

## ●特別講演

## High resolution mappingで治す心房頻拍

横須賀共済病院 田中 泰章

## はじめに

近年の3Dマッピングシステムの進歩は目覚ましく、カテーテルアブレーションに不可欠な存在となっている。本稿では、わが国で使用可能な3Dマッピングシステムのうちで最も新しいRHYTHMIA™について述べる。

## 1 High-resolutionマッピングの潮流とRHYTHMIA™システムの特徴

3Dマッピングシステムは、心内の複雑な解剖学的特徴と電気的興奮を可視化することで不整脈の全体像の把握を容易にするアブレーション治療の補助ツールである。昨今、多数の電位的情報と位置情報を短時間に取得することで、より精緻な3Dマッピングを構築するHigh-resolutionマッピングが注目されている。既存のシステムは、少数の電位情報をもとに解析を行うところから始まり、その後High-resolutionマッピングが行えるように進化してきた。一方、RHYTHMIA™は開発の端緒からHigh-resolutionマッピングを行うことを目的として作られたシステムであり、これを実現するためカテーテルやソフトウエアの工夫がなされている<sup>1)</sup>。

## 1) Intellamap Orion™電極カテーテル

RHYTHMIA™は、専用設計された電極カテーテルにより短時間で多数の電位情報を取得できることが最大の特徴である。このカテーテルは、磁気センサーを内蔵した8 spline×8極、計64極の電極を有する8.5 Fr, bi-directionalの多点マッピング用ミニバスケットカテーテル

で、紡錘状に配置されたプリント基板上に電極面積0.4 mm<sup>2</sup>の非常に小さな電極が2.5 mm間隔で配置されており、極めて狭い領域の詳細な電位情報が取得できる。この独自設計の小型電極によりfar field電位やPacing/Ablationアーチファクトが抑制されたシャープな電位が記録できることから、低電位領域でも正確な電位認識が可能となっている。また、このカテーテルの先端部は3~22 mmの任意の大きさに展開可能であり、マッピング対象の解剖学的構造に合わせて使用可能な可変構造を有している(図1)。

## 2) RHYTHMIA™によるgeometry作成と電位取得のプロセス

RHYTHMIA™によるマッピングには基本的にIntellamap Orion™カテーテルを用いる。geometryはORION™カテーテルが通過した最外殻として認識され、電位に関しては、その最外殻から任意に設定された距離以内で取得された電位情報のみがポイントとして表示される。カテーテルがさらに外側に移動すれば刻々とその情報が書き換えられ、最終的に正確な



図1 Intellamap Orion™カテーテルの外観

Yasuaki Tanaka: Usefulness of high-resolution mapping system for diagnosis of complex atrial tachycardias

心房マップ(心房頻拍)

心室マップ(洞調律)

