

Title	心臓のイメージング-核医学からMRI, MDCTまで-
Author(s)	多田村, 栄二; 久保, 慈人; 山室, 正樹 他
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 2003, 63(8), p. 378-384
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/18566
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

心臓のイメージング —核医学からMRI, MDCTまで—

多田村 栄二 久保 滋人 山室 正樹 小西 淳二

京都大学放射線医学講座 核医学画像診断学

Cardiac Imaging Including Nuclear Medicine, MRI, and MDCT

Eiji Tadamura, Shigeto Kubo, Masaki Yamamuro
and Junji Konishi

Nuclear cardiology has played a significant role in the diagnosis and risk stratification of patients with coronary artery disease. MRI and multidetector-row CT (MDCT) has recently been introduced in the field of clinical cardiology. For the management of patients with suspected coronary artery disease, it is important to understand the advantages and disadvantages of various imaging modalities. This review discusses the current roles and problems of these imaging modalities.

Research Code No.: 507.9

Key words: Noninvasive cardiac imaging, MRI, MDCT,
Nuclear cardiology

Received Jul. 1, 2003

Department of Nuclear Medicine and Diagnostic Imaging, Kyoto
University Graduate School of Medicine

別刷請求先
〒606-8507 京都市左京区聖護院川原町54
京都大学放射線医学講座 核医学画像診断学
多田村 栄二

はじめに

虚血性心疾患がこれまで、どのように診断されてきたのかを振り返りながら、最近進歩の著しいMRIやマルチディテクターCT (MDCT)がどのように診断にかかわっていくのか、また、その問題点についても考えていく。これまで循環器の診断に携わり、循環器の核医学、MRI、MDCTのすべてを担当し、臨床や研究に用いてきた経験から、日常臨床におけるこれらのモダリティの役割や問題点について考えたい。

虚血性心疾患の診断

虚血性心疾患といっても安定した状態から救急車で運ばれてこられるような不安定な状態までである。日常診療のなかでもっとも多く遭遇する心疾患は労作性狭心症といわれる状態で、冠動脈に器質的狭窄が生じ、特に運動時に狭窄の末梢側に血流及び酸素が十分に届かず胸痛をおこす病態である。「労作時に胸部不快感があるのですが」というような訴えで来院される。そのような患者に対し、通常、初診であれば循環器内科医は、

1. 胸部単純X線写真
2. 安静時の心電図
3. 心臓超音波
4. 冠動脈疾患のリスクファクターのチェック

などの簡単な検査から患者の大まかな状態把握を行う。胸部単純X線写真で心臓の大きさ、胸水の有無をチェックし心不全が存在するかどうかの判断材料とする。呼吸器疾患の有無についても考慮を加える。安静時の心電図では異常Q波はないか、ST変化はないか、不整脈などの異常はないかなどのチェックを行う。心エコーにより局所壁運動異常はないか、弁膜症はないか、心嚢水の貯留はないかというようなことを確認する。また、糖尿病、高脂血症、高血圧、喫煙歴などの虚血性心疾患のリスクファクターを採血、血圧測定、問診などから判断する。リスクファクターのない患者に虚血性心疾患が存在することは稀である。このような簡単な検査や問診から、患者の大まかな病態を把

