

## 冠動脈のMRA

石田 正樹<sup>1</sup> 佐久間 肇<sup>2</sup>

**要 旨：**冠動脈のMRAは最近急速な進歩を遂げている。Whole heart coronary MRAを用いると、放射線被曝やヨード造影剤の副作用を心配せずに冠動脈狭窄の評価を行うことができる。また、CTでは診断困難な冠動脈高度石灰化症例においても、冠動脈狭窄を描出できる。冠動脈MRAは非侵襲的な冠動脈狭窄のスクリーニング法として、冠動脈疾患の診断と治療において重要な役割を果たすものと期待される。

(J Jpn Coll Angiol, 2009, 49: 473-480)

**Key words:** coronary artery disease, whole heart coronary MRA, 32ch cardiac coils, 3T MRI, perfusion MRI

### はじめに

心臓MRIと冠動脈MRAの技術的進歩とエビデンスの蓄積により、虚血性心疾患の診断におけるその役割は大きくかわりつつある。冠動脈MRAは、放射線被曝の心配がなく、高いコントラストで冠動脈の形態情報が得られ、冠動脈壁に高度石灰化があっても狭窄診断が妨げられない特長を持つ。また、非造影検査も可能であることから、冠動脈病変のスクリーニングに最適な方法として数年前から注目されてきた。最近では32チャンネル心臓コイルや3T MR装置などの新しい技術の導入によって、撮影時間短縮、検査成功率、画質の向上が得られ、今後は冠動脈病変のスクリーニング法として広く普及してゆくものと思われる。本稿では、冠動脈MRAの進歩と課題について解説し、冠動脈plaquerイメージング、負荷心筋ペーフュージョンMRI、遅延造影MRIについても言及する。

### 冠動脈MRA撮影法

冠動脈MRAによる冠動脈狭窄の診断能に関しては、約10年前にボストンのManningらのグループを中心となつて多施設共同研究が行われ、New England Journal of Medicineにその結果が報告されている<sup>1)</sup>。Target volume

法を用いたこの報告によると、冠動脈3枝病変や左冠動脈主幹部病変などの重篤な冠動脈病変のスクリーニングに関して、MRAは充分な診断能(感度100%、特異度87%)を有することが示されている。しかし、90年代から用いられてきたtarget volume法では、右冠動脈、左冠動脈前下行枝、左回旋枝などの走行にあわせて厚さ数cmの斜位3D撮影断面を設定し、5~10分の呼吸同期撮影を数回繰り返す必要があったため、撮影にかなりの手間と時間がかかり、冠動脈MRAの臨床利用はあまり広がっていなかった。

現在、冠動脈MRAの撮影法としてはwhole heart coronary MRA<sup>2)</sup>が一般的に用いられている。Whole heart coronary MRAは心臓全体の高分解能3D画像を撮影する方法で、1回の3D撮影で冠動脈全領域の画像データが得られる。このため、従来の冠動脈MRAのように右冠動脈、左冠動脈前下行枝、左回旋枝などの位置と走行を撮影前に把握する必要がないので撮影が簡略化され、総検査時間も短縮される。しかし、whole heart coronary MRAの三次元画像データ収集速度は64列マルチスライスCTの数十分の一と遅いため、冠動脈全体の高解像度・心電図同期3D画像を1回の呼吸停止時間内に撮像することは困難である。このためwhole heart coronary MRAでは、ナビゲータエコーによる呼吸同期と心電図同期を組み合わせて、自由呼吸下に撮影を行い呼気位

<sup>1)</sup>King's College London, St Thomas' Hospital, Division of Imaging Sciences

<sup>2)</sup>三重大学医学部附属病院画像診断科

2009年5月21日受理



Sakuma H, et al. J Am Coll Cardiol 2006;48:1946.より引用

**Figure 1** Visualization of a stenosis in the left anterior descending artery with whole-heart coronary MR angiography (1.5T MR imager and 5ch cardiac coils). A and B: Curved multiplanar reconstruction of whole heart coronary MR angiography shows an eccentric stenosis with plaque in the left anterior descending (LAD) artery (arrows). C: Invasive X-ray coronary angiography reveals a stenosis of the proximal LAD artery (56% diameter reduction; arrowhead). (Sakuma H et al. J Am Coll Cardiol, 2006, **48**: 1946)

