

Appendix 2

ASCI CCT appropriateness criteria
(by appropriateness category)

See Tables 13, 14 and 15.

Table 13 Appropriate indications (median score 7–9)

Indication		Appropriateness Criteria (Median Score)
Detection of CAD: symptomatic		
Evaluation of Chest Pain Syndrome (Use of Cardiac CT)		
1	- Intermediate pre-test probability of CAD - ECG interpretable AND able to exercise	A (7)
2	- Intermediate pre-test probability of CAD - ECG uninterpretable OR unable to exercise	A (9)
Detection of CAD: symptomatic		
Evaluation of Intra-Cardiac Structures (Use of Cardiac CT)		
4	- Evaluation of suspected coronary anomalies	A (9)
Detection of CAD: symptomatic		
Acute Chest Pain (Use of Cardiac CT)		
6	- Intermediate pre-test probability of CAD - No ECG changes and serial enzymes negative	A (7)
7	- High pre-test probability of CAD - No ECG changes and serial enzymes negative	A (7)
9	- "Triple rule out"—exclude obstructive CAD, aortic dissection, and pulmonary embolism - Intermediate pre-test probability for one of the above - ECG—no ST-segment elevation and initial enzymes negative	A (7)
Detection of CAD		
Asymptomatic (Use of Cardiac CT)		
12	- High CHD risk (Framingham)	A (7)
Risk Assessment: General Population		
Asymptomatic (Use of Calcium Score)		
14	- Moderate CHD risk (Framingham)	A (7)
15	- High CHD risk (Framingham)	A (7)
Detection of CAD With Prior Test Results		
Evaluation of Chest Pain Syndrome (Use of Cardiac CT)		
16	- Uninterpretable or equivocal stress test (exercise, perfusion, or stress echo)	A (8)
CAD detection in pediatric patients with Kawasaki disease		
Asymptomatic (Use of Cardiac CT)		
22	- Previous tests (invasive angiography, CMR or CCT) documented coronary aneurysm/stenosis, for follow up	A (7)
CAD detection in pediatric patients with Kawasaki disease		
Symptomatic (Use of Cardiac CT)		
23	- No previous definitive test (invasive angiography, MRCA or CTCA) available	A (7)
24	- Previous tests (angiography, CMR or CCT) documented coronary aneurysm/stenosis, for follow up	A (8)
Risk Assessment: Preoperative evaluation for cardiac surgery or endovascular intervention		
Preoperative evaluation (Use of Cardiac CT)		
27	- Use of CT coronary angiography for CAD evaluation before valve surgery	A (7)
28	- Anatomic assessment before percutaneous device closure of ASD or VSD or percutaneous aortic valve replacement	A (8)

Table 13 continued

29	- Evaluation of complex lesions before PCI (ie, chronic total occlusions, bifurcation lesions)	A (8)
Detection of CAD: Post-Revascularization (PCI or CABG)		
Evaluation of Chest Pain Syndrome (Use of Cardiac CT)		
30	- Evaluation of bypass grafts and coronary anatomy	A (9)
31	- History of percutaneous revascularization with stents	A (7)
Detection of CAD: Post-Revascularization (PCI or CABG)		
Asymptomatic (Use of Cardiac CT)		
33	- Evaluation of bypass grafts and coronary anatomy - Greater than or equal to 5 years after CABG	A (7)
Structure and Function		
Morphology (Use of Cardiac CT)		
35	- Assessment of complex congenital heart disease including anomalies of coronary circulation, great vessels, and cardiac chambers and valves	A (8)
36	- Assessment of post-operative congenital heart disease, such as residual pulmonary stenosis, ventricular septal defect and patency check for Blalock-Taussig shunt	A (8)
37	- Evaluation of coronary arteries in patients with new onset heart failure to assess etiology	A (7)
Structure and Function		
Evaluation of Ventricular and Valvular Function (Use of Cardiac CT)		
39	- Evaluation of LV function following myocardial infarction OR in heart failure patients - Patients with technically limited images from echocardiogram	A (7)
40	- Characterization of native and prosthetic cardiac valves - Patients with technically limited images from echocardiogram, MRI, or TEE	A (7)
41	- Assessment of RV function and morphology (in suspected ARVD and pulmonary embolism)	A (7)
Structure and Function		
Evaluation of Intra- and Extra-Cardiac Structures (Use of Cardiac CT)		
42	- Evaluation of cardiac mass (suspected tumor or thrombus) - Patients with technically limited images from echocardiogram, MRI or TEE	A (8)
43	- Evaluation of pericardial conditions (pericardial mass, constrictive pericarditis, or complications of cardiac surgery) - Patients with technically limited images from echocardiogram, MRI or TEE	A (8)
44	- Evaluation of pulmonary vein anatomy prior to invasive radiofrequency ablation for atrial fibrillation - Left atrial and pulmonary venous anatomy including dimensions of veins for mapping purposes	A (9)
45	- Noninvasive coronary vein mapping prior to placement of biventricular pacemaker	A (7)
46	- Noninvasive coronary arterial mapping, including internal mammary artery prior to repeat cardiac surgical revascularization	A (8)
Structure and Function		
Evaluation of Aortic and Pulmonary Disease (Use of Non-Gated Large Field-of-View CT Angiography)		
47	- Evaluation of suspected aortic dissection or thoracic aortic aneurysm	A (9)
48	- Evaluation of suspected pulmonary embolism	A (9)
One-Stop Shop of Ischemic Heart Disease		
One-Stop Shop (Use of Cardiac CT)		
51	- Serving as an 'one-stop shop' for ischemic heart disease in diagnosis, comprehensive evaluation and treatment strategy planning in difficult cases	A (7)

Table 14 Uncertain indications (median score 4–6)

Indication		Appropriateness Criteria (Median Score)
Detection of CAD: symptomatic		
Evaluation of Chest Pain Syndrome (Use of Cardiac CT)		
3	- High pre-test probability of CAD	U (6)
Detection of CAD: symptomatic		
Acute Chest Pain (Use of Cardiac CT)		
5	- Low pre-test probability of CAD - No ECG changes and serial enzymes negative	U (4)
Detection of CAD: Asymptomatic (Without Chest Pain Syndrome)		
Asymptomatic (Use of Cardiac CT)		
11	- Moderate CHD risk (Framingham)	U (5)
Detection of CAD With Prior Test Results		
Evaluation of Chest Pain Syndrome (Use of Cardiac CT)		
17	- Evidence of moderate to severe ischemia on stress test (exercise, perfusion, or stress echo)	U (6)
Risk Assessment With Prior Test Results		
Asymptomatic (Use of Calcium Score)		
18	- Prior calcium score within previous 5 years	U (5)
Risk Assessment With Prior Test Results		
Asymptomatic (Use of Cardiac CT)		
19	- High CHD risk (Framingham) - Within 2 years prior cardiac CT or invasive angiogram without significant obstructive disease	U (5)
20	- High CHD risk (Framingham) - Prior calcium score greater than or equal to 400	U (6)
CAD detection in pediatric patients with Kawasaki disease		
Asymptomatic (Use of Cardiac CT)		
21	- No previous definitive test (invasive angiography, MRCA or CTCA) available	U (5)
Risk Assessment: Preoperative Evaluation for Non-Cardiac Surgery		
Intermediate- or High-Risk Surgery (Use of Cardiac CT)		
26	- Intermediate perioperative risk	U (6)
Detection of CAD: Post-Revascularization (PCI or CABG)		
Asymptomatic (Use of Cardiac CT)		
32	- Evaluation of bypass grafts and coronary anatomy - Less than 5 years after CABG	U (6)
34	- Evaluation for in-stent restenosis and coronary anatomy after PCI	U (6)
Structure and Function		
Evaluation of Ventricular and Valvular Function (Use of Cardiac CT)		
38	- Evaluation of LV function following myocardial infarction OR in heart failure patients	U (5)
Detection of Myocardial Scar and Viability		
Evaluation of Myocardial Scar (Use of Cardiac CT including Delayed Phase)		
49	- To determine the location and extent of myocardial infarction including 'no-reflow' regions - Post-acute myocardial infarction	U (6)
50	- To determine viability prior to revascularization	U (5)

Table 15 Inappropriate indications (median score 1–3)

Indication		Appropriateness Criteria (Median Score)
Detection of CAD: symptomatic		
Acute Chest Pain (Use of Cardiac CT)		
8	- High pre-test probability of CAD - ECG—ST-segment elevation and/or positive cardiac enzymes	I (3)
Detection of CAD: Asymptomatic (Without Chest Pain Syndrome)		
Asymptomatic (Use of Cardiac CT)		
10	- Low CHD risk (Framingham risk criteria)	I (2)
Risk Assessment: General Population		
Asymptomatic (Use of Calcium Score)		
13	- Low CHD risk (Framingham)	I (3)
Risk Assessment: Preoperative Evaluation for Non-Cardiac Surgery		
Low-Risk Surgery (Use of Cardiac CT)		
25	- Intermediate perioperative risk	I (3)