握する。しかしながら、これだけでは、この患者が冠動脈に器質的な狭窄病変を有するか否かについての判断は不可能である。患者の症状が冠動脈の器質的な狭窄によるものか、そのほかの不定愁訴の類なのかを判断することは日常臨床において重要である。器質的な冠動脈疾患の有無を確定させる方法は冠動脈造影である。しかしながら、冠動脈造影は侵襲的で、リスクがあり、コストがかかり、通常入院も必要となる。患者に入院させて多少なりともリスクのある検査を勧めるための判断材料が上記の簡便な検査では不十分である。そこで、非侵襲的に外来で虚血の有無をふるいわけの方法としてこれまで使われてきたものが負荷心電図と負荷心筋血流シンチグラフィである。安静時血流は冠動脈に90パーセント狭窄があっても局所心筋血流は低下を示さないことが知られている。患者の運動耐用能を把握する目的とあわせ、運動負荷して心電図変化をみる方法(負荷心電図)や運動負荷して血流の変化を直接みる負荷心筋血流シンチグラフィが使われてきた。最近のメタアナリシスによる報告では、冠動脈造影をゴールドスタンダードとすると負荷心筋血流SPECTは有病正診率87%、無病正診率は64%といわれている¹⁾。負荷心電図のsensitivityは52%、specificityは71%といわれている。このように負荷心筋血流SPECTは虚血性心疾患の非侵襲的診断法として高い評価を得てきた。更に、負荷心筋血流SPECTの臨床的意義は冠動脈病変そのものをみつけることよりもリスクの評価にあるといえる。負荷心筋血流SPECTで正常であればたとえ冠動脈病変を有していても重大心事故の発生率は非常に低いことが数多く報告されている^{2),3)}。したがって、負荷心筋血流シンチグラフィで正常であれば経過観察でよく、異常があれば冠動脈造影で確認し、しかも冠動脈狭窄が実際に存在すれば、血行再建術などの治療をしたほうがよいであろうというのが多くの施設での現在の虚血性心疾患に対する診断および治療方針決定の進め方となっている。このように、心臓核医学は、侵襲的に心筋の虚血性病変の有無を判定することもさることながら、冠動脈疾患が疑われる患者におけるリスクの層別化をはかる有力な手段と臨床の現場ではみなされている。Fig. 1は中隔を中心として運動負荷時に虚血が誘発されている症例の短軸像である。矢印で示した領域に運動負荷時に虚血が誘発され安静時の血流はたもたれている。負荷時に虚血が認められ、安静時の血流はたもたれている像は、心筋梗塞の既往のない労作性狭心症の患者に認められる典型的なパターンである。Fig. 2の症例は運動負荷時および安静時で下側壁(矢頭)のRI集積が低下しており、梗塞が存在することがわかる。また、運動負荷時矢印で示した、前壁から側壁の広い範囲で虚血が誘発されていることがうかがわれる。すなわち、下側壁の心筋梗塞を持つ患者に前壁から側壁の広い範囲に虚血が誘発される重症の状態であることが一目で判断できる。同じ患者のバイパス術後において、心筋梗塞をおこしていた下側壁(矢頭)の血流低下の改善は顕著でないものの、前壁から側壁にかけて広範囲にかけて認められた負荷時血流低下の

改善が明らかである(Fig. 3)。左室全体を一目でみわたすことができるSPECT画像は大局的見地から患者の血流状態を把握するうえで有用である。

心機能評価

言うまでもなく、心臓は全身に血液を送る臓器であり、心臓が停止すれば死を意味する。従って、当然心臓のポンプ機能を評価することは重要である。心臓のポンプ機能を評価するパラメータにはいろいろあるが、その中で特に臨床的に重要視されているのが左室駆出率である。左室駆出率は予後を予測するために非常に有用であるということが古くから知られている。したがって、左室駆出率の改善は種々の治療のひとつの目標となる。核医学検査でこれを求める方法はいろいろあるが、現在は心筋血流SPECTを撮像する際に心電図に同期させることにより求めるのが一般的である。特にUCLAのGermanoらにより開発されたQuantitative gated SPECT(QGS)といわれる解析ソフトが通常使われる^{4),5)}。このソフトウェアを用いると、各心周期において、心筋内膜面を自動抽出することができ、心機能評価を自動計測することが可能である(Fig. 4)。血流欠損の著しい症例や心臓自体が小さい症例、不整脈の症例では値が不正確であるとされているが、再現性が非常に高く解析が簡便であるという点ですぐれ、日常的に広く使われている。日常臨床においては値そのものの正確度よりも再現性の高さの方が重要視される。拡張末期容量、収縮末期容量、左室駆出率がほぼ自動的に数秒で算出されるので、検査を施行し結果を報告する立場からいうと非常に助かる。心臓核医学の特徴をまとめると非侵襲的に虚血性病変の有無が判定可能、負荷状態での血流評価が容易、血流と機能の同時評価が可能、後処理が簡単、大局的見地から患者の血流状態の把握が容易といった利点が挙げられる。一方、コストが高い、専用の施設が必要、分解能が低い、被曝、吸収によるartifactが存在するため多少読影に熟練が必要といったことが欠点として挙げられよう。

心臓MRIによる心機能評価

心臓のMRIも撮像の高速化が進む中で有用性が認められてきている。現在心臓のMRIでは時間分解能が50msecをきるシネ画像が容易に撮像可能である。最近開発されたsteady-state法によるシネ画像は心筋と心内腔のコントラストを上昇させ、造影剤を用いることなく、心筋と心内腔の高いコントラストを得ることができる⁶⁾。左室長軸方向に垂直に短軸画像を10~12スライス程度撮像することにより左心室全体のvolume dataを収集することが可能となる(Fig. 5)。われわれの施設では1回15秒の息止めで3断面撮像する方法を採用している。それにより、ほぼ4回の息止めで左室全体を撮像可能である。左室全体の短軸像から拡張末期(Fig. 6)および収縮末期(Fig. 7)の容量を幾何学的仮定な

