

## 講座

## 冠状動脈疾患の画像診断 —16列 Multidetector-row CT (MDCT)を中心に—

吉 戒 勝\*, 大 西 裕 幸\*, 麓 英 征\*  
古 賀 伸 彦\*\*, 川 崎 友 裕\*\*, 古 賀 久 士\*\*

## はじめに

近年, CT 装置の技術革新はめざましく, 検出器の多列, 薄層化が進み, 複数の検出器を搭載した多列検出器搭載 CT (Multidetector-row CT : MDCT) が登場し, 動的臓器である心臓を CT にて撮影することが可能となった. 心臓 MDCT にて心臓形態, 心膜炎, 心筋症, 弁膜症, 冠状動脈疾患などの形態診断のみならず, 局所心機能評価まで可能である. 本稿では虚血性心疾患の画像診断, 特に 16 列 MDCT による冠状動脈の画像診断を中心に述べる.

## 冠状動脈 MDCT 撮影法

## A. 前処置

心周期における拡張期時間は心拍数に依存し, 時間分解能を向上させ鮮明な画像を得るには低心拍数が有利である. そのため頻脈傾向にある場合は, 気管支喘息や著明な心機能低下症例などの禁忌症例を除き,  $\beta$  遮断薬を検査前に投与している. また十分な冠状動脈拡張を得る目的で亜硝酸剤も使用している. 16 列 MDCT では約 20 秒間の呼吸停止が必要であり<sup>1)</sup>, 心電図モニター下に呼吸停止練習を行い, その間の心拍数変動をチェックする.

## B. 造影剤注入法

16 列 MDCT では約 100ml の造影剤を必要とし, その注入法には 1 段注入法, 2 段注入法, 2 段混合注入法などがあり, インジェクターを使用する. 右心系でのアーチファクト軽減のために 2 段注入

法や 2 段混合注入法が一般的に使用される.

## C. 撮影開始タイミング決定法

静脈への造影剤注入から心臓までの造影剤到達時間は心拍数, 心機能などにより変動するため, 造影剤注入後の最適な撮影開始タイミングを決定する必要がある. リアルタイムに造影剤の到達を観察もしくは CT 値を測定し撮影を開始するリアルブレップ法 (Sure Start) や少量の造影剤を注入し上行大動脈への造影剤の到達時間をあらかじめ測定してから実際の注入を行うテストインジェクション法 (Dynamic Scan) が用いられる.

## D. スキャン法

鮮明な冠状動脈画像を得るには心臓の動きが少ない拡張中期から末期にかけてのデータを収集することが必要で, 心電図同期スキャンを行う. 心臓 MDCT では心電図モニター下にヘリカルスキャンによりデータを収集し, 撮影後に同じ心位相の画像を再構成する retrospective ECG gated scanning が一般的である.

## E. 画像再構成法

MDCT の時間分解能はスキャン時間に依存するが, 16 列 MDCT における管球の最速 1 回転時間は 0.4~0.5 秒と高速化しているものの, 冠状動脈の静止画像を得るには不十分である. そのため半回転+ファン角 (50~60°) である 230~240° のデータから画像を再構成するハーフ再構成法や複数心拍の同一断面, 同時相のデータから画像を再構成するセグメント再構成法などが心拍数に応じて選択される.

\*新古賀病院心臓血管センター外科

\*\*新古賀病院心臓血管センター内科

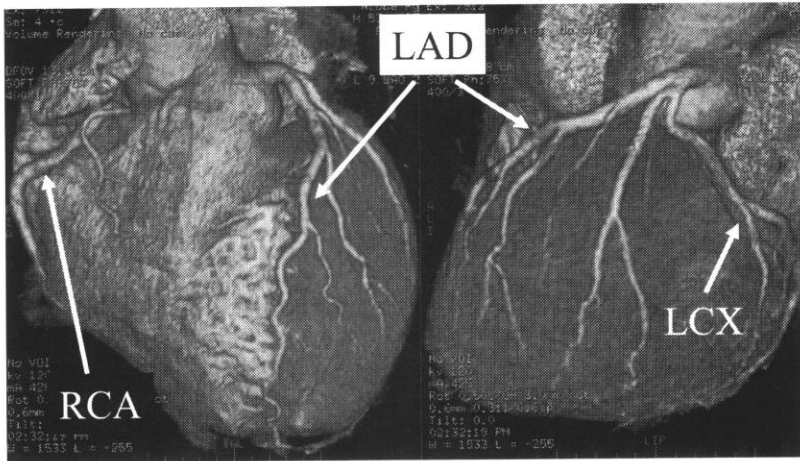


図1 冠状動脈のVR画像

RCA: right coronary artery, LAD: left anterior descending artery, LCX: left circumflex artery

