

## CABG 後遠隔期グラフト評価における MDCT の有用性

鳥井 晋造<sup>1</sup>, 小原 邦義<sup>1</sup>, ウッドハムス玲子<sup>2</sup>, 松永 敬二<sup>2</sup>, 埴 宏典<sup>2</sup>

Torii S, Ohara K, Woodhams R, Matsunaga K, Hanawa H: **Noninvasive longterm follow-up of coronary artery bypass grafts with multidetector-row computed tomography.** J Jpn Coron Assoc 2007; 13: 65-70

### I. はじめに

冠動脈疾患の画像診断においては選択的冠動脈造影 (CAG) が最終診断法とされ、揺るぎない重要性を保ってきた。冠動脈バイパス術 (CABG) 後の follow-up においても、早期ではグラフトの開存性・還流状態・吻合部形態を、遠隔期ではそれらに加えて冠動脈病変の進行を評価する際に、従来は CAG 以外に信頼できる選択肢がなかった。CAG の致死合併症の頻度は 0.2% 以下で、熟練した医師による CAG は安全性・侵襲性とも十分許容される検査といえる。しかしながら、無症状で順調に経過している患者や不定愁訴のみで虚血を示すデータの乏しい患者など侵襲的検査の必要性が低いと思われる対象には、非侵襲的画像診断が望まれる。

X 線の被曝があることおよびヨード造影剤を使用することを除くとほとんど侵襲のない CT は、血管内腔のみでなく壁に関する情報まで得られるため、MRI とならんで大血管病変の診断には第一選択である。CT が有する利点は、僅かな X 線吸収の差を識別できるコントラスト分解能や空間分解能に優れ、物質の数値情報を CT 値として得られることである。近年、高速・広範囲の撮影を可能にした MDCT (multidetector-row computed tomography) の開発によって冠動脈の画像化が現実のものとなった。検出器の多列化と空間分解能の向上、ガントリ一回転速度の高速化による時間分解能の向上、画像再構成法の進歩により、MDCT による冠動脈・グラフトの評価が臨床の場で広く応用されるようになった。

動脈グラフトが多用される現在でも、50% 以上の症例で少なくとも 1 本以上の静脈グラフトが使用されている。静脈グラフトは川崎病の小児例などで術後 26 年以上の長期開存<sup>1)</sup> (図 1) も認められているものの、Fitzgibbon ら<sup>2)</sup> は静脈グラフトの開存性は、術後 15 年以上経過すると 50% 程度まで低下し、再手術に至る率は初回手術後 5 年から増

加すると報告している。Graft disease を早期に発見し、カテーテルインターベンション (PCI) や再 CABG により心筋梗塞を防ぐことは、CABG 患者の術後 follow-up の目的のひとつであり、遠隔期には無症状であってもグラフト評価を定期的に行い、無症候性グラフト不全を発見することは重要である。これらの患者において MDCT の非侵襲性が最も活かされる。遠隔期患者 (CABG 後 10 年以上) のグラフト評価を MDCT で行った自験例を含めて、MDCT によるグラフト評価について述べる。

### II. MDCT による冠動脈バイパスグラフト評価の現状

1980 年代より CT による冠動脈バイパスグラフトの開存性の評価が行われてきた<sup>3)</sup> が、1998 年の 4 列 MDCT 登場によって精度が高まり、術後検査の選択肢のひとつとなった。2002 年の 16 列 MDCT の登場を契機として臨床現場で本格的に普及し、冠動脈バイパスグラフト評価におけるその有用性はほぼ確立されたといえる。空間分解能や時間分解能がさらに向上した 64 列 MDCT が 2004 年に登場し、16 列 MDCT の評価不能の要因のひとつであった motion artifact が減少して画質が改善し、グラフトのみならず冠動脈の評価においても有用性が認められつつある。64 列 MDCT の普及は急ピッチで進んでいるが文献的報告はまだ少ないため、16 列 MDCT についての文献的報告<sup>4-10)</sup> から現状を述べる。

