

64 列 MDCT の安静時心筋イメージによる心筋虚血検出の試み

松岡 宏¹ 長尾 充展² 川上 秀生¹ 望月 輝一²

要 旨：我々は、64 列 MDCT による myocardial image で収縮期像の虚血心筋の特徴的造影パターンを報告した。今回、ATP 負荷 TI-201 心筋シンチと比較して、虚血心筋検出の可能性について検討した。心臓 CT で、coronary CTA に加え myocardial image を評価する方法は、冠動脈狭窄の器質評価と心筋虚血の機能評価を同時に評価でき、冠動脈疾患の診断における臨床的有用性は高いと思われる。

(J Jpn Coll Angiol, 2010, 50: 157-162)

Key words: 64-slice MDCT, myocardial ischemia, myocardial perfusion image, myocardial scintigraphy

はじめに

64 列 multidetector row CT(MDCT)の登場により、coronary CT angiography(CTA)は、冠動脈狭窄において非常に高い診断能が得られるようになった¹⁻³⁾。しかし、石灰化病変に対する coronary CTA では、評価に限界があり、特に石灰化が多発する多枝病変の場合には責任冠動脈の同定に困難な場合が多い。虚血性疾患において、冠動脈狭窄の形態評価と同時に心筋虚血の機能評価が可能であれば、冠動脈石灰化病変等の形態狭窄度を評価するうえで貴重な情報を得ることができ、MDCT の有用性はさらに高まると考えられる。CT による心筋虚血の機能診断については薬剤負荷 CT の報告がある^{4, 5)}が、安静時のみでの評価は検討されていない。64 列 MDCT では時間分解能が向上し、造影剤の心筋内のファーストあるいはセカンドパスをイメージングすることが可能になった。我々は、64 列 MDCT を用いて心周期の心筋内血流分布変化を画像化し、虚血心筋では拡張期に正常の造影能を示しても収縮期には心内膜側を中心として造影能が低下するという特徴的な造影パターンを報告した⁶⁾。今回、64 列 MDCT を用いた安静時のみの心臓 CT において、この造影パターンを解析することで心筋虚血の機能的診断が可能かどうかについて考察する。

対象と方法

対象は、冠動脈疾患が疑われ 64 列 MDCT を施行し、その結果 coronary CTA で冠動脈に狭窄が疑われたり石灰化で狭窄の判定不能で、ATP 負荷 TI-201 心筋シンチを追加施行した 75 症例(男/女 = 43 / 32。年齢 51~88 歳、平均 72 歳)について検討を行った⁷⁾。

(1) Coronary CTA

CT 装置は、64 列 MDCT(LightSpeed VCT 64, GE Healthcare USA)を使用した。

Scan parameters: retrospective ECG gating, tube voltage 120 kV, tube current 550 to 750 mA (depending on patient size), scan FOV 50 cm. gantry rotation 0.35 sec / rotation. Matrix 512×512. slice width 0.625 mm. range of helical pitch 0.18-0.24.

心拍数 60 / 分以上の症例には、CT 施行の 1~2 時間前に β -blocker (Metoprolol 20 or 40 mg)を経口投与した。撮影開始時間はテストインジェクション法で決定した。上行大動脈近位に ROI を設定し、時間濃度曲線により上行大動脈への到達時間を測定し、ピークタイムの 2 秒後を本スキヤンの開始時間とした。本スキヤンは 300-370 mgI / ml のヨード造影剤を 40-50 ml, 4 ml / sec で肘静脈より注入した。

Coronary CTA は、work station を用い volume rendering

¹愛媛県立今治病院循環器科²愛媛大学放射線科

2009 年 4 月 20 日受理

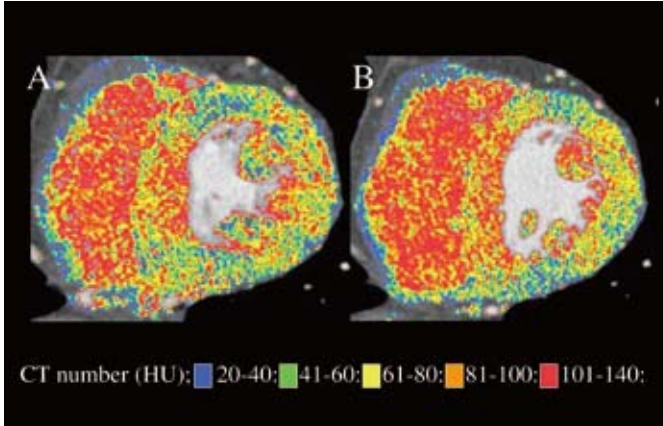


Figure 1 CT myocardial perfusion imaging (A: systolic image, B: diastolic image).

