

MAGNETOM Flash

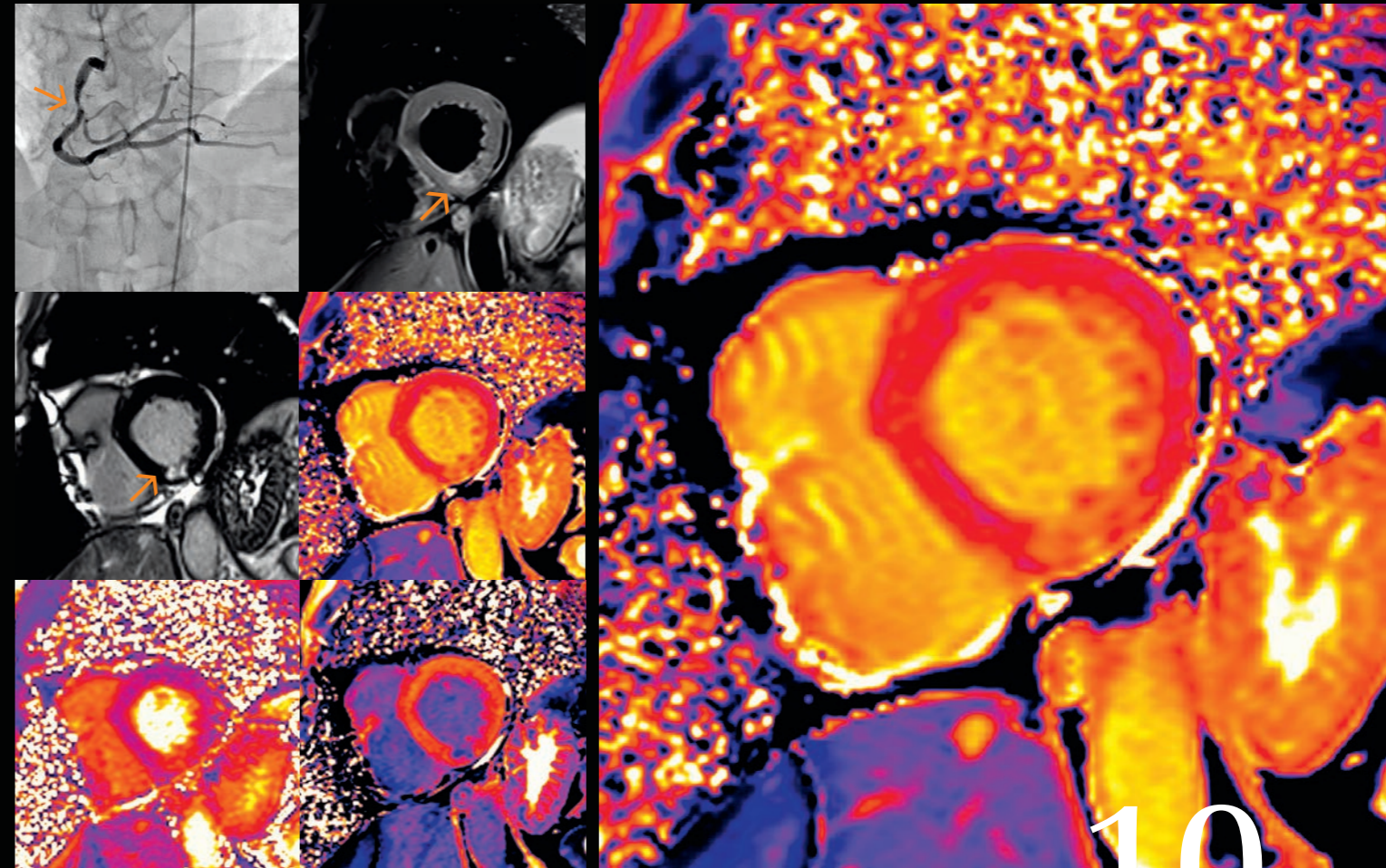
The Magazine of MRI 翻訳版

Issue Number 1/2016 | SCMR Edition

製造販売業者
シーメンスヘルスケア株式会社
〒141-8644
東京都品川区大崎 1-11-1
ゲートシティ大崎ウエストタワー

本冊子に関するお問い合わせは、
下記電話番号までお願いいたします。
TEL 0120-041-387
仕様は予告なく変更する場合がありますのでご了承ください。なお、本冊子
ログにはオプションが含まれています。詳しくは担当営業におたずねください。

S-546(1708GPJ3K)



症例報告：化学療法を受ける患者における心筋の変化の検出

Page 04

症例報告：非虚血性心筋症における心筋線維化

Page 06

症例報告：心筋梗塞におけるMyoMapsの臨床的有用性

Page 10

症例報告：3TのQISS MRA

Page 13

MOLLI T1マッピングシーケンスは遅延造影 (DE) CMRの最適な方法か？

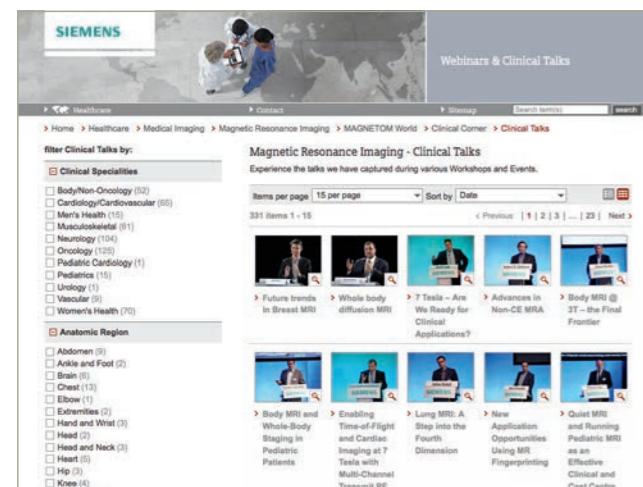
Page 15

The MAGNETOM World

Your portal to talks, articles and case studies

siemens.com/magnetom-world

Siemens' global MRI community offers peer-to-peer support and information. Radiologists, physicists, cardiologists, and technologists, have all contributed with publications, presentations, training documents, case studies, and more – all freely available to you via this unique network.

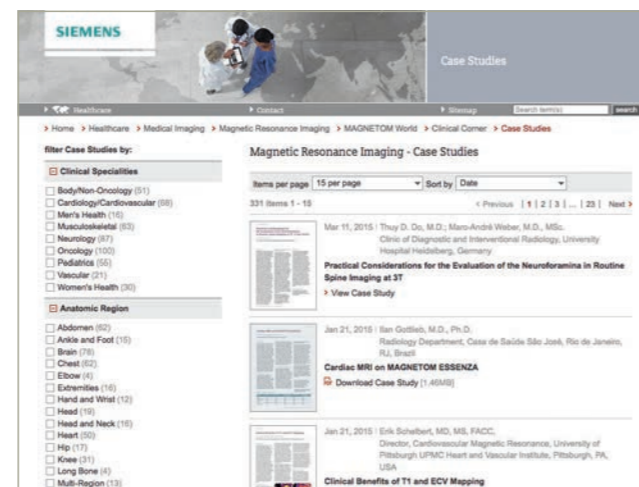


Don't miss the >300 lectures and presentations by international and renowned experts on all aspects of MRI that will allow you to be exposed to new ideas and alternative approaches.

Put the advantages of the MAGNETOM World to work for you!

siemens.com/magnetom-world

MAGNETOM Worldは、世界のユーザーへの情報発信の場となっています。シーメンスが発行している情報誌MAGNETOM FLASHやドキュメントデータ、さまざまな領域のケースレポート、ユーザーによる講演ビデオ、ISMRMにおけるユーザー発表の抄録などをご覧いただけます。また、撮像プロトコルのご参考にしていただける画像も随時更新されていますので、是非ご覧ください。



The centerpiece of the MAGNETOM World Internet platform consists of MAGNETOM users' results. Here you will find case reports, articles and application tips allowing you to optimize your daily work.

Content

Cardiovascular Imaging

- 04 症例報告:**
化学療法を受ける患者における心筋の変化の検出
 Arash Seratnahaei, M.D.; Vincent L. Sorrell, M.D., FACP, FACC, FASE; David Powell, Ph.D.; Peter A. Hardy, Ph.D.; Bruce Spottiswoode, Ph.D.; Steve W. Leung, M.D., FACC
- 06 症例報告:**
非虚血性心筋症における心筋線維化
 Jeremy D. Collins, M.D.; Bruce Spottiswoode, Ph.D.; James C. Carr, M.D.
- 10 症例報告:**
心筋梗塞におけるMyoMapsの臨床的有用性
 Masashi Nakamura, M.D.
- 13 症例報告:**
3TのQISS MRA
 Anna-Maria Lydon, PgDip MRI, DCR(R); Associate Professor Andrew Holden, MBChB, FRANZCR; Dr. Jacobus Kritzinger, MBChB, FRCPC
- 15 MOLLI T1マッピングシーケンスは遅延造影 (DE) CMRの最適な方法か?**
 Magalie Viallon; Thomas Troalen; Bruce Spottiswoode; Pierre Croisille

Cover image courtesy of Masashi Nakamura, M.D.
 (Saiseikai Matsuyama Hospital Diagnostic Radiology 880-2, Yamanishi, Matsuyama Ehime, 791-8026 Japan)

MAGNETOM Worldならびに MAGNETOM Flash に記載されている情報は、説明のみを目的としたものであり、読者が医療活動の指示として利用することを目的とするものではありません。本情報を読まれた医療関係者の皆様におかれましては、個々の患者の診断を行なう際、自らの専門知識に基づいて診断しなければならないという点をご了承ください。本資料はこのような責務に置き換わるものではなく、シーメンスはそれらに関連する目的で本資料が使用されることを意図しておりません。MAGNETOM Worldならびに MAGNETOM Flash の中に記載されている薬物および用量は、薬物の使用および適応に関する認可ラベルに従っています。治療に当たる医師は、使用に関連して処方された薬物および用量を含む、患者の診断および治療に対して一切の責任を負います。MRシステムを操作する場合は、常に取扱説明書の内容を厳密に順守する必要があります。技術データの出典は、対応するデータシートです。

症例報告： 化学療法を受ける患者における心筋の変化の検出

Arash Seratnaehai, M.D.; Vincent L. Sorrell, M.D., FACP, FACC, FASE; David Powell, Ph.D.; Peter A. Hardy, Ph.D.; Bruce Spottiswoode, Ph.D.; Steve W. Leung, M.D., FACC

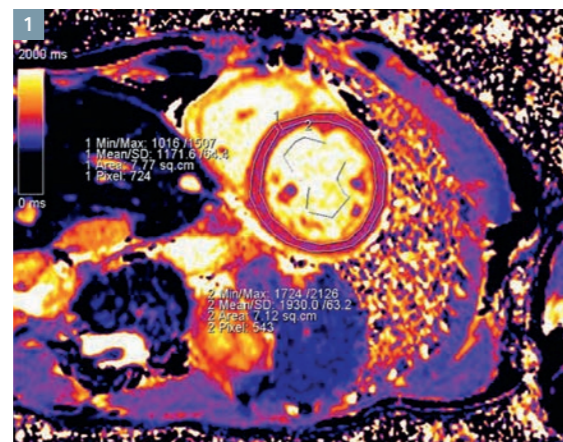
University of Kentucky Medical Center, Gill Heart Institute, Lexington, KY, USA

