

原 著

パノラマ X 線画像における顎骨 X 線透過性病巣の画像濃度

吉 田 洋 康 飯 田 幸 弘 西 山 航
福 井 達 真 勝 又 明 敏

Image density of radiolucent intramandibular lesions in panoramic radiograph

YOSHIDA HIROYASU, IIDA YUKIHIRO, NISHIYAMA WATARU,
FUKUI TATSUMASA and KATSUMATA AKITOSHI

パノラマ X 線画像から顎骨の病変を自動的に検出するコンピュータ支援診断/検出 (Computer Assisted Diagnosis/detection, CAD) アルゴリズムを開発する場合、病巣の画像濃度が重要な手がかりとなる。本研究では、X 線画像で透過像を示す顎骨病変について、画像濃度を計測して定量的に検討する事を目的とした。

蓄積された画像データベースを検索し、下顎骨内で長径15mm以上の X 線透過像を示す病変61例を抽出して対象とした。パノラマ X 線画像はイメージングプレート方式で取得し、DICOM データとして PC に読み込んだ。病巣の X 線透過像部分と病巣辺縁より約 5 mm の範囲の周囲骨に関心領域 (region of interest, ROI) を設定し、X 線透過像部分の画素数を求め、画素値を 8 ビット (256階調) スケールで計測した。1 画素のサイズは 0.1mm である。また、CT 撮影がされた症例では HU を計測した。

病巣の画素値は、すべての症例で周囲骨よりも小さくなっていた。また、病巣の画素値とコントラスト値は、病変の部位と大きさにより変化する傾向を認めたが、病巣内 CT 値は病変の部位と大きさにより変化を認めなかった。

顎骨 X 線透過性病変の画像濃度は、パノラマ画像全体からみて広い範囲に分布し、骨の濃度との重複も大きいことがわかった。本研究の結果より、パノラマ画像から画素値のみを参考に顎骨病変を検出することは難しいと思われた。一方、病変と周囲骨の X 線画像を領域ごとにスキャンしてコントラストを持つ構造を見つけた方法で X 線透過性病巣の検出が可能であると考えられる。

パノラマ X 線画像上で X 線透過像を示す顎骨病変の画像濃度を検討した結果、病巣内と周囲骨の画素値から求めたコントラスト値が、パノラマ画像上で病巣を自動的に検出するアルゴリズムにおける有効な特徴量となることが示唆された。

キーワード：コンピュータ支援診断/検出、画像濃度、パノラマ X 線画像、透過性病巣

Computer Assisted Diagnosis/Detection (CAD) has been developing rapidly. In CAD, it is necessary to measure the image density of lesions for development of an automatic detection algorithm. In this study, the image density of radiolucent intramandibular lesions on panoramic radiographs was measured for quantitative analysis.

Approximately 6000 digital panoramic radiographs from our database were assessed. The image data were saved in DICOM format. A total of 61 (male: 40, female: 21, mean age 41.3 years) radiolucent lesions in the mandible were selected for analysis. The inclusion criterion was a lesion > 15 mm in diameter. Regions of interest (ROI) were placed on both the lesion and its surrounding bone. The image density

and area of each lesion within the ROI were measured. The mean image density value for the ROI was generated. An ROI to measure the surrounding bone was set on the outside 5 mm of a lesion. The image density was measured using an 8 bit gray value. Subsequently, the gray value was compared with CT number (Hounsfield Units).

The image density of the lesion was lower than that of the surrounding bone in all cases. The image density and size showed that they were relatively at the anatomical site of the mandible and lesion of mandible. CT number showed that they did not have correlation, however the image density had correlation with the anatomical site of mandible and size of the lesion.

The image density of radiolucent mandibular lesions was distributed over a wide range in all cases. Sometimes the image density of lesion was similar to that of surrounding bone. The results of this study suggest that it is difficult to detect radiolucent mandibular bone lesions by using only the image density in panoramic radiograph. However, we think that it is possible to detect radiolucent lesions on panoramic radiograph with CAD when the difference between the image density of a radiolucent lesion and the image density of the surrounding bone is apparent.

We examined the image density of intramandibular lesions on panoramic radiographs. We suggest that the image density of both lesion and surrounding bone are necessary for automatic detection of radiolucent lesions using CAD.

Key words: Computer Assisted Diagnosis/Detection (CAD), image density, panoramic radiograph, radiolucent lesion

緒 言

歯学部附属病院などにおける統計調査では、外科手術の適応となる顎骨病変はほとんどX線透過性病変であることを示している^{1,2)}。最も頻度が高いのは、もっぱら無髄歯の根尖に生じる歯根嚢胞であり、埋伏あるいは未萌出歯の歯冠を含む透過像を形成する含歯性嚢胞がこれに続いている³⁾。病変が発見される過程として、多くのケースでは、疼痛・腫脹などの臨床症状を訴えて歯科を受診し、X線画像検査により病変の存在が確認される。しかし、臨床症状が乏しい症例では、歯周病のスクリーニングなどの目的で撮影されたX線画像で、偶然にX線透過性病変が発見されることも少なくない。

歯および顎骨のスクリーニングには、一回の撮影で歯列と顎骨を総覧する画像が得られ、他の撮影と比較して被曝線量も小さいパノラマX線撮影を用いられる。

歯科パノラマX線撮影法の原型は、1960年代にPaateroが開発した撮影装置である⁴⁾。最初の装置は、X線管ではなく患者が回転する方式であったが、その後ほどなく、X線管とフィルムが軸を中心に回転する仕組みに切り替えられた。日本では、1970年代にパノラマX線撮影が比較的高い点数で健康保険に採用されたこともあり、現在では歯科医院の90%以上がパノラマX線装置を保有している^{5,6)}。パノラマX線撮影が普及し始めた当初は適用範囲も限定的であった

