

1. 心エコーの臨床的有用性と技術進歩 3Dスペックルトラッキング法による Activation Imaging法とその臨床応用

瀬尾 由広

筑波大学医学医療系循環器内科

心臓再同期療法 (cardiac resynchronization therapy : CRT) の登場以降, 左室壁運動の時間的なズレである dyssynchrony (非同期) という概念が広まった。また, CRT のみならず, 虚血性心疾患, 心不全, および不整脈に関連した dyssynchrony について広く研究されている。本稿では, 心エコーから電気伝播様式を推定する方法である Activation Imaging 法 (東芝社製) について概説し, 臨床応用例を紹介したい。

興奮収縮連関をイメージング

電氣的に心筋細胞が興奮し, それによって心筋が機械的な収縮を生じることを, 興奮収縮連関と呼ぶ¹⁾。この興奮収縮連関を心エコー図で画像化させることをめざしたのが, 今回紹介する Activation Imaging 法である。したがって, Activation Imaging 法は, 電氣的興奮伝播に近似させ, 壁運動タイミングを可視化した点で, 新たなイメージング法と言える。

例えば, 完全左脚ブロック症例は, 顕著な心臓壁運動の dyssynchrony が認められることが知られている。図1に示すように, 左脚ブロック症例の電気伝播は, 左室中隔壁中部から心尖部を回って左室自由壁に向かい, 最終的に左室側壁から後壁に伝播する。Activation Imaging 法は, この電気伝播を左室局所の壁運動に置き換えて推定するわけであるが, どの収縮タイミングを画像化す

るかによって, まったく異なるイメージングとなる可能性がある。興奮収縮連関に基づけば, 局所壁運動の開始点を画像化することが Activation Imaging 法のコンセプトと言える。

収縮開始の同定

経時的な局所心筋の収縮様式は, 3D スペックルトラッキング法により定量化が可能である^{2), 3)}。図2に示すように,

局所心筋の時間ストレインカーブ上で一定の条件を設定し, 収縮の開始点を設定する。これまで, MRI を使った動物実験などでは, 最小ストレイン値に収縮開始点を設定する方法が報告されている⁴⁾が, 今回の方法では, 最大ストレイン値から閾値を設定する方法を採用した。本ソフトでは, 最大ストレイン値に対して5~95%までの閾値設定が可能である。われわれは, 「EnSite System」(electro-anatomical mapping system ; St. Jude

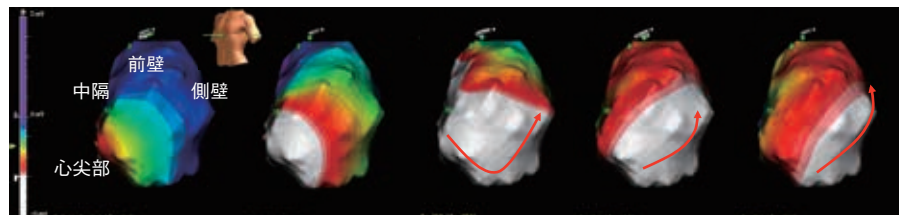


図1 完全左脚ブロック症例における三次元カラーマッピング像
左前斜位から見た興奮伝播像。白い部位が電氣的興奮を示す。左図から右図へ経時的に興奮伝播が伝わる様子が描出されている。電氣的興奮は, 心尖部を周回して側壁に伝播している (↑)。

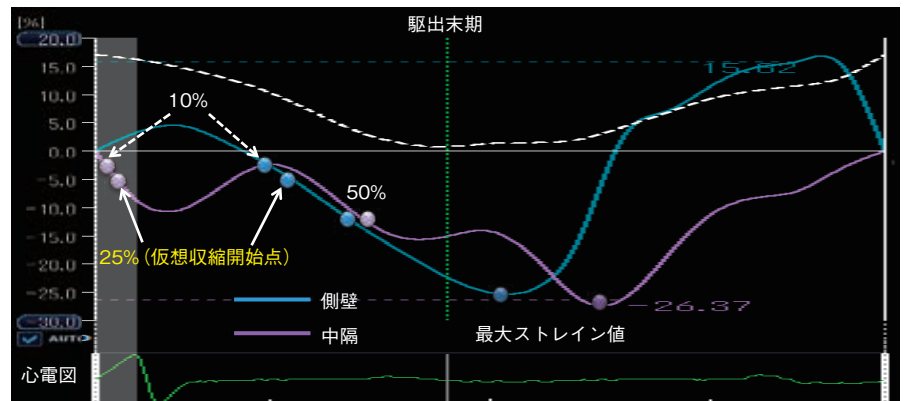


図2 左脚ブロック症例におけるストレイン-時間曲線
青い曲線は側壁の, 紫色の曲線は中隔のストレイン-時間曲線。最も大きな歪みを示す値の10%, 25%, 50%相当のポイントを示す。

