

冠動脈外科における MDCT : 現状と課題

三澤 幸辰¹, 佐戸川弘之¹, 佐藤 洋一¹, 高瀬 信弥¹, 渡辺 俊樹¹,
若松 大樹¹, 坪井 栄俊¹, 瀬戸 夕輝¹, 五十嵐 崇¹, 籠島 彰人¹,
横山 斉¹, 橋本 直人², 穴戸文男²

Misawa Y, Satokawa H, Sato Y, Takase S, Watanabe T, Wakamatsu H, Tsuboi E, Seto Y, Igarashi T, Kagoshima A, Yokoyama H, Hashimoto N, Shishido F: **MDCT in coronary artery surgery: current status and problems.** J Jpn Coron Assoc 2007; 13: 51-55

I. はじめに

本邦における冠動脈外科治療は低侵襲な心拍動下冠動脈バイパス術 off pump CABG (OPCAB) が全盛で、2004年度日本冠動脈外科学会の統計によれば、単独 CABG 中 OPCAB の占める割合は 62% に至っている¹⁾。治療法が低侵襲化に向かっている昨今、検査法もより低侵襲性なものが求められる。

心臓・冠動脈の CT による画像検査は、1998 年における MDCT (multidetector row CT) の登場によって大きな変革を遂げた。当初は 4 列の検出器列であったが、その後短期間に技術革新が進み、2002 年には 16 列、2004 年には 64 列の検出器を有する機器が開発され、現在に至っている。冠動脈 CT は、機器の進歩とともに急速に普及しており、診断精度も格段に進歩していることから、今後 gold standard とされる冠動脈造影 (CAG: coronary angiography) に匹敵する画像検査となる可能性がある。

本稿では冠動脈 CT に対する MDCT の概略・有用性、自験例に関して現状と課題を述べることとする。

II. MDCT の変遷

MDCT の進歩は著しく、最小スライス厚は検出器列が 8 列から 16 列へ発展した際に薄くなり、体軸方向の分解能が向上した。64 列に移行してからはビーム幅の拡大があり、短時間で広範囲の撮像が可能となった。同時にガントリ回転速度も短縮され、時間分解能も向上した。これらの進歩により、撮像に要する時間の短縮が得られてきている。

当院では 2002 年に東芝メディカル社製 16 列 MDCT (Aquilion 16ch) を冠動脈 CT に応用開始した。2004 年には

64 列 MDCT (Aquilion 64ch) へ移行し、臨床経験を積み重ねてきている。

III. 64 列 MDCT の利点

1. 心電図同期下の広範囲な撮像

ビーム幅の拡大とガントリ回転速度の向上によって、心電図同期下において短時間で広範囲な撮像が可能となった。16 列 MDCT では息止めを要する撮像時間の制約から撮像範囲が限られていたが、64 列 MDCT ではバイパスグラフト全長にわたる評価も可能となってきている。CAG では、吻合部の形態評価を行うのに多方向からの造影が必要で、グラフト数に比例して造影剤・被曝線量が増加するが、MDCT では 1 回の撮影のみで複数のグラフトとその吻合部を任意の方向から観察可能であり、吻合部を最も適切な方向から描出することが可能である。さらに CAG では特に右胃大網動脈グラフト造影に際しての選択的造影困難やスパズムを経験することがある。こうした場合や大動脈解離・動脈瘤合併例等に対しても MDCT は安全に撮像可能である。

2. 撮像中の心拍数安定

撮像中の心拍数変動は画質の劣化の原因となる。16 列 MDCT では心臓全体の撮像に約 20 秒を要することから、撮像中の心拍数変動が問題となることがあった。64 列 MDCT では撮像時間の短縮が得られ、心拍数が安定するタイミングを狙って撮像することが可能となった。これにより、体軸方向の連続性を含めた画質の向上が得られている。

3. 時間分解能の向上による画質改善

64 列 MDCT では 16 列 MDCT よりも優れた時間分解能を有しており、頻脈傾向の症例でも motion artifact は軽減し、画質が向上している。