References

- Cody DD, Mahesh M (2007) AAPM/RSNA physics tutorial for residents: technologic advances in multidetector CT with a focus on cardiac imaging. *Radiographics* 27(6):1829–1837
- Stuber M, Weiss RG (2007) Coronary magnetic resonance angiography. *J Magn Reson Imaging* 26(2):219–234
- Kurian AK, Cardarelli KM (2007) Racial and ethnic differences in cardiovascular disease risk factors: a systematic review. *Ethn Dis* 17(1):143–152
- Wikipedia contributors (2009) List of countries by GDP (PPP) per capita. Wikipedia, the free encyclopedia. 6 Sep 2009. Available at [http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_countries_by_GDP_\(PPP\)_per_capita](http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_countries_by_GDP_(PPP)_per_capita). Accessed 12 Sep 2009
- Wikipedia contributors (2009) Health care in comparison. 10 Sep 2009. Available at http://en.wikipedia.org/wiki/Health_care_in_comparison. Accessed on 12 Sep 2009
- Burns JC, Kushner HI, Bastian JF et al (2000) Kawasaki disease: a brief history. *Pediatrics* 106(2):E27
- Huang WC, Huang LM, Chang IS, Kawasaki Disease Research Group et al (2009) Epidemiologic features of Kawasaki disease in Taiwan, 2003–2006. *Pediatrics* 123(3):e401–e405
- Yanagawa H, Nakamura Y (2008) [International comparison of the epidemiology of Kawasaki disease]. *Nippon Rinsho* 66(2):237–245
- Philbin EF, McCullough PA, DiSalvo TG, Dec GW, Jenkins PL, Weaver WD (2000) Socioeconomic status is an important determinant of the use of invasive procedures after acute myocardial infarction in New York state. *Circulation* 102(19 Suppl 3):107III–115III
- Kressin NR, Petersen LA (2001) Racial differences in the use of invasive cardiovascular procedures: review of the literature and prescription for future research. *Ann Intern Med* 135(5):352–366
- Hendel RC, Patel MR, Kramer CM, Poon M (2006) ACCF/ACR/SCCT/SCMR/ASNC/NASCI/SCAI/SIR 2006 appropriateness criteria for cardiac computed tomography and cardiac magnetic resonance imaging: a report of the American College of Cardiology Foundation Quality Strategic Directions Committee Appropriateness Criteria Working Group, American College of Radiology, Society of Cardiovascular Computed Tomography, Society for Cardiovascular Magnetic Resonance, American Society of Nuclear Cardiology, North American Society for Cardiac Imaging, Society for Cardiovascular Angiography and Interventions, and Society of Interventional Radiology. *J Am Coll Cardiol* 48(7):1475–1497
- Carbonaro S, Villines TC, Hausleiter J, Devine PJ, Gerber TC, Taylor AJ (2009) International, multidisciplinary update of the 2006 Appropriateness Criteria for cardiac computed tomography. *J Cardiovasc Comput Tomogr* 3(4):224–232
- Tsai IC, Chen MC, Jan SL et al (2008) Neonatal cardiac multidetector row CT: why and how we do it. *Pediatr Radiol* 38(4):438–451
- Lee T, Tsai IC, Fu YC et al (2006) Using multidetector-row CT in neonates with complex congenital heart disease to replace diagnostic cardiac catheterization for anatomical investigation: initial experiences in technical and clinical feasibility. *Pediatr Radiol* 36(12):1273–1282
- Goo HW, Park IS, Ko JK, et al (2003) CT of congenital heart disease: normal anatomy and typical pathologic conditions. *Radiographics*. 23 Spec No:S147–S165
- Goo HW, Park IS, Ko JK, Kim YH, Seo DM, Park JJ (2005) Computed tomography for the diagnosis of

- congenital heart disease in pediatric and adult patients. *Int J Cardiovasc Imaging* 21(2–3):347–365
17. Chen SJ, Lin MT, Lee WJ et al (2007) Coronary artery anatomy in children with congenital heart disease by computed tomography. *Int J Cardiol* 120(3):363–370
 18. Chen SJ, Lee WJ, Lin MT, Liu KL, Wang JK, Lue HC (2007) Coronary artery diameters in infants and children with congenital heart disease as determined by computed tomography. *Am J Cardiol* 100(11):1696–1701
 19. Choe YH (2009) Launching of a new cardiovascular imaging society: the Asian Society of Cardiovascular Imaging. *Int J Cardiovasc Imaging* 25(Suppl 1):3–7
 20. Hoe J (2009) The 5th Singapore CT coronary angiography teaching course 2009. Available at <http://www.cardiacctte-cmr.com.sg/index.htm>. Accessed on 12 Sep 2009
 21. Patel MR, Spertus JA, Brindis RG et al (2005) ACCF proposed method for evaluating the appropriateness of cardiovascular imaging. *J Am Coll Cardiol* 46(8):1606–1613
 22. Fitch K, Bernstein SJ, Aguilar MS (2001) The RAND/UCLA appropriateness method user's manual. RAND cooperation
 23. Asian Society of Cardiovascular Imaging (2010) Organization. Available at <http://www.asci-heart.org/about/organization.php?code=a04>. Accessed on 1 Jan 2010
 24. Kanamaru H, Sato Y, Takayama T et al (2005) Assessment of coronary artery abnormalities by multislice spiral computed tomography in adolescents and young adults with Kawasaki disease. *Am J Cardiol* 95(4):522–525
 25. Hur J, Kim YJ, Lee HJ et al (2009) Cardiac computed tomographic angiography for detection of cardiac sources of embolism in stroke patients. *Stroke* 40(6):2073–2078
 26. Kim YJ, Hur J, Shim CY et al (2009) Patent foramen ovale: diagnosis with multidetector CT—comparison with transesophageal echocardiography. *Radiology* 250(1):61–67
 27. Tsai IC, Lin YK, Chang Y et al (2009) Correctness of multi-detector-row computed tomography for diagnosing mechanical prosthetic heart valve disorders using operative findings as a gold standard. *Eur Radiol* 19(4):857–867
 28. Chiou KR, Huang WC, Peng NJ et al (2009) Dual-phase multi-detector computed tomography assesses jeopardised and infarcted myocardium subtending infarct-related artery early after acute myocardial infarction. *Heart* 95(18):1495–1501
 29. Ko SM, Seo JB, Hong MK et al (2006) Myocardial enhancement pattern in patients with acute myocardial infarction on two-phase contrast-enhanced ECG-gated multidetector-row computed tomography. *Clin Radiol* 61(5):417–422
 30. Tsai IC, Lee WL, Tsao CR et al (2008) Comprehensive evaluation of ischemic heart disease using MDCT. *AJR Am J Roentgenol* 191(1):64–72
 31. Chang HJ, George RT, Schuleri KH et al (2009) Prospective electrocardiogram-gated delayed enhanced multidetector computed tomography accurately quantifies infarct size and reduces radiation exposure. *JACC Cardiovasc Imaging* 2(4):412–420
 32. Xu L, Yang L, Zhang Z, et al. (2009) Low-dose adaptive sequential scan for dual-source CT coronary angiography in patients with high heart rate: comparison with retrospective ECG gating. *Eur J Radiol.* 10 Jul. doi: 10.1016/j.ejrad.2009.06.003
 33. Jinzaki M, Sato K, Tanami Y et al (2009) 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* 73(4):691–698
 34. Wikipedia contributors (2009) Asia. Wikipedia, the free encyclopedia. 14 Sep 2009. Available at <http://en.wikipedia.org/wiki/Asia> Accessed on 14 Sep 2009

特集

急性冠症候群治療の
最前線を知る

診る

3-C

ACSを診断する 不安定プラークを診る②： MDCTで診る

Evaluation of vulnerable plaque by MDCT

大橋紀彦，山本秀也，北川知郎，木原康樹
(広島大学大学院医歯薬学総合研究科循環器内科学)

心臓カテーテル検査の普及に伴い，急性心筋梗塞などの急性冠症候群 (acute coronary syndrome ; ACS) 発症前の責任冠動脈病変の約7割が50%以下の軽度狭窄であることがわかってきた¹⁾。また病理学的検討からACSの病因として冠動脈の不安定プラーク (vulnerable plaque) の急激な破綻と局所の血栓形成による血管閉塞が主要な原因となることもわかってきた²⁾。さらに最近の臨床研究によると，冠動脈疾患患者の長期予後を改善するには責任病変に対する経皮的冠動脈形成術などの侵襲的治療を考慮するだけでは不十分で，非責任病変に不安定プラークを有する「vulnerable patient」を早期に発見し介入を行う医療戦略の必要性も指摘されている。したがって，破裂性の脆弱な不安定プラークの検出，およびそれらの安定化はACSの予防や治療においてきわめて重要である。

