

下顎骨内部構造におけるエックス線写真と実像の比較研究 —コンピュータ三次元再構築法による観察—

小野寺政雄

岩手医科大学歯学部口腔解剖学第一講座

(主任：野坂 洋一郎 教授)

(受付：1999年12月9日)

(受理：1999年12月28日)

Abstract

The importance of radiography in determining prognosis after dental implantation has been strongly urged in recent years. In this study, we examine the relationship between the fine shadow in radiograph images and the actual inner structure of the mandible by comparing a radiograph with computer graphic three dimensional reconstruction imagery (CG 3-D) created from serial two-dimensional tissue images.

Initially, we used Particle Induced X-ray Emission analysis to distinguish bone mineral characteristics of each sample tissue. Our results indicate that while the specific bone mineral values differed between mandible samples, no difference was observed in values between buccal and lingual cortical bone and cancellous bone in individual samples. Since no differences in bone mineral deposition was found across the mandible, it was presumed that there is a close relationship between the bucco-lingual thickness of the mandible and radiographic density, rather than between the thickness of individual bone regions and image density.

When we compared CG 3-D images to the radiographs, we found that the nutrient canal in the lingual side of the cortical bone produced radiolucency in the radiograph while few nutrient canal resulted in increased radiopacity. The ratio of the nutrient canal in the lingual cortical bone correlated well with the radiographic density of the radiograph, especially in regions of radiopacity.

Clinically, the fine shadow on mandibular radiographs has been attributed to the nutrient canal structure in the cortical bone on the lingual side. We think that it does not reflect differences in structure between the buccal cortical bone, cancellous bone, and the lingual cortical bone. From this study, it is clear that diagnosis should be made after multiple types of examination in addition to radiography.

Key words : 3-D reconstruction image, radiography, inner structure of mandible, cortical bone, cancellous bone

Comparative study on the inner structure of the mandible between the radiography and the 3-D reconstruction images. —radiography and CG 3-D image—
Masao ONODERA (Chief : Prof. Yohichiro NOZAKA)
(First Department of Oral Anatomy, School of Dentistry, Iwate Medical University. 1-3-27 Chuo-dori, Morioka, 020-8505, Japan)

緒 言

下顎骨は上顎骨とともに硬組織である歯牙を介して咀嚼という特異な機能を営む器官である。下顎骨は咀嚼，特に側方運動という複雑な機能に対応するため，その内部には歯牙を支えるためのさまざまな方向からの応力に対応する構造を有している^{1,2)}。さらに，歯牙喪失後でも，下顎骨全体の咀嚼に関連するさまざまな筋肉から加わる応力に下顎骨は対応する必要がある。下顎骨の皮質骨を含む内部構造は古くより肉眼的^{1~11)}，エックス線学的^{12~16)}，組織学的¹⁷⁾，力学的^{18~23)}に検索されている。近年，マイクロCT^{24~26)}を使った下顎骨の詳細な報告もなされてきている。しかし，歯科領域における臨床的診断基準との関連性についてはほとんど言及されていない。近年，臨床的にその有用性が認められつつある人工歯根の植立の予後判定においてはエックス線写真の重要性が高まっているにもかかわらず，実像としての骨梁を含む骨の内部構造とエックス線写真との関連性についての検索は行われていない。エックス線写真に描出されている骨の内部構造は三次元的な厚みのあるものを二次元画像としているため，顎骨内部構造の把握が困難であることが多かった²⁷⁾。エックス線写真に写っている様々な内部構造が単に海綿骨部分の骨梁のみでないことは明らかであるが，実際にどの部位の何が表現されているのかは不明である。本研究ではエックス線撮影後の下顎骨の薄切切片にて詳細な構造の検索を行ったのち，切片像の立体再構築を行い，内部構造の三次元像を作成し，エックス線写真に重ね合わせ，エックス線写真に写っている陰影構造との関連性を明らかにすることを目的とした。

研究材料および研究方法

1. 研究材料

平成9，10年度岩手医科大学歯学部解剖実習用遺体7体のうち，有歯顎下顎骨1体1側，無歯顎下顎骨6体6側，計7体7側を用いた。性別，年齢，および病歴，死因をTable 1に示す。

Table 1. Sex, age and cause of death of cadavers from which Samples 1-7 were obtained.

	sex	age	cause of death
sample 1	male	91	stomach cancer
sample 2	male	72	prostatic cancer
sample 3	female	84	pneumonia
sample 4	male	91	pneumonia
sample 5	female	79	bronchial asthma
sample 6	female	84	respiratory insufficiency
sample 7	female	84	chronic bronchitis

2. 研究方法

実習用遺体より後頭骨と第一頸椎間を離断した後，頭部を正中断し，下顎骨を取り出し，さらに，下顎枝を臼後部で切断して遊離した。

1) エックス線撮影

ウェッジフィルター [ペネトロメーター B® (坂田製作所 1mm25段階)] を歯科用エックス線フィルム (阪神ブラックフィルム II 咬合サイズ) 上に置き，軟組織を肉眼的に完全に除去した試料の舌側をフィルム面に接するように設定した。管電圧：60kV，管電流：100mA，照射時間：1 sec，照射距離：35cmにてエックス線を下顎骨体のオトガイ孔を中心に垂直方向より照射した。フィルムの現像は，コニカドールエックス® (コニカ株式会社) 現像液で，液温20℃，6分間行い，定着はコニカフィックス® (コニカ株式会社) にて10分間行った (Fig. 1)。すべての試料からバンドソー (西国器械，刃厚0.9mm) にてオトガイ孔の前縁より前方1mmと後方2mmのエックス線入射方向に平行な頬舌方向薄片 (前額断) を作成した。前方1mm薄片は Particle Induced X-ray Emission Analysis (以下，PIXE 分析と略す) 用に，後方2mm薄片は顎骨内部構造観察のための連続薄切切片作成用に用いた。後方の2mm薄片は薄切切片作成前に再度，前述と同一条件でエックス線撮影，現像した。その後，エックス線写真を透過原稿ユニット付きフラットヘッド型スキャナ (CanoScan 600，キャノン製) を用いてコンピュータ (Power Macintosh G3 MT300，Apple Computer, Inc.) に解像度150dpiで入力し，画像処理ソフト

