

## 「心血管病画像診断の進歩」

## 冠動脈CTの現状と課題：新世代CTへの期待

陣崎 雅弘\* 田波 穰 上竹 亜記子 栗林 幸夫

Masahiro JINZAKI, MD\*, Yutaka TANAMI, MD, Akiko UETAKE, MD, Sachio KURIBAYASHI, MD, FJCC

慶應義塾大学医学部放射線診断科

## 要約

冠動脈CTは、冠動脈の解剖学的走行、冠動脈狭窄の診断、冠動脈壁評価、などに関する情報を提供することができる。冠動脈CTの適応については、運動負荷心電図所見に基づきリスクの層別化を行い、中等度リスク群がよい適応になる。高リスク群の場合には冠動脈造影を行うことが推奨され、低リスク群の場合には冠動脈CTを行う必要性は高くない。施設要件、患者要件によっては負荷心筋血流シンチが選択されることもある。冠動脈CTで判定困難な場合や、有意狭窄と思える病変を認められた場合には負荷心筋シンチを行い、虚血の有無を見ることは重要である。

従来、冠動脈CTの被曝線量は20 mSv程度であったが、収縮期の線量を低下させる方法で10-14 mSv程度、拡張期のみ撮影する方法で5 mSv程度にまで線量が低下できるようになっている。近年登場した逐次近似法ではさらなる低減が期待できる。

新世代CTでは、回転速度の向上、空間分解能の向上が得られるようになっており、dual energy CTも登場してきている。ステント内腔評価や重度石灰化病変の診断の向上に期待がもたれる。

<Keywords> 冠動脈  
CT被曝  
負荷心筋血流シンチ

J Cardiol Jpn Ed 2011; 6: 254 – 260

## はじめに

2004年に64スライスCTが登場し、冠動脈CTが臨床で広く使われるようになった。本稿では、冠動脈CTの現状と課題、ガイドラインに見る冠動脈CTの位置づけ、被曝低減競争、新世代CTの登場について概説する。

## 64スライスCTでの冠動脈検査の現状と課題

現在、冠動脈CTは、冠動脈の解剖学的走行、冠動脈狭窄の診断、冠動脈壁評価、などに関する情報を提供することができる。

このうち、冠動脈の解剖学的走行はCTの有用性が最も確立されている役割である。冠動脈起始異常、単冠動脈、冠動脈静脈などの診断は血管造影と対比して正確に描出できるとされている<sup>1,2)</sup>。PCI前に冠動脈起始異常の情報があると、手

技を行う上で非常に役立つ。

冠動脈狭窄の診断能は、64スライスCTでは感度、特異度ともに90%～95%ときわめて高く、特に陰性的中度は100%に近い値が報告されている<sup>1,2)</sup>(表1)。このため、虚血性心疾患が疑われる患者の冠動脈狭窄の有無の評価に用いられるようになっている。狭窄の解析においては、1枚の画像で病変分布を提示できるAngiographic viewという新しい画像表示法が考案されており、患者への説明や治療計画の立案において有効性を発揮している<sup>3)</sup>。

虚血性心疾患患者の治療方針や予後を考える上では、冠動脈狭窄の有無そのものより心筋虚血の有無の判断が重要である。冠動脈CTで有意狭窄が報告された患者のうち半分程度でしか負荷心筋血流シンチ(SPECT)で還流異常がないことや<sup>4)</sup>、PCIの予後は狭窄率ではなく冠血流予備量比の値が重要であることが報告されている<sup>5)</sup>。すなわち、冠動脈CTは冠動脈造影と比較した形態的狭窄の診断能は高いが、必ずしも機能的有意狭窄すなわち虚血を予測できるわけではな

\*慶應義塾大学医学部放射線診断科  
160-8582 新宿区信濃町35

表1 64スライスCTによる冠動脈狭窄 (>50%) の診断能.

