

NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM TRUYỀN NHIỆT KHI CẤP ĐÔNG CỤC BỘ TẾ BÀO BẰNG THIẾT BỊ KIM TẠO CẦU BĂNG AN EXPERIMENTAL STUDY OF HEAT TRANSFER WHEN FREEZING PARTS OF CELLS QUICKLY BY MEANS OF THE CRYOPROBE

Hoàng Ngọc Đồng¹, Nguyễn Thành Văn¹, Lê Minh Trí²

¹Trường Đại học Bách khoa, Đại học Đà Nẵng; hndong@dut.udn.vn

²Trường Cao đẳng Công nghiệp Huế; lmtri@hueic.edu.vn

Tóm tắt - Thiết bị kim tạo cầu băng có hình dạng một cây kim, được sử dụng để tiêu diệt tế bào ung thư nằm sâu trong cơ thể. Thiết bị có những đặc điểm: có khả năng làm lạnh phần đầu kim đến nhiệt độ rất thấp ($< -190^{\circ}\text{C}$) trong một khoảng thời gian ngắn (< 60 giây); thân kim được cách nhiệt rất tốt với môi trường; đường kính của thiết bị bé (từ 2 đến 4 mm). Khi hoạt động, kim lạnh này sẽ đông lạnh nhanh cục bộ tế bào và tạo nên một cầu băng ở bên trong cơ thể. Bài báo này trình bày các bước thực nghiệm: chế tạo kim tạo cầu băng thực nghiệm; kiểm tra khả năng hoạt động của kim lạnh, đo kích thước cầu băng tạo ra trong các khoảng thời gian khác nhau; kiểm tra cách nhiệt giữa thân kim lạnh và môi trường.

Từ khóa - kim tạo cầu băng; lỏng Nitơ; truyền nhiệt; ung thư; thiết bị lạnh cryo.

Abstract - A cryoprobe is shaped like a needle and used to destroy cancer cells which are located deeply in the body. This equipment is characterized by being capable of cooling its tip to a very low temperature (lower than -190°C) in a short time (less than 60 seconds); the body of the equipment is very well insulated from the heat of the environment; its diameter is small (from 2 to 4mm). As it operates, this equipment will quickly freeze parts of the cells and create an ice sphere inside the body. This paper presents the experimental steps of the study namely creating an experimental cryoprobe, checking the performance of the cryoprobe, measuring the size of ice spheres formed in different periods, checking the heat insulation between the cryoprobe body and the environment.

Key words - cryoprobe; liquid nitrogen; heat transfer; cancer; cryogenic equipment.

1. Đặt vấn đề

Sử dụng thiết bị kim tạo cầu băng để tiêu diệt tế bào ung thư nằm sâu bên trong cơ thể là một kỹ thuật mới, hiện đại có hiệu quả cao trong điều trị bệnh [1]. Việc nghiên cứu thực nghiệm truyền nhiệt của thiết bị này dùng cấp đông cục bộ tế bào là một nhiệm vụ cần thiết, quan trọng. Các kết quả nghiên cứu này sẽ góp phần giúp các nhà cơ khí chế tạo trong nước nghiên cứu sản xuất thiết bị kim tạo cầu băng, giúp các nhà y khoa nước nhà nghiên cứu xây dựng phác đồ điều trị bệnh cho từng khối u khác nhau.

Do không có điều kiện tiến hành trên tế bào sống, trong thực nghiệm tác giả chỉ tiến hành trên vật liệu thịt bò và thạch agar. Tuy nhiên đối với bài toán truyền nhiệt, vật liệu thịt bò, thạch agar hay tế bào chỉ khác nhau ở thông số vật lý, do đó có thể có sai số nhất định, những sai số đó có thể hiệu chỉnh được khi có điều kiện thí nghiệm tốt hơn [2]. Các kết quả thực nghiệm ở đây sẽ là cơ sở để nghiên cứu các bước tiếp theo.