の画像データだけを収集する方法が用いられている<sup>2)</sup>。ナビゲータエコー法では、右横隔膜部にシリンダー状のRF励起を行って右横隔膜の位置をリアルタイムにモニターし、横隔膜位置が呼気の基準位置から一定の範囲内(± 2.5mmなど)にある場合に限って画像データを収集する。ナビゲータエコー法による横隔膜の位置情報は、呼吸による冠動脈位置変動の補正(adoptive motion correction)にも利用され、より鮮明な冠動脈像を得るのに役立っている。また、高品質の冠動脈MRA画像を得るために、呼吸による動きだけでなく、心臓の収縮・弛緩に伴う動きを抑制することが大変重要である。心拍内において冠動脈の動きが少ないタイミングは患者毎に異なるため、あらかじめ1心拍あたり50~70フレームの高い時間分解能のシネMRIを撮像して冠動脈の動きを観察し、心周期の中で冠動脈の動きのもっとも少ない時間を選んで、心電図同期による画像データの収集を行う。この方法は、patient-specific acquisition window法と呼ばれている。

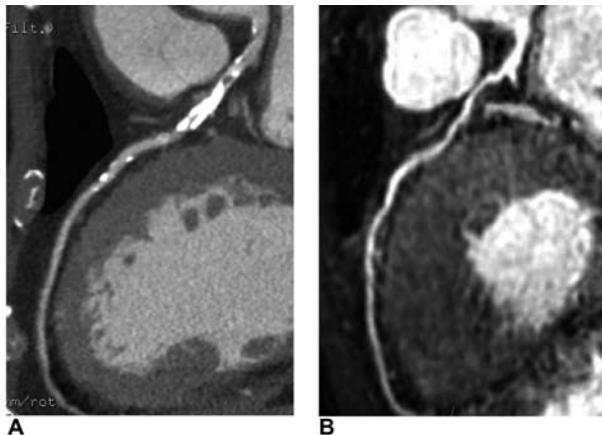
### 1.5T MR装置によるwhole heart coronary MRA

1.5T装置によるwhole heart coronary MRAの最大の利点は、SSFP(steady state free precession)法を使用することによって、造影剤を投与せずにコントラストの高い冠動脈像が得られることである<sup>3)</sup>。5チャンネル心臓用コイルを用いた我々の検討では<sup>4)</sup>、whole heart coronary MRAの平均検査時間は約14分、検査成功率は86%、感度は82%、特異度は90%、正診率は87%、陽性適中率は88%、陰性

適中率は86%であった(Fig. 1)。

冠動脈MRAと造影冠動脈CTAの比較検討も行われている。Keferらはtarget volume法による冠動脈MRAと16列マルチスライスCTによる冠動脈CTAを比較し、両者の診断能の間には差が見られなかつたと報告している<sup>5)</sup>。Pouleurら<sup>6)</sup>は77症例を対象に、1.5T装置 5チャンネル心臓用コイルを用いたwhole heart coronary MRAと40列~64列CTの検査成功率、冠動脈セグメント描出率、冠動脈狭窄検出能を検討した。検査成功率は、冠動脈CTA100%に対しMRA88%、セグメント描出率は冠動脈CTA97%に対しMRA73%であった。また、冠動脈CTAとMRAの感度は94%と100%、特異度は88%と72%、正診率が90%と78%となっており、whole heart coronary MRAの感度は高いが、特異度は中等度との結果が報告されている。このように、5チャンネルコイルと1.5T装置によるwhole heart coronary MRAの冠動脈狭窄診断能は64列MDCTには及ばないと考えられるが、冠動脈の石灰化が強くカルシウムスコアの高い症例では、1.5T装置の冠動脈MRAが64列MDCTよりも優れた狭窄診断能を示す<sup>7)</sup>。5チャンネルコイルと1.5T装置による冠動脈MRAは、CTでは診断困難な冠動脈高度石灰化症例における冠動脈狭窄の診断(Fig. 2)、造影剤が使用できない腎不全症例における冠動脈疾患の診断、放射線被曝による発癌リスクが高い若年者における冠動脈奇形<sup>8)</sup>や川崎病の冠動脈瘤の診断<sup>9)</sup>、冠動脈疾患のスクリーニングなどに役立つ。

5チャンネル心臓用コイルによるwhole heart coronary



**Figure 2** Whole-heart coronary MR angiography acquired with a free breathing, steady-state free precession sequence in a 71-year-old-male with chest pain on effort (1.5T MR imager and 5ch cardiac coils). A: Curved MPR image of contrast-enhanced CT coronary angiography acquired with a 64-slice scanner demonstrated heavy calcification of the arterial wall in the proximal LAD artery, making it difficult to evaluate luminal narrowing of the coronary artery. B: Curved MPR image of free-breathing 3D whole heart coronary MR angiography clearly revealed luminal narrowing in the proximal LAD artery.