近年開発されたmultidetector-row CT (MDCT) は空間・時間分解能が向上し，冠動脈のような微細で可動性のある臓器も非観血的に評価可能となった。MDCTは従来の観血的冠動脈造影 (invasive coronary angiography ; ICA) との比較により血管内腔の狭窄診断において高い診断精度が報告されている³⁾だけでなく，ICAでは評価できない冠動脈壁の性状診断も可能なため，ACSの責任病変となりうる不安定プラークの検出を行うことで将来のACS発症の予知・予防に繋がる可能性があり，臨床面での実用性が期待されている⁴⁾。

本稿では，MDCTによる不安定プラークの特徴について当院での検討を交えて概説する。

MDCTによる 不安定プラークの3つの特徴

不安定プラークの病理学的特徴として、脂質成分に富むこと (lipid rich)、線維性被膜の菲薄化、陽性リモデリング (positive remodeling) の存在などが知られている。64列CTが導入されて以降、筆者らの施設では冠動脈狭窄の有無だけでなく、プラークの形態・性状診断も行ってきた。MDCTによる不安定プラークの予測因子として

- ①CT値 ≤ 38 HUのソフトプラーク
- ②positive remodeling
- ③微小石灰化

の3つの特徴をあげ、これらの因子は互いに関連しており⁵⁾、ACS (非ST上昇型心筋梗塞、不安定狭心症) 患者の責任病変において検出される頻度が高い⁶⁾ことを報告した。

ソフトプラーク

Schroederらは血管内超音波 (intravascular ultrasound; IVUS) との比較検討から、CT値47 HU以下をソフトプラーク (soft plaque) と定義した⁷⁾。プラークのCT値は、高度石灰化によるbeam hardeningや内腔の造

影濃度に影響されるため、筆者らの施設ではプラークの比較的中央部に1mm²の関心領域 (region of interest; ROI) を5ヵ所設定してCT値を測定し、そのなかでの最小値をプラークCT値として用いる方法を採用している。同法を用いて、21症例 (38病変) でMDCTおよびIVUSによりプラーク性状の比較を行ったところ、IVUSで検出されたhypoechoic plaqueのCT値はhyperechoic plaqueのCT値よりも有意に低く、さらにhypoechoic plaqueを予測する至適CT値は ≤ 38 HUであった⁵⁾。図1にIVUSとMDCTによる同一病変の対比を示す。一般に低CT値

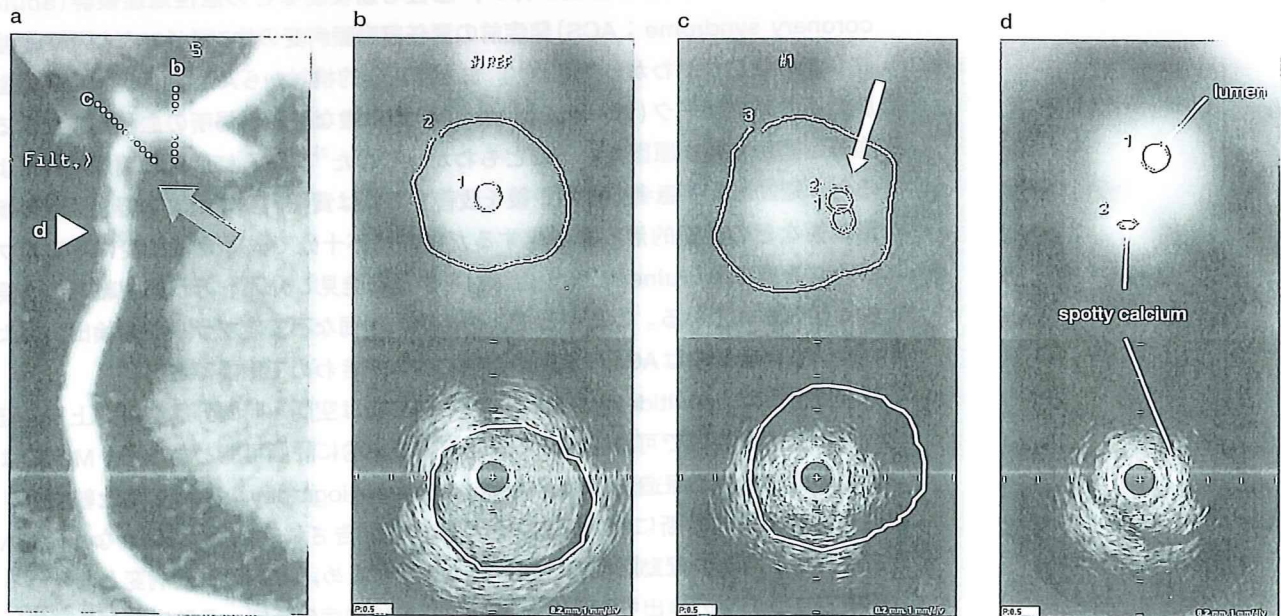


図1 IVUSとMDCTによる同一病変の対比 (文献5より引用)

- a: curved multiplanar reconstruction (CPR) 画像にて右冠動脈近位部にプラークを認める (↑)。
b: 近位対照血管におけるMDCTおよびIVUSの血管断面積はそれぞれ25mm²、14.0mm²であった。
c: 病変部におけるMDCTおよびIVUSの血管断面積はそれぞれ30mm²、

16.4mm²で、remodelling index (RI) はそれぞれ1.2と1.17ではば一致していた。プラークの最小CT値は22 HUと低く (↓) 同部位のIVUS像ではattenuationを伴うhypoechoic plaqueを認めた。
d: 付随する微小石灰化 (spotty calcium) を認める。

プラークはlipid rich プラークを反映していると考えられ、Matsumotoらは低CT値プラークを有するが、高度冠動脈狭窄のない患者を3年間追跡し、低CT値を有する患者がACSを発症するリスクは低CT値のない患者に比し2.5倍であると報告している⁸⁾。

positive remodeling

IVUSなどでの検討から、冠動脈内腔の狭窄が進行すると冠動脈径が代償性に拡大する現象いわゆる“positive remodeling”はプラーク不安定性に関与すると考えられている。当院でのIVUSおよびMDCTを施行した21症例(38病変)による検討では、病変部とその近傍の血管断面積比から算出したremodeling index (RI) は良好に一致し($r=0.88$)、MDCTが血管リモデリングの評価に有用であることを示した⁵⁾(図1)。ACS群21例(65病変)、非ACS群80例(163病変)の検討では、ACS群のRIが有意に大きく(1.14 ± 0.18 vs 1.08 ± 0.19 , $p<0.02$)、またACS群の責任病変(21病変)のRIは非責任病変(44病変)のRIよりも有意に大であった(1.26 ± 0.16 vs 1.09 ± 0.17 , $p<0.01$)。さらに多変量解析において $RI>1.23$ の高度positive remodelingはACS群における責任病変を予測する独立した因子であることも報告した⁶⁾。

微小石灰化

EharaらはIVUSでの検討で、急性心筋梗塞症例の責任病変に微小石灰化が高率に存在することを報告した⁹⁾。IVUSは石灰化病変をアーチないし同心円状に描出することは可能であるが、深達度評価が困難なため、石灰化の形態評価や定量評価には一定の限界があると考えられる。筆者らの施設ではKajinamiらの報告¹⁰⁾に基づき、「病変長<血管径の3/2かつ幅<血管径の2/3」を微小石灰化と定義しており、ACS群21例(65病変)、非ACS群80例(163病変)の比較検討において、ACS群で微小石灰化を伴うプラークの頻度が有意に高いことを報告した(60% vs 38% , $p<0.01$)⁶⁾。また筆者らの施設では造影CTに先行して単純撮影を行い、石灰化スコアを算出している。造影CTで血管壁にCT値が高い病変が見られた際、単純撮影との比較により微小石灰化と血管壁への造影剤の濃染との鑑別が可能である。