2. Kết quả nghiên cứu và khảo sát

2.1. Quan hệ giữa kích thước vùng băng được tạo ra và thời gian cấp lạnh

Mối quan hệ giữa kích thước vùng băng tạo ra (hình cầu) và thời gian cấp lạnh, theo tài liệu [2] được thể hiện bằng công thức:

$$\tau(r) = \frac{A}{6 \cdot r_0} (2r^3 - 3r_0 \cdot r^2 + r_0^3), [s]; \quad (1)$$

$$\text{với } A = \frac{\rho \cdot [c \cdot (t_1 - t_0) + \omega \cdot r_c]}{\lambda \cdot (t_0 - t_f)}, [s/m^2]$$

Trong đó:

r_0 - bán kính kim lạnh, (m);

r - bán kính vùng băng tạo ra trong thời gian $\tau(r)$, (m);

ρ - khối lượng riêng vật ẩm, (kg/m^3);

c - nhiệt dung riêng vật ẩm khi nhiệt độ lớn hơn 0°C , (J/kgK);

ω - độ ẩm toàn phần của vật ẩm, (%);

r_c - nhiệt chuyển pha từ lỏng sang rắn của nước, (J/kg);

λ - hệ số dẫn nhiệt của vật ẩm khi nhiệt độ nhỏ hơn 0°C , (W/mK);

t_1 - nhiệt độ ban đầu của vật ẩm, ($^{\circ}\text{C}$);

t_f - nhiệt độ của khí hóa lỏng, ($^{\circ}\text{C}$);

t_0 - nhiệt độ đóng băng của nước, $t_0 = 0^{\circ}\text{C}$.

2.2. Một số mẫu kim lạnh trên thế giới

2.2.1. Mẫu kim tạo cầu băng có lỗ phun lỏng

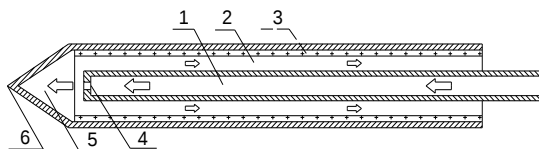
Thiết bị kim tạo cầu băng có lỗ phun lỏng dạng hình trụ tròn, gồm hai ống lồng nhau [3]. Sơ đồ cấu tạo kim lạnh tạo cầu băng có lỗ phun lỏng được mô tả trên Hình 1.

Lòng môi chất có nhiệt độ thấp được phun vào theo lỗ phun tia 4 làm lạnh khoang 5. Hơi môi chất sinh ra theo ống 2 thoát ra ngoài. Lớp cách nhiệt 3 dùng để hạn chế truyền nhiệt giữa kim lạnh và môi trường xung quanh.

Trong quá trình sử dụng, người dùng sẽ điều chỉnh lượng môi chất cấp vào thiết bị vừa đủ sao cho lòng môi chất chỉ tồn tại trong khoang 5, khi đến lớp cách nhiệt 3 nó đã biến hoàn toàn thành hơi. Do hơi có hệ số trao đổi nhiệt kém hơn lỏng, nên làm giảm lượng nhiệt truyền qua lớp cách nhiệt và môi trường.

Loại kim này có kết cấu khá đơn giản, tuy nhiên khả năng cách nhiệt giữa kim lạnh và môi trường kém, không

an toàn cho vùng tế bào khi kim lạnh xuyên qua. Ngoài ra việc chế tạo lớp cách nhiệt 3 gặp khó khăn, phức tạp.



Hình 1. Sơ đồ kim lạnh tạo cầu băng kiểu có lỗ phun lỏng

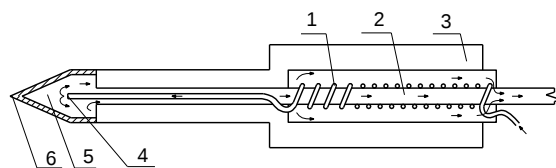
1- Ống dẫn lỏng môi chất vào; 2- Ống dẫn hơi môi chất ra; 3- Lớp cách nhiệt; 4- Lỗ phun tia; 5- Khoảng làm lạnh; 6- Đầu kim lạnh.

2.2.2. Mẫu kim tạo cầu băng dẫn lỏng qua ống mao

Kim tạo cầu băng dẫn lỏng qua ống mao có kết cấu phức tạp [4]. Sơ đồ cấu tạo và nguyên lý hoạt động kim lạnh loại này được trình bày trên Hình 2.

Lỏng môi chất lạnh có áp suất cao sẽ được dẫn vào theo ống 1. Ống 1 có tác dụng như một ống mao làm hạ thêm nhiệt độ trước khi vào làm lạnh khoảng 5. Hơi môi chất sinh ra theo ống 2 thoát ra ngoài. Cách nhiệt giữa ống 2 và ống 3 là lớp chân không, nên có khả năng cách nhiệt tốt nhất, hạn chế tối đa truyền nhiệt giữa kim lạnh và môi trường.

Loại này khó chế tạo, đặc biệt đoạn ống mao dẫn 1.



