

—臨床医のために—

マルチスライス CT による冠動脈 CT の現状と展望

林 宏光

日本医科大学大学院医学研究科臨床放射線医学

日本医科大学放射線医学

Noninvasive Assessment of Coronary Artery Disease with Multidetector-Row Computed Tomography: Current Status and Future Perspective

Hiromitsu Hayashi

Department of Clinical Radiology, Graduate School of Medicine, Nippon Medical School

Department of Radiology, Nippon Medical School

Abstract

The fast volume coverage of electrocardiogram-gated multidetector-row helical computed tomography (MDCT) allows the entire heart volume to be acquired with nearly isotropic spatial resolution ($0.5 \times 0.5 \times 0.6$ mm) within a single breath-hold. The submillimeter spatial resolution enables depiction of the major and also of peripheral coronary artery segments with lumen diameter as small as 1.5 mm. The sensitivity and specificity for the detection of coronary arterial stenosis of at least 50% using a 64-detector-row CT scanner has been reported 0.93% and 0.96%, respectively. These results were significantly improved in comparison with that of a 4-detector-row CT scanner. In addition, several reports indicate that MDCT angiography might allow detection and evaluation of atherosclerotic plaques in different stages. The differentiation among lipid-rich, fibrous, or calcified plaques by means of coronary CT angiography correlates well with the results of intracoronary ultrasound based on measurement of the mean HU-value in the lesion. Noninvasive follow-up after percutaneous coronary intervention or coronary artery bypass surgery with electrocardiogram-gated coronary CT angiography can be an important tool for postinterventional patency confirmation or for early detection of restenosis. The development of MDCT creates exciting opportunities for noninvasive diagnostic imaging. In the future, MDCT might play more important roles in the assessment of cardiovascular disease.

(日本医科大学医学会雑誌 2008; 4: 19-24)

Key words: coronary computed tomography, cardiac computed tomography,
multidetector-row computed tomography, multislice computed tomography,
computed tomography angiography

人体に手を加えることなく非侵襲的に複雑な体内の
様子を知ることは、医療における長年の夢であった。

この夢が現実となったのは、WC Roentgen 博士によ
る X 線の発見を端緒とする。その後の研究により、X

Correspondence to Hiromitsu Hayashi, Department of Radiology, Nippon Medical School, 1-1-5 Sendagi Bunkyo-Ku, Tokyo 113-8603, Japan

E-mail: hhayashi@nms.ac.jp

Journal Website (<http://www.nms.ac.jp/jmanms/>)

線には様々な物理・化学・生物学的特性があることが判明し、現在ではその透過、吸収の差により診断を助け、また生物学的作用をもって治療に利用されている。X線の発見により享受した恩恵には、計り知れないものがあるといえる。放射線医学はX線の発見を期に誕生した若い学問であるが、わずか1世紀の間に数多くの発見や発明がなされた。この中で最も偉大な発明の一つが1973年G Hounsfield博士らにより開発されたCTであることに疑いはない。

CTの開発により鮮明なデジタルの横断像として体内の様子を知ることが可能となり、またコンピュータ技術のめざましい進歩もあいまってCTは短時間で長足の進化を遂げた。その最新式のCT装置が multidetector-row CT (MDCT, マルチスライスCT) である。MDCTとは体軸方向に複数のX線検出器列を配置し、X線管球が1回転する間に複数の画像情報を同時に取得することが可能なCTである(図1)¹。

MDCTを利用することで、短時間で(<10秒)、広範囲の(>1m)、その上、高分解能な(<1mm)画像情報が得られるようになり、これまで『面として2次元的に評価』していた人体を、『容積として3次元的にとらえ解析する』ことが可能になった。さらに1989年にMDCTが登場した際にはX線検出器列数は4列でX線管球の回転速度は0.8秒/回転であったが、2004年には64列にまで拡大され、回転速度も0.35秒/回転に短縮された。

