

2Dティッシュトラッキング法を用いた左室捻れ運動の評価

Evaluation of Left Ventricular Torsion using 2D Tissue Tracking

村田 和也¹⁾ Kazuya Murata
田中 健雄²⁾ Takeo Tanaka

赤川 英三²⁾ Eizo Akagawa

¹⁾山口大学医学部附属病院 検査部
²⁾山口大学大学院器官病態内科学

断層組織トラッキング法は、パターンマッチング法に基づき組織を自動追跡し、その軌跡をトラッキングすることにより心筋ストレインを求める方法である。本法を用いて左室の心尖部と心基部の収縮期回転角度を求めることにより、左室捻れ運動の評価が可能である。左室の心内膜側は心外膜側に比較して収縮期壁厚増加により寄与していることが知られているが、内膜側、外膜側の捻れの違いは明らかにされていない。本稿では、陽性変力作用薬を投与した時の内膜側、外膜側の捻れ運動の変化やDCM患者での内膜側、外膜側の捻れ運動の違いについて述べる。

Two dimensional echocardiographic tissue tracking system (2DTT) has been introduced for tracking the locus of LV myocardium to calculate myocardial strain. This technique is based on a pattern matching algorithm, which enables us to track selected points automatically during the whole cardiac cycle using digital image files. Using this technique, we tried to assess LV rotational deformation by calculating the rotation angles between the apex and the base of LV. Although the LV endocardium contributes more than the epicardium to systolic wall thickening, the difference in the LV torsion between Endo and Epi remain to be elucidated. We reported the effects of inotropic stimulation on both endo- and epicardial LV torsion in normal subjects and the difference of LV endo- and epicardial torsion in patients with DCM.

Key Words: Two-dimensional Tissue Tracking System, LV Rotation, LV Torsion, Myocardial Strain

1. はじめに

超音波診断装置のデジタル化の進歩に伴い、多くの新しい心機能計測機能が付加され、これまで侵襲的あるいは動物実験でのみ計測可能であった心機能指標も心エコー法を用いて非侵襲的に測定可能となった。近年、組織ドプラ法を用いたストレイン、ストレインレートの計測が行われるようになり、さまざまな疾患において臨床応用が進められているが、ドプラ法の角度依存性は常にストレイン解析の障害となり、限界を有していた。今回、パターンマッチング理論に基づくTwo-dimensional Tissue Tracking(2DTT)法が新たに開発され、

新しいストレイン計測法として注目を集めている¹⁾。本稿ではこの2DTT法の臨床応用について述べる。

2. 2DTT法

2DTT法のアルゴリズムはパターンマッチング法に基づいている。パターンマッチング法は断層画像の小領域(ROI)と類似度の高い領域を次のフレームから探索し、フレームごとに探索を進めていくことにより、最初設定した関心領域の軌

跡を自動追尾する方法である(図1)。本法では関心領域が各フレームにおいて座標情報を持つため、軌跡をデジタル化し簡便に解析可能となっている。

3. 2DTT法を用いた左室回転運動・捻れ運動の評価

左室壁は収縮期には壁厚を増加させ内方に運動することにより、その容積を縮小させ血液を駆出する。心筋線維は心内膜側(Endo)と心外膜側(Epi)は逆方向に斜走しており(Endo : right-handed helix、Epi : left-handed helix)²⁾、この線維走行の違いにより、左室壁は収縮期の内方運動に加え、心基部と心尖部が反対に回転し左室を絞り込むような捻れ運動を生じることで有効な拍出を行っていることが知られている。この心臓の捻れ運動については、従来よりビーズマーカーを心筋に植え込みシネアングロで解析を行った検討³⁾⁴⁾や、tagging MRIを用いた検討⁵⁾⁶⁾が散見されるが、マーカーを用いた検討では実験的検討あるいは心移植の際に実施されたものに限られ、MRIを用いた検討も設備の問題やフレームレートの問題等があり、幅広く臨床応用されることは困難であった。

近年、心エコー法による心機能評価の一つとして、心筋ストレインの計測が実用化された。心エコー法でのストレイン評価は、組織ドプラ法による計測が主であったが、組織ドプラ法はあくまでもドプラ原理に基づくために、その測定には角度依存の壁を越えることができず、測定部位にも限界があった。最近、この組織ドプラ法の短所を補うべく開発されたのがパターンマッチング法を用いて、超音波断層像情報をも