患者の病歴

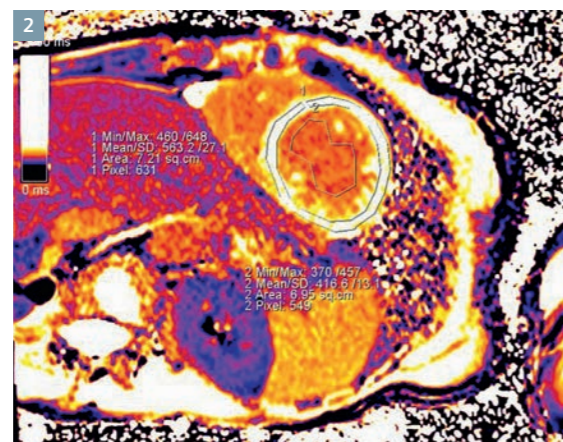
46歳女性、主訴は進行性の労作時呼吸困難であった。急性骨髄性白血病であることが判明し、ダウノルビシンによる7+3寛解導入療法を受けた。初回化学療法が奏効しなかったため、高用量シタラピンおよびイダルビシンによる再導入療法を受けた。化学療法実施前の心エコー上の左室駆出率(LVEF)は正常であった(>55%)。化学療法の3週間後の心エコーによる再評価ではLVEFが40~50%に低下し、左室心尖部血栓が疑われた。左室機能および左室心尖部血栓の評価のため心臓MRI(CMR)を受けた。

シーケンスの詳細

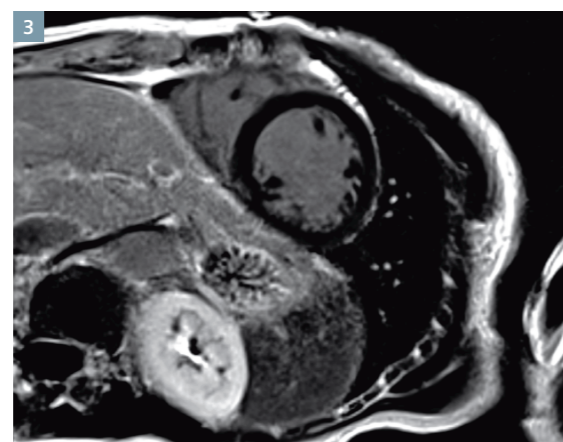
撮像は全ての1.5TスキャナMAGNETOM Aera、ソフトウェアバージョンsyngo MR D13で行った。T1値測定のため、11心拍、5(3)3 SSFPリードアウトのシーケンスを用い、心室中部短軸のMODified Look Locker Inversion Recovery (MOLLI)画像を拡張期に収集した。撮像パラメータは、FOV 300 mm、スライス厚 8 mm、TR 335.62 ms、TE 2.7 ms、マトリクス 256 × 168 にて分解能 1.2 mm × 1.2 mm、TI start = 130 ms、TI increment = 80 msであった。次に、Bayer HealthCare Pharmaceuticals (バイエル薬品、ドイツ・レーヴァークーゼン)のガドペンテ酸ジメグルミン製剤マグネビストの総量 0.2 mmol/kg を 4 ml/s で注入した。造影剤



1 心室中部短軸の非造影T1マッピング(MOLLI 5(3)3)で造影前心筋T1値の延長が認められる。



2 心室中部短軸の造影後T1マッピング(MOLLI 4(1)3(1)2)を用いて細胞外容積分画を算出。



3 PSIRによるガドリニウム遅延造影の心室中部短軸像では信号増強が認められない。

注入の10分後に、Phase Sensitive Inversion Recovery (PSIR) グラジエントエコーシーケンスを用いてガドリニウム遅延造影(LGE)を行い、限局性の心筋線維化の評価を行った。最後は造影剤注入の18分後に、造影前(非造影)T1マッピングと同等の処方MOLLI 4(1)3(1)2を用いて造影後T1マッピングを行った。図1および図2のように、T1マップ上で血液プールの中央と心筋に手動で関心領域を描画し、造影前後のT1値を測定した。

分配係数λ(ラムダ)および細胞外容積分画(ECV)を以下のように算出した:

$$\lambda = \frac{\lambda = 1/\text{造影後心筋 T1} - 1/\text{造影前心筋 T1}}{1/\text{造影後血液 T1} - 1/\text{造影前血液 T1}}$$

$$\text{ECV} = \lambda (1 - \text{ヘマトクリット})$$

画像所見

CMRIにより、全体的な壁運動低下を伴いLVEFが40%に低下していることが確認された。LGE画像上で限局性の線維化や左室血栓は認められなかった。造影前T1値は心筋が1,171 ms、血液プールが1,930 msであった。造影後T1値は心筋が563 ms、血液プールが417 msであった。スキャン当日朝のヘマトクリット値は26.9%であった。ECV計算値は35.9%で上昇が認められた。心拍数は非造影T1マッピング時も造影後T1マッピング時も65 bpmであった。T1マッピングに基づき、この患者は従来のCMR撮像では検出されなかった浮腫または急性炎症反応を有すると思われた。非造影T1マッピング(図1)の定量解析でT1値の延長が示されたのに対して、造影後T1マッピング(図2)の定量解析ではT1値の短縮が示された。LGE(図3)では線維化または癒着のエビデンスは示されなかった。

考察

心内膜心筋生検は心筋疾患評価の“ゴールドスタンダード”である。しかし、侵襲的な手技であり、その精度は組織採取の誤差により低下し、合併症および死亡のリスクがある。そのため、心筋組織の評価法は非侵襲的であることが望ましい。CMRでは各種の非侵襲的な心筋組織性状評価を行うことができる。心筋ECVの評価では、ガドリニウム系造影剤の投与

前後でT1マッピングを行う方法が新たに登場した。非造影T1マッピングで急性の心筋炎症が判明する一方、造影前後のT1マッピングを組み合わせると心筋ECVの上昇に関する情報が得られる。限局性またはびまん性の線維化・癒着や浮腫ではECV上昇が認められる[1]。アントラサイクリン系化学療法薬は心機能障害を引き起こすことがよく知られており、そのために使用が限定される。短期および長期の心機能障害がともに報告されている[2]。長期の障害は累積用量依存性で、不可逆性の左室収縮機能障害などがある。一方、短期の障害は報告されている症例数が少ない。短期の障害は化学療法薬の投与直後から数週間以内に発生する可能性があり、心膜炎、不整脈、急性左室収縮機能障害などがある[2, 3]。この患者では、急性心筋浮腫を示す造影前T1値の延長が認められる。造影前T1値が正常範囲内であれば、ECV計算値も正常範囲に入ったであろう。ECV上昇の主因はびまん性の線維化ではなく

浮腫であると思われる。本症例は、アントラサイクリン系化学療法薬を投与されて間もない患者の急性心筋浮腫を同定できるという、T1マッピングを用いたCMRの有能さを強調するものである。この患者のLGE画像は正常に見えるが、全体的にECVが上昇している。

References

- White SK, Sado DM, Flett AS, Moon JC. Characterising the myocardial interstitial space: the clinical relevance of non-invasive imaging. Heart 2012;98:773-9.
- Dazzi H, Kaufmann, Follath. Anthracycline-induced acute cardiotoxicity in adults treated for leukaemia. Analysis of the clinico-pathological aspects of documented acute anthracycline induced cardiotoxicity in patients treated for acute leukaemia at the University Hospital of Zurich, Switzerland, between 1990 and 1996. Ann Oncol 2001; 12(7): 963-6.
- Bristow MR, Thompson PD, Martin RP, et al. Early anthracycline cardiotoxicity. Am J Med 1978; 65(5): 823-32.



Contact

Steve W. Leung, M.D., FACC
University of Kentucky Medical Center
Division of Cardiovascular Medicine
Gill Heart Institute
326 Charles T. Wethington Building
Lexington, KY 40536
USA
Phone: +1 859-323-8040
steve.leung@uky.edu

症例報告： 非虚血性心筋症における心筋線維化

Jeremy D. Collins, M.D.¹; Bruce Spottiswoode, Ph.D.²; James C. Carr, M.D.¹

¹ Feinberg School of Medicine, Department of Radiology, Sections of Cardiovascular Imaging and Interventional Radiology, Northwestern University, Chicago, IL, USA

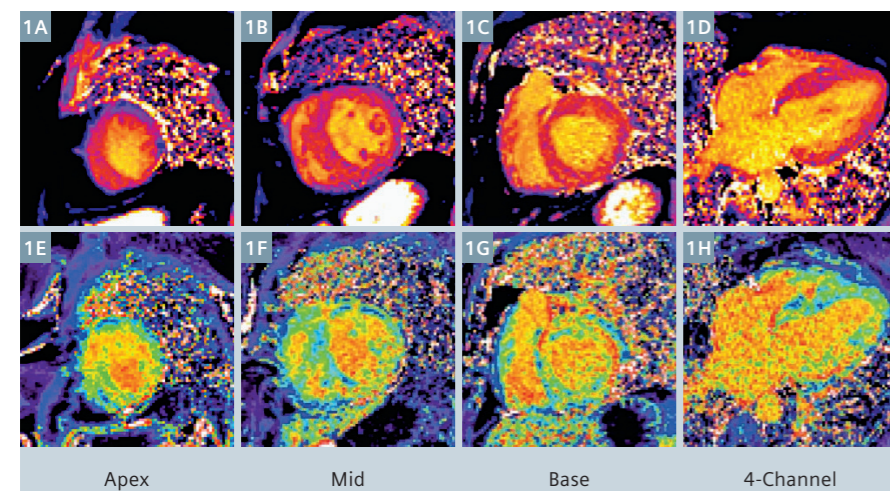
² Cardiovascular MR R&D, Siemens Healthcare, Chicago, IL, USA

患者の病歴

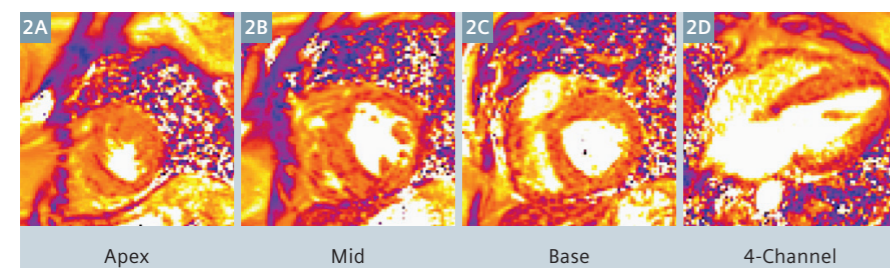
49歳男性、7年前よりうつ血性心不全の病歴があり、薬物治療を受けている。基礎疾患と推定される高血圧性心疾患の管理に関し、セカンドオピニオンを求めて受診した。受診の約4か月前に、進行性の呼吸困難のため休職した。受診の1か月前に、呼吸困難およびめまいの急性増悪を認め、左心カテーテル

