

心筋 tagging 法を用いたシネ MRI による 心臓動態の検討

安野直子¹, 安野泰史², 近藤 武², 坂倉一義¹,
片田和廣¹, 黒川 洋¹, 菱田 仁¹, 渡辺佳彦¹,
水野 康¹, 木造大夏³, 古賀佑彦³, 山田和弘⁴,
杉石宗隆⁴, 山口弘次郎^{3,5}, 五老健彦⁵

¹藤田保健衛生大学内科

²同 診療放射線技術学科

³同 放射線科

⁴杉石病院

⁵東芝那須工場

対 象

はじめに

これまで心筋内に金属性マーカーを植込んだり^{1)~5)}, 心エコー図で乳頭筋の動きを検討する⁶⁾などの方法で心周期に伴う心臓の動きを解明する試みがなされてきたが, 近年 MRI 法を用いて非侵襲的に心臓の動態を観察することができるようになった。MRI では容易に任意の断面が得られ, 心臓の長軸や短軸を正確に捉えることができる。しかし, 心臓の収縮・拡張動態は複雑であり, 固定された断面像だけではこの動きを正確に把握することはできない。ある瞬間にある断面上にあった部位は次の瞬間にその同じ断面上にあるとは限らない。心筋上に何らかの目印 (tag) を置きそれを追尾できれば, より詳細な心臓動態の検討を行なうことが可能と考えられる。そこで, presaturation, double oblique (chain oblique), multiangle slice などの技術を応用した心電図同期 tagging 法により心臓動態の検討をおこなった。

特別な既往歴を有さず心電図に異常を認めない正常ボランティア 5 例 (25~41 歳, 平均 33 歳, 男 4 例, 女 1 例) を対象とした。

方 法

装置は 0.5 T 超電導型 MRI (東芝 MRT-50 A) を用いた。

1) 心臓四腔断面像による検討

心電図非同期 field echo (FE) 法を用いて chain oblique により四腔断面 (左室水平長軸断面) を得た⁷⁾。この画面上で心室基部 (心室基部より約 1 cm 心尖部側) ①, 心室中央部 (①と③の間) ②, 心尖部 (心外膜面心尖部より約 1 cm 心室基部側) ③に tag を設定した (図 1)。①②③は僧帽弁輪部中央と心尖部を結ぶ左室長軸に直交し, 互に平行である。心電図 R 波に同期して, 撮影断面に直交するスライス幅 5 mm の断面を 180°RF パルスで presaturate し, その直後より心電図同期 FF 法 (TR=50 ms, TE=

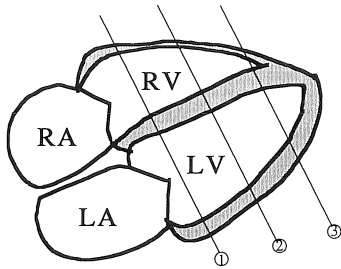


図1. 心臓四腔断面上の tag の位置
 ①心室基部より約1cm心尖部側
 ②①と③の間
 ③心外膜面心尖部より約1cm基部側

22 ms, FA=30°, スライス幅 10 mm, マトリックス 160×320, NEX=2~4 回, FOV=30×60 cm) で多位相 (9~16 枚) のシネ画像を撮像した。左室が最も収縮し、僧帽弁が開放する直前の画像を収縮末期とし、この画像上で心筋外に残された tag を基準として、心筋上の tag の移動距離を計測して 5 例の平均と標準偏差を求めた。

2) 左室短軸断面像による検討

1) の心臓四腔断面像で設定した tag と同一部位の心室基部 (図1①) と心尖部 (図1③) における左室短軸断面像を得た。この短軸断面上

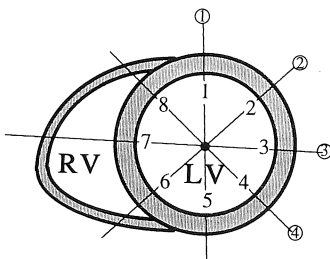


図2. 左室短軸断面上の tag の位置
 ③は四腔断面を得る位置
 4本の tag は左室中央で交叉し 45度間隔

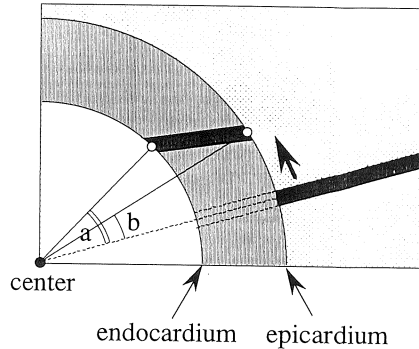


図3. 左室短軸断面上の tag の回転角の計測方法
 左室中央を中心とし、心筋外の tag を結んだ線と心筋上の tag を結んだ線のなす角度 (a: 心内膜側, b: 心外膜側) を計測した。

