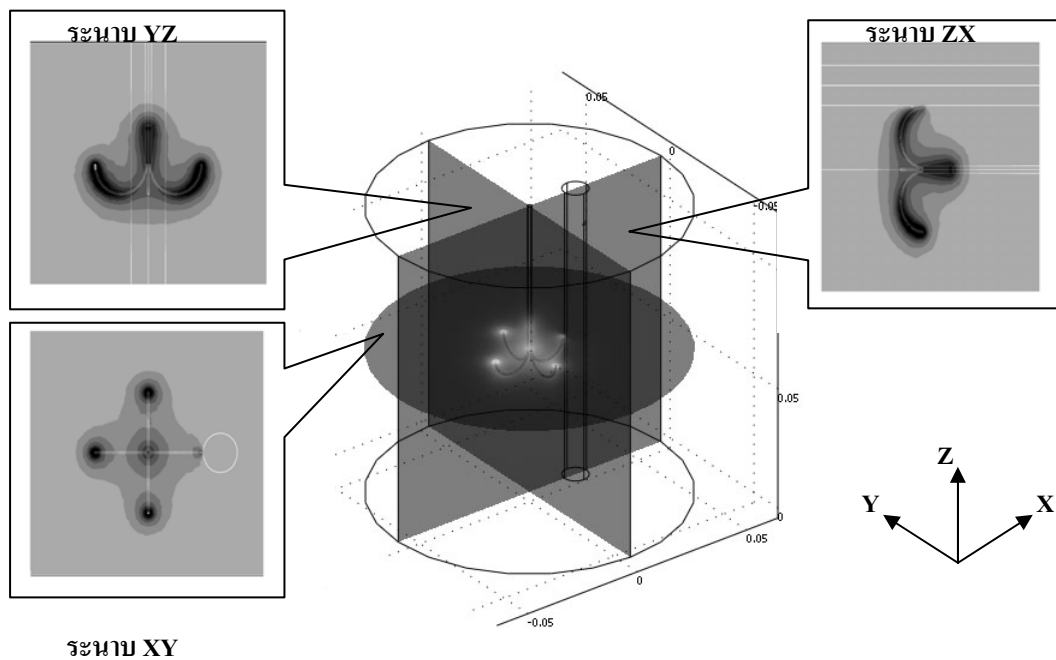


## บทที่ 5

### ผลการทดลองของแบบจำลองโดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

ในการทดลองได้ทำการกำหนดเงื่อนไขในการทดลอง เพื่อใช้เป็นการวางขอบเขตและเงื่อนไข ดังนี้ ทำการควบคุมอุณหภูมิสูงสุดที่เกิดขึ้นได้ในระบบที่อุณหภูมิ 90 °C และทำการควบคุมเวลาที่ 600 วินาที ในการทดลองได้แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วน โดยในส่วนแรกเป็นการทดลองในเนื้อเยื่อตับปกติซึ่งมี 5 กรณีย ในส่วนที่สองเป็นการทดลองในเนื้อเยื่อตับที่มีก้อนเซลล์มะเร็งอีก 5 กรณีย การทดลองทั้ง 2 ส่วนนี้จะทำการศึกษาถึงผลกระทบของหลอดเลือดขนาดใหญ่ต่อการทำลายเซลล์มะเร็งด้วยคลื่นความถี่วิทยุที่ระยะต่างๆระหว่างอิเล็กโทรดกับหลอดเลือด ผลการทดลองจะแสดงถึงการกระจายของอุณหภูมิ ลักษณะและขนาดของรอยแผลที่เกิดขึ้น

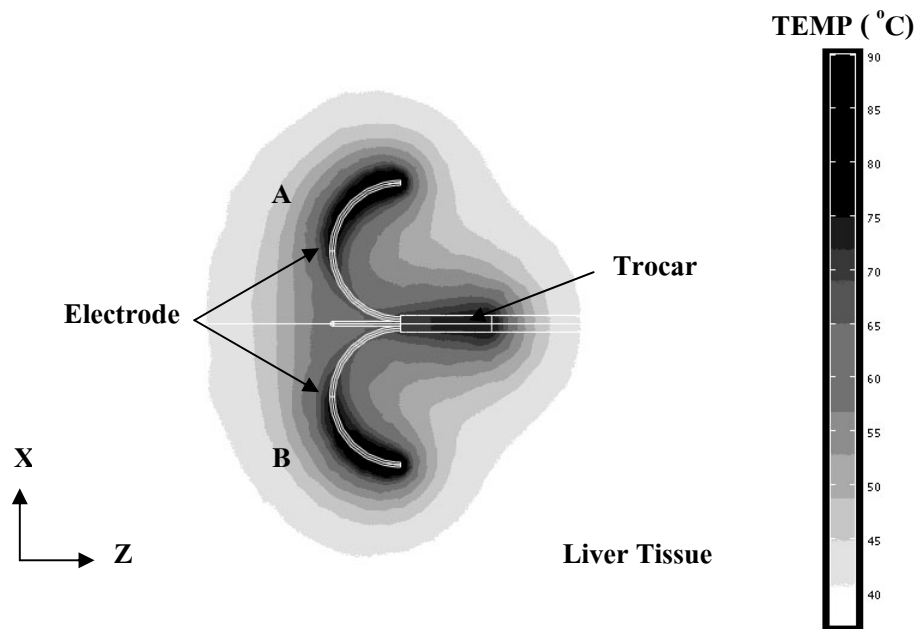


รูปที่ 5.1 ภาพแสดงส่วนตัดขวางในระนาบต่างๆ เพื่อใช้ดูลักษณะการกระจายอุณหภูมิของเนื้อเยื่อ

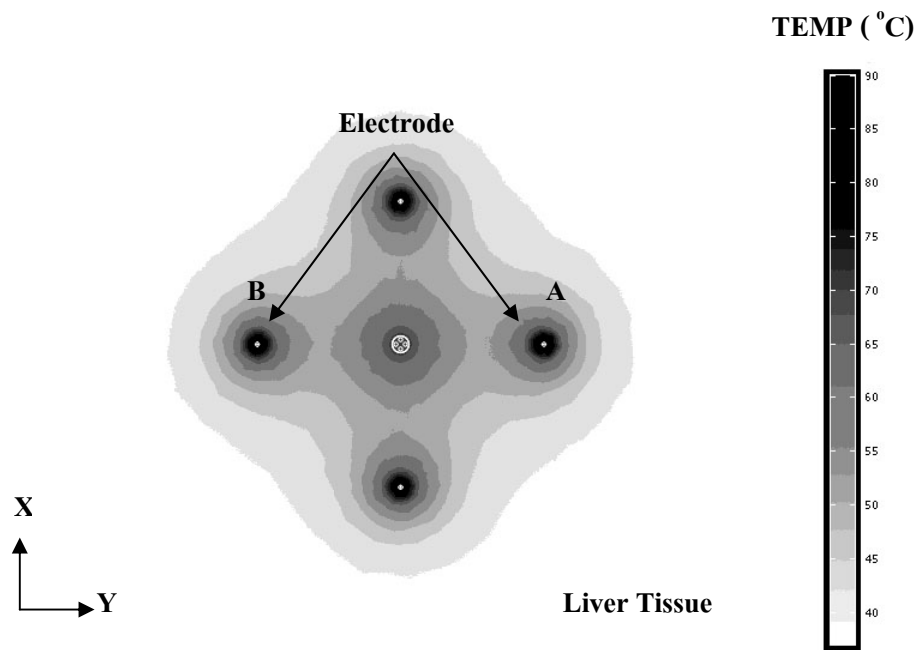
ในการทดลองด้วยแบบจำลองเนื้อเยื่อตับปกติและก้อนมะเร็งด้วยวิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์ จะทำการกำหนดแรงดันที่อิเล็กโทรดและกำหนดผิวนอกของเนื้อเยื่อตับปกติเป็นกราวด์ ในการกำหนดแรงดันที่เพิ่มขึ้นหรือลดลง จะพิจารณาจากอุณหภูมิสูงสุดที่เกิดขึ้นภายในระบบ ซึ่งในการทดลองนี้ได้กำหนดให้เป็นการจำลองแบบควบคุมอุณหภูมิที่ 90 °C