検査を受けたが冠動脈性心疾患は検出されなかった。受診時の主訴は起坐呼吸および発作性夜間呼吸困難で、持続性の呼吸困難、下肢浮腫、咳を伴っていた。患者の申告によると、最近の発熱、悪寒、頭痛、視力の変化、めまい、筋力低下、関節痛はなく、現在または過去の喫煙および大量飲酒はない。既往歴は高血圧、2型糖尿病、閉塞性睡

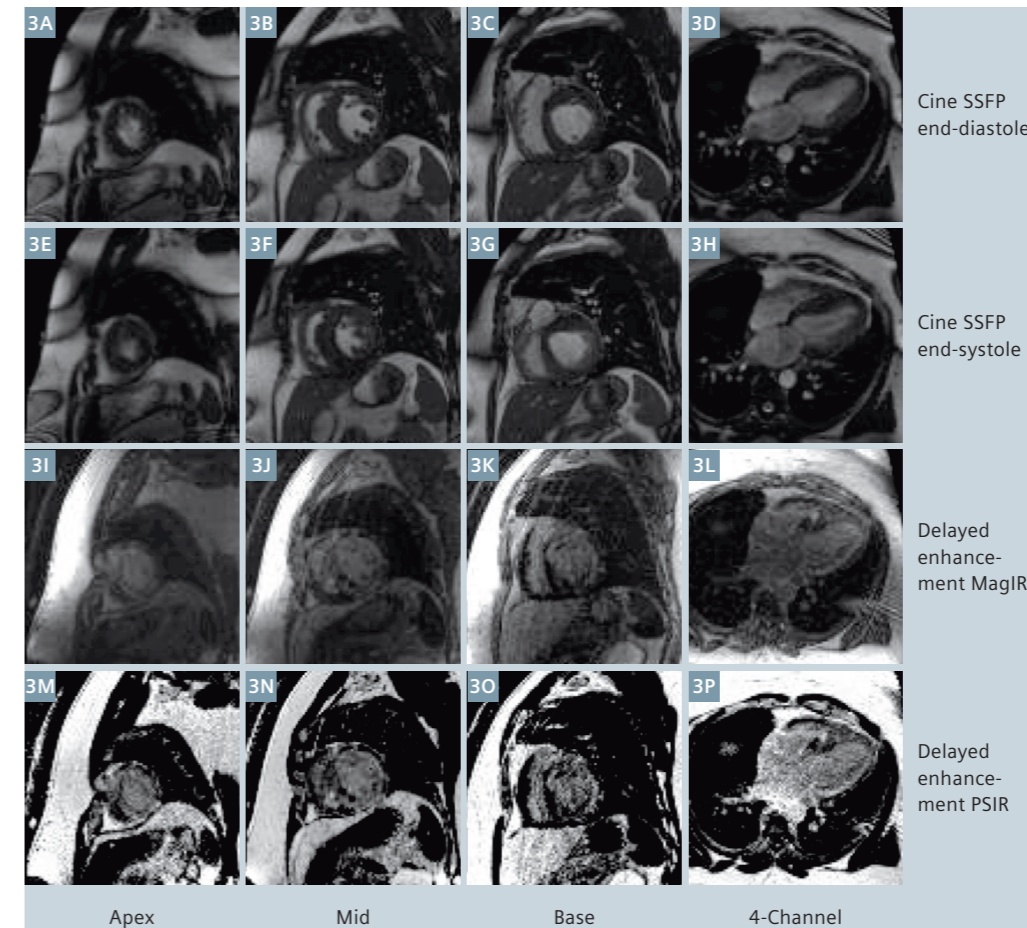
眠時無呼吸、肥満、心房細動であった。若年性心疾患の家族歴はなかった。理学的検査では、70 bpmの正常心拍で血圧は130/80 mmHg、S2心音分裂を聴取したがS3およびS4は聴取せず、S1は正常であった。心尖部の変位はなかった。臨床検査では、B型ナトリウム利尿ペプチドが817 pg/mlの高値であった。



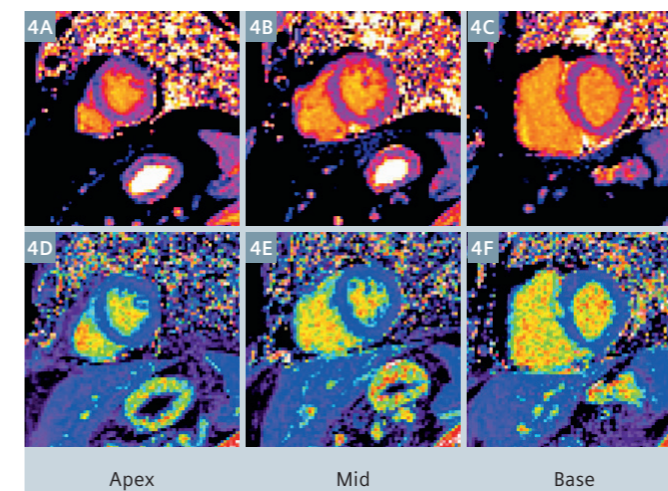
1 非造影T1マップおよびガドリニウム細胞外容積分画 (ECV) マップで著明な心筋T1値延長とそれに対応するびまん性のガドリニウムECV上昇が認められる。



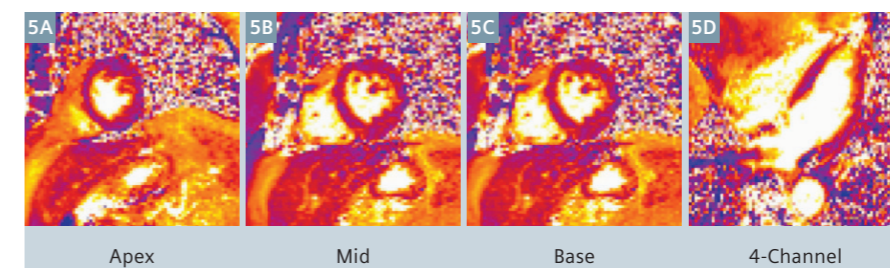
2 T2マップで心筋浮腫を示唆するびまん性の心筋T2値延長が認められる。



3 シネSSFPの拡張末期および収縮末期の静止画像で重度の全体的な両室収縮機能障害が認められる。対応する遅延造影画像では心筋と血液プールのコントラストが低下し、心外膜下筋層および中間層を主体とするびまん性の瘢痕化が示唆される。



4 びまん性の線維化を伴わない64歳男性の非造影T1マップおよびガドリニウム細胞外容積分画 (ECV) マップは正常値を示している。前壁中隔心外膜にそって認められる見かけの信号上昇は、右室血液プールの混入により信号が平均化されたものである。



5 心筋浮腫を伴わない64歳男性のT2マップは正常値を示している。

非虚血性心筋症の病因を検討する精密検査の一環として、浸潤過程、両室の収縮機能および癒痕化を評価するために心臓 MRI を行った。

シーケンスの詳細

撮像は全て 1.5T スキャナ MAGNETOM Aera、ソフトウェアバージョン syngo MR E11 で 18 チャンネルのフェーズドアレイボディコイルを用いて行った。T1 および T2 マッピングはシーメンスヘルスケアの MyoMaps を用いて行った。MyoMaps にはインライン非剛体モーション補正およびピクセル単位でのフィッティングが組み込まれている。造影前 T1 マッピングにはシングルショット Inversion Recovery TrueFISP リードアウトによる 5(3)3 法を用いた。これは、第 1 反転パルス印加後 5 心拍で 5 画像を収集し、次の 3 心拍は回復期間（休止心拍）とし、第 2 反転パルス印加後 3 心拍で 3 画像を収集する。造影後 T1 マッピングには 4(1)3(1)2 法を用いた。T1 マッピングのその他のパラメータは、TE 2.7 ms、TR 386 ms、T1 start 110 ms、T1 increment 80 ms、FOV 380 mm、マトリクスサイズ 256 × 170、フリップ角 35°、バンド幅 1,085 Hz/pixel であった。画像の自動位置合わせと血液の自動セグメント化を含む研究用試作ソフトウェア*を用い、ピクセル単位の細胞外容積 (ECV) マップを生成した。T2 マッピングでは、シングルショット TrueFISP を用いて T2 preparation time 0 ms、25 ms、55 ms の 3 画像を撮像し、各撮像間に 3 心拍の回復期間を挿入した。T2 マッピングのその他のパラメータは、TE 2.7 ms、TR 250 ms、FOV 360 mm、マトリクスサイズ 192 × 146、フリップ角 70°、バンド幅 1,185 Hz/pixel であった。

*本製品は開発中の段階でまだ市販されていない。今後の販売は未定。

画像所見

心臓 MRI では中等度の右房拡大および重度の左房拡大が認められたが、著明な僧帽弁疾患や三尖弁疾患は認められなかった。心室基部および中部の非対称性中隔肥大があり、中部下位の中隔厚は 1.7 cm に達していた。両室収縮機能は重度の低下が見られ、右室駆出率が 22%、左室駆出率が 22% と算出された。右室のサイズは正常であったが、左室は拡張末期容積係数が 92 ml/m² でボーダーラインの拡大が認められた。造影前 T1 値は 1,200 ~ 1,230 ms の異常な高値で、心筋線維化が示唆された。造影前 T2 値は 66 ~ 67 ms に延長しており、心筋浮腫に一致した。ヘマトクリット値の測定結果 41.8% からガドリニウム細胞外容積分画 (ECV) は 58% と算出され、著しく上昇していた。遅延造影画像は心筋と血液の造影後 T1 値がほぼ同等であったため診断上の有用性は低かったが、中間層を中心に心外膜下筋層に及ぶびまん性の癒痕を示していた。それに比べて心内膜下筋層は癒痕が認められず、非血管性の病因に一致した。心臓 MRI 所見は非虚血性心筋症における持続性の心筋炎症および線維化と一致した。心内膜下に癒痕が認められないことから、癒痕パターンはアミロイドーシスとしては非定型的であると考えられた。その他の臨床検査では、単クローン性免疫グロブリン血症の評価を行った。軽度の高ガンマグロブリン血症が認められたが、免疫固定電気泳動法では明瞭なバンドが認められなかった。右心カテーテル検査および生検を行い、右室心内膜心筋生検にて間質線維化を伴う心筋細胞肥大が認められた。平均肺動脈圧は 37 mmHg で、肺高血圧症と診断された。コンゴレッド染色にて黄緑色の複屈折は認められなかった。非特異的な非アミロイド性の心筋線維症と診断された。

