

原 著

歯槽骨の骨密度による根尖病変の評価

三 上 恵理子¹⁾ 小日向 清 美²⁾ 勝 又 明 敏²⁾
飯 田 幸 弘²⁾ 河 野 哲¹⁾

Measurement of alveolar bone mineral density (BMD)
to evaluate chronic periapical lesions.

MIKAMI ERIKO¹⁾, KOHINATA KIYOMI²⁾, KATSUMATA AKITOSHI²⁾,
IDA YUKIHIRO²⁾, KAWANO SATOSHI¹⁾

目的:歯槽骨の骨密度 (bone mineral density, BMD) は, 根尖病変の拡大と治癒の過程において変化する。DentalSCOPE (メディア, 東京) は, 歯槽骨の BMD 値を計測するために開発された画像解析システムである。BMD 値計測では, 口内法デジタル X 線撮影装置の機種による特性の違いが測定精度に影響する可能性がある。そのため本研究ではまず, 輝性蛍光体 (photo-stimulable phosphor, PSP) デジタル口内法 X 線撮影システムにおける BMD 計算キャリブレーションの方法を検討した。次に, 根尖病変の大きさによる BMD の変化について実験的に検討した。

方法:三種類の PSP デジタル口内法 X 線撮影システム (以後, PSP システムと略す) を使用して BMD 値定量ファントムの口内法デジタル X 線画像を撮影し, 各 PSP システムに最適なソフトウェアパラメータ設定について検討した。続いて, 乾燥下顎骨の根尖に実験的な模擬根尖病変を作成した。模擬病変が十分に大きくなるまで, 根尖の骨を削除して X 線撮影する作業を繰り返した。歯科用コーンビーム CT (CBCT) 画像上の根尖病変の大きさを計測して BMD 値との相関を調べた。

結果:DentalSCOPE のパラメータ設定を最適化するためのキャリブレーション手順を実行しなかった場合, BMD 値は使用した PSP システムによって異なっていた。三種類の PSP システム間の BMD 値の違いは, イメージングシステム固有のキャリブレーションを適用することで最小限に抑えることができた。根尖周囲病変の BMD 値に関して, 病変の近遠心径と BMD 値は中程度の相関を示した。頬舌の直径と病変の体積は BMD 値と高い相関を示した。BMD 値は歯根嚢胞の X 線写真では観察が困難な小さな病変にも鋭敏に変化した。

結論:歯槽骨の BMD 値測定は, 根尖周囲病変の段階を評価して歯内治療の予後を観察するのに有用と考える。

キーワード: 骨密度, 歯槽骨, 根尖病変

Objectives:

The bone mineral density (BMD) of alveolar bone should be changing following the growing and healing process of the lesion. The DentalSCOPE (Media Corporation, Tokyo, Japan) is an image analysis system developed to evaluate the BMD of alveolar bone.

In this system, measurement accuracy may be affected by the individual characteristics of different digital imaging systems. Therefore, this study aimed to examine calibration method for the BMD calculation in photo-stimulable phosphor (PSP) digital intraoral imaging systems. Then we performed an in-vitro study

¹⁾ 朝日大学歯学部口腔機能修復学講座歯科保存学分野歯内療法
〒 501-0296 岐阜県瑞穂市穂積 1851

²⁾ 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

¹⁾ Department of Restorative Dentistry, Asahi University School of

Dentistry

1851 Hozumi Mizuho-city Gifu Japan 501-0296

²⁾ Department of Oral Radiology, Asahi University School of Dentistry
1851 Hozumi Mizuho-city Gifu Japan 501-0296

(2023 年 7 月 27 日受理)

to compare the size of periapical lesions and their BMD.

Methods:

Intraoral digital radiographs of the standardized BMD phantoms were obtained using three PSP imaging systems. We studied the optimal software parameter for setting each PSP imaging system.

Experimental pseudo-periapical lesions were created in the root apex of dried mandibles. We repeated the process of removing the bone and took images until the lesions were large enough. We examined whether the relationship exists between the size of periapical lesions in the dental CBCT images and BMD of periapical lesions or not.

Results:

Without a calibration to optimize the DentalSCOPE's parameter setting, the BMD values were different depending on the PSP imaging systems used. The differences in the BMD value between three PSP imaging systems were minimized by application of the imaging system specific calibration.

The mesio-distal diameter of the lesions and their BMD values showed a moderate correlation with each other. The bucco-lingual diameter and volume of the lesion showed a high correlation with the BMD. The BMD value responded sensitively to small lesions that were difficult to detect with a periapical radiograph.

Conclusion:

BMD measurement will be useful to evaluate the stage of periapical lesion and to observe the prognosis of endodontic treatment.

Key words : bone mineral density, alveolar bone, periapical lesion

緒 言

根尖性歯周炎や歯根嚢胞は X 線画像上で失活歯の根尖部に透過性病変（根尖病変）を形成する。根尖病変の有無の画像診断、および病変の拡大や治癒状態の評価は、もっぱら歯科医師の X 線画像所見の読影に頼っており、定量的な診断評価の技術は未だ確立されていない。

根尖病変が X 線透過像を示すのは根尖周囲の骨が炎症により吸収破壊されるためである¹⁾。骨の吸収破壊が進めば X 線画像の濃度（黒化度）が変化するが、これは骨密度（Bone Mineral Density, BMD）の変化を反映していると考えられる。すなわち、根尖部の BMD 値を正確に計測できれば、根尖病変の定量的な評価に応用できると思われる。

骨密度の計測にはさまざまな方法があるが、密度と厚さが既知の参照体とともに生体硬組織の X 線画像を撮影して、その画像濃度から BMD 値を求める Micro Densitometry 法（MD 法）が 1970 年代から手足の BMD 値計測のため使われている²⁻⁵⁾。

歯科でも、口内法 X 線画像で MD 法を用いた歯槽骨の BMD 値計測が試みられている⁶⁻¹⁰⁾。しかし、フィルムによる口内法 X 線画像で画像の濃度を測るためには、可視光線をフィルムに入射して透過した光量を計測する専用の黒化度測定装置が必要となる。さらに、アルミ階段などの参照体の X 線フィルムの黒化