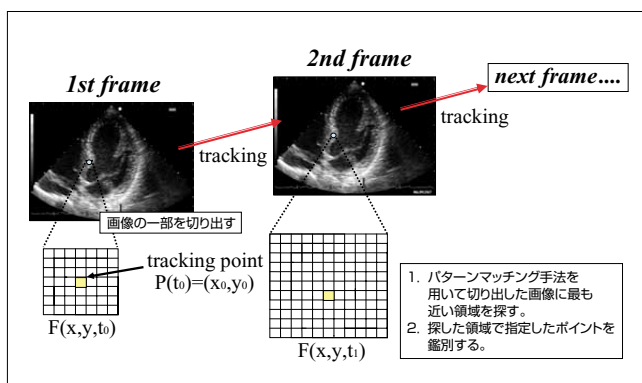


図1 : 2D tissue tracking法の原理
パターンマッチング法により関心領域を追尾する。

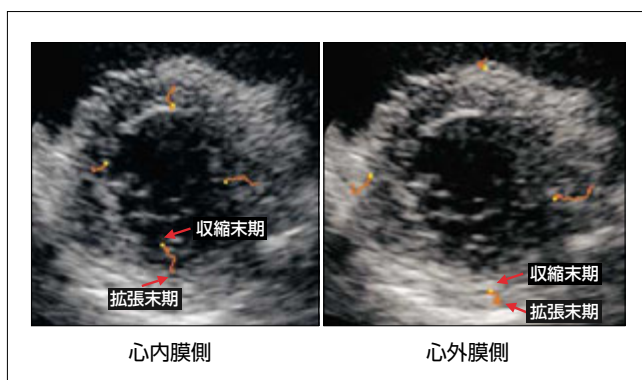


図2 : 拡張末期に設定した関心領域を心周期にわたって自動追尾

とに心筋組織上の関心領域を追尾する2DTT法である。本法は当初、左室壁の心内膜側と心外膜側に設定した関心領域を自動追尾することにより、左室壁のストレインを測定することを主たる目的として開発されたが、図2に示すごとく、最初に拡張末期に設定した関心領域はそれぞれ座標を持ち、心周期にわたって座標の変化を追尾しデジタル記録することが可能である。そこで、短軸断面での4点の関心領域の拡張末期から収縮末期にかけての座標変化を角度で表示し、その平均を求めることで、短軸断層画像での回転角度を求めることが可能である(図3)。実際には、心基部と心尖部で短軸画像を記録すると心尖部から見て心基部は時計方向、心尖部は反時計方向に回転している。それぞれの断面での回転角度を測定し、その差を求めることにより、左室の捻れ角度が算出される(図4)。心エコーを用いた組織トラッキングによる左室捻れ運動に関しては、Notomiらによりすでに報告されている⁷⁾⁸⁾が、2DTT法では、関心領域を小さく設定でき、心内膜側と心外膜側での回転運動、捻れ運動を別々に評価可能である。以下に本法を用いた臨床応用の一部を紹介する。

3.1 健常者での心内膜側および心外膜側での回転運動、捻れ運動

健常者の左室心内膜側と心外膜側での回転、捻れ運動について、安静時と陽性変力作用薬であるドブタミン投与時(10 μg/kg/min)の変化について検討を行った。その結果、安静時

