

心房細動の心筋データにおける細動発信源の特定に向けたダイナミクス解析

日大生産工（学部） ○萬谷 くる美 日大生産工 佐々木 真 日大・医 平田 僕
J&J（株） 相原 百花 日大・医 永嶋 孝一

1. まえがき

心房細動（以降 AF : Atrial Fibrillation）は、心房内の高頻度かつ不規則な電気興奮によって生じる頻脈性不整脈であり、血栓形成や脳梗塞の原因となる。発作性 AF の多くは肺静脈起源の異常興奮によって発生し、肺静脈隔離術が有効とされるが、持続性 AF では心房本体にも異常興奮を維持する基質が存在するため、十分な治療効果が得られない場合がある。

本研究では、48 電極を備えた多極カテーテル（以降 Octaray）を用いて心筋電位を同時計測し、洞調律（以降 SR : Sinus Rhythm）および AF 時の信号変化を波形およびヒートマップとして可視化した。さらに、心臓全体を対象に動画解析および波数スペクトル解析を行い、AF 時における局所的脱同期や多焦点性興奮を定量的に評価した。これにより、空間的な興奮伝播の特徴を抽出し、異常興奮発生源の時空間の特徴の違いを定量化する。

2. 多極カテーテルによる局所心筋電位の可視化解析

本研究では、Octaray（図 1 参照）を用いて計測した心臓データの解析を行った。Octaray は 48 チャンネルの電極を 2~3 mm 間隔で配置したカテーテルであり、心臓の空間構造を高精度に計測することが可能である。本カテーテルを用いて得られた SR 時および AF 時の心臓画像を、それぞれ図 2 に示す。これらの画像は CARTO システムにより取得された心臓マッピングおよびアプレーション症例データを、CARTONET 上で表示したものである。画像中の印が付された部分は、Octaray によって計測を行った領域を示している。

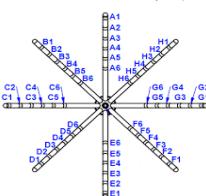


図 1 Octaray 多極カテーテルの構造

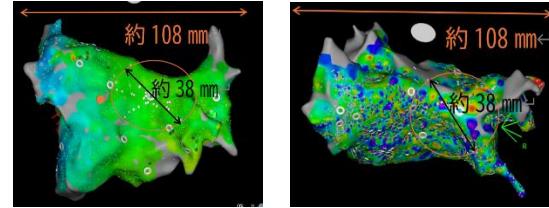


図 2 電位分布のマッピング画像
(左図) SR 時 (右図) AF 時

この領域における SR 時と AF 時の電位波形を図 3 および図 4 に示す。両者を比較すると、SR 時には周期が一定であるのに対し、AF 時には波形が乱れていることが確認できる。さらに、この領域の座標データと電位データを基にヒートマップを作成した。SR 時の結果を図 5、AF 時の結果を図 6 に示す。これらを比較すると、SR 時では信号の伝搬が緩やかで全体がほぼ一様に変化しているのに対し、AF 時では信号の変動が顕著であった。

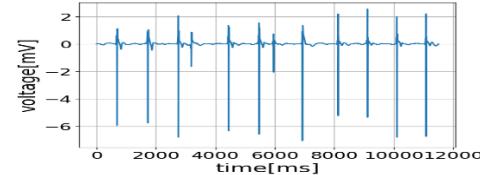


図3 SR時の局所電位波形

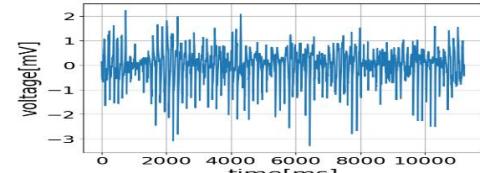


図4 AF時の局所電位波形

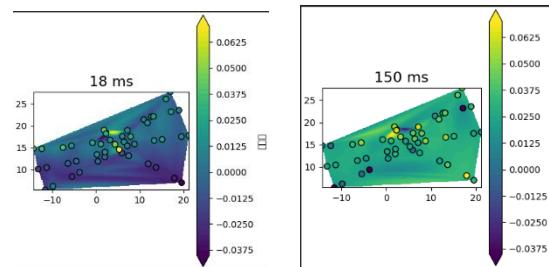


図5 SR時のヒートマップ

Dynamics Analysis for Identifying the Source of Fibrillation in Myocardial Data of Atrial Fibrillation