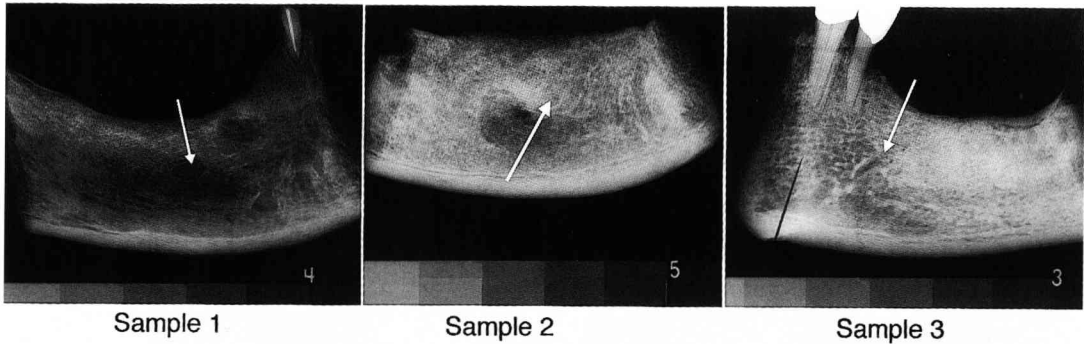


Fig. 1. Radiography of the mandible.

Routine radiographs of Samples 1 to 3 are shown. The arrow indicates the mental foramen. A wedge filter, which is a 1 mm aluminum gradation, is on the base of each radiograph.

ト (Photoshop 5.0, Adobe Systems, Inc.) を用いて、RGB 特性による黒を100、白を0という基準を設定した。この基準値を用いてエックス線写真上の黒化度を数値化し、40以上をエックス線透過部 (黒)、20以下をエックス線不透過部 (白) とした。

2) PIXE による元素分析

PIXE 分析には日本アイソトープ協会、仁科記念サイクロトロンセンターに設置の医療用小型サイクロトロン (MCY-1750, 島津製作所) を用いた。オトガイ孔前縁より前方1mmの各切片から、オトガイ孔上部 (上部) およびオトガイ孔下部 (下部) のそれぞれ頬側皮質骨、舌側皮質骨、海綿骨の計6カ所より破骨鉗子にて試料を採取した。試料は110°Cで12時間乾燥した。元素の定量分析は、Futatsugawa らの方法²⁸⁾ に準じ、試料を濃硝酸にて灰化し、内部標準としてインジウムを添加する方法により行った。ターゲットホルダーの枠内に糊付けした4 μ m厚のプロピレンバックリング膜上に試料を5 μ l滴下した。サイクロトロンにより加速された2.9 MeVの陽子ビームは、幅3mmのコリメーターを通過後、この試料に照射され、発生した特性エックス線は2台のSi (Li) 検出器 (ORTEC) により、低エネルギーと高エネルギー領域に分けて測定した²⁹⁾。スペクトル解析及び定量解析には、Seraにより開発されたコンピュータコード“SAPIX”³⁰⁾によるパーソナルコンピュータを使用した。この計測結果のうち、

Ca, P, Mg量に注目して、エックス線写真黒化度との関連性を検索した。

3) 顎骨の厚さの計測

PIXEによる元素分析に用いる前のオトガイ孔前縁より前方1mm切片の上部および下部について頬側皮質骨、海綿骨、舌側皮質骨の頬舌的厚径をノギス (1/20mm) にて計測した。

4) エックス線像と三次元再構築像との比較

エックス線撮影後のオトガイ孔前縁より後方2mmの薄片をPlank-Rychlo脱灰液にて3週間脱灰した。5%硫酸ナトリウムにて中和 (2時間、室温) 後、流水にて水洗 (1時間) し、上昇系列エタノールにて脱水、通法に従って、パラフィン包埋を行った。滑走式ミクロトーム (YAMATO KOKI) にて4 μ mの前額断連続薄切切片を作製し、ヘマトキシリン・エオジン染色を施した。

これらの切片を冷却3 CCDカメラ (C5810, 浜松フォトニクス) および光学顕微鏡 (E800 M, ニコン) を用いてコンピュータ (Power Macintosh G3 MT300, Apple Computer, Inc.) に二次元画像として入力した。入力した画像をコンピュータ上で画像処理ソフト (Photoshop 5.0, Adobe Systems, Inc.) にて処理し、皮質骨外形、直径20 μ m以上のフォルクマン管およびハバース管を含む皮質骨内の管腔構造 (以下栄養管と称す) の抽出を行った。三次元解析ソフト (VoxBlast 2.2, VayTek, Inc.) にて顎骨全体像、上部頬側皮質骨および舌側皮質

