

歯科パノラマ X 線写真における非剛体画像変形と濃淡勾配解析を利用した歯槽頂線検出による歯槽骨吸収レベルの半自動評価法

高橋 龍[†] 村松 千左子[†] 原 武史[†] 林 達郎[‡] 福井 達真^{††} 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学分野 〒501-0296 岐阜県穂積市穂積 1851

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

あらまし 歯槽骨吸収は、歯周病の組織破壊の評価に関する重要な所見の一つである。歯槽骨吸収は歯科パノラマ X 線写真上で観察が可能であるが、全ての歯に対して歯槽骨吸収度を定量評価する作業は歯科医に時間的負担を要する。本研究では、歯科パノラマ X 線写真上の歯槽骨吸収測定作業の一部を自動化し、自動定量評価に加えて利用者に視覚的に歯槽骨吸収の程度を提示する手法を提案する。はじめに、パノラマ画像から TPS 法によって標準歯列像を作成する。次に、ヘッセ行列による濃淡勾配解析と MAP 推定により標準歯列像から歯槽頂点を検出する。検出された歯槽頂点から歯槽骨吸収レベルを得るとともに、歯槽頂点を Spline 補間することで、歯の長さに対する歯槽頂の高さを示す標準歯列像を出力する。性能評価の結果、提案手法は歯科医の歯槽骨吸収度測定を基準にした場合に相当する歯周疾患の検出性能を持つ可能性が示唆された。

キーワード CAD (コンピュータ支援診断), 歯科パノラマ X 線写真, 歯周病, Thin plate spline, ヘッセ行列

Semiautomatic method for measuring alveolar bone resorption level with alveolar crest line detection by thin plate spline deformation and gradient analysis on dental panoramic radiographs

Ryo TAKAHASHI[†] Chisako MURAMATSU[†] Takeshi HARA[†] Tatsuro HAYASHI[‡]
Tatsumasa FUKUI^{††} Akitoshi KATSUMATA^{††} and Hiroshi FUJITA[†]

[†] Department of Intelligent Image Information, 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: [†] {takaryo, chisa, hara, fujita}@fjt.info.gifu-u.ac.jp ^{††} kawamata@dent.asahi-u.ac.jp

Abstract Alveolar bone resorption is one of the most significant signs to evaluate the destruction of periodontium by periodontal diseases. It takes time for a dentist to measure quantitatively alveolar bone loss on dental panoramic radiographs (DPRs). In this study, we propose a semi-automated alveolar bone resorption evaluation and visualization method using DPRs. In the proposed method, a standard dentition image was created from a DPR by thin plate spline method. The alveolar crest points were detected by the gradient analysis with the Hessian matrix and MAP estimation on the standard dentition image. The alveolar resorption level and the alveolar crest line were derived from these points. The result indicates that the resorption level determined by the proposed method has the comparable ability in detecting patients with periodontal diseases with that of the alveolar bone loss measurement by a dentist.

Keywords CAD (Computer-aided diagnosis), Dental panoramic radiograph, Periodontal disease, Thin plate spline, Hessian

1. はじめに

人間が歯を失う原因のひとつに歯周病が挙げられる。歯周病の検査項目[1]には歯周組織の破壊程度に関する項目があり、その中に Schi らによって提唱された歯槽骨吸収度(alveolar bone loss: ABL) [2]が定められ

ている。歯科診療の現場では口腔内の歯を総覧的に撮影可能なパノラマ X 線撮影を用いることが多い。パノラマ X 線写真は、解像度において口内法 X 線写真や歯科用 CT に及ばないが、顎全体の歯槽骨吸収を概略的に評価する手段としては十分に適している。しかし、

前述の ABL を 1 歯ずつ手動計測する以外に定量的な評価方法がなく歯科医に大きな負担を要する。この問題に対し、歯槽骨吸収度を自動で評価するコンピュータ支援診断(computer-aided diagnosis: CAD)システムが開発されれば、歯科の臨床で大いに役立つと思われる。

