンピュータ支援診断 (Computer-aided diagnosis: CAD) が有効である。

1.2. 骨粗鬆症スクリーニングにおける指標

骨粗鬆症スクリーニングにおける指標には、下顎皮質骨の厚み (Mandibular Cortical Width: MCW) と下顎皮質骨の形態 (Mandibular Cortical Index: MCI) がある [6]。前者は骨粗鬆症の進行に伴って菲薄化する皮質骨の厚みによる指標であり、その自動定量化法は既に提案されている [7] [8]。また、後者は骨吸収による皮質骨内部の構造変化を以下の定義に基づき3つのカテゴリに分類することができる：

I型: 皮質骨の内側表面はスムーズである。

II型: 皮質骨の内側表面は不規則となり、内側近傍の皮質骨内部に線状の吸収がみられる。

III型: 皮質骨全体にわたり、高度な線上の吸収と皮質骨の断裂がみられる。

I型からIII型に移行するにつれて骨粗鬆症のリスクが高くなり、各カテゴリと骨密度、または骨吸収マーカーとの関連性が証明されている。

1.3. 目的と目標

MCIを用いた骨粗鬆症判別手法は提案されているが、あくまで骨粗鬆症のみを検出対象としている [9]。そのため、早期発見の実現において重要である骨粗鬆症予備軍を含めたスクリーニングは困難である。そこで、骨粗鬆症予備軍と考えられるII型の患者のスクリーニ

ングを可能にする形態自動分類法が有効である。よって、本研究の目的を形態自動分類法による骨粗鬆症スクリーニング性能の改善とする。そのために、形態自動分類法の開発と有効性の証明を目標とする。そこで本研究では、熟練した歯科放射線専門医と同等な形態分類を可能とする形態自動分類法の確立と、この形態自動分類法により推定されたカテゴリと骨密度との関連性の証明を行う。

2. 手法

2.1. 下顎骨輪郭抽出と評価基準点

下顎骨輪郭は、Canny 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評価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 [8] を参照されたい。

2.2. 関心領域

左右2カ所の評価基準点に基づき、下顎骨輪郭において長さ15.1mm、下顎骨輪郭に対して垂直な長さ10.0mmの領域から画像 (図1) を作成する。このため、作成される関心領域画像は縦: 10.0 mm、横: 15.1 mmに相当する。

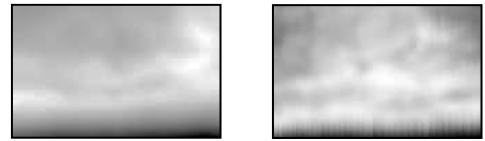


図1 取得した左右関心領域

2.3. 線状構造抽出

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、歯科パノラマX線写真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、これを特徴量として定量化することが有効である。そこで、線状構造抽出は線集中度フィルタ [10] を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う特徴がある。そこで、線集中度フィルタのターゲットを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。線集中度フィルタ適用前後の画像を図2に示す。

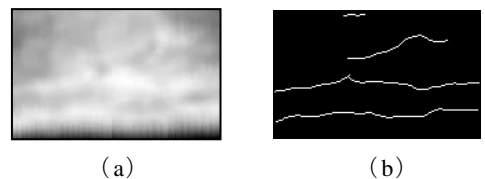


図2 線集中度フィルタ適用前 (a) と適用後 (b)

2.4. 密度別領域推定

線状構造は頭頂側から形成される傾向がある。そこで、皮質骨を密度別に領域分割し、線状構造が生じている「粗な皮質骨領域」のみを解析領域として特徴量抽出を行うことが有効と考える。

密度別領域推定のため3次多項式近似を用いる。皮質骨全体の領域を3次多項式近似によって決定し、線集中度フィルタによって抽出された線状構造を用いて「粗な皮質骨領域」と「密な皮質骨領域」とに分割する。

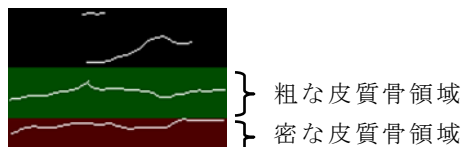


図3 領域推定画像

2.5. 特徴量抽出と判別

特徴量は、「粗な皮質骨領域」の面積や線集中度フィルタにより線状構造として抽出された線素の合計値に加え、MCW やテクスチャ特徴量を取り入れた。しかし、これらの特徴量数の合計は108となり、あまりにも多すぎる為、総当たり法において最も高い一致率を示した特徴量の組合せを実験に用いた。