が、その後、様々な歯科疾患の診断において有用性を実証しながら徐々に適応範囲を広げてゆき、歯科における「画像検査の出発点」としての地位を固めることとなった。

近年ではパノラマX線装置のデジタル化が急速に進んでいる。パノラマX線像は細長いスリット状のX線束で撮影するため、X線束のサイズにあわせた5×150mm程度の細長い短冊状の半導体検出器があれば比較的低いコストでデジタル撮影システムを作製できる。このため、2010年時点では、新たに販売されるパノラマ撮影装置のほとんどが半導体検出器型となっている⁷⁾。

X線画像がデジタル化されると、コンピュータ上で画像処理が可能となる。医用デジタル画像の応用として注目されているのが、コンピュータ支援診断/検出 (Computer Assisted Diagnosis/detection, CAD) である。医科では乳ガン検診に用いるマンモグラフィなどでCADが既に実用化されている⁸⁾。歯科でパノラマX線像を基にしたCADは、骨粗鬆症⁹⁾、上顎洞炎¹⁰⁾、および動脈硬化への関連が注目される頸動脈石灰化を検出するCADシステム¹¹⁾、および歯周病による歯槽骨吸収レベルを評価するCAD¹²⁾の開発が進んでいる段階である。一般開業歯科医院においても遭遇する機会が多い顎骨の病変を自動的に検出可能なCADが開発されれば臨床的な有用性は高いと考える。CADで病変を検出する場合、病変の画像濃度が重要な手がかり (特徴量) となる。一口に顎骨内でX線

透過像を示す病巣と言っても、パノラマ X 線画像における病巣の X 線透過性を定量的に検討した報告はない。そこで本研究では、X 線画像で透過像を示すことが知られている歯根嚢胞、含歯性嚢胞、エナメル上皮腫などの病変について、実際の画像濃度が周囲骨とどの程度異なるのかを定量的に検討することを目的とした。

材料と方法

2011年4月～2014年3月に朝日大学附属病院放射線科でパノラマ X 線検査を施行された約6,000例の読影報告書（レポート）から、下顎骨の X 線透過性病変が記録されているものを検索した。画像を観察し、下顎骨内で長径15mm以上の X 線透過性病変が確認された症例を選出した。顎骨全体を占める巨大な病変、撮影時の患者の体動や患者頭部位置付けの不良により病変が不明瞭な症例、あるいは開窓などの外科的処置を受けた既往のある病変を除外し、61症例を対象とした。症例は5歳から83歳で平均年齢は41.28歳、性別は男性40名、女性21名であった（図1）。病理診断が行われた症例は49症例であった。残りの12症例は、臨床所見および画像所見で診断された症例と他院にて診断された症例であった。病名は歯根嚢胞（30例）、含歯性嚢胞（20例）、角化嚢胞性歯原性腫瘍・エナメル上皮腫・単純性骨嚢胞・静止性骨空洞（計11例）であった。部位は前歯から小白歯部の病巣が20例、大臼歯部の病巣が41例であった。なお本研究は、朝日大学歯学部倫理委員会の承認（第26169号）に基づき行った。表1に病変と部位の内訳を示す。

パノラマ X 線撮影装置（Veraview, モリタ, 東京）

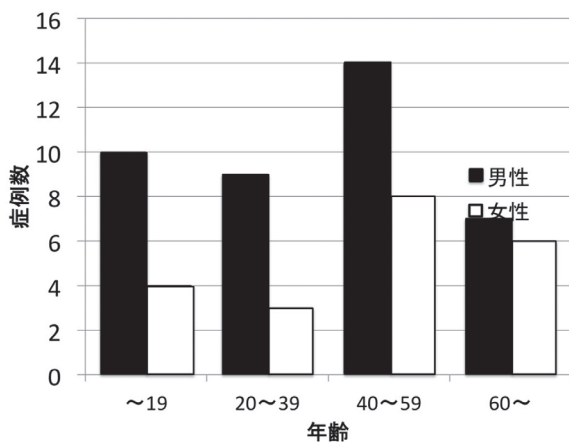


図1 症例の年齢性別分布
縦軸に症例数を、横軸に年齢の分布を示す

を用い、イメージングプレート方式のデジタル X 線システム（AGFA, 東京）にて濃度階調12ビット、画素サイズ0.1mmの画像データを取得した。パノラマ撮影は基本的に自動モードを用いたが、おおよその撮影条件は管電圧80kV、管電流10mA、照射時間12秒であった。解析に用いる画像データはPACS（画像保存通信システム, ViewSend, 東京）に保存されたものから出力し、DICOMデータとしてPCに読み込んだ。

画像解析ソフトウェア（OsiriX4.1, www.osirix-viewer.com）を用いて、ウインドウ設定を変更しないオリジナル状態のパノラマ画像をjpeg形式に変換した。画像処理ソフトウェア（Photoshop CS5.1®, Adobe, California, USA）を用いて病巣の X 線透過像部分、および病巣辺縁より約5mmの範囲の周囲骨に関心領域（Region of interest, ROI）を設定し、画素値（L）を8ビット（256階調）スケールで計測した。また、病巣内ROIの画素数を病巣面積として記録した。図2に、病巣内および病巣周囲骨に設定したROIの例を示す。

