

冠動脈狭窄およびプラークのMDCTによる評価

田波 穰¹ 栗林 幸夫¹ 陣崎 雅弘¹ 佐藤 浩三¹ 山田 稔²

要 旨：CTの機器および再構成の進歩に伴い、冠動脈領域でもCTによる非侵襲的な画像診断を行うことが可能となりつつある。動脈硬化性疾患における画像診断の目的は血管内腔の狭窄と血管壁のプラークの評価とに大別できると考えられるので、心臓CTによる冠動脈の狭窄と血管壁の評価の現状につき概説する。(J Jpn Coll Angiol, 2006, 46: 517-521)

Key words: MDCT, coronary artery stenosis, plaque

序 言

1998年に4列のMDCTが登場して以来、約2年ごとに、8列、16列とMDCTの多列化は急速に進歩し、2004年には64列のMDCTが登場した。CTの多列化とともにガントリー回転速度も向上したために、撮像は著しく高速化した。さらに時間分解能を向上させるためには回転速度の高速化が必要だが、ガントリーの機械的な回転の高速化には自ずと限界が生まれてくる。そこで心臓CTに必要な時間分解能を実現するために、180度+ファン角分の投影データを用いるhalf scan再構成法や、高心拍領域においても高時間分解能を実現するmulti sector再構成アルゴリズムが開発され、実用化された。

心臓CTはretrospectiveな心電図同期を使用すると、通常の造影CTと比較すると撮像時間が長くなるのが欠点の一つであった。例えば、4列のMDCTを使用すると心臓全体をカバーするためには40秒以上の長い息止めを有し、酸素投与の併用が必要であった。しかし、多列化の進歩とともに息止め時間は急速に短縮し、最新の64列MDCTを使用すると、5秒前後の短時間で心臓全体をカバーすることが可能となった。これに伴い酸素投与は不要となり、息止め不良により画質が劣化する症例もなくなった。

心臓CTの手技

Fig. 1は当院における心臓CTの手順を示したもので

¹慶應義塾大学医学部放射線診断科

²慶應義塾大学医学部リサーチパーク心臓血管画像研究室

ある。この心臓CTの手順の中で通常の造影CTで行わない手技を考えてみると、①心電計を装着する、②血圧を検査の前後に測定する、③ミオコールスプレー®を舌下に1 pushして冠動脈を拡張させる、④撮影が終了した後、画像の追加処理を行う、の4点が挙がる。しかし、いずれの作業も、検査に従事する検査者の負担は増えるものの、患者にとっては痛みがあるわけではなく、息止めの時間としても5秒程度と非常に短時間となっているため、負担は通常の造影CTとさほど変わらない。

また、心臓CTと冠動脈造影における手法の違いを考えると、ともにX線を使用するので被ばくがあるのは両者ともに同様である。また、ともにヨード造影剤も使用する。最大の違いは造影剤の投与方法で冠動脈造影では冠動脈にカテーテル先端を留置した状態で冠動脈内に造影剤を直接注入するのに対して、心臓CTでは経静脈的に造影剤を注入する点である。このために、心臓CTでは冠動脈造影で必須の手技であるカテーテル操作や、手技後の安静が基本的には不要である。診断的な冠動脈造影は、カテーテル操作に熟練した医師が行えば、さほど侵襲的な手技ではない。しかし、患者側から見れば、カテーテル操作や、手技後の安静といった項目の心理的負担が意外と大きく、通常の造影CTと同様の手技を使用している心臓CTの普及の原因の一つとなっていると考えられる。