## 5.1 ผลการทดลองแสดงการกระจายของอุณหภูมิในแบบจำลองเนื้อเยื่อตับปกติ

### 5.1.1 กรณีที่ 1 แบบจำลองเนื้อเยื่อตับปกติ โดยไม่มีเส้นเลือดขนาดใหญ่

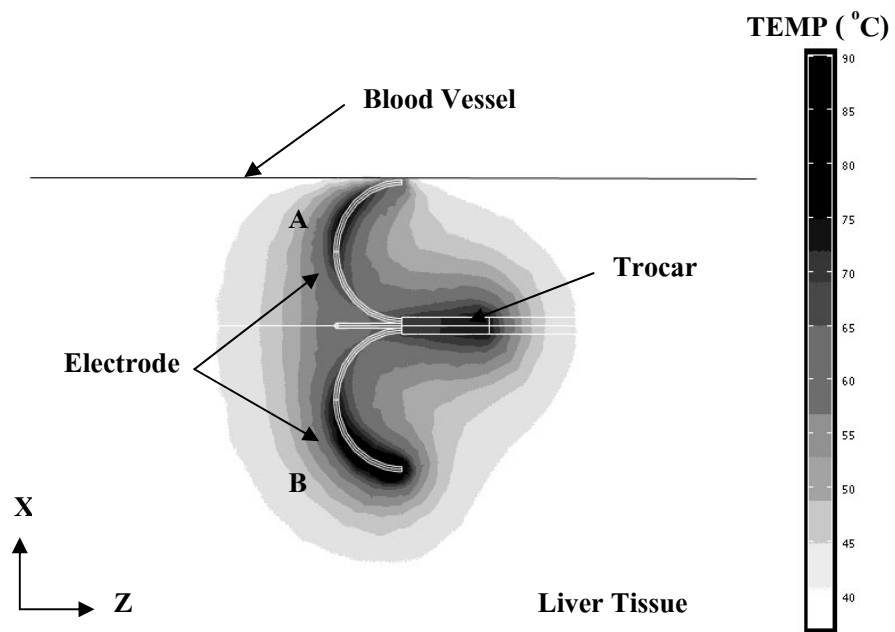


รูปที่ 5.2 แสดงผลการกระจายของอุณหภูมิในเนื้อเยื่อตับปกติ กรณีที่ 1 ในระนาบ ZX

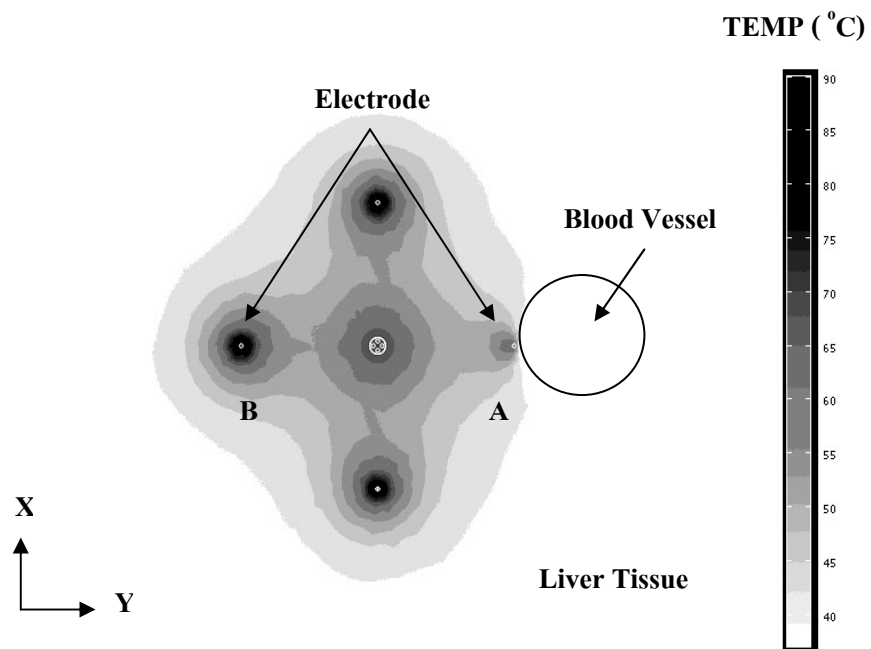


รูปที่ 5.3 แสดงผลการกระจายของอุณหภูมิในเนื้อเยื่อตับปกติ กรณีที่ 1 ในระนาบ XY

### 5.1.2 กรณีที่ 2 แบบจำลองเนื้อเยื่อตับปกติโดยอิเล็กโทรดติดกับเส้นเลือดขนาดใหญ่

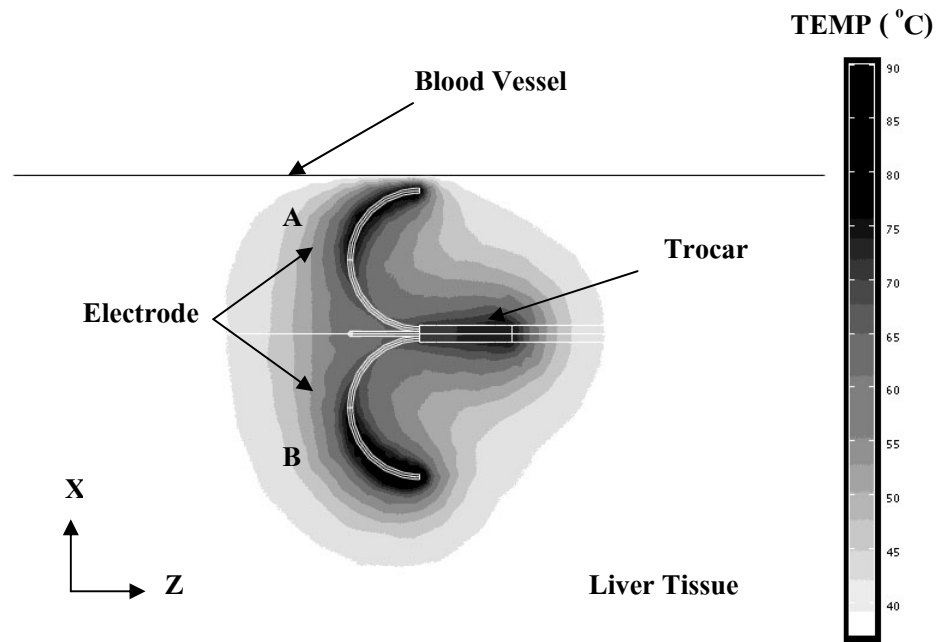


รูปที่ 5.4 แสดงผลการกระจายของอุณหภูมิในเนื้อเยื่อตับปกติ กรณีที่ 2 ในระนาบ ZX

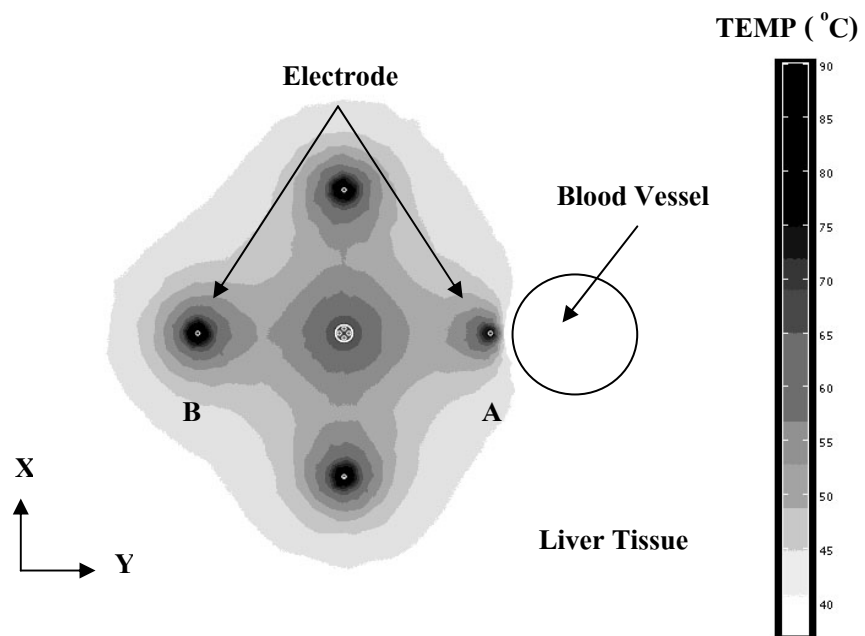