A commercially available program (cardiac IQ in Advantage Windows 4.2) was used to create long-axis and short-axis images via reconstruction with RR = 40-55% and 70-85% of the cardiac cycle to minimize motion artifacts. The majority of myocardial images were made at 40% and 75% of RR interval for systole and diastole, respectively. We reconstructed 2D long, ventricular long and short axial myocardial images in end-diastolic and end-systolic phases using the same raw data as those used for coronary CT angiography. The myocardium was shown using a color scale that depicts faint low-density areas more clearly than gray scale. The color scales were classified into five steps using the CT number as follows: 20-40; blue; 41-60; light green; 61-80; yellow; 81-100; orange; and 101-140; red HU.

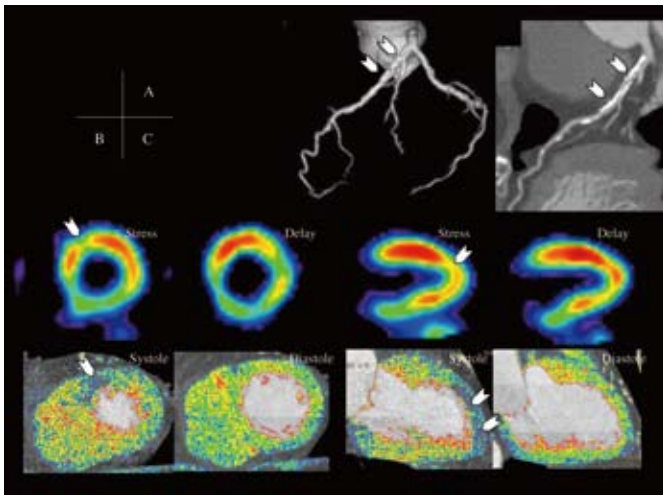


Figure 2 Myocardial perfusion scintigraphy (MPS) and computed tomography (CT) images of a 61-year-old female with angina pectoris. (A, A') Coronary CT angiography (A: volume rendered image; A' curved maximum intensity projection image) shows nodular extrinsic calcifications at the proximal portion of the obtuse marginal branch of the left coronary artery (white arrow). Significant stenosis was suspected in this region. (B, B') Basal short-axis slices on stress / rest MPS; (C, C') CT myocardial images at the same slice positions. The stress MPS image in B shows inferolateral hypoperfusion (white arrow); the delayed image in B' shows redistribution at the same site. The systolic CT myocardial image in C shows inferolateral hypo-enhancement in dominant endocardium (white arrow); the diastolic image in C' shows normal enhancement.

法, maximum intensity projection 法, curved multiplanar reformation 法で表示した。各表示法を多断面で観察し、冠動脈狭窄度を判定した。

(2) CT myocardial perfusion image (CT-MPI)

上記の coronary CTA と同じ raw data を専用 work station を用い再構成し、2D の short-axis と long-axis の cardiac image を作成した。収縮期と拡張期でモーションアーチファクトの最も少ない時相を2つ選択した。収縮期はRR間隔の40%、拡張期は75%が主に選択された。CT値を心筋血流・造影能の指標とし、20-40、41-60、61-80、81-100、101-140 HU の5段階で心筋をカラー表示した(**Fig. 1**)。

このカラー表示した myocardial perfusion image をモニター上に、収縮期と拡張期それぞれ同一断面を並べ、血流分布の変化を視覚的に評価し、拡張期像で左室心筋が他の部位と同様に正常に造影されるが収縮期像では心内膜側中心に造影が低下する所見をCTにおける心筋虚血と定義した。

