

歯のX線透過性に関する定量診断法の確立

—CTによる象牙質ミネラル量の計測—

鈴木陽典 島田敏尚 田口 大 高橋和裕

Establishment of Quantitative Diagnosis about Radiopacity of Tooth

—Measurement of Dentin Mineral Density by CT—

Yosuke SUZUKI, Toshinao SHIMADA, Dai TAGUCHI and Kazuhiro TAKAHASHI

In measuring the dentin mineral density (DMD), X-ray absorptiometry using slices of tooth after tooth extraction (the Slice method) is used conventionally. Because it takes time and must extract a tooth, these methods are limited to usable cases.

Therefore we investigated a method to measure DMD by CT scan (the CT method). Cervical dentin in the alveolar bone was measured to avoid the influence by the beam hardening effect. The area where DMD value showed a plateau was measured to avoid the influence of the partial volume effect. DMD by CT method accorded with Slice method with a difference of 1.2%. Using this CT method, a difference of DMD among kind of tooth in the same individual was measured in 16 cases without metal restoration or prosthetic appliance in Ohu University Hospital. There were a few differences in DMD and the standard deviation of a measured value was about around 1.5%. Thus, it is suggested that all kind of tooth are useful as diagnostic standard and the CT value of dentine is effective if measured using the CT method.

Key words : dentin, mineral density, CT, diagnostic standard

緒 言

歯の硬組織であるエナメル質、象牙質は、骨組織に見られるようなりモデリングを行わないため、歯根完成後他の組織と比較して安定した組成が維持されている。このことは、骨組織が種々の疾患や加齢による生理的变化により、骨ミネラル量¹⁻⁵⁾が大きく変化するなかで、歯のミネラル量が安定していることから、歯のX線透過性が放射線診断の基準となることが可能と考えられる。すなわち、骨粗鬆症⁶⁾などミネラル量が大きく変化する病変

の進行度の指標として、変化の少ないと思われる歯の標準値が分かっているならば歯と骨のX線透過性の差により骨粗鬆症の進行度の評価も可能となる。また、齶蝕等により、歯の生活反応層、透明層などにX線透過性の変化が生じた場合にも、標準値からどのくらいかの変化であるかということ把握するために、標準値はX線定量診断上きわめて重要と考えられる。

抜去歯を用いたX線透過性測定で遠藤⁷⁾は、性差、抜歯時の年齢による差は少なく、歯のX線透過性が診断基準として有用であることを示した。

しかし、同一個体の歯種による差は抜去歯を用いた計測では症例に限られ、まだ良く知られていない。

近年X線CTは歯科領域にも多く用いられるようになり⁸⁾、歯を撮影する機会が多い。CTは定量測定が可能であるため、CT値から間接的にX線透過性を推定できるが、歯は人体の組織では最も石灰化度が高く、X線不透過性が大きいことや小さい形態をしていることから、線質硬化⁹⁾やPartial volume 効果¹⁰⁾による画像構成上の問題点があり、測定値に対しての校正方法や、計測法は確立されていない。

今回CT撮影により直接生体から歯のミネラル量を計測する方法(以下CT法)を確立するために、従来法の抜去後切片作成による透過性の比較計測値から求める方法(以下切片法)による歯のミネラル量とを比較検討し、このCT法を用いて同一個体の歯種によるX線透過性の差について計測し、若干の知見を得たので報告する。

材料および方法

1) 測定対象

CT法と切片法の比較検討に用いた症例は、奥羽大学附属病院にて2003年8～9月に抜去前にCT撮影された9症例で、平均年齢 28.7 ± 10.9 歳、男性4女性5であった。同一個体の歯種による差の測定では、2002年1月～2003年9月にCT撮影された症例のうち、欠損歯が少なく、歯冠修復物によるアーチファクトの少なかった16症例で、平均年齢 30.2 ± 14.5 、男性8女性8について計測した(図1)。