รูปที่ 5.5 แสดงผลการกระจายของอุณหภูมิในเนื้อเยื่อตับปกติ กรณีที่ 2 ในระนาบ XY

5.1.3 กรณีที่ 3 แบบจำลองเนื้อเยื่อตับปกติโดยมีระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรดกับเส้นเลือดเท่ากับ 1 มิลลิเมตร

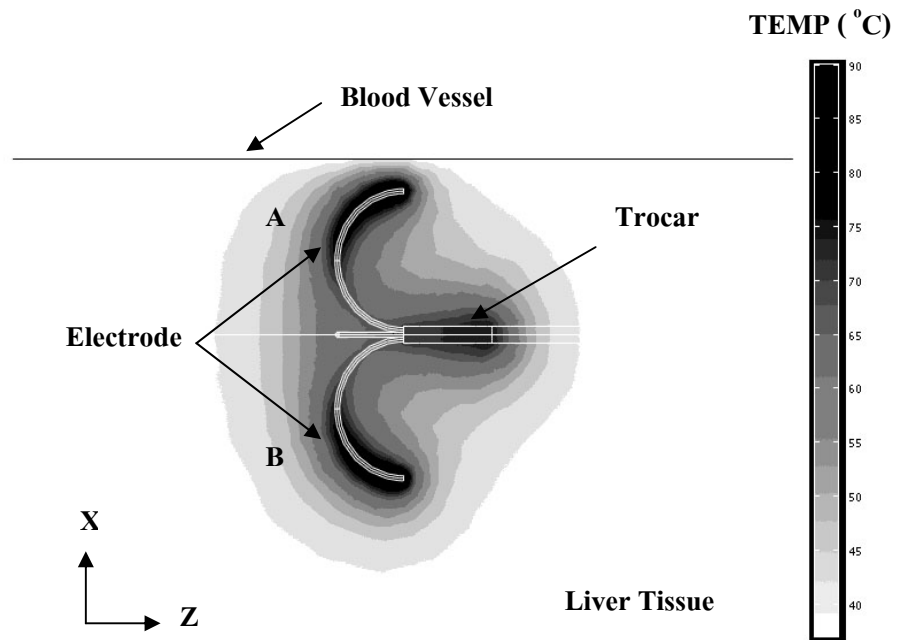


รูปที่ 5.6 แสดงผลการกระจายของอุณหภูมิในเนื้อเยื่อตับปกติ กรณีที่ 3 ในระนาบ ZX

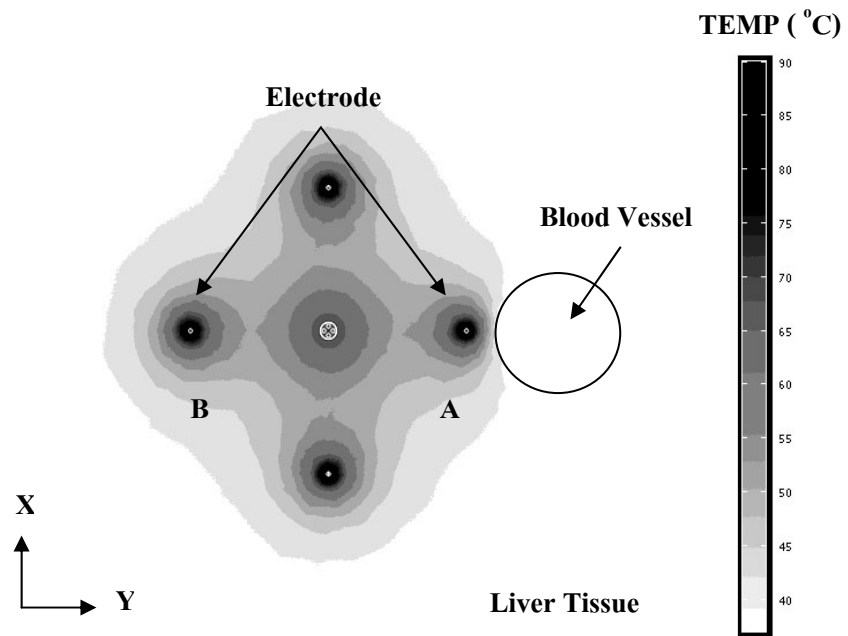


รูปที่ 5.7 แสดงผลการกระจายของอุณหภูมิในเนื้อเยื่อตับปกติ กรณีที่ 3 ในระนาบ XY

5.1.4 กรณีที่ 4 แบบจำลองเนื้อเยื่อตับปกติโดยมีระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรดกับเส้นเลือดเท่ากับ 3 มิลลิเมตร

