

(65)

氏名(生年月日)	シバ 芝 田 高 志
本 籍	
学位の種類	博士(医学)
学位授与の番号	乙第 2132 号
学位授与の日付	平成 14 年 1 月 18 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 2 項該当(博士の学位論文提出者)
学位論文題目	Applying very high resolution microfocus X-ray CT and 3-D reconstruction to the human auditory apparatus (超高分解能 X 線断層撮影法および立体再構築画像のヒト聴覚器に対する応用)
論文審査委員	(主査) 教授 佐々木 宏 (副査) 教授 吉原 俊雄, 太田 博明

論 文 内 容 の 要 旨

〔目的〕

高分解能コンピュータ X 線断層撮影法(医用 CT)は, 必要不可欠な非浸潤的検査手法であるものの, 空間分解能(最高でも 0.4 mm 程度)の限界から, 微細構造の観察は困難である。しかし, この問題の克服は, 組織切片作製なしの生検や疾病の早期発見など, 生体の詳細な画像解剖を可能とさせる。

最近, 放射光を利用し, 吸収法による摘出海綿骨(空間分解能 8 μm)の撮影, フェーズコントラスト法による兎の肝臓癌組織(空間分解能 30 μm)の撮影など, 飛躍的に分解能を向上させた超高分解能 X 線断層撮影法($\mu\text{-CT}$ と慣用されるがここでは MFXCT)の成功事例が報告されている。しかし, ヒトを対象とした研究, 殊に, 胎児の聴覚器に関する研究は過去に医用 CT も含め皆無である。そこで, MFXCT の解剖学および臨床応用の可能性の追究を目的に, 最も複雑な形態の 1 つであるヒト胎児の中耳, 内耳の撮影を試みた。

〔対象および方法〕

頭殿長 190 mm (推定 24 週齢)のヒト胎児標本の側頭骨錐体部を剖出し, 測定試料とした。X 線源にマイクロフォーカス開放管を用いた最高 2.5 μm の空間分解能を有する特別に試作された工業用 MFXCT を用い, 画素サイズ 50 μm , 画素数 2,048 個の 1 次元検出器による断層撮影を行った。断層像の厚さは 100 μm とし, フィルター補正逆投影法により 1,024 \times 1,024 画素の画像再構成を行った。得られた 100 枚の連続断層像から, ポリウムレンダリング法により立体画像の再構

築を試みた。

〔結果〕

MFXCT 像には, 鼓室輪, 耳小骨, 蝸牛, 前庭窓, 三半規管の骨迷路, 側頭骨鱗部など聴覚器全景が撮影され, 過去最高分解能 7 μm の断層像からは, ツチ骨, キヌタ骨の海綿構造およびツチ・キヌタ骨関節が, 蝸牛の断層像からは, 蝸牛軸, 骨・膜ラセン板などの微細構造も, それぞれ鮮明に観察された。

立体再構築像からは, 耳小骨, 鼓室輪, 蝸牛, 三半規管の一部, およびそれぞれの立体的位置関係が極めて明瞭に描画された。さらに, 透過率を持たせたところ透視像のように内部の海綿構造も認識された。外耳道から眺めた中耳および鼓室から外耳を眺めた景色から, 鼓室輪とツチ骨の前突起の関係を解析したところ, 両者が(体内最小の)関節様の構造を呈していた。

〔考察〕

Vesalius によって 1543 年に既に描かれている耳小骨の明瞭な形態は, 最新の医用 CT でも描画できなかったが, MFXCT は鮮明な映像を与えた。生体応用のためには, 軟組織をも解像できる広ダイナミックレンジの検出系の開発, 測定時間の短縮および被曝量の減少のための高感度検出系の開発が必要と考えられる。

X 線管球を用いた MFXCT は放射光のそれと異なり, 設備, 装置の大きさやランニングコストなどの面からはるかに簡便であり, 装置の大型化により医用応用の可能性が高いと思われる。

〔結論〕

1. 最高分解能の断層像により耳小骨や蝸牛の骨構造の撮影に成功し、立体再構築画像から、従来知られていないヒト胎児の中耳の解剖学的な構造を明らかにした。

2. 微細構造を可視化させる MFXCT は医学用途としても重要な役割を果たすため、基礎研究および臨床応用を可能とする機器開発の重要性を本研究は示した。

論文審査の要旨

医用 CT 装置では、空間分解能に限界があり、微細な構造の解析はほとんどできない。本研究は、工業用に開発された超高分解能 X 線断層撮影装置 (μ -CT) をヒト胎児に初めて応用したものである。医用 CT の空間分解能は 0.4 mm であるのに対して、 μ -CT のそれは 2.5 μ m である。

頭殿長 190 mm のヒト胎児の側頭骨錐体部を研究の対象とした。画素サイズは 50 μ m, 画像数 2,048 個の 1 次元検出器によって、断層撮影を行った。断層像の厚さは 100 μ m であった。100 枚の連続断層像から、ポリユウムレンダリング法によって立体画像を再構築した。

鼓室輪、耳小骨、蝸牛、前庭窓、三半規管の骨迷路、側頭骨鱗部などが撮影され、過去最高の分解能 7 μ m の断層像から、つち骨、きぬた骨、両者の関節、蝸牛軸、骨・膜ラセン板などが鮮明にとらえられた。また立体像からは、内耳諸構造の相互位置関係がはっきり描かれた。さらに鼓室輪とつち骨前突起とが関節様構造を呈していた。 μ -CT はこれまでほとんど不可能であった、立体微細構造の把握に有効な方法である。

主論文公表誌

Applying very high resolution microfocus X-ray CT and 3-D reconstruction to the human auditory apparatus (超高分解能 X 線断層撮影法および立体再構築画像のヒト聴覚器に対する応用)

Nature Medicine Vol 2 No 8 933-935 頁 (1996 年 8 月発行) 芝田高志, 永野貞子

副論文公表誌

- 1) First attempt to apply ultrahigh-resolution microfocus X-ray computed tomography to the human fetal auditory ossicles (ヒト胎児の耳小骨に対する超高分解能 X 線断層撮影法の初めての試み). Biocybernet Biomed Eng 17(3・4) 105-118 (1997) 芝田高志, 永野貞子
- 2) Tomograms of the arterial system of the human fetal auditory apparatus obtained by very-high-resolution microfocus X-ray CT and 3D reconstruction (超高分解能 X 線断層撮影法および 3 次元画像再構築法により得られたヒト胎児聴覚器の動脈系の断層像). 解剖誌 74(5):545-553(1999)

芝田高志, 松本寿美子, 永野貞子

- 3) Recent advances in microfocus X-ray computed tomography (MFXCT, μ -CT) as a medical imaging tool for anatomy and stereo 3-D expression and virtual resin models: an attempt to detect soft tissues within hard tissues with spatial resolution of a few micrometers using the human fetal auditory apparatus (解剖学のための医用画像法としてのマイクロフォーカス X 線断層撮影 (MF-XCT, μ -CT), ステレオ 3 次元画像表現およびバーチャル樹脂模型の最近の進歩: ヒト胎児の聴覚器を例に硬組織中の軟組織を空間分解能数 μ m でとらえる試み). Ital J Anat Embryol 104(Suppl 1):638(1999) 芝田高志, 松本寿美子, 高山幹子, 石井哲夫, 阿岸鉄三, 永野貞子
- 4) 正常と異常のバイオクリスタリゼーションならびに生体関連成分 (血液) 共存下の複雑系における結晶成長 (総説). 日結晶成長会誌 28(2):85-94 (2001) 芝田高志