	N	Sensitivity (%)	Specificity (%)	PPV (%)	NPV (%)
Leschka et al	67	94	97	87	99
Leber et al	55	76	97	75	97
Raff et al	70	86	95	66	98
Mollet et al	51	99	95	76	99
Ropers et al	81	93	97	56	100
Schuijf et al	60	85	98	82	99
Ong et al	134	82	96	79	96
Ehara et al	69	90	94	89	95
Nikolaou et al	72	82	95	69	97
Weustink et al	77	95	95	75	99
Leber et al	88	94	99	81	99
Total	824	89	96	78	98

(セグメント毎)

(Schroeder et al. Eur Heart J 2008 ; 29 : 531)

い。このため、最近では、薬剤を負荷して造影早期相で心筋の染まりを観察するCT perfusionや、冠動脈狭窄とSPECTで推定される心筋血流予備能を統合的に評価するCT/SPECT融合画像の検討が行われている<sup>6,7)</sup>。CT/SPECT融合画像は、形態・機能画像の利点を共有することができ、虚血領域の把握、冠動脈枝ごとの心筋虚血評価、さらには責任血管の決定に際し有用である。

冠動脈壁の評価は、冠動脈造影を越える情報を提供するものとして、プラーク性状診断、プラークボリュームの評価に大きな期待が寄せられてきた。プラーク性状診断は、血管内超音波と対比した研究で、CT値50 HU以下は脂質優位、50-120 HUは線維優位、120 HU以上は石灰化とする指標が報告され<sup>8)</sup>、大きな期待がもたれた。しかし、その後、プラークのCT値は性状が異なってもオーバーラップがかなりあることが明らかになり、性状診断は難しいと考えられるようになった。最近、CT値30 HU以下、positive remodeling, spotty calcificationの3つの要因を伴っていれば急性冠症候群を起こすリスクの高いプラークであるという報告が出ている<sup>9)</sup>。現在、プラークのCT値が血管インベントの発症予測因子になるかどうかに関する前向き研究が行われている。プラークボリューム評価についても血管内超音波と比較的よく相関するデータが

出されているが<sup>10)</sup>、更なる精度の向上が望まれる。

ステント内腔を評価する場合、ステントの種類や材質によりその見え方は異なり、また心拍動をしている金属製の細いステントをCTでイメージングする場合、種々のアーチファクトが現れやすい。64-slice CTを用いた検討においても、内腔評価が可能なステントは約60%であり、内腔評価可能群に限定した感度と特異度は、それぞれ86%と98%と報告されている<sup>17)</sup>。ステント径が3 mm以上であれば85%で評価可能であるが、3 mm未満では26%であり、適応とならない<sup>2)</sup>。したがって、CTを用いたステント内開存の評価は、従来の64スライスCTではかなり限定されると考えられている。

64スライスCTの課題としては、①不整脈や高心拍の場合に、motion artifactのため画質不良になることがある、②重度石灰化病変では、血管内腔評価が困難なことが多い、③プラークCT値やプラークボリュームの評価は、精度が不十分である、④径3 mmより細いステントでは内腔評価が困難なことが多い(後述)、などがあげられる。これらの問題点の克服には、空間分解能や時間分解能の向上に大きな期待が寄せられている。

## ガイドラインに見る冠動脈CTの位置づけ

冠動脈CTの適応についてはいくつかのガイドラインが出されている。欧米では2006年頃から作成されており、心臓CTや心臓MRの臨床における有効性や適応の妥当性が論じられている。日本では、2009年に日本循環器学会2007～2008年度合同研究班報告「冠動脈病変の非侵襲的診断法に関するガイドライン」が発表された<sup>11)</sup>。このガイドラインは、心電図、心エコー図、SPECT、CT、MRなどの検査法の概要と冠動脈病変評価における位置づけを論じたもので最も統合的な内容になっている。以下に、このガイドラインに記載されている、安定狭心症、急性冠症候群、ステント内腔評価における冠動脈CTの位置づけを紹介する。

