

論文 小照射野三次元X線CT (Ortho-CT) による中耳及び内耳の画像

新井 嘉則 篠田 宏司
橋本 光二 田中 良明*

日本大学歯学部放射線学教室 *日本大学医学部放射線学教室

Images of the middle and inner ear using limited-cone-beam 3D X-ray CT (Ortho-CT)

Yoshinori ARAI, Koji SHINODA,
Koji HASHIMOTO, TANAKA Yoshiaki*

Department of Radiology, Nihon University School of Dentistry
*Department of Radiology, Nihon University School of Medicine

Purpose: To report the high quality images of middle and inner ear obtained using limited-cone-beam three-dimensional x-ray CT (Ortho-CT) developed by authors.

Material and method: We have developed and reported about principle and images of Ortho-CT. This system is small three-dimensional X-ray CT which is remodeled from the multi-functional tomographic machine for dental use (Scanora™, Soredex Co., Helsinki, Finland). The patient who is examined can sit down on the chair of the system and his head is fixed. X-ray sensor used is 4 inches imaging intensifier (I.I.). The size of X-ray beam is 32mm high and 40mm width at rotational center. The exposure conditions are consisted of 85kVp, 10mA, adder filter 1mmCu and 3mm Al. The exposure time is 17 seconds. The 512 projection images from 360 degree are recorded on the personal computer (Pentium II 333MHz Intel, USA). CT images are reconstructed from the projection images. The reconstruction time is about 7 minutes using personal computer system (Pentium III 550MHz, Intel, USA). The voxel is ortho-cubic figure (each side of size: 0.136mm). The figure of imaging area is cylinder type (32mm high, 38mm diameter).

In this study, the middle and inner ear of a volunteer (61-years-old male) was examined with this system to evaluate its performance.

Results: The images obtained were very high quality. Therefore the images of the auditory ossicles and inner ear can be very useful for the diagnosis of small bone destruction by the pathosis.

Conclusion: We developed limited-cone-beam three-dimensional x-ray CT. The images of inner ear and auditory ossicles were shown with a very high quality using this system. The system is expected to be applied for clinical use to the diagnosis of the ear disease.

Key words: CT, cone-beam CT, ear, auditory ossicles, personal computer

はじめに

X線CTは1972年 Hounsfieldと Ambroseが開発し^{1, 2)}、その後全身用のCTとして、より高速、高い解像度の画像が得られる装置の開発が行われた。その適応症は広範囲のものになり、現在CTは二次、三次医療機関で広く使用されるに至っている。しかしながら、慢性かつ局所的な疾患の場合、被曝線量³⁾、装置の大きさ、コストなどの点でその適用には問題があった。歯科一般医療機関は大部分が一次医療機関で、大病院などの例外を除けば、CTの普及率はほぼ0%である。そこで、新井らは歯科専用特化したX線CTの開発に1992年から取り組み、1997年に実用化に至り現在日本大学歯科病院で臨床応用を重ね、すでに

2000症例が累積されている⁴⁻⁸⁾。本論文では、この歯科用に開発したX線CTの概要について報告する。また、本装置を使用し、中耳及び内耳を撮像した結果、耳小骨などの鮮鋭な画像が得られたので報告する。

装置概要

本装置はコーンビーム型X線CTの一つであるが、その照射野を矩形に絞込んであることを特徴とする。図1に装置の模式図を示す。X線管球と4インチのImaging Intensifier (以下II)が対向して並び、回転中心に被写体を位置付ける。回転中心部でのX線束の大きさは高さ30mm、幅38mmの長方形をしている。撮像条件は管電圧85kVp、管電流10mA、付加濾

