

モルフォロジー演算を用いた歯科パノラマ X 線写真上の 頸動脈石灰化の自動検出法

澤頭 毅[†] 原 武史[†] 勝又明敏[‡] 村松千左子[†] 周 向荣[†] 飯田幸弘[‡]
脇阪 孝[‡] 松岡正登[‡] 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学分野 〒501-0296 岐阜県瑞穂市穂積 1851

E-mail: [†] {gashira, hara, chisa, fujita}@fjt.info.gifu-u.ac.jp, [‡] kawamata@dent.asahi-u.ac.jp

あらまし 近年、頸動脈の石灰化は動脈硬化症の進行を予測するための指標の一つとして期待されている。歯科診療で撮影される歯科パノラマ X 線写真上では、頸動脈石灰化が描出されることがあるため、検知が可能である。本研究の目的は、歯科疾患の診断に使用されるパノラマ X 写真の付加的な評価として、頸動脈石灰化を自動検出する手法の開発である。提案手法では、まず初めに、下顎骨の輪郭線の変曲点を用いて関心領域を設定する。次に、石灰化の初期候補領域をトップハットフィルタと 2 値化によって得る。最後に、候補領域の位置や面積、円形度などをもとにルールベース法とサポートベクターマシンを用いて偽陽性の削除を行う。石灰化を含む 34 症例と、正常な 66 症例の計 100 症例の歯科パノラマ X 線写真を用いて交差検定を行った結果、感度が 90% のとき偽陽性数が 4.3 個/症例 (80% のとき、1.9 個/症例) となった。実験結果より、提案手法の有用性が示唆された。

キーワード 頸動脈, 石灰化, トップハット変換, 歯科パノラマ X 線写真, コンピュータ支援検出

A method to detect carotid artery calcifications using morphological filter on dental panoramic radiographs

Tsuyoshi SAWAGASHIRA[†] Takeshi HARA[†] Akitoshi KATSUMATA[‡]
Chisako MURAMATSU[†] Xiangrong ZHOU[†] Yukihiro IIDA[‡]
Takashi WAKISAKA[‡] Masato MATSUOKA[‡] Hiroshi FUJITA[†]

[†] Department of Intelligent Image Information, Division of Regeneration and Advanced Medical Sciences, Graduate School of Medicine, Gifu University, 1-1 Yanagido, Gifu, 501-1194 Japan

[‡] Department of Oral Radiology, Asahi University School of Dentistry, 1851 Hozumi, Mizuho, Gifu, 501-0296, Japan

E-mail: [†] {gashira, hara, chisa, fujita}@fjt.info.gifu-u.ac.jp, [‡] kawamata@dent.asahi-u.ac.jp

Abstract The purpose of this study is to develop an automated scheme of carotid artery calcification (CAC) detection on dental panoramic radiographs (DPRs). The CAC is one of the indices for predicting the risk of arteriosclerosis. First, regions of interest (ROIs) that include carotid arteries were determined on the basis of inflection points of the mandibular contour. Initial CAC candidates were detected by using a grayscale top-hat filter and a simple grayscale thresholding technique. Finally, a rule-based approach and a support vector machine to reduce the number of false positive (FP) findings were applied using features such as the area, location, and circularity. A hundred DPRs were used to evaluate the proposed scheme. The sensitivity for the detection of CACs was 90% with 4.3 FPs (80% with 1.9 FPs) per image. Experimental results showed that our computer-aided detection scheme might be useful to detect CACs.

Keywords Carotid artery, Calcification, Top-hat transform, Dental panoramic radiograph, Computer-aided detection

1. はじめに

平成 23 年の厚生労働省の調査によると、日本における死因別死者数の割合では、心疾患が 15.6%、脳血管疾患が 9.9% を占めている [1]。これらの疾患は「動脈硬化性疾患」と呼ばれており、自覚症状があまりないため、早期発見が難しいとされている。

本研究の対象としている頸動脈の石灰化は、動脈硬化性疾患に罹患する危険性を予測するマーカーの一つとして期待されている [2, 3]。近年、歯の治療のために撮影される歯科パノラマ X 線写真において、頸動脈の石灰化が描出されるとの報告がある [4, 5]。しかし、歯科パノラマ X 線写真で発見された頸動脈の石灰化の存

在が、必ずしも動脈硬化性疾患の有無を意味するわけではない[6].

