

Modellierung und Simulation elektrischer und thermischer Felder bei Vorhofflimmern und Kryoablation der Pulmonalvenen

Robin Müssig, Matthias Heinke, Johannes Hörth
University of Applied Sciences Offenburg, Medical Engineering, Offenburg, Germany



Einführung

Die Pulmonalvenenisolation (PVI) ist eine gängige Therapie bei Vorhofflimmern (AF). Der Kryoballoon wurde entwickelt, um die Pulmonalvenen in einem Schritt und in kürzerer Zeit zu isolieren als eine konventionelle Punkt-zu-Punkt-Hochfrequenzablation. Ziel der Studie war es, zwei Kryoballoon-Katheter, einen HF-Katheter und einen Ösophaguskatheter in ein Herzrhythmusmodell zu integrieren und eine statische und dynamische Simulation einer PVI mittels Kryo- und HF-Energie bei AF zu modellieren. Die Modellierung und Simulation erfolgte mit der elektromagnetischen und thermischen Simulationssoftware CST (CST, Darmstadt).

Methodik

Die Modellierung und Simulation erfolgte mit der Simulationssoftware CST (Computer Simulation Technology, Darmstadt). Zwei Kryoballoon (siehe Abbildung 1), ein HF-Ablationskatheter und ein Ösophaguskatheter wurden auf der Grundlage der technischen Handbücher der Hersteller Medtronic und Osypka modelliert. Der 23 mm Kryoballoon und ein kreisförmiger Mappingkatheter wurden in das Offenburger Herzrhythmusmodell integriert (siehe Abbildung 3), genau genommen in die linke untere Pulmonalvene (LIPV) zur Simulation der thermischen Feldausbreitung bei einer PVI (siehe Abbildung 5). Die Simulation einer PVI mit HF-Energie wurde mit dem integrierten HF-Ablationskatheter in der Nähe der Pulmonalvenen durchgeführt. Der im Herzrhythmusmodell platzierte TO8-Ösophaguskatheter ermöglichte die Ableitung linker atrialer elektrischer Felder bei AF und die Analyse von Wärmefeldern während der PVI.

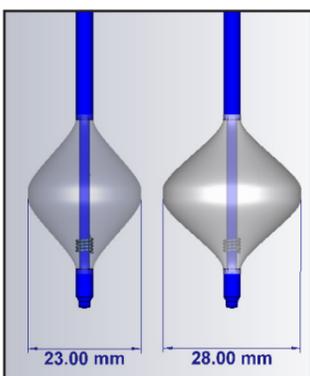


Abbildung 1: Cryoballoon Arctic Front Advance 23mm and 28mm

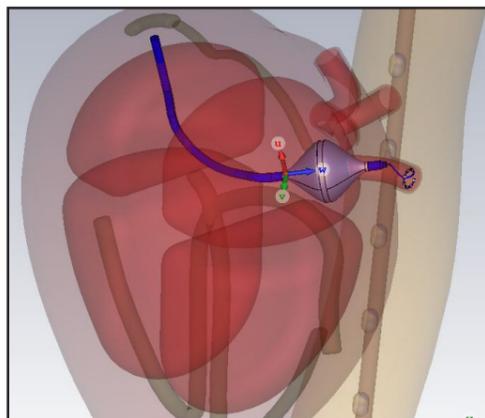


Abbildung 2: Arctic Front Advance in LIPV

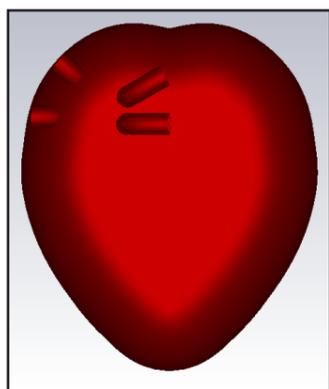


Abbildung 3: Offenburger Herzrhythmusmodell, Rückseite

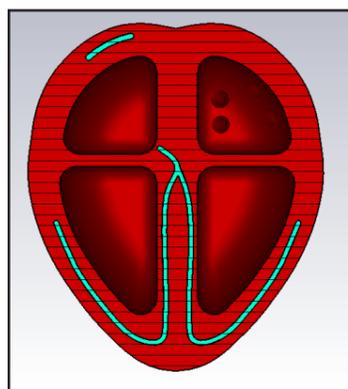


Abbildung 4: Offenburger Herzrhythmusmodell, Vorderseite

Ergebnisse

PVI, insbesondere die Isolierung der LIPV mittels Kryoballoonkatheter, wurde mit einer Temperaturquelle von $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ und einem Exponentialsignal durchgeführt. Die Temperatur an der Ballonoberfläche betrug $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ nach 5 s Ablationszeit, $-17\text{ }^{\circ}\text{C}$ aus dem Ballon 0,5 mm in das Myokard gemessen, bei einem Abstand von 1 mm $10\text{ }^{\circ}\text{C}$, bei 2 mm $32\text{ }^{\circ}\text{C}$ und in einem Abstand von 3 mm $36\text{ }^{\circ}\text{C}$. Die Speiseröhre hielt während des Eingriffs ihre Temperatur von $37\text{ }^{\circ}\text{C}$. Nach 10 s betrug die Temperaturen an den oben beschriebenen Messstellen $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-21\text{ }^{\circ}\text{C}$, $2\text{ }^{\circ}\text{C}$, $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ und $33\text{ }^{\circ}\text{C}$. Nach 20 Sekunden $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-24\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$, $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ und $29\text{ }^{\circ}\text{C}$. Abbildung 5 zeigt die Temperaturverteilung im Gewebe nach 0,5 s, 7 s, 15 s und das Temperaturprofil über die gesamte Ablationszeit von 180 s (siehe Abbildung 6).

