

## タギング法による心室壁運動の解析： 拡張型心筋症の2例における心室壁の伸張の抽出\*

稲葉 忠司\*\*・紀ノ定保臣\*\*\*・川崎 信吾†  
小畑 秀明\*\*・徳田 正孝\*\*

### 1. はじめに

心筋壁運動を力学的観点から評価することは、心機能を解明する上での重要な課題の1つであるとともに、心筋壁運動を記述する力学量は、心疾患の重症度あるいはその治療効果を定量的に評価するための一助となると考えられる。心疾患診断における評価指標として力学的パラメータを用いる場合、そのパラメータは非侵襲に求め得ることが望まれる。そのためには、心筋壁運動の非侵襲的計測が必要となり、その計測法の1つにMRI（磁気共鳴映像装置）のタギング法<sup>1-9)</sup>がある。このような背景から著者らは、上述のタギング法を用いて、心収縮性の力学的評価を試みてきた<sup>10,11)</sup>。前報<sup>11)</sup>では、肥大型心筋症および高血圧性心肥大の左室短軸断面における心筋壁運動を解析することにより、肥大大心における心収縮性の特徴を力学的観点より検討した。その結果、両疾患とも心筋壁肥大を伴う疾患であるにも関わらず心収縮性はまったく異なり、両者の相違が心筋壁内のひずみに反映されることが明らかとなった。そこで本報では、この手法を左脚ブロックを伴う拡張型心筋症の心疾患患者に適用することにより、本手法より算出される力学量的心収縮性評価指標としての有用性についてさらなる検討を試みた。

### 2. 対象と撮像方法

本研究では、左脚ブロック（left bundle branch block, LBBB）を伴う拡張型心筋症（dilated cardiomyopathy, DCM）の心疾患患者2人（57歳、女性（被験者A）および78歳、男性（被験者B））に対しMRタギングを施行した。ここで、拡張型心筋症とは心筋疾患のうち原因不明の心室の拡張と収縮不

全をきたすものと定義され（1995年WHO/ISFCの勧告にもとづく）、予後不良な疾患と言われている。さらに左脚ブロックは心臓の刺激伝導系での異常により特有の幅広いQRSを伴う心電図を示し、両者の合併例では心機能の低下が著しい症例が多い。対象となったいずれの被験者も撮像時の心拍数は安定しており、不整脈は認められなかった。撮像装置には米国GE社製MRI装置SIGNA advantage（静磁場強度=1.5T）を使用し、タギング法を用いて左心室中央面での短軸断面像を心電図同期下でシネ撮像した。このとき、本報で用いた撮像条件は、前報<sup>11)</sup>で示した条件と同様であった。

### 3. 解析方法

ひずみの算出は、心筋壁内に付加されたタグの交点を心時相を通じて連続的に追跡することにより行った。隣接する3つのタグ交点により構成される三角形領域を1つの解析領域とし、左心室内腔中心を原点とする極座標系における半径方向ひずみ成分 $E_{rr}$ 、せん断ひずみ成分 $E_{r\theta}$ および円周方向ひずみ成分 $E_{\theta\theta}$ を算出した<sup>11)</sup>。また、ひずみテンソルの固有値の1つであり、解析領域内の最大縮みを表す最小主ひずみ $E_2$ を算出した<sup>10)</sup>。心筋の収縮性を局所的に評価するため、各三角形領域において算出されたひずみ成分を各々の被験者内において前壁（anterior wall）、中隔（septal wall）、後壁（posterior wall）および側壁（lateral wall）の4つの部位別に平均し、以下の結果と考察に供した。

### 4. 解析結果

第1図(a)～(c)に被験者A、Bおよび健常者（56歳、女性）の収縮末期における円周方向ひずみの分布を示す。この図において、画像中の各三角形領域（ひずみ算出領域）内の色が円周方向ひずみを表し、青色が $E_{\theta\theta}=0.2$ 、黄色が $E_{\theta\theta}=0$ 、赤色が $E_{\theta\theta}=-0.2$ を示す。第1図に示すように、疾患心における円周方向ひずみは、どちらの被験者も、側壁付近では正常心

