

Title	心臓領域におけるMRI用造影剤の実際の使用方法
Author(s)	佐久間, 肇
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 2002, 62(12), p. 682-689
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/17136
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

心臓領域におけるMRI用造影剤の実際の使用法

佐久間 肇

三重大学医学部放射線科

Special Lecture

Optimal Use of Contrast Medium in Contrast Enhanced MR Imaging of the Heart

Hajime Sakuma

With the recent development of fast MR imaging techniques, the diagnostic value of contrast enhanced MR imaging of the heart has been substantially improved. Since no tissue-specific contrast medium is available for clinical cardiac MR imaging at this point, both the early and late dynamics of extracellular MR contrast medium should be carefully evaluated for assessing the multiple aspects of cardiac function, including myocardial blood flow, myocardial viability, and left ventricular function. Myocardial blood flow can be assessed by monitoring the first-pass passage of MR contrast medium. Quantitative assessments of arterial input function and output function in the regional myocardium can provide more accurate detection of altered myocardial blood flow in patients with coronary artery disease. Excellent contrast between infarcted myocardium and normal tissue can be obtained with delayed contrast enhanced MR imaging. Myocardial infarction, including small subendocardial infarction and chronic scar, is demonstrated as an area of "hyperenhancement" on delayed enhanced MR images, while the signal from normal myocardium is nearly null. This review paper describes the optimal dose and injection rate of MR contrast material for functional cardiac MR imaging studies. In addition, practical suggestions for obtaining good cardiac MR images and interpreting contrast enhanced MR images are given and are explained in detail.

Research Code No.: 507.9

Key words: MR imaging, MR contrast medium, Cardiac MR imaging

Received Oct. 3, 2002

Department of Radiology, Mie University

本論文は、日本医学放射線学会誌編集委員会が企画し、執筆依頼した。

別刷請求先
〒514-8507 津市江戸橋2-174
三重大学医学部放射線医学教室
佐久間 肇

はじめに

最近、心疾患診断におけるMRIの臨床応用が広がり、特に心筋梗塞における梗塞病変の進展範囲と心筋バイアビリティーの評価にはMR造影剤の使用が不可欠となっている。造影ダイナミックMRIによる心筋血流の診断も定量評価法の開発によって新たな段階に入りつつある。ここでは心臓の造影MRI検査の実際とその読影法などについて、造影剤の注入量や速度の最適化を含めて解説する。

心臓の造影MRI検査の特徴

狭心症における心筋虚血の診断や心筋梗塞におけるバイアビリティー判定にはこれまで心臓核医学検査がおもに用いられてきた。心臓核医学検査の特徴はさまざまなトレーサーを利用できる点にあり、トレーサーの選択によって各種の機能情報と代謝情報が得られる。一方、心臓MRI検査では現在のところ臨床利用できる組織特異性造影剤はない。このため、MRIではGd-DTPAなどの非特異的細胞外液製剤を最大限に活用し、造影剤投与後の早期相と後期相における動態をうまく引き出すことにより、各種の機能診断を行っている。最近では心筋血流、心筋バイアビリティーや心機能などの多様な診断情報を一回の造影MRI検査で得ることが可能になっており (Fig. 1)、特に造影MRIによる心筋バイアビリティーの診断などについては、臨床有用性を示すエビデンスが十分に集積されつつある。

心臓大血管領域におけるMR造影剤の注入量と速度

心臓大血管領域の造影MR検査では、造影剤の注入量・注入速度・造影タイミングなどが画像コントラストに大きな影響を与える。造影3D-MRAや心筋遅延造影MRIでは、撮影時の目的組織における造影剤濃度を高めることが、良好な造影コントラストを得ることにつながる。一方、造影ファーストパスMRIによる心筋血流評価では、造影剤ポーラス性の向上が最も重要である。

Princeら^{1),2)}はいくつかの論文の中で、動脈血のGd-DTPA

A. 負荷MRIプロトコール	B. AMI/HCMプロトコール
<ol style="list-style-type: none"> 1. スカウトMRI 2. 安静時心筋血流MRI —Gd-DTPA 0.05mmol/kg 3. シネMRI 4. 負荷心筋血流MRI —Gd-DTPA 0.05mmol/kg 5. 造影剤残量を静注 6. 遅延造影MRI 	<ol style="list-style-type: none"> 1. スカウトMRI 2. シネMRI 3. 安静時心筋血流MRI —Gd-DTPA 0.05mmol/kg 4. 造影剤残量を静注 5. 遅延造影MRI <p>シネMRIを(4)、(5)間に移動すると検査時間を短縮できるが、梗塞心では血液—心筋間のコントラストが低下することに注意する。</p>

Fig. 1 心臓の造影MRIの検査プロトコール。AではシネMRIによる心機能評価や遅延造影MRIによる心筋梗塞の診断に加えて、ベルサンチンやATPによる薬物負荷中の心筋血流評価が含まれており、冠動脈狭窄に伴う心筋虚血の診断も可能である。Bは安静時のみの検査プロトコールで、心筋梗塞患者の心筋バイアビリティー診断や心筋症患者の心筋変性・線維化の診断に適している。

濃度は造影剤注入速度によって決定され、造影剤注入時間が血液再循環時間より短い場合の動脈血Gd-DTPAは次の式で求められると述べている。

$$[\text{動脈Gd-DTPA (mol/l)}] = \frac{[\text{Gd-DTPA 注入速度 (mol/sec)}]}{[\text{心拍出量 (l/sec)}]} \cdots (1)$$

