

原 著

Magnetic Resonance Imaging (MRI) を使用した 心筋遅延造影撮影におけるコントラストの描出と 心筋バイアビリティーの評価

長岡中央総合病院、放射線科；放射線技師¹⁾、新潟医療センター、放射線科；放射線技師²⁾

矢部 敦士¹⁾、大橋 利弘²⁾

目的：Magnetic Resonance Imaging (以下 MRI とする) 装置と MRI 用造影剤を使用し、心筋梗塞、虚血によりダメージを受けた心筋と正常心筋とをより良いコントラストで描出し、心筋バイアビリティー (蘇生能) 評価を行う。

方法：心筋梗塞などで経皮的冠動脈形成術 (Percutaneous Transluminal Coronary Angioplasty 以下 PTCA とする) 治療を行った症例に対し、後日 MRI 装置と MRI 用造影剤を使用して心臓 (主に心筋) を撮影。正常心筋とダメージを受けた心筋との明瞭なコントラストを得られるよう適正撮影条件にて撮影。心筋内膜下への遅延造影の進展度を視覚的に判断し心筋バイアビリティーの評価をした。

結果：適応とした症例はほぼ全てにおいて正常心筋とダメージを受けた心筋との明瞭なコントラストが得られ、それにより適正でより精度の良い心筋バイアビリティーの評価が行えた。

結論：MRI 装置と MRI 用造影剤を使用した遅延造影 MRI は解像度、コントラストが明瞭なため従来の Radioisotope (以下 RI とする) などを使用した心筋バイアビリティー評価よりも疑陽性の少ない精度の高い心筋バイアビリティー評価ができる可能性を示唆できた。

キーワード：遅延造影、心筋バイアビリティー、心臓 Magnetic Resonance Imaging (心臓 MRI)

緒 言

2009年7月28日に、東芝社製1.5テスラ MRI 装置へ更新され、診療手技の拡充を目指し、MRI 検査ではあまり行われていない心臓領域の検査の中で、MRI 用造影剤を使用した遅延造影 MRI による急性期心筋梗塞患者の心筋バイアビリティーの評価を行った。

心筋バイアビリティー評価は視覚的評価にて行われるため、正常心筋とダメージを受けた心筋とのコントラストが非常に重要になる。このコントラストを得るための MRI 用造影剤の心筋への集積機序、撮影テクニック、撮影時の問題点を記す。集積機序としては、心筋梗塞などによりダメージを受けた心筋は細胞容積の縮小や繊維化、細胞膜障害がおこる (図1)。その状態で造影剤を投与するとダメージを受けた梗塞心筋

領域では正常心筋に比べ造影剤が広く分布するようになる (図2)。この造影剤の分布量に違いにより T1緩和時間が短縮し T1強調画像にて高信号になる。撮影テクニックとしては、上記ほど僅かな造影剤分布量の違いを通常の撮影では描出しにくいので、より梗塞領域との明瞭化を図る為、Inversion Recovery パルス (以下 IR パルスとする) を照射し、正常心筋が無信号になる最適な Inversion Time (以下最適 TI 時間とする) で撮影することによってより正常心筋領域と梗塞心筋領域との明瞭化ができるようになる (図3)。撮影時の問題点としては、造影剤は投与直後より正常心筋やダメージを受けた梗塞心筋に絶えず取り込まれていき、20分ほど経つと正常心筋とダメージ心筋との造影剤分布量が同じになり、その後は徐々に排出される。正常心筋と梗塞心筋の造影剤量の明瞭な違いができる造影剤投与後5分から15分までしか最適な撮影が行えないということと、排出までの間は心筋に分布する造影剤量は絶えず増加する。造影剤量の変化は心筋から発せられる信号強度の変化に直接関係する為、IR パルスを照射してから正常心筋が無信号になる最適 TI 時間は常に変化 (増加) していくことになる。よって、造影剤投与後は撮影を行っていくにつれ、常に最適 TI 時間を変化させなくてはならないと言う二つの問題点がある。

対 象 と 方 法

A. 対象

2010年8月から2011年3月までの間に主に心筋梗塞の中でも急性心筋梗塞患者で経皮的冠動脈形成 (PTCA) を施行し、施術後2日～10日の間に容態の安定した3症例に対し心臓造影 MRI 検査を行った。