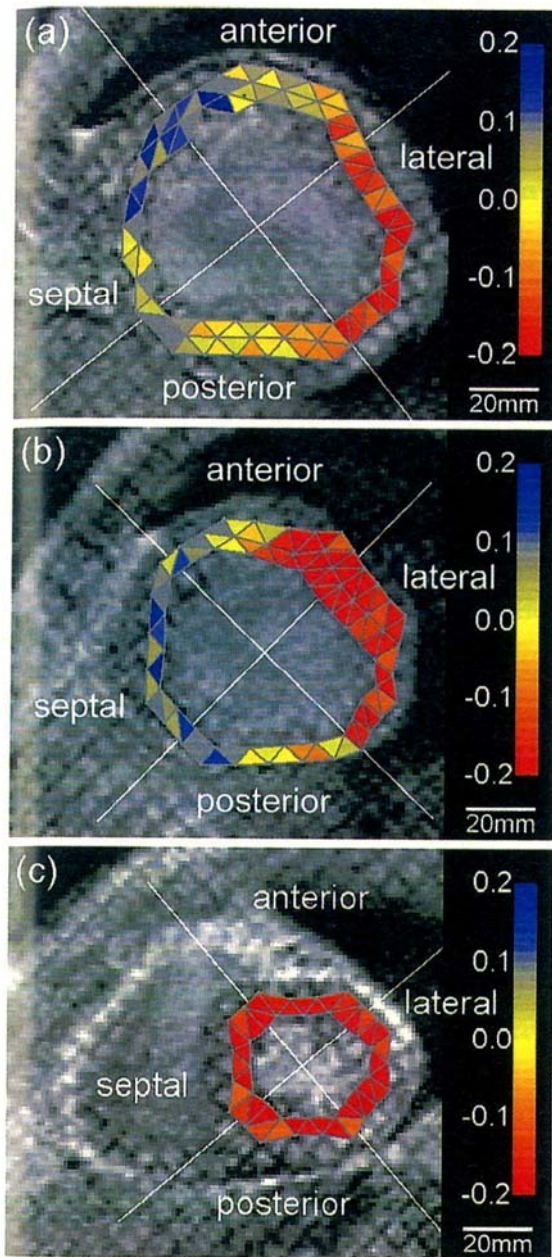
\* 2002年12月4日受付, 2003年2月12日改訂, 2003年3月4日再改訂

