

原著論文

新型小照射野コーンビームCT (3DX) の基本性能
—ヘリカルCTとの比較—本田和也 新井嘉則 岩井一男
橋本光二 斉藤 勉* 篠田宏司日本大学歯学部放射線学教室
日本大学医学部放射線医学教室*Fundamental Efficiency of new - style limited-cone-beam CT (3DX)
- Comparison with Helical CT -Kazuya Honda, Yoshinori Arai, Kazuo Iwai,
Koji Hashimoto, Tsutomu Saitou*, Koji ShinodaDepartment of Radiology, Nihon University School of Dentistry
Department of Radiology, Nihon University School of Medicine*

Abstract

Objective: Limited-cone-beam CT named "Ortho-CT" has been used clinically for more than 2 years. On the basis of this experience we developed the new-style limited-cone-beam CT for practical use named "3DX Multi image micro CT"(3DX). Purpose of this study was to evaluate the fundamental efficiency of this new-style limited-cone-beam CT in comparison with helical-CT.

Material and Methods: The resolutions of 3DX was evaluated with MTF (Modulation transfer function). 3DX were compared with helical CT about the fundamental efficiency. The subjective image quality was evaluated with the anatomical landmarks which included inner ear, temporomandibular joint (TMJ), and the maxillary first molar and mandibular first molar. Five dental radiologists and two otolaryngologists evaluated the quality of 3DX image in comparison with that of helical CT images on the same observation point. The five-point scale used ranged from point one (inferior) to five (superior). The skin doses of 3DX and helical CT were measured using TLD on the Rando phantom.

Results: The resolution of 3DX was 3.1 line pair / mm (horizontal) and 4.2 line pair / mm (vertical). The subjective image quality of 3DX was better than that of helical CT at every observational point. The minimum score was 3.46 and maximum score was 4.03. There was a significant difference in every observation point ($p < 0.05$). The skin doses were 1.19mSv with 3DX and 160.0mSv with helical CT. The skin dose of 3DX was very low compared with that of helical CT.

Conclusion: The image showed very high resolution in comparison with that of helical CT. The skin dose was under the one-percent as against helical CT. This system is very useful for diagnosis of tooth and bone in dental and otological field.

Key words; x-ray, cone-beam CT, helical CT, dental.

はじめに

1973年にX線CTが開発され¹⁾、人体内部を3次元的な画像診断を行うことが可能となり、臨床医学の進歩に大きく貢献した。現在では、超高速のらせん型CTも実用化され臨床に使用されている。しかし、X線CT装置は大型で費用も高く、また被曝線量が大きいのなどの問題もある。歯科分野においては、顎口腔の腫瘍、広範囲な病変、顎関節などの診断に使用され、歯

科大学付属病院などの高次医療機関に普及している²⁾。しかし、埋伏歯や根尖病変などの局所病変の診断に対しては最適化されているとは言えなかった。そこで、著者らは1992年より、歯科医療に特化した小型のX線CTの開発を開始し、1997年に小照射野コーンビーム方式のX線CT(以下、Ortho-CT)の試作に成功した³⁾。以来約2年間同装置により、顎関節症、埋伏歯、根尖病変、インプラントなど2200例に対して3方向からの断

面による3次元的な画像診断を行い、その有用性については報告してきた⁴⁻¹³⁾。しかし、Ortho-CTは既製の装置を改良した試作機であったので、操作性と解像度を向上させた専用機の開発が待望されていた。このOrtho-CTに関する技術を1998年に設立された日本大学国際産業技術・ビジネス育成センター(通称NUBIC)を通して、モリタ製作所に技術移転し、「顎顔面口腔及び耳鼻科領域の硬組織用3次元画像診断装置」として小照射野コーンビームX線CTの実用機“3DX multi image micro CT”(以下3DX)の開発を行った。今回本装置の、解像度、画質、被曝線量などの基本性能について、ヘリカルCTとの比較により評価したので報告する。