### 1. 安定狭心症が疑われる場合

胸痛を有する患者を診る場合には、まず、臨床症状から不安定狭心症でないことを確認した上で、年齢、性別、症状から冠動脈疾患を有する可能性を推定し、その後の診断方針を決定することが必要である。冠動脈疾患のあるリスクが低ければ経過観察でよく、リスクが高いと判断されれば冠動脈造影の適応となる。それ以外であれば非侵襲的検査を行う。このためには、簡便性、費用対効果に優れ、運動耐容能および予後評価もできる運動負荷心電図検査が推奨され、この所見に基づき、低、中等度、高リスク群に分類する(図1-1)<sup>11)</sup>。なお、運動ができない、あるいは心電図診断が不可能である場合には、直接CTもしくはSPECTを行うことになる(図1-2)<sup>11)</sup>。

高リスク群の場合には冠動脈疾患を有する危険性が高く、すぐに冠動脈造影を行うことが推奨される。ただし、PCIの際に生じ得るno-reflow現象の予測やCTO症例でのPCI手技の可否の予測にCTが有効なことはある。一方、低リスク群の場合にはもともと冠動脈疾患の有病率が低いので、CTを行う必要性は高くない。

中等度リスク群もしくは判定が不能と判断された場合には、SPECTおよび冠動脈CTのいずれかが選択される。この選択は、施設要件、患者要件を考慮して決定する。冠動脈CTは高い陰性的中率を有するので、CTで有意狭窄が認められなければ、経過観察でよい。一方、CTで判定困難な場合(高度石灰化やmotion artifactなど)や、有意狭窄と思える病変を認めた場合にはSPECTを行い、虚血の有無を見ることは重要である。ただし、明らかに重症虚血が予想される狭窄

