

[原著] 松本歯学 16 : 51~57, 1990

key words : 骨内インプラント - X線 CT - 下顎骨3次元画像

骨内インプラントの診断におけるX線CT撮影の応用

鷹股哲也, 井上義久, 舩田篤之, 橋本京一

松本歯科大学 歯科補綴学第I講座 (主任 橋本京一 教授)

柴田常克, 長内 剛, 丸山 清

松本歯科大学 歯科放射線学講座 (主任 丸山 清 教授)

恩田千爾

松本歯科大学 口腔解剖学第I講座 (主任 恩田千爾 教授)

Diagnosis by Computed Tomography for Endosseous Implants

TETSUYA TAKAMATA, YOSHIHISA INOUE, ATSUYUKI MASUDA
and KYOICHI HASHIMOTO

*Department of Complete and Partial Denture Prosthodontics, Matsumoto Dental College
(Chief : Prof. K. Hashimoto)*

TSUNEKATSU SHIBATA, TSUYOSHI OSANAI and KIYOSHI MARUYAMA
*Department of Oral Radiology, Matsumoto Dental College
(Chief : Prof. K. Maruyama)*

SENJI ONDA
*Department of Oral Anatomy, Matsumoto Dental College
(Chief : Prof. S. Onda)*

Summary

Computed tomography is the currently accepted method of objectively diagnosing for endosseous implants. In preparation for an endosseous implant, diagnosis and treatment planning are the most important factors for successful treatment. Until now the practitioner has used general X-ray examination, i. e., general filming with dental film, occlusal method and tomography such as orthopantomography, to establish the exact strategy for treatment. Although these methods have been available to support the establishment of

treatment strategy, the information obtained was only two-dimensional. A three-dimensional display made from two-dimensional images allows the doctor to visualize the entire anatomical structure, and is increasingly becoming a valuable method in preoperative planning.

In this paper, the authors describe the advantages of using a three-dimensional display of mandibular edentulous dry bone in preoperative planning. The vertical and/or horizontal distance between the mandibular canal and the alveolar process were measured. The results suggest that computed tomography provides valuable information when establishing the diagnosis and planning the treatment.

結 言

骨内インプラントの診査，診断には従来より，口腔内の視診・触診，研究模型上での診査に加え特にデンタルX線写真，パノラマX線写真などX線写真診査が重要な位置を占めてきた。インプラント埋入部位の歯槽骨，顎骨の骨質はもとより，解剖学的内部構造を知る上で欠くことのできない情報を術者に与えてくれる。しかし，このようなX線単純撮影は3次元的に構成されている人体を2次元のフィルム上に投影するため，像の重複により判断に混乱が生ずる。またX線断層撮影では体の2次元の部分で2次元のフィルム上に投影するもので，断面の撮影は可能であるものの通常のX線断層撮影では像が明瞭でなく，正確な情報が得られないという欠点を有していた¹⁾。これに対し，コンピュータ断層撮影法(Computed Tomography：以下，CT撮影と略す)は微小なX線吸収係数の差を画像化でき，しかも画像再生構成処理^{2,3)}を行うことにより自由な断層像が得られ，3次元的な観察が可能である。いうまでもなく骨内インプラントを行うに当たっては顎骨の外形，内部構造の把握は必須の診査事項であり，前以て3次元的情報を得ることはインプラントの安全性と確実性を高めることになる。すなわち上顎においては上顎洞底，鼻腔底，下顎においては下顎管，オトガイ孔などの位置，範囲，大きさなどを知ることができ，従来不明確であった顎骨内の解剖学的内部構造を明らかにすることができる。

本研究の目的は乾燥下顎骨を用いてX線CT撮影を行い，下顎骨の3次元構築を試み，さらに下顎骨内インプラントの診査，診断に必要なインプラントの埋入位置，方向，深さなどを定めるために，下顎管の下顎骨内における位置的關係を明ら

かにしようとするものである。

材料と方法

1. 試料

生体の下顎骨について検索する前に，まず本学口腔解剖学第I講座所有の無歯顎乾燥下顎骨3体(No.221, No.222, No.223)(図1)を借用し試料として使用した。これらの乾燥下顎骨の人種，年齢，性別は不詳である。