2) 使用器材および方法

(1) CT法では、X線CT装置:Toshiba Asteionを用い、撮影条件は管電圧135kV管電流60 mAsで、スキャン条件はHerical・1 mm間隔とし、再構成は再構成関数FC80を用い、0.5mm間隔で行った。またCT値計測ソフトウェアはザイオソフトウェア社ExaVision Liteを用い、Multi Plane Reconstruction (MPR)像により歯軸に直角に歯の横断面を再構成した。測定部位は線質硬化による影響を避けるために歯槽骨内とし、Partial volume 効果の影響を避けるためには、なるべく

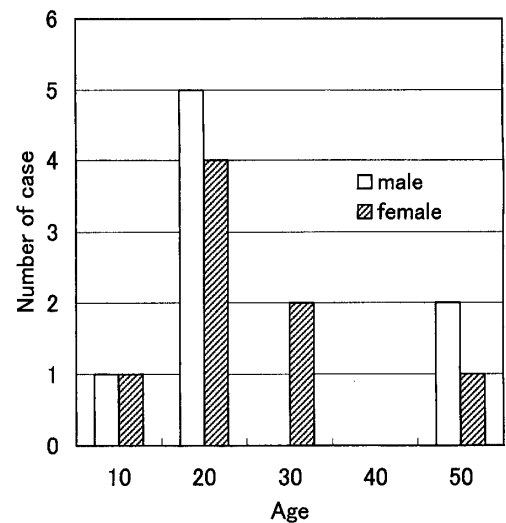


Fig. 1 Age distribution at tooth extraction.

象牙質の広い部位で、プラトーのある最大値を計測した。また計測誤差を少なくするために、計測部位は、遠藤⁷⁾に基づき近心、遠心、頬側(唇側)、舌側の4部位で行い平均値を求めた。

(2) 切片の作成

CT撮影後抜去された歯は、血液等の付着物を流水下で洗い、エバンスで歯根膜線維等の軟組織付着物の除去後、湿潤状態のまま普通石膏で包埋した。歯牙包埋試料の大きさは $30 \times 35 \times 15$ mmで、石膏部を直接カッターバイスに保持した。カッターはマルトー社ダイヤモンドカッターMC-100を改良したものを用い、ダイヤモンドブレードはキンバレー社 $\phi 100$ mm厚さ0.2mmを用い、2 mm間隔で切片を作成した。

(3) X線比較計測

X線比較計測ではX線装置に、SOFRON SRO-M40を用い、管電圧は35kV、参照体には奥羽大学口腔衛生学講座製ハイドロキシアパタイト Discを用いた。またX線フィルムはKodak社IN-SIGHTフィルムを用いた。濃度計測は、EPSON社GF900Uフィルムスキャナーを用い600dpiで読みとりBMP形式で保存した。解析は画像ソフトウェアAdobe Photoshopを用い着目領域のPixel値の平均を求めた。

(4) 歯の象牙質ミネラル量の計測

CT法では線質硬化を避け、周囲に極端にCT値の低い空気が来ないような部位を選び、歯槽骨

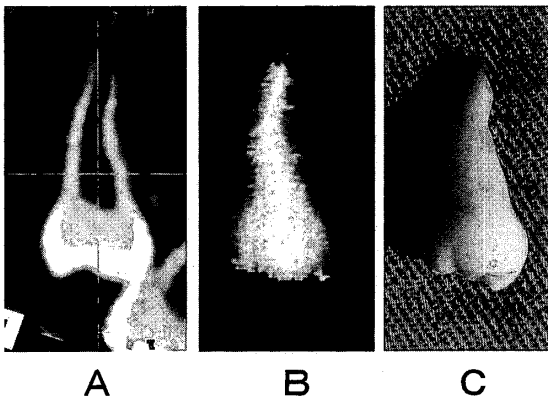


Fig. 2 CT-MPR image(A), CT-3D image(B) and photography(C) of upper third molar.

