

擬似血液を用いた振動カテーテルアブレーション周りの PIV 計測

PIV Measurement using the Pseudo Blood around the Vibration Ablation Catheter

○ 高橋廉 (東北大) 于凱鴻 (東北大) 太田信 (東北大)

Ren Takahashi, Tohoku University

Yu Kaihong, Tohoku University

Makoto Ohta, Tohoku University

Abstract: The tachyarrhythmia is an arrhythmia that pulse is more than 100 times per minute. Catheter ablation has been used for the treatment. Recently, many types of ablation catheters have been developed, and then it is necessary to evaluate their performance. However, since the surrounding environment of the ablation is complicated, it is necessary to construct an in vitro system. In previous in vitro system, the saline is used as a pseudo blood. However, the viscosity of the saline is different from the viscosity of the blood, the catheter cooling from the liquid surround the catheter is considered to be different in the actual heart and in vitro system. In order to investigate this, we have developed a pseudo blood using glycerin and have observed the flow around the catheter by using a technique called PIV.

Key Words: Ablation, Catheter, PIV, Pseudo, Glycerin

1. 背景

心臓の脈拍が不規則になる症状は不整脈と呼ばれる。不整脈は大きく分けて、脈拍が速くなる「頻脈」、脈拍が遅くなる「除脈」、脈拍が飛ぶ「期外収縮」の3種類に分けられる。このうち頻脈性の不整脈は1分間に100回以上、多い場合は400回を超えるものもあり、心臓が空撃ちすることで血液をうまく送ることができなくなる可能性がある⁽¹⁾。「カテーテルアブレーション」はこの頻脈性不整脈を治療する手法の一つとして挙げられる。

これはアブレーション用のカテーテルを大腿静脈や大腿動脈から挿入し、心臓内で不整脈発生の原因となる部位を高周波の電流で焼切することで治療する手法である。投薬治療に比べ、根治しやすく再発しにくいことや、開胸手術に比べて患者に対する負担が小さいことなどから近年注目されている。現在ではアブレーション手術が広く普及することに伴って多くの種類のカテーテルが開発されている。これらの有効性を評価するために、in-vitro システムは有効な手段である。これまで構築されてきた評価システムではカテーテル周辺の血液の代替として0.3%濃度の食塩水や生理食塩水が使われ、疑似血液の粘度を考慮することはなかった⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾。しかし、カテーテル周辺の流体の性質がカテーテル先端の電極の温度に影響を与えることは容易に考えられ、In-vitro でアブレーション手術の現場を再現するためには、疑似血液としての作動流体の粘度を考慮する必要があると考えられる。

そこで本研究ではカテーテルアブレーション中の周辺流体の粘度の違いによる流れの観察を目的とする。血液の粘度は一般的に37°C付近で3~4mPa·sであることが知られている。作動流体の粘度を調整する方法として、本研究ではグリセリンを使用し、アブレーションカテーテルは振動カテーテルと呼ばれるカテーテルを用いて実験を行った。振動カテーテルは、電極を振動させることにより電極の温度を低下させる機能を備えている⁽⁵⁾。電極を60Hz程度に振動させることにより、電極周りに流動が生じることが観測され、電極が冷却されるとYuらは報告している⁽⁵⁾。これらを用いてIn-Vitro システムを構築し、Particle Image Velocimetryによるカテーテル周辺の流れ観察を行ったので報告する。

2. 手法

2.1. 材料

グリセリンは無色透明な蜂蜜状の液体であり、親水性で高い吸湿性を持つ。示性式は $C_3H_5(OH)_3$ 、分子量は92.09で3価のアルコールである。水溶液はニュートン流体として振る舞うことが知られ、蒸留水との混合比で容易に粘度を変化させることができる。

本研究では作動流体の調整はグリセリン50%(w/w)と生理食塩水50%(w/w)の割合で混合し、実験を行った。また比較対象として、生理食塩水のみで作動流体についても同様の実験を行った。

2.2. Particle Image Velocimetry

流体の解析を行う方法に、Particle Image Velocimetry(以下PIVと呼ぶ)がある。これは、高速カメラを用いて流体内に添加したトレーサー粒子の軌跡の動きを捉えることで流体の動きを解析する手法である。PIVの各パラメータは以下の条件とした。

Software: DaVis version 8.1.0, LaVision, Inc., Germany

Method: Cross-correlation technique

Search region: 128×128 pixel

Interest region: 64×64 pixel

Frame rate: 500 fps

Resolution: 512×512 pixel

Scale factor: 0.12 mm/pixel

2.3. アブレーション

本研究におけるアブレーションの条件を以下の方法で行った。

Tissue: Agarose 5%(w/w), NaCl 0.5%(w/w), dH₂O

Working Fluid: · Glycerin 50%(w/w), Saline 50%(w/w)
· Saline 100%

Power: 10W

Contact Force: 2.2gf

また作動流体周辺に流れを発生させる方法として、以下の条件でカテーテルを振動させた。

Amplitude: 5mm

Frequency: 31Hz, 63Hz

3. 結果および考察

グリセリンを用いた作動流体および生理食塩水を疑似血液とした In-vitro システムにおいてアブレーションを行った．その時の様子を PIV 解析した結果を図 1-4 に示す．画像の解析はカテーテルが左と右に振動するそれぞれの場合で行った．左側の図が，カテーテルが右から左側に動いた場合，右側の図がその逆の場合である．