#### 1. 対象

検査対象を術後平均 5~7 年の CAG を必要とする有症状患者に絞ったもの<sup>4-6)</sup> から、術後早期から中期の無症状の患者を対象としたもの<sup>7-10)</sup> までさまざまであるが平均年齢は 55~67 歳であった。対象から除外する基準として不整脈、とくに心房細動をほとんどの報告<sup>4-6,8,10)</sup> で採用している。心拍数については β ブロッカーを使用しても 70/分以上の症例を除外したもの<sup>4,5,10)</sup> から、β ブロッカーは使用せず最高 97/分の症例まで含めたもの<sup>9)</sup> までであるが、検査中の平均心拍数は 54~82/分であった。ほかには、早期の CAG が必要な不安定狭心症、造影剤使用が制限される腎不全、スキャン中の呼吸停止が困難な呼吸機能低下・心不

北里大学医学部<sup>1)</sup> 心臓血管外科、<sup>2)</sup> 放射線科 (〒 228-8555 神奈川県相模原市北里 1-15-1)



図1 34歳，男性，洞調律，心拍数72/min  
7歳時に川崎病冠動脈後遺症に対して左心室瘤切除とCABG (SVG-RCA #2)を施行された。術後26年経過してもSVGは石灰化や狭窄なく，良好に開存している。

全など除外基準としている。

## 2. 撮影法

前処置としてβブロッカーを使用する場合は，検査3日前よりアテノロール50～100mgを経口投与する方法<sup>5,10)</sup>，検査1～1.5時間前にメトプロロール20～60mg<sup>7,8)</sup>やアテノロール50mg<sup>6)</sup>を単回経口投与する方法，検査中にエスモロールを静脈投与する方法<sup>4)</sup>がとられている。ニトログリセリンが使用される場合は，検査直前に0.3～0.8mg舌下投与された。心電図同期は，全例retrospective gating法が用いられている。撮影条件は，管電圧120～140kV，管電流400～600mA，ガントリー回転速度は420～600msで0.625～0.75mmのスライス厚に設定された。撮像開始のタイミング決定には，テスト造影法を採用している施設がほとんどでbolus tracking法は少数<sup>10)</sup>であった。85～145mlの非イオン性造影剤を3.5～4ml/秒の速度で注入し，生理食塩水でフラッシュする投与方法が一般的である。撮影時間は15～30秒前後で，呼吸停止を容易にするために酸素投与を行う場合<sup>7,8)</sup>もある。

## 3. グラフト評価の結果

バイパスグラフト評価のgold standardであるCAGと比較してMDCTの精度を検討した成績<sup>4-8)</sup>とMDCT単独で評価した成績<sup>9,10)</sup>を表1に示す。グラフトの50%以上の狭窄を有意狭窄として判断して，閉塞と狭窄に関して検討した結果は，グラフト閉塞の診断成績は，sensitivity 99～100%，specificity 93～100%であり，グラフト狭窄の診断成績はsensitivity 58～100%，specificity 85～100%と良好な成績であった。狭窄の基準をPCIが必要となるような高度狭窄に限定するとsensitivityはさらに上昇し，negative predictive value (NPV)も高値となる。したがって，MDCTで有意狭窄がなければ，少なくともPCIを必要と

するような高度狭窄が存在する可能性は低く，グラフトの開存性のみならずgraft diseaseのスクリーニング法としてもMDCTは有用であるといえる。また，CABG後の経過年数で比較した報告<sup>7)</sup>では，術後2年未満と以上との動脈グラフトでは，経時的な診断精度の低下は認められなかった。無症状の患者を対象としている場合<sup>7-10)</sup>は，97～100%のグラフトや吻合部が評価可能で，MDCTで閉塞・狭窄がなければ，CAGを回避してよいレベルに達している。しかしながら，有症状の患者を対象としている場合<sup>4-6)</sup>は，不整脈や息止め不良などの原因で6～13%患者を評価対象から除外していること<sup>4,5)</sup>，28～38%患者で1本以上の評価不能グラフトを有しgraft diseaseの頻度も高まるため，MDCTの結果でCAGを回避できたのは25%であったことなどから，MDCTでCAGの必要患者を選別するという目的において，有症状患者は16列MDCTの良い適応ではないと結論している。