Hình 2. Sơ đồ kim tạo cầu băng dẫn lỏng qua ống mao

1- Ống dẫn lỏng môi chất vào; 2- Ống dẫn hơi môi chất ra; 3- Cách nhiệt chân không; 4- Lỗ phun tia; 5- Khoảng làm lạnh; 6- Đầu kim lạnh.

2.3. Chế tạo kim tạo cầu băng thực nghiệm

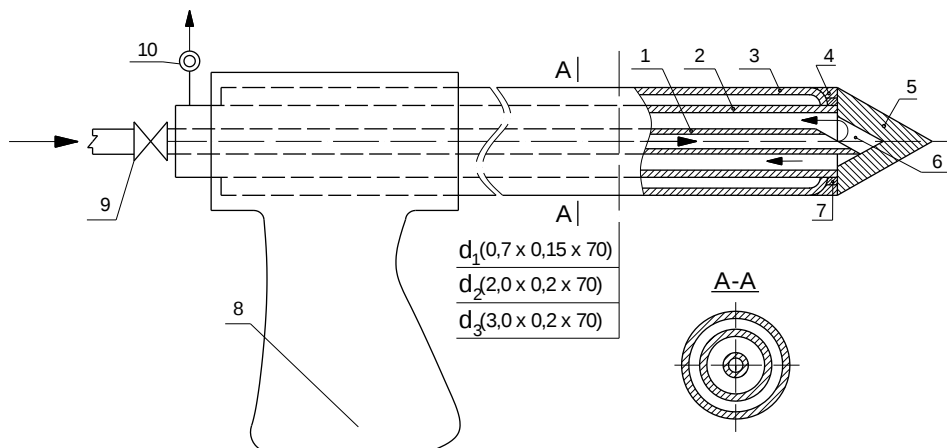
2.3.1. Thiết bị kim tạo cầu băng thực nghiệm

Kim tạo cầu băng có khả năng chỉ làm lạnh phần đầu kim [5]. Nó được cấu tạo gồm 3 ống kim loại bằng inox được lồng vào nhau (Hình 3). Các ống này có kích thước lần lượt là:

Ống 1: đường kính ngoài x chiều dày x chiều dài = 0,7x0,15x70 (mm);

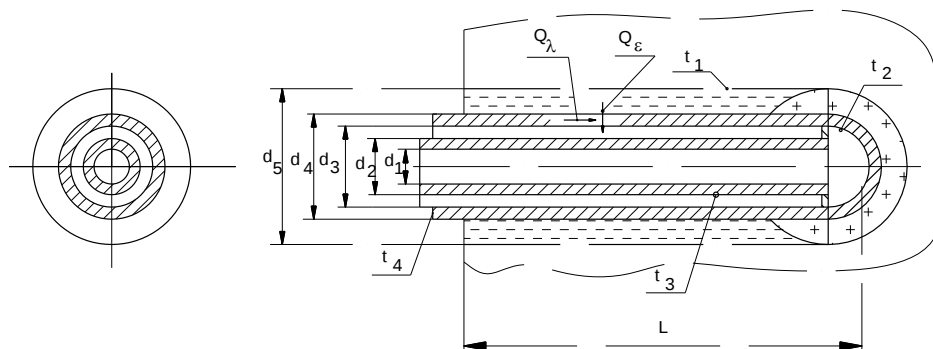
Ống 2: đường kính ngoài x chiều dày x chiều dài = 2,0x0,2x70 (mm);

Ống 3: đường kính ngoài x chiều dày x chiều dài = 3,0x0,2x70 (mm).



Hình 3. Sơ đồ kết cấu của thiết bị kim tạo cầu băng

1. Ống dẫn lỏng môi chất vào; 2. Ống dẫn môi chất ra; 3. Ống cách nhiệt chân không; 4. Mối hàn bạc phủ bên ngoài; 5. Đầu kim lạnh làm bằng bạc; 6. Khoảng làm lạnh; 7. Mối hàn bằng đồng thau; 8. Tay cầm thao tác bằng plastic; 9. Van điều chỉnh cấp lỏng vào; 10. Bầu chứa lỏng đo nhiệt độ hơi ra



Hình 4. Tính nhiệt ảnh hưởng của thâm kim lạnh

Ống 1 được vát nhọn đầu, một đầu được nối với van điều chỉnh cấp lỏng vào 9, một đầu được đặt tự do trong ống 2, tiếp giáp với đầu kim lạnh 5. Lỏng nitơ được cấp vào thiết bị qua ống 1 vào khoảng làm lạnh 6. Hơi nitơ

sinh ra cùng với lỏng còn lại sẽ được thoát tự do theo khoảng trống giữa ống 1 và ống 2. Đầu kim lạnh 6 là một khối hình nón bằng bạc, có bán kính $r = 1,5$ mm được hàn kín vào các ống 2 và 3, vừa có chức năng cố định ống 2, 3

vừa tạo khoang kín cách nhiệt chân không.