続いて、病巣（lesion）と周囲骨（bone）の平均画素値より下記の式からコントラスト値（Michelson コントラスト）を求めた。

表1 下顎骨病巣の種類と部位

	下顎大臼歯部	前歯～小白歯部	合計
歯根嚢胞	19	11	30
含歯性嚢胞	16	4	20
その他	6	5	11

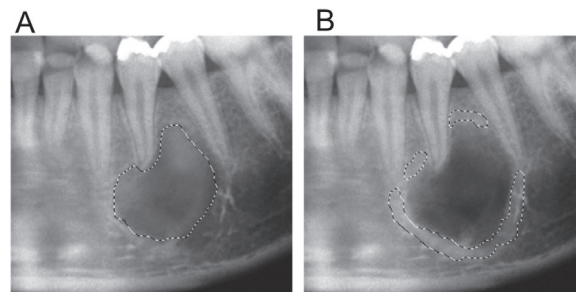


図2 パノラマ画像上 ROI 設定
(A) 病巣部に設定した ROI (破線内)
(B) 病巣周囲骨に設定した ROI (破線内)

コントラスト値 = $L(\text{lesion}) - L(\text{bone}) / L(\text{lesion}) + L(\text{bone})$
 $L = 8$ ビット画素値

症例のうち、パノラマ撮影と同時点でCT撮影を行った41例については、病巣内のCT値(ハンスフィールド値)を計測した。CT撮影は全身用マルチスライスCT(Emotion 6, SIEMENS, Bavaria, Germany)を用い、管電圧120kV、管電流200mAでおこなった。断層厚さ約1mm、画素サイズ約0.4mmの軸位断面のシリーズ画像を、パノラマ画像と同じPACSにDICOM形式で保存した。解析に用いるCT画像データは画像解析ソフトウェア(OsiriX 4.1, www.osirix-viewer.com)で軸位断面画像を表示し、病巣内の均一な濃度で観察される部分に直径2.5mm大の円形のROIを設定して内部の平均CT値を求めた。図3に、CT軸位断面画像で病巣内に設定したROIの例を示す。



図3 CT画像上ROI設定

病巣内に円形ROI(丸で囲まれた範囲)を設定してCT値を計測

前記の計測後、以下の項目の検討をおこなった。

- (1) 病巣内と周囲骨の画素値、病巣コントラスト値および病巣内CT値の分布
- (2) 病巣コントラスト値に対する、病巣内部の画素値、病巣面積、および病巣内CT値の相関関係
- (3) 病巣コントラスト値および病巣内CT値の病変部位および疾患による変化

統計解析には統計解析ソフト(PASW Statistics 17.0, IBM, New York, USA)を用いた。相関分析において、2項目の組合せについてはSpearmanの順位相関計数を求めて検討し、有意水準1%以内の組合せを相関ありと判定した。病変部位に関しては、前歯～小臼歯部と大臼歯疾患より遠心の2群に分け、病巣コントラスト値および病巣内CT値が2群の間で異なるかについてノンパラメトリック検定(Mann-Whitney U test)をおこない、有意水準は5%とした。疾患に関しては、歯根嚢胞、含菌性嚢胞、およびその他の3群に分けて病巣コントラスト値および病巣内CT値が疾患で異なるかについてKruskal Wallis検定をおこなった。多重比較はTukey法により、有意水準は1%とした。

結 果

パノラマX線画像より計測したX線透過性病巣の平均画素値は90から200までの範囲に、周囲骨の平均画素値は138から205までの範囲に分布していた。病巣内画素値の平均は150.75、周囲骨画素値の平均は171.62で、病巣内画素値は有意に小さかった($p < 0.01$)。図4にはパノラマX線画像で計測した病巣内画素値の分布を示す。病巣内画素値は90%の症例で120以上

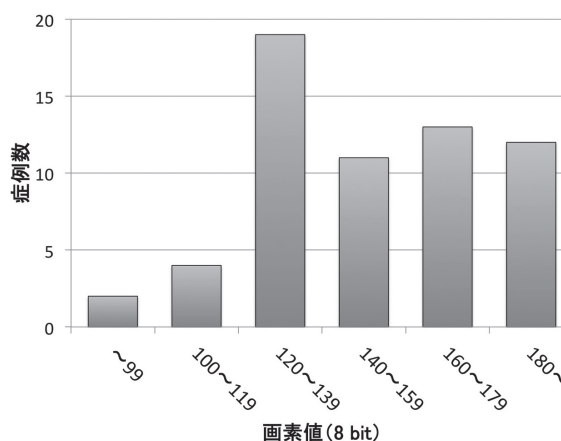


図4 病巣内画素値の分布

を示し、120~139の範囲の症例がもっとも多かった。図5には、個々の症例における周辺骨画素値と病巣内画素値の関係を示す。病巣内画素値は、すべての症例で周囲骨画素値よりも小さくなっていた。図6には、画素値の最も低かった症例と最も画素値の高かった症例のパノラマX線画像を示す。病巣の面積を示すパノラマX線画像上の画素数は、3194から99187までの範囲に分布し、平均は24812画素であった。図7に画素数の分布を示す。病変と周囲骨の間のコントラスト値は、最小0.01、最大0.24、平均0.07であった。図8にコントラスト値の分布を示す。コントラスト値0.10未満の病巣が多かったが、20%の症例では0.13以上の比較的大きなコントラストを示していた。全身用CTによる検査が施行された症例で計測された病巣内CT値は、最小2.3、最大67.9、平均19.1であった。図9に