(3) Stress / rest myocardial perfusion scintigraphy (S / R MPS)

adenosine による薬剤負荷 TI-201 心筋シンチは、早期 SPECT を adenosine 負荷 10 分後、後期 SPECT を早期 SPECT の4時間後に撮影した。後期 SPECT における再分布陽性所見を S / R MPS における心筋虚血と定義した。

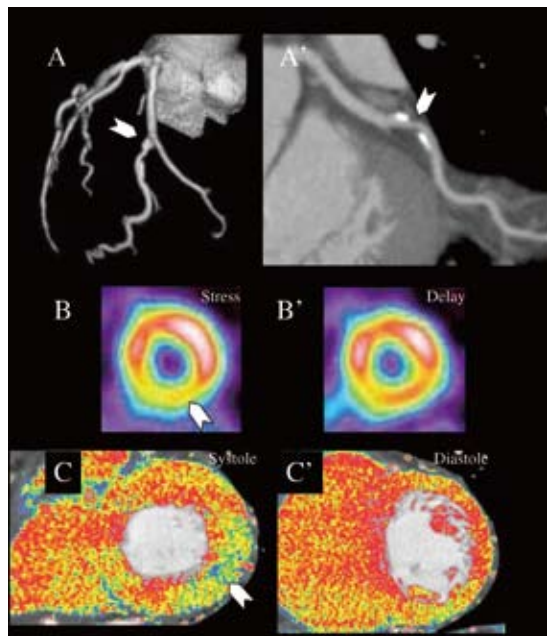


Figure 3 Myocardial perfusion scintigraphy (MPS) and computed tomography (CT) images of a 61-year old female with angina pectoris. (A) Coronary CT angiography (A: volume rendered image; A': curved maximum intensity projection image) shows nodular extrinsic calcification at the proximal portion of the obtuse marginal branch of the left coronary artery (white arrow). By additional MPS and CT myocardial images, significant stenosis was suspected in this region. B and B' show the basal short-axis slices on stress / rest MPS; C and C' show CT myocardial images at the same slice position. The stress MPS image in B shows inferolateral hypoperfusion (white arrow); the delayed image in B' shows redistribution at the same site. The systolic CT myocardial image in C shows inferolateral hypo-enhancement in dominant endocardium (white arrow); the diastolic image in C' shows normal enhancement.

(4) 症例呈示

症例1(**Fig. 2**) ; 79歳, 女性。主訴は胸痛。Coronary CTAでは, 左前下行枝近位部に偏在性~全周性の高度石灰化病変を認め, 有意狭窄が疑われるが, 高度石灰化のため血管内の造影効果や狭窄の程度は正確に評価できない。しかし, CT-MPIを追加再構成すると収縮期に前壁の低灌流を認め, 有意狭窄と思われる。S/R MPSでも同部位の再分布を認めている。

症例2(**Fig. 3**) ; 61歳, 女性。主訴は胸痛。Coronary CTAでは, 左回旋枝鈍縁枝起始部に偏在性の石灰化を伴う狭窄が疑われるがこれだけでは有意狭窄か否かの評価は困難である。CT-MPIを追加再構成すると収縮期に