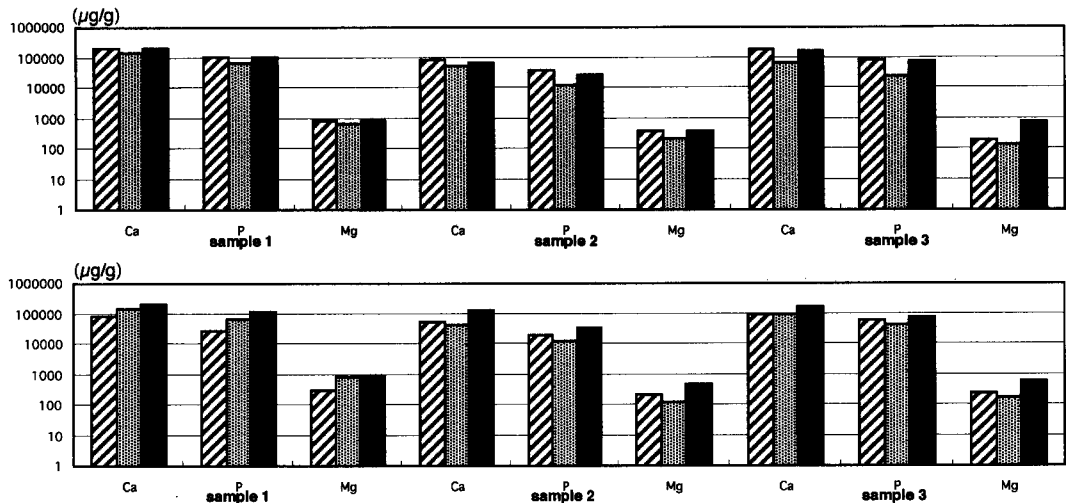




Fig. 2. Value of the PIXE analysis


Diagrams indicate the levels of calcium, phosphorus and magnesium found in each part of the mandible from Sample 1 to 3.

a : alveolar part of the mandible

b : body of the mandible

 buccal side of the cortical bone

 cancellous bone

 lingual side of the cortical bone

Comparison between the alveolar part and the body of mandible. The ratio of bone minerals is consistent on the buccal and lingual cortical bone, and cancellous in each sample, however their levels are different between the three samples.

骨，下部頬側皮質骨および舌側皮質骨の栄養管の三次元再構築像を作製した。次いで，作製された再構築像のアニメーションを作製し，360°の回転像を作製した。この像をエックス線入射方向に合致した位置に回転させ，エックス線フィルムと同様な位置関係で栄養管再構築像を観察した。これらの像と，先に撮影したエックス線写真をコンピュータ上で比較し，エックス線写真上に表現されている細かな陰影像と下顎骨内部の実際の構造とを比較した。さらに，これら比較部位の各切片における皮質骨の厚さに対し栄養管の占める割合を占有率で現わした。エックス線写真 (Fig. 1) 上のウェッジフィルターの濃度を基準にして調整したモニター画面の下顎骨の白から黒のピクセルを100等分した値を黒化度として求めた。皮質骨の厚さに対する栄養管の占める割合をエックス線画像の不透過部位5ヵ所，透過部位5ヵ所の合計70ヵ所について計測し，示数として算出した。これによ

り得られた栄養管の100分率とエックス線黒化度の相関の検定には Pearson の相関法 (Stat View 4.0E) を用いた。

結 果

1) エックス線写真黒化度と PIXE 分析および骨の厚さ

PIXE 分析は，下顎骨上部，下部についてそれぞれ頬側皮質骨，海綿骨，舌側皮質骨の計6ヵ所について行った。PIXE 分析による各試料の骨塩量 (Ca, P, Mg 量) を Fig. 2 に示した。下顎骨上部および下部を比較すると，骨塩量に個体差は認められたが，各測定部位である頬側皮質骨，海綿骨，舌側皮質骨の比率は各個体ごとにほぼ一致していた。また，顎骨の厚さと比較すると，上部および下部ともに頬舌径全体の厚い試料においてエックス線透過性が低くなっていた。しかし，皮質骨の各部位の厚さはエックス線透過像と関連していなかった。(Fig. 1, 3)

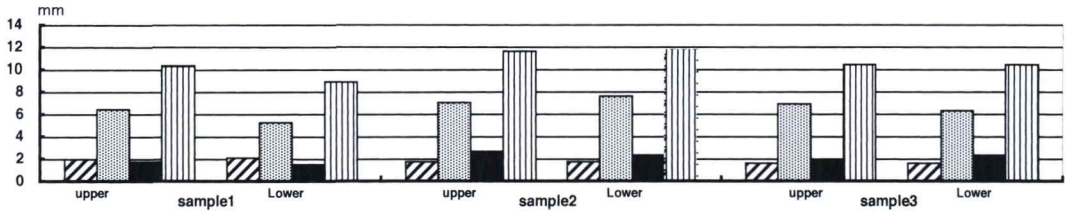


Fig. 3. The thickness of each part of the mandible. (1/20mm)
 Graphs show the thickness of the buccal and lingual cortical bone, and cancellous bone on the alveolar part and the body of mandible.

■/■ buccal side of the cortical bone
 ■ cancellous bone
 ■ lingual side of the cortical bone
 ■ total thickness of mandible

The thickness of the cancellous bone in Sample 1 is less than in Samples 2 and 3.

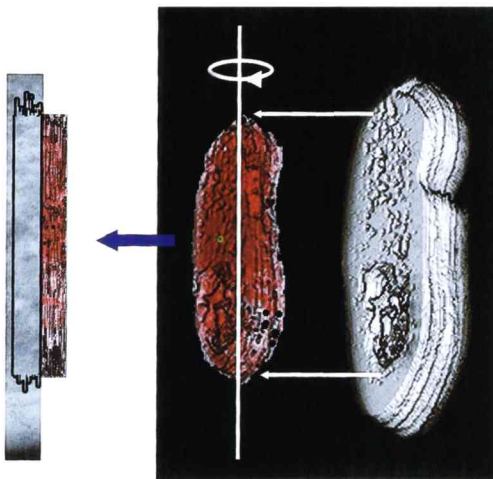


Fig. 4. Comparison between the CG 3-D reconstruction image of the trabeculae in the cancellous bone and the radiograph of the mandible.