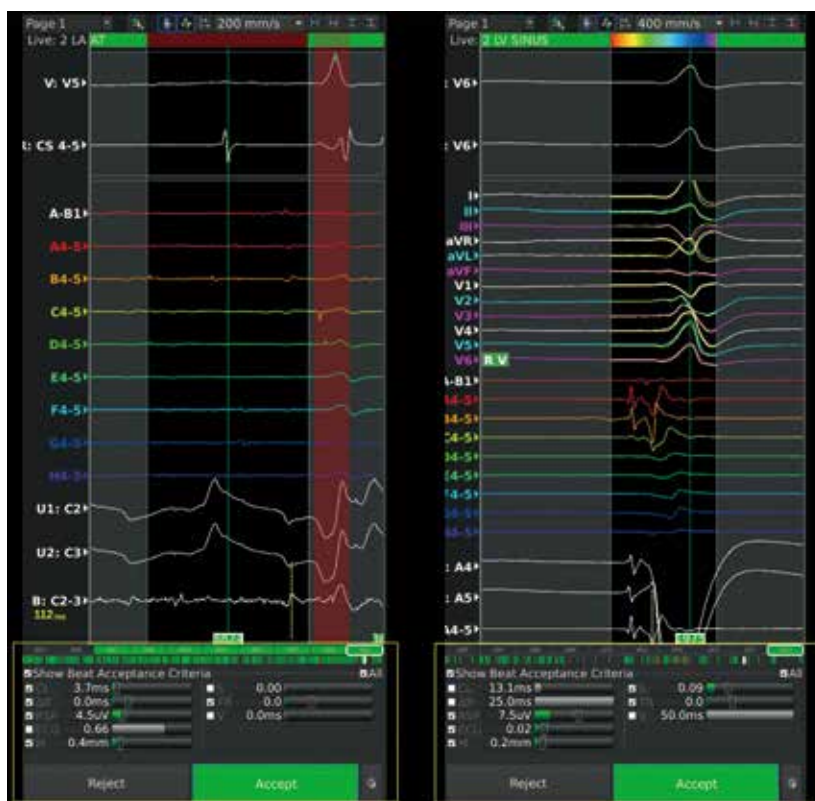


図2 Beat acceptance criteria

自動的かつ連続的に目標とする心拍を選別するアルゴリズム。頻拍周期や12誘導心電図波形、マッピングカテーテルの安定性など(黄枠内)といった指標が、設定範囲内に入った心拍のみacceptされる。それぞれが、設定された範囲内であると認識されるとグラフがグリーンに、範囲外だとレッドに表示される。すべてがグリーンになって初めてその心拍がacceptされる。

A：心房頻拍中に行った心房マッピング, B：洞調律中に行った心室マッピング

geometryと電位を3Dイメージとして表示することができる。このシステムはインピーダンストラッキングを併用しているため、磁気センサーを搭載していない種々の電極カテーテルおよびアブレーションカテーテルからの電位取得を行うことはできるが、磁気センサーを搭載したカテーテルがあらかじめ通過したエリア(Field map)内とその周辺に限定されている。

### 3) High-resolution マッピングを可能にするアルゴリズム

RHYTHMIA™の最大の特徴は、既存のシステムを凌駕するHigh-resolution マッピングを

作成できることである。これを実現するには短時間で正確な電位情報を大量に取得することが必要となる。そこで、本システムは自動的かつ連続的に目標とする心拍を選別するアルゴリズム(Beat acceptance criteria)と、自動で正確な興奮タイミング決定を可能とするアルゴリズム(Intelligent annotation)および、膨大な電位情報を短時間で視覚的に確認するためのreviewシステム(Dynamic review)を実装している。