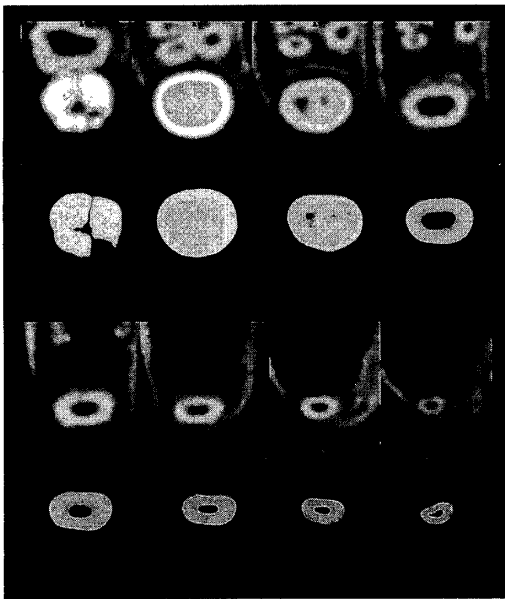


Fig. 3 MPR images and radiograms of slices of tooth.

内の象牙質について計測した。またPartial volume効果を避け少なくとも $1 \times 1 \text{ mm}$ 以上の領域について計測を行った。計測値は撮影条件によって定められた定数を乗ずることによって、歯のミネラル量に換算した。

(5) 切片法

切片法では、ハイドロキシアパタイトの標準discと切片との X 線写真より、濃度比較によりミネラル量を求めた。標準discは3種類用い、それぞれハイドロキシアパタイトの含有量が、150mg, 200mg, 250mgで、直径13mmの円板状に固めたものである。

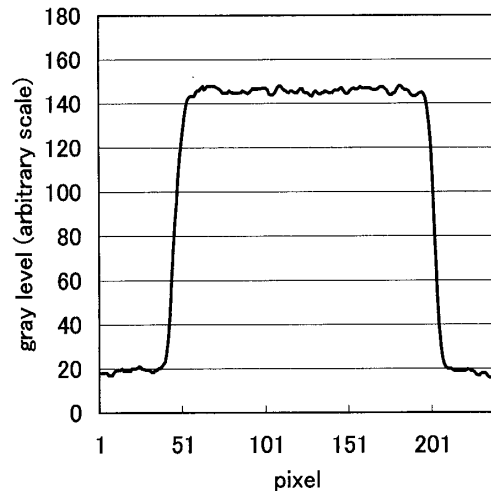


Fig. 4 Profile of radiogram of a slice of tooth.

結 果

1) CT法と切片法の比較

抜歯前にCT撮影された上顎右側第3大臼歯のMPR像と、Surface Rendering処理された3D画像及び、抜歯後に撮影された写真で、歯の外観を比較したものであるが、ほぼ忠実に3D画像は形成されていることが分かった(図2)。またそれぞれの切片に対応するMPR像を比較するとMPR像の方が分解能が低いため全体に境界がやや不明瞭であるが、エナメル質の厚みや、歯髄腔の形態、大きさともに切片のX線写真像に近く、忠実に再現されているものと思われる(図3)。

切片像とMPR像のグレイレベルを比較すると、切片像のトレース像は象牙質が比較的均質で、象牙質の境界も明瞭であるのに対して、MPR像は象牙質境界部で値の低下が見られた。切片とCTのMPR画像の違いは、Partial volume効果がちょうどボケ関数に相当するような形態を示した。このことは境界部の値を採用したり、ROIを広くとりすぎると、ミネラル量は過小評価されることになる(図4, 5)。切片のトレース像を矩形のボケ関数を用いてconvolution積分しCT画像のボケをシミュレーションすると、矩形型ボケ関数の幅が40pixel(1.7mm相当)の場合にはほぼMPR像に近い半値幅を示すことから、Partial volume効果はボケ関数に相当することがわかった。さらにプラトーの部分はピーク値で変わらない

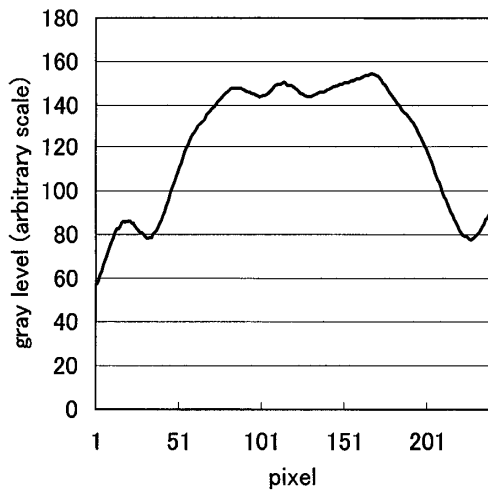


Fig. 5 Profile of MPR image.