考察

本症例は、浸潤性心疾患が疑われる患者の評価における、心筋の定量的 T1・T2 撮像の有用性を示している。限局性の浸潤過程や心筋梗塞に見られるような斑状の心筋癒痕に関して、Phase Sensitive Inversion Recovery (PSIR) による遅延造影では T1 をあまり正確に選択しなくてもよくなった。しかし、正常心筋が明瞭に描出されない、びまん性の線維化を有する患者の遅延造影には限界がある。このような患者では、造影後の血液プールと心筋線維化領域の T1 コントラスト差がほとんどないことが多いため、遅延造影画像は診断に役立たないように見えることがある。T1 スカウト画像の評価から、血液プールと比較した心筋の T1 値短縮とともにガドリニウム動態の変化が示される可能性もあるが、これは著明な心筋線維化の場合でも常に認められるわけではなく、患者固有のガドリニウム動態に依存する。浸潤性および炎症性の心筋疾患の評価において、in vivo の定量的 T1・T2 パラメトリックマッピングおよび ECV 算出が有用であるという認識が高まっている [1-3]。心筋炎などの急性炎症期には心筋の造影前 T2 値が延長し、持続性の炎症の範囲を評価するのに役立つ。心筋の造影前 T1 値測定は遅延造影に代わる心筋線維化の評価方法として提案されている [1]。T1 マッピングの方法にもよるが、1.5T では一般に 980 ms を超える造影前 T1 値は異常であると考えられる。ただし、心筋鉄含有量や血漿量、心筋浮腫を含むその他のパラメータの影響は完全には解明されていない。正常心筋の T1 値の範囲や、病態ごとの T1 値延長の程度も今後明らかにする必要がある。ガドリニウム ECV は造影前後の心筋の T1 値を用いて分配係数を算出し、ガドリニウムの心筋内分布を評価するもので、ECV 値が 30% を超えると異常であると考えられる [4]。本症例では、びまん性の心筋の T2 値延長、造影前 T1 値延長、著明な ECV 上昇の組み合わせから、心筋浮腫を伴うびまん

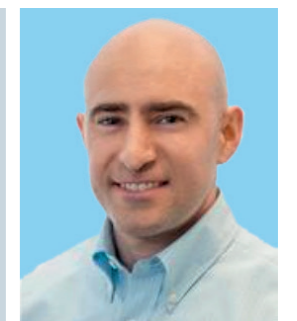
性の線維化過程が示唆された。心内膜下筋層から心外膜下筋層にかけての T1 値の変化がないことから、血中蛋白質の分析結果や生検所見との一致もあり、心筋アミロイドーシスの可能性は低いと診断された。

References

- 1 Bulluck H, Maestrini V, Rosmini S, et al. Myocardial T1 mapping. Circulation journal : official journal of the Japanese Circulation Society. 2015;79(3):487-494.
- 2 Roller FC, Harth S, Schneider C, Krombach GA. T1, T2 Mapping and Extracellular Volume Fraction (ECV): Application, Value and Further Perspectives in Myocardial Inflammation and Cardiomyopathies. RoFo : Fortschritte auf dem Gebiete der Rontgenstrahlen und der Nuklearmedizin. Sep 2015;187(9):760-770.
- 3 Varga-Szemes A, van der Geest RJ, Spottiswoode BS, et al. Myocardial Late Gadolinium Enhancement: Accuracy of T1 Mapping-based Synthetic Inversion-Recovery Imaging. Radiology. Jul 30 2015;150162.
- 4 Barison A, Del Torto A, Chiappino S, et al. Prognostic significance of myocardial extracellular volume fraction in nonischemic dilated cardiomyopathy. Journal of cardiovascular medicine (Hagerstown, Md.). Oct 2015;16(10):681.

Contact

Jeremy D. Collins, M.D.
Feinberg School of Medicine
737 N. Michigan Ave Ste 1600
Chicago, IL 60611
USA
Phone: +1 (312) 695-2422
jercoll@nm.org



症例報告： 心筋梗塞における MyoMaps の臨床的有用性

Masashi Nakamura, M.D.

Diagnostic Radiology, Saiseikai Matsuyama Hospital, Matsuyama, Ehime, Japan

はじめに

心臓 MRI (CMR) は高い空間分解能、質の高い撮像およびコントラストにより、心筋組織性状の評価に関する多くの情報をもたらす。従来は、癒痕の T1 強調撮像 (ガドリニウム遅延造影、LGE) および浮腫の T2 強調 (T2w) 撮像が組織性状評価の主要シーケンスであった。しかし、この 2 種類の方法では正常心筋に対する相対的な信号強度を視覚的に評価する (定量評価ではない) ので、“異常信号”の定義について見解の一致が見られない。最近では CMR の進歩により、息止め時間の短いマッピングシーケンスを用いて心筋の T1 値、T2 値、T2* 値 (ms 単位) の測定・定量化が可能になった [1, 2]。結果は色分けされたピクセルマップとして表示され、各ピクセルが T1、T2、T2* の物理的な推定値 (ms 単位) を

表す。臨床的背景がわかっているならば、T1・T2・T2* マッピングから有用な情報を得ることができる。急性心筋梗塞 (AMI) や心筋炎、ストレス (たこつぼ) 心筋症などの心筋水分含有量が増加する疾患では、一般に造影前 T1 値 (非造影 T1 値) が延長する。また、心筋組織と血液プールの造影前後の T1 値および患者のヘマトクリット値から心筋細胞外容積 (ECV) を算出することができる [1, 3]。ECV は基本的に磁場強度や造影剤量、撮像パラメータによらず、心筋の細胞外腔を定量的に評価することができる。T2 マッピングが AMI や心筋炎における心筋浮腫を描出するのに対して、T2* マッピングではサラセミアにおける鉄過剰症を早期に検出することができる。MyoMaps はシーメンスヘルスケアによる新しい心筋組織性状の定量法である。HeartFreeze Inline

Motion Correction の併用により、ピクセル単位で心筋の T1 値、T2 値、T2* 値を瞬時に定量化することができる [4, 5]。ピクセル単位の心筋定量評価およびカラーマッピングは、各心臓領域のより正確な性状診断を可能にする。

CMRシーケンス

CMR 撮像は 3T スキャナ MAGNETOM Skyra で 18 エLEMENTのサーフェイスコイルを用いて行った。スカウト撮像後に、Turbo SE シーケンスを用いて Dark Blood T2w 左室短軸像を得た。撮像パラメータは、TR 800 ms、TE 50 ms、フリップ角 180°、スライス厚 (SL) 6 mm、FOV 370 mm、マトリクスサイズ 256×75%、ボクセルサイズ 1.4×1.4×6 mm³、パラレルイメージングのアクセラレーションファクター 2、ECG トリガーパルス 2、ターボファクター 13、SPAIR による脂肪抑制

であった。Schering (ドイツ・ベルリン) のガドリニウム系造影剤 (ガドペンテト酸ジメグルミン、マグネビスト) 0.1 mmol/kg body weight を静脈内に投与した。TrueFISP IR シングルショットおよび Phase Sensitive Inversion Recovery (PSIR) によるシーケンスを用い、造影剤投与の約 10 分後に LGE 画像を得た。撮像パラメータは、TR 852 ms、TE 1.26 ms、エコーズペーシング 3 ms、TI は TI スカウトから決定、フリップ角 55°、SL 6 mm、FOV 350 mm、マトリクスサイズ 224×65%、ボクセルサイズ 1.6 mm×1.6 mm、iPAT 2、ECG トリガーパルス 2 であった。Modified look-locker inversion-recovery (MOLLI) 法に基づくシングルショット TrueFISP シーケンスを用い、3 つの左室短軸像 (基部、中部、尖部) から造影前 T1 マップを得た。撮像パラメータは、TR 280.56 ms、TE 1.12 ms、エコーズペーシング 2.7 ms、フリップ角 35°、SL 8 mm、FOV 360 mm、マトリクスサイズ 256×66%、ボクセルサイズ 1.4×1.4×8 mm³、iPAT 2、MOLLI type 5(3)3 for long T1 であった。また、造影前 T1 マップと同じ位置で造影後 T1 マップを得た。撮像パラメータは、TR 360.56 ms、TE 1.12 ms、エコーズペーシング 2.7 ms、フリップ角 35°、SL 8 mm、FOV 360 mm、マトリクスサイズ

256×66%、ボクセルサイズ 1.4×1.4×8 mm³、iPAT 2、MOLLI type 4(1) 3(1) for short T1 であった。造影前 T1 マップと同じ位置で T2 preparation パルス使用の FLASH シーケンスを用い、造影前 T2 マップを得た。撮像パラメータは、TR 207.39 ms、TE 1.32 ms、エコーズペーシング 3.1 ms、FA 12°、SL 8 mm、FOV 360 mm、マトリクスサイズ 192×75%、ボクセルサイズ 1.9×1.9×8 mm³、iPAT2、T2 prep 時間 0 ms、30 ms、55 ms であった。

結論

T1・T2 マッピングは心筋梗塞における心筋組織性状の視覚的な診断だけでなく、ピクセル単位の物理的な定量評価をも可能にする。そのため、当院では最近数か月で MyoMaps 検査の件数が増加した。これには以下のような理由もある。

1. 患者への負担がほとんどない (短い息止め 1 回)
2. 腎不全患者に対する非造影撮像 (非造影 T1 マップまたは T2 マップ)
3. 非虚血性心筋症の診断 (ピクセル単位のカラーマッピングに基づく微小病変の評価)

4. びまん性心筋障害の診断 (定量評価)
5. MRI 読影結果の裏付け (客観性と定量評価)

現在の T1・T2 マッピングおよび ECV 定量評価の進歩は、心血管疾患の診断や心筋リスク層別化を改善する可能性があり、患者の個別化治療の実現につながる可能性がある。

References

1. Lundin M, Ugander M. Clinical Utility of Cardiac T1- and Extracellular Volume (ECV) Mapping. A Brief Review. MAGNETOM Flash 1/2015: 18-20.
2. Maestrini V, Abdel-Gadir A, Herrey AS, Moon JC. New Generation Cardiac Parametric Mapping: the Clinical Role of T1 and T2 Mapping. MAGNETOM Flash 5/2013: 104-107.
3. Schelbert EB, Wong TC. Clinical Benefits of T1 and ECV Mapping. MAGNETOM Flash 1/2015: 12-17.
4. Xue H, Greiser A, Zuehlsdorff S, Jolly MP, Guehring J, Arai AE et al. Phase-Sensitive Inversion Recovery for Myocardial T1 Mapping with Motion Correction and Parametric Fitting. Magn Reson Med. 2013 May; 69(5): 1408-1420.
5. Gahl S, Shah S, Xui H, Chung YC, Pennell ML, Guehring J et al. Myocardial T2 Mapping With Respiratory Navigator and Automatic Nonrigid Motion Correction. Magn Reson Med. 2012 November; 68(5): 1570-1578.