MRAの撮影時間は10~20分と長いため、呼吸パターンが不安定な症例では撮影中の横隔膜位置変動によって撮影が成功しない場合があり、検査成功率も85~90%程度にとどまっていた<sup>4, 6)</sup>。最近、32チャンネル心臓用コイルが製品としてリリースされ、冠動脈MRAの診断能や有用性が大きく拡大しようとしている。心臓用32チャンネルコイルは、腹側4×4、背側4×4のコイルエレメントより構成される。従来の5チャンネルコイルでは、1方向にしかSENSEを利用できなかったため、SENSEファクター(撮影高速化の倍率)は2が限界であった。32チャンネルコイルでは、任意の2方向にSENSEを使用できるため、SENSEファクターを4以上に設定し、データ収集時間を従来の5チャンネルコイルの1/2~1/3に短縮することができる。また、32チャンネルコイルは5チャンネルコイルと比較してgeometric factorの点でも優れ、高いSENSEファクターを用いても広い撮影領域で良好な画質が得られる。32チャンネルコイルでは撮影時間の短縮によって、冠動脈MRA検査の成功率が向上する。また、撮影時間・空間解像度・時間分解能などの設定にフレキシビリティーが増すため、高心拍の症例では時間分解能を高めた撮影を行い、拍動によるブレの少ない画像を得ることができる。

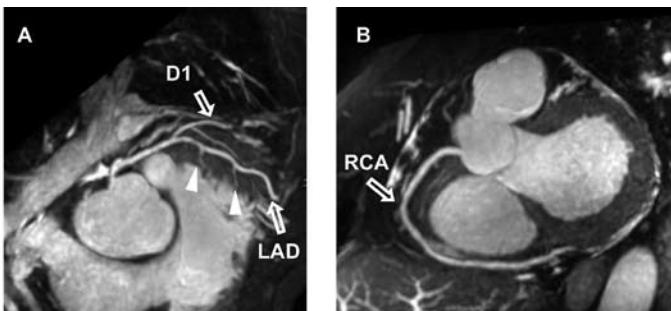
三重大学病院では、冠動脈疾患の疑われる患者62例を対象として、32チャンネルコイルを用いた1.5T装置whole heart coronary MRAの検査成功率と診断能を検討した(Fig. 3)。SENSEファクター4(位相方向=2、スライス方向=2)を使用することにより、平均検査時間は約6分にまで短縮され、検査成功率も100%となっている。ま

た、冠動脈狭窄診断感度、特異度、正診率はそれぞれ85%、96%、89%であり、従来の5チャンネルコイルよりも高い診断能が得られている。62例における平均データ収集時間分解能は74msであるが、これは従来の5チャンネルコイルの1/2であり、従来よりも動きによるぶれの少ない鮮明な冠動脈像が得られている。

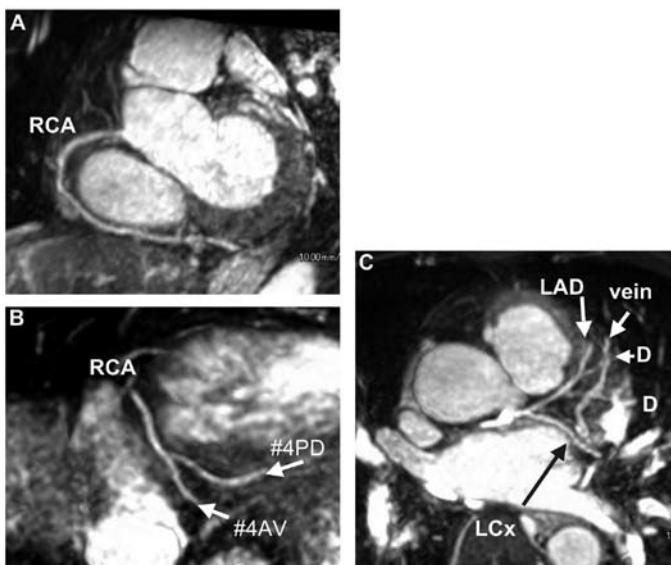
32チャンネルコイルでは5チャンネルコイルと比較してMRAの検査成功率が向上しているが、これには撮影時間短縮が大きく寄与している。MRA撮像開始後早期には撮影患者の呼吸パターンや呼吸の深さは比較的一定で、ナビゲータ効率も高い。しかし、撮影時間が10分を経過すると患者が眠ったり、長時間の臥床による疲労などのため、呼吸パターンが次第に不規則となり、呼吸の深さや右横隔膜の位置も変化していく。32チャンネルコイルでは、患者の呼吸パターンが比較的安定し呼吸同期の効率(navigator efficiency)が高い撮影開始早期に検査を完了できるため、検査成功率が大幅に向かう。また、心拍数が高い患者では、冠動脈静止時間が短くなるが、32チャンネルコイルを用いると30ミリ秒程度の非常に短いデータ収集時間分解能による収縮期データ収集を行うことができるため、βプロッカーや使用することなく良好なwhole heart coronary MRAが得られる。