MDCTの登場はあらゆる領域でのCT画像診断に進歩をもたらしたが、その特徴を存分に発揮できる領域が循環器領域の画像診断である。従来のヘリカルCTでは定性的評価が中心であった大動脈・末梢血管疾患においては、精度の高い定量評価が可能になり、大動脈瘤・解離に対するステントグラフト治療や閉塞性動脈硬化症の血管内治療における術前・術後の必要な検査となった²。さらに脊髄の栄養血管として重要な直径1.5mm程度のAdamkiewicz動脈の同定も可能になり、また近年増加傾向にある肺血栓塞栓症/深部静脈血栓症の診断においては第一選択の検査法となるに至った。そしてこれまでCTの検査対象外とされてきた心臓もMDCTの登場により検査対象となるに至った^{3,4}。心臓CT検査を可能にした技術には様々なものが挙げられるが、CTのハードウェアのみならず、心電図同期ヘリカル撮影や心電図同期画像再構成技術、ならびに多くの画像解析アプリケーションが開発されたことによると考えられる。

Multidetector-row CT(MDCT)

体軸方向に複数の検出器列を配置し、X線管球が一回転する間に同時に複数の画像情報を取得できるCT



MDCTの特徴

- 体軸方向の空間分解能の向上
- 時間分解能の向上

より速く
さらに広範囲を
もっと細かく

図1 Multidetector-row CT (MDCT) の原理・特徴と従来のヘリカルCT (SDCT) との違い

心臓CT検査の実際

現状のMDCTの最短実効時間分解能は60ms程度であるため、 β -blockerを服薬し心拍数を50~60/分となるように調整したり、冠動脈の評価を良好なものとするために、ニトログリセリンの舌下噴霧後に検査することもある。心拍が安定しなければ解析に十分な心臓の静止画像が得られないため、心房細動や期外収縮が著明な例は検査適応外とされる。

検査は単純CTにて心臓全体の撮影をした後、撮影範囲を絞りこみ造影剤を静注しながら心臓の造影CT検査を行う。撮影範囲や心拍数にもよるが、64列MDCTでは5~10秒で検査は終了する。また必要に応じ造影剤注入開始3~4分後から造影CT後期相を撮影する場合もある。検査入室から退室まではおよそ15分と通常のCT検査と同程度であり、検査費用も通常の造影CTと同額である。

検査終了後、冠動脈が良好に静止した状態の心時相を選び出し解析を行う。単純CTからは冠動脈の石灰化が評価できる。造影CTからは冠動脈のCT血管造影像の作成を行う。3次元画像再構成法には冠動脈を含めた心臓全体を俯瞰するのに適するvolume rendering法やMIP法、冠動脈造影と同一の方向から評価できるangiographic viewに加え、冠動脈狭窄の判定やプラーク評価のためのcurved planar reconstruction法や短軸像などを適宜組み合わせで行う⁵。また同一の容積情報から再構成する心時相を変えて収縮期の画像を再構成することも可能であり、拡張期の画像とを比較することで心筋壁運動や弁機能の評価も可能である。造影CT後期相の情報からは、遅延濃染域の評価ができ心筋虚血の有無を判断することが可能