この式に従えば、注入速度を上げれば上げるほど動脈造影剤濃度も増大することになる。造影剤注入速度と動脈血濃度の関係を正確に把握することは、造影MRIの撮影法を最適化し診断能を高める上で非常に重要であるが、高濃度領域ではMR信号が飽和するため、MRIを用いて動脈血造影剤濃度を正確に定量評価することはこれまで困難であった。

最近当施設では、CT用ダブルシリンジ型注入機を用いてGd-DTPA 0.1mmol/kgと同容積のヨード造影剤(イオパミロン300)とフラッシュ用生食をボーラス注入し、右心系・左心系・大動脈におけるCT値の変化を経時的に観察してMR造影剤のボーラス静注後の動態と血中濃度を定量的に算出した(Table 1, Fig. 2)。予備実験において、Gd-DTPAとイオパミロン300の造影剤粘度の差は造影剤動態へほとんど影響を及ぼさないことを確認している。Fig. 3, 4に造影剤注入レートと大動脈内CT値の最大増加(ΔHU)および最大CT値到達時間の関係を、Table 2に定量的CT計測から算出した右房、右室、左室と大動脈内のGd-DTPA最大濃度を示す。本検討で得られた結果を要約すると次のようになる。

- (1) Gd-DTPA 0.1mmol/kgを注入速度 1ml/secにて静注した場合の大動脈血造影剤最大濃度は約 4mMである。
- (2) 注入速度 4ml/sec以下の範囲では、注入速度の増加とともに大動脈血造影剤最大濃度は上昇し、4ml/sにおける最大濃度は約 7mMとなる。
- (3) 標準量のGd-DTPAに相当する造影剤容積の場合、注入速度を 4ml/secからさらに増加しても大動脈血造影剤最大濃度の上昇はほとんど期待できない。
- (4) 希釈原理に基づいて血中造影剤濃度を求めるPrinceらの計算式(1)は、右心系における今回の実測結果とよく一

Table 1 心大血管内造影剤濃度の定量評価方法

<ul style="list-style-type: none"> ・対象 <ul style="list-style-type: none"> —胸部造影CTを行った患者40例 —学内倫理委員会の承認と全例で文書によるインフォームドコンセント ・CTデータ収集 <ul style="list-style-type: none"> —GE QXi, 120KVp, 30mA, スライス厚10mm —左室中央レベルの画像を安静呼吸下に2秒ごとに60秒間ダイナミック撮影 ・造影剤投与方法 <ul style="list-style-type: none"> —イオパミロン300 (Gd-DTPA0.1mmol/kgと同容積, 体重×0.2ml) —生理食塩水20mlフラッシュ —注入速度1, 3, 4, 5ml/秒 (10例/群) ・画像解析 <ul style="list-style-type: none"> —各領域(右房, 右室, 左室, 大動脈)のΔH.U.を計測 —ファントム実験でCT造影剤濃度—ΔHUの校正曲線を作成 —各領域のCT造影剤希釈率(イオパミロン300原液に対する比)を算出 —血中Gd-DTPA濃度 (mM) <ul style="list-style-type: none"> = 希釈率×Gd-DTPA原液濃度 (500mM)

致する。しかし、標準量のGd-DTPAに相当する造影剤容積(体重60kgの場合12ml)を急速静注すると肺循環血液による希釈の影響が大きくなり、Princeらの計算式を用いると左室や大動脈における造影剤最大濃度を過大評価する(最大約3倍)。

これらの結果をみると、心筋血流MRIの場合には造影剤のボーラス性を高めることが最も重要であるため、造影剤注入速度は4ml/sが最適であると考えられる。一方、大動脈3D-MRAなどの場合には、注入速度1ml/secにおいても比較的高い動脈血造影剤濃度が得られており(1ml/secにおける最大動脈濃度約4mM, T1緩和時間計算値約50msec, 4ml/secにおける最大動脈濃度約7mM, T1緩和時間計算値約30msec)、大動脈血造影剤濃度を長く維持できるように注入

