

原著論文

心疾患におけるマルチスライスCTの有用性

吉岡 邦浩* 那須 和広** 川上 朋子**

岩手医科大学附属循環器医療センター 放射線科*
同 循環器科**

Evaluation of Cardiac Disease with Multidetector-row CT

Kunihiro Yoshioka* Kazuhiro Nasu** Tomoko Kawakami**

Department of Radiology, Memorial Heart Center, Iwate Medical University *

Department of Cardiology, Memorial Heart Center, Iwate Medical University **

Key word: MDCT, EBT, Coronary artery, and Heart

はじめに

心疾患に対するCTの臨床応用は、時間分解能の点から従来は電子ビーム式のCT (electron-beam CT, EBT) でしか可能でなかった。しかし、multidetector-row CT (MDCT) の登場により機械回転式のCTでも臨床応用が可能になりつつある。現時点ではMDCTはEBTを凌駕するには至っていないが、体軸方向の優れた分解能や良好な信号対ノイズ比 (S/N比) などEBTよりも優れた点も多い。最近では、MDCTによる心臓のイメージングは循環器領域の画像診断の中でも最も注目されている。本稿では、MDCTの心疾患への応用の中でも最も関心が高く、その将来性に期待が寄せられている冠動脈疾患を中心に述べる。

心電図同期撮影法

われわれの施設で用いているMDCTは東芝社製 Aquilionで、検出器列は4列、ガントリの回転速度は0.5秒である。

拍動している心臓を撮影するためには心電図同期法の使用が必要である。心電図同期撮影法には大別して2つの方法がある。一つはprospective ECG-gating (心電図同期スキャン) で、心電図に同期させてターゲットとする心時相 (主に拡張期) のみを撮影する方法である。ターゲットとした時相のみの曝射になるので被曝量が少なく済むメリットがある反面、コンベンショナルなスキャンのみ可能でヘリカルスキャンには対応できない欠点がある。もう一つはretrospective ECG-gating (心電図同期再構成) で、心電図の記録を行いつつヘリカルスキャンを行っておいて、あとから目的とする心時相のみのデータを抽出して画像を再構成する方法である。被曝量は増えるが、任意の時相の画像を得られるという利点がある。両方の方法ともハーフ再構成を

利用するため、時間分解能は各々320ms、250ms程度である。またretrospective ECG-gatingを発展させたものとして、時間分解能の向上を目的として考案されたセグメントあるいはマルチセクタ再構成法と呼ばれる、複数の心拍から同じ心時相のデータを抽出して画像を再構成する方法もある。一般的に、prospective ECG-gatingは冠動脈の石灰化の定量評価に、retrospective ECG-gatingは造影剤を用いた冠動脈の評価、具体的には冠動脈のCT angiographyに用いられることが多い。本稿はMDCTの臨床的な利用を紹介するのが目的であるので、これ以上の技術的な記述は割愛するが、最近では判り易く解説した成書もあるので一読されたい¹⁾。

撮影プロトコール

スライス厚は0.5~2mm、ヘリカルピッチ0.8-1.2で呼吸停止下にスキャンを行う。呼吸停止時間を30秒程度とすると、スライス厚1mmでは撮影できる範囲は6cm程度であり心臓全体をカバーすることはできない。しかし、



図1 2筒式自動注入器

右側の太いシリンジが造影剤用で、左側がフラッシュに用いる生理的食塩水用のシリンジ。各々任意の注入速度を設定できる。(根本杏林堂製)

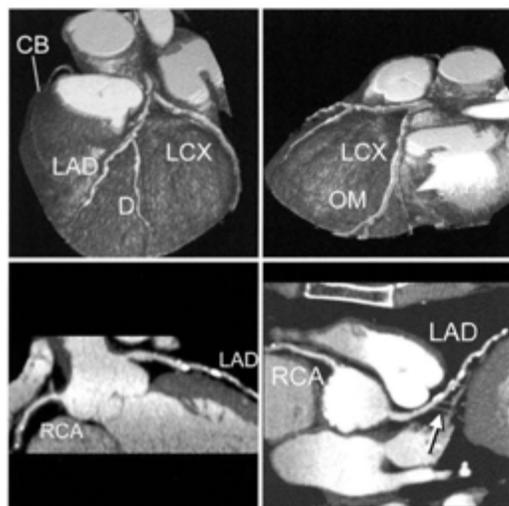


図2 狭心症(53歳、男性)

aとb: VRによる冠動脈による描出

有意狭窄は認められない。円錐枝(CB)が描出されている。

cとd: Curved-MPRによる冠動脈の描出

左前下行枝に結節状の石灰化が認められる。中隔枝も描出されている(矢印)。

CB: conus branch (円錐枝), LAD: left anterior descending artery (左前下行枝), D: diagonal branch (対角枝), LCX: left circumflex artery (左回旋枝), OM: obtuse marginal branch (鈍縁枝), RCA: right coronary artery (右冠動脈)