本研究の最終目的は、歯科パノラマ X 線写真上で歯槽骨吸収度を自動測定する CAD システムの開発である。

2. 提案手法

2.1. 歯槽骨比

ABL の測定に必要な解剖学的特徴であるセメント-エナメル境(cement-enamel junction: CEJ)は肉眼で観察しづらい場合がある。具体的には、歯が金属補綴物に覆われている場合、またはセメント質とエナメル質のコントラストが不十分な場合である。

これらの影響により画像処理による自動検出が困難な場合が想定される。そのため歯槽骨吸収度の自動測定には ABL の代替値として歯槽骨比(alveolar bone ratio: ABR)を新たに定義した。

$$ABR = \frac{d_a}{d_t} \quad \dots\dots (1)$$

ABR は、歯槽頂から根尖までの距離 d_a を歯冠頂から根尖までの距離 d_t によって除算することで得られる、すなわち歯の長さに対する歯槽骨頂の高さの比率である (図 1)。

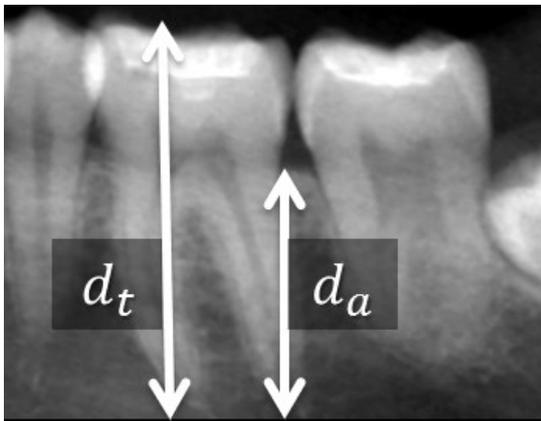


図 1 X 線像における ABR の算出方法
(d_t : 歯の長さ, d_a : 歯槽頂の高さ)

2.2. 標準歯列像

前述の ABR には値に基づく骨吸収程度の各段階の基準が設定されていない。骨吸収程度の段階 (軽度, 中等度, 重度) が設定されている ABL[3]に対し, ABR は実数値を提示するのみでは骨吸収程度がイメージしづらい。そこで我々は、歯科の臨床で用いられている歯式のように、歯の長さを統一して水平方向に整列させた標準歯列像 (図 2 下) を TPS 法によって作成し、

標準歯列像上での歯槽頂自動検出法を構築した。自動検出された歯槽頂線を標準歯列像上にプロットすることで、観察者は直観的に歯の長さに対する歯槽骨頂の高さを確認でき、測定結果の ABR と画像間の関係の把握を容易にすることが期待できる。

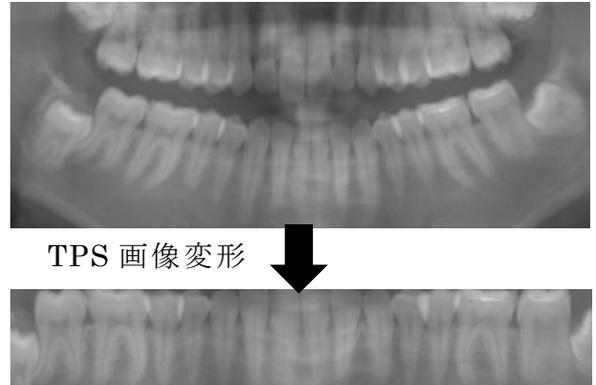


図 2 歯科パノラマ X 線写真上の歯列 (上) と下顎歯列の標準歯列像 (下)

画像変形の手順を説明する。変形の制御点となるのは歯冠の咬頭と歯根の根尖である。水平埋伏、抜歯済み、先天欠如の可能性の高い第 3 大臼歯以外のすべての歯を点の入力対象とする。単根歯上には 1 対、歯根が 2 本ある複根歯上には遠心側近心側に 1 対ずつ定義する。1 対の点を上下に整列させることで点に対応する歯の歯軸は垂直になり、1 対の点群を横に並べることで、標準歯列像が作成される。なお、1 対の入力点の間の領域には TPS 変形時の像の歪みを抑制するため 10 個の制御点を等間隔で配置した。

