

心筋 perfusion と viability の MRI 診断

石田七香¹, 佐久間肇¹, 竹田 寛¹, 中野 越²

¹三重大学医学部放射線科 ²同第1内科

はじめに

心筋梗塞や狭心症など虚血性心疾患の診断における心臓 MR 検査の役割はこれまで比較的限られていた。狭心症の診断では、心筋血流を増加させるために負荷を行って心筋血流分布のイメージングを行い、冠動脈狭窄に伴う心筋虚血を描出する必要がある。また、心筋梗塞の診断では、局所心筋バイアピリティーの判定が、治療方針を決める上で最も重要である。最近開発された各種の機能的 MR 撮像法を組み合わせると、一回約 40 分のルーチン心臓 MR 検査を行うことにより、心筋血流、心臓のポンプ機能と局所心筋壁運動、心筋バイアピリティーなど、虚血性心疾患の診断と治療に直結する情報を一度に得ることができる。心筋血流と心機能の同時評価は QGS (quantitative gated SPECT) などの心臓核医学検査を用いても得られるが、核医学検査法は空間分解能の制約から、心内膜下虚血や内膜下梗塞を直接画像化できない欠点があった。MRI は空間分解能が高いため、心内膜下虚血や内膜下梗塞などを明瞭に描出できる。さらに、true FISP 法によるシネ MRI を用いると心機能や局所心筋壁運動を短い時間でより正確に診断できる。また、MRI 検査は放射線被曝がなく、核医学検査よりも低コストで実施できる利点もある。本稿では心筋パーフュージョン MRI、遅延造影 MRI、シネ MRI による虚血性心疾患の診断について、検査の方法と臨床的有用性を中心に解

説する。

1. 心筋パーフュージョン MRI

1) 検査の特徴

ボーラス静注した MR 造影剤が心筋を通過する初回循環 (ファーストパス) の動態をダイナミック MRI を利用して観察し、心筋パーフュージョンの評価を行う。これまで心筋パーフュージョンの評価は心筋シンチグラフィによって行われてきた。心筋シンチグラフィと心筋パーフュージョン MRI の基本的な違いは、核医学トレーサーは心筋細胞内に取り込まれるが、Gd-DTPA などの MR 造影剤は細胞外液に非特異的に分布する点にある。このため、MRI によるパーフュージョン評価では造影剤の初回循環動態をとらえる必要があり、心尖部から心基部までの左室心筋全体のダイナミック画像を高速で繰り返し撮像する機能が求められる。最近、interleaved notched saturation と EPI データ収集を組み合わせた Fastcard-ET 法などの新しい心筋パーフュージョン MRI 撮像法の開発が進み、画像のゆがみやアーチファクトの少ない T₁ 強調ダイナミック MRI を撮像できるようになり、心筋パーフュージョン MRI の診断能は飛躍的に向上した。

2) 他のモダリティとの比較

MRI は核医学検査よりも空間分解能が高いため心内膜下虚血を明瞭に描出できる。また、核医学検査で問題となる吸収や散乱線の影響が

キーワード myocardial ischemia, infarction, cine, perfusion, viability

ないことも利点である。さらに、心筋パーフェュージョンとシネMRIによる心筋壁運動、造影MRIによる心筋バイアビリティーを同じ撮像断面上で比較して診断できる。

3) 検査法

肘静脈に18Gサーフロ針を留置し100mlの生理食塩水を接続して静脈ラインを確実に確保する。MR検査中に心拍数と血圧をモニターできるように自動血圧計のカフを静脈ラインと対側の上腕に巻き、心電図同期用の電極を前胸壁に、呼吸モニター用のペローズを腹部に装着す

る。冠状断面と体軸横断面のスカウト画像を撮影し、左室長軸像垂直断面における呼吸停止シネMRIを撮影する(Fig. 1)。次に心尖部から心基部までの左室短軸スライス面の設定を行い、心筋パーフェュージョンMRIを造影剤投与なしでテスト撮影する。安静時冠血流量は冠動脈狭窄が高度(>90%)になるまで低下しないため¹⁾、血管拡張剤を投与して薬物負荷を行い、心筋虚血を誘発する。具体的にはジピリダモール(商品名:ペルサンチン®)0.56mg/kgを約4分間で注入して薬物負荷を行う。

