

心房細動時の心筋データにおける細動発生源の特徴抽出

日大生産工 (学部) ○小林 翔 日大生産工 佐々木 真 日大・医 平田 脩
J&J (株) 相原 百花 日大・医 永嶋 孝一

1. 背景・目的

心房細動 (AF: Atrial Fibrillation) は、最も一般的に持続する心調律異常であり、罹患率および死亡率に大きな影響を与えている。あらゆる年齢で発症する可能性があるものの、特に高齢者に多く見られる不整脈であり、人口の高齢化とともにAFの有病率も増加している¹⁾。AFが発症すると、肺静脈や心房筋の高頻度興奮により心機能が低下し、心原性脳塞栓症のリスクも高まる。AFの原因となる不規則な電気信号は、主に左心房に接続する肺静脈から発生することが明らかになっている。肺静脈隔離術 (PVI: Pulmonary Vein Isolation) は、肺静脈と心臓の接合部を焼灼して電氣的に絶縁する治療法であり、エビデンスに基づいた有効な方法である²⁾。しかし、持続性AFに対してはPVI単独では効果が限定的で、再発率が高いことが知られている。そのため、持続性AFに対しては、PVIに加えて心房内ドライバーを焼灼する新しい治療法が期待されている。本研究では、心内電位データと電位指標を用いて、心房追加焼灼がAF停止に与える影響を解析し、細動の持続に関与する部位を明らかにすることを目指す。

2. 解析データ

本研究では、オクタレイカテーテル (Fig.1 参照) を用いて計測したデータを解析する。本カテーテルでは、8本の枝があり各枝に6つの電極が配置されており、計48チャンネルの電極で心拍の空間構造の計測を行っている。解析データの例として、Fig.2に横軸は時間、縦軸が電圧に対応する1つの電極から得られた心電図を示す。正常な拍動 (SR: Sinus Rhythm) 時は周期的な安定した波形が現れているのに対し、AF時は不規則で乱れた波形が現れていることがわかる (Fig.2)。AFは心房内にある発生源が興奮信号を伝播させていることが原因であるため、AF時のみ特殊な信号の伝播が見られると推測できる。

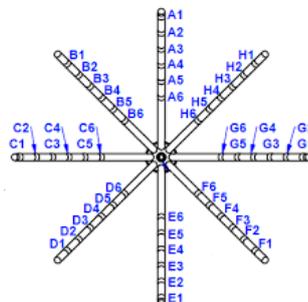


Fig.1 オクタレイカテーテル³⁾:各枝は6つの電極によって心拍の計測を行う。

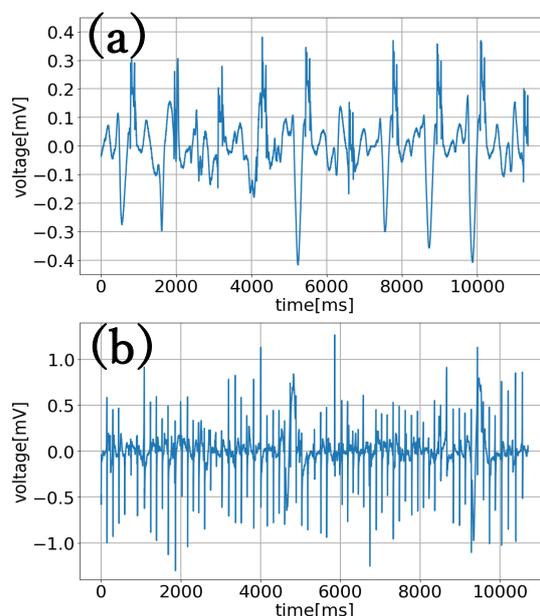


Fig.2 オクタレイカテーテルで計測された心臓のデータ: (a)正常な心臓の心電図、(b)心房細動が起きている心臓の心電図 [横軸: 時間 (ms)、縦軸: 電圧 (mV)]

3. 時系列データの等高線表示

48個の電極を (A,E)、(B,F)、(C,G)、(D,H)の4ペアに分け、AFとSRの違いを解析する。カテーテル上の電極を直線的に配置することで、その直線上での信号伝播を解析することが可能である。12個の電極から得られた心電図データ (Fig.2に示されたグラフと同様の形式) を一つにまとめ、縦軸に要素数 (12個の電極)、横

Feature Extraction of Fibrillation Sources in Myocardial Data during Atrial Fibrillation