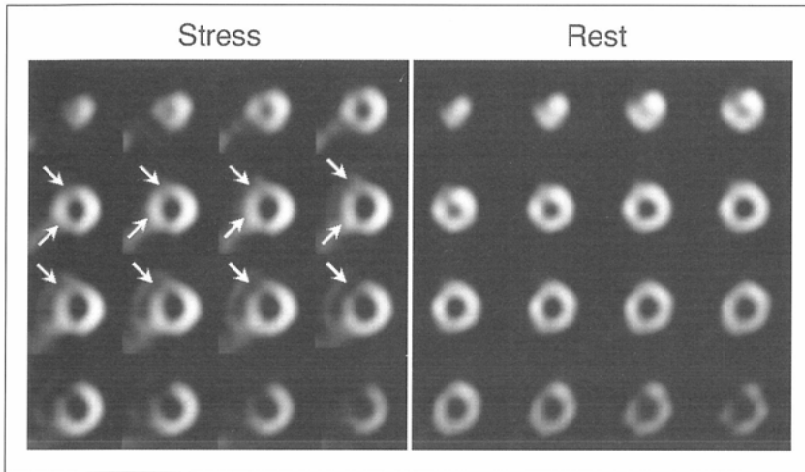


Fig. 1 Short-axis images of stress and rest thallium SPECT. Stress-induced ischemia is noted in the anterior and septal region (arrow).

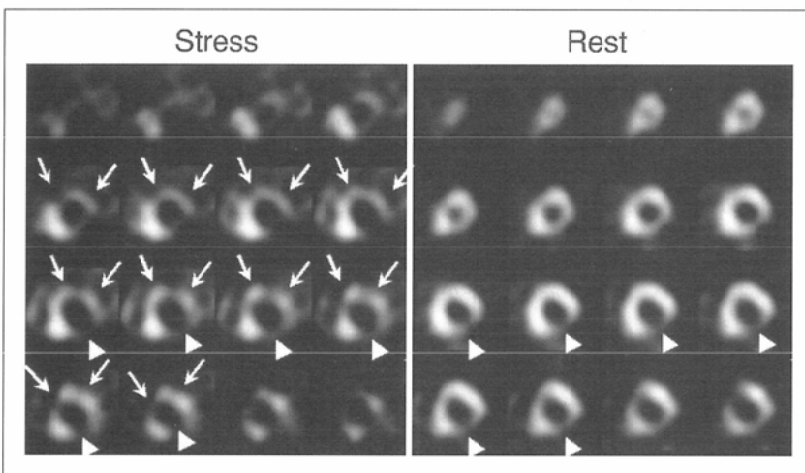


Fig. 2 Short-axis images of stress and rest thallium SPECT. Stress-induced ischemia is noted in the wide area including anterior, septal and lateral regions (arrow). Fixed perfusion defect was observed in the inferolateral region suggesting the presence of myocardial infarction (arrowhead).

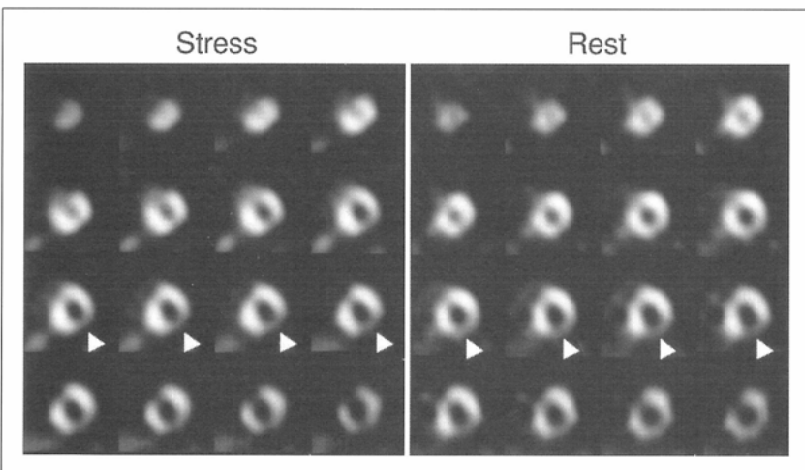


Fig. 3 Short-axis images of stress and rest thallium SPECT in the same patient as in Fig. 2. Perfusion abnormalities observed after stress in the anterior, septal, and lateral regions were significantly improved following CABG. Fixed perfusion defect observed in the inferolateral region was not changed even after CABG because of previous infarction (arrowhead).