装 置

3DXはコーンビームによるX線CTの一つで、その照射野は回転中心部で高さ30mm、幅40mmに制限されている。図1に示すように、中央に患者位置付け用の椅子があり、2本の支柱により回転部分が保持されている。回転部分にはX線管球と4inchの光電子倍增管(image intensifier, II)が対向して取り付けられている。この回転用モータにはダイレクトドライブモータを使用している。撮像時は被写体の中心部分をXYZ方向のライトビームにより、装置の回転中心に合わせ、撮像を行う。標準的な撮像条件は管電圧80kV、管電流2mAに設定され、照射時間は17秒で、被写体の周囲を1回転して、360度方向の投影データが収集される。投影データは縦240pixel、横320pixelの2次元画面で各pixelは8bitで量子化されコンピュータに記録される。画像再構成は256MBのパーソナルコンピュータを使用する。中央演算装置はPentium III 600MHzを使用し、画像再構成時間は約10分である。画像の再構成範囲は高さ30mm(240voxel)直径40mm(320voxel)でvoxelの大きさは0.119mmの正立方形である。通常は1mm幅で1mm厚さの断層像を連続的に再構成するので1回の撮影で3方向について各30枚の断層像が得られる。

ヘリカルCTは駿河台日本大学病院放射線科の東芝社製Vigor helical scan CTを使用し、一般に外来で使用している撮像条件の120kV、200mAを基準とし、スライス厚1mm、寝台移動速度0.5mm/secでおこなった。

研究方法

1) 3DXの解像力の測定

3DXの解像度をMTF(modulation transfer

function)によって評価した。直径0.1mmの銅線を被写体とし、これを水平及び垂直に置いて撮像し、それぞれのLSF(line spread function)を求め、FFT(fast Fourier transform)を行い、正規化して垂直方向及び水平方向のMTFを求めた。

2) 画質の評価

画質の評価は、内耳、顎関節、上顎第一大臼歯、下顎第一大臼歯部について以下の方法で行った。検分方法は、ヘリカルCTと3DXの同一部位の像を同時に提示し前記の4ヶ所について以下に示すような方法で観察させた。判定の基準は、ヘリカルCTの画像を基準とし、同一部位の3DXの画質について、1-ヘリカルCTの像より劣る、2-ヘリカルCTの像よりやや劣る、3-ヘリカルCTの像と同等、4-ヘリカルCTの像よりやや良い、5-ヘリカルCTの像より良い、の5段階評価をするよう指示した。画像はOlympus(東京)のP-330を用いて300dpiフルカラーのモードでプリントしたものを使用した。評価は耳鼻科医2名、歯科放射線認定医4名が1週間の間隔をおいて別個に3回行い、各部位別の平均値、95%の信頼区間を求めて統計学的に検定した。併せて総合的な評価も前述の5段階評価を行った。また、総合的にみたプリント像の印象についても各人のコメントを得た。

内耳については、ヒト左側側頭骨摘出標本(6×6×6cm)を直径20cmの水ファントムに沈め、周囲を厚さ2mmのアルミで覆い被写体とした。この被写体の耳小骨を図2(A-F)に示すように撮像し、ツチ骨およびキヌ

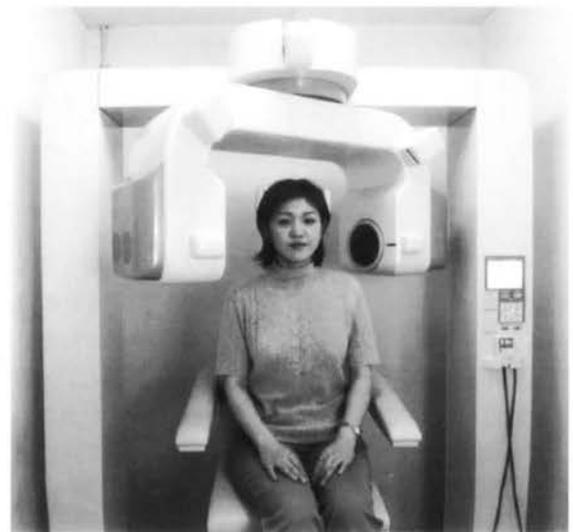


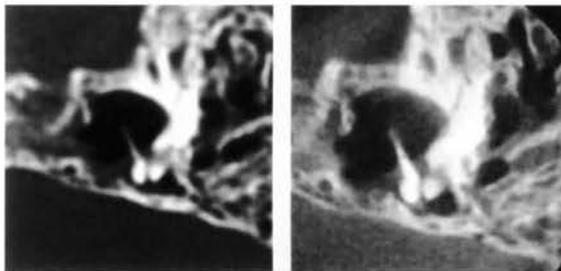
図1. 小照射野コーンビームX線CT(3DX)の全景
被写体の周囲をX線管球とII.が回転する。X線照射範囲は高さ30mm、幅40mmである。

