

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 6 月 21 日現在

機関番号：34448

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2021～2023

課題番号：21K12636

研究課題名(和文)位相シンギュラリティに基づく心房細動のダイナミクス変容とロバスト性に関する研究

研究課題名(英文) Study on dynamics transformation and robustness of non-paroxysmal atrial fibrillation based on phase singularity

研究代表者

中沢 一雄 (NAKAZAWA, Kazuo)

森ノ宮医療大学・医療技術学部・教授

研究者番号：50198058

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：心房細動患者を想定した3次元心房形状モデルを作成することにより、2,850万変数の微分方程式に基づく大規模な電気生理学コンピュータシミュレーションを実施し、心不全や脳梗塞の大きな原因となる心房細動の不整脈現象を計算科学的に解析するシステムを構築した。このシステムにおいて、実際の病態に近い肺静脈起源の異常興奮から誘発される心房細動の興奮伝播ダイナミクスを再現した。心房細動のダイナミクス変容を位相シンギュラリティの問題として解析し、3次元心房モデル上に心房細動の持続メカニズムとなるローターの移動軌跡を示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

心房細動は心不全や脳梗塞などの大きな原因となる不整脈であり、わが国において患者数は100万人以上と推定されている。早期の発作性心房細動の治療にはカテーテルアブレーションによる肺静脈隔離術が有効である。しかし、心房細動が長期に持続する非発作性心房細動には未だ有効な手法は確立されていない。非発作性心房細動の複雑な興奮伝播ダイナミクスをコンピュータ上に再現し計算科学的に解析することは、有効な治療法を確立する上で極めて重要である。本研究では心房細動をコンピュータ上に再現するだけでなく、そのダイナミクス変容を位相シンギュラリティの問題として解析し、理論的基盤を構築した。

研究成果の概要(英文)：Creating a three-dimensional atrial shape model of a typical patient with atrial fibrillation, we conducted large-scale electrophysiological computer simulations based on differential equations with 28.5 million variables, and developed a system for computationally analyzing the arrhythmia phenomena of atrial fibrillation, a major cause of heart failure or cerebral infarction. In this system, we have reproduced the dynamics of excitation propagation of atrial fibrillation induced by abnormal excitations derived from a pulmonary vein, which is close to the actual pathological condition. The dynamics transformation of atrial fibrillation was analyzed as a phase singularity problem, and the trajectories of the meandering rotors, the persistent mechanism of atrial fibrillation, were visualized on a three-dimensional atrial model.

研究分野：生体医工学

キーワード：心房細動 位相シンギュラリティ コンピュータシミュレーション 可視化 興奮伝播ダイナミクス  
スパイラルリエントリー ローター

### 1. 研究開始当初の背景

わが国では高齢化に伴って心房細動患者は増加し、100 万人以上と推定されている。心房細動は心房の不整脈の一種であり、発生時には心房が血液を十分に拍出できなくなる。血液の滞留により血栓が生じ易く、血栓が全身に飛んで重篤な脳梗塞や肺塞栓などの原因となる。また、心房の拍動数は毎分 300 回以上になり、心拍数の高い状態が長く続くと心臓の収縮機能が低下して心不全の原因にもなる。

心房細動の直接的原因は、肺から左房に血液を送る肺静脈に異常な電氣的興奮が発生し、心房に伝わることである。異常な電氣的興奮が繰り返して続くと、心房の正常な興奮伝播ダイナミクスが破綻して心房細動が発生する。早期の発作性心房細動に対する治療法としては、異常興奮が入らないようにカテーテルで左房壁と肺静脈壁の接合部を焼灼する肺静脈隔離術 (PVI) が確立されている。一方、長期に持続する非発作性心房細動に対しては PVI のみでは十分な治療成績が残せていない。すなわち、肺静脈からの異常興奮はあくまで心房細動のトリガーであり、長期に亘る心房細動の持続によって心房が修飾されるとリモデリングが起こり、心房細動の維持機構として心房基質そのものの変容する。