MDCTによる 不安定プラークの包括的評価

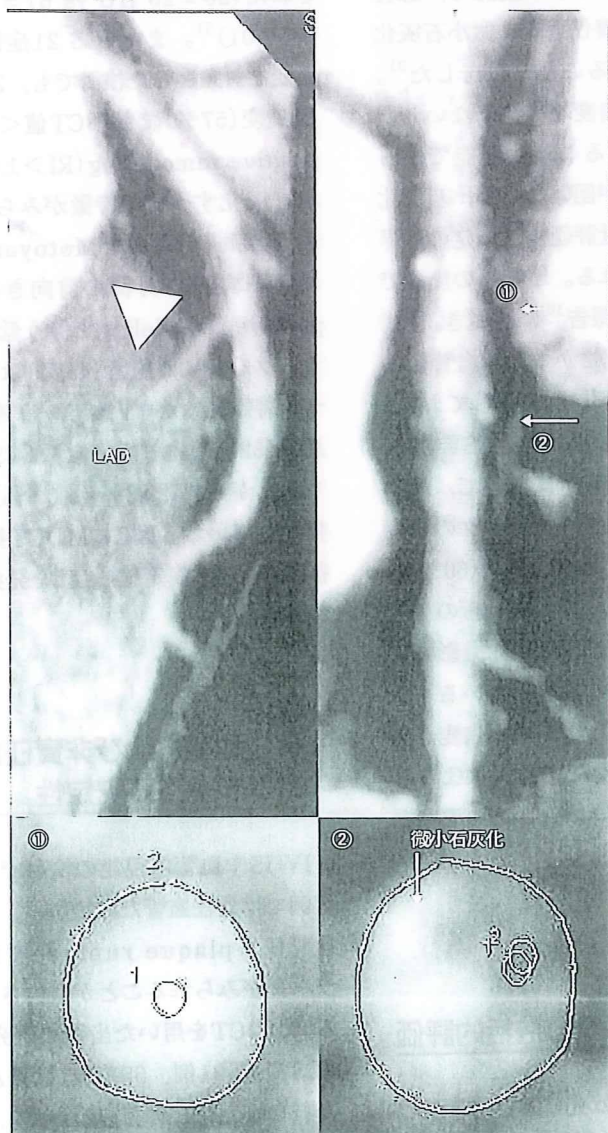
不安定プラークは先に述べた3つの特徴を併せもつことが多く、所見を組み合わせることで不安定プラークの検出率が高まることが期待される。筆者らの検討では、微小石灰化を伴うpositive remodeling ($RI>1.05$) をきたしている病変では、石灰化もpositive

remodelingも認めない病変に比べてCT値がきわめて低いことが明らかにされた(20 ± 20 HU vs 67 ± 24 HU, $p<0.01$)⁵⁾。またACS 21症例の責任病変を対象とした検討でも、21病変中12病変(57%)で最小CT値<40 HU, positive remodeling ($RI>1.05$)、微小石灰化すべての特徴がみられた⁶⁾。最近の報告によるとMotoyamaら¹¹⁾は、平均27ヵ月間の前向き検討で、positive remodelingを伴う低CT値プラークを有する患者(45例)はこれら2つの特徴をもたないプラークを有する患者(820例)よりも有意にACSの発症リスクが高い(22.2% vs 0.5%)ことを指摘している。図2にMDCT撮像2年後にACS(不安定狭心症)を発症した1例を示す。

責任血管および非責任血管 のプラーク不安定性

IVUSや血管内視鏡の検討で、ACS症例では責任血管だけでなく、非責任血管にもplaque ruptureや黄色プラークがみられることが報告されている。MDCTを用いた当院の研究でも、ACS症例(21例, 65病変)は非ACS症例(80例, 163病変)に比べて、最小CT値<40 HU, positive remodeling ($RI>1.05$)、微小石灰化すべての特徴をもつプラークの頻度が約2倍(43% vs 22% , $p<0.01$)高く⁶⁾、プラークの不安定化が局所的ではなく、冠動脈全体で起こっている可能性を示唆している。

a：2006年3月



b：2008年3月



図2 MDCT撮像2年後にACSを発症した症例

55歳男性，不安定狭心症。

a：2006年3月のcurved multiplanar reconstruction (CPR)画像では左冠動脈前下行枝近位部(LAD # 6)に微小石灰化を伴うプラークを認めた(△)。近位対照血管(①)および病変部(②)における血管断面積はそれぞれ25mm²，32mm²でremodeling index(RI)は1.28とpositive remodelingを呈していた。さらに最小CT値は8 HUと低く微小石灰化も伴っていた。

b：2008年3月には同部位のRIが1.40(38mm²/27mm²)，最小CT値は-4HUで狭窄度の進行を認めた。

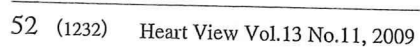


図3にACS患者における責任血管および非責任血管のMDCT画像を示す。日常臨床においてIVUSや血管内視鏡で非責任血管の観察を行うのは通常困難であるのに対し、MDCTは1回の撮影で非責任血管を含めて冠動脈全体のプラーク評価が可能である。冠動脈疾患患者の長期予後を改善するには、責任血管に対する経皮的冠動脈形成術に加

えて非責任血管に存在する不安定プラークを早期に検出しACSの発症を予防することの必要性を最近の臨床研究は示唆しており、MDCTは将来ACSを発症する危険性を孕むいわゆる「vulnerable patient」を非侵襲的に同定しうるイメージングモダリティとして将来性が期待される。

MDCTによるリスクの層別化

当院では内臓脂肪蓄積やメタボリックシンドロームとプラーク性状との関連についても検討を行っている¹²⁾。MDCTによる不安定プラークの検出が可能になれば、高リスク患者の識別化にMDCTが重要な役割を果たすことが期待される。図4に45歳男性、

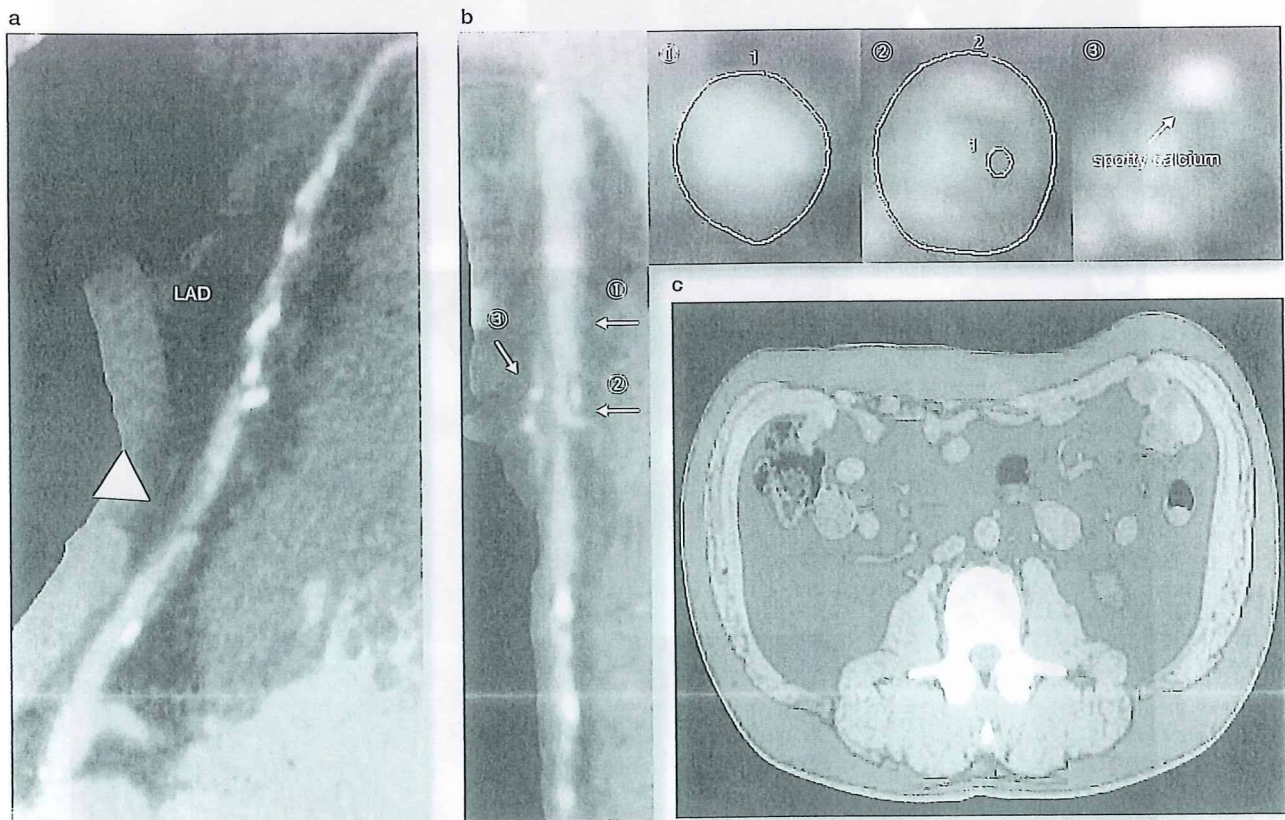


図4 45歳男性，メタボリックシンドローム，不安定狭心症

- a：左前下行枝(LAD #6)に高度狭窄を伴うプラークを認めた(▼)。
b：病変部(②)のプラーク性状はlipid rich(最小CT値18 HU)で微小石灰化(③)が付随しており，近位対照血管(①)に対してpositive remodeling (remodeling index：1.35)も伴っている。
c：腹部内臓脂肪(□)および皮下脂肪(□)面積はそれぞれ186cm²，157cm²で内臓脂肪優位型の肥満を認める。