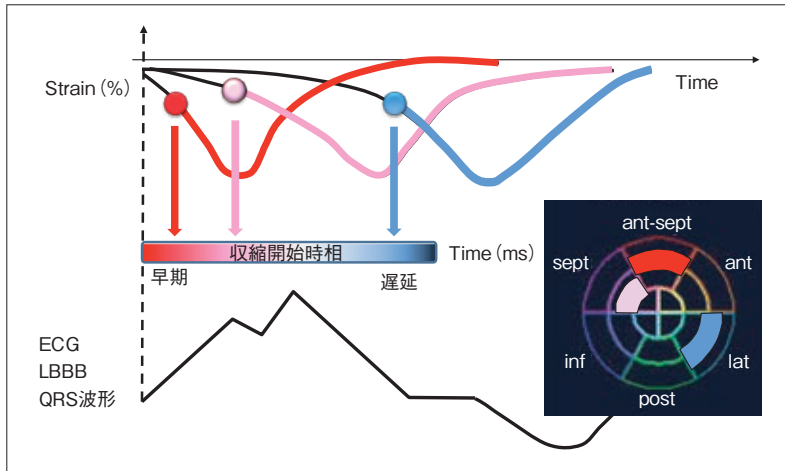


図3 Activation Imaging法のコンセプト
QRS波からストレイン閾値を超えた時相までの時間を、収縮開始に要した時間として、それぞれ対応するカラーでイメージングする。このコンセプト像は、左脚ブロックでのコンセプト像であるが、収縮開始が早い中隔側は赤く、遅延する側壁側は青く表示される。右下図は、左室16分画のポーラーマップ像である。一度固有のカラー表示が行われると、それ以降心周期を通して変化しない。

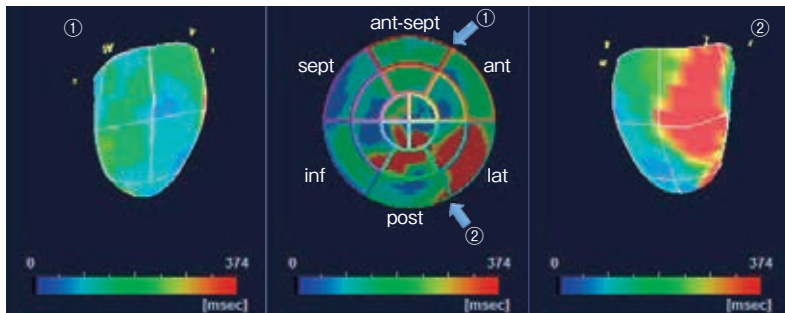
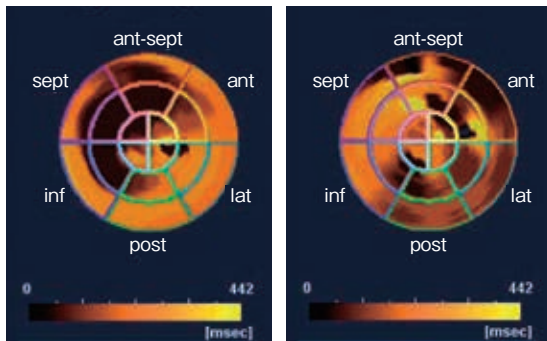


図4 完全左脚ブロック症例のActivation Imaging
各パネル下部にあるカラーバーは、収縮開始までの時間を示す。中央パネルはポーラーマップ像 (ant-sep: 前壁中隔, ant: 前壁, lat: 側壁, post: 後壁, inf: 下壁, sep: 下壁中隔)。左右パネルは、中央パネルで示した方向 (①, ②) から見た三次元画像。中隔は早期興奮により青で、側壁は遅延が著明で赤で示されており、左脚ブロックの興奮伝播を正確にとらえている (図1参照)。



a: QRS波開始時相 b: R波頂点
図5 完全左脚ブロック症例における解析開始時相による伝播の相違
左のポーラーマップは、解析時相をQRS波開始点で画像化している。焦げ茶色で示される中隔が早期に収縮を開始し、オレンジ色で示される側壁の収縮開始が遅延した典型的な興奮伝播像である (ant-sep: 前壁中隔, ant: 前壁, lat: 側壁, post: 後壁, inf: 下壁, sep: 下壁中隔)。一方、右のポーラーマップにあるように、R波頂点で解析すると、正反対の不正確な伝播像となる。