表1 Ortho-CT撮影条件

管球方式	固定焦点(0.3×0.3mm)
冷却方式	油冷
電源方式	インバータ方式直流
管電圧	85kVp
管電流	10mA
付加フィルター	1mmCu+3mmAl
回転中心焦点管距離	33.0cm
回転中心I.I.間距離	26.0cm
焦点I.I.間距離	59.0cm
センサー	4インチI.I.
撮影時間	7秒
投影データ数	512枚
1枚の投影データの大きさ	240×320Pixel
量子化	8bit
回転中心部での照射野	高さ30mm 幅38mm
画像再構成法	フィルター逆投影法
画像再構成時間	7分(Pentium III 550Mhz)
Voxel size	0.136×0.136×0.136mm
撮影領域	円柱形 高さ32mm, 240voxel 直径38mm, 300voxel
垂直水平解力	2LPmm(MTF=0), 1LPmm(MTF=0.5)

過1mmCu、3mmAlで、撮像時間は17秒とした。対向したX線管球とI.I.が被写体の周りを一回転し、投影データを収集する。画像はI.I.からCCD(charged coupled device)カメラで受像され、毎秒30枚の割合でパーソナルコンピュータ(Pentium II 333MHz)にてA/D(Analog/Digital)変換され記録される。記録される投影画像は全部で512枚で、一枚の画像は縦が240pixel、横が320pixelとして、各pixelは8bitで量子化した。撮像条件等の詳細については表1に記した。ここで得られた画像から、I.I.の糸巻き歪みなどを補正したのち、通常のX線CTで一般的に用いられているフィルター逆投影法で画像を再構成した。本方式はコーンビーム方式特有のビームの回転軸(上下)方向の広がりについての補正は行わなかった。画像再構成にはLANで接続されている他方のパーソナルコンピュータ(Pentium III 550MHz)に生データを転送しそこで画像再構成をした。処理時間は約7分であった。画像再構成の範

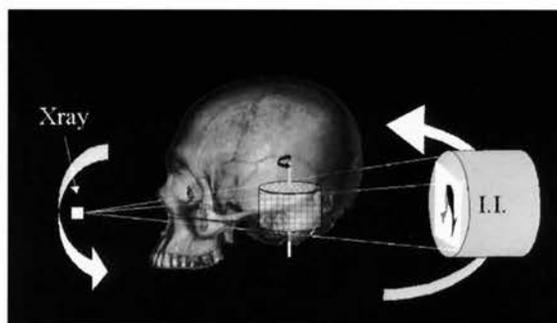


図1 小照射野三次元X線CT(Ortho-CT)の原理図
コーンビーム型CTの一種で、その照射野が絞りにまれている。



図2 Ortho-CT全景

装置は歯科用多機能断層撮像装置のフィルムカセット装着部に4インチのI.I.を搭載した。

囲は高さで240Voxel(32mm)直径で300Voxel(38mm)の円柱型であった。Voxelの大きさは正立方型で一辺の長さが0.136mmであった。画像はVoxel単位で任意の幅、任意の間隔、方向からの断層像が再構成された。臨床では間隔、幅とも0.5mmまたは1mmで、水平断、観察したい部位の前額、矢状断を連続的に画像化した。この連続画像をパーソナルコンピュータ用のビデオファイルに変換し、一般的なパーソナルコンピュータで容易に再生できるようにした⁴⁷⁾。

使用した装置の全景を図2に示す。本装置の開発は歯科用多機能断層撮像装置Scanora™(Soredex Co., Helsinki, Finland)を改造することで行われた。この装置のフィルムカセット保持部に4インチのI.I.を搭載した。解像力については0.1mmの円柱状の銅線を撮像し、LSF(line spread function)を求めMTF(modulation transfer function)法で求めたところ、

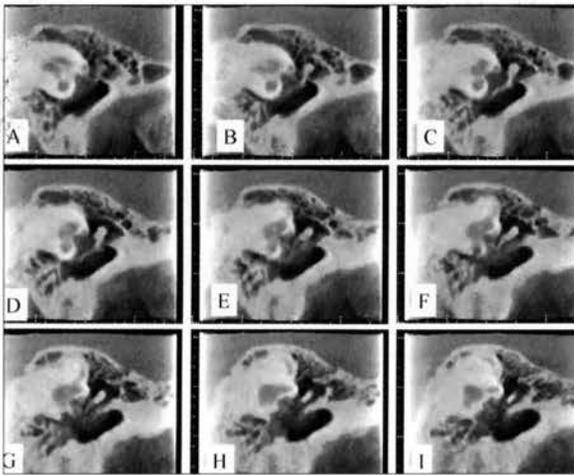


図3-①-A-I 左側中耳及び内耳の連続断面像
前額断より右へ25度回転した面に平行な面での断層像
(0.5mm幅0.5mm間隔)