B. 方法

1. 使用装置、使用造影剤、使用機器、撮影条件を以下に通りに示す。

1) 使用装置

東芝メディカルシステムズ株式会社の1.5テスラ MRI 装置 EXCELARTVantage™ Powered by Atlas

2) 使用造影剤

MRI 用造影剤 マグネピスト 静注シリンジ10

ml・15ml、投与造影剤量は(0.2×体重) mlとした。

3) 使用機器

MRI 用心電図電極

4) 撮影条件

TI-Prep 撮影条件(短軸横断像時): テクニック Fast field echo, Repetition time9.1, Echo time3.6, Flip Angle25°, スライス厚10mm, Slice 枚数1枚×7回, Matrix256×144, field of view360×360mm, IR パルス180° (パルス型 Non-Select), inversion time200~340ms (20刻み)、ゲートモード ECG、K-space trajectory Sequential、RO-AFI、Scan time 約23秒、遅延造影撮影条件(短軸横断像時): テクニック Fast field echo3D, Repetition time5.2, Echo time2.2, Flip Angle17° スライス厚8mm, slice 枚数10枚 Matrix256×128, field of view360×360mm, IR パルス180° (パルス型 Non-Select)、TI 値(任意)、ゲートモード ECG、K-space trajectory Sequential、RO-AFI、Scan time 約20秒、Speeder Factor2.0

2. 手技

造影剤を手押しにて静脈注入。注入直後よりカウントを開始し、注入開始5分後から正常心筋の信号が最も低くなる適正 TI 時間を見つけるために様々な TI 時間で撮影できる TI-prep 撮影を行う。適正 TI 時間を確認後およそ7分後より本スキャン開始し、梗塞部位と正常部位のコントラストがつかなくなる15分後には撮影を終了した。

3. 心筋バイアビリティー評価

主に視覚的判断によって評価。領域区分はアメリカ心臓協会(AHA)提唱の17セグメント(図4)にて区分し、内臓側から外臓側へ遅延造影された壁内進展度によりバイアビリティー評価を行った(図5)。壁内進展度が75%を超えると、PTCA・CABG等で血行再建術を行っても心筋の機能回復は望めないとされている(図6)。

結 果

症例1:

急性心筋梗塞にて左冠動脈左前下行枝(以下LADとする) #7の100%狭窄、右冠動脈 small、PTCAの2日後に遅延造影MRIを施行。左前下行枝#7の支配領域であると考えられる領域が Microvascular obstruction(以下MOとする)を伴った遅延造影を認めた(図7)。病変部とのコントラストを明瞭にするためのTI値は短軸像撮影時260ms(図7)、垂直長軸像撮影時280ms(図8)、四腔長軸像撮影時280msで設定し良好なコントラストを得られた。医師による読影結果は、左室前壁から中隔の一部、心尖部から下壁にかけて壁内進展度グレード4ということでバイアビリティーはほとんど無いという結果になった。

症例2:

右冠動脈#3の100%狭窄。遅延造影MRIでも#3の支配領域であると考えられる、中隔の一部から下壁にかけてMOを伴った遅延造影を認めた。TI値は短軸像撮影時260ms(図10)、垂直長軸像撮影

時280ms(図11)であった。読影結果は、壁内進展度グレード3でバイアビリティーは約10%という結果になった。

症例3:

LAD#6の100%狭窄。左回旋枝(以下LCXとする) #12・13にも90~99%の狭窄を認める。遅延造影MRIでも同様の領域にMOを伴った遅延を認める(図12)。また、#12・13領域にも僅かであるが遅延が認められた。TI値は短軸像撮影時250ms(図12)であった。読影結果は前壁一部から中隔にかけて壁内進展度グレード3でバイアビリティーは約10%、側壁下部ではグレード1でバイアビリティーは約60%という結果になった。

上記の3症例のように、ほぼ全症例において心筋梗塞によりPTCA治療を行った部位と同等の部位が遅延造影を示し、TI値の設定においてもTI-prepより得た画像を元に、2D撮影と3D撮影の撮像条件の違いを加味した上で微調整することにより良好なコントラストを得ることができた。また、良好なコントラストを得られたことによりほぼ全症例において適正にバイアビリティー評価を行うことができた。

