

平成 21 年 3 月 1 日現在

研究種目：基盤研究（C）  
 研究期間：2007～2008  
 課題番号：19591422  
 研究課題名（和文） 3テスラ磁気共鳴装置を用いた心臓タギング撮像の自動解析システムの開発  
 研究課題名（英文） Analysis of tagged cine images using 3T MRI

## 研究代表者

東野 博(HIGASHINO HIROSHI)  
 愛媛大学・医学部附属病院・講師  
 研究者番号：00398041

研究成果の概要:急性心筋梗塞症例慢性期に3テスラMRI心臓撮像を行った症例を対象とした。HARP (Harmonic phase) 法を基礎とするプログラミングを行い、ゆがみの指標である Strain を解析して算出した。計算アーチファクトが多くなることを防止するために Gabor Filter フィルタを開発した。すべての症例で心周期の最後までタグが持続することを確認し、心周期のすべてにおける Radial Strain の解析が可能であり、視覚的評価では認識できない壁運動の異常が明らかになった。

## 交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2008年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
年度			
総計	1,900,000	570,000	2,470,000

研究分野：医歯薬学

科研費の分科・細目：内科系臨床医学・放射線科学

キーワード：3テスラ、タギング撮像

## 1. 研究開始当初の背景

(1) MRI (Magnetic Resonance Imaging 磁気共鳴画像装置) が臨床医学に応用されるようになってから久しいが、当初の 0.3 テスラや 0.5 テスラの低磁場装置の普及に加えて、超伝導磁場装置の開発と普及によって、現実的に日常臨床に組み込まれてきた。

(2) 一方心臓領域においては、既に 1.5 テスラ MRI の一部の装置で成し遂げられている全心臓冠動脈撮像 (whole heart magnetic

resonance coronary angiography: MRCA) や、心筋血流撮像および後期造影撮像、さらにはシネモード撮像が、3 テスラ装置でどのような挙動を示すものか、いままさに経験が始まったところである。

(4) これら心臓領域の MRI 撮像の中に、タギング法シネ MR 撮像があり、信号を飽和させて平行した線状、または格子状の印をつけて、心周期に伴ってその変化を見ようという方法であり、この方法自体は 1.5 テスラ装置の時代から存在した。心筋のねじれを観察でき

る画期的な方法ではあったが、しかしながら 1.5 テスラでは心周期の途中、多くは収縮末期時相の手前でタグが消失してしまい、観察できる時相には限りがあることから、少なくとも臨床現場で応用されることは少なかった。

(5) このタギング法シネ MR 撮像に大きな光が当てられる時代が到来した。3 テスラ MRI 装置である。磁場が高いことから原理的に T1 緩和を反映するタグの持続がきわめて長く、心時相の最終時相までタグが持続して、心周期のすべての時相で心筋のねじれを観察できる可能性がある。このため MRI 装置により客観的な評価がなされることが期待されている。

## 2. 研究の目的

(1) これまで MRI による心筋ねじれの方法は、業界で統一されたアプリケーションは無く、HARP 法を用いて手計算で行われることが多く、実際には 1 症例の解析に数時間以上の時間を要するなど、研究的側面が強調され、現実の臨床応用にはほど遠いものであった。

(2) 本研究の目的は、新しい 3 テスラ MRI 装置を用い、タギング法シネ MR 撮像を成功させ、さらにはアプリケーションの開発により心筋ねじれを簡便に解析し、しかもその臨床的有用性を明示し、将来への道筋を示すことにある。

## 3. 研究の方法

### (1) 対象

急性心筋梗塞症例のうち、急性期に心機能および心筋生存能の精査目的に 1.5 テスラ MRI 心臓撮像を行い、かつ、慢性期に心機能および心筋生存能の精査目的に 3 テスラ MRI 心臓撮像を行った症例を対象とした (表 1)。検査の前には定められた MRI 装置および MRI 用経静脈性造影剤に対する説明を行い、文書でも同意を得た。

### (2) MRI

3 テスラ MRI 装置は、GE Healthcare 製の 3 テスラ MRI 装置である Signa EXCITE HD 3.0T を用いた。コイルは心臓用 8 チャンネルコイルを用いた。

