

中、高度認知症など)には行うべきでない。

4 撮像、画像再構成の実際

心臓CTは、CTの性能である時間分解能、空間分解能が最も試される領域だといわれるが、それは心臓が常に拍動し、冠動脈など観察対象とする構造物が微細であるからである。空間分解能は16列型において既に0.5~0.625 mm(体軸方向)の性能が得られていたが、64列型の利点は、検出器列の全長が長くなったことで少ない回転数で心臓全体の撮像が可能となり、スキャン時間が短縮されて心拍変動などによるアーチファクトが大きく軽減されたことである。しかも検出器回転の高速化で時間分解能が向上し、このことはモーションアーチファクトのみならず、CT画像に付き物であるにじみ現象(partial volume effect)(用語解説5)も減少させると考えられる。

用語解説 [5. にじみ現象(partial volume effect)]

あるCT値をもった物体がスライスの一部に含まれるとき、その周囲の構造のCT値と平均化されることで真のCT値よりも高いあるいは低いCT値をもつ構造として表現される現象で、アーチファクトの原因となる。

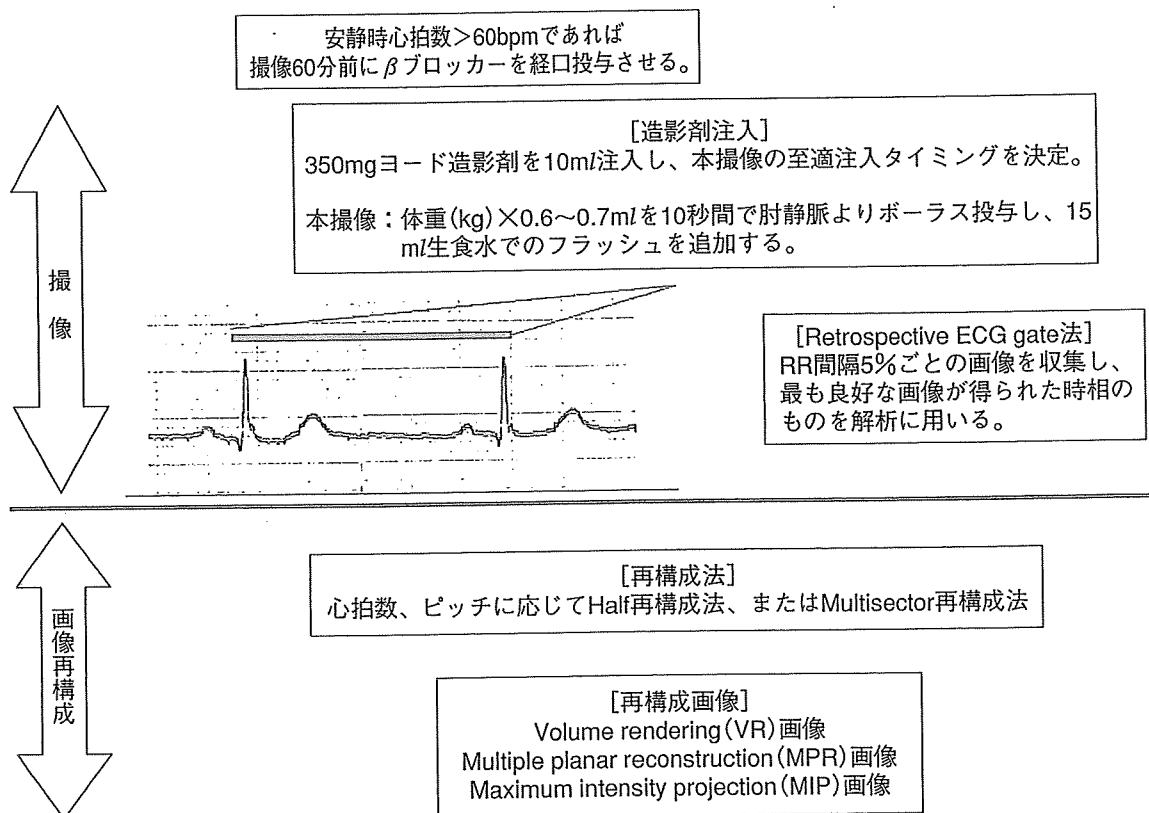
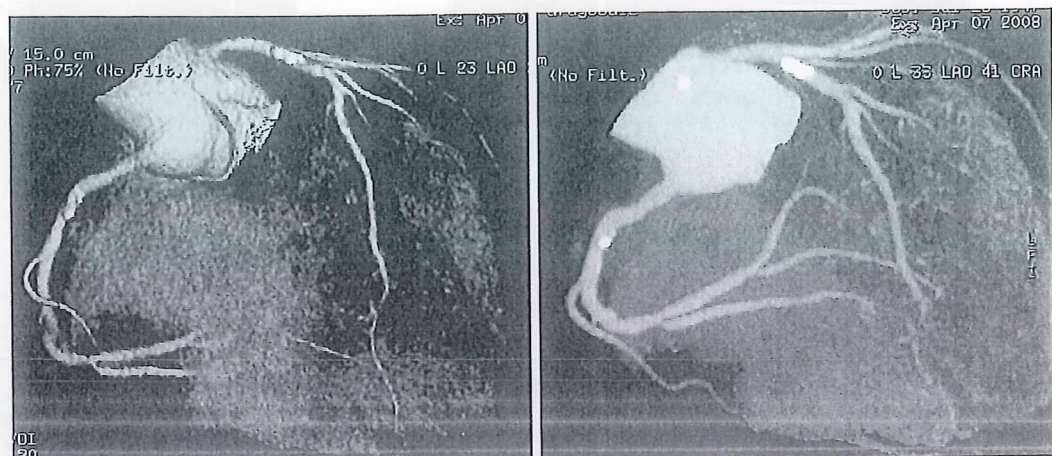


図 2. 広島大学病院における冠動脈CT撮像、画像再構成法

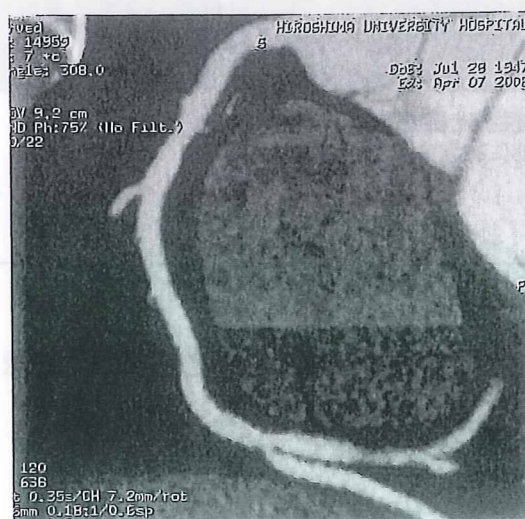
現在稼働している64列型MSCTは、GE社のLightSpeed VCT、フィリップ社のBrilliance CT 64、シーメンス社のSomaton Sensation 64、東芝社のAquillion 64の4つである。撮像プロトコルや画像再構成法などは、機種や使用する解析ソフトにより異なるが、本稿では当院にて稼働しているGE社のLightSpeed VCTと解析ソフトAdvantage Workstationによる方法を提示する(図2)。

LightSpeed VCTはスライス厚0.625 mmの検出器を64列搭載(体軸方向の検出器長は $64 \times 0.625 = 40$ mm)し、それらが0.35秒/回の速度で回転し、心電図に同期しながら1回呼吸停止下にヘリカル撮影を行う。テーブル移動速度(ピッチ)は1.8~2.4 mm/回転に設定され、これは患者の撮像時心拍数に応じて決定される。患者に対する前投薬は施設により異なるが、当院では心拍数コントロールの必要性から安静心拍数60回/分以上の症例においては検査1時間前に β ブロッカー、メトプロロール40 mgを内服して頂き、冠動脈描出性を向上させるため、閉塞性肥大型心筋症などを除く全症例において撮像直前にニトログリセリンの舌下噴霧を行っている。造影剤は350 mg ヨード/ml 含非イオン性造影剤を使用し、注入はテストインジェクション法(少量の造影剤をテスト注入し、上行大動脈の造影濃度を参考にして、本撮像の至適注入タイミングを決定)にて行っている。本撮像の造影剤量は体重換算にて決定し(0.6~0.7 ml/kg)、テストショットと合わせた使用量は40~70 mlと、通常の胸部CTより少ない量での撮像が可能である。撮像時間5~7秒(バイパス術後症例は10~12秒)と以前の16列(約20秒)のときより随分と短くなった。撮影により得られた生データは解析用端末(ワークステーション、当院ではGE社のAdvantage Workstationを使用)に転送後、画像解析ソフトウェアを使用して診断用の画像を構築(再構成)する。1心拍の中で最もモーションアーチファクトの少ない、良質な画像構築が可能な時相データを後から選択(拡張末期、RR間隔の70~80%であることが多い)する(retrospective ECG gate法)。再構成には、1断面画像データを1心拍から得るhalf再構成法と、2~4心拍から得るmultisector再構成法があり、撮像時の心拍数やピッチによりどちらを選択するかが決定される。再構成画像には、3D画像であるvolume rendering(VR)画像、最大CT値をもつ構造物を投影させることで冠動脈の透過像を形成するmaximum intensity projection(MIP)画像、重心点をつなげることで冠動脈を一平面上に展開させたmultiple planar reconstruction(MPR)画像などがあり(図3)、後に述べるように評価目的に応じて各画像を使い分けるのが冠動脈CTを有効利用するコツである。画像構築に要する時間は症例により異なるものの、1例あたり概ね10~15分で行えている。



a : VR

b : MIP



c : MPR



d : MPR

図 3. 冠動脈 CT の再構成画像

2 狭心症の診療における MSCT の活用法

1 診断の実際

3D 画像である VR 画像は冠動脈の全体像を把握するのに適しており、起始異常などの冠動脈奇形や、各血管の走行、大きさの評価に用いる。MIP 画像では冠動脈石灰化や狭窄の検出が可能であるとともに、透過画像であるという特徴を活かしてカテーテル検査の造影画像と近似した画像(angiographic view)の提示が可能である⁴⁾。これにより、カテーテルによる血管造影・ステントなどによる治療の方針をあらかじめシミュレーションすることもできる。MPR 画像では、狭心症診断の根拠ともなる狭窄の存在や部位に加え、病変長や狭窄の原因となっているプラークの性状評価など血管壁を含めた詳細な冠動脈評価が可能である⁵⁾。

