

研 究

下顎骨の厚さとデンタルエックス線写真黒化度から求めた骨塩量の関係

東海林 理, 小豆嶋 正典, 齊藤 博樹, 坂巻 公男

岩手医科大学歯学部歯科放射線学講座

(主任: 坂巻 公男 教授)

(受付: 1998年8月17日)

(受理: 1998年10月20日)

Abstract : Proper diagnosis and treatment planning are important for the placement of a dental implant. However, it seems to be impossible to evaluate the mandibular bone in a buccal-lingual direction by using conventional dental or panoramic radiography. We estimated that bone thickness was correlated with bone mineral content (BMC). Photodensitometric measurement of bone image on radiograph has been used widely as a quantitative indicator of BMC. The purpose of this study is to ascertain the relationship between the buccal-lingual thickness of mandibular bone and BMC by Photodensitometry using dental radiography.

The subject contrast of mandible was used as a parameter of BMC. The subjects were 41 adults (28 men and 13 women, aged 23-38 years with a mean of 26.7 years). BMC was evaluated by a densitometer on dental X-ray films of mandibular bone with a 0.2mm copper plate reference. Trabecular bone and cortical bone thickness in a buccal-lingual direction were measured on the occlusal radiograph using a digital caliper.

There were significant negative correlations between trabecular bone thickness and the subject contrast of bone ($r = -0.4338$, $p < 0.01$), and between cortical bone thickness and the subject contrast of bone ($r = -0.3187$, $p < 0.05$). These results suggest it is possible to estimate mandibular bone thickness by calculating the subject contrast of mandible using dental radiography.

Key words : mandibular bone thickness, subject contrast, bone mineral density, photodensitometry, dental radiography

Relationship Between Mandibular Bone Thickness and Bone Mineral Density by Photodensitometry Using Dental Radiography

Satoru SHOJI, Masanori SHOZUSHIMA, Hiroki SAITOH, Kimio SAKAMAKI (Chief : Prof. Kimio SAKAMAKI)

Department of Dental Radiology, School of Dentistry, Iwate Medical University, 1-3-27 Chuodori, Morioka, 020-8505 Japan

緒 言

近年, 歯の欠損した顎骨にデンタルインプラントを適用する機会が増えている。デンタルインプラントを用いた治療においては, 術前に患者の残存歯槽頂部から上顎洞または下歯槽管までの距離および骨の頬舌的な厚みを把握する必要がある。骨の頬舌的な厚みはパノラマエックス線写真と断層撮影により得られた画像を加味することにより評価が可能であるとされている¹⁾。Carterら²⁾はdual photon absorptiometryにより椎骨の厚さと骨塩量の関係を調べ両者には相関があったとしている。著者らは, 下顎骨においてもエックス線写真で測定した骨の頬舌的な厚さと骨塩量に相関があると考えた。エックス線を利用して骨塩量を測定する方法にはdual energy X-ray absorptiometry (DEXA)^{3, 4)}, quantitative CT (QCT)^{5, 6)}, dual energy quantitative CT (DEQCT)^{7, 8)}などがある。しかし, いずれの場合においても特殊な器具や装置が必要である。歯科領域ではほとんどの疾患の診査, 診断にデンタルエックス線写真を使用している。Shozushimaら⁹⁾はデンタルエックス線写真を用いて, 参照体である鉛箔と下顎骨の黒化度から相対照射線量を求め算出したsubject contrastを骨塩量の指標としている。

そこで著者らはデンタルエックス線写真を用いて, 扱いが容易で高純度の銅板を参照体として測定したsubject contrastが骨量の指標になりうるかを調べた。そしてsubject contrastにより下顎骨の頬舌的な厚さの推測が可能であるかを検討するため, 成人を対象として下顎骨のsubject contrastと軸位咬合法で求めた下顎骨の厚さとの関係を調べた。

実 験 方 法

1. 被験者

本学学生および職員で, 下顎第二小臼歯から下顎第一大臼歯相当部にかけての歯槽骨に病巣や骨硬化症等の所見が認められず, 骨粗鬆症, リウマチなどの全身疾患の既往のない41名

