

明日から実践するための心臓 MRI 標準化プロトコール

佐久間 肇¹, 高瀬 伸一¹, 石田 七香², 永田 幹紀²,
竹田 寛²

¹三重大学医学部附属病院中央放射線部 ²同画像診断科

はじめに

心臓 MRI 検査は、シネ MRI による左右心室機能と局所壁運動の診断、遅延造影 MRI による梗塞心筋の描出と心筋バイアビリティの評価、負荷心筋パーフェュージョン MRI による心筋虚血の診断などに高い有用性を示す¹⁾。最近では、心疾患の予後判定にも高い診断能をもつことが明らかとなり、心臓 MRI は循環器診療において不可欠な検査法となりつつある。しかし、心臓 MRI では検査目的に応じて様々な撮影法を組み合わせて実施する必要があるため、検査手技は心臓 CT よりも複雑になりやすく、我が国において心臓 MRI をルーチン検査として実施している施設は限られている。本稿では、SCMR による 2007 年心臓 MRI 標準化プロトコール (http://www.scmr.org/documents/scmr_protocols_2007.pdf) に基づいた、心臓 MRI 検査法を提示し、代表的な心疾患における心臓 MRI の診断的意義について解説する。

心臓 MRI 標準化モジュール

SCMR の心臓 MRI 標準化プロトコールでは、シネ MRI、遅延造影 MRI、心筋パーフェュージョン MRI などの撮影法をモジュールとして標準化し、疾患や検査目的に応じて必要なモジュールを組み合わせる考え方がとられて

いる。まず、各モジュールの撮影法について述べる。

1. 形態・機能評価モジュール

1. スカウト像 (体軸横断, 冠状断, 矢状断)
2. 心臓全体をカバーする体軸横断像
 - スライス厚 8~10 mm. SSFP 法又は HASTE 法
3. 二腔長軸像 (垂直長軸像)
 - 体軸横断像を用い、僧帽弁輪の中心と心尖部を結ぶスライスを設定 (Fig. 1).
 - SSFP シネ MRI 又は HASTE 法 (著者は SSFP シネ MRI を推奨).
4. 水平長軸像
 - 二腔長軸像を用い、僧帽弁輪の中心と心尖部を結ぶスライスを設定.
 - SSFP シネ MRI 又は HASTE 法 (著者は SSFP シネ MRI を推奨).
5. 左室短軸シネ MRI
 - 水平長軸像を用い、長軸に垂直なスライスを僧帽弁から心尖部まで設定 (Fig. 2).
 - SSFP シネ MRI. 2 倍速の平行レイメーキング使用が望ましい.
 - スライス厚 6~8 mm, ギャップ 2 mm. (機種によってはスライス厚 8~10 mm, ギャップ 0 mm).
 - シネ MRI のデータ収集時間分解能 < 45 ms.
6. 四腔長軸シネ MRI

キーワード cardiac magnetic resonance, myocardial infarction, coronary artery disease, late gadolinium enhanced MRI, myocardial perfusion

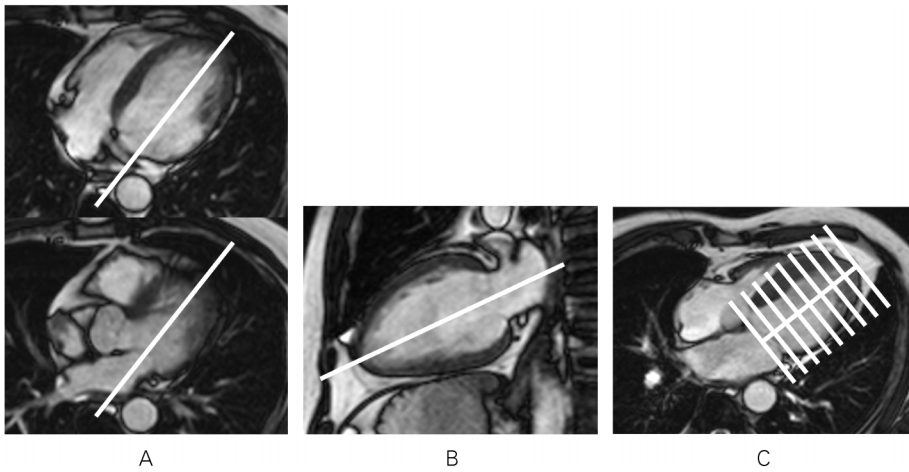


Fig. 1. Definition of two chamber long axis slice on transaxial image (A), horizontal long axis slice on two chamber long axis image (B) and continuous short axis slices on horizontal long axis image (C) of the left ventricle.