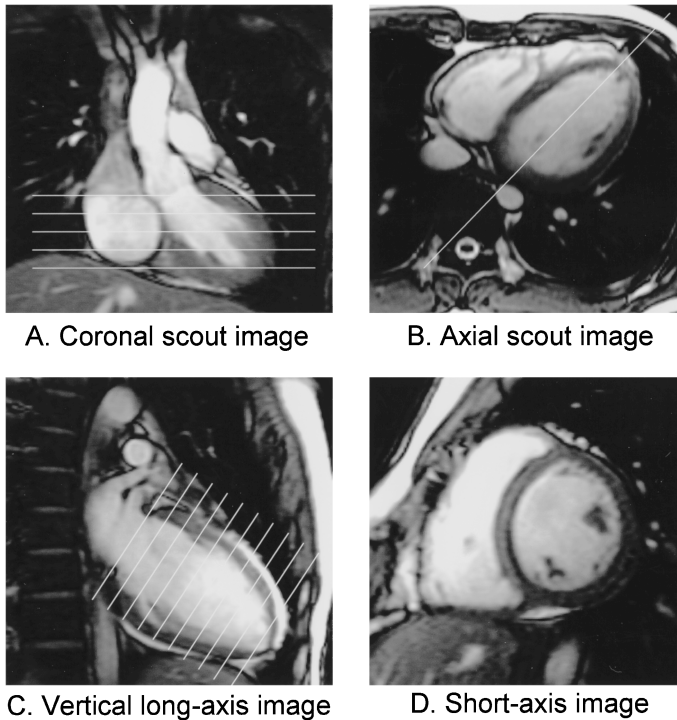


Fig. 1. Scout MR images for defining short-axis imaging planes of the left ventricle. Breath-hold coronal (A) and axial (B) MR images were obtained as scout images. Slice location for vertical long-axis cine MR image (C) was defined on axial scout image. Then slice locations for short-axis cine MR images (D) encompassing the entire left ventricle were prescribed on vertical long-axis cine MR images.

2001年6月1日受理

別刷請求先 〒514-8507 三重県津市江戸橋2-174 三重大学医学部放射線科 石田七香

Table 1. Routine Cardiac MR Protocols Using a Dedicated Cardiac MR Imager (GE Signa CV/i 1.5T)

Protocol	Pulse sequence	TR/TE/FA (ms/ms/deg)	Phase × frequency encoding	Reconstructed matrix	Thickness/gap	NEX	FOV/Phase FOV	Remarks
Myocardial perfusion MRI	FGRE* ¹ echo-train* ²	6/1.5/25 ETL = 4	128 × 128	256 × 256	10/1.5 4 slices/ 2 RR	1	34/0.75	BW = 125 KHz Interleaved notched saturation TI = 180 ms
Delayed enhance MRI	Inversion recovery FGRE	6/1.5/30	128 × 256	256 × 256	10/0	1	34/0.75	BW = 31 KHz TI = 250–300 ms
Steady state cine MRI	FIESTA* ³	3.8/1.7/45	128 × 256	256 × 256	10/0	1	32	BW = 125 KHz View per segment

*¹ FGRE = fast gradient echo*² FGRE echo-train = k space segmented hybrid EPI*³ FIESTA = fast imaging employing steady state acquisition

Table 2. Routine Cardiac MR Protocols Using a General Purpose MR Imager (Siemens Vision 1.5T)

Protocol	Pulse sequence	TR/TE/FA (ms/ms/deg)	Phase × frequency encoding	Reconstructed matrix	Thickness/gap	NEX	FOV/Phase FOV	Remarks
Myocardial perfusion MRI	Saturation recovery Turbo FLASH	2RR/1.2/18	90 × 128	256 × 256	10/5 4 slices/ 2 RR	1	35/0.875	
Delayed enhance MRI	Inversion recovery Turbo FLASH	250/3.4/15	192 × 256	256 × 256	10/0	1	35/0.875	
Cine MRI	FLASH	50/4.8/25	110 × 256	256 × 256	10/0	1	35/0.875	

ジピリダモール注入終了後2分間経過したら、Gd-DTPAなどのMR造影剤(0.05 mmol/kg, 4 ml/s)および十分な生食(20 ml)をインジェクタで急速静注し、ダイナミックMRIの撮影を約1分間行う。当院で使用している心臓用MR装置の撮像シーケンスおよび撮像条件をTable 1に、県内関連病院のはん用MR装置の撮像シーケンスおよび撮影条件をTable 2に示す。心臓用MR装置ではinterleaved notched saturation法とハイブリッドEPIデータ収集を利用して心筋パーフェュージョンMRIを行っている。Interleaved notched saturation

法では、あるスライス面の画像撮像中にそれ以外の領域ではサチュレーションリカバリー法の縦磁化回復が同時進行するため、T₁コントラストと撮像効率を両立することができる²⁾。