(男性28名, 女性13名, 年齢23歳~38歳: 平均26.7歳)を被験者とした。

2. 使用機械および材料

フィルムはEktaspeed plus(Eastman Kodak社製)を用いLumix 70-WK(管電圧70 kVp, 管電流8 mA, 東京エミックス社製)で撮影を行った。撮影後のフィルムはRD-1B(富士フィルム社製)で自動現像した。また, 黒化度計測はDensitometer MODEL 302 RS(富士メディカルシステム社製)で, 直径2mmのアーチャーを用いて行った。

3. 参照体の選択

参照体と被写体の黒化度は近い値であることが望ましい。そこで均質で加工が容易な純度99.96%の銅板を用いて0.1 mm, 0.2 mm, 0.3 mm, 0.4 mmの4種類の厚みを持った階段を作り, それを貼付したフィルムで, 乾燥頭蓋骨の下顎第二小臼歯と下顎第一大臼歯の根尖の中間点の歯槽骨と階段のそれぞれの厚さの部分の黒化度を測定した。その結果, 0.2 mmの銅板の黒化度が乾燥頭蓋骨の黒化度に最も近かった。よって, 参照体を0.2 mmの銅板に決定した。

4. Ektaspeed plusの特性曲線の作成

フィルムを28分割し, 焦点-フィルム間距離を35 cmに保ち, 照射時間を0.01秒から0.28秒まで0.01秒間隔で照射した後に自動現像した。そしてそれぞれの区画の黒化度を3回ずつ測定し, その平均値を測定値とした。測定値は縦軸を黒化度, 横軸を照射線量の指標である照射時間の対数としたグラフ上に示した。

5. 下顎骨の海綿骨と皮質骨の厚さの測定

全被験者に対し下顎臼歯部直下の下顎骨底部に相当する皮膚上に長さ10 mmのワイヤーをセロファンテープで貼付した状態での下顎の軸位咬合法撮影を行った。そして現像後のフィルムを用い, digimatic caliper (Mitutoyo社製)でワイヤーの長さや海綿骨, 皮質骨の厚さをそれぞれ計測し, ワイヤーの長さの拡大率をもとにして皮質骨, 海綿骨の実際の厚さを計算した(Fig.1)。

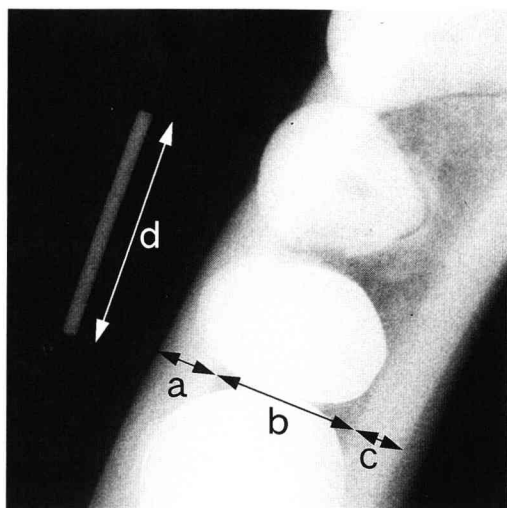


Fig. 1. Occlusal projection to measure the bone thickness of subjects.

a+c : Cortical bone thickness
 b : Trabecular bone thickness
 d : 10mm wire to calculate true bone thickness

6. subject contrast の測定

subject contrast の測定は Shozushima ら⁹⁾ の手法に準じて行った。

(1) CaCO₃ ファントームの subject contrast の測定

本実験で参照体として用いた 0.2 mm の銅板と被写体である下顎骨の黒化度により算出される subject contrast が、骨量を測定するのに適したパラメータであることを確認するため次の実験を行った。