The trabeculae in the alveolar region is denser than in the body of mandible. The board-like and stick-like trabeculae oriented in various directions are seen. A few stick-like trabeculae, which support the mandibular canal radially, were in the body of mandible. The CG 3-D reconstruction image of the trabeculae in the cancellous bone is not consistent with the shadow on the radiography.

2) 海綿骨骨梁とエックス線写真陰影との関係

下顎骨の骨要素のみを取り出して三次元再構築像を作成し、さまざまな方向から海綿骨骨梁を観察した (Fig. 4)。骨梁は下部に比べると上部が密であった。骨梁は板状または棒状でさまざまな方向性を示していた。すなわち、エッ

クス線入射方向に平行な骨梁が特に多いということにはなかった。

一方、下部では骨梁が疎でエックス線入射方向に平行な骨梁は稀であった。すなわち、エックス線入射方向に平行な骨梁は稀であった。海綿骨の骨梁のみを抽出してエックス線写真と重ね合わせた結果、エックス線写真上に認められる陰影と一致する骨梁は認められなかった。

3) エックス線写真と皮質骨内栄養管の三次元再構築像との比較

連続切片から各皮質骨内の直径20 μ m以上の栄養管を抽出して三次元再構築した。回転像で観察する場合 (Fig. 5)、エックス線入射方向と同方向からの観察は頬側皮質骨では0 $^{\circ}$ 、舌側皮質骨では180 $^{\circ}$ の像を観察することになる。90 $^{\circ}$ と270 $^{\circ}$ の像ではエックス線入射方向に対して直角の方向から観察していることになり、栄養管の頬舌的重なりを評価することができる。さらに、45 $^{\circ}$ 、135 $^{\circ}$ 、225 $^{\circ}$ 、315 $^{\circ}$ の像では栄養管の三次元的な重なりを視覚的に把握できる。頬舌側ともに皮質骨外側の栄養管は細く、海綿骨側で太かった。これらの頬側皮質骨における0 $^{\circ}$ と舌側皮質骨における180 $^{\circ}$ の像をエックス線写真と対比させ、さらに頬側では90 $^{\circ}$ 、舌側では270 $^{\circ}$ の像を並列させることにより、エックス線透過像と栄養管の重複する一致率を検索できた。Sample 1の上部を観察すると舌側皮質骨に栄養管が多数認められた (Fig. 6-a, V)。それに比べ、頬側皮質骨には栄養管が少なかつ

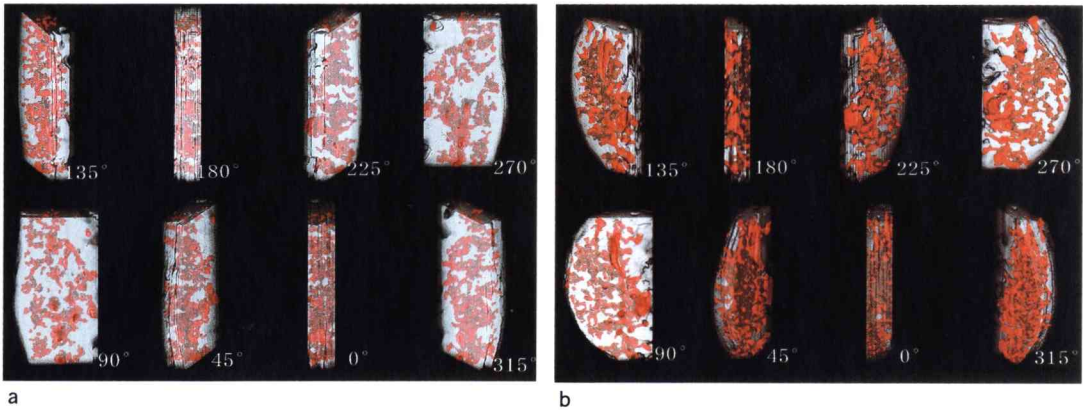


Fig. 5. Rotation images of the CG 3-D reconstruction of nutrient canal in the cortical bone.

a : Buccal side of the cortical bone

0° : The architecture of the nutrient canal can be observed from the buccal side, the same direction of the X-ray incidence.

180° : The architecture of the nutrient canal can be observed from the side of the cancellous bone, opposite the direction of X-ray incidence.

90°, 270° : The architecture of the nutrient canal can be observed at right angles to direction of X-ray incidence.

45°, 135°, 225°, 315° : The architecture of the nutrient canal can be visualized three dimensionally.

b : Lingual side of the conical bone

0° : The architecture of the nutrient canal can be observed from the lingual side, opposite the direction of X-ray incidence.

180° : The architecture of the nutrient canal can be observed from the side of the cancellous bone, the same direction of X-ray incidence.

90°, 270° : The architecture of the nutrient canal can be observed at right angles to direction of X-ray incidence.

45°, 135°, 225°, 315° : The architecture of the nutrient canal can be visualized three dimensionally.

The nutrient canal, on this side, are shown by bright red and their interior by dark red. The area between each nutrient canal is shown by gray. The bucco-lingual integration of nutrient canal at the horizontal plane on rotation images of 90 and 270 degrees can be seen. Nutrient canals are thin in the lateral regions of both the buccal and lingual side of the conical bone and are thick in the medial regions of the cortical bone.