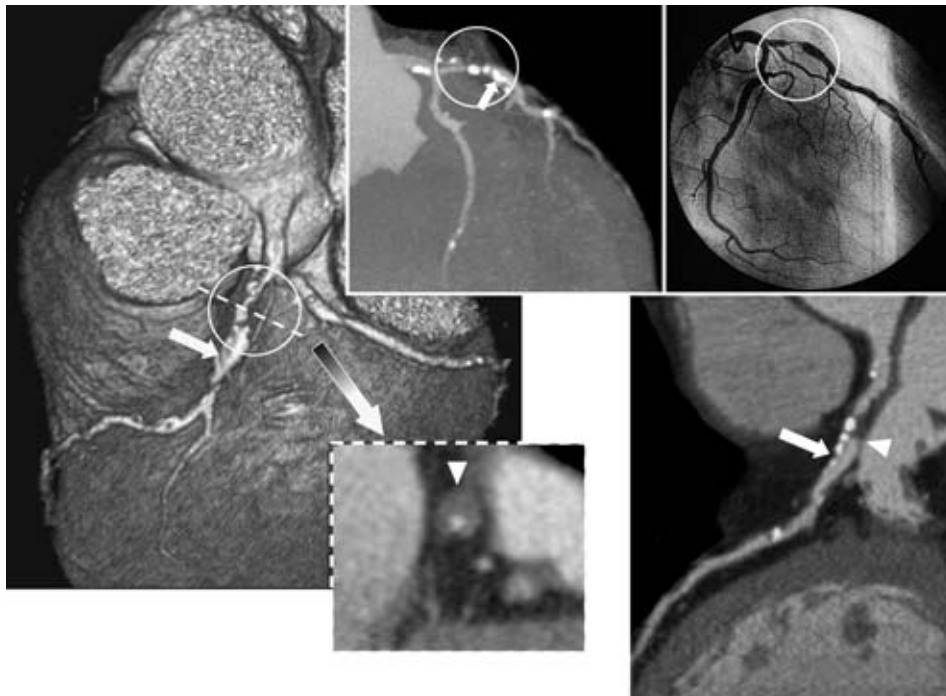


図2 不安定狭心症例の心臓CTと血管造影
左前下行枝近位部に高度狭窄を認める（○部）。狭窄部には厚い fibrous plaque（矢頭）と、石灰化から成る hard plaque（矢印）が認められる。

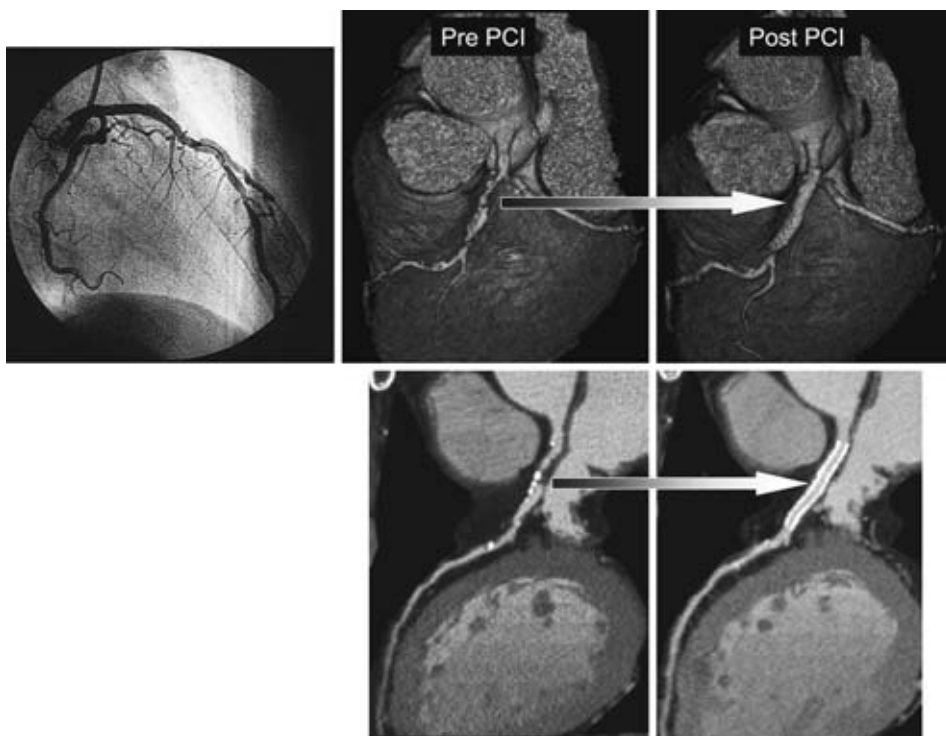


図3 心臓CTによるPCI前（pre PCI）・後（post PCI）の評価（図2と同一症例）
粥腫切除術とステント留置により、左前下行枝近位部の狭窄が解消したことがわかる。