考 察

今回MRI装置とMRI用造影剤を使用することにより高いコントラスト画像が得られ、適正なバイアビリティー評価が行えた。この遅延造影撮影はバイアビリティーの評価だけでなく、ダメージを受けた心筋壁の詳細な領域やダメージの程度がわかるため、これらの情報を基に、ダメージを受けた心筋壁の繊維化やひ薄化による不整脈の出現や壁運動の低下による血栓の出現が予測できるようになり、事前投薬によってこれらの疾病対策や予防などが可能になると期待される。しかし、遅延造影検査は非常に感度という点では良いが特異度という点ではあまり良くなく、心筋炎、サルコイドーシス、アミロイドーシス、拡張型心筋症、肥大型心筋症など様々な疾患でも遅延造影が起こる。さらに、これらの疾患によって遅延造影されるパターンも、心筋中間層のみの遅延造影や外臓側部分のみなど多彩である為、遅延造影が見られた部位全てが急性心筋梗塞によってうけたダメージであるとは言い難い。遅延造影撮影やバイアビリティー評価には、上記の事柄を念頭において、事前にPTCA治療を行った部位を確認しダメージを受けた心筋領域を予測する事と、その他の遅延造影を示す可能性のある疾患の確認が絶対的に必要である。

文 献

1. 佐久間肇他. Society for Cardiovascular Magnetic Resonance Japan Chapter. SCMRによる心臓MRI検査標準化プロトコル バージョン1.0:2007. 3月 URL: <http://scmr.jp/index.html>
2. 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(20): 1445-1453.
3. Choi KM, Kim RJ, Gubernikoff G, et al. Transmural

Extent of acute myocardial infarction predicts long-term improvement in contractile function. *Circulation* 2001 ; 104(10) : 1101-1107.

4. 石本剛、石原克、池田貴之、川上百恵. 3.0T MRI における3D心臓遅延造影MRIの検討. *日放技学誌*, Vol. 64, No. 12, 1554-1561, (2008).

英文抄録

Original article

An evaluation of cardiac muscular viability by delayed enhanced cardiac magnetic resonance imaging (MRI)

Nagaoka Central General Hospital, Department of radiology ; radiological technologist¹⁾, Niigata Medical Center, Department of radiology ; radiological technologist²⁾

Atsushi Yabe¹⁾, Toshihiro Ohashi²⁾

Purpose : The damaged cardiac muscles are well delineated by magnetic resonance imaging (MRI), the best setting condition of which is pursued to evaluate cardiac muscular viability.

Study design : Our three cases of ischemic cardiac disease were evaluated with MRI after percutaneous transluminal coronary angioplasty (PTCA). We pursued the appropriate scanning condition to delineate the extent of cardiac muscular viability.

Results : Delayed enhanced cardiac magnetic resonance imaging provided the best definition of damaged cardiac muscles of all cases.

Conclusion : Delayed enhanced cardiac magnetic resonance imaging is superior to radioisotope to evaluate cardiac muscular viability because of its sharp imaging.

Key words : delayed enhanced cardiac magnetic resonance imaging (MRI), cardiac muscular viability