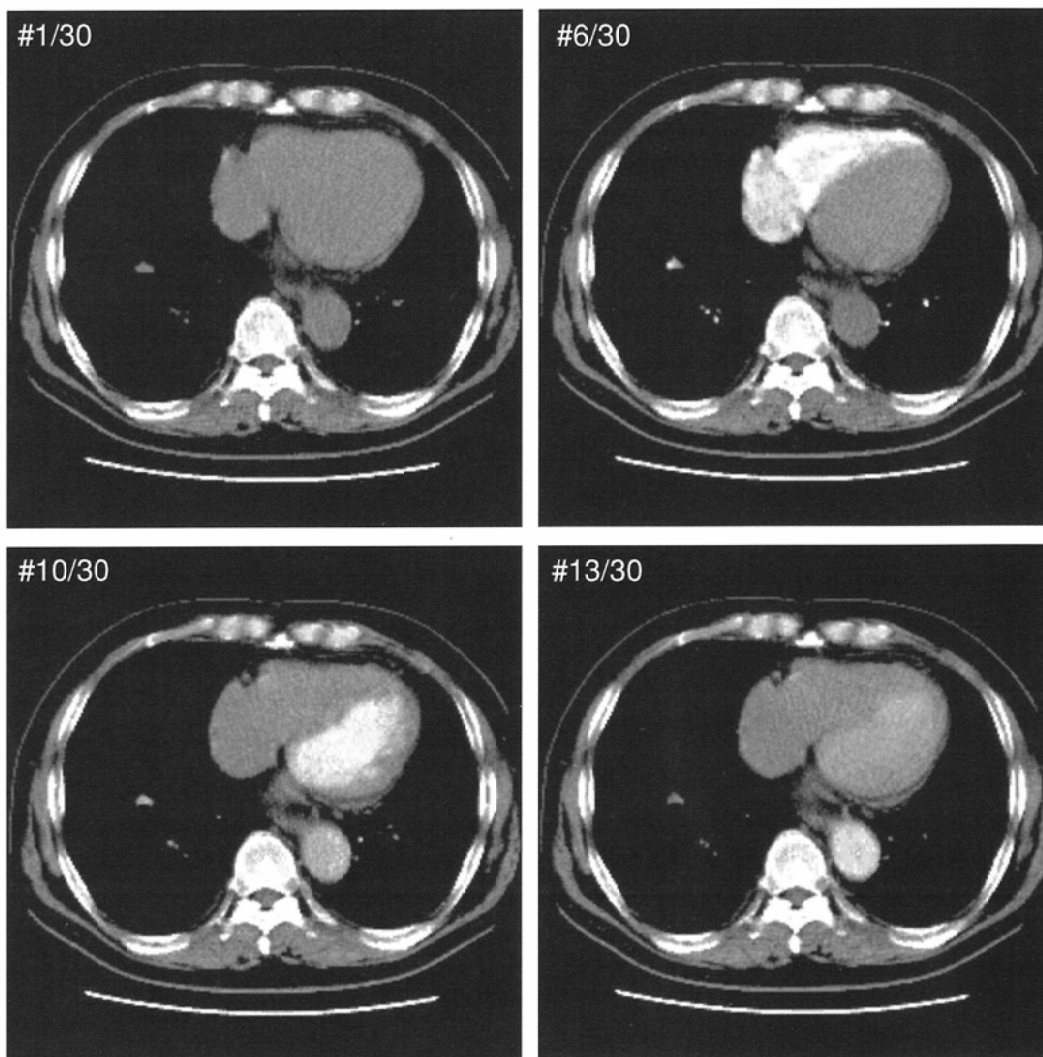


Fig. 2 ダイナミックCTによる造影剤ファーストパス動態の評価. Gd-DTPA 0.1mmol/kgに相当する容積のイオパミロン300をダブルシリンジ型自動注入器を用いて急速静注し, 心内と大動脈血液のCT値を2秒ごとに経時的に観察した.

速度を1ml/s程度に抑えた方がむしろ効果的と思われる.

MR造影剤ボース投与による心筋血流の診断

MRIによる心筋血流評価

MR造影剤をボース投与し, 左室心筋を通過する造影剤の動態を観察すると心筋血流分布を評価できる^{4),5)}. ペルサンチンやATPなどの冠血管拡張剤投与により生じる心筋虚血は, 心筋内膜側から外膜側にわたって均一に生じるものではなく, 心内膜下に強く認められる. MRIは核医学検査よりも空間分解能が高いため, 心内膜側と心外膜側の血流情報を分離して描出できる利点がある. 心筋血流シンチグラフィで用いられるトレーサーはいずれも心筋細胞内に取り込まれるが, MR造影剤は心筋細胞に取り込まれず細胞外液に非特異的に分布する. このため, 造影MRIによる血流評価では造影剤を急速静注し, 心筋初回循環の動態を描出する必要がある.

心筋血流MRIにおける造影剤投与法

Gd-DTPAなどの造影剤を用いた組織血流評価では, 造影剤がパルス状の小さなボースとなって動脈から目的臓器へと入力される状態が理想的である. この理想的状態では造影剤通過中の信号上昇の傾き(up-slope)や造影剤通過直後の信号上昇は組織血流分布とほぼ比例する. 心筋血流のMRI診断では, 造影剤がこうした理想的ボースに少しでも近い状態で心筋に到達するように工夫することが診断精度を高める上で特に重要である.

実際の心筋血流MRIでは, 少量のGd-DTPA(0.03mmol/kg~0.05mmol/kg)を十分な注入速度(4ml/s)で短時間に注入し, 生食フラッシュを行ってボース性をできるだけ高めている. 造影剤投与量を抑えると, 造影剤注入が短時間で完了する結果ボース性が向上する利点があり, 高濃度のGd-DTPAが左室内を通過する際に発生するsusceptibilityなどによる内膜下アーチファクトを低減する効果も期待できる.