## III. 当院における遠隔期(術後10年以上)グラフト評価

### 1. 対象と方法

対象は，CABG後10年以上経過した造影検査可能な症例で，調律，心拍数，心機能などの除外基準は設けなかった。術後10～26年(平均11.7年)経過した16例(全例男性)，年齢34～82(平均69)歳から検査の同意が得られた。無症状13例，有症状3例(胸痛1例，心不全2例)で，調律は，心房細動2例，心房ペースング1例，心室ペースング1例であった。評価したグラフト本数は36本で，内胸動脈グラフト(ITA)15本，大伏在静脈グラフト(SVG)21本，SVGは6本をsequentialに吻合したため冠動脈との吻合数は42カ所であった。CAGと比較できたのは5例で，有症状のためMDCTの1カ月以内にCAG施行した2例と，後に症状が出現したため1～2年後にCAG施行した3例であった。

βブロッカーの前投薬は行わず，撮影時の心拍数は52～82/分(平均67/分)，直前のニトログリセリン投与も行っていない。撮影装置は，GE社製Light speed ultra 16，撮影条件は，管電圧120kV，管電流300mA，スライス厚1.25mm，ガントリー回転速度は心拍数40～75/分では500ms，76/分以上では600msに設定した。撮影範囲は大動脈弓から心臓下縁までで，撮影時間は15～20秒，酸素2l投与下に撮影した。非イオン性造影剤100mlを2相投与(3.5ml/秒80ml，次いで1.7ml/秒20ml)し，その後生理食塩水2.5ml/秒40mlで後押しした。撮影タイミングはbolus tracking法で決定し，retrospective gating法による心電図同期を行った。諸家の報告に準じてグラフトが全長にわたって連続して追えるものを開存，CPR(curved planar reconstruction)像の目視で50%以上の狭窄が認められるものを狭窄と判断した。

### 2. 結果

ITAは，14本が左前下行枝(LAD)に，1本が対角枝(D)

表 1 バイパスグラフト評価 (CAG 比較と MDCT 単独との場合)

	Schlosser	Martuscelli	Anders	大野	山本	Gurevitch	Di Lazzaro	自験例
症例数	51	96	32	75	42	14	40	16
年齢(平均)(歳)	50~76(65)	(62)	47~81(67)	(66)	39~84(64)	37~78(57)	(55)	34~82(69)
術後期間	67±75 カ月	5~10年(7年)	記載なし	8日~12年	20±21日	3日~12カ月	3年	10~26年(12年)
症状	記載なし	あり	あり	記載なし	なし	なし	なし	あり3例, なし13例
除外条件	洞調律以外 腎不全 甲状腺機能亢進症	心房細動 不整脈・HR70 ↑ 腎不全・心不全 呼吸機能低下	不整脈	記載なし	心房細動	腎不全	不整脈・HR70 ↑ 腎不全・心不全 呼吸機能低下	なし
β ブロッカー	HR70 ↑ エスモロール DIV	検査3日前より アテノロール 50~100 mg/day	HR60 ↑, 検査1h前 アテノロール 50 mg	HR60 ↑ メトプロロール 20~40 mg (69)	30例で検査1.5h前 メトプロロール 20~60 mg 49~90(67)	使用せず	検査3日前より アテノロール 50~100 mg/day 54±11	使用せず
検査時 HR (/min)	64±5	58±5	45~85(63)	200 (69)	101 96 5	30	145	36
グラフト総数	131	251	94	200	101	26	92	15
動脈グラフト	41	85	20	99	96	4	53	21
静脈グラフト	90	166	74	101	5	なし	なし	12本
評価不完全	3例	12例	9~12例に1本以上の評価不完全 graft	7本	2本	なし	なし	なし
閉塞 or 狭窄								
sensitivity (%)	95	97	100	99	100			
specificity (%)	95	100	98	100	93			
閉塞								
sensitivity (%)		100	100	99	100			
specificity (%)		100	98	100	93			
狭窄								
sensitivity (%)		90	80~82	58	100			
specificity (%)		100	85~88	98	99			
PPV (%)			57~64	83	67			
NPV (%)			94~95	93	100			