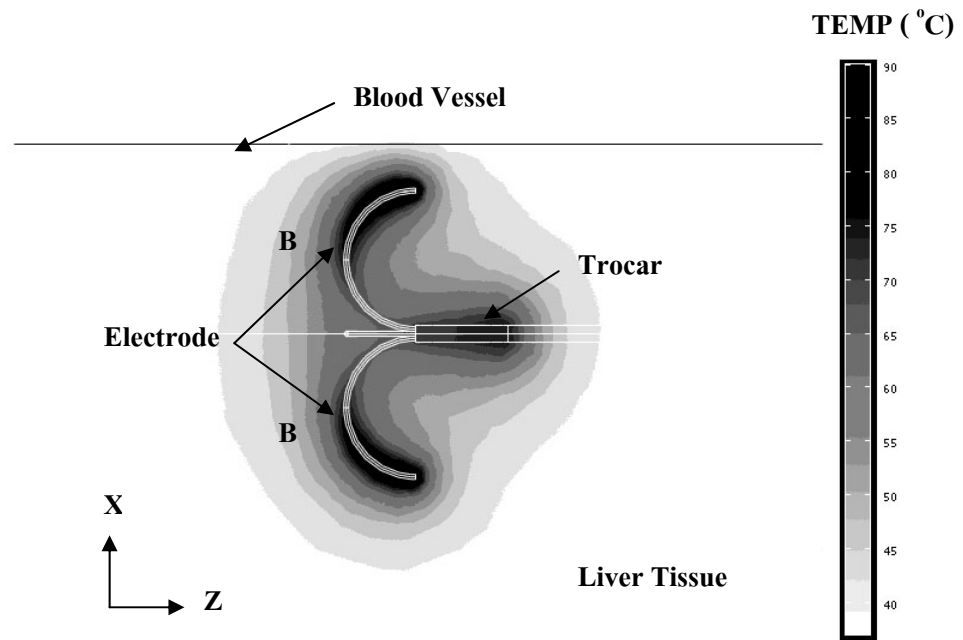


รูปที่ 5.8 แสดงผลการกระจายของอุณหภูมิในเนื้อเยื่อตับปกติ กรณีที่ 4 ในระนาบ ZX

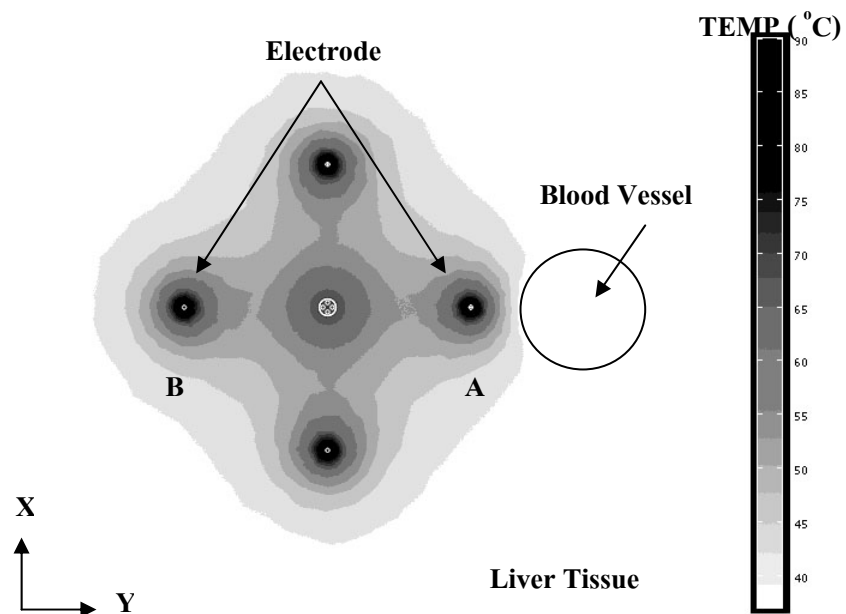


รูปที่ 5.9 แสดงผลการกระจายของอุณหภูมิในเนื้อเยื่อตับปกติ กรณีที่ 4 ในระนาบ XY

5.1.5 กรณีที่ 5 แบบจำลองเนื้อเยื่อตับปกติโดยมีระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรดกับเส้นเลือดเท่ากับ 5 มิลลิเมตร