撮像は心臓領域のチューニング、左心室の位置決めの後、シネモード MRI 撮像、タギング法シネ MRI 撮像、引き続いて症例によっては心筋血流撮像を行い、最後に後期造影撮像を行った。

主な撮像シーケンスは、シネモード MRI 撮像は CINE SSFP (steady state free precession) imaging を行い、FIESTA (Fast Imaging Employing STEady state Acquisition) CINE imaging 法を用いた。タギング法シネ MRI 撮

像は、CINE imaging with myocardial tagging を行い、Segmented k-space fast gradient echo with SPAMM (Spatial Modulation of Magnetization)法を用いた (表 2)。心筋血流撮像では First pass myocardial perfusion imaging を行い、FGR-ET (Fast Gradient Echo-Echo Train)法を用いた。後期造影撮像では Delayed myocardial imaging を行い、Gated Fast gradient echo with IR pulse 法を用いた。詳細なパルスシーケンスはそれぞれの表に示す。

### (3) シネモード MRI 撮像の画質評価と壁運動評価

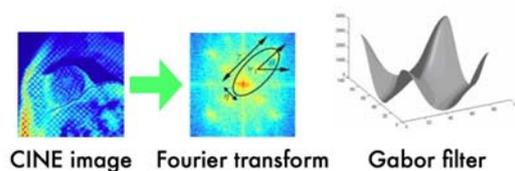
シネモード撮像 MRI 画像を用いて、拡張末期 (撮像第 1 時相) の左室の中心部の断面を用いて、心筋と内腔に適切な関心領域 ROI (Region of interest) を設定して、SNR (signal to noise ratio) と CNR (contrast to noise ratio) を測定した。ノイズは前胸壁の前の適切な位置に ROI を設定した。

さらに 3T 装置と 1.5T 装置のシネムービーを無作為に診断に用い、米国心臓病学会の 7 セグメント (anterobasal、anterolateral、apical、diaphragmatic、posterobasal、septal、posterolateral) ごとに壁運動を 4 段階 (normal、hypokinesis、akinesis、siskinesis) にスコア化を行い比較した。

### (4) タギング法シネ MRI 画像の解析

MRI DICOM データをオンラインの一般的な画像解析ワークステーションへ転送し、その後オフラインで PC ワークステーションに転送して、HARP (Harmonic phase) 法を基礎とするプログラミングを行い、ゆがみの指標である Strain を解析して算出した。この際、計算アーチファクトが多くなることを防止するためにフィルタを開発した。すなわち Gabor Filter であり (図 1)、本法を用いることによりノイズ成分が大幅に軽減されることが期待された。

図 1



具体的には大量の DICOM データを匿名化したうえでハードディスクに一旦保存し、PC ワー

クレーションでの解析に備えた。PCワークステーションでは、Gabor Filter 併用 HARP 法解析アプリケーションをプログラミングし、代表的な左室短軸断面を用い、6 区画（anterior、lateral、posterolateral、inferior、septal、anteroseptal）に分割して解析した。心筋ゆがみの Strain は Radial Strain と Circumferential Strain が得られ、このうち Radial Strain を評価した。タギング法シネ MRI 撮像によって得られた 20 時相すべてにおいて解析し、心周期最終時相に至るまでプロットし、1 周期すべての Radial Strain カーブを作成した。

表 1 対象症例

症例番号	年齢	性別	責任冠動脈	発症からの日数 (3.0T 1.5T)
1	69	M	13	132 15
2	76	M	7	145 22
3	81	M	7	64 12
4	40	M	13	185 9
5	36	M	6	185 12
6	53	M	6	137 27
7	77	M	13	28 30

表 2 CINE imaging with myocardial tagging パルスシーケンス

Segmented k-space fast gradient echo with SPAMM (Spatial Modulation of Magnetization)  
 TR 4.7 ms  
 TE 2.2 ms  
 Flip Angle 60 deg.  
 FOV 400 mm  
 matrix 256  
 tag grid 5 mm  
 interval 20 phases per RR