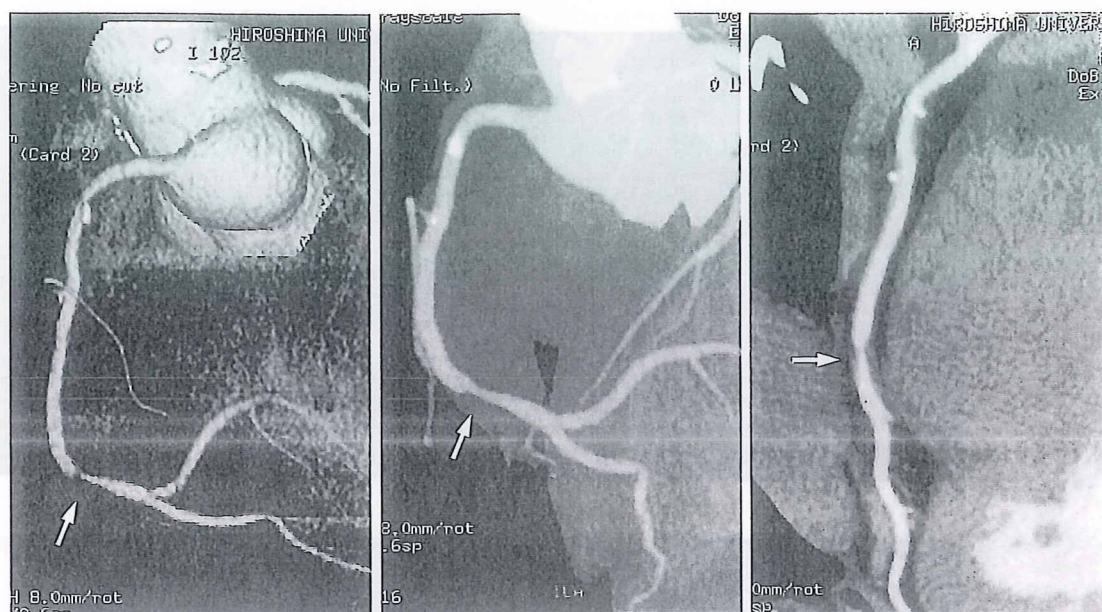


図 4. 労作性狭心症患者の冠動脈 CT 画像
右冠動脈遠位部に有意狭窄(90%、矢印)を認める。

コ ツ

VR、MIP、MPR 画像をそれぞれ評価目的に応じて使い分けることで、冠動脈 CT をより有効利用することが可能。

CAG 診断結果との比較における 64 列型 MSCT の冠動脈有意狭窄の検出精度は数多く報告されているが、評価可能血管であれば概ね 90%以上の感度と特異度が示されていることから CT の冠動脈狭窄診断能力に関する評価は定着しつつある⁶⁾。胸痛症状から狭心症が疑われる患者において、冠動脈 CT により有意狭窄が認められたときの有用性は高く(図 4)、CT 所見から経皮的冠動脈インターベンション(PCI)や冠動脈バイパス術の適応を検討することも可能である。また、これまでの冠動脈 CT に関する研究では、CAG における有意狭窄病変に対する陰性適中率の高さ(95%以上)が揃って報告されている。逆に高度な石灰化病変が存在する箇所では blooming と呼ばれる石灰化のアーチファクトが冠動脈内腔の視認性を低下させ、狭窄を過大評価する傾向があることなどから、陽性適中率は比較的低い(80%前後)とされる。したがって、冠動脈 CT は狭心症の除外診断においてより有用性を発揮するといえ、CT 画像にて冠動脈に高度石灰化病変、有意狭窄いずれも認めなければ固定性狭窄による狭心症(労作性狭心症)はまず否定でき、カテーテルによる造影検査を省略することが可能である。

● 重要事項

冠動脈 CT は症候性冠動脈病変を描出することで狭心症の診断に有用である一方、陰性症例ではカテーテルを用いた侵襲的検査の省略に寄与することができる。

② 性状評価、治療への活用

以前の冠動脈 CT では、血管断面画像における血管やプラークの輪郭が不明瞭であることも多かったが、64 列型の導入で画質が向上し、プラーク画像も鮮明化された(図 5)。これにより、冠動脈狭窄の原因となっているプラーク性状に関して、CT 値から推測した構成成分(脂質、線維性組織など)、血管径の変化(血管リモデリング)(用語解説 6)、石灰化病変の存在と程度などの評価が可能である。急性心筋梗塞など急性冠症候群発症の原因となり得る不安定プラーク(vulnerable plaque)の特徴は、①豊富な脂質成分、②偏在性、③血管増大(positive remodeling)、④微小石灰化沈着、などとされていることから、CT 画像から得られる情報により不安定プラークが検出できる可能性に期待が寄せられている⁷⁾。また、将来的にはコレステロール低下療法などによるプラーク退縮や安定化の経過観察手段としての CT の有用性が確立されていく可能性もあると考えられる。

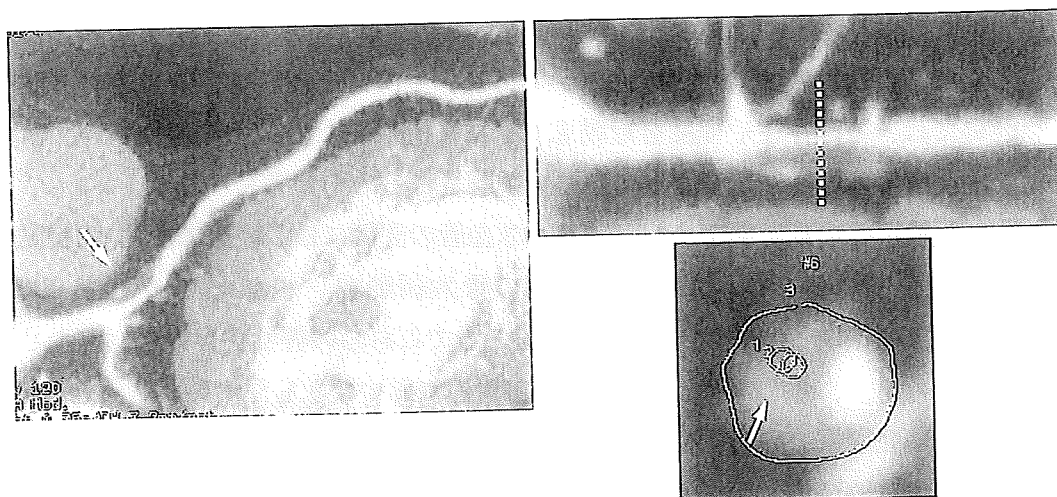


図 5. 冠動脈 CT におけるプラーク画像

左前下行枝近位部に有意狭窄とプラーク(矢印)を認める。同病変部は血管径が増大し(陽性リモデリング)、低い CT 値(16Hounsfield units)を呈することから脂質成分が主体の不安定プラークであることが予想される。

● 用語解説 [6. 血管リモデリング]

動脈硬化の進展や退縮に伴い、血管径が増大(陽性リモデリング)もしくは減少(陰性リモデリング)する現象。陽性リモデリングの存在は動脈硬化性病変(プラーク)の不安定性を示すとされている。

狭心症患者に対しては、外来診療における冠動脈CTにより狭窄率、性状を含めた形態的診断を確定し、入院後はPCIを中心とした治療に集中することで入院期間短縮への効果も期待できる。一方、無症候性冠動脈病変(有意に至らない軽度な狭窄病変など)をもつ患者において実際の冠動脈プラークを視覚化することは、医師の病変への早期介入(薬物治療導入)と患者の生活習慣改善への動機づけに活用できると考えられる。

③ 治療後フォローアップ

狭心症に対する血行再建術として、カテーテルによる冠動脈ステント留置術と外科的な冠動脈バイパス術があるが、いずれにおいても治療後の評価目的に冠動脈CTを利用することが多くなってきている。

冠動脈ステント内腔はステントストラットの金属アーチファクトの影響で視認性が悪化するため、CT画像での狭窄評価(再狭窄)の診断は難しいとされてきたが、64列型導入による画質向上はステント内腔の視認性も大きく改善させた。現在のところ、直径3mm以上のステントであれば概ね冠動脈CTによる内腔評価が可能と考えられ、カテーテルによる確認造影検査の代用となり得る。一般的にステント内腔において造影効果が減弱した低濃度域を視覚的に認めることで再狭窄(狭窄率 $>50\%$)を診断することが多いが、ステントストラットの金属部分に伴うundershooting効果(用語解説7)の影響により、実際のCAG所見より狭窄率を過大評価する傾向がある。また、留置された血管が高度石灰化を伴っていたり、ステントが重なって留置されていたりすると、アーチファクトのため内腔評価が難しくなる。新世代の薬剤溶出性ステントにおいて問題とされているステント内血栓形成については、その存在や程度を冠動脈CTにて評価したという報告はないが、おそらくステント内狭窄と同様に低濃度陰影として視認されるものと考えられる。