最後に、SVM (Support Vector Machine :SVM)を用いて3つの形態に症例画像を判別する。

3. 実験と結果

3.1. 実験1:形態分類の再現性

実験1では、熟練した歯科放射線専門医の評価に対する提案手法(形態自動分類法)の再現性の検討を行った。また、観察者間誤差と観察者内誤差を考慮して、歯科放射線専門医3名が2回ずつ評価した結果に基づいて、症例画像ごとに1つの正解カテゴリを設定した。実験1に使用する Database 1 を表1に示す。この Database 1 に対して Leave-one-out 交差検定を用いた。そして、正解カテゴリに対する、提案手法による形態自動分類の一致率と kappa 係数を算出した。

表1 Database 1

| | |
|-------|---|
| 症例数 | I型 78 症例, II型 67 症例, III型 60 症例 計 205 症例 |
| 評価基準 | 専門医3名が2回ずつ評価した結果に基づく |
| 撮影環境 | 計 16 施設 |
| 濃度分解能 | 8 ~ 24 [bit] |
| 画像サイズ | (399×820) ~ (1670×3137) [pixel] |
| 画像形式 | JPEG |

一致率に関する結果を表2に示す。骨粗鬆症スクリーニングにおいて、II型とIII型を Positive、I型を Negative とするとき、感度は95.2% (119/125)、特異度は96.2% (75/78)となった。全体として一致率は87.2% (177/203)であった。また、kappa 係数の算出結果を表3に示す。提案手法と3名の歯科放射線専門医との kappa 係数は(0.74, 0.71, 0.70)となり、0.60 以上かつ 0.80 未満であり、「提案手法と歯科放射線専門医による評価は実質的に一致している」と考えられる。さらに、正解カテゴリと提案手法の kappa 係数は0.76であった。

表2 実験1に対する結果

| 一致率 | | | | スクリーニング性能 | |
|-------|-------|-------|---------|-----------|-------|
| I型 | II型 | III型 | 全体 | 感度 | 特異度 |
| 96.1% | 82.1% | 81.0% | 87.2% | 95.2% | 96.2% |
| 75/78 | 55/67 | 47/58 | 177/203 | 119/125 | 75/78 |

表3 クラス間の kappa 係数

| | 専門医1 | 専門医2 | 専門医3 | 提案手法 |
|------|------|------|------|------|
| 専門医1 | - | 0.85 | 0.85 | 0.74 |
| 専門医2 | 0.85 | - | 0.82 | 0.71 |
| 専門医3 | 0.85 | 0.82 | - | 0.70 |
| 提案手法 | 0.74 | 0.71 | 0.70 | - |

3.2. 実験2:形態分類と骨密度の関係性

実験2では、形態自動分類結果と骨密度との関連性の証明を行った。実験2に使用する Database 2 を表4に示す。実験1で利用した Database 1 を学習データとして、Database 2 に適用した場合の形態自動分類結果のグループ間における骨密度の値の有意差検定として、Turkey の多重比較検定を行った。

表4 Database 2

| | |
|-------|--|
| 症例数 | I型 61 症例, II型 15 症例, III型 3 症例 計 79 症例 (1名の専門医の判断に基づく) |
| 骨密度検査 | 橈骨での検査結果 有 |
| 撮影環境 | 朝日大学歯学部附属病院 |
| 濃度分解能 | 12 [bit] |
| 画像サイズ | 1240×2920 [pixel] |
| 画像形式 | DICOM |