#### ① Beat acceptance criteria

あらかじめ設定したそれぞれの指標(頻拍周期や12誘導心電図波形、マッピングカテーテル

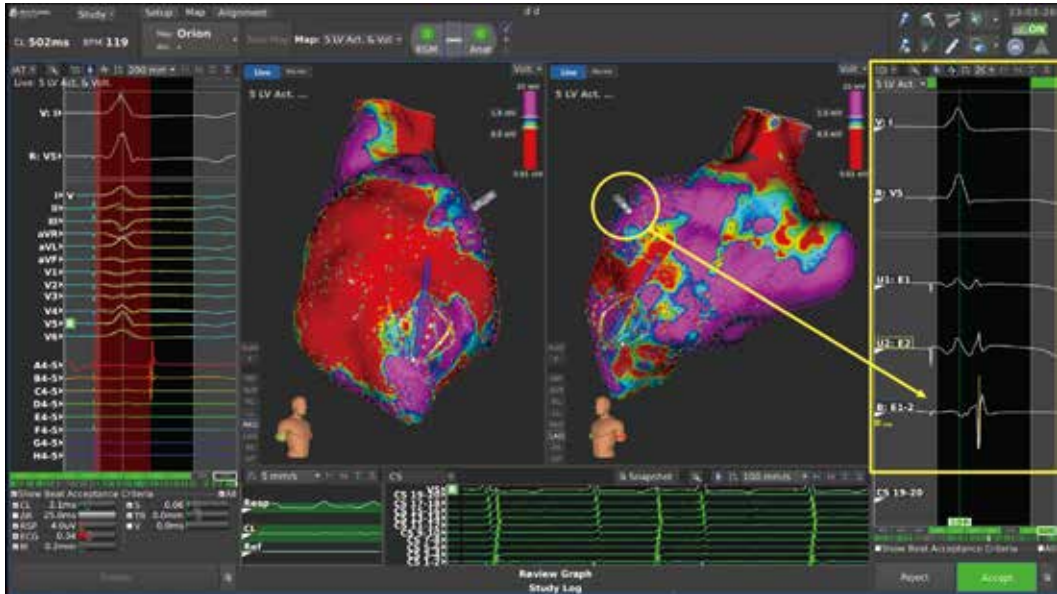


図3 Dynamic review

滑らかに動く roving probe と呼ばれる電極アイコンを3Dイメージ上で操作し、それぞれのポイントで取得されている心内電位を連続かつ高速にreviewできる。

の安定性など：図2黄色枠内)が、設定範囲内に入った心拍のみacceptされる。それ以外の心拍に関しては電位取得の対象から除外される。既存のシステムに比べ、厳しい基準を設けており、より正確な心拍選別が可能となっている。

### ②Intelligent annotation

取得された電位の興奮タイミングは、一つのポイントに対し代表的な一つのタイミング(local activation timing と呼称する)が自動で決定され、activation マップ上に表示される。このタイミングannotationの基準は、任意に設定されたwindow内の電位のうち、単極電位では $-dV/dt$ (マイナスの傾き)が最大となるポイント、双極電位では振幅が最大となるポイントとされている。しかし、一般的に3Dマッピング上でもっとも重要な領域では、このようなポイントを容易に同定できるシャープな電位ではなく、連続電位などを示すことが多い。このような電位に通常の基準で画一的にannotationすると、興奮全体との整合性が取れない伝導が表示される可能性が高い。既存のシステムでは、こ

のような電位についてはマッピング中に手作業で修正をして伝導の連続性を再現していたが、RHYTHMIA™では、独自のアルゴリズム(Intelligent annotation)を用いて周辺の電位の興奮タイミングを考慮しannotationするポイントを決定している。これにより、特に心房性不整脈ではannotationの修正を行うことなくマッピングのほぼすべてを自動で完遂できる。

### ③Dynamic review

RHYTHMIA™によるマッピングでは、数千から数万ポイントという膨大な心内心電図が取得されることになるため、これらの電位の一つ一つを吟味するには時間がかかる。そこで、これを容易にするのがroving probeを用いたDynamic reviewである。滑らかに動く roving probe と呼ばれる電極アイコン(図3：黄色丸)を3Dイメージ上で操作し、それぞれのポイントで取得されている心内電位を連続かつ高速にreviewし、鍵となる電位の局在を把握することが可能である(図3：黄色枠)。