た (Fig. 6-a, I)。エックス線写真の陰影像は舌側皮質骨の栄養管の走行を反映していた。特にエックス線写真中央部に注目すると、エックス線透過性が高い透過像として写し出されているにもかかわらず (Fig. 6-a, III), 頬側皮質骨には栄養管が認められない (Fig. 6-a, II)。しかし、同部舌側皮質骨内には栄養管が多数認められた (Fig. 6-a, IV)。Sample 1 の下部を観察すると、上端部は歯槽で観察された像と同一傾向が認められたが、下半部は栄養管の間に介在する骨がはしご状に不透過像として認められた (Fig. 6-b, III)。皮質骨における栄養管の占

める割合は舌側皮質骨の方が高かった (Fig. 6-b, II, IV)。Sample 2 の上部を観察すると、舌側皮質骨の栄養管は頬側に比べると細かった (Fig. 7-a, I, V)。エックス線写真を観察すると、中央からやや上方の部位にエックス線不透過像のスポットが認められた (Fig. 7-a, III)。同部の舌側皮質骨栄養管の走行方向はエックス線照射方向に対して垂直であり、平行なものは認められなかった (Fig. 6-a, IV, V)。Sample 2 の下部を観察すると舌側皮質骨の栄養管は太く疎であったが分布域はフィルム面に接する骨表面に多く分布していた (Fig. 7-b, III)。

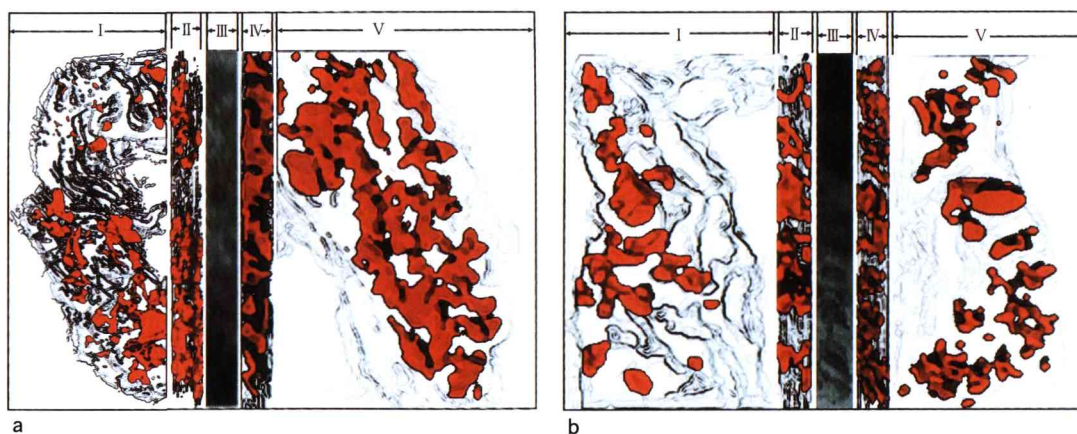


Fig. 6. Comparison between the CG 3-D reconstruction of the nutrient canal and the radiography of Sample 1

I : View of the buccal cortical bone and its nutrient canal at a right angle to the direction of X-ray incidence. (the same direction of 270 degrees as in Fig. 5-a)

II : View of the buccal cortical bone and its nutrient canal at the same direction of X-ray incidence (the same direction of 0 degrees as in Fig. 5-a)

III : Radiograph corresponding to the CG 3-D reconstruction.

IV : View of the lingual cortical bone and its nutrient canal from the same direction of X-ray incidence (the same direction of 180 degrees as in Fig. 5-b)

V : View of the lingual cortical bone and its nutrient canal in at a right angle to the direction of X-ray incidence. (the same direction of 90 degrees of Fig. 5-b)

a : alveolar region of the mandible

There are many nutrient canals in the lingual cortical bone, but few in buccal cortical bone.

The nutrient canal in the lingual cortical bone is *consistent with* the radiolucency at the center of the radiograph.

b : body of the mandible

The area between each nutrient canal *consists of a radiopacity that is similar to a ladder* at the lower part of the radiograph.

Table 2. Correlation between the ratio of nutrient canal in each cortical bone and radiographic density ($p > 0.05$). A low correlation exists between radiolucency on the buccal side of the cortical bone from the body of mandible and nutrient canal. In addition, there is a high correlation between radiopacity on the lingual side of the cortical bone and nutrient canal.

region		radiopacity	radiolucency
buccal	upper	-0.286	0.046
	lower	-0.030	0.525
lingual	upper	0.777	0.473
	lower	0.916	0.760

upper : upper region of mental foramen

lower : lower region of mental foramen

Sample 3 の上部では、上方 1/3 頬側皮質骨に栄養管が多数存在していたが、エックス線像には全体的に不透過像として写し出されていた (Fig. 8-a, I, III)。Sample 3 の下部では、写真の上半分は舌側皮質骨栄養管の分布がエックス線像に反映されているが (Fig. 8-b, II, III, IV), 頬側皮質骨に認められた中央部の太い栄養管に存在する部位は不透過像として現れていた。舌側皮質骨中央部を観察すると、栄養管は非常に少なかった (Fig. 8-b, V)。エックス線透過像と不透過像に区分し、各皮質骨の厚径に対する栄養管の占める割合を比較すると、上部における透過部位では舌側皮質骨が平均66%, 頬側皮質骨で平均46%, 不透過部位では舌側皮質骨が平均25%, 頬側皮質骨が平均17%であった。一

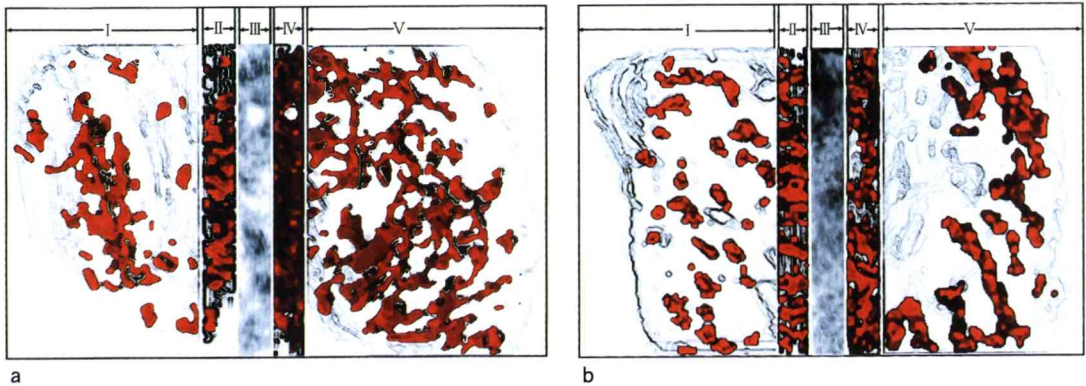


Fig. 7. Comparison between the CG 3-D reconstruction of the nutrient canal and the radiography on Sample 2