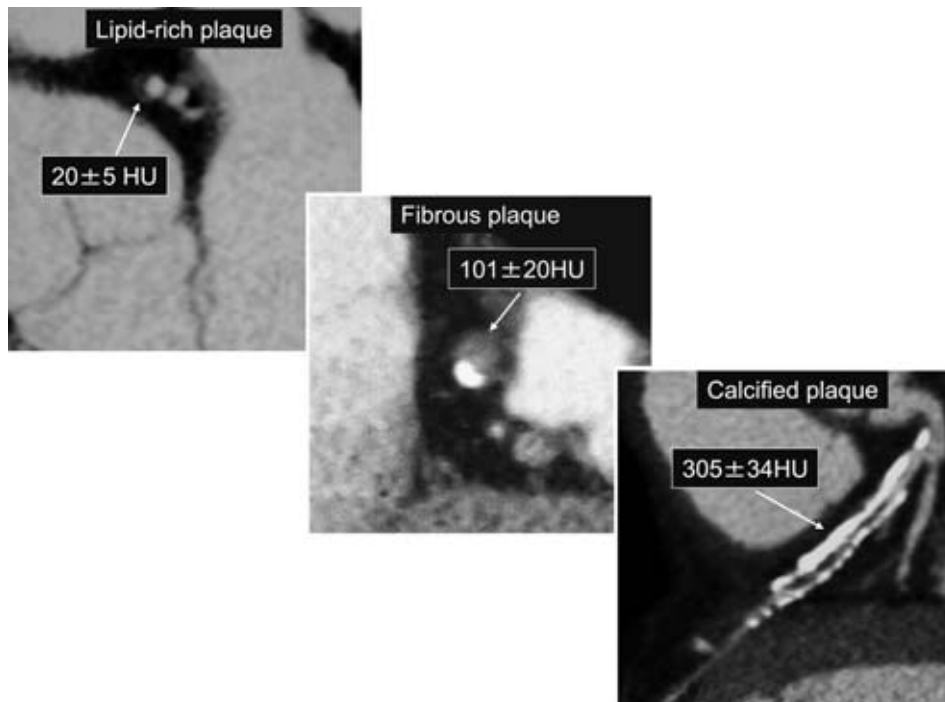


図4 CT値による冠動脈 plaque の鑑別

血管内超音波所見との対比により, plaque の CT 値が 60 HU を示す場合には lipid-rich plaque を, 61 ~ 119 HU の場合には fibrous (intermediate) plaque を, 120 HU 以上の場合には calcified plaque を表すと考えられる.

である.

MDCT による冠動脈病変の評価

冠動脈疾患に対する MDCT の診断能に関するメタアナリシスの結果, セグメント毎の 50% 以上狭窄に対する感度および特異度は, 64 列 CT で 0.93 (95% 信頼区間: 0.88, 0.97), 0.96 (0.96, 0.97) であり, 16 列 CT では 0.83 (0.76, 0.90), 0.96 (0.95, 0.97), 4 列 CT では 0.84 (0.81, 0.88), 0.93 (0.91, 0.95) と, 4 列 CT に比較して 16 列, 64 列 CT での診断能は有意に向上したことが明らかとなった (図 2, 3)⁶. 一方, 評価不能セグメントは X 線検出器列数の増加により減少した. また 64 列 CT の画像に影響を及ぼす因子の解析の結果, 心拍数変動の影響は限られたものであり, 石灰化の存在が診断能を低下させる重要な要素であることが明らかとなった. 石灰化病変に対する評価・診断法の向上は, 今後の重要な課題である.

MDCT によるプラークの質的診断

冠動脈プラークを質的に評価しこれを治療に応用する試みは, 循環器診断学におけるトピックスの一つで

ある. 現在プラークの性状判断は主に血管内超音波や血管内視鏡によりなされている. これらの手技は時間・空間分解能に優れプラークの質的診断に有用であるものの, 侵襲的であるためスクリーニングや経過観察は不向きである.