Đầu kim 5 được chế tạo bằng bạc do tính chất của bạc ngoài khả năng dẫn nhiệt tốt nhất, một vi lượng bạc có khả năng diệt khuẩn rất tốt. Do inox rất khó hàn kết dính với các kim loại khác, nên chúng tôi đã đề xuất sử dụng mối hàn bằng đồng thau 7 ở bên trong, sau đó phủ mối hàn bạc 4 bên ngoài. Nhiệt độ đầu kim lạnh có thể xác định gần đúng bằng nhiệt độ tại bầu chứa lỏng đo nhiệt độ hơi ra 10.

Ông dẫn 3 do được cách nhiệt bằng chân không với lớp vỏ, nên kim tạo cầu bằng không làm ảnh hưởng đến vùng tế bào khi nó xuyên qua. Ta sẽ tính kiểm tra loại cách nhiệt này.

2.3.2. Tính kiểm tra cách nhiệt giữa kim tạo cầu bằng và môi trường

Giả sử có khối u đường kính $d_5 = 10$ mm nằm sâu trong cơ thể cách bề mặt bên ngoài một khoảng $L = 70$ mm. Sử dụng kim lạnh có đường kính $d_1; d_2; d_3; d_4$ lần lượt là: 0,838; 1,270; 2,6; 3 mm. Khoảng trống giữa 2 lớp kim loại là chân không. Kim lạnh được làm lạnh bằng lỏng nitơ bay hơi ở áp suất khí quyển có nhiệt độ -196°C . Giả sử thời gian cấp lỏng là 20s (Hình 4).

Do đường kính kim lạnh rất bé, nên trong tính toán ta xem gần đúng đầu kim lạnh có hình cầu. Xét khối tế bào có nhiệt độ ban đầu $t_1 = 37^\circ\text{C}$ hình trụ rỗng có đường kính ngoài và đường kính trong d_5/d_4 lần lượt là 0,01/ 0,003m, chiều dài $L = 0,07\text{m}$. Tại thời điểm $\tau(0) = 0\text{s}$, nhiệt độ $t_2 = t_3 = -196^\circ\text{C}$. Sau thời gian thủ thuật $\tau = 20\text{s}$, nhiệt độ khối thịt đạt được là t_c (xem nhiệt độ tại cán kim lạnh vẫn chưa thay đổi $t_4 = t_1 = 37^\circ\text{C}$).

Phương trình cân bằng nhiệt cho khối trụ thịt có thể tích $V = \frac{\pi}{4}(d_5^2 - d_4^2)L$ có thể được phát biểu: “Độ biến thiên nội năng? của khối thịt V” = “Nhiệt truyền qua bằng bức xạ chân không Q_e và nhiệt do dẫn nhiệt qua vách Q_λ trong thời gian τ ”. Có thể viết:

$$\Delta U = (Q_e + Q_\lambda)\tau; \text{ Với } \Delta U = \rho VC(t_1 - t_c); [J]$$

Thay vào công thức ta có:

$$\rho VC(t_1 - t_c) = (Q_e + Q_\lambda)\tau;$$

thực hiện biến đổi ta được:

$$t_c = t_1 - \frac{(Q_e + Q_\lambda) \cdot \tau}{\rho \cdot V \cdot C} = t_1 - \frac{4 \cdot (Q_e + Q_\lambda) \cdot \tau}{\rho \cdot C \cdot \pi \cdot (d_5^2 - d_4^2)} \quad (2)$$

Q_e - tổn thất nhiệt do bức xạ qua thân kim[6]:

$$Q_e = \varepsilon_{qd} C_0 F_1 \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right], W$$

Với:

$$- \varepsilon_{qd}: \text{độ đen qui dẫn } \varepsilon_{qd} = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{F_1}{F_2} \left(\frac{1}{\varepsilon_2} - 1 \right)}$$

- Q_λ : Tổn thất dẫn nhiệt qua kim lạnh:

$$Q_\lambda = \frac{(t_1 - t_2)}{\frac{L}{\lambda}} \cdot \frac{\pi}{4} (d_4^2 - d_5^2)$$

Trong đó: F_1, F_2 - diện tích bề mặt ngoài và mặt trong của lớp cách nhiệt chân không; $\varepsilon = 0,02$, độ đen của inox; $\lambda = 50\text{W/mK}$, hệ số dẫn nhiệt của inox; lấy gần đúng

$\rho = 1000\text{kg/m}^3$; $c = 4180\text{J/kg.K}$. Thay số vào (2) ta có: $t_c = 36,9^\circ\text{C}$.