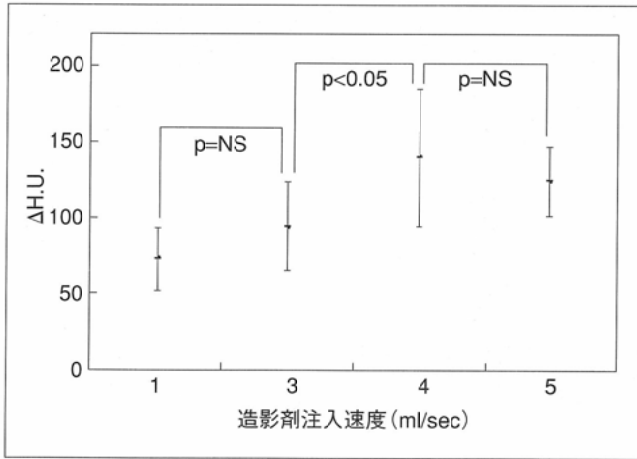


Fig. 3 造影剤注入速度と大動脈内CT値の最大増加(ΔH.U.)の関係

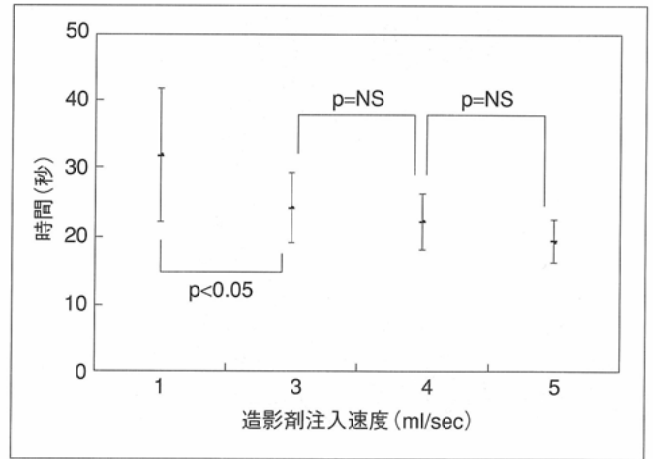


Fig. 4 造影剤注入速度と大動脈最大CT値到達時間の関係

Table 2 定量的CT計測から算出した右房、右室、左室と大動脈内のGd-DTPA最大濃度

注入速度	Princeらの式による 動脈Gd-濃度 (mM)*	右房 (mM)	右室 (mM)	左室 (mM)	大動脈 (mM)
1ml/秒	6.0	5.9±2.5	4.6±1.3	3.7±1.2	3.8±1.0
3ml/秒	18.0	11.9±3.0	9.3±2.4	5.3±1.2	4.9±1.5
4ml/秒	24.0	19.8±7.6	11.7±2.3	6.9±2.7	7.2±2.4
5ml/秒	30.0	18.8±9.5	12.3±3.3	6.8±1.5	6.4±1.2

*[Gd-DTPA]=[Gd-DTPA 注入速度]/[心拍出量]
 体重 60kg, 心拍出量 5 l/min (=0.083l/sec), Gd-DTPA 0.1mmol/kgとして算出

心筋血流MRI撮影法

造影MRIによる心筋血流診断では、①左室心筋全体の評価が可能であること、②造影剤の流入・洗い出しの動態を観察するためダイナミックMRIの時間分解能が高いこと、③心内膜下虚血を描出できる十分な空間分解能を有すること、④T1コントラストが高くアーチファクトが少ないこと、⑤Gd-造影剤が左室内を通過する際にsusceptibilityによる心筋内膜下アーチファクトを生じないこと、などが求められる。心筋パーフュージョンMRIではハイブリッドEPI法、TurboFLASH法、True FISP法などの高速撮影法と造影コントラストを高めるT1プレパレーションパルスが組み合わせて用いられる。サチュレーションリカバリ法では回復時間(TI)を長くすると画像コントラストは向上するが、撮影スライス枚数は減少する。インターリーブド・ノッチト・サチュレーション法は長い回復時間(TI)による高コントラストと撮影スライス枚数を両立する上で有用である⁶⁾。

冠動脈狭窄による心筋虚血の診断ではベルサンチンやATPなどの冠血管拡張剤を投与し、安静時と負荷時の2回心筋血流MRIの撮影を行う。当施設では安静時心筋血流MRIをまず行い、10～15分後に負荷心筋血流MRIを得ている。急性心筋梗塞患者において、冠動脈再灌流療法後の微小循環障害(microvascular obstruction)などの診断を行う場合には、安静時心筋血流MRIのみを実施する。

心筋血流MRIの読影法と診断有用性

造影MRIによる心筋血流評価を視覚的に行う場合には、造影剤が左室内を通過する際に心内膜付近に生じる低信号アーチファクトと心内膜下虚血を区別することが重要なポイントとなる(Fig. 5)。安静時と負荷時のパーフュージョンMRIを比較し、造影時到達後の一過性心筋低信号が負荷によって生じたものであるか慎重に判断する。

負荷心筋血流MRIは狭心症患者の診断や、経皮的冠動脈形成術やバイパスグラフト術などの治療効果判定などに有用性が示されている⁴⁾。Al-Saadiらは34例の虚血性心疾患症例を対象に負荷心筋パーフュージョンMRIを行い、冠動脈狭窄の診断感度は90%、特異度は83%であったと報告している⁵⁾。当施設における検討によると、負荷心筋血流MRIによる冠動脈有意狭窄の診断感度は92.6%、特異度は84.2%であり、MRIは負荷心筋SPECTよりも優れた診断能を示した⁷⁾(Fig. 6)。MRIは空間分解能が高いため心内膜下虚血も明瞭に描出され、心臓核医学検査では診断の難しい冠動脈三枝病変も明瞭に診断できる。

パーフュージョンMRIの定量解析は視覚的判定による読影のばらつきを抑え、客観的な診断を行ううえで重要である。従来、造影剤通過中の心筋信号上昇の傾き(up-slope)による解析が主に用いられてきたが、造影剤のポーラス性低下の影響を直接受けるため、その定量性や診断能には限界