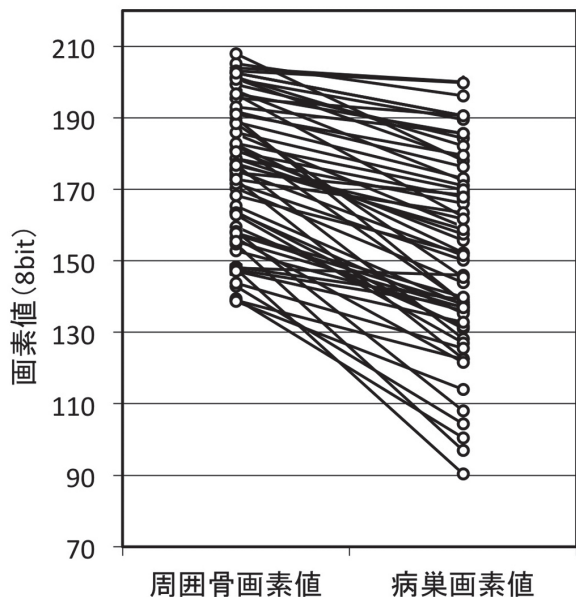


図5 パノラマ画像上の周辺骨画素値および病巣内部の画素値の関係

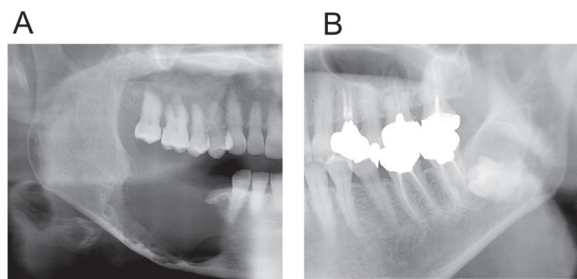


図6 症例のパノラマ X 線画像
病巣内画素値が最小であった症例 (A) および病巣内画素値が最大であった症例 (B) を示す

CT 値の分布を示す。病巣 CT 値は液体が示唆される 0 ~ 30 の範囲に多く分布していた。

図10には、病巣内画素値、コントラスト値、病巣面積、および病巣内 CT 値の相関を表す散布図を示す。統計解析の結果、病巣内画素値とコントラスト値には強い相関があり、画素値の低い (画像上で黒い) 病巣ほどコントラスト値が高い傾向を示した。病巣面積とコントラスト値にも相関を認め、大きな病巣ほどコントラストが高い傾向であった。これに対して、病巣内 CT 値は病巣内画素値、病巣面積、およびコントラスト値と有意な相関を示さなかった。

図11は、病変の種類と発生部位による病巣内画素値、コントラスト値、および病巣内 CT 値の変化を示す箱ひ

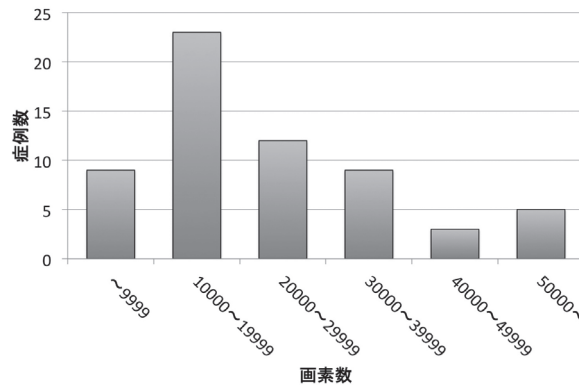


図7 病巣面積 (画素数) の分布

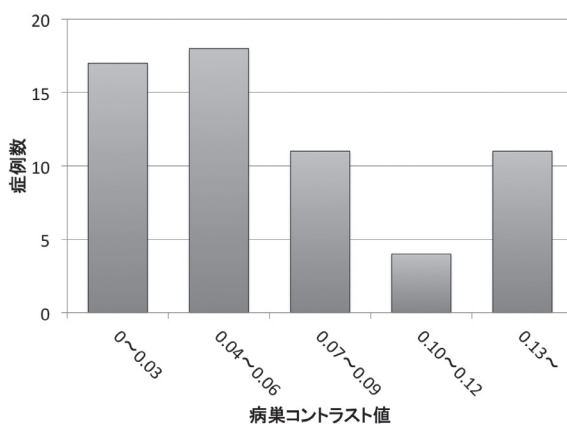


図8 病巣コントラスト値の分布

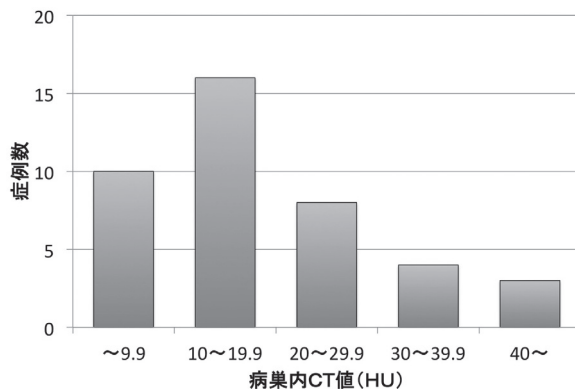


図9 病巣内 CT 値の分布

げ図である。病変のコントラスト値に影響するのは、病変の種類よりも発生部位であることがわかった。これに対して、病巣内 CT 値は病巣内画素値、病巣面積、およびコントラスト値と有意な相関を示さず、病変の種類と発生部位により大きな変化がないことがわかった。