不安定狭心症の1例を示す。比較的若年であるが、腹部内臓脂肪面積(図4cの青色領域)が 186cm^2 と内臓脂肪優位型の肥満($\text{BMI} = 30\text{kg/m}^2$)を認め、高血圧、糖尿病、脂質異常症、喫煙とリスクの重積もみられた。増悪する労作時の胸痛が出現したためMDCTを施行したところ、左前下行枝(#6)に高度狭窄を伴うプラークを認めた。病変部(図4b)のプラーク性状はlipid richで微小石灰化が付随しており、positive remodelingも伴っていた。後日同部位に対し経皮的冠動脈形成術を施行した。被曝などの問題があり現在のところ無症状の患者にMDCTを施行することは推奨されていないが、選抜・限定された高リスク患者に対して慎重に

適用することで、より「高リスク」な患者の層別化が可能であると考えられる。

MDCTの課題と今後の展望

MDCTによる不安定プラークの特徴(ソフトプラーク, positive remodeling, 微小石灰化)について概説したが、これらはACS発症後のプラーク(disrupted plaque)形態を解析した後向き研究であり、MDCTで特徴づけられるこれらのプラークが真に「vulnerable」であるかどうかは、大規模多施設前向き研究により確認する必要がある。また現在のMDCTの空間分解能(0.5mm)

ではプラーク脆弱性の重要な要素である線維性被膜の非薄化($<100\mu\text{m}$)の評価は不可能であるなど課題もあるが、MDCTの最大のメリットはその非侵襲性にある。現在のところ、造影剤の使用、被曝、エビデンスの欠如などのため無症候性の患者にスクリーニング目的でMDCTを施行することは推奨されていないが、今後MDCT技術の発展による被曝量の低減や不安定プラーク検出に関するエビデンスの構築が実現し、MDCTの適応が拡大すれば、よりハイリスクな「vulnerable patient」を同定しACSの発症予防に寄与する非侵襲的イメージングモダリティとしてその臨床的有用性が期待される。

文献

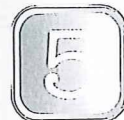
- 1) Falk E, Shah PK, Fuster V: Coronary plaque disruption. *Circulation* 92: 657-671, 1995.
- 2) Fuster V, Badimon L, Badimon JJ, Chesebro JH: The pathogenesis of coronary artery disease and the acute coronary syndromes. *N Engl J Med* 326: 242-245, 1992.
- 3) Miller JM, Rochitte CE, Dewey M, et al: Diagnostic performance of coronary angiography by 64-row CT. *N Engl J Med* 359: 2324-2336, 2008.
- 4) 木原康樹: 64列MDCT冠動脈造影によるvulnerable plaqueへの挑戦。「冠動脈疾患とMDCT」(木原康樹, 伊藤 亨, 編). 文光堂, 東京, 2006, p102-111.
- 5) Kitagawa T, Yamamoto H, Ohhashi N, et al: Comprehensive evaluation of noncalcified coronary plaque characteristics detected using 64-slice computed tomography in patients with proven or suspected coronary artery disease. *Am Heart J* 154: 1191-1198, 2007.
- 6) Kitagawa T, Yamamoto H, Horiguchi J, et al: Characterization of noncalcified coronary plaques and identification of culprit lesions in patients with acute coronary syndrome by 64-slice computed tomography. *JACC Cardiovasc Imaging* 2: 153-160, 2009.
- 7) Schroeder S, Kopp AF, Baumbach A, et al: Noninvasive detection and evaluation of atherosclerotic coronary plaques with multislice computed tomography. *J Am Coll Cardiol* 37: 1430-1435, 2001.
- 8) Matsumoto N, Sato Y, Yoda S, et al: Prognostic value of non-obstructive CT low-dense coronary artery plaques detected by multislice computed tomography. *Circ J* 71: 1898-1903, 2007.
- 9) Ehara S, Kobayashi Y, Yoshiyama M, et al: Spotty calcification typifies the culprit plaque in patients with acute myocardial infarction: an intravascular ultrasound study. *Circulation* 110: 3424-3429, 2004.
- 10) Kajinami K, Seki H, Takekoshi N, Mabuchi H: Coronary calcification and coronary atherosclerosis: site by site comparative morphologic study of electron beam computed tomography and coronary angiography. *J Am Coll Cardiol* 29: 1549-1556, 1997.
- 11) Motoyama S, Sarai M, Harigaya H, et al: Computed tomographic angiography characteristics of atherosclerotic plaques subsequently resulting in acute coronary syndrome. *J Am Coll Cardiol* 54: 49-57, 2009.
- 12) Ohashi N, Yamamoto H, Horiguchi J, et al: Visceral fat accumulation as a predictor of coronary artery calcium as assessed by multislice computed tomography in Japanese patients. *Atherosclerosis* 202: 192-199, 2009.

INNERVISION

インナービジョン

医療と画像の総合情報誌

inNavi.NET <http://www.innervision.co.jp>



2009
MAY

●特集

マルチモダリティによる Cardiac Imaging 2009

【臨床編】

より早く、より確実に、より優しく

- I マルチスライスCTの
ストラテジー & アウトカム
- II MRIのストラテジー & アウトカム
- III USのストラテジー & アウトカム
- IV Angioのストラテジー & アウトカム
- V PET/CT, SPECT/CTの
ストラテジー & アウトカム
- VI Fusion Imagingの
ストラテジー & アウトカム

別冊付録

【新. 超音波診断 Vol.3】

Trend of Diagnostic Ultrasound



I マルチスライスCTのストラテジー&アウトカム

7. 心臓CTの技術進歩と 臨床にもたらす影響

— 当院の心臓CT検査の運用と 低被ばく化への取り組み

【広島大学病院】

放射線科

堀口

循環器内科

大橋

純/松浦

範明/伊藤

勝陽

診療支援部

藤岡知加子/木口 雅夫

知郎/山本

秀也/木原

康樹

マルチスライスCTの技術進歩に伴い、冠動脈を主とした心臓領域への応用が普及しており、多くの放射線科医も躊躇していたこの領域への関与が避けられなくなっている。当院では、電子ビームCTを導入して以降、臨床、研究において放射線科、循環器内科との連携が深く、64列CT「LightSpeed VCT」(GE社製)を導入した後にはさらに活性化した。

本稿では、前半に心臓CT検査(虚血性心疾患に限定)における当院オリジナルの試みを紹介し、後半に低被ばくCTへの取り組みを概説する。

心臓CT検査

1. 検査前

心臓CT検査の前には、患者の臨床情報を収集し適応が検討される。本稿の主目的ではないので割愛するが、患者情報収集の標準化が提言されているので、興味のある方は参考文献1)を一読されたい。

2. 単純CT

スカウト撮影に続き単純CTを撮影するが、これには重要な役割がある。スカウト画像のみでは、撮影すべき心臓の正確な範囲が決定できないこともあるので、単純CTの助けを借りる。息止めが不安定だと、予定した撮影範囲をカバーし得ないことも経験するが、事前の息止めリ

ハーサルや単純CTから、息止めの適応能を予見することも大切である。

単純CTの最大の目的は、冠動脈石灰化の定量により、冠動脈硬化リスク、将来の心イベントの発症率を予測することである²⁾。一方で、冠動脈石灰化の定量に基づく予測は、①集団としてのリスク評価に過ぎない、②冠動脈石灰化部位が必ずしも有意狭窄部位ではない、という欠点が指摘されており、冠動脈の狭窄やプラークを直視可能であるCTAとの併用が疑問視されることがある。しかし、冠動脈石灰化は冠動脈CTAの診断能を低下させる重要な要素であるので^{3,4)}、過剰な石灰沈着症例では冠動脈CTAを断念しなければならないなど、少なくとも限定的な診断価値にしかならないことを認識することが肝要である。冠動脈CTAで評価不能なセグメントに対し、冠動脈石灰化スコアと冠動脈CTAを併用して診断することで、検出能を下げることなく、特異度を向上させたという報告もある⁵⁾。

当院での単純CTにおける工夫を2点挙げる。心臓CT検査は心拍数が低く、かつ心拍変動が少ないほど、質は高くなる。したがってわれわれは、撮影時間の長い16列CTの心電図を解析し、息止め直後よりも4、5秒後の方が安定した心拍が得られた結果に着目して⁶⁾、臨床に採り入れている。また、冠動脈石灰化の定量では、ノイズ(関心領域中のCT

値の標準偏差)を一定にすべき(体格が小~中の患者で20HU、大で23HU)との報告がある⁷⁾。これに対してわれわれは、これまで体重、body mass index (BMI)により管電流を決めてきたが、奏効しなかった。最近では、スカウト画像の濃度により管電流を設定しており(Smart mA)、患者の体格によらずノイズの均一化に成功している⁸⁾。同様の試みは冠動脈CTAでもされており⁹⁾、CTに搭載されているソフトウェアに応じて検討されたい。

3. 内臓脂肪面積測定

現在、メタボリックシンドロームという言葉は市民権を得ている。動脈硬化は全身性疾患であり、メタボリックシンドロームとも関連している。内臓脂肪と冠動脈硬化が密接な関係にあることもわかり¹⁰⁾、冠動脈硬化性病変に関する心臓CTでは、内臓脂肪面積の測定も併用している。

