



## 体外循環血流内の血栓モニタリング法の確立



研究者所属・職名:  
千葉大学・大学院工学研究院・教授

ふりがな たけい まさひろ

氏名: 武居 昌宏

### 主な採択課題:

- [基盤研究\(A\)「マイクロ波プロセス・トモグラフィー法による血流内微小血栓モニタリング法の確立」\(2016-2018\)](#)
- [挑戦的萌芽研究「人工臓器内の高せん断場血栓検出と赤血球膜破断シミュレーションとの融合」\(2014-2015\)](#)
- [基盤研究\(B\)「多次元マイクロ・プロセス・トモグラフィー法によるバイオ流体チップの開発と計測」\(2009-2011\)](#)

分野: 流体力学・電気計測

キーワード: 固液二相流、血栓、人工臓器、体外循環、血流、誘電率、トモグラフィー

### 課題

● **なぜこの研究をおこなったのか?** 現在、世界での死因の31%は循環器系疾患によるものである。その治療法として、人工臓器や体外循環装置が有望視されており、その使用例は年々増加している。しかしながら、重大な問題となっているのがその装置内での血栓形成である。体外循環装置では血液と異物との接触により血栓形成が誘発され、装置内で形成された血栓が血流によって剥離し血栓症を引起す危険性がある。本研究では、体外循環流路に形成された血栓をリアルタイムでモニタリングすることを目的とする。また、形成された血栓の検出だけでなく、血栓形成の兆候の検出と予防も目指す。

● **研究するにあたっての苦労や工夫** 交流電流または電圧を印加し、誘電率や導電率を計測することによって血栓の計測を行う。実際の循環血液は赤血球の量や温度等、様々な条件の変化により変化するため、血栓形成に特化したパラメータの提案を行った。

また、流路全体の計測では微小な血栓の検出は困難であったため、血栓のできやすい箇所に計測領域をフォーカスすることを考案した。循環流路においてコネクタの接続部は血栓の形成されやすい場所として知られている。ここに形成された血栓を検出するために、コネクタに電極を取り付けたコネクタセンサというものを開発した(図2)。

さらに、臨床現場における電気計測を行い、パラメータを評価した。

また、流動中の血液の誘電率分布を計測するために、ECT(電気容量トモグラフィー)センサが作られた。このセンサを使うことで、流路の断面の誘電率分布を可視化することができる。画像から赤血球の分布を知ることができ、それにより血栓形成の兆候を知ることができる。



図1 体外循環流路に形成された血栓

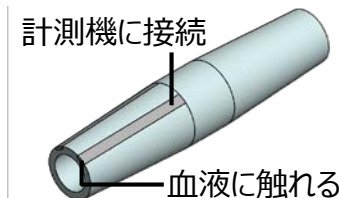


図2 コネクタセンサ

# 体外循環血流内の血栓モニタリング法の確立

## 研究成果

血栓の量、Hct（ヘマトクリット：赤血球の体積分率）、温度それぞれの変化に対する誘電率および導電率の変化の傾向を明らかにした。

閉流路での血栓形成実験においてコネクタセンサを用いた血栓の計測を行った。流路をブタ血液で満たし、凝固剤を注入して循環させ、血栓を形成させた。コネクタセンサを用いて誘電率と導電率を計測して血栓パラメータの変化を求め、同時にOCT（光干渉断層撮影）による計測領域の撮影を行った。結果として、OCT画像の変化した時間に血栓パラメータの急上昇がみられた（図3）。コネクタセンサと血栓パラメータを使用することで、血栓を検出できることが明らかになった。

臨床への応用として、イヌの手術における体外循環血液の計測を行った。誘電率と導電率を計測してHctパラメータ、温度パラメータを計算したところ、これらのパラメータが計測値の動向を再現するのに適していることがわかった。

開発されたECTセンサを使用して誘電率を計測した。計測結果から誘電率分布画像が再構成され、チューブを流れる赤血球の分布を可視化した(図5)。赤色の部分は赤血球の濃度が高く、黄緑色の部分は濃度が低いことを表す。

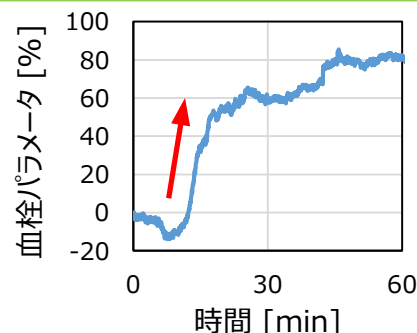


図3 血栓パラメータの変化

Q=0.64 L/min    Q=1.03 L/min    Q=1.6 L/min    Q=2.6 L/min

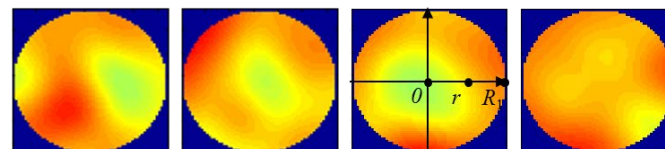


図5 ECTセンサによる計測結果

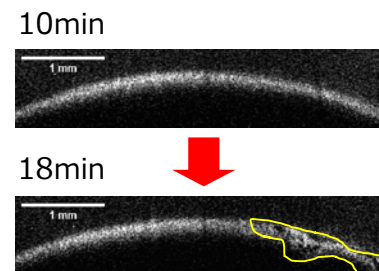


図4 OCT画像の変化

## 今後の展望

血栓パラメータ等と同様にして、ACTや流量に敏感なパラメータを提案することが可能と期待される。特にACTのリアルタイムでの計測は現行の手法から大きく計測時間を短縮することができ、血栓の発生を未然に防ぐのに大きく役立つと考えられる。

コネクタセンサでは、電極配置とデータ解析方法の改良により、血栓の定量評価を目指す。また、今後は循環器系疾患における手術中の体外循環チューブ内の赤血球分布をリアルタイムで可視化するシステムの開発を目指す（図6）。

将来的には、センサを組み込んだ体外循環装置を患者さんが用いることで、血栓形成やその兆候を常にモニタリングでき、血栓症のリスクから患者さんを守れるようになることが期待される。

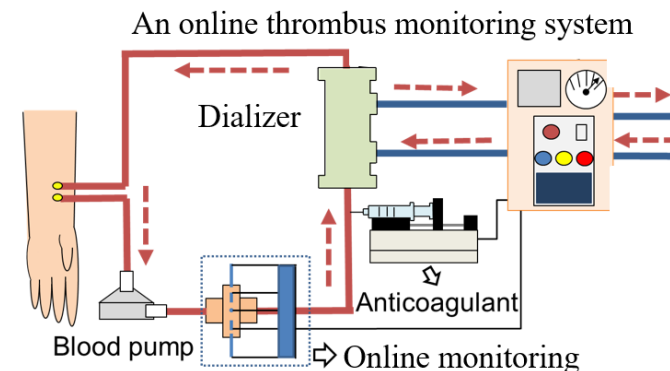


図6 血栓オンラインモニタリングシステム