

図1 冠動脈MDCT像(冠動脈バイパス術後症例)  
バイパスグラフトの開存と吻合部の性状の評価が可能となっている。  
→①大伏在静脈を右冠動脈後下行枝に吻合  
→②左内胸動脈を左前下行枝に吻合  
→③大伏在静脈を左回旋枝後側壁枝に吻合

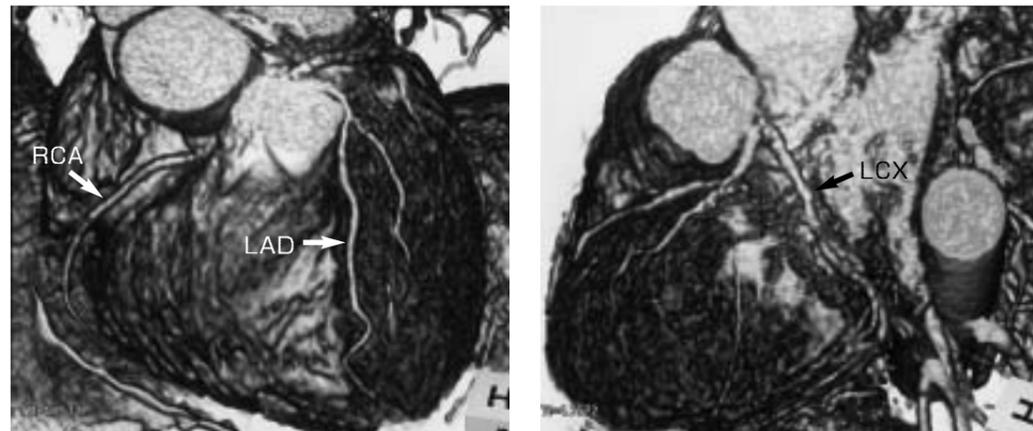
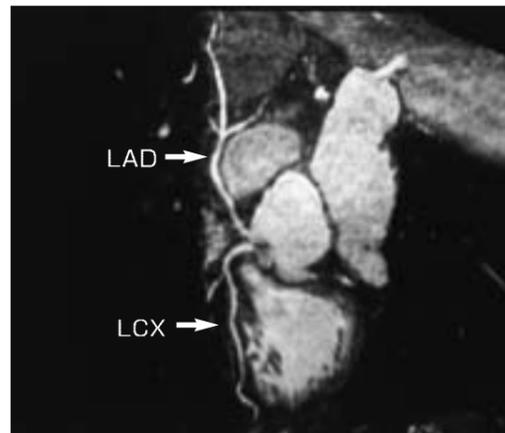


図2 冠動脈MRA (whole heart coronary MRA) 像 (正常例)  
→ RCA 右冠動脈  
→ LAD 左冠動脈前下行枝  
→ LCX 左冠動脈回旋枝



c : curved MPR 像

臨床応用が可能なレベルに達しているといえる。また、冠動脈バイパス術後においても、グラフトの開存や吻合部狭窄の評価が可能となっている(図1)。

このように、低侵襲で冠動脈の狭窄度評価が可能なMDCTであるが、いくつかの問題点もあげられる。第一に、放射線被ばくを生じることである。MDCTの場合は比較的被ばく量が多く、今後被ばく量の低減のための努力が必要と考えられる。第二に、冠動脈の評価には造影剤が必要なことである。腎機能低下や造影剤アレルギーの患者に用いることができない。また使用時には副作用を生じる可能性もある。このほかの問題点として、ある程度の息止めが必要となるため(16列の場合で20~30秒)、息止めのできない患者では実施できないことや、頻脈の患者では画質が低下することなどがあげられる。MDCTでは、MRAとは異なり石灰化の評価が可能であるが、石灰化が高度の場合には、内腔の評価が不可能となることも、今後の課題である(表1, 2)。