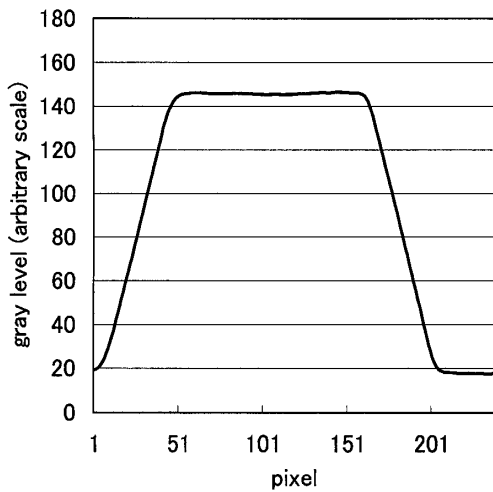


Fig. 6 Simulation of a partial volume effect by a rectangular function. When aperture width of a rectangular function was set to 1.7mm (40 pixel), it seems that the simulated image was near to the MPR image.



Fig. 7 Measurement of CT value with Exavision lite software.

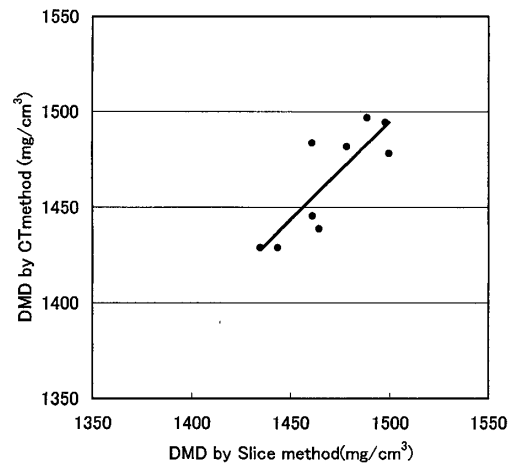


Fig. 8 Comparison of the Slice method and the CT method about DMD.

Table 1 Comparison of Slice method and CT method about DMD.

Sample No.	Age·Sex·Area	Slice method		CT method		Difference	Difference%
		Thickness mm	DMD mg/cm ³	CT value	DMD mg/cm ³		
1	30·M·UR8	0.808	1461.2	2047.5	1483.5	31.4	2.15
2	22·M·LL8	0.785	1434.8	1960.0	1428.8	-6.0	0.42
3	24·F·LL8	0.800	1443.4	2013.3	1428.8	24.3	1.68
4	23·F·UL8	0.794	1461.4	1982.5	1445.2	-16.1	1.10
5	54·M·LL8	0.756	1499.8	2015.0	1478.0	-30.8	2.06
6	24·F·LL8	0.762	1488.8	2002.5	1496.9	-28.9	1.94
7	22·M·LR8	0.817	1464.4	1973.3	1438.6	-25.8	1.76
8	21·F·UR8	0.785	1478.5	2032.5	1481.7	3.2	0.21
9	38·F·UR8	0.780	1498.0	2052.5	1494.5	-1.8	0.12
						Average	1.27
						S.D.	0.78

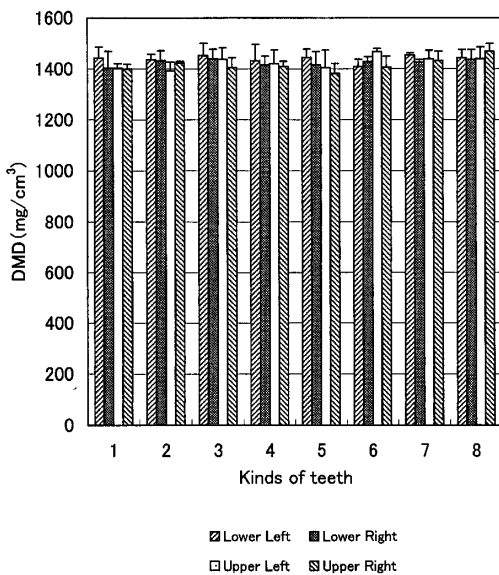


Fig. 9 Difference of DMD in tooth kind (A case of 24 years old female).