冠動脈との吻合部を含めたバイパス血管の評価には広い撮像範囲(内胸動脈の起始部である鎖骨下動脈レベルから、心窩部の胃大網動脈レベルまで)が必要となるが、64列型MSCTはスキャン時間を短縮させることでこれらの評価性を大きく向上させた。術後評価のみならず、バイパス術既往を有する患者において狭心症が疑われる場合でも、バイパス血管、冠動脈双方の評価にCTAは極めて有用なツールである。64列型を用いてすべてのバイパス血管の評価が可能だが、限界として血管分岐結紮のためのクリップや冠動脈の石灰化がしばしば評価性を低下させることがある。

● 重要事項

- ・冠動脈CTによるプラークの描出、性状評価は、急性冠症候群発症予測や薬物治療の効果判定に活用できる可能性がある。
- ・冠動脈CTは狭心症の責任病変のみならず、無症候性冠動脈病変も描出することで、治療導入や治療戦略への指針となる。

● 用語解説 [7. Undershooting 効果]

石灰化やステントなど、CT 画像上高密度な構造物の周辺が実際より低いCT 値で表現される現象で、アーチファクトの1つである。

● 重要事項

冠動脈ステント留置後やバイパス術後の評価において、冠動脈CT はカテーテルによる確認造影の代用となり得る。

3 MSCT の課題

長らく心臓CTの最も大きな問題であった心拍動に起因するモーションアーチファクトは、不整脈症例などを除けば64列の導入によりほぼ解消された。とはいえ、残る画像上の問題点は冠動脈石灰化に起因したアーチファクトによる評価性低下であろう。この問題を解決するにはより空間分解能を向上させる必要があり、具体的方策としてはスライス厚をさらに薄くすることが考えられる。しかし、各ボクセルの線量不足によるノイズ増加など画質上の別の問題を生じる原因ともなり、これらの問題点を克服するための技術開発に各メーカーが取り組んでいる。

低侵襲であるのは心臓CTのメリットでもあるが、撮像時の放射線被曝はやはり患者にとって侵襲的と言わざるを得ない。被曝線量は7~15mSvとされ、1回の診断CAGのそれよりやや多いと考えられるが、最近は最適心位相と考えられる拡張末期にて主に撮像を行うことで大幅に被曝線量を軽減する方法も考案されている⁸⁾。いずれにしろ、放射線被曝の発がん性が報告されていることもあり、被曝量低減に向けた努力は今後必要である。

石灰化の影響を受けず、被曝の問題もない方法として、冠動脈MRアンギオグラフィの活用に期待がもたれている。技術の発達により最近はかなり鮮明な冠動脈造影像が得られるようになったが、空間分解能ではCTに及ばず、撮像や画像解析の煩雑さなどから日常診療への導入は進んでいない。次世代の画像診断法といわれる分子イメージングへの活用など、冠動脈疾患の診療におけるMRの新たな利用法も模索されているが、簡便性や実用性を考慮すると、冠動脈画像においては当面MRよりCT優位の時代が続くと考えられる。

○おわりに

冠動脈CT検査の現状と課題について解説した。目覚ましい発展を遂げているMSCTが狭心症をはじめとした冠動脈疾患の診療に大いに役立つことは間違いないが、簡便だという理由だけで闇雲に撮像し、患者に有益な情報を還元できないということがあってはな

らない。画像診断においてはその有用性ととも診断法としての限界を知ることも必要であり、それらを踏まえたうえで質の高い画像を得る努力と工夫を惜しまず、患者にとっての有効利用を図っていくことが求められる。

(北川知郎、木原康樹)

◆文献

- 1) 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.
- 2) Ehara M, Kawai M, Surmely JF, et al : Diagnostic accuracy of coronary in-stent restenosis using 64-slice computed tomography ; comparison with invasive coronary angiography. J Am Coll Cardiol 49 : 951-959, 2007.
- 3) Meyer TS, Martinoff S, Hadamitzky M, et al : Improved noninvasive assessment of coronary artery bypass grafts with 64-slice computed tomographic angiography in an unselected patient population. J Am Coll Cardiol 49 : 946-950, 2007.
- 4) Jinzaki M, Sato K, Tanami Y, et al : Novel method of displaying coronary CT angiography ; Angiographic view. Circ J 70 : 1661-1662, 2006.
- 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) Vanhoenacker PK, Heijenbroek-Kal MH, Van Heste R, et al : Diagnostic performance of multidetector CT angiography for assessment of coronary artery disease ; meta-analysis. Radiology 244 : 419-428, 2007.
- 7) 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. J Am Coll Cardiol Img 2 : 153-160, 2009.
- 8) Hirai N, Horiguchi J, Fujioka C, et al : Prospective versus retrospective ECG-gated 64-detector coronary CT angiography ; assessment of image quality, stenosis, and radiation dose. Radiology 248 : 424-430, 2008.

心エコー図の臨床的意義

第11巻 第2号

心エコー

Journal of Clinical Echocardiography

Vol 11. No. 2
2010

文光堂

画像診断法の役割と使い分け 心エコーと心臓CT

64列multidetector computed tomographyの登場により、心臓CT検査が急速に普及してきた。その主目的は、冠動脈狭窄の検出および冠動脈プラークの評価であるが、画像内にはほかにさまざまな情報が含まれている。これらの情報を用いて心臓弁や心筋、心機能の評価を行うことが可能である。また、心臓全体を死角なく観察可能である点から、心エコーでの評価が十分でない場合の心臓、血栓、腫瘍性病変に関して、その分布や性状評価に適している。

Utsunomiya, Hiroto

宇都宮裕人・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

平成14年広島大学卒。平成16年国立循環器病センター心臓血管内科レジデント。平成19年より、広島大学大学院循環器内科学。主な研究テーマ：心臓CT、冠動脈プラーク評価、大動脈弁疾患、右心機能評価。エコー室とCT室をカップリングした仕事ができればいいと考えている。



■はじめに

従来、心血管疾患の診断の多くは心臓カテーテル検査がゴールドスタンダードとされてきた。しかし、近年 multidetector computed tomography (MDCT)の登場・進歩により高速・広範囲の撮影が可能となり、心血管疾患への応用が本格的となった¹⁾。特に現在の主力である64列MDCTは、体軸(Z軸)方向のビーム幅拡大、ガントリ回転速度の向上などによりそれまでの16列MDCTに比べて心電同期下の広範囲撮影、時間分解能向上による画質改善、造影剤減量などの利点を有し、全冠動脈を6〜7秒で撮影できる。最近では、MDCTの進歩は多列化にとどまらずさまざまな方向に展開しており、体軸方向へのさらなる多列化による撮像時間短縮・被曝低減を志向するarea detector CT(東芝メディカルシステムズ, Philips)、2個のX線管球と検出器を備え、時間分解能改善を志向するdual source CT(SIEMENS)、被曝低減と空間分解能改善という、相反するテーマを独自の検出器素材(=Garnet)および再構成法により克服しようとするhigh definition CT(GE)など、各メーカーが独自色を競っている状況にある(図1)。

一方、無侵襲かつその簡便性から、心疾患検査において心エコーは非常に有力なツールである。

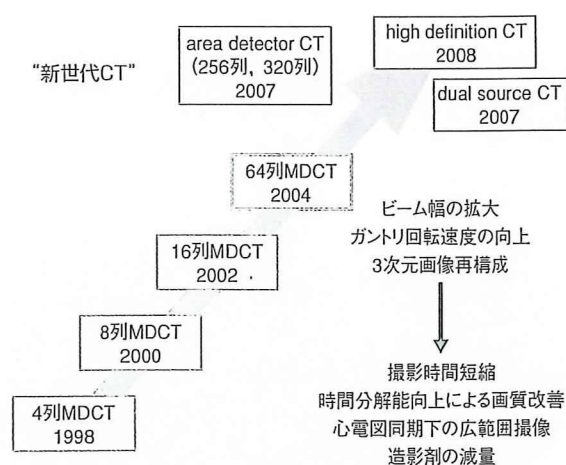


図1 MDCT機器の進歩：多列化から新世代CTへ

CTが苦手としている血行動態評価が可能な点も大きい。表1に心臓CTと心エコーの長所と短所を示すが、両モダリティの特徴をよく理解したうえで検査を進めることは実地臨床において不可欠であると思われる。本稿では、まず64列MDCTによる冠動脈狭窄・プラーク性状評価に関する話題に触れた後、冠動脈評価以外への心臓CTの利用について、実際の体験例を基に紹介する。

Key Sentence

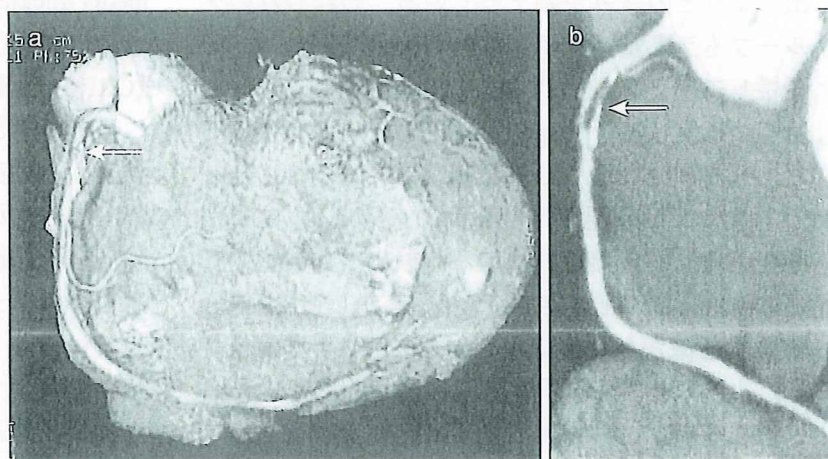
- 心エコー検査は、無侵襲かつ繰り返し行え、血行動態の把握が可能な点で CT に勝る。
- 心エコー検査は、検者の技量に依存すること、超音波の特性から患者の条件により十分な画像が得られにくい場合があることが問題点である。
- 64 列 multidetector computed tomography (MDCT) により、1 回の息止め下に冠動脈評価と同時に心機能評価、心筋評価、弁評価が可能である。
- MDCT により組織コントラストの高い画像が得られ、血栓、腫瘍の評価にも有用である。
- MDCT は造影剤の使用が必要で、被曝の問題もあることから、現時点では原則冠動脈評価を必要とする場合に適応を考慮する。