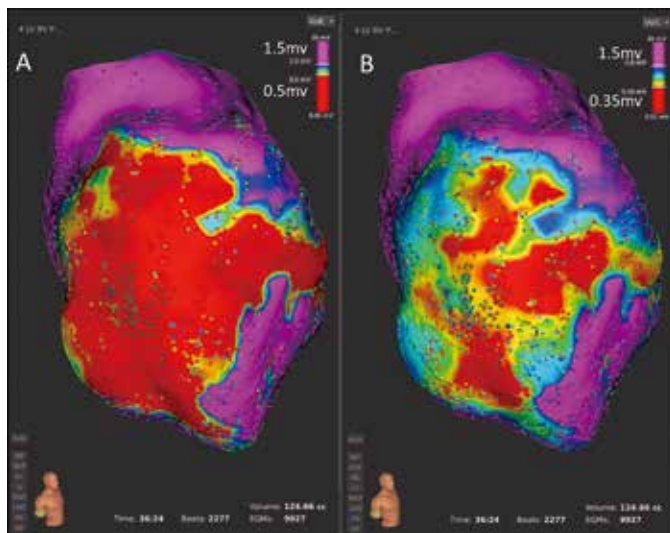


図4 RHYTHMIA™による左室voltageマップ

A：既存の3D システムと同様の設定(0.5～1.5mV)では、前壁中隔全体が一様な低電位領域と認識された。

B：瘢痕領域のCutoffを0.15 mVに調節すると、より低電位の領域と、やや電位が残存する領域すなわちchannelを描出することができた。

## 2 High-resolution マッピングの効能

多数の電位情報を取得して3D マッピングを作成するメリットは多い。

### 1) 高密度のvoltageマッピングを描くことができる

より高密度のvoltage マップを作成することが可能となると、従来法で作成された3D イメージ上では瘢痕と考えられていた領域内に相対的に電位が残存している部位と完全な瘢痕部位を区別することができるようになる。これは、心室頻拍の頻拍回路の推定と至適アブレーション部位の決定に極めて有用と考えられる。

図4はブタにバルーン閉塞による前壁中隔心筋梗塞を作成し、約1ヵ月後にRHYTHMIA™を用いて行った左室のvoltageマッピングである。約20分のマッピング時間で、9927ポイントの心内心電図が取得され、高密度なマップが作成可能であった。従来の3D システムで一般的に用いられているcutoff設定(0.5～1.5 mV)では、前壁中隔全体が一様な低電位領域と認識されているが(図4A)、瘢痕領域のcutoffを0.15 mVに調節すると、より低電位の領域とやや電

位が残存する領域を判別することができた(図4B)。このような低電位領域の詳細なマッピングは心室頻拍のsubstrate マップに有用性が高いと考えられる<sup>2)</sup>。

### 2) 精緻なactivationマッピングを描くことができる

頻拍中のHigh-resolution activationマッピングは、より詳細に頻拍回路を描出しうることから、至適アブレーション部位の正確な同定が可能となる。特に、心房細動アブレーション後や、開心術後に発症した複雑な回路を有する心房頻拍回路の理解に極めて有用である。

図5は、発作性心房細動のアブレーション後に出現した心房頻拍症例のRHYTHMIA™を用いた左心房のactivationマッピングである。約19分で26,154 pointsの心内電位を取得。作成したactivationマップから僧帽弁輪を時計方向に巡回するmacroreentrant ATと診断した。この頻拍は3Dイメージ上で同定した左房前壁に存在する不完全ブロック間gap(白矢印)への1回の通電で停止に至った。このように、High-



図5 RHYTHMIA™による心房頻拍中の左房activation マップ

僧帽弁輪を時計方向に旋回する心房頻拍と診断した。左房前壁に存在する不完全ブロック間Gapへの1回の通電で頻拍は停止した。

resolution マッピングではブロックラインの局在やgapといった、頻拍の治療に極めて重要な電気的特徴が明瞭に可視化されることが多く、至適アブレーション部位の決定に役立つ。

### 3 High-resolution マップを活かすためのアルゴリズム

#### 1) LUMIPOINT™

通常のアプローチで得られたactivationマップでも、心内の伝導パターンを高いレベルで可視化することが可能である。しかし、局所電位が分裂電位や連続電位、遅延電位などの複雑な伝導を反映している場合、その中から代表となる興奮タイミングを一つ選択するlocal activation timing マッピングでは、これらの伝導パターンを忠実に表現することはできない。そこで、このような問題を解決するため、RHYTHMIA™にはLUMIPOINT™と名付けられた追加モジュールが実装されている。LUMIPOINT™モードで心内興奮を表現する場合、興奮の有無に基づいて信号処理され(図6)、興奮している

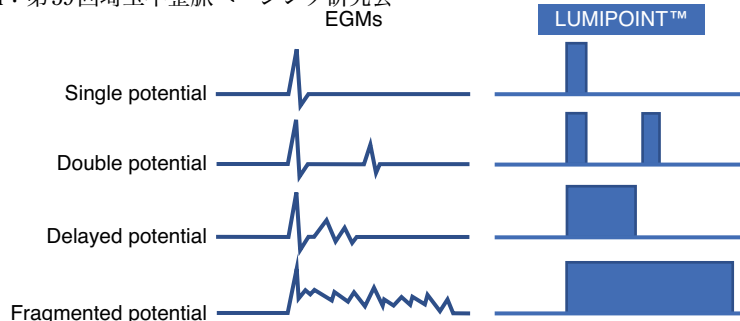
部位が時間的な幅を持ってハイライトされる(図7)。頻拍回路を診断する際に通常のマッピング画像とLUMIPOINT™画像を見比べることで、より正確な理解が可能となる<sup>3)</sup>。