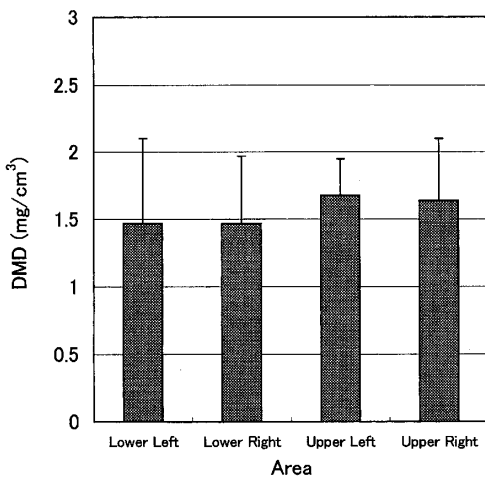


Fig. 10 Differences of DMD (mean of 16 cases) in tooth kind.

いので、プラトーの部位を計測表面することが妥当と考えられた (図6)。実際の計測でプラトーの部位は象牙質のほぼ中心部に見られた (図7)。

計測部位による計測値の変動を考慮して、計測値は近心、遠心、頬側、舌側の4カ所とし平均値を求めた。抜去歯9標本の切片方及びCT法によるミネラル測定値の比較から、差異は最大2.15%、最小0.12%で平均1.27%であった。また相関係数は0.847と良好な相関を示した (表1, 図8)。以上から、CTによる同一固体の歯種測定は有効であることが示唆された。

2. 同一固体の歯のミネラル量の測定例を示す

が、歯のミネラル量は上下顎及び左右側、さらに歯種によらずほぼ同様の値を示している (図9)。16症例の歯のミネラル量の平均値は1443.9±19.2、最大1499.8最小1413.1であった。また、同一固体の歯種1から8の歯のミネラル量の差は標準偏差で1.5%程度であった (図10)。

考 察

従来より歯を含む口内法X線撮影では、撮影条件や現像条件にあまり左右されないで、歯槽骨の石灰化の状態は定性的に把握が可能であったが、それは歯のX線透過性が安定しており、歯のX線像との比較をすることによって定性的な診断が可能であったものと考えられる。しかし、それがどの程度安定しているものか、また個体差、性差、はどのくらいかと言うことは、遠藤によりはじめて歯頸部象牙質に関して個体差や性差は2.2%の範囲であることが報告されるまでは不明であった。

切片法は計測対象が抜去歯であるため、同時期に全顎の歯を抜去する症例は少なく症例数が限定される。一方CTによる撮影では、生体の歯の計測を同時期に行うことができ非常に有用である。しかし、歯の象牙質、エナメル質は周囲の組織に比較して、ミネラル量が非常に多く、X線不透過性が高いため、線質硬化は大きいと予測され、またCTの分解能に比較して小さな構造物であるためPartial volume効果の影響があるため、計測されたCT値の評価は難しいと考えられていた。そこで、計測部位は線質硬化を避け、周囲に歯槽骨を有する歯頸部とし、歯の象牙質の広い部位で、プラトーのある最大値を求め、計測部位も近心、遠心、頬側、舌側の4方向の平均値を用いることにより計測値の標準偏差を低減することができた。一般にX線比較計測法では、あるROIを設定し、ROI内の画像の平均値を求めることが多いが、CT画像特有のPartial volume効果は、象牙質のCT値を下げる方向に働くため過小評価となりやすいことから、プラトー値を計測した。Partial volume効果はおもにCTの分解能によるが、本研究で使用した装置は最小検出領域が0.7mmとされている。しかしCT画像と切片画像の比較から、トレース像のボケははるかに大きく、矩形でのボ