度から検量線を描く煩雑な作業を伴うため、一般歯科臨床に普及するには至らなかった。

これに対して近年になるとデジタル口内法 X 線撮影システムが普及し、コンピュータ上で画素のグレースケール値として簡単に画像濃度を測ることができるようになった¹¹⁾。そこで、デジタル口内法 X 線画像を用いた歯槽骨の骨密度を計測し、BMD 値による根尖病変の評価法の確立を目的として、デジタル X 線システムの画像特性が BMD 値計測に及ぼす影響および、模擬根尖病変の大きささと BMD 値の関係の 2 項目について検討した。

材料および方法

1. BMD 値の計測方法

骨密度の計測は朝日大学歯学部歯科放射線学分野が開発に参画した BMD 値計測システム (DentalSCOPE, メディア, 東京) を用いた¹¹⁾。DentalSCOPE は、MD 法により口内法 X 線画像から歯槽骨の BMD 値を求めるシステムで、以下の要素で構成されている。

A 参照体モジュール

参照体は、炭酸カルシウム 100 % 粉末、炭素粉末に 60 % および 20 % 炭酸カルシウム粉末を混和し、粉体成形機で圧縮して作成した 3 x 3 x 10 mm の四角柱である。作製した三種類の参照体をケースに収めたモジュールには、ソフトウェアが自動的に検量線を作成するための指標となる十字型の X 線不透過性マー

カーが付いている (図 1-A).

B インジケータ

口腔内で X 線検出器を保持するとともに、参照体と歯列に対して適切な方向から X 線が入射するように指示誘導する役割を持つ (図 1-B).

C ソフトウェア

DICOM, JPEG, BMP および PNG 形式のデジタル X 線画像データを入力すると、参照体の画像濃度を計測して自動的に検量線を作成する。歯槽骨の画像上で任意の場所に関心領域 (Region of Interest, ROI) を設定すると、BMD 値 (mg/cm^2) が表示される (図 1-C).

なお、本研究の計画は朝日大学歯学部倫理審査委員会に申請して承認を得ている (承認番号: 26173).

2. デジタル X 線システムの画像特性が BMD 計測に及ぼす影響の検討

被写体は、標準的な大きさの下顎骨を撮影した CT 画像データから 3D プリンタでアクリル製の片顎模型を作り、臼歯部の下顎骨体相当部をくり抜いて $1 \times 1 \times 1 \text{ cm}$ 大の BMD 値定量用ファントム (骨塩定量ファントム, 京都科学, 京都) 四個を埋め込んで作成した。骨塩定量ファントムの BMD 値は、200, 400, 600 お

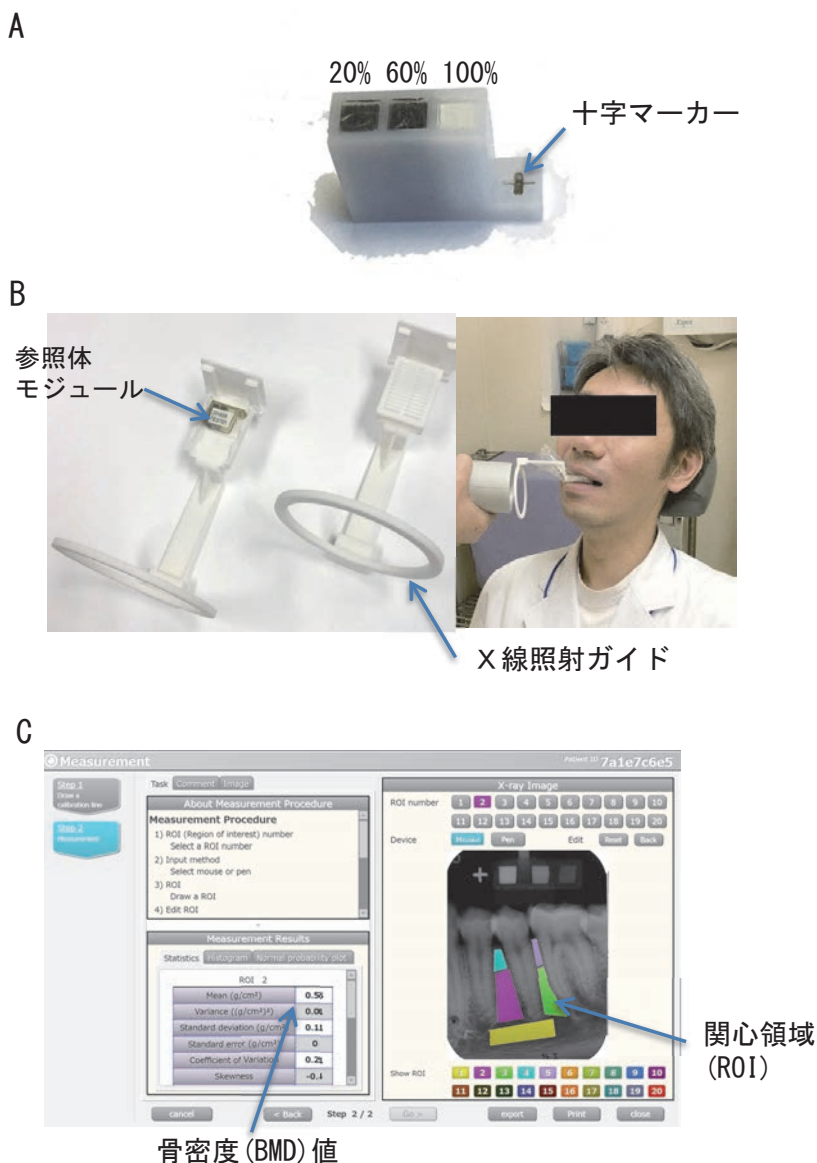


図 1 BMD 値計測システム (DentalSCOPE) の構成

A 参照体モジュール, B DentalSCOPE インジケータ, C ソフトウェアの BMD 値計測画面

よび 800 mg/cm^2 である。図2に顎骨型被写体の外観、X線撮影時の様子、および標準型（サイズ2）イメージングプレートで撮影した骨塩定量ファントムのX線画像を示す。