心房細動の具体的な持続メカニズムは、スパイラルリエントリー (spiral wave reentry: SW) と呼ばれる不安定な渦巻型旋回興奮波である。肺静脈からの異常興奮がトリガーとなって SW が発生しても、正常に近い心房基質においては長く持続することなく消滅する。しかし、リモデリングによる病的な変化が亢進すると、トリガーとなる異常興奮がなくても SW が心房の中を台風のように旋回して心房細動が持続する。臨床では、このような心房細動をドライブする SW をローターと呼んでいる。いったん心房基質がローターを発生するような状態になると、トリガーとなる異常興奮の元となる肺静脈を隔離する PVI だけでは、十分な治療成績が残せないのは当然の結果である。非発作性心房細動の興奮伝播ダイナミクスは、心房基質の変容に伴ってかなり複雑化していることが容易に予測される。

実際、臨床では非発作性心房細動の治療に向けて様々な心房の焼灼手法が試みられているが、未だ有効な手法は確立されていない。そのような状況の中、研究分担者の芦原貴司教授が中心となり、リアルタイム臨床不整脈映像化システム (ExTRa Mapping™: ExT) が開発された。ExT では、直径 25mm の螺旋状 20 極カテーテルで記録される双極誘導による心内心電図に基づき、コンピュータシミュレーションで算出した活動電位の情報を加えることで、16 段階の色調表示によるリアルタイムでの位相マップの導出を実現した。局所的な 2 次元の位相マップとはいえ、ExT により複雑な非発作性心房細動の可視化は大きく進展した。しかしながら、心房全体における非発作性心房細動の興奮伝播ダイナミクスの理論的解明には未だ至っていない。

### 2. 研究の目的

本研究の目標は、心房全体での非発作性心房細動の興奮伝播ダイナミクスの解明であり、容易に停止しない非発作性心房細動に対し有効となる心筋焼灼術による治療戦略の構築である。そこで、当面取り組むべき課題として、次の 3 つを考案した。① 2 次元表現の ExT の位相マップのデータを、3 次元心房モデルのコンピュータシミュレーションで再現し、より分かりやすく表現する。② 非発作性 AF の興奮伝播ダイナミクスを解析する手法を開発して、理論的な基盤を構築する。③ 容易に停止しないロバスト性の高い非発作性心房細動に対し、最小限の焼灼によって停止につながる方法を探索する。これらの課題を解決することが本研究の目的である。

### 3. 研究の方法

(1) 心房細動患者を想定した 3 次元心房形状モデルの構築による大規模電気生理学コンピュータシミュレーション

MRI データを元に 3 次元心房形状サーフェスモデルを作成した。元データが健康成人のものであることから、循環器内科医および解剖学者の意見を基に典型的な心房細動患者を想定した形状修正を施した。さらに、Takayama<sup>2)</sup>らの手法を用いて、心筋の線維走向を 3 次元的に導入した (図 1)<sup>3)</sup>。サーフェスモデルをボクセルモデルに変換し、各ボクセルを心筋細胞の集合であるユニットとした。各ユニットにヒト心房筋細胞の 21 変数からなる微分方程式モデル<sup>4)</sup>を組み込んだ。活動電位モデルの特性変更や 3 次元形状に対する線維走向

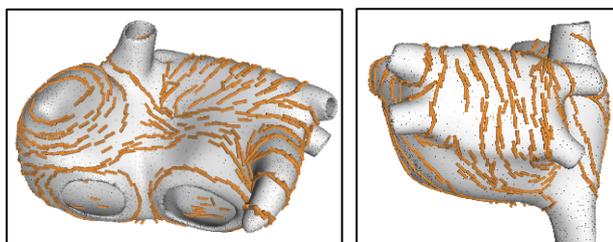


図1 ヒト3次元形状心房モデルにおける線維走向  
左:心房腹側 右:左心房後壁側

の変化を考慮した大規模な電気生理学コンピュータシミュレーションを可能にした。

## (2)位相シンギュラリティに基づく心房細動の興奮伝播ダイナミクス解析

ExT で示されたように位相マップを導出することによって、非発作性心房細動の興奮伝播ダイナミクスを可視化することが可能である。ExT の位相マップは心内心電図データの補完や補正を行って、振動現象の周期を $-\pi \sim \pi$ の位相に置き換え色調表示したものである。周期性を表現するには都合が良いが、臨床における複雑な非発作性心房細動ダイナミクスの特徴を表現するには情報量が多すぎると思われる。さらに、直径 25mm の螺旋状 20 極カテーテルで記録される局所的なものでなく、心房全体での興奮伝播ダイナミクスを示すには位相マップの特異点である位相シンギュラリティの軌跡を追跡することで詳細な解析が実現できる可能性がある。さらに大規模なシミュレーションデータの解析となることから、計算負荷の高い位相シンギュラリティそのものを計算するのではなく、位相シンギュラリティに伴って派生する wavebreak (興奮波の前面と後面の交点) に着目して可視化する手法を開発した。