負荷パーフェュージョンMRI終了後、アミノフィリン(商品名:ネオフィリン®)125 mgを静注し、約15分後に再度造影剤を急速静注しダイナミックMRIを行って安静時の心筋パーフェュージョンの評価を行う。

4) 検査と読影の注意点

MR造影剤の通過に伴って正常心筋の信号強度は急速に上昇するが、血流量が低下した虚血

心筋では造影剤流入が遅延し一過性に低信号の領域として描出される³⁾(Fig. 2). パーフュージョンMRIはフィルム撮影を行わずにCRT上で動画表示を行い、心筋虚血の有無を診断する. 造影剤の投与量は少なすぎると造影効果が低下するが、逆に多すぎても(>0.1 mmol/kg)心筋や血液の造影効果が飽和し、造影剤の投与量が多くなるためにポーラス性も低下する. 当施設では現在、投与量として0.05 mmol/kgを用いている.

動脈硬化性の冠動脈狭窄では狭窄度がかなり高度(>90%)にならないと安静時心筋血流量の低下は生じないため、安静時パーフュージョンMRIを単独で行っても有用性はあまり高くない. 安静時パーフュージョンMRIを行う意義は、①虚血病変とアーチファクトの鑑別、

②スパズムなど安静時心筋血流低下を示す病態の診断、③パーフュージョンMRIの定量解析による心筋血流予備能の評価などの点にある.

心筋内に梗塞心筋が含まれていると遅延相で高信号を示すため、一度造影剤を投与した後に繰り返してパーフュージョンMRIを行うと心筋虚血診断能が低下する. 安静時と負荷時のパーフュージョンMRIを撮影する場合にはまず負荷パーフュージョンMRIを実施し、その後に安静時パーフュージョンMRIを行う.

5) 臨床的有用性

三重大学附属病院では1999年6月から虚血性心疾患を対象として負荷心筋パーフュージョンMRIを行ってきた. このうち負荷心筋SPECTと冠動脈造影検査の両者が2週間以内に実施され、局所心筋壁運動の異常や心電図上

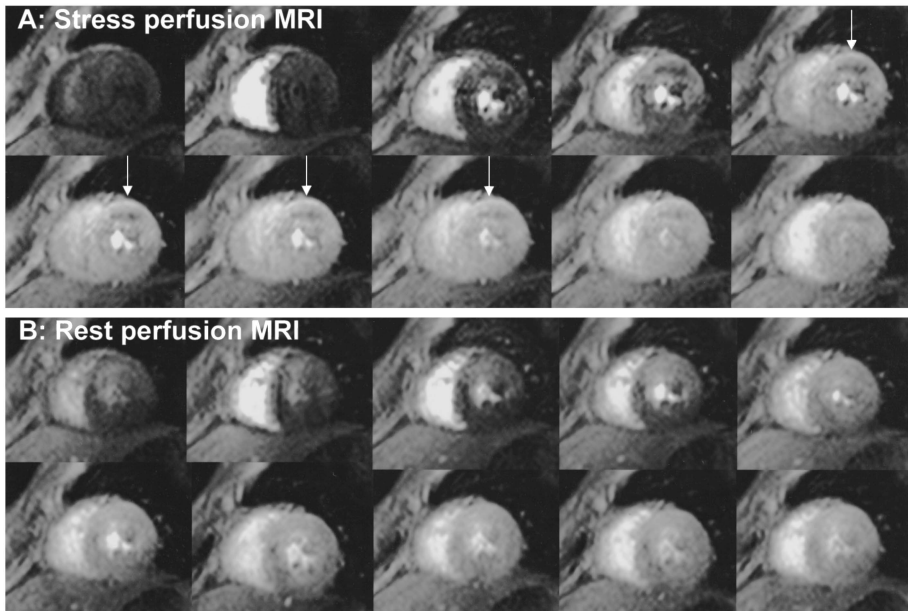


Fig. 2. Stress (A) and rest perfusion MR images in a 65-year-old male with angina pectoris. Significant stenosis was found in the left anterior descending artery on selective coronary angiography. Perfusion MR images were acquired on 7 slice locations every 2 cardiac cycles and dynamic MR images on one slice location are presented. Note that small area of subendocardial ischemia in the anterior wall is clearly revealed on stress perfusion MR images during first-pass of MR contrast medium. Rest perfusion MR images are normal.