動脈硬化性疾患や頸動脈の石灰化には自覚症状がないため、患者が早期に医療を受診する機会は少ないと考えられる。よって、歯科治療で撮影されたパノラマ X 線写真で頸動脈の石灰化を偶然発見したとき、医師が患者に対して、動脈硬化性疾患に罹患する危険性を説明すれば、早期の段階で医療機関を受診する機会が増加する効果が期待できる。

しかし、歯科パノラマ X 線写真の読影では、通常、歯科疾患のみに注視している。加えて、歯科診療時のウィンドウレベルでは、歯科パノラマ X 線写真上から石灰化像を発見するのは容易ではなく、見落とされる可能性が高い。よって本研究では、歯科パノラマ X 線写真に描出される頸動脈石灰化を自動で検出し、医師に提示するコンピュータ支援検出 (computer-aided detection: CADe) システムの開発を目的とする。

石灰化の検出に関する従来の研究では、泉ら[7]が輝度勾配に注目した手法を提案しており、画像中で輝度値が極大となる位置を検出し、石灰化領域を特定する手法を開発している。しかしながら、用いて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。

今回、我々は手法[8]の精度を向上させるため、偽陽性 (false positive: FP) 削除で用いる特徴量のしきい値などのパラメータの調整を行った。さらに、石灰化を含む 34 症例に正常症例 66 を追加し、計 100 症例にデータベースを拡張した。

2. 試料画像

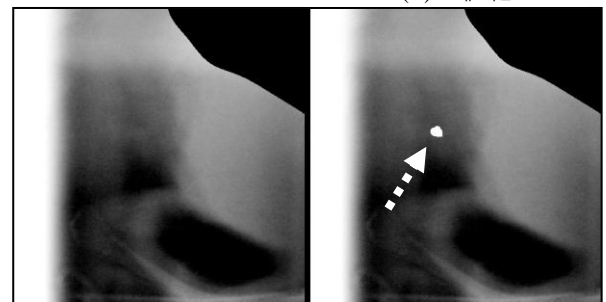
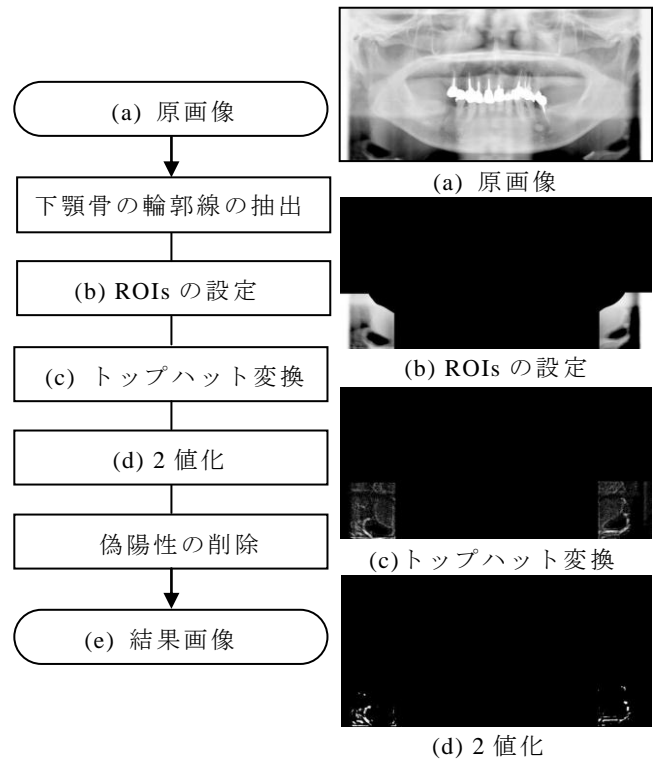
本研究では、歯科疾患の診断のために朝日大学歯学部附属病院で撮影された頸動脈石灰化を含む 34 症例と石灰化を含まない 66 症例の計 100 症例の歯科パノラマ X 線写真を使用する。歯科パノラマ X 線写真は、パノラマ X 線装置 (Veraview epocs, Morita, Japan) と Computed Radiography (CR) (CR 75.0, Agfa, Germany) を用いて撮影した。撮影は、フランクフルト平面を基準とする頭部の標準のポジショニング、エックス線被曝の制御を自動モードとし、DICOM 形式でコンピュータに保存されている。すべての石灰化は、1 名の歯科医が CT 等のモダリティを用いて、その存在を確認している。