## (3)心房細動の ExT 2 次元位相マップのデータに基づく 3 次元心房モデル上への写像

実際の治療には患者個別の対応が必要になる。2 次元の医用画像から簡便に患者個別の 3 次元心房モデルを構成し、さらに ExT によって得られた 2 次元位相マップのデータそのものを流用して、『興奮伝播動画』と『興奮旋回中心分布画像』を 3 次元心房モデル上に写像して可視化する開発を行った。2 次元動画の 3 次元モデル上への写像には Exponential Map 法<sup>5)</sup>を利用した。異なる領域で記録された複数の ExT 興奮伝播動画を患者個別の 3 次元心房モデル上で観察できれば、心房全体での興奮動態を把握し易くなる。加えて、心房全体における興奮旋回中心分布を累積的なヒートマップとして可視化した。

## 4. 研究成果

### (1)心房細動患者を想定した 3 次元心房形状モデルの構築による大規模電気生理学コンピュータシミュレーション

今回のシミュレーション実験に使用したモデルは、2,850 万変数の微分方程式(系)で構成され、実際の病態に近い肺静脈起源の異常興奮から誘発される心房細動の興奮伝播ダイナミクスを再現した。このシステムでは、電位分布の時系列変化をカラーコードに基づいて 6 方向から表示可能である(図 2)<sup>3)</sup>。肺静脈からの異常興奮の刺激間隔や興奮の伝導速度、病的状態を想定した活動電位の変化を考慮した一連の実験を実施した結果、正常心房では心房細動を発生させることはできないこと、さらに病的障害の程度が亢進するに従って心房細動の持続性を高めることなどが確認された。

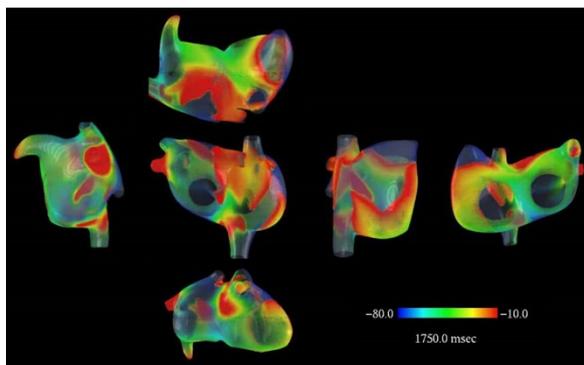


図2 ヒト3次元形状心房モデルにおける心房細動の活動電位分布の可視化例(6方向表示)

### (2)位相シンギュラリティに基づく心房細動の興奮伝播ダイナミクス解析

現状、まだ十分な結果とは言えないが、位相シンギュラリティに基づく wavebreak の軌跡から、心房全体で複雑な心房細動の興奮伝播ダイナミクスをなるべく単純化して可視化した(図 3)。解剖学的な構造に伴う心房粗動から心房細動に至る過程を確認できた。さらに、心房細動ではローターに対応する機能的なリエントリーと、それ以外の解剖学的リエントリーが混在することを示唆する結果が得られた。

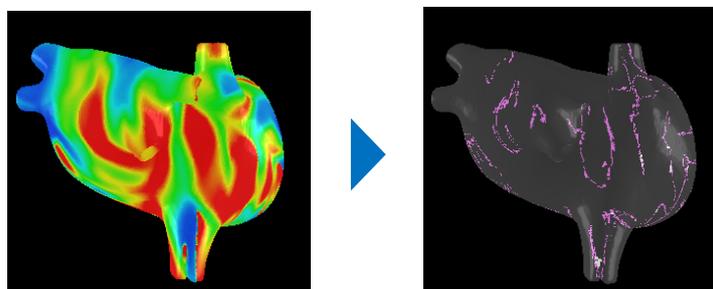


図3 心房細動の活動電位分布と対応する位相シンギュラリティに基づく wavebreak の軌跡

左: 特定時刻における心房細動の活動電位分布

心房全体で多数の迷走する興奮波が見られる

右: 活動電位分布に対応する wavebreak の軌跡(紫色部)