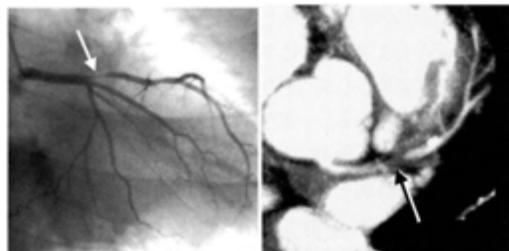


図3 狭心症(57歳、男性)

a: 左冠動脈造影 左前下行枝の近位部(AHA分類の#6)に90%狭窄を認める(矢印)。

b: MPR 冠動脈造影で認められた部位に一致して有意な狭窄を認める(矢印)。

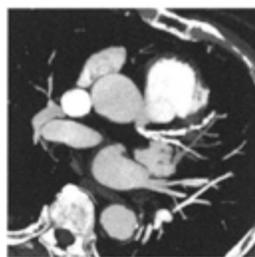


図4 冠動脈の強い石灰化(MPR)

左前下行枝は強い石灰化のために内腔の評価は不可能である。

冠動脈を検査対象とした場合には1mm以下の薄いスライス厚が望まれるので、冠動脈の近位～中位部までの描出となる。この問題は検出器の多列化で早晚解決されるであろう。

造影剤は350あるいは370mgIの高濃度製剤100mlを使用している。撮像時間が30秒程度なので2相性(最初の60mlを3ml/s、残りの40mlを1.5ml/s)に注入する。この際、2筒式の自動注入器(図1)を用いて生理的食塩水をフラッシュすると、ポーラシ性を確保しつつ造影剤量の低減を図ることができる。

また、撮影開始のタイミングの決定には、リアルブレップ法と呼ばれる方法を用いる。これは、造影剤の到達状況をモニター上でリアルタイムに観察しながら撮影を開始する方法である。心疾患を有する症例においては心機能が低下している場合が多く、造影剤の到達時間も

さまざまであるのでこのオプションの有用性は非常に高い。この機能が付いていない装置では少量の造影剤を用いたテストインジェクションによってタイミングを決定することが必要である。

冠動脈の描出

冠動脈を観察するための画像処理方法としては、volume rendering (VR) 法、multiplanner reconstruction (MPR) 法、Curved-MPR法が一般的である。前者で三次元的な形態や冠動脈の走行を把握し、後二者で冠動脈の詳細な観察を行う。

画像再構成に用いる心時相としては心臓の動きが最も少なくなる拡張期(R-R間隔の70-80%前後)が一般的である。しかし、右冠動脈では収縮期(R-R間隔の40%前後)の方が動きが少ない場合もある²³⁾。

図2に狭心症(53歳、男性)例を示す。Retrospective ECG-gatingで拡張期(R-R間隔の80%)の画像である。左右の冠動脈の近位部が明瞭に描出されている。Curved-MPR法では散在する石灰化も認められる。また、太さ1~2mm程度の円錐枝や中隔枝も描出されていることに注目されたい。