\*\* 三重大学工学部機械工学科

\*\*\* 岐阜大学医学部医療情報部

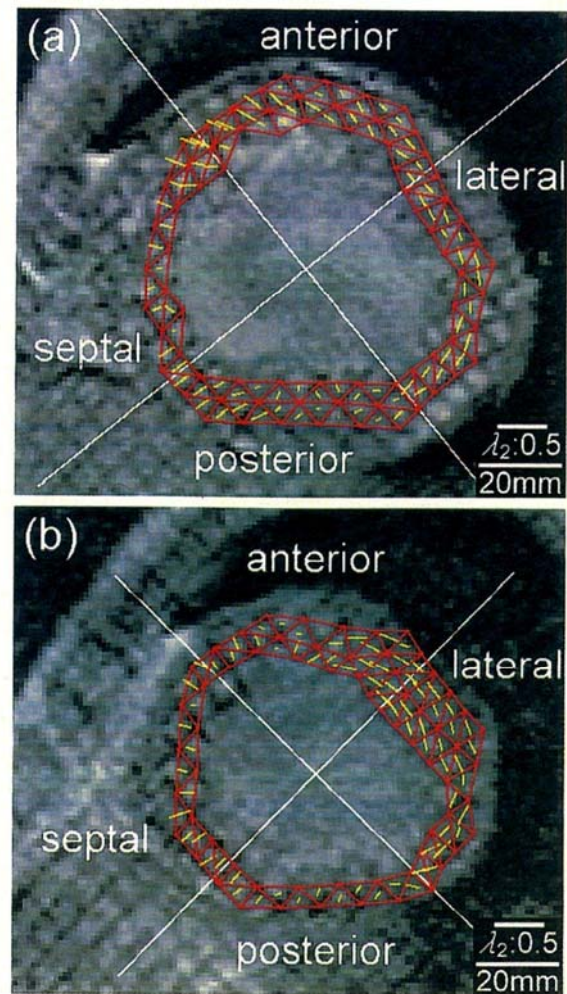
† 松下記念病院循環器科





第1図 収縮末期における円周方向ひずみの分布  
(a) 被験者 A, (b) 被験者 B, (c) 健常者.  
Fig. 1 Distribution of circumferential strain at the end systole.  
(a) Subject A, (b) Subject B, (c) Healthy human.

と同様  $-0.2$  程度の負の値であるのに対し、中隔付近では正の値であった。第2図(a)に中隔、(b)に側壁における両被験者の収縮末期における半径方向ひずみ、せん断ひずみ、および円周方向ひずみを示す。また、比較のために、前報<sup>11)</sup>で示した健常者10人(年

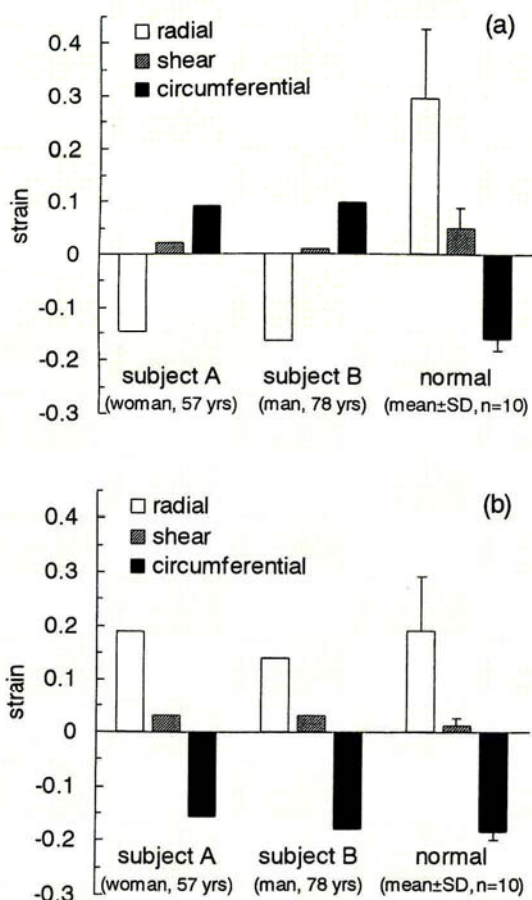


第4図 収縮末期における最小主ひずみの分布  
(a) 被験者 A, (b) 被験者 B.

Fig. 4 Distributions of minimum principal strains at the end systole.  
(a) Subject A, (b) Subject B.

齢21~56歳、男性6人、女性4人)のひずみ成分の平均値を同図中に示す。第2図に示すように、疾患心におけるひずみ値は、側壁に関しては、正常心と同様に半径方向ひずみは正、円周方向ひずみは負であるのに対し、中隔に関しては、正常心とは逆に半径方向ひずみは負、円周方向ひずみは正であった。第3図に被験者A、Bおよび健常者の収縮末期における最小主ひずみを示す。同図に示すように、最小主ひずみに関しては、中隔および側壁のどちらの部位においても、疾患心と正常心は同程度の値であった。第4図に被験者AおよびBの収縮末期における最小主ひずみの分布を示す。同図において、図中の三角形領域内の黄色で示した線分の長さや方向が最小主ひずみの大きさと



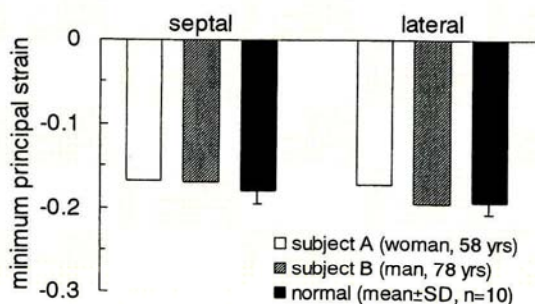


第2図 被験者 A, B および健常者の収縮末期における各ひずみ成分

(a) 中隔, (b) 側壁。

Fig. 2 Strain components at the end systole in subjects A and B, and healthy humans.