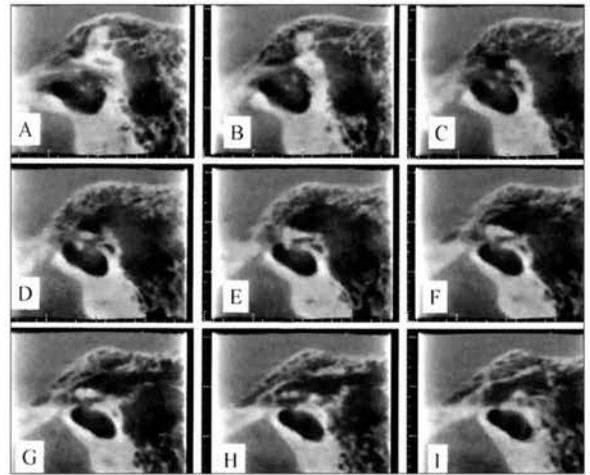


図3-②-A-I 左側中耳及び内耳の連続断面像
矢状断より右へ25度回転した面に平行な面での断層像
(0.5mm幅0.5mm間隔)

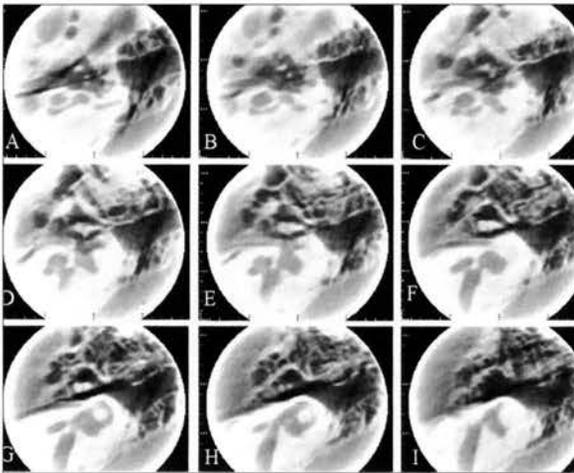


図3-③-A-I 左側中耳及び内耳の連続断面像
眼耳平面に平行な面での断層像(0.5mm幅0.5mm間隔)

水平方向垂直方向ともに、MTFが0となる限界点が2.0 line pair / mmという結果であった。また、MTFが0.5となる点は1.0 line pair / mmであった⁴⁾。皮膚線量はTLD (thermo-luminescence dosi-meter)で測定した結果0.62mGyであった⁸⁾。

中耳及び内耳の撮像

〈対象及び方法〉

61歳、男性のボランティアについて左側の中耳および内耳の撮像を行った。患者を座らせ、眼耳平面を床と平行になるように頭部を固定した。回転中心は、正中矢状面に平行で眼窩下中央部を通過する面を仮想し、この面に外耳孔から垂線をおろしその交点とし