Q波の認められない69症例について、MRIとSPECT画像による心筋虚血の診断能を右冠動脈、左冠動脈前下行枝、左冠動脈回旋枝の各領域別に判定した。X線冠動脈造影における有意狭窄(>70% diameter stenosis)を基準とした場合、MRIによる診断感度は94.4%であり、SPECTの値(81.5%)より優れていた。1枝病変患者における虚血検出感度は、MRI 90.0%、SPECT 73.3%、2枝病変患者における虚血検出感度はMRI 100%、SPECT 87.5%であり、いずれもMRIの方が優れていた。心筋血流SPECTにおいてピットフォールとなる3枝病変も、空間分解能の高いMRIでは左室心筋にびまん性にみられる心内膜下虚血として描

出され、的確に診断することができた(Fig. 3)。MRIの虚血検出感度と特異度は右冠動脈、左冠動脈前下行枝、左冠動脈回旋枝の各領域にわたってほぼ平均しており、空間解像度が高いために心内膜下虚血や小さな虚血領域なども明瞭に描出された。

心筋パーフュージョンMRIは、狭心症患者の診断やPTCA・バイパスグラフト術などの血行再建術の治療効果判定などに広い臨床応用分野を有していると考えられる。また、負荷心筋パーフュージョンMRIと後述の遅延造影MRIと組み合わせると、正常心筋・虚血心筋・梗塞心筋を正確に区別して診断することができる。

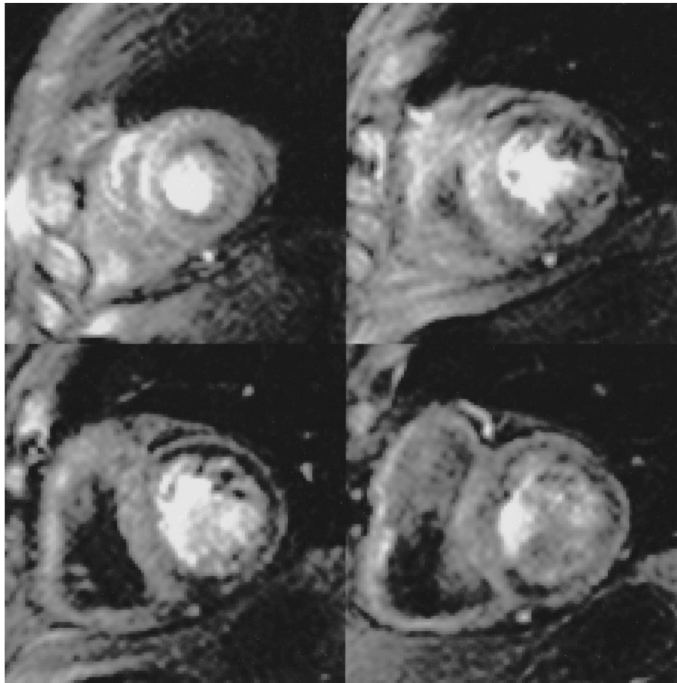


Fig. 3. Stress myocardial perfusion MR images in a patient with triple-vessel disease. Images from 4 different slice locations during first-pass transit of MR contrast medium are demonstrated. You can notice diffuse subendocardial ischemia around the left ventricular myocardium. No delayed myocardial enhancement was observed on delayed enhanced MR images in this case.

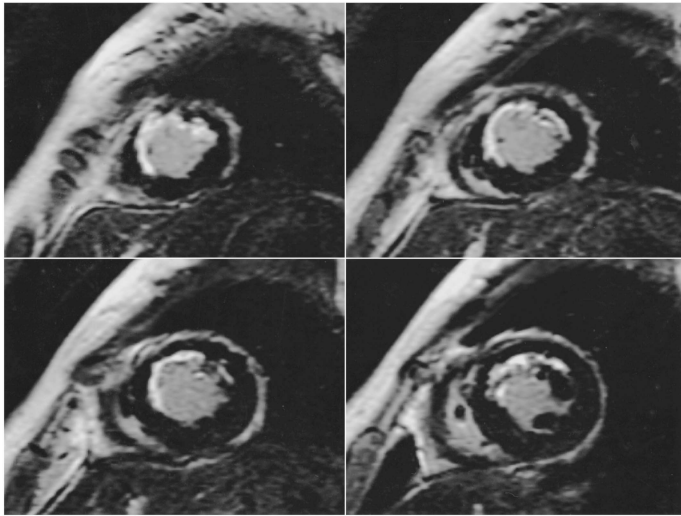


Fig. 4. Inversion recovery prepared breath-hold MR images acquired 20 min after administration of Gd-DTPA in a patient with anterior myocardial infarction. Subendocardial infarction is clearly delineated as hyper-enhanced lesion in the anteroseptal wall of the left ventricle.