2. 撮影方法

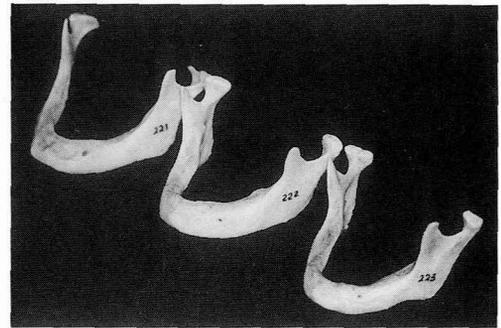


図1：試料として用いた無歯顎乾燥下顎骨

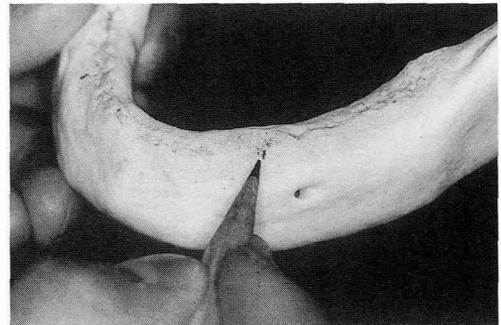


図2：第1小白歯部の位置設定

1) X線CT撮影装置

装置は本学歯科放射線学講座に据え付けられているX線CT撮影装置 TCT60A-EX(東芝社製)を用いた。

2) 撮影部位の設定

(1) 下顎管の下顎骨内における位置的關係

CT撮影時のスライスレベルを決めるために各試料のオトガイ孔の位置を参考として、オトガイ孔のほぼ直上が第2小臼歯部であるように設定し、第1小臼歯部をこれより前方4.0~5.0 mm の位置として鉛筆でマークし(図2)、第1大臼歯部は第2小臼歯部より6.0~7.0 mm 後方、第2大臼歯部はさらに6.0~7.0 mm 後方の位置としてそれぞれ決め、第2小臼歯部、第1大臼歯部、第2大臼歯部のスライス断面を得ることとした。

(2) 3次元構築のためのスライス間隔の設定

下顎骨の3次元構築を行うために、撮影方法1)で述べた第1小臼歯部を基準として、これより前方、後方へそれぞれ1.0 mm の間隔でスライスすることとした。

3) 試料の撮影条件

試料は24時間以上水中に浸漬し、十分水分を吸収させた後、試料全体が水中に在るように水を満たした縦15 cm、横22 cm、深さ15 cm のプラスチック製容器の中に設置した。この時、下顎骨体底面をプラスチック容器の底面と可及的に平行になるように置き、スライス方向が下顎骨底面に対して直角になるようにした。

3. 評価方法

1) 下顎骨の3次元構築について

3次元構築された下顎骨については正面観、側面観、後方45°方向、下顎骨体底面方向の各方向からの観察を行った。

2) 下顎管の位置について

下顎骨3体の第2小臼歯部、第1、第2大臼歯部の各4箇所のスライス断面(図3)をトレースし(図4)、左右側下顎骨体底面に接線を引き、この接線に平行で下顎管の中心を通る線を左右側個々に設定し、下顎管内壁から頬側骨壁までをb、舌側骨壁までをcとした、さらにこの線に対して直

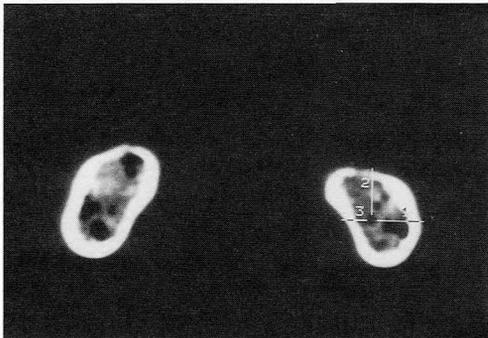


図3：第1大臼歯部の前額断面CT像

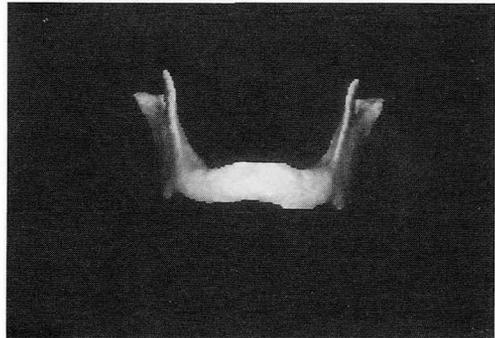


図5：下顎骨3次元構築画像(正面観)