4. 造影CT(冠動脈CTA)

冠動脈CTAは高い陰性適中率を有し、異常がなければきわめて高率(95~99%)で冠動脈病変の存在を否定できる¹¹⁾。適応は、無症状の患者や定型的な心症状を有する患者ではなく、低い心血管リスクがあり非定型的な胸痛を呈する患者である¹¹⁾。また、バイパス術後の評価や冠動脈奇形に対する有用性も高い¹¹⁾。

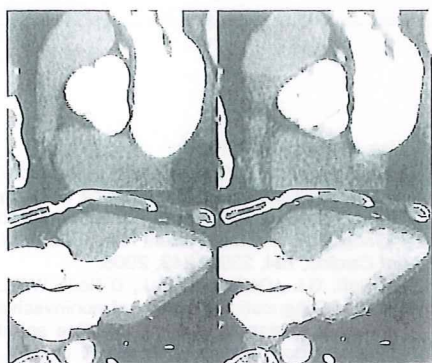


図1 大動脈弁運動の評価
planimetry view および三腔表示により、
大動脈弁の良好な開閉が確認される。

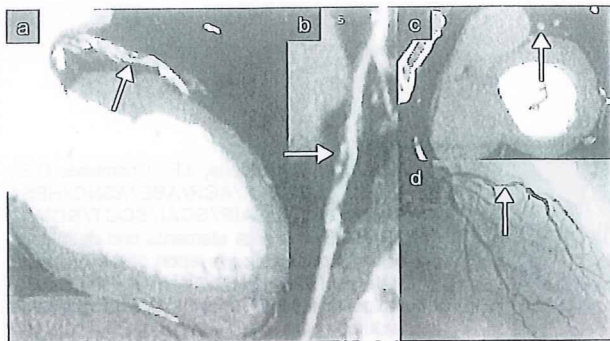


図2 vulnerable plaque
労作性狭心症の60歳、男性。血管造影では前下行枝に75%の
びまん性狭窄を認める(d ↑)。CTではポジティブリモデリング、
プラーク内微細石灰化など、血管造影では得られない情報を有する
(a~c ↑)。

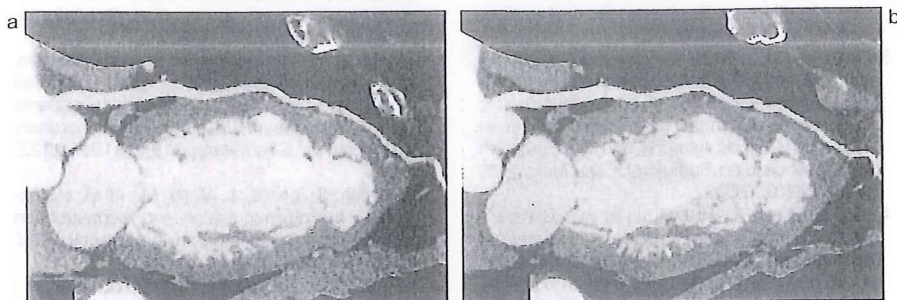


図3 100kVプロスペクティブ法と120kVレトロスペクティブ法
労作性狭心症が疑われた71歳、女性(146cm, 46kg)。100kVプロスペクティブ法(a)、
120kVレトロスペクティブ法(b)のcurved MPR像は同等のクオリティである。被ばく量は
1.4mSvと11.9mSvであった。

心臓CTは、レトロスペクティブ(後向き心電図同期)法とプロスペクティブ(前向き心電図同期)法があり、後者は最近普及しつつある低被ばくの撮影であることは周知かと思われる。当院では冠動脈のみならず、壁運動、弁運動も併せて評価するため、多くの症例でレトロスペクティブ法が選ばれる。壁運動は、左室の長軸・短軸再構成画像にて、大動脈弁はplanimetry(面積測定)表示および心腔表示(図1)にて、僧帽弁は心腔表示にて解析する。冠動脈の動きは、患者、心拍数、冠動脈枝により異なることが知られている。高心拍での右冠動脈は、拡張中～末期よりむしろ収縮末期の方が動きが抑制されることが多く、広範囲の心位相をカバーしたレトロスペクティブ法は、複数位相の再構成の柔軟性に富む点でも有用である。

冠動脈の診断では、狭窄のみならずプラーク性状にも注目しており(図2)、プラーク内の最低CT値、微細石灰化、ポジティブリモデリングが脆弱で破綻しやすいプラーク(vulnerable plaque)と関連すること¹²⁾、また、急性冠症候群患

者において非石灰化プラークの存在頻度が高いこと、およびポジティブリモデリングがculprit lesion(責任病変)と関連深いことを確認している¹³⁾。

ステント内再狭窄は、高濃度なステントによりアーチファクトが生じるため、診断が容易でないことも多い。ステント材質、径などの物理的要因に左右されるのであるが、われわれは視覚的評価のみならず、客観的な定量値(リファレンス血管とステント内のCT値の差)を求めることで、再狭窄診断の向上に寄与することを確認し¹⁴⁾、臨床に用いている。

低被ばくCTへの取り組み

放射線診断は、“ALARA (as low as reasonably achievable)”の原則に基づき低被ばくをめざしている。64列CTによる冠動脈CTAはさきわめて有用な診断ツールであるが、被ばく量が10～21mSv^{15)~17)}と比較的高い。造影剤を用いず、被ばくもなく、石灰化の影響も受けない非造影冠動脈MRAが理想ではあるが、診断能は64列CTによる冠

動脈CTAに遠く及ばない。そこで、この被ばくの問題に対し、画像再構成に寄与しないデータを使用しない、あるいは最小限化することで低被ばくをめざすために登場したのが、プロスペクティブ法である。原理の詳細は、Hsiehの論文¹⁸⁾を参照されたい。低心拍数においては、プロスペクティブ法とレトロスペクティブ法は同等の診断能を有すること

を、動態心臓ファントムによるシミュレーション¹⁹⁾、および臨床患者²⁰⁾において確認した。被ばくは3mSv程度と、約80%の低減が可能であった。血管造影との比較においても、安定した低心拍数の患者において50%以上の狭窄をほぼ100%に近い陰性適中率で判定しうることが示されている^{21), 22)}。

技術的適応に関して、プロスペクティブ法はあらかじめ設定した特定の心位相のデータのみを収集するので、心拍に対する制限は厳しいものとなる。Husmann²³⁾は、ROC解析を用いて心拍数63bpmを臨界点とし、それ以下では診断不能なセグメントは1%であったが、63bpmを超えると14.8%であったとしている。83msの時間分解能を有するDual Source CTでも、Scheffel²⁴⁾は70bpm以下の安定心拍数、Gutstein²⁵⁾は65bpm未満(Agatston score 400未満)あるいは70bpm未満(Agatston score 400以上)という厳しい条件を推奨している。臨床的には、冠動脈病変を有する可能性が低く、放射線被ばくが大きな問題となる若年者(特に女性)が良い適応であろう²⁵⁾。

プロスペクティブ法は、劇的に被ばくを低減させるが、さらなる手段として低管電圧がある。低管電圧は、光電効果の上昇とコンプトン散乱の減少によりCTAにおいて有効であることが知られ、冠動脈にも応用されている²⁶⁾。欠点は、ノイズが増加するため、体重、BMIなど患者の体格を考慮する必要があることである(図3)。管電流を下げることも被ばくの低減につながるが、低管電圧と低管

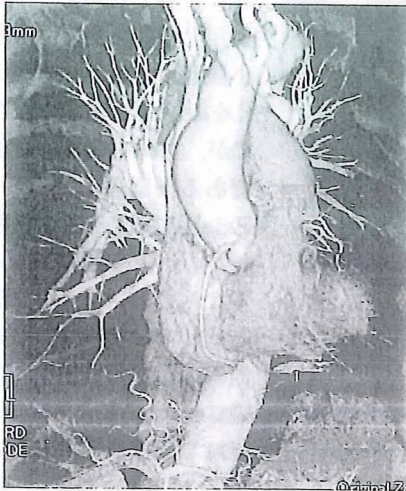


図4 プロスペクティブ法による
大動脈CTA

81歳、女性。上行大動脈、頭部動脈の軽度
拡大を認める症例であるが、右冠動脈、肺
動脈、腹部動脈も良好に描出されている。

電流をどう組み合わせるのかについては難しい問題である。Husmann²³⁾のプロトコールは、BMI 25 kg/m²未満で管電圧を100 kV、25 kg/m²以上で120 kVとし、管電流を可変(450 mA : BMI 22.5 kg/m²未満, 500 mA : BMI 22.5 ~ 25 kg/m², 550 mA : BMI 25 ~ 27.5 kg/m², 600 mA : BMI 27.5 ~ 30 kg/m², 650 mA : BMI 30 kg/m²以上)としている。被ばくの生物学的効果には個人差があり、特に小児や若年者に対しては慎重を要する。小児に対しては80 kVを用いることで、1 mSv以下の検査も可能である²⁷⁾。