なお、本研究は、岐阜大学と朝日大学の倫理審査委員会にて承認を受けている。

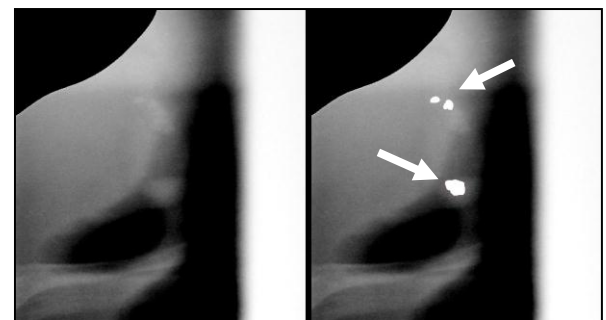
3. 提案手法

3.1. 概要

提案手法の処理の流れを図 1 に示す。まず初めに、



画像左側の ROI 拡大画像(左:原画像, 右:結果画像)



画像右側の ROI 拡大画像(左:原画像, 右:結果画像)

(e) 結果画像

図 1 提案手法の概要. (d)で得られた初期候補領域に FP 削除処理を行った後、原画像と重ねたものが (e)となる。破線の矢印は偽陽性を示す。

頸動脈石灰化が存在すると思われる関心領域を、画像内に設定する。頸動脈石灰化は下顎骨より下側に描出されるため、下顎骨の輪郭線をもとに関心領域を設定した[9-12]。頸動脈石灰化は周辺部分と比べて輝度値

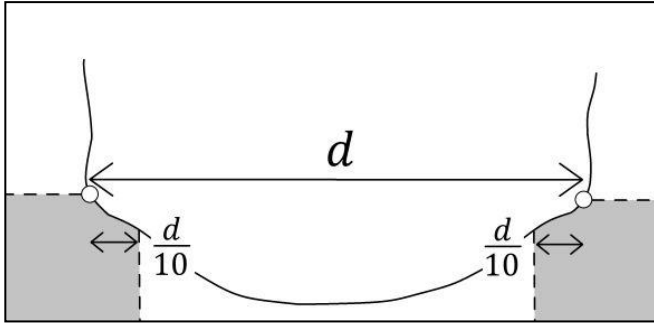


図 2 ROIs の設定. 輪郭線から左右の変曲点 (○印) を取得し, 2 点から関心領域 (灰色部分) を設定する.

が高い部位として観察されるため, モルフォロジー処理の 1 つであるトップハット変換[13]による強調処理を行う. しかし, 歯科パノラマ X 線写真上に描出される頸椎や舌骨などの骨にも局所的に輝度値の高い部分が多く存在する. そこで, 提案する手法では関心領域を設定した後, 頸椎を識別し, 頸椎を石灰化の検出対象外とする. また, 舌骨や削除できなかった頸椎部分を検出し, トップハット変換後の強調画像との対応する部分を削除する. その後, 検出した石灰化の候補領域について, 面積, 位置, 輝度値などの特徴量を解析し, 石灰化でない部位 (false positive: FP) を削除する.