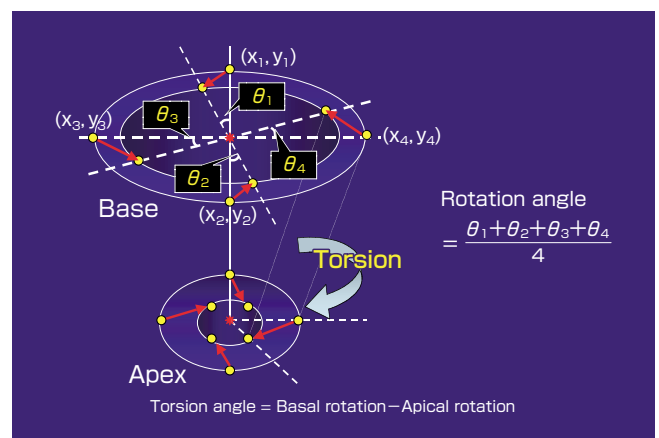


図3 : 左室短軸像での回転角度の算出法

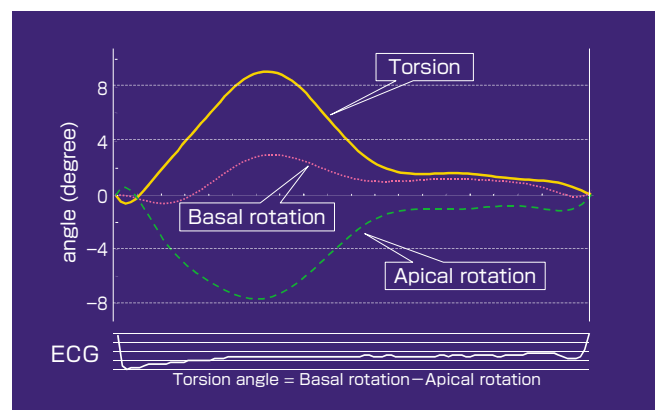


図4 : 左室捻れ角度の評価
心基部と心尖部の回転角度の差として算出される。

には心基部、心尖部においても心内膜側と心外膜側ともに同程度の回転運動が見られたが、ドブタミンの投与により、心基部では心内膜側・心外膜側ともに同程度の回転の増大が見られたものの、心尖部においては心内膜側での回転角度の増加がより大であった(図5)。その結果として左室の捻れ角度はドブタミン負荷時には心内膜側でより大であった(図6)。これらより、陽性変力作用薬の投与下での収縮性の増大には、左室の心尖部、特に内膜側での回転運動の増大が重要な役割を果たしていると考えられた。

3.2 左室収縮機能低下例での左室回転・捻れ運動

収縮性の著明に低下した拡張型心筋症では心基部での回転角度は健常例とは差は見られないものの、心尖部においては心内膜側、心外膜側ともに著明な回転運動の低下が観察され(図7、図8)、そのために左室捻れ運動は低下していた。

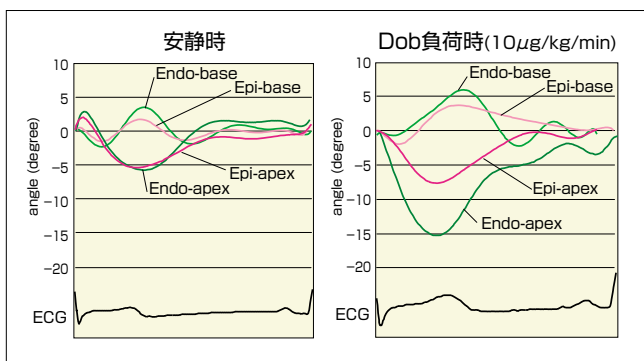


図5：安静時、ドブタミン投与時の左室回転角度の変化
Endo：心内膜側、Epi：心外膜側、base：心基部、apex：心尖部

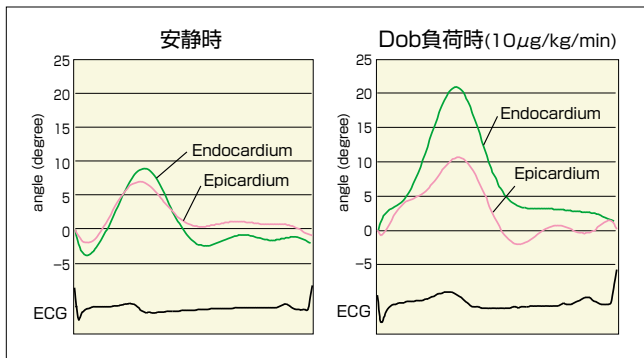


図6：安静時、ドブタミン投与時の左室捻れ角度の変化
ドブタミン投与では心内膜側の捻れの増強が大であった。

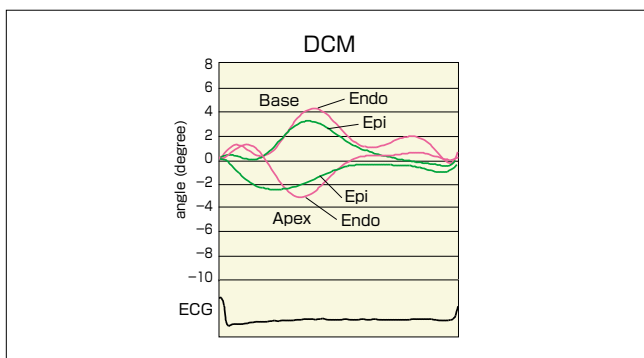


図7：拡張型心筋症での左室回転運動

さらに拡張型心筋症例で心臓再同期療法(CRT)を実施した例において、心臓再同期療法後に左室収縮末期径が10%以上縮小した例(responder)と10%以下の例(nonresponder)での左室回転・捻れ運動について検討した。responder例での左室の回転運動は心尖部は反時計方向、心基部は時計方向に回転し、有効な捻れ運動を生じていた(図9)一方で、心臓再同期療法後も左室収縮末期径の縮小のないnonresponder例では心周期の一部で心基部、心尖部とも同方向に回転し、また心周期を通じての回転角度も小さいために、有効な捻れ運動が生じておらず(図10)、収縮性の改善も見られなかった。