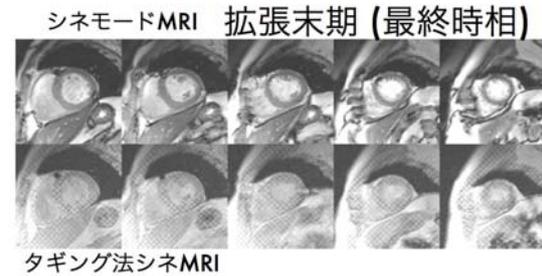
#### 4. 研究成果

##### (1) シネモード MRI 撮像の画質評価と壁運動評価

すべての症例で心筋の SNR と内腔の SNR は 3 テスラ MRI の方が高く、内腔と心筋の CNR も 3 テスラ MRI の方が高かった (表 3)。3 テスラ MRI 装置のシネモード MRI と 1.5 テスラの壁運動スコアは良く一致し (表 4)、新しい 3 テスラ MRI 装置でもこれまでの 1.5 テスラ MRI 装置と乖離なく壁運動評価が可能なが確認された。

(2) タギング法シネ MRI 画像の視覚的評価  
 3 テスラ MRI 装置で撮像したすべての症例で心周期の最後までタグが持続することを確認した。代表例を図 2 に示す、60 歳代の男性で拡張末期 (第 1 時相) と収縮末期だけでなく拡張末期 (最終時相) まで明瞭にタグが持続した。

図 2



##### (3) タギング法シネ MRI 画像の解析

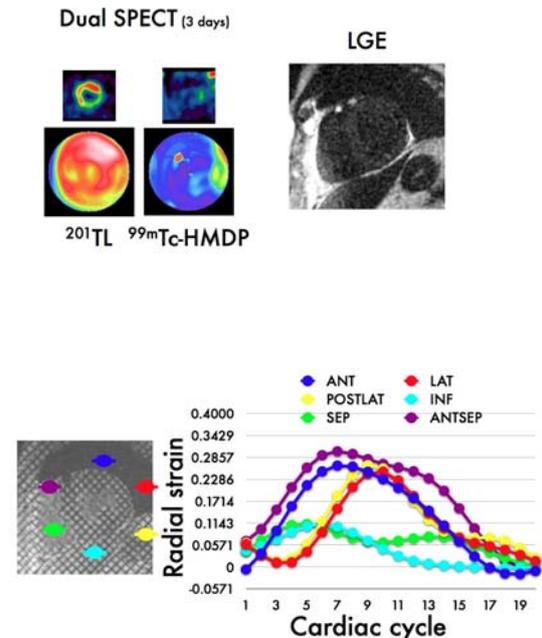
Gabor Filter を用いた HARP 法解析により、心周期のすべてにおける Radial Strain の解析が可能であり、視覚的評価では認識できない壁運動の異常が明らかになった。

代表例を提示する。

(症例 1) 責任冠動脈#11 (図 3)

急性期の核医学診断や MRI 後期造影で側壁の心内膜下の梗塞が明らかになっていたが、壁運動の低下は有意ではなかった。しかし Radial Strain 解析により、lateral および posterolateral の Strain カーブの位相が遅延していることが明らかになった。

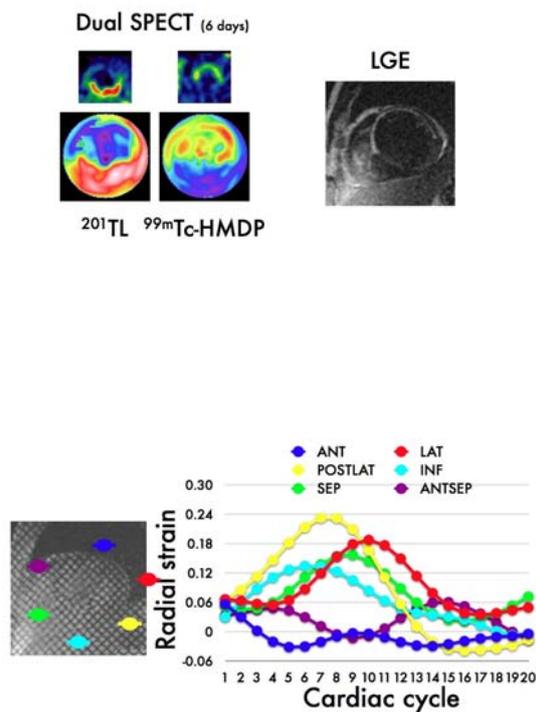
図 3



(症例 6) 責任冠動脈#6 (図 5)