表1 心臓CT検査、心エコー検査の長所・短所

	64列MDCT	心エコー検査
長所	・1回の息止め下で、冠動脈評価と同時に心筋、弁、心機能評価が可能 ・ワークステーション上で半自動解析が可能 ・撮像が比較的容易で、再現性が高い ・心臓全体を死角なく観察可能で、高い組織コントラストにより心内膜の同定が容易	・無侵襲で、繰り返し施行が可能 ・血行動態の評価が可能 ・造影剤、被曝の問題がない ・時間分解能が高い
短所	・造影剤、被曝の問題がある ・時間分解能が比較的低い ・撮像困難例(高心拍、不整脈多発など)が存在する	・再現性が検者の技量に依存する ・患者条件やアーチファクトの問題から、画質不良な例がある ・冠動脈の形態的評価はできない

図2 64列MDCTによる冠動脈評価

a: volume rendering (VR) 像,
b: curved planar reformation (CPR) 像
MDCTでは、心周期を通じて動きの大きい右冠動脈中間部(#2, #3)にアーチファクトが出現しやすいが、64列MDCTでは画質が改善し輪郭が明瞭に描出される。本例では#1に高度狭窄がみられ、石灰化を伴うブラックが視認できる(矢印)。



■ MDCT による冠動脈狭窄、冠動脈ブラック評価

64列MDCTによる冠動脈狭窄の検出では、中等度の陽性的中率(66~76%)と、高い陰性的中率(97

~99%)が報告されている²⁾。これにはガントリ回転速度の高速化による時間分解能の向上が寄与しており、それまでmotion artifactが多かった右冠動脈も鮮明な画像が得られるようになった(図2)。また、64列MDCTでは内腔のみならず壁の情報、すな

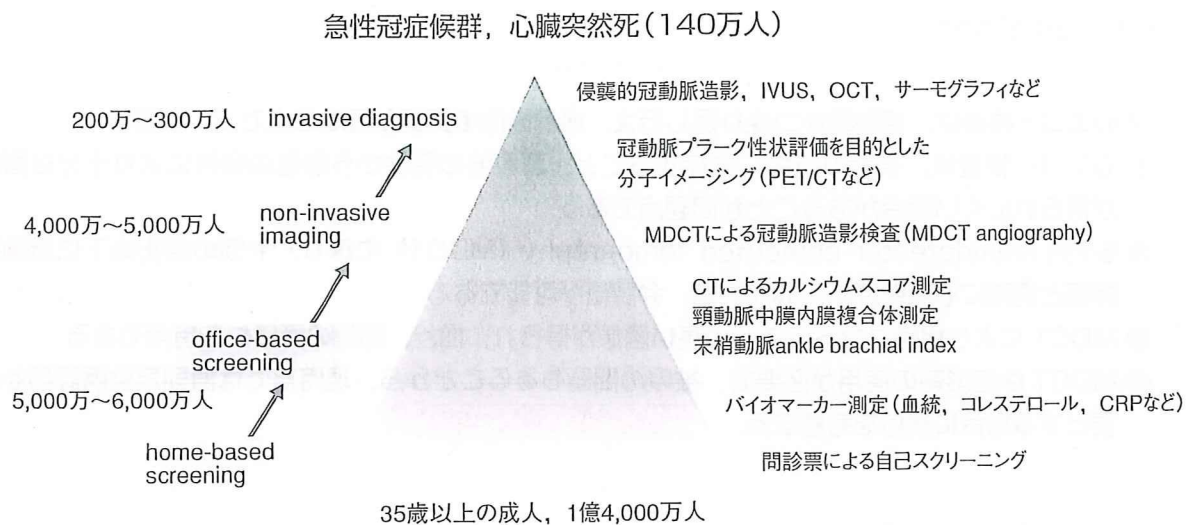


図3 米国における心血管病患者予備群の人口予測と階層化，検出のための手段

IVUS：血管内超音波法，OCT：光干渉断層法，PET：ポジトロン放出型断層撮影法，CT：computed tomography，MDCT：multidetector computed tomography，CRP：C反応性蛋白（文献8）より引用改変）

わち冠動脈プラークについての情報が得られることも大きな利点である。急性冠症候群acute coronary syndrome (ACS)は突然発症し，その責任冠動脈病変は有意狭窄病変でない³⁾ことが明らかになっており，最近では，MDCTでACSに移行しやすい不安定な冠動脈プラーク(vulnerable plaque)を検出しようとの試みが始まっている。われわれのグループも，不安定プラークのCT上の特徴として，陽性リモデリング，CT値の低いlipid-rich plaque，付随する点状石灰化spotty calcificationが重要である⁴⁾と報告したが，最近の臨床試験でも同様の知見が示唆された⁵⁾。現段階で心臓CTの適応は，主に狭心症症例における冠動脈狭窄の検出，非典型的胸痛の鑑別診断に限定されている。しかし造影剤量・被曝量低減がさらに進めば，メタボリック症候群など，リスク因子が多数集積した“高リスク”患者に対する早期冠動脈病変の描出⁶⁾や，描出されたプラークの性状フォローを目的に心臓CTを行うようになる可能性があると考えられる。

■ 心エコー検査により冠動脈硬化高リスク群 検出は可能か

最近の研究から，不安定化した病変(vulnerable plaque)は1ヵ所に局在しているのではなく，動脈系

全体にわたって炎症活性化が生じていることの結果である可能性が示唆され⁷⁾，冠動脈病変はサブクリニカルにしかもびまん性に進行すると推測されている。このような知見を考慮したうえで，冠動脈硬化の高リスク群(vulnerable patient)を検出するための指標の中に，頸動脈内膜中膜複合体厚intima media thickness(IMT)，末梢動脈ankle brachial index(ABI)，高感度C反応性蛋白C-reactive protein(CRP)，冠動脈カルシウムスコアなどを組み込むことが提唱されている(図3)⁸⁾。それでは心エコー検査から，高リスク群を予測し検出することは可能であろうか？64列MDCTの造影剤使用量(0.6～1.0ml/kg)，被曝量(13～21mSv)を考慮すると，無症状例へのスクリーニング的なMDCT使用は，現時点では推奨されない。それゆえ，虚血性心疾患の症状が出現する以前の段階で，心エコー検査から非侵襲的に高リスク群を検出し，MDCT適用の指針とできれば有用であると思われる。

大動脈弁硬化は，粥状動脈硬化と共通したリスク因子を有することが知られ，冠動脈狭窄の存在と関係がある⁹⁾。弁狭窄に至らない軽度の石灰化でも，心血管イベント発生のリスク増加に関与することが示されており¹⁰⁾，弁機能障害が有意でないといえども見過ごすべきではない(図4)。最近のMDCTを用いた研究で，大動脈弁硬化例では冠動

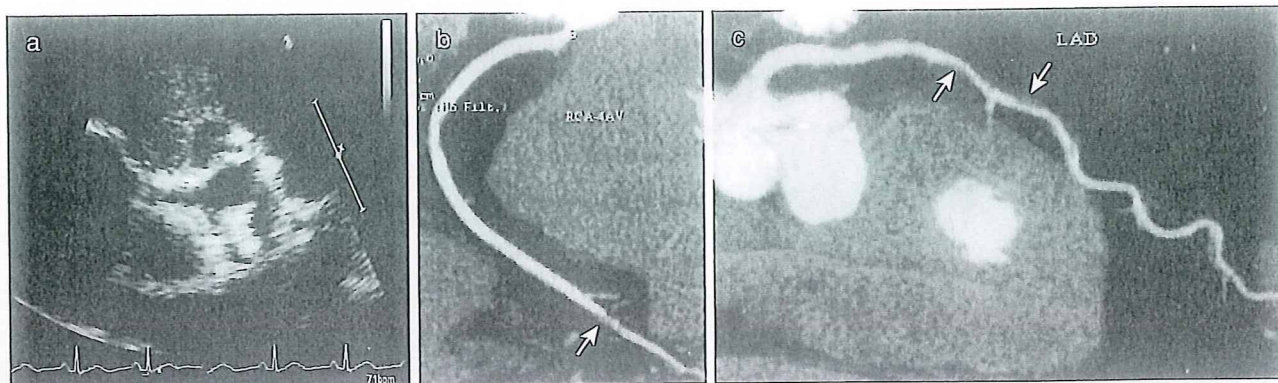


図4 大動脈硬化と冠動脈プラーク

a: 大動脈弁短軸像(心エコー). 弁尖を中心に3尖とも石灰化を認める.

b: 右冠動脈CPR像, c: 左前下行枝CPR像

65歳, 男性. 無症状であるが, メタボリック症候群, 喫煙などのリスク集積があり, 心エコーで大動脈硬化を認めた(弁口面積 1.9cm^2). 本人の希望もありMDCT冠動脈造影を施行したところ, 左右冠動脈に非石灰化プラーク散在を認めた(矢印). プラークの一部には, 陽性リモデリングを示す部位もみられる.