รูปที่ 5.10 แสดงผลการกระจายของอุณหภูมิในเนื้อเยื่อตับปกติ กรณีที่ 5 ในระนาบ ZX

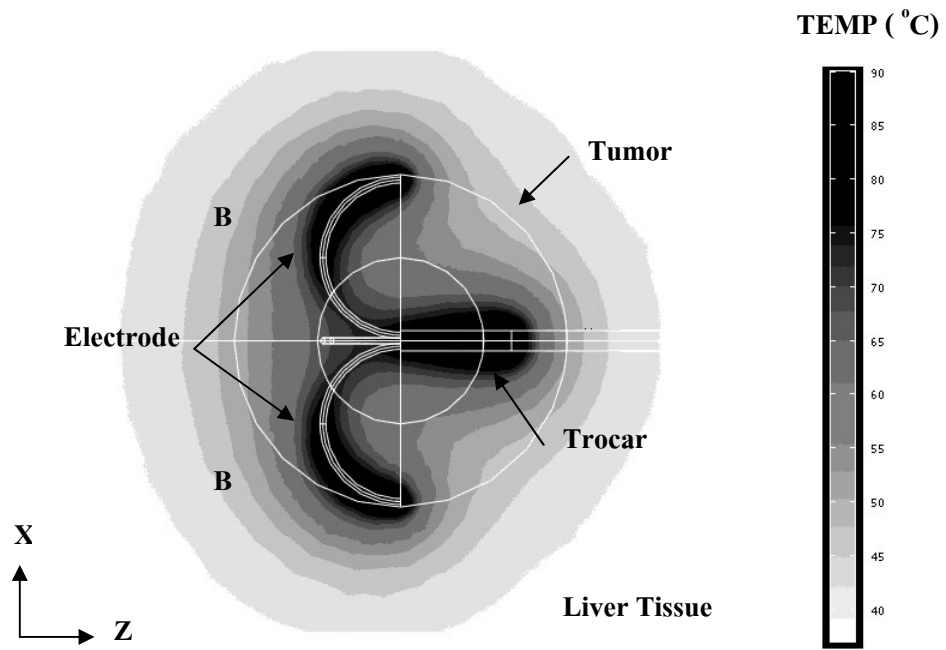


รูปที่ 5.11 แสดงผลการกระจายของอุณหภูมิในเนื้อเยื่อตับปกติ กรณีที่ 5 ในระนาบ XY

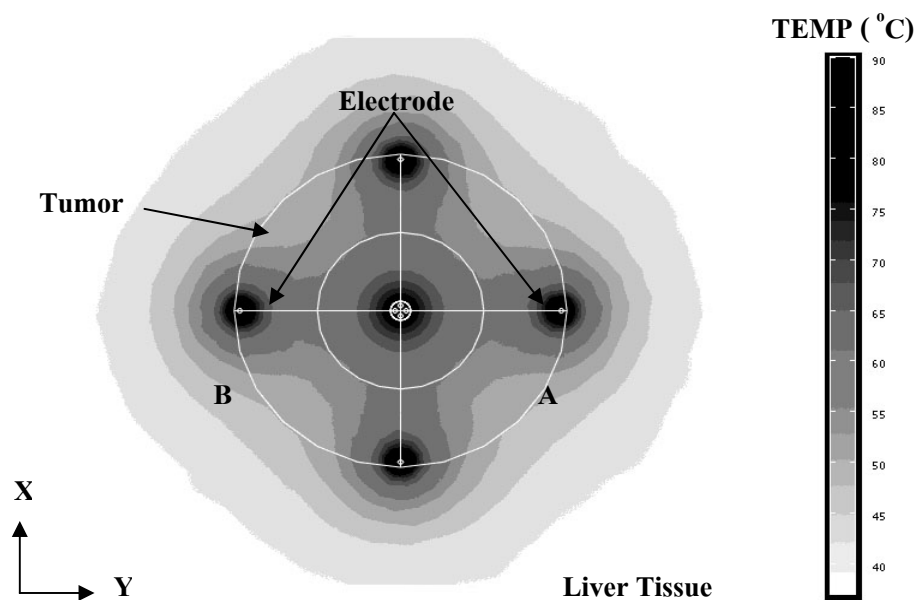
จากการทดลองการจำลองการทำลายเซลล์มะเร็งระดับด้วยคลื่นความถี่วิทยุในแบบจำลองเนื้อเยื่อ  
ตับปกติ กรณีที่ 1 เป็นการทดลองในเนื้อเยื่อตับปกติโดยไม่มีเส้นเลือดขนาดใหญ่ ผลของการ  
กระจายอุณหภูมิบริเวณอิเล็กโทรด A และ B มีการกระจายอุณหภูมิที่สม่ำเสมอในลักษณะเท่าๆกัน  
โดยอุณหภูมิที่บริเวณปลายอิเล็กโทรด A มีค่าอุณหภูมิประมาณ  $90.4^{\circ}\text{C}$  ส่วนอุณหภูมิที่ปลาย  
อิเล็กโทรด B มีค่าประมาณ  $90^{\circ}\text{C}$  ดังแสดงในรูปที่ 5.2 และ 5.3 ลักษณะและขนาดของรอยแผล  
แบบจำลองเนื้อเยื่อตับปกติ กรณีที่ 1 จะได้ผลของความกว้างของรอยแผล ( $W_1+W_2$ ) เท่ากับ 40  
มิลลิเมตร และความลึกของรอยแผล ( $D_1+D_2$ ) เท่ากับ 27.5 มิลลิเมตร ในส่วนของกรณีที่ 2 เป็น  
การทดลองในเนื้อเยื่อตับปกติโดยที่ระยะของอิเล็กโทรดติดกับเส้นเลือดขนาดใหญ่ ผลของการ  
กระจายอุณหภูมิบริเวณอิเล็กโทรด A และ B มีลักษณะการกระจายอุณหภูมิที่แตกต่างกัน โดย  
อุณหภูมิที่บริเวณปลายอิเล็กโทรด A มีค่าอุณหภูมิประมาณ  $63.1^{\circ}\text{C}$  ส่วนอุณหภูมิที่ปลาย  
อิเล็กโทรด B มีค่าประมาณ  $90^{\circ}\text{C}$  ดังแสดงในรูปที่ 5.4 และ 5.5 ลักษณะและขนาดของรอยแผล  
แบบจำลองเนื้อเยื่อตับปกติ กรณีที่ 2 จะได้ผลของความกว้างของรอยแผล ( $W_1+W_2$ ) เท่ากับ 35  
มิลลิเมตร และความลึกของรอยแผล ( $D_1+D_2$ ) เท่ากับ 27.5 มิลลิเมตร ในส่วนของกรณีที่ 3 เป็น  
การทดลองในเนื้อเยื่อตับปกติโดยที่ระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรดกับเส้นเลือดขนาดใหญ่เท่ากับ 1  
มิลลิเมตร ผลของการกระจายอุณหภูมิบริเวณอิเล็กโทรด A และ B มีลักษณะการกระจายอุณหภูมิที่  
แตกต่างกัน โดยอุณหภูมิที่บริเวณปลายอิเล็กโทรด A มีค่าอุณหภูมิประมาณ  $81.3^{\circ}\text{C}$  ส่วนอุณหภูมิ  
ที่ปลายอิเล็กโทรด B มีค่าประมาณ  $90^{\circ}\text{C}$  ดังแสดงในรูปที่ 5.6 และ 5.7 ลักษณะและขนาดของรอย  
แผลแบบจำลองเนื้อเยื่อตับปกติ กรณีที่ 3 จะได้ผลของความกว้างของรอยแผล ( $W_1+W_2$ ) เท่ากับ  
35.25 มิลลิเมตร และความลึกของรอยแผล ( $D_1+D_2$ ) เท่ากับ 27.5 มิลลิเมตร ในส่วนของกรณีที่ 4  
เป็นการทดลองในเนื้อเยื่อตับปกติโดยที่ระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรดกับเส้นเลือดขนาดใหญ่เท่ากับ  
3 มิลลิเมตร ผลของการกระจายอุณหภูมิบริเวณอิเล็กโทรด A และ B มีลักษณะการกระจายอุณหภูมิ  
ที่แตกต่างกัน โดยอุณหภูมิที่บริเวณปลายอิเล็กโทรด A มีค่าอุณหภูมิประมาณ  $88.7^{\circ}\text{C}$  ส่วน  
อุณหภูมิที่ปลายอิเล็กโทรด B มีค่าประมาณ  $90^{\circ}\text{C}$  ดังแสดงในรูปที่ 5.8 และ 5.9 ลักษณะและขนาด  
ของรอยแผลแบบจำลองเนื้อเยื่อตับปกติ กรณีที่ 4 จะได้ผลของความกว้างของรอยแผล ( $W_1+W_2$ )  
เท่ากับ 37.25 มิลลิเมตร และความลึกของรอยแผล ( $D_1+D_2$ ) เท่ากับ 27.5 มิลลิเมตร ในส่วนของ  
กรณีที่ 5 เป็นการทดลองในเนื้อเยื่อตับปกติโดยที่ระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรดกับเส้นเลือดขนาด  
ใหญ่เท่ากับ 5 มิลลิเมตร ผลของการกระจายอุณหภูมิบริเวณอิเล็กโทรด A และ B มีลักษณะการ  
กระจายอุณหภูมิที่ค่อนข้างใกล้เคียงกัน โดยอุณหภูมิที่บริเวณปลายอิเล็กโทรด A มีค่าอุณหภูมิ  
ประมาณ  $90.7^{\circ}\text{C}$  ส่วนอุณหภูมิที่ปลายอิเล็กโทรด B มีค่าประมาณ  $90^{\circ}\text{C}$  ดังแสดงในรูปที่ 5.10  
และ 5.11 ลักษณะและขนาดของรอยแผลแบบจำลองเนื้อเยื่อตับปกติ กรณีที่ 5 จะได้ผลของความ  
กว้างของรอยแผล ( $W_1+W_2$ ) เท่ากับ 38.25 มิลลิเมตร และความลึกของรอยแผล ( $D_1+D_2$ ) เท่ากับ  
27.5 มิลลิเมตร