Kurumi Banya, Makoto SASAKI, Shu HIRATA, Momoka AIHARA and Kouichi NAGASHIMA

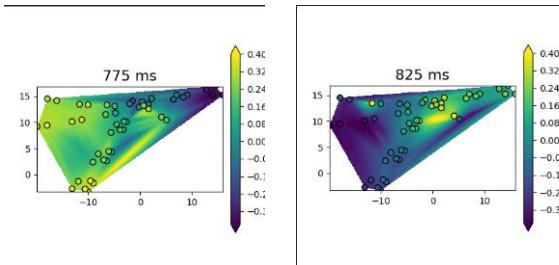


図6 AF時のヒートマップ

3. 心房全体における興奮伝播の時空間解析

図2に示した心臓画像をCARTONET上で反時計回りに1周回転させ、動画として解析を行った。動画の回転角度を φ とし、各フレームにおけるx座標およびy座標を出した。得られた座標データをもとに、x- φ 平面上に2次元変換した画像を作成し、SR時を図7、AF時を図8に示す。両者を比較すると、SR時では図中の螺旋状構造が滑らかに描かれているのに対し、AF時では螺旋内に多数のノイズ状の線が含まれていることがわかる。この違いは、SR時には心筋全体が一様なテンポで収縮しているのに対し、AF時には心筋活動が不均一で位相の一貫性が低下し、脱同期が生じているためと考えられる。すなわち、SR時では洞房結節からの興奮が一方向に伝導しているのに対し、AF時では複数の部位から同時に発生する興奮が重なり、伝導の不整合を引き起こしていると考えられる。さらに、図7および図8の画像を波数スペクトルに変換した結果を図9に示す。これを見ると、AF時はSR時と比較してほぼ全域で高いパワーを示しており、特に高周波成分が強いことが確認された。これは、AF時に心筋活動の局所的なばらつきや空間的に細かい変動が多く発生していることを意味する。一方、SR時は低周波成分が優勢であり、空間的に均一かつ滑らかな動きを示すことから、心筋全体が協調して活動していると考えられる。以上の結果より、AF時における多焦点性の興奮活動および局所的脱同期が定量的に確認されたといえる。

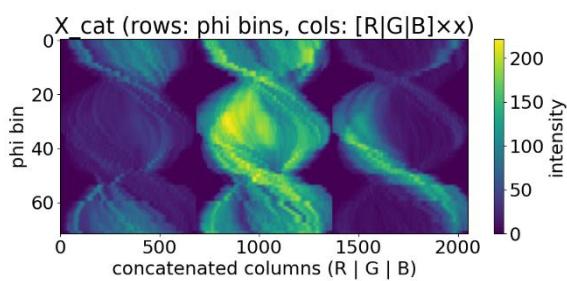


図7 SR時のx- φ 平面の2D変換画像

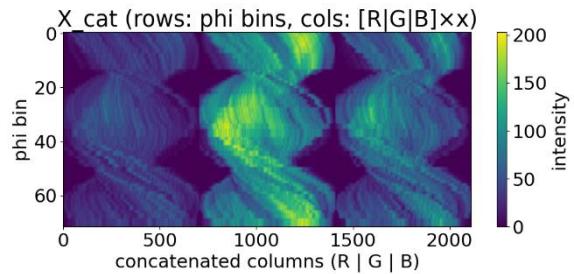


図8 AF時のx- φ 平面の2D変換画像

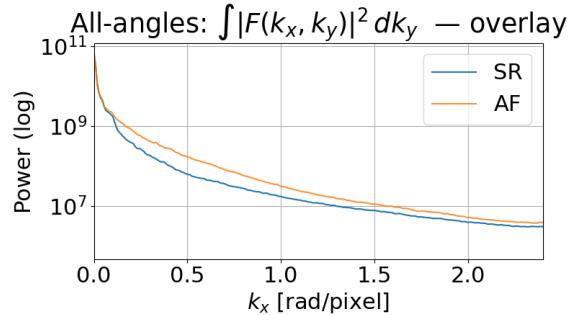


図9 SR時、AF時の波数スペクトル

4. まとめ

本研究では、48電極を備えた多極カテーテルを用いて、SRおよびAF時の心筋電位を同時計測し、波形およびヒートマップとして可視化することで、異常興奮発生源の特定を試みた。解析の結果、SR時には電位波形が一定周期を示し、空間的にも一様な伝搬が見られたのに対し、AF時には波形の乱れや伝搬方向の偏りが確認された。また、心臓全体を回転させた動画解析および波数スペクトル解析により、AF時には高周波成分が強く、局所的なばらつきや脱同期が多発していることが示唆された。

参考文献

- 1) Stanley Nattel, MD; Brett Burstein, BSc; Dobromir Dobrev, MD, "Atrial Remodeling and Fibrillation", (2024)
- 2). Carlo Pappone, MD, PhD, and. Vincenzo Santinelli, MD, "Atrial Fibrillation Ablation: State of the Art" (2005)