症例 1

患者の病歴

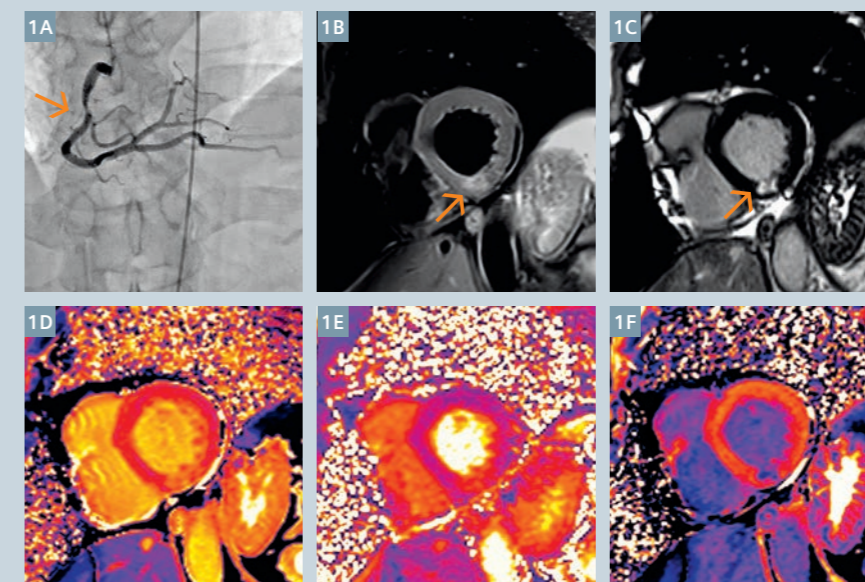
58 歳男性、胸痛および冷汗を訴え当院救急診療部門を受診。II、III、aVF での ST 上昇が見られた。侵襲的緊急冠動脈造影を行い、右冠動脈 (RCA) セグメント # 2 に 90% の狭窄が検出された (図 1A)。セグメント # 2 に対し経皮的冠動脈インターベンションを行った。

画像所見

発症後 6 日目に包括的な心筋評価のため CMR を行った。短軸の Dark Blood T2w 画像 (図 1B) および LGE 画像 (図 1C) で、下壁セグメントに限局性の高信号が明瞭に描出された。MyoMaps (図 1D~図 1F) では、病変部位の造影前 T1 値 (1,550 ms) および T2 値 (54 ms) の延長が明瞭に示された。また、正常心筋 (T1 1,210 ms、T2 36 ms) の ECV が 25.2% であったのに比べて、同部位の ECV は 67.6% であった。

考察

画像所見 (Dark Blood T2w 画像、LGE 画像) は下壁 AMI の臨床経過によく一致している (発症後 6 日目、責任血管: RCA # 2)。T1・T2 マップのカラー画像は病変を明瞭に描出している。本症例は比較的限局性の病変で、非造影 T1 マップと遅延造影画像の視覚的診断能は同等である。一方、定量評価 (T1・T2 マップおよび ECV) では病変部の浮腫性変化および心筋線維化が示唆される。このように、この比較的限局性の病変では、定量評価により心筋組織性状を正確に判定して診断を裏付けることができた。



1. 58歳男性、下壁急性心筋梗塞。(1A) 右冠動脈 (RCA) # 2。(1B) 脂肪抑制 Dark Blood T2w画像、TSE_ELT 13、スライス厚 (SL) 6 mm、FOV 312 mm×370 mm、マトリクス 162×256、TR 800 ms、TE 50 ms。(1C) ガドリニウム遅延造影 (LGE)、Tfi_segment 67、SL 6 mm、FOV 337 mm×370 mm、マトリクス 133×224、TI 400 ms、TR 852、TE 1.26 ms。(1D) 非造影 T1 マップ、Inversion Recovery (IR) Tfi に MOCO (motion correction) および iPAT2 を併用。(1E) 非造影 T2 マップ、T2prep Tfi に MOCO および iPAT2 を併用。(1F) 造影後 T1 マップ、IR Tfi に MOCO および iPAT2 を併用。

症例2

患者の病歴

66歳男性、胸痛を訴え当院救急診療部門を受診。血清中のCK値(303 IU/L)およびCK-MB値(19.0)が高値であった。急性心筋梗塞を疑い、侵襲的緊急冠動脈造影を行った。左冠動脈(LAD)セグメント#6に99%の狭窄が検出された(図2A)。セグメント#6に対し経皮的冠動脈インターベンションを行った。

画像所見

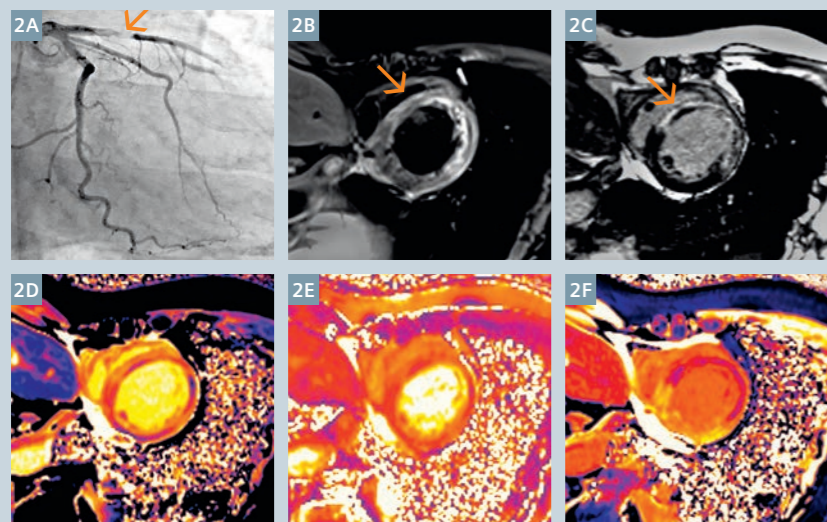
発症後10日目に心筋生存能評価のためCMRを行った。Dark Blood T2w画像(図2B)で、前壁中隔セグメントに動きの遅い血液信号(slow flowアーチファクト)が示された。LGE画像(図2C)では、同セグメントに貫壁性の信号増強が認められ、中隔領域の

心内膜下に低信号が認められた。Myo-Maps(図2D~2F)では、T2マップにslow flowアーチファクトは認められず、前壁中隔セグメントに軽度の心筋T2値延長が認められた。正常心筋(造影前T1 1,180 ms、ECV 25.7%)と比較して、信号増強領域は造影前T1値延長(1,633 ms)およびECV上昇(55.1%)が認められた。一方、心内膜下低信号領域の造影前T1(1,200 ms)は正常心筋とほぼ同等であった。

考察

Dark Blood T2w画像の所見は前壁中隔亜急性心筋梗塞に一致する(責任血管:LAD #6)。ただし、心機能低下によるDark Blood T2w画像上のslow flowアーチファクトのため、浮腫領域を過大評価している可能性がある。T2マップ

画像はこのアーチファクトがなく、浮腫領域の正確な診断に有用である。定量評価では、造影前T1値延長およびECV上昇が心筋線維化および浮腫を示唆している。遅延造影された病変部内に線形の心内膜下低信号域が認められ、微小血管閉塞(MO)を示唆している。一般に出血や鉄蓄積の場合はT1値が短縮するが、本症例ではMO領域と正常心筋の造影前T1値がほぼ同等である(1,200 ms対1,180 ms)。線維化と鉄沈着の同時発生により、それぞれのT1延長効果とT1短縮効果が相殺されたと思われる。本症例は緊急ステント挿入術を行ったが、貫壁性梗塞だけでなくMOも認められることから、梗塞領域の心筋生存能は低いと思われる。



2 66歳男性、中隔亜急性心筋梗塞。(2A) 左冠動脈(LAD) #6。(2B) 脂肪抑制DB T2w画像、TSE_ELT 13、SL 6 mm、FOV 312 mm×370 mm、マトリクス162×256、TR 800 ms、TE 50 ms。(2C) LGE画像、Tfi_segment 67、SL 6 mm、FOV 319 mm×350 mm、マトリクス133×224、TI 400 ms、TR 852 ms、TE 1.26 ms、TR/TE 2RR/1.3 ms。(2D) 非造影T1マップ、IR TfiにMOCO併用、SL 6 mm、FOV 307 mm×360 mm、マトリクス144×256。(2E) 非造影T2マップ、T2prep TfiにMOCO併用、SL 6 mm、FOV 289 mm×360 mm、マトリクス116×192。(2F) 造影後T1マップ、IR TfiにMOCO併用、SL 6 mm、FOV 307 mm×360 mm、マトリクス144×256。



Contact

Masashi Nakamura, M.D.
Saiseikai Matsuyama Hospital
Diagnostic Radiology
880-2, Yamanishi, Matsuyama
Ehime, 791-8026
Japan
Phone: +81-89-951-6111
m.nakamura1230@gmail.com

症例報告： 3TのQISS MRA

Anna-Maria Lydon, PgDip MRI, DCR(R)¹; Associate Professor Andrew Holden, MBChB, FRANZCR²;
Dr. Jacobus Kritzing, MBChB, FRCPC²

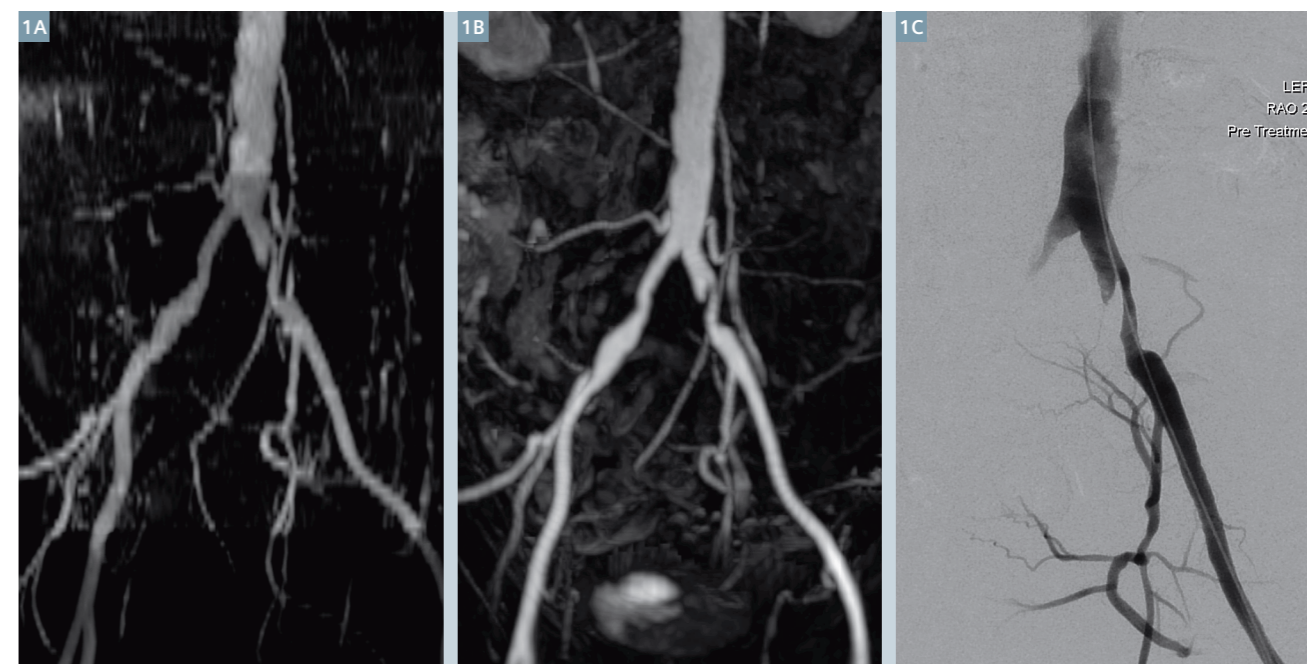
¹ Centre for Advanced MRI, Faculty of Medical & Health Sciences, University of Auckland; New Zealand