心房の特定の領域に wavebreak の軌跡が見られ、機能的なリエントリー(ローター)の偏在、さらに解剖学的リエントリーの混在が示唆される

### (3)心房細動の ExT 2次元位相マップのデータに基づく3次元心房モデル上への写像

ExT 位相マップのデータの3次元心房モデル上への写像例を図4<sup>6)</sup>より改変<sup>1)</sup>に示す。異なる複数領域で独立して記録された ExT 位相マップのデータを3次元心房モデル上で問題なく観察できることがわかった。また、ヒートマップとしての可視化は、心房全体での興奮旋回中心分布がわかり易い。分布頻度高い領域は、容易に停止しないロバスト性の高い非発作性心房細動に対し、最小限の焼灼によって停止につながるターゲット領域となる可能性がある。さらに、実際の治療には患者個別の対応が必要になるため、ExT に関連するデータから患者個別の3次元心房モデルを構成し、焼灼術のターゲット領域を可視化できるシステムの開発は有用なものと考えられる。

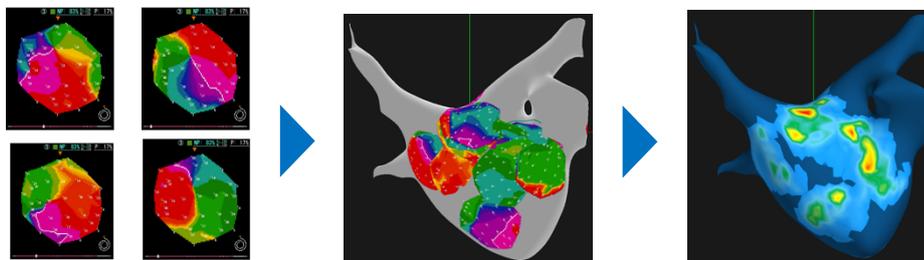


図4 ExT の2次元位相マップのデータに基づく3次元心房モデル上への写像例

- 左: 写像元の異なる領域で記録された ExT 2次元位相マップ
- 中: 3次元心房モデル上へ写像された ExT 2次元位相マップ
- 右: 3次元心房モデル上の興奮旋回中心分布のヒートマップ

#### <引用文献>

- 1) Sakata K, et al. : Not all rotors, effective ablation targets for Non-PAF, are included in areas suggested by conventional indirect indicators of AF drivers: ExTRa Mapping project, Journal of Arrhythmia, 34(2):176-184, 2018.
- 2) Takayama K, et al. : A sketch-based interface for modeling myocardial fiber orientation that considers the layered structure of the ventricles, Journal of Physiological Sciences, 2008.
- 3) 中沢一雄ほか: 心房細動患者を想定した3次元心房形状モデルの構築による興奮伝播ダイナミクの可視化, 医療情報学, 43(suppl.):848-849,2023.
- 4) Courtemanche M, et al. : Ionic mechanisms underlying human atrial action potential properties. Insights from a mathematical model, American Journal of Physiology, 1998.
- 5) Schmidt R, et al. : Interactive decal compositing with discrete exponential maps. ACM Transactions on Graphics, 25(3):605-613, 2006.
- 6) 青木睦ほか: 3次元心房モデル上における非発作性心房細動の興奮動態と興奮旋回中心分布の可視化手法, 第63回日本生体医工学会大会論文集, 442-444, 2024.