一方, CT は X 線吸収値に基づいた客観的な指標である CT 値から, 組織性状を推測することが可能である (図 4). 近年の報告ではプラークの CT 値が 60 HU 以下の場合には脂肪を中心とするプラークを, 61 ~ 119 HU では線維を中心とするプラークを, そして 120 HU 以上の場合には石灰化を中心とするプラークを示唆すると考えられ⁷, 本検査の結果をもとに治療方針を決定する試みもなされている.

MDCT によるステント留置後ならびに CABG 後の経過観察

冠動脈ステント留置後の 16 列 MDCT による評価は, 直径 3.5 mm より大きいステンレスあるいはコバルト製ステントの内腔評価は良好 (88.6%) である (図 3). 直径 2.5 mm のものや tantalum 製の場合に評価は困難であり, またステント内再狭窄の評価も可能なものの金属ステントの網目の影響が大きいと報告されて

LITA-LAD, GEA-#4PD-PL

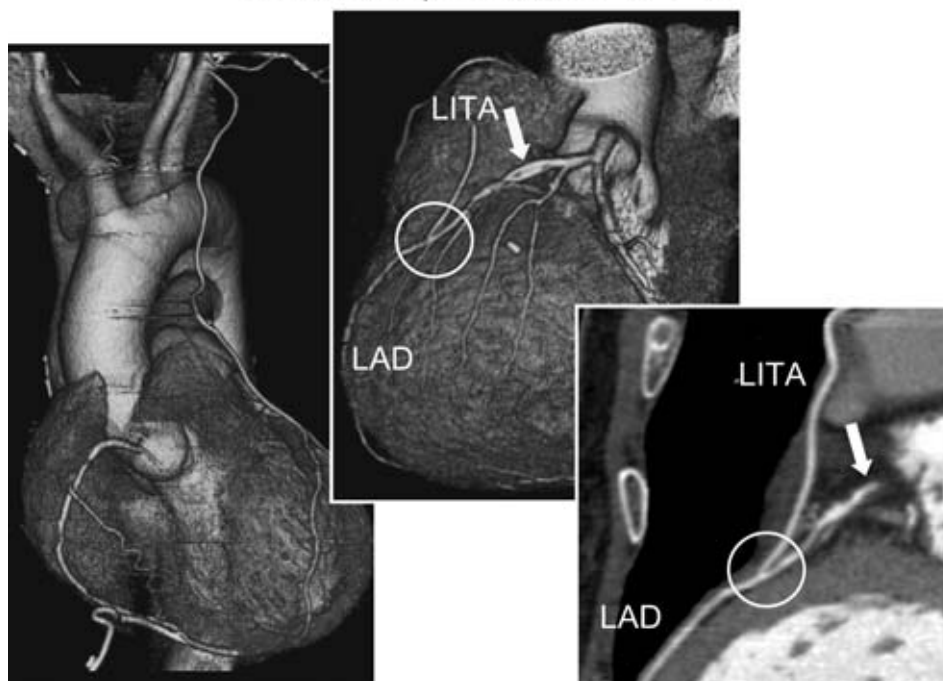


図5 冠動脈バイパスグラフト後のMDCTによる評価

左内胸動脈 (LITA) が左前下行枝 (LAD) に吻合されている。吻合部 (○部) に明らかな狭窄は認めない。吻合部より近位側の左前下行枝壁には plaque による狭窄を認める (矢印)。

いる⁸。また冠動脈バイパスグラフト術 (CABG) 後のグラフト開存性ならびに吻合部狭窄の評価については、99.4% でグラフト評価が可能であり、閉塞病変の診断についての感度および特異度はいずれも 100%、高度狭窄病変では感度 96%、特異度 100% と報告されている (図 5)⁹。しかし、より細径のステント内腔の評価や動脈グラフトを用いた末梢吻合部の評価には、さらなる空間分解能の向上が必要と思われる。