脈プラークを有する頻度が高く, かつプラークが存在するセグメント数も多い¹¹⁾と報告された. 僧帽弁輪部石灰化(同様に動脈硬化の表現の一つであることが指摘されている)と併せて, 進行した冠動脈硬化を反映するマーカーとして注目すべきと考える.

■ MDCT による左室容積・駆出率の評価

心エコーによる左室容積計測には, 心尖部からの直交する2断面によるmodified Simpson法やリアルタイム3次元心エコー法real-time 3D echocardiography (RT3DE) による半自動的測定などがある(図5). 前者はアメリカ心エコー図学会から推奨されている方法であるが, 左室を回転楕円体として仮定する前提があるため, 局所的な瘤があるような症例では誤差を生じる¹²⁾. また, 画像収集(真の心尖部断面が得られているかどうか)や解析時(心内膜の同定)の問題もあり, 過小評価の傾向がある. 最近普及してきたRT3DEは, 容積評価において断層心エコー法よりも過小評価が少なく, 経時的フォローアップの点からも優れている¹³⁾. しかし, 自動心内膜トレースに頼ると肉柱構造と心筋層の区別があいまいになりやすく, とりわけ拡大心で誤差の原因となる. 乳頭筋や肉柱を左室腔内に含めてトレースするように, 意識する必要がある¹⁴⁾. 左室駆出率に関しては, 相対評価であるためいずれの方法でも磁気共鳴像magnetic resonance imag-

ing (MRI) から求めた左室駆出率と良好に一致するとされる.

MDCTによる左室機能評価には, 特別な撮像プロトコルは必要ない. 冠動脈評価のために得たデータを用いて解析が可能である. 当院では専用のワークステーション(TeraRecon Aquarius Net Station)を用い, 心周期の5%ずつで再構成された画像から左室容積, 左室駆出率, 局所機能評価を行っている(図6). 時間分解能(64列MDCTではほぼ100msec)の問題から, 正確な収縮末期を捉えることが困難な例もあるが, 3次元的な定量解析が可能である点で断層心エコーに比べ有利であり, MRIで計測した左室容積との良好な一致性が報告されている¹⁵⁾. さらに, 解像度・組織コントラストともに非常に高く, 心内膜面のトレースに難渋する例がほとんどない. このため再現性が高く, 同一症例におけるフォローアップにも有用であると考えられる.

■ MDCT による壁運動評価, バイアビリティ評価

MDCTでは, 任意の断面で左室を再構成することが可能である. 複数の断面を同期してアニメーション表示を行えば, 左室壁運動が客観的に容易に評価可能である. 64列MDCTによる左室壁運動異常の検出は, MRIとの高い一致性が報告されている¹⁶⁾.

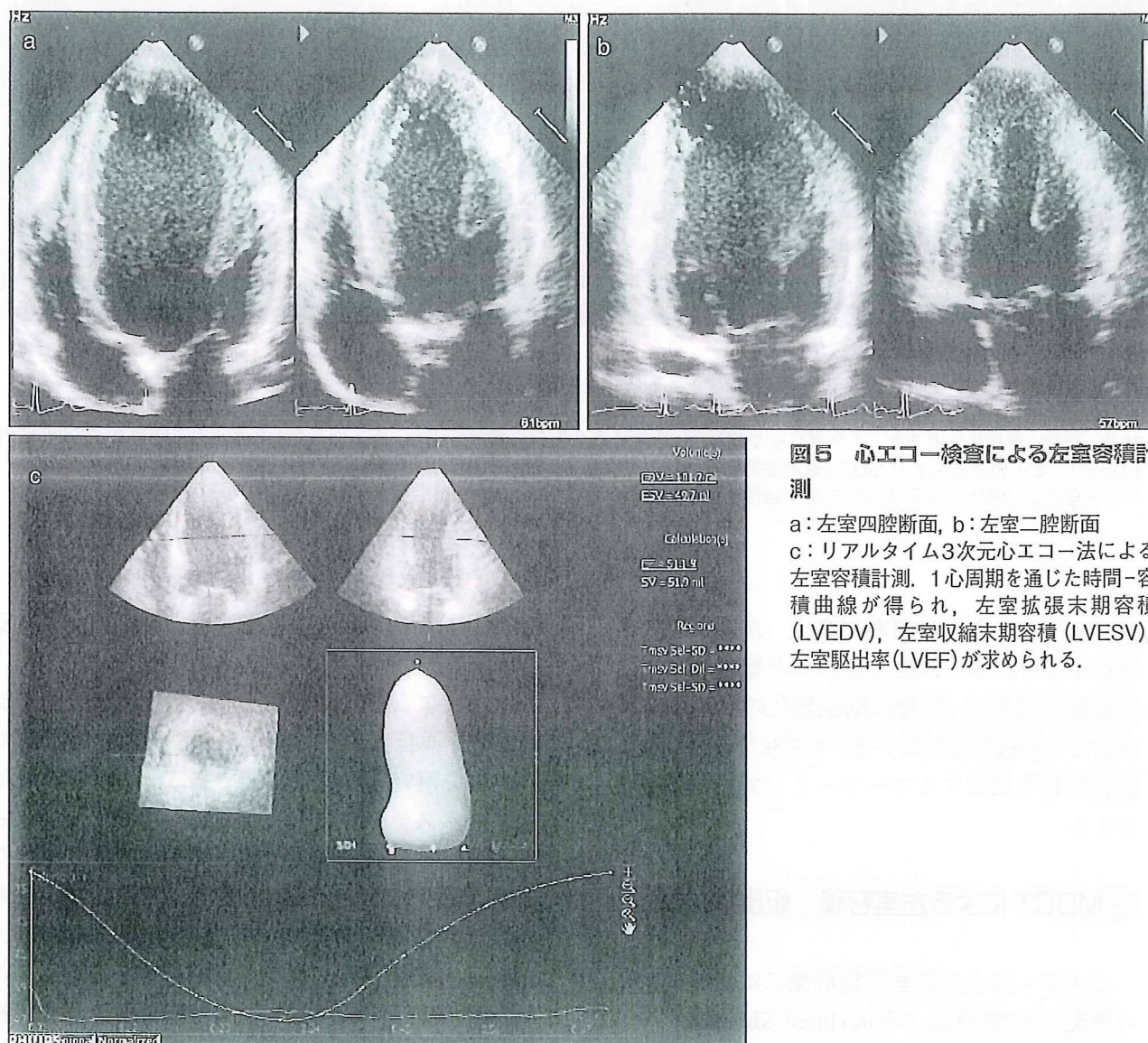


図5 心エコー検査による左室容積計測

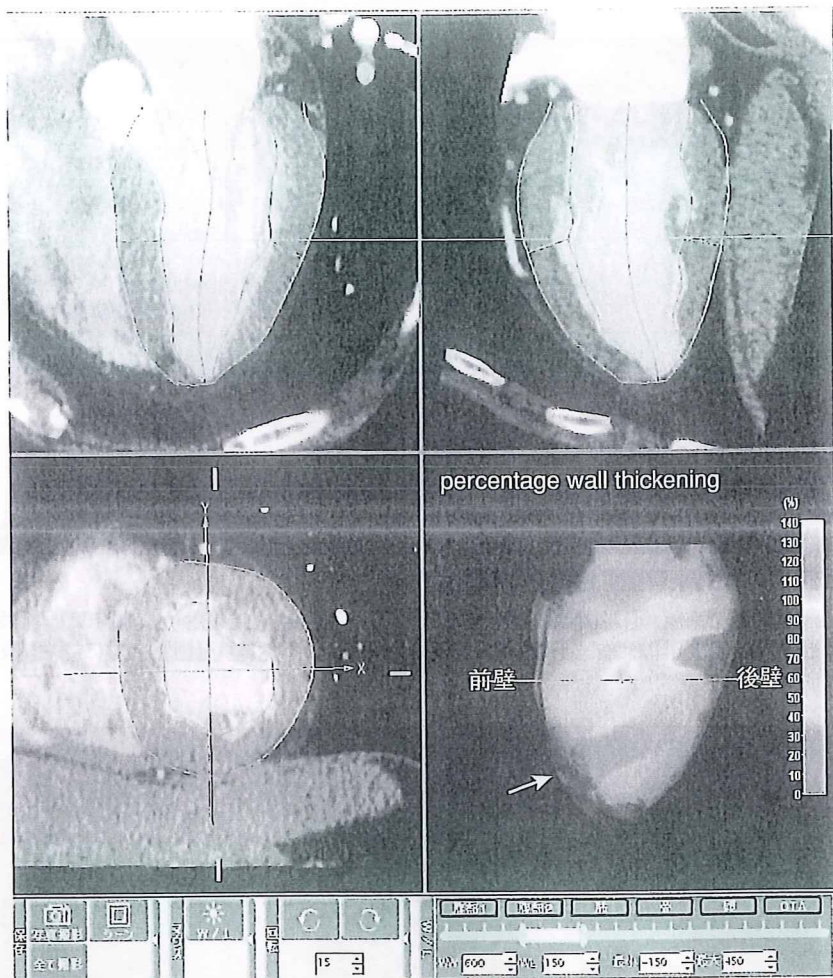
a: 左室四腔断面, b: 左室二腔断面
c: リアルタイム3次元心エコー法による左室容積計測. 1心周期を通じた時間-容積曲線が得られ, 左室拡張末期容積 (LVEDV), 左室収縮末期容積 (LVESV), 左室駆出率 (LVEF) が求められる.