## 2. MRA

冠動脈MRAは、過去数十年にわたり、今日までさまざまな撮像法が開発されている。当初は、k空間segmentationを併用したfast gradient echo系のシーケンスによる2D法が主流であった<sup>4),5)</sup>。心電図同期を行い、1回の息止め内にて撮像するため、心拍動や呼吸運動の影響を排除した冠動脈像が得られるが、2D法のため1回の撮像でひとつの断面しか得られず、空間分解能も不十分であった。その後、撮像法の高速度化や改良が進み、1回の撮像で一定のボリュームデータを収集する3D法が開発され、現在は3D法によるデータ収集法が主流となっている。

3D法では、広範囲のデータを一度に収集するため、横隔膜の位置情報を直接モニタするナビゲータ・エコー法などの呼吸同期法が用いられる<sup>6),7)</sup>。呼吸同期により患者は安静時呼吸をしているだけで高分解能のMRA像が得られるが、データの収集効率が悪いと、撮像時間がかかり延長する欠点がある。一方、撮像スラブを主要冠動脈の走行に沿って薄く設定することでデータ収集量を減らし、1回の呼吸停止内で撮像する方法も開発されている。

最近になり、gradient echo sequenceの発展型で定常状態にて画像を収集するsteady-state sequenceが登場し、冠動脈MRAで広く用いられている。この撮像法は、細小血管を高いS/Nとコントラストで描出する特徴が

表1 撮像プロトコル

MDCT	
使用装置	東芝 Aquilion16 (16列)
管電圧	120kV
管電流	100mA
管球回転時間	0.4sec
撮像スライス厚	0.5mm (バイパスグラフト開存評価の場合は1.0mm)
ヘリカルピッチ	3.2, 3.6, etc. (心電図同期における心拍数により自動的に設定される)
心電図同期再構成を使用	
リアル・ブレップ使用 (スキャン開始時間自動設定)	
ROI設定位置は大動脈弓部、設定しきい値は	150 ~ 200HU
造影剤	300mgI 150mL 3.0 ~ 3.5mL/secで注入

## MRA (whole heart coronary MRA)

1. 使用装置 Philips Intera Master (1.5T)  
シーケンス 3D-balanced TFE 法  
SENSE-cardiac coil (5ch)  
TR/TE = 4.6/2.3, FA 90°  
マトリクス 256 × 256 × 80  
FOV 28 × 28 × 12cm  
スライス厚 0.8mm  
心電図同期使用  
realtime navigator echo 法による呼吸同期使用  
SENSE 使用 (SENSE factor = 2)
2. 使用装置 東芝 Excelart XGS (1.5T)  
シーケンス 3D-true SSFP 法  
QD Torso SPEEDER coil (8ch)  
TR/TE = 5.2/2.6, FA 90°  
マトリクス 160 × 256 × 120  
FOV 25 × 32 × 12cm  
スライス厚 1.0mm  
心電図同期使用  
realtime motion correction (RMC) 法による呼吸同期使用

あり、高画質の冠動脈像が得られている<sup>8)</sup>。

現在、最も注目されている冠動脈MRAの撮像法に、whole heart coronary MRAと呼ばれる方法がある(図2)。この方法は、心臓全体を1回でカバーするように撮

表2 冠動脈領域におけるMDCTとMRAの特徴

MDCT	MRA
<p><b>利点</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・空間分解能が高い</li> <li>・短時間で全冠動脈の撮影が可能</li> <li>・石灰化の有無や程度の評価が可能</li> <li>・ステント内評価がある程度可能</li> <li>・CT値の測定によるプラーク性状評価がある程度可能</li> </ul> <p><b>欠点</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ヨード造影剤の使用が必要</li> <li>・放射線被ばく量が多い</li> <li>・15～30秒程度の息止めが必要(息止め困難な患者では実施困難)</li> <li>・不整脈や頻脈の患者では、画質が低下する</li> <li>・石灰化が高度の場合には狭窄度評価が困難</li> </ul>	<p><b>利点</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・造影剤が不要</li> <li>・放射線被ばくがない</li> <li>・呼吸同期を用いる場合、息止めが不要</li> <li>・石灰化が高度の場合でも、狭窄度評価が可能</li> <li>・comprehensive cardiac studyに組み入れ、バイアビリティや壁運動の評価も同時に可能</li> </ul> <p><b>欠点</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・MDCTに比し、空間分解能が低い</li> <li>・撮像時間が長い</li> <li>・石灰化の評価が不可能</li> <li>・ステント内腔の評価が不可能</li> <li>・プラーク性状評価が困難</li> </ul>