く求めることが可能であるため、左室機能のゴールドスタンダードとされている。また、任意の断面で評価可能なため、長軸像も容易に撮像可能である。steady-state法によるシネ画は従来画質が不十分であった心臓長軸像でも心筋と心内腔のコントラストを上昇させた。超音波で評価が難しい心尖部も容易に評価可能である。ただ、心機能に関しては、核医学で使われるQGSのような自動解析ソフトの性能が十分でないため、現実的には一人あたり15分程度の手

作業が必要となる。日常的に用いるためにはdata処理法の改良が望まれる。

心臓MRIによる血流評価及び心筋梗塞の陽性描出

MRIの進歩の中で最近注目を集めているのが血流評価である。心筋のSPECT製剤が血流の増減に応じて心筋細胞に貯留するのに対し、現在市販のMRI造影剤は心筋に到達と

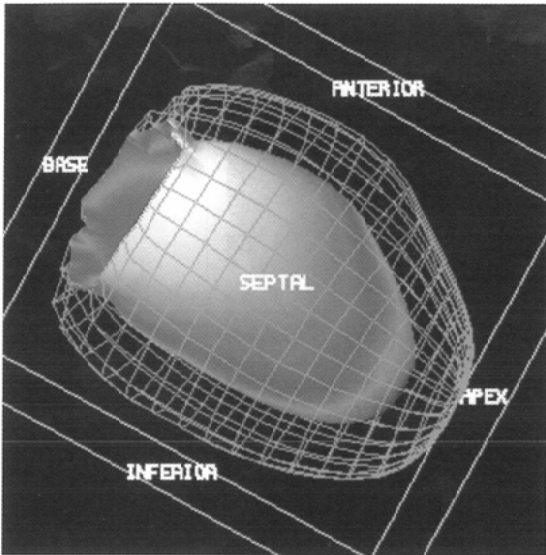


Fig. 4 A three-dimensional image obtained by quantitative gated SPECT.

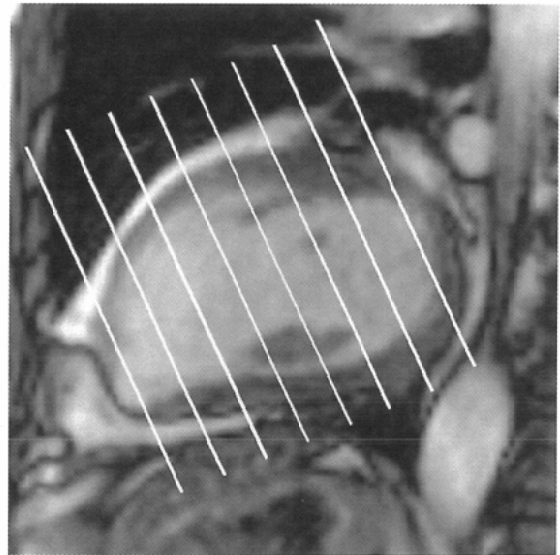


Fig. 5 A vertical long-axis image obtained by True-FISP sequence. The contiguous short-axis cine MR images covering the entire left ventricle from the base to the apex are acquired in order to obtain volume data.

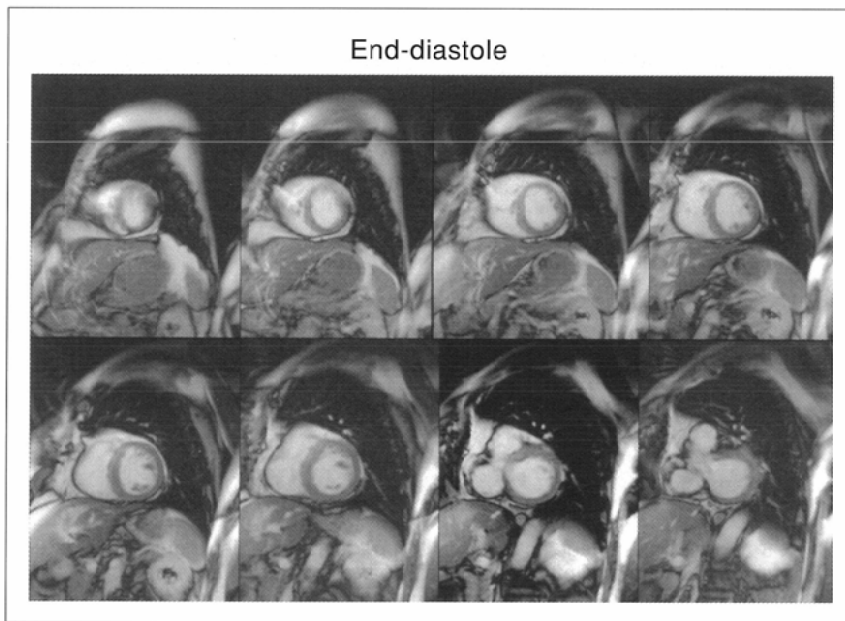


Fig. 6 End-diastolic short-axis images obtained by ECG-gated cine MR imaging.