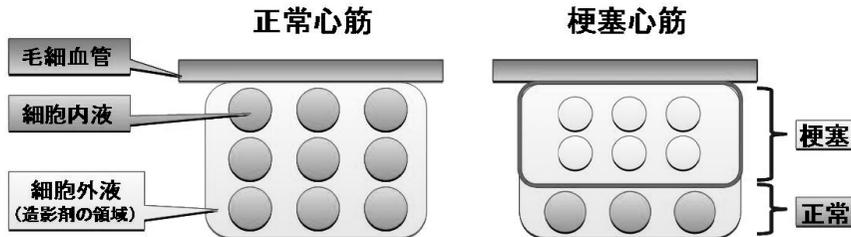


図1. 正常心筋と梗塞心筋のイメージ図
梗塞心筋では繊維化などにより細胞が縮小している。

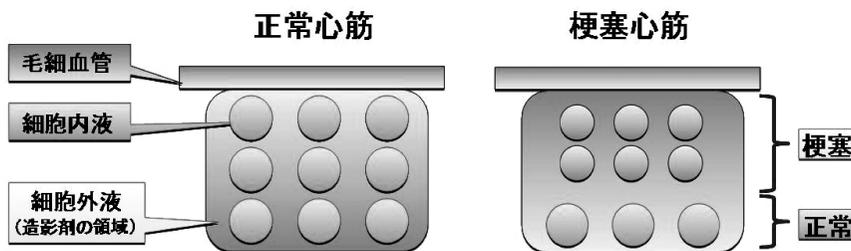
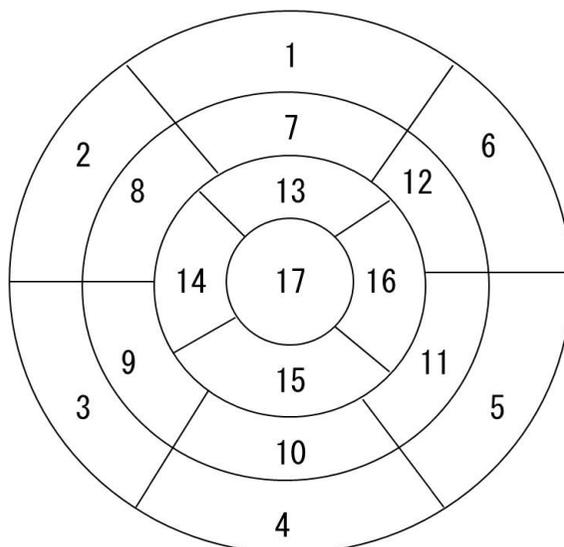


図2. 造影剤投与後の正常心筋と梗塞心筋の造影剤分布イメージ図
梗塞心筋細胞では細胞膜障害により細胞内にも造影剤が入り込んでいる。



図3. 無信号になった状態のイメージ図
IRパルスを照射し適正なTI値で撮影した場合、造影剤の分布量の違いが画像に出るため梗塞心筋の信号が高くなる。



- | | |
|----------------------------------|---------------------------------|
| 1. Basal anterior (前壁心基部) | 10. Mid inferior (下壁中央部) |
| 2. Basal anteroseptal (前壁中隔心基部) | 11. Mid inferolateral (下壁側壁中央部) |
| 3. Basal inferoseptal (下壁中隔心基部) | 12. Mid anterolateral (前壁側壁中央部) |
| 4. Basal inferior (下壁心基部) | 13. Apical anterior (前壁心尖部) |
| 5. Basal inferolateral (下壁側壁心基部) | 14. Apical septal (中隔心尖部) |
| 6. Basal anterolateral (前壁側壁心基部) | 15. Apical inferior (下壁心尖部) |
| 7. Mid anterior (前壁中央部) | 16. Apical lateral (側壁心尖部) |
| 8. Mid anteroseptal (前壁中隔中央部) | 17. Apex (心尖) |
| 9. Mid inferoseptal (下壁中隔中央部) | |

図4. 心臓の領域区分
アメリカ心臓協会 (AHA) 提唱の17セグメントにて分けられる。

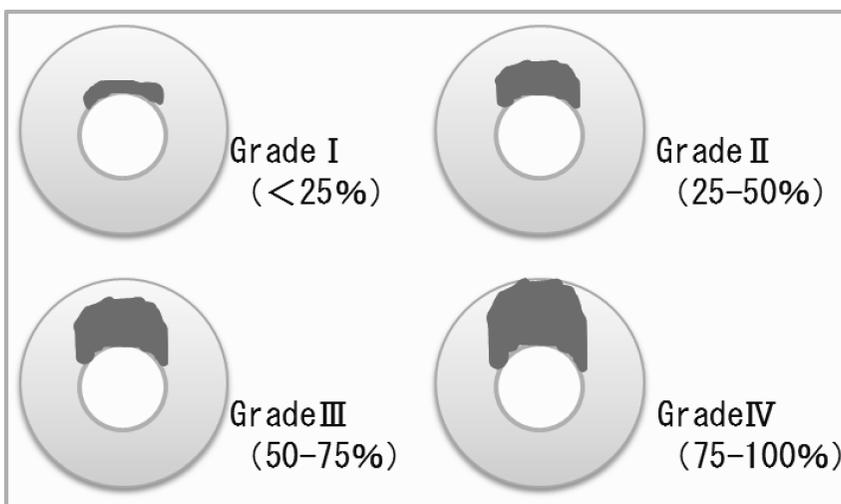


図5. 壁内進展度の Grade 区分 (短軸像)
内側の円が心筋内膜側で外側の円が心筋外側を表し、色の濃い部分が遅延造影撮影にて信号が高くなった場所を示す。主に4段階のグレードで表現される。