総じて 64 列 MDCT に移行して、被験者の肉体的負担が低減するとともに検査時間の短縮、造影剤使用量の低減、

福島県立医科大学¹心臓血管外科、²放射線科(〒960-1295 福島市光が丘 1)

診断能の向上など、検者、被験者双方に多くのメリットをもたらしている。

IV. 画像解析

MDCTにおける冠動脈の表示法には volume rendering (VR)法, curved planar reconstruction (CPR)法, cross section (CS)法等がある。VR法は冠動脈を含めた心臓全体を把握するための表示法である。冠動脈全体を把握するのに適しており、狭窄の存在や石灰化等が認識でき、心筋を含めた心臓全体が多方向から観察できる。当院では術後グラフト評価はVR法で行っている。

V. MDCTの限界

1. 症例選択の問題

MDCTが64列まで進歩したが、撮像時の心拍の安定は鮮明な画像を得るために非常に重要である。心拍数100以上の頻脈や50以下の徐脈、心房細動、期外収縮等の不整脈のある症例ではartifactにより画像再構成が困難となり、正確な診断が難しくなる。ペースメーカー植え込み術後の症例においても、ペースメーカー本体に誤作動を生ぜしめる可能性があり、使用は避けたほうが無難である。

2. 読影に影響する要因

64列MDCTにても高度石灰化病変における判定については依然困難さが残る。現状では心筋シンチやMR angiographyなどを補完的にを行い評価判定するか、CAGによる確認が必要である。その他、グラフト採取時に使用するmetal clipはartifactとなるため、動脈グラフトの分枝処理は可及的にHarmonic Scalpel等で行う必要がある。さらにMDCTは血流の方向を捉えられない。Flow competitionを生じている場合にはグラフトに造影遅延を生じ、開存グラフトを閉塞と誤診するリスクがある。

3. 放射線被曝量

64列MDCTは高品質画像を得るためにピッチを小さくしてあり、放射線被曝量が多い²⁾。撮像プロトコールにもよるが、被曝量はMDCTによる造影では7~13 mSv、CAGでは3~25 mSvとの報告がある。MDCTは低侵襲ではあるが、放射線被曝量という観点ではCAGと同等であり、安易に頻回に行うものではない。

4. 救急症例

状態不良の症例では息止めにより症状の増悪を来したり、画像再構築に最低30分程度を要し、冠動脈救急症例には不向きな場合もある。

VI. MDCTによる術前評価

当院では通常、OPCAB術後評価にMDCTをルーチンに施行しており、術前評価には多用していない。しかしCAGの所見にMDCTの所見を付加することにより、手術プランニングに有用と考えられる場合もあり³⁾、以下に列挙した。

1. 冠動脈石灰化病変での応用

MDCTは石灰化病変の検出は容易である。この情報を基に、術前にグラフトの距離を考慮し、石灰化病変を避けながら吻合部の計画立案が可能で、長期透析症例・糖尿病症例等、動脈壁石灰化が著明な症例に有用である。

2. 心筋内走行、脂肪組織に埋没している冠動脈での応用

MDCTの横断像やMPR(multi planar reformation)画像を合わせて観察すると、冠動脈とその周囲組織(心筋、脂肪など)を同時に把握できる。心筋内走行、脂肪組織に埋没している冠動脈は時に同定が困難で、エコーガイド下に同定せざるを得ない状況も経験している。このような症例ではMDCTにより、術前に走行を予測することが可能となる。

3. MIDCAB(minimally invasive direct coronary artery bypass)への応用

MDCTのVR画像を用いると、左前下行枝の走行と左内胸動脈の関係を立体的に把握することが可能であり、皮膚切開部位、肋間開胸部位を含め、MIDCABの術前計画に有用である。