病変であれば侵襲的冠動脈造影を行う。

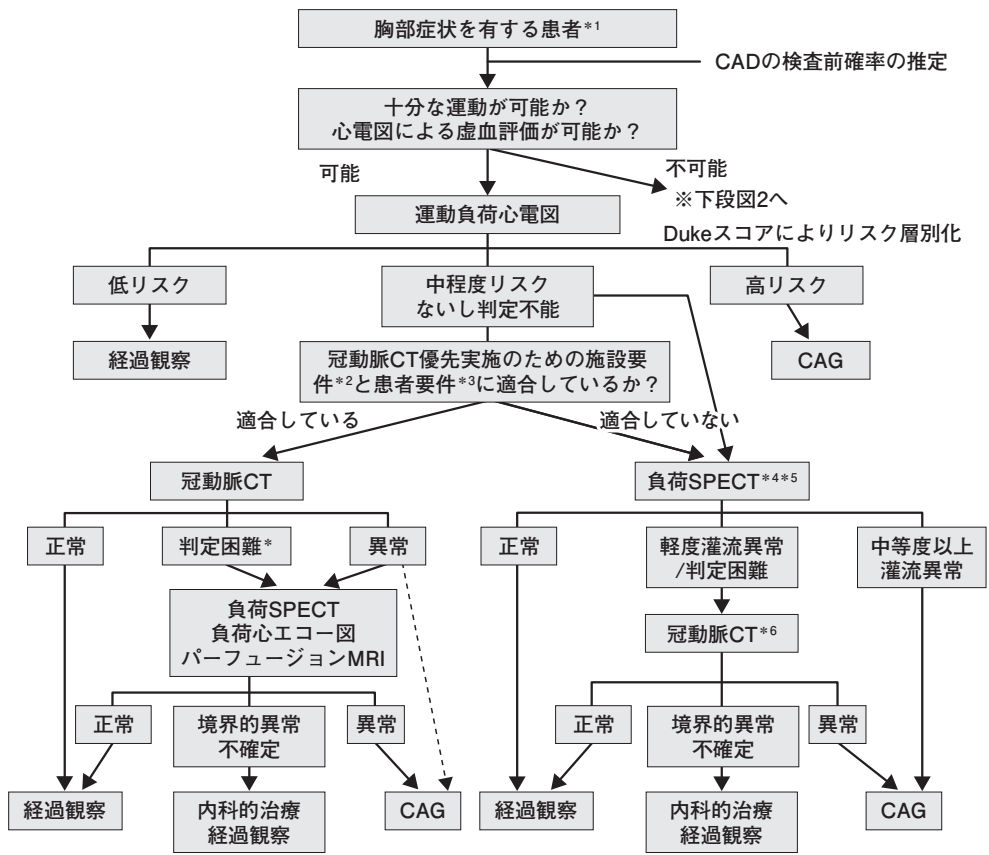
### 2. 急性冠症候群が疑われる場合

急性冠症候群のリスク層別化は年齢・性別などの臨床像、既往歴、新たな心電図変化、血液生化学検査(トロポニンなど)などによって行い、高リスクすなわち急性心筋梗塞の可能性が高いと評価されれば集中治療室入院、冠動脈造影による速やかな血行再建術が優先される。中または低リスク群、あるいは来院時の心電図検査、血液検査ともに異常が無く急性冠症候群と結論づけられない場合には、来院後早期のCTが急性冠症候群の早期の診断あるいは除外診断に有用と考えられるようになっており、侵襲的冠動脈造影を避けることが可能となる。低リスク群に対しては議論があるが、より確実な急性冠症候群の除外方法として冠動脈CTが有用とする意見が多い。

## 被曝低減化競争

64スライスCT以後、各メーカーは被曝低減技術の競い合いに突入することになった。被曝低減に対する意識は重要で、必要のない検査を避ける努力はもちろんのこと、臨床的意義の高い検査についても必要最低限の被曝線量に抑える工夫がなされるべきと考えられる。冠動脈CTの被曝線量は男性で13 mSv、女性で18 mSvであり、心臓カテーテル検査の3-6 mSvと比較して明らかに高かった。そこで、線量低減のアプリケーションとして、ECGモジュレーションといわれる収縮期での線量を低下させる機構が導入された<sup>12)</sup>。これは、再構成に用いられる頻度の少ない収縮期での線量を低下させることで被曝線量を2/3程度に軽減することができる。その後、Step and shoot法と言われる拡張中期のみに曝射してアシナルスキャンを繰り返す方法が登場した。収縮期ではX線照射を行わないため線量を1/3から1/4程度に軽減可能である<sup>13)</sup>。心拍数70以下の症例が適応となるので、 $\beta$ -ブロッカーで心拍数を下げて積極的に利用していくことが推奨される。

この1、2年で更に新しい被曝低減技術として、逐次近似法を用いた再構成法が登場し始めた(GE:ASIR, Philips:iDose, Siemens:IRIS, Toshiba:AIDR)。逐次近似法とは、核医学で用いられてきた手法で、ノイズ低減効果があるため、低線量で撮った像の画質を向上させることができる。具体的には、投影データから対象となる構造物(初期画像)を仮定し、ある方向の投影データを計算する。計算で得られた投影



\*1 心電図, 心エコー図所見などから冠動脈疾患が強く疑われる無症状患者もこれに準ずる

\*2 冠動脈CT優先実施のための望ましい施設要件  
 ・十分な経験を有している  
 ・64列MDCT以上の機種を有している  
 ・鮮明な画像のもとに、適切なレポートングシステムが稼働している  
 ・CAGとの比較によりCTの特性が評価されている  
 ・被ばく線量の低減プロトコルに取り組んでいる

\*3 冠動脈CT実施のための患者要件  
 ・50歳未満の女性では被ばくに配慮すること  
 ・著しい冠動脈石灰化が予想される患者でないこと(透析患者, 高齢者など)  
 ・血清クレアチニンが2.0 mg/dL以上でないこと  
 ・eGFRが60 mL/min/1.73 m<sup>2</sup>以下でないこと  
 ・糖尿病患者の場合微量アルブミン尿を含む腎症を認めないこと  
 ・造影剤アレルギーがないこと  
 ・喘息がないこと