で図2に示すように、まず、左室中央、心室中隔中央を通るような tag ③を設定し、この tag から 45°ずつずれた tag (①②④) を左室中央を中心に放射状に設定した。他の撮像条件は前述の四腔断面の場合と同じである。収縮末期画像上で左室中央を中心として、図3のごとく心内膜側 (図3 a) と心外膜側 (図3 b) の角度を計測して、5 例の平均と標準偏差を求めた。

結 果

1) 心臓四腔断面像による検討

シネ表示では tag は収縮にともない心尖部に引寄せられた。心腔内の tag が心筋の収縮と伴に心腔内から流れ去る様子が認められた (図4)。Tag の動きは心室基部側①で右室壁 19.6±1.2 mm, 心室中隔壁 11.5±1.0 mm, 左室壁 12.0±1.8 mm と大きく、心尖部③で心室中隔壁 2.1±1.0 mm, 左室壁 2.6±1.5 mm と小さく、心室中部②では右室壁 10.6±2.5 mm, 心室中隔壁 5.0±1.1 mm, 左室壁 5.6±1.7 mm とその中間であった。右室前壁自由壁基部の tag の動きは左心室のそれより

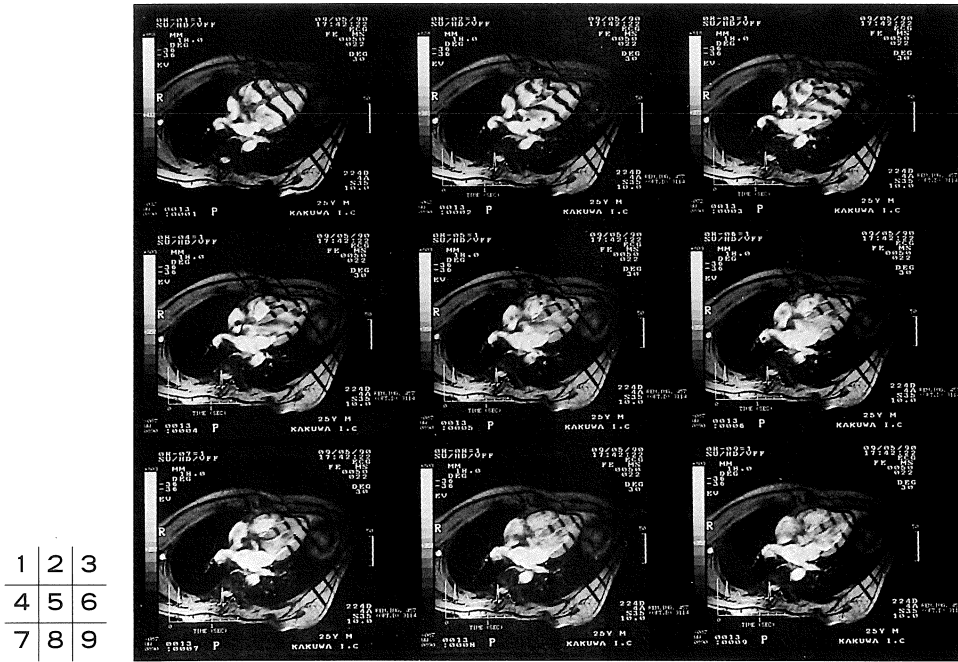
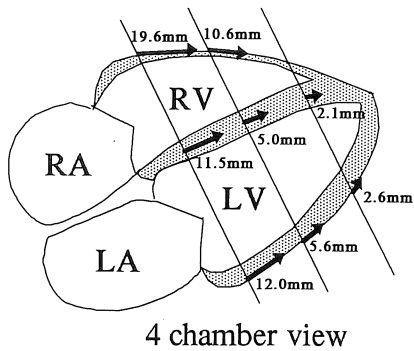