Medical, Minneapolis, MN, USA) や、「CARTO 3 system」(3D contact system; Biosense Webster, Diamond Bar, CA, USA) で評価した voltage mapping法との比較により、最大値の25%を収縮開始の閾値と設定することが最適であるとの結論に至った。したがって、局所ストレイン値が最大値の25%を超えた時相を、仮想の収縮開始点とした。

収縮開始時相の画像化

Activation Imaging法は、ストレイン

値そのものの分布を画像化する従来の方法とは異なり、収縮開始時相を画像化することを目的としている。そこで、QRS波から、先述した閾値を超える時相までの時間を、対応するカラーでイメージングする (図3)。なお、イメージングに用いるカラーコーディネーションは、複数のパターンが用意されている (図4, 5, 8)。

また、新たに開発された重要な技術として、解析開始時相を変動できるようになったことが挙げられる。これまでは、QRS波中の代表時相は、単にR波の頂点に固定されてきたが、QRS波の開始点まで

変更が可能となった。これは、左脚ブロックやWPW症候群 (Wolff-Parkinson-Wite syndrome) などの、収縮早期の壁運動を検出する際にきわめて重要な技術である。

Activation Imaging法の有用性

完全左脚ブロック症例のActivation imagingを提示する (図4)。左脚ブロックにおける、きわめて遅延した興奮伝播が鮮明に描出されている。ここで、先述したQRS波中の解析開始に用いる時相による伝播の相違を図5に示す。左脚ブロックでは、QRS波開始時相に小さな中隔の動きである septal flash と呼ばれる壁運動が認められる^{5), 6)}。この septal flash の存在は、CRTの効果予測の上で重要である。従来のR波頂点からの画像化では、この septal flash が描出されないことがあった。しかし、QRS波開始から画像化することによって、このような欠点が克服された。

次に、収縮開始閾値による画像の相違を図6に示す。閾値が大きすぎると、まったく異なるイメージングとなる。一

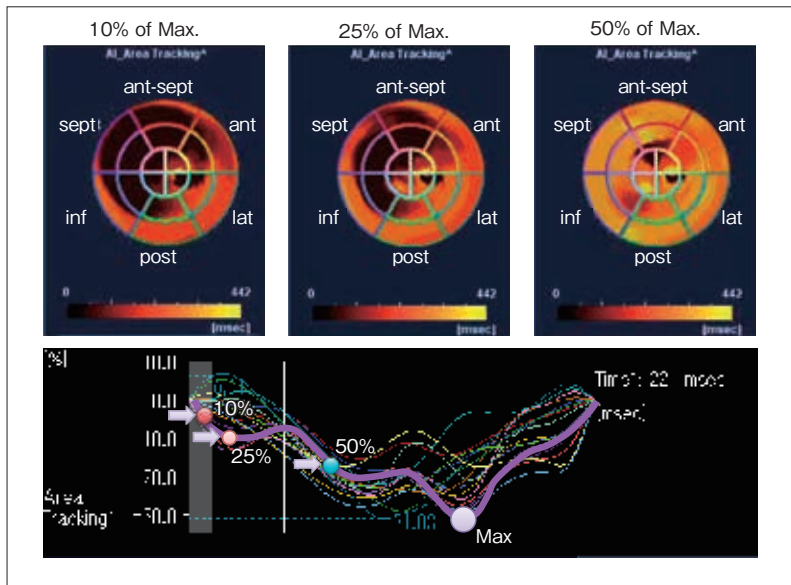


図6 完全左脚ブロック症例における収縮閾値による相違

上段3つのポーラマップは、それぞれの閾値による Activation Imaging。50%の閾値では、左室内の dyssynchrony が不明瞭である。下段は、実際のストレイン-時間曲線。紫色のラインは中隔のパターン。