ケ関数でシミュレーションした結果では、約1.7mmの矩形ボケ関数に近似しており、計測では下顎前歯部など計測領域がせまい場合には過小評価にならないように可及的に大きな領域でのプラトー値を求めた。

本研究では、CT画像と切片画像を比較することにより、CT値から適切なミネラル量の推定を行う方法論を切片法との差異を平均約1.3%で確立することができた。またこの1.3%は、遠藤が示した値から予想される歯種間のミネラル量の差よりも低いことから、歯種間のミネラル量には有効と考えられた。

歯種間のミネラル量の計測に用いた16症例は上下顎切歯から第三大臼歯まで有し、修復物のできるだけ少ないものを選んだ。歯種間のミネラル量の差は、左右差、上下顎の差も有意の差は認められず、16症例では1.5%前後であった。このことは定量診断学上非常に大切なことで、どの歯も診断基準として有効であると考えられる。さらにCT撮影においても歯の象牙質のCT値を的確に測る方法が確立されたことによって、歯の象牙質はCT値の診断基準としても有効であることが分かった。

結 論

抜歯前にCT撮影された歯のCT値から求めた象牙質のミネラル量と、抜歯後切片を作成し、X線透過性の比較計測による歯ミネラル量とを比較検討し、歯のCT値の的確な計測方法を確立し次の結論を得た。

1) CT撮影により直接生体から歯の象牙質のミネラル量を測定した結果、同一個体では歯種による差は少なく、計測値の標準偏差は約1.5%であった。

2) 歯の象牙質のミネラル量は個体差、歯種による差が少なく、どの歯も診断基準として有効と考えられる。

3) CT撮影においても、歯の象牙質のCT値はCT法によって計測すれば、診断基準として有

効であることが分かった。

本研究の一部は平成15年11月奥羽大学歯学会で発表した。また、本研究は奥羽大学歯学部平成15年度研究補助を受けた。

文 献

- 1) Horner, K. and Devlin, H. : The relationship between two indices of mandibular bone quality and bone mineral density measured by dual energy X-ray absorptiometry. *Dentomaxillofac Radiol* **27**; 17-21 1998.
- 2) Lindh, C., Petersson, A., Klinge, B. and Nilsson, M. : Trabecular bone volume and bone mineral density in the mandible. *Dentomaxillofac Radiol* **26**; 101-106 1997.
- 3) 前多 勝, 和田真一, 前多一雄 : Microphotometer-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* **74**; 707-728 1986.
- 4) 加藤二久 : 骨ミネラル量分布測定のための定量的X線画像. *日本医放会誌* **50**; 1127-1138 1990.
- 5) Noikura, T. : Quantitative assesment of bone mineral content in dental radiography. *Oral Radiol* **12**; 139-148 1995.
- 6) 八木 大 : 本邦女性の骨粗鬆症診断における二重エネルギーX線吸収測定法 (Dual Energy X-ray Absorptiometry : DXA) による全身骨塩量測定の有用性の検討. *日本医放会誌* **56**; 37-41 1996.
- 7) 遠藤秀樹 : 歯のX線透過性に関するX線診断学的研究. *奥羽大歯学誌* **29**; 21-30 2002.
- 8) Vannier, M. W., Hildebolt, C. F., Conover, G., Knapp, B. M. *et al.* : Three-dimensional dental imaging by spiral CT. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* **84**; 61-570 1997.
- 9) Brooks, R. A. : Beam hardening in X-ray reconstructive tomography. *Phys Med Biol* **21**; 390-398 1996.
- 10) 中村 実 : 第2章 第三・四世代のCT装置, X線CT検査の実践 (中村実監修); 17-83 医療科学社 東京 1999.

著者への連絡先 : 鈴木陽典, (〒963-8611) 郡山市富田町三角堂31-1 奥羽大学歯学部歯科放射線診断学講座
Reprint requests : Yosuke SUZUKI, Department of Oral Radiology and Diagnosis, School of dentistry, Ohu University
31-1 Misumido Tomita Koriyama, 963-8611, Japan