(a) Septal wall, (b) Lateral wall.



第3図 被験者 A, B および健常者の収縮末期における最小主ひずみ

Fig. 3 Minimum principal strains at the end systole in subjects A and B, and healthy humans.

このひずみが生じている方向を示す。第4図に示すように、最小主ひずみの方向は、側壁付近では円周方向であるのに対し、中隔付近では半径方向であった。

## 5. 考 察

前報<sup>11)</sup>にて示したように、正常な心臓の場合、心筋は短軸断面内において円周方向に支配的に収縮する。これに対し、今回対象とした左脚ブロックを伴う拡張型心筋症の疾患心では、中隔において、心筋は円周方向に伸張することが示された。一般に、ある壁厚を持つ球あるいは円筒の物体に内圧が加わると、物体の壁内には引張の円周方向応力が作用する。同様に、心収縮期において、心筋壁内には心内圧の増加に応じた引張の円周方向応力が発生すると考えられる。したがって、本症例の中隔部では、心筋は、この引張の円周方向応力に抗して収縮するだけの活動性張力を生じておらず、発生した引張応力により伸ばされたと考えられる。本症例が左脚ブロックを伴う拡張型心筋症であることを考慮すると、活動性張力の生じていない要因として、心筋の組織学的変化による機能低下、刺激伝導系障害による収縮時相のずれ、あるいは両者の相互作用などが考えられるが、本報の結果のみから要因が何かを特定することはできない。山田ら<sup>12)</sup>の報告では、タギング法を用いて拡張型心筋症における心室周囲短縮率と壁肥厚率を求めた結果、この症例では壁の異常運動が認められたとしている。よって、そこで対象とされた症例が拡張型心筋症のみを有する症例であるならば、心筋症による心機能低下が異常壁運動の主な要因であると推察される。今後、拡張型心筋症あるいは左脚ブロックを単独で有する症例等の解析結果を加え、異常壁運動の要因についてさらに検討していきたい。

第3図に示したように、最小主ひずみを用いた評価では、本症例の中隔における特異な変形挙動を表すことができなかった。第2図(a) からわかるように、本症例の中隔では円周方向への心筋の伸張に伴う半径方向の縮み、すなわち壁厚の減少が生じている。それゆえ、心筋がこのような変形挙動を示す場合、解析領域内の最大縮みを表す最小主ひずみは、半径方向の縮みを反映することになる。実際に、第4図から、中隔付近では最小主ひずみの方向が半径方向を示すことが確認される。以上のことから、最小主ひずみを用いて心収縮性を評価する際は、その大きさだけでなく、ひずみが生じている方向(ひずみの主方向)と関連付けて考察することが不可欠であると考えられる。



## 6. ま と め

本研究では、心筋壁運動を力学的観点より評価することの重要性・有用性を検討するため、MRIのタギング法を用いて、左脚ブロックを伴う拡張型心筋症における左心室壁収縮運動の解析を試みた。その結果、本症例では、側壁においては正常心と同様の変形挙動を示すのに対し、中隔においては正常心とは逆に円周方向に伸び、半径方向に縮む挙動を示すことが明らかとなった。以上の知見より、本症例のような挙動を示す心疾患の心収縮性を定量的・局所的に評価する上でも、本手法より算出される力学量が有用であると考えられた。