² Auckland City Hospital, New Zealand

Quiescent Interval Single-Shot (QISS) MRアンギオグラフィ(MRA)は、1.5Tにおける末梢血管系の安定した非造影MRA法であることが示されている。しかし3Tでは、初期バージョンのシーケンスで1.5Tより高い信号ノイズ比(SNR)が得られたものの、B1不均一により反転パルスの効果が不十分になることがあった。そのため、特に腹部・骨盤部において静脈が十分に抑制されなかった。我々はこのほど、3Tにおける微小血管の描出を維持しながら、このB1不均一を克服して静脈抑制を改善することが期待されるmodified FOCIパルスを用いたWIPバージョンのQISS MRA

シーケンスを試用する機会を得たので、以下に症例を供覧する。患者は69歳男性で、主訴は左下肢の間欠性跛行および左大腿動脈拍動の減弱、1日10本の喫煙歴があり、腸骨動脈疾患が疑われた。3T MAGNETOM SkyraでPeripheral MatrixコイルにSpine MatrixコイルおよびBody Matrixコイルを組み合わせ撮像した。ECGゲーティングにはシーメンス・ワイヤレスPMUを用いた。撮像時の心拍数は68 bpm、最近のeGfr値は70 ml/min/1.73 m²であった。

TrueFISP リードアウトを用いた QISS MRA シーケンスで血管のスカウト撮像を行った。これはその後の造影(CE) MRAのプランニングに際して優れた全体像をもたらす。撮像に用いた標準 QISS MRA の条件は、1 mm×1 mm×3 mm 連続アキシャルスライス、RR 間隔毎シングルスライス、フリップ角 90°、iPat 3、ステーションごとに 40 スライスであった。腹部ステーションは平静呼吸下で撮像した。高齢者はこちらの方が息止めより対応しやすいと判明したため、両者に時間的な差はない。当施設の標準プロトコルに従い、MultiHance (BRACCO、ガドベリン) 20 ml + 生理食塩液 (0.9%



1 QISS MRA

CE-MRA

DSA

NaCl) 10 ml の希釈液を用いて CE-MRA を行った後に生理食塩水でフラッシュした。ダイナミック 2D FLASH シングルスライスを大動脈分岐部レベルに配置して、テストボラス 1.5 ml を 2 ml/s で注入後に 20 ml 生理食塩水を注入し、腹部大動脈への造影剤到達時間を決定した。次に、time-resolved MRA シーケンス TWIST を用いて 4 ml 希釈造影剤注入および 20 ml 生理食塩水フラッシュを 2 ml/s で行い、脛骨動脈を撮像した。最後に、22～23 ml 希釈造影剤を以下の方法で注入し、腎動脈の上から足動脈に至る末梢血管系全体を撮像した。

Dual-phase の造影剤注入：

10 ml を 2 ml/s で注入後に 13 ml を 1.5 ml/s で注入、さらに 20 ml 生理食塩水を 1 ml/s でフラッシュ

左総腸骨動脈中間部に重度の狭窄が認められた。また、右総腸骨動脈近位部にも軽度～中等度の狭窄が認められた。大腿動脈および膝窩動脈の内径は正常であった。各腓腹部の run-off 血管は 3 本で、左前脛骨動脈に重度の疾患が認められ腓腹部中央で閉塞していた。フォローアップ DSA で QISS MRA および CE-MRA の所見を確認し、左総腸骨動脈の病変に対し血管形成術および 8 mm × 40 mm 自己拡張型ステント (拡張後 7 mm) 留置による治療を行った。本症例では QISS 画像が CE-MRA 画像および DSA 画像と非常によく相関していた。最適化 FOCI パルスは大動脈腸骨動脈領域において特に有効であることが判明した。本症例はこの新バージョンの (現在は製品化されている) シーケンスが CE-MRA や DSA に比べて遜色ないことを非常によく示すものである。

謝辞

Northwestern University (ノースウェスタン大学、米イリノイ州シカゴ) の Robert Edelman (ロバート・エーデルマン) 氏および米シーメンスヘルスケアの Shivraman Giri (シヴラマン・ギリ) 氏より今回の評価のために WIP 版シーケンスをご提供いただいた。また、オーストラリア・シーメンスヘルスケアの Benjamin Schmitt (ベンジャミン・シュミット) 氏にもご支援をいただいた。ここに感謝する。

Contact

Anna-Maria Patricia Lydon, PgDip MRI, DCR(R)
Charge MRI Technologist
The University of Auckland
Centre for Advanced MRI
Private Bag 92019
Auckland 1142, New Zealand
Phone: +64 9 923 9512
a.lydon@auckland.ac.nz

MOLLI T1 マッピングシーケンスは遅延造影 (DE) CMR の最適な方法か？

Magalie Viallon¹; Thomas Troalen²; Bruce Spottiswoode³; Pierre Croisille¹

¹ CREATIS UMR CNRS 5220 INSERM U1040, University of Lyon, France
CHU de Saint Etienne, Université Jean Monnet, France

² Siemens Healthcare, Saint-Priest, France

³ Siemens Healthcare, Chicago, IL, USA

心臓 MRI (CMR) の分野では、組織性状評価および病変サイズの定量評価に対する関心が高まっている。特に心筋梗塞 (MI) のサイズは患者の予後およびフォローアップの非常に重要な決定因子であり、ガドリニウム遅延造影 (DE) シーケンスは MI および非虚血性・限局性の心筋瘢痕の検出法として確立されている [1, 2]。しかし、DE-CMR は T1 強調の Inversion Recovery 法に基づく撮像なので、どうしても正常心筋との視覚的な信号強度の比較が必要になり、撮像時に適切な T1 をプロスペクティブに設定できることが鍵になる。そのため、DE-CMR 画像の最終的な画質や MI と正常組織とのコントラストノイズ比 (CNR) は術者に左右される。これは撮像に用いるカーネルタイプ [TrueFISP、FLASH、signal polarity (PSIR、MAG-IR)] を問わず当てはまる [3]。Kellman らによる PSIR 法 [4] は、MI 病変が正常心筋より高信号になるコントラストを常に確保することでマグニチュードリコンストラクションに起因する大部分の問題を確かに改善するが、必ずしも両者の CNR が最適になるわけではない。病変と周囲組織 (血液および心筋) の緩和時間がほぼ同等であれば、病変 (特に心内膜や乳頭の病変) を明瞭に検出できない可能性が残る。

Synthetic IR reconstruction は至適コントラストの DE-CMR 画像を合成できる

MOLLI は画像のピクセルごとに T1 を計算できるので、以下の単純な計算式を用いて MAGNitude Inversion-Recovery (MAGIR) や Phase Sensitive Inversion-Recovery (PSIR) の画像をレトロスペクティブに合成することができる。

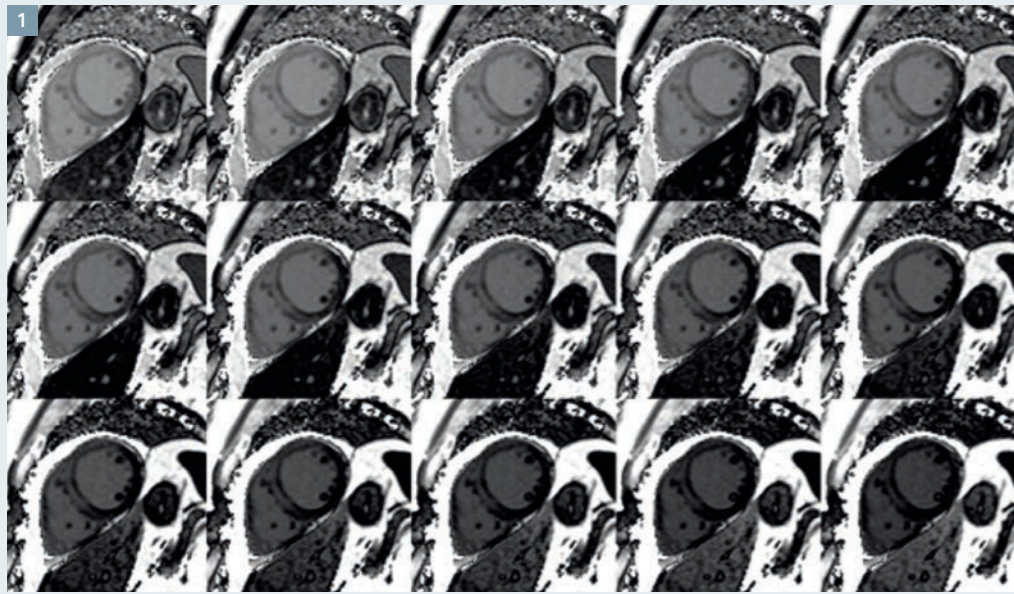
$$SI(T1)PSIR = 1 - 2x \exp(TI/T1) \quad \text{Eq. 1}$$

and

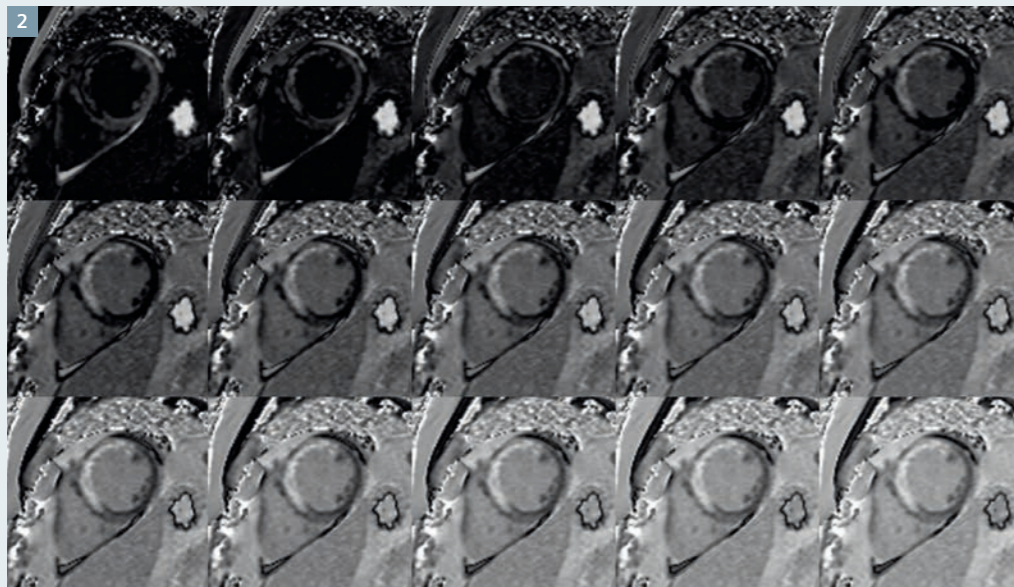
$$SI(T1)MagIR = |SI(T1)PSIR| \quad \text{Eq. 2}$$