### 3T MR装置によるwhole heart coronary MRA

3T MR装置では画像データのSN比が高いため、空間解像度の高いMRAを得ることが可能になり、冠動脈遠位部や分枝の描出能が改善するものと期待されている。3T装置による冠動脈MRAの問題点は、RF加温(SAR)の



**Figure 3** Whole-heart coronary MR angiography acquired with a free breathing, steady-state free precession sequence in 75-year-old male with chest pain on effort (1.5T MR imager and 32ch cardiac coils). A and B: Sliding thin slab MIP images clearly depicts the left main coronary artery, LAD artery, and RCA. No significant stenosis was observed on X-ray coronary angiogram in this patient (not shown).



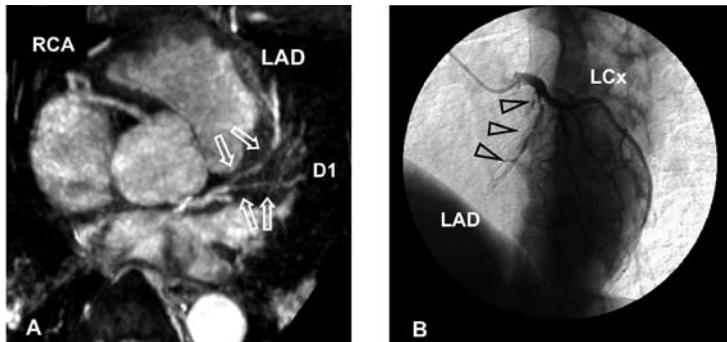
**Figure 4** 3.0 tesla whole-heart coronary MR angiography acquired with a free-breathing 3D-segmented k-space gradient echo sequence with fat saturation and T2 preparation in a subject with a normal coronary artery. A, B and C: Sliding thin slab MIP images clearly depicts the RCA and the left main coronary artery, LAD artery and LCX arteries. At higher field strength, the signal-to-noise ratio of coronary MR angiography is improved.

制約から、高いフリップ角が必要なSSFP法による撮影が難しいことである。このため、3T装置では、MR造影剤とグラディエントエコー(GRE)法を用いた冠動脈MRA撮像が行われる<sup>10)</sup>。GRE法によるwhole heart coronary MRAでは、十分な動脈コントラストを得るためにMR造影剤の投与が必要である。当施設において、3T装置による造影whole heart coronary MRAの画質評価を行ったところ、1.5T装置では描出能の低下する左冠動脈前下行枝遠位部(LAD#8), 対角枝(LAD#9, 10), 回旋枝の分枝(LCX #12)などにおいて画質改善効果が認められた(Fig. 4)。三重大学における31例を対象とした最近の検討では、3T whole heart coronary MRAの冠動脈狭窄検出感度は92%, 特異度は90%, 正診率は90%, positive predictive