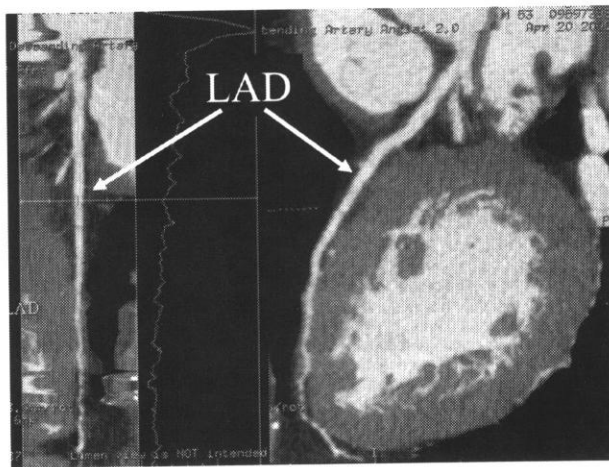


図2 左前下行枝(LAD)のMPR画像(左), CMPR画像(右)

### 冠状動脈 MDCT の画像表示法

上記スキャン方法により得られたデータから画像を再構成し、Volume rendering (VR)法(図1:以下MDCT画像は16列MDCT-GE社製Light Speed Ultra 16, Advantage Workstation Ver.4.1-による画像)、Multiplanar reconstruction (MPR)法(図2左)、Curved multiplanar reconstruction (CMPR)法(図2右)、Maximum intensity projection (MIP)法、Cross sectional reformation 法などにて表示する。

### 冠状動脈疾患への応用

冠状動脈 MDCT にて冠状動脈の、①起始、走行やそれらの異常、②狭窄や閉塞病変、③石灰化、

④粥腫(プラーク)などが描出され、⑤経皮的冠状動脈形成術(PCI)や、⑥冠状動脈バイパス(CABG)術後評価などにも応用される。

### A. 冠状動脈の起始、走行とそれらの異常

冠状動脈を三次元表示できるため、そのバルサルバ洞からの起始や走行、大血管(大動脈、肺動脈)との位置関係を容易に把握できる。右冠状動脈と左冠状動脈との優位性、心室間溝における左前下行枝と右冠状動脈後室間枝とのバランスの評価にも有用である。さらに冠状動脈の起始異常、走行異常などの先天性異常の発見、診断に有用である<sup>2)</sup>。冠状動脈起始異常症例(図3:右冠状動脈左バルサルバ洞起始症)では、冠状動脈造影(CAG)での選択的造影が困難な事がある上に、冠状動脈と大