急性期の核医学診断や MRI 後期造影で前壁中隔の貫壁性の梗塞が明らかになっていた、壁運動の低下は有意であった。Radial Strain 解析により、anterior および anteroseptal の Strain カーブの位相が反転しており強い壁運動異常が存在するだけでなく、septal や lateral の Strain カーブの位相が遅延しており、広範な壁運動異常が明らかになった。

図 4



(4) 心臓 MRI の考察

今回研究者らは 3 テスラ MRI 装置を用いて、心筋梗塞症例を対象として、拡張末期 (撮像第 1 時相) の左室の中心部の断面を用いて、心筋と内腔に適切な関心領域 ROI (Region of interest) を設定して、すべての症例で心筋の SNR と内腔の SNR は 3 テスラ MRI 装置の方が高く、内腔と心筋の CNR も 3T 装置の方が高いことを示した。

臨床的有用性については、研究者らはシネムービーを無作為に診断に使い、米国心臓病学会の 7 セグメントごとに壁運動のスコア化を行い、3 テスラ MRI 装置でもこれまでと乖離無く同等に壁運動評価が可能なることを報告した。

(5) タギング法シネ MRI の考察

3 テスラ MRI 装置の最も大きな特徴は T1 緩和の影響によりタグが心時相の最後まで残ることであろう。今回の研究者らの経験でもそれは確認された。この大きなインパクトを持つ画像情報はしかしながら適切な定量的解析方法を用いなければ臨床的には必ずしも有用ではない。

残念ながらこれまでには統一された簡便な解析方法が整備されていなかった。研究者らはハーブ法 (harmonic phase; HARP) を基礎としたアーチファクトの減少を目指したプログラミングを行い、歪みの指標あるストレインの解析を試みた。ハーブ法とはタギング法シネ MR の解析のために Osman らによって提唱された解析方法で、心筋の動きの成分を正確に導き出すための種々のフィルタリングを用いた高速な解析方法であり、今日でも有用な方法として多用されている。

研究者らの解析結果は図に示したごとく、心周期のすべてに渡って Radial Strain を算出してグラフ化する手法であり、これは世界発の画期的な成果である。術者に依存しない客観的で死角のない MRI 装置を用いて心周期すべての Radial Strain が表されることにより、心機能だけでなく心筋のねじれの客観的な指標が得られ、今後の治療におよぼす影響は計り知れない。心エコーでも Strain は研究されているが、もともと MR のタギング法で心収縮に伴うねじれが表されるようになってから多くの研究が積み重ねられ今日の超音波の発展につながっている。

(6) 総括

本稿での研究者研究者らのタギング法シネ MRI の Radial Strain の解析方法の開発の成功が客観的な心筋の動きの解明の突破口となると考える。

表 6 シネモード MRI 撮像の SNR と CNR  
Comparison of SNR and CNR in CINE imaging between 3.0T-MRI and 1.5T-MRI

	SNR Myocardium	
	3.0T	1.5T
Case 1	30.2	25.0
Case 2	47.6	3.1
Case 3	22.0	10.9
Case 4	27.1	20.2
Case 5	52.7	22.0
Case 6	24.4	22.7
Case 7	34.3	6.2
	p=0.024	
	SNR Cavity	
	3.0T	1.5T
Case 1	62.5	47.7
Case 2	109.8	51.8

Case 3	66.9	21.1
Case 4	68.2	32.4
Case 5	110.0	27.7
Case 6	55.3	44.7
Case 7	105.0	10.1

p=0.007

CNR Cavity - Myocardium		
3.0T	1.5T	
Case 1	32.3	22.7
Case 2	62.3	18.7
Case 3	45.0	10.2
Case 4	41.1	12.2
Case 5	57.4	5.7
Case 6	30.9	22.0
Case 7	70.7	4.0

p=0.005

表7 シネモードMRI撮像の壁運動スコア  
Wall motion score  
1.5T

3.0T	Norm	Hypo	Akin	Dyskin	Total
Norm	23	7	2	0	32
Hypo	0	8	3	0	11
Akin	0	0	2	0	2
Dyskin	0	0	3	1	4
Total	23	15	10	1	49

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計9件)