タ骨の2ヶ所を評価部位とした。

顎関節、上顎第一大臼歯、下顎第一大臼歯については、頸椎付きの人体等価頭部ファントム(SE-1、三和化成株式会社、大阪)を被写体として撮像し、解剖学的な構造を評価した。顎関節については、図3(A-F)に示すように下顎頭長軸に対して平行で下顎頭の頂点を通過する面と、垂直で下顎頭の頂点を通過する面、および眼耳平面に平行で関節結節を通過する面の3方向の画像を使用し、皮質骨、海綿骨、下顎窩、下顎頭について評価した。左上第一大臼歯と、左下第一大臼歯は図4(A-F)と図5(A-H)に示すように菌列に平行な面、菌列を横断する面、咬合平面に対して平行な面での画像を使用し、皮質骨、海綿骨、エナメル質、象牙質、歯髓腔、歯根膜腔、白線について評価した。

3) 被曝線量の評価

Rando Woman Phantom(Alderson Research Laboratories,Stanford,CN,USA)を被写体とし、TLD(Panasonic UD-170A、大阪)でヘリカルCTおよび3DX撮像時の皮膚線量を測定し、相対的に評価した。撮像部位を左上第一大臼歯として、X線主線の回転面



A.Helical-CT

D.3DX



B.Helical-CT

E.3DX



C.Helical-CT

F.3DX

図2(A-F). ヘリカルCTと3DXによる内耳部のX線像
図左のA-CはヘリカルCT像を示し、同部位の3DX像を図右のD-Fに示す。ヘリカルCTと比較して、3DXではより鮮鋭な画像が得られている。

とファントムの皮膚面が交差する線上を仮想し、3cm間隔に17本のTLDを貼付し撮像を行った。撮像条件はそれぞれに機種標準的な撮像条件として、ヘリカルCTでは管電圧120kV、管電流200mAs、スライス厚1mm、寝台移動速度0.5mm/secとした。3DXでは管電圧80kV、管電流2mA、総濾過2.1mm(アルミニウム)、撮像時間は17秒とした。以上の実験を3回行い、各TLDの平均値を算出した。

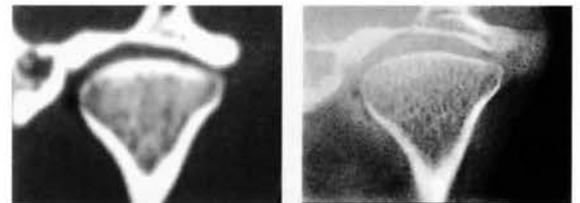
結果

1) 3DXの解像力の測定

解像度は図6に示すようにMTF 0.5において、ヘリカルCTは水平方向で0.6 line pair/mm、垂直方向で0.9 line pair/mm、3DXは水平方向で1.1 line pair/mmであった。MTF 0において、ヘリカルCTは水平方向で2.0 line pair/mm、垂直方向で2.3 line pair/mm、3DXでは水平方向で3.1 line pair/mm、垂直方向で4.2 line pair/mmであった。

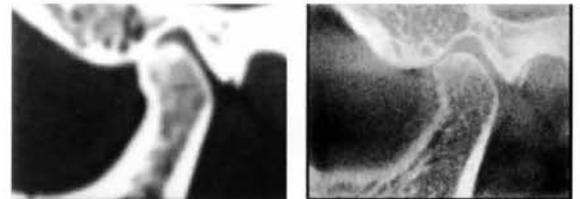
2) 画質の評価

表1に示す様に、ヘリカルCTを基準とした3DXの画



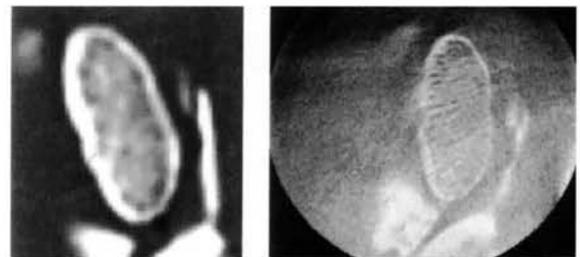
A.Helical-CT

D.3DX



B.Helical-CT

E.3DX



C.Helical-CT

F.3DX

図3(A-F). ヘリカルCTと3DXによる顎関節部のX線像
図左のA-CはヘリカルCT像を示し、同部位の3DX像を図右のD-Fに示す。ヘリカルCTと比較して、3DXでは下顎頭の骨梁構造や、関節隙の観察が容易に行える。