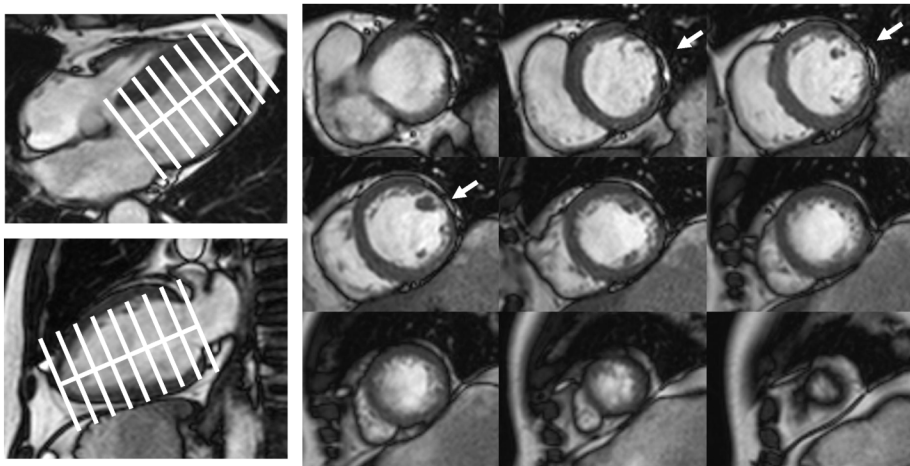


Fig. 2. Short axis images of the left ventricle from apex to base which were defined on long axis images of the left ventricle. Thinning of the lateral wall is observed in this patient with old myocardial infarction (arrows).

- 左室短軸像を用い、左室の中心と右室縁角部を結ぶスライスを設定.

7. 三腔長軸シネMRI

- 心基部寄りの左室短軸像を用い、左室流出

路と後側壁を通るスライスを設定.

II. 心筋パーフュージョンモジュール

1. 形態・機能評価モジュールの水平長軸像・二腔長軸像を位置決め利用.

2007年8月20日受理

別刷請求先 〒514-8507 三重県津市江戸橋2-174 三重大学医学部附属病院中央放射線部 佐久間 肇

2. サチュレーション・リカバリ・パーフュージョン MRI.

- GRE 法, GRE-EPI ハイブリッド法, SSFP 法のいずれか.
- 左室短軸像.
- スライス厚 8 mm, 面内空間分解能 < 2~3 mm, 画像収集時間 < 125 ms.
- 1 心拍ごとに画像収集を行うことが望ましい (著者は 2 心拍ごとを使用).
- 2 倍速の平行イメージングの使用が望ましい.

3. 造影剤 0.05~0.1 mmol/kg, 3~5 ml/s, 生食 30 ml を 3~5 ml/s フラッシュ.

4. 造影剤注入直後 (造影剤が心筋に到達する前) から呼吸停止を指示. 造影剤が左室心筋を通過するまで 40~50 心拍にわたって画像収集する.

II-A 心筋パーフュージョンにおける負荷に関する補足説明

1. 冠動脈狭窄による心筋虚血の診断にはアデノシンや ATP 負荷が必要

- 心筋の細動脈を拡張し, 正常心筋血流を 3~4 倍に増加.
- アデノシンや ATP の作用は約 30 秒で消失し, ジピリダモール負荷より安全.
- カフェインはアデノシンや ATP の効果を著しく阻害することに注意.
- 検査 24 時間前からカフェインを含むコーヒー, 紅茶, コーラなどを禁止.

2. アデノシン・ATP 負荷の禁忌

- 気管支喘息, 気管支痙攣.
- 2 度・3 度房室ブロック.
- 洞性徐脈 (HR < 45 bpm).
- 低血圧 (< 90 mmHg).

3. アデノシン・ATP 負荷の副作用

- 軽微な副作用: 顔面紅潮, 胸痛, 動悸.
- 重篤な副作用: 房室ブロック, 低血圧, 洞性頻脈, 気管支痙攣.

4. 負荷検査の際に準備すべき機材

- モニター装置 (血圧計, 心電図, 自覚症状を知らせるアラーム).

- MR 装置から患者を迅速に避難させる準備と訓練.

- 除細動器.

- β -blocker, ニトログリセリン, アミノフィリン, 一般的な救急医薬品.

5. 静脈ルート内のアデノシンや ATP が造影剤や生食でフラッシュされて一度に心臓に達すると房室ブロックや一過性心停止を来す. MR 造影剤の静注ルートと反対側の腕に薬物負荷用の静脈ルートを確保すること.

III. 遅延造影モジュール

1. Gd 造影剤 0.15~0.2 mmol/kg を注入後, 少なくとも 10 分待つ.

2. 造影剤投与量が少ない (< 0.15 mmol/kg), 造影 10 分以降では十分な病変コントラストが得られないことがあるので, 待ち時間を 10 分より短くする.

3. 拡張期静止時間に 2D インバージョン・リカバリ GRE 法を撮影する.

4. 平行イメージングを用いた 3D 法も, 心筋梗塞などの診断では撮影時間が短く有効.

5. シネ MRI と同じ撮像断面 (左室短軸像, 左室長軸像).