#### まとめ

High density マッピングは多数の電位的情報と位置情報を短時間に自動的に取得することで作成される3Dマッピングである。今回紹介したRHYTHMIA™システム(Boston Scientific社製)を用いることで、既存の3Dマッピングシステムでは表現しきれなかった複雑な頻拍回路の理解や、至適アブレーション部位の正確な同定が可能である。このシステムを最大限に活用するためには、その原理や特徴を理解することが極めて重要であると考えられる。

#### 文献

- 1) Nakagawa H, Ikeda A, Sharma T, et al. Rapid high resolution electroanatomic mapping: evaluation of a new system in a canine atrial linear lesion model.



LUMIPOINT™は基準以上のすべてのポテンシャルをLocal activation timeに依存することなく区別することができる

図6 LUMIPOINT™を用いた場合の局所電位の取り扱い

左：通常のlocal activation timeを用いたactivationマップの場合は、局所電位のうちで代表的な興奮タイミング1点と、reference電位との時相差をカラーマップで表示するものである。しかし、局所電位が分裂電位や連続電位、遅延電位などの複雑な伝導を反映している場合はその伝導パターンを忠実に表現することはできない。

右：LUMIPOINT™ではlocal activation timeには依存せずに、局所の興奮の有無に基づいて信号処理され、興奮している部位が時間的な幅を持ってハイライトされる。

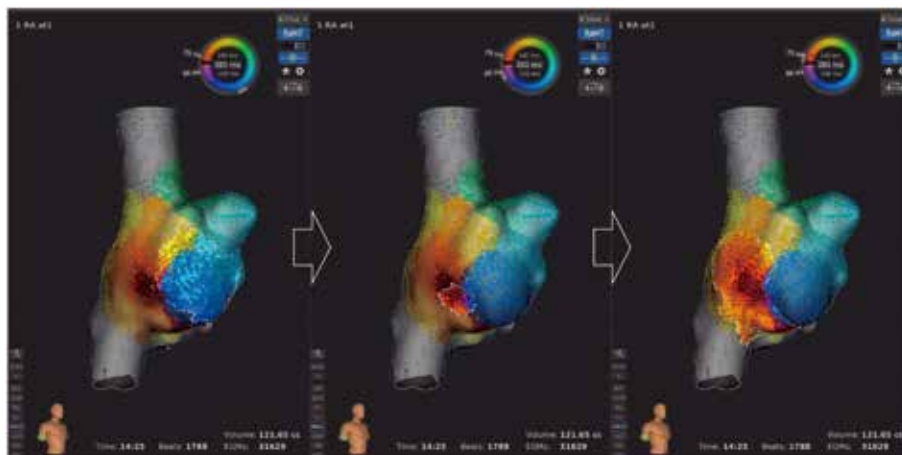


図7 LUMIPOINT™を用いて描いた頻拍中の興奮様式

LUMIPOINT™モードにすると、任意に設定した時間枠において興奮している領域が3Dマップ上にハイライトされる。(従来のlocal activation timeによるカラーマップが背景となる) LUMIPOINT™では、頻拍の興奮様式を大まかに捉えることに強みがあり、従来法のマップと見比べることにより、正確に興奮様式を理解することができる。

- Circ Arrhythm Electrophysiol 2012;5:417-24.
- 2) Tanaka Y, Genet M, Chuan Lee L, et al. Utility of high-resolution electroanatomic mapping of the left ventricle using a multispline basket catheter in a swine model of chronic myocardial infarction. Heart Rhythm 2015;12:144-54.

- 3) Tanaka Y, Takahashi A, Kawaguchi N, et al. Intuitive diagnosis of complex atrial tachycardia mechanisms using a novel histogram module of an ultra-high-resolution mapping system. J Interv Card Electrophysiol 2022;64:203-15.