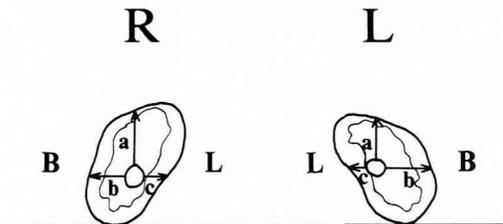


図4：測定部位の設定(a：歯槽骨頂までの距離、b：頬側骨壁までの距離、c：舌側骨壁までの距離)

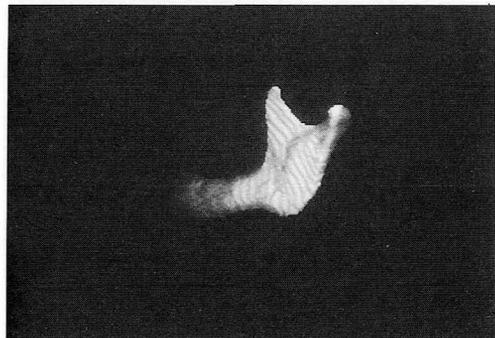


図6：下顎骨3次元構築画像(側面観)

角方向で下顎管内壁から歯槽骨頂までの線を a とし、3 骨体の各部位における距離 a, b, c を求めた。これらの距離は術者が指定した範囲を CT 撮影装置内に組み込まれている演算機能により自動的に計算し表示する。

結 果

1. 下顎骨の3次元構築について

図5から図8は骨体 No.223の3次元構築例である。正面観では顎骨の厚さ、オトガイ孔の位置、側面観では臼歯部歯槽骨の吸収程度、近遠心的な長さ、顎骨の厚さ、オトガイ孔の位置、外斜線、骨体底面からは前歯部臼歯部の顎骨の頬舌的な幅径が、後方45°方向からは下顎孔、顎舌骨筋線などがそれぞれ観察できる。

2. 下顎管の位置について

下顎骨3体の第2小臼歯部、第1、第2大臼歯部の各3箇所における、下顎管内壁から歯槽骨頂までの距離 a, 頬側骨壁までの距離 b, 舌側骨壁

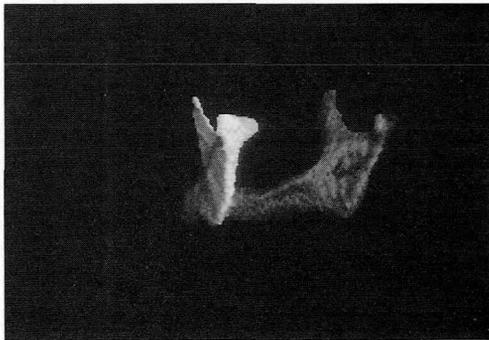


図7：下顎骨3次元構築画像(後方45°の角度より)

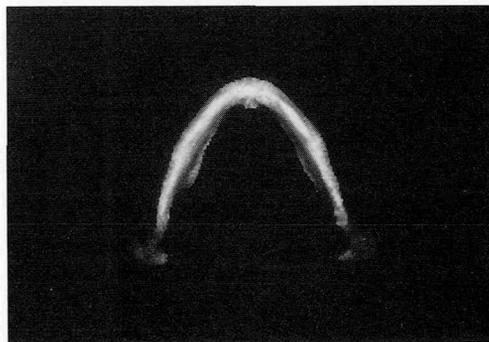


図8：下顎骨3次元構築画像(下顎体底面より)