\*4  
 ・負荷は運動負荷が望ましい  
 ・17ないし20セグメント法による負荷欠損スコアの評価がされている

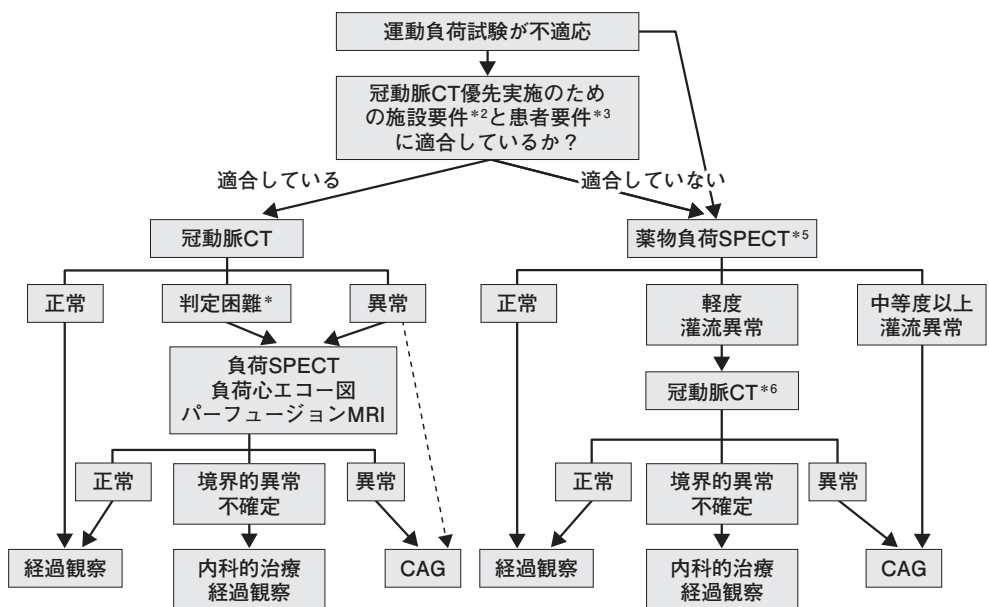
\*5  
 ・薬剤の禁忌に注意  
 ・施設によっては負荷エコーないし負荷 perfusion MRI

\*6 冠動脈CT実施のための施設要件  
 ・十分な経験を有している  
 ・64列MDCT以上の機種を有している

\*判定困難  
 ・高度石灰化, motion artifactによる判定困難  
 ・境界的狭窄, 末梢の細い枝の狭窄

(Circ J 2009 ; 73 [Suppl. III] : 1019-1089. 図13より引用転載)

図1-1 安定狭心症の診断樹:運動が可能な場合.



(Circ J 2009 ; 73 [Suppl. III] : 1019-1089. 図14より引用転載)

図1-2 安定狭心症の診断樹:運動が不可能な場合.



データと実測された投影データを比較し、両者の差分を利用して最初に仮定した構造物を修正する。これら操作を繰り返す、最終的な再構成画像を得るものである。ASIRは、従来の再構成法であるFBP (filtered back projection) と任意の割合で混合して用いるが、心臓CTに応用した報告ではASIRを40%もしくは60%で混合した場合が最も画質向上が得られ<sup>14)</sup>、44%程度の線量低減を行っても(650 mAを450 mAに低減)、画質や評価可能な冠動脈の頻度には差がなかったと報告されている<sup>15)</sup>。更には、投影データ計算の過程において、ペンシルビーム状ではなく、大きさを持ったX線焦点サイズ、検出器開口幅、ピクセルサイズを考慮した実際のX線光学モデルを適用する、より高度な逐次近似法も登場する予定である。