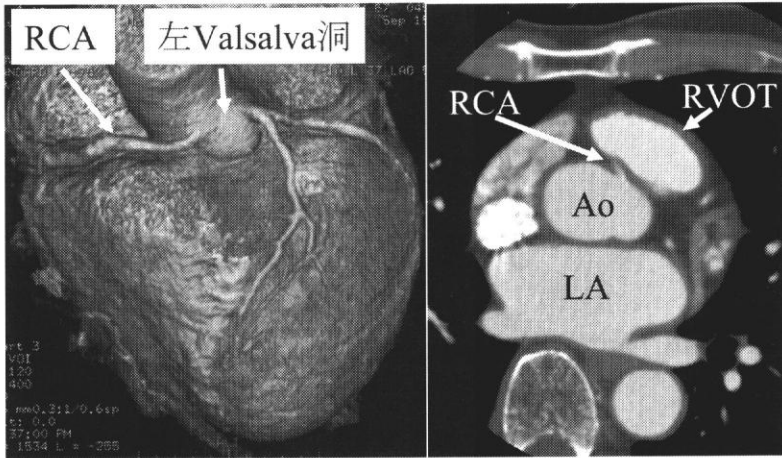


図3 右冠状動脈左バルサルバ洞起始症

左バルサルバ洞から起始する右冠状動脈(RCA)は大動脈(Ao)と肺動脈(PA)の間を走行している。LA: Left atrium

血管との位置関係も把握しにくく、MDCTの方がCAGよりも優れた検査である。

#### B. 狭窄や閉塞病変の検出

Sones法やJudkins法によるCAGは約半世紀にわたり冠状動脈の狭窄や閉塞病変診断のゴールドスタンダードである。虚血性心疾患の診断において、安静時心電図、運動負荷心電図、心エコー、負荷心筋シンチを含む核医学検査、CAGなどが用いられているが、内科的治療、PCI、CABGなどの治療方針決定にはCAGが不可欠である。しかしながらCAGは観血的、侵襲的検査であり、動脈穿刺部位の出血、仮性動脈瘤形成、冠状動脈や大動脈の解離、冠状動脈内や脳を含む全身の塞栓症など、合併症の危険性を有しており、冠状動脈狭窄病変を如何に非侵襲的に診断できるかが課題であった。16列MDCTによる狭窄病変検出の感度、特異度は90%前後とほぼ満足できる精度であり<sup>3,4)</sup>、冠状動脈狭窄病変スクリーニングには十分な精度レベルに達している。MDCTにて冠状動脈狭窄病変を非観血的、低侵襲的に評価でき、その臨床的意義は非常に大きい(図4)。今後、MDCTの時間分解能、空間分解能はさらに向上するであろうが、狭窄病変評価に関しCAG所見と完全に一致することが無い事を認識しておく必要がある。これまで報告されてきたMDCTとCAGの比較検討はCAG所見を絶対基準としており<sup>3,4)</sup>、これ自体、問題を有する。冠状動脈に動脈硬化が起こると種々の程度のremodelingが起こり、急性冠症候群(Acute coro-

nary syndrome; ACS)を含む不安定な臨床症状を呈する症例での狭窄病変ではPositive remodelingが起こる事が多く<sup>5)</sup>、このような部位での狭窄病変が臨床問題となる。CAGでは狭窄部位前後の血管を基準として狭窄の程度を評価するが、その基準部位に動脈硬化が存在すれば基準自体に問題があるうえに、remodelingを起こしている冠状動脈の外径をCAGにて把握することは不可能である。一方、MDCTでは血管壁を含めた冠状動脈の長軸断面像、短軸断面像が得られ、対象部位での狭窄度をより正確に評価していると考えられる。つまりCAGでの冠状動脈狭窄度評価は内腔のみの評価であり、MDCTでのそれは対象冠状動脈部位の血管壁、動脈硬化をも含めた、より実体に近い狭窄度評価と考えられる。

#### C. 石灰化

石灰化病変の検出はCAGよりもコーンビームCTを含むCT検査が優れている。石灰化を有する冠状動脈には何らかの程度の動脈硬化が存在し、広範な石灰化は急性心筋梗塞発症、冠状動脈再灌流治療の必要性、心臓死などの危険因子でもある<sup>6)</sup>。その一方で、石灰化を含む病変においては石灰化自体がアーチファクトとなりMDCTにおける狭窄程度評価の精度を下げる要因の一つである(図5)。そのため、慢性腎不全症例のように冠状動脈石灰化が顕著な症例においては石灰化の評価には適するが、狭窄病変の評価には不適である。