までの距離 c を求めた(表1, 図9)。左右側共に舌側骨壁までの距離は第2小臼歯部から第2大臼歯部にかけて減少し、第1大臼歯部、第2大臼歯部はほぼ同じ値であった。頬側骨壁までの距離は第2小臼歯部から第1大臼歯部ではわずかに増加し、第1大臼歯部から第2大臼歯部ではやや減少し、第2小臼歯部での値に近づいている。歯槽骨頂までの距離では第2小臼歯部から第1大臼歯部は減少し、第1大臼歯部と第2大臼歯部との関係は右側では減少し、左側では増加する傾向を示

表1：乾燥下顎骨各部位の下歯槽管から各骨面までの距離 (mm)

			No.221	No.222	No.223	\bar{X} (S)
5	R	a	8.2	10.2	7.5	8.6(1.40)
		b	6.5	9.0	5.5	7.0(1.80)
		c	5.3	5.7	8.6	6.5(1.80)
	L	a	6.7	11.2	/	9.0(3.18)
		b	7.1	7.5	/	7.3(0.28)
		c	7.3	6.7	/	7.0(0.42)
6	R	a	7.3	9.4	8.0	8.2(1.07)
		b	6.1	9.4	7.3	7.6(1.67)
		c	5.7	5.1	6.9	5.9(0.92)
	L	a	6.5	12.0	3.9	7.5(4.14)
		b	8.8	9.2	5.5	7.8(2.03)
		c	4.3	5.7	7.5	5.8(1.60)
7	R	a	4.5	8.8	8.4	7.2(2.38)
		b	6.3	9.0	6.1	7.1(1.62)
		c	6.7	5.1	5.9	5.9(0.80)
	L	a	7.5	11.6	5.9	8.3(2.94)
		b	5.1	9.2	7.5	7.3(2.06)
		c	4.9	5.7	6.9	5.8(1.00)

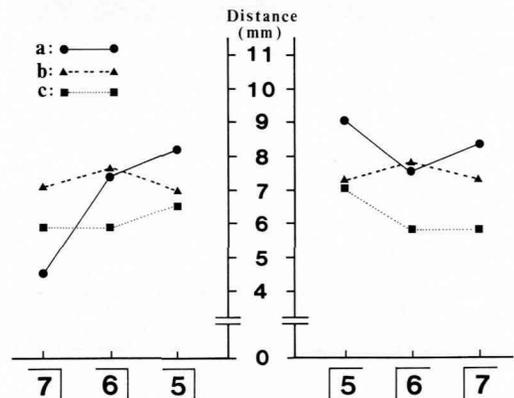


図9：各部位における下顎管内壁から歯槽骨頂、頬側骨壁、舌側骨壁までの距離

した。骨体 No.223の第2小臼歯部左側ではオトガイ孔に相当したため各距離の測定は不可能であった。

考 察

X線CT撮影が骨内インプラントの術前診査に使用され始めたのは1985年頃からである⁴⁾。以来、今日に至るまで数多くの報告があり^{1,5-13)}、いずれも術前、術後の評価方法の有効性について論じている。X線CT画像からコンピュータを用いた顎骨の3次元構築の試みは、2次元断面画像を各断面のスライス間隔に応じたステップ幅で積上げて処理した再構成法¹⁴⁾、ネットワークによる再構成法¹⁵⁾、フルオロスコーピックCTによる再構成法¹⁶⁾、“3D Display”ソフトウェアを利用した再構成法¹⁷⁾、表面表示とMPRとを組み合わせた合成表示法¹⁸⁾、MRI像による2次元データを併用した再構成法¹⁹⁾などがある。また最近、CADによる3次元表示²⁰⁾“TRI”ソフトウェアを用いた3次元構築²¹⁾などが報告され、複雑な解剖学的内部構造を立体的に把握する試みがなされ、いまや診査、診断、処置方針の決定、治療効果の判定などに欠くことのできない存在となっている。しかし、市販されているCADのソフトウェアを用いてX線CT画像を3次元表示する方法はデジタイザーを使用してパーソナルコンピュータに入力することになり、入力に大変な時間がかかり、またX-Yプロッターに断面を描かせるには1断面について1分から2分もの時間がかかるといわれる²⁰⁾。そこで著者らはパーソナルコンピュータを使用することなく、X線CT撮影装置の3次元表示機能を用いて直接モニター上に表示し、フィルムに記録する方法を採用し、下顎骨3次元構築の大幅な時間の短縮と下顎骨の鮮明な横断面像から解剖学的内部構造を表示し、下顎の骨内インプラントに不可欠な下顎管の位置を検索した。