2. Gd-造影遅延相における心筋梗塞のMRI診断

1) 検査の特徴

MR造影剤投与後15分～20分経過してからインバージョンリカバリMRIを撮影すると、梗塞病変は強い高信号を示す(Fig. 4)。正常心筋組織では、心筋細胞内液が組織の水の80%程度を占めており、ガドリニウム造影剤は細胞外液分画と血管分画の水(20%程度)に分布している。心筋梗塞では組織浮腫や心筋細胞膜の障害によってMR造影剤の細胞分布容積が正常心筋よりも増大する。この造影剤分布容積の増大と血流低下に伴う造影剤washoutの遅延の結果、心筋梗塞病変は造影剤投与後遅延相において高信号を示す^{4), 5)}。呼吸停止インバージョンリカバリ法による心筋造影MRIの画質とコントラストは従来の心電図同期スピンエコー法と比べて大きく向上している。これは、インバージョンリカバリ法により正常心筋

と梗塞心筋のT₁値の差を鋭敏に描出できることと、k-空間分割法による呼吸停止撮影によってアーチファクトが減少した二つの理由によるものである。心電図同期スピンエコー法による造影MRIでは、急性～亜急性期の心筋梗塞病変が高信号を示すが、呼吸停止インバージョンリカバリ法による造影MRIでは急性期～亜急性期だけでなく慢性期の心筋梗塞も高信号を示す。遅延造影MRIは心筋梗塞病変の分布を壁内進展度を含めて明瞭に描出するため心筋バイアピリティー診断に有用である。

2) 検査法

MR造影剤を静注し、15～20分以上経過してから心電図同期インバージョンリカバリMRIを呼吸停止撮影する。正常心筋のT₁緩和時間は造影剤投与量や投与後の時間によって変動するため、正常心筋の信号強度がほぼゼロになるインバージョン時間(TI)をテスト撮影で調整した後、インバージョンリカバリMRIの撮影を行う。当院でのインバージョン時間は

約 250 ms に設定している。撮像断面は左室短軸像を基本とし、必要に応じて左室長軸像を追加する。心筋パーフェュージョン MRI に引き続いてこの検査を行えば、心筋虚血の診断と心筋梗塞病変の診断を一回の検査で行うことができる。

3) 検査と読影の注意点

遅延造影 MRI では一般に十分な量の Gd-造影剤 (0.1 mmol/kg) を投与した方が明瞭な梗塞心筋/正常心筋コントラストが得られる。心電図同期スピノエコー法による造影 MRI では、病変とアーチファクトの鑑別に迷う場合も珍しくなかったが、インバージョンリカバリ法と k-空間分割高速撮像を利用した最近の方法では、コントラストが高くアーチファクトの少ない画像が得られ、心内膜下梗塞や小さな梗塞病変、右室梗塞なども明瞭に描出される。前述のように、インバージョンリカバリ MRI による遅延造影所見は急性～亜急性期だけでなく慢性期の心筋梗塞においても認められる。これは T₁ コントラストや画質が向上し、慢性期梗塞における心筋細胞分画の低下と線維化等における細胞外液分画の増加を鋭敏に描出できるようになったためと考えられる。

4) 臨床的有用性

MRI は空間分解能が高いため、心筋梗塞病変の壁内進展度を描出できる。心内膜下梗塞を画像上容易に診断できることは核医学検査にない MRI の特長といえる。心筋遅延造影の意義に関して Kim らは、犬梗塞モデルにおける心筋遅延造影領域は TTC 染色による梗塞心筋の分布とよく一致すると報告している⁶⁾。また、同じグループは、遅延造影を示す梗塞心筋の壁内進展度から冠動脈血行再建術後の壁運動改善効果を高い精度で予測できることを最近報告している⁷⁾。我々の最近の検討でも、遅延造影 MRI による心筋バイアピリティーの診断は、Tl-201 SPECT よりも false positive が少なく、高い有用性が示唆された⁸⁾。

パーフェュージョン MRI や true FISP MRI

を行うには MR 装置にある程度的高速撮像法が求められるが、心筋遅延造影 MRI は通常のはん用 MR 装置でも十分撮像可能である。心筋梗塞患者における心筋バイアピリティーの判定に関して言えば、遅延造影 MRI を単独で実施しても高い診断的価値がある。