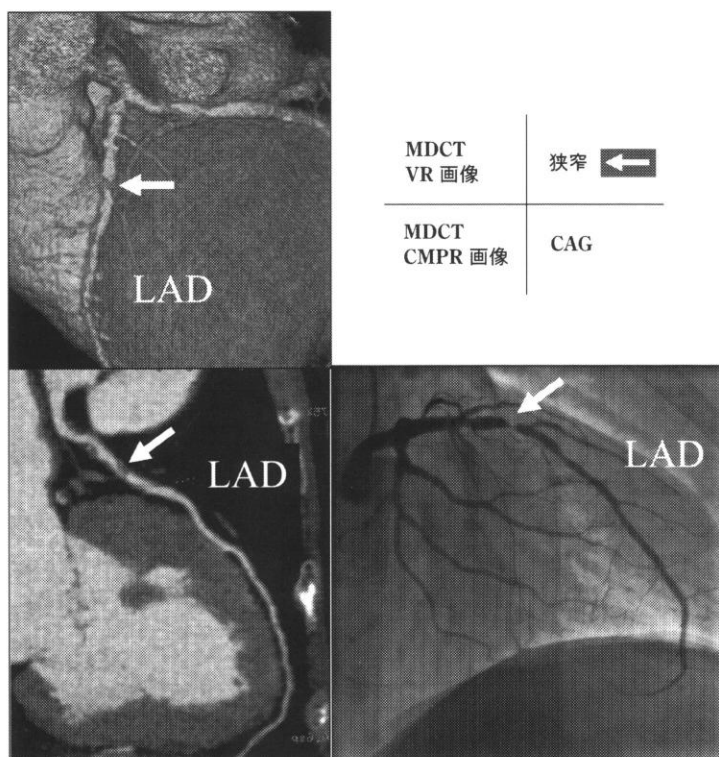


図4 左前下行枝 (LAD) の高度狭窄症例

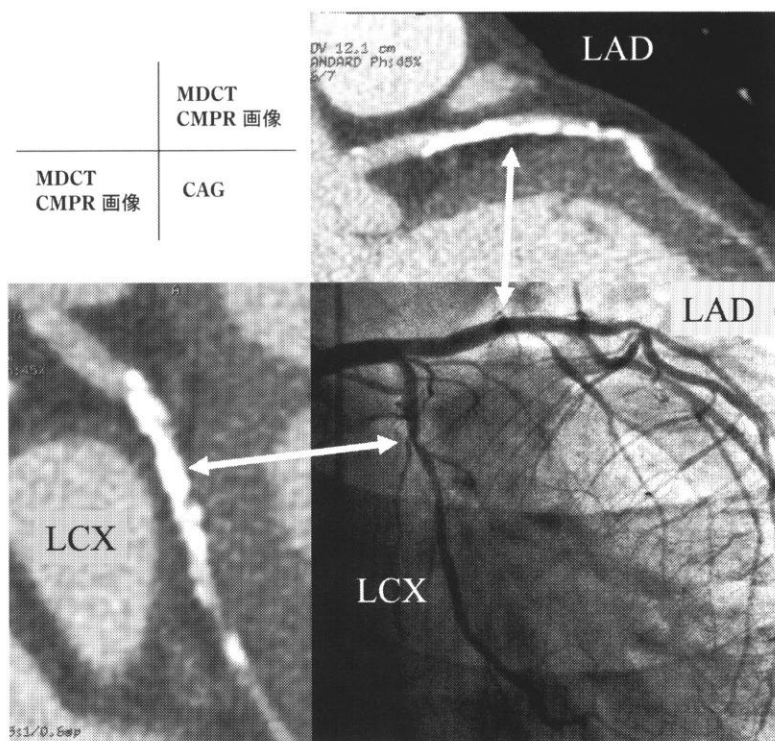


図5 冠状動脈石灰化症例

石灰化病変においてはMDCT所見とCAG所見の不一致が著しい。

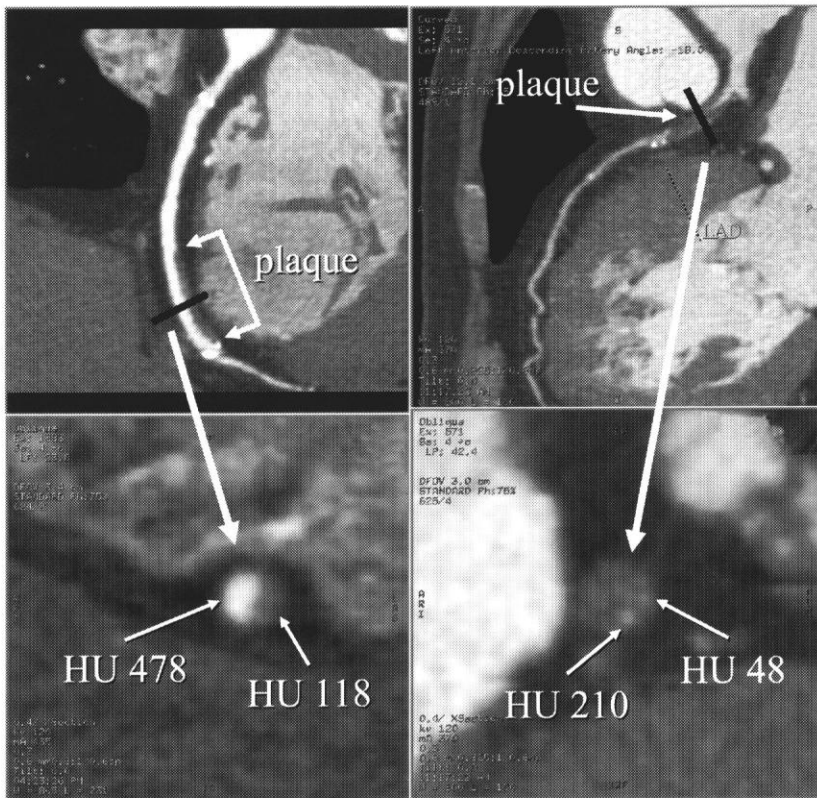


図6 プラークの描出と性状評価

プラークのCT値を測定することでプラークの性状診断が可能である<sup>8)</sup>

#### D. 粥腫(プラーク)の検出と性状評価

ACSの多くは高度狭窄病変よりも75%以下のいわゆる不安定で脆弱な粥腫(プラーク)の破綻が原因である<sup>7)</sup>。そのため、冠状動脈内のプラーク量ならびに性状を把握することは非常に重要である。これまで、プラーク性状を把握できる検査は冠状動脈内エコー検査(IVUS)のみであり、CAGの際に行いうる検査であり、観血的、侵襲的検査である。このプラーク性状評価にMDCTは威力を発揮する(図6)。冠状動脈断面像におけるプラークのCT値とプラーク性状には相関関係が認められており<sup>8)</sup>、脆弱なプラーク診断が可能となった。プラークの検出と性状評価に関して、CAGは無力であり、MDCTはCAGを凌駕する検査である。この臨床応用として、将来的にACSを発症しやすい不安定で脆弱なプラークを発見し、強力なスタチン療法によりプラークを安定化させ<sup>9)</sup>、ACS発症を抑制する事が挙げられ、今後の成果が期待される。