3機種種の輝尽性蛍光体（Photo-Stimulable Phosphor, PSP）方式デジタルX線システムで被写体を撮影した。

用いた装置は、VistaScan（Dürr Dental, Bietigheim-Bissingen, Germany）、Carestream CS 7600（Carestream, Rochester, NY, USA）、および Arcana（Cross Tech, 東京）である（図3）。電圧電流は $60 \text{ kV } 10 \text{ mA}$ と $70 \text{ kV } 10 \text{ mA}$ の2通り、照射時間は 0.1 、 0.2 、および 0.3 秒とした。

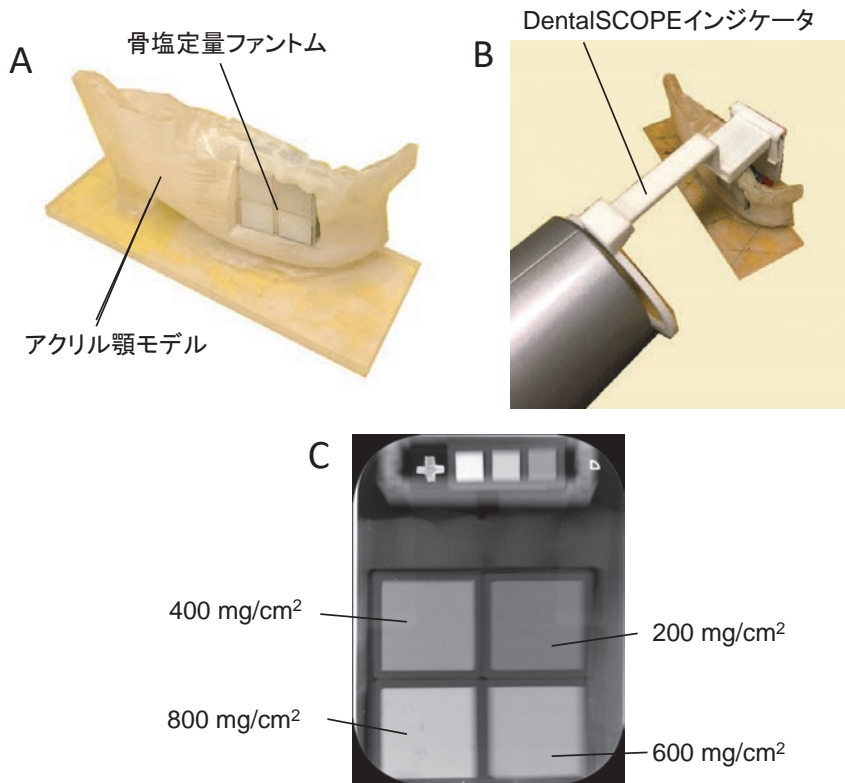


図2 骨塩定量ファントムを埋め込んだ顎骨型被写体

A 骨塩定量ファントムを組み込んだ被写体, B DentalSCOPE インジケータを用いた撮影, C 骨塩定量ファントムのX線画像

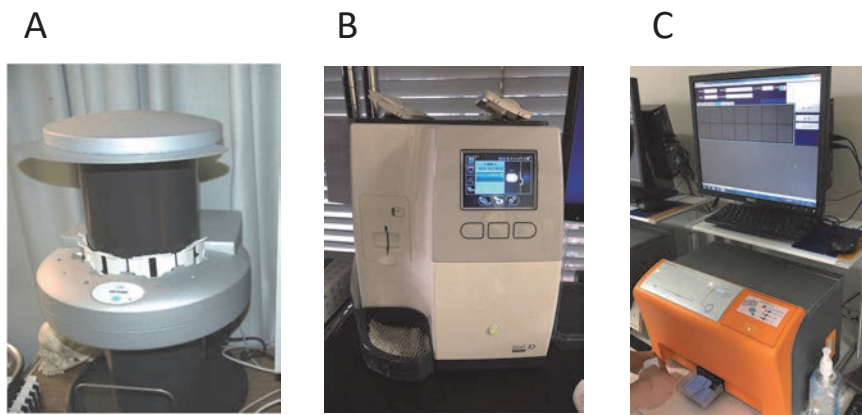


図3 PSP方式 口内法撮影システム

A VistaScan, B CS 7600, C Arcana

撮影した画像を DentalSCOPE に読み込み、ファントム画像上に ROI を設定して BMD 値を計測し、ファントム固有の BMD 値に対する誤差（絶対値）を求めた。X 線撮影と BMD 値計測は 1 名の歯科医師が 3 回行い、得られた BMD 値の平均値を採用した。

次に、実験に用いた 3 種類の PSP 撮影システムについて、DentalSCOPE で計測した BMD 値がファントム固有の BMD 値に近似する様に DentalSCOPE 参照体の画素値から BMD 値に変換する係数を補正し、上記の誤差の変化を検討した。なお、補正した変換係数は PSP 撮影システムごとに一種類とし、撮影条件による変更は行わなかった。係数補正がある場合とない場合の BMD 値の誤差の比較には Wilcoxon の順位和検定を用いた。また、撮影に用いた 3 機種の PSP 撮影システム間における誤差比較には一元配置分散分析および多重比較検定（Tukey 法）を用いた。有意水準は 0.05 とした。

3. 模擬根尖病変の大きさと BMD 値の関係

乾燥下顎骨 2 体の左右第一大臼歯根尖周囲の骨をラウンドバーで切削して人工的に模擬根尖病変を作成した。病変の拡大、あるいは治癒による縮小の X 線画像を再現するため、骨を切削して病変長径が約 1mm 切削するたびに DentalSCOPE インジケータを用いた口内法 X 線撮影、および歯科用コーンビーム CT (CBCT) 撮影を行った。合計 4 箇所の模擬病変は、頬舌側の皮質骨に達するまで拡大した。図 4 に顎骨の X 線撮影時の様子、および口内法 X 線画像を示す。

CT 画像は DICOM 画像ソフトウェア (Osirix MD, Pixmeo SARL, Bernex, Swiss) 上で多断面再構築画像として観察し、模擬根尖病変が最大に見える断面で病変の上下径、近遠心径、および頬舌径を計測した。

