

骨粗鬆症スクリーニングのためのコンピュータによる 下顎骨下縁皮質骨 X 線画像解析法

Computer analysis of mandibular cortex morphology for screening of osteoporosis

勝又明敏 藤田廣志* 田口明**
有地淑子*** 有地榮一郎***

Akitoshi KATSUMATA, Hiroshi FUJITA*, Akira TAGUCHI**,
Yoshiko ARIJI*** and Eiichirou ARIJI***

Abstract

Objective: It is known that an altered morphology of the mandibular cortex on panoramic radiographs is significantly correlated with osteoporosis. We developed a computer program that scans the mandibular inferior cortex and defines the mandibular cortical index (MCI) automatically.

Methods: The procedure of MCI analysis is as follows. As the first step, the mandibular contour was extracted. Next, bilateral measurement points were set in the mental foramen region. Then the thickness and the roughness of the mandibular cortex were calculated to determine the MCI classification: normal cortex (Class 1), mildly to moderately eroded cortex (Class 2), and severely eroded cortex (Class 3). When the measurement point is not correct, the observer can choose an appropriate measurement point in the mandibular cortex

manually. A panoramic image database, in which the MCI classification was determined based on agreement among three experienced dental radiologists, was used to test the computer program. The database consisted of 78, 67, and 60 cases of Class 1, Class 2, and Class 3, respectively.

Results: The accuracy of computer-based classification was 94.9% for Class 1, 92.5% for Class 2, and 90.0% for Class 3. The diagnostic sensitivity to detect possible osteoporosis (Class 2 and 3) was 94.5%, and the specificity was 94.9%.

Conclusions: It was suggested that the present computer program can analyze MCI correctly.

Key words: computer (コンピュータ), mandibular cortex (下顎骨下縁皮質骨), panoramic radiography (パノラマ X 線撮影), osteoporosis (骨粗鬆症)

[Received Feb. 22, 2016, Accepted May 12, 2016]

緒言

骨粗鬆症は高齢化社会にとって深刻な問題である。骨粗鬆症の患者は約1,000万人を超えると見積もられ、現在は症状が出なくてもいずれ腰痛や骨折を起こす危険が大きいとされている¹⁾。骨粗鬆症は主に高齢の女性に生じ、大腿骨

や腰椎の病的骨折を生じると寝たきりになったりして QOL (生活の質) を大きく損なう事になる。歯科においては、歯周病が進行しやすくなるなどの問題が指摘されている^{2,3)}。骨粗鬆症患者に対して骨密度を維持するための薬剤療法が施行されるが、ビスフォスフォネートなどの薬剤を服用している患者に抜歯などの歯科治療をおこなうと顎骨の壊死

朝日大学歯学部歯科放射線学分野 (主任: 勝又明敏教授)

*岐阜大学大学院医学系研究科知能イメージ情報分野 (主任: 藤田廣志教授)

**松本歯科大学歯科放射線学講座 (主任: 田口明教授)

***愛知学院大学歯学部歯科放射線学講座 (主任: 有地榮一郎教授)

Department of Oral Radiology, Asahi University School of Dentistry (Chief: Prof. Akitoshi KATSUMATA)

*Department of Intelligent Image Information, Graduate School of Medicine, Gifu University (Chief: Prof. Hiroshi FUJITA)

**Department of Oral and Maxillofacial Radiology, Matsumoto Dental University (Chief: Prof. Akira TAGUCHI)

***Department of Oral and Maxillofacial Radiology, Aichi-Gakuin University School of Dentistry (Chief: Prof. Eiichirou ARIJI)

[平成 28 年 2 月 22 日受付, 平成 28 年 5 月 12 日受理]

(Bisphosphonate related osteonecrosis of jaw, BRONJ)を生じる危険性がある⁴⁾。このため、骨粗鬆症の患者および骨粗鬆症となる可能性の高い患者を歯科医療の現場でスクリーニングすることは、歯科医療の向上に大きく寄与することになる⁵⁻⁸⁾。