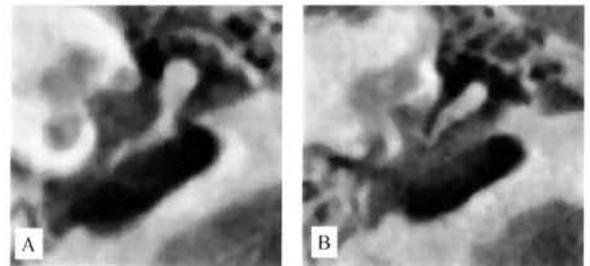


図4 耳小骨の拡大
A 槌骨、B 砧骨とアブミ骨

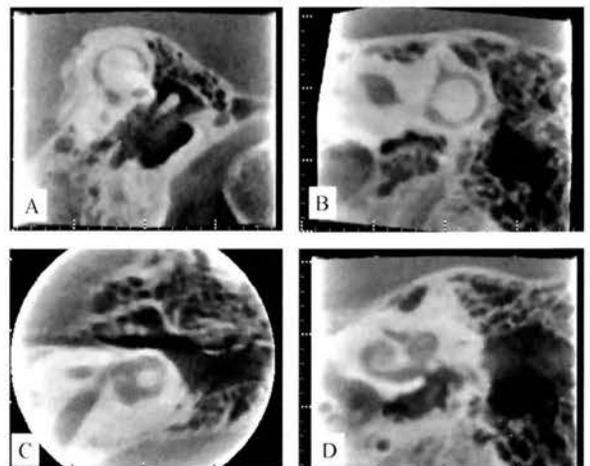


図5 三半規管と蝸牛
A 前半規管、B 後半規管、C 外側半規管、D 蝸牛

た。撮像条件は前述の条件とした。画像はまず、水平断、矢状断、前額断の三方向像について0.5mm厚さ、0.5mm間隔で再構成した後、耳小骨の長軸に対して平行になるように断層面を定めて再度構成を行った。三半規管及び蝸牛についても、それぞれに対して横断できる方向を設定し画像を再構成した。

結 果

図3-①-③は前述の条件で画像再構成した左側の中耳および内耳の連続的な断層像である。図3-①-A-IIは砧骨の長軸に断面が一致するように前額断に対し、右へ25度回転した面に平行に連続的に画像を再構成した。図3-②A-IIは図3-①の面と眼耳平面に対して垂直な面、すなわち、矢状面に対して右へ25度回転した面に平行に連続的に画像を再構成した。図3-③-A-IIは眼耳平面に平行に連続的に画像を再構成した。図4-Aは槌骨を、図4-Bは砧骨とアブミ骨を示す。図5-A-Cは三半規管のそれぞれの断面を示す。図5-Dは蝸牛を示す。

考 察

歯科専用のX線CTに求められる基本的な性能は、空間分解能が高いこと、低被曝であること、小型であることなどが上げられる。特に、歯科領域では歯や顎骨などの硬組織疾患が中心であるので、本装置では空間分解能を重視し、濃度(軟組織)分解能をあえて低いものとした。従来のCTでは、前述の二者をとともに高めることが要求され、そのために装置の大型化や被曝線量の増大は避けられなかった。特にらせん型CTの開発により管球の熱容量が増大し、コストも高くなるを得なかった。本装置では空間分解能のみを重視することによって、センサーにダイナミックレンジの低いILを使用することができた。また、硬組織は高いX線コントラストを有するので、その描出にはILで十分であった。

一般にCTでは被写体全体を照射野内に置かなくては、アーチファクトが出現したり、正しいCT値が求められないなどの不具合が生じることは良く知られている。これに対して本装置では頭部全体をコーンビームが被っていないので、完全な投影データは得られていない。部分的な投影データしかないために、本装置では正確なCT値を求めることは原理的に不可能で、各Voxelの相対的なX線吸収率しか求めることができない。しかも、ILの感度曲線は非線形なので、相対的な値も精密なものとは得られない。また、照射野の外側

にある被写体によって、アーチファクトが生じる。しかし、骨自体が高いX線コントラストを持つために信号強度が強く、相対的にアーチファクトの信号レベルより骨の方が強くなり診断に十分な画像が再構成された。歯、顎骨及び耳小骨などの診断ではその形態自体が重視され、正確な濃度情報が不要な場合は、本装置のような部分投影データによる画像再構成法でも、従来のCT像⁹⁾に比較しても診断に有効な画像情報が提供できることが確認できた。

本装置の画像再構成法は一般的なフィルター逆投影法を使用した。コーンビーム方式の場合、理論的には回転軸に対して上下方向のビームの広がりを補正する必要があるが、計算を簡便にするために本装置ではそのような補正は行わなかった。上下方向のビームの仰角が大きい場合は前述の補正をしない場合、診断の妨げになるアーチファクトが生じるが、本装置の場合仰角が約5度と小さいために補正をしなくてもその影響は少なかったと考えられた。この補正を行わないことにより、画像再構成の演算が比較的簡便になりパーソナルコンピュータでも短時間で画像再構成が可能となった。