図4. FE法(50/22/30°)にtagging法を用いた心臓四腔断面像。心筋上のtagが収縮に伴って心尖部方向に移動し、心腔内のtagが流れ去る様子が観察された。

1	2	3
4	5	6
7	8	9



4 chamber view

図5. 心臓四腔断面面上のtagの移動距離。5例の計測の平均値を示す。Tagは心尖部方向に引寄せられ、移動距離は心室基部側で大きく、心尖部側で小さかった。右室壁のtagの動きは左室壁に比し大きかった。

も大きかった(図5)。

2) 左室短軸断面像による検討

Tagging法により心臓の収縮に伴うねじれを画像化できた。左心室心尖部短軸断面面上のtag

は収縮時に心尖部から見て反時計方向に回転した(図6)。それに対し左心室基部では症例により反時計回転角が小さいか、もしくはわずかに時計回転した(図7)。また、中隔側の回転は自由壁に比して小さかった。自由壁では心内膜側は心外膜側よりも回転角が大きかった(図8)。

考 按

近年 tagging 法により心筋に目印をつけ、これを追跡する方法が考案され、より詳細な心臓動態の検討が可能となった^{8),9)}。Tagを拡張末期に与えれば、MR信号を発生しないtagをほぼ全収縮期を通して撮像断面上に観察できる¹⁰⁾。肝臓や胸郭などの心臓以外の部位に与えられたtagは心拍動とともに動かないので基準として利用できる。一方、心筋上のtagは心筋の収縮に伴って移動する。心腔内の血液上のtagも時間とともに心腔内から流れ去る様子がわかる。こ

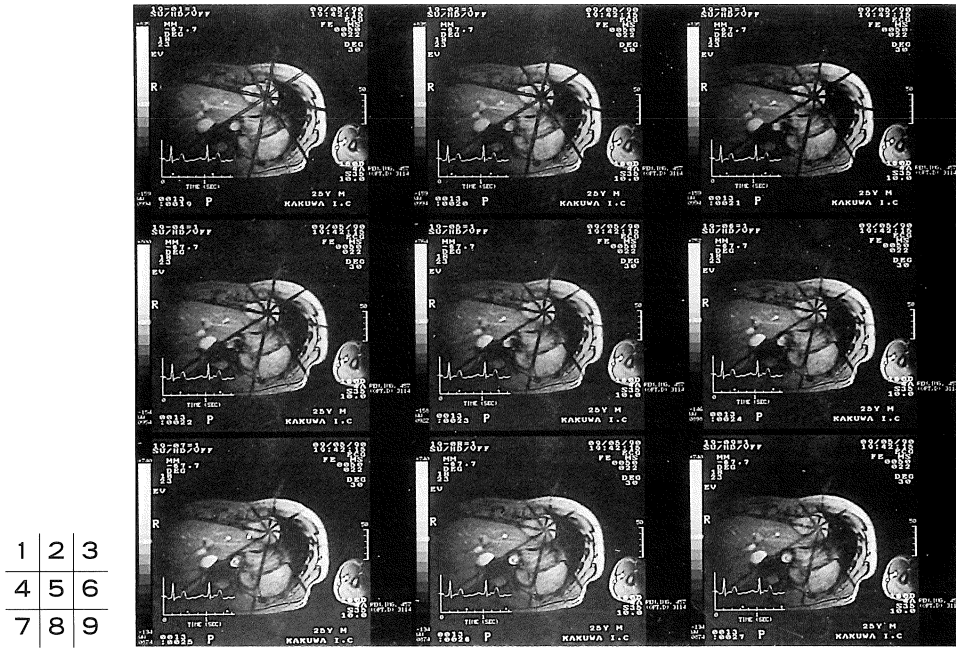


図 6. FE 法 (50/22/30°) に tagging 法を用いた心尖部の左室短軸断面画像。収縮期に tag は心尖部から見て反時計方向に回転した。Tag の回転は部位によって一定ではなかった。