6. シネ MRI と同じスライス厚: 6~8 mm.

7. 面内空間分解能 < 1.4~1.8 mm.

8. 心電図上 R-R 間隔内のデータ収集時間は < 200 ms.

9. 正常心筋の信号強度がゼロとなるようにインバージョン・タイムを設定する. フェーズ・センシティブ法では固定した T_1 値を用いる.

10. 通常, 2 心拍到 1 回画像データ収集するが, 徐脈の場合には 1 心拍ごとに変更する. 頻脈や不整脈の場合には 3 心拍ごとに設定する.

IV. T_2 強調 MRI モジュール

1. ダブルインバージョンリカバリ法によるブ

ラックブラッド・FSE.

2. 必ず造影前に撮像.
3. 拡張中期に画像データ収集.
4. スライス厚 8 mm.
5. シネ MRI 所見に基づいてスライスを選択する.
 - 二腔長軸像.
 - 四腔長軸像.
 - 心尖部寄・左室中央・心基部寄の左室短軸 3 スライス.

各種撮影法の有用性

I. シネ MRI

シネ MRI は患者の体型や肺気腫の影響を受けずに任意のスライス断面の画像が得られ、撮影者による診断能の差が少なく再現性が高いなどの特長をもち、最も正確な心室機能と局所壁運動の診断法である²⁾。左室機能の評価では、心基部から心尖部までの連続した短軸シネ MRI から、シンプソン法を用いて左室容積、左室駆出率や左室重量を計測する。シネ MRI 拡張期と収縮期における局所心筋壁厚から求められる収縮期壁厚変化率 (systolic wall thick-

ening) は、局所心筋収縮能の指標として広く用いられている。シネ MRI は右室機能の診断にも有用である。右室は左室よりも三次元的に複雑な形態を呈しているため、心エコーや心臓カテーテル法による右室容積計測の精度には限界がある。右室全体を含む連続した体軸横断スライスでシネ MRI を撮影すると、右室容積や右室収縮機能を正確に評価できる。

II. 遅延造影 MRI

遅延造影 MRI では急性期から慢性期までの心筋梗塞が高信号を示す (Fig. 3)。遅延造影 MRI の特長は、病理学的な心筋梗塞領域を示すこと³⁾、空間分解能が高いため核医学では正確に評価できなかった心内膜下梗塞や右室梗塞を明瞭に描出できることである⁴⁾。遅延造影 MRI は心筋梗塞後患者における心筋バイアリティ診断に高い有用性を示し、慢性期心筋梗塞では梗塞心筋の内膜側から外膜側方向への広がり (transmural extent) が 50% を超えるか (Fig. 4)、残存生存心筋の厚みが 5 mm 未満になると、機能回復は期待できないとされている^{5)~7)}。また、遅延造影 MRI は冠動脈疾患が疑われる症例の予後評価に高い診断能を有することが、最近の研究で明らかとなっている⁸⁾。

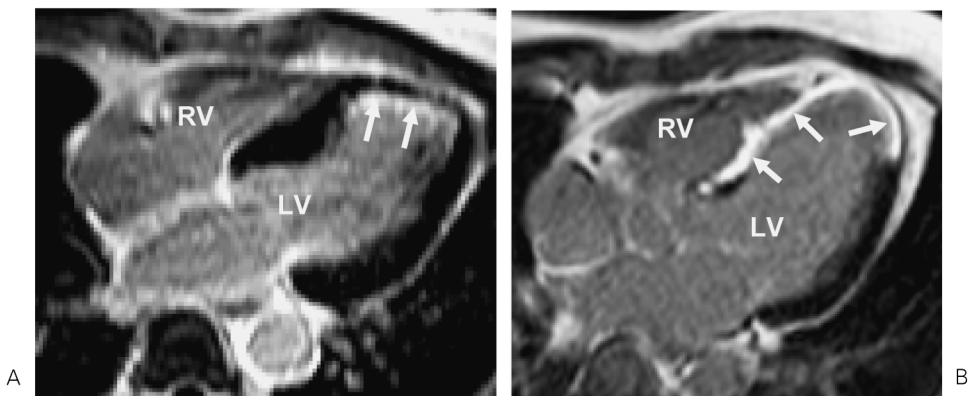


Fig. 3. A : Subendocardial infarction, B : Transmural infarction
Late gadolinium enhanced MR images in a patient with subendocardial myocardial infarction (A) and in a patient with transmural myocardial infarction (B).