Như vậy ảnh hưởng của kim lạnh không đáng kể đến môi trường xung quanh.

2.4. Công tác chuẩn bị thực nghiệm

2.4.1. Vật liệu thực nghiệm

Trong thực nghiệm kim tạo cầu bằng, tác giả đã sử dụng các vật liệu gồm: lỏng nitơ thạch agar và thịt bò.

+ Lỏng nitơ: Tác giả đã sử dụng lỏng nitơ thương phẩm được mua tại Nhà máy Oxy - Nitơ Tứ Hạ - Hương Trà. Ở áp suất khí quyển, nhiệt độ lỏng nitơ đạt được -196°C .

+ Thịt bò, có thành phần vật lý: nước chiếm 62- 74%; Khối lượng riêng trung bình ở 15°C là 1,02-1,07kg/l; Nhiệt dung riêng 2,76kJ/kg khi nhiệt độ lớn hơn 0°C ; Hệ số dẫn nhiệt của thịt cấp đông ở nhiệt độ -10°C đến -20°C là 1,3kcal/mh $^\circ\text{C}$ [7];

+ Thạch agar: Sử dụng 25g bột agar hòa vào 2 lít nước. Các thông số của thạch agar có thể lấy gần đúng: $t_1 = 35^\circ\text{C}$; $\omega = 98,77\%$; $\rho = 1000\text{kg/m}^3$; $c = 4180\text{J/kg.K}$; $r_c = 334\text{kJ/kg}$; $\lambda = 2,21\text{W/mK}$.

2.4.2. Các dụng cụ đo

+ Đo thời gian: Sử dụng đồng hồ bấm giây có độ chính xác 1/100 giây.

+ Đo nhiệt độ: Sử dụng thiết bị đo Thermo scientific với độ chính xác 1/10 độ, có thang đo từ -197°C đến 1500°C .

+ Máy ảnh: Sử dụng máy ảnh kỹ thuật số Canon có độ phân giải 16,0 mega Pixels.

+ Đo kích thước: Sử dụng thước đo thông dụng;

+ Máy siêu âm: Sử dụng máy siêu âm màu SONO-8.

2.4.3. Nghiên cứu giảm sai số trong khi đo

Trong thực nghiệm thiết bị kim tạo cầu bằng, hai thông số cần đo là: thời gian và kích thước.

*Giảm sai số khi đo thời gian:

- Ảnh hưởng do thực hiện các thao tác: Các thao tác cấp lỏng nitơ vào thiết bị, dùng cấp lỏng, bóc tách mẫu vật đóng băng đều có ảnh hưởng đến kết quả đo thời gian. Để hạn chế ảnh hưởng của các yếu tố này, đòi hỏi người tiến hành thực nghiệm phải thao tác nhanh, dứt khoát.

- Ảnh hưởng do chủ quan khi quan sát: Trong thực nghiệm có nhiều kết quả chỉ quan sát bằng mắt như hiện tượng tuyết bám trên bề mặt thiết bị, vùng đóng băng trong mẫu vật thí nghiệm. Để hạn chế điều này, đòi hỏi phải làm thực nghiệm nhiều lần và lấy kết quả trung bình.

- Ảnh hưởng do độ trễ nhiệt của thiết bị: Do chênh lệch giữa nhiệt độ ban đầu của thiết bị và nhiệt độ của lỏng nitơ rất lớn (223°C), cần có một thời gian để hạ nhiệt độ của thiết bị. Độ trễ nhiệt của thiết bị ($\tau_{trễ}$ cầu) được xác định bằng thời gian từ lúc bắt đầu cấp lỏng nitơ vào thiết bị cho đến khi nhiệt độ bề mặt làm lạnh của thiết bị đạt đến -196°C . Có thể xác định gần đúng độ trễ nhiệt này bằng thực nghiệm đo thời gian từ lúc cấp lỏng nitơ vào thiết bị cho đến khi nhiệt độ đo được tại vị trí đo nhiệt độ hơi ra đạt đến -196°C .