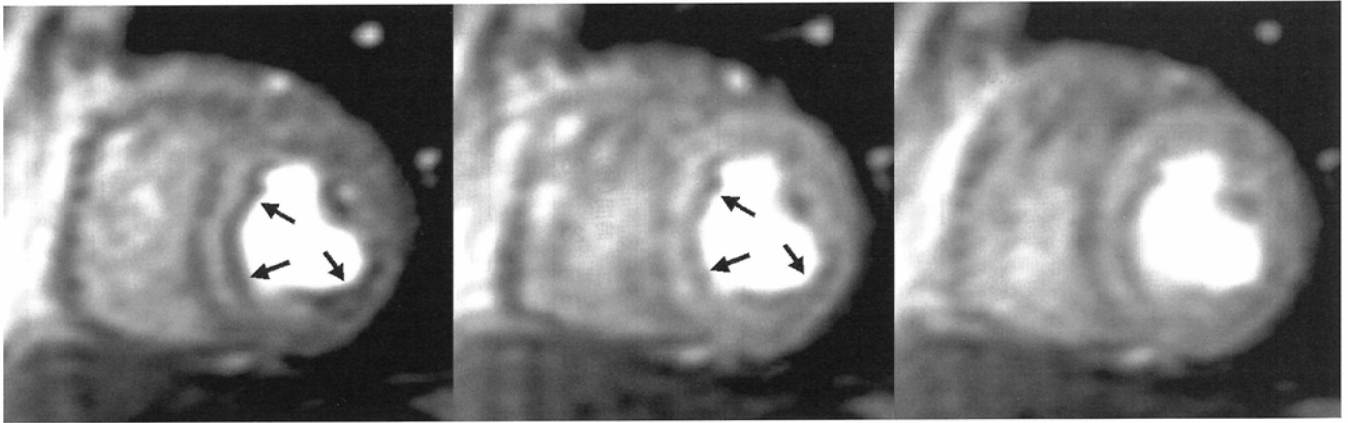


Fig. 5 正常症例の心筋血流MRIにおける内膜下アーチファクト (saturation recovery TurboFLASH). 造影剤が左室内を通過する際に、心内膜面に沿って低信号が認められる (矢印). 本症例の冠動脈造影は正常であり、負荷時と安静時の心筋血流MRIのいずれにおいても同様の内膜面に沿った低信号が認められることから、この低信号はアーチファクトと考えられる。

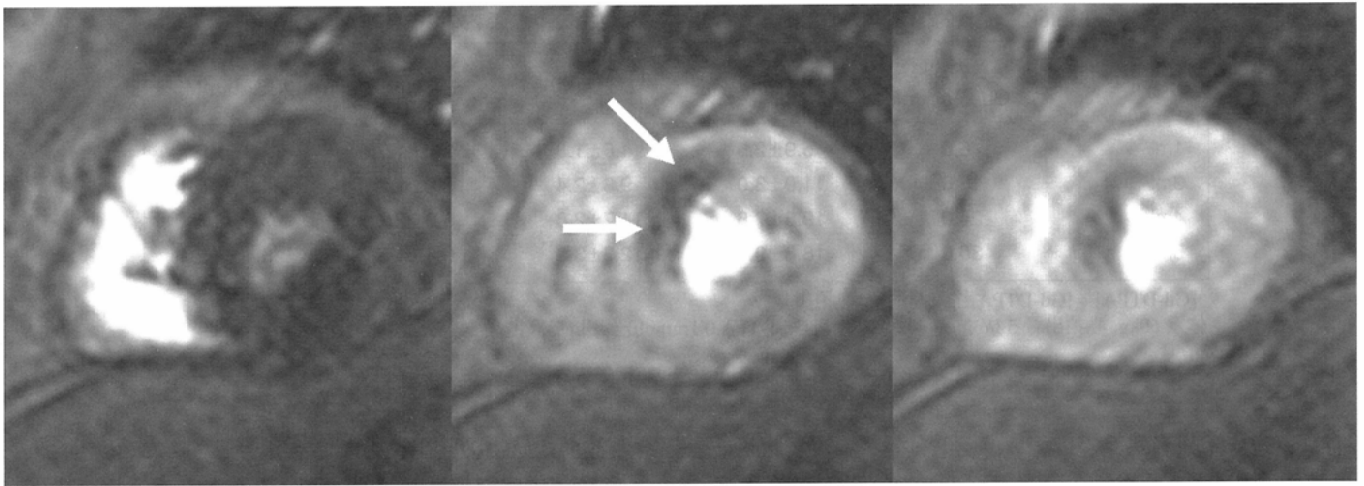


Fig. 6 66歳男性、狭心症患者における負荷心筋血流MRI (interleaved notched saturationとハイブリッドEPI). 冠動脈造影では左冠動脈前下行枝に90%狭窄が認められた。負荷心筋血流MRIにおいて前壁中隔に明瞭な心筋虚血が認められる (矢印)。

があると思われる⁸⁾。血液入力カーブと心筋出力カーブをデコンボリューション法⁹⁾やパトラックプロットを用いて定量的に解析し、心筋血流や心筋血流予備能をより正確に評価する方法が開発されており (Fig. 7)、こうした解析法の導入により心筋血流MRIの診断有用性がより高まるものと期待されている。

遅延造影MRIによる心筋梗塞と心筋バイアビリティーの診断

造影MRIによる心筋バイアビリティーの診断

心筋バイアビリティーの判定は心筋梗塞患者の治療方針を決める上で非常に重要であり、その診断には低用量ドブタミン負荷後の局所壁運動の改善 (心筋収縮予備能) をみる方法や、FDG-PETによる糖代謝の評価などが用いられている。遅延造影MRIは、Gd-DTPA投与15分以後の平衡相においてインバージョンリカバリ (IR) 画像を撮影し、心筋細胞壊死に伴い細胞外液分画の増加した領域を描出する方法で

ある (Fig. 8)。正常心筋組織では、細胞内液が組織の水の80%以上を占めており、Gd-DTPAは残り15~20%の細胞外液分画に分布する (Fig. 9)¹⁰⁾。梗塞心筋では、心筋壊死などに伴ってGd-DTPA分布容積が増加し、インバージョンリカバリ (IR)-MRIにて高信号を示す。線維化を示す慢性期の梗塞も、心筋細胞成分の減少に伴って細胞外液が相対的に増加した状態となるために遅延造影を示す。

遅延造影MRIはバイアブルな心筋を陽性描出するわけではないため、壊死心筋を高信号に描出する“ノンバイアビリティー”イメージング法と呼ぶべき手法である。しかし、MRIは空間解像度が高く心筋の内膜縁と外膜縁を明瞭に同定できるため、遅延造影を示さないバイアブルな心筋が局所心筋にどの程度残存しているかが明瞭に示され、その結果心筋バイアビリティーを正確に診断できる。

