

循環器領域におけるMDCTの現状と将来

猪川 弘康

要 旨 : X線CT装置は、多列化に伴う高分解能撮影、スキャンスピードの高速化、そして心電同期再構成法などさまざまな機能の開発が進み、心臓特に冠状動脈を画像化することが可能となった。また、被ばく線量を低減するためのアプローチも実用化されている。さらに近年では同時相化、高分解能化、高時間分解能化などを旨としたCT装置の開発も進められている。

(J Jpn Coll Angiol, 2009, 49: 323-327)

Key words: MDCT, ECG-gated reconstruction

序 言

X線CT装置がマルチディテクタ-CT(以下: MDCT)へと進化し、早10年の歳月が過ぎ、「新しいデータ収集システムの開発」、「スキャン時間の高速化」などの技術革新はめざましい。

当初は4スライス同時撮影であったMDCTも、現在では64列MDCTが登場し、多くの臨床現場で使用されるようになった。また、回転速度も0.3秒程度の高速回転へ突入するなど、今もって進化し続けている(Fig. 1)。

一方でCTの弱点であった“動きのある部位を撮影する”、すなわち心臓領域へのCT検査適応は、16列MDCTの時代から本格的に臨床現場へと普及し始めたが、16列MDCTでは息止め時間が長く、高齢の患者さんや状態の悪い患者さんには、適応が難しい側面もあった。しかし、64列MDCTでは、撮影時間も5~10秒と短く、より患者への負担が少なくなったことから、心臓CTが通常検査として普及することになった。最近ではより簡便に使用できるよう、各社とも開発に凌ぎをけずり、心電図同期再構成技術や画像処理時間の短縮、更には適応患者の拡大に向け、力を注いでいる。

本稿ではメーカーの立場から、循環器領域における撮影技術、臨床応用ソフトウェアの特徴について概説する。

心電同期ヘリカルスキャン法

およそ3mmの冠動脈をCT装置で撮影する場合、その動きの影響を受けずに画像化することが非常に重要となる。通常のCT画像ではX線管1回転分の投影データで画像化するが、その手法を心臓検査で行った場合には、心臓の動きによる影響をそのまま反映した画像となる。

この対策として開発された心電同期ヘリカルスキャン法には、心電同期ハーフ再構成法(Retrospective ECG-gated half recon. : 以下ハーフ再構成法)と心電同期セグメント再構成法(Retrospective ECG-gated segment recon. : 以下セグメント再構成法)があり、心電波形信号をスキャンと同時に生データへ取り込むことにより、撮影後任意の心拍位相で画像再構成が可能となる。

ハーフ再構成法は連続したヘリカルスキャンデータの収縮末期や拡張中期からハーフデータ(180°+ファン角分の投影データ)分を切出し、画像再構成する技術である。この方法では心拍数に依存することなく、一定の時間分解能が得られる。本再構成は一般的にモーションアーチファクトなどを考慮すると、心拍数60~70bpm以下の状況で用いられる。

セグメント再構成は、時間分解能の向上を最優先として考案された再構成法である。これは心臓が周期的な動きであることを利用して、複数の心拍から同一心位相の

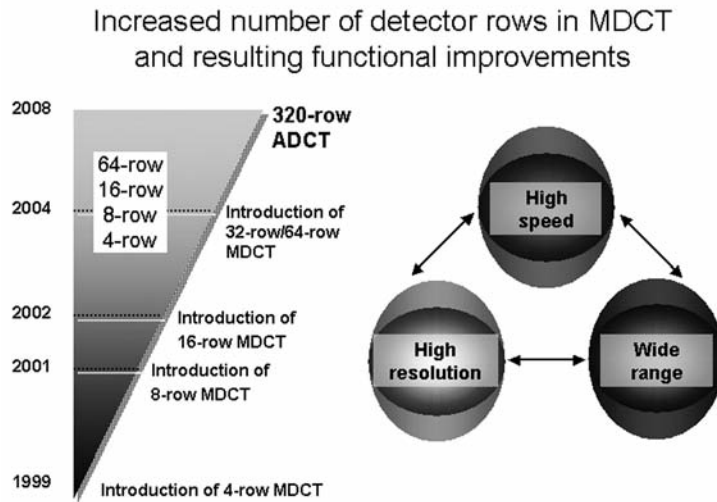


Figure 1 MDCT with a larger number of detector rows, and various functions made possible as a result.