1. 撮影装置について

1972年、Hounsfield²¹⁾によりX線CTが紹介されてから18年の歳月が経過しようとしている。初期の方式は、管球と検出器を平行移動させるもので頭部専用CTであった²²⁾。この方法はスキャン時間が長く、解像度が悪い²³⁾という欠点はあったが、濃度分解能は通常のX線撮影法の約100倍の感度があるといわれた²³⁾。この方式のX線CTは第

1世代と言われている^{22,23)}。第2世代に入り管球より狭いファンビームを出し、数個の検出器で受け止めて平行移動しながら角度を変えて撮影する方式になり、解像度は向上したもののスキャン時間がかなり長く、モーションアーチファクト²³⁾が出やすく機構も複雑であった。第3世代にはhybrid方式が開発され、管球より被写体全体を包むファンビームが出て、検出器も管球の移動に対応して動く方式が現れた²²⁾。本学歯科放射線学講座に据え付けられているX線CT撮影装置TCT60A-EX(東芝社製)はこのタイプのものである。現在第4世代と呼ばれる方式が出ているがこれは全周に検出器を置き、管球のみを回転させながら撮影する方法であり、理論的には優れているものの検出器の数が大変多く、経済的負担が大きいと言われている²²⁾。このように第1世代から第4世代にかけてX線CT撮影装置は大きな進歩をとげて来ているが、歯科口腔領域で常に問題となる金属のアーチファクトの影響²⁴⁾、あるいは解像度を向上させるためにX線被曝量を増加させなければならないことなど、改良の余地も多く残されている。しかし現段階では骨の解剖学的内部構造を詳しく知る方法として最有力のものであり、しかも各スライスごとに分割されている情報を再構成し、目的とする臓器の連続性と性状を再現し3次元画像が得られることなど、骨内インプラントの術前、術後の評価手段として極めて有用であると考えられる。

2. 撮影方法について

1) 撮影方向

生体における頭部撮影では通常患者は仰臥位となり、撮影方向はCamper氏平面(cantho-meatal line=CM line)に平行、もしくは頭部を前後に15°傾けて行っている²³⁾。また上下方向の情報を得るために冠状断CTスキャンも行われ、Reid基準線(眼窩下縁と外耳孔上縁とを結ぶ線)に対して垂直に近くスキャンするものである。しかし、この体位は患者にかなりの苦痛を強いることになり、長時間の撮影は困難である。今回著者らが行った乾燥下顎骨では下顎骨体底面とほぼ直角にスキャンすることができ、撮影時の角度付けを自由に任意に設定することができるが、これは乾燥下顎骨であるからできるのであって患者の場合は不可能に近い。特に骨内インプラントでは下顎骨体の前額

断面像が診査，診断に重要であり，生体における上下顎骨の冠状断CTスキャンの対応も重要であると思われる。

2) 乾燥下顎骨のスキャンレベルの設定

歯牙喪失後の無歯顎乾燥下顎骨において有歯時の歯牙の位置を確定することは難しい，本来であれば乾燥下顎骨に人工歯排列を行い，それぞれの歯牙に相当する部位を推定する方法が得策と考えられるが，今回はオトガイ孔の近遠心的位置は第2小白歯のほぼ直下に存在する²⁵⁾という解剖学的根拠に基づき，第1大白歯はオトガイ孔より後方6.0~7.0 mm，第2大白歯はこれよりさらに後方6.0~7.0 mmの位置にそれぞれ設定した。

3) 乾燥下顎骨の設定

できる限り生体に近い条件を与えるために，乾燥下顎骨を水中に24時間以上浸漬し十分水分を吸収させた。その後，生体における顎骨と体表面との間の軟組織を考慮して乾燥下顎骨を水を入れたプラスチック容器に設置し，直接X線CT撮影する方法は避けた。水のCT値は0であるが，血液，髄液等もこの付近の値であることから今回は下顎骨周囲の環境に水を用いた。CT値は物質のX線吸収係数を便宜上，空気-1000，水0，骨+1000とし，この間を2000段階に区分したもので，絶対的なものではない。さらにCT値は患者の体格，スキャン中心からの距離，撮影時の管電圧の変動によって多少差がでると言われている²³⁾。