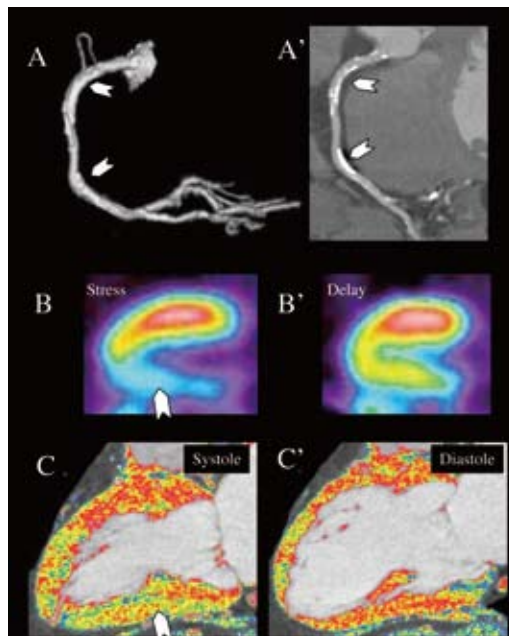


Figure 4 Myocardial perfusion scintigraphy (MPS) and computed tomography (CT) images of a 78-year-old female with angina pectoris. Coronary CT angiography (A: volume rendered image; A': curved maximum intensity projection image) shows linear and nodular extrinsic calcification at the proximal and mid portions of the right coronary artery (white arrow). The severity of the coronary artery stenosis could not be accurately assessed due to severe dense calcification. B and B' show mid-ventricular long-axis slices on stress / rest MPS; C and C' show CT myocardial images at the same slice positions. The stress MPS image in B shows hypoperfusion in the inferior wall (white arrow); the delayed image in B' shows redistribution at the same site. The systolic CT myocardial image in C shows endocardial hypo-enhancement in the inferior wall (white arrow); the diastolic image in C' shows normal enhancement at the same slice.

鈍縁枝の支配領域である側壁の低灌流を認め, 有意狭窄の可能性が強いと診断できる。S/R MPSでも同部位の再分布を認めている。

症例3(**Fig. 4**) ; 78歳, 女性。主訴は胸痛。Coronary CTAでは, 右冠動脈の近位部 Seg. 1 から 2 にかけて偏在性~全周性の高度石灰化病変を認め, 有意狭窄が疑われるが, 高度石灰化のため血管内の造影効果や狭窄の程度は正確に評価できない。Myocardial perfusion imageを追加再構成すると収縮期に右冠動脈の支配領域である下壁の心内膜側に低灌流を認め, 有意狭窄の可能性が強いと診断できる。S/R MPSでも同部位の再分布を認めている。

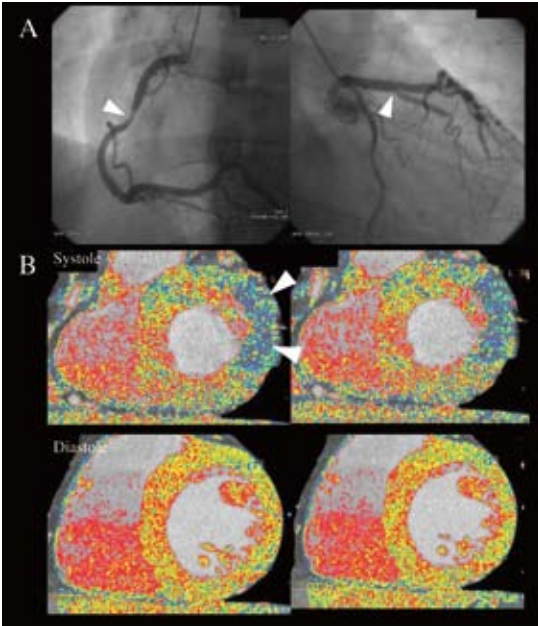


Figure 5 CAG and CT image of a 35-year-old young man with ACS.

CAG shows two stenotic regions at the proximal portion of the RCA and just position of big diagonal branch. Which is the target region of PCI? The systolic CT myocardial image in B shows endocardial hypo-enhancement in the high-lateral wall (white arrow); the diastolic image in C shows normal enhancement at the same slice. We can decide the target region is the just of big diagonal.

症例 4 (Fig. 5) ; 35 歳, 男性。主訴は胸痛。CAG では、右冠動脈の近位部と左前下行枝対角枝の 2 カ所に有意狭窄が疑われるが、責任冠動脈の同定は難しい。Myocardial perfusion image を追加再構成すると収縮期に対角枝の支配領域である側壁の心内膜側に低灌流を認め、「責任病変は対角枝である」と診断できる。

結 果

S / R MPS では 75 例中、40 例に心筋虚血を検出し、これら 40 人中 36 例 (90%) に負荷心筋シンチで検出した虚血領域内に CT-MPI で収縮期に心内膜下を主体とする一時的な低灌流、拡張期に再還流するという CT-MPI における心筋虚血パターンが認められた (Table 1)。

考 察

16 列以前の MDCT では、心筋還流評価を行う場合、モーションアーチファクトの少ない拡張期画像を対象とし、

Table 1 Diagnostic numbers of ischemic patients by CT Myocardial perfusion Imaging in Comparison with Stress / Rest MPS