I : View of the buccal cortical bone and the nutrient canal at a right angle to the direction of X-ray incidence. (the same direction of 270 degrees as in Fig. 5-a)

II : View of the buccal cortical bone and the nutrient canal from the same direction of X-ray incidence (the same direction of 0 degrees as in Fig. 5-a)

III : Radiograph corresponding to the CG 3-D reconstruction.

IV : View of the lingual cortical bone and the nutrient canal from the same direction of X-ray incidence (the same direction of 180 degrees as in Fig. 5-b)

V : View of the lingual cortical bone and nutrient canal at a right angle to the direction of X-ray incidence. (the same direction of 90 degrees as in Fig. 5-b)

a : alveolar region of the mandible

Few nutrient canals are found in the lingual cortical bone. The region of radiopacity in the upper one fifth of the radiograph contains very few nutrient canals that run vertically against the direction of X-ray incidence.

b : body of the mandible

The few nutrient canals observed are thick and distribute on the lingual side.

方、下部における透過部位では、舌側皮質骨が平均59%、頬側皮質骨が58%、不透過部位では舌側皮質骨で平均22%、頬側皮質骨が平均20%となっていた。皮質骨の厚さに対する栄養管の占める割合とエックス線黒化度の相関性を検索した (Table. 2)。その結果、頬側皮質骨においてはエックス線写真と栄養管の占有率との一致はほとんど認められず、下部のエックス線透過性の高い部分に弱い相関を示したのみで、その他は相関関係が認められなかった (Fig. 6~8)。一方、舌側皮質骨においてはエックス線不透過部位の上部、下部および透過部位の下部で強い相関を示し、上部のエックス線透過部位で弱い相関を示した。

考 察

近年、デンタルインプラントの普及により、

骨内部構造の観察の必要性が高まっている。そのため、エックス線断層撮影装置の開発が進んできたが²⁴⁻²⁶⁾、すべての診療機関においてこのような機材の設置を求めることは不可能であり、デンタルエックス線撮影やパノラマエックス線撮影の写真を利用しているのが現状である。デンタルインプラント適用症例では部分的もしくは全顎的に歯牙が欠損しており、デンタルエックス線写真上には柵状骨梁はほとんど観察されず、下部の網目状骨梁も少なくなることが報告されている²⁴⁾。さらに詳細にフィルムを観察すると上部、下部ともにいわゆる骨梁構造とは異なる細かな陰影構造が観察される。日常歯科臨床においてはこれらの構造も含めて総合的にデンタルエックス線写真から顎骨の状態を判断しているものと考えられるが、その学問的な裏付けは乏しい。本論文では上部、下部に観

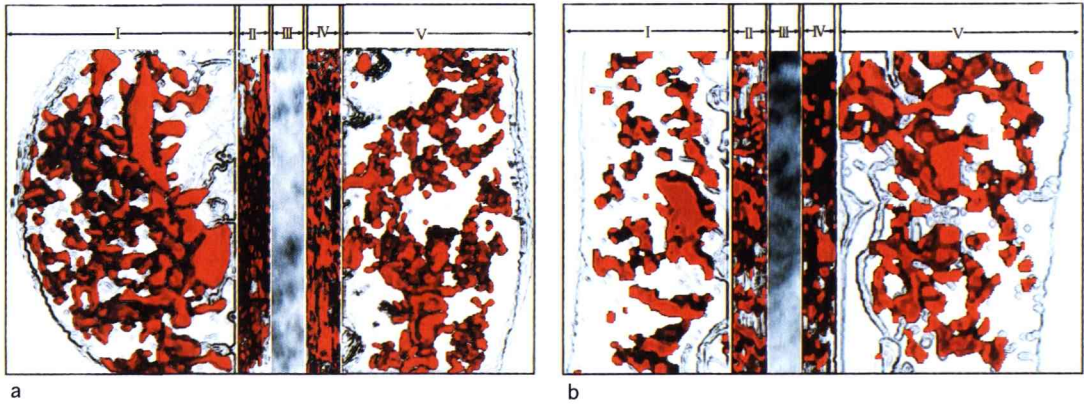


Fig. 8. Comparison between the CG 3-D reconstruction of the nutrient canal and the radiography on Sample 3

I : View of the buccal cortical bone and the nutrient canal at a right angle to the direction of X-ray incidence. (the same direction of 270 degrees as in Fig. 5-a)

II : View of the buccal cortical bone and the nutrient canal from the same direction of X-ray incidence (the same direction of 0 degree as in Fig. 5-a)

III : Radiograph corresponding to the CG 3-D reconstruction.

IV : View of the lingual cortical bone and the nutrient canal from the same direction of X-ray incidence (the same direction of 180 degrees as in Fig. 5-b)

V : View of the lingual cortical bone and the nutrient canal at a right angle to the direction of X-ray incidence. (the same direction of 90 degrees as in Fig. 5-b)

a : upper region of mental foramen

There are many nutrient canals at upper one third of the buccal cortical bone on the radiograph, however this region is completely radiopaque. Nutrient canal in the lingual cortical bone is *consistent with* the shadow in the radiography.

b : lower region of mental foramen

The thick nutrient canal at the center of the buccal cortical bone appeared radiopaque in the center of the radiograph. Nutrient canal can not be found in the lingual cortical bone. This result suggests that the radiopacity in the center of the radiograph reflects a region containing few nutrient canal in the lingual cortical bone.

