

一般口演 | 画像情報・生体信号処理

一般口演11

画像情報・生体信号処理

2019年11月23日(土) 09:00 ～ 11:00 E会場 (国際会議場 3階中会議室301)

[3-E-1-08] 心房細動のリアルタイム映像化に基づくカテーテル治療の効率化に向けた心内心電図解析改善の取り組み

○芦原 貴司¹、奥山 雄介²、小澤 友哉²、原口 亮³、稲田 慎⁴、中沢 一雄⁴、重歳 憲治¹、本山 一隆¹、杉本 喜久¹、中川 義久²（1. 滋賀医科大学情報総合センター・医療情報部, 2. 滋賀医科大学循環器内科, 3. 兵庫県立大学大学院応用情報科学研究科, 4. 森ノ宮医療大学保健医療学部）

キーワード：visualization, electrocardiographic analysis, in silico, artificial intelligence, atrial fibrillation

【背景】脳梗塞や心不全の主な原因とされる心房細動に対し、心臓カテーテルによるアブレーション（心筋焼灼術）が広がっている。ただ、その約半数を占める発作性心房細動に対する根治率は約80%と高い一方で、残りの非発作性（慢性）心房細動に対する根治率は約40%と低いままである。そうした現状において、最近我々は特化型人工知能とインシリコによる生体信号の推論を含む統合的解析により、心内心電図に基づく心房細動のリアルタイム映像化システム（ExTRa Mapping）を開発・臨床応用し、根治率が約79%と大幅に改善されたことを報告した。

【方法】今回我々は心房細動治療にかかる臨床ニーズと、本システムにかかる内外からの改善要求を踏まえ、不整脈治療のさらなる精度向上と効率化に向けて、生体信号の推論アルゴリズムの改善を試みたので報告する。

【結果】心房内の局所で記録される単極誘導の心電図には、その信号が記録電極から遠方で生じたものではないかという懸念から、近接した2つの単極誘導の差分（双極誘導）を計算することで遠方の信号を除去するのが一般的である。しかし、双極誘導でも電極の配置が興奮伝播の向きと直角の場合には、存在すべき信号が消える限界がある。本システムでは、心臓内の周辺信号を参照することで、局所の失われた信号を時空間的に補完し、心室由来の排除すべき信号についても、体表面心電図を参照しながら自動で除去できるようにした。また、良質な信号解析には、心内心電図を記録する電極が心房壁に十分に接触している必要があるが、それをユーザー（術者）に伝えるインジケータをインタフェースに装備したことで、ユーザーのカテーテル操作にかかるストレスが大幅に軽減された。

【結語】医療情報学・生体医工学に基づき生み出されたリアルタイム臨床不整脈映像化システムであるが、今回のシステム改善は他の生体信号処理にも応用可能な技術と考えられる。

心房細動のリアルタイム映像化に基づくカテーテル治療の効率化に向けた 心内心電図解析改善の取り組み

芦原貴司^{*1,2,3}, 奥山雄介^{*3}, 小澤友哉^{*3}, 原口 亮^{*4}, 稲田 慎^{*5}, 中沢一雄^{*5},
重歳憲治^{*1}, 本山一隆^{*1}, 杉本喜久^{*2,3}, 中川義久^{*3}

*1 滋賀医科大学情報総合センター, *2 滋賀医科大学医療情報部, *3 滋賀医科大学循環器内科,
*4 兵庫県立大学大学院応用情報科学研究科, *5 森ノ宮医療大学保健医療学部

Efforts to improve intracardiac electrogram analyses for efficient catheter ablation based on real-time visualization of atrial fibrillation

Takashi Ashihara^{*1,2,3}, Yusuke Okuyama^{*3}, Tomoya Ozawa^{*3}, Ryo Haraguchi^{*4}, Shin Inada^{*5}, Kazuo Nakazawa^{*5},
Kenji Shigetoshi^{*1}, Kazutaka Motoyama^{*1}, Yoshihisa Sugimoto^{*2,3}, Yoshihisa Nakagawa^{*3}

*1 Center for Information Technology and Management, Shiga University of Medical Science,

*2 Department of Medical Informatics and Biomedical Engineering, Shiga University of Medical Science,

*3 Department of Cardiovascular Medicine, Shiga University of Medical Science,

*4 Graduate School of Applied Informatics, University of Hyogo,

*5 Morinomiya University of Medical Sciences

Background: Catheter ablation for atrial fibrillation (AF), which is the main cause of cerebral infarction and heart failure, is spreading widely. After the catheter ablation, freedom from paroxysmal AF, accounting for around half of all AFs, reaches as high as 80%. However, freedom from non-paroxysmal (chronic) AF, accounting for residual half of them, remains low at around 40%. Under such circumstances, we have recently developed the online real-time AF visualization system (ExTRa Mapping), and by applying it to the clinical practice the freedom from AF was greatly improved to about 79%. The system was based on the intracardiac electrocardiogram analyses by both specific artificial intelligence and *in silico*.