広い範囲で T1 を少しずつ増加させると (例えば 200～500 ms の範囲で 10 ms ずつ増加)、系統立ってレトロスペクティブにさまざまなコントラストを検討することができるので、その患者の診断に最適な 2 組織間の至適コントラストをレトロスペクティブに選択することができる。撮像時間のロスはなく、T1 設定を変えた撮像を追加する必要もない。本法は Varga-Szemes ら [5] が最初に提案した。図1～図3に、65歳男性の撮像例を示す。左前下行枝の閉塞を伴う ST 上昇型 MI を初発し、1時間 30分後に再灌流した。再灌流の4日後に CMR を行った。造影前 MAGIR 合成画像 (図1) では、再灌流した前壁中隔の傷害心筋

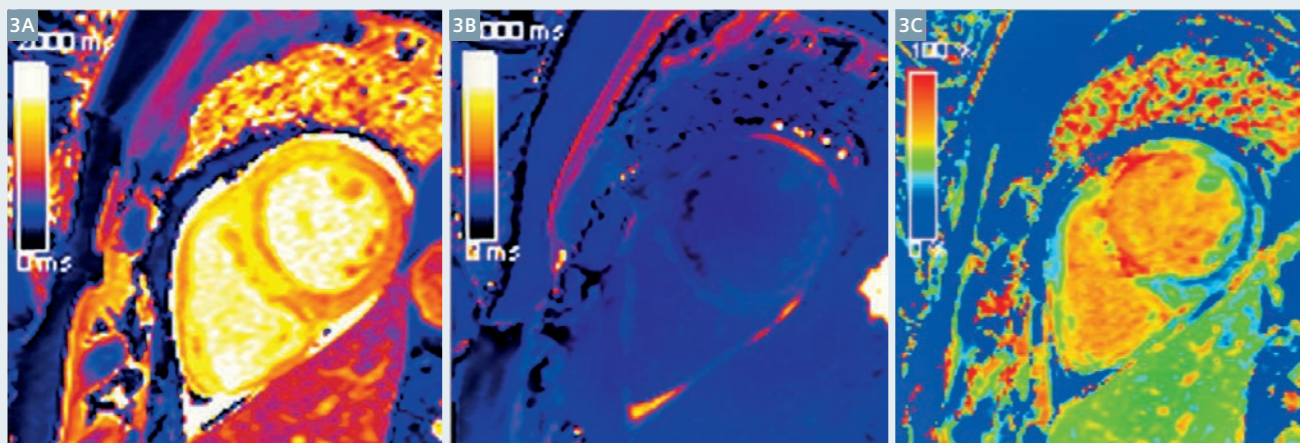
に浮腫に関連する信号上昇が認められた。ガドリニウム・ボラス注入の 10 分後の MAGIR 合成画像 (図2) では、同じ中央スライスレベルに前壁中隔の急性壊死の範囲が示された。図4～図6に、求心性の肥大型心筋症 (HCM) を伴う心筋アミロイドーシスが疑われる患者の画像を示す。造影前後の MAGIR 再構成画像で限局性の下壁心筋内病変を確実に同定することができる。病変の描出は造影後の方が明瞭で、前乳頭筋および前側壁心内膜下組織への波及がわずかに認められる。図7は 67 歳の拡張型心筋症 (DCM) 患者で、ガドリニウム注入後に前壁から前壁中隔および側壁に及ぶ虚血後の心内膜下瘢痕の範囲が明瞭に示された。前乳頭筋も部分的に癒着化していたが、前乳頭筋の正常部分は明瞭に描出された。なお、下壁中隔部の心筋中間層に線維化が認められ、非虚血性のメカニズムの関与も考えられる。これらの所見は全て、一連の T1 値全体にわたるコントラスト変動を視覚的に分析することにより裏付けられる。これは造影された心腔との識別が困難な (特に 3T) 心内膜下領域において決定的な情報になる可能性があり、やはり撮像時間を延長せずに追加情報が得られる。合成画像を生成できることと既存の T1 マッピングおよび ECV マッピングの可能性を合わせると、MOLLI 法による撮像は 3 種類の高度な組織性



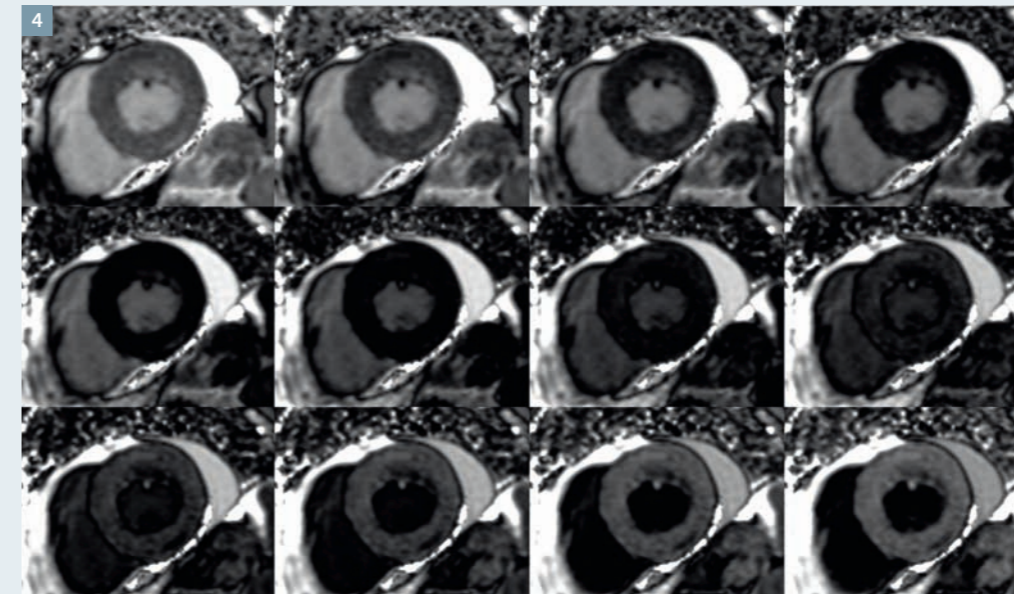
1 前壁の急性心筋梗塞 (AMI) を有する患者の造影前MAGIR合成画像40枚中15枚。各画像はT1が200~500 msの範囲で10 msずつ増加 (1.5T MAGNETOM Aera、syngo MR D13)。



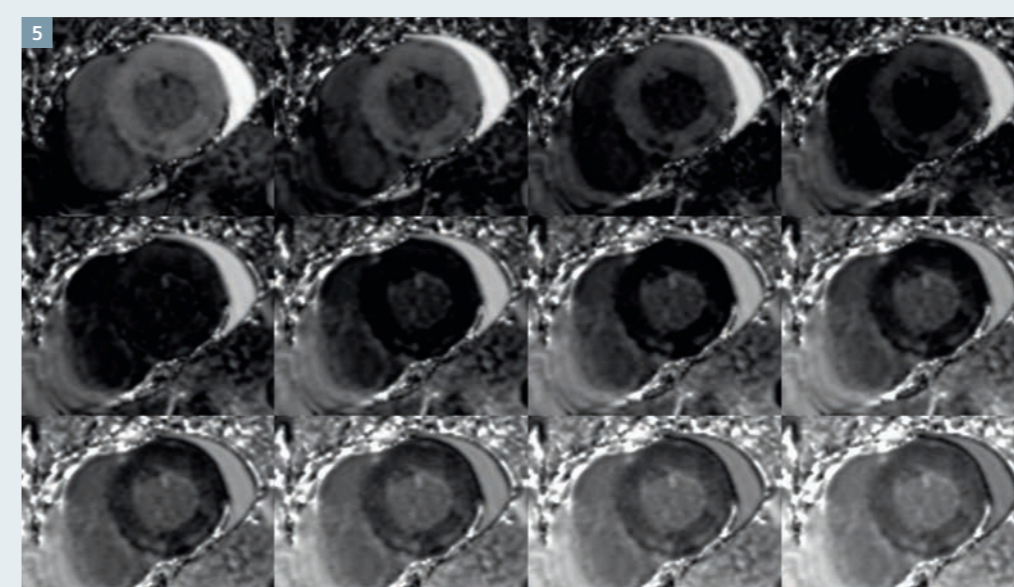
2 同一AMI患者のガドリニウム注入後(0.02 mmol.kg-1) MAGIR合成画像40枚中15枚。各画像はT1が200~500 msの範囲で10 msずつ増加。



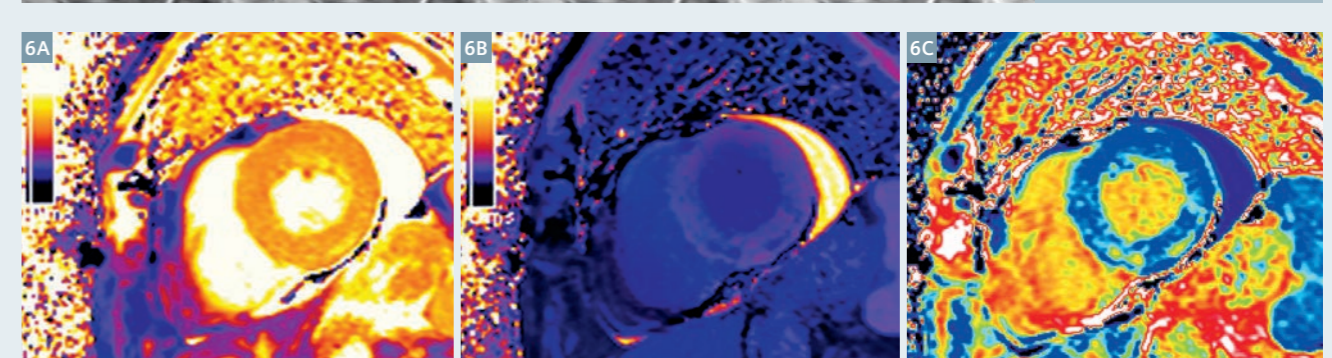
3 同一AMI患者の(3A)造影前(native)T1マップ、(3B)造影後T1マップ、(3C)ECVマップ。