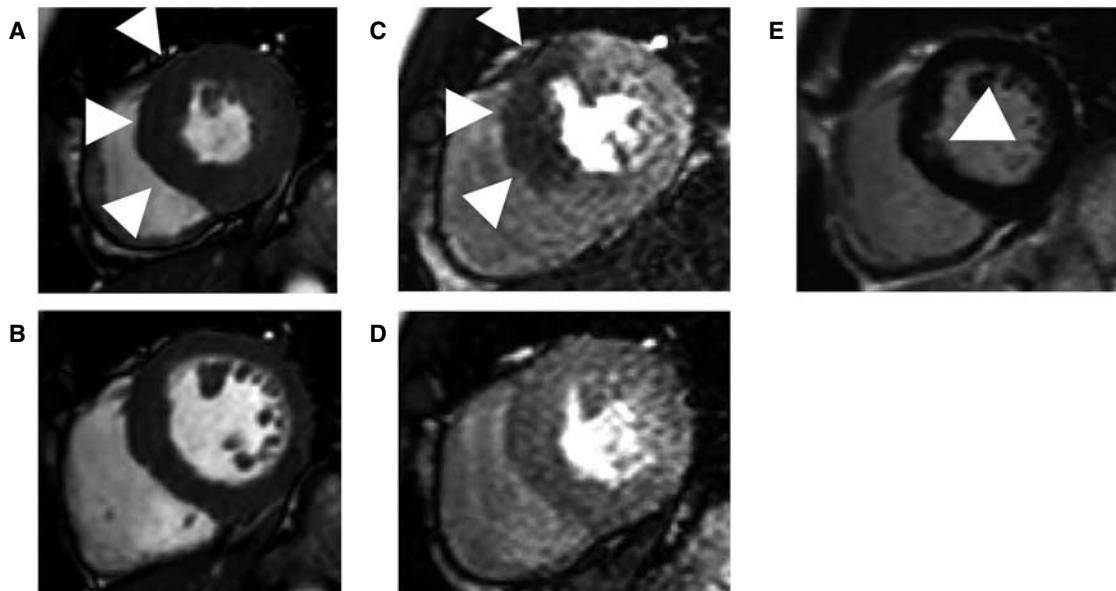
valueは85%, negative predictive valueは94%であり、3T冠動脈MRAは64列CT装置による冠動脈CTAと同程度の冠動脈病変診断能を有することが示唆された(Fig. 5)。32チャンネルコイルと3T装置によるwhole heart coronary MRAは、撮影シーケンスの改善や造影剤投与方法の最適化など今後検討すべき点も残されているが、1.5Tよりも診断精度の高い冠動脈病変の診断法として有用性が期待されている。

### MRIによる冠動脈plaquesの診断

破綻しやすい不安定plaquesを急性冠症候群(ACS)の発症前に非侵襲的に診断し、ACSの発症を未然に防ぐことは冠動脈イメージングの最大の目標となっている。



**Figure 5** Whole-heart coronary MR angiography acquired in a 55-year-old-male with chest pain on effort by using 3.0T MR imager and 6ch cardiac coils. A: Sliding thin slab MIP images clearly depicts severe stenosis of the proximal LAD artery and diagonal branchs (arrows). B: Invasive X-ray coronary angiography reveals a significant stenosis of the proximal LAD artery (arrowheads).



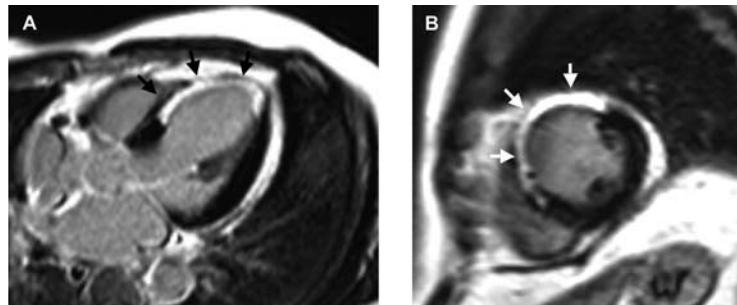
**Figure 6** A 40-year-old-male with chest discomfort on effort. Balanced Turbo-field-echo cine MR images in the diastole (A) and systole (B) demonstrate hypokinesis in the anteroseptal wall. First-pass contrast-enhanced perfusion MR images with ATP stress exhibit a hypoperfused region (arrows) in the anteroseptal wall (C: at rest, D: during stress). 3D late contrast enhanced MR image reveals subendocardial myocardial infarction in the septal wall (E). Hypoperfused region in the myocardium without late contrast enhancement in the anteroseptal wall indicates myocardial ischemia (D).