質の主観的評価は、最低値が3.46、最高値が4.03であった。すべての観察部位において統計学的に有意の差 ($p < 0.05$) が認められ、3DXの方がヘリカルCTより画質が優れているという結果を得た。

3) 皮膚線量の測定

皮膚線量の測定値はヘリカルCTで160.0mSv、3DXが1.19mSvであった。3DXの皮膚線量はヘリカルCTの1/100以下であった。

考 察

歯科領域では、虫歯、歯周疾患、顎関節症が三大疾患と考えられ、その診断に画像所見は重要である。一般的な歯科医療の画像診断は、口内法撮影や回転パノラマ撮影などで行われてきた。最近、骨内インプラントや顎関節症など歯科医療が高度化するにつれて、3次元的な画像診断、海綿骨の状態、皮質骨の厚さまでが求められるようになった。しかし、従来の口内

法や回転パノラマでは無理であった。3次元的な画像診断は医科用のX線CTやMRIなどが使用され、腫瘍や顎関節などに広く用いられた²⁾。しかし、歯科用に開発されたものではないために被曝線量、解像力、装置の大きさ、費用などの問題などが指摘されてきた。歯科では硬組織の慢性的な疾患がほとんどを占めることから、装置の具備すべき条件として1.被曝線量が小さい、2.硬組織において画像が鮮鋭である、3.装置が小型で費用が安価である、などが求められた。そこで、

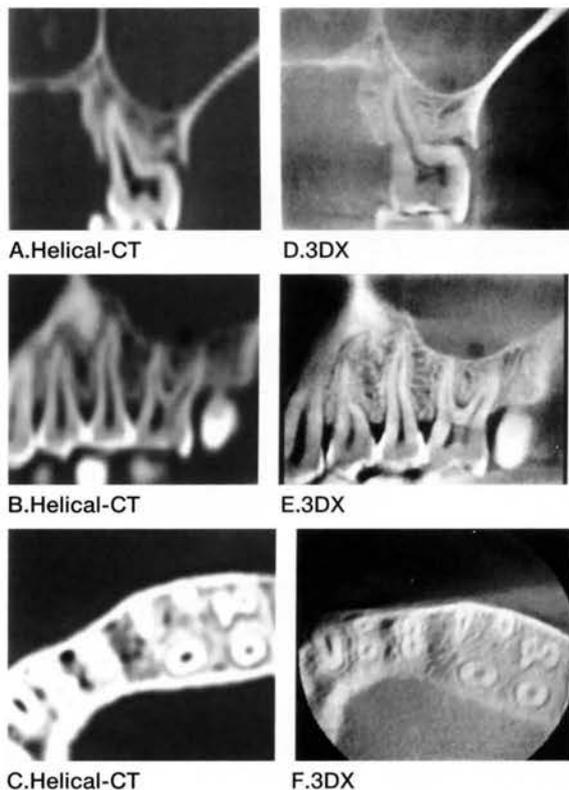


図4(A-F). ヘリカルCTと3DXによる上顎第一大臼歯部のX線像

図左のA-CはヘリカルCT像を示し、同部位の3DX像を図右のD-Fに示す。ヘリカルCTと比較して、3DXでは歯髄腔や歯槽白線の確認や、根尖と上顎洞の関係などが容易に行える。

