

トップハットフィルタを用いた歯科パノラマエックス線写真上の 頸動脈石灰化の自動検出法

澤頭 毅[†] 林 達郎[‡] 原 武史[‡] 勝又 明敏^{††} 村松 千左子[‡]
周 向栄[‡] 飯田 幸弘^{††} 藤下 昌巳^{††} 片木 喜代治^{††} 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 岐阜県穂積市穂積 1851

E-mail: [†], [‡] {gashira, hayashi, hara, zxr, 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エックス線写真上では、頸動脈石灰化の検知が可能である。本研究の目的は、歯科疾患の診断に使用されるパノラマエックス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。34症例の石灰化を含むパノラマエックス線写真に実験を行った結果、感度が93.6%のとき、偽陽性数が4.4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, 歯科パノラマエックス線写真, 濃淡トップハットフィルタ, コンピュータ支援検出

An automatic detection method for carotid artery calcification using top-hat filter on dental panoramic radiographs

Tsuyoshi SAWAGASHIRA[†] Tatsuro HAYASHI[‡] Takeshi HARA[‡] Akitoshi KATSUMATA^{††}
Chisako MURAMATSU[‡] Xiangrong ZHOU[‡] Yukihiro IIDA^{††} Masami FUJISHITA^{††}
Kiyoji KATAGI^{††} and Hiroshi FUJITA[‡]

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

[‡] 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-shi, Gifu, 501-0296

Abstract The purpose of this study is to develop an automated carotid artery calcification (CAC) detection method on dental panoramic radiographs (DPRs). The CAC is one of the indices for predicting the progress of arteriosclerosis. First, regions of interest (ROIs) that include CAC were determined on the basis of inflection points of the mandibular contour. Initial CAC candidates were detected by a grayscale top-hat filter and simple grayscale thresholding technique. Finally, a rule-based approach and support vector machine to reduce the number of false positive (FP) findings were applied using features such as area, location, and circularity. 34 DPRs were used to evaluate the proposed scheme. The sensitivity for the detection of CAC was 93.6% with 4.4 FPs per image. Experimental results showed that our computer-aided detection scheme may be useful to detect CAC.

Keywords Carotid artery, Calcification, Dental panoramic radiograph, Grayscale top-hat filter, Computer-aided Detection

1. はじめに

厚生労働省の調査によると、日本における死因の割合の内、心疾患が15.8%、脳血管疾患10.7%を占めている

る[1]。これらの心疾患や脳血管疾患は「動脈硬化性疾患」と呼ばれている。

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]. 近年, 歯の治療のために撮影される歯科パノラマエックス線写真において, 頸動脈の石灰化が描出されるとの報告がある[3, 4]. しかし, 歯科パノラマエックス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[5].

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.

歯科パノラマエックス線写真の読影では, 通常, 歯科と関係のない病変に注視しないため, 石灰化像を見ようとしない. よって本研究では, 歯科パノラマエックス線写真に描出される頸動脈の石灰化の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.

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 症例の歯科パノラマエックス線写真を使用する. 歯科パノラマエックス線写真は, パノラマエックス線装置 (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, 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

提案手法の処理の流れを図 1 に示す. 頸動脈の石灰化は周辺部分と比べて輝度値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フィルタ[6]による強調処理を行う. しかし, 歯科パノラマエックス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, トップハットフィルタ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

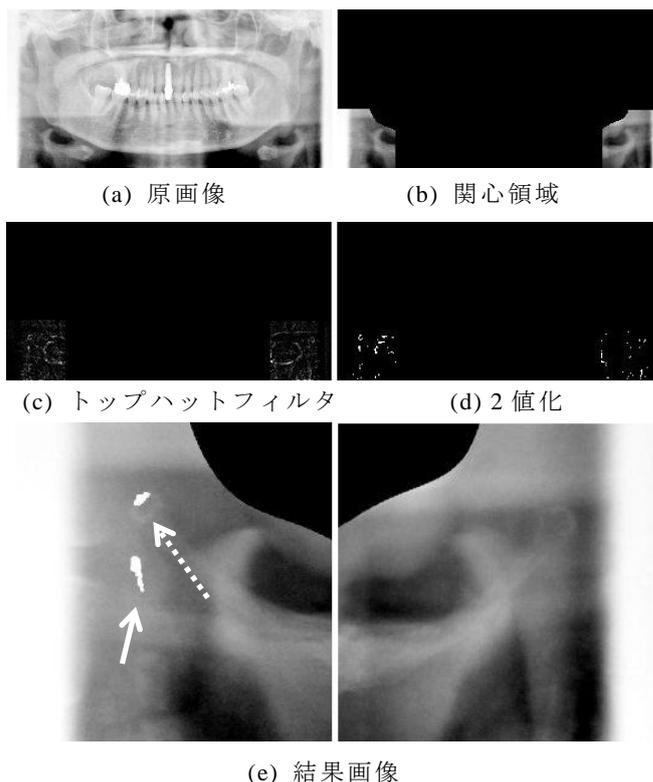


図 1 提案手法の概要. (e)は(d)で得られた 2 値画像に FP 削除処理を行った後, 原画像と重ねて表示している. また, 実線の矢印が TP (真陽性), 破線の矢印が FP (偽陽性) を示している.

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.

3.1. 関心領域 (ROIs) の設定

頸動脈の石灰化の位置は画像の左右, 下顎骨の下部に限定できると考えられる. 今回は事前に作成した下顎骨の輪郭線を用いる. 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マージンを決定し, ROIs を取得する.



図 2 変曲点の取得. 実線が下顎骨の輪郭, 丸印は得られた変曲点を示している.