頸動脈ではすでに、様々なシーケンスを用いてプラークの性状診断を行う報告が多数みられる。冠動脈に関しても、Maintzら<sup>11)</sup>やYeonら<sup>12)</sup>が1.5T MRI装置とinversion recovery法による冠動脈プラーク評価を試み、冠動脈プラークに造影効果が認められたと報告している。3T装置は1.5TよりもSNRが高く、空間解像度を向上できることから、冠動脈プラークの検出や不安定性評価の診断における有用性が期待されている。

### 負荷心筋パーフュージョンMRIによる 心筋虚血評価

冠動脈の形態的な狭窄度は血流に対する機能的な狭窄度とは必ずしも一致しない。冠動脈狭窄に対する血行再建術の目的は、狭窄によって生じる心筋虚血を解消することにあるが、血行再建術を行って予後改善を得るために、心筋虚血の有無と虚血領域の範囲を診断することが重要である<sup>13)</sup>。冠動脈MRAが冠動脈狭窄病変のス

**Figure 7** Late contrast-enhanced MR images in a 45-year-old-male with old myocardial infarction acquired with an inversion recovery 3D Turbo-field-echo sequence using SENSE. A: Horizontal long axis image. B: Short axis image. Late gadolinium-enhanced MR images show transmural high signal intensity in the anteroseptal wall and apex. No myocardial viability was preserved in the infarcted area.



クリーニング検査として用いられ、冠動脈狭窄が検出された場合、血行再建術が必要かどうかを判断するには、負荷検査を行って心筋虚血の有無を判断する必要がある。

負荷心筋パーフュージョンMRIは、ジピリダモールやATPによる薬物負荷中にガドリニウム造影剤をボーラス静注し、造影剤の心筋ファーストパスの動態から冠動脈狭窄による心筋血流予備能低下を描出する診断法である。負荷心筋パーフュージョンMRIは空間分解能が高いため、従来SPECTで診断困難であった心内膜下虚血や冠動脈多枝病変におけるびまん性内膜下虚血も明瞭に描出される(Fig. 6)。当施設では約6年前に、負荷心筋パーフュージョンMRIが負荷心筋SPECTよりも優れた冠動脈有意狭窄病変診断能を示し、多枝病変の診断に優れていることを報告した<sup>14)</sup>が、最近Schwittlerらが行った多施設共同研究においても同様の結果が示されている。負荷心筋パーフュージョンMRIを行えば、負荷心筋SPECTと同等以上の診断能を、より低い検査コストで放射線被曝を受けず得られる。特に冠動脈多枝病変の診断に関しては、負荷心筋パーフュージョンMRIは非常に優れた診断能を示す<sup>15)</sup>。

### 遅延造影MRIによる心筋梗塞の診断

遅延造影MRIは現在最も正確な心筋梗塞の画像診断法である。遅延造影MRIの特長は、造影領域が急性期から慢性期に至るまで病理学的梗塞領域とよく一致し、空間分解能が高いため核医学では評価できなかった右室梗塞<sup>16)</sup>や内膜下梗塞<sup>17)</sup>も明瞭に診断できることである(Fig. 7)。遅延造影MRIの有用性は、心筋梗塞患者の心筋バイアビリティ評価の領域で確立されており、慢性期心筋梗塞の場合では、壊死心筋が左室壁厚の50%を超えた時、生存心筋厚が4mm以下になると、血行再建術

を行っても局所心筋収縮機能の改善を期待できない<sup>18)</sup>。

遅延造影MRIを行うと心電図やエコーで捉えられない心筋梗塞病変も検出される。Kwongらは臨床的に心筋梗塞と診断されていない虚血性心疾患疑い症例に遅延造影MRIを行って予後を追跡した。その結果、遅延造影MRIにおける梗塞の有無は将来の心臓死や重大な心事故の発生と密接な相関を有し、患者の予後予測とリスク層別化に役立つと報告している<sup>19)</sup>。最近スウェーデンにおいて地域住民を無作為に抽出して遅延造影MRIを実施した研究によると、遅延造影MRIを行って初めて梗塞が認められる無症候性の心筋梗塞の頻度は予想以上に高い<sup>20)</sup>。特に、糖尿病患者では心筋梗塞の既往歴のない例の約28%に心筋遅延造影が認められ、こうした無症候性の心筋梗塞を有する症例は心筋遅延造影のない群と比較して予後不良であることが明らかになっている<sup>21)</sup>。糖尿病などの冠動脈疾患リスク群では、心筋梗塞の既往歴や虚血性心疾患の症状がなくても、遅延造影MRIによるスクリーニングを行うことによって、無症候性心筋梗塞を検出し、予後改善に貢献できる可能性がある。