結果を図4に示す。全クラス間で統計的有意差が確認された。しかしながら、各カテゴリにおける症例数に大きな偏りが存在することを考慮しなければならない。

引用文献

- [1] 厚生労働省：平成 25 年国民生活基礎調査
<http://www.mhlw.go.jp/toukei/list/20-21.html>
- [2] 折茂 肇，“骨粗鬆症の予防と治療ガイドライン 2006 年版,” ライフサイエンス, 2006.
- [3] 総務省：平成 23 年人口推計,
<http://www.stat.go.jp/data/jinsui/2011np/>
- [4] 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/>
- [5] 島野達也, 鈴木陽典, 佐々木武仁, “日本における歯科放射線検査件数の長期的動向－健康保険調査資料の分析－,” 歯科放射線, 42 (1), 9-21, 2002.
- [6] A. Taguchi, “Triage screening for osteoporosis in dental clinics using panoramic radiographs,” *Oral Diseases*, 16 (4), 316-327, 2010.
- [7] 堀場一輝, 村松千左子, 林 達郎, 福井達真, 原 武史, 勝又明敏, 藤田広志, “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-,” MIT (日本医用画像工学会) 誌研究速報, 32 (5), 342-346, 2014.
- [8] C. Muramatsu, T. Matsumoto, H. Hayashi, T. Hara, A. Katsumata, X. Zhou, Y. Iida, M. Matsuoka, and H. Fujita, “Automated measurement of mandibular cortical width on dental panoramic radiographs,” *International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery*, 8 (6), 877-885, 2013.
- [9] 中元 崇, 田口 明, 浅野 晃, Mahmud UZ Zaman, 谷本啓二, “パノラマエックス線画像上の下顎皮質骨下縁皮質骨内面の線状の骨吸収像を用いた骨粗鬆症診断支援システムの再現性と診断精度,” 歯科放射線, 51 (1), 33-38, 2011.
- [10] Y. Yoshinaga, and H. Kobatake, “Evaluation method of concentration degree and convergence index filter,” *Medical Imaging Technology*, 19 (3), 154-160, 2001.

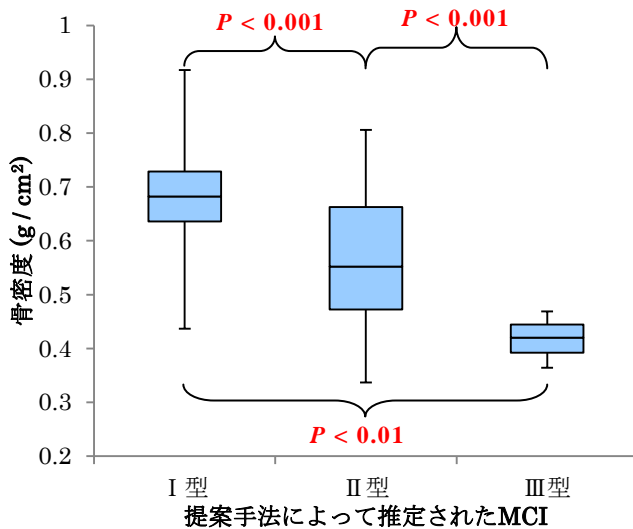


図 4 関係形態自動分類結果と骨密度

4. 考察

実験 1 により, 熟練した歯科放射線専門医による評価との一致率(87.2%)と kappa 係数(0.76)から, 提案手法(形態自動分類)は歯科放射線専門医による形態評価とほぼ同等な分類を行うことができる。さらに, 感度(95.2%)と特異度(96.2%)より, 提案手法は高いスクリーニング性能を有すると考える。

また, 実験 2 により, 自動分類結果と骨密度との関連性が証明された。しかし, Database 2 において, II 型と III 型症例数が不足しており, II 型と III 型症例の追加が必要である。

5. 結論

骨粗鬆症スクリーニングにおける提案手法した形態自動分類法の有効性が示唆された。形態自動分類法は, 熟練した歯科放射線専門医による分類と高い一致率を示し, 高いスクリーニング性能を持つ。また, 形態自動分類の結果と骨密度の関係性が証明されたことから, 提案手法は骨粗鬆症スクリーニングに有効な高いリスク予測能を持っていると考える。

謝辞

本研究を行うにあたり, 有益なご助言を頂いた藤田研究室の皆様, 愛知学院大学, 朝日大学の皆様, 協力頂いた歯科クリニックの皆様, および松本歯科大学の田口明先生, 愛知学院大学の有地榮一郎先生に感謝の意を表します。

また, 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。