骨のモデルとして CaCO₃ 粉末を歯科用パラフィンワックス (松風社製) で枠組みした容器に満たし、0.4 g/cm³, 0.8 g/cm³, 1.2 g/cm³, 1.6 g/cm³, 2.0 g/cm³ となるような階段状のファントームを作成した。参照体を照射面に貼付したデンタルエックス線フィルムを用いてファントームの撮影を行い、現像したのちに参照体の黒化度 (Density of reference, 以下 Dref と略す) とそれぞれの量の CaCO₃ によって得られたエックス線像の黒化度 (Density of CaCO₃, 以下 DCaCO₃ と略す) を測定した。なお、それぞれの黒化度は 3 回測定しその平均値を採用し

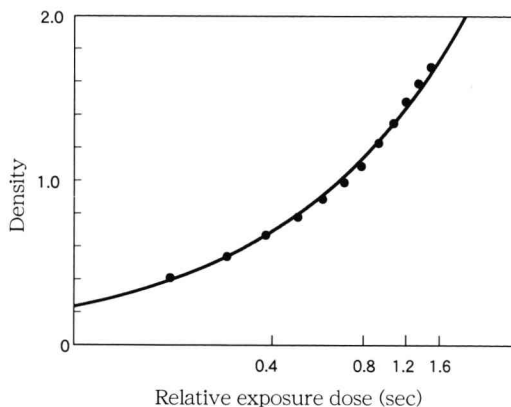


Fig. 2. Characteristic curve for reference film used in this study.

た。そして Dref と DCaCO₃ を得るのに必要な相対照射線量それぞれ Intensity for reference (以下 Iref と略す) および Intensity for CaCO₃ (以下 ICaCO₃ と略す) を先に作成した特性曲線より求め以下の式により CaCO₃ ファントームの subject contrast を算出した。

subject contrast of CaCO₃ = ICaCO₃ / Iref

(2) 骨の subject contrast の測定

照射面に参照体を貼付したデンタルエックス線フィルムを用いて全被験者の下顎臼歯部の撮影を行い、現像後に参照体の黒化度 Dref と下顎第一大臼歯と下顎第二小臼歯の根尖を結んだ線の間接点の下顎骨の黒化度 (Density of bone, 以下 Dbone と略す) を測定した。そして、各被験者の Dref と Dbone を得るのに要する相対照射線量を先に作成した特性曲線を用いて求め、各々 Iref, Intensity for bone (以下 Ibone と略す) として以下の式により骨の subject contrast を算出した。

subject contrast of bone = Ibone / Iref

結 果

1. 特性曲線

測定により得られた Ektaspeed plus の特性曲線を Fig.2 に示した。

2. 海綿骨および皮質骨の厚さ

全被験者の海綿骨の厚さは最小 6.0 mm, 最大

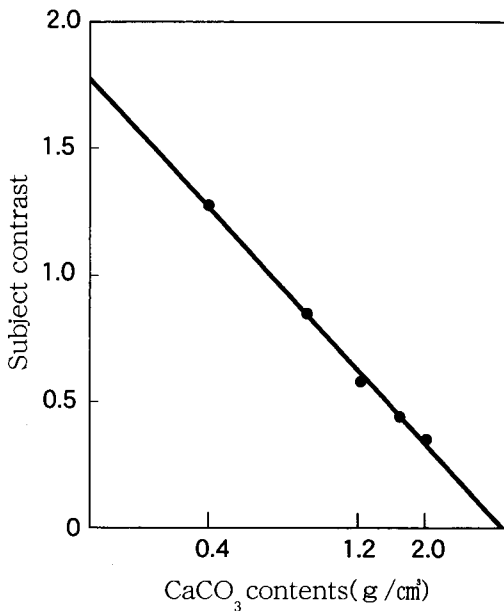


Fig. 3. Relationship between subject contrast of CaCO_3 phantom and CaCO_3 contents.