動脈硬化性疾患における画像診断

動脈硬化性疾患の画像診断は血管の内腔を評価する

2006年9月25日受理

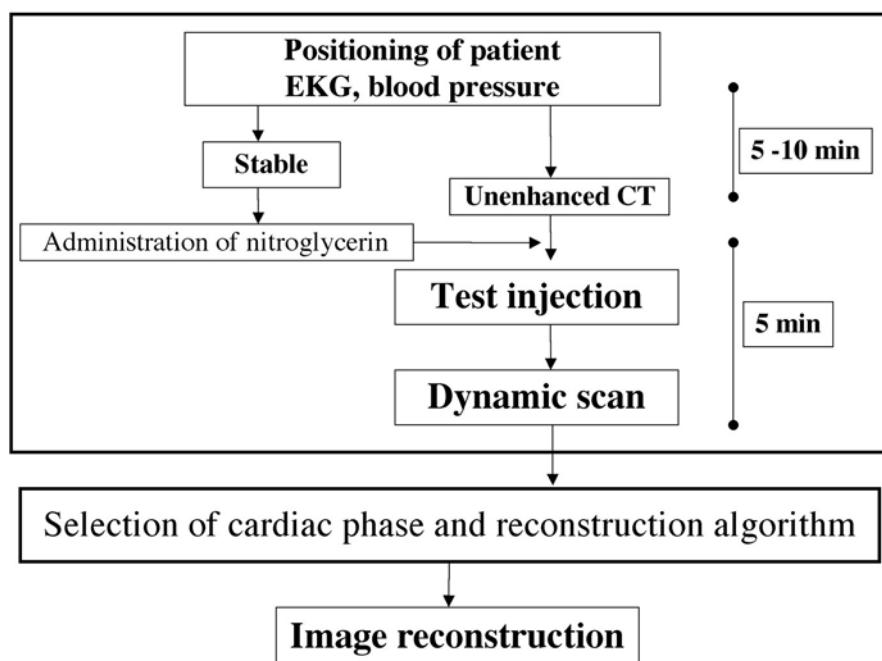


Figure 1 Flow of cardiac examination.

内腔の画像化と、血管壁のプラークを中心とした壁の情報とを評価する血管壁の画像化とに大きく分けて考えることが可能である。内腔の画像化においては血管の狭窄や瘤形成の有無を評価するのが主たる目的であり、一方で、血管壁の画像化では、血管壁のプラークの評価が主たる目的となる。さらに、内腔の画像化では空間分解能および時間分解能の高い血管造影がゴールドスタンダードと考えられるが、血管造影では、血管壁の情報を十分得ることは困難である。そのため、血管壁の画像化のゴールドスタンダードとしては血管造影よりも、病理組織学的な検討やIVUS (intravascular ultrasound) などが必要となる。また、今後の臨床的な目標を考えてみると、内腔の画像化では診断的な血管造影をより低侵襲な手法を用いて置換していくことが大きな目標となる。その一方で血管壁の画像化では、急性冠症候群の原因となりうる不安定プラークの検出が大きな目標と考えられる。

MDCTはこの両者の情報を1回の撮像で同時に取得できるのが大きな長所の一つであるが(Fig. 2), 内腔の画像化と血管壁の画像化ではこのように評価する対象も、その手法もゴールドスタンダードも今後の方向性も異

なっているので、別個に分けて論じる必要があると考えられる。

内腔の画像化

内腔の画像化においては、冠動脈造影との比較が最も重要と考えられる。血流の方向や程度、栄養部位、非常に細い側副血行路など、MDCTでの評価が難しく、冠動脈造影でないと得られない情報もあるが、治療の適応となる比較的太い冠動脈の評価がより非侵襲的なMDCTを用いて、どれくらい可能であるかを評価することは重要と考えられる。

16列MDCTによる冠動脈狭窄の診断能はsensitivity 63~95%, specificity 95~98%, positive predictive value (PPV) 64~87%, negative predictive value (NPV) 96~99%と報告されている(Table 1)¹⁻⁹⁾。特にNPVが高く、心臓CTを行うことにより冠動脈疾患を否定できることが重要である。例えば、atypical chest painを主訴とする群においても冠動脈疾患が低い確率ながらも存在するので、心臓CTを施行することにより冠動脈疾患を否定できることが可能である。しかし、その一方で冠動脈疾患の頻度の高い群についての検討では、16列MDCTに