臨床応用

冠動脈の非侵襲的検査法には未だに信頼できる

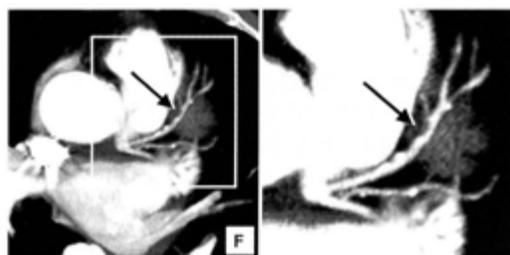


図5 ソフトプラークの描出

a: 左前下行枝のMPR 左前下行枝に石灰化の無い半円形のfilling defectが認められる(矢印)。

b: aの白四角部の拡大像。

a b

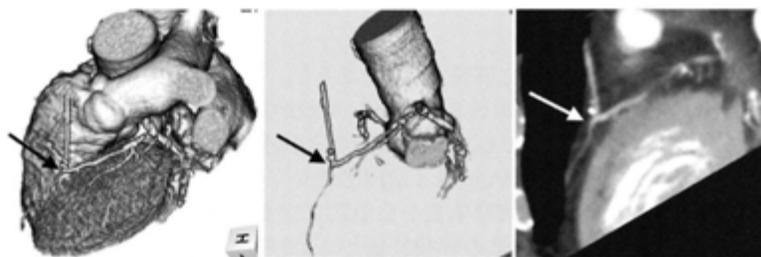


図6 冠動脈バイパスグラフトの評価

a: VR, b: 心臓の情報を除き冠動脈のみを抽出したVR, c: MPR

左内胸動脈が左前下行枝に接続されている。吻合部(矢印)も明瞭に描出されている。内胸動脈側の点状の高吸収域は止血クリップ。

a b c

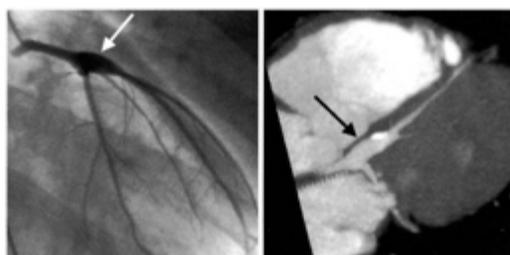


図7 川崎病

a: 左冠動脈造影 左主幹部から前下行枝にかけて紡錘形の動脈瘤を認める(矢印)。

b: MPR 冠動脈造影と同様に紡錘形の瘤が描出されている(矢印)。左回旋枝は瘤から分岐している。瘤の末梢部には石灰化も認められる。

a b

確立した方法はなく、侵襲的な冠動脈造影に依存しているのが現状である。MDCTはこの点で期待が寄せられており、具体的には狭窄病変のスクリーニング、インターベンションやバイパスグラフト後の評価などである。狭窄病変のスクリーニングにおいては、冠動脈近位～中位の径が2mm以上あるものの評価が臨床的に重要であり、高い感度を有することが求められる。

1. 狭窄病変

図3に狭心症(57歳、男性)を示す。左冠動脈造影では左前下行枝の近位部に90%狭窄を認める。MDCTのMPR画像でも同部位に強い狭窄が描出されている。狭窄病変の評価におけるMDCTの最大の欠点は、強い石灰化が存在すると内腔の評価が不可能な点にある(図4)。また、不整脈や撮影中の心拍数の変動に起因するモーションアーチファクトも問題である。われわれの施設で、連続する10症例を9区域(RCA: #1-3, LCA: #5-8, 11, 13)に分類して検討した結果では、26区域(29%)が評価不能であった。その内訳は、石灰化が20区域、モーションアーチファクトが6区域であった。最近の報告でも、石灰化等の理由により評価が不可能な区域の割合は27-29%とされている。しかし、評価可能な区域においては有意狭窄の評価はsensitivityが81-90%、

specificityが86-90%と良好な成績が報告されている⁴⁵⁾。

2. ソフトプラークの描出

石灰化のないプラーク(ソフトプラーク)を描出することは、冠動脈の狭窄をきたす前段階での病変の早期検出という意味で意義がある(図5)。ソフトプラークの評価は冠動脈造影では不可能で、血管内超音波あるいは血管内視鏡が用いられてきたがいずれも侵襲的な検査法であるし手間もコストもかかる。従って、MDCTで非侵襲的かつ簡便に評価することができれば臨床に非常に有用性が高い。また、ソフトプラークのCT値の検討から性状の評価が試みられており⁶⁾、ソフトプラークの中でも不安定な脂肪に富むプラークの検出に期待が寄せられている。

3. 冠動脈バイパスグラフトの評価

冠動脈バイパスグラフトの開存性はEBTやMR angiographyでも評価が行われてきた^{7,8)}。しかし、これらの方法では臨床的に最も重要なバイパスグラフトと冠動脈との吻合部の評価が困難であるという問題があった。特に、耐久性が高いことから最近多く用いられる動脈グラフトは、静脈グラフトに比して細いために冠動脈との吻合部はよりいっそう描出が困難であった。体軸方向の分解能に優れたMDCTではこの点の改善が

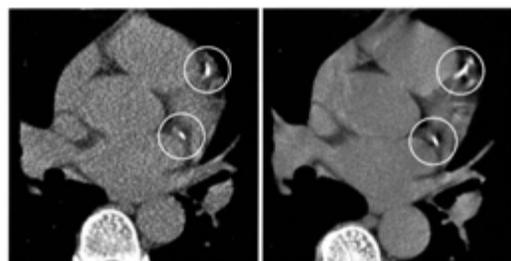


図8 冠動脈石灰化の描出

a: EBT, b: MDCT

同一症例での冠動脈石灰化の描出。MDCTはprospective ECG-gatingで撮影。左前下行枝と左回旋枝に石灰化が認められる(白丸印)。MDCTで描出された左前下行枝の石灰化にはモーションアーチファクトが混入している。

a b

期待されている(図6)。

4. その他の冠動脈疾患

冠動脈の先天的な起始・走行異常などの形態評価には、空間分解能に優れたMDCTの有用性が報告されている^{4,9)}。また、川崎病に伴う冠動脈瘤の評価にも有用性が高いと考えられる(図7)。特に、この疾患では瘤の形態変化や瘤内の血栓の評価を目的として繰り返し検査が必要になる場合が多いのでMDCTに対する期待は高い。