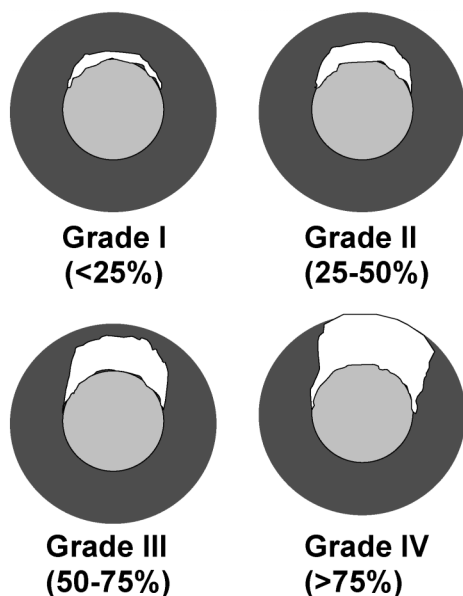


Fig. 4. Transmural extent of myocardial infarction on late gadolinium enhanced MRI. Functional recovery of infarct area can not be expected when transmural extent exceeded 75%.

遅延造影 MRI は虚血性心筋症と非虚血性心筋症の鑑別に有用であり⁹⁾、心不全患者ではまず実施すべき検査法になりつつある。冠動脈疾患による虚血性心筋症では心内膜下に遅延造影が認められるが、拡張型心筋症や拡張相の肥大型心筋症では、心筋変性・線維化に伴う遅延造影は心筋中層に認められることが多い。

遅延造影 MRI は肥大型心筋症¹⁰⁾やサルコイドーシス¹¹⁾、アミロイドーシス¹²⁾などの診断にも役立つ。肥大型心筋症における遅延造影は、心筋線維化を反映する所見と考えられており、中隔の右室付着部に多く、心筋梗塞と異なり内膜下中心の分布を示さない。アミロイドーシスにおける遅延造影はアミロイド沈着による細胞外液分画の増加を反映して、左室や右室の内膜下や心房壁などに遅延造影が認められる。心房や心房中隔に肥厚と遅延造影が見られる場合には、アミロイドーシスが強く疑われる。

III. T₂強調 MRI

T₂強調画像における心筋高信号は心筋の浮腫を反映し、心筋梗塞における心筋浮腫の範囲は遅延造影 MRI で示される梗塞領域よりも広い (Fig. 5)。梗塞後の心筋浮腫は発症後一か月前後まで認められる。遅延造影 MRI では急性期と慢性期の梗塞を区別できないが、遅延造影 MRI と T₂強調 MRI を組み合わせることにより急性心筋梗塞と陈旧性心筋梗塞を鑑別できる¹³⁾。心筋の T₂強調画像の読影では、心内膜付近の血液による高信号を異常と判定しないように注意する。急性心筋梗塞における浮腫は一般に貫壁性であり、心外側の心筋にまで及ぶことがほとんどである。T₂強調 MRI の読影では、心外膜側の心筋に浮腫が認められるか否かを判定すると良い。

IV. 安静時心筋パーフェュージョン MRI

心筋血流には自己調節機能が働いており、冠動脈狭窄がかなり高度にならないと (>90%) 安静時の心筋血流は低下しない。したがって、狭心症などの診断では負荷が不可欠であり、安静時心筋パーフェュージョン MRI だけを実施する意義は乏しい。負荷を行わない安静時パーフェュージョン MRI が役立つのは、急性心筋梗塞後の心筋組織性状診断の領域である。急性心筋梗塞患者に冠動脈インターベンションが実施された場合、冠動脈閉塞は回復しても心筋への血流回復が十分に得られない場合がある (no reflow phenomenon)。このような、心筋組織の毛細血管が破綻して心筋組織への血流が失われた状態は microvascular obstruction と呼ばれている。Microvascular obstruction の領域は、安静時心筋パーフェュージョン MRI では欠損像として、遅延造影 MRI では梗塞心筋の中心部の造影不良の低信号の領域として認められる。Microvascular obstruction が心筋の内膜側だけでなく外膜側心筋まで深く認められる場合、局所心筋の機能回復は期待できない。