3. 結果について

1) 乾燥下顎骨の3次元構築について

スライス間隔1.0 mmでは図5~図8にみられる程度の3次元画像が得られることが分かった。いろいろな角度からの観察が可能になり，特に側面観では歯槽突起の吸収状態，下顎体あるいは臼歯部の近遠心的長さ，骨体の垂直的厚さなどが，またオトガイ孔の位置，開口方向などが明瞭に観察できる。通常の2次元的なX線写真からはほとんど観察し得ない後方からのあるいは下顎体底面方向からの情報も手に取るように見ることが出来る(図7，図8)。

2) 下顎管の位置的関係について

下顎骨3体の第2小白歯部，第1，第2大白歯部の下顎管内壁から歯槽骨頂，頬側骨壁，舌側骨壁までの距離をそれぞれの平均値でみると，歯槽骨頂までの距離は第2小白歯部は8~9 mmで

あるのに対して第1大白歯部ではそれより約1.0 mm程度少なくなり，第2大白歯部では左右側でその様相は異なっていた。これは歯牙の抜去原因あるいは抜去されたからの経過年数などによるものと考えられ，また試料数が少ないことも考えられる。頬側壁，舌側壁までの距離では頬側壁までの距離が増加し，舌側壁までの距離が減少している。これは，上條²⁶⁾の下顎管は下顎孔から第1，第2大白歯までは内板に沿って，下顎骨体の頬舌径の舌側1/3のところを経過するという報告と一致する。また下顎管の下顎体頬舌厚に対する位置に関する研究においても第1小白歯部から第2大白歯部にかけて順次，舌側壁までの距離が減少していくと報告されている²⁶⁾。

結 論

骨内インプラントの術前の診査・診断に有用と考えられるX線CTの応用について，無歯顎乾燥下顎骨3体を用いて，下顎骨の3次元構築ならびに第2小白歯，第1，第2大白歯部の前額断面における下顎管の垂直的，水平的位置について検討したところ，以下の結論を得た。

- (1) 短時間で下顎骨の3次元構築を行うことができ，あらゆる角度からの観察が可能であった。
- (2) 下顎体の前額断面形態が明瞭に把握できた。
- (3) 下顎体の前額断面から下顎管の垂直的位置，水平的(頬舌的)位置が明確に観察し得た。
- (4) 各臼歯部における下顎管の位置的關係では第2小白歯部は歯槽骨頂までの距離は第1，第2大白歯部よりも大きく，頬側壁，舌側壁までの距離は第2小白歯部ではほぼ等しいものの第1，第2大白歯部は明らかに舌側壁までの距離が少なかった。

以上の結論は，骨内インプラントの術前の診査・診断に有効な情報を与えてくれるものである。

文 献

- 1) 横山和範(1989)X線コンピュータ断層撮影の骨内インプラント術前診査への応用.インプラント誌, 2: 76-84.
- 2) Brooks, R. A. and Di Chiro, G. (1975) Theory of image reconstruction in computed tomography.

