

特集 ( 21 世紀を見据えた画像診断と  
Interventional Radiology (IVR) )

## 第 12 回公開「シンポジウム」

### 21 世紀を見据えた画像診断と Interventional Radiology (IVR)

#### A New Horizon of Diagnostic Imagiology and Interventional Reditology at 21st Century

新しい 3 次元画像診断法の開発と臨床評価：  
Multidetector-row CT を用いた 3 次元 CT 血管造影法を中心に

林 宏光 高木 亮 内山菜智子  
高浜 克也 古川 一博 隈崎 達夫  
日本医科大学放射線医学教室・ハイテクリサーチセンター

Principles, Techniques and Clinical Applications of Three-dimensional  
CT Angiography Using a Multidetector-row CT Scanner

Hiromitsu Hayashi, Ryo Takagi, Nachiko Uchiyama, Katsuya Takahama,  
Kazuhiro Hurukawa and Tatsuo Kumazaki

Department of Radiology and Center for Advanced Medical Technology, Nippon Medical School

Key words: Spiral CT, Multidetector-row CT, Three-dimensional CT, CT angiography

#### はじめに

複雑な人体の内部構造を非侵襲的に観察し、これを立体的に表示することは、医療における長年の夢であった。1972 年、Hounsfield らにより X 線 CT が開発され、これまでにない高い濃度分解能で人体の横断像を得ることが可能となった。

X 線 CT は X 線が物体を透過する性質を利用して、被験者に対して同心円的に多方向から X 線を照射し、その透過 X 線強度を計測して断面各点における線吸収係数を求めることで断層像を得ている。この多方向からのデータ収集法には幾つかの方式が実用化されたが、撮影中に被験者の位置を変えないことが、任意の位置の X 線 CT 像を得るための大原則とされてきた。

#### らせん走査型 CT の原理とその利点

X 線 CT の開発における革命的な進歩は、らせん走査型（ヘリカル、スパイラル）CT の開発に他ならない。らせん走査型 CT とは X 線管球を同一方向に連続回転させながら検査寝台を体軸方向に定速移動することで、被験者をらせん状にスキャンし、その投影データを取得することが可能な CT 装置である。従来のケーブルさばき型 CT と比較した臨床的利点としては、①スキャン停止時間がないため、短時間で広範囲の検査が可能、②1 回の呼吸停止下で検査対象臓器の全体をスキャンすることができるため、息継ぎによる空間的位置のずれが生じない、③任意の位置での薄層情報が得られるため、小病変の検出に有効、④短時間で検査し得るため、小児や緊急検査に有効、などがあげられる。中でも本装置により短時間で体軸方向の連続性に優れた容積情報が得られる点と、高速撮影することで明瞭な血管像が得られる点とに着目した 3 次元 CT 血管造影法は、従来のカテーテルを用いた血管造影に変わり得る低侵襲的脈管診断法として注目され、

現在, 広く普及しつつある<sup>12</sup>.

### 3次元画像表示

3次元画像表示とは, 何らかの方法を用いて対象物を立体的に見せる技術である. これには従来から2つの方法が提案されていた. 一つはホログラム, ミラー, 液晶などの光学的機器を用いて3次元物体の奥行き間を立体的に表示するものであり, 「真の3次元表示」とも呼ばれている. もう一つはコンピュータ技術に応用した比較的新しい方法であり, コンピュータグラフィックスやワークステーションなどの著しい進歩により, 近年目覚ましい発展がみられる方法である. 現在の3次元CT血管造影像はこの方式により作成されるものが主流であり, 「疑似3次元表示」とも呼ばれる.

### 3次元画像処理の流れと手順

複数の薄層CT横断像を3次元データに拡張して, 写實的で現実感のある3次元画像を作成するための処理はレンダリングと総称され, これはモデリングとビューイング, シェーディングから成る<sup>3</sup>.

モデリングとは多くの横断像から体軸方向のデータ再構成を行い, これまで2次元画像を構成する最小画素単位であるピクセルとしてとり使われてきたデータを3次元的なボクセルに拡張する3次元データ構築と, サーフェスレンダリングの際に必要な領域抽出ならびにモデル化から成る. モデリングの後, ビューイング, シェーディングが行われる. ビューイングとは観察方向により見えなくなる線・面の操作を行うことであり(陰面処理), シェーディングとは光源の数や位置により物体に明暗陰影をつけることを指す(陰影付け).