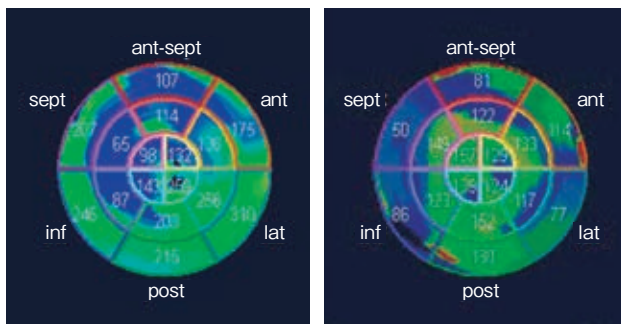


図7 CRT 前後での収縮開始同期性の変化

ポーラマップ内の各数字は、QRS波開始から収縮開始までの時間を示す。CRT後、側壁、後壁、下壁の収縮開始遅延が改善されたことが明瞭である。

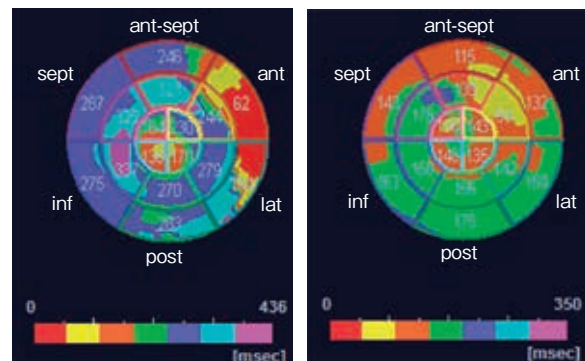


図8 WPW 症候群における早期興奮部位の同定

左のポーラマップは、アブレーション前の Activation Imaging を示す。前側壁基部 (赤い領域) に早期興奮部位が認められる。その後、電気生理学検査によって、同部位に副伝導路の存在が明らかになった。右のポーラマップはアブレーション後であるが興奮伝播は正常化している。

方、閾値が小さいと、ノイズとの判別が困難となり精度が低下する。しかし、今後の空間・時間分解能の向上によって、さらに低い閾値の設定も期待でき、より興奮伝播に近いイメージングが可能となることが期待される。

Activation Imaging 法の臨床応用

CRT 施行症例における、CRT 前後での収縮開始同期性の比較を図7に示す。治療前後で伝播様式が変化し、治療後に収縮開始のタイミングが左室全体で同期されている。今後、Activation Imaging 法によって計測された左室内 dyssynchrony の評価が、CRT 効果予測法として有用か否かについて検討を加える必要がある。

Activation Imaging 法は、興奮収縮連関をイメージングする方法であり、興奮伝播異常を来す WPW 症候群や、その他不整脈疾患への応用が期待される。図8に、WPW 症候群の一例を示す。副伝導路が存在する部位の収縮開始が、最早期に認められる。カテーテルアブレーション後には、最早期興奮部位は消失していた。

3D スペックルトラッキング法をベースに開発された Activation Imaging 法は、心エコーによって電気的な異常を検出するために開発されたイメージング法である。一般臨床応用が行われるようになって日が浅いが、今後さまざまな方面で臨床応用されることが期待される。

●参考文献

- 1) Bers, D.M. : Cardiac excitation-contraction

coupling. *Nature*, **415**, 198 ~ 205, 2002.

- 2) Seo, Y., Ishizu, T., Enomoto, Y., et al. : Validation of 3-dimensional speckle tracking imaging to quantify regional myocardial deformation. *Circ. Cardiovasc. Imaging*, **2**, 451 ~ 459, 2009.
- 3) Seo, Y., Ishizu, T., Enomoto, Y., et al. : Endocardial surface area tracking for assessment of regional LV wall deformation with 3D speckle tracking imaging. *J. Am. Coll. Cardiol. Imaging*, **4**, 358 ~ 365, 2011.
- 4) Wyman, B.T., Hunter, W.C., Prinzen, F.W., et al. : Mapping propagation of mechanical activation in the paced heart with MRI tagging. *Am. J. Physiol. Heart Circ. Physiol.*, **276**, 881 ~ 891, 1999.
- 5) Leenders, G.E., Lumens, J., Cramer, M.J., et al. : Septal deformation patterns delineate mechanical dyssynchrony and regional differences in contractility ; Analysis of patient data using a computer model. *Circ. Heart Fail.*, **5**, 87 ~ 96, 2012.
- 6) Duckett, S.G., Camara, O., Ginks, M.R., et al. : Relationship between endocardial activation sequences defined by high-density mapping to early septal contraction (septal flash) in patients with left bundle branch block undergoing cardiac resynchronization therapy. *Europace*, **14**, 99 ~ 106, 2012.