まず作動流体の種類による流れの差異について着目すると，生理食塩水の場合はカテーテル周辺の広い範囲で流れが発生しているのに比べて，グリセリンを用いた作動流体は振動するカテーテルによって作り出される流れの範囲が小さかった．これにより，アブレーション中のカテーテル周辺では，振動による流れの速さは，粘性が高い方が遅くなると考えられる．

次に各作動流体についてカテーテルの振動数の違いによるカテーテル周辺の流れの差異に着目すると，グリセリンを用いた作動流体の場合は振動数の増加に伴ってカテーテル周辺の流れの速さも速くなったと言える．一方，生理食塩水の場合は振動数が 31Hz と 63Hz を比較すると，周辺速度の違いは確認されず，63Hz の方が 31Hz より遅いことが確認された．

以上よりカテーテル周辺の疑似血液の粘度がカテーテル周辺の流れに影響を与える可能性が示唆された．

4. 結論

本研究ではアブレーションカテーテル評価に用いる疑似血液の持つ粘性が，振動アブレーション中のカテーテル周辺の流れに与える影響について，PIV 計測による観察・解析を行った．

この結果から疑似血液の粘度が高くなるとカテーテル周辺の流れは変化しにくくなった．このことは，粘性が電極の温度上昇に与える影響は大きく，実際の血液粘度よりも粘度の低い生理食塩水より，実際の血液粘度を持つ疑似血液を使用する方が好ましいと考えられる．

従って，今後アブレーションカテーテルを評価するシステムの構築をするうえで，粘度を考慮に入れた疑似血液の開発が重要であると言える．

参考文献

- (1) 渡邊英一・奥山裕司(2013)『はじまりは心房細動－脳梗塞にならないために』ライフメディコム
- (2) Pilcher et al., Convective Cooling Effect on Cooled-Tip Catheter Compared to Large-Tip Catheter Radiofrequency Ablation, Journal 2006
- (3) Erdogan et al., Homogeneity and Diameter of Linear Lesions Induced with Multipolar Ablation Catheters: In Vitro and In Vivo Comparison of Pulsed Versus Continuous Radiofrequency Energy Delivery, Journal 2000
- (4) Hong Cao et al., Temperature Measurement within Myocardium During In Vitro RF Catheter Ablation. IEEE TRANSACTIONS ON BIOMEDICAL ENGINEERING 2000; vol. 47, No.11: 1518-1524.
- (5) Kaihong Yu et al., Radiofrequency ablation with a vibrating catheter: A new method for electrode cooling. Medical engineering & physics 2016; Vol.38, Issue 5, 458-467

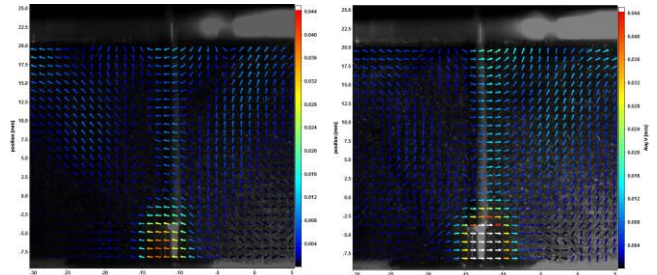


Figure1 PIV with Glycerin (31Hz vibration)

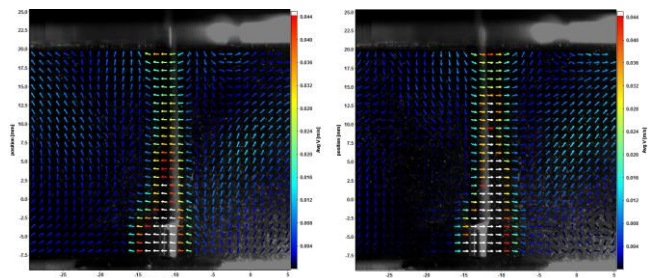


Figure2 PIV with Glycerin (63Hz vibration)

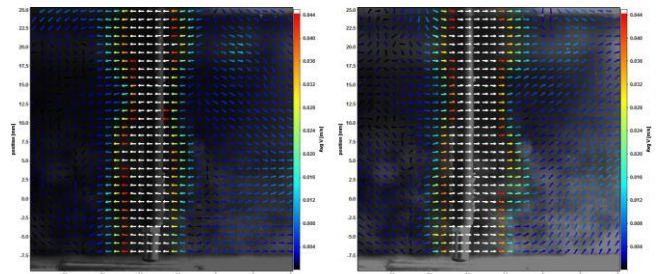


Figure3 PIV with Saline (31Hz vibration)

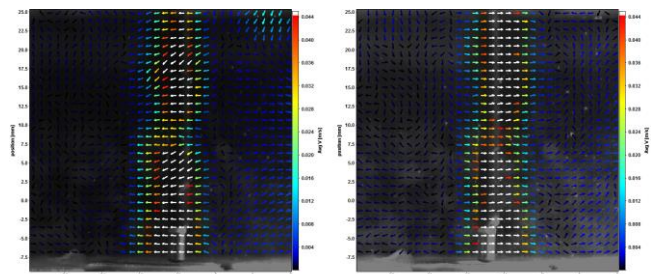


Figure4 PIV with Saline (63Hz vibration)