### まとめ

冠動脈MRAの最近の進歩と有用性、今後の課題についてwhole heart coronary MRAを中心に解説した。Whole heart coronary MRAは被曝がなく、造影剤の投与やβブロッカーによる心拍数のコントロールも不要であるため、冠動脈検診にも利用できるのではないかと期待されている。しかし、MRAによる冠動脈検診にはいくつかの問題点が残されている。第1に、冠動脈MRAの撮影手技が心臓CTAよりも難しく、高画質の冠動脈MRAを安定して得るために技術の熟練を要することである。第2に、32チャンネルコイルは冠動脈MRAの撮影時間を短

縮し、高い検査成功率を得る上で不可欠であるが、冠動脈用32チャンネルコイルを備えたMR装置の普及はまだ進んでいないことである。第3に胸痛のない低リスク症例では冠動脈MRAや冠動脈CTの陽性適中率が低いことである。最近では、冠動脈MRAを用いてかなり高い冠動脈病変診断能が報告されているが、このような診断能はX線冠動脈造影が予定された冠動脈疾患疑い例におけるものである。陽性適中率と陰性的中率は、検査前確率により大きく左右される。胸痛のない低リスク症例では検査前確率がかなり低いと予想され、実際には冠動脈正常であるのに、冠動脈MRA冠動脈病変ないと判定され、不必要的X線冠動脈造影検査が行われる例がかなり生じる可能性がある。冠動脈CTAも陽性適中率があまり高くなないので、冠動脈MRAの二次精査法としては適していない。MRAによる冠動脈健診を行う場合には、二次検査法として負荷心筋血流MRI等による心筋虚血の評価を行い、虚血の疑われた場合に限ってX線冠動脈造影を実施するなど、冠動脈狭窄と心筋虚血の両者を考慮した診断プロトコールを策定し、その有効性を検証することが重要である。

## 文 献

- 1) Kim WY, Danias PG, Stuber M et al: Coronary magnetic resonance angiography for the detection of coronary stenoses. *N Eng J Med*, 2001, **345**: 1863–1869.
- 2) Weber OM, Martin AJ, Higgins CB: Whole-heart steady-state free precession coronary artery magnetic resonance angiography. *Magn Reson Med*, 2003, **50**: 1223–1228.
- 3) Sakuma H, Ichikawa Y, Suzawa N et al: Assessment of coronary arteries with total study time of less than 30 minutes by using whole-heart coronary MR angiography. *Radiology*, 2005, **237**: 316–321.
- 4) Sakuma H, Ichikawa Y, Chino S et al: Detection of coronary artery stenosis with whole heart coronary magnetic resonance angiography. *J Am Coll Cardiol*, 2006, **48**: 1946–1950.
- 5) Kefer J, Coche E, Legros G et al: Head-to-head comparison of three-dimensional navigator-gated magnetic resonance imaging and 16-slice computed tomography to detect coronary artery stenosis in patients. *J Am Coll Cardiol*, 2005, **46**: 92–100.
- 6) Pouleur AC, le Polain de Waroux JB, Kefer J et al: Direct Comparison of Whole-Heart Navigator-Gated Magnetic Resonance Coronary Angiography and 40- and 64-Slice Multidetector Row Computed Tomography to Detect the Coronary Artery Stenosis in Patients Scheduled for Conventional Coronary Angiography. *Circ Cardiovasc Imaging*, 2008, **1**: 114–21.
- 7) 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. *AJR Am J Roentgenol*, 2007, **189**: 1326–1332.
- 8) Greil GF, Stuber M, Botnar RM et al: Coronary magnetic resonance angiography in adolescents and young adults with kawasaki disease. *Circulation*, 2002, **105**: 908–911.
- 9) Fayad ZA, Fuster V, Fallon JT et al: Noninvasive *in vivo* human coronary artery lumen and wall imaging using black-blood magnetic resonance imaging. *Circulation*, 2000, **102**: 506–510.
- 10) Liu X, Bi X, Huang J et al: Contrast-enhanced whole-heart coronary magnetic resonance angiography at 3.0 T: comparison with steady-state free precession technique at 1.5 T. *Invest Radiol*, 2008, **43**: 663–668.
- 11) Maintz D, Ozgun M, Hoffmeier A et al: Selective coronary artery plaque visualization and differentiation by contrast-enhanced inversion prepared MRI. *Eur Heart J*, 2006, **27**: 1732–1736.
- 12) Yeon SB, Sabir A, Clouse M et al: Delayed-enhancement cardiovascular magnetic resonance coronary artery wall imaging: comparison with multislice computed tomography and quantitative coronary angiography. *J Am Coll Cardiol*, 2007, **50**: 441–447.
- 13) Kereiakes DJ, Teirstein PS, Sarembock IJ et al: The truth and consequences of the COURAGE trial. *J Am Coll Cardiol*, 2007, **50**: 1598–1603.
- 14) Ishida N, Sakuma H, Motoyasu M et al: Dynamic contrast enhanced MR imaging of the myocardium. Correlation with quantitative coronary angiography in patients without myocardial infarction. *Radiology*, 2003, **229**: 209–216.
- 15) Schwitter J, Wacker CM, van Rossum AC et al: MR-IMPACT: comparison of perfusion-cardiac magnetic resonance with single-photon emission computed tomography for the detection of coronary artery disease in a multicentre, multi-vendor, randomized trial. *Eur Heart J*, 2008, **29**: 480–489.
- 16) Larose E, Ganz P, Reynolds HG et al: Right ventricular dysfunction assessed by cardiovascular magnetic resonance imaging predicts poor prognosis late after myocardial infarction. *J Am Coll Cardiol*, 2007, **49**: 855–862.
- 17) Wagner A, Mahrholdt H, Holly TA et al: Contrast-enhanced MRI and Routine Single Photon Emission Computed Tomography (SPECT) Perfusion Imaging for Detection of Sub-endocardial Myocardial Infarcts: an Imaging Study. *Lancet*,