3.2. 関心領域 (ROIs) の設定

頸動脈の石灰化の位置は画像の左右, 下顎骨の下部分に限定できると考えられる. 今回は手法[11]を用いて下顎骨の輪郭線を自動で抽出し, その結果から ROIs を設定する. 輪郭線の中央部分から外側に向かって走査し, 鉛直方向と輪郭の接線のなす角度が 15° 以内になったとき, その点を変曲点とする. この時点で変曲点を決定できなかった場合, 基準の角度を大きくし, 再び走査する. 得られた 2 つの変曲点を用いて左右のマーヅンを決定し, 図 2 に示すような ROIs を取得する.

3.3. 頸椎と舌骨部分の削除

頸椎は椎体が縦に連なっており, 各椎体の境界にある終板は横方向のエッジとして観察できる. そこで, 3×3 のソーベルフィルタを用いて横方向のエッジを強調した画像を生成し, 2 値化を行う.

次に, 2 値化した画像のラベリングを行い, 各エッジにラベル付けを行う. この時, 横幅が 70 pixels 以上 150 pixels 未満のエッジを短エッジ, 150 pixel 以上のエッジを長エッジとする. ラベル付けされた各領域のうち, 画像の横幅の左右の領域について, 縦方向ごと 1 列ずつラベルの個数を計算する. 左右それぞれについて, 画像の中心部分から外側に走査し, ラベルの個

数が, 短エッジ 8 個以上, または長エッジが 6 個以上になる位置を調べる. それらの位置を頸椎の境界とみなし, そこから外側を石灰化の検出部位から除外する. また, 舌骨などの局所的に輝度値の高い部分のエッジも検出されるため, このエッジと対応する位置についても検出部位から除外する.

3.4. 初期候補領域の検出

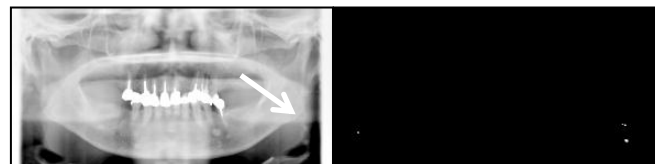
原画像に対し, マスクサイズ 5×5 の移動平均平滑化を行い, 雑音を削除した画像を得る. 続いて, 濃淡トップハット変換を適用し, 局所的に輝度値の高い部位を強調する. 今回, トップハット変換に用いる構造化要素は半径 1.5 mm の円を使用する.

そして, トップハット変換によって強調した画像をしきい値 135 で 2 値化し, 初期候補領域を含む画像を生成する.

3.5. 偽陽性の削除

石灰化の各候補領域において, 面積, 平均輝度値, 輝度値の分散, 候補領域と周辺領域との輝度値差, 縦幅, 横幅, 縦/横比, 円形度, 不整形度, 関心領域内の水平方向・垂直方向の相対位置の 11 個の特徴量を求める. まず, ルールベース法を適用する. 11 個の特徴量のそれぞれに対し, 石灰化の最大値と最小値を求めることによってルールを設定し, この範囲内にある候補以外を削除し, 頸動脈石灰化と FP 候補を区別する.

次に, 同じ特徴量を入力としたサポートベクターマシン[14]によって, FP をさらに削除する. カーネルは



症例 1



症例 2



症例 3

図 3 検出結果例 (3 例). 実線の矢印で示される部分に頸動脈石灰化が存在する.

2 次の多項式カーネルを用いた。性能評価のため、画像データベースを学習用とテスト用に半分に分け、2 グループによる交差検定を 10 回繰り返した。

4. 結果

100 症例の歯科パノラマ X 線画像をもちいて精度評価を行ったところ、頸動脈石灰化の検出感度が 90% のとき、一画像あたり 4.3 個の FP となった(80% のとき、1.9 個/症例)。検出例を図 3 に示す。症例 1 は矢印で示された石灰化が検出できているものの、もう片側に FP が検出された。症例 2 では 2 か所の石灰化が正しく検出されており、FP も検出されなかった。症例 3 については FP が検出されていないものの、頸動脈石灰化の検出もできていなかった。この石灰化は淡く描出されており、周囲との輝度値の差もほとんどなかったため、初期候補としては検出されていたが FP 削除の段階で FP として削除されてしまった。