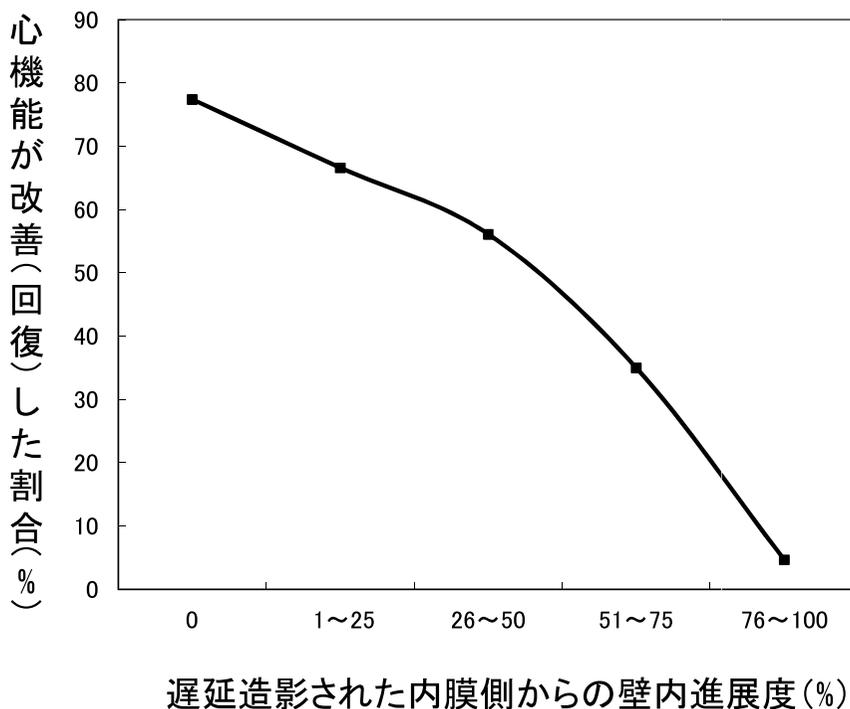


図6. Kell M, Choi 等による梗塞進展度と心機能回復の相関図
Kelly M. Choi et al, Circulation 2001 ; 104 : 1101-1107を参考に著者変更



図7. 症例1 左室短軸像 (TI 値=260ms)
前壁に強い高信号が見られる。高信号の中に僅かな造影剤すら到達できない正常心筋よりも信号の低い真の無信号の部分 (MO) がある。



図8. 症例1 垂直長軸像 (TI 値=280ms)
前壁から心尖部、下壁の一部にかけてMOと伴った遅延造影が見られる。
右冠動脈がsmallである為、前下行枝の支配領域が下壁の一部まで広がっている。