心臓 CT 検査における課題点

現在の心臓 CT 検査における課題点としては、検査に伴う高い X 線被曝量があげられる。一般に心臓 CT 検査では retrospective ECG-gated scan が用いられるが、この方式では X 線の overlap が大きく、また収縮期などの画像に直接関与しない心位相においても X 線が照射されるため、検査に伴う実効線量は 7~21 mSv に及ぶ。これは一般的な冠動脈造影における実効線量の 5~10 mSv より多い値である。この問題を解決するために様々な努力が払われているが、われわれは心臓 CT の検査方式を大きく転換した prospective ECG-gated scan 方式を採用して検査している。この結果、拡張期にのみ X 線を照射すること

が可能になり、検査に伴う実効線量は 2.8~4.6 mSv と冠動脈造影以下にすることが可能になった。64 列 MDCT を用いた心臓 CT 検査での X 線被曝による発癌性リスクに関する報告によると、シミュレーションモデルによる検討の結果、特に女性や若年者において無視し得ない発癌性リスクがあるとされる¹⁰。心臓 CT 検査を行う上での適応を厳密にし、最少の X 線被曝で終了するように検査法を最適化することが必要である。

おわりに

3 次元的な人体を 2 次元的な検査法で評価するには少なからぬ困難を伴い、また 2 次元的な断層像を頭の中で 3 次元構築するには長年の訓練を必要とする上、これを共有することはできない。X 線の発見により切り開かれた画像診断は、『人体に手を加えることなく非侵襲的に体内の様子を知ること』から、『あるがままを立体的に表示し、治療戦略の決定支援画像として臨床に貢献すること』に paradigm shift しつつある。今後、CT は形態情報を基盤として、生理的機能情報も提供し得る非侵襲的診断法として、さらに進化してゆくものと期待される。

文 献

1. 林 宏光, 高木 亮, 市川太郎, 隈崎達夫: らせん走査型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.
2. Hayashi H, Kumazaki T: Multidetector-row CT evaluation of aortic disease. *Radiat Med* 2005; 23: 1.
3. 栗林幸夫: I. MDCT, 1. 基礎心臓血管疾患のMDCTとMRI (栗林幸夫, 佐久間肇編), 2005; pp 2-45, 医学書院 東京.
4. Ohnesorge BM, Becker CR, Flohr TG, Reiser MF: *Multi-slice CT in cardiac imaging*, 2002; Springer, Berlin.
5. Kopp A: 3. Heart and coronary arteries. In *Multidetector Computed Tomography Technology: Advanced in Imaging Techniques* (Bonomo L, Foley DW, Imhof H, Rubin GD, eds), 2003; pp 57-78, Royal Society of Medicine Press, London.
6. Vanhoennaker PK, Heijenbrok-Kal MH, Van Heste R, Decramer I, Van Hoe LR, Wijns W, Hunink MG: Diagnostic performance of multidetector CT angiography for assessment of coronary artery disease: meta-analysis. *Radiology* 2007; 244: 419.
7. Schroeder S, Kuettner A, Leitritz M, Janzen J, Kopp AF, Herdeg C, Heuschmid M, Burgstahler C, Baumbach A, Wehrmann M, Claussen CD: Reliability of differentiating human coronary plaque morphology using contrast-enhanced multislice spiral computed tomography: a comparison with histology. *J Comput Assist Tomogr* 2004; 28: 449.
8. Kitagawa T, Fujii T, Tomohiro Y, Maeda K, Kobayashi M, Kunita E, Sekiguchi Y: Noninvasive assessment of coronary stents in patients by 16-slice computed tomography. *Int J Cardiol* 2006; 109: 188.
9. Chiurlia E, Menozzi M, Ratti C, Romagnoli R, Modena MG: Follow-up of coronary artery bypass graft patency by multislice computed tomography. *Am J Cardiol* 2005; 95: 1094.
10. Einstein AJ, Hanzlova MJ, Rajagopalan S: Estimating risk of cancer associated with radiation exposure from 64-slice computed tomography coronary angiography. *JAMA* 2007; 298: 317.

(受付: 2007年11月9日)

(受理: 2007年12月13日)