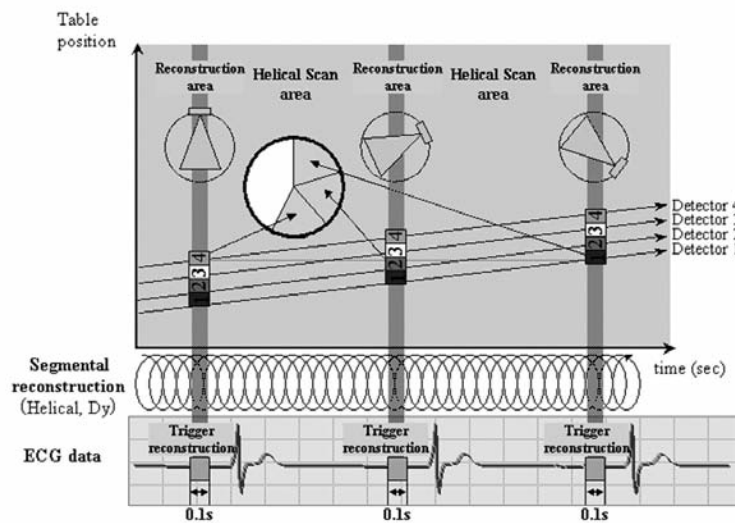


Figure 2 Retrospective ECG-gated segment reconstruction.

データを集め再構成する方法である (Fig. 2)。セグメント再構成では、心拍数に応じて 2~5 心拍のデータから画像を再構成するので、ハーフ再構成に比べおよそ 2~4 倍の時間分解能となる。

診断に用いる画像表示法

心臓CTでは0.5mmなど非常に薄いスライスによって、

数百枚にも及ぶスライス像が発生するため、画像が有する情報量をどのように処理、観察するかが重要な要素である。言うまでもなく、CT画像では他モダリティに比べ、卓越したコントラスト分解能を有しているため、血管内腔の造影剤だけでなく、その狭窄部位の血管壁性状も観察できる利点がある。

例えば、左右冠状動脈起始部から末梢までを観察す

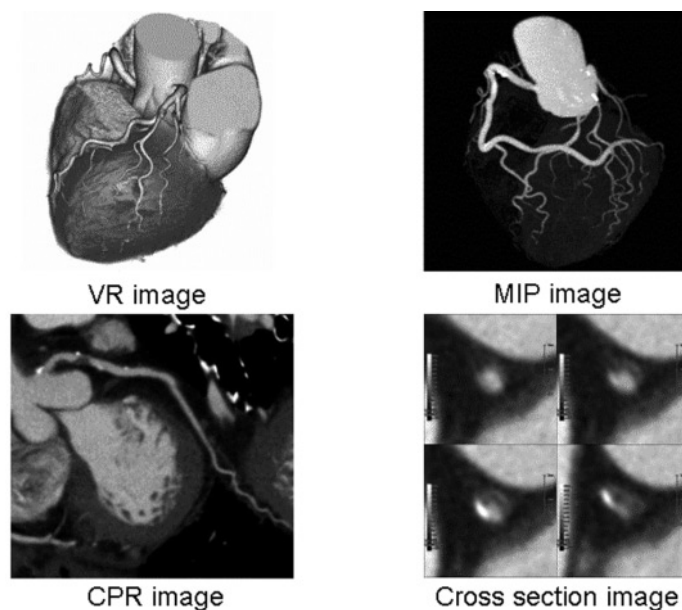


Figure 3 Cardiac CTA images.