V. 負荷心筋パーフェュージョン MRI

冠動脈有意狭窄によって生じる心筋虚血の診

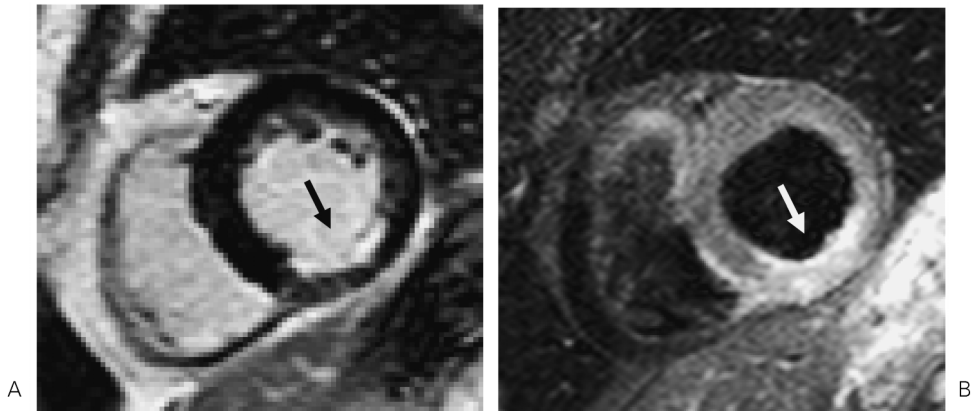


Fig. 5. A : Late gadolinium enhanced MRI, B : Black blood T2 weighted MRI
Late gadolinium enhanced MRI and black blood T2 weighted MRI in a patients with inferior acute myocardial infarction. Late gadolinium enhanced MRI demonstrates presence of infarcted myocardium and T2 weighted MRI indicates myocardial edema. Subendocardial infarction is observed on late gadolinium enhanced MRI (A) . On T2 weighted MRI, extent of myocardial edema is larger than that of late gadolinium enhanced MRI, and myocardial edema shows transmural distribution (B).

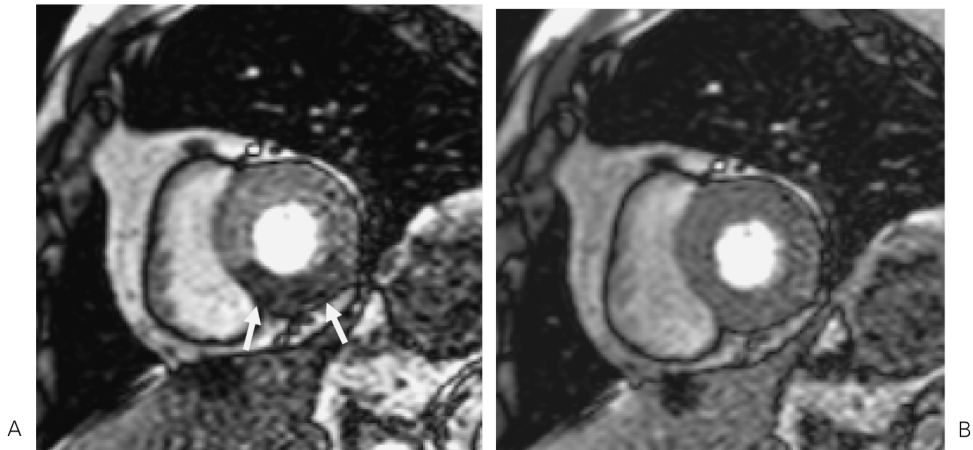


Fig. 6. A : ATP stress, B : Resting state
Stress and rest myocardial perfusion MRI in a patient with significant stenosis in the right coronary artery. Myocardial ischemia is observed in inferior wall on stress perfusion MRI (A). No definitive abnormality is observed on rest perfusion MRI.

断には、アデノシンや ATP による負荷心筋
パーフュージョン MRI が用いられる (Fig.
6). 心筋パーフュージョン MRI は空間解像度

が高いため、心内膜下虚血や冠動脈三枝病変に
おけるびまん性内膜下虚血も明瞭に描出され
る. 心筋パーフュージョン MRI による冠動脈

Table 1. Sensitivity and Specificity of Stress and Rest Myocardial Perfusion MRI in Representative Previous Studies

	n	Sensitivity (%)	Specificity (%)
Al-Saadi N. Circulation 2000 ; 101 : 1379	20	90	83
Schwitzer J. Circulation 2001 ; 103 : 2230	48	87	85
Ishida N. Radiology 2003 ; 229 : 209	104	84	82
Nagel E. Circulation. 2003 ; 108 : 432	84	88	90
Sakuma H. AJR 2005 ; 185 : 95	40	70	88
Plein S. Radiology 2005 ; 235 : 423	102	88	82
Ishida M. Radiology 2005 ; 237 : 458	49	87*	88*
Klem I. J Am Coll Cardiol 2006 ; 47 : 1630	100	89*	87*
Cury RC. Radiology 2006 ; 240 : 39	47	87*	89*

* Combined with late gadolinium enhanced MRI

有意狭窄診断能は負荷心筋 SPECT よりも高く、N-13 NH3 負荷心筋血流 PET とほぼ同等との報告がある^{14),15)}。負荷心筋パーフェュージョン MRI は狭心症患者における有意冠動脈狭窄と心筋虚血の診断に役立つ (Table 1)。また、心筋梗塞後患者の治療では、梗塞心筋に加えて虚血心筋があるか、虚血心筋がある場合にはその分布を診断することが重要である。負荷心筋血流 MRI と遅延造影 MRI を組み合わせると、梗塞心筋・虚血心筋・正常心筋を判別できる。

心筋パーフェュージョン MRI の定量解析は、診断の客観性を向上させるだけでなく、びまん性心筋血流異常をとらえる上で重要である。最近では、安静時・負荷時心筋血流 MRI を定量的に画像解析して、心筋血流の絶対値 (ml/min/g) の分布を表示するソフトウェアも開発されている。心筋パーフェュージョン MRI の定量解析は、冠微小循環障害や内皮機能障害の評価、各種治療薬の効果判定など、これまで心筋