同時に洗い出しもおこるため、血流評価するためには造影剤注入後の数十秒程度の動態画像を撮像する必要がある。

Fig. 8 は前壁中隔を中心とする心筋梗塞症例である。左の血流画像では、前壁中隔で矢印を示した部位に造影剤の到達が遅延している像が認められる(いわゆるearly defect)。また、心筋梗塞部に造影剤が貯留することは以前から知られていたが、その造影剤貯留部を明瞭に描出する撮像法が使われるようになって梗塞部位の陽性描出が臨床的にも注目されるようになった⁷⁾。Fig. 8 右図の造影遅延像では、前壁中隔の心筋梗塞の部位に造影剤が貯留し明瞭な高信号を示している(late enhancement)。造影遅延像は梗塞

部の把握のために非常に有用と考えられる。特に、心内膜下に限局する梗塞巣などそのほかの方法でわかりづらい症例では特に有用である。また、遅延造影MRIは心筋蘇生能(バイアピリティ)の有効な評価法としても注目を集めている⁸⁾。

血流像を核医学検査で行われているような血管拡張薬による負荷と組み合わせることにより虚血の誘発所見をとらえ冠動脈の器質的疾患の有無を高い精度で判定することも報告されている⁹⁾。ただ、磁場の中で検査をしているため心電図のモニターが行いにくい点やカウンターショックなどの救急処置がしづらいこともあり多少日常の検査として施

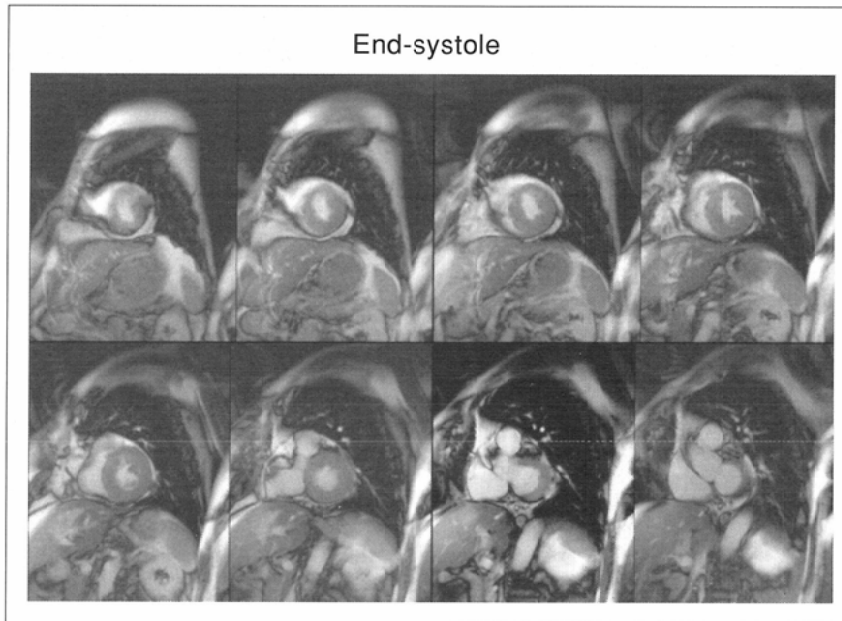


Fig. 7 End-systolic short-axis images obtained by ECG-gated cine MR imaging.

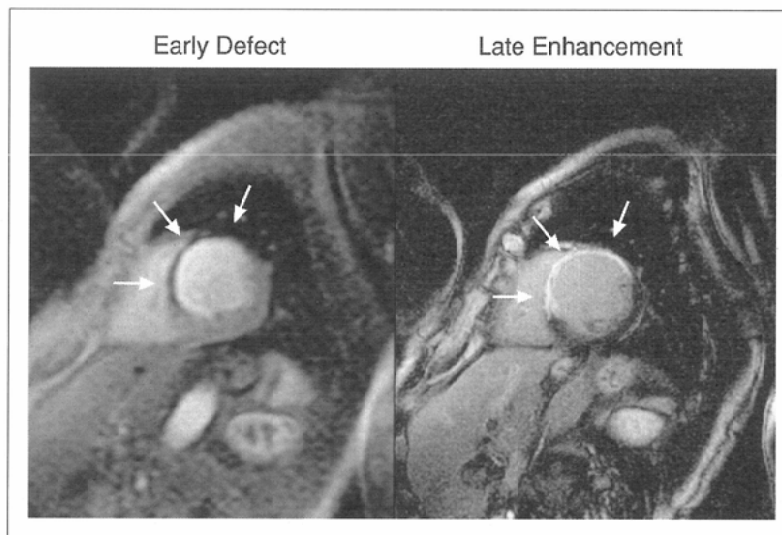


Fig. 8 A short-axis image obtained by MR perfusion imaging (right) and by late-enhanced MR imaging (left). A perfusion defect is noted in the anteroseptal region and late enhancement is observed in the same region, which is characteristic of myocardial infarction (arrow).