骨粗鬆症の確定診断は、X線を用いて骨折の生じる可能性の高い大腿骨や腰椎の骨密度を計測することで行なわれる¹⁾。このため、歯科臨床で頻繁に用いられる口内法X線像やパノラマ画像から顎骨の骨密度を推定する技術が幾つか提案されてきたが、方法が煩雑で撮影や計測のための器具も必要となる⁹⁻¹¹⁾。骨密度計測とは違った方向性のアプローチとして、パノラマ画像で観察可能な下顎骨下縁皮質骨の厚さや形態から骨粗鬆症をスクリーニングする方法が注目された⁵⁻¹⁶⁾。1995年頃に、オトガイ孔の位置で下顎骨下縁皮質骨の厚さと骨の形態を評価する簡便な方法が提案されて以来、世界中で数多くの臨床研究が行われ、歯科で実施可能な骨粗鬆症のスクリーニング法として有用性が実証されている⁹⁻¹¹⁾。下顎骨の歯に近い部分は、歯の根尖の病巣や歯周病の炎症による影響を受けやすい。しかし、下顎骨下縁皮質骨まで歯科疾患の影響が及ぶことは少ないため、ほぼ安定した評価が可能である。これまでに発表された多数の論文に示されたエビデンスを吟味したメタアナライシスの結果は、パノラマ画像により下顎骨下縁皮質骨の形態を分類評価するスクリーニング方法が骨粗鬆症の発見に有効である事を示している¹⁷⁾。

一方、2000年以降はX線撮影機器のデジタル化が急速に進み、2015年現在では新規に販売される歯科用X線装置のほぼすべてがデジタルシステムになっている。デジタル画像の利点のひとつはコンピュータ上で様々な画像処理が可能なることにある¹⁸⁾。デジタルパノラマ画像から下顎骨下縁皮質骨の厚さを計測したり骨皮質の形態を評価したりする画像処理技術が提案されている¹⁹⁻²²⁾。先頃、これまで

に確立した画像処理法を用いて、デジタル化されたパノラマ画像から下顎骨下縁皮質骨の厚さや形態（以後、骨形態と略す）を解析することによりコンピュータソフトウェア（PanoSCOPE）が開発された。そこでわれわれは、複数の歯科放射線指導医が骨形態を評価・分類した症例をゴールドスタンダードとして、PanoSCOPEによる骨形態分類の精度について検討した。

材料および方法

I. 骨形態解析システム（PanoSCOPE）の概要

PanoSCOPEは骨粗鬆症の診断装置ではない。歯科医師が歯科疾患で撮影されたパノラマ画像を分析して、患者に骨粗鬆症の精密検査を受ける事を勧めるべきか否かを判断する、画像観察を支援する装置である。骨粗鬆症スクリーニングのためのPanoSCOPEの機能を以下に示す。

- 1) 田口ら¹⁴⁾の方法に従い、オトガイ孔付近の下顎骨下縁皮質骨形態をクラス1, 2, 3に分類する
- 2) オトガイ孔付近の下顎骨下縁皮質骨の厚さを計測する
- 3) 骨形態と皮質骨厚さを総合した「骨形態指数」を算出し、骨粗鬆症疑いの程度をテキストで表示する
- 4) 自動的な評価・計測の結果を歯科医師が検討したうえで、手動により計測位置や皮質骨厚さ設定して再評価ができる