そのほか、大動脈の撮影にも有効であると考えている。通常用いられる心電図非同期ハイビッチヘリカル撮影より撮影時間が長くなる欠点はあるが、心電図同期プロスペクティブ法により、モーションアーチファクトの少ない大動脈弁や上行大動脈の良好な画像が得られるのに加え、冠動脈など心臓の付加情報が得られるというメリットを有する²⁸⁾(図4)。

◎

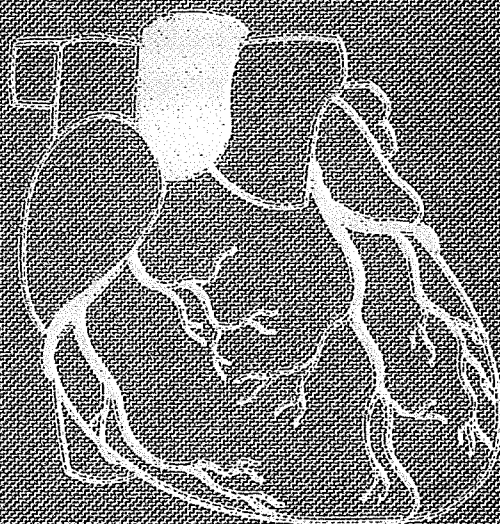
当院での虚血性心疾患における心臓CTの特色と、低被ばく心臓CTを中心に述べた。プロスペクティブ法は、被ばく低減に大きなインパクトを有している。また、時間および空間分解能の向上、撮影範囲の拡大、dual kVなどのスペックの進化が、心臓CTの有用性をさらに向上させると考える。

◎参考文献

- 1) Budoff, M.J., Cardella, J.F., Chambers, C.E., et al. : ACC/AHA/ACR/ASE/ASNC/HRS/NASCI/RSNA/SAIP/SCAI/SCCT/SCMR/SIR 2008 Key data elements and definitions for cardiac imaging ; A report of the American College of Cardiology/American Heart Association task force on clinical data standards (writing committee to develop clinical data standards for cardiac imaging). *J. Am. Coll. Cardiol.*, **53**, 91 ~ 124, 2009.
- 2) Greenland, P., Bonow, R.O., Brundage, B.H., et al. : ACCF/AHA 2007 Clinical expert consensus document on coronary artery calcium scoring by computed tomography in global cardiovascular risk assessment and in evaluation of patients with chest pain. *J. Am. Coll. Cardiol.*, **49**, 378 ~ 402, 2007.
- 3) Stillman, A.E., Oudkerk, M., Ackerman, M., et al. : Use of multidetector computed tomography for the assessment of acute chest pain ; A consensus statement of the North American Society of Cardiac Imaging and the European Society of Cardiac Radiology. *Eur. Radiol.*, **17**, 2196 ~ 2207, 2007.
- 4) Liu, X., Zhao, X., Huang, J., et al. : Comparison of 3D free-breathing coronary MR angiography and 64-MDCT angiography for detection of coronary stenosis in patients with high calcium scores. *Am. J. Roentgenol.*, **189**, 1326 ~ 1332, 2007.
- 5) Leschka, S., Scheffel, H., Desbiolles, L., et al. : Combining dual-source computed tomography coronary angiography and calcium scoring ; Added value for the assessment of coronary artery disease. *Heart*, **94**, 1154 ~ 1161, 2008.
- 6) Horiguchi, J., Shen, Y., Hirai, N., et al. : Timing on 16-slice scanner and implications for 64-slice cardiac CT ; Do you start scanning immediately after breath-hold? *Acad. Radiol.*, **13**, 173 ~ 176, 2006.
- 7) McCollough, C.H., Ulzheimer, S., Halliburton, S.S., et al. : Coronary artery calcium ; A multi-institutional, multi-manufacturer international standard for quantification at cardiac CT. *Radiology*, **243**, 527 ~ 538, 2007.
- 8) Horiguchi, J., Matsuura, N., Kiguchi, M., et al. : Scout view-attenuation-based tube current control in coronary artery calcium scoring. 2008 RSNA.
- 9) Deetjen, A., Möllmann, S., Conradi, G., et al. : Use of automatic exposure control in multislice computed tomography of the coronaries ; Comparison of 16-slice and 64-slice scanner data with conventional coronary angiography. *Heart*, **93**, 1040 ~ 1043, 2007.
- 10) Ohashi, N., Yamamoto, H., Horiguchi, J., et al. : Visceral fat accumulation as a predictor of coronary artery calcium as assessed by multislice computed tomography in Japanese patients. *Atherosclerosis*, **202**, 192 ~ 199, 2009.
- 11) Budoff, M.J., Achenbach, S., Blumenthal, R.S., et al. : Assessment of coronary artery disease by cardiac computed tomography ; A scientific statement from the American Heart Association Committee on Cardiovascular Imaging and Intervention, Council on Cardiovascular Radiology and Intervention, and Committee on Cardiac Imaging, Council on Clinical Cardiology. *Circulation*, **114**, 1761 ~ 1791, 2006.
- 12) Kitagawa, T., Yamamoto, H., Ohashi, N., et al. : Comprehensive evaluation of noncalcified coronary plaque characteristics detected using 64-slice computed tomography in patients with proven or suspected coronary artery disease. *Am. Heart J.*, **154**, 1191 ~ 1198, 2007.
- 13) Kitagawa, T., Yamamoto, H., Horiguchi, J., et al. : Characterization of noncalcified coronary plaques and prediction of culprit lesions in patients with acute coronary syndrome by 64-slice computed tomography. *JACC Imag-*
- ing, **2**, 153 ~ 160, 2009.
- 14) Kitagawa, T., Yamamoto, H., Horiguchi, J., et al. : Usefulness of measuring coronary lumen density with multi-slice computed tomography to detect in-stent restenosis. *In. J. of Cardiol.*, **124**, 239 ~ 243, 2008.
- 15) Raff, G.L., Gallagher, M.J., O'Neill, W.W., et al. : Diagnostic accuracy of noninvasive coronary angiography using 64-slice spiral computed tomography. *J. Am. Coll. Cardiol.*, **46**, 552 ~ 557, 2005.
- 16) Leber, A.W., 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.*, **43**, 1241 ~ 1247, 2004.
- 17) Mollet, N.R., Cademartiri, F., van Mieghem, C.A., et al. : High-resolution spiral computed tomography coronary angiography in patients referred for diagnostic conventional coronary angiography. *Circulation*, **112**, 2318 ~ 2323, 2005.
- 18) Hsieh, J., Londt, J., Vass, M., et al. : Step-and-shoot data acquisition and reconstruction for cardiac x-ray computed tomography. *Med. Phys.*, **33**, 4236 ~ 4248, 2006.
- 19) Horiguchi, J., Kiguchi, M., Fujioka, C., et al. : Radiation dose, image quality, stenoses measurement and CT densitometry using prospective electrocardiograph-triggered coronary 64-MDCT angiography ; A phantom study. *Am. J. Roentgenol.*, **190**, 315 ~ 320, 2008.
- 20) Hirai, N., Horiguchi, J., Fujioka, C., et al. : Prospective electrocardiograph-triggered versus retrospective electrocardiograph-gated 64-slice coronary CT angiography ; Image Quality, stenoses assessment and radiation dose. *Radiology*, **248**, 424 ~ 430, 2008.
- 21) Maruyama, T., Takada, M., Hasuike, T., et al. : Radiation dose reduction and coronary assessability of prospective electrocardiogram-gated computed tomography coronary angiography. *J. Am. Coll. Cardiol.*, **52**, 1450 ~ 1455, 2008.
- 22) Herzog, B.A., Husmann, L., Burkhard, N., et al. : Accuracy of low-dose computed tomography coronary angiography using prospective electrocardiogram-triggering ; First clinical experience. *Eur. Heart J.*, **29**, 3037 ~ 3042, 2008.
- 23) Husmann, L., Valenta, I., Gaemperli, O., et al. : Feasibility of low-dose coronary CT angiography ; First experience with prospective ECG-gating. *Eur. Heart J.*, **29**, 191 ~ 197, 2008.
- 24) Scheffel, H., Alkadhi, H., Leschka, S., et al. : Low-dose CT coronary angiography in the step-and-shoot mode ; Diagnostic performance. *Heart*, **94**, 1132 ~ 1137, 2008.
- 25) Gutstein, A., Wolak, A., Lee, C., et al. : Predicting success of prospective and retrospective gating with dual-source coronary computed tomography angiography ; Development of selection criteria and initial experience. *J. Cardiovasc. CT*, **2**, 81 ~ 90, 2008.
- 26) Hausleiter, J., Meyer, T., Hadamitzky, M., et al. : Radiation dose estimates from cardiac multislice computed tomography in daily practice ; Impact of different scanning protocols on effective dose estimates. *Circulation*, **113**, 1305 ~ 1310, 2006.
- 27) Horiguchi, J., Kiguchi, M., Fujioka, C., et al. : Low tube voltage 'SnapShot Pulse' prospective electrocardiograph (ECG)-triggered coronary 64-slice CT angiography (CTA) in children and slim patients. 2008 ECR.
- 28) Fujioka, C., Horiguchi, J., Kiguchi, M., et al. : One-stop shop survey of aorta and coronary artery by prospective electrocardiograph-triggered axial 64-MDCT angiography with 100 kV. *Am. J. Roentgenol.*, 2009 (in press).