3.2. 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1/4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。

3.3. 石灰化の候補部位の検出

原画像に対し、マスクサイズ7×7の移動平均平滑法を行い、雑音を削除した画像を得る。続いて、濃淡トップハットフィルタを適用し、局所的に輝度値の高い部位を強調する。今回、トップハットフィルタ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、トップハットフィルタ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。

3.4. FP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、画像上の位置(x, y)の11個の特徴量求める。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、頸動脈石灰化と偽陽性候補を区別する。

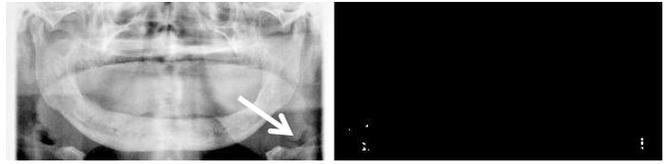
次に、同じ特徴量を入力としたサポートベクターマシンによって、偽陽性をさらに削除する。カーネルは2次の多項式カーネルを用い、識別機の学習にはLeave one out法を用いる。

4. 結果

頸動脈石灰化を含む34症例の歯科パノラマエックス線写真で実験を行った。実験では、下顎骨の輪郭は手で設定した。石灰化領域のなかで1画素以上検出

可能であったとき、その石灰化部分の検出が成功と判定したところ、FPが4.4個/症例のとき93.6% (88/94個)の感度を示した。また、症例毎では34症例中33症例において頸動脈石灰化の指摘に成功した。

結果の一部を図3に、図4にFROC曲線を示す。



症例 1



症例 2



症例 3

図3 検出結果。左側が原画像、右側がプログラムによる石灰化の出力であり、原画像上の矢印が石灰化の位置を示す。

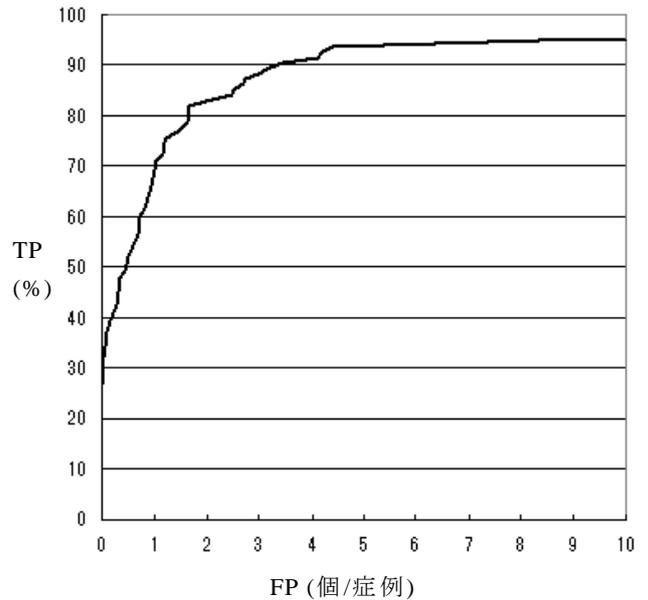


図 4 FROC 曲線

図3の症例1は舌骨と石灰化が重なって描出されている画像である。図中の矢印が示している部分の石灰化を検

出したが、もう一方の舌骨の部分で FP が検出された。症例 2 は石灰化のみを検出し、FP の検出はなかった。症例 3 は今回の実験で唯一石灰化を検出できなかった例である。この石灰化は淡く描出されており、周辺部分との輝度値差も小さなものであったためトップハットフィルタでは十分に強調できなかった。

FP の多くは舌骨や頸椎などの局所的に輝度値が高い部分にあるため、頸椎と舌骨の抽出方法の改良が課題となる。

5. 考察

今回、我々は手法 [7] の精度を向上させるために初期候補検出時のしきい値などのパラメータの調節を行った。また、初期候補検出時のしきい値を下げたことにより増加する偽陽性を削除するため、サポートベクターマシンを導入した。これにより、手法 [7] では TP が 81% のとき FP が 12.4 個/症例であったが、提案手法では TP が 93.6% のとき FP は 4.4 個/症例となった。

石灰化の検出に関する従来の研究では、泉等 [8] 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。

現在、我々は、システムの有用性を実証する為異なる撮影機器で撮影されたパノラマエックス線写真を用いて実験を行っている。撮影機器の違いが与える影響は大きいため、今後、撮影機器による影響を受けにくい検出方法を開発していく必要がある。

6. まとめ

本研究では、歯科パノラマエックス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 が 4.4 個/症例のとき、93.6% の石灰化の検出に成功し、症例単位では 34 症例中 33 症例において石灰化部分の指摘が可能であった。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エックス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、タック榎の方々、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。本研究の一部は地域イノベーションクラスタープログラム都市エリア型岐阜県

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」によって行われました。

文 献

- [1] 厚生労働省, “平成 20 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/nengai09/index.html>
- [2] KR Nandalur, E Baskurt, KD Hagspiel, M Finch, CD Phillips, SR Bollampally, and CM Kramer, Carotid artery calcification on CT may independently predict stroke risk, *Am J Roentgenol*, 186 (2): 545-552, 2006.
- [3] Y Sisman, E Ertas, C Gokce, A Menku, M Ulker, and F Akgunlu, The prevalence of carotid artery calcification on the panoramic radiographs in Cappadocia region population, *Eur J Dent*, 1 (3): 132-138, 2007.
- [4] M Kumagai, T Yamagishi, N Fukui, and 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): 21-25, 2007.
- [5] 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.
- [6] 小畑秀文, モルフォロジー. コロナ社, 東京, 1996.
- [7] 林達郎, 澤頭毅, 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, “歯科パノラマ X 線写真における濃淡トップハットフィルタを用いた石灰化領域の検出法の開発,” 信学技報, MI2009-138, 337-400, 2010.
- [8] 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.