察される細かな陰影像と構築を比較検討することを目的とした。

エックス線写真の読影は、エックス線の透過度に相関して表現されているフィルムの黒化度にもとづいている。エックス線の黒化度に直接的に関連する要因としては骨の無機成分である骨塩量の多寡があげられる。本研究では骨塩量の計測をPIXEにより行った。その結果、個体間に差は認められたが、各個体における頬側皮質骨、海綿骨、舌側皮質骨の間には大きな差は認められなかった。一方、顎骨の厚さについては、頬側皮質骨、海綿骨および舌側皮質骨の個々の厚さよりは頬舌径全体の厚さがエックス線写真の黒化度と関係が深いことが推測され

た。有歯顎下顎骨においてエックス線写真上に観察される柵状骨梁はエックス線入射方向に平行に存在する海綿骨骨梁が描出されている^{1, 3, 16, 18)}。一方、無歯顎においては、海綿骨骨梁の配列はエックス線入射方向と平行なものが乏しいため、柵状骨梁が観察されない^{1, 3, 16, 18)}。本研究における骨梁の三次元再構築像 (Fig. 4) から、海綿骨骨梁の配列が細かな陰影像と一致しなかった。すなわち、他の要素が、関連していると類推された。下顎骨要素のうち、エックス線写真上に強い不透過像として抽出される皮質骨内にはハバース管 (20~120 μ m)、フォルクマン管 (20~50 μ m) といった脈管を内包する管腔構造 (栄養管) が存在する³¹⁾。そこで、本研

究では、下顎骨皮質骨内栄養管の太さと分布に注目して栄養管の三次元再構築像とエックス線像の細かな陰影を比較した。今回用いた方法では、三次元再構築に用いたソフトのアニメーション機能を用いて顎骨をあらゆる角度から、さらにエックス線入射角度を変えた場合でもその入射角度に合わせた観察ができる (Fig. 5)。さらに、エックス線入射方向に直角の方向から観察するとエックス線入射方向と平行な直線上に三次元的に重なる栄養管が皮質骨の厚さに占める割合を計測できる (Fig. 5-90°; 270°)。この計測した占有率をエックス線写真上の陰影と対比すると、エックス線透過部位は舌側皮質骨の栄養管の積層部位に一致し、エックス線不透過部位は栄養管の少ない部位に一致していた。これらの関係を頬側皮質骨に対しても行ったが、一致しなかった。統計学的に両者間の相関性を検索すると、舌側皮質骨においてはエックス線透過部位、不透過部位共に栄養管の占める割合とフィルムの黒化度の間に強い相関が認められた (Table 2)。頬側皮質骨においては下部のエックス線透過部位においてのみ弱い相関を認めたが、他には認められなかった。このことから、エックス線写真上に認められる細かな陰影は舌側皮質骨内栄養管を反映していると考えられた。さらに、舌側皮質骨に占める栄養管の割合に注目すると、エックス線不透過部位は透過部位より強い相関を示した。エックス線写真はエックス線不透過像が描出されることによって内部構造を表現する。そこで、栄養管の存在しない部位が細かな陰影像として描出されると考えると相関の強さを理解できる。また、舌側皮質骨に占める栄養管の割合とエックス線写真の陰影は下部の方が上部より強い相関を示すことは、エックス線写真撮影時のフィルム設置位置が関係しているものと考えられた。すなわち、フィルムは舌側の最大豊隆部で固定されるため、上部ではフィルムとの間に一定の距離が存在する。そのため、ボケとして写真に描出され、相関性が下部より弱くなったものと考えられた。一般的に歯科臨床で用いられている

エックス線写真上に描出されている細かな陰影はそのほとんどが舌側皮質骨内の栄養管の走行を描出していると考えられることから、顎骨全体の内部構造の把握にデンタルフィルムのみを用いることは必ずしも妥当ではないと考える。しかしエックス線写真が下顎骨舌側皮質骨の状態を示していることは明らかである。すなわち、下顎骨のある一面を示している。この点から、エックス線写真は、その読影を複数の診査項目の中の一項目として用いる場合には、有効と考えられる。

結 論

平成 9、10年度岩手医科大学歯学部解剖実習用遺体の下顎骨 7 例を用い、下顎骨の頬舌の厚径、PIXE 分析、栄養管の三次元再構築像とエックス線写真の比較を行った。その結果より、以下の結論が得られた。

- 1) 下顎骨の頬舌の厚径はエックス線写真黒化度と関連性が高かった。
- 2) 骨塩量は個体間に差が認められるが、各個体間における頬側皮質骨、海綿骨、舌側皮質骨の間には大きな差が認められなかった。
- 3) 栄養管は皮質骨の頬側より舌側に多数認められた。
- 4) 下顎骨舌側皮質骨における栄養管の占める割合の少ない部位とエックス線不透過部位の黒化度の間に強い相関を認めた。
- 5) 栄養管の三次元再構築像とエックス線写真を比較すると、栄養管の間に介在する骨質と細かな不透過像の関連性が高かった。

以上の結果より、一般的に歯科臨床で用いられているエックス線写真上に描出される細かな陰影はほとんどが舌側皮質骨内の栄養管の走行を描出していると考えられた。

謝 辞

稿を終えるにあたり、終始ご懇切なる指導と校閲を賜りました野坂洋一郎教授、ならびに、ご指導とご助言をいただきました藤村朗助教授に衷心より謝意を捧げます。また、本研究