レンダリングはその対象となるデータの取り扱い方により2つの手法に大別される. ひとつはレンダリング処理の高速化のため, 表示臓器を抽出して幾何学的モデルを構築し, これを対象に3次元画像表示するものであり, サーフェスレンダリングがその代表である. データ量の削減が可能で高速ハードウェアが利用できる反面, 表面以外の情報が失われる欠点があり, 現在では医用3次元画像処理にあまり用いられなくなった. もう一方は予め領域抽出を行わず, 3次元データから直接3次元画像表示を行う手法であり, ボリュームレンダリングと呼ばれる. データ量が多く計算時間がかかるものの, 物体の内部情報を保持しているため柔軟性にとんだ画像処理が可能である. 当教室ではこれまでにボリュームレンダリング法に属し, 表示対象臓器のCT情報を欠落することなく3次元画像再構成できるvoxel transmission法, ならびにvirtual CT endoscopy(仮想CT内視法)の再構成ソフトウェアであるCruising Eye View法(図1)を

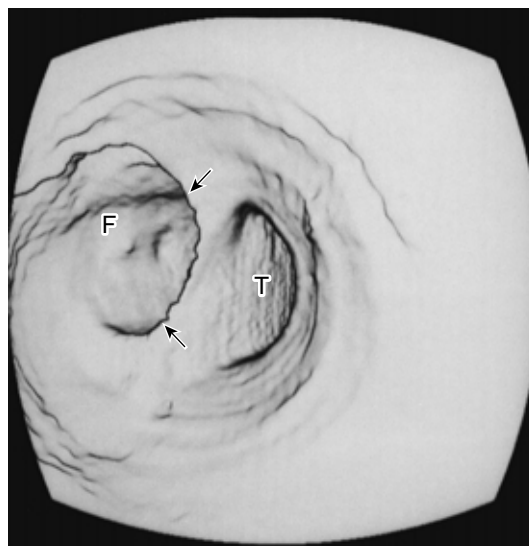


図1 Cruising Eye View法による大動脈解離症例の大動脈内腔の評価  
大動脈内腔から解離の状態を評価することが可能である. T: 真腔, F: 解離腔, 矢印: entry

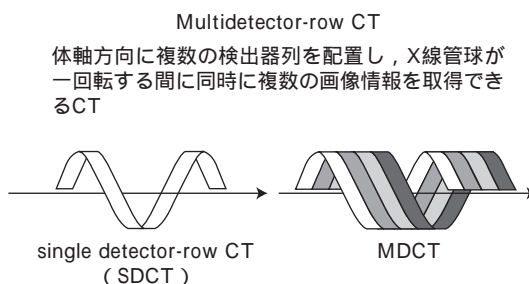


図2 Multidetector-row CT とらせん操作型CTのちがい  
MDCTでは複数の筆(検出器)を用いて一筆書きするようにデータ収集を行うことができる.

国内外に先駆けて開発し, 広く利用可能なものとした<sup>45</sup>. 3次元画像処理とは, 多くの2次元情報の中から目的に応じてこれを取捨選択し, 情報量を減らすことで付加価値を得る処理であるとも言える.

### Multidetector-row CT (マルチスライスCT)の開発

らせん操作型CTを利用することで, 「一筆書き」をするように人体の容積情報を収集し得るようになったが, この際に利用できる筆の数(検出器の数)は1本(1列)のみであった. 従って, 検査目的に応じて時間分解能を優先したり, あるいは空間分解能を優先するなど, 臨床的には少なからぬ制約があった.