“心筋バイアビリティー”は心筋梗塞後の局所心筋が生き残っているか否かを示す用語であるが、各種の画像診断法におけるバイアビリティーの定義にはやや曖昧な面がある。実際の心筋梗塞では、内膜側心筋は壊死し外膜側心筋

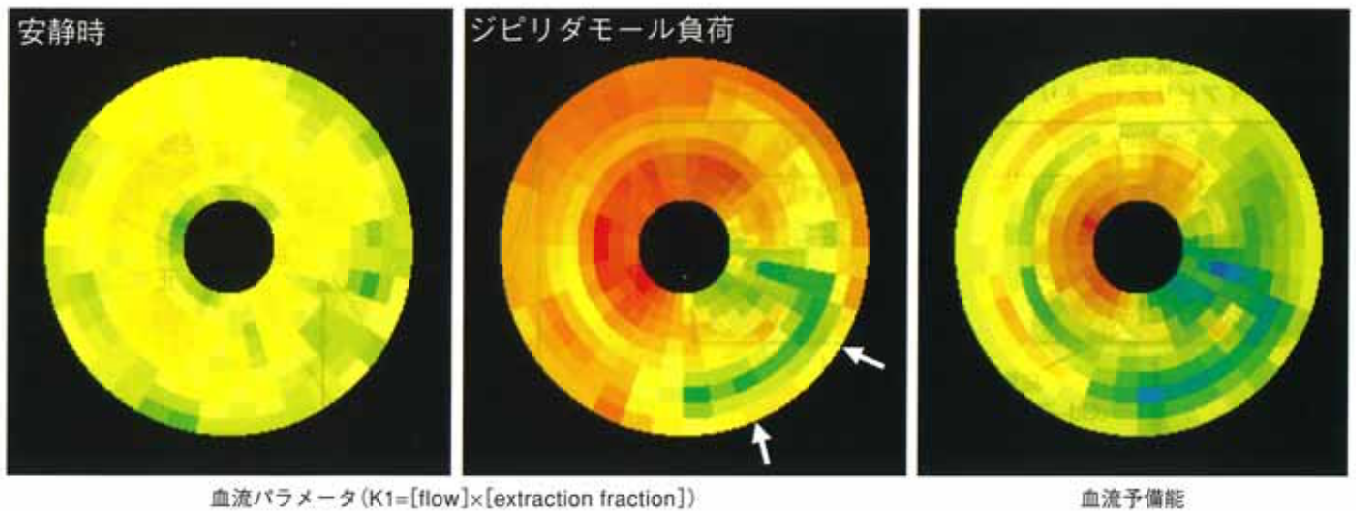


Fig. 7 心筋血流MRIの定量解析。心筋各セグメントにおける時間-信号強度曲線(出力)と血液カーブ(入力)をバトラック解析し、さらにコイル感度補正などの処理を行い、血流パラメータ(K1値)を定量的に算出し、その分布をBull's eye表示した。安静時の血流分布は均一であるが、負荷後の画像をみると中隔～前壁～前側壁の血流が増加しているのに対して後下壁の心筋血流はやや低下している(矢印)。右冠動脈病変に一致する所見である。(藤田学園衛生学部診療放射線技術学科 夏目貴弘, 山本範泰, 前田寿登先生との共同研究)

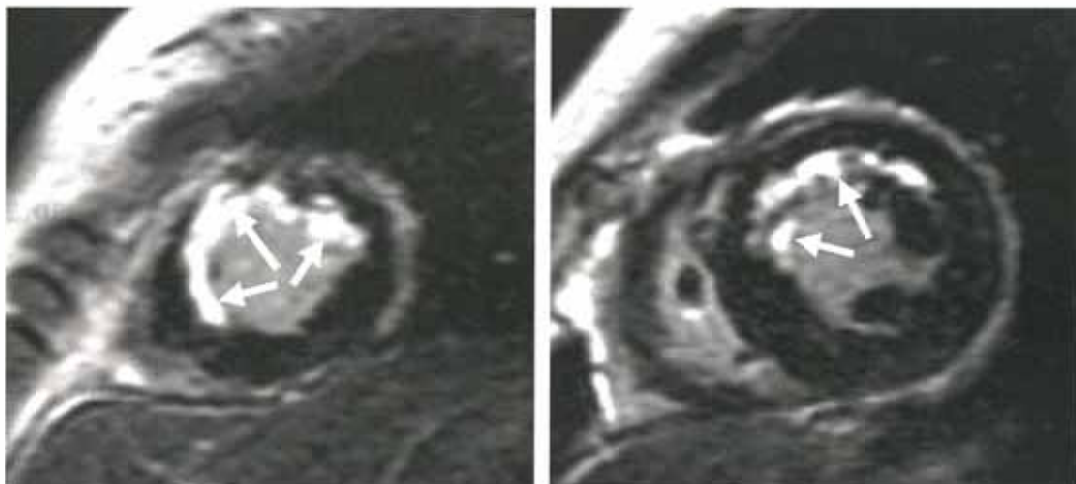


Fig. 8 前壁中隔梗塞における造影インバージョンリカバリMRI。前壁中隔には内膜下を中心に遅延造影が認められ、心尖部には貫壁性の遅延造影がみられる(矢印)。

は生存した状態が生じやすく、さらに同一部位において組織学的に生存心筋と壊死心筋が混在した状態も認められるため、生存心筋と壊死心筋の間に明確な閾値を定めることは困難である。また、ドブタミン負荷による収縮予備能、FDG-PETによる糖代謝情報と造影MRIで示される細胞外液容積の減少は、それぞれ心筋梗塞の病態を異なった側面から評価しており、得られる診断情報は同じではない。造影MRIによる「心筋バイアピリティー」は、主として「梗塞心における壁運動異常領域の機能予後」という意味で用いられることが多く、本稿もこれになっている。