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Nitaro Shibata, Shin Inada, Kazuo Nakazawa, Takashi Ashihara, Naoki Tomii, Masatoshi Yamazaki, Haruo Honjo, Hiroshi Seno, Ichiro Sakuma	4. 巻 11
2. 論文標題 Mechanism of Ventricular Fibrillation: Current Status and Problems	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Advanced Biomedical Engineering	6. 最初と最後の頁 117-135
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.14326/abe.11.117	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Kenshi Takayama	4. 巻 41
2. 論文標題 Compatible intrinsic triangulations	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 ACM Transactions on Graphics,	6. 最初と最後の頁 1-12
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1145/3528223.3530175	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 中沢一雄, 芦原貴司	4. 巻 第一分冊
2. 論文標題 活動電位伝播・興奮伝播	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 生体医工学ウェブ辞典	6. 最初と最後の頁 117-120
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.11239/jsmbe.Dictionary.1.1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 中沢一雄	4. 巻 60
2. 論文標題 計算科学的手法による心房細動の興奮伝播ダイナミクスと可視化	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 生体医工学	6. 最初と最後の頁 107-109
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.11239/jsmbe.60.107	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計23件（うち招待講演 6件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 Ashihara T
2. 発表標題 Application of in silico model for cardiac electrophysiological mapping
3. 学会等名 IUPESM WORLD CONGRESS on Medical Physics & Biomedical Engineering (IUPESM WC2022) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Ashihara T
2. 発表標題 What do we need to know for efficient electrical defibrillation? Insights from theoretical studies
3. 学会等名 第68回日本不整脈心電学会学術大会(JHRS) (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 芦原貴司
2. 発表標題 ExTRa Mappingガイド下アブレーション：とっておきのコツを伝授します
3. 学会等名 第68回日本不整脈心電学会学術大会(JHRS) (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 富井直輝, 稲田慎, 芦原貴司, 山崎正俊, 瀬野宏, 佐久間一郎, 中沢一雄
2. 発表標題 Feasibility study of phase variance analysis on three-dimensional atrial fibrillation model
3. 学会等名 第87回日本循環器学会学術集会(JCS2023)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Okuyama Y, Nishikawa T, Ozawa T, Fujii Y, Kato K, Sugimoto Y, Nakagawa Y, Ashihara T
2. 発表標題 Characteristics of spatial distribution of rotors in pulmonary vein isolation refractory non-paroxysmal atrial fibrillation patients
3. 学会等名 第87回日本循環器学会学術集会(JCS2023)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 後藤竜真, 木村優希, 井尻敬, 芦原貴司, 中沢一雄
2. 発表標題 Exponential Mapを用いた3次元心房モデル上の興奮伝播可視化
3. 学会等名 Visual Computing + VC Communications 2022 (VC+VCC 2022)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 稲田慎, 岸田優作, 高山健志, 井尻敬, 芦原貴司, 大星直樹, 柴田仁太郎, 中沢一雄
2. 発表標題 新たな心房細動治療法の開発を目的とした心房モデルの構築
3. 学会等名 第61回日本生体医工学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 岸田優作, 浦田智和, 橋本陸, 大星直樹, 芦原貴司, 井尻敬, 高山健志, 柴田仁太郎, 原良昭, 信太宗也, 稲田慎, 中沢一雄
2. 発表標題 ヒトの3次元心房モデルに基づく心房細動興奮伝播シミュレーションと拡張現実での可視化
3. 学会等名 第61回日本生体医工学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中沢一雄, 稲田慎, 原良昭, 岸田優作, 柴田仁太郎, 富井直輝, 高山健志, 井尻敬, 芦原貴司
2. 発表標題 ヒト3次元心房モデルに基づく心房細動興奮伝播シミュレーションと可視化
3. 学会等名 第42回医療情報学連合大会(第23回日本医療情報学学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Naoki Tomii, Hiroshi Seno, Masatoshi Yamazaki, Ichiro Sakuma
2. 発表標題 Optimization of myocardial ablation therapy using in silico deep reinforcement learning
3. 学会等名 IUPESM WORLD CONGRESS on Medical Physics & Biomedical Engineering (IUPESM WC2022) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 古川航暉, 瀬野宏, 山崎正俊, 佐久間一郎, 富井直輝