*Giảm sai số khi đo kích thước:

Đo kích thước vùng băng tạo ra là nhiệm vụ chính của

các thực nghiệm thiết bị kim tạo cầu băng. Do vùng đóng băng nằm sâu bên trong vật thí nghiệm nên việc đo kích thước trở nên khó khăn, không chính xác. Chúng tôi đã so sánh, lựa chọn cách đo dựa trên những phân tích sau:

- Sử dụng máy ảnh nhiệt: về nguyên lý của máy ảnh nhiệt là chụp lại sự bức xạ nhiệt của vật ở các nhiệt độ khác nhau. Vùng đóng băng có nhiệt độ rất thấp, nên bức xạ nhiệt rất yếu, không thể hiện trên máy được, do đó không thể sử dụng máy ảnh nhiệt để chụp vùng đóng băng.

- Sử dụng máy đo nhiệt độ có que thăm: Dùng que thăm cắm vào các vị trí cần đo, chúng ta có thể hoàn toàn xác định được vùng đóng băng bằng hiển thị số liệu trên mặt đồng hồ. Trong quá trình cấp đông, một phần nhiệt mất đi để làm lạnh que thăm, một phần do ảnh hưởng của sự trễ nhiệt của thiết bị đo nhiệt độ, nên máy đo nhiệt độ sẽ không còn chính xác.

- Sử dụng máy siêu âm: Về nguyên lý, máy siêu âm hoạt động dựa trên sự phản xạ của sóng siêu âm khi gặp vật cản. Do đó, dùng máy siêu âm chúng ta có thể phát hiện được vùng đóng băng bên trong vật. Vùng biên của vật phát hiện bằng máy siêu âm sẽ là vùng biên của lớp băng có nhiệt độ 0°C . Hình ảnh của máy siêu âm chỉ có bác sĩ chuyên môn đọc được và để có hình ảnh tốt bác sĩ siêu âm phải lấy ảnh từ rất nhiều góc chụp, nên tốn nhiều thời gian cho một hình khối bất động, kết quả thu được chỉ mang tính tham khảo.

Để giải quyết vấn đề trên, chúng tôi đã kết hợp kết quả siêu âm và việc đo hình ảnh trực tiếp quan sát bằng mắt sau khi đông lạnh nhanh.

2.5. Các bài thực nghiệm

2.5.1. Đo độ trễ nhiệt của thiết bị kim tạo cầu băng ($\tau_{\text{trễ cầu}}$)



Hình 5. Hình ảnh đo thời gian trễ nhiệt của kim tạo cầu băng

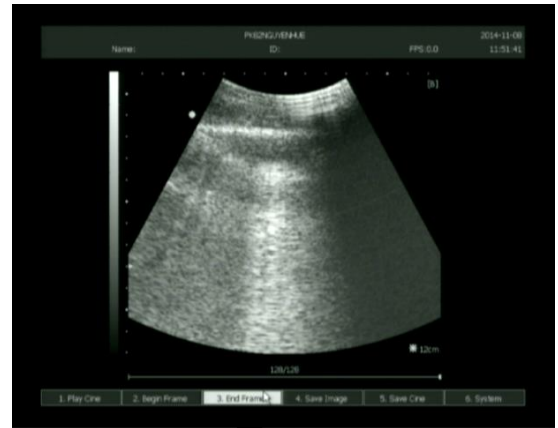
Các bước tiến hành đo độ trễ nhiệt của thiết bị kim tạo cầu băng gồm (Hình 5):

- Hạ nhiệt độ que thăm có bầu chứa lỏng của đồng hồ đo nhiệt độ xuống -196°C bằng cách nhúng trực tiếp vào lỏng nitơ;
- Đặt que thăm vào vị trí đo nhiệt độ hơi ra, quan sát khi đồng hồ giảm đến nhiệt độ $< -196^{\circ}\text{C}$;
- Cấp lỏng nitơ vào thiết bị;
- Đo thời gian $\tau_{\text{trễ cầu}}$ của kim tạo cầu băng, thời gian được tính từ lúc bắt đầu cấp lỏng cho đến khi nhiệt độ hơi ra khỏi thiết bị đạt -196°C .

2.5.2. Đo kích thước cầu băng tạo ra trong các khoảng thời gian khác nhau

Thực nghiệm được tiến hành trên vật liệu thịt bò. Sau khi làm đông lạnh thịt bò bằng kim tạo cầu băng, tiến hành đo kích thước cầu băng tạo ra, lập bảng so sánh kết quả đo được với kết quả lý thuyết trong cùng một thời gian.