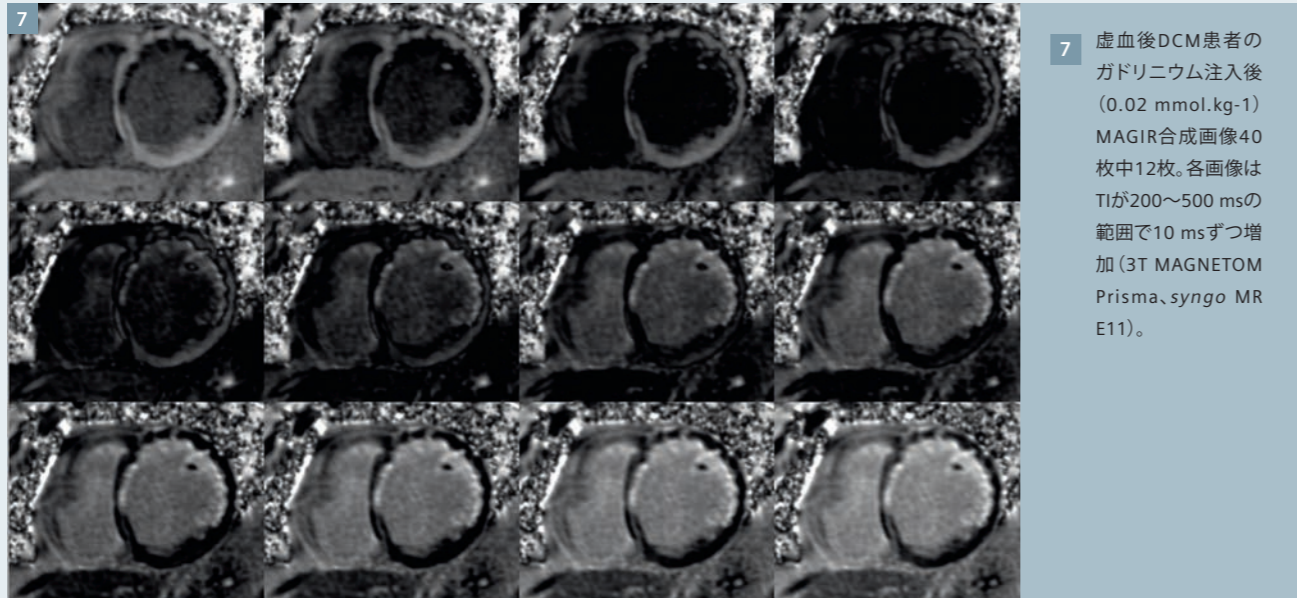
4 HCM患者の造影前MAGIR合成画像40枚中12枚。各画像はT1が200~500 msの範囲で10 msずつ増加 (1.5T MAGNETOM Aera、syngo MR D13)。



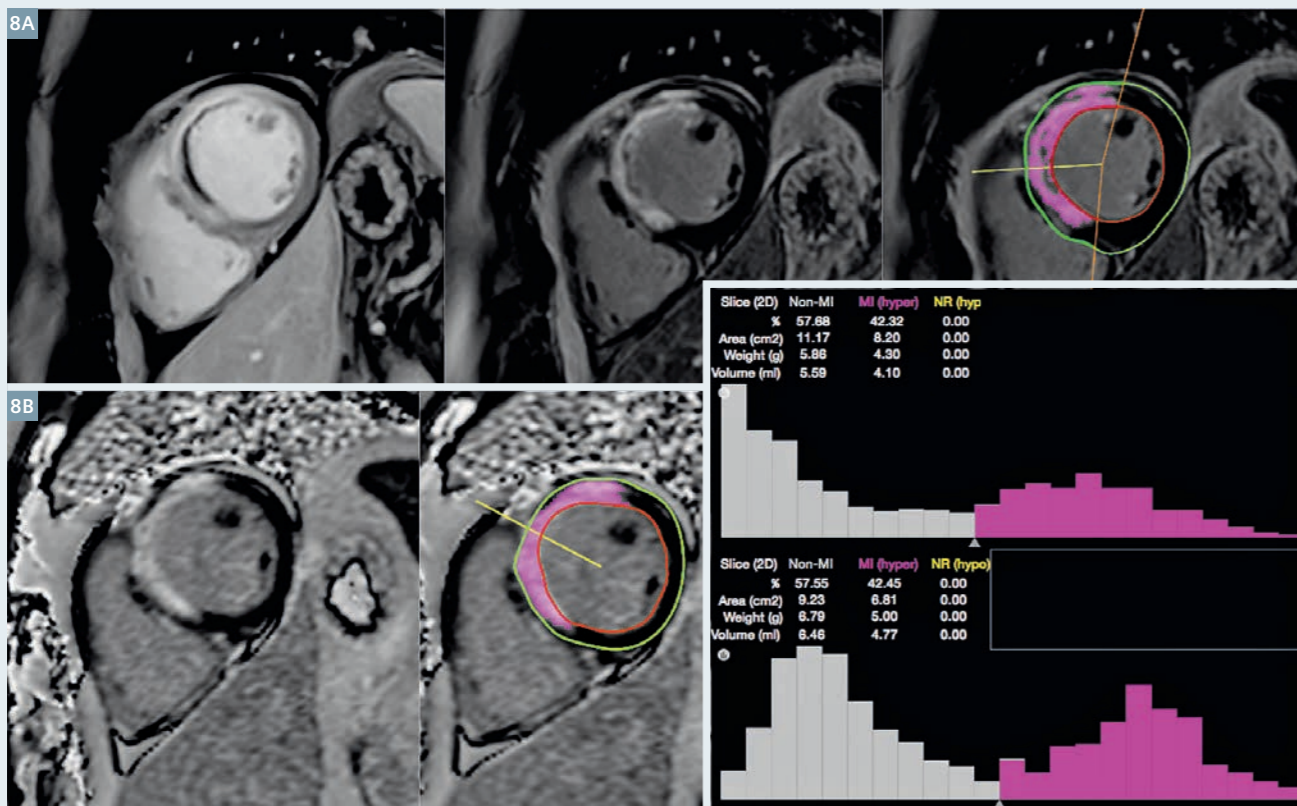
5 同一HCM患者のガドリニウム注入後(0.02 mmol.kg-1) MAGIR合成画像40枚中12枚。各画像はT1が200~500 msの範囲で10 msずつ増加。



6 同一患者の(6A)造影前T1マップ、(6B)造影後T1マップ、(6C)ECVマップ。



7 虚血後DCM患者のガドリニウム注入後(0.02 mmol.kg-1)MAGIR合成画像40枚中12枚。各画像はTIが200~500 msの範囲で10 msずつ増加(3T MAGNETOM Prisma, syngo MR E11)。



8 3D IR-GREによる短軸画像。ガドリニウム造影早期相(8A)および後期相(8B)とそれらに対応するLGE MAGIRおよびPSIR合成画像。オリジナルLGE画像に比べて最適なコントラストのMAGIR画像で計算した心筋内ピクセルの信号強度ヒストグラム。ピンク色部分は半値全幅(Full Width at Half Maximum;FWHM)アルゴリズムを用いた注入10分後の遅延造影領域に相当(Pixmeo社(スイス・ジュネーブ)によるOsiriXのCMRSegToolsプラグイン(CREATIS))。

状評価法を兼ね備えた、CMRにおける有力な診断ツールということになる。異常を強調・検出する能力が最も高く、T1値およびECV値を絶対単位で定量評価することができる。T1マッピングとオプションの合成画像は疾患重症度を客観的に決定するユニークな機能をもたらすもので、撮像時間を延長せずにクリニカルルーチンに組み込むことができ、CMRの安定性をも向上させる。

MIサイズの自動セグメント化を改善する Synthetic reconstruction

ヒストグラムによるDE-CMRの梗塞サイズ測定法は、簡単なもの(手動または半自動の閾値処理)から、尤度がガウス分布に従うと仮定する有限ガウス混合(FGM)モデルなどの高度なものまで、さまざまな方法が提案されている[6]。これらのモデルは数学的に単純なので、セグメント化に広く用いられている。残念ながら、ヒストグラムベースのアルゴリズムはCNRの変動やアーチファクトにより性能が低下し、臨床条件下では信頼できない結果を招くビットフォールとなる。T1マッピングに基づく合成IR画像は、患者ごとのプロスペクティブなTI調整を不要にすることで、従来のDE-CMR撮像の最も重大な欠点の一つに対して納得の行く答えをもたらす。本法を用いれば、多施設臨床試験において病変サイズの測定法を標準化できる可能性がある。もちろん、MI自動セグメント化にはその他の欠点もあり

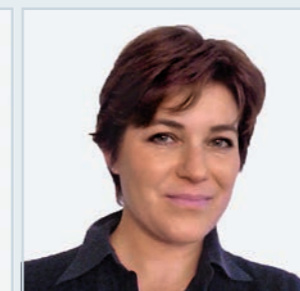
(部分容積効果など)、それなら最適化された3D IR-GREシーケンスを用いて高分解能画像や薄いスライス厚を得ようということにもなるが、これらは大部分の患者が耐えられない撮像時間の延長を伴う。結論として、オプションの合成画像を含むオールインワンのMOLLIは、CMRならではの機能を強化して追加情報をもたらす。さらには、診断の信頼性や正診率、安定性の向上をもたらす可能性があり、撮像時の術者に左右される調整を減らし、最も高度で最も短時間のガドリニウム造影後MRI組織性状評価プロトコルになる可能性がある。

References

- 1 Simonetti OP, Kim RJ, Fieno DS, Hillenbrand HB, Wu E, Bundy JM, Finn JP, Judd RM. An improved MR imaging technique for the visualization of myocardial infarction. *Radiology* 2001;218:215-223. doi: 10.1148/radiology.218.1.r01ja50215.
- 2 Kim RJ, Fieno DS, Parrish TB, Harris K, Chen E-L, Simonetti O, Bundy J, Finn JP, Klocke FJ, Judd RM. Relationship of MRI Delayed Contrast Enhancement to Irreversible Injury, Infarct Age, and Contractile Function. *Circulation* 1999;100:1992-2002. doi: 10.1161/01.CIR.100.19.1992.
- 3 Viallon M, Jacquier A, Rotaru C, Delattre BMA, Mewton N, Vincent F, Croisille P. Head-to-head comparison of eight late gadolinium-enhanced cardiac MR (LGE CMR) sequences at 1.5 tesla: from bench to bedside. *J Magn Reson Imaging* 2011;34:1374-1387. doi: 10.1002/jmri.22783.
- 4 Kellman P, Arai AE, McVeigh ER, Aletras AH. Phase-sensitive inversion recovery for detecting myocardial infarction using gadolinium-delayed hyperenhancement. *Magn Reson Med* 2002;47:372-383. doi: 10.1002/mrm.10051.
- 5 Varga-Szemes A, van der Geest RJ, Spottiswoode BS, Muscogiuri G, De Cecco CN, Suranyi P, Rehwald WG, Schoepf JU. Quantification of myocardial late gadolinium enhancement using synthetic inversion recovery imaging. *Journal of Cardiovascular Magnetic Resonance* 2015;17(Suppl 1):O8.
- 6 Kim HW, Farzaneh-Far A, Kim RJ. Cardiovascular Magnetic Resonance in Patients with Myocardial Infarction. *Journal of the American College of Cardiology* 2010;55. doi:10.1016/j.jacc.2009.06.059.



Pierre Croisille



Magalie Viallon

Contact

Magalie Viallon, Ph.D.
 CREATIS, UMR CNRS 5220 – INSERM U1044
 Service de Radiologie Hôpital Nord
 Université J.Monnet Saint-Etienne
 Pôle de Recherche et d'Enseignement Supérieur (PRES)
 Université de Lyon, France
 Phone:+33 4 77 82 84 36
 magalie.viallon@creatis.insa-lyon.fr
 http://www.creatis.insa-lyon.fr