## 5.2 ผลการทดลองแสดงการกระจายของอุณหภูมิในแบบจำลองเนื้อเยื่อตับที่มีเซลล์มะเร็ง

### 5.2.1 กรณีที่ 1 แบบจำลองเนื้อเยื่อตับที่มีเซลล์มะเร็งโดยไม่มีเส้นเลือดขนาดใหญ่



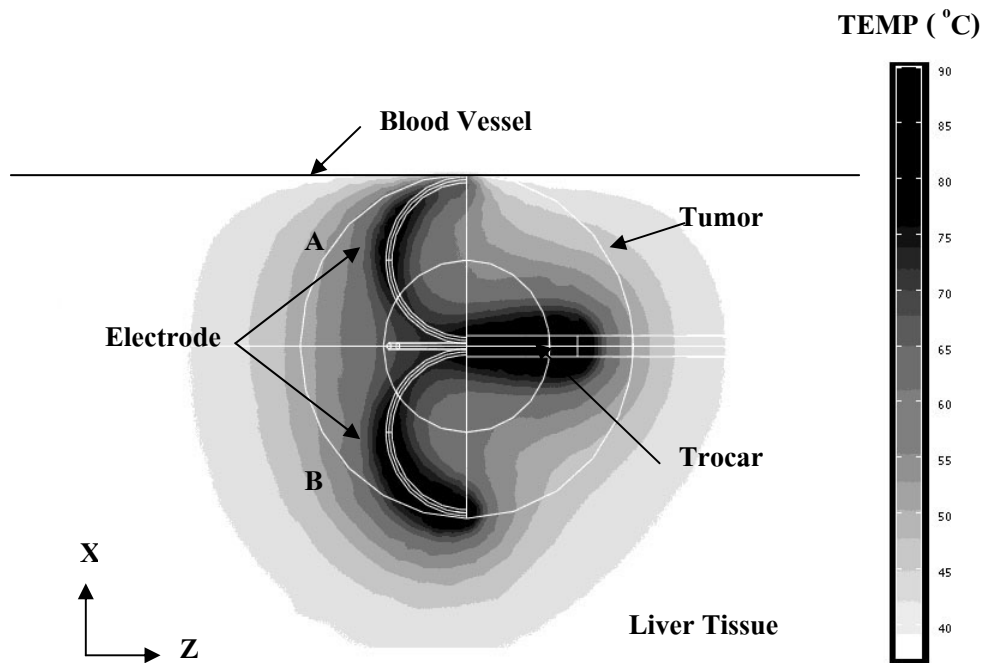
รูปที่ 5.12 แสดงผลการกระจายของอุณหภูมิในเนื้อเยื่อที่มีก้อนเซลล์มะเร็งกรณีที่ 1 ในระนาบ ZX



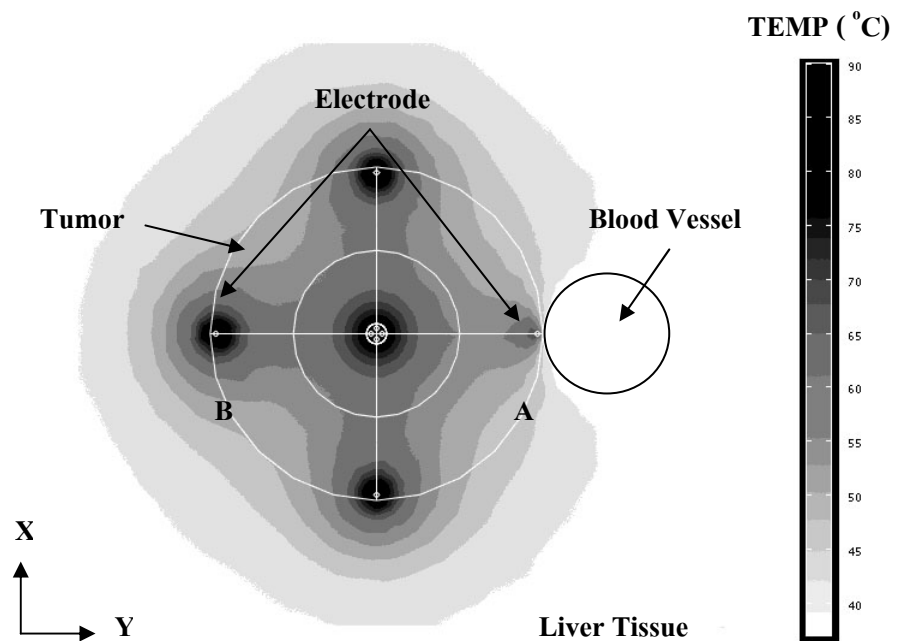
รูปที่ 5.13 แสดงผลการกระจายของอุณหภูมิในเนื้อเยื่อที่มีก้อนเซลล์มะเร็งกรณีที่ 1 ในระนาบ YZ



5.2.2 กรณีที่ 2 แบบจำลองเนื้อเยื่อตับที่มีเซลล์มะเร็งโดยอิเล็กโทรดติดกับเส้นเลือดขนาดใหญ่

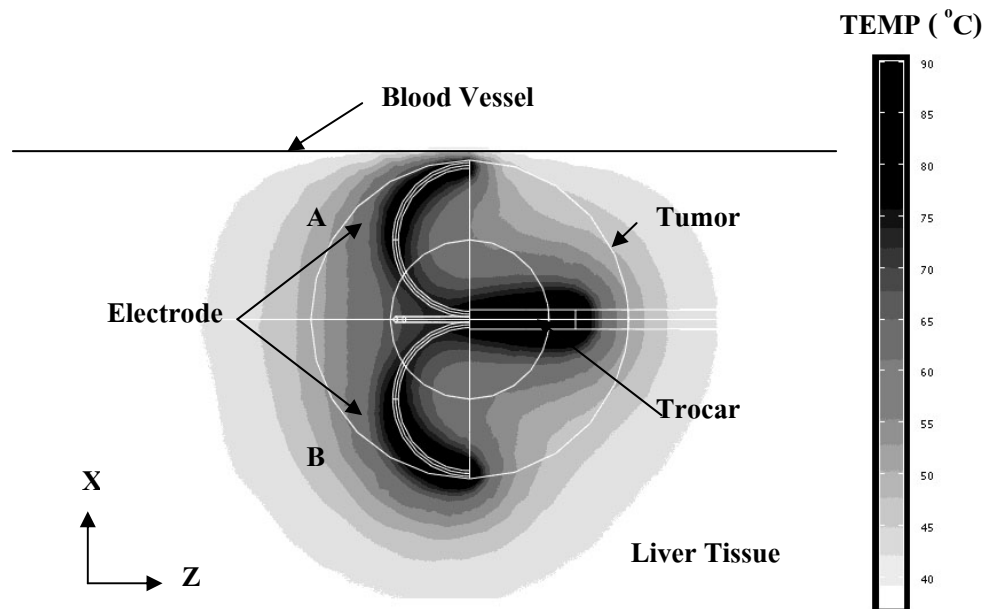


รูปที่ 5.14 แสดงผลการกระจายของอุณหภูมิในเนื้อเยื่อที่มีก้อนเซลล์มะเร็งกรณีที่ 2 ในระนาบ ZX