Methods: This time, we have tried to improve the inference algorithm of biological signals for further improving the accuracy and efficiency of arrhythmia treatment based on clinical needs of the users of the previous system.

Results: There is a theoretical concern that the unipolar intra-atrial electrogram signal, recorded locally in the atria, contain far field signals. Therefore, in clinical practice the bipolar intra-atrial electrogram signal, which is the difference between two unipolar signals, is usually employed to remove the far field signals. However, even though using the bipolar electrogram signals, if the bipolar electrodes are arranged perpendicular to the direction of excitation propagation, the signals that should be present is lost. Hence, the ExTRa Mapping system spatio-temporally complemented the local lost signals in the atria by referring bipolar signals near the arbitrary bipolar signal. In addition, the far field ventricular signals that should be excluded were automatically removed from the intra-atrial electrograms with reference to the body surface electrocardiogram. To perform high-quality signal analyses, the electrodes that record intra-atrial electrograms needed to be in good contact with the atrial walls. Thus, in this system, in order to reduce the stress on the catheter operator, the indicator to inform the user (catheter operator) whether the recording electrodes are in good contact with the atrial walls was provided.

Conclusion: Although this is an online real-time clinical arrhythmia visualization system, created based on medical informatics and biomedical engineering, the improvement experienced here is considered to be applicable to other biological signal analyses.

Keywords: visualization, electrocardiographic analysis, *in silico*, artificial intelligence, atrial fibrillation.

1. はじめに

近年、脳梗塞や心不全の主な原因とされる心房細動 (AF) に対し、心臓カテーテルによるアブレーション手術 (カテーテルアブレーションまたは経皮的カテーテル心筋焼灼術) が広がっている¹⁾。ただし、その約半数を占める発作性 AF に対する根治率が約 80% と高い一方で、残りの非発作性 (慢性) AF に対する根治率は約 40% と低いままである²⁾。

そうした現状を踏まえ、最近我々は、特化型人工知能 (AI) とコンピュータシミュレーション (*in silico*) の導入により、生体

信号の推論を含む統合的解析を可能としたオンライン・リアルタイム臨床不整脈映像化システム (ExTRa MappingTM, 日本光電工業) (図1)を開発した³⁻⁵⁾。また、2015年8月の薬機承認と、当院の倫理委員会の承認(27-46)を経て臨床応用が開始されたことで、カテーテルアブレーション中の心内心電図に基づく非発作性 AF のリアルタイム映像化が可能となり、非発作性 AF に対する根治率が約 79% にまで大幅に改善されたことを報告した³⁻⁵⁾。

2. 方法

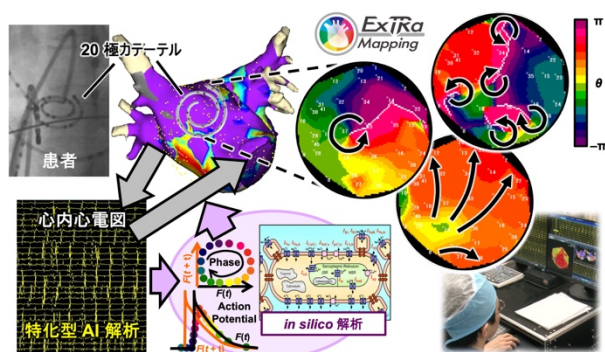


図1 ExTRa Mapping のシステム概要

我々が開発した世界初のオンライン・リアルタイム臨床不整脈映像化システム(ExTRa Mapping™)および興奮動態の典型例。

今回、我々は非発作性 AF 治療にかかる臨床ニーズの高まりと、本システムの開発チーム内外からの改善要求に応える形で、非発作性 AF 治療のさらなる精度向上と効率化を実現すべく、生体信号の推論アルゴリズムの改善を試みた。

3. 結果

そもそも、心房内の局所で記録される単極誘導の心内心電図では、記録電極に興奮波が近づくときはプラス、記録電極から興奮波が遠ざかるときはマイナスの信号として記録される。記録方法と信号解析が比較的シンプルなため、こうした心房内の興奮解析(マッピング)に広く使われてきた。しかしながら、信号を出している心筋興奮領域が、記録電極の近傍なのか遠方なのか、区別の付かないことが多い。そこで、近接した2つの単極誘導の差分(双極誘導)を計算することで、遠方の似た信号成分を排除し、近傍の異なる信号成分を残すような処理をするのが一般的である。