画像によっては歯が喪失している場合がある。その場合、喪失歯の点は入力せず隣接する歯の入力点から内分点として求める。また、第 2 大臼歯の外側に標準歯列像の画像端となる点を臼歯部の入力点から近似される二次曲線上の外分点として求める。

なお今回は、標準歯列像のマトリクスサイズを実験的に縦 250 pixels, 横 1500 pixels とした。

2.3. ヘッセ行列による濃淡勾配解析

歯槽頂は、X 線画像上の歯間の領域における歯槽骨と空隙の境界にあたる。隣接歯と歯槽骨に囲まれた空隙領域は局所的に画素値が低い領域として観察できる。そこで、ヘッセ行列による画像の濃淡勾配解析[4]を行う。ヘッセ行列を固有値分解し固有値の符号を調べることで濃淡曲面の形状が分類可能になる。分類後に Cup 型領域を抽出することで、図 3 のように歯間の空隙領域を検出することができる。

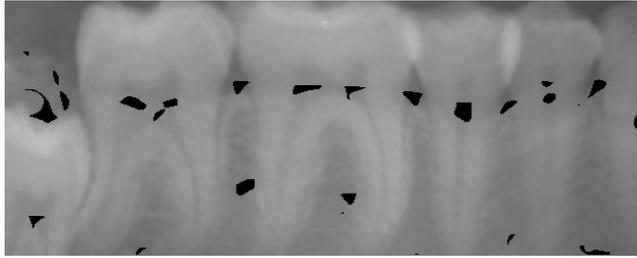


図 3 濃淡勾配解析による標準歯列像患者右側臼歯部の候補領域（黒色）

2.4. 最大事後確率推定

前述の濃淡勾配解析で得られる領域には、歯槽頂以外の領域が多数含まれている（図 3）。歯間において空隙領域はひとつのみ存在するため、候補領域から空隙領域を識別する必要がある。そこで、画像変形時に用いた入力点の情報から図 4 のような、歯間領域のマスク画像を生成した。

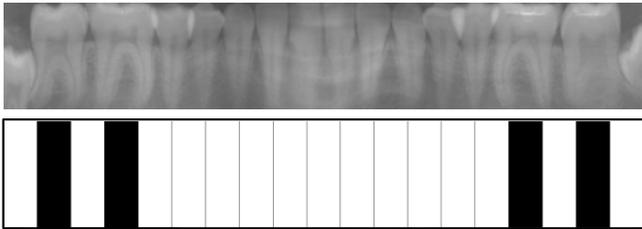


図 4 標準歯列像（上）と歯間マスク画像（下）（白：歯間，黒：その他）

これにより、個々の歯間領域を区分けして識別処理を実行することができる。個々の歯間領域において最大事後確率(Maximum A Posteriori: MAP)推定(式 2)を行う。

$$\hat{x}_{MAP} = \underset{x}{\operatorname{argmax}} f(\hat{v}|x)g(x) \quad \dots\dots\dots (2)$$

事前情報 $g(x)$ として、画像に手入力された歯槽頂点群から平均と共分散行列を算出して構成されるガウス確率密度分布を用いた。画像から得る特徴ベクトル \hat{v} は、候補領域内の平均画素値、平均勾配強度と参照点の勾配方向、Shape Index の 4 次元である。これらを正規化し 0 から 1 の尤度として扱う。個々の歯間領域において事前情報 $g(x)$ と尤度関数 $f(\hat{v}|x)$ の積から事後確率を計算し、その最大値を与えた位置ベクトル \hat{x}_{MAP} を有する領域の最下端点を歯槽頂点とする。得られた歯槽頂点において ABR を算出するとともに、歯槽頂点間を Spline 補間することで歯槽頂線を標準歯列像上へ出力する（図 5）。