MPS \ CT	Positive	Negative	
Positive	36	4	40
Negative	6	29	35
	42	33	75

MPS: Stress / rest myocardial perfusion scintigraphy

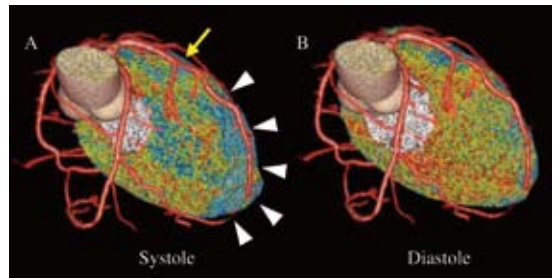


Figure 6 3D fusion of coronary tree and myocardial image of a 59-year-old man with ACS.

Coronary CT angiography shows stenosis at the proximal portion of the LAD (yellow arrow). The systolic CT myocardial 3D image in A shows hypo-enhancement in the anterior wall (white arrows).

急性心筋梗塞のような冠動脈閉塞による高度の心筋血流低下がある場合には、造影欠損として描出される^{8,9)}。しかし、狭心症などの心筋虚血機能診断については、安静時と薬物負荷時に 2 度の CT 撮影が必要とされ、被曝量が多くなる欠点があった。我々は、時間分解能が向上した 64 列 MDCT では、収縮期でもモーションアーチファクトが少ないことに着目し、心周期を時間軸とする CT-MPI の解析を試みた。本研究の結果、coronary CTA で冠動脈狭窄が疑われたり石灰化で狭窄の評価が難しい症例に追加検査した S / R MPS により検出された虚血領域の 90% に、収縮期像で心内膜側を主体とする一時的な造影低下 (低灌流)、拡張期には正常造影 (再灌流) という CT-MPI の虚血所見を認めた。CT-MPI は、拡張期像と収縮期像を比較検討することで虚血心筋における特徴的な血流パターンの評価が可能であると思われる。

心内膜下は、虚血あるいは低灌流の影響をうける最も不安定な領域であり、冠動脈狭窄による灌流低下はまず

心内膜側から生じる。心収縮は、心外膜側より心内膜側の小動脈に、優位に影響を及ぼすため、血流は心外膜側より心内膜側の方が妨げられる¹⁰⁾。虚血によって引き起こされる末梢血管抵抗増加は、収縮期は心内膜側、拡張期は心外膜側に顕著となる^{11, 12)}。従って、虚血によって心内膜下の末梢血管抵抗の増加があれば、収縮期の微小血管容量が低下する。CT-MPIで指摘した収縮期の造影低下(低灌流)は、この心内膜下の微小血管床の低下を評価している可能性があると思われる。

Coronary CTAでは、症例1~3(Fig. 2~4)のように冠動脈石灰化が高度な場合、狭窄の程度を正確に評価できない場合が多い。冠動脈の高度石灰化病変の評価は64列MDCTの最大の課題であると言っても過言ではない。しかし、CT-MPIで冠動脈石灰化病変の支配領域における心筋灌流・虚血の評価が可能となれば、石灰化病変が有意狭窄かどうかの評価が可能になる。また、症例4(Fig. 5)のように、有意狭窄と思われる病変が2枝以上存在する場合には、責任冠動脈の同定にも有用である。さらに、3D表示(Fig. 6)することで責任冠動脈と虚血部位との関係を理解しやすくなる。薬剤等の負荷や被曝線量の増加を必要とせず、coronary CTAと同じデータから作られるこのCT-MPIは、心筋虚血の機能診断において臨床的に有用であると思われる。

まとめ

Coronary CTAで冠動脈狭窄が疑われたり、石灰化で狭窄の形態評価が困難な場合には、心筋虚血の機能評価ができるCT-MPIを追加検討することで、心臓CTの診断能力を簡単に上げることが可能である。