像する方法で、Weberらにより最初に報告された<sup>9)</sup>。上述したsteady-state sequenceにパラレル・イメージングという複数のコイルを利用したデータ収集時間短縮法を併用することで、高時間分解能、高空間分解能が実現されている。呼吸同期を併用するが、これにmotion-adaptive gating(MAG)と呼ばれる動き補正法を併用し、精度を向上させている。実際の撮像には10～15分程度の時間を要するが、MDCTと同様に横断像で撮像するため、位置決めの手間がなく、全体の検査時間はかなり短く済む利点がある。またかなり遠位部までの血管の描出・評価が可能である。

虚血性心疾患患者を対象としたMRAにおける冠動脈閉塞・狭窄検出率には、CT同様に従来より多くの報告が見られるが、40～90%とその成績にかなりのばらつきがある<sup>5),7),10),11)</sup>。これには、各々撮像装置や撮像方法、あるいは対象とする冠動脈のセグメントが異なることなどが関与していると推測される。最近、同一機種と同一撮像法(呼吸同期を併用した3D法)を用いた多施設共同研究が行われ、109例での結果が報告されているが<sup>12)</sup>、50%以上狭窄の有無についてカテーテルによる冠動脈造影と比較した結果、全体の正診率が72%であった。このうち左主幹部と3枝病変に対する結果は特に良好であった。パラレル・イメージングとsteady-state sequenceを併用した呼吸停止下3D法では中枢側の冠動脈に限定されるが、sensitivity 75%、specificity

86%、accuracy 83%との成績であり、従来の報告と同程度の診断能であった<sup>13)</sup>。最近のwhole heart coronary MRAにおいては、冠動脈造影との比較で、sensitivity 82%、specificity 91%、accuracy 88%との結果であり、negative predictive valueも90%以上と高く、冠動脈病変のスクリーニングにも応用可能との報告がなされている<sup>14)</sup>。

このように、冠動脈MRAは造影剤を用いず、放射線被ばくの心配がないという大きな利点を有するが、MDCTと比較するといまだに空間分解能が低いのが現状である。またwhole heart coronary MRAの登場により、全冠動脈の評価が可能となったものの、MDCTと比較して撮像時間は長く、検査成功率も十分とはいえない。石灰化に関しては、高度石灰化症例でも内腔の描出が妨げられないので、有用であるが、その一方でステント内腔の評価ができないなどの問題もある(表1, 2)。

## 2. プラーク評価

### 1. MDCT

粥状動脈硬化によるプラークは、血管内腔の狭窄が軽度であっても心筋梗塞を引き起こす可能性が高いため、プラークを検出し危険なプラークを診断することは、虚血性心疾患の予防や治療において非常に重要な