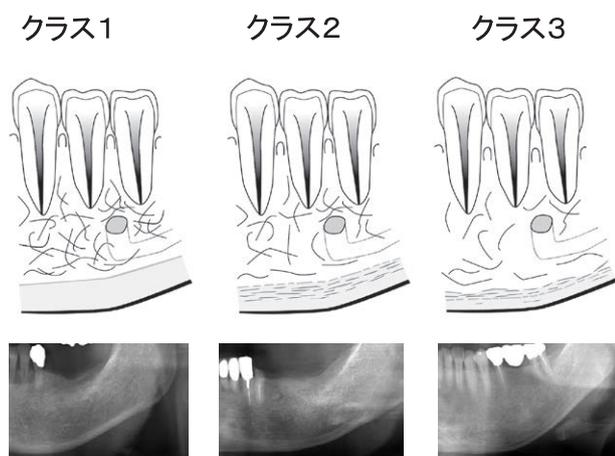


図1 下顎骨下縁皮質骨形態のクラス分類

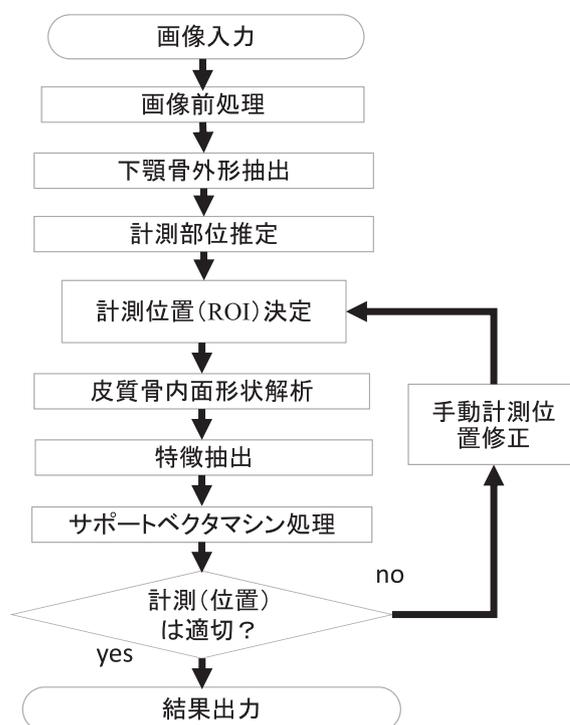


図2 PanoSCOPEによる下顎骨下縁皮質骨形態分析のフローチャート。自動分析結果を歯科医師が目視で確認して計測位置の修正をおこなう。

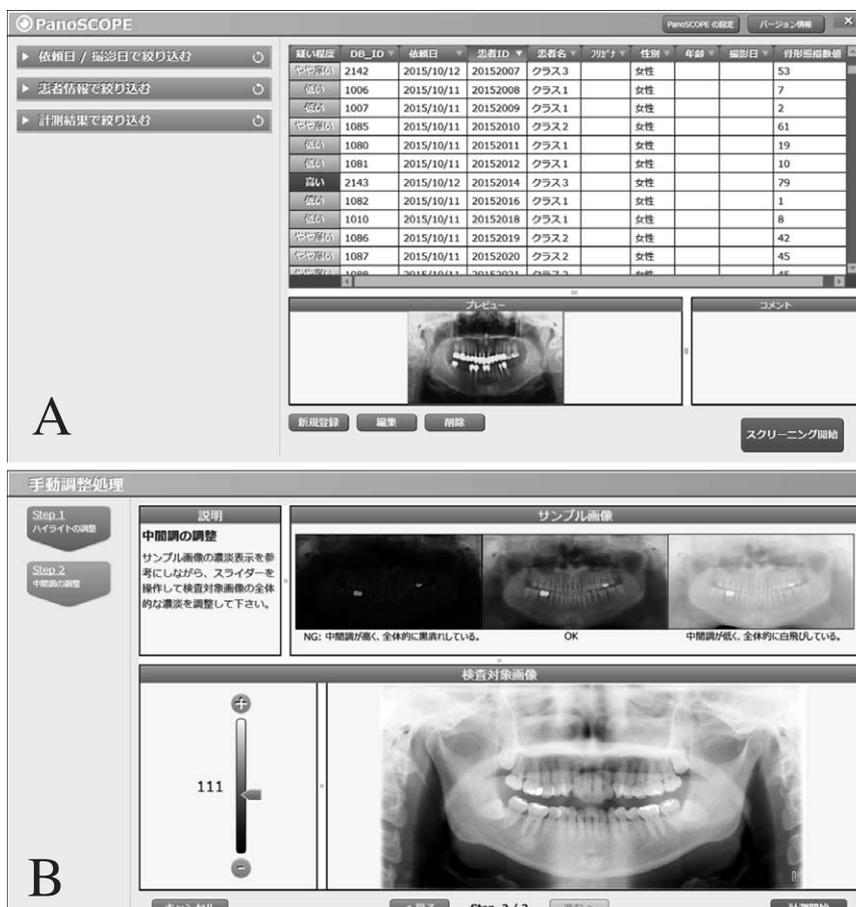


図3 PanoSCOPEのインターフェイス。Aデータベース画面, B画像濃度(手動)補正画面。

図1には下顎骨下縁皮質骨形態分類におけるクラス1～3の模式図およびパノラマ画像を示す。クラス1は正常なもの、クラス2は骨粗鬆症による骨変化の存在が疑われるもの、クラス3は疑いが大きいものである。図2にはPanoSCOPEによる骨形態分析のフローチャートを示す。装置に入力されたパノラマ画像データは、画像の濃度や正中線・咬合平面の位置や傾きを自動的に補正する前処理の後、まず下顎骨下縁皮質骨の自動分析がおこなわれる。すなわち皮質骨形態に関しては、皮質骨の厚さ、線状構造の数、および長さや配置などの特徴量を検出して学習アルゴリズムであるサポートベクターマシンで処理することによりクラスの分類がおこなわれる。自動分析の結果を歯科医師がチェックして、計測部位が正しくオトガイ孔付近にきていない、あるいは皮質骨の厚さが正しく判定されていないことが疑われた場合、手動でオトガイ孔の位置や皮質骨厚さの計測範囲を設定して再計測することができる。PanoSCOPEは骨形態分析の他に以下の機能を持つ。

- 1) 入力した画像データを蓄積し、症例画像を検索・表示するデータベース機能

- 2) 画像の濃度や正中線・咬合平面を手動で補正する機能
- 3) 解析結果を画像付きのレポートとして出力(印刷)する機能
- 4) 異常が疑われた症例に対して医科医療施設に紹介する文章を作成する機能