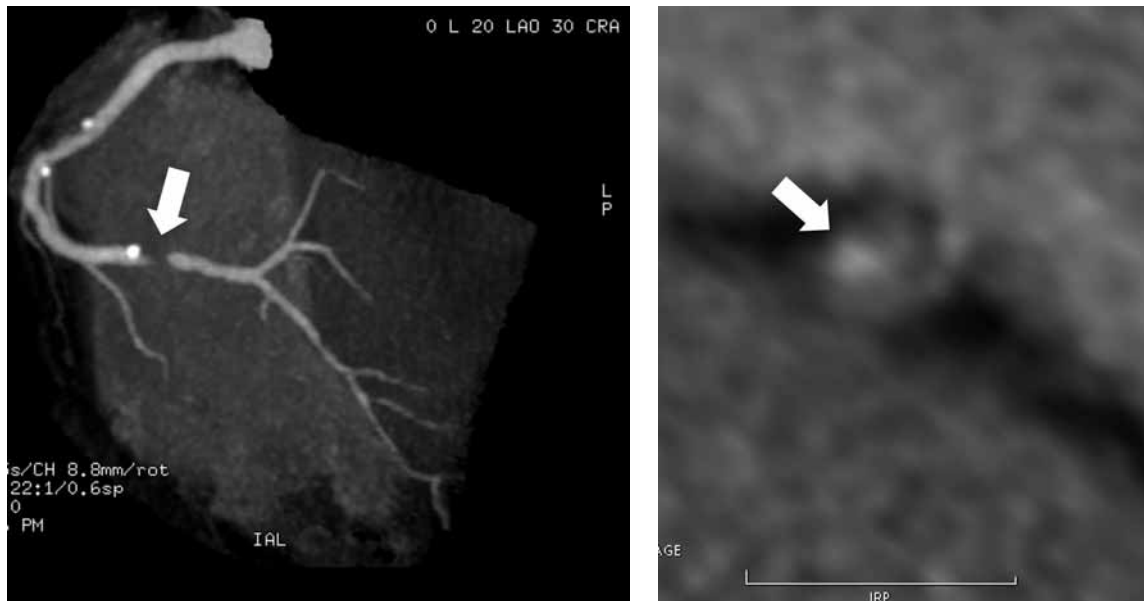


Figure 2 Detection of coronary artery stenosis.
A: Angiographic view.
B: Cross-sectional view.

A | **B**

Table 1 Diagnostic accuracy in detecting coronary artery stenosis; 16 row multidetector CT

	n	Sensitivity	Specificity	PPV	NPV		
Mollet et al	128	92%	95%	79%	98%	JACC	2004
Hoffmann et al	33	63%	96%	64%	96%	Circulation	2004
Kuettner et al	72	82%	98%	87%	97%	JACC	2005
Mollet et al	51	95%	98%	87%	99%	JACC	2005

Table 2 Diagnostic accuracy in detecting coronary artery stenosis; 64 row multidetector CT

	n	Sensitivity	Specificity	PPV	NPV		
Leschka et al	67	94%	97%	87%	99%	EHJ	2005
Mollet et al	51	99%	95%	76%	100%	Circulation	2005
Raff et al	70	86%	95%	66%	98%	JACC	2005
Pugliese et al	35	99%	96%	78%	99%	Eur Radiol	2006

においてはsensitivityおよびPPVは中等度の成績に留まると報告されている⁵⁾。

一方で64列MDCTによる冠動脈狭窄の診断能はsensitivity 86~99%, specificity 95~97%, PPV 66~87%, NPV 98~100%と報告されている(**Table 2**)^{10~14)}。ただし、注意しなければならないのは、16列MDCTでも64

列MDCTでも論文によって評価方法が異なる場合がある点である。例えば、冠動脈のsegment baseで評価している論文や、LAD(left anterior descending coronary artery)やLCX(left circumflex coronary artery)などのartery baseで評価している論文、あるいはpatient baseで評価している論文が混在している。また、評価可能なsegmentの