この問題を根本から解決する糸口が, 1990年代後半に開発された multidetector-row CT (MDCT, マルチスライスCT)により見いだされた. MDCTとは

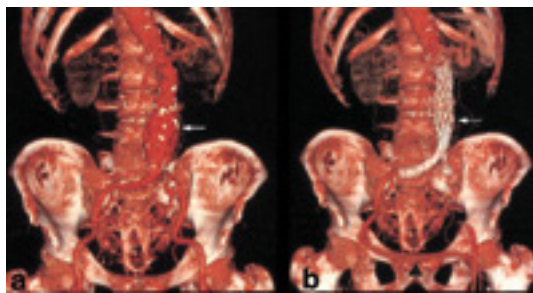


図3 腹部大動脈瘤に対するステントグラフト留置術前後の3次元CT  
a: 留置前では腎動脈分岐下に紡錘状の大動脈瘤を認める(矢印). b: mono-iliac stent-grafting (矢印)ならびにF-Fパイパス(矢頭)術を施行し、動脈瘤は消失した。

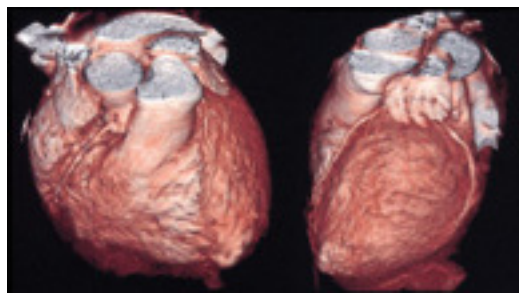


図5 Coronary MDCT angiography  
心電図同期下でおよそ15秒程度の検査を行い、得られた容積情報から拡張期の画像を再計算し、冠動脈のCT血管造影を再構築した。心拍動の影響なく、末梢までの評価が可能である。

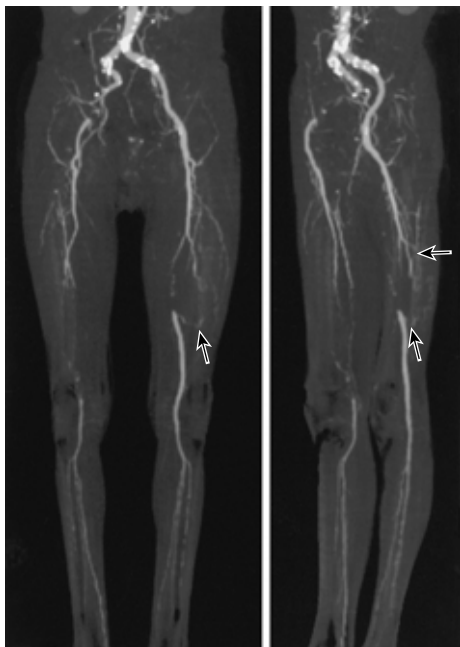


図4 重症閉塞性動脈硬化症のMDCT angiography  
およそ20秒で大動脈分岐部から踝までの評価が可能である。右総腸骨動脈から浅大腿動脈は完全閉塞している。左浅大腿動脈は閉塞し、深大腿動脈からの側副路(矢印)により末梢側が描出されている。

体軸方向に複数の検出器列を配置し、X線管球が1回転する間に同時に複数の画像情報を得ることが可能なCT装置である<sup>6)</sup>。これまでのらせん操作型CTが1本の筆(単一検出器)で情報を収集していたのに比較して、4本あるいは8本さらには16本の筆(多列検出器)で一気に情報を収集することが可能である(図2)。この結果、さらに短時間(～20秒)で、より広範囲(～120cm)の容積情報を、しかも空間分解能の劣化を来すことなく(1.25mm～)取得できるようになった。これに加え、MDCT専用の再構成アルゴリズム

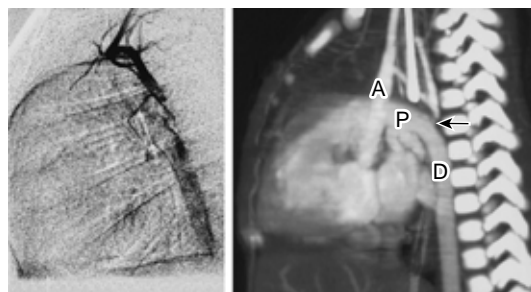


図6 重症大動脈縮窄のカテーテルによる血管造影像(a)とMDCT angiography(b)の比較  
経静脈的に5mlの造影剤を注入し、約10秒で大血管から主要分枝までの評価が可能である。  
A: 上行大動脈, P: 動脈管, D: 下行大動脈,  
矢印: 大動脈縮窄部