また、病変のみを抽出した画像を作成して病変体積を計測した。CT 画像の計測は 1 名の歯科医師が 3 回ずつ行い平均値を採用した。

口内法画像は、DentalSCOPE 上で最も大きな病変に外接する矩形の ROI を設定して BMD 値を計測した。なお、各模擬病変の ROI 面積は、病変の大きさに関わらず、病変が最も大きな時点における ROI 面積と同じになる様に調節した。BMD 値計測は 1 名の歯科医師が 3 回行い、得られた BMD 値の平均値を採用した。

模擬病変の大きさに関する計測値と BMD 値について、どの計測値が BMD 値と相関するかを、回帰直線の決定係数 (R^2) を求めて検討した。

結 果

1. デジタル X 線システムの画像特性が BMD 計測に及ぼす影響の検討

DentalSCOPE で BMD 値を求める係数を初期状態とした場合、ファントム固有の BMD 値と DentalSCOPE 計測値の誤差の平均は、VistaScan が 59.6、CS 7600 が 144.2、Arcana が 131.3 であった。BMD 値の係数を各装置でファントム固有の BMD 値に近似するように補正した場合、誤差の平均は、VistaScan が 35.0、CS 7600 が 39.2、Arcana が 35.8 であった (表 1)。

係数の補正がある場合とない場合の BMD 値の誤差の比較では、3 機種とも係数の補正により有意に BMD 値の誤差が少なくなっていた。3 機種の比較では、係数の補正がない場合には VistaScan の誤差が他の 2 機種に比べて有意に少なくなっていたが、係数を補正した場合の誤差には 3 機種の間で差がなかった。3 種類の PSP 撮影システムにおける骨塩定量ファントムの BMD 値の分布を図 5 (係数補正がない場合) および図 6 (係数補正がある場合) に示す。

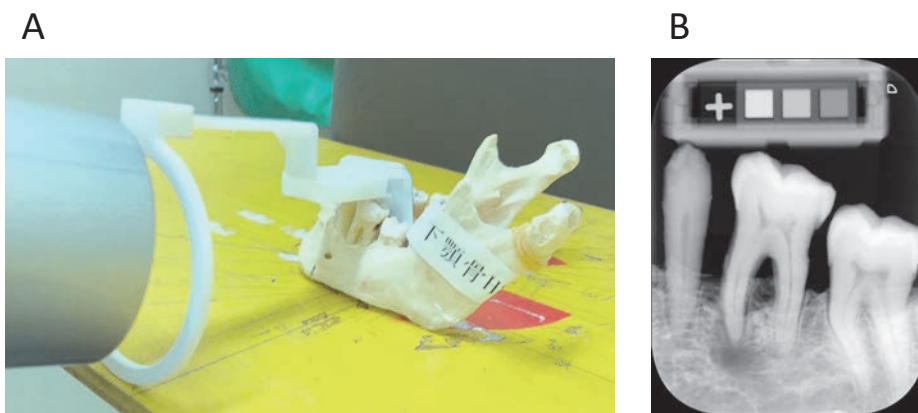


図 4 模擬根尖病変の口内法撮影

A DentalSCOPE インジケータを用いた撮影, B 左側下顎大白歯模擬根尖病変の X 線画像

表1 撮影システムによるBMD値の誤差

BMD算出係数の補正	撮影システム	誤差の平均	標準偏差	補正の有無の比較	3機種間の比較
なし	VistaScan	59.58	44.67	*	** *
	CS 7600	144.17	89.15		
	Arcana	131.25	93.54		
あり	VistaScan	35.00	23.77	*	*
	CS 7600	39.17	29.62		
	Arcana	35.83	29.33		

*p<0.05 Wilcoxon test

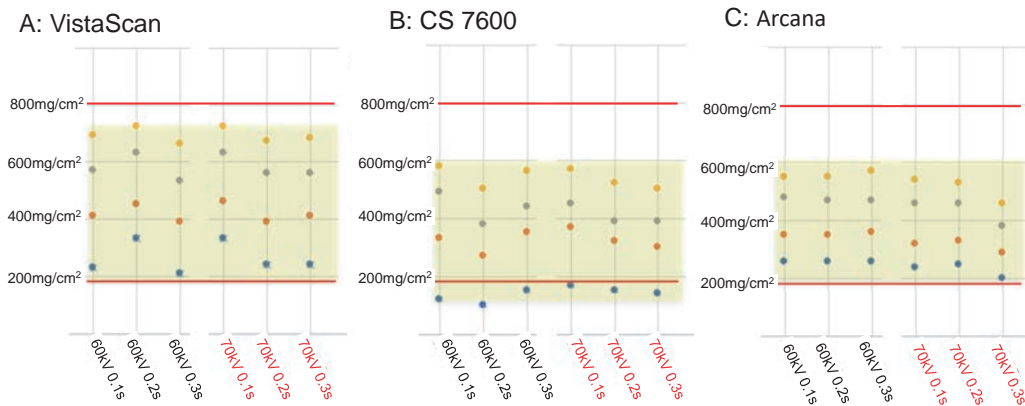


図5 BMD値算出係数の補正がない場合における口内法撮影システムの種類および撮影条件による骨塩定量ファントムBMD値の分布

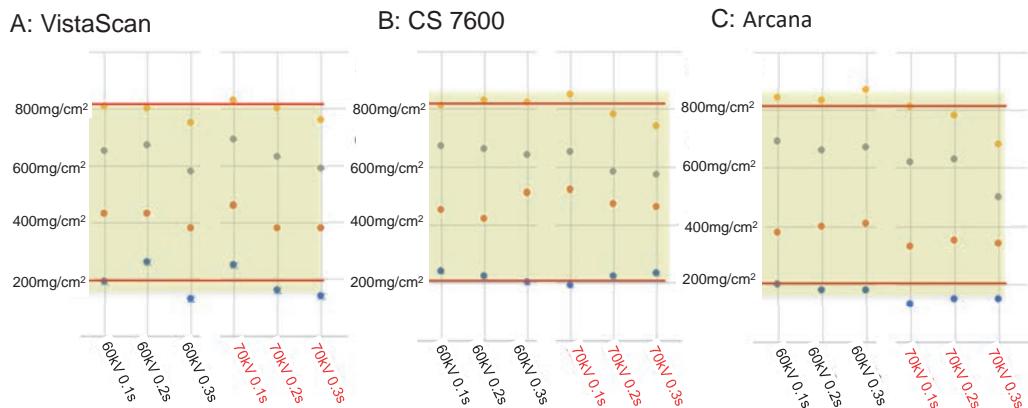


図6 BMD値算出係数を補正した場合の口内法撮影システムの種類および撮影条件による骨塩定量ファントムBMD値の分布

2. 模擬根尖病変の大きさとBMD値の関係

図7には、DentalSCOPEインジケータを使用して撮影した1箇所の模擬根尖病変の口内法X線画像、およびCBCT画像（矢状、前額、および軸位断面）を示す。図8には同模擬根尖病変における病変の上下径、近遠心径、頬舌径、および病変体積と

