

心筋の含水率を考慮した マイクロ波心臓カテーテルアブレーションの数値解析

C-2 Numerical Analysis of Cardiac Catheter Ablation Considering
Water Content Ratio of Myocardium

菊池 裕貴 遠藤 雄大 齊藤 一幸 伊藤 公一

Hiroki KIKUCHI Yuta ENDO Kazuyuki SAITO Koichi ITO

千葉大学

Chiba University

1. はじめに

近年、マイクロ波が生体に与える熱的作用を医療に応用しようとする検討が行われている[1]。そのうちの一つに、マイクロ波を用いた不整脈カテーテルアブレーション治療がある。この治療法は、主に大腿動脈から挿入されたカテーテルを X 線透視下で心臓内に誘導し、不整脈の原因部位をマイクロ波により加熱し凝固させるものである。治療の際、過剰に加熱を行った場合には、心筋穿孔や組織炭化が原因となり、術後合併症が引き起こされる可能性がある。このようなリスクを術前に評価するためには、数値シミュレーションにより、合併症が起こる可能性のある 100℃以上の組織温度を正確に算出する必要がある。

ここで、正確な組織温度を解析するためには、加熱対象となる心筋組織の物性（電気・熱定数）を正確に模擬する必要がある。心筋などの高含水組織は、加熱によりその含水率が低下し、それに伴って組織物性も変化する。

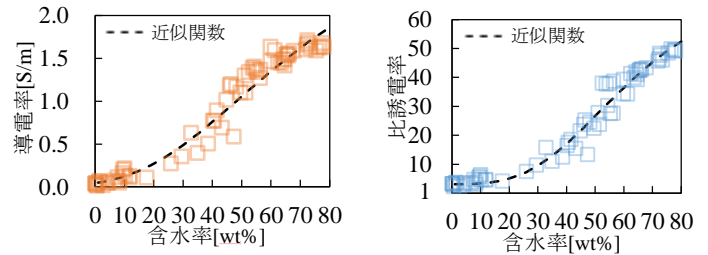
そこで本研究では、加熱に伴う組織物性の変化等を模擬した、電磁界・温度連成シミュレータの開発を行った。まず、加熱に伴う組織含水率の変化および、含水率低下に伴う各物性（電気・熱定数）の変化について評価を行った。得られた結果から、加熱に伴う物性変化を再現可能な心筋組織モデルを作成し、電磁界・温度連成シミュレータに導入した。最後に、開発したシミュレータを用いて、不整脈カテーテルアブレーション治療時の組織温度解析を行った。

2. 加熱に伴う組織物性変化

ブタの心臓組織を様々な条件で加熱し、加熱温度と含水率の関係、含水率と各物性の関係をそれぞれ検討した。ここでは、湯煎（60℃~100℃）および、マイクロ波加熱の 2 つの方法で加熱を行った。組織の含水率は、乾燥減量法により測定した。また、組織の電気定数（比誘電率、導電率）は、同軸プローブ法を用いて測定した。

測定の結果、含水率が湯煎時の加熱温度に強く依存することが確認できた。また、電気定数と含水率の関係についても明らかになった。図 1 に、治療に使用される周波数である 2.45 GHz における、電気定数の測定結果を示す。これより、電気定数が含水率に強く依存することが確認できる。

シミュレータに導入できるよう、それぞれの測定結果から近似関数を作成した。ここで、含水率と熱定数の関係については、肝臓組織を対象とした測定データを参照した[2]。



(a)導電率 vs.含水率 (b)比誘電率 vs.含水率

図 1 電気定数の測定結果(2.45 GHz)

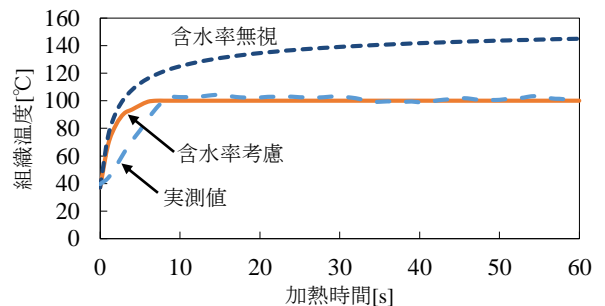


図 2 アンテナスロット近傍の心筋の温度、含水率推移

3. 数値解析

開発したシミュレータを用いて、不整脈カテーテルアブレーション治療時の組織温度を解析した。加熱用アンテナとして、同軸スロットアンテナを用いた。アンテナへの入力電力を 50 W とし、加熱時間を 60 秒とした。電磁界および温度の解析は finite-difference time-domain (FDTD) 法により行った。

図 2 に解析結果を示す。ここでは、加熱に伴う組織物性変化を考慮しない条件における解析値および、実測値も併せて示す。これより、開発シミュレータによる解析値が実測値により近くなることが確認された。

4. まとめ

不整脈カテーテルアブレーション時の組織温度を正確に解析可能な電磁界・温度連成シミュレータの開発を行った。開発したシミュレータを用いて、治療時の組織温度を解析した結果、加熱に伴う組織物性変化を考慮しない場合よりも、より正確な温度を算出することが確認できた。

参考文献

- [1] A. Rosen, 信学技報 MW98-21, pp.59-66, 1998.
- [2] 遠藤雄大, 菊池裕貴, 齊藤一幸, 伊藤公一, “加熱による組織の脱水を考慮したマイクロ波凝固療法の数値解析,” 2015 年電子情報通信学会ソサイエティ大会, p.411, 宮城, Sep. 2015.