3. ステディ・ステート・シネ MRI による心筋機能の評価

1) 検査の特徴

グラディエント法によるシネ MRI では流入血液がタイムオブフライト効果によって高信号を示す。しかし、心筋梗塞などで局所心筋壁運動が低下した症例や、心不全症例では、左室内血液の流れが停滞し血液・心筋コントラストが不十分となる場合があった。最近、ステディ・ステート法を利用した新しいシネ MRI 撮影法 (true FISP 法など) が開発され、血液・心筋コントラストや画質が大幅に向上し、その有用性が注目されている。Steady state 法による高速シネ MRI は T₂ 強調画像に近いコントラストを示し、停滞した血流も高信号を示す。このため、左室壁運動が低下した心筋梗塞患者や心不全症例においても良好な血液・心筋コントラストが得られる (Fig. 5)。特に、左室長軸断面のシネ MRI では撮像スライス面と血流の方向が平行になるため十分な血液コントラストが得られなかったが、ステディ・ステート法を利用すると良好なシネ MRI が得られる。また、ステディ・ステート法では短い繰り返し時間 (TR) が用いられるため、従来の高速シネ MRI よりも撮像時間を短縮したり (<5 秒)、シネ撮影の時間解像度を向上させる (<30 ミリ秒/フレーム) ことも可能である。

2) 他のモダリティーとの比較

左室機能の計測にはこれまで心エコー法、X線左室造影、心 RI アンギオグラフィーなどが用いられてきた。心エコーでは肺の空気や骨によって撮像断面が制限されるが、MRI では自

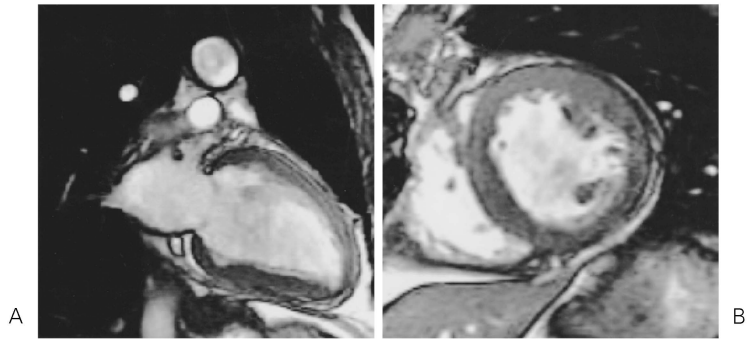


Fig. 5. Steady state cine MR images on vertical long-axis (A) and short-axis (B) imaging planes in a patient with anteroseptal infarction. Breath-hold cine MR images were obtained within 10 s with a steady state free precession sequence. While the anteroseptal wall is hypokinetic in this patient, excellent contrast is observed between the blood pool and myocardium throughout the left ventricle.

由に撮像断面を設定できる。特に心エコー検査では画質が不十分な肥満や肺気腫の症例においても、シネ MRI 検査を行うと正確に左室機能を評価できる。断層心エコー法や X 線左室造影による心室機能評価では通常 1 方向ないし 2 方向の画像において左室内腔の輪郭をトレースし、左室内腔が円形ないし楕円体と仮定して左室容積を算出する。このため、局所壁運動異常や左室変形のある症例では計測値にかなりの誤差を生じる可能性がある。心尖部から心基部まで連続する左室短軸シネ MRI を撮像し、シン普森法を用いて左室容積を計測すると、左室変形や壁運動異常を示す心筋梗塞症例でも正確な心機能計測値が得られる。MRI による左室機能計測の再現性は心エコーよりかなり高く、治療薬の効果判定などに特に有用性が高い。

3) 検査法

左室短軸ないし左室長軸スライス面でシネ MRI を呼吸停止撮影する。左室長軸に垂直で連続するスライス面において心尖部から心基部までのシネ MRI を収集し、左室機能や心筋重量の評価を行う。指尖脈拍法は同期タイミングの誤差が大きいため、シネ MRI による心機能解析では必ず心電図同期を用いる。シネ MRI

の時間分解能は、左室収縮機能を計測する目的であれば通常 50 ms 以下で十分である。一方、左室拡張機能を正確に計測するためにはさらに高い時間分解能 (20 ms) を用いることが望ましい。最近の心臓用 MR 装置では心電図同期を行わずに心筋壁運動をリアルタイムに観察することも可能である。この方法は心房細動の症例などに有用性が期待できるが、空間分解能や時間分解能はまだ十分とはいえない。

4) 画像解析

ステディ・ステート・シネ MRI では血液コントラストが向上しているため、心機能解析ソフトウェアの心筋内膜縁自動トレース機能を利用して、左室拡張期容積 (LVEDV)、収縮期容積 (LVESV)、駆出率 (LVEF) なども比較的短時間で得られる。また、局所心筋の壁運動や収縮期壁厚増加率なども、心臓核医学検査で用いられているブルズアイ表示などを利用して依頼医にわかりやすく提示できる。