血流 PET を必要とした領域に心臓 MRI の適応を広げるものと期待される。

疾患別の心臓 MRI プロトコール

代表的な心疾患における心臓 MRI 検査法を、モジュールの組み合わせとして提示し、心臓 MRI 撮影法の特長と臨床有用性について解説を加える。

I. 発症後 1 か月以降の心筋梗塞

左室機能と心筋バイアビリティ診断を行う場合、

1. 「形態・機能評価モジュール」で左室機能と左室壁運動異常を評価。
2. 「遅延造影モジュール」で心筋梗塞の有無と広がり診断。

上記に加えて虚血心筋の有無と範囲を診断したい場合、

1. 「形態・機能評価モジュール」で左室機能と左室壁運動異常を評価。
2. 負荷+安静「心筋パーフェュージョンモジュール」による心筋虚血診断。
3. 「遅延造影モジュール」で心筋梗塞の有無と広がり診断。

II. 急性心筋梗塞

1. 「形態・機能評価モジュール」で左室機能と左室壁運動異常を評価。
2. 「T₂強調 MRI モジュール」で心筋浮腫を診断。特にシネ MRI において壁運動異常のみられる領域では、T₂強調 MRI の撮影を推奨。
3. 安静時「心筋パーフェュージョンモジュール」で心筋血流異常や微小循環閉塞 (microvascular obstruction) を診断。
4. 「遅延造影モジュール」で心筋梗塞の範囲とバイアビリティを評価。

III. 狭心症。冠動脈狭窄症例における虚血の有無の診断

1. 「形態・機能評価モジュール」で左室機能と左室壁運動異常を評価。

2. 負荷+安静「心筋パーフュージョンモジュール」で心筋虚血を診断.
3. 「遅延造影モジュール」で心筋梗塞の有無と広がり診断.

Ⅳ. 心筋症, 心筋炎, その他の心筋疾患

1. 「形態・機能評価モジュール」で心室・心房の形態と機能の評価.

HCM では, 左室流出路狭窄の有無を三腔長軸シネ MRI で診断.

2. 「遅延造影モジュール」で心筋線維化を評価.

急性期病変が疑われ心筋壊死や浮腫がある場合には, 次のプロトコールを使用.

1. 「形態・機能評価モジュール」
2. 「T₂強調 MRI モジュール」で心筋壊死や浮腫をみる.

Table 2. Sensitivity and Specificity of Whole Heart Coronary MRA and Multi-slice CT in Detecting Patients with Significant Coronary Artery Disease

Whole heart coronary MRA		
	Sensitivity	Specificity
Sakuma H. J Am Coll Cardiol 2006 ; 48 : 1946	78%	96%
Jahnke C. Eur Heart J 2005 ; 26 : 2313	78%	91%
MDCT (meta-analysis)		
	Sensitivity	Specificity
16 slice CT (n = 825) Hamon M, JACC 2006 ; 48 : 1896	76%	95%
40-64 slice CT (n = 536) Hamon M, JACC 2006 ; 48 : 1896	87%	96%

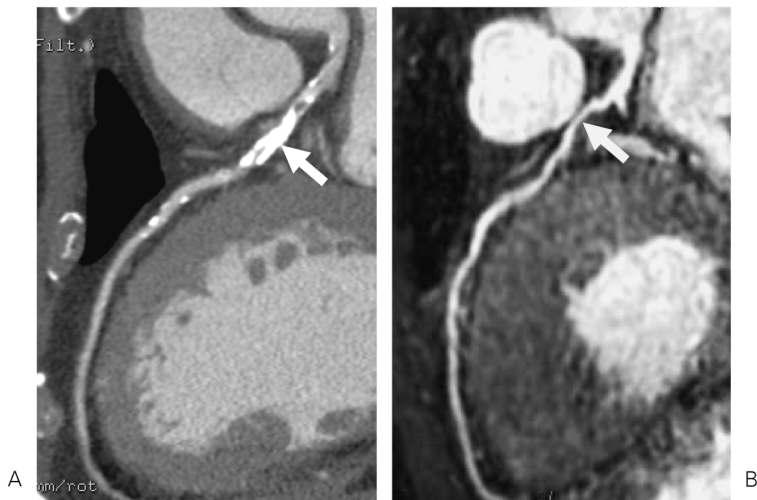


Fig. 7. A : CT coronary angiography, B : Whole heart coronary MRA Curved reformatted images of CT coronary angiography acquired with 64-slice multi-slice CT and of whole heart coronary MR angiography in a 71-year-old patient with effort chest pain. On CT coronary angiography (A), heavy calcification of atherosclerotic plaque is observed in the proximal left anterior descending artery (LAD), making assessment of luminal narrowing impossible. On whole heart coronary MR angiography (B), coronary arterial lumen is well visualized and moderate stenosis in the proximal LAD is observed.