14.8 mm, 平均 9.1 ± 2.44 mm, 皮質骨の厚さは最小 4.6 mm, 最大 8.6 mm, 平均 6.4 ± 1.23 mmであった。

3. CaCO_3 量と CaCO_3 の subject contrast との関係

ファントムにおいて CaCO_3 量が 0.4 g/cm³, 0.8 g/cm³, 1.2 g/cm³, 1.6 g/cm³, 2.0 g/cm³ の際の CaCO_3 の subject contrast はそれぞれ 1.28 ± 0.025 , 0.85 ± 0.031 , 0.58 ± 0.021 , 0.44 ± 0.015 , 0.37 ± 0.017 であった。 CaCO_3 の subject contrast を縦軸に CaCO_3 量の対数を横軸にプロットした結果を Fig. 3 に示した。両者に負の直線的な関係が認められた。

4. 海綿骨および皮質骨の厚さと subject contrast との関係

海綿骨および皮質骨の厚さと骨の subject contrast との関係をそれぞれ Fig. 4 に示した。海綿骨の厚さと骨の subject contrast の間には有意な負の相関関係が見られた (回帰直線 $Y = -0.03141X + 1.286$, 相関係数 $r = -0.4338$; $p < 0.01$) (Fig. 4a)。また, 皮質骨の厚さと

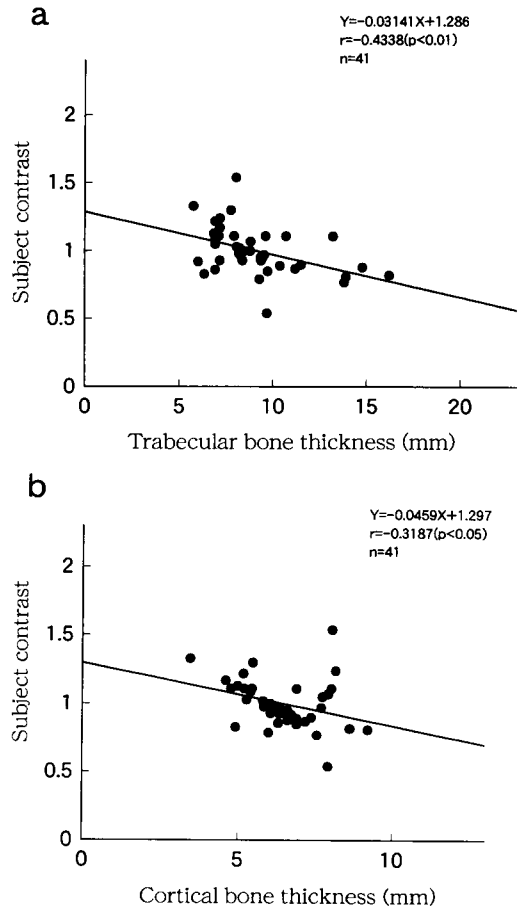


Fig. 4. Relationship between bone thickness and subject contrast.

a : Linear regressions of trabecular bone thickness versus subject contrast.

b : Linear regressions of cortical bone thickness versus subject contrast.

subject contrast の間にも有意な負の相関関係が見られた (回帰直線 $Y = -0.0459X + 1.297$, 相関係数 $r = -0.3187$; $p < 0.05$) (Fig. 4b)。よって海綿骨, 皮質骨のいずれにおいても頬舌幅が厚いほど, 骨の subject contrast は小さい値になった。

考 察

デンタルインプラントを下顎骨に用いる場合, 頬舌的な骨の幅が一つの問題となる。骨の横断面の詳細な形態は CT や断層撮影で調べる

ことができる。また、下顎骨の頬舌幅に関しては軸位咬合法撮影写真でも計測可能である。しかしいずれの方法においても日常取り扱っているデンタルエックス線撮影よりも被曝量が多い。Carterら²⁾はdual photon absorptiometryにより腰椎の厚さと骨塩量の関係を調べ、両者には高い相関関係があったとしている。そこで著者らは、下顎骨において軸位咬合法エックス線写真上で測定された骨の頬舌の厚さと、歯科領域で汎用されているデンタルエックス線写真で測定した骨塩量に相関があり、骨塩量を計測することにより咬合法エックス線撮影よりも少ない被曝線量で骨の厚さが測定できると考えた。骨塩量の測定はDEXA,CT,DEQCTなどで行われているが、これらの方法は特殊な機器、設備を必要とするため顎骨への使用は難しい。