みの成績を提示している場合もあり、その一方ですべての分枝を評価している場合もある。本稿の中では混乱を防ぐために、segment base analysisをすべての分枝に対して検討している結果を抜粋したが、さらに、対象とする血管径が異なる場合や冠動脈疾患の頻度がかなり異なる場合もあり単純な比較は難しい。ただし、Table 2にまとめた64列MDCTでの検討ではいずれの論文も径1.5mm以上のすべての冠動脈を対象としており、対象を細い血管に広げても十分に臨床的に有用な検査となってきた。その結果として、冠動脈狭窄を否定するだけでなく、不安定狭心症など冠動脈狭窄が高い確率で存在している場合においても心臓CTの適応が広がってきていると考えられる。64列MDCTが使用されるようになって以降では、重度石灰化が存在する部分以外ではほとんど評価可能であり、重度石灰化によって影響を受ける部分の評価が今後の課題と考えられる。

血管壁の画像化

血管壁の画像化の最大の目標は、不安定プラークの検出である。心臓CTでは、薄いfibrous capを計測したり、炎症細胞浸潤の有無を評価したりすることが困難と考えられるが、プラークの性状とCTの短軸像で計測されたCT値の間にはある程度の相関があり、soft plaqueでは、50HU以下、intermediate plaqueでは50～120HU、calcified plaqueでは120HU以上を呈すると報告されている^{15, 16)}。また、同様に短軸像で計測されたプラーク面積でもIVUSとMDCTの間でも良好な相関があることが報告されている^{17～19)}。

結 語

心臓CTの現状と問題点を概説した。内腔の画像化に関しては16列MDCTでは冠動脈疾患の頻度の高い群においてはその有用性は限られているが、64列MDCTを用いることにより、重度石灰化を除きかなりの部分で評価が可能となってきた。また、冠動脈壁の画像化に関しても、プラークの大きさの評価とその性状評価いずれにおいてもMDCTである程度評価することが可能であると報告されている。心臓CTは両者の情報を一度にかつ非侵襲的に得ることが可能であり、冠動脈領域の画像診断においてこれから欠くことのできない手法となってきたと考えられる。

