

การใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อศึกษาการกระจายอุณหภูมิในการทำลาย
เซลล์มะเร็งตับบริเวณใกล้เส้นเลือดขนาดใหญ่โดยคลื่นความถี่วิทยุ

USING FINITE ELEMENT ANALYSIS FOR A STUDY OF TEMPERATURE
DISTRIBUTION DURING RADIO-FREQUENCY ABLATION OF HEPATIC-
TISSUE ADJACENT TO LARGE BLOOD VESSEL

อภินันท์ กาธรรมมา
APINAN KATHAMMA

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์ชีวการแพทย์
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2550
ISBN XX-XX-XX

**USING FINITE ELEMENT ANALYSIS FOR A STUDY OF TEMPERATURE
DISTRIBUTION DURING RADIO-FREQUENCY ABLATION OF HEPATIC-
TISSUE ADJACENT TO LARGE BLOOD VESSEL**

APINAN KATHAMMA

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN BIOMEDICAL ELECTRONICS
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2007
ISBN XX-XX-XX**

COPYRIGHT 2007

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อศึกษาการกระจายอุณหภูมิในการทำลายเซลล์มะเร็งระดับบริเวณใกล้เคียงเนื้อขนาดใหญ่โดยคลื่นความถี่วิทยุ
นักศึกษา	นายอภิรักษ์ กาญจนา
รหัสประจำตัว	48061403
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	อิเล็กทรอนิกส์ชีวการแพทย์
พ.ศ.	2550
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	ผศ. ดร. สุพันธุ์ ตั้งจิตกุศลมั่น

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อศึกษาการทำลายเซลล์มะเร็งระดับในบริเวณใกล้เคียงเนื้อขนาดใหญ่โดยคลื่นความถี่วิทยุ โดยทำการวิเคราะห์ถึงการกระจายอุณหภูมิ ลักษณะและขนาดของรอยแผลที่เกิดขึ้นในแบบจำลองแบบ 3 มิติ ซึ่งเป็นการจำลองการทำลายเซลล์มะเร็งระดับด้วยคลื่นความถี่วิทยุแบบควบคุมอุณหภูมิที่ 90°C เวลาในการทำลาย 600 วินาที การจำลองการทำลายเซลล์มะเร็งด้วยคลื่นความถี่วิทยุในงานวิจัยนี้ แบ่งการจำลองออกเป็น 2 ลักษณะคือ การจำลองการทำลายในเนื้อเยื่อติดปกติกับการทำลายในก้อนเซลล์มะเร็ง แบบจำลองทั้งสองจะประกอบไปด้วยกรณีที่มีเส้นเลือดขนาดใหญ่และไม่มีเส้นเลือดขนาดใหญ่ซึ่งนำมาใช้วิเคราะห์ถึงผลของระยะห่างที่ตำแหน่งต่างๆระหว่างอิเล็กโทรดและเส้นเลือดขนาดใหญ่ต่อการทำลายเซลล์มะเร็งระดับด้วยคลื่นความถี่วิทยุ จากผลการทดลองพบว่าการกระจายอุณหภูมิของเนื้อเยื่อติดปกติกับก้อนเซลล์มะเร็งมีความแตกต่างกัน และในแบบจำลองกรณีที่มีเส้นเลือดขนาดใหญ่ผลของการกระจายอุณหภูมิจะขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรดกับเส้นเลือดขนาดใหญ่ โดยที่ระยะอิเล็กโทรดติดกับเส้นเลือดขนาดใหญ่จะมีการกระจายอุณหภูมิที่มีความแตกต่างกับกรณีไม่มีเส้นเลือดขนาดใหญ่มากที่สุด ส่วนที่ระยะระหว่างอิเล็กโทรดกับเส้นเลือดขนาดใหญ่ที่ 5 มิลลิเมตรพบว่ามีผลต่อการกระจายอุณหภูมิน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับระยะห่าง 1 และ 3 มิลลิเมตร