5. 冠動脈石灰化の定量評価

冠動脈の石灰化の原因はほとんどが動脈硬化であり、その程度は冠動脈石灰化の有無、量と相関することが知られている。EBTを用いた定量的評価は、重症度の判定や非典型的な胸痛患者のスクリーニングとして高い有用性が認められており¹¹⁾、米国では広く普及している。しかし、本邦では一部の施設で行われているに過ぎず、一般にはほとんど浸透していない。これはEBTが特殊な装置であり普及率が高くないのが主たる原因と推察される。この点で広く普及しているMDCTでも冠動脈石灰化の定量化が可能であれば、無症候性の患者を抽出する意味でも、高リスク群における心事故の予防の意味でも有用性が高いと考えられる。最近ではMDCTでもEBTに匹敵する結果が得られることが報告されており¹²⁾、期待が持たれる(図8)。この際には、時間分解能は劣るが被曝量の少ないprospective ECG-gatingが適している。

問題点

MDCTを心臓・冠動脈に応用するうえで現時点では幾つかの問題がある。

1. 時間分解能が低い セグメント(マルチセクタ)再構成法などで対処はされているものの充分とはいえない。EBTの時間分解能が100msであるのでこれに近い分解能が望まれる。ガントリの回転速度の高速化が期待される。
2. 頻脈、不整脈への対応 現時点では心拍数が80を超える症例では対応が困難である。また、心房細動や期外収縮などの不整脈への対応も手付かずの状態である。
3. 撮影範囲が狭い この問題は8列、16列といった多

列化で解決されるであろう。

4. 画像処理の問題 VR法などの三次元処理に時間を要することも問題であるが、冠動脈の評価においてはMPRやcurved-MPR法といった人力にたよる方法ではなく、狭窄病変を自動的に定量評価する手法¹⁰⁾の開発が、画像の客観評価という意味でも心臓・冠動脈CTの普及のうえでも非常に重要と考える。

おわりに

MDCTの心臓領域の臨床応用について冠動脈疾患を中心に述べた。今後検出器が8列、16列と多列化し、ガントリが高速回転化するに伴い、より質の高い画像が安定して得られるようになると思われる。しかし、超音波検査やMRIあるいは核医学検査といった優れた非侵襲的な検査法が存在する心臓領域の画像診断において、MDCTが臨床の場でどのように利用されるべきか、現在の診断体系のなかでどのような位置づけになるのか、今後さらに検討する必要があると思われる。

参考文献

1. 安野泰史:心臓—撮影:技術的側面、佐々木真理(編)、MDCT徹底攻略マニュアル、メディカルビュー社、東京;144-151、2002
2. Achenbach S, Ropers D, Holle J, et al: In-plane coronary arterial motion velocity: measurement with electron-beam CT. *Radiology* 216; 457-463, 2000
3. Hong C, Becker CR, Schoepf UJ, et al: ECG-gated reconstructed multi-detector row CT coronary angiography: effect of varying trigger delay on image quality. *Radiology* 220; 712-717, 2001
4. Nieman K, Oudkerk M, Rensing BJ, et al: Coronary angiography with multi-slice computed tomography. *Lancet* 357; 599-603, 2001
5. Achenbach S, Giesler T, Ropers D, et al: Detection of coronary stenoses by contrast-

- enhanced, retrospectively electrocardiographically gated, multislice spiral computed tomography. *Circulation* 103; 2535-2538, 2001
6. Schroeder S, Kopp AF, Baumbach A, et al: Noninvasive detection and evaluation of atherosclerotic coronary plaques with multislice computed tomography. *J Am Coll Cardiol* 37; 1430-1435, 2001
 7. 浜田星紀、高宮誠、笹子佳門：超高速CTを用いた冠動脈大動脈バイパスグラフト術後評価、*日本画像医学* 12; 32-41, 1993
 8. 吉岡邦浩、鎌田弘之、広瀬敦男：冠動脈バイパスグラフトのMR angiography、*日磁医誌* 17;99-104, 1997
 9. Schiele TM, Weber C, Rieber M, et al: Septal course of the left main coronary artery originating from the right sinus of valsalva. *Circulation* 105; 1511-1512, 2002
 10. 栗林幸夫、陣崎雅弘、佐藤浩三ほか：マルチスライスCTによる心臓血管の3次元画像診断：基礎と臨床有用性、*映像情報メディカル* 34; 82-87, 2002
 11. Wexler L, Brundage B, Crouse J, et al: Coronary artery calcification: pathophysiology, epidemiology, imaging methods, and clinical implications. A statement for health professionals from the American Heart Association. *Circulation* 94; 1175-1192, 1996
 12. Becker CR, Kleffel T, Crispin A, et al: Coronary artery calcium measurement: agreement of multirow detector and electron beam CT. *AJR* 176; 1925-1928, 2001

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