を用いることで、らせん操作型CTに比較して、最大40%程度のX線被曝量の軽減を図ることも可能となった。

#### MDCTを用いた3次元CT血管造影法の臨床応用

MDCTを用いることで、体軸方向の空間分解能に極めて優れた容積情報が短時間の内に取得できるようになったことをうけ、3次元CT血管造影法の適用範囲も拡大し、充実した。

大血管疾患のCT検査では、これまで胸部と腹部とを別々に検査するのが一般的であったが、大動脈の全てを一次的に検査できるようになった。得られたデータは定量性にも優れるため、MDCTの情報を元に大動脈瘤の血管内治療に用いるステントグラフトのサイズを3次元的に決定したり治療効果を判定することが可能となった(図3)。また大動脈解離においては交通口(内膜裂口)の指摘や主要分枝に対する解離波及の有無を、容易に診断できるようになった。閉塞性動

脈硬化症の診断においては大動脈分岐部から踝上部までに及ぶ広範囲の画像診断が必要であるが、MDCTを用いることでおよそ20秒程度の検査時間で一期的に診断できるようになった(図4)<sup>9</sup>。頭頸部領域においても、これまで別の検査として行ってきた頸動脈と頭蓋内動脈の評価を、頸静脈の重なりなく一度に検査することが可能になった。

MDCTの開発による新たな3次元CT血管造影法の適応として、冠動脈のCT血管造影法ならびに小児複雑心血管奇形の評価が注目されている。現在のところ冠動脈の評価はカテーテルを用いた血管造影の聖域であるが、心電図同期下でMDCT検査を行い、得られた容積情報から同一心時相の画像を再計算することで冠動脈の3次元CT画像を再構成することが可能となった(図5)<sup>9</sup>。また一度取得した容積情報から、収縮期ならびに拡張期の画像を各々計算して比較することにより、壁運動を評価することも可能であり、今後、3次元画像に時間情報を加味した「4次元画像」を再構成することも可能になるものと期待される。小児複雑心血管奇形の評価は、これまで専ら超音波ならびに血管造影により行われてきたが、MDCTを用いることで約5~10mLの造影剤を使用し、およそ10秒間で診断することが可能となった。小児科学教室との共同研究の結果、大血管ならびに弓部分枝、さらには肺動脈及び肺静脈の異常の評価に有用であることが判明した(図6)。

### おわりに

3次元的人体を2次元な検査方法から評価するには少なからぬ困難を伴い、また2次元な断層像を頭の中で3次元構築するには長年の訓練が必要な上、

これを共有することはできない。

らせん走査型CTに引き続いてMDCTが開発されたことで、3次元CTによる画像診断の可能性は大きく進歩した。今後更なるハードウェアの改良と新たなソフトウェアの開発により、3次元画像は日常臨床上、必須な画像診断法になるものと考えられる。

### 文 献

1. 林 宏光ほか：らせんCT：その基礎から最新の3次元画像まで。臨床画像 1996; 12: 181-193.
2. Rubin GD, et al: Three-dimensional spiral CT angiography of the abdomen; initial clinical experience. Radiology 1993; 186: 147-152.
3. 木原朝彦：画像診断に必要な3次元画像の基礎知識 画像処理技術。臨床画像 1995; 11: 27-37.
4. 隈崎達夫, 小林尚志(編著)：新世代3次元CT, 1995, 南江堂, 東京。
5. Hayashi H, et al: Three-dimensional CT angiographic assessment of vascular diseases using various postprocessing techniques: the voxel transmission and cruising eye view methods and their respective merits. Int Angiol 1999; 18: 121-133.
6. 林 宏光ほか：らせん操作型CTの新しい技術：multidetector-row (多列検出器型) CTを理解するために。日獨医報 1999; 44: 330-341.
7. 林 宏光ほか：Single-detector-row および multidetector-row CTを用いた3次元CT血管造影法による骨盤・下肢血管病変の低侵襲的診断。脈管学 2001; 41: 785-790.
8. 林 宏光ほか：MDCT angiography と advanced vessel analysis を用いた新しい血管病変の画像診断。脈管学 (印刷中)
9. Rubin GD, et al: Multi-detector row CT angiography of lower extremity arterial inflow and run-off; initial experience. Radiology 2001; 221: 146-158.
10. Achenbach S, et al: Noninvasive coronary angiography by retrospective ECG-gated multislice spiral CT. Circulation 2000; 102: 2823-2828.