心筋バイアビリティ評価に関しては, 核医学検査とMRIが第一選択であることは間違いないが, MDCTも梗塞心筋の予後評価が可能である¹⁷⁾. 冠動脈が濃染する造影早期相にて, 心筋に造影欠損がみられるのをしばしば経験する(図7). 早期造影欠損early defect (ED)は心筋の血管床減少を意味し心筋灌流障害を描出しているが, 梗塞サイズとは完全には一致しない. そのため造影5~8分後の造影遅延相における残存欠損residual defect (RD), 後期造影late enhancement (LE)の所見を加えて評価を行う. 貫壁性のRDは, 心筋バイアビリティが乏しいことを意味する. ヨード造影剤は正常心筋細胞には取り込まれないが, 梗塞や線維化のために間質が増加した部位では遅延相におけるLEがみられる. LEがあると心腔内の染影に近づき, 心筋が脱

落したように見える(図8). EDがなく, LEのみ認められる場合や, EDがあっても遅延相でRDを示さずLEのみ認められる場合は心筋バイアビリティが期待できる. 問題点として, 被曝量増加, 造影遅延相の画質がMRIほど良好ではないこと, 染影パターンについての診断基準がまだ確定していない点があげられ, 現段階ではバイアビリティ評価を目的としたCT撮像は一般的ではない. しかし, area detector CTなどの新世代CTでは撮像時間減少による被曝量低減が実現するため, CTによる心筋灌流評価は今後さらに発展することが期待できる.

図6 MDCTによる心機能解析 (70歳男性, 陳旧性前壁心筋梗塞)

3断面のmultiplanar reformation (MPR) 画像を用い, ワークステーション上で心内膜, 心外膜のトレースを行う. 局所収縮期壁肥厚率の3Dサーフェス画像から, 心尖部の壁肥厚率低下が明らかである (矢印).



■ MDCT による心筋症評価は, 不整脈源性右室心筋症 (ARVC) が中心である

心筋症の診断では, 心エコーに次ぐ診断法はMRIであり, 形態診断とともに組織性状や心機能が評価できる. しかし, 不整脈源性右室心筋症 arrhythmogenic right ventricular cardiomyopathy (ARVC) においては, MDCTにて微小脂肪の検出が可能であるため診断が簡便かつ確実である. MRIでは, slow flowによるアーチファクトと脂肪の鑑別が困難な場合がある. 病理学的には心外膜側からの脂肪浸潤と心筋の萎縮が主体であり, 右室のみならずときに左室に進展する. これらを反映して, CTでは右室拡大, 右室壁の菲薄化, 右室壁・心室中隔内の脂肪変性, 右室自由壁の凹凸 (scalloping) が認められる¹⁸⁾. 脂肪変性の検出については, 特に単純CTが有用であることは知っておくべきである (図9).

■ MDCT による弁評価

弁膜症診断における画像診断法の優先順位は, まず心エコー検査, 次に心臓MRI, 最後に心臓CTである. 血行動態に関する情報が得られにくく, MDCTの役割は限定的であるが, 同時に冠動脈評価が可能である意義は大きい. 弁膜症症例では左室肥大, 拡大などの複数の要因から, 冠動脈疾患診断にあたっての自覚症状・負荷心電図・perfusion imagingの特異性が低くなるからである. 手術適応となる弁膜症が診断された場合, 軽度~中等度弁膜症患者で狭心痛, 壁運動異常や虚血を疑わせる所見が認められる場合は冠動脈造影が必要となるため, 心臓CTを検討する. 特に, 高齢の大動脈弁狭窄症では冠動脈疾患の合併頻度が高いため, MDCTによる術前検査が有用である. ただし, 心房細動症例や頻拍症例, 冠動脈石灰化著明例 (石灰化スコア>1,000) では冠動脈病変の診断精度に問題が残るため注意が必要である¹⁹⁾.

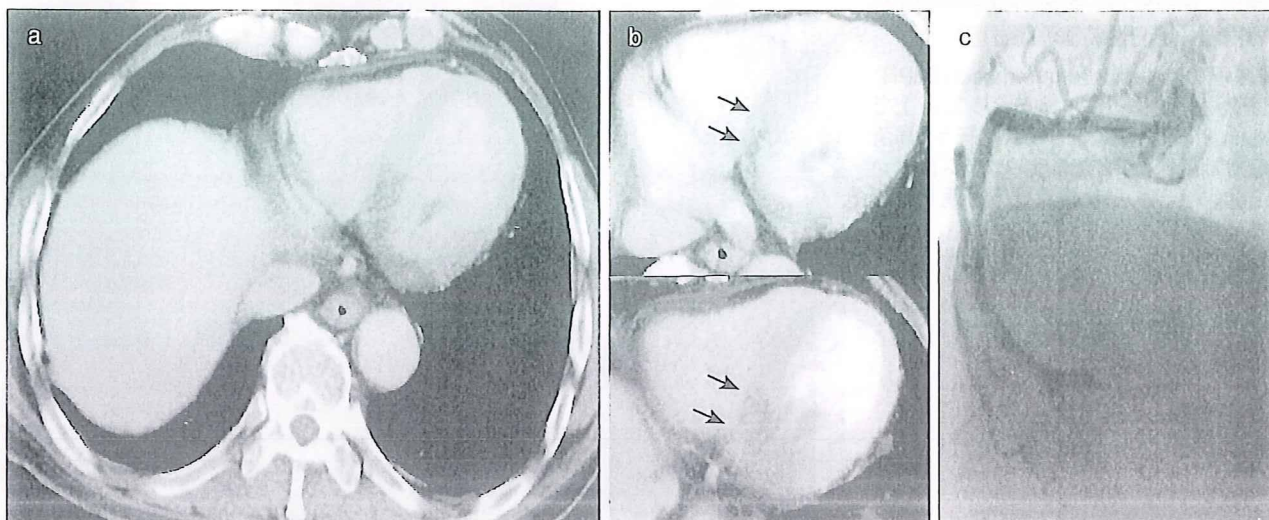


図7 非ST上昇型急性下壁心筋梗塞

胸痛発作で来院，心電図は前胸部誘導でST低下・陰性T波を認めた．心臓CT早期相(a, b)にて下壁～下壁中隔に貫壁性の造影欠損を認めた(矢印)．右室下壁にも造影欠損がみられる．緊急冠動脈造影にて右冠動脈#3の完全閉塞を認め(c)，ステント治療を行った．

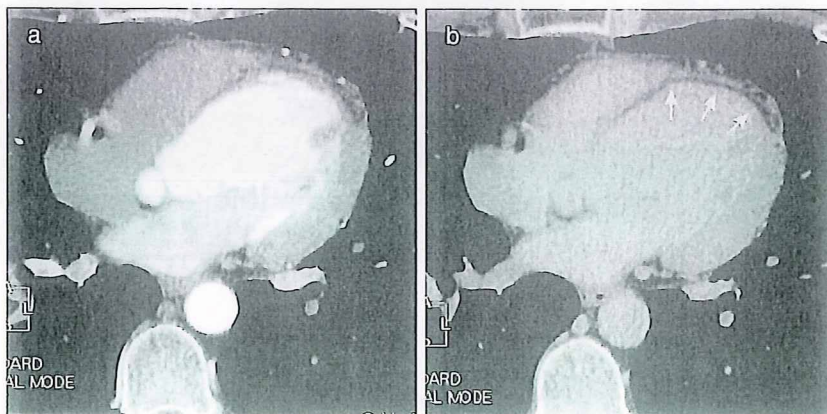


図8 陳旧性前壁心筋梗塞

早期相(a)にて，左前下行枝の支配領域に一致して造影欠損がみられる．造影7分後の遅延造影相(b)で，同部位は残存欠損を示すが，心内膜側は後期造影(矢印)により心筋が脱落したように見える．梗塞後の線維化病巣を反映した所見であり，心筋バイアビリティは乏しいことが予想される．

弁口面積測定(特に大動脈弁狭窄症)に関して，64列MDCTは経食道心エコー検査と比較して高い計測精度と優れた再現性が報告されている²⁰⁾．大動脈弁が最大に開放する適切な時相を選び，double-oblique methodにて弁短軸像を得たのちに，弁口面積をマニュアルトレースする．RR 15～25%の収縮中期で，アーチファクトの少ない最大に開放した像が得られることが多い．大動脈弁二尖弁，四尖弁などの形態異常例で，心エコー検査で評価が困難な場合にもMDCTで正確な弁形態評価が可能である(図10, 11)．しばしば合併する大動脈基部病変の評価が同時に可能というメリットもある²¹⁾．

■ 先天性心疾患の診断に MDCT を活用する

通常，先天性心疾患の診断には心エコー検査と

血管造影検査が用いられるが，前者は十分な観察ができない部位がある点，後者は3次元的な解剖診断ができないといった欠点がある．MDCTでは，連続スライスを追跡することで心臓の解剖学的位置関係の把握が容易である．複雑心奇形である修正大血管転位は，大動脈が右室から，肺動脈が左室から起始し，かつ不一致な心房-心室関係を示す．心室中隔欠損症や肺動脈狭窄などの合併奇形を有することが多い．経胸壁心エコー検査で位置関係が把握しにくい例もしばしば経験されるが，このような場合にはMDCTを考慮する(図12)．単純心奇形では，特に高位静脈洞型の心房中隔欠損症でMDCTが有用である．心エコーでは，通常のアプローチではっきりせず診断に難渋する場合があるが，MDCTでは部分肺静脈還流異常の合併の有無も含めて，診断に有用であると報告されている．