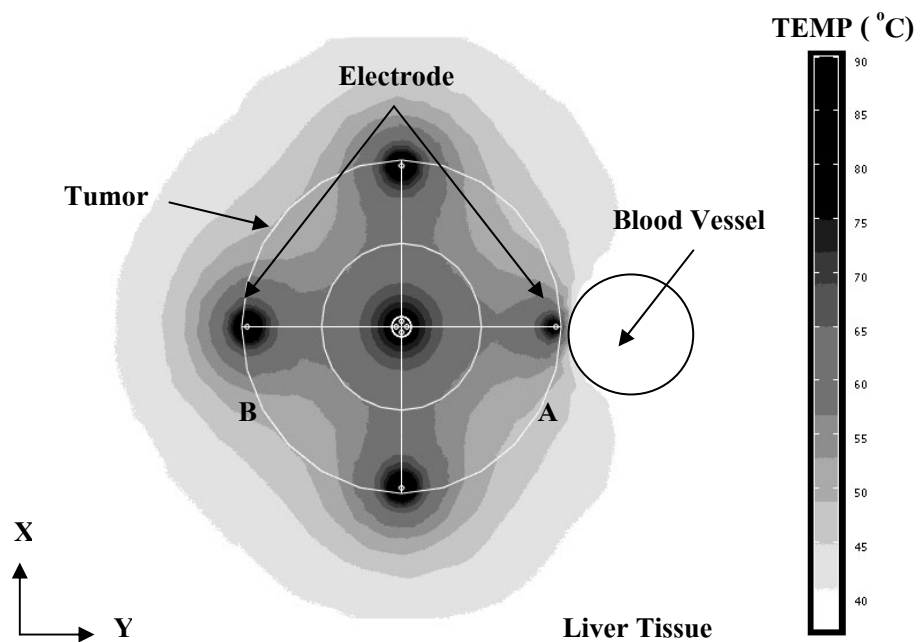


รูปที่ 5.15 แสดงผลการกระจายของอุณหภูมิในเนื้อเยื่อที่มีก้อนเซลล์มะเร็งกรณีที่ 2 ในระนาบ XY

5.2.3 กรณีที่ 3 แบบจำลองเนื้อเยื่อตับที่มีเซลล์มะเร็งโดยมีระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรดกับหลอดเลือดเท่ากับ 1 มิลลิเมตร

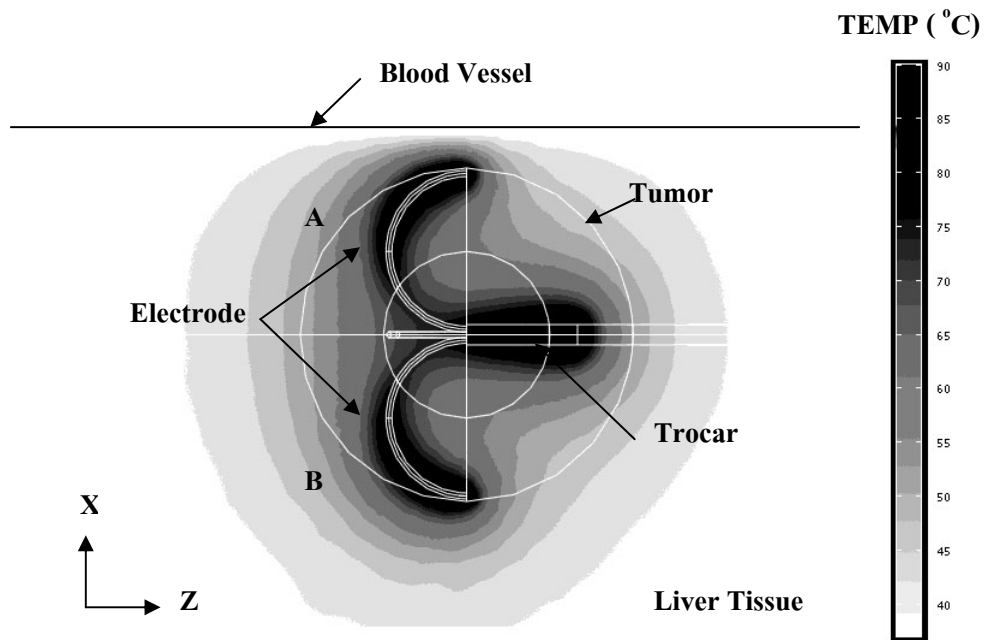


รูปที่ 5.16 แสดงผลการกระจายของอุณหภูมิในเนื้อเยื่อที่มีก้อนเซลล์มะเร็งกรณี ที่ 3 ในระนาบ ZX

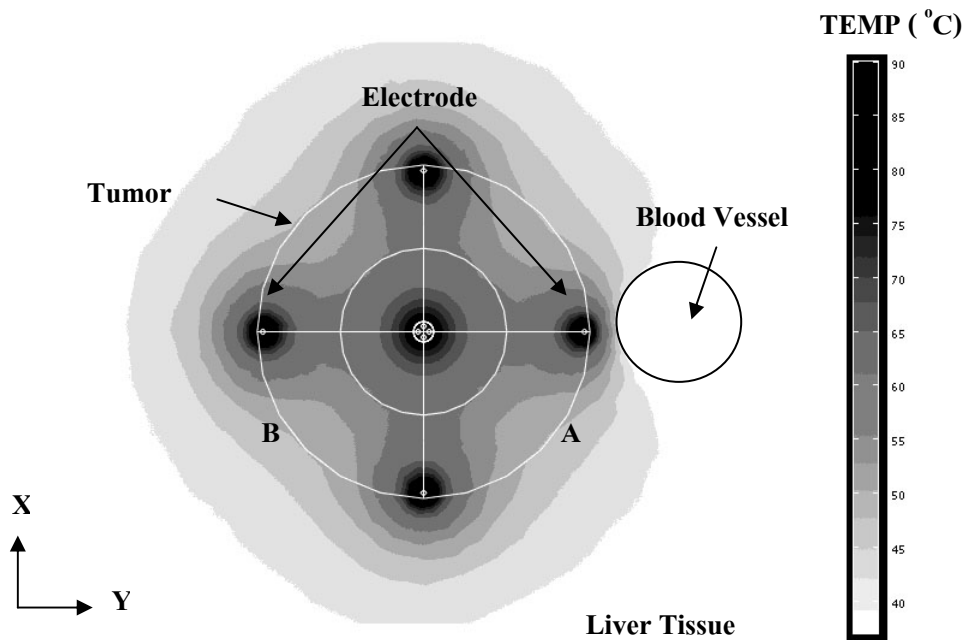


รูปที่ 5.17 แสดงผลการกระจายของอุณหภูมิในเนื้อเยื่อที่มีก้อนเซลล์มะเร็งกรณี ที่ 3 ในระนาบ XY

5.2.4 กรณีที่ 4 แบบจำลองเนื้อเยื่อตับที่มีเซลล์มะเร็งโดยมีระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรดกับหลอดเลือดเท่ากับ 3 มิลลิเมตร