- Radiology, **117**: 561-572.
- 3) Brooks, R. A. and Di Chiro, G. (1976) Principles of computer assisted tomography (CAT) in radioisotope imaging. *Phs. Med. Biol.* **21**: 689-732.
 - 4) Kopp, C. D. (1985) Stent-assisted C. T. in three phases of osseointegration. *Academy of Osseointegration*, **1**: 1.
 - 5) Truitt, H. P., James, R. and Boyne, P. (1986) Noninvasive technique for mandibular subperiosteal implants. A preliminary report. *J. Prosthet. Dent.* **55**: 494-497.
 - 6) James, R. (1983) Tissue response to dental implant device. *Clin. Dent.* **4**: 1-21. J. B. Lippincott Company.
 - 7) Golec, T. S. (1986) CAD-CAM multiplanar imaging for subperiosteal implants. *Dent. Clin. North. Am.* **30**: 85-95.
 - 8) McGivney, G. P., Haughton, V., Strandt, J. A., Eichholz, J. E. and Lubar, D. M. (1986) A comparison of computer assisted tomography and data-gathering modalities in prosthodontics. *Int. J. Oral Maxillofac. Implants.* **1**: 55-68.
 - 9) Rhodes, M. L., Kuo, Y. M., Rothman, S. L. G. and Woznick, C. (1987) An application of computer graphics and networks to anatomic model and prosthesis manufacturing. *IEEE Computer Graphics and Applications.* **7**: 12-25.
 - 10) Schwarz, M. S., Rothman, S. L. G., Rhodes, M. L. and Chafetz, N. (1987) Computed Tomography: Part I. Preoperative Assessment of the Mandible for Endosseous Implant Surgery. *Int. J. Oral Maxillofac. Implants.* **2**: 137-141
 - 11) Schwarz, M. S., Rothman, S. L. G., Rhodes, M. L. and Chafetz, N. (1987) Computed Tomography: Part II. Preoperative Assessment of the Maxilla for Endosseous Implant Surgery. *Int. J. Oral Maxillofac. Implants.* **2**:
 - 12) 定岡敏之, 中畑 潜, 松沢耕助(1988)口腔インプラントにおけるX線CTの有効性について, *インプラント誌*, **1**: 280-286.
 - 13) 斎藤君子, 草刈 玄(1988)X線による上下顎骨形態の三次元構築に関する研究—下顎骨における各種X線装置の比較について—, *補綴誌*, 第80回日本補綴歯科学会学術大会論文集, **62**.
 - 14) 石井繁夫, 渡辺秀寿(1985)X線CT画像および血管撮影画像からの3次元画像の再構成, *医療情報学*, **5**: 364-371.
 - 15) 三原 学(1985)顎顔面骨の3次元的形態再現に関する研究 第3報: パーソナルコンピュータによる画像再現(DIM3), *日口外誌*, **31**: 723-730.
 - 16) Toyofuku, F., Tanaka, T. and Kanda, S. (1988) Three-Dimensional Imaging of Teeth and Jaw Bones Using Fluoroscopic Computed Tomography. *Oral Radiol.* **4**: 75-79.
 - 17) Tanaka, T., Toyofuku, F. and Kanda, K. (1988) Three-dimensional display of CT images in the maxillofacial region. *Electromedica* **56**: 30-37.
 - 18) 荒館 博, 木村徳典, 山岸一郎, 阿部 武, 斎藤清人, 朝比奈清敬(1988)高速三次元表示システムの実用化, *日放射線技術誌*, **44**: 949.
 - 19) 山本康一, 山内浅則, 眞館藤夫, 古田 勲(1988)コンピュータグラフィックスによる3次元再構成ならびに3次元画像解析の口腔外科領域への応用, *日口外誌*, **34**: 16-26.
 - 20) 平川誓生, 後藤昌昭, 香月 武(1989)CADによるCT画像をもとにした顎口腔形態の3次元計測, 第14回モアレ・三次元計測研究会抄録集, **28**.
 - 21) 平川誓生, 後藤昌昭, 香月 武(1990)3次元モデル構築システムによるCT画像の3次元表示, 第15回モアレ・三次元計測研究会抄録集, **19**.
 - 22) 松浦啓一(1985)画像診断装置の進歩(3) X線CT, カラー図説, *日医師会誌*, **93**
 - 23) 森 惟明, 栗坂昌宏, 小谷一(1986)頭部のCT診断: 1-6, 金原出版, 東京
 - 24) 筒井 稔, 丸山 清, 長内 剛, 児玉健三, 柴田常克(1989)CTスキャナの画像再構成関数と金属片アーチファクト軽減ソフトウェア, *松本歯学*, **15**: 16-26.
 - 25) 上條雍彦(1970)口腔解剖学, *1骨学*: 162, アナトーム社, 東京
 - 26) 上條雍彦(1970)口腔解剖学, *1骨学*: 219, アナトーム社, 東京