- 2003, **361**: 374–379.
- 18) Ichikawa Y, Sakuma H, Suzawa N et al: Late Gadolinium-Enhanced MR Imaging in Acute and Chronic Myocardial Infarction: Improved Prediction of Regional Myocardial Contraction in Chronic State by Measuring Thickness of Non-Enhanced Myocardium. *J Am Coll Cardiol*, 2005, **45**: 901–909.
- 19) Kwong RY, Chan AK, Brown KA et al: Impact of unrecognized myocardial scar detected by cardiac magnetic resonance imaging on event-free survival in patients presenting with signs or symptoms of coronary artery disease. *Circulation*,
- 2006, **113**: 2733–2743.
- 20) Barbier CE, Bjerner T, Johansson L et al: Myocardial scars more frequent than expected: magnetic resonance imaging detects potential risk group. *J Am Coll Cardiol*, 2006, **48**: 765–771.
- 21) Kwong RY, Sattar H, Wu H et al: Incidence and prognostic implication of unrecognized myocardial scar characterized by cardiac magnetic resonance in diabetic patients without clinical evidence of myocardial infarction. *Circulation*, 2008, **118**: 1011–1020.

## Magnetic Resonance Coronary Angiography: Present Clinical Applications and Future Perspectives

Masaki Ishida<sup>1</sup> and Hajime Sakuma<sup>2</sup>

<sup>1</sup>King's College London, St Thomas' Hospital, Division of Imaging Sciences, London, UK

<sup>2</sup>Mie University Hospital, Department of Radiology, Mie, Japan

**Key words:** coronary artery disease, whole heart coronary MRA, 32ch cardiac coils, 3T MRI, perfusion MRI

In the past several years, the image quality, volume coverage, acquisition speed, and arterial contrast of 3D coronary MR angiography have been substantially improved with the use of steady-state free precession sequences and parallel imaging techniques, permitting the acquisition of high-quality 3D MR angiograms encompassing the entire range of coronary arteries within a reasonably short imaging time. Free-breathing, whole-heart coronary MR angiography is currently the most commonly used method that can provide visualization of all three major coronary arteries within a single 3D acquisition. Coronary MR angiography is preferable to coronary CT angiography for the detection of coronary artery disease, because it does not expose patients to radiation or necessitate a rapid injection of iodinated contrast material. Coronary MR angiography is useful in demonstrating luminal narrowing of the coronary artery due to heavy calcification in the atherosclerotic plaque. With further improvements of MR imaging techniques and establishment of a standardized study protocol, coronary MR angiography will play a pivotal role in screening patients with coronary artery disease.

(J Jpn Coll Angiol, 2009, **49**: 473–480)