行しにくい面がある。また、運動耐容能は臨床的に重要な情報であり、負荷方法として薬剤負荷しかない点も日常検査として行う場合には不利な点といえよう。撮像が早くなったとはいえ、撮像に手間がかかり忙しい施設では施行困難である。MR coronary angiographyは、今後も発展する分野かと思われるが、現在は検査として確立されたものとは言えず、日常臨床の域に達していないのが現状である。心臓MRIの特徴をまとめると、心機能評価のゴールドスタンダードとされる、心筋の解剖学的評価に優れる、心筋梗塞の把握に優れる、被曝がない、機能や血流や冠動脈など多彩な情報を評価可能である点が利点として挙げられる。他方、負荷検査がしづらい、撮像に手間がかかり忙しい施設

では施行困難、後処理に多少手間がかかる、ペースメーカーの患者は検査できないなどが欠点である。

心臓のMDCT

MDCTがこの2、3年の間に彗星のように循環器診断の中で脚光をあびている。冠動脈の器質的狭窄を直接非侵襲的に評価できれば、その恩恵は計り知れない。16スライスCT（実際には12スライス）で、一回の回転時間が0.42秒のmachineを用い、さらにβブロッカーにより心拍数をおとすことによって撮像した場合Sensitivity, specificityともに90%程度と驚異的な正診率が報告されている^{10), 11)}。Fig. 9は8

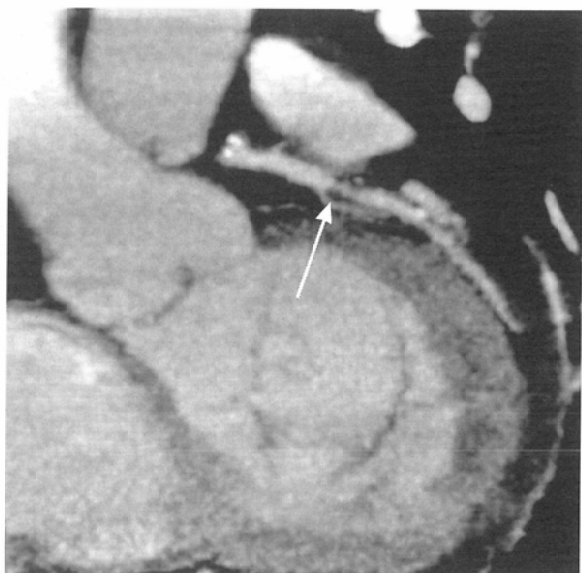


Fig. 9 A partial MIP image of MDCT. Stenosis in the left circumflex coronary artery is noted (arrow).

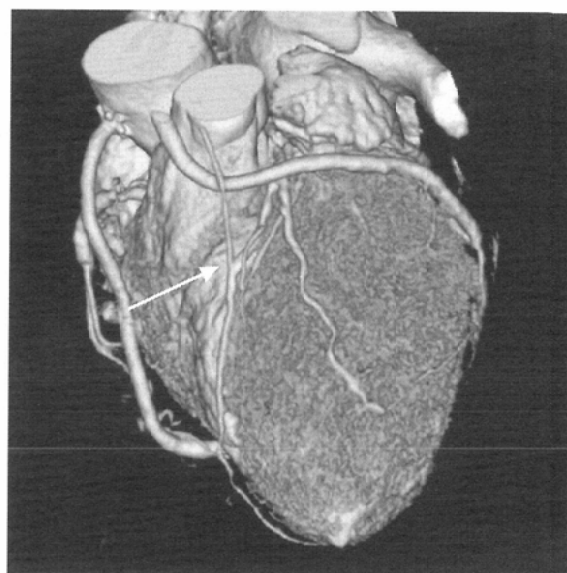


Fig. 10 A volume rendering image obtained by MDCT. An arterial graft is anastomosed to a left anterior descending artery (arrow). The patency is confirmed by MDCT.

slice, 0.5秒/rotation, スライスコリメーション0.5mmのMDCTで撮像した症例である。左の回旋枝の狭窄が描出されている。ただ、冠動脈狭窄の検出能に関して言えば、今後更に大規模な患者での評価が必要である。また、MDCTの臨床的役割の確立している部分として心臓のbypass graftの開存性の評価がある (Fig. 10)¹²⁾。更に、心臓の機能の評価も可能である。MDCTの時間分解能はMRIより悪いが、segment再構成という方法を用いると時間分解能を向上させることが可能である。RR間隔に依存するものの、最大50msec程度に時間分解能が向上する。冠動脈を評価したデータを使って、新たに検査を加えることなく、左室駆出率などの指標を求めることが可能である点で優れている (Fig. 11)が、自動計測というわけにはいかず、MRIと同様に手動の輪郭抽出作業が臨床的には煩雑である。

