

令和 6 年 6 月 26 日現在

機関番号：12602

研究種目：若手研究

研究期間：2022～2023

課題番号：22K16068

研究課題名（和文）高周波アブレーション時の焼灼巣とSteam-popのリアルタイム予測AIの開発

研究課題名（英文）Development of Real-time AI for Predicting Lesion Formation and Steam-pop during High-frequency Ablation

研究代表者

滝川 正晃（Masateru, Takigawa）

東京医科歯科大学・大学院医歯学総合研究科・寄附講座講師

研究者番号：40760062

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,600,000円

研究成果の概要（和文）：まずEx-vivoの実験下で、様々な設定と条件で焼灼実験を行い、焼灼巣形状と、焼灼中の能動的指標と受動的指標の双方の多数の変数の経時的変化との関係を機械学習させ、焼灼巣形状予測モデルと・steam-pop予測モデルを作成した（特願2023-119252；特願2023-110489）。このモデルは、従来使用されている一般的なパラメータと比較すると、焼灼形状をより正確に推定することが可能であることが証明された。これらのアルゴリズムは、ex-vivoのデータより計算されており、in-vivo実験でもその整合性を検証中である。実験の過程で、得られた研究成果に関しては、学会発表、論文発表を行なっている。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の結果、通電中に変動するパラメータより自動的に、焼灼巣の形状が予測されることにより、より効率的で安全な高周波アブレーション治療が可能になる可能性がある。

研究成果の概要（英文）：RF applications were performed in ex-vivo environment with several configurations. Machine learning was performed using the data showing the relation between active indices, passive indices, and detailed lesion metrics, in order to create the model predicting the lesion characteristics and steam-pops. Patent was applied with this development (TOKUGAN2023-119252; TOKUGAN2023-110489). This model showed significantly more accurate predictive accuracy. Since the first model was developed based on the ex-vivo model, we are now working to develop the novel model based on the in-vivo data. During this project, several abstracts were presented in a scientific session, and the several manuscript was published.

研究分野：不整脈

キーワード：不整脈 catheter ablation radiofrequency 焼灼巣 機械学習

### 1. 研究開始当初の背景

：不整脈疾患に対する高周波カテテルアブレーション(RFCA)治療の安全性を維持し、治療成績を向上させるためには、不整脈の機序の解明と頻拍回路の同定をより正確かつ迅速に行う事と、頻拍回路を遮断する為に、適切な場所と深さの焼灼巣を安全に形成する事が重要である。については三次元マッピングシステムの改良で飛躍的に改善したが、に関しては未だ改善の余地が多い。RFCA を効果的に安全に行う指標として、出力・焼灼時間・コンタクトフォースなどの能動的指標が用いられてきたが、これらの指標は、焼灼時の組織反応を反映していない為、安全性を測る指標としては限界がある。そこで、近年、焼灼部の局所温度や局所抵抗値といった受動的指標を直接測定できるカテテルが開発された。本研究では、これらの能動的指標と受動的指標の変動を経時的に測定して、焼灼巣のサイズや、Steam-pop (RFCA 中組織下の水蒸気が急激に沸騰し爆発する事で大きな組織損傷を生じる事象；心穿孔の原因となる)を予測するリアルタイム AI アルゴリズムを開発する。

### 2. 研究の目的

研究の目的としては、従来の RFCA で設定可能である能動的指標に受動的指標を加えた複合指標を活用し、より正確な焼灼巣サイズや Steam-pop の発生予測を行う AI を開発することである。つまり、焼灼の効果と安全性を予測するために、能動的指標と受動的指標双方の時系列データより、機械学習を用いて AI アルゴリズムを学習させ、学習した焼灼巣・steam-pop 予測アルゴリズムを動物実験で評価することであった。本研究の独自性は以下の2点である。

### 3. 研究の方法

まず Ex-vivo の環境で、4 種類のカテテルで、通電中の平均出力(10W, 20W, 30W, 40W, 50W)・焼灼時間(15s, 30s, 45s, 60s)・平均 Contact force(10g, 20g, 30g)を調節し、豚心筋に焼灼巣(N=2000 lesions)を行う。本研究は ex-vivo の研究であり、市販の豚心筋を使用する。健常心筋心内膜、心外膜、脂肪上、血管、弁