Thesis Title	Using finite element analysis for a study of temperature distribution during radio-frequency ablation of hepatic- tissue adjacent to large blood vessel
Student	Mr. Apinan Kathamma
Student ID.	48061403
Degree	Master of Engineering
Programme	Biomedical Electronics
Year	2007
Thesis Advisor	Asst. Prof. Dr. Supan Tungjitkusolmun

ABSTRACT

This thesis presents a study on the temperature distribution during RF ablation of hepatic-tissue adjacent to large blood vessel using finite element method. We analyzed the temperature distribution, characteristics and dimensions of lesion. We constructed three-dimension (3D) model to simulate ablation process under temperature-controlled (90°C) mode for duration of 600 s. The simulations in this study were performed for radio-frequency ablation of normal hepatic tissue, as well as for hepatic cancer tissue, with and without the presence of a large blood vessel. We also analyzed the effect of spacing distances between the electrode and the large blood vessel on cancer tissue destruction using radio-frequency ablation. The temperature distributions found in normal and cancer tissue were found to be significantly different. In addition, simulation results of cases where the blood vessel was included in the model showed that the temperature distributions were greatly affected by the distance between electrode and blood vessel. The largest discrepancy of temperature distribution between the case with no blood vessel and the cases with blood vessel was found to be largest when the distance between the electrode and the blood vessel was smallest (0 mm). The effect of blood vessel was negligible when electrode was placed at 5 mm away from the blood vessel, when compared to cases where spacing distance were 1 mm and 3 mm.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดี ด้วยความช่วยเหลือจากบุคคลหลายๆท่าน ซึ่งผู้เขียนขอขอบคุณทุกท่านดังนี้

ขอขอบพระคุณ ผศ. ดร. สุพันธุ์ ตั้งจิตกุศลมั่น ผู้ให้คำปรึกษา วางแนวทาง ตลอดจนชี้แนะให้งานวิจัยนี้บรรลุเป้าหมายและติดตามเกี่ยวกับงานวิจัยตลอดมา

ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ผู้ซึ่งคอยให้การอบรมสั่งสอน ให้การสนับสนุนและเป็นกำลังใจทางด้านการเรียนมาโดยตลอด

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

อภินันท์ กาธรรมชาติ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ.....	I
ABSTRACT.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญรูป	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา	2
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	3
1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในงานวิจัย.....	3
1.5 ขอบเขตของงานวิจัย.....	3
1.6 โครงสร้างวิทยานิพนธ์.....	3
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 บทนำ.....	5
2.2 การถ่ายเทความร้อน.....	5
2.2.1 การนำความร้อน.....	5
2.2.2.1 ค่าการนำความร้อน.....	9
2.2.2 การพาความร้อน.....	11
2.2.3 การแผ่รังสีความร้อน.....	13
2.3 พื้นฐานการกระจายความร้อนในเนื้อเยื่อ.....	15
2.4 สมการความร้อนทางชีววิทยา.....	16
2.5 ลักษณะทางกายวิภาคเบื้องต้นของตับ.....	17
2.5.1 การไหลเวียนเลือดในตับ.....	17
2.5.2 หน้าที่การทำงานของตับ.....	18
2.6 โรคมะเร็ง.....	19
2.6.1 การแพร่กระจายของมะเร็ง.....	20