実際、本システムでは、鼠径部から下大静脈を介して心房内に挿入された渦巻き型の 20 極カテーテル(図2A)で記録した 20 個の単極信号、それを 2 つずつ組み合わせて差分として算出した 32 個の双極信号、そして周囲の信号から推論によって導き出された 9 個の仮想双極信号、計 41 個の双極信号(図2B)を用いて心室由来の遠方信号をできるだけ排除した上で、三角形メッシュを構成し、*in silico* で算出したヒト心房活動電位波形に基づく位相を適用している(図2C)。

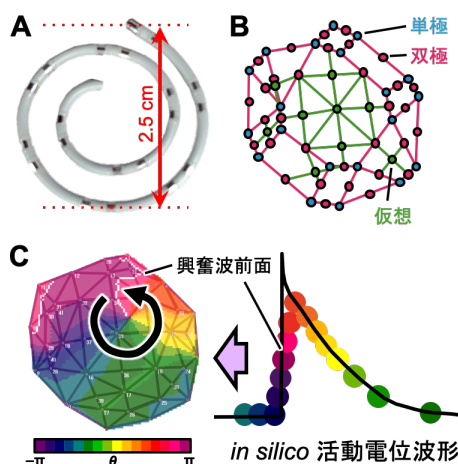


図2 ExTRa Mapping で用いる 20 極カテーテルと信号解析

A, 渦巻き型 20 極カテーテル。B, 単極, 双極, 仮想信号位置。C, 三角形メッシュに適用した *in silico* 活動電位に基づく位相。

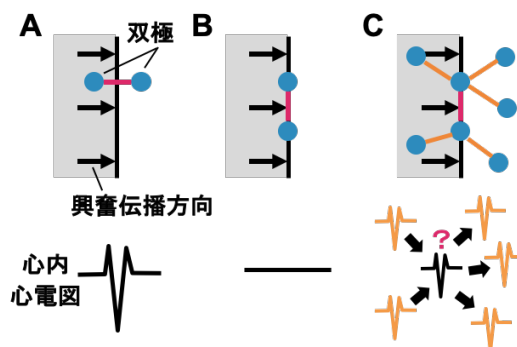


図3 双極誘導で記録される心内心電図の限界と対策

A, 双極電極の配置が興奮伝播の向きと平行な場合。
B, 双極電極の配置が興奮伝播の向きと直角な場合。
C, ExTRa Mapping における双極信号補完アルゴリズム。

ただし、これは双極電極の配置が心房における興奮伝播の向きと平行な場合(図3A)に限った話であり、興奮伝播の向きと直角の場合(図3B)には、存在すべき信号が記録できない。心房細動中の興奮伝播は次々と向きを変えるため、双極電極の配置次第で信号の検出が左右されるようでは、精度の高い AF 映像化は実現できない。

そこで我々は、たとえ後者のような場合でも、その双極電極の周囲の双極信号のタイミングと興奮連続性を参照しながら、局所の失われた信号を時空間的に補完する特化型 AI のアルゴリズムを構築した。そうすることで、AF 映像化の精度向上のみならず、心室由来の信号の全自動除去を含めた高速信号処理を実現することに成功した。

また、良質な信号解析には、心内心電図を記録する電極が心房壁に十分に接触している必要があるが、それをユーザ(術者)に伝えるインジケータを開発し、ExTRa Mapping のインターフェースに装備したことで、ユーザのカテーテル操作にかかるストレスを大幅に軽減できた。

4. 考察と結語

我々是不整脈のアブレーション治療にかかる臨床ニーズを出発点として、医療情報学・生体医工学に基づき、世界初のオンライン・リアルタイム臨床不整脈映像化システムを開発した。さらに、それを用いた AF 治療の長期成績に照らし合わせて、そのシステムを今も改良し続けている。

今回、我々が考案した生体信号解析アルゴリズムは、単なる数学的・幾何学的処理ではなく、臨床への外挿性を見据えた心臓電気生理学的特性に基づく高速信号処理であることから、他分野の生体信号解析にも応用可能と考えられた。

5. 謝辞

本研究の一部は、文部科学省の科学研究費補助金の基盤 (C) (16K09431, 16K01386, 16K01433, 17K01366), 基盤 (B) (16H05238), 基盤 (A) (15H01801, 18H04161)等の助成を得て行われた。

参考文献

- Haissaguerre M, et al. Circulation 2000 ; 102 : 2463-5.
- Ganesan AN, et al. J Am Heart Assoc 2013 ; 2 : e004549.
- Sakata K, Ashihara T, et al. J Arrhythm 2018 ; 34 : 176-84.
- 芦原貴司ほか. 医療情報学 2017 ; 37(Suppl.): 796-8.
- 芦原貴司ほか. 医療情報学 2018 ; 38(Suppl.): 750-1.