文 献

- 1) Achenbach S, Ulzheimer S, Baum U et al: Noninvasive coronary angiography by retrospectively ECG-gated multislice Spiral CT. *Circulation*, 2000, **102**: 2823-2828.
- 2) Nieman K, Oudkerk M, Rensing BJ et al: Coronary angiography with multi-slice computed tomography. *Lancet*, 2001, **357**: 599-603.
- 3) Raff GL, Gallagher MJ, O'Neill WW et al: Diagnostic accuracy of noninvasive coronary angiography using 64-slice spiral computed tomography. *J Am Coll Cardiol*, 2005, **46**: 552-557.
- 4) Kurata A, Mochizuki T, Koyama Y et al: Myocardial perfusion imaging using adenosine triphosphate stress multi-slice spiral computed tomography: alternative to stress myocardial perfusion scintigraphy. *Circ J*, 2005, **69**: 550-557.
- 5) Naito H, Saito H, Takamiya M et al: Quantitative assessment of myocardial enhancement of myocardial enhancement with iodinated contrast medium in patients with ischemic heart disease by using ultrafast X-ray computed tomography. *Invest Radiol*, 1992, **27**: 436-442.
- 6) Nagao M, Matsuoka H, Kawakami H et al: Detection of myocardial ischemia using 64-slice MDCT -comparison with stress / rest myocardial scintigraphy. *Circ J*, 2009, **5**: 905-911.
- 7) Nagao M, Matsuoka H, Kawakami H et al: Quantification of myocardial perfusion by contrast-enhanced 64-MDCT: characterization of ischemic myocardium. *AJR Am J Roentgenol*, 2008, **191**: 19-25.
- 8) Mochizuki T, Murase K, Higashino H et al: Demonstration of acute myocardial infarction by sub-sec spiral CT; early defect and delayed enhancement. *Circulation*, 1999, **99**: 2058-2059.
- 9) Koyama Y, Matsuoka H, Mochizuki T et al: Assessment of reperfused acute myocardial infarction with two-phase contrast enhanced helical CT; prediction of left ventricular function and wall thickness. *Radiology*, 2005, **235**: 811-814.
- 10) Goto M, Flynn AE, Doucette JW et al: Cardiac contraction affects deep myocardial vessels predominantly. *Am J Physiol*, 1991, **261**: H1417-H1429.
- 11) Flynn AE, Coggins DL, Goto M et al: Does systolic subepicardial perfusion come from retrograde subendocardial flow? *Am J Physiol*, 1992, **262**: H1759-H1769.
- 12) Iwanaga S, Ewing SG, Hussein WK et al: Changes in contractility and afterload have only slight effects on subendocardial flow impediment. *Am J Physiol*, 1995, **269**: H1202-H1212.

Detection of Myocardial Ischemia Using 64-Slice MDCT

Hiroshi Matsuoka,¹ Michinobu Nagao,² Hideo Kawakami,¹ and Teruhito Mochizuki²

¹Department of Cardiology, Ehime Prefectural Imabari Hospital, Ehime, Japan

²Department of Radiology, Ehime University Graduate School of Medicine, Ehime, Japan

Key words: 64-slice MDCT, myocardial ischemia, myocardial perfusion image, myocardial scintigraphy

The aim is to investigate the ability of 64-slice multidetector computed tomography (MDCT) only at rest to detect myocardial ischemia, conventionally depicted by myocardial perfusion scintigraphy (MPS). In 75 patients with suspected coronary artery disease, cardiac 64-MDCT at rest and stress / rest MPS were performed. The 2D myocardial images were reconstructed in diastolic and systolic phases using raw data from coronary computed tomography angiography (CTA). CT numbers in the myocardium were used as an estimate of myocardial enhancement. The myocardium was shown using a color scale that detects faint low-density areas more clearly than gray scale. The variation in myocardial enhancement was evaluated at systole and diastole for those segments depicted as ischemia on MPS. A pattern of transient endocardial hypo-enhancement at systole and normal enhancement at diastole as the ischemic pattern on CT myocardial images was defined. MPS diagnosed myocardial ischemia in 40 of 75 patients. Use of the ischemic pattern on CT images had a positive predictive value of 86% and a negative predictive value of 88%. CT myocardial imaging at rest demonstrates a characteristic enhancement pattern for ischemia. This has potential as a non-invasive method for detecting ischemia.

(J Jpn Coll Angiol, 2010, **50**: 157–162)