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.6.2 ขั้นตอนการเกิดมะเร็ง.....	21
2.7 หลักการทำลายเซลล์มะเร็งด้วยคลื่นความถี่วิทยุ.....	23
บทที่ 3 ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์.....	27
3.1 บทนำ.....	27
3.2 ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์.....	27
3.3 การแก้ปัญหาทางความร้อนและทางไฟฟ้าแบบ 3 มิติ.....	29
3.3.1 การแก้ปัญหาทางด้านความร้อน.....	29
3.3.2 การแก้ปัญหาทางไฟฟ้า.....	32
3.4 กระบวนการแก้ปัญหากับไฟไนต์เอลิเมนต์ซอฟต์แวร์.....	35
3.5 การประยุกต์ใช้วิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์.....	36
บทที่ 4 การประมวลผลการทดลองวิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์ด้วย COMSOL Multiphysics.....	38
4.1 บทนำ.....	38
4.2 ซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการประมวลผล.....	38
4.3 กระบวนการวิเคราะห์วิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์ด้วย COMSOL Multiphysics.....	38
4.4 ลักษณะการควบคุมอุณหภูมิของแบบจำลอง.....	39
4.5 การออกแบบแบบจำลอง.....	40
4.6 การกำหนดค่าคงที่ต่างๆของแบบจำลอง.....	43
4.7 การ MESH แบบจำลอง.....	45
4.8 การกำหนดเงื่อนไขขอบเขตบนแบบจำลอง.....	48
4.9 การประมวลผลข้อมูลบนแบบจำลอง.....	49
บทที่ 5 ผลการทดลองของแบบจำลองด้วยวิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์.....	50
5.1 ผลการทดลองแสดงการกระจายของอุณหภูมิในแบบจำลองเนื้อเยื่อตับปกติ.....	51
5.1.1 กรณีที่ 1 แบบจำลองเนื้อเยื่อตับปกติ โดยไม่มีเส้นเลือดขนาดใหญ่.....	51
5.1.2 กรณีที่ 2 แบบจำลองเนื้อเยื่อตับปกติโดยมีหลอดเลือดติดกับเส้นเลือด.....	52

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

5.1.3	กรณีที่ 3 แบบจำลองเนื้อเยื่อตับปกติโดยมีระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรดกับเส้นเลือดเท่ากับ 1 มิลลิเมตร.....	53
5.1.4	กรณีที่ 4 แบบจำลองเนื้อเยื่อตับปกติโดยมีระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรดกับเส้นเลือดเท่ากับ 3 มิลลิเมตร.....	54
5.1.5	กรณีที่ 3 แบบจำลองเนื้อเยื่อตับปกติโดยมีระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรดกับเส้นเลือดเท่ากับ 5 มิลลิเมตร.....	55
5.2	ผลการทดลองแสดงการกระจายของอุณหภูมิในแบบจำลองเนื้อเยื่อตับที่มีเซลล์มะเร็ง.....	57
5.2.1	กรณีที่ 1 แบบจำลองเนื้อเยื่อตับที่มีเซลล์ โดยไม่มีเส้นเลือดขนาดใหญ่.....	57
5.2.2	กรณีที่ 2 แบบจำลองเนื้อเยื่อตับที่มีเซลล์มะเร็งโดยอิเล็กโทรดติดกับเส้นเลือด.....	58
5.2.3	กรณีที่ 3 แบบจำลองเนื้อเยื่อตับที่มีเซลล์มะเร็งโดยมีระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรดกับเส้นเลือดเท่ากับ 1 มิลลิเมตร.....	59
5.2.4	กรณีที่ 4 แบบจำลองเนื้อเยื่อตับที่มีเซลล์โดยมีระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรดกับเส้นเลือดเท่ากับ 3 มิลลิเมตร.....	60
5.2.5	กรณีที่ 5 แบบจำลองเนื้อเยื่อตับที่มีเซลล์มะเร็งโดยมีระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรดกับเส้นเลือดเท่ากับ 5 มิลลิเมตร.....	61
บทที่ 6	สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ	64
6.1	สรุปผลงานวิจัย.....	64
6.2	ข้อเสนอแนะในการพัฒนาต่อไป.....	65
	เอกสารอ้างอิง.....	66
	ภาคผนวก ก ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์.....	69
	ประวัติผู้เขียน.....	70