る場合には、一画面上で平面図として表示するCPR画像 (curved planner reformation)とこれを直行断面で表示するcross-section画像があり、血管情報を構築しながら、狭窄部位など診断するCT装置特有の画像手法である (Fig. 3)。

また、一般的に使用されるVR画像(volume rendering)を用いて三次元表示することで、冠状動脈を任意方向から連続的に把握でき、冠状動脈MIP画像(maximum intensity projection)では心臓カテーテル検査画像に近い内腔情報を表示可能である。現状ではこれらのさまざまな画像手法を組み合わせ、狭窄部位やその性状を特定できるような環境を提供している。

心臓CT検査における被ばく低減技術

心臓CT検査の簡便化に伴って検査数が増加する傾向にあるなか、被ばく線量低減を図るべく、心臓に特化した被ばく低減アプリケーションを実装している。

従来、心電図信号を同時収集しながらヘリカルスキャンを行う際は、一定管電流での撮影が一般的であった。各社が実装しているECG Dose Modulationと呼ばれる機能は、心電図波形(R-R間)において管電流を変化させ、被ばく低減を行うものである。この機能によりR-R間隔

の中で任意の心位相のみ設定した最大管電流でスキャンし(一般的には拡張期である75%)、その他の位相部分では低管電流でスキャンすることにより、被ばく線量低減を図ることが可能である (Fig. 4)。しかしながらこの機能での撮影時に不整脈などでR-R間隔が変化した場合、想定した心位相では画像化できないリスクを含んでいるが、装置によっては撮影中に不整脈が出た場合には modulation機能が自動的にオフとなり、設定された最大管電流でスキャンすることで確実に画像化する仕組みを備えており、リスクに対する配慮もなされている。

また、更に被ばく線量を低減する方法として Prospective Gatingを用いたStep and Shootのスキャン法、もしくはX線のオンオフ制御と高ビームピッチを併用したスキャン法などが実現されており、臨床での使用が始まっている (Fig. 5)。ただし、これらの手法は高心拍や不整脈に対しては適用が難しく、安定した心拍の患者、もしくは β ブロッカーを投与したうえでの限定的な使用に留まっているというのが現状である。

今後の展望

近年では64列MDCTをも凌駕する新たな次世代CT装置が登場しつつある。特に更なる多列検出器を搭載した

Function for performing ECG-gated helical scanning while modulating the tube current according to the ECG waveform (R-R interval)

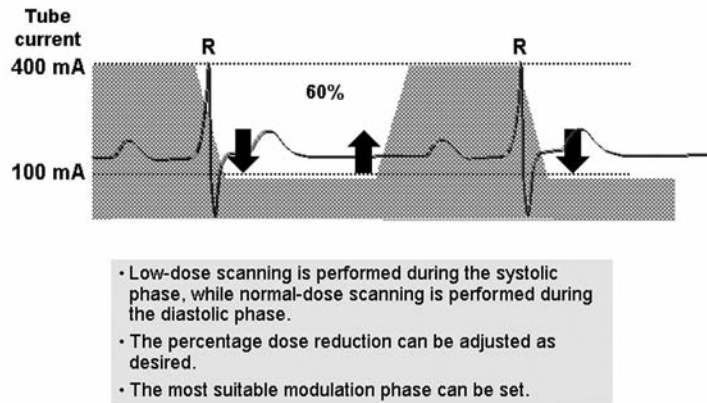


Figure 4 ECG dose modulation.