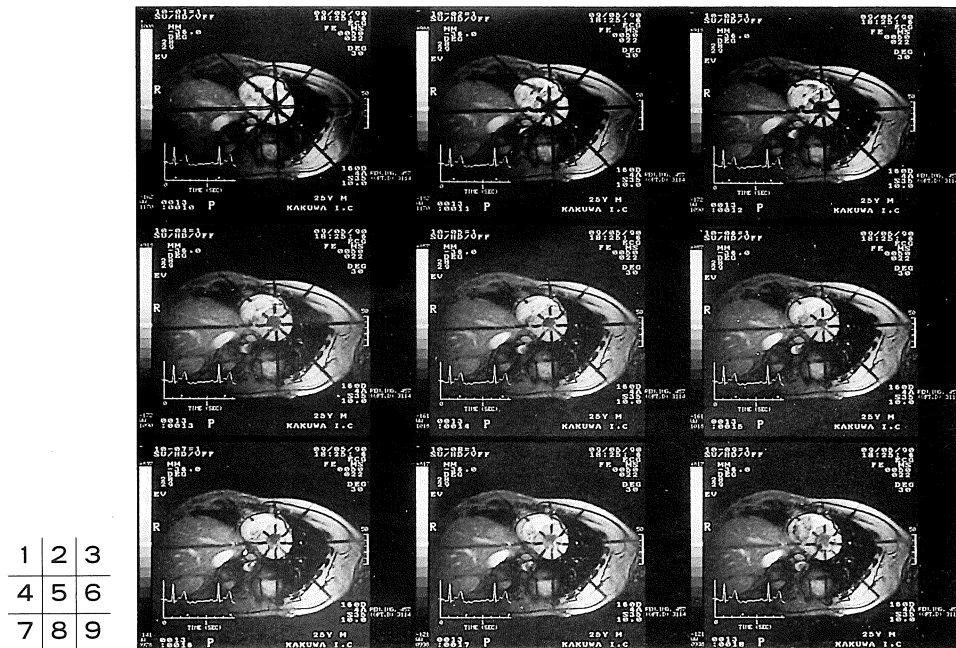


図 7. FE 法 (50/22/30°) に tagging 法を用いた心室基部の左室短軸断面画像。心尖部から見て tag は収縮期にわずかに時計回転した。

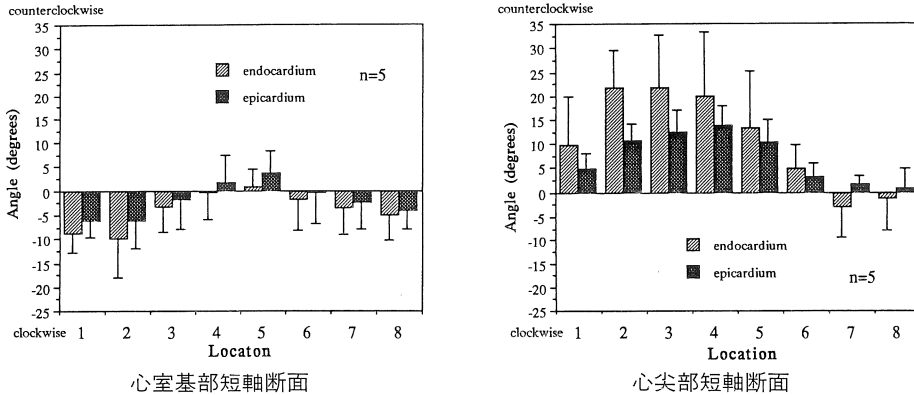


図 8. 左室短軸断面上の tag の回転角。5 例の計測の平均値と標準偏差を示す。心尖部の断面では tag は心尖部から見て反時計方向に回転した。回転角は心内膜側で大きく、心外膜側で小さかった。また、心室中隔側で小さく、左室自由壁側で大きかった。心室基部の断面では tag が時計回転する例と反時計回転する例があり、いずれも回転角は小さかった。

れらをとらえることにより心臓の動態を検討することができる。Tagging 法を併用しても通常の FE 法による撮像時間と同じ時間で撮像でき、患者に余分の負担を与えないので日常臨床で用いることができる。

心臓動態については、すでに我々が報告したように、心室基部は収縮に伴って心尖部方向に引寄せられ、心外膜面心尖部は殆ど動かない¹¹⁾。Tag を追跡すると、収縮期の心室長軸方向の心筋の動きは心室基部側で大きく、心尖部側で小さかった。また、右室壁の心尖部方向への移動距離は左室自由壁および中隔壁の移動距離に比べて大きかった。心室基部は収縮期の間に約 15 mm 心尖部方向に移動する¹¹⁾ので、左心室基部短軸像の撮像を最も弁輪部より設定すれば、収縮末期にはその断面上には心室が全く存在しないことになる。そのため左心室基部短軸断面の設定を弁輪部より約 1 cm 以上心尖部方向におくこととした (図 1)。