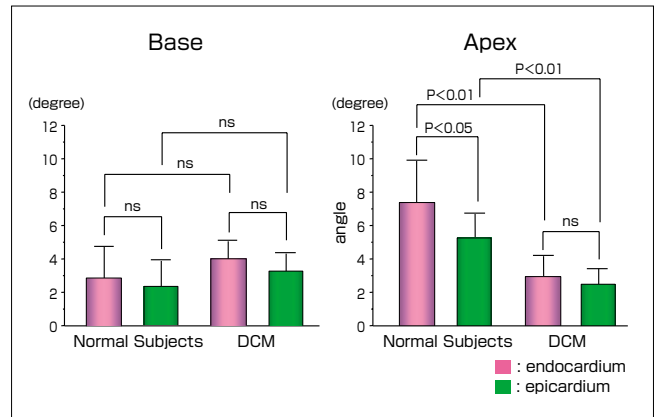


図8：拡張型心筋症での左室回転運動
健常例と比較して心尖部の回転運動の低下が著明であった。

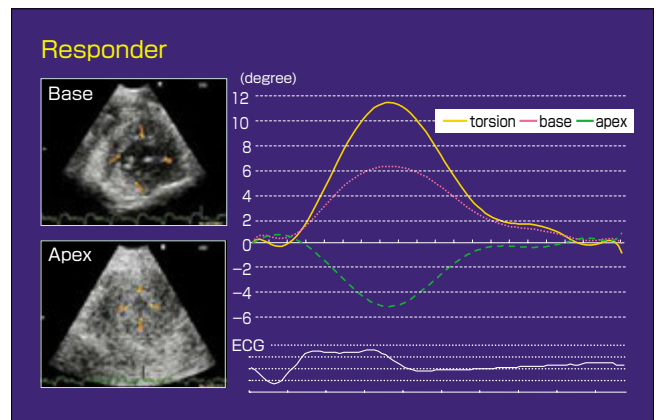


図9：心臓再同期療法有効例での左室回転運動と捻れ運動

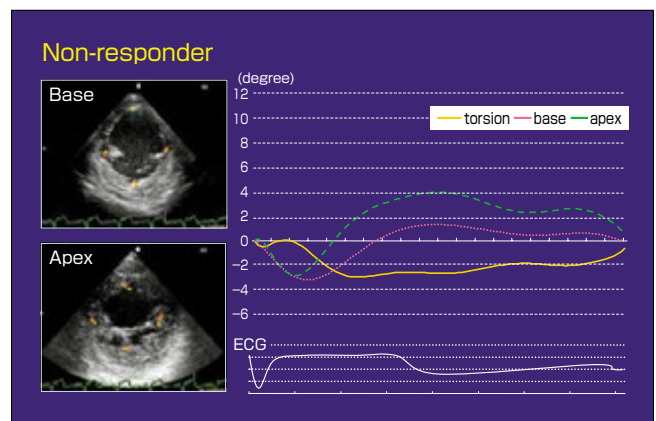


図10：心臓再同期療法が無効であった例での左室回転運動と捻れ運動
収縮期に有効な捻れを生じていない。

4. 2DTT法を用いた乳頭筋動態の定量評価

心筋虚血は左室自由壁よりも乳頭筋に早期に出現することが知られており⁹⁾、乳頭筋動態を定量的に評価することは心筋虚血評価に有用と考えられる。2DTT法により乳頭筋起始部と先端部の2点をトラッキングし(図11)、2点間の距離変化を見ることで、乳頭筋の収縮動態を観察した。健常例と下壁心筋梗塞患者での後内側乳頭筋の収縮期短縮率を見た検討では、心筋梗塞患者での乳頭筋の収縮性の低下が観察された(図12)。さらに、心筋梗塞例では左室remodelingが進行している症例ほど乳頭筋の収縮性の低下が顕著であった(図13)。2DTT法を乳頭筋動態の定量評価に用いることにより乳頭筋機能不全を評価でき、心筋虚血の診断や、虚血性僧帽弁逆流の病態解明に応用できる可能性があると思われる。