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ค่าการนำความร้อน k ของโลหะ อโลหะ ของแข็ง ของเหลว และแก๊สบางชนิด.....	10
2.2 ค่าโดยประมาณของสัมประสิทธิ์การพาความร้อนเฉลี่ย.....	13
4.1 คุณสมบัติจำเพาะของวัสดุที่ 500 kHz ที่ใช้กับแบบจำลอง.....	44
4.2 แสดงจำนวนอิเล็กเมนต์ของแบบจำลองเนื้อเยื่อตับปกติทั้ง 5 กรณี.....	47
4.3 แสดงจำนวนอิเล็กเมนต์ของแบบจำลองเนื้อเยื่อตับที่มีก้อนเซลล์มะเร็งทั้ง 5 กรณี.....	47
5.1 ตารางแสดงขนาดของรอยแผลที่เกิดขึ้นในการทดลองแบบจำลองเนื้อเยื่อปกติ.....	63
5.2 ตารางแสดงขนาดของรอยแผลที่เกิดขึ้นในการทดลองแบบจำลองก้อนเซลล์มะเร็ง.....	63

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 (ก) แสดงเครื่องหมายของค่า dT/dx	6
2.1 (ข) แสดงทิศทางการไหลของความร้อน.....	6
2.2 แสดงปริมาณควบคุม dx, dy, dz	7
2.3 การพัฒนาชั้นของขอบเขตในการพาความร้อน.....	12
2.4 กราฟแสดงผลกระทบของอุณหภูมิต่อเซลล์มะเร็ง.....	15
2.5 แสดงลักษณะกายวิภาคของตับ.....	17
2.6 แสดงลักษณะทางกายภาพของเส้นเลือดต่างๆภายในตับ.....	19
2.7 แผนภาพแสดงขั้นตอนการเกิดมะเร็ง.....	20
2.8 แผนภาพแสดงลักษณะของก้อนมะเร็ง.....	22
2.9 แสดงรูปแบบการทำลายเซลล์มะเร็งตับด้วยคลื่นความถี่วิทยุ.....	24
2.10 แสดงลักษณะของเครื่องกำเนิดความถี่วิทยุและอิเล็กทรอนิกส์ในการรักษามะเร็งด้วยคลื่นวิทยุ.....	24
2.11 แสดงการใช้อัลตราซาวด์เป็นเครื่องมือนำทางหาตำแหน่งการรักษามะเร็งตับ.....	25
3.1 แสดงแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ที่ถูกแบ่งออกเป็นเอลิเมนต์และโหนด.....	27
3.2 รูปแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ของกระดูก.....	37
4.1 กระบวนการวิเคราะห์ห้วงวิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์ด้วยโปรแกรม COMSOL Multiphysics.....	38
4.2 แสดงขนาดและโครงสร้างของโพรบที่ใช้ในการจำลองด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์.....	41
4.3 แสดงขนาดและลักษณะก้อนเซลล์มะเร็ง.....	41
4.4 แสดงแบบจำลองเนื้อเยื่อตับปกติ ก้อนเซลล์มะเร็งและเส้นเลือดขนาดใหญ่.....	42
4.5 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยของความร้อนไฟฟ้าเนื้อเยื่อตับปกติและเนื้อเยื่อที่เป็นมะเร็ง.....	43
4.6 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของเส้นเลือดขนาดใหญ่ภายในตับ.....	45
4.7 แสดงการ MESH แบบจำลองเนื้อเยื่อตับปกติและเส้นเลือดขนาดใหญ่.....	46
4.8 แสดงการ MESH แบบจำลองเนื้อเยื่อตับที่เซลล์มะเร็งและเส้นเลือดขนาดใหญ่.....	46
4.9 แสดงการกำหนดขอบเขตของแบบจำลองเนื้อเยื่อตับปกติ.....	48
4.10 แสดงการกำหนดขอบเขตของแบบจำลองเนื้อเยื่อตับที่มีก้อนเซลล์มะเร็ง.....	48
5.1 ภาพแสดงส่วนตัดขวางในระนาบต่างๆเพื่อใช้ดูลักษณะการกระจายอุณหภูมิเนื้อเยื่อ.....	50
5.2 แสดงผลการกระจายอุณหภูมิในเนื้อเยื่อตับปกติ กรณีที่ 1 ในระนาบ ZX.....	51
5.3 แสดงผลการกระจายอุณหภูมิในเนื้อเยื่อตับปกติ กรณีที่ 1 ในระนาบ XY.....	51
5.4 แสดงผลการกระจายอุณหภูมิในเนื้อเยื่อตับปกติ กรณีที่ 2 ในระนาบ ZX.....	52