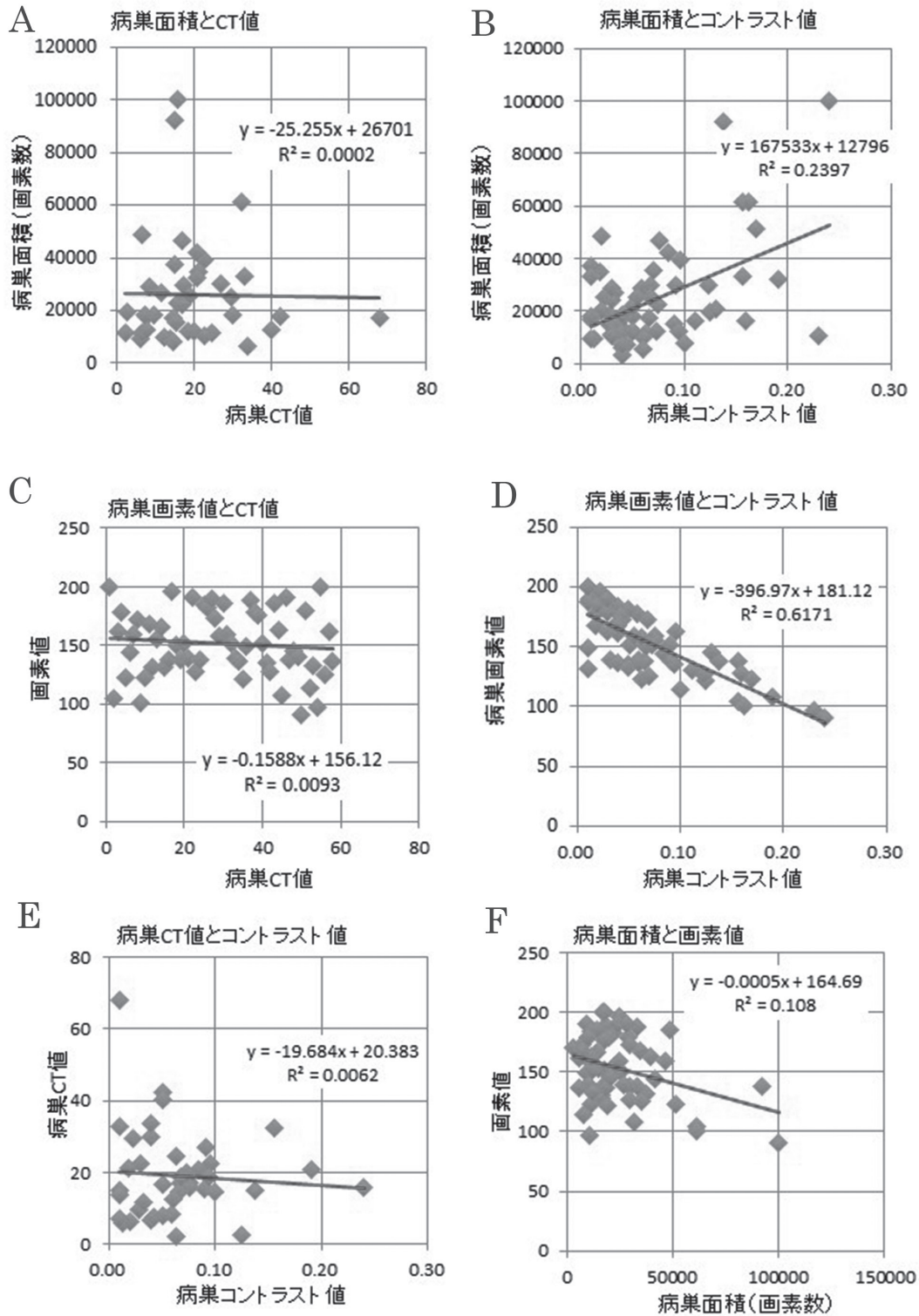


図10 病巣画素値，コントラスト値，病巣面積，および病巣内CT値の相関散布図
 A：病巣面積と病巣CT値，B：病巣面積と値病巣コントラスト値，C：画素値と病巣CT値，D：病巣画素値と病巣コントラスト値，E：病巣CT値と病巣コントラスト値，F：画素値と病巣面積