図 4 は CADe の性能の平均を示した Free-response ROC 曲線 (FROC 曲線) である。この曲線は、SVM の出力値をしきい値として感度と FP 数を算出して得られた。

5. 考察

歯科パノラマ X 線写真上の異常像の発見は、動脈硬化性疾患のような全身疾患の早期発見のための新しいスクリーニング手段として有用であると考えられる。そして、疑わしい初見を歯科医に提示するという点で、CADe は新たなスクリーニング手段をサポートするものとなり得る。

FP は椎骨のエッジ等に現れやすく、本手法では FP 数の抑制のため頸椎領域を除外する処理を行っているものの、頸椎付近に石灰化が描出される症例や、患者の撮影時のポジショニングにより頸椎が画像内に写り

込む度合いが大きく異なる。そのため、現段階では頸椎の部分的な除外のみに留まっており、完全な除外は難しい。

本研究では、頸動脈石灰化の検出感度は 90% であったが、使用したデータベースは計 100 症例と比較的少ないことと、1 つの施設から収集した症例で構成されている。西山ら[15]は、文献[8]で構築した CADe システムを用いて、異なる機器で撮影した歯科パノラマ X 線写真に対する検出実験を行ったが、感度は 68.1%、特異度は 65.9%にとどまった。歯科パノラマ X 線写真は撮影機器によって空間分解能や濃度分解能の違いが様々であり、撮影時のポジショニングにも大きく影響を受ける。そのため、将来的には多施設の画像を収集し、データベースの拡張を行い、さらに詳しい精度評価が必要であると考えられる。また、画像中の石灰化は 1 名の歯科医によって確認されているものの、その患者が動脈硬化性疾患であるかどうかについてはまだ調査していないため、今後追跡する必要がある。

6. まとめ

本研究では、歯科パノラマ X 線写真における頸動脈石灰化の自動検出法を提案した。実験の結果、FP 数が 4.3 個/症例のとき、90% の石灰化の検出に成功した。この結果から、提案手法の有用性が示唆された。

今後の課題として、FP 削除法の改善、異なる機器で撮影された歯科パノラマ X 線写真に対する実験を行い、提案手法の精度を向上させることが挙げられる。

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、メディア株式会社の方々に感謝の意を表します。本研究の一部は、総務省戦略的情報通信研究開発推進制度 (SCOPE) において採択された「知的画像処理の活用による高度歯科遠隔診断システムの研究開発」(平成 24 年 8 月~25 年度末) プロジェクト(代表:勝又明敏)によって行われました。また、平成 24 年度岐阜大学技術交流研究会「歯科画像診断支援システムの実用化推進技術交流研究会」の活動支援費のサポートも受けました。

文 献

- [1] 厚生労働省, “平成 23 年人口動態統計月報年計(概数)の概況,” <http://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/jinkou/geppo/nengai11/index.html>.
- [2] K. R. Nandalur, E. Baskurt, K. D. Hagspiel, M. Finch, C. D. Phillips, S. R. Bollampally, and C. M. Kramer, “Carotid artery calcification on CT may independently predict stroke risk”, Am. J.