4. 再手術症例への応用

再手術症例に対してMDCTを行うことで開存しているグラフトの走行を周囲組織との関係を含めて立体的に把握できるため、グラフト損傷を回避するのに有用である。

VII. MDCTによる術後評価

現状ではCABG術後の正確なグラフト評価法としてはCAGがgold standardである。とくに、本邦では多数の施設で術後早期にCAGが施行されており、これは本邦の特徴である。欧米諸国では術後早期のCAGは行われていないのが現状である。その要因の一つは、CAGが苦痛を伴う上、侵襲的なことであり、カテーテルによる塞栓症、不整脈、グラフト損傷、造影剤アレルギー、腎機能障害等が生じる場合がある。極めてまれではあるが、死亡に至るリスクもゼロではない。さらに、CAG検査料の保険点数はMDCT検査料の3~5倍高価であり、術後にCAGを全症例に対して行うのは医療経済の面でも好ましいことではない。そのため、術後早期にイベント(狭心症再発や心電図変化等)を起こした症例以外のCAGの必要性に関しては議論すべき問題ではある³⁾。

しかしながら症例の予後を評価する上で、バイパスグラフトの開存状態は極めて重要である。従来の人工心肺を使用したconventional CABGから技術的に難易度の高いOPCABが主流となってきた昨今、CAGに近い診断精度を有し、合併症の危険性が少ない検査法の確立が望まれるところであり、低侵襲なMDCTの担う役割は大きい。

VIII. 当院での稼働状況の実際

当院では2001年1月からCABG待機症例はOPCABを

基本としており、2006年末までに350例超のOPCABを経験した。MDCTは当院では2002年10月に導入され、以後、術後評価としてルーチンに施行している。

術後全身状態が安定した段階でMDCTを施行するが、息止めの問題もあり、通常術後1~2週の間には施行することが多い。イベント発生例は最初からCAGを選択する場合もある。造影剤アレルギー症例、血液透析導入が危惧される腎不全症例は除外し、心筋シンチでの評価としている。

1. 検査前準備

冠動脈CTでは心電図同期での撮像と、血管拡張薬やβ遮断薬等の薬剤使用下での検査とが通常のCT撮像と異なる点である。16列時代には長時間の息止めが必要であったため、検査時の酸素吸入を行うこともあった。64列に移行してからは最小厚0.5mmの撮像でも10秒未満で終了するため、現在は必要としていない。

高濃度造影剤(370 mgI/ml・100 ml シリンジ製剤)と生理食塩水をデュアルインジェクターにセットする。

2. ニトログリセリン舌下投与

検査前に冠動脈を拡張させるため、当院ではニトログリセリンを舌下投与している。しかし、高度の大動脈弁狭窄症、肥大型閉塞性心筋症等の症例にはニトログリセリンは禁忌である。

3. β遮断薬投与

64列に移行してからは撮像時間の短縮により心拍変動による影響が低減されたため、以前と比較するとβ遮断薬の必要性は少なくなったと考えられる。気管支喘息、低血圧、徐脈の症例にはβ遮断薬は禁忌である。心拍数コントロールにより、より良好な画像が得られると判断される場合に投与する場合もある。

4. 静脈路確保・心電図装着

右肘静脈に留置針にて静脈路確保を行う。高濃度造影剤

を高速注入するため、針のサイズは通常20Gとしている。両上肢を挙上し、胸壁3点に心電図電極を装着する。

5. 息止め

64列に移行してからは息止めの時間も短縮しているが、良好な画像を得るためには息止めは非常に重要である。術後呼吸状態が安定せず、十分な息止めが不可能な場合は適応とならない。

6. 撮像

MDCT機種は東芝メディカル社製 Aquilion (64列)を現在は使用している。撮像法は非イオン性ヨード造影剤75 mlを秒間4.4 mlの速度で投与し、デュアルインジェクターによる生理食塩水30 mlの後押しで、右心系造影剤を