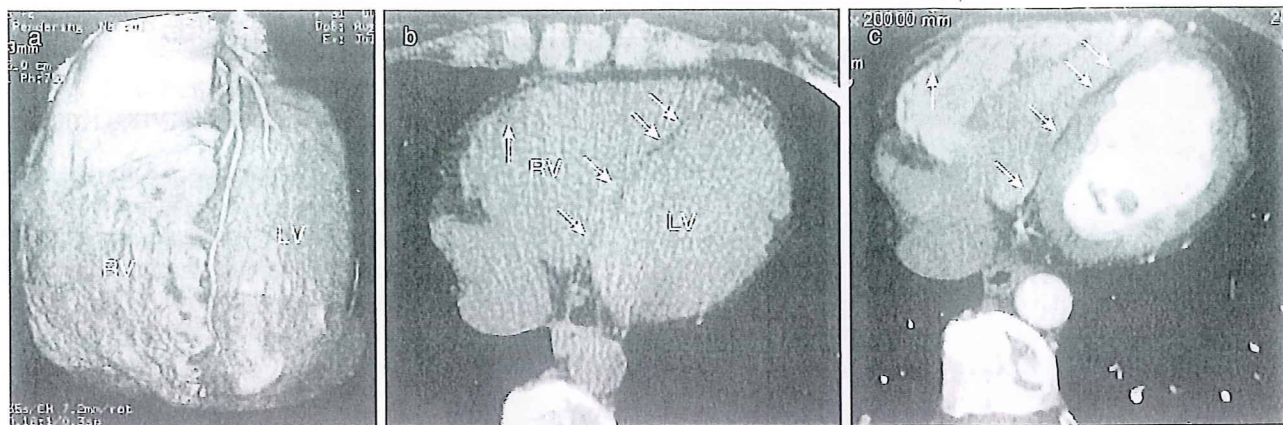


図9 不整脈源性右室心筋症

a: VR像, b: 単純CT横断像, c: 造影CT横断像

右室の拡大を認める。単純CTにて、脂肪変性を示唆する低吸収域が心室中隔、右室自由壁にみられる(矢印)。造影CTから、心室中隔の脂肪変性は右室側のものであることがわかる。

LV: 左室, PA: 肺動脈, RV: 右室

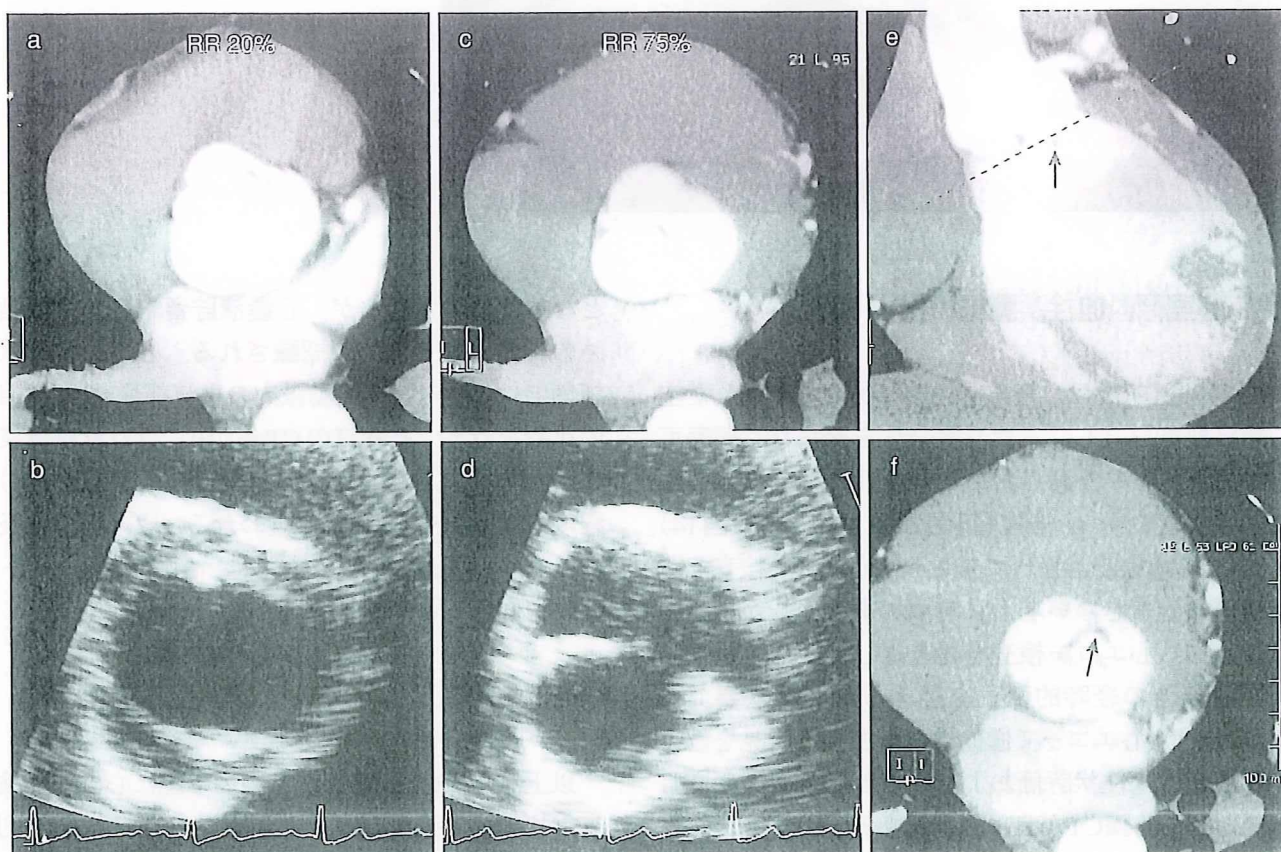


図10 大動脈弁二尖弁

a, b: 収縮中期(最大開放時), c, d: 拡張中期(弁閉鎖時), e: 拡張中期冠状断面, f: e破線レベルでの短軸像(弁口よりも基部)
心エコー上、重症大動脈弁閉鎖不全を指摘されたが、アーチファクトのため詳細な検討が困難であった。MDCTにて弁形態の詳細な観察が可能で、短軸像2時方向にraphe(縫線)を認める。石灰化は認めない。また、拡張中期像でraphe部位を中心に弁がたわんで逸脱していることがわかる(矢印)。

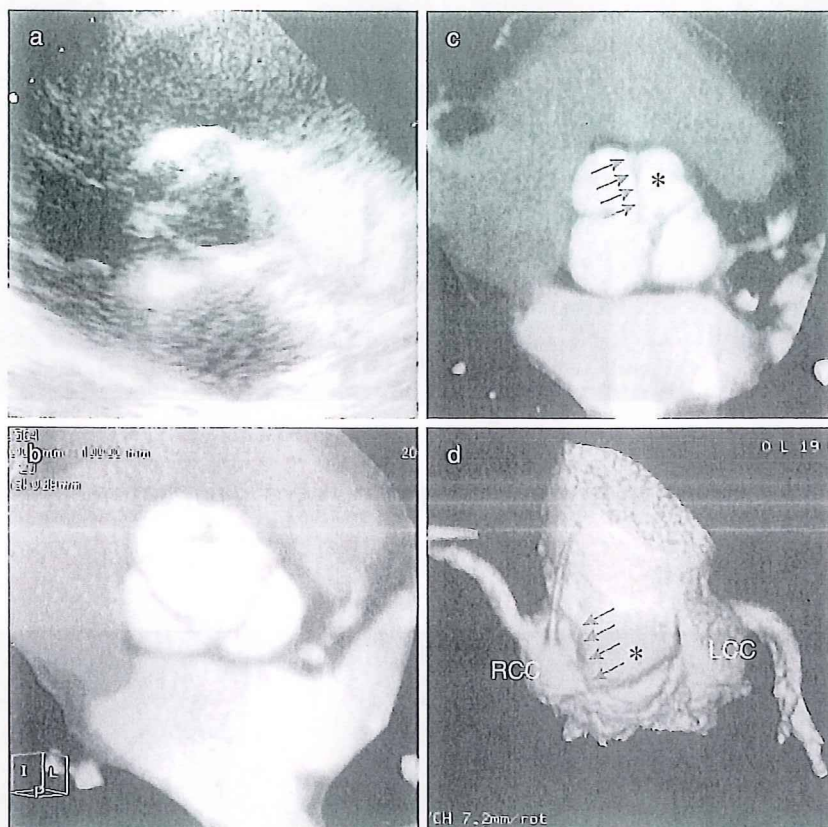


図11 大動脈弁四尖弁

a:大動脈弁短軸像(心エコー)
b, c:大動脈弁短軸像(MDCT)
d:VR像

中等度大動脈弁閉鎖不全症にてフォロー中。心エコーでは確定的でないが、MDCTにて弁が四尖構造であることがわかる(*)。短軸12時方向にraphe(縫線)が認められる(矢印)。

RCC:右冠尖, LCC:左冠尖

■ 心室瘤、血栓、腫瘍の検出・評価

64列MDCTは、等方位性に約0.4mmの優れた空間分解能を有し、また心臓全体を死角なく観察可能であるという利点がある。急性心筋梗塞後の早期合併症のうち、心室瘤(図13)、壁内血栓(図14)はCTでの検出能が優れており、心エコー検査で診断が確定できない場合に有用である。しかしその場合も、心エコー検査を繰り返し行い、血栓や心嚢液貯留の経時的変化を捉えることが重要である。また、心エコーで腫瘍性病変を疑う所見を認めた場合も、性状評価および術前の冠動脈評価を目的として心臓CTが良い適応となる(図15)。原発性心臓腫瘍の診断の際には、病変部位、形状、石灰化の有無、CT値などが参考になる²²⁾。主な心臓腫瘍のCT所見を表2に示す。可動性の高い腫瘍(例えば乳頭状線維弾性腫papillary fibroelastoma)では注意が必要で、時間分解能の問題から小さいものは検出できない可能性がある。