左心室は心尖部側で大きくねじれながら収縮した¹²⁾。心室は収縮する際、心尖部を固定したままねじれながら縮み、その長軸を短縮し、心室壁が厚くなると思われた。収縮期に心室および心筋の“ねじれ”が起こる原因は、心筋の配列

によるものと思われる。自由壁心筋は内層と外層が斜走、中層が横走しており、中隔壁では外層が存在しない。これらのねじれが心臓能にどのように影響を及ぼしているかは不明であるが、この収縮期のねじれのエネルギーは急速流入期の ventricular suction^{13)~18)}として利用されるとの説もあり今後の検討に興味もたれる。撮像断面に直交する tagging 断面と撮像断面の交叉する部位が撮像断面上のラインとして表示されるが、心筋上の tag は直線とは限らず弧状になることもある。これについても今後さらに詳しい検討が必要と思われる。

拡張末期に tag を与える場合には拡張末期像が得られない。tag は撮像断面に直交する断面全体に与えられているので、画像上の tag は tagging 断面上のどこかの点がある時間後に撮像断面上に移動して来たものと考えられる。これは 1) 2) の検討からも明らかである。Tag を面から線へ、さらには点に変えていくことができればより詳細な検討が可能になると思われる。左室は円錐形に近似されるが、実際は僧帽弁輪部中央と心尖部を結ぶ軸は心周期の間に変化する。心外膜面心尖部はほとんど動かないので心尖部の短軸断面像ではそれほど問題が無いが、心室

基部側の短軸断面像では拡張末期と収縮末期の左室中心のずれが大きいため、回転角の計測に問題がある。(非同期撮影では正確さに欠けるが撮像時間を短縮するために、今回の検討では非同期画面上で tag を設定した。)

Tagging 法を用いた MRI により心臓の収縮拡張動態および心腔内の血流をより詳細に検討することが可能であり、本法は各種心疾患の病態把握に有用と思われる。

結 語

Tagging 法を用いた心臓 MRI 検査により、心室がねじれながら収縮し、その長軸を心尖部方向に短縮していることが示された。Tagging 法は非侵襲的に人間の心臓の動きを観察するのにすぐれた方法であり、今後各種心疾患に応用することにより病態の把握に役立つものと思われる。