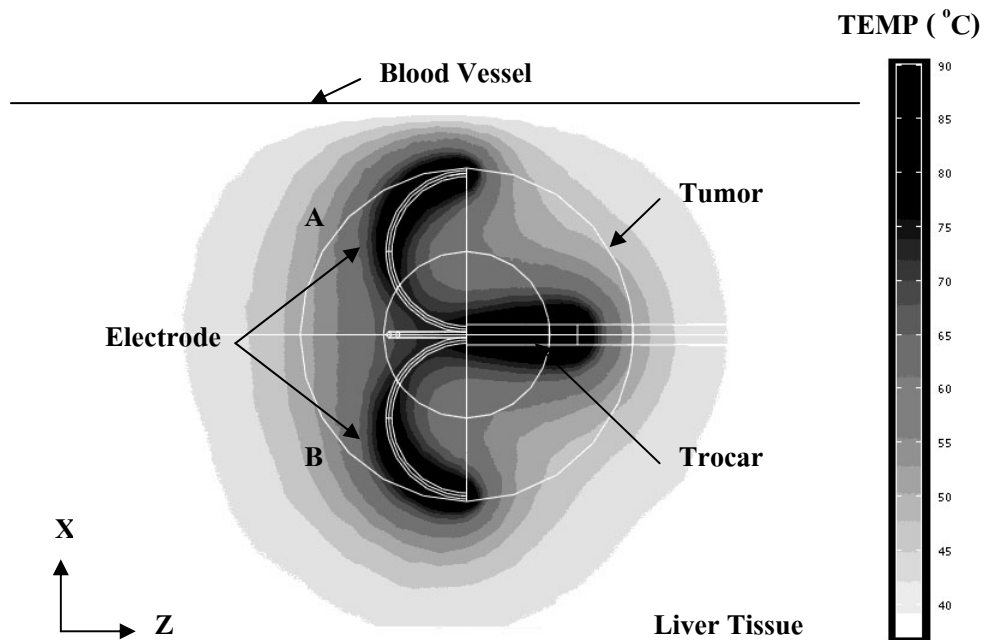


รูปที่ 5.18 แสดงผลการกระจายของอุณหภูมิในเนื้อเยื่อที่มีก้อนเซลล์มะเร็งกรณี ที่ 4 ในระนาบ ZX

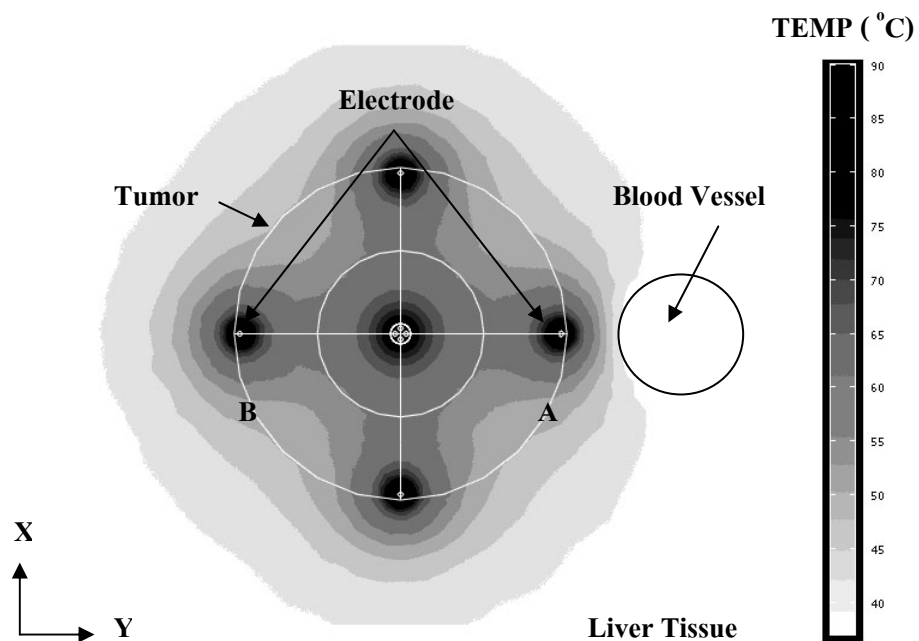


รูปที่ 5.19 แสดงผลการกระจายของอุณหภูมิในเนื้อเยื่อที่มีก้อนเซลล์มะเร็งกรณี ที่ 4 ในระนาบ XY

5.2.5 กรณีที่ 5 แบบจำลองเนื้อเยื่อตับที่มีเซลล์มะเร็งโดยมีระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรดกับหลอดเลือดเท่ากับ 5 มิลลิเมตร

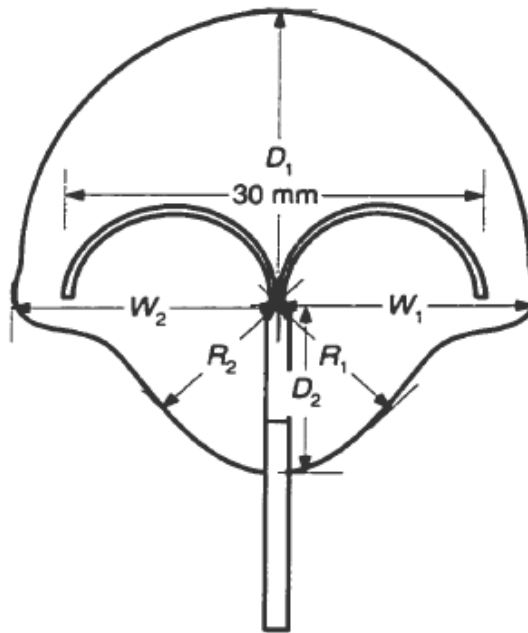


รูปที่ 5.20 แสดงผลการกระจายของอุณหภูมิในเนื้อเยื่อที่มีก้อนเซลล์มะเร็งกรณีที่ 5 ในระนาบ ZX



รูปที่ 5.21 แสดงผลการกระจายของอุณหภูมิในเนื้อเยื่อที่มีก้อนเซลล์มะเร็งกรณีที่ 5 ในระนาบ XY

[illegible]



รูปที่ 5.22 รูปแบบจำลองแสดงขนาดรอยแผลที่เกิดขึ้นในการทดลองในกรณี 1-5 ทั้งในแบบจำลองเนื้อเยื่อตับปกติและแบบจำลองก้อนเซลล์มะเร็ง [5]

ตารางที่ 5.1 ตารางแสดงขนาดของรอยแผลที่เกิดขึ้นในการทดลองแบบจำลองเนื้อเยื่อปกติ

| Case | $W_1$ (mm) | $W_2$ (mm) | $D_1$ (mm) | $D_2$ (mm) | $R_1$ (mm) | $R_2$ (mm) | $V$ (cm <sup>3</sup> ) |
|------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------------------|
| 1    | 20         | 20         | 12.5       | 15         | 7.5        | 7.5        | 10.88                  |
| 2    | 15         | 20         | 12.5       | 15         | 7.5        | 7.5        | 9.93                   |
| 3    | 17.5       | 20         | 12.5       | 15         | 7.5        | 7.5        | 10.26                  |
| 4    | 17.5       | 20         | 12.5       | 15         | 7.5        | 7.5        | 10.71                  |
| 5    | 18.5       | 20         | 12.5       | 15         | 7.5        | 7.5        | 10.77                  |

ตารางที่ 5.2 ตารางแสดงขนาดของรอยแผลที่เกิดขึ้นในการทดลองแบบจำลองก้อนเซลล์มะเร็ง

| Case | $W_1$ (mm) | $W_2$ (mm) | $D_1$ (mm) | $D_2$ (mm) | $R_1$ (mm) | $R_2$ (mm) | $V$ (cm <sup>3</sup> ) |
|------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------------------|
| 1    | 20         | 20         | 15.5       | 15.5       | 8.5        | 8.5        | 17.6                   |
| 2    | 15         | 20         | 15.25      | 15.25      | 8.5        | 8.5        | 15.77                  |
| 3    | 15.25      | 20         | 15.25      | 15.25      | 8.5        | 8.5        | 16.37                  |
| 4    | 17.25      | 20         | 15.25      | 15.25      | 8.5        | 8.5        | 17.02                  |
| 5    | 18.25      | 20         | 15.25      | 15.25      | 8.5        | 8.5        | 17.38                  |