3. 合併する虚血の有無を評価する場合は、負荷+安静「心筋パーフュージョンモジュール」を追加。

4. 「遅延造影モジュール」

V. 不整脈源性右室心筋変性症 (ARVC)

1. 「形態・機能評価モジュール」(必須)

—スライス厚 5~6 mm

- 右室流出路を含む右室全体をカバーする体軸横断ないし斜位体軸横断面。
- 右室長軸像が有用な場合もある。
- 左室短軸シネ MRI も撮影し、左室と右室の機能解析を行う。

2. 「T₂強調 MRI モジュール」(オプション)

- 脂肪抑制併用・および脂肪抑制なしの体軸横断又は斜位体軸横断像を撮影。

3. 「遅延造影モジュール」(オプション)

- 右室心筋の信号強度がゼロとなるように T₁ 値を調節する。

#シネ MRI により、右室拡大、右室壁運動異常、心室瘤などの ARVC 診断基準の一つを診断できる可能性がある。右室壁の脂肪沈着や遅延造影の有無は ARVC 診断基準項目には含まれないことに注意。

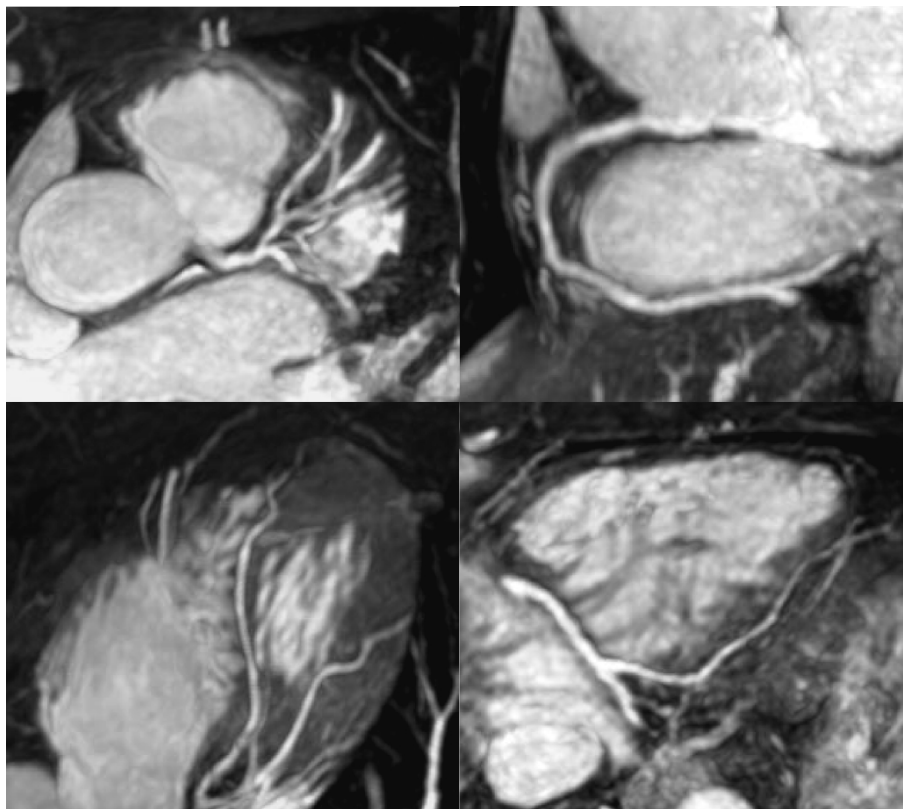


Fig. 8. Whole heart coronary MRA acquired with 32-channel cardiac coils (prototype) in a normal subject. Imaging time is considerably reduced to 2 min with use of 32-channel cardiac coils and high sense factor. Notice that distal segments of the coronary arteries are well visualized due to reduced respiratory blurring.

ま と め

本稿では、臨床病院において心臓 MRI を実践的に活用する上で必要なポイントを、SCMR の心臓 MRI 標準化プロトコールに準拠して解説した。今回解説した「形態・機能モジュール」「T₂強調 MRI モジュール」「心筋パーフュージョン MRI モジュール」「遅延造影 MRI モジュール」は、最近の 1.5 テスラ装置であれば、どのメーカーの機種でも撮影可能なものである。

冠動脈イメージングには冠動脈マルチスライス CT が広く用いられているが、冠動脈 MRA は放射線被曝を伴わず造影剤投与が不要で、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など、重要な特長をもつ¹⁶⁾ (Fig. 7)。我々の検討によると、whole heart coronary MRA の検査成功率は 86%、冠動脈狭窄を有する患者の検出感度は 82%、特異度は 90% であり¹⁷⁾、その診断能は 16 列 MDCT とほぼ同等と考えられる (Table 2)。ただし、whole heart coronary MRA は撮影時間が約 10 分と長く、装置メーカー間の差も大きいため、施設を問わずにルーチン検査として実施できる検査法とはなっていない。最近開発された 32 チャンネル心臓コイル (プロトタイプ) では高い SENSE ファクターを利用できるため、撮影時間数分で呼吸アーチファクトの少ない冠動脈像が得られている (Fig. 8)。こうした新しいコイルシステムを備えた 1.5 テスラ MR 装置が今後普及すれば、冠動脈 MRA は冠動脈疾患の除外診断を行う上で第一選択の検査法になると期待される。