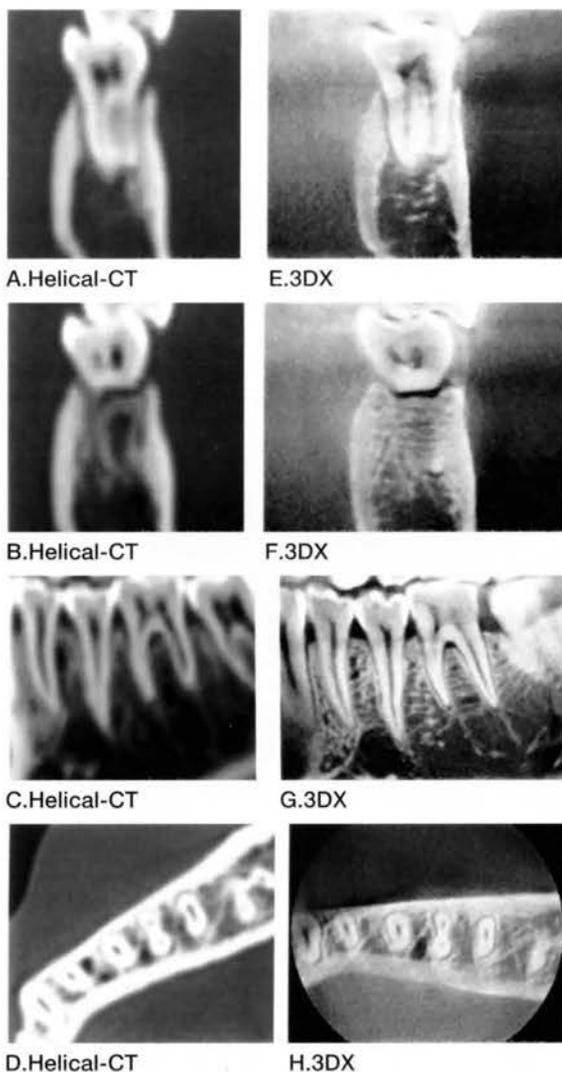


図5(A-H). ヘリカルCTと3DXによる下顎第一大臼歯部のX線像

図左のA-DはヘリカルCT像を示し、同部位の3DX像を図右のE-Hに示す。ヘリカルCTと比較して、3DXでは歯髄腔や歯槽白線の確認や、歯根分岐部直下の吸収の観察などが容易に行える。

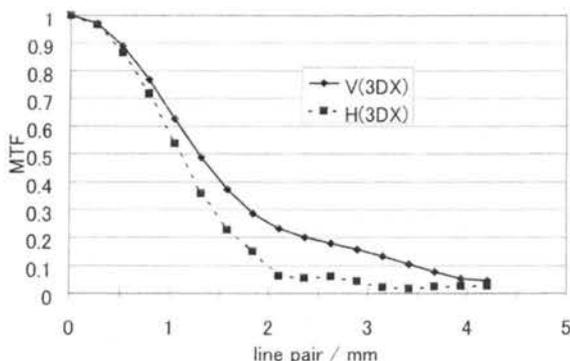


図6:3DXによる MTF

Araiらは³⁾照射野を回転中心部で高さ30mm幅40mmに制限したコーンビーム型CT (Ortho-CT)を独自に開発した。照射野を絞リ、LIをセンサーに使用することにより、被曝線量を従来のCTに比較して約1/30と大幅に減少させることが可能になった。また、Voxelが正立方形をしていて、1辺の長さが0.136mmと従来のCTに比較して小さく、2 line pair/mmの高い解像力があり、任意の方向の断面や3次元表示も可能であった。このOrtho-CTは1997年12月より日本大学歯学部倫理委員会の承認を受け日本大学歯科病院放射線科で臨床に応用された。1998年4月には1000症例を経験し、2000年1月には累積症例が2000例を越えた。症例の内訳は顎関節が約2割を占め、インプラントの術前診査、埋伏歯の位置確認、歯根嚢胞、歯性上顎洞炎などの診断に利用された⁴⁻¹⁵⁾。顎関節部の断層撮影法との比較では、有意に骨変化の検出率が高く⁷⁾、下顎頭包内骨節の症例では、回転パノラマや側斜経頭頭

表1:5段階評価法による3DXとヘリカルCTの比較

	平均	S.D.	95%信頼域
ツチ骨	3.75	0.87	0.49*
キヌタ骨	3.75	0.87	0.49*
下顎窩	4.07	0.37	0.13*
下顎頭	4.10	0.31	0.13*
皮質骨	4.46	0.54	0.04*
海綿骨	4.21	0.41	0.03*
エナメル質	4.08	0.34	0.09*
歯髄腔	4.00	0.54	0.13*
歯根膜腔	4.66	0.49	0.12*
白線	4.85	0.36	0.09*