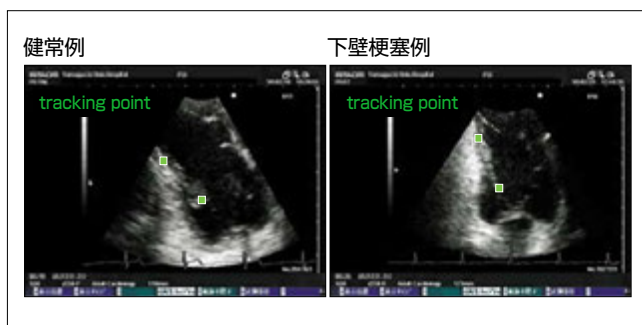


図11：乳頭筋の起始部と先端部をトラッキングし、乳頭筋動態を観察

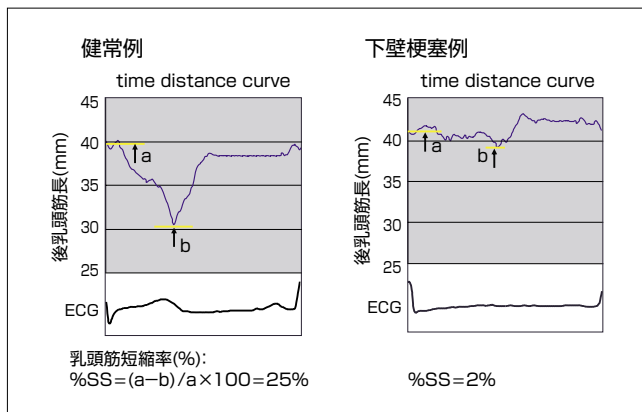


図12：健常者と下壁心筋梗塞例での乳頭筋短縮率

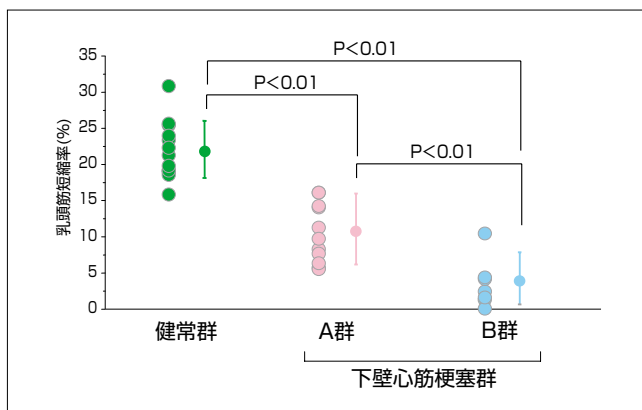


図13：健常者と下壁心筋梗塞例(リモデリング軽度：A群、高度：B群)での乳頭筋短縮率の比較

5. おわりに

2DTT法を用いることで、超音波の入射角度に依存することなく、断層心エコー図上の関心領域の移動距離の変化を座標の変化としてデジタル表示可能である。現在、研究が進められているストレイン解析をはじめとして、今回紹介した左室回転・捻れ運動についても心内膜側・外膜側を別個に評価でき、従来臨床例では評価不可能であった領域の解析も可能となっている。今後、組織ドプラ法に続く、新たな心機能解析ツールとして期待できる新手法と考えられる。

参考文献

- 1) Toyoda T, et al : Assessment of Regional Myocardial Strain by a Novel Automated Tracking System from Digital Image Files. J Am Soc Echocardiogr, 17 : 1234-8, 2004.
- 2) Streeter DD Jr, et al : Fiber Orientation in the Canine Left Ventricle during Diastole and Systole. Circulation Research 24 : 339-347, 1969.
- 3) McDonald IG : The shape and movements of the human left ventricle during systole : a study by cineangiography and by cineangiography of epicardial markers. Am J Cardiol, 26 : 221-37, 1970.
- 4) Ingels NB Jr, et al : Relation between longitudinal, circumferential and oblique shortening and torsion deformation in the left ventricle of the transplanted human heart. Circ Res, 64 : 915-27, 1989.
- 5) Rademakers FE, et al : Dissociation between left ventricular untwisting and filling : accentuation by catecholamines. Circulation 1992 ; 85 : 1572-81.
- 6) Buchalter MB, et al : Rotational deformation of the canine left ventricle measured by magnetic resonance tagging : effects of catecholamines, ischemia, and pacing. Cardiovascular Research, 28 : 629-635, 1994.
- 7) Notomi Y, et al : Measurement of Ventricular Torsion by Two-Dimensional Ultrasound Speckle Tracking Imaging. J Am Coll Cardiol, 45 : 2034-41, 2005.
- 8) Notomi Y, et al : Assessment of Left Ventricular Torsional Deformation by Doppler Tissue Imaging : a validation study with tagged magnetic resonance imaging. Circulation, 111 : 1141-47, 2005.
- 9) Matsuzaki M, et al : Experimental mitral regurgitation in ischemia-induced papillary muscle dysfunction. J Cardiology, 18 : 121-126, 1988.