本研究では、ボランティアの中耳及び内耳の撮像を行ったが、非常に鮮鋭な耳小骨の画像が得られた。また、1度の撮像で任意の断層面の画像を再構成できるので、三半規管の外側・前・後半規管を鮮鋭に描出することが可能であった。再構成ソフトを使用することで三次元表示画像の再構成も可能と考えられた。

最新のマルチスライスヘリカルCTであっても軸方向のVoxelの高さは0.5mm程度^{10,11)}が最小で、本装置と比較して約4倍の大きさがあり、MPRでの画質は十分とはいえない。本装置の画像はVoxelは1辺が0.136mmと小さく、正立方体であるためにどの方向の断面で画像再構成をしても、一様に高い解像力が得られるため、内耳のような複雑な構造であっても診断に有効な画像情報が得られると考えられた。また、本装置の被曝線量については従来のCTに比較して約1/30以下ときわめて少ないことが岩井らによって報告されている⁸⁾。

現在、本装置は1997年に日本大学歯学部倫理委員会の許可を得て、歯科臨床に使用され、その症例数は2年間で1950例を越えている。今後、耳鼻科領域でも応用されることが期待された。また、本装置は小型で低被曝線量⁸⁾で高い解像力があることから、局所の慢性的な硬組織疾患の診断に有効であり、歯科や耳鼻

科領域の一次医療機関に普及すると考えられた。

結 論

部分投影データによるコーンビーム方式の小照射野三次元X線CT (Ortho-CT) 開発し、内耳の微細な構造を観察した結果、耳小骨を鮮鋭に画像化することができた。本装置は従来のCTに比較して、小型で低被曝線量でしかも硬組織に対して高い解像力を有するので今後の臨床応用が期待された。

文 献

1. Hounsfield G. : Computerized Transverse Axial Scanning(Tomography) Part1 Description of System. Br J Radiol 46;1016-1022, 1973.
2. Ambrose J. : Computerized Transverse Axial Scanning(Tomography) Part 2 Clinical Application. Br J Radiol 46; 1023-1047, 1973.
3. Frederiksen NL, Benson BW, Sokolowski TW. : Effective dose and risk assessment from computed tomography of the maxillofacial complex. Dento-maxillofac radiol 24; 55-58, 1995.
4. Arai Y, Tammissalo E, Iwai K, Hashimoto K, Shinoda K. Development of Ortho Cubic Super High Resolution CT(Ortho-CT). In: Car'98 Computer Assisted Radiology and Surgery, Amsterdam: Elsevier; 780-785, 1998.
5. 新井嘉則、岩井一男、橋本光二、篠田宏司:臨床応用を目的としたMicro CTの開発, 歯科放射線 38; 46 (抄録)、1998
6. 新井嘉則、江島堅一郎、岩井一男、橋本光二、篠田宏司:Ortho-CT用3次元画像表示プログラムの開発, 歯科放射線 38(3); 213. (抄録)、1998.
7. Y. Arai, E. Tammissalo, K. Iwai et al: An advanced imaging system. Ortho Cubic Super High Resolution CT (Ortho-CT). Dentomaxillofac radiol 28; 245-248, 1999.
8. Iwai K, Arai Y, Nishizawa K, Tammissalo E, Hashimoto K, Shinoda K: Estimation of radiation doses from Ortho Cubic Super High Resolution CT Dentomaxillofac radiol. 28; Supplement 1:39, (abstract), 1998.
9. 中村 實、松波英一、山田實紘、河野親夫: X線CT検査の実践, 358-366, 初版, 医療科学社、東京、1999.
10. 辻岡勝美: マルチスライスヘリカル CT, INNERVISION 14: 30-32, 1999.
11. 利府俊裕: 機器発表 マルチスライスCTの現状 Aquilion, INNERVISION 14: 40-42, 1999.

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