遅延造影MRIにおける造影剤投与方法

遅延造影MRIの撮影は血液と細胞外液の造影剤濃度が

平衡状態に達してから行うことが望ましい。血液と細胞外液間に濃度平衡状態を得る理想的な方法は、MR造影剤を持続点滴静注することであるが、造影開始から濃度平衡状態に達するまでに時間がかかるので画像診断検査としてはあまり実用的ではない。通常は造影剤を静注して15分程度待ち、梗塞部を含めてほぼ濃度平衡状態となった状態で遅延造影MRIの撮影が行われている。遅延造影MRIにおけるGd-DTPA投与量を0.1mmol/kgとすると、梗塞心筋の造影コントラストが不足する症例をしばしば経験する。造影剤投与量は0.1mmol/kgより増加した方が、高い正常-梗塞心筋コントラストを安定して得るうえで有利と思われる。

微小循環閉塞(microvascular obstruction)のためを内部血流がほとんど認められない梗塞では、拡散により病変内部

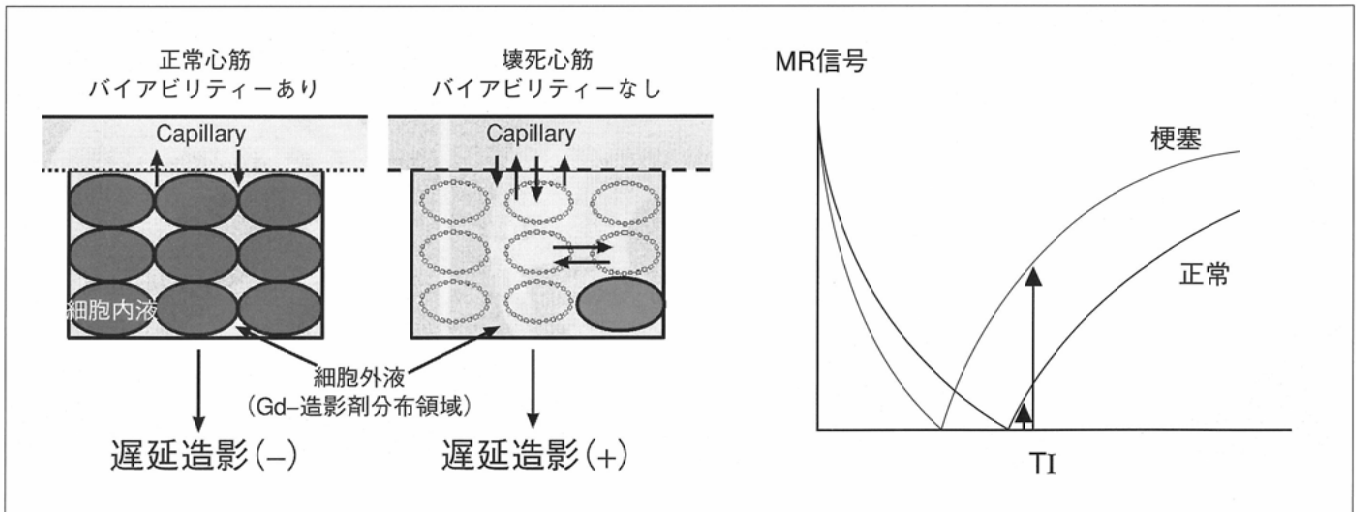


Fig. 9 梗塞心筋が遅延造影を示す機序. 正常心筋と比較して, 心筋細胞の減少した梗塞心筋ではGd-DTPAなどの細胞外液製剤の分布する領域が拡大している(左). 造影剤分布が平衡状態に達した後に, 正常心筋の信号がほぼゼロになるようにTIを調整してインバージョンリカバリMRIを撮影すると, 梗塞心筋が明瞭な高信号を示す(右).

までGd-DTPAが到達するまでに時間がかかるため, 梗塞中心部が造影されずドーナツ状の遅延造影パターンを示す場合がある. こうした症例でも梗塞辺縁部には遅延造影が認められるため, 梗塞病変の検出や梗塞範囲の判定に大きな支障となることは少ない. 造影剤投与後5~10分から撮影を開始するとMR検査時間を短縮できるが, 梗塞周辺の心筋血流の低下した生存心筋領域も造影剤wash-outの低下により高信号を示し, 梗塞範囲を過大評価する可能性がある. 心筋梗塞を除外診断する目的であれば, 造影後約10分から遅延造影MRIの撮影を開始してもよいが, 遅延造影が認められた場合には梗塞範囲を過大評価することのないように15分以降の画像を再撮影すべきである. 造影剤投与後30分以降になると梗塞心筋の造影効果も次第に減少してゆくため, 遅延造影MRIの撮影は造影後30分以内に完了することが望ましい.

遅延造影MRIの撮影法

先に述べたように, 遅延造影MRIでは梗塞心筋の壁内進展度から局所心筋バイアビリティーの判定を行うため^{11)~13)}, 心筋と正常心筋の間に高いコントラスト得ることが重要となる. 遅延造影MRIではk-空間分割法による呼吸停止インバージョンリカバリ・グラディエントエコー法(IR-GRE法)が用いられている. 呼吸停止IR-GRE MRIと従来の心電図同期SE MRIの画質や病変コントラストは大きく異なっており, 前者は組織の微妙なT1緩和時間の差異を鋭敏に反映し慢性期梗塞の瘢痕組織も高信号を示すのに対し, 後者は組織浮腫の強い急性~亜急性梗塞でないとならぬ造影効果を示さない. また, 造影後の心電図同期SE MRIでは内膜近くの左室内血液が高信号を示すため, 内膜下梗塞の診断は困難である.