文 献

- 1) Kuettner A, Beck T, Drosch T et al: Image quality and diagnostic accuracy of non-invasive coronary imaging with 16 detector slice spiral computed tomography with 188 ms temporal resolution. *Heart*, 2005, **91**: 938–941.
- 2) Achenbach S, Ropers D, Pohle FK et al: Detection of coronary artery stenoses using multi-detector CT with 16 × 0.75 collimation and 375 ms rotation. *Eur Heart J*, 2005, **26**: 1978–1986.
- 3) Heuschmid M, Kuettner A, Schroeder S et al: ECG-gated 16-MDCT of the coronary arteries: assessment of image quality and accuracy in detecting stenoses. *AJR Am J Roentgenol*, 2005, **184**: 1413–1419.
- 4) Kuettner A, Beck T, Drosch T et al: Diagnostic accuracy of noninvasive coronary imaging using 16-detector slice spiral computed tomography with 188 ms temporal resolution. *J Am Coll Cardiol*, 2005, **45**: 123–127.
- 5) Hoffmann U, Moselewski F, Cury RC et al: Predictive value of 16-slice multidetector spiral computed tomography to detect significant obstructive coronary artery disease in patients at high risk for coronary artery disease: patient-versus segment-based analysis. *Circulation*, 2004, **110**: 2638–2643.
- 6) 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**: 664–666.
- 7) Nieman K, Cademartiri F, Lemos PA, et al: Reliable noninvasive coronary angiography with fast submillimeter multislice spiral computed tomography. *Circulation* 2002, **106**: 2051–2054.
- 8) Mollet NR, Cademartiri F, Krestin GP et al: Improved diagnostic accuracy with 16-row multi-slice computed tomography coronary angiography. *J Am Coll Cardiol*, 2005, **45**: 128–132.
- 9) Mollet NR, Cademartiri F, Nieman K et al: Multislice spiral computed tomography coronary angiography in patients with stable angina pectoris. *J Am Coll Cardiol*, 2004, **43**: 2265–2270.
- 10) Ropers D, Rixe J, Anders K et al: Usefulness of multidetector row spiral computed tomography with 64- × 0.6-mm collimation and 330-ms rotation for the noninvasive detection of significant coronary artery stenoses. *Am J Cardiol*, 2006, **97**: 343–348.
- 11) 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.
- 12) Leschka S, Alkadhi H, Plass A et al: Accuracy of MSCT coronary angiography with 64-slice technology: first experience. *Eur Heart J*, 2005, **26**: 1482–1487.
- 13) Pugliese F, Mollet NR, Runza G et al: Diagnostic accuracy of non-invasive 64-slice CT coronary angiography in patients with stable angina pectoris. *Eur Radiol*, 2006, **16**: 575–582.
- 14) Mollet NR, Cademartiri F, van Mieghem CA et al: High-resolution spiral computed tomography coronary angiography in patients referred for diagnostic conventional coronary angiography. *Circulation*, 2005, **112**: 2318–2323.
- 15) Schroeder S, Kuettner A, Leitritz M et al: Reliability of differentiating human coronary plaque morphology using contrast-enhanced multislice spiral computed tomography: a comparison with histology. *J Comput Assist Tomogr*, 2004, **28**: 449–454.
- 16) Leber AW, Knez A, Becker A et al: Accuracy of multidetector spiral computed tomography in identifying and differentiating the composition of coronary atherosclerotic plaques: a comparative study with intracoronary ultrasound. *J Am Coll Cardiol*, 2004, **43**: 1241–1247.
- 17) Moselewski F, Ropers D, Pohle K et al: Comparison of measurement of cross-sectional coronary atherosclerotic plaque and vessel areas by 16-slice multidetector computed tomography versus intravascular ultrasound. *Am J Cardiol*, 2004, **94**: 1294–1297.
- 18) Achenbach S, Ropers D, Hoffmann U et al: Assessment of coronary remodeling in stenotic and nonstenotic coronary atherosclerotic lesions by multidetector spiral computed tomography. *J Am Coll Cardiol*, 2004, **43**: 842–847.
- 19) Achenbach S, Moselewski F, Ropers D et al: Detection of calcified and noncalcified coronary atherosclerotic plaque by contrast-enhanced, submillimeter multidetector spiral computed tomography: a segment-based comparison with intravascular ultrasound. *Circulation*, 2004, **109**: 14–17.

CT Coronary Angiography: Detection of Coronary Artery Stenoses and Characterization of Coronary Atherosclerotic Plaques

Yutaka Tanami,¹ Sachio Kuribayashi,¹ Masahiro Jinzaki,¹ Kouzou Satoh,¹ and Minoru Yamada²

¹Department of Diagnostic Radiology, Keio University School of Medicine, Tokyo, Japan

²Cardiovascular Imaging Laboratory in Research Park, Keio University School of Medicine, Tokyo, Japan

Key words: MDCT, coronary artery stenosis, plaque

Multislice computed tomography (CT) is an emerging technique for the non-invasive visualization of coronary arteries. Over the past decade, enormous progress has been made in the technology of CT imaging. Substantial improvements in spatial resolution, temporal resolution, hardware and software now permit imaging of the entire coronary artery within a single breath-hold. High levels of diagnostic accuracy also have been established for the detection of significant coronary artery stenosis with multidetector CT (MDCT). The cross-sectional nature of contrast enhanced MDCT coronary angiography allows assessment of the vessel wall that may yield more accurate quantification of total atherosclerotic plaque. The aim of this article is to illustrate the main technical improvements in the latest generation of MDCT scanners and the possible applications in coronary angiography. (J Jpn Coll Angiol, 2006, **46**: 517–521)