図1 72歳男性、両側内胸動脈グラフト使用症例 RITAをLADに、LITAをOMに、GEAをRV branchに吻合した。

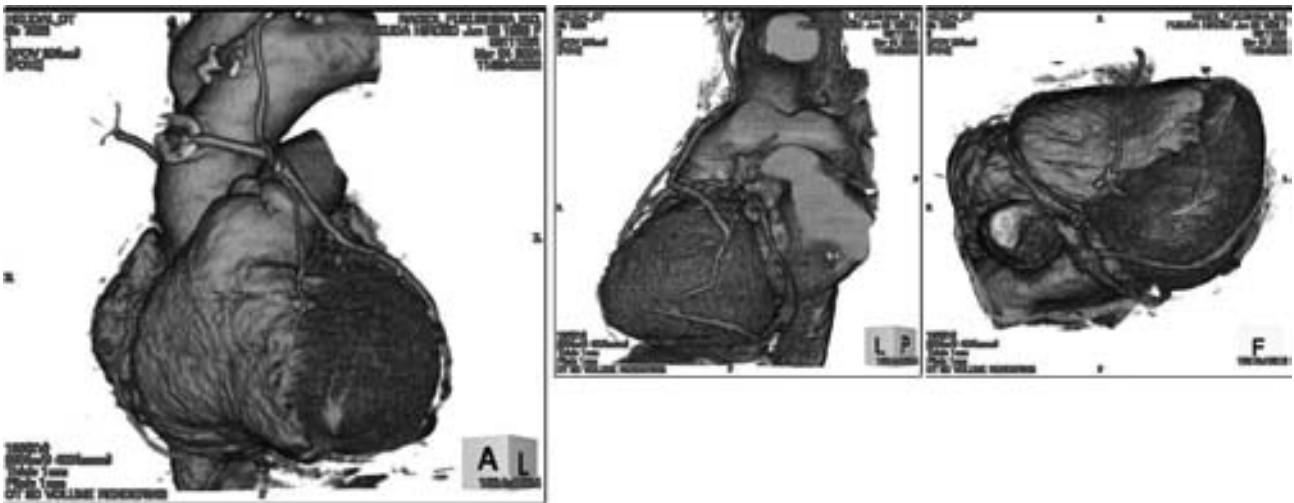


図2 67歳女性、動脈グラフトによる4枝バイパス症例 LITA-LAD, Ao-RAG-D_r-OM, GEA-4PD.

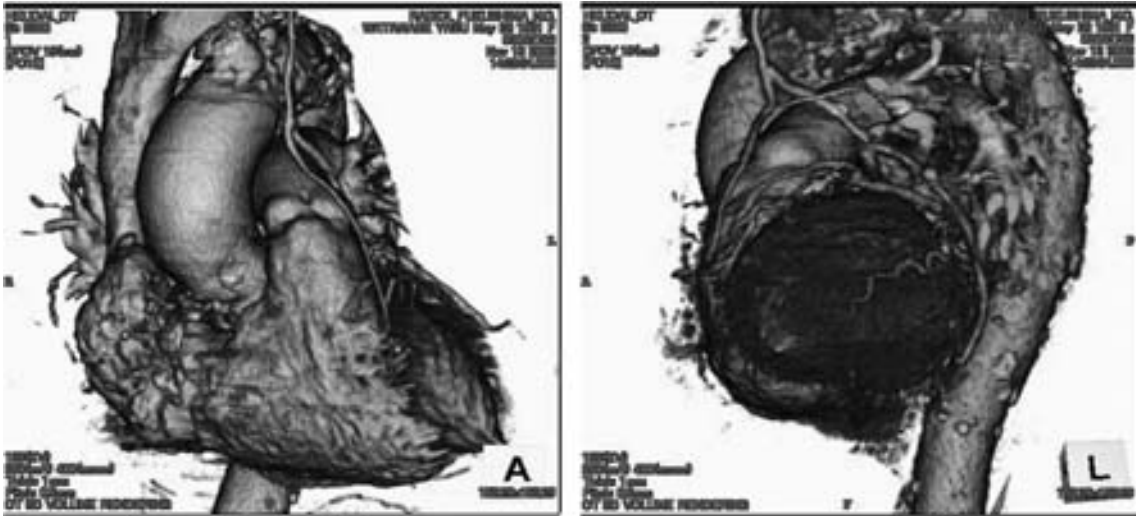


図3 72歳女性，上行大動脈の石灰化を認める症例
RAをLITAへのY-compositeとしてPL，4AVにsequential bypassした。



図4 67歳男性，左肋間開胸による再手術症例
RAを使用，中枢側吻合を左鎖骨下動脈とし，LCXに吻合した。

フラッシュする。胸部大動脈に造影剤が流入してくるのを確認し撮像開始，心電図同期スキャンとしている。VR法による3次元画像構築を行い，グラフト開存状況を確認する。16列時代は造影剤を100 ml投与していたが，64列に移行してからは75 mlを基本としている。