photodensitometry法はエックス線写真で骨塩量を測定する方法として簡単で古くから行われている。すなわち、アルミニウムを楔状にしたものを参照体として対象骨を同時に撮影し、骨の黒化度をアルミニウム当量に換算して骨量を測る方法である¹⁰⁾。エックス線写真黒化度はエックス線の物理的条件、被写体の諸条件などに大きく依存し、同一部位が常に同一状態の黒化度をもって再現できるとは限らない。そのため、あらかじめ組成、厚さの既知な参照体と被験体を同一フィルム上に撮影し、両者の黒化度を比較して被験体によるエックス線減弱を参照体と等価な厚さとして定量する方法が一般的である。

福田ら¹¹⁾は今回我々が用いたものと類似した機種であるdensitometer 301型(富士フィルム社製)を用いて、photodensitometry法でアルミニウムの階段を参照体として手部エックス線写真の濃度から骨塩量を測定し、DEXAで得られた測定値と比較した。その結果photodensitometry法は再現性が優れ、DEXAで得られたものと高い相関関係が認められたとしている。しかし、参照体を撮影して得られる黒化度を顎骨のものに近づけるためには相当量の厚みが必要となるため、アルミニウ

ムは参照体として口内法撮影に用いるには適した材料ではない。そこで今回、アルミニウムよりも原子番号が高く、加工が容易な高純度(99.96%)の銅板を参照体として用い、乾燥頭蓋骨で得られるものと同等の黒化度を得るのに必要な銅板の厚みを調べたところ0.2mmであった。この厚さはデンタルフィルムに参照体として貼付し口腔内に挿入するのに適している。

Shozushimaら⁹⁾は参照体としてEktaspeed plusのフィルムパックに入っている0.065mmの鉛箔を用い、CaCO₃の粉末を即時重合レジンに混ぜ硬化させ階段状のファントームを作成し、CaCO₃のsubject contrastとCaCO₃含有量との関係を調べた。その結果、両者には直線関係が見られたとしている。そこで著者らは、参照体としてより純度の高い銅板を用いて求められたsubject contrastが骨量を示す値になることを確認するため、Shozushimaらの方法に従いCaCO₃ファントームを骨のモデルとして、CaCO₃量とsubject contrastとの関係を調べた。なお、レジンよりエックス線吸収量の少ない歯科用パラフィンワックスで作った階段状の枠の中にCaCO₃粉末を満たしたものをファントームとした。その結果、両者から同様の直線関係が得られた。よって、subject contrastは骨量の指標になることが確認された。

以上の結果をふまえ、参照体を貼付したデンタルエックス線フィルムを用いて被験者の下顎骨を撮影し、参照体と骨の両者の黒化度から相対照射線量を求め、骨のsubject contrastを算出した。そして、軸位咬合法撮影写真により下顎骨の皮質骨および海綿骨の頬舌的な厚さを測定し、骨のsubject contrastとの関係を調べた。その結果、骨のsubject contrastと皮質骨、海綿骨のいずれの厚さにおいても有意な負の相関関係が認められた。しかし、相関係数は皮質骨とsubject contrastの間では-0.4338、海綿骨とsubject contrastの間では-0.3187でありばらつきは大きかった。田口¹²⁾は下顎骨の骨塩量をDEQCTで測定したところ、女性で

は皮質骨骨塩量が50歳代以降急激に減少する傾向が認められたとしている。本実験における被験者は23歳～38歳の成人であり、骨塩量は安定している年代である。ばらつきの原因としては、軸位咬合法写真から骨の厚さを測定した際の術者の誤差が考えられる。また、骨の表面に存在する軟組織の厚さにより入射したエックス線の減弱が起こり線質硬化(質量減弱係数の変化)が生じることによりPhotodensitometryの正確さは低下する。下顎部においても臀部や大腿部ほどは大きくはないが、被験者の筋や介在する軟組織の厚さの違いがあり、それにより線質が変化し、骨のsubject contrastがばらついていたことが推察される。