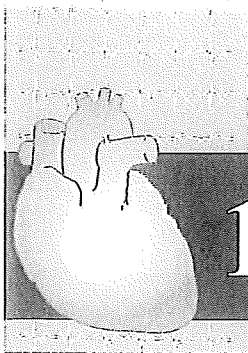
最新 狭心症診療の実際

編集 小川 久雄



*Clinical Practice of
Angina
Pectoris*

永井書房



15

狭心症の診断における マルチスライス CT(MSCT)

はじめに

かつて狭心症など冠動脈疾患の診療における CT といえば、電子ビーム CT(用語解説 1)を用いた冠動脈石灰化の存在やその程度の診断が主流であり、これにより冠動脈疾患のリスク層別化がなされていた。しかし、石灰化のみでは狭窄病変の存在が診断できないことや、使用できる施設が限られていたことなどもあり、日常検査には至らなかった。2000 年に 4 列の検出器を搭載したマルチスライス CT(MSCT)(用語解説 2)が登場すると、造影 CT を用いた簡便かつ低侵襲的な冠動脈形態評価の可能性に注目が集まった。4 列に続いて、16 列、64 列の MSCT が次々に開発され、検出器の回転が高速化することで時間分解能(用語解説 3)が向上し、検出器の 1 スライス厚がより薄くなることで空間分解能(用語解説

● 用語解説 [1. 電子ビーム CT]

固定された輪状ターゲットに電子ビームを偏向・衝突させ、X 線を発生させることで撮像する。機械の回転部分がないので超高速での撮像が可能だが、解像度はあまり高くなく、小さい構造物描出には向いていない。

● 用語解説 [2. マルチスライス CT(multislice CT ; MSCT)]

複数(4~64)の検出器を用いて、1 回転で複数のスライスを撮像する。機械(ガントリー)はらせん型のヘリカル方式で回転する。より多列化することで、1 回転での撮像範囲が広がる。

● 用語解説 [3. 時間分解能]

静止画像に反映されている時間的解像度。CT においてはガントリーの回転時間が速くなるほど短時間での撮像が可能であるため時間的解像度が向上し、結果的にモーションアーチファクトが減少すると考えられる。

● 用語解説 [4. 空間分解能]

画像の空間的解像度。CT においてはボクセル(CT にて撮像された三次元の立体画像を小さな立方体の集合で表す際の最小単位)のサイズで表され、64 列型では $0.4 \times 0.4 \times 0.5 \sim 0.625$ mm の大きさである。

4)が向上した。MSCT を用いた冠動脈CT は、かつて冠動脈カテーテル検査による造影検査(CAG)でのみ評価できた狭窄病変はもちろん、CAG では評価できない冠動脈壁粥状硬化病変(プラーク)の存在や性状の診断にも応用されるようになり¹⁾、今や冠動脈画像診断法の柱の1つに躍進しつつある。

本稿では、現在主流となっている64列型MSCTによる冠動脈CTの基礎と実地活用、さらに現時点での課題などについて解説する。

1 臨床における冠動脈CTの基礎知識

1 冠動脈CTの位置づけ

現在では図1に示すようなフローチャートを用い、虚血性心疾患に対する診断・治療戦略に冠動脈CTを組み込む施設が増加しつつある。狭心症が疑われる患者に対し、問診や心電図、心エコー、血液検査などの基本的な検査後に、狭窄病変の有無および程度(狭窄率)の評価目的で冠動脈CTを施行することが多い。冠動脈の形態的な評価が目的であるため、心筋の虚血状態を評価する負荷心電図や負荷心筋シンチとは相補的な関係にあり、これらの結果を総合的に評価してCAGの必要性や治療方針を検討していくこととなる。

2 検査の長所と限界

CAGと異なり、外来にて短時間で施行可能であり、検査に伴う危険性も低いため、カテーテル検査に抵抗のある患者にも勧めやすい。3D画像など患者にとって病態を理解しやすい画像を提供できるのもメリットの1つといえる。低コストであることもCTの特徴であり、診断加算を加えた費用は1回あたり約25,000円(患者負担は約8,000円)とカテーテルによるCAG検査の約1/5、心筋シンチの約1/3で済む。2008年4月より心臓CTへの保

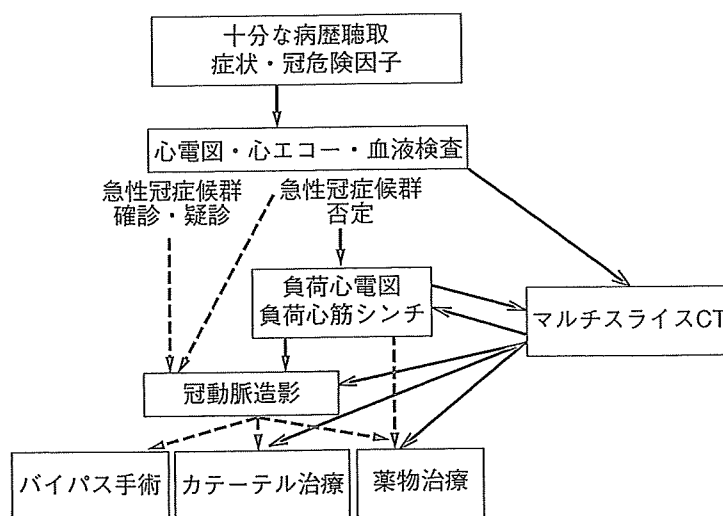


図1. 虚血性心疾患の診療における冠動脈CTの位置づけ

陰加算(600点)が追加され、以前より患者の負担額が若干増えたが、このことは心臓CTの有用性が確立されてきた証しともいえる。冠動脈全体像に加え、心筋壁運動や弁膜性状の評価、さらには胸部の心外疾患(肺腫瘍など)の検索も可能であることを考慮すると、コスト以上の情報を患者に提供できる検査といえる。逆に高心拍症例や不整脈症例、冠動脈高度石灰化症例などでは冠動脈の評価性に限界があり、狭心症診断のための狭窄評価にもCAGが勧められる。また、静止画像であるCTでは冠動脈攣縮の診断は不可能である。表1にCTアンギオグラフィ(CTA)とCAGのそれぞれの優位点を列挙した。

重要事項

心臓CTは、低侵襲的、簡便、低コストで冠動脈狭窄や心外疾患を含めた多くの形態的情報を患者に提供し得る。

3 適応

胸痛症状がある症例はもとより、トレッドミルや心筋シンチなどの負荷試験で結果が結論づけられない症例、冠動脈疾患危険因子(高血圧、高脂血症、糖尿病、喫煙、冠動脈疾患の家族歴)をもつ患者など、冠動脈疾患を有する、あるいは有する疑いのある症例はすべて適応となり得る。冠動脈疾患のスクリーニングや診断に加え、冠動脈ステント留置後²⁾やバイパス術後³⁾のフォローアップとしても有用である(一部制限あり。後述)。検査の不適症例としては、一般の造影CTと同様、造影剤アレルギーなど造影剤禁忌症例、高度な腎機能低下症例であり、当院では血中クレアチニン1.4mg/dl以上であれば原則として検査対象としてない。また、心電図同期撮像の必要性から、心房細動や頻発する期外収縮などの不整脈を有する患者は、現在のところ冠動脈CTに適さない症例とされるが、画像構築の段階で不整脈の影響を制限する方法も考案されつつあり、次第に適応は拡大している。その他、撮像可能ではあるが画像劣化を覚悟しなければならない症例として、ペースメーカー植込み例(心内リードのアーチファクトが右冠動脈などの評価性を下げる可能性あり)、高度心機能低下例(低心拍出のため、冠動脈造影が不十分となる可能性あり)が挙げられる。言うまでもないが、撮像中の息止めは必須であるので、息止めができない患者(人工呼吸管理

表 1. CTアンギオグラフィとカテーテル法の比較

CTが優れている	カテーテル法が優れている
・低侵襲的、簡便で外来で施行可 ・冠動脈壁の性状評価可 石灰化の有無、形態 プラークの性状 ・立体関係の認知 ・心筋壁厚、運動の評価可 ・心臓以外の病変の評価可	・心拍数に制限なし ・不整脈症例でも可 ・ステント内腔評価性良好 ・石灰化病変部の内腔評価性良好 ・冠攣縮誘発が可能 ・治療が可能 ・読影の慣れ