図3には、PanoSCOPEのデータベースウインドウ、手動による濃度補正ウインドウ、画像位置の補正ウインドウ、および分析結果表示ウインドウを示す。

II. パノラマ画像クラス分類のテスト

症例データベースは、PanoSCOPE開発の起点となったパノラマ画像の診断・検出支援技術の開発に関する下記のプロジェクト研究において収集・蓄積された歯科受診中の成人女性のデジタルパノラマ画像である。

- 1) 文部科学省 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)「歯科領域における画像診断支援システムの開発」(2009～2011年度)
- 2) 総務省 戦略的情報通信研究開発推進制度(SCOPE)「知的画像処理の活用による高度歯科遠隔診断システ

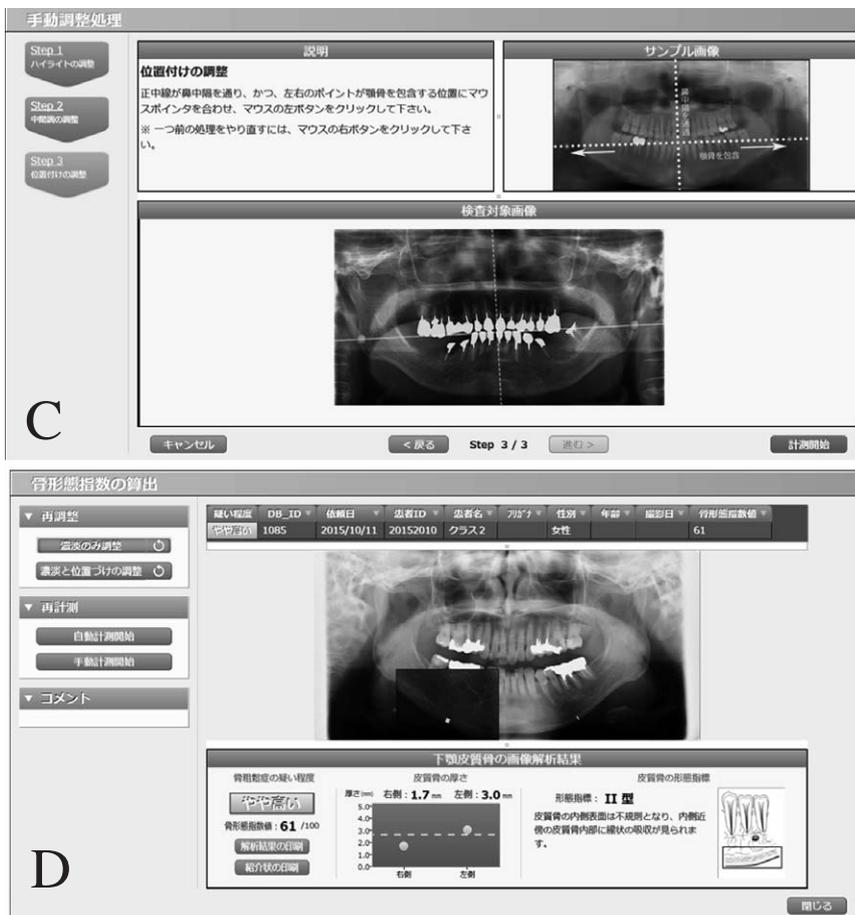


図 3 PanoSCOPEのインターフェイス。C 画像位置（手動）補正画面，D 分析結果表示画面。

専門医診断 n=205	自動処理結果 n=205	手動再計測例 n=25	手動計測 併用結果 n=205
クラス1, 78例	クラス1, 74例 クラス2, 3例 ↓ クラス3, 1例	2例	クラス1, 74例 クラス2, 3例 ↓ クラス3, 1例
クラス2, 67例	クラス2, 50例 クラス1, 9例 ↓ クラス3, 8例	15例	クラス2, 62例 クラス1, 4例 ↓ クラス3, 1例
クラス3, 60例	クラス3, 52例 クラス2, 8例	8例	クラス3, 54例 クラス2, 6例

図 4 PanoSCOPE による下顎骨下縁皮質骨形態のクラス分類

画像が撮影されたのは、大学附属病院 5 施設、歯科開業医 12 施設である。画像は匿名の jpg 画像データとして収集され、約 2,000 例が朝日大学歯学部歯科放射線学分野にて保存・管理されている。パノラマ画像は、それぞれの歯科診療施設で異なったデジタルパノラマ撮影システムで取得されたものであり、撮影条件（管電圧・管電流等）、画像処理パラメータ（画像コントラスト等）および解像度（画素サイズ）は様々である。クラス 1～3 の症例数がほぼ近くなる様に予備的に選抜した画像 265 例を、臨床経験年数 20 年以上の歯科放射線指導医 3 名が別個にコンピュータで観察してクラス 1～3 に分類し、名の分類結果が一致した 205 例をゴールドスタンダードとして Pano-SCOPE のテストに供した。クラス分類の内訳は、クラス 1 が 78 例、2 が 67 例、3 が 60 例である。なお本研究は朝日大学歯学部倫理委員会の承認の基に実施されている。