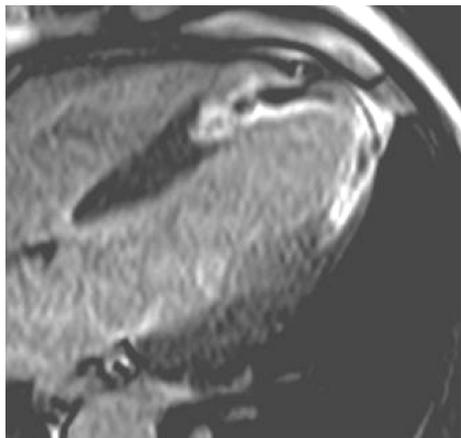


図9. 症例1 四腔長軸像 (TI 値=280ms)
中隔から側壁にかけて遅延造影が見られる。

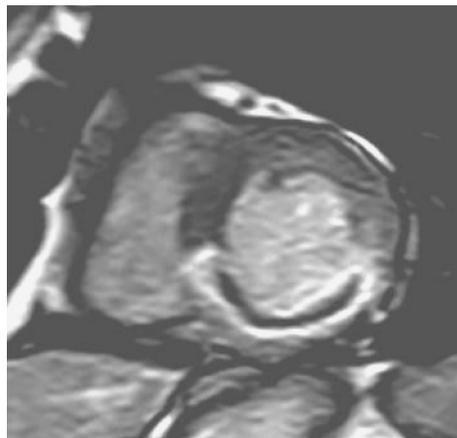


図10. 症例2 左室短軸像 (TI 値=260ms)
主に下壁にかけてMOを伴った高信号が見られる。

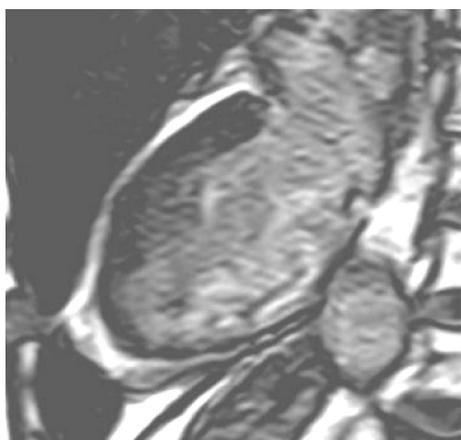


図11. 症例2 垂直長軸像 (TI 値=280ms)
下壁の広い範囲に遅延造影が見られる。

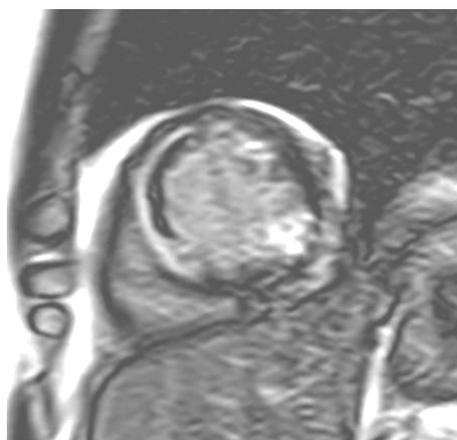


図12. 症例3 左室短軸像 (TI 値=250ms)
LADの支配領域である前壁から側壁にかけてMOを伴った遅延造影がみられた。
CX #12、#13の支配領域である側壁下方にも僅かではあるが遅延造影がみられる。

本論文で使用した略語一覧と用語定義一覧表

AHA	american heart association	アメリカ心臓協会
CABG	coronary artery bypass graft	冠動脈バイパス移植術
CX	left circumflex artery	左回旋枝
IR	inversion recovery	反転回復法
LAD	left anterior descending artery	左前下行枝
MO	microvascular obstruction	微小血管閉塞
MRI	magnetic resonance imaging	磁気共鳴画像法
PTCA	percutaneous transluminal coronary angioplasty	経皮的冠動脈形成術
RI	radioisotope	放射性同位元素
TI	inversion time	反転時間
アミロイドーシス		Amyloidosis アミロイドと呼ばれる線維状の異常蛋白が沈着して臓器の機能障害をおこす病気の総称です。アミロイドが全身の多臓器に沈着する全身性アミロイドーシスと、ある臓器に限局して沈着する限局性アミロイドーシスに分けられる。
拡張型心筋症		心臓の細胞が変化し、特に心筋が伸びてしまう心疾患。
感度		他からの刺激に感じる度合い・程度。
コントラスト		Contrast 画像や画面表示における、明るい部分と暗い部分との明度の差。
サルコイドーシス		sarcoidosis サルコイドーシスは原因不明の全身性（多臓器性）肉芽腫性疾患で、その病理像は類上皮細胞肉芽腫を特徴とする。
特異度		臨床検査の性格を決める指標の1つで、ある検査について「陰性のものを正しく陰性と判定する確率」として定義される値。
テスラ		Tesla, T SI単位系による磁束密度の単位。1T=10000gauss
バイアビリティ		Viability 生存率、生存性、生存能力
肥大型心筋症		Hypertrophic cardiomyopathy, HCM 明らかな原因がないにもかかわらず、局在性の心筋肥大を起こす病態である。

(2012/02/06受付)