DentalSCOPEで計測したBMD値の関係を示す。また表2には、BMD値と病変の上下径、近遠心径、頬舌径、および体積の相関を直線回帰した場合の決定係数（相関係数の二乗、R²）を示す。模擬根尖病変の大きさはBMD値と相関を示すこと、なかでも病変の頬舌径および体積の相関が高いことがわかった。

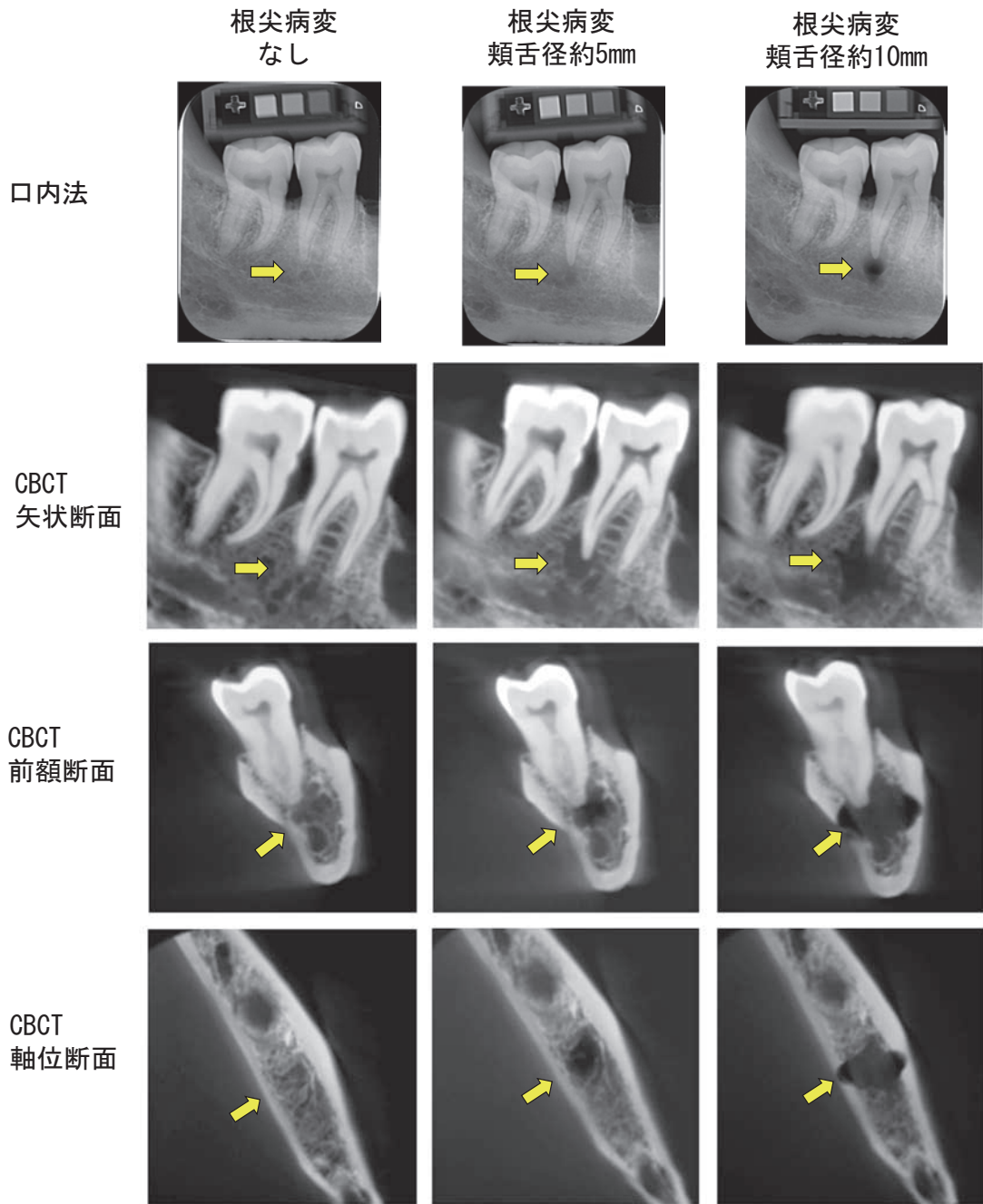


図7 模擬根尖病変の口内法 X 線および CBCT 画像
黄矢印 模擬根尖病変の位置

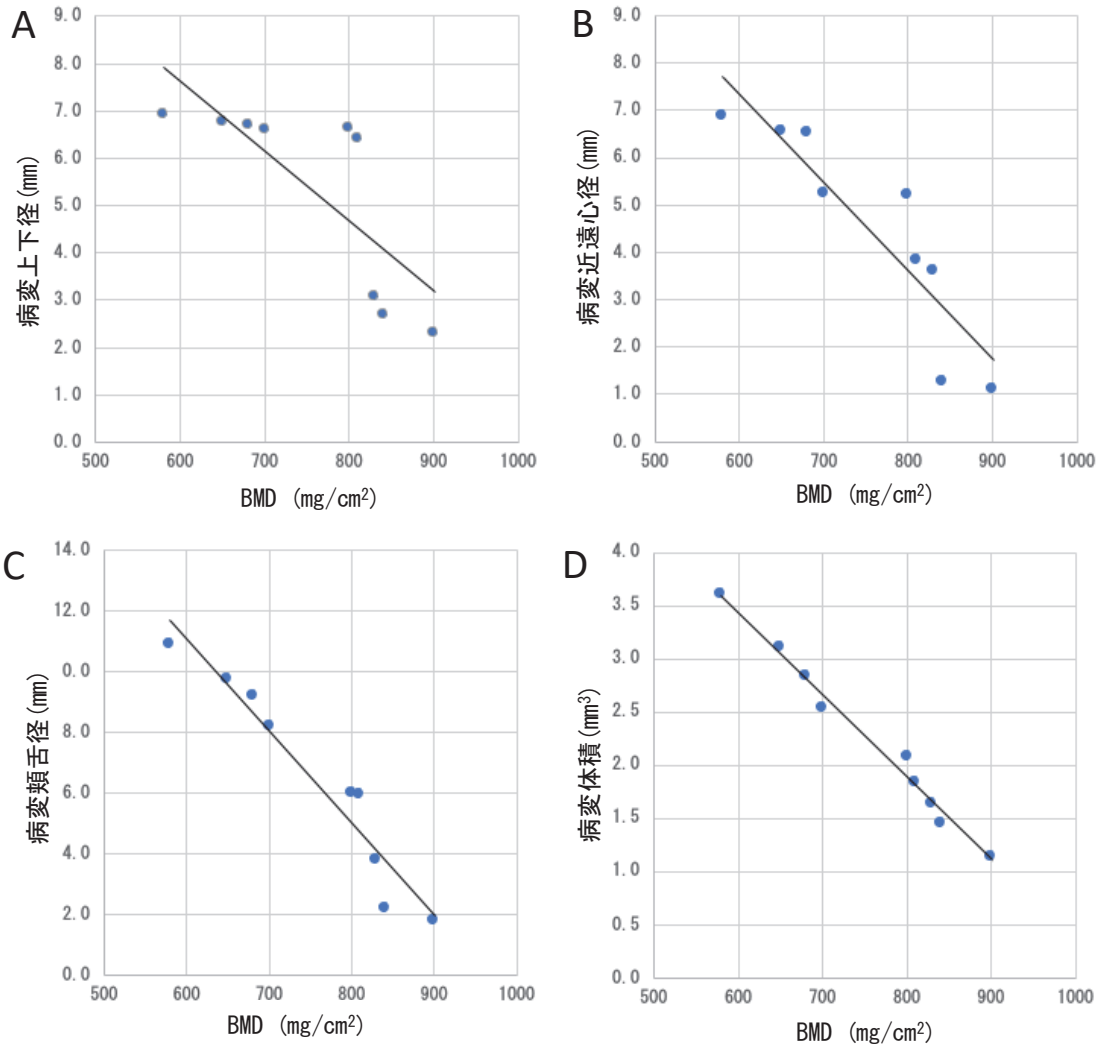


図8 模擬根尖病変の大きさと BMD 値の関係

A 病変上下径, B 病変近遠心径, C 病変頬舌径, D 病変体積

表2 歯槽骨 BMD 値と病変の大きさとの相関

模擬根尖病変	直線回帰の決定係数 (R2)			
	上下径	近遠心径	頬舌径	病変体積
顎骨1R	0.60	0.81	0.93	0.99
顎骨1L	0.78	0.80	0.96	0.95
顎骨2R	0.89	0.70	0.89	0.81
顎骨2L	0.76	0.29	0.95	0.94
平均	0.76	0.65	0.93	0.92
標準偏差	0.12	0.25	0.03	0.08

考 察

骨密度を定量的に表すBMD値は、高齢者の腰椎や大腿骨頭に脆弱性骨折を生じる骨粗鬆症の診断基準の値として重要な指標である¹²⁾。しかし、生体内の骨の物理的な密度を実測することは不可能なので、実際のBMD値は、骨を透過したX線を平面のX線フィルムに投影し、フィルムの黒化度から投影画像上の単位面積あたりの骨の量を推定した値 (g/cm^2) となっている。本研究で用いたMD法は、上記の原理にそった最も簡便なBMD値計測法である。しかし、腰椎や大腿骨のBMD値を計測する時、骨の周囲の筋肉や脂肪の影響を受けてしまう。そのため現在、BMD値計測の標準的な計測方法は、軟組織のX線吸収がX線エネルギーにより変化することを応用して軟組織の影響を排除したBMD値を測定できる2重X線エネルギー吸収 (Dual Energy X-Ray Absorptiometry, DXA) 法である¹²⁻¹⁴⁾。