5) 検査と読影の注意点

シネ MRI は必ず動画表示を行って観察し、左室の各領域における壁運動を評価する。院内ネットワークや CD-R を利用して画像をデジタルデータとして依頼科に送り主治医が手元のバ

ソコンなどで画像をシネ表示できるようにすることも、検査の臨床的価値を高める上で重要である。

6) 臨床的有用性

シネ MRI は①肥満や肺気腫患者で十分な心エコー評価が行えない場合、②治療薬投与後の効果判定のように、心機能や心筋重量の経時的变化を正確に評価する必要のある場合、③造影 MRI による心筋灌流やバイアビリティーと局所心筋壁運動を同一断面面上で総合的に比較検討したい場合などに特に高い有用性を示す。当施設における最近の検討によると、ステディ・ステート・シネ MRI による左室容積や左室駆出率は X 線左室造影による結果と非常によく一致し、侵襲的な左室造影検査を十分に代替できると考えられた⁹⁾。また、ステディ・ステート・シネ MRI は時間分解能が高いため、PFR (peak filling rate) などの左室拡張機能に関する情報も正確に得られ、心不全などの病態と予後の判定に今後高い有用性が期待できる。

シネ MRI を用いると局所心筋壁運動 (wall motion), 拡張期壁厚 (diastolic wall thickness, DWT), 拡張期→収縮期の壁厚増加 (systolic wall thickening, SWT) などを正確に計測できる。安静時シネ MRI による心筋バイアビリティー評価に関しては幾つかの報告があり、SWT (>1 mm) の認められる局所心筋は正常と診断できる。SWT が認められず DWT が 5.5 mm に満たなければ心筋バイアビリティーのない梗塞心筋、DWT が 5.5 mm 以上あれば心筋バイアビリティーありと診断する¹⁰⁾。ただし、安静時シネ MRI による心筋バイアビリティーの診断感度は 72%, 特異度は 89% であり、その診断精度は十分とは言えない。心筋バイアビリティーの正確な診断には遅延造影 MRI やドプタミン負荷シネ MRI を行う必要がある。

ドプタミン負荷心筋 MRI は、低容量のドプタミンを投与によって局所心筋に壁運動改善 (心筋収縮予備能) がみられる場合に、心筋バ

イアビリティーが保たれていると判定する方法である。ドプタミン負荷心エコー法はベッドサイドで容易に施行できる点で優れているが、負荷前後において心臓の同一断面を安定して描出するにはかなりの技量を要し、定量性・客観性の面で限界も指摘されている。シネ MRI による心筋壁運動の評価は客観性と再現性に優れている。ドプタミン負荷心筋 MRI による心筋バイアビリティーの診断感度は 94%, 特異度は 100% であり、非常に優れた心筋バイアビリティー診断法と考えられる¹⁰⁾。しかし、ドプタミン負荷 MRI はマグネット内でのドプタミン投与が必要で、検査の簡便さという点では遅延造影 MRI によるバイアビリティー診断の方が優れていると思われる。

ま と め

心臓のルーチン造影 MRI 検査では、約 40 分間の検査時間で負荷パーフュージョン MRI, 高速シネ MRI, 呼吸停止インバージョンリカバリ MRI などの一連の撮影が行われ、心筋血流、心機能と局所壁運動、心筋バイアビリティーなどの虚血性心疾患の診断と治療の鍵となる機能的情報を一度に得ることができる。心臓のルーチン造影 MRI 検査を用いると心臓核医学検査では診断困難であった内膜下虚血や内膜下梗塞を明瞭に描出できる。負荷心筋パーフュージョン MRI は SPECT よりも高い心筋虚血診断能を示し、シネ MRI による心機能計測は心エコー法や核医学検査 (QGS) よりも精度や再現性の面で優れている。

実際の読影では、まず遅延造影 MRI を観察して心筋梗塞病変の有無とその範囲を診断し、次に同じスライス面の負荷パーフュージョン MRI を観察してバイアビリティーの保たれた心筋の虚血の有無を評価している。この結果①バイアビリティーのない梗塞心筋、②バイアビリティーのある虚血心筋、③正常心筋を高い空間分解能で明瞭に鑑別することが可能となり、