Im Ösophagus konnte bei den meisten Simulationen eine konstante Temperatur von $37\text{ }^{\circ}\text{C}$ gemessen werden. Die Gefahr einer Ösophagusfistel wurde damit ausgeschlossen. Bei einer Kryoablation der rechten oberen Pulmonalvene wurde bei Abkühlung des Ösophagus auf $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ gemessen.

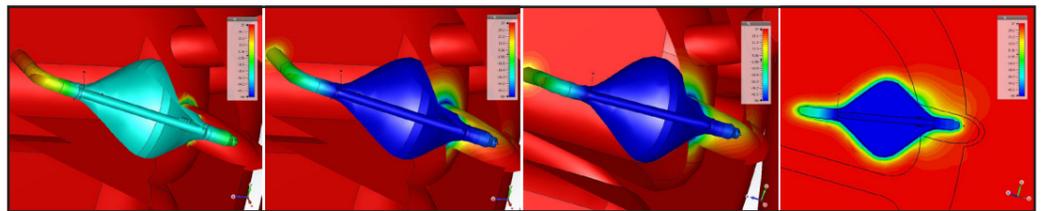


Abbildung 5: Temperatursimulationen während einer PVI (0,5 s, 7 s, 15 s and 180 s)

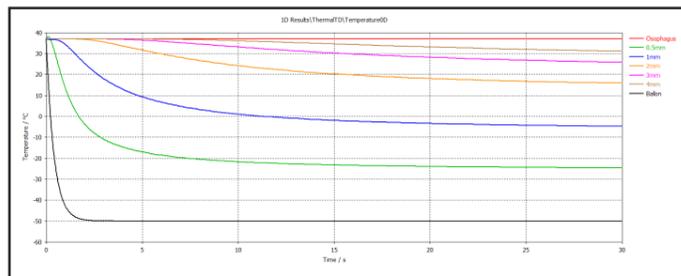


Abbildung 6: Temperaturprofil während einer PVI mittels Kryoenergie

Eine PVI mit HF-Energie wurde mit einer angelegten Leistung von 5 W bei 420 kHz an der distalen 8 mm Ablationselektrode simuliert. Die Temperatur an der Spitzenelektrode betrug $83\text{ }^{\circ}\text{C}$ nach 2 s Ablationszeit, $53\text{ }^{\circ}\text{C}$ von der Spitze aus 0,5 mm in das Myokard gemessen, bei einem Abstand von 1 mm $43\text{ }^{\circ}\text{C}$, bei 2 mm $37\text{ }^{\circ}\text{C}$ und bei einem Abstand von 3 mm $37\text{ }^{\circ}\text{C}$. Nach 5 s waren die Temperaturen an den oben beschriebenen Messstellen $101\text{ }^{\circ}\text{C}$, $65\text{ }^{\circ}\text{C}$, $50\text{ }^{\circ}\text{C}$, $39\text{ }^{\circ}\text{C}$ und $37\text{ }^{\circ}\text{C}$. Nach 15 Sekunden $110\text{ }^{\circ}\text{C}$, $75\text{ }^{\circ}\text{C}$, $58\text{ }^{\circ}\text{C}$, $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ und $38\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Abbildung 7 zeigt die Temperaturverteilung im Gewebe nach 1 s, 5 s, 15 s und das Temperaturprofil über die gesamte Ablationszeit von 15 s grafisch (siehe Abbildung 8).

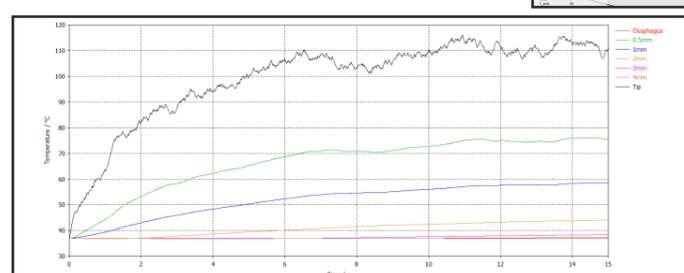
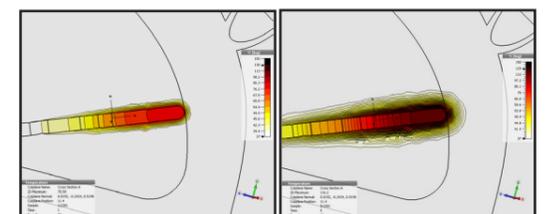


Abbildung 8: Temperaturprofil während einer PVI mittels RF-Energie

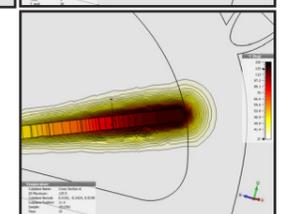


Abbildung 7: Temperaturverteilung bei RF- Ablation (1 s, 5 s, 15 s)

Zusammenfassung

Die Herzrhythmusmodellierung von elektrischen und thermischen Feldern ermöglicht den Einsatz verschiedener Herzkatheter für statische und dynamische Simulationen von PVI durch Kryoablation, HF-Ablation und Temperaturanalyse im Ösophagus. Die 3D-Simulation des Temperaturprofils kann verwendet werden, um die HF- und Kryoablation zu optimieren, indem ein Modell in der personalisierten Herzrhythmustherapie aus MRT- oder CT-Daten eines Herzens erstellt und eine günstige Position für die Ablation gefunden werden.