#### E. 経皮的冠状動脈形成術

PCI対象病変のプラーク性状を把握する事は、PCIの手技決定に重要である。PCI中に冠状動脈末梢への塞栓(distal embolism)を惹き起こしやすいと考えられるソフトプラークはIVUSにてエコー減衰像(attenuation)として認識され、このような病変に対しPCIを行う際、distal protection deviceを使用することにより塞栓を減少させる(図7)。このようにMDCTにてPCI前にプラーク性状を把握し、適切な手技を選択することで、より安全なPCIが可能になると考えられる。

現在、PCIとしてはバルーンによる拡張のみよりもステント留置症例が増加している。さらに薬剤溶出性ステントの出現によりPCI後の再狭窄率低下が期待されている。その為、ステント留置部の狭窄が低侵襲的に診断できれば、PCI後の経過観察にCAGを割愛でき、非常に有用と考えられる(図8)。しかしながらステント自体がMDCT画像を得る上でのアーチファクトであり、ステントの

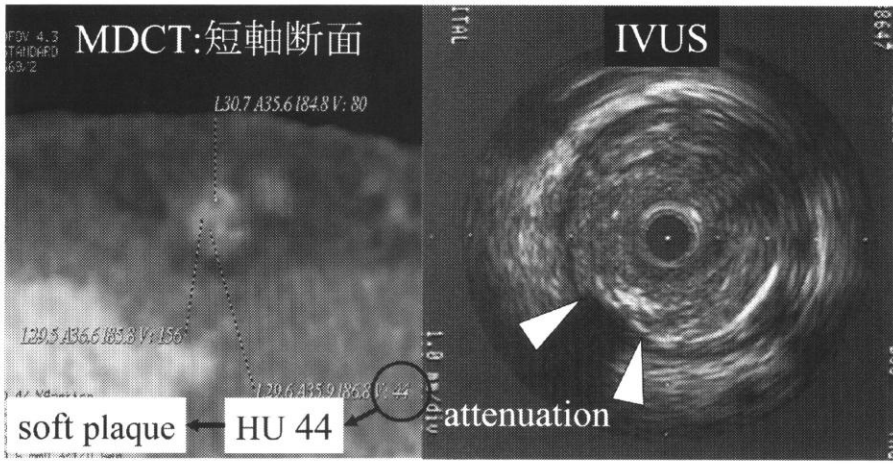


図7 PCI 症例

MDCT と IVUS のプラーク性状診断が一致し、脆弱なプラークと判断して distal protection device を使用して安全に PCI を施行しえた。