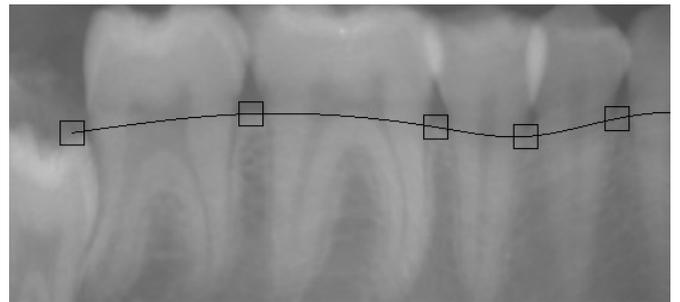


図 5 CAD システムの出力結果画像の患者右側臼歯部（実線：歯槽頂線，四角：歯槽頂点）

3. 実験

提案手法の性能を評価するために実験を行った。今回は、A 病院で撮影された歯科パノラマ X 線写真で構成された 2 つのデータベースを使用した。Database-1(DB-1)には 92 症例あり、1 名の歯科医が測定した下顎臼歯部の ABL がそれぞれの画像に付随している。Database-2(DB-2)には 89 症例あり、DB-1 と同様の ABL に加えて、同じ歯科医が検査した地域歯周疾患指数(communitary periodontal index: CPI)コードが付随している。CPI とは歯周病に関する指数のひとつで、患者の口腔内をプロービングすることで得られる。正常な場合はコード 0、出血がある場合はコード 1、歯石がある場合はコード 2、4~5mm の歯周ポケットがある場合はコード 3、6mm 以上のポケットが存在する場合はコード 4 と定義される。CPI コードが大きいほど歯周病治療の必要性が高い。

DB-1 に適用する際は、MAP 推定の事前情報である歯槽頂点の確率密度分布を Leave One Out 法に基づき DB-1 から作成した。また、DB-2 に対しては DB-1 の画像を全て用いて歯槽頂点の確率密度分布を作成した。

4. 結果

図 6、図 7 にシステムにより測定された DB-1 と DB-2 の ABR の各症例の平均値と歯科医により測定された ABL の各症例の平均値の散布図を示す。DB-1 の ABR と ABL の相関係数は-0.50 で、DB-2 の ABR と ABL の相関係数は-0.62 であった。相関係数の有意性検定では、どちらも 1%の有意水準で有意な相関が認められた。

図 7 のように、CPI コードを基準に DB-2 を CPI1, 2 と CPI3, 4 の 2 群に分割し、ABL と ABR を判定基準にした場合の receiver operating characteristic (ROC) 解析の結果を図 8 に示す。ABR を判定基準にした場合の ROC 曲線下面積(area under the ROC curve: AUC)は 0.83、ABL を判定基準にした場合の AUC は 0.78 であった。ROC 曲線間の有意差検定の結果は、p 値が 0.35 であり有意差は認められなかった。

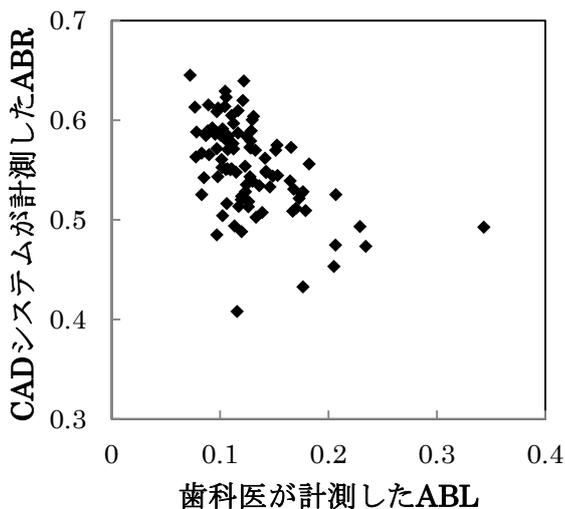


図 6 CAD の ABR 計測結果と歯科医の ABL 計測結果(DB-1)