DXA法により軟組織の影響を排除することは、筋肉や脂肪層から影響を受ける体幹の骨密度を計測する場合は重要だと思われる。しかし、大腿骨や腰椎と異なり、歯槽骨には周囲に付着している筋肉や厚い皮下脂肪層がない。また、顎骨を取り囲む歯肉軟組織の厚みは、手足と比較して個人差が小さい。そのような点を考えると、口内法X線画像ではDentalSCOPEの簡便なMD法で、十分に実用性のあるBMD値計測が可能と思われる。

また、エネルギーの異なるX線を用いた画像を取得し、計算により軟組織の影響を排したBMD値を求めるDXA法の機構を歯科のデジタル口内法撮影システムに組み込むのは、技術的および経済的に難しい。

現在、最も広く普及しているデジタル口内法撮影システムは、本研究で用いたPSP方式である。PSP方式は、X線フィルムの代わりに蛍光物質を塗布したイメージングプレートを用いるもので、コンピュータッド・ラジオグラフィを略したCR法とも呼ばれている。PSP方式の基本原理はどの機種も同じであるが、得られた画像を表示する際に施される画像処理は機種により異なる。本研究で用いたArcanaは、イメージングプレートから読み取った信号を画像に変換する際に対数応答をさせていることを報告しているが、画像処理の詳細を公表していない機種も多い¹⁵⁾。本研究の結果、画像濃度からBMD値に換算する係数を撮影システム毎に補正しない場合、計測精度が低下することがわかった。また、換算係数を適切に補正すれば、撮影条件 (管電流・管電圧・照射時間) が異なっても、再現性ある計測が可能ながわかった。

本研究では、口内法撮影システムのうち、X線発生装置 (X線管球) を変更した場合の影響については調べていない。X線発生時に必要な高圧電流発生時の整流方式が異なる装置や、バッテリー電源でX線発生させる携帯型装置もあり、X線発生装置の違いがDentalSCOPEの計測精度に及ぼす影響の検討は今後の課題である。