文 献

- 1) Sakuma H: Magnetic resonance imaging for ischemic heart disease. *J Magn Reson Imaging* 2007; 26: 3-13
- 2) Ichikawa Y, Sakuma H, Kitagawa, et al.: Evaluation of left ventricular volumes and ejection fraction using fast steady-state cine MR imaging: comparison with left ventricular angiography. *J Cardiovasc Magn Reson* 2003; 5: 333-342
- 3) Kim RJ, Fieno DS, Parrish TB, et al.: Relationship of MRI delayed contrast enhancement to irreversible injury, infarct age, and contractile function. *Circulation* 1999; 100: 1992-2002
- 4) Wagner A, Mahrholdt H, Holly TA, et al.: Contrast-enhanced MRI and routine single photon emission computed tomography (SPECT) perfusion imaging for detecting of subendocardial myocardial infarcts: an imaging study. *Lancet* 2003; 361: 374-379
- 5) Kim RJ, Wu E, Rafael A, Chen EL, Parker MA, Simonetti O, Klocke FJ, Bonow RO, Judd RM: The use of contrast-enhanced magnetic resonance imaging to identify reversible myocardial dysfunction. *N Engl J Med* 2000; 343: 1445-1453
- 6) Kitagawa K, Sakuma H, Hirano T, et al.: Contrast-enhanced MR imaging for assessing myocardial viability in patients early after acute myocardial infarction: comparison with resting thallium-201 SPECT imaging. *Radiology* 2003; 226: 138-144
- 7) 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
- 8) 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
- 9) Soriano CJ, Ridocci F, Estornell J, Jimenez J, Martinez V, De Velasco JA: Noninvasive diagnosis of coronary artery disease in patients with heart failure and systolic dysfunction of uncertain etiology, using late gadolinium-enhanced cardiovascular magnetic resonance. *J Am Coll*

- Cardiol 2005 ; 45 : 743-748
- 10) Moon JC, McKenna WJ, McCrohon JA, et al. : Toward clinical risk assessment in hypertrophic cardiomyopathy with gadolinium cardiovascular magnetic resonance. J Am Coll Cardiol 2003 ; 41 : 1561-1567
 - 11) Serra JJ, Monte GU, Mello ES, et al. : Images in cardiovascular medicine. Cardiac sarcoidosis evaluated by delayed-enhanced magnetic resonance imaging. Circulation 2003 ; 107 : e188-189
 - 12) Maceira AM, Joshi J, Prasad SK, et al. : Cardiovascular magnetic resonance in cardiac amyloidosis. Circulation 2005 ; 111 : 186-193
 - 13) Abdel-Aty H, Zagrosek A, Schulz-Menger J, et al. : Delayed enhancement and T2-weighted cardiovascular magnetic resonance imaging differentiate acute from chronic myocardial infarction. Circulation 2004 ; 109 : 2411-2416
 - 14) Schwitter 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 2001 ; 103 : 2230-2235
 - 15) Ishida N, Sakuma H, Motoyasu M, et al. : Noninfarcted myocardium : correlation between dynamic first-pass contrast-enhanced myocardial MR imaging and quantitative coronary angiography. Radiology 2003 ; 229 : 209-216
 - 16) 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
 - 17) 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

Standardized Protocols for Routine Cardiac MR Imaging

Hajime SAKUMA, Shinichi TAKASE, Nanaka ISHIDA,
Mikinori NAGATA, Kan TAKEDA

*Department of Radiology, Mie University Hospital
2-174 Edobashi, Tsu, Mie 514-8507*

Cardiac magnetic resonance (MR) imaging has been recognized as accurate and reliable for evaluating cardiac anatomy and ventricular function. Late gadolinium-enhanced MR imaging can clearly delineate subendocardial infarction, and assessment of the transmural extent of infarction on late-enhanced MR imaging has proven useful in predicting functional recovery of dysfunctional myocardium after myocardial infarction. Stress first-pass, contrast-enhanced, myocardial perfusion MR imaging can detect subendocardial ischemia, and recent studies demonstrated the high diagnostic accuracy of stress myocardial perfusion MR imaging in detecting significant coronary artery disease. Combined stress perfusion and late-gadolinium MR imaging allows differentiation of infarcted myocardium and ischemic but viable myocardium. Cardiac MR imaging can play a pivotal role in managing patients with ischemic heart disease.