本研究に際し多大なご協力をいただいた松下記念病院の中野泰彦副院長、杉原洋樹副院長およびGE横河メディカルシステムの野崎敦氏に深謝する。

## 文 献

- 1) E. A. Zerhouni, D. M. Parish, W. J. Rogers, A. Yang & E. P. Shapiro: Human heart: tagging with MR imaging—a method for noninvasive assessment of myocardial motion, *Radiology*, **169**, 59/63 (1988)
- 2) L. Axel & L. Dougherty: MR imaging of motion with spatial modulation of magnetization, *Radiology*, **171**, 841/845 (1989)
- 3) L. Axel & L. Dougherty: Heart wall motion: improved method of spatial modulation of magnetization for MR imaging, *Radiology*, **172**, 349/350 (1989)
- 4) M. B. Buchalter, J. L. Weiss, W. J. Rogers, E. A. Zerhouni, M. L. Weisfeldt, R. Beyar & E. P. Shapiro: Noninvasive quantification of left ventricular rotational deformation in normal humans using magnetic resonance imaging myocardial tagging, *Circulation*, **81**, 1236/1244 (1990)
- 5) 紀ノ定保臣, 中川 毅: 磁気標識法を用いた新しい流れの定量的計測手法の開発, *医用電子と生体工学*, **29-2**, 123/129 (1991)
- 6) L. Axel, R. C. Goncalves & D. Bloomgraden: Regional heart wall motion: two-dimensional analysis and functional imaging with MR imaging, *Radiology*, **183**, 745/750 (1992)
- 7) A. A. Young, H. Imai, C.-N. Chang & L. Axel: Two-dimensional left ventricular deformation during systole using magnetic resonance imaging with spatial modulation of magnetization, *Circulation*, **89**, 740/752 (1994)
- 8) M. A. Fogel, K. B. Gupta, P. M. Weinberg & E. A. Hoffman: Regional wall motion and strain analysis across stages of Fontan reconstruction by magnetic resonance tagging, *Am. J. Physiol.*, **269** (Heart Circ. Physiol., **38**), H 1132/H 1152 (1995)
- 9) M. A. Fogel, P. M. Weinberg, A. Hubbard & J. Haselgrove: Diastolic biomechanics in normal infants utilizing MRI tissue tagging, *Circulation*, **102**, 218/224 (2000)
- 10) 稲葉忠司, 紀ノ定保臣, 徳田正孝: タギング法による左心室心筋壁の収縮性評価, *医用電子と生体工学*, **36-1**, 7/14 (1998)
- 11) 稲葉忠司, 紀ノ定保臣, 川崎信吾, 小畑秀明, 徳田正孝: タギング法による肥大心臓の収縮性評価, *生体医工学*, **40-1**, 20/27 (2002)
- 12) 山田直明, 本岡真琴, 浦山慎一, 安村良男, 高宮 誠: 格子状タグによる心機能画像: 心室周囲短縮率と壁肥厚率の定量評価法と画像化, *日本磁気共鳴医学会雑誌*, **18-Suppl.**, 238 (1998)

### Analysis of Left Ventricular Wall Motion Using a Magnetic Resonance Tagging Technique: Measurement of Circumferential Elongation of Ventricular Wall in Patients with DCM\*

Tadashi INABA,\*\* Yasutomi KINOSADA,\*\*\* Shingo KAWASAKI,†  
Hideaki OBATA,\*\* Masataka TOKUDA\*\*

Deformation of the left ventricular wall during systole was analyzed using a magnetic resonance tagging technique. The subjects were two patients with dilated cardiomyopathy accompanied by a left bundle branch block. The circumferential strain at the short-axis section was employed as an index for evaluating cardiac contractility. The results showed that the circumferential strains in the septal walls of the patients were different from those of healthy humans, having positive values. This study proposes that circumferential strain could be an effective index for the quantitative evaluation of cardiac contractility.

\* Received on December 4th 2002, Revised on February 12th 2003, March 4th 2003

\*\* Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Mie University

\*\*\* Department of Medical Informatics, Gifu University

† Department of Cardiology, Matsushita Memorial Hospital