*P<0.05

蓋撮影と比較し、両撮影法より正確に骨折線の確認が出来た⁸⁾。また、上野¹¹⁾は解剖体の顎関節と比較し90%以上の確立で骨変化を確認できるとし、Ortho-CTが他の撮影法より骨病態の検出に有効であると報告している⁴⁻¹⁵⁾。しかし、この装置は歯科用多機能撮像装置のフィルム保持装置の部分を改造して4インチのLIを搭載し使用していたため、撮像時の回転精度などに改善の余地があり、専用機の開発が待たれていた。このOrtho-CTに関する技術は日本大学国際産業技術・ビジネス育成センター(通称NUBIC)を通して、モリタ製作所に技術移転され、歯科および耳鼻科領域専用の小照射野X線CTの実用機として3DXが開発された。本研究では、3DXの基本性能をヘリカルCTと比較検討した。解像力において3DXは水平方向3.1 line pair/mm 垂直方向4.2 line pair/mmの値を示した。ヘリカルCTでの高コントラスト分解能は画素幅の1.5倍程度であることから、1.0から2.0 line pair/mm が限界とされているので、約2倍の解像力があると考えられた¹⁶⁾。画質については、今回対象としたすべての観察部位において3DXの評価がヘリカルCTより高く、とくに高い解像力が必要な海綿骨の構造の観察については良好な結果であった。また、耳小骨についてもヘリカルCTに比較して、3DXではより鮮鋭な画像が得られ、歯科のみならず耳鼻科領域での有効性が示唆された。被曝線量の評価は皮膚線量による相対的な評価であったが、3DXはヘリカルCTの1/100以下の皮膚線量を示した。ただし、両者のX線線質は異なることから、精密な比較のためには各臓器別の実効線量当量を求める必要がある。いずれにしても、3DXの被曝線量はX線CTの数パーセント以下と推察された^{17,18)}。視覚的なS/NはヘリカルCTに比較して3DXのほうが劣っていたが、これは3DXの照射線量がH-CTに比較して1/100と極端に少ないために、結果として量子ノイズが相対的に増加したために生じていると考えられた。

まとめ

日本大学からモリタ製作所へ技術移転して開発された小照射野X線CT“3DX”は解像度の限界が4 line pair/mmと高く、顎骨や内耳の硬組織の微細な観察が可能であった。また、被曝線量はヘリカルCTの数パーセント以下と推察された。今後の耳鼻科および歯科領域の硬組織診断に、有効性であると考えられた。

本研究は近畿通産局“平成9-11年度新規産業創造技術開発費補助事業”などによった。

謝辞；日本大学医学部耳鼻科学教室木田亮紀教授、鳴原俊太郎講師、斉藤雄一郎先生には内耳の画像について評価して頂きました。ヘリカルCTの撮像は日本大学医学部駿河台病院放射線科林 敬真技師にご協力頂きました。ここに御礼申し上げます。