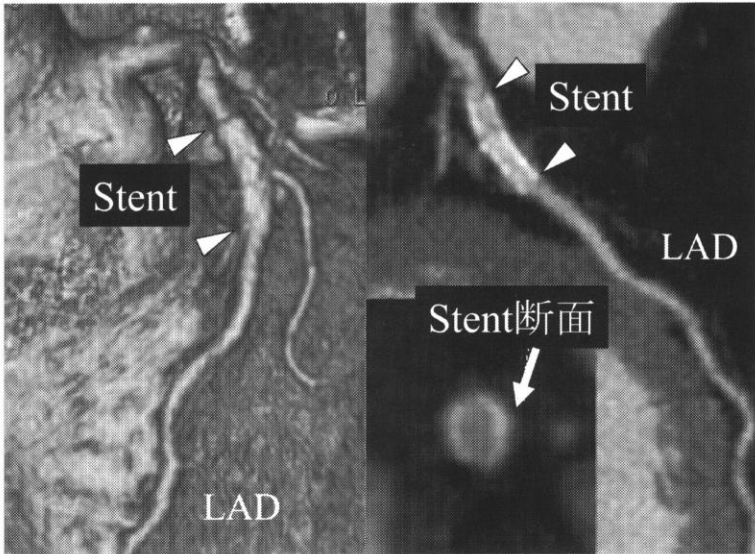


図8 スtent留置症例

Stent留置部の良好な開存が確認できる。

種類にもよるが、Stent内狭窄を MDCT にて全例、正確に診断することは現時点ではまだ困難である<sup>10)</sup>。

**F. 冠状動脈バイパス術 (CABG) 後評価**

CABG では長期開存が期待できる内胸動脈を使用する事が一般的であるが、大腿動脈アプローチでの術後造影検査では、鎖骨下動脈にカテーテルを進める必要がある。プラークの多い弓部大動脈でのガイドワイヤーやカテーテル操作、鎖骨下動脈へのカテーテル挿入は塞栓症(脳梗塞)併発の危

険性を増加させる。そのため、低侵襲的に CABG 術後のバイパス開存を評価できる MDCT は有用である<sup>11)</sup>。手術自体、体外循環を使用しない低侵襲手術である Off-Pump CABG が主流となりつつある現在では、術後評価においても低侵襲性が要求される。上行大動脈への近位側吻合と冠状動脈への末梢側吻合は、16 列 MDCT にてともに良好に描出でき、吻合部狭窄を含めグラフト開存の評価が可能である(図9, 10)。当院では CABG 術後の CAG は行わず、MDCT によるバイパス開存評価を標準

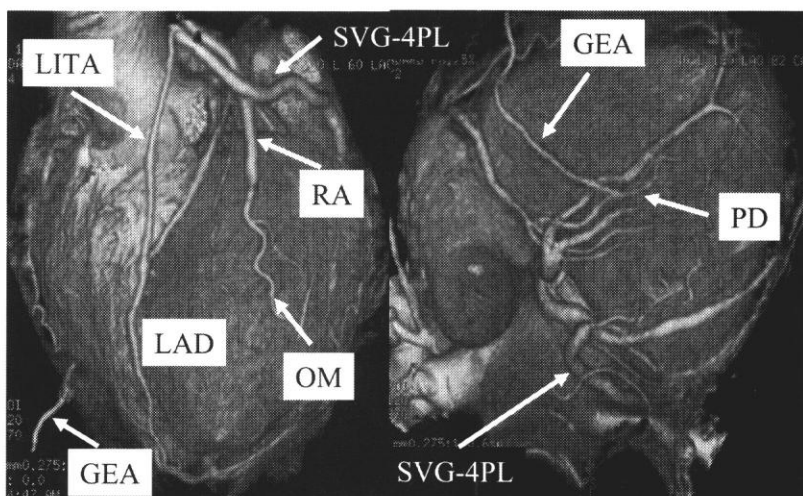


図9 Off-pump CABG 術後症例: VR 画像  
 左内胸動脈(LITA)-LAD, 橈骨動脈(RA)-鈍縁枝(OM),  
 胃大網動脈(GEA)-後下行枝(PD), 大伏在静脈(SVG)-後側壁枝(4PL),