文 献

- 1) N. B. Ingels, G. T. Daughters, E. B. Stinson, et al.: Measurement of midwall myocardial dynamics in intact man by radiography of surgically implanted markers. *Circulation*, 52 : 859-867, 1975.
- 2) D. E. Hansen, G. T. Daughters, E. L. Alderman, et al.: Torsional deformation of the left ventricular midwall in human hearts with intramyocardial markers: Regional heterogeneity and sensitivity to the inotropic effects of abrupt rate changes. *Circ Res*, 62 : 941-952, 1988.
- 3) N. B. Ingels, D. E. Hansen, G. T. Daughters, et al.: Relation between longitudinal, circumferential, and oblique shortening and torsional deformation in the left ventricle of the transplanted human heart. *Circ Res*, 64 : 915-927, 1989.
- 4) M. M. Lewinter, R. S. Kent, J. M. Kroener, et al.: Regional differences in myocardial performance in the left ventricle of the dog. *Circ Res*, 37 : 191-199, 1975.
- 5) W. Y. W. Lew and M. M. Lewinter: Regional circumferential lengthening patterns in canine left ventricle. *Am J Physiol*, 245 : H741-H748, 1983.
- 6) M. J. Mirro, E. W. Rogers, A. E. Weyman, et al.: Angular displacement of the papillary muscles during the cardiac cycle. *Circulation*, 60 : 327-333, 1979.
- 7) 近藤武, 安野泰史, 瓜谷富三, 他: Cine MRI による左室容積の算出と各種心疾患への臨床応用. *心臓* 22 : 63-72, 1990.
- 8) L. Axel and L. Dougherty: MR imaging of motion with spatial modulation of magnetization. *Radiology*, 171 : 841-845, 1989.
- 9) L. Axel, L. Dougherty: Heart wall motion: Improved method of spatial modulation of magnetization for MR imaging. *Radiology*, 172 : 349-350, 1989.
- 10) E. A. Zerhouni, D. M. Parish, W. J. Rogers, et al.: Human heart: Tagging with MR imaging—A method for noninvasive assessment of myocardial motion. *Radiology*, 169 : 59-63, 1988.
- 11) 安野直子, 岡村正博, 坂倉一義, 他: 心臓シネ MRI による心動態の評価. *Ther Res*, 11 : 3439-3440, 1990.
- 12) M. B. Buchalter, M. J. Weiss, W. J. Rogers, et al.: Noninvasive quantification of left ventricular rotational deformation in normal humans using magnetic resonance imaging myocardial tagging. *Circulation*, 81 : 1236-1244, 1990.
- 13) W. C. Roberts, W. J. Brownlee, A. A. Jones, et al.: Sucking action of the left ventricle demonstration of a physiologic principle by a gunshot wound penetrating only the right side of the heart. *Am J Cardiol*, 43 : 1234-1237, 1979.
- 14) H. N. Sabbah, D. T. Anbe and P. D. Stein: Negative intraventricular diastolic pressure in patients with mitral stenosis: Evidence of left ventricular diastolic suction. *Am J Cardiol*, 45 : 562-566, 1980.
- 15) M. Hori, E. L. Yeliin and E. H. Sonnenblick: Left ventricular diastolic suction as a mechanism of ventricular filling. *Jpn Circ J*, 46 : 124-129, 1982.
- 16) H. Suga, Y. Goto, Y. Igarashi, et al.: Ventricular suction under zero source pressure for filling. *Am J Physiol*: H47-H55, 1986.
- 17) P. A. Goffre, A. Gaspardone, F. Tomai, et al.: Angiographic evidence of cardiac ventricular diastolic suction. *Am J Cardiol*, 63 : 376-378, 1989.
- 18) J. E. Udelson, S. L. Bacharach, R. O. Cannon, et

al. : Minimum left ventricular pressure during β -adrenergic stimulation in human subjects Evidence for elastic recoil and diastolic suction in

the normal heart. *Circulation*, 82 : 1174-1182, 1990.

Assessment of Cardiac Motion by Cine MRI Using Myocardial Tagging Method

Naoko ANNO¹, Hirofumi ANNO², Takeshi KONDO²,
Kazuyoshi SAKAKURA¹, Kazuhiro KATADA², Hiroshi KUROKAWA¹,
Hitoshi HISHIDA¹, Yoshihiko WATANABE¹, Yasushi MIZUNO¹,
Taika KIZUKURI³, Sukehiko KOGA³, Kazuhiro YAMADA⁴,
Munetaka SUGIISHI⁴, Kojiro YAMAGUCHI^{3,5}, and Takehiko GORO⁵

¹*Dept. Internal Medicine, Fujita Health Univ. , School of Medicine
1-98 Dengakugakubo, Kutsukake, Toyoake, Aichi 470-11*

²*Dept. of Radiological Technology, Fujita Health Univ. , School of Health Science,*

³*Dept. of Radiology, Fujita Health Univ. , School of Medicine,*

⁴*Sugiishi Hospital*

⁵*Toshiba Nasu Works*

Magnetic resonance imaging is a noninvasive method for assessment of myocardial motion. The myocardial tagging is a new technique that can label specific lines in any portion of myocardium. If tags were applied at the end diastole, the tags served during contraction. ECG-gated MRI was performed in five normal volunteers, aged 25-41 years, by a 0.5 T superconducting magnet (MRT50A) with field echo pulse sequence. The 4-chamber-view and the short axis view of the left ventricle at both basal and apical levels were imaged. Three parallel (basal, mid ventricular, apical) tags were applied in the 4-chamber-view and four equiangular radial tags were served in the short axis view just after the R wave of the QRS complex. All tags of the left ventricle in the 4-chamber-view moved toward the apex during systole. The movement of the basal tags were greater than that of the apical tags. Counterclockwise rotations of tags in the apical short axis view were observed. Rotation angle of the free wall were larger than that of the interventricular septum. Endocardial torsion angles were greater than epicardial points. In conclusion, myocardial tagging is an excellent method for estimating the left ventricular motions including the longitudinal shortening and ventricular torsions.