PanoSCOPE による下顎骨下縁皮質骨クラス分類は、はじめに自動分析をおこない各クラスにおいてゴールドスタンダードと同じ分類が得られた割合（一致率）を求めた。次に、正常例（陰性）と異常が疑われる症例（陽性）のカッ

ムの研究開発」（2012～2013 年度）

- 3) 文部科学省 科学研究助成事業（学術研究助成基金助成金）基盤研究（B）「コンピュータ支援診断・検出を活用した歯科医療情報ライブラリの構築」（2014～2016 年度）

A

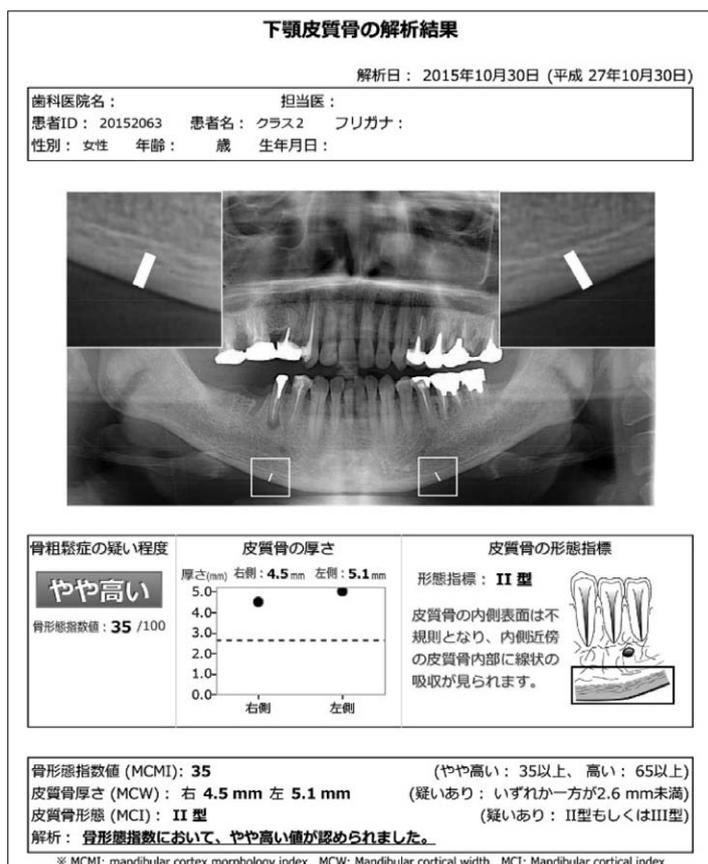


図5 PanoSCOPEより出力される「画像付きレポート」。A クラス2症例。

トオフ点をクラス1とクラス2の間、およびクラス2とクラス3の間に置いて、感度および特異度を求めた。続いて、歯科放射線指導医1名が自動分析の結果表示を確認し、計測部位がオトガイ孔付近から離れていた例、および皮質骨の厚さが正しく判定されていなかった例を選出して手動で再計測をおこなった。この手動計測を併用したクラス分類の結果に関しても、各クラスの一一致率、およびクラス2あるいはクラス3以上を陽性とした場合の感度および特異度を求めた。

結 果

PanoSCOPEによる自動処理の結果、クラス1判定の一一致率は94.9%、クラス2は74.6%、クラス3は85.0%であった。クラス2以上を陽性とした場合の感度は92.9%、特異度は94.9%であった。クラス3以上を陽性とした場合の感度は86.7%、特異度は93.8%であった。自動処理の結果を確認したところ、クラス1で2例、クラス2で15例、クラス3で8例の合計25例において手動による再計測がおこなわれた。手動による再計測の結果、25例中15例で

はクラス分類が変更されたが、10例では自動処理と同じクラスに分類された。

手動計測を併用した場合の一一致率は、クラス1が94.9%、クラス2は92.5%、クラス3は90.0%であった。クラス2以上を陽性とした場合の感度は94.5%、特異度は94.9%であった。クラス3以上を陽性とした場合の感度は90.0%、特異度は98.6%であった。

図4のグラフは、PanoSCOPEによる自動処理および手動計測併用の結果をまとめたものである。図5には骨粗鬆症が疑われるクラス2および3に分類された症例の「画像付きレポート」の一部を示す。