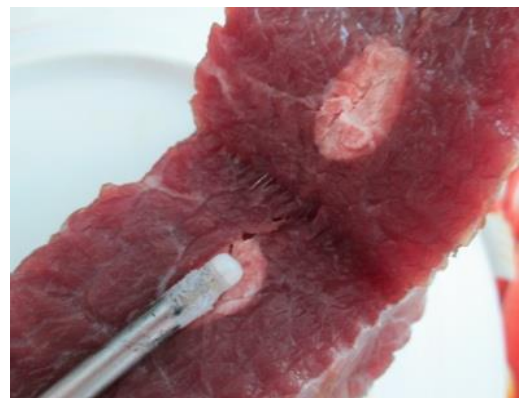
Kích thước cầu băng tạo ra là kết quả trung bình của kết quả đo bằng máy siêu âm và kết quả đo kích thước hình ảnh vùng băng tạo ra, khi tách đôi mẫu vật thí nghiệm (Hình 6 và Hình 7).



Hình 6. Hình ảnh đo kích thước cầu băng tạo ra trong vật ẩm

Các bước tiến hành đo kích thước gồm:

- Chuẩn bị mẫu thực nghiệm (thịt bò);
- Dùng dao cắt 2/3 mẫu thực nghiệm theo chiều dài;
- Kẹp kim tạo cầu băng vào giữa khe thịt đã được cắt;
- Đặt mẫu thực nghiệm lên máy siêu âm để đo kích thước;
- Bấm đồng hồ thời gian kết hợp với máy quay phim;
- Tiến hành làm đông lạnh mẫu thực nghiệm, kết hợp đo kích thước vùng băng tạo ra bằng máy siêu âm;



Hình 7. Đo kích thước tạo cầu băng trong thịt bò

- Khi có kết quả siêu âm tốt nhất, dùng cấp lỏng vào thiết bị, nhanh chóng tách đôi mẫu thực nghiệm theo đường cắt sẵn để có hình ảnh vùng đóng băng ở bên trong;
- Đo hình ảnh vùng đóng băng tạo ra;
- Lấy kết quả thực nghiệm là trung bình giữa 2 cách đo;
- Xác định thời gian thực tế tại đồng hồ đo thời gian τ_{tt} ;
- Tính thời gian so sánh τ_{ss} với công thức: $\tau_{\text{ss}} = \tau_{\text{tt}} - \tau_{\text{trễ cầu}}$;
- Sử dụng công thức (1) tính kích thước lý thuyết;

- Tính sai số giữa thời gian lý thuyết và thời gian thực tế.

2.5.3. Kiểm tra cách nhiệt giữa thân kim lạnh và môi trường

Một trong những yêu cầu bắt buộc của kim lạnh tạo cầu băng là lớp cách nhiệt phải rất tốt để kim lạnh không làm ảnh hưởng vùng tế bào khi nó xuyên qua. Để kiểm tra vùng cách nhiệt này, tác giả đã thực nghiệm trên mẫu thạch agar bằng cách làm đông lạnh mẫu thạch với thiết bị tạo cầu băng trong thời gian dài ($\tau > 90$ giây). Sau đó quan sát bằng mắt để kiểm tra kết quả của lớp cách nhiệt. Các bước tiến hành gồm:

- Chuẩn bị mẫu thạch agar, xuyên kim lạnh vào mẫu thạch agar;
- Cấp lỏng nitơ vào kim lạnh, đồng thời bấm đồng hồ thời gian theo dõi;
- Tiến hành quay phim, theo dõi quá trình đóng băng trong thạch agar;
- Cho thiết bị hoạt động với thời gian đủ lớn ($\tau > 90$ s);
- Dừng cấp lỏng nitơ, dừng đồng hồ thời gian;
- Phá vỡ thạch agar và kiểm tra bằng mắt lớp cách nhiệt.

2.6. Kết quả thực nghiệm

2.6.1. Kết quả đo độ trễ nhiệt của thiết bị kim tạo cầu băng:

Sau 5 lần đo khác nhau, lấy giá trị trung bình, ta có kết quả:

Thời gian trễ nhiệt của thiết bị kim tạo cầu băng $\tau_{\text{trễ cầu}} = 2,8$ s.

2.6.2. Kết quả đo kích thước cầu băng tạo ra

Thực hiện 5 lần đo khác nhau, lấy giá trị trung bình, sử dụng công thức (1) tính bán kính cầu băng lý thuyết. Kích thước lớp băng tạo ra được thể hiện qua Bảng 1. Trong đó:

τ_{tr} - Thời gian thực tế đọc được tại thiết bị đo thời gian, (s);

τ_{ss} - Thời gian so sánh, với $\tau_{\text{ss}} = \tau_{\text{tr}} - \tau_{\text{trễ cầu}}$, (s);

r_{LT} - Bán kính cầu băng tạo ra theo lý thuyết, (mm);

r_{TN} - Bán kính cầu băng tạo ra đo được bằng thực nghiệm, (mm);

$\varepsilon_{\tau} = (\tau_{\text{TN}} - \tau_{\text{LT}}) / \tau_{\text{TN}}$ - Sai số giá trị tuyệt đối giữa kết quả lý thuyết và kết quả thực nghiệm, (%).