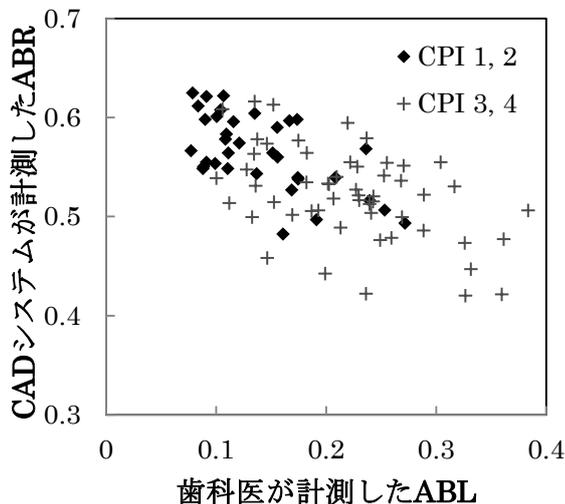


図 7 CAD の ABR 計測結果と歯科医の ABL 計測結果(DB-2)

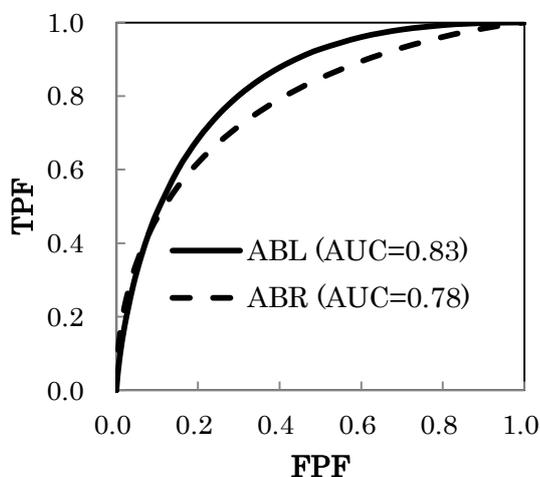


図 8 ROC 解析の結果(DB-2)

5. 考察

相関分析の結果から提案手法で測定した ABR と歯科医の測定した ABL には有意な負の相関関係が認められた。これは、現在の歯槽骨量を示す ABR と歯槽骨の欠損量を示す ABL の関係として適切な結果である。また ROC 解析の結果から、X 線画像検査と独立した指標である CPI に対して、ABR は ABL と同等の判別性能を有する可能性が示唆された。提案手法の改良次第では、ABL に代わる歯周病検査の定量指標として期待できる。今回は下顎歯列に限って適用したため、上顎歯列にも同様の処理で対応できるか検討が必要である。

提案手法の歯間空隙の検出処理は、隣接歯に囲まれた局所的に画素値の低い領域を想定し構築されたものである。これは歯の喪失によって空隙領域が大きくなった場合検出に失敗するため、欠損歯の領域では別の歯槽頂検出処理に変更することが必要である。

今回は精度の高い歯槽頂自動検出のために、標準歯列像の構築には手動入力点を用いた。最終目標である歯槽骨吸収の自動評価のためには、変形制御点設定の完全な自動化が今後の課題である。

6. まとめ

本研究では、歯科パノラマ X 線写真における歯槽骨吸収の半自動測定法を提案した。実験の結果、提案手法が測定する ABR は、臨床で測定された ABL に相当する歯槽骨吸収評価の性能を有する可能性が示唆された。

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、朝日大学、メディア株式会社の皆様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。

文 献

- [1] 日本歯周病学会, “歯周病の検査・診断・治療計画の指針 2008,” pp.2, 医歯薬出版, 東京, 2009.
- [2] O. Schei, J. Waerhaug, A. Lovdal, et al., “Alveolar bone loss as related to oral hygiene and age,” J. Periodontol, vol. 30, no.1, pp.7-16, January 1959.
- [3] 日本歯周病学会, “歯周病の検査・診断・治療計画の指針 2008,” pp.7, 医歯薬出版, 東京, 2009.
- [4] 石田隆行, 桂川茂彦, 藤田広志, “固有値解析による濃淡構造の解析,” 医用画像ハンドブック, pp.309-312, オーム社, 東京, 2010.