PPV: positive predictive value, NPV: negative predictive value



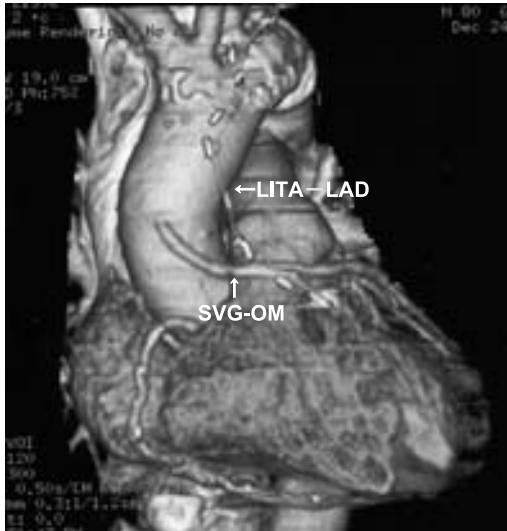


図2 80歳, 男性, 洞調律, 心拍数77/min, CABG(LITA-LAD, SVG-OM)術後14年  
SVGは狭窄なく開存していることが確認できる。LITAも全長確認できるが、metal clipの近くは、狭窄の有無の判定は困難である。右冠動脈の石灰化も確認できる。

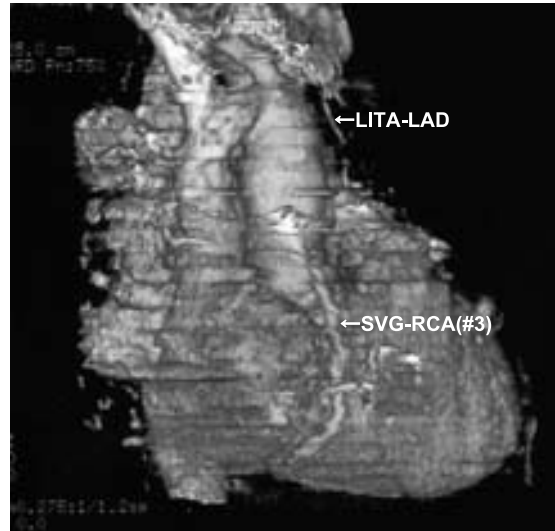


図4 80歳, 男性, 心房細動, 心拍数78/min, CABG(LITA-LAD, SVG-RCA #3)術後12年  
慢性心不全で入院中に検査。心房細動と息止め不良のため画質は悪いが、SVGはかろうじて確認できる。LITAは途絶しており、機能していない可能性が高い。



図3 80歳, 男性, 洞調律, 心拍数52/min, CABG(LITA-LAD, SVG-D1-PL)術後10年  
糖尿病と軽度の認知症があり、息止めが困難であった。SVGは中枢側吻合部がdimple状となっており、閉塞と判断される。LITAは断続的にしか確認できず、開存と判断する基準に達していないが、確認できる範囲ではLITAはRITAより太く、機能しているグラフトと推定される。

に吻合されていたが、15本中全長造影され開存と判断できたのが2本(図2)、全く造影されず閉塞と判断できたのは2本、他の11本は断続的に造影され、開存と評価できる基準に達する画像が得られなかった(図3)。それに対してSVGはLADに1本、Dに6本(5本がsequential)、左回旋枝(LCx)に11本(6本がsequential)、右冠動脈(RCA)に8本吻合されたが、17本(3本がsequential)が開存、D-LCxのsequential吻合を行った3本が閉塞、RCAに吻合した

1本の造影が断続的で評価できなかった。36本中開存19本(53%)、閉塞5本(14%)、評価困難12本(33%)で、開存19本中2本に50%以上の狭窄を認めた。心房細動の2症例においてもSVGに関しては、開存と判断できる画像が得られた(図4)。CAG施行した5例(ITA 4本, SVG 7本, sequential 3本)と比較すると、開存・閉塞ともMDCTの評価と一致し、MDCTで評価困難であったITA 3本とSVG 1本は開存していた。狭窄についての診断も2本とも一致し、MDCTで見逃した狭窄はなかった。