7. 成績

OPCAB 350症例での各グラフトの使用本数とMDCTによる開存評価の結果を以下に示す。

左内胸動脈グラフト(LITA)：	308(98.0%)
右内胸動脈グラフト(RITA)：	42(100%)
橈骨動脈グラフト(RA)：	169(98.9%)

右胃大網動脈グラフト(GEA)： 137(99.4%)

大伏在静脈グラフト(SVG)： 85(95.8%)

8. 症例呈示

各種ストラテジーに基づくOPCAB術後MDCT所見(VR画像)を図1~4に呈示する。

9. 課題

MDCTの画像解析用ワークステーションには冠動脈を自動抽出する高度なアルゴリズムが内蔵されているが，自動化までには至っていない。画像データを最終的に臨床使用可能なレベルにするため，時間をかけて再構築する必要があり，その所要時間は熟練した者でも最低30分を要するのが現状である。そのような観点からMDCTの画像解析は検者の熟練度に結果が左右される超音波検査に近い側面を有している⁴⁾。時間と熟練が必要なこの解析過程を当院では多忙な教室員が臨床の合間に行っているのが実状である。従来の機種では動脈グラフトを径の細い右冠動脈や左回旋枝末梢に吻合した場合，グラフト開存の評価も困難な場合があった。64列に移行してからは，この問題はほぼ解決している。しかし，右冠動脈や左回旋枝末梢における吻合部評価はmotion artifact，不十分な息止め，不整脈発生の問題等により修飾され，熟練者による画像再構築を経ても評価困難なこともある。

CABG術後グラフト評価にMDCTとCAGを併施し，所見を比較検討した文献が散見される^{3,5)}。MDCT単独でグラフト開存評価は十分可能であるが，やはり右冠動脈や左回旋枝末梢における吻合部評価の向上は今後の課題と結論している。現状では撮像時の確実な息止めや心拍数・不整脈コントロール等を可及的に行い，画質向上に努力するしかない。

急速な進歩を遂げてきてはいるものの，MDCTの現時点での時間・空間分解能はCAGと比較してまだ十分なレベ

ルではない。MDCTがCAGに匹敵する診断能力を獲得するためにも、さらなる時間・空間分解能の向上が期待される。同時に被曝線量の低減も今後の課題である。

文 献

- 1) 瀬在幸安, 折目由紀彦, 塚本三重生: わが国の冠動脈外科の現状: 2004年度全国冠動脈外科アンケート結果. 冠疾患誌 2006; 12: 9-16
- 2) 呉羽布美恵: 64列MDCTを冠動脈狭窄の検出の一次検査とすることの効用と限界. 冠動脈疾患とMDCT—64列MDCTによる新たな診断の幕開け, 木原康樹, 伊藤 亨編, 文光堂, 東京, 2006, 39-44
- 3) 山本真人, 木村文子, 田中 功, 上野恵子, 竹内靖夫: CABG術前術後のMDCTの有用性—心臓血管外科医の立場から—. 臨床放射線 2006; 51: 45-54
- 4) 木原康樹: はじめに—新たな冠動脈診断の幕開け—. 冠動脈疾患とMDCT—64列MDCTによる新たな診断の幕開け, 木原康樹, 伊藤 亨編, 文光堂, 東京, 2006, 2-3
- 5) 大野美紀子, 三木真司, 溝口 哲, 河野 裕, 松前宏信, 加藤雅史, 吉田 章: 16列マルチスライスCT(MDCT)による冠動脈バイパスグラフト吻合部の評価. 冠疾患誌 2004; 10: 158-162