の遂行にあたり数々のご教示、ご助言をいただきました岩手医科大学サイクロトロンセンター世良耕一郎助教授および日本アイソトープ協会仁科記念サイクロトロンセンター二ツ川章二先生に深く感謝いたします。さらに、ご協力いただきました口腔解剖学第一講座の諸先生に厚く御礼申し上げます。

なお、本論文の要旨は第40回日本歯科基礎医学会総会（1998年10月、名古屋市）および第15回国際解剖学会（1999年9月、ローマ）において発表した。

本研究は、文部省私立大学ハイテク・リサーチ・センター補助金を受けて行った。

文 献

- 1) 中島 功：日本人下顎骨の内部構造，*歯科学報*，95：229-238，1995.
- 2) 渋谷国男，北村 晃，井出吉信：小児下顎骨小臼歯の内部構造に関する研究，*歯科学報*，93：919-941，1993.
- 3) 藤原道夫：日本人有歯下顎骨の内部構造に関する研究，*歯科学報*，89：561-584，1988.
- 4) 近藤潤一：日本人無歯顎下顎骨の内部構造に関する研究，*歯科学報*，90：1251-1277，1990.
- 5) 本郷貴士：日本人下顎骨関節突起の骨梁構造に関する形態計測学的研究，*歯科学報*，87：1583-1661，1987.
- 6) 井出行信，高崎一郎，小野田好宏：蝶形骨の成長発育に関する研究，*歯科学報*，94：439-444，1994.
- 7) 川嶋 剛：顎関節および周囲骨の構造に関する研究，*歯科学報*，96：911-949，1996.
- 8) 添島義和：日本人下顎骨の形態学的研究，*熊本医学会雑誌*，49：1-16，1973.
- 9) 新井和夫：小児下顎骨の内部構造に関する研究，*歯科学報*，77：1251-1453，1977.
- 10) 前野正人：下顎骨体の横断面の形態及び海綿質について，*熊本医学会雑誌*，35：380-384，1961.
- 11) 吉田欣也：下顎骨の解剖学的研究，*神戸大医紀要*，30：28-86，1968.
- 12) 兼松 宏：下顎骨に関する X 線学的研究，*東京医科大学雑誌*，32：971-989，1974.
- 13) 清水 潔：顎骨，歯槽部の X 線解剖学的研究，*歯科学報*，60：433-438，1960.
- 14) 黒柳錦也，松下 茂，正岡勇記，宮忠 昭，藤森久雄：オトガイ孔の X 線解剖学的研究，*歯科学報*，70：367-372，1977.
- 15) 石野恵庸：人類下顎骨骨梁群について その 1 日本人胎児下顎骨原生骨梁の発育動向に関する X 線学的研究，*三重医学*，4：1922-1929，1960.
- 16) 石野恵庸：人類下顎骨骨梁群について その 2 生後 4 カ月から高令 80 才にいたる日本人の下顎骨骨梁群の増令的発育動向に関する X 線学的研究，*三重医学*，4：1931-1948，1960.
- 17) 松坂賢一：ヒト下顎骨緻密骨の構造に関する研究—部位，年齢および歯牙の有無による比較—，*歯科基礎医学会雑誌*，36：435-459，1994.
- 18) 田松裕一，澁谷英介，井出吉信：マイクロ CT の応用とその可能性，*歯界展望*，93：6-11，1999.
- 19) 本郷貴士：数理形態学の応用による骨の形態計測学的研究，*歯科学報*，87：1569-1581，1987.
- 20) 増田多可夫：下顎骨の構造並びに力学的研究 1. 内部構造について，*口腔解剖研究*，17：1-12，1960.
- 21) 増田多可夫：下顎骨の構造並びに力学的研究 2. 二次元光弾性実験による下顎骨の力学的研究，*口腔解剖研究*，17：13-32，1960.
- 22) 嶋田 淳，阪本栄一，青野 宏，森沢 紳，山本美郎，角田豊作：ヒト有歯顎・無歯顎下顎骨の断面特性，*城西大紀要*，10：423-427，1981.
- 23) 戸渡孝一郎：海綿骨質の強度に関する研究，*京府大誌*，83：681-704，1974.
- 24) Tamatsu, Y., Kaimoto, K., Arai, M. and Ide, Y. : Properties of the elastic modulus from buccal compact bone of human mandible , *The bulletin of Toko dental college*, 37: 93-101, 1996.
- 25) Müller, R., van H. Campenhout, van Damme, B., van der Perre, G., Dequeker, J., Hildebrand, T. and Rueggsegger, P. : Morphometric analysis of human bone biopsies : a quantitative structural comparison of histological sections and micro-computed tomography, *Bone*, 23 : 59-66, 1998.
- 26) Ito, M., Nakamura, T., Matsumoto, T., TSURUSAKI, K., and HAYASHI, K. : Analysis of trabecular microarchitecture of human iliac bone using microcomputed tomography in patients with hip arthrosis without vertebral fracture, *Bone*, 23 : 163-169, 1998.
- 27) 塩島 勝：X 線透過像における写真コントラストと検出能との関係，*愛院大歯誌*，16：87-102，1978.
- 28) Futatsugawa, S., Hatakeyama, S. and Saitou, S. : Present status of NMCC and sample preparation method for bio-samples, *International journal of PIXE*, 3 : 319-328, 1993.
- 29) Sera, K. and Futatsugawa, S : Personal computer aided data handling and analysis for PIXE, *Nuclear instruments and methods in physics research B*, 109 : 99-104, 1996.
- 30) Sera, K. and Yanagisawa : Bio-PIXE at the TAKIZAWA facility (Bio-PIXE with a body cyclotron) , *International journal of PIXE*, 2 : 325-330, 1992.
- 31) Kishi, K., Nagaoka, T., Gotoh, T., Imai, K., and Fujiki, Y. : Radiographic study of mandibular nutrient canals, *Oral Surg.*, 54 : 118-122, 1982.