2. 発表標題 Electrogram-based feedback stimulator and simultaneous panoramic optical measurement system for validation of adaptive defibrillation strategies
3. 学会等名 第68回日本不整脈心電学会学術大会(JHRS)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Ashihara T, Ozawa T, Sakata K, Okuyama Y, Nishikawa T, Fujii Y, Kato K, Haraguchi R, Inada S, Nakazawa K, Sugimoto Y, Nakagawa Y
2. 発表標題 Novel Approach to Ablation for Persistent AF: Does ExTRa Mapping-guided rotor ablation provide additional benefits beyond pulmonary vein isolation?
3. 学会等名 第67回日本不整脈心電学会学術大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 芦原貴司
2. 発表標題 シミュレーションとExTRa Mappingから心房細動Rotorの持続メカニズムに迫る
3. 学会等名 第67回日本不整脈心電学会学術大会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 芦原貴司
2. 発表標題 Advanced Mapping System for Persistent AF: Real-time Phase Mapping (ExTRa Mapping) System
3. 学会等名 第67回日本不整脈心電学会学術大会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 芦原貴司
2. 発表標題 心臓電気生理 in silicoの医療機器開発におけるニーズと課題
3. 学会等名 第60回日本生体医工学会大会・第36回日本生体磁気学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岸田優作, 浦田智和, 宮崎晃, 大星直樹, 芦原貴司, 坂田憲祐, 柴田仁太郎, 井尻敬, 高山健志, 信太宗也, 原良昭, 稲田慎, 中沢一雄
2. 発表標題 ヒト心房の3次元モデルに基づく洞調律興奮伝播シミュレーションと可視化
3. 学会等名 第60回日本生体医工学会大会・第36回日本生体磁気学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岸田優作, 浦田智和, 宮崎晃, 大星直樹, 芦原貴司, 坂田憲祐, 柴田仁太郎, 井尻敬, 高山健志, 信太宗也, 原良昭, 稲田慎, 中沢一雄
2. 発表標題 ヒト心房の3次元モデルに基づく心房細動興奮伝播様式の再現を目指した電気生理学シミュレーションと可視化
3. 学会等名 第41回医療情報学連合大会・第22回日本医療情報学会学術大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Sakata K, Okuyama Y, Ozawa T, Fujii Y, Kato K, Haraguchi R, Inada S, Nakazawa K, Sugimoto Y, Yamashiro K, Nakagawa Y, Ashihara T
2. 発表標題 The Strategy of ExTRa Mapping-Guided Miniman Ablation Should Be Determined by the Size of Left Atrium: ExTRa Mapping Project
3. 学会等名 第67回日本不整脈心電学会学術大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Shin Inada, Takeshi Aiba, Nitaro Shibata, Ryo Haraguchi, Takashi Ashihara, Kengo Kusano, Wataru Shimizu, Takanori Ikeda, Ichiro Sakuma, Kazuo Nakazawa
2. 発表標題 A Simulation Study for Investigating Mechanisms of Ventricular Arrhythmia Induced from Conduction Delay Zone in Right Ventricular Outflow Tract
3. 学会等名 第67回日本不整脈心電学会学術大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 富井直輝
2. 発表標題 位相マッピングの新たな解釈：伝導ブロックが生む位相不連続境界
3. 学会等名 心電学関連春季大会2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 富井直輝, 瀬野宏, 山崎正俊, 佐久間一郎
2. 発表標題 心臓をみるー計測・シミュレーション・AIー
3. 学会等名 第86 回日本循環器学会学術集会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hiroshi Seno, Naoki Tomii, Masatoshi Yamazaki, Nitaro Shibata, Ichiro Sakuma
2. 発表標題 IN-SILICO DEEP REINFORCEMENT LEARNING FOR EFFECTIVE CARDIAC ABLATION STRATEGY: A SIMULATION STUDY
3. 学会等名 Heart Rhythm 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Shin Inada, Nitaro Shibata, Ryo Haraguchi, Takashi Ashihara, Sayaka Ohkubo, Kazuyuki Mitsui, Kazuo Nakazawa
2. 発表標題 Theoretical study for comparing vectorcardiogram in normal and abnormal excitation in the heart
3. 学会等名 第60回日本生体医工学会大会・第36回日本生体磁気学会大会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	富井 直輝  (TOMII Naoki)  (00803602)	東京大学・大学院工学系研究科(工学部)・准教授    (12601)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	井尻 敬  (IJIRI Takashi)  (30550347)	芝浦工業大学・工学部・教授    (32619)	
研究分担者	稲田 慎  (INADA Shin)  (50349792)	森ノ宮医療大学・医療技術学部・教授    (34448)	
研究分担者	芦原 貴司  (ASHIHARA Takeshi)  (80396259)	滋賀医科大学・医学部・教授    (14202)	
研究分担者	高山 健志  (TAKAYAMA Kenshi)  (80614370)	株式会社サイバーエージェント(AI事業本部 AI Lab)・Altech Studio AI Lab・リサーチサイエンティスト    (92685)	

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	柴田 仁太郎  (SHIBATA Nitaro)		
研究協力者	鈴木 亨  (SUZUKI Tohru)  (60465490)		

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------