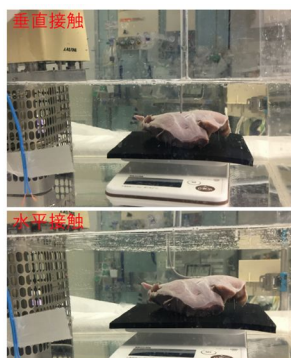
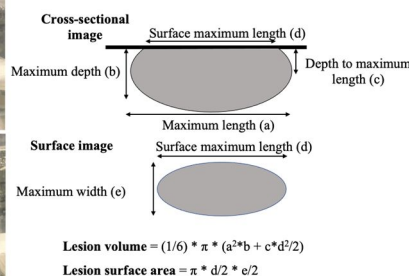


図4. Ex-vivoでの焼灼実験方と焼灼巣の計測方法



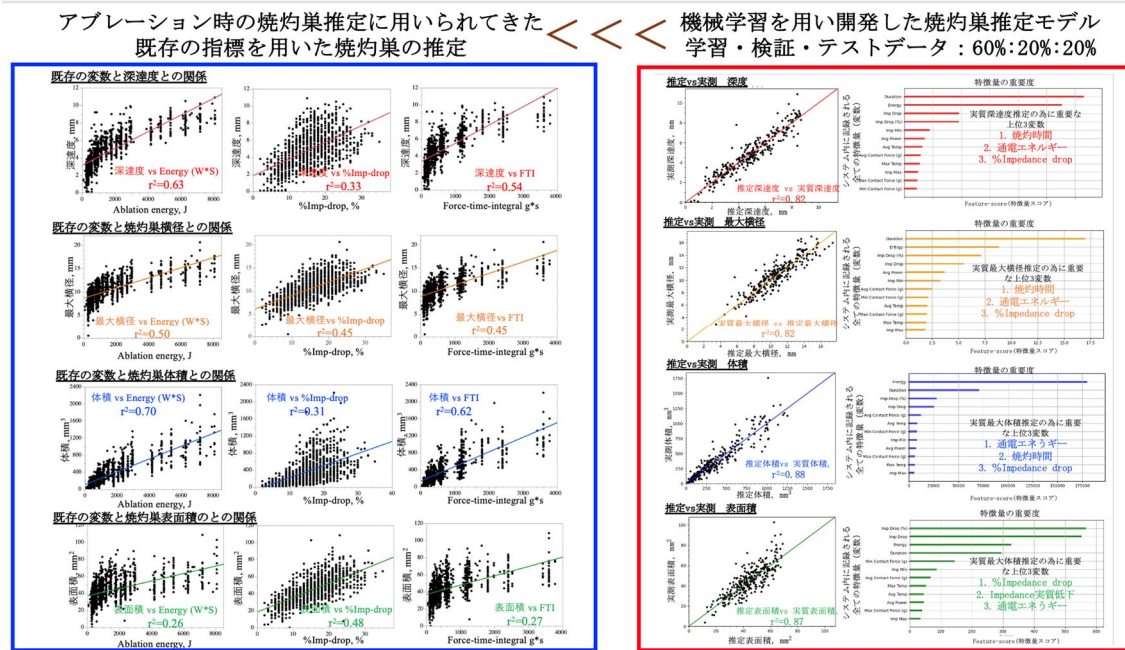
などの結合組織上などの組織でも焼灼を行い、組織温度・組織抵抗変化を確認する。形成された焼灼巣の表面積、深達度、容量を図4の様に計測し、steam-popの有無も記録する。ここで、Lesionの大きさの予測AIについては、ランダムフォレストを用いるものとする。これは、ランダムフォレストであると、どの指標がLesionの大きさの予測に寄与しているのかを、変数重要度として推定可能なためである。また、Steam-popの発生予測については、発生頻度が多くないため、異常検知問題として定式化する。本研究では、さまざまな分野で広く用いられている異常検知アルゴリズムである多変量統計的プロセス管理(MSPC)や自己符号化器などの採用を考えている。なお、データの解析およびAIの学習には、研究協力者で機械学習及び医療AIが専門の名古屋大学の藤原准教授の助言の下で実施する。

次のステップとして、健常豚と心筋梗塞豚による動物実験であり、左室、右室に焼灼巣を作成する。壁厚が左室心筋では十分分厚く、右室心筋では比較的薄いため、まず右室で Steam-Pop が生じにくいと考えられる弱い出力での焼灼、左室では Steam-POP が生じるうる強い出力での焼灼を行う。1心臓あたり10-15の心内膜焼灼巣、5-10の心外膜側焼灼巣を想定している。心外膜側は脂肪組織が密であり、経験的に局所の抵抗値も高い場合が多く、様々な条件下でAIが適合するの