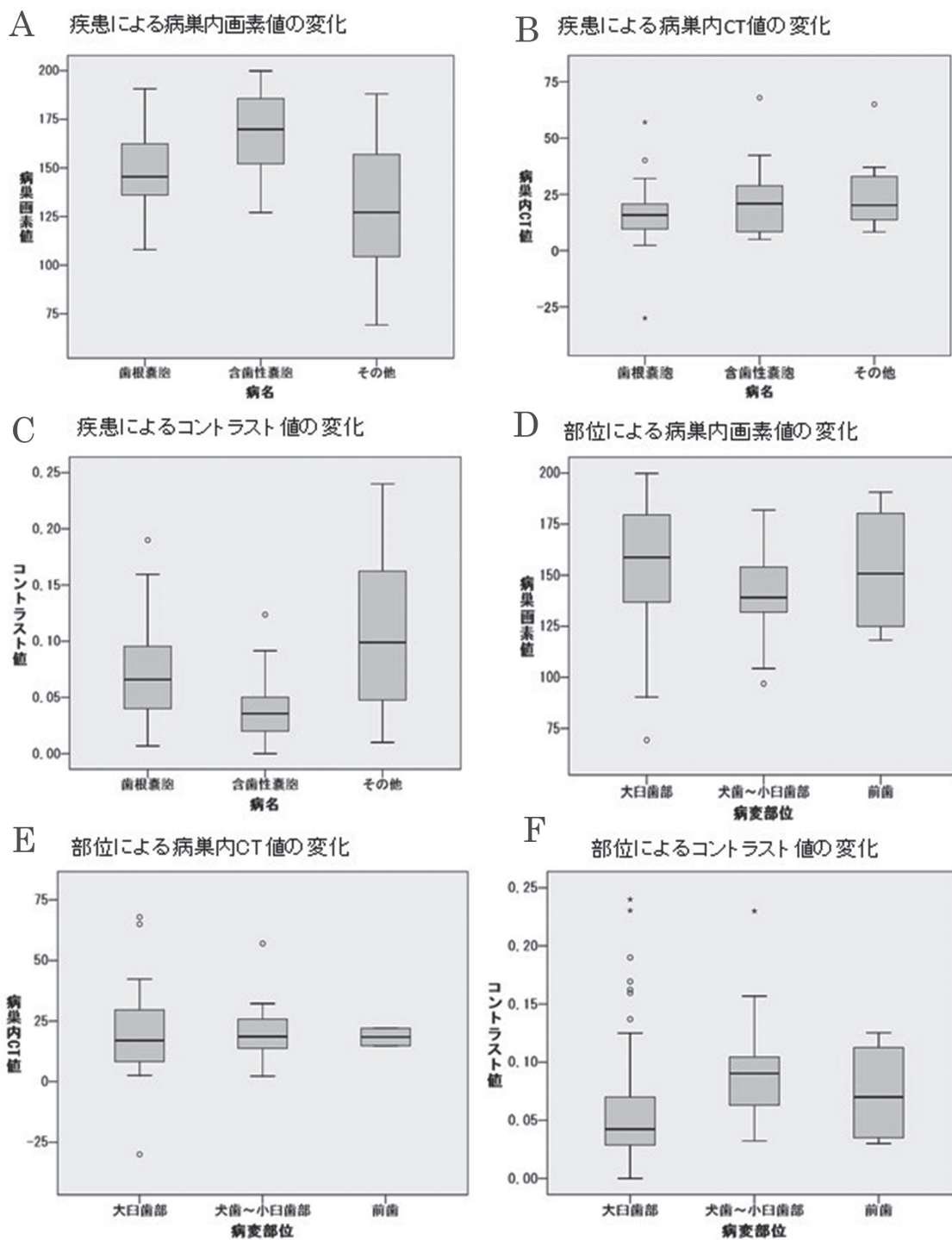


図11 病変の種類と発生部位による病巣内画素値、コントラスト値および病巣内CT値
 A：病巣画素値と病名，B：病巣内CT値と病名，C：コントラスト値と病名，D：病巣画素値と病変部位，E：病巣内CT値と病変部位，F：コントラスト値と病変部位

考 察

X線画像の白黒の濃淡は被写体を透過したX線量の差、すなわちX線コントラストに由来するものである。被写体に入射するX線の量が一定ならば、X線コントラストは被写体の密度、厚さ、および原子番号に従って変化するので、X線コントラストから定量的に評価することができる。この原理に沿って、生体をどの方向からも一定量のX線で走査して、一定の大きさ（厚み）の断面を画像化すると、被写体の密度と原子番号を忠実に反映したCT画像となる¹³⁾。

画像処理により画像全体から特定の組織、臓器、あるいは病変を抽出する場合、例えばハンスフィールド値を持つ全身用CTの画像から脂肪組織を抽出するのならば、画像上で-1から-100程度のCT値を示す領域を抽出すれば良く、比較的容易である。単純X線写真の濃度値は、ハンスフィールド値のような基準を持たないため、画像濃度から特定の構造を抽出する前に、画像による濃度分布の違いを一定の基準で「標準化」することが必要となる。パノラマX線画像は、スリット（細隙）撮影と断層撮影の原理を組み合わせることで画像を得る特殊な撮影法である¹⁴⁾。さらに、被写体となる人間の頭部は前後に長く左右の幅が狭い形状であることに加えて後方には頸椎も存在するため、約10秒のパノラマ撮影時間のあいだに生体を透過するX線の量はたえず変化する。すなわち、X線が横から入射する臼歯部ではX線量が大きく画素値が低くなり、後頭部から頸椎を含む長い距離の生体を通過したX線で画像を形成する前歯部では、X線量が少なくなり画素値が高くなる¹⁵⁾。また、断層厚さも一定ではなく部位により変化する。さらに、近年のデジタル撮影装置ではモニタ上で見やすい画像となるように自動的に画像濃度を調節するものが多いが、その調節方法は装置により様々である。パノラマX線装置には統一された規格がなく、画像濃度（グレイスケール値）の階調数（分解能）、X線管と検出器の距離、回転速度、U字型をした撮影領域の位置と大きさ、平面に対するX線の入射角度から管電流・電圧まで、撮影装置により異なっている。

このため、パノラマX線画像の濃度を全体として標準化して、画像濃度、すなわち画素値のみを頼りにして病変を検出することは容易ではない。画素値に対して、本研究で求めたコントラスト値は病変の画素値と周囲骨の画素値の差を数値化したものなので、病変の部位、顎骨の大きさ、およびパノラマX線装置による画像処理の影響を受けにくいと考える。パノラマX線画像を幾つもの領域に分割し、周囲骨とコントラ

ストを持つ領域を検索する方法であれば、画像処理アルゴリズムにより顎骨内X線透過性病変の検出が可能と思われる。

顎骨内病変の発生頻度に関しては数多くの報告がある^{1,3,16-19)}。過去の報告を総合すると、歯根嚢胞が最も多く、第二位が含歯性嚢胞であり、その他の顎嚢胞・嚢胞性疾患と良性腫瘍は、前二者と比較して頻度が低いことがわかった。そのため本研究では、病変の種類を歯根嚢胞、含歯性嚢胞、およびその他の病変に分けて画像的特徴を検討した。X線写真、CT、およびMRI画像を用いて顎骨内病変の性状を推定することは、以前より試みられてきた。病変内容物のCT値に関して、病変内部に角化物を容れた角化嚢胞性歯原性腫瘍では病巣内CT値が高くなる傾向があり、これがエナメル上皮腫との鑑別に有用であることはしばしば報告されている^{20,21)}。また、病変のX線像の形態、特に頬舌的な皮質骨膨隆の有無や程度が鑑別診断に有用なことも指摘されている^{22,23)}。すなわち、エナメル上皮腫は病変の面積と比較して皮質骨膨隆が大きく、角化嚢胞性歯原性腫瘍は膨隆が少ない傾向がある。単純性骨嚢胞では、ほとんど皮質骨膨隆が認められないことも知られている。Eidaら²⁴⁾は、MRIの拡散強調画像を検討し、拡散係数が顎骨内病変の内部性状を推定するのに有用であることを示している。その他の病変を数値化して解析する試みとして、誉田ら²⁵⁾は、含歯性嚢胞とエナメル上皮腫病巣の形態を数値化して鑑別する方法を検討している。池島ら²⁶⁻²⁸⁾は、病変X線像の画像濃度やコントラストにより歯根嚢胞と歯根肉芽腫を鑑別する方法について詳細に報告している。