文献

- Hounsfield G. Computerized Transverse Axial Scanning (Tomography) Part I Description of System. Brit. J. Radiol 1973 ; 46 : 1016-1022.
- 淵端 孟. 歯科における画像診断の進歩と可能性. 補綴誌, 1999 ; 43 : 2-5.
- Arai Y, Tammsalo E, Iwai K, et al: Development of Ortho Cubic Super High Resolution C T (Ortho-CT) . In: Car'98 Computer Assisted Radiology and Surgery, Amsterdam: Elsevier, 1998 ; 780-785.
- 荒木正夫、新井嘉則、島田英治、他：下顎骨にみられた歯牙エナメル上皮腫の1例. 歯科放射線, 1998 ; 38(4) : 266-267
- 新井嘉則、橋本光二、篠田宏司. 新しく開発された歯科用小型CT (Ortho-CT) -その臨床応用について-. 東京都歯科医師会雑誌, 1999 ; 47 (5) : 311-316
- Arai Y, Tammsalo E, Iwai K, et al: Development of a compact computed tomographic apparatus for dental. Dentomaxillofac radiol. 1999 ; 28 : 245-248.
- Honda K, Hashimoto K, Arai Y, et al: Clinical experience with Ortho-CT for diagnosis of the temporomandibular joint disorders. Dentomaxillofac Radiol 27 : 39, 1998 (supplement 1).
- 本田和也、新井嘉則、橋本光二、他：下顎頭の関節包内骨折の診断に対するOrthocubic super high resolution CT (Ortho-CT) systemの臨床応用 -回転パノラマ撮影および側斜位経頭蓋撮影との対比-. 日本顎関節学会, 1999 ; 11(3) : 186-192
- 新井嘉則、橋本光二、篠田宏司. 歯科用小照射野 X線CT (Ortho-CT) 用3次元画像表示プログラムの開発. 歯科放射線1999 ; 39(4) : 223-228
- 新井嘉則、橋本光二、江島堅一郎、他：歯科用小型X線CT (Ortho-CT)の臨床例1000例の統計的分析. 日歯医学会誌, 2000 ; 19 : 56-63
- 上野正博. 歯科用小照射野CT像を用いた顎関節形態の診断評価. 日大歯学, 2000 ; 74(4) (印刷中)
- 新井嘉則、篠田宏司、橋本光二、他：小照射野三次元X線CT (Ortho-CT)による中耳及び内耳の画像. 断層映像研究会雑誌, 2000 ; 27(2) (印刷中)
- Terakado M, Hashimoto K, Arai Y, et al: Diagnostic imaging with newly-developed ortho cubic super high resolution CT (Ortho-CT). Oral Surg Oral Med Oral Pathol. 2000 ; 88 (in press)
- 橋本光二、寺門正昭、新井嘉則、他：歯科用小照射野X線CT (Ortho-CT)の口腔外科領域への臨床応用. -病変と下顎管との関係に対して-. 歯科放射線. 2000 ; 40 : (印刷中)
- 荒木正夫、新井嘉則、橋本光二、他：顎骨にみられた不透過性病変の内部性状に関する研究. 第1報 56症例の歯科用小照射野XCT (Ortho-CT)像の観察. 歯科放射線. 2000 ; 40 : (印刷中)
- 岩井喜典. 電子工学進歩シリーズ. CTスキャナ. 65-69, コロナ社. 東京
- Christiansen EL, Moore RJ, Thompson JR, et al: Radiation Dose in Radiography, CT, and Arthrography of the Temporomandibular Joint. AJR 1987 ; 148 : 107-109.
- Frederiksen NL, Benson BW, Sokolowski TW. Effective dose and risk assessment from computed tomography of the maxillofacial complex. Dentomaxillofac. Radiol. 1995 ; 24 : 55-58.

ダウンロードされた論文は私的利用のみが許諾されています。公衆への再配布については下記をご覧ください。

複写をご希望の方へ

断層映像研究会は、本誌掲載著作物の複写に関する権利を一般社団法人学術著作権協会に委託しております。

本誌に掲載された著作物の複写をご希望の方は、(社)学術著作権協会より許諾を受けて下さい。但し、企業等法人による社内利用目的の複写については、当該企業等法人が社団法人日本複写権センター（(社)学術著作権協会が社内利用目的複写に関する権利を再委託している団体）と包括複写許諾契約を締結している場合にあっては、その必要はございません（社外頒布目的の複写については、許諾が必要です）。

権利委託先 一般社団法人学術著作権協会

〒107-0052 東京都港区赤坂 9-6-41 乃木坂ビル 3F FAX：03-3475-5619 E-mail：info@jaacc.jp

複写以外の許諾（著作物の引用、転載、翻訳等）に関しては、(社)学術著作権協会に委託致しておりません。

直接、断層映像研究会へお問い合わせください

Reprographic Reproduction outside Japan

One of the following procedures is required to copy this work.

1. If you apply for license for copying in a country or region in which JAACC has concluded a bilateral agreement with an RRO (Reproduction Rights Organisation), please apply for the license to the RRO.

Please visit the following URL for the countries and regions in which JAACC has concluded bilateral agreements.

<http://www.jaacc.org/>

2. If you apply for license for copying in a country or region in which JAACC has no bilateral agreement, please apply for the license to JAACC.

For the license for citation, reprint, and/or translation, etc., please contact the right holder directly.

JAACC (Japan Academic Association for Copyright Clearance) is an official member RRO of the IFRRO (International Federation of Reproduction Rights Organisations).

Japan Academic Association for Copyright Clearance (JAACC)

Address 9-6-41 Akasaka, Minato-ku, Tokyo 107-0052 Japan

E-mail info@jaacc.jp Fax: +81-33475-5619