心臓MDCTの検査自体は簡単に言えば、心電図をつけて、造影剤を注入し、タイミングを見計らって30秒程度の息止めするだけで終了するため他の心臓の検査に比べ、患者の負担も少なく簡便である点に特徴がある。心臓MDCTの特徴をまとめると非常に短時間で豊富な情報量、冠動脈の狭窄だけでなく、壁性状評価が可能、心機能評価も同時に可能といったことが利点として挙げられる。その一方、頻脈や不整脈により画質が劣化、著明な石灰化があると評価が困難、ステント内の評価も多かれ少なかれ困難、腎機能障害や造影剤アレルギーの人には施行不能、画像処理に時間がかかる、X線被曝などが欠点である。

急性冠症候群

心筋梗塞は狭心症の延長線上にかならずしもなく、血管の狭窄度が強い部分に発生するわけではないということが報告されている。冠動脈壁に存在したプラークが突然

破綻し、末梢血管を急激に閉塞させることが心筋梗塞の発症のメカニズムとされている。破綻しやすい不安定プラークはvulnerable plaqueとよばれる。不安定プラークの特徴は分厚い脂質の塊を中心に有し、周囲を覆う繊維性被膜がうすく、さらにその繊維性被膜を中心にリンパ球やマクロファージなどの細胞浸潤が認められることが報告されている¹³⁾。Vulnerable plaqueを非侵襲的に存在診断が可能となれば心筋梗塞の予防に大いに寄与すると考えられる。CTではそのCT値から脂質を多く含むプラークを検出できるのではないかと報告もある¹⁴⁾ (Fig. 12)。したがって、MDCTにより冠動脈の狭窄の評価が直接できるのであれば、労作性狭心症の患者の評価法として有効であるだけでなく、壁の性状評価から心筋梗塞の予防にも役に立つのではないかと期待されている。破綻しやすい動脈硬化性病変の診断は、現在、CTだけでなく、MRI¹⁵⁾、核医学¹⁶⁾などいろいろな方法で活発に研究が進められている。

まとめ

虚血性心疾患の非侵襲的診断法として核医学に加えMRI、MSCTが診断法として急速に進歩して日常臨床に使われてきている。どのようなモダリティを中心に非侵襲的に虚血性心疾患を診断していくことは診断に携わる医師の得意不得意や情熱を傾ける度合いによって異なるといえる。したがって、各施設の実情にあわせて日常臨床に役立てられるべきである。現段階で総じていえば、心臓核医学は歴史も長く、画像処理や評価法に関しては成熟しており、それに携わる検査施行医、診断医、技師へ要求される時間や手間が少ない。それに対し、心臓への応用が近年本格的に始まったMRIやMDCTは後処理や評価の手助けとなるソフトウェアの拡充が今後日常臨床検査として普及する

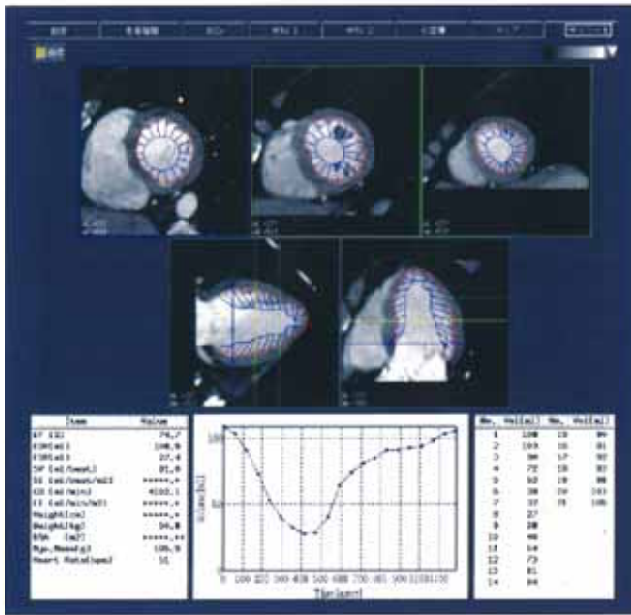


Fig. 11 Time-volume curve obtained by ECG-gated MDCT imaging. Left ventricular function including ejection fraction and volumes can be evaluated by MDCT.