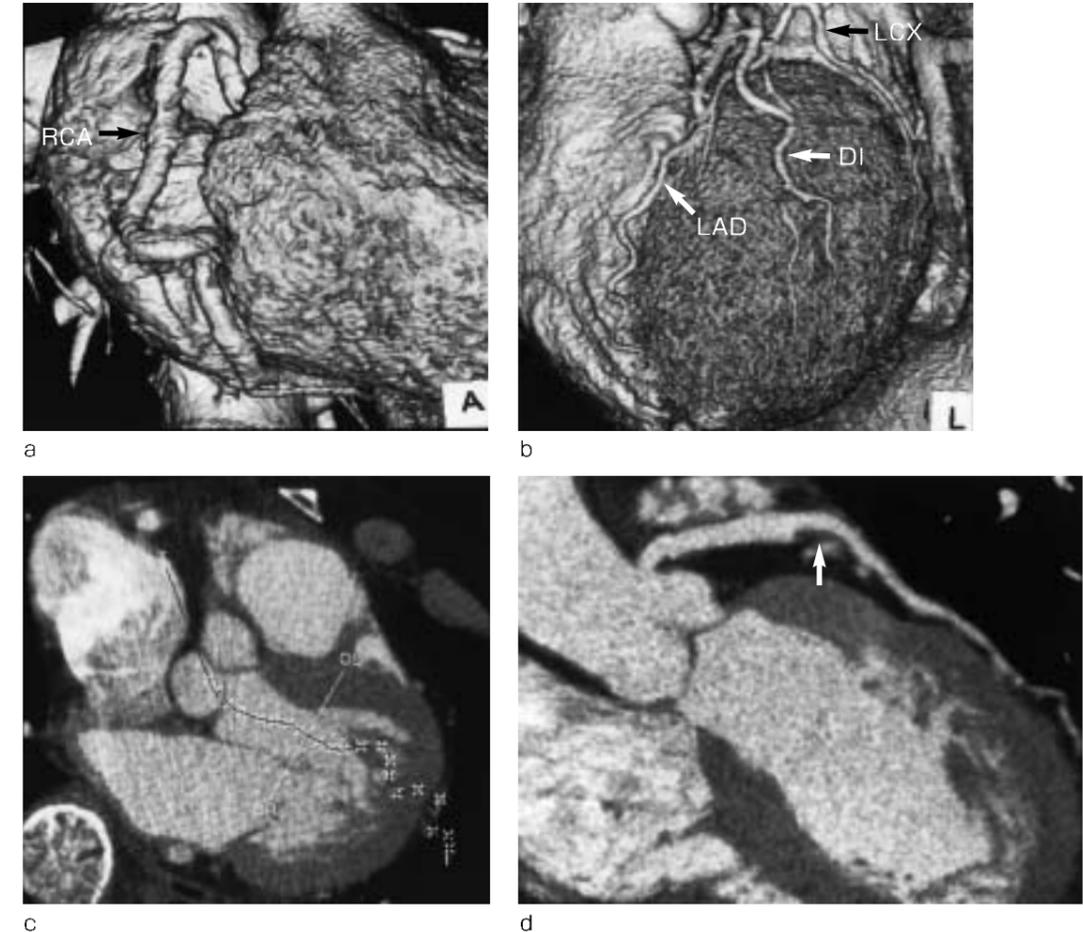


図3 冠動脈MDCT像(プラーク症例)

a, b: volume rendering 像  
明らかな狭窄病変の存在を指摘できない。

→RCA 右冠動脈  
→LAD 左冠動脈前下行枝  
→LCX 左冠動脈回旋枝  
→D1 第1対角枝

c: 左前下行枝の走行に沿って、curved MPR像を作成。

d: 作成されたcurved MPR像; 前下行枝の近位部に、低CT値を示すプラークが認められた(→)。

意味を持つものと考えられる。MDCTにおいては、内腔評価と同時に冠動脈壁も描出されるため、このプラークの診断がある程度可能となっている。破綻しやすいプラーク、いわゆる不安定プラークは、大きな粥腫(lipid rich core)、新生栄養血管の破綻によるプラーク内血腫、薄い被膜、強い炎症細胞浸潤といった要素が関与している。このうちMDCTでは粥腫内の脂肪をターゲットとし、脂肪成分を多く含むプラークは低いCT値を呈することが報告されており<sup>15)</sup>、不安定性評価や薬物

治療効果判定などの臨床応用への可能性が期待されている(図3)。ただし、現在のMDCTでは、プラークの詳細な評価に限界があり、今後さらに空間分解能を向上させるなどの技術開発も必要と考えられる。

### 2. MRI

MRIでのプラーク評価においては、最近では特に頸動脈において実用化がなされており<sup>16)</sup>、その多彩なコントラストから、プラーク内血腫や線維化などの病理学