CABG後10年以上経過すると患者は高齢化し、さまざまな合併症の有病率が高くなる。今回対象とした16例中80歳以上が6例(38%)で、心房細動+慢性心不全(1例)・パーキンソン病(1例)・認知症(1例)・呼吸機能低下(1例)を有しており、このような症例では息止めが困難であり、息止めによる心拍数変化も大きくなる。今回の検討では低侵襲が求められる高齢者を対象とする目的で、息止め時間を短縮するためスライス厚を1.25mmと厚めに設定した影響で、LITAの描出に問題が残った。Metal clipのハレーションにより、LITAの一部が隠されてしまったことである。CAGと比較できた5症例においては評価困難であったLITA 3本が狭窄なく開存しており、無症状で経過している症例については、部分的に描出されなくとも前後のLITAの状態から推定して開存性の判断は可能と思われる。しかしながら、有症状例においては評価困難なグラフトが存在すればもちろん、すべてのグラフトが評価可能であっても、その結果にかかわらずCAGは必要となってくる。Andersらの指摘のごとく、有症状例に対しては不要なCAGを避ける目的でMDCTを行うのは適当ではなく、CAGやPCIを前提として行って治療を迅速化させる

ことが最大の利点であろう。

検査による合併症は1例も認めなかったが、自験例16例中2例がペースメーカー植込み後の患者であった。現在、植込み型ペースメーカー(PM)患者総数は30万人に及ぶといわれている。PM患者は、心電図による虚血診断が難しいことが多いため、冠動脈やグラフト評価には画像診断が第一選択となる。徐脈に対するPM患者におけるCT検査に際して、間欠的オーバーセンシングが発生した3症例が2004年に報告された。その後のペースメカ協議会による実験では、ダイナミックモードで本体上の同じ場所を5秒以上スキャンするとPMでは連続したオーバーセンシングの、植込み型除細動器(ICD)ではオーバーセンシングによる不適切作動の可能性があることを報告している。MDCT検査時に用いられるヘリカルスキャンモードでは、本体上を約0.5秒/回・3秒間スキャンすると間欠的オーバーセンシングが認められることが確認された。また、心再同期療法に用いられる両心室ペースメーカー(CRT)のひとつであるMedtronic® InSync8400では、オーバーセンシング以外にも部分的電気リセット(PER)が報告されている。自験例の2例では、オーバーセンシングは認められなかったが、虚血診断のためのMDCTの件数が増加している現状では、十分な注意が望まれる。ペースメカ協議会の添付文書の改訂では、主としてダイナミックモードを想定した注意書きがあり、PM患者の場合は「本体植え込み部分にX線束を5秒以上連続して照射しない」、ICD患者の場合は「本体にX線束を照射しない」ように十分注意することを勧告している。やむを得ず照射する場合は、PM患者の場合は自己脈と競合しない心拍数の固定ペースモードに変更すること、一時的体外ペースの準備をして検査することを勧めている。ICD患者の場合は頰脈検出機能を一時オフにした後に体外式の除細動器や一時ペースの準備を行ってから検査するように指示している。CRTのMedtronic® InSync8400の場合は、原則禁忌である。それ以外のCRTはPMに準じている。ヘリカルスキャンモードについてはその対策に言及されていないが、PM患者の場合は本体上のスキャンを3秒未満にとどめること、および、その条件に合うように検査範囲やプロトコルを変更することが必要である。いずれの場合にも心電図等の十分なモニターや医療技術者の協力は不可欠である。両室ペース機能付き植込み型除細動器(CRTD)も、ICDやCRTに準じて取り扱うべきであろう。センシング回路にC-MOS回路が使用されている限り、CTと相互作用があることを忘れてはならない。

#### IV. 今後の展望

16列MDCTと比較して64列MDCTは、beam collimationが10 mm(0.625×16)→40 mm(0.625×64)、ガントリー回転速度が500 ms→350 ms、再構成アルゴリズムが2 dimension→3 dimensionに向上したために、時間分解能が

格段に改善した<sup>11)</sup>。その結果、高心拍でも画質が良くなり、撮影時間を短縮することが可能となった。また、検査時間すなわち息止め時間の短縮は、心拍数を安定させ、広範囲撮影を可能とし、造影剤の低減をもたらした。鎖骨下動脈から横隔膜までの撮影が10~12秒で、50 ml程度の造影剤で可能である<sup>12)</sup>。Pacheらは、CABG後93±56カ月の31例に対して64列MDCT検査を行った結果を報告している<sup>13)</sup>。不整脈や心拍数などの除外基準を設けず、対象は有症状で年齢も45~83(68±8)歳と高齢者を含んでいるにもかかわらず、96本すべてのグラフトと94%の遠位吻合が評価可能で、高度狭窄のsensitivity 98%, specificity 89%, positive predictive value(PPV)90%, negative predictive value(NPV)98%であり、SVGに関してはNPV 100%であった。