考 察

今日のパノラマX線撮影の原型となる撮影装置は1950年代に開発され、1970年代には画像に切れ目がない顎骨歯列の展開像が得られる連続軌道方式へと進歩して歯科臨床に急速に普及した²³⁾。現在では、日本の歯科診療施設のほとんどがパノラマX線装置を保有し、年間に約1,200万件の撮影がおこなわれている¹⁸⁾。パノラマ画像は、スリット

B

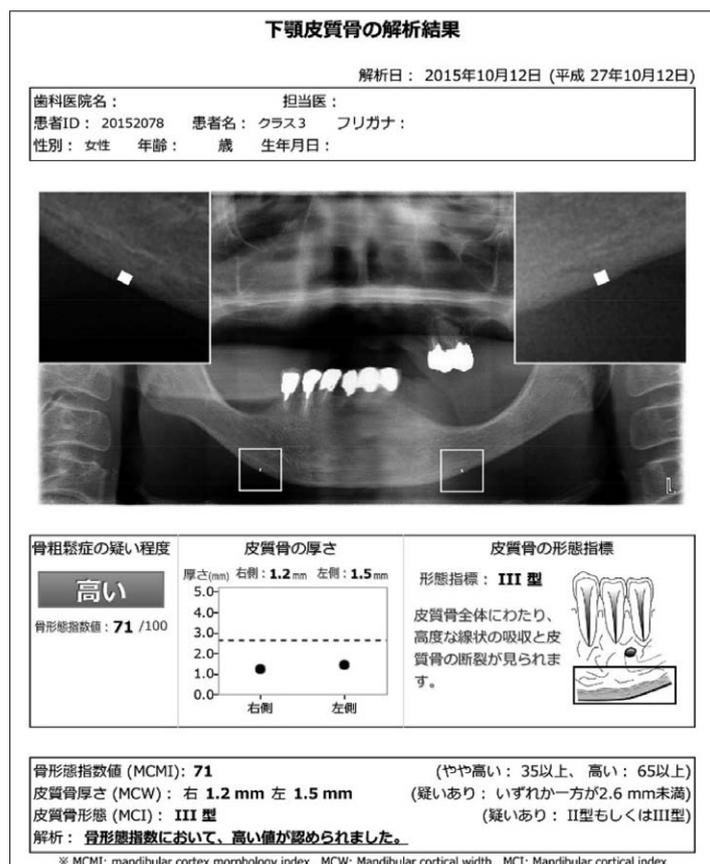


図 5 PanoSCOPE より出力される「画像付きレポート」。Bクラス3症例。

(細隙)を通した細いX線束により顎骨・歯列を走査的に撮影するスキャノグラムと、顎顔面にあわせて設定されたU字型の断層域に含まれる顎骨歯列の形態が明瞭に描出されるトモグラフィ(断層撮影)が組み合わせられた複雑な原理により画像を取得する²⁴⁾。パノラマ画像の概形はどれも同じように見えるが、撮影(X線照射)条件、患者の頭部固定の方法、断層域の形態や大きさ、歯列の各部におけるX線入射角度、および表示される画像のコントラストなどの設定にはメーカーおよび機種によるバリエーションがある²⁵⁾。このためPanoSCOPEでは、多様な環境で撮影されたパノラマ画像で下顎骨下縁皮質骨の解析をおこなう前処理として、あらかじめ設定した基準と合致するように画像濃度や形態を調整する機能を備えている。PanoSCOPEにおける下顎骨下縁皮質骨形態の解析は、Muramatsuら²⁶⁾が報告した、エッジ検出画像処理により皮質骨本体と骨粗鬆症により粗造となった部分を自動的に検出し、粗造化の程度を定量的に評価する方法に基づいている。また、下顎骨下縁皮質骨の厚さを自動計測し²¹⁾、粗造化の程度とあわせて骨形態指数を算出している。そのため、画像の濃度や

解像度を画像処理に適する様に調節することが、正確な判定のために重要な要素となる。本研究において、データベースの症例すべてで下顎骨下縁皮質骨形態の自動分析が可能であったことには、この画像前処理機能の効果が大きいと思われる。一方で、手動による計測位置の調節が必要と判定された画像が25例(データベースの約12%)あったことは、画像の前処理機能に改良の余地があることを示すのかもしれない。パノラマ画像では、断層域の外に位置する頸椎や反対側の下顎角のゴースト陰影が顎骨の画像に重複する事が避けられない²⁷⁾。下顎骨皮質を評価する部位としてゴースト陰影の重複がないオトガイ孔の位置が選定されたことは、パノラマ撮影の原理からみても妥当であると考えられる。コンピュータによる画像処理にとっても、他の解剖構造との重複が少ないオトガイ孔付近は好適であると考えられる。