遅延造影MRIの撮影では反転時間(TI)を慎重に調整することが大切である. テスト撮影で正常心筋の信号がゼロ

になるTIを求めたうえで本撮影を行う. 時間とともに心筋造影剤濃度は次第に低下するため, 本撮影の最適TI値はテスト撮影で得られた値よりも若干長め(20ms程度)になる傾向がある. 3D IR-GRE法は撮影時間が短く, 一回の呼吸停止撮影で左室心筋全体の遅延造影MRIが得られるが, 2D IR-GRE法と比較してアーチファクトが増加しfalse positive所見を呈する場合がある. 2D法から3D法への移行は両者の画質を十分に比較検討したうえで行う必要がある.

遅延造影MRIの読影と診断有用性

心筋バイアビリティーの評価に関しては, 遅延造影心筋が内膜側から外膜側へ向かって心筋壁厚の何%まで認められるかという壁内進展度を0, 1~25, 26~50, 51~75, 76~100%の5段階に分けて解析した報告が多い. 壁内進展度を評価する際, 左室短軸像では心尖部付近において部分容積現象のため進展度を過大評価する可能性があるため, 長軸像も撮影して確認するとよい.

Kimらの慢性冠動脈疾患患者を対象とした報告によると¹¹⁾, 局所壁運動異常に異常のある804セグメントのうち血行再建による機能回復が得られる率は, 遅延造影の壁内進展度が壁厚の0%のセグメントでは78%, 1~25%では60%, 26~50%では42%, 51~75%では10%, 76~100%では1.7%であり, 梗塞心筋の壁内進展度が高くなるほど, 機能回復の可能性は低くなる. 遅延造影MRIは急性心筋梗塞後早期におけるバイアビリティー診断にも有用性が報告されている. Choiらは急性心筋梗塞発症後1週間以内に遅延造影MRIを撮像し, バイアビリティー診断における有用性を検討した¹²⁾. 発症後早期に局所壁運動異常に異常をみとめた316セグメントのうち壁運動改善を認めたものは, 遅延造影の壁内進展度が壁厚の0%のセグメントでは77%, 1~25%では67%, 26~50%では56

%, 51~75%では35%, 76~100%では4.7%であった。われわれのグループが急性心筋梗塞患者23例を対象とした検討では¹³⁾, 遅延造影の壁内進展度が50%未満のセグメントをバイアビリティありと判定した場合, 造影MRIは感度98%, 特異度75%, 正診率92%であり, タリウム心筋シンチグラフィよりも有意に良好な結果が得られた¹⁴⁾。

謝辞

心臓領域の画像診断に関する共同研究者である, 三重大学医学部放射線科の石田正樹先生, 市川泰崇先生, 北川覚也先生, 村嶋秀一先生, 竹田寛教授, 三重大学医学部第一内科の本康宗信先生, 中野赳教授, 藤田学園衛生学部診療放射線技術学科 夏目貴弘先生, 山本範泰先生, 前田寿登教授の各先生方に感謝いたします。

文 献

- 1) Prince MR: Gadolinium-enhanced MR aortography. *Radiology* 191: 155-164, 1994
- 2) Prince MR, Yucel EK, Kaufman JA, et al: Dynamic gadolinium-enhanced three-dimensional abdominal MR arteriography. *J Magn Reson Imaging* 3: 877-881, 1993
- 3) Maki JH, Price MR, Chenevert TC: Optimizing three-dimensional gadolinium-enhanced magnetic resonance angiography. *Invest Radiology* 33: 528-537, 1998
- 4) Al-Saadi N, Nagel E, Gross M, et al: Improvement of myocardial perfusion reserve early after coronary intervention: assessment with cardiac magnetic resonance imaging. *J Am Coll Cardiol* 36: 1557-1564, 2000
- 5) Al-Saadi N, Nagel E, Gross M, et al: Noninvasive detection of myocardial ischemia from perfusion reserve based on cardiovascular magnetic resonance. *Circulation* 101: 1379-1383, 2000
- 6) Slavin GS, Wolff SD, Gupta SN, et al: First-pass myocardial perfusion MR imaging with interleaved notched saturation: feasibility study. *Radiology* 219: 258-263, 2001
- 7) Ishida N, Sakuma H, Motoyasu M, et al: Dynamic first-pass contrast MR imaging of the myocardium: Correlation with quantitative coronary angiography in patients without myocardial infarction. Submitted to *Radiology*
- 8) Ibrahim T, Nekolla SG, Schreiber K, et al: Assessment of coronary flow reserve: comparison between contrast-enhanced magnetic resonance imaging and positron emission tomography. *J Am Coll Cardiol* 39: 864-870, 2002
- 9) Wilke N, Jerosch-Herold M, Wang Y, et al: Myocardial perfusion reserve: assessment with multisection, quantitative, first-pass MR imaging. *Radiology* 204: 373-384, 1997
- 10) Bremerich J, Saeed M, Arheden H, et al: Normal and infarcted myocardium: differentiation with cellular uptake of manganese at MR imaging in a rat model. *Radiology* 216: 524-530, 2000
- 11) Kim RJ, Fieno DS, Parrish TB, et al: Relationship of MRI delayed contrast enhancement to irreversible injury, infarct age, and contractile function. *Circulation* 100: 1992-2002, 1999
- 12) 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* 343: 1445-1453, 2000
- 13) Choi KM, Kim RJ, Gubernikoff G, et al: Transmural extent of acute myocardial infarction predicts long-term improvement in contractile function. *Circulation* 104: 1101-1107, 2001
- 14) 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* (in press) 1997