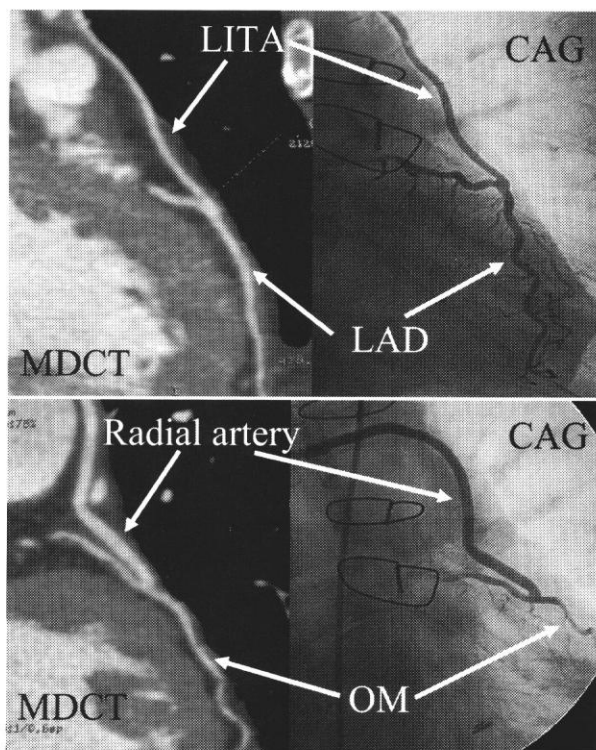


図10 Off-pump CABG 術後症例: MDCT (CMPR 画像) v.s. CAG  
 MDCTにて吻合部も正確に評価できる。

的な術後検査としている。また、遠隔期におけるバイパス開存の評価においても同様に有用である。しかし16列MDCTでは内胸動脈を全長にわたり描出することは不可能であるし、胃大網動脈の描

出は不鮮明になりがちである。最新の64列MDCTではスキャン時間が約5秒と短く、内胸動脈もその全長にわたり描出できる。

## 現時点での MDCT の位置付け

MDCT は非観血的、低侵襲的検査であり、現時点では不安定狭心症や急性心筋梗塞などの ACS を除き、虚血性心疾患が疑われる症例に対しては CAG 前に行う検査と考えられる。一般集団を対象とする健康診断レベルでの MDCT 検査に関しては造影剤使用と被爆を考慮すると問題があるが、動脈硬化発症の危険因子を複数有する症例に対する虚血性心疾患スクリーニングには適応があると考ええる。MDCT の結果、中等度狭窄症例に対しては負荷心筋シンチ検査にて心筋虚血を評価し、その結果にて CAG 施行の是非を検討し、高度狭窄症例に対しては CAG を行い、治療方針を決定している。

## MDCT の限界、問題点

検出器の多列化に伴い時間分解能、空間分解能が向上したとはいえ、細い冠状動脈描出における空間分解能に関しては CAG より劣ることは事実である。また冠状動脈石灰化部位やステント留置部位における狭窄病変の診断精度は低下するし、心房細動、ペースメーカー植え込み後症例、不整脈症例などでは MDCT での冠状動脈描出は困難である。16 列 MDCT では約 100ml の造影剤を必要とし、造影剤アレルギーの問題は CAG と同様であり、また被爆も看過できない問題である<sup>12)</sup>。

## 今後の展望

まずは 64 列 MDCT の導入である。これにて時間分解能、空間分解能はさらに向上し、より鮮明な画像が得られる。64 列 MDCT では約 5 秒間の呼吸停止で十分であり、16 列 MDCT において散見されるスキャン途中での頻脈による画質低下は問題とならなくなる。

虚血性心疾患治療体系における MDCT の最大の利点は冠状動脈内プラークの検出とその性状把握にある。冠状動脈内プラークに対するスタチン療法のプラーク退縮効果は既に証明されているが、IVUS 所見を基としており、その症例数も限られている<sup>9)</sup>。今後は MDCT でのプラーク所見を基にした前方視的臨床試験が可能と考えられる。将来的に ACS を発症する危険性の層別化や、プラークを安定化させるスタチン療法とプラーク部位内膜に