## 新世代CTの登場

2005年以降、post 64スライス世代のCTが登場し始めた。320列CT(東芝)、256列CT(フィリップス)、2管球CT(シーメンス)、ガーネット検出器CT(GE)などがあげられる。基本的には時間分解能や空間分解能の向上を目指したものであるが、dual energy CTという方向性も見据えられている。

更なる多列化を進めたのが東芝とフィリップスである。ただし、従来と同様の多列化の延長というよりも、1回転で心臓を撮影できヘリカル撮影がなされないという意味において、面検出器CTというまったく異なるものに位置づけられる。撮影時間が短いため不整脈患者や高心拍患者への対応が可能なこと<sup>16)</sup>、心臓全体が同時に撮影できることからCT perfusionへの活用の有効性が高い<sup>17)</sup>。ちなみに、フィリップスの256列CT(Brilliance iCT)は、air bearing方式をとることにより回転速度0.27秒という高速回転を実現している。

シーメンスは、330 msecの回転速度の管球を2つ搭載することにより83 msecという時間分解能を達成したDual Source CT「SOMATOM Definition」を発表し、高心拍症例やAfなどにおいても、βブロッカーなしでの心臓CT検査を可能にしている<sup>18)</sup>。時間分解能の向上に伴い、3 mm以下のステントの診断能の向上も報告されている<sup>19)</sup>。その後、回転速度が280 msec、時間分解能75 msecに向上した第二世代のDual Source CT「SOMATOM Definition Flash」を発表している。この機種では、寝台の移動速度が秒間460 mmと高速化され、2対のX線管球と検出器が2つの螺旋軌道を描きながら高ピッチ(Pitch 3.4)で同時にデータを収集する、高速二重螺旋撮影法も可能になっている。心臓撮影が0.25～0.3秒

程度で可能で、被ばく線量も1 mSv以下になる<sup>20)</sup>。Dual Source CTの他の特長としては、Dual Energy Imagingがあげられる。心電同期化でのDual Energy Imagingも可能となっており、今後は冠動脈石灰化除去に期待がもたれる。

GEは、ガーネットを用いた検出器(Discovery CT 750HD)を採用し、空間分解能の向上を行っている。ガーネットは、X線の発光スピードが従来100倍、残光特性が1/4と大幅に向上しているため、高速でのデータサンプリングが可能である。これにより、従来の64スライスCTと比べ約2.5倍にview数を上げることができ、その結果、XY平面における空間分解能が30%程度向上する<sup>21,22)</sup>。その結果、我々の検討では3 mm以下のステントでも高い診断能が得られており、ステント評価は新世代CTでは十分可能という認識が変わっていくと思われる。さらに、高速スイッチングを用いたdual energy CTでは、ヨードと石灰化の弁別が可能になり、重度石灰化病変において石灰化を除去して内腔の狭窄度を診断することが可能になる<sup>23)</sup>。現在、心臓に応用できていないが近い将来人に応用したものが登場する。

## おわりに

マルチスライスCTは64スライスCTが登場以降、線量低減競争さらには64スライス後の新世代CTに至る流れを概説した。今後は、再構成法や検出器が更に進歩を遂げ、被曝低減が押し進められ、多様な機能評価が可能になることが期待される。

## 文献

- 1) American College of Cardiology Foundation Task Force on Expert Consensus Documents, Mark DB, Berman DS, Budoff MJ, Carr JJ, Gerber TC, Hecht HS, Hlatky MA, Hodgson JM, Lauer MS, Miller JM, Morin RL, Mukherjee D, Poon M, Rubin GD, Schwartz RS. ACCF/ACR/AHA/NASCI/SAIP/SCAI/SCCT 2010 expert consensus document on coronary computed tomographic angiography: a report of the American College of Cardiology Foundation Task Force on Expert Consensus Documents. *Circulation* 2010; 121: 2509-2543.
- 2) Schroeder S, Achenbach S, Bengel F, Burgstahler C, Cademartiri F, de Feyter P, George R, Kaufmann P, Kopp AF, Knuuti J, Ropers D, Schuijf J, Tops LF, Bax JJ; Working Group Nuclear Cardiology and Cardiac CT; European Society of Cardiology; European Council of Nuclear Cardiology. Cardiac computed tomography: indications, applications, limitations, and training require-