Bảng 1. Kết quả thực nghiệm đo kích thước cầu băng tạo ra trong vật ẩm

TT	τ_{tr} [s]	τ_{ss} [s]	r_{LT} [mm]	r_{TN} [mm]	ε_{τ} [%]
1	11,2	8,4	4,55	4,4	3,41
2	16,17	13,37	5,12	4,9	4,49
3	21,2	18,4	5,63	5,4	4,26
4	31,54	28,74	6,38	6,1	4,59
5	41,22	38,42	6,92	6,6	4,85
6	48,18	45,38	7,19	6,8	5,74
Sai số trung bình thực nghiệm					4,56

2.6.3. Kết quả kiểm tra cách nhiệt giữa thân kim lạnh và môi trường

Sau nhiều lần thực nghiệm, ta nhận thấy thân kim lạnh hoàn toàn không bị bám tuyết (Hình 8). Mặc dù thực nghiệm này không đo được nhiệt độ của thân kim lạnh,

nhưng có thể khẳng định nhiệt độ thân kim lạnh lớn hơn 0°C (nhiệt độ tế bào có thể chịu đựng).

2.6.4. Luận bàn kết quả

- Sai số giữa lý thuyết và thực nghiệm trung bình là 4,56%. Đối với bài toán nhiệt sai số này có thể chấp nhận. Như vậy, các công thức thiết lập khi xác định bán kính cầu băng tạo ra bên trong vật ẩm đạt độ chính xác của kỹ thuật.

- Cầu băng đóng đều quanh đầu kim lạnh, thân kim hoàn toàn không có tuyết bám. Như vậy, thân kim lạnh cách nhiệt bằng chân không hoàn toàn không ảnh hưởng đến vùng vật liệu xung quanh.



Hình 8. Kiểm tra cách nhiệt của thân kim

2.7. Kết luận và kiến nghị

1. Kim tạo cầu băng hoạt động tốt, đạt yêu cầu kỹ thuật;
2. Các sai số gây ra chủ yếu do: ảnh hưởng của điều kiện môi trường thực nghiệm, các thông số vật lý (c , λ , ρ , v , v) chưa có số liệu chính xác để tính toán;
- 3- Cần có những nghiên cứu thực nghiệm trên cơ thể sống trước khi áp dụng vào điều trị bệnh thực tế.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Chun-Ping Wang, Yinying Lu, Hong Wang, Xudong Gao, Wenlin Bai, Jianhui Qu, Guilin Xu, Zhenzhen Zhang, Zhen Zeng, Lin Zhou, Linjing An, Jiyun Lv and Yongping Yang (2012), *Transarterial chemoembolization with/without cryotherapy is associated with improved clinical outcomes of sorafenib for the treatment of advanced hepatocellular carcinoma*, experimental and therapeutic medicine 4: 188-196, 2012.
- [2] Hoàng Ngọc Đồng, Nguyễn Bốn, Lê Minh Trí (2014), “Quá trình truyền nhiệt, truyền chất không ổn định với biên di động khi hóa rắn vật ẩm bằng kỹ thuật Cryo”, *Tạp chí Năng Lượng Nhiệt*, năm thứ 21, số 117- 2014, tr 15÷ 20.
- [3] <http://www.google.com.lb/patents/US20100256620> [Truy cập: 15/9/2014].
- [4] <http://www.google.mw/patents/US6706037> [Truy cập: 15/9/2014].
- [5] Hoàng Ngọc Đồng, Nguyễn Thành Văn, Lê Minh Trí (2014), *Nghiên cứu sử dụng lỏng nitơ cho dao mổ lạnh ở Việt Nam*, *Tạp chí Khoa học và Công nghệ, Đại học Đà Nẵng- Số 5 (78)*. 2014.
- [6] Phạm Lê Dân, Đặng Quốc Phú (2002), *Cơ sở kỹ thuật nhiệt*, NXB Giáo Dục.
- [7] <http://vi.scribd.com/doc/121750781/B%E1%BA%A3o-qu%E1%BA%A3n-th%E1%BB%8Bt-bo#scribd> [Truy cập: 15/9/2014].