破綻を来たした際の抗血小板薬の有用性などに関する臨床データの蓄積が必要である。本邦における PCI の適応に関しては ACC/AHA ガイドライン<sup>13)</sup> に則していない場合もあるのが現状で、それが PCI 施行数の突出、医療費高騰の原因にすらなっている一方、最近では、PCI が安定狭心症症例の自然歴を改善しないとの報告が散見されるようになった<sup>14)</sup>。ゆえに前述の臨床試験において、MDCT でのプラーク所見による予後の予測とそれに対するスタチン療法や抗血小板薬の有用性が証明され、プラーク所見を基にした治療—Plaque-based Therapy—が確立されれば、虚血性心疾患治療体系の根本的な変革をもたらす可能性があると考ええる。

## まとめ

MDCT は今なお進化している装置であり、さらなる高時間分解能、高空間分解能による診断精度の向上が期待できる。またソフトウェアの開発により、心筋虚血や心機能なども評価可能である。現時点で問題となる被爆量の低減に成功すれば、一般的な健康診断レベルでの虚血性心疾患スクリーニングにも汎用され得るであろう。心臓 MDCT は CAG よりも多面的に虚血性心疾患を診断し得る可能性を秘めた将来性のある検査装置である。

## 文 献

- 1) Pannu HK, Flohr TG, Corl FM, et al: Current concepts in multi-detector row CT evaluation of the coronary arteries: principles, techniques, and anatomy. *Radiographics* 2003; 23: S111-25.
- 2) Sato Y, Inoue F, Matsumoto N, et al: Detection of anomalous origins of the coronary artery by means of multislice computed tomography. *Circ J* 2005; 69: 320-4.
- 3) Nieman K, Cademartiri F, Lemos PA, et al: Reliable noninvasive coronary angiography with fast submillimeter multislice spiral computed tomography. *Circulation* 2002; 106: 2051-4.
- 4) Ropers D, Baum U, Pohle K, et al: Detection of coronary artery stenoses with thin-slice multi-detector row spiral computed tomography and multiplanar reconstruction. *Circulation* 2003; 107: 664-6.
- 5) Schoenhagen P, Ziada KM, Kapadia SR, et al: Extent and direction of arterial remodeling in stable versus unstable coronary syndromes: an intravascular ultrasound study. *Circulation* 2000; 101: 598-603.
- 6) Schmermund A, Erbel R: Unstable coronary plaque and



- its relation to coronary calcium. *Circulation* 2001; 104: 1682-7.
- 7) Falk E, Shah PK, Fuster V: Coronary plaque disruption. *Circulation* 1995; 92: 657-71.
  - 8) Schroeder S, Kopp AF, Baumbach A, et al: Noninvasive detection and evaluation of atherosclerotic coronary plaques with multislice computed tomography. *J Am Coll Cardiol* 2001; 37: 1430-5.
  - 9) Scharfl M, Bocksch W, Koschyk DH, et al: Use of intravascular ultrasound to compare effects of different strategies of lipid-lowering therapy on plaque volume and composition in patients with coronary artery disease. *Circulation* 2001; 104: 387-92.
  - 10) Hong C, Chrysant GS, Woodard PK, et al: Coronary artery stent patency assessed with in-stent contrast enhancement measured at multi-detector row CT angiography: initial experience. *Radiology* 2004; 233: 286-91.
  - 11) Nieman K, Pattynama PM, Rensing BJ, et al: Evaluation of patients after coronary artery bypass surgery: CT angiographic assessment of grafts and coronary arteries. *Radiology* 2003; 229: 749-56.
  - 12) Trabold T, Buchgeister M, Kuttner A, et al: Estimation of radiation exposure in 16-detector row computed tomography of the heart with retrospective ECG-gating. *Rofo* 2003; 175:1051-5.
  - 13) Smith SC Jr, Dove JT, Jacobs AK, et al: ACC/AHA guidelines for percutaneous coronary intervention (revision of the 1993 PTCA guidelines)—executive summary: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association task force on practice guidelines (Committee to revise the 1993 guidelines for percutaneous transluminal coronary angioplasty) endorsed by the Society for Cardiac Angiography and Interventions. *Circulation* 2001; 103: 3019-41.
  - 14) Katritsis DG, Ioannidis JP: Percutaneous coronary intervention versus conservative therapy in nonacute coronary artery disease: a meta-analysis. *Circulation* 2005; 111: 2906-12.