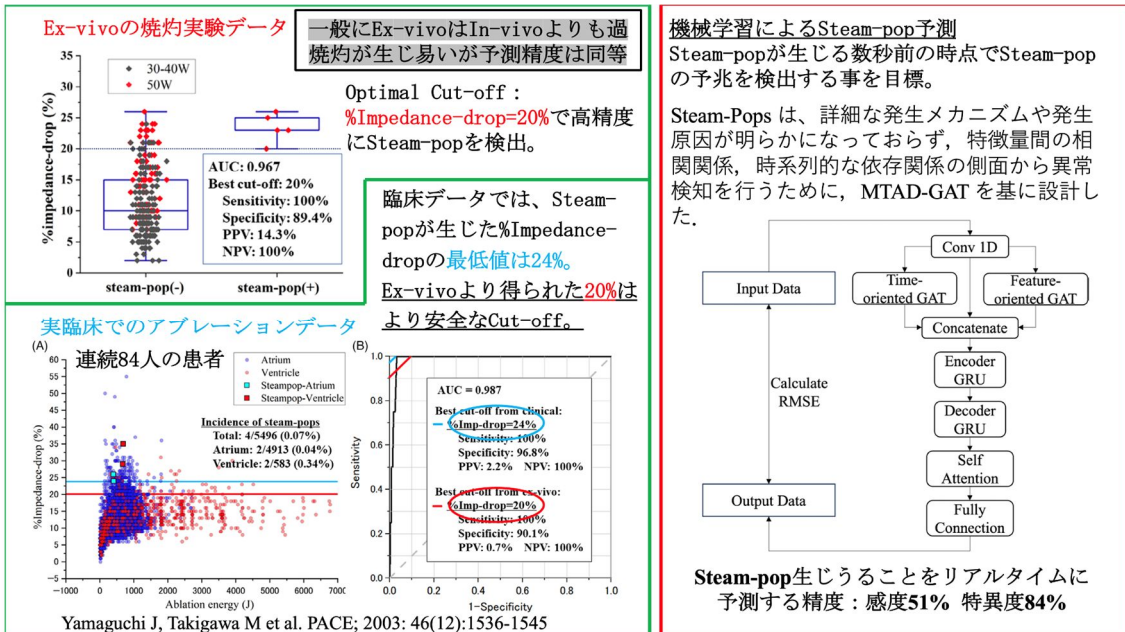
かを判定する。

#### 4. 研究成果

Ex-vivo において、多数の焼灼データより、非常に正確性の高い予測モデルが作成された。従来の指標を用いた焼灼巣予測の実測値との相関が高くては  $r^2=0.7$  程度であるのに対し、完成したモデルは、具体的な焼灼巣の形状を  $r^2=0.8$  の正確性で予測することが可能であった。動物実験での検証を開始したが、十分な in-vivo 実験を行う、予算がまだ獲得できていないこともあり、in-vivo での同様のモデルの作成はできていない。今後焼灼巣を増やすことが可能であれば、研 in-vivo でのモデルも作成可能であると考えている。



Steam-pop の予測モデルに関しては、インピーダンスを使用した予測が比較的正確であることが明らかとなった。機械学習により、steam-pop の発生を数秒前に予測するモデルの作成を試みたが、今の所精度が十分でなく、さらなる改良を重ねている段階である。



5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Ikenouchi Takashi, Takigawa Masateru, Goya Masahiko, Martin Claire A., Yamamoto Tasuku, Yamaguchi Junji, Goto Kentaro, Shigeta Takatoshi, Nishimura Takuro, Tao Susumu, Miyazaki Shinsuke, Sasano Tetsuo, and other members of the Study Group	4. 巻 34
2. 論文標題 Comparison of lesion characteristics using temperature flow controlled versus conventional power controlled ablation with fixed ablation index	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Cardiovascular Electrophysiology	6. 最初と最後の頁 908 ~ 917
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/jce.15883	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yamaguchi Junji, Takigawa Masateru, Goya Masahiko, Martin Claire A., Yamamoto Tasuku, Ikenouchi Takashi, Shigeta Takatoshi, Nishimura Takuro, Tao Susumu, Miyazaki Shinsuke, Sasano Tetsuo	4. 巻 34
2. 論文標題 Comparison of three different approaches to very high power short duration ablation using the QDOT MICRO catheter	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Cardiovascular Electrophysiology	6. 最初と最後の頁 888 ~ 897
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/jce.15875	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計0件

〔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
---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------