- ments: report of a Writing Group deployed by the Working Group Nuclear Cardiology and Cardiac CT of the European Society of Cardiology and the European Council of Nuclear Cardiology. *Eur Heart J* 2008; 29: 531-556.
- 3) Jinzaki M, Sato K, Tanami Y, Yamada M, Anzai T, Kawamura A, Ueno K, Kuribayashi S. Diagnostic accuracy of angiographic view image for the detection of coronary artery stenoses by 64-detector row CT: a pilot study comparison with conventional post-processing methods and axial images alone. *Circ J* 2009; 73: 691-698.
  - 4) Schuijff JD, Wijns W, Jukema JW, Atsma DE, de Roos A, Lamb HJ, Stokkel MP, Dibbets-Schneider P, Decramer I, De Bondt P, van der Wall EE, Vanhoenacker PK, Bax JJ. Relationship between noninvasive coronary angiography with multi-slice computed tomography and myocardial perfusion imaging. *J Am Coll Cardiol* 2006; 48: 2508-2514.
  - 5) Pijls NH, van Schaardenburgh P, Manoharan G, Boersma E, Bech JW, van't Veer M, Bär F, Hoorntje J, Koolen J, Wijns W, de Bruyne B. Percutaneous coronary intervention of functionally nonsignificant stenosis; 5-year follow-up of the DEFER study. *J Am Coll Cardiol* 2007; 49: 2105-2111.
  - 6) George RT, Silva C, Cordeiro MA, DiPaula A, Thompson DR, McCarthy WF, Ichihara T, Lima JA, Lardo AC. Multidetector computed tomography myocardial perfusion imaging during adenosine stress. *J Am Coll Cardiol* 2006; 48: 153-160.
  - 7) Rispler S, Keidar Z, Ghersin E, Roguin A, Soil A, Dragu R, Litmanovich D, Frenkel A, Aronson D, Engel A, Beyar R, Israel O. Integrated single-photon emission computed tomography and computed tomography coronary angiography for the assessment of hemodynamically significant coronary artery lesions. *J Am Coll Cardiol* 2007; 49: 1059-1067.
  - 8) Schroeder S, Kopp AF, Baumbach A, Meisner C, Kuettnner A, Georg C, Ohnesorge B, Herdeg C, Claussen CD, Karsch KR. Noninvasive detection and evaluation of atherosclerotic coronary plaques with multislice computed tomography. *J Am Coll Cardiol* 2001; 37: 1430-1435.
  - 9) Motoyama S, Sarai M, Harigaya H, Anno H, Inoue K, Hara T, Naruse H, Ishii J, Hishida H, Wong ND, Virmani R, Kondo T, Ozaki Y, Narula J. Computed tomographic angiography characteristics of atherosclerotic plaques subsequently resulting in acute coronary syndrome. *J Am Coll Cardiol* 2009; 54: 49-57.
  - 10) Leber AW, Becker A, Knez A, von Ziegler F, Sirol M, Nikolaou K, Ohnesorge B, Fayad ZA, Becker CR, Reiser M, Steinbeck G, Boekstegers P. Accuracy of 64-slice computed tomography to classify and quantify plaque volumes in the proximal coronary system: a comparative study using intravascular ultrasound. *J Am Coll Cardiol* 2006; 47: 672-677.
  - 11) 循環器病の診断と治療に関するガイドライン。(2007-2008年度  
 合同研究班報告)冠動脈病変の非侵襲的診断法に関するガイドライン. *Circ J* 2009; 73 (Supple III): 1019-1089.
  - 12) Jakobs TF, Becker CR, Ohnesorge B, Flohr T, Suess C, Schoepf UJ, Reiser MF. Multislice helical CT of the heart with retrospective ECG gating: reduction of radiation exposure by ECG-controlled tube current modulation. *Eur Radiol* 2002; 12: 1081-1086.