このような顎骨内病変の形状的特徴と本研究で検討した顎骨病変のパノラマX線画像に関して考察する。本研究では、顎骨内のX線透過性病変の面積が大きくなるほど病変内の画素値が小さくなることが予想されたが、病巣面積と画素値に統計上で有意な相関を認めなかった。一般に、近遠心的に面積の大きな顎骨内病変であっても、頬舌的に「薄い」形態をしていれば、画素値の大きい頬側・舌側の皮質骨や海綿骨と重積して投影され、パノラマX線画像上の画素値は大きく（白く）なる。これに対して、病変が頬舌的に「厚い」形態を示し、頬側・舌側の皮質骨を膨隆させている様な場合は、X線透過性が大きく、画素値は小さく（黒く）なる。また、病変が頬舌的に厚くなくとも、相対的に下顎骨の頬舌幅が小さい場合においても、X線透過性が大きく、画素値が小さくなると考えられる。顎骨病変には、前述のように、頬舌的に大きく膨らむ皮質骨膨隆を生じるものがある一方で、ほとんど皮質骨膨隆を生じないものもある。同じ部位に生じた同じ様

な大きさの顎骨内病変でも画素値が異なって来る原因の一つには、このような病変による性質の違いがあると考えられる。

病巣内容物の性状を反映する CT 値とパノラマ X 線画像の画素値が相関するかどうかは興味ある点であったが、結果として、病変内の CT 値と画素値には有意な相関が認められなかった。一般に、エナメル上皮腫と角化嚢胞性歯原性腫瘍のハンスフィールド値は20から40程度違うとされている。しかし、この違いは、-1000から+3000まで4000階調の広がりを持つハンスフィールド値の範囲の1%にすぎない。これを、256階調しかない8ビットのパノラマ X 線画像にあてはめると、画素値にして、わずか2か3違うだけになる。このように、ハンスフィールド値で20から40程度の CT 値の違いは、X 線写真の画像濃度の差として現れないものと思われる。

本研究の今後の展開として、まず、上顎の顎骨内病変が、パノラマ X 線画像でどのような画素値を示すのかに関する検討に進むことが考えられる。また、歯牙腫などの X 線不透過性病変や埋伏歯の画素値についても調べる必要があると思われる。そのうえで、顎骨内病変を自動的に検出するアルゴリズムの開発へと発展することが期待される。また、その他の病変のうち腫瘍を鑑別できることが望まれる。

結 論

パノラマ X 線画像上で X 線透過像を示す顎骨病変の画像濃度、病巣内と周囲骨のコントラスト値、病巣面積、病巣内 CT 値を検討して以下の結論を得た。

- (1) 病巣内画素値が小さいほどコントラスト値が大きい
- (2) 病巣面積が大きいほどコントラスト値が大きい
- (3) 病変の部位により画素値とコントラスト値が変化する
- (4) 病変の種類により画素値、コントラスト値および病巣内 CT 値は有意な変化を示さない

利益相反 (COI)

本論文に関して、開示すべき利益相反状態はない。

文 献

- 1) 中原 寛, 永田 雅, 石田 久, 松岡 裕, 福田 康, 岸野 万, 中川 幹, 豊澤 悟, 下山 玲, 伊藤 千, 田中 千, 由良 義. 古郷 幹: 大阪大学歯学部附属病院検査部における過去30年間の病理組織検査の臨床統計的観察. 大阪大学歯学雑誌. 2006; 51: 11-17.
- 2) 川俣 明, 長屋 美, 松岡 正, 脇阪 孝, 佐々木 卓, 濱崎 知, 近藤 豊, 森田 政, 亀本 博, 藤木 薫. 藤木 芳: 歯原性嚢胞に出現する Rushton's body (硝子体) に関する研究. 岐阜歯科学会雑誌. 1992; 19: 1-14.
- 3) 植野 茂, 金子 康, 大竹 智, 虫本 浩, 白数 力: 大阪歯科大学第1口腔外科における過去5年間の病理組織学的検査の臨床統計的観察. 日本口腔外科学会雑誌. 1987; 33: 1810-1816.
- 4) Paatero YV: A new tomographical method for radiographing curved outer surfaces. *Acta radiologica*. 1949; 32: 177-184.
- 5) 島野 達, 鈴木 陽, 佐々木 武: 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. 2002; 42: 9-21.
- 6) 秋山 広, 古跡 孝, 板垣 恵, 四井 資, 蒲生 祥, 清水谷 公: 歯科用エックス線撮影装置の品質管理を目指した実態調査. 歯科放射線. 2011; 50: 21-26.
- 7) Mastoris M, Li G, Welander U, McDavid WD: Determination of the resolution of a digital system for panoramic radiography based on CCD technology. *Oral surgery, oral medicine, oral pathology, oral radiology, and endodontics*. 2004; 97: 408-414.
- 8) 藤田 広: 医工連携 医工連携を歩く [第12回] 医工連携・産学官連携によるコンピュータ支援診断 (CAD) システムの開発. 映像情報 Medical. 2011; 43: 339-347.
- 9) Muramatsu C, Matsumoto T, Hayashi T, Hara T, Katsumata A, Zhou X, Iida Y, Matsuoka M, Wakisaka T, Fujita H: Automated measurement of mandibular cortical width on dental panoramic radiographs. *International journal of computer assisted radiology and surgery*. 2013; 8: 877-885.
- 10) 藤田 広, 勝又 明, 原 武, 林 達, 林 佳: 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. 2013; 30: 18-30.
- 11) Sawagashira T, Hayashi T, KATSUMATA A, MURAMATSU C, Xiangrong Z, Yukihiko I, KATAGI K, FUJITA H: An automatic detection method for carotid artery calcifications using top-hat filter on dental panoramic radiographs. *IEICE TRANSACTIONS on Information and Systems*. 2013; 96: 1878-1881.
- 12) Zhang M, Katsumata A, Muramatsu C, Hara T, Suzuki H, Fujita H: An automatic early stage alveolar-bone-resorption evaluation method on digital dental panoramic radiographs. *Proc SPIE Med Imaging*. 2014; 9035: 1-9.
- 13) 佐野 司, 倉林 亨, 勝又 明: CT 画像の基礎 (原理). 基礎臨床画像診断. 補綴臨床別冊. 2015; 41-47.
- 14) Tokuoka O: The Principles of Panoramic Tomogra-