今回の実験結果より、参照体を貼付した口腔内デンタルエックス線写真を用いて顎骨を撮影したフィルムの黒化度から求められた骨のsubject contrastは、下顎骨の厚さの推定には有用な値であることがわかった。しかし、測定値のばらつきが大きいため、正確な測定にはCTなどの断層撮影や特殊な手法が必要であると思われた。

結 語

デンタルエックス線フィルムを用い0.2 mmの銅板を参照体として撮影された写真の黒化度から算出したsubject contrastから骨量が測定でき、それにより下顎骨の頬舌的な厚さの推定が可能であるかを検討した。その結果、以下の結論が得られた。

- 1) 骨のモデルであるCaCO₃の量とCaCO₃のsubject contrastは直線関係にあり、subject contrastは骨量の指標になることが判明した。
- 2) 下顎骨の頬舌的な厚さと骨のsubject contrastの間には有意な負の相関関係が認められた。しかし相関性は低くばらつきが大きかった。よって、骨のsubject contrastによりその厚さは推測可能と思われるが、さらなる検討が必要であると考えた。

文 献

- 1) Silverstein, L. H., Melkonian, R. W., Kurtzman, D., Garnick, J. J., and Lefkove, M. D.: Linear tomography in conjunction with pantomography in the assessment of dental implant recipient sites, *J. Oral Implantol.* 20: 111-117, 1994.
- 2) Carter, D. N., Bouxsein, M. L., and Marcus, R.: New approaches for interpreting projected bone densitometry data, *J. Bone Miner. Res.*: 137-145, 1992.
- 3) 串田一博, 傳田正史, 藤原敏弘, 谷口正和, 和田充弘, 井上哲郎: Quantitative digital radiographyによる骨塩量の測定—健常日本人女性の脊椎骨密度の測定と大腿骨頸部骨折患者の大腿骨近位端骨密度の測定—, *映像情報*, 21: 955-958, 1989.
- 4) 荒井博史, 伊藤和夫, 永尾一彦, 古舘正従: 骨塩定量測定装置(XR-26, QDR-1000, DPX)の基本性能に関する比較検討, *映像情報*, 22: 1130-1134, 1990.
- 5) 河辺満彦: 骨ファントムを使用したQ-CT法による慢性透析患者の骨評価, *透析会誌*, 23: 729-736, 1990.
- 6) 伊東昌子: CTによる透析患者の椎体海綿骨・皮質骨の骨塩量の検討, *日本医放会誌*, 49: 1382-1389, 1989.
- 7) 野井倉武憲, 森田康彦, 岩下洋一郎: アルミニウム当量画像に関する骨塩量の測定による相違, *歯放*, 34: 171-177, 1994.
- 8) 伊東昌子, 林邦明, 山田直之: Dual Energy Quantitative CT (DEQCT)を用いたBone Mineral Density (BMD)測定法の実験的, 臨床的検討, *日本医放会誌*, 49: 999-1008, 1989.
- 9) Shozushima, M., Nakano, H., Kubota, M., Kamegai, T., Ishikawa, F., Saito, H., and Sakamaki, K.: Bone mineral content of human mandible related to bite force and occlusal contact area, *Dent. J. Iwate Med. Univ.* 21: 215-222, 1996.
- 10) 古本啓一: 歯科インプラントのための放射線診査と基礎研究; 河村洋二郎, 三谷春保, 津留宏道, 田端恒雄, 浅井康宏, 園山昇, 山下哲寛編: セラミックインプラントの実際, 第1版, クインテッセンス出版, 東京, 37-38 ページ, 1983.
- 11) 福田稔, 仲川順二, 浅井英一: Densitometerによる骨塩量測定の試み; 乗松尋道編: 骨形態計測 volume6 骨の定量的分析法, 第1版, 西村書店, 東京, 108-113 ページ, 1986.
- 12) 田口明: Dual energy quantitative computed tomographyによる下顎骨骨塩密度に関する基礎的研究, *廣大歯誌*, 24: 18-38, 1992.