ためには不可欠であろう。また、それぞれのモダリティについて極めることも重要であるが、循環器疾患患者のマネージ

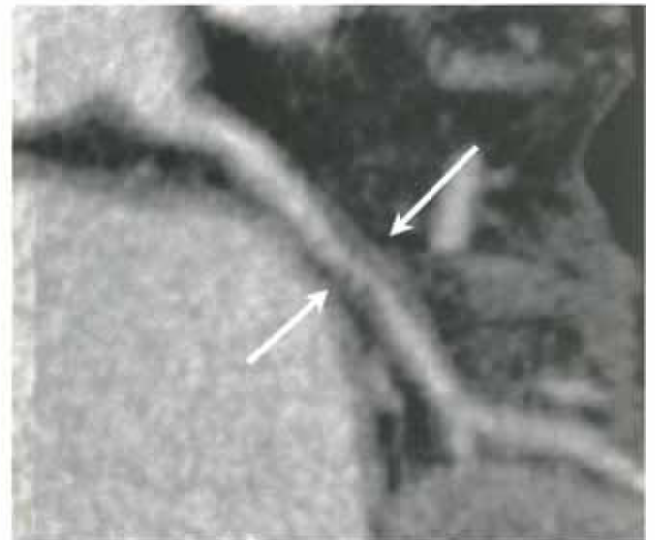


Fig. 12 A curved MPR image along the left circumflex coronary artery obtained by MDCT. Diffuse soft plaque is observed around the site of stenosis (arrow).

メントの観点からは、種々のモダリティの利点、欠点を理解し、モダリティを使いわけていくことも重要と考えられる。

文 献

- 1) Fleischmann KE, Hunink MG, Kuntz KM, et al: Exercise echocardiography or exercise SPECT imaging? A meta-analysis of diagnostic test performance. *JAMA* 280: 913-920, 1998
- 2) Brown KA Prognostic value of thallium-201 myocardial perfusion imaging. A diagnostic tool comes of age. *Circulation* 83: 363-381, 1991
- 3) Iskander S, Iskandrian AE: Risk assessment using single photon emission computed tomographic technique *J Am Coll Cardiol* 32: 57-62, 1998
- 4) Germano G, Kiat H, Kavanagh PB, et al: Automatic quantification of ejection fraction from gated myocardial perfusion SPECT. *J Nucl Med* 36: 2138-2147, 1995
- 5) Tadamura E, Kudoh T, Motooka M, et al: Assessment of regional and global left ventricular function by reinjection Tl-201 and rest Tc-99m sestamibi ECG-gated SPECT: comparison with three-dimensional magnetic resonance imaging. *J Am Coll Cardiol* 33: 991-997, 1999
- 6) Carr JC, Simonetti O, Bundy J, et al: Cine MR angiography of the heart with segmented true fast imaging with steady-state precession. *Radiology* 219: 828-834, 2001
- 7) Simonetti OP, Kim RJ, Fieno DS, et al: An improved MR imaging technique for the visualization of myocardial infarction. *Radiology* 218: 215-223, 2001
- 8) Kim RJ, Wu E, Rafael A, et al: The use of contrast-enhanced magnetic resonance imaging to identify reversible myocardial dysfunction. *N Engl J Med* 343: 1445-1453, 2000
- 9) Schwitler J, Nanz D, Kneifel S, et al: Assessment of myocardial perfusion in coronary artery disease by magnetic resonance: a comparison with positron emission tomography and coronary angiography. *Circulation* 103: 2230-2235, 2001
- 10) Nieman K, Cademartiri F, Lemos PA, et al: Reliable noninvasive coronary angiography with fast submillimeter multislice spiral computed tomography. *Circulation* 106: 2051-2054, 2002
- 11) Ropers D, Baum U, Pohle K, Anders K, Ulzheimer S, Ohnesorge B, Schlundt C, Bautz W, Daniel WG, Achenbach S: Detection of coronary artery stenoses with thin-slice multi-detector row spiral computed tomography and multiplanar reconstruction. *Circulation* 107: 664-666, 2003
- 12) Ropers D, Ulzheimer S, Wenkel E, et al: Investigation of aortocoronary artery bypass grafts by multislice spiral computed tomography with electrocardiographic-gated image reconstruction *Am J Cardiol* 88: 792-795, 2001;
- 13) Libby P.: Molecular Bases of the Acute Coronary Syndromes *Circulation* 91: 2844-2850, 1995
- 14) 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
- 15) Fayad ZA, Fuster V, Nikolaou K, et al: Computed tomography and magnetic resonance imaging for noninvasive coronary angiography and plaque imaging: current and potential future concepts. *Circulation* 106: 2026-2034, 2002
- 16) Rudd JH, Warburton EA, Fryer TD, et al: Imaging atherosclerotic plaque inflammation with [18F]-fluorodeoxyglucose positron emission tomography. *Circulation* 105: 2708-2711, 2002