สารบัญรูป(ต่อ)

หน้า

5.5 แสดงผลการกระจายอุณหภูมิในเนื้อเยื่อตับปกติ กรณีที่ 2 ในระนาบ XY.....	52
5.6 แสดงผลการกระจายอุณหภูมิในเนื้อเยื่อตับปกติ กรณีที่ 3 ในระนาบ ZX.....	53
5.7 แสดงผลการกระจายอุณหภูมิในเนื้อเยื่อตับปกติ กรณีที่ 3 ในระนาบ XY.....	53
5.8 แสดงผลการกระจายอุณหภูมิในเนื้อเยื่อตับปกติ กรณีที่ 4 ในระนาบ ZX.....	54
5.9 แสดงผลการกระจายอุณหภูมิในเนื้อเยื่อตับปกติ กรณีที่ 4 ในระนาบ XY.....	54
5.10 แสดงผลการกระจายอุณหภูมิในเนื้อเยื่อตับปกติ กรณีที่ 5 ในระนาบ ZX.....	55
5.11 แสดงผลการกระจายอุณหภูมิในเนื้อเยื่อตับปกติ กรณีที่ 5 ในระนาบ XY.....	55
5.12 แสดงผลการกระจายอุณหภูมิในเนื้อเยื่อตับที่มีก้อนเซลล์มะเร็ง กรณีที่ 1 ในระนาบ ZX.....	57
5.13 แสดงผลการกระจายอุณหภูมิในเนื้อเยื่อตับที่มีก้อนเซลล์มะเร็ง กรณีที่ 1 ในระนาบ XY.....	57
5.14 แสดงผลการกระจายอุณหภูมิในเนื้อเยื่อตับที่มีก้อนเซลล์มะเร็ง กรณีที่ 2 ในระนาบ ZX.....	58
5.15 แสดงผลการกระจายอุณหภูมิในเนื้อเยื่อตับที่มีก้อนเซลล์มะเร็ง กรณีที่ 2 ในระนาบ XY.....	58
5.16 แสดงผลการกระจายอุณหภูมิในเนื้อเยื่อตับที่มีก้อนเซลล์มะเร็ง กรณีที่ 3 ในระนาบ ZX.....	59
5.17 แสดงผลการกระจายอุณหภูมิในเนื้อเยื่อตับที่มีก้อนเซลล์มะเร็ง กรณีที่ 3 ในระนาบ XY.....	59
5.18 แสดงผลการกระจายอุณหภูมิในเนื้อเยื่อตับที่มีก้อนเซลล์มะเร็ง กรณีที่ 4 ในระนาบ ZX.....	60
5.19 แสดงผลการกระจายอุณหภูมิในเนื้อเยื่อตับที่มีก้อนเซลล์มะเร็ง กรณีที่ 4 ในระนาบ XY.....	60
5.20 แสดงผลการกระจายอุณหภูมิในเนื้อเยื่อตับที่มีก้อนเซลล์มะเร็ง กรณีที่ 5 ในระนาบ ZX.....	61
5.21 แสดงผลการกระจายอุณหภูมิในเนื้อเยื่อตับที่มีก้อนเซลล์มะเร็ง กรณีที่ 5 ในระนาบ XY.....	61
5.22 รูปแบบจำลองแสดงขนาดรอยแผลที่เกิดขึ้นในการทดลองในกรณีที่ 1-5 ทั้งใน แบบจำลองเนื้อเยื่อตับปกติและแบบจำลองก้อนเซลล์มะเร็ง.....	63