心筋梗塞患者の予後推定や血行再建術の適応決定に有用な情報が得られる。

ところで、心臓 MRI 検査では合計 1000 枚程度の画像が発生する。フィルム撮影を行うと膨大な枚数を要し高コストであるだけでなく、フィルム上の多量の静止画像を観察して造影剤動態や壁運動を的確に診断することは困難である。CD-R や院内 LAN 経由で依頼医にデジタル画像を提供し、病棟や外来で MR 画像を CRT 診断できるようにすると依頼医にとって有益であるだけでなく、MR 検査医や技師の負担も軽減される。最近では E-film などフリーの DICOM 表示ソフトを利用できるので、心臓 MRI の院内フィルムレス診断も比較的容易に実現できる。

心臓 MRI 検査による心筋パーフェクション、心筋バイアビリティー、心機能診断の実際とその有用性について述べた。心臓 MRI 検査は放射線被曝や検査コスト低減の面でも有利であり、虚血性心疾患の機能的診断法として臨床利用が広がるものと思われる。

文 献

- 1) Saeed M, Wendland MF, Sakuma H, et al. : Coronary artery stenosis : detection with contrast-enhanced MR imaging in dogs. *Radiology* 1995 ; 196 : 79-84
- 2) Slavin GS, Wolff SD, Gupta SN, Foo TK : First-pass myocardial perfusion MR imaging with interleaved notched saturation : feasibility study. *Radiology* 2001 ; 219(1) : 258-263
- 3) Wilke N, Jerosch-Herold M, Wang Y, Huang Y, Christensen BV, Stillman AE, Ugurbil K, McDonald K, Wilson RF : Myocardial perfusion reserve : assessment with multisection, quantitative, first-pass MR imaging. *Radiology* 1997 ; 204 : 373-384
- 4) Sandstede JJ, Lipke C, Beer M, Harre K, Pabst T, Kenn W, Neubauer S, Hahn D : Analysis of first-pass and delayed contrast-enhancement patterns of dysfunctional myocardium on MR imaging : use in the prediction of myocardial viability. *AJR Am J Roentgenol* 2000 ; 174 : 1737-1740
- 5) Fieno DS, Kim RJ, Chen EL, Lomasney JW, Klocke FJ, Judd RM : Contrast-enhanced magnetic resonance imaging of myocardium at risk : distinction between reversible and irreversible injury throughout infarct healing. *J Am Coll Cardiol* 2000 ; 36 : 1985-1991
- 6) 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
- 7) 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* 2000 ; 343 : 1445
- 8) Kitagawa K, Sakuma H, Hirano T, et al. Delayed Myocardial Contrast Enhancement in Patients with Acute Myocardial Infarction : Comparison with Thallium-201 SPECT Imaging. *Proceedings of 9th ISMRM meeting, 2001 ; 222*
- 9) Ichikawa Y, Sakuma H, Kitagawa K, et al. Evaluation of Left Ventricular Volumes and Ejection Fraction with Fast Steady-state Cine MR Imaging : Comparison with Left Ventriculography. *Proceedings of 9th ISMRM meeting, 2001 ; 1884*
- 10) Baer FM, Voth E, Deutsch HJ, et al. : Comparison of dobutamine transesophageal echocardiography and dobutamine magnetic resonance imaging for detection of residual myocardial viability. *Am J of Cardiology* 1996 ; 78 : 415-419

MR Assessments of Myocardial Perfusion, Viability and Cardiac Function

Nanaka ISHIDA¹, Hajime SAKUMA¹, Kan TAKEDA¹,
Takeshi NAKANO²

*Department of ¹Radiology and ²Cardiology, Mie University School of Medicine
2-174 Edobashi, Tsu, Mie 514-8507*

Recent advances in fast MR imaging techniques have allowed comprehensive assessments of cardiac function to be made using routine cardiac MR imaging. Cardiac function such as myocardial perfusion, ventricular function, and myocardial viability can be assessed within 40 min. Recently developed techniques for contrast enhanced myocardial perfusion MR imaging, such as fast echo-planar readouts and interleaved notched saturation, have substantially improved diagnostic capability of MR imaging for detecting myocardial ischemia. The diagnostic performance of stress perfusion MR imaging is now superior to that of stress myocardial perfusion SPECT. Recent clinical studies indicated that imaging of delayed myocardial enhancement with inversion recovery prepared breath-hold MR sequences, is very useful for differentiating viable and nonviable myocardium. This method will play an important role in predicting functional recovery of regional myocardium after coronary revascularization in patients with myocardial infarction. Steady state cine MR imaging demonstrates significantly improved blood to myocardial contrast. This permits accurate measurement of global and regional cardiac function in patients with ischemic heart disease and heart failure. Practical instructions for starting routine cardiac MR imaging, and the diagnostic usefulness of cardiac MR imaging techniques are demonstrated in this paper.