本研究の結果、根尖病変の拡大および治癒の評価に歯槽骨のBMD値計測が有効なことが示唆された。また、根尖病変の形態のうち、頬舌径および体積の変化が、BMD値と高い相関を示すことが明らかになった。病変体積とBMD値の相関が高いのは予想通りである。病変頬舌径の高い相関に関しては、口内法X線画像が顎骨を頬舌方向に透過したX線により撮影されるためであろうと考えられる。

一方、本研究で作成した模擬根尖病変の口内法X線画像と歯槽骨のBMD値を再検討すると、小さな根尖病変には口内法X線画像で肉眼的に診断するのが難しいものがみられた。顎骨の人工的な骨欠損のX線画像所見を検討した過去の研究も、骨欠損の位置、大きさ、皮質骨を含むか否かにより骨欠損の観察が難しいケースがあることを報告している¹⁶⁻¹⁹⁾。BMD値は、根尖病変の大きさにより鋭敏に変化するので、肉眼では発見の難しい小さな病変の存在を検出できる可能性がある。BMD値が歯周組織の病変の初期診断に有効かについては、今後、検討する必要がある。

また、根尖性歯周炎による骨硬化や骨吸収にともなうBMD値の変化を、感染根管治療開始時から治療終了まで経時的に観察したデータを蓄積することも重要である。臨床における根管充填時期の判定は、根管からの排膿や出血がなく、根尖部歯肉の圧痛などの不快症状の有無といった臨床所見に拠っている²⁰⁾が、将来的には、歯周組織の治癒の確認や根管充填の時期を決定する客観的な指標としてBMD値が用いられる可能性が示唆される。

歯槽骨のBMD値計測は、歯科臨床において根尖病変の評価以外にも有用性があると考えられる。例えば、インプラント埋入部位の骨質の評価にも応用可能である¹⁰⁾。インプラント埋入部位の骨質の評価にはCTを用いることが多いが、放射線被曝が多いため頻りに撮影することができない²¹⁾。さらに、インプラント埋入後の歯槽骨のCT画像ではインプラント体の金属が観察の障害となる^{22, 23)}。被曝が少なく障害陰影を生じない口内法X線撮影であれば、インプラント埋入後の歯槽骨を経時的に観察することにより被曝軽減に寄与する。

歯槽骨のBMD値を全身疾患の骨粗鬆症の診断に応

用できる可能性もある。しかし、骨粗鬆症の診断は、あくまで脆弱性骨折を生じる骨で行うのが原則である。周知のとおり顎骨に脆弱性骨折は生じ難く、顎骨から直接全身の骨粗鬆症を診断することはできない。また、歯槽骨のBMD値を骨粗鬆症のスクリーニングや診断に応用する場合は、歯槽骨が概述の根尖病変や歯周病の修飾を受けやすいことも問題となる。顎骨のBMD値と全身のBMD値を比較した先行研究は、両者に相関が見られないことが多く、相関があっても高くないことを示している²⁴⁻²⁶⁾。ただし将来、脆弱性骨折以外に顎骨の骨粗鬆症特有の症状の存在（例えば歯周病の重症化や通常より多い歯の喪失など）が証明されれば、歯槽骨のBMD値が「顎骨特有の症状を示す骨粗鬆症」の診断基準となる可能性もある²⁷⁻³⁰⁾。

骨粗鬆症に関連した歯槽骨のBMD値計測の臨床応用として、もう一つ考えられるのは薬剤性顎骨壊死の可能性のある症例の発見や経過観察である。臨床的に、薬剤性顎骨壊死を生じた顎骨には広範囲な骨硬化が多発することが知られている³¹⁻³⁵⁾。骨吸収抑制薬は顎骨の骨硬化を生じやすく、骨硬化による骨の循環障害が顎骨壊死の原因あるいは増悪因子となっている可能性がある。骨吸収抑制薬使用患者の歯槽骨のBMD値の変化を観察することで、薬剤性顎骨壊死の患者の発見につながる可能性がある。歯槽骨のBMD値計測に関する今後の臨床研究が期待される。

結 論

口内法 X 線画像を用いた歯槽骨の BMD 値計測から根尖病変の進行や治癒を評価する方法を検討し、以下の知見を得た。

1. BMD 値計測の精度にデジタル口内法 X 線システムの画像特性が影響した。
2. 参照体の画素値から BMD 値に変換する係数を撮影システムごとに補正することで、正しい BMD 値を求めることができた。
3. 根尖病変の頬舌径および体積は歯槽骨 BMD 値と高い相関を認めた。

文 献

- 1) 笹野高嗣, 飯久保正弘; 岡野友宏, 小林馨, 有地榮一郎. 第 6 版. 歯科放射線学 (歯髄・根尖歯周組織疾患と歯内療法). 東京: 医歯薬出版; 2018: 255-259.
- 2) Fukunaga M, Sone T, Otsuka N, Tomomitsu T, Imai Y, Nogami R, Kitayama A and Itayaet M. Bone mineral measurement in Japan. *Ann Nucl Med*. 1997; 11: 275-280.
- 3) Sudo A, Miyamoto N, Kasai Y, Yamakawa T and

Uchida A. Comparison of bone mineral density among residents of a mountain village and a fishing village in Japan. *J Orthop Surg (Hong Kong)*. 2003; 11: 6-9.