64列MDCTの登場によりグラフト評価においては症状の有無にかかわらずMDCTが第一選択となった。近い将来冠動脈疾患を疑われる患者すべてにおいて第一選択の検査法となるであろう。しかしながら、通常のCTと異なり、MDCTは診断可能な画像が自動的にできてくるわけではない。画像を臨床評価に使用可能なレベルに補正・修正するのは検者のpost-processingによるところが大きい。木原は、関係各科間および医師と放射線技師の間で責任の分担と知識の共有が行われて行くことが、本検査の発展に不可欠であることを指摘している<sup>12)</sup>。

#### 文 献

- 1) 鳥井晋造：川崎病冠動脈病変と手術適応。冠動脈外科の要点と盲点，高本真一監，竹内靖夫編，文光堂，東京，2005，286-288
- 2) Fitzgibbon GM, Kafka HP, Leach AJ, Keon WJ, Hooper D, Burton JR: Coronary bypass graft fate and patient outcome: angiographic follow-up of 5065 grafts related to survival and reoperation in 1388 patients during 25 years. *J Am Coll Cardiol* 1996; **28**: 616-626
- 3) Brundage BH, Lipton MJ, Herfkens RJ, Berninger WH, Redington RW, Chatterjee K, Carlsson E: Detection of patent coronary bypass grafts by computed tomography: a preliminary report. *Circulation* 1980; **61**: 826-831
- 4) Schlosser T, Konorza T, Hunold P, Kuhl H, Schmermund A, Barkhausen J: Noninvasive visualization of coronary artery bypass grafts using 16-detector row computed tomography. *J Am Coll Cardiol* 2004; **44**: 1224-1229
- 5) Martuscelli E, Romagnoli A, D'Eliseo A, Tomassini M, Razzini C, Sperandio M, Simonetti G, Romeo F, Mehta JL: Evaluation of venous and arterial conduit patency by 16-slice spiral computed tomography. *Circulation* 2004; **110**: 3234-3238
- 6) Anders K, Baum U, Schmid M, Ropers D, Schmid A, Pohle K, Daniel WG, Bautz W, Achenbach S: Coronary artery bypass graft (CABG) patency: assessment with high-resolution submillimeter 16-slice multidetector-row computed tomography (MDCT) versus coronary angiography. *Eur J Radiol* 2006; **57**: 336-344
- 7) 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
- 8) 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
- 9) Gurevitch J, Gaspar T, Orlov B, Amar R, Dvir D, Peled N, Aravot DJ: Noninvasive evaluation of arterial grafts with newly released multidetector computed tomography. Ann Thorac Surg 2003; **76**: 1523-1527
- 10) Di Lazzaro D, Ragni T, Di Manici G, Bardelli G, Da Col U, Grasselli F, Antoniella A, Papa W, Crusco F, Giovagnoni A: Noninvasive midterm follow-up of radial artery bypass grafts with 16-slice computed tomography. Ann Thorac Surg 2006; **82**: 44-50
- 11) 陣崎雅弘, 佐藤浩三, 田波 穰, 山田 稔, 栗林幸夫: マルチスライスCTを用いた冠動脈評価—16列 vs 64列—. 臨床放射線 2006; **51**: 41-44
- 12) 江原夏彦: 冠動脈バイパスグラフトの評価と64列MDCT. 冠動脈疾患とMDCT, 木原康樹, 伊藤 亨編, 文光堂, 東京, 2006, 120-127
- 13) Pache G, Saueressig U, Frydrychowicz A, Foell D, Ghanem N, Kotter E, Geibel-Zehender A, Bode C, Langer M, Bley T: Initial experience with 64-slice cardiac CT: non-invasive visualization of coronary artery bypass grafts. Eur Heart J 2006; **27**: 976-980