  - 13) Hirai N, Horiguchi J, Fujioka C, Kiguchi M, Yamamoto H, Matsuura N, Kitagawa T, Teragawa H, Kohno N, Ito K. Prospective versus retrospective ECG-gated 64-detector coronary CT angiography: assessment of image quality, stenosis, and radiation dose. *Radiology* 2008; 248: 424-430.
  - 14) Leipsic J, Labounty TM, Heilbron B, Min JK, Mancini GB, Lin FY, Taylor C, Dunning A, Earls JP. Adaptive statistical iterative reconstruction: assessment of image noise and image quality in coronary CT angiography. *AJR Am J Roentgenol* 2010; 195: 649-654.
  - 15) Leipsic J, Labounty TM, Heilbron B, Min JK, Mancini GB, Lin FY, Taylor C, Dunning A, Earls JP. Estimated radiation dose reduction using adaptive statistical iterative reconstruction in coronary CT angiography: the ERASIR study. *AJR Am J Roentgenol* 2010; 195: 655-660.
  - 16) Pasricha SS, Nandurkar D, Seneviratne SK, Cameron JD, Crossett M, Schneider-Kolsky ME, Troupis JM. Image quality of coronary 320-MDCT in patients with atrial fibrillation: initial experience. *AJR Am J Roentgenol* 2009; 193: 1514-1521.
  - 17) George RT, Arbab-Zadeh A, Miller JM, Kitagawa K, Chang HJ, Bluemke DA, Becker L, Yousuf O, Texter J, Lardo AC, Lima JA. Adenosine stress 64- and 256-row detector computed tomography angiography and perfusion imaging: a pilot study evaluating the transmural extent of perfusion abnormalities to predict atherosclerosis causing myocardial ischemia. *Circ Cardiovasc Imaging* 2009; 2: 174-182.
  - 18) Oncel D, Oncel G, Tastan A. Effectiveness of dual-source CT coronary angiography for the evaluation of coronary artery disease in patients with atrial fibrillation: Initial experience. *Radiology* 2007; 245: 703-711.
  - 19) Pugliese F, Weustink AC, Van Mieghem C, Alberghina F, Otsuka M, Meijboom WB, van Pelt N, Mollet NR, Cademartiri F, Krestin GP, Hunink MG, de Feyter PJ. Dual source coronary computed tomography angiography for detecting in-stent restenosis. *Heart* 2008; 94: 848-854.
  - 20) Lell M, Marwan M, Schepis T, Pflederer T, Anders K, Flohr T, Allmendinger T, Kalender W, Ertel D, Thierfelder C, Kuettnner A, Ropers D, Daniel WG, Achenbach S. Prospectively ECG-triggered high-pitch spiral acquisition for coronary CT angiography using dual source CT: technique and initial experience. *Eur Radiol* 2009; 19: 2576-2583.
  - 21) Tanami Y, Jinzaki M, Yamada M, Imai Y, Segawa K, Kuribayashi S. Improvement of in-stent lumen measure-

- ment accuracy with new High-Definition CT in a phantom model: comparison with conventional 64-detector row CT. *Int J Cardiovasc Imaging* 2011 (Epub ahead of print).
- 22) Min JK, Swaminathan RV, Vass M, Gallagher S, Weinsaft JW. High-definition multidetector computed tomography for evaluation of coronary artery stents: comparison to standard-definition 64-detector row computed tomography. *J Cardiovasc Comput Tomogr* 2009; 3: 246-251.
- 23) Yamada M, Jinzaki M, Imai Y, Yamazaki S, Imanishi N, Tanami Y, Yamazaki A, Aiso S, Kuribayashi S. Evaluation of severely calcified coronary artery using fast-switching dual-kVp 64-slice computed tomography. *Circ J* 2011; 75: 472-473.