パノラマ画像により骨粗鬆症をスクリーニングする試みは、愛知の歯科医師会を始めとして全国的な広がりを見せようとしている。愛知県におけるパノラマX線画像スクリーニングにより、これまでに約200名以上の治療を要す

る骨粗鬆症患者が発見された事が紹介されている⁸⁾。大腿骨や腰椎の骨密度計測で確定された骨粗鬆症の診断をゴールドスタンダードとした場合、肉眼によるパノラマ画像の皮質骨形態観察によるスクリーニングの感度は約87%、特異度は約63%になり、経験の長い歯科放射線医ではこれより診断能が高くなるとされている^{7,8)}。本研究においては、PanoSCOPEによる自動分析単独で約75%から95%、手動計測を併用すると約90%から95%の症例でゴールドスタンダードと一致した症型分類が得られ、クラス2以上を陽性とした場合に90%以上の感度、特異度が得られている。これは、PanoSCOPEによる骨形態分析が骨粗鬆症のスクリーニングに有効な事を示すものと考えられる。また、肉眼による観察では観察者の能力や経験の差が判定に影響する可能性があるが²⁸⁾、コンピュータでは客観的で定量的な分析が可能な事も利点である。一方、PanoSCOPEの自動処理においては、他のクラスと比較してクラス2症例におけるゴールドスタンダードとの一致数が少なくなっていた。われわれ歯科放射線医が肉眼でクラス分類をおこなう場合も、症例がクラス2か3かで迷う場合が少なくない。Bollenら²⁹⁾は、骨折のリスクが高いのはクラス3であると述べている。本研究では、クラス3以上を陽性とした場合の感度が、クラス2以上を陽性とした場合よりも約6%低かった。骨形態の微妙な違いを見分けるクラス2と3の識別能に関しては、PanoSCOPEのコンピュータアルゴリズムに改良の余地があると思われる。また、下顎骨下縁皮質骨の形態分類基準に関しても、クラス2と3の鑑別ポイントがより明快になるような改良を期待したい。PanoSCOPEはあくまでも歯科医師によるパノラマ画像診断を支援する装置である。臨床応用にあたっては、自動分析の結果を歯科医師が必ず肉眼で確認することが必要と考える。

下顎骨の形態分類は骨粗鬆症のスクリーニングとして有効であるが、結果がカテゴリー(質的)変数であるため、骨密度計測の様に骨粗鬆症疑いの程度を定量的に評価する用途には用いにくい。PanoSCOPEは、コンピュータにて収集された皮質骨形態に関する画像工学的な特徴量から計算した独自の「骨形態指数」、および皮質骨厚さを表示する機能も備えている。今後、PanoSCOPEの臨床応用においてこれらの量的変数のデータを収集解析することで、さらに精度の高い骨形態分析が可能になると考える。

結 論

パノラマ画像上の下顎骨下縁皮質骨形態を解析するシステム(PanoSCOPE)の精度を検討した結果、90%を超える症例で歯科放射線指導医と一致した形態分類が可能が示された。

謝 辞

本稿で紹介致しました共同研究/プロジェクトに携わった産学官の方々の多大なご協力をいただきました。大学関係者、企業関係者、および岐阜県研究開発財団および総務省東海総合通信局の関係の皆様は誌上を借りて厚くお礼申し上げます。また、パノラマ画像の収集にご協力頂いた被験者の皆様、大学病院関係者の皆様、および岐阜県歯科医師会員をはじめとした開業医の皆様は深謝いたします。