■ 心膜疾患への応用

正常の心膜は、CT上臓側心膜と壁側心膜が一体

となって描出されるが、心嚢液貯留や心外膜下脂肪の蓄積により別個に認識される。心嚢液の性状評価では、心内腔や大動脈内の血液部分とのCT値の比較を行う。心嚢液のCT値が0に近ければ漿液性、CT値が高ければ(20~80 Hounsfield unit (HU)程度)、血性心嚢液などが疑われる。収縮性心膜炎では心膜石灰化の有無とともに、心膜肥厚の程度・分布を知ることができる(図16)。

■ おわりに

以上、心臓CTの利用法について主に心エコー検査と比較する形で述べた。現在の主力である64列MDCTは空間分解能も高く、その能力は単に冠動脈内腔を評価するのみにとどまらない。造影剤使用と被曝の問題があり、短期間に繰り返し行えないという欠点はあるものの、心エコー検査で評価が十分でない場合や、冠動脈評価が必要な場合には考慮すべきである。両モダリティの特徴をよく理解してうまく使いこなすことが、日常臨床の場で今後さらに求められるものと考えている。

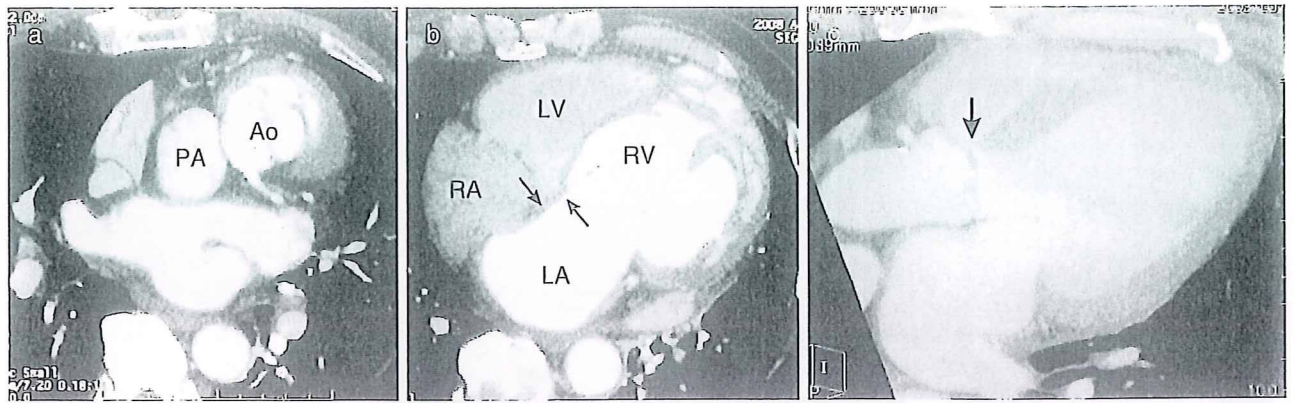


図12 MDCTによる先天性心疾患診断

a, b: 修正大血管転位。大動脈(Ao)が肺動脈(PA)よりも左側前方に位置し、錯位であることがわかる。左側房室弁付着が、右側房室弁付着よりも心尖部方向へ偏位している点(矢印)、左側心室に粗い肉柱が目立つ点などから、心房-心室関係の不一致があることが理解される。

c: 心室中隔欠損症(Ⅱ型)。感染性心内膜炎症例。心エコーでは重症大動脈弁閉鎖不全症を認めたが、逆流ジェットと重なり診断が困難であった。CTにて大動脈弁直下に欠損孔を認める(矢印)。Valsalva洞は保たれている。

LA: 左房, RA: 右房, LV: (解剖学的)左室, RV: (解剖学的)右室



図13 心外膜下心室瘤

a: 心尖部四腔像, b: CT (VR像), c: CT左室短軸断面(僧帽弁レベル)

鈍縁枝(OM)の急性心筋梗塞後2週間で、心エコーで左室瘤を認めた。CTでは冠動脈走行との位置関係が明瞭に理解できる。術中所見では壁側心膜との癒着がみられ、仮性瘤であった。

LAD: 左前下行枝

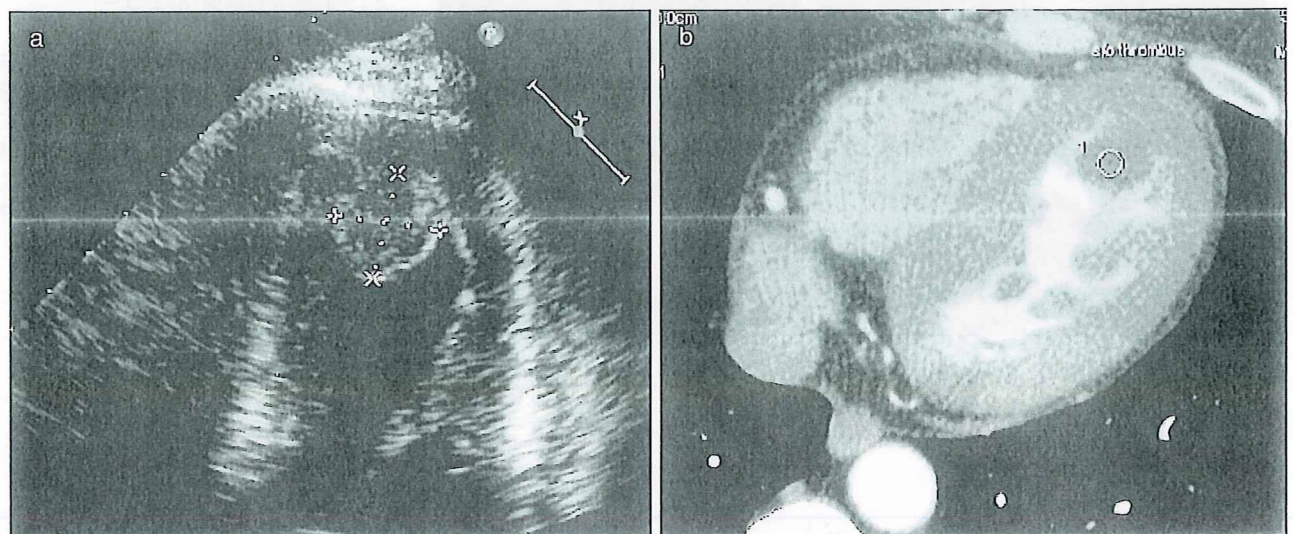


図14 心尖部血栓

a: 心尖部四腔像, b: CT水平断

心尖部やや後壁寄りにみられる腫瘍は、CT値は23HUと低く、新鮮血栓と考えられた。ワルファリン投与にて消失した。



図15 左房粘液腫

a: CT水平断(早期相), b: CT水平断(遅延造影相), c: 摘出した腫瘍
心房中隔に付着する低CT値を示す腫瘤を認める。内部は栄養血管による造影効果が認められる。

表2 心臓腫瘍(原発性)のMDCT所見

		部位	所見
良性腫瘍	粘液腫 myxoma	心腔内	ポリープ状, 低CT値, ときに石灰化
	線維腫 fibroma	心筋内	内部均一, 中心部石灰化
	弾性線維腫 fibroelastoma	弁, 心内膜	ポリープ状, 可動性
	脂肪腫 lipoma	心房内, 心筋内	辺縁整, 低CT値
	血管腫 hemangioma	心腔内, 心筋	冠動脈造影効果の減弱
	リンパ腫 lymphoma	心筋, 心膜などさまざま	多発性, 低CT値
悪性腫瘍	血管肉腫 angiosarcoma	心腔内(特に右房)	“カリフラワー”様, 浸潤性
	線維肉腫 fibrosarcoma	心腔内, 心筋	辺縁不整, 中心壊死
	脂肪肉腫 liposarcoma	心腔内, 心筋	辺縁不整, 脂肪層
	横紋筋肉腫 rhabdomyosarcoma	心腔内, 心筋	浸潤性, 心筋から突出した形状

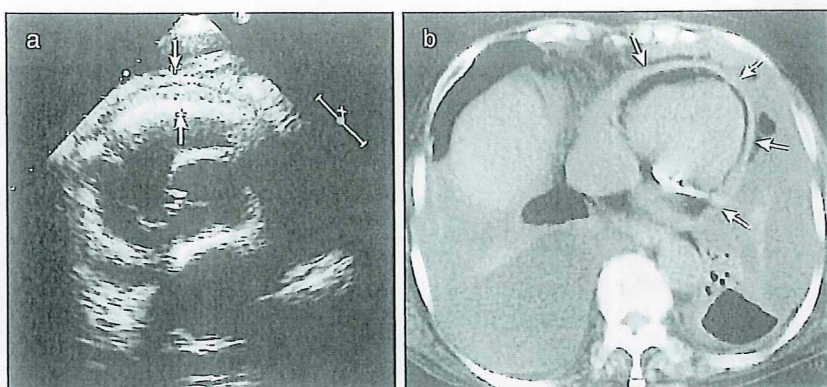


図16 収縮性心膜炎

a: 大動脈弁短軸像(心エコー)

b: 単純CT水平断

ほぼ全周性に心膜肥厚がみられる(矢印)。本例は比較的急速な臨床症状の進行がみられ, 心嚢液貯留を伴い, 心膜の石灰化を欠く。手術所見では, 臓側心膜と壁側心膜は肥厚・癒合して一体化しており弾力に富んだ性状であった。内部に炎症細胞浸潤, 出血を伴っていた。