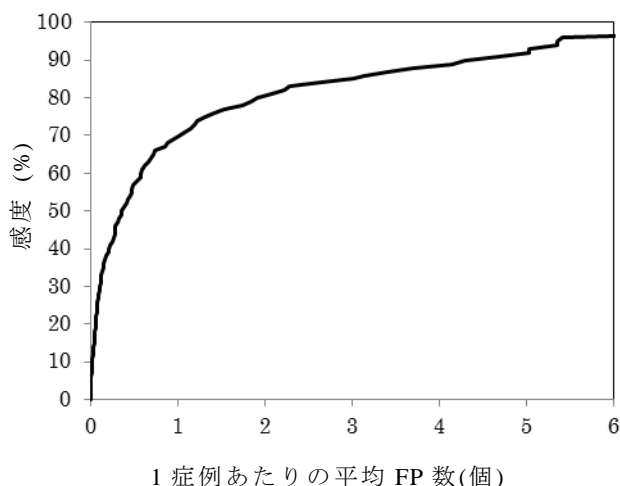


図 4 10 回の試行の平均 FROC 曲線

- Roentgenol., vol.186, no.2, pp.545-552, Feb 2006.
- [3] E. Ertas, Y. Sisman, "Detection of incidental carotid artery calcifications during dental examinations: Panoramic radiography as an important aid in dentistry", *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*, vol. 112, No. 4, e11-e17, Oct 2011.
- [4] Y. Sisman, E. Ertas, C. Gokce, A. Menku, M. Ulker, F. Akgunlu, "The prevalence of carotid artery calcification on the panoramic radiographs in Cappadocia region population", *Eur J Dent*, 1 (3): pp.132-138, Jul 2007.
- [5] M. Kumagai, T. Yamagishi, N. Fukui, M. Chiba, "Long-term cigarette smoking increases the prevalence of carotid artery calcification seen on panoramic dental radiographs in male patients", *Tohoku J Exp Med*, 212 (1): pp.21-25, May 2007.
- [6] 森本泰宏, 田中達朗, 鬼頭慎司, 岡部幸子, 大庭健, "高齢者におけるパノラマ X 線写真上で検出される頸動脈の石灰化は脳血管障害と関係があるのか?", "九歯大・画像診断歯科放射線", 45 (4): 203-204, 2006.
- [7] 泉佳範, 新庄勝之, 棟安実治, 浅野晃, 田口明, "動脈硬化スクリーニングのための歯科パノラマ X 線写真における石灰化領域自動検出～輝度勾配に注目した自動領域検出～," 信学技報, MI2010-58, 43-48, 2010.
- [8] T. Sawagashira, T. Hayashi, T. Hara, A. Katsumata, C. Muramatsu, X. Zhou, Y. Iida, K. Katagi, and H. Fujita, "An automatic detection method for carotid artery calcifications using top-hat filter on dental panoramic radiographs", *Proc. of the 33rd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, pp.6208-6211, Sep 2011.
- [9] 松本拓也, 林 達郎, 原 武史, 勝又明敏, 村松千左子, 周 向榮, 飯田幸弘, 松岡正登, 片木喜代治, 有地榮一郎, 森慎太郎, 金田隆, 藤田広志, "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による骨粗鬆症のスクリーニング," 電子情報通信学会技術報告, 111 (389), MI2011-136, 325-329, 2012.
- [10] H. Fujita, T. Hara, A. Katsumata, T. Hayashi, "Computer-aided detection system and schemes using panoramic radiographs", Patent pending in Japan, 2011-060256 (applied on 18 Mar, 2011).
- [11] T. Matsumoto, T. Hayashi, T. Hara, A. Katsumata, C. Muramatsu, X. Zhou, Y. Iida, M. Matsuoka, K. Katagi, and H. Fujita, "Automated scheme for measuring mandibular cortical thickness on dental panoramic radiographs for osteoporosis screening", *Proc. SPIE Medical Imaging*, Vol.8315, 83152L-1 - 83152L-6, Feb 2012.
- [12] C. Muramatsu, T. Matsumoto, T. Hayashi, T. Hara, A. Katsumata, X. Zhou, Y. Iida, M. Matsuoka, T. Wakisaka, and H. Fujita, "Automated measurement of mandibular cortical width on dental panoramic radiographs", *Int J Computer Assisted Radiology and Surgery*, Nov 2012, DOI: 10.1007/s11548-012-0800-8.
- [13] 小畑秀文, *モルフォロジー*. コロナ社, 東京, 1996.
- [14] N. Cristianini and J.S. Taylor, "An introduction to support vector machines and other kernel-based learning methods", New York: Cambridge University Press, 2000.
- [15] 西山 航, 勝又明敏, 藤田広志, 原 武史, 中山美和, 玉木頌子, 有地榮一郎, "CAD (Computer assisted detection/ diagnosis) を用いたパノラマ X 線写真における頸動脈石灰化の自動検出," 日本歯科放射線学会第 17 回臨床画像大会, 抄録集, 61, 2012.