COI: 本研究に使用した試作コンピュータシステム等は、メディア株式会社より提供を受けた。

文 献

- 1) 骨粗鬆症の予防と治療ガイドライン作成委員会編: 骨粗鬆症の予防と治療ガイドライン, ライフサイエンス出版, 東京, 2011.
- 2) Advisory Task Force on Bisphosphonate-Related Osteonecrosis of the Jaws: American Association of Oral and Maxillofacial Surgeons. American Association of Oral and Maxillofacial Surgeons position paper on bisphosphonate-related osteonecrosis of the jaws. *J Oral Maxillofac Surg* 65: 369-376, 2007.
- 3) 音琴淳一, 渡邊英俊, 他: パノラマX線写真パラメータ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* 43: 13-24, 2001.
- 4) 杉石 泰, 稲垣幸司, 他: 閉経後女性の歯周病所見と骨粗鬆症所見の関係. *日歯周誌* 48: 10-16, 2006.
- 5) 田口 明: 歯科のパノラマX線写真を用いて早期に骨粗鬆症患者をスクリーニングする(1). *日本顎咬合学会誌 咬み合わせの科学* 30: 248-249, 2010.
- 6) 田口 明: 歯科のパノラマX線写真を用いて早期に骨粗鬆症患者をスクリーニングする(2). *日本顎咬合学会誌 咬み合わせの科学* 31: 122-125, 2011.
- 7) 田口 明: 歯科のパノラマX線写真を用いて早期に骨粗鬆症患者をスクリーニングする(3). *日本顎咬合学会誌 咬み合わせの科学* 31: 272-275, 2012.
- 8) 田口 明: 歯科のパノラマX線写真を用いて早期に骨粗鬆症患者をスクリーニングする(4). *日本顎咬合学会誌 咬み合わせの科学* 32: 199-201, 2012.
- 9) Nackaerts O., Jacobs R. et al.: Bone density measurements in intra-oral radiographs. *Clin Oral Investig* 11: 225-229, 2007.
- 10) 野井倉武憲, 森田康彦, 他: アルミニウム当量画像に関する骨塩量の測定による相違. *歯科放射線* 34: 171-177, 1994.
- 11) 高石佳知: 骨粗鬆症予防対策の歯科と医科の接点 歯槽骨の基礎から臨床まで 骨粗鬆症性骨折の予防対策としての歯槽骨骨密度評価(解説). *Osteoporosis Japan* 22: 357-362, 2014.
- 12) Klemetti E., Kolmakov S. et al.: Pantomography in assessment of the osteoporosis risk group. *Scand J Dent Res* 102: 68-72, 1994.
- 13) Taguchi A., Tanimoto K. et al.: Oral signs as indicators of possible osteoporosis in elderly women. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 80: 612-616, 1995.
- 14) Taguchi A.: Triage screening for osteoporosis in

- dental clinics using panoramic radiographs. *Oral Diseases* 16 : 316-327, 2010.
- 15) Taguchi A., Sueti Y. et al.: Usefulness of panoramic radiography in the diagnosis of postmenopausal osteoporosis in women. Width and morphology of inferior cortex of mandible. *Dentomaxillofac Radiol* 25 : 263-267, 1996.
 - 16) Roberts M., Yuan J. et al.: Changes in mandibular cortical width measurements with age in men and women. *Osteoporos Int* 22 : 1915-1925, 2011.
 - 17) Calciolari E., Donos N. et al.: Panoramic measures for oral bone mass in detecting osteoporosis: a systematic review and meta-analysis. *J Dent Res* 94(Suppl) : 17S-27S, 2015.
 - 18) 勝又明敏: パノラマ X 線撮影のルネサンスをめざして. *岐阜歯科学会雑誌* 38 : 117-128, 2012.
 - 19) Katsumata A. and Fujita H.: Progress of computer-aided detection / diagnosis (CAD) in dentistry. *Japanese Dental Science Review* 50 : 63-68, 2014.
 - 20) 藤田広志, 勝又明敏, 他: 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) 岐阜県南部エリアにおける「歯科領域における画像診断支援システムの開発」. *医用画像情報学会雑誌* 31 : 18-30, 2013.
 - 21) Muramatsu C., Matsumoto T. et al.: Automated measurement of mandibular cortical width on dental panoramic radiographs. *Int J Comput Assist Radiol Surg* 8 : 877-885, 2013.
 - 22) 中元 崇, 田口 明, 他: パノラマエックス線画像上の下顎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 : 33-38, 2011.
 - 23) Hallikainen D.: History of panoramic radiography. *Acta Radiol* 37 : 41-45, 1996.
 - 24) Tokuoka O.: The principles of panoramic tomography. *Oral Radiol* 5 : 31-38, 1989.
 - 25) Nummikoski P.: Imaging characteristics of seven panoramic x-ray units. *Dentomaxillofac Radiol* 8 : 61-68, 1985.
 - 26) Muramatsu C., Horiba K. et al.: Quantitative assessment of mandibular cortical erosion on dental panoramic radiographs for screening osteoporosis. *Int J Comput Assist Radiol Surg* (in press).
 - 27) McDavid W.D., Langlais R.P. et al.: Real, double, and ghost images in rotational panoramic radiography. *Dentomaxillofac Radiol* 12 : 120-128, 1983.
 - 28) Taguchi A., Asano A. et al.: OSPD International Collaborative Group. Observer performance in diagnosing osteoporosis by dental panoramic radiographs: results from the osteoporosis screening project in dentistry (OSPD). *Bone* 43 : 209-213, 2008.
 - 29) Bollen A.M., Taguchi A. et al.: Case-control study on self-reported osteoporotic fractures and mandibular cortical bone. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 90 : 518-524, 2000.