- ① 東野 博. Cardiac Imaging 2008 心臓MRIの現状と最前線. 臨床画像 11月増刊号 2008 Vol. 24 136-145. 査読無
- ② 東野 博、望月 輝一. 3T MRI 心臓のMRI. 映像情報 Medical 2008 Vol. 40 No. 10 892-897. 査読無
- ③ Kido T, Kurata A, Higashino H, Inoue Y, Kanza RE, Okayama H, Higaki J, Murase K, Mochizuki T. Quantification of regional myocardial blood flow using first-pass multidetector-row computed tomography and adenosine triphosphate in coronary artery disease. Circ J. 2008 Jul;72(7):1086-91. 査読有
- ④ 東野 博, 齋藤 実, 井上 祐馬, 岡山 英樹, 檜垣 實男, 三木 均, 望月 輝一, 江原 秀実, 貞本 和彦. 3T 装置を用いた心臓MRI. 臨床放射線 2008 Vol. 53 No. 1 164-173. 査読有

⑤ 東野 博, 井上 祐馬, 齋藤 実, 岡山 英樹, 檜垣 實男, 三木 均, 望月 輝一, 高橋 志津江, 江原 秀実, 貞本 和彦. 3T-MRIによる心臓MRI 現状と今後の課題. 映像情報 Medical 2008 Vol. 40 No. 1 28-33. 査読無

⑥ 東野 博, 望月 輝一. ビジュアルでわかる心不全の診断と治療 CT・MR で心不全を診る. CIRCULATION Up-to-Date vol. 2 no. 4 2007 363-374. 査読無

⑦ 東野 博, 齋藤 実, 井上 祐馬, 岡山 英樹, 檜垣 實男, 三木 均, 望月 輝一, 高橋 志津江, 江原 秀実, 貞本 和彦. 3T MRI の臨床心. 臨床画像 Clinical Imagiology 2007 Vol. 23 No. 11 1282-1292. 査読無

⑧ 東野 博, 齋藤 実, 岡山 英樹, 檜垣 實男, 三木 均, 望月 輝一, 高橋 志津江, 貞本 和彦. (Higashino H, Saito M, Okayama H, Higaki J, miki H, Mochizuki T, Takahashi S, Sadamoto K) 虚血性心疾患のMRI診断 - 3.0T と 1.5T との比較 -. (Cardiac MR Imaging in Ischemic Heart Disease at 3.0-Tesla MRI.) 日獨医報 2007; 52: 18-25 査読有

⑨ Kanza RE, Higashino H, Kido T, Kurata A, Saito M, Sugawara Y, Mochizuki T. Quantitative assessment of regional left ventricular wall thickness and thickening using 16 multidetector-row computed tomography: comparison with cine magnetic resonance imaging. Radiat Med. 2007; 25: 119-126. 査読有

[学会発表] (計6件)

- ① 東野 博. 心臓領域における高磁場MRI装置の有用性. 第16回日本MR Angiography研究会, 第6回3T MR研究会. 2008年6月14日. 東京コンファレンスセンター.
- ② 東野 博. マルチモダリティ心臓解析. 第22回全国循環器撮影研究会学術大会. 2008年4月5日. 横浜市開港記念会館.
- ③ 東野 博. 心臓MRIの発展と将来性. 第1回徳島心臓CT・MRI研究会. 2007年11月13日. 徳島大学.
- ④ 東野 博. シンポジウム VII マルチモダリティ時代における心臓核医学の歩むべき道 CTおよびMRIの発展と心臓核医学のサポート. 第47回日本核医学会学術総会. 2007

年 11 月 4-6 日. 仙台国際センター.

⑤ 東野 博. シンポジウム 1 高磁場 MRI 心臓の 3T MRI. 第 35 回日本磁気共鳴医学会大会, 2007 年 9 月 27-29 日, 神戸ポートピアホテル.

⑥ 東野 博. 心臓 CT・MR の発展と核医学の重要性. 第 27 回香川県核医学談話会. 2007 年 7 月 7 日, 高松.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

東野 博(HIGASHINO HIROSHI)

愛媛大学・医学部附属病院・講師

研究者番号: 00398041

### (2) 研究分担者

望月 輝一(MOCHIZUKI TERUHITO)

愛媛大学・大学院医学系研究科・教授

研究者番号: 80145094

村瀬 研也(MURASE KENYA)

大阪大学・大学院医学系研究科・教授

研究者番号: 50157773

### (3) 連携研究者