Kakeru KOBAYASHI, Makoto SASAKI, Shu HIRATA, Momoka AIHARA and Kouichi NAGASHIMA

軸に時間[ms]、色の濃淡を電圧[mV]として等高線グラフを作成する。(B,F)列の12個の電極から得られたデータを一つにまとめ、等高線で表示したものをFig.3に示す。SR時には特殊な信号伝播が見られず、心臓全体が同期して動作していることが確認できる(Fig.3(b))。SR時のこの電氣的同期は、正常な拍動の特徴で、心臓内の信号が均等に伝播している状態を示している。一方、AF時には約150ms間隔で周期的に、y軸5~11(電極F6~F1)の間で波が伝播している様子が観察できる(Fig.3(a))。この伝播は、心房内で局所的に発生する異常な興奮信号を示しており、AF時に特有のパターンである。

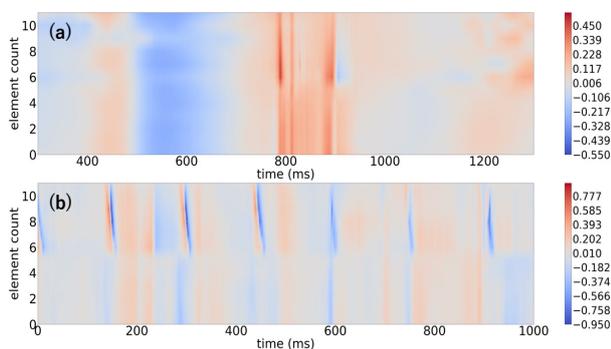


Fig.3 心電図の等高線表示：(a)SR時の心電図の等高線表示(250~1250ms)、(b)AF時の等高線表示(0~1000ms) [横軸：時間(ms)、縦軸：要素数、色の濃淡(mV)]

伝播をより明確に確認するために、Fig.3(b)の一部を拡大表示、伝播が確認できた特定の秒数での時空間プロットを行う(Fig.4)。Fig.4(a)は、周期的に伝播している波の一部を拡大した図であり、時間と共に波が電極F1からF6に伝播していることが確認できる。この結果より、AF時にのみ心臓全体の拍動とは異なる別の信号の波が発生していることを確認した。Fig.4(a)のグラフの傾きから伝播速度を計算した。伝播が30msで6つの電極を通過しており、カテーテルの直径が約30mmであることから、伝播速度は約0.5m/sである。SRの心房内の平均伝播速度は、約1m/sであるため、AF時は伝播速度が低下していることがわかる。AF時に伝播速度が低下するのは、無秩序な電気活動によって伝導路が乱れ、正常な電気信号の伝播が妨げられる可能性がある。Fig.4では、時間の経過とともに正負のピークが弾道的な伝播している様子が明瞭に示されている。

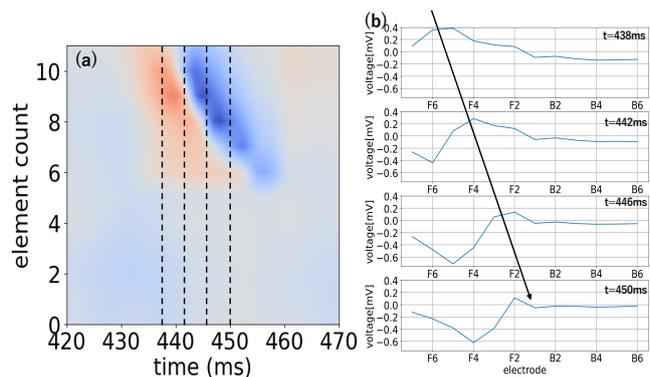


Fig.4 時空間解析による特定秒数の波形変動：(a)AF時の等高線の一部拡大(420ms~470ms)(b)(438ms,442ms,446ms,450ms)：(横軸：電極名、縦軸：電圧)、

4. まとめ

AFは肺静脈や心房筋の高頻度興奮により心機能が低下し、心原性脳塞栓症のリスクが高まる。従来の治療法であるPVIに加えて、心房内ドライバを焼灼する新しい治療法が期待されている。本研究では、48チャンネルの電極が配置されたオクタレイカテーテルから取得したデータを用いて解析を行った。解析を行った結果、AF時に心臓全体の拍動とは異なる別の信号の波が発生していることが確認された。他のAF患者のデータで同じ解析を行った場合でも、特殊な波の伝播が確認された。この伝播の詳細なメカニズムを解明できれば、AFの興奮信号の発信源を特定し、新しい治療法の開発が期待される。今後は、心臓全体における電位分布と異常伝播パターンの関係を調べる必要がある。

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)
- 3) 医薬品医療機器総合機構 経営企画部広報課,独立行政法人医薬品医療機器総合機構(PMDA), (2023)
https://www.info.pmda.go.jp/downfiles/md/PDF/340216/340216_30300BZX00120000_A_01_03.pdf, (参照 2024-10-13)