- 4) 黒田賢二, 小林明雄, 瀧本純, 内山勝文, 森谷光俊, 岩瀬大. 異なる骨粗鬆症治療薬による骨密度変化の比較 — MD 法を用いて —. *神奈川整・災誌*. 2014; 27: 103-106.
- 5) 細井孝之. MD 法 (最新の +DIP システムについて). *骨粗鬆症治療*. 2012; 11: 14-18.
- 6) Trouerbach W, Hoornstra K and Zwamborn AW. Microdensitometric analysis of interdental bone structure. *Dentomaxillofac Radiol*. 1984; 13: 27-31.
- 7) 前多勝, 和田真一, 前多一雄. Micro photometer microcomputer system による正常下顎歯槽骨骨ミネラルの測定に関する研究. *歯学*. 1986; 74: 707-728.
- 8) 遠藤弘康, 小松孝至, 松江美代子, 松江一郎. 疑似カラー画像を用いた歯周外科処置後の歯槽骨の定量評価について. *日歯周誌*. 1998; 40: 103-110.
- 9) Sakagami R and Kato H. A new device for standardized intraoral projection: An observation of radiographic changes after root planing. *Oral Radiol*. 2000; 16: 1-7.
- 10) 並木一郎. 口内法 X 線写真による骨接合型インプラントの周囲骨の骨塩量の計測. *日口腔インプラント誌*. 2000; 13: 10-21.
- 11) 勝又明敏, 福井達真, 下田信次, 小林馨. 口内法 X 線画像濃度による歯槽骨密度の計測. *日本口腔科学会雑誌*. 2017; 66: 229-234.
- 12) 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. 東京: ライフサイエンス出版; 2016.
- 13) Yang SO, Hagiwara S, Engelke K, Dhillon MS, Guglielmi G, Bendavid EJ, Soejima O, Nelson DL and Genant HK. Radiographic absorptiometry for bone mineral measurement of the phalanges: precision and accuracy study. *Radiology*. 1994; 192: 857-859.
- 14) Rideout CA, McKay HA and Barr SI. Self-reported lifetime physical activity and areal bone mineral density in healthy postmenopausal women: the importance of teenage activity. *Calcif Tissue Int*. 2006; 79: 214-222.
- 15) 西川慶一. 対数応答デジタル X 線画像システムの時代へ. *アポロニア* 21. 2004; 131: 67-73.
- 16) 山崎宗与, 和田守廉, 龍方省二, 榊原健, 野本義文, 川上和夫. 骨の欠損形態が X 線写真上の画像形成に及ぼす影響 (1) 人工的根尖周囲欠損および人工的歯周欠損について. *日歯保誌*. 1975; 18: 141-149.
- 17) Ramadan AE and Mitchell DF. A roentgenographic study of experimental bone destruction. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*. 1962; 15: 934-943.
- 18) van der Stelt PF. Experimentally produced bone lesions. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*. 1985; 59:

- 306-312.
- 19) Schwartz SF and Foster Jr JK. Roentgenographic interpretation of experimentally produced bony lesions. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1971; 32: 606-612.
 - 20) 北村和夫, 勝海一郎. 根管充填. *日歯内療誌.* 2015 ; 36 : 109-120.
 - 21) Misch CE, Dietsch-Misch F, Hoar J, Beck G, Hazen R and Misch CM. A bone quality-based implant system: first year of prosthetic loading. *J Oral Implantol.* 1999; 25: 185-97.
 - 22) 木村正, 小室暁, 岸本博人, 阪本貴司. インプラント治療におけるCT画像の臨床的問題点. *日本口腔インプラント学会誌.* 2019 ; 32 : 313-323.
 - 23) 勝又明敏, 神部芳則. 歯科臨床画像診断のチェックポイント (インプラントの画像診断). 第1版. 東京 : 医歯薬出版 ; 2019 : 78-93.
 - 24) Klemetti E, Vainio P, Lassila V and Alhava E. Cortical bone mineral density in the mandible and osteoporosis status in postmenopausal women. *Scand J Dent Res.* 1993; 101: 219-223.
 - 25) Klemetti E, Vainio P, Lassila V and Alhava E. Trabecular bone mineral density of mandible and alveolar height in postmenopausal women. *Scand J Dent Res.* 1993; 101: 166-170.
 - 26) Geraets WG, Verheij JG, van der Stelt PF, Horner K, Lindh C, Nicopoulou-Karayianni K, Jacobs R, Harrison EJ, Adams JE and Devlin H. Prediction of bone mineral density with dental radiographs. *Bone.* 2007; 40: 1217-1221.
 - 27) 音琴淳一, 渡邊英俊, 大野美知昭, 日垣孝一, 佐藤哲夫, 椎名直樹, 伊豫田比南, 温慶雄, 上條博之, 坂本浩, 河谷和彦, 伊藤茂樹, 太田紀雄. パノラマX線画像パラメーター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.* 2001 ; 43 : 13-24.
 - 28) 坂東薫, 新田浩, 笹生宗賢, 野口和行, 菅田栄一, 植松宏, 石川烈. 歯の存在と全身骨, 下顎骨の骨密度との関係について. *日歯周誌.* 2000 ; 42 : 122-128.
 - 29) Krall EA, Dawson-Hughes B, Papas A and Garcia RI. Tooth loss and skeletal bone density in healthy postmenopausal women. *Osteoporos Int.* 1994; 4: 104-109.
 - 30) Wactawski-Wende J, Grossi SG, TeVisan M, Genco RJ, Tezal M, Dunford RG, Ho AW, Hausmann E and Hersh-chyshyn MM. The role of osteopenia in oral bone loss and periodontal disease. *J Periodontol.* 1996; 67: 1076-1084.
 - 31) Ozcan G, Sekerci AE and Gönen ZB. Are there any differences in mandibular morphology of patients with bisphosphonate-related osteonecrosis of jaws?: a case-control study. *Dentomaxillofac Radiol.* 2016; 45: 201600471 (online).
 - 32) Kubo R, Arijii Y, Taniguchi T, Nozawa M, Katsumata A and Arijii E. Panoramic radiographic features that predict the development of bisphosphonate-related osteonecrosis of the jaw. *Oral Radiol.* 2018; 34: 151-160.
 - 33) Phal PM, Myall RW, Assael LA and Weissman JL. Imaging findings of bisphosphonate-associated osteonecrosis of the jaws. *AJNR Am J Neuroradiol.* 2007; 28: 1139-1145.
 - 34) Guo Y, Wang D, Wang Y, Peng X and Guo C. Imaging features of medicine-related osteonecrosis of the jaws: comparison between panoramic radiography and computed tomography. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol.* 2016; 122: 69-76.
 - 35) Farias DS, Zen Filho EV, de Oliveira TF, Tinôco-Araújo JE, Sampieri MB, Antunes HS and Santos PS. Clinical and image findings in bisphosphonate-related osteonecrosis of the jaws. *J Craniofac Surg.* 2013; 24: 1248-1251.