- phy. *Oral Radiology*. 1989 ; 5 : 31-38.
- 15) Langlais R, Katsumata A, Naidoo S, Ogawa K, Fukui T, Shimoda S, Kobayashi K: The cadmium telluride photon counting sensor in panoramic radiology: gray value separation and its potential application for bone density evaluation. *Oral surgery, oral medicine, oral pathology and oral radiology*. 2015 ; 120 : 636-643.
 - 16) 張 皿, 福山 宏, 松尾 拓, 山下 善, 平島 惣, 高橋 哲, 福田 仁 : Clinico-pathological Analysis of Odontogenic Tumours According to the Revised WHO (2005) Histopathological Classification in Japanese. 九州歯科学会雑誌. 2007 ; 61 : 55-66.
 - 17) Tsuji K, Wato M, Matsushima Y, Matsuda S, Fukuchi K, Yamada K, Kinoshita S, Matsumoto K, Tabushi M, Yoshida H, Iseki T, Tanaka A, Morita S: A clinico-statistical study of odontogenic tumors according to the new WHO histological classification in 2005. *Journal of Osaka Dental University*. 2008 ; 42 : 63-70.
 - 18) Avelar RL, Antunes AA, Carvalho RWF, Bezerra PGCF, Neto PJO, Andrade ESS: Odontogenic cysts: a clinicopathological study of 507 cases. *Journal of Oral Science*. 2009 ; 51 : 581-586.
 - 19) Meningaud J-P, Oprean N, Pitak-Arnop P, Bertrand J-C: Odontogenic cysts: a clinical study of 695 cases. *Journal of Oral Science*. 2006 ; 48 : 59-62.
 - 20) Yoshiura K, Higuchi Y, Arijii Y, Shinohara M, Yuasa K, Nakayama E, Ban S, Kanda S: Increased attenuation in odontogenic keratocysts with computed tomography: a new finding. *Dento maxillo facial radiology*. 1994 ; 23 : 138-142.
 - 21) Crusoe-Rebello I, Oliveira C, Campos PS, Azevedo RA, dos Santos JN: Assessment of computerized tomography density patterns of ameloblastomas and keratocystic odontogenic tumors. *Oral surgery, oral medicine, oral pathology, oral radiology, and endodontics*. 2009 ; 108 : 604-608.
 - 22) 森田 光, 有地 淑, 木瀬 祥, 後藤 真, 泉 雅, 内藤 宗, 勝又 明, 有地 榮 : 歯学部学生における下顎骨エナメル上皮腫と角化嚢胞性歯原性腫瘍の鑑別診断に関する教育効果. 歯科放射線. 2011 ; 50 : 27-38.
 - 23) Wakoh M, Okawa Y, Otonari-Yamamoto M, Kamio T, Sakamoto J, Yamamoto A, Sano T, Hashimoto K, Araki M: Reliance on Diagnostic Elements in Panoramic Imaging with Focus on Ameloblastoma and Keratocystic Odontogenic Tumor: Psychometric Study. *The Bulletin of Tokyo Dental College*. 2011 ; 52 : 1-12.
 - 24) Eida S, Hotokezaka Y, Katayama I, Ichikawa Y, Tashiro S, Sumi T, Sumi M, Nakamura T: Apparent diffusion coefficient-based differentiation of cystic lesions of the mandible. *Oral Radiology*. 2012 ; 28 : 109-114.
 - 25) 菅田 榮 : 含歯性嚢胞およびエナメル上皮腫のパノラマ X 線像の形状解析. 口腔病学会雑誌. 1986 ; 53 : 46-57.
 - 26) 池島 厚, 松崎 伸, 尾沢 光, 山本 浩, 鈴木 勇 : 歯根嚢胞と歯根肉芽腫との鑑別点 コントラスト値による分析. 歯科放射線. 1986 ; 26 : 7-15.
 - 27) 池島 厚, 松崎 伸, 尾沢 光, 他 : 歯根嚢胞と歯根肉芽腫との鑑別点 (第2報) コントラスト値および面積値による分析. 歯科放射線. 1987 ; 27 : 17-24.
 - 28) 池島 厚 : 歯根嚢胞と歯根肉芽腫との鑑別点 (第3報) 患者の年齢, 発生部位, コントラスト値および面積値による分析. 歯科放射線. 1994 ; 34 : 185-193.