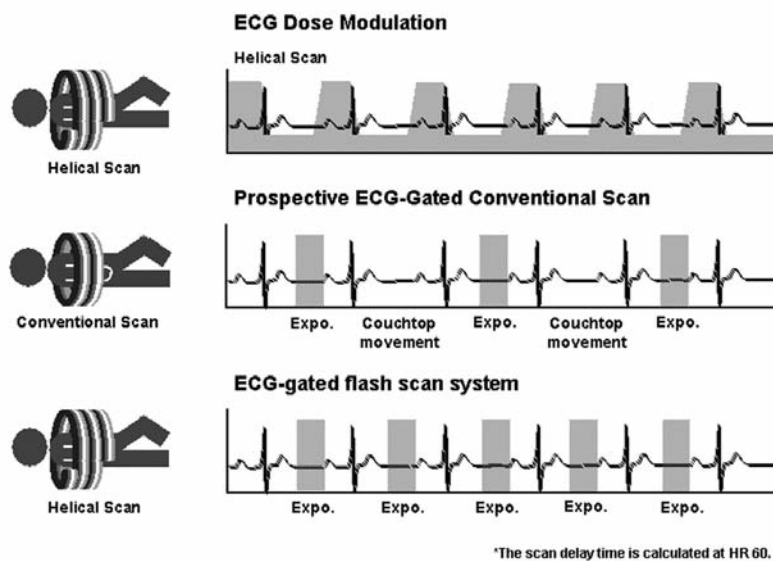


Figure 5 Various scanning methods for reducing the exposure dose.

320列ADCT(Area Detector CT)や、管球と検出器を複数個搭載したmulti source CT⁵⁾、高分解能を追求した高精度CTなど心臓領域において有用であろう装置が開発されている。

320列ADCTでは160mmの検出器幅を有しており、心臓全体を1スキャンで撮影可能なシステムである。その

結果、不整脈、息止め不良など従来では困難であったケースにおいても、安定した検査を行うことができる。更には従来の形態情報に、時間軸の動態情報も加えた新たな診断領域も今後、期待されている。

また、multi source CTは二つの管球と検出器が搭載された従来のシステムとは異なる方式である。特に心臓検

査において、大事な要素となる時間分解能が安定して得られること、エネルギー特性の異なる複数データの活用が可能となるなどの特徴がある。

高精細CTでは空間分解能の向上が期待されており、ステント、プラーク、微細血管などがより明瞭に描出できることが期待されている。

まとめ

心臓・冠状動脈領域に求められる撮影技術を中心に概説した。今後、心臓CT領域では更なる高速撮影技術や被ばく低減技術が開発され、これに付随した多種多様な臨床応用アプリケーションの開発によって、循環器領域でのCTの一層の発展が期待できる。

最後に本稿のような技術概説が臨床使用の一助となれば幸いである。

文 献

- 1) Kalendar WA, Seissler W, Klotz E et al: Spiral volumetric CT with single-breath-hold technique, continuous transport, and continuous scanner rotation. *Radiology*, 1990, **176**: 181-183.
- 2) Anno H, Kondo T, Canada K: ECG-gated reconstruction in helical scanning CT of the cardiovascular system. *Radiology*, 1993, **189** (p): 336.
- 3) 谷口 彰: Multi-slice CTにおける心電図同期撮影技術について—撮影手法と原理概念—. 全国循環器撮影研究会誌, 2003, **15**: 44-53.
- 4) Flohr TG, McCollough CH, Bruder H et al: First performance evaluation of a dual-source CT (DSCT) system. *Euro Radiol*, 2006, **16**: 256-268.
- 5) 森山紀之, 鈴木雅裕, 小原和史 他: 人体応用高分解能CT. *Multislice CT 2006 BOOK*, 2006, 79-84.
- 6) 吉岡邦弘, 田中良一, 神原芳行 他: 320列マルチスライスCT (ADCT) による心臓のイメージング. *Multislice CT 2008 BOOK*, 2008, 56-60.

Current Status and Future Prospects of MDCT in the Field of Cardiovascular Medicine

Hiroyasu Inokawa

CT section Sales Promotion Department, Toshiba Medical Systems Corporation, Tokyo, Japan

Key words: MDCT, ECG-gated reconstruction

In multi-detector row CT (MDCT) systems, various functional advances have been achieved and clinically applied, such as high-resolution imaging due to the larger number of detector rows, high-speed tube rotation, and ECG-gated reconstruction. These advances have made it possible to visualize the heart, and in particular, the coronary arteries. Various methods for reducing the exposure dose have also been developed and employed in the clinical setting. Moreover, the development of new CT systems with superior functional capabilities such as scanning in the same temporal phase and with higher spatial and temporal resolution has continued in recent years. (*J Jpn Coll Angiol*, 2009, **49**: 323-327)