

# 遠紅外線在不同衣料及組織穿透能力之研究

謝鸚燁<sup>1</sup> 劉威忠<sup>2</sup> 馮明華<sup>3</sup> 林招彭<sup>1</sup>\* 林群智<sup>4</sup>

<sup>1</sup>元培科技大學 影像醫學研究所

<sup>2</sup>慈濟大學 放射技術系

<sup>3</sup>南華大學 資訊工程學系

<sup>4</sup>南華大學 通識教學中心/自然生物科技系

## 摘要

本研究探討軟組織、100%棉質和100%聚酯纖維衣料，在不同強度之遠紅外線及照射時間下，溫度隨深度之變化情形，以探討軟組織深度及衣料之材質和厚度對於遠紅外線之熱量傳遞的影響。研究結果發現，經45°C及65°C等兩種不同表面溫度之遠紅外線放射器照射60分鐘後，在37°C恆溫下之豬肉樣品的深層組織(4.6 cm)分別提升至38.7°C及39.1°C。此外，在經45°C及65°C兩種表面溫度之遠紅外線照射20分鐘後，可發現23°C恆溫下之100%棉質衣料，其0.5 cm深處之溫度分別提升至30.7°C以及39.1°C，而在100%聚酯纖維相同深處，其溫度則分別提升至33.9°C以及42.4°C；顯示聚酯纖維之傳導速率較棉質快。本研究結果可提供遠紅外線之使用者及臨床研究與應用的參考，以針對照射部位之組織或器官組成，適度調整強度與照射時間，而達到較佳之治療效果。此外，建議在臨床應用上，患者所著衣物採用聚酯纖維衣料並減少衣料厚度，以降低遠紅外線之強度衰減。

**關鍵詞：**遠紅外線，熱量傳導，穿透，棉，聚酯纖維

## 前言

遠紅外線(Far infrared ray)，為一種不可見光的電磁波，其波段為5.6到1000  $\mu\text{m}$ 的紅外線[1]，其中，波長4~14  $\mu\text{m}$ 之波段被發現可被生物有效吸收而正面影響生物的生長、生理機能等，故又稱為生長光線(growth ray) [2]。人體在吸收此光波後可產生兩個主要的生物效應，即熱效應以及非熱效應。遠紅外線對於人體的穿透力並不強，幾乎在表皮層被吸收殆盡，但它卻可以在深部組織產生溫熱效果，其原因就在於遠紅外線釋出的波長大部分的能量都被淺層皮膚的組織分子以及水分子有效吸收[3]，進而產生振動躍遷，而自低能階(基態)躍遷到高能階(激發態)，隨後以非輻射緩解的方式釋出熱[4,5]，或伴隨轉動躍遷而導致摩擦產生熱。

醫療上的遠紅外線療法以振動躍遷產熱為主要作

用機制，此溫熱效應可以達到人體血管擴張的效果，造成血流量增加[6-9]。近年來有許多相關的研究指出遠紅外線對於促使組織生長與再生[10]、傷口癒合[11]、抑制疼痛[12-13]、降低血糖[14]、增加睡眠品質[15]、降低動脈硬化[16-17]、提升皮瓣成活率[18]、減緩肌肉的緊張和痙攣[19]、消除疲勞[20]、抑制腫瘤細胞增生[21-22]等均有正面療效。遠紅外線之熱傳遞效果比近紅外線佳[23]，可穿透更深層之組織。不同強度及照射時間皆能影響遠紅外線產生之熱能在組織層的傳遞效果，此外，衣物之厚度及質料亦能影響遠紅外線之穿透能力。目前遠紅外線醫療產品充斥市場，但鮮少商品考量其所釋出之遠紅外線波長、強度、及其所能到達的深度(有些廠商甚至宣稱其產品可穿透體

表至深層組織約 10 cm)。爲了提供醫療人員、遠紅外線醫療器材研發業者，以及使用者在操作或使用上之最佳條件，我們探討不同強度及時間照射之遠紅外線在軟組織中之溫度變化情形，亦觀察其光線對於不同衣物之質料及厚度之影響，此結果將可作為遠紅外線醫療器材應用於不同身體部位及深度或所衣著之布料及厚度時所應賦予之放射強度的參考。

## 材料與方法

### 不同放射峰值之遠紅外線及照射時間對組織層之穿透能力

本實驗採用新鮮離體豬肉，其面積爲  $6 \times 7 \text{ cm}^2$ ，高約 6 cm。此豬肉層被分爲不同厚度之組織層（由上往下分別爲：0.3 cm 豬皮、1.3 cm 脂肪及 5 cm 肌肉組織），其中，肌肉部分再區分爲 5 層，每層 1 cm。豬皮之上表面、皮下及各層之間均插入熱電偶溫度計（德製 Stork SK55-120）後，利用保鮮膜緊包豬肉，以維持其形狀及減少水分散失，隨即置入預熱至  $37^\circ\text{C}$  之恆溫槽（Firstek B206-T1）並以遠紅外線放射器（光能波晶片；英川生化科技公司， $3\text{-}15 \mu\text{m}$  放射率爲 0.861）由上向下照射豬肉樣品（射源距豬皮表面 2.5 cm；圖 1），射源表面溫度爲  $45^\circ\text{C}$ （商品化之遠紅外線醫療器材常使用之溫度），照射時間 1 小時，每 10 分鐘紀錄一次，重複此步驟三次，量測各層溫度，並取其平均值。改變表面溫度爲  $65^\circ\text{C}$  [商品化之遠紅外線烤箱（sauna house）使用之最低溫度]，以觀察不同放射峰值時（ $45^\circ\text{C}$  時爲  $9.12 \mu\text{m}$ ； $65^\circ\text{C}$  時爲  $8.58 \mu\text{m}$ ），深部組織之溫度變化。

閉空腔（體積約  $20 \times 15 \times 3.6 \text{ cm}^3$ ，室溫  $23^\circ\text{C}$ ）。以遠紅外線放射器由上向下照射衣料（射源距衣料表面 2.5 cm；圖 2），照射時間 20 分鐘，每 2 分鐘紀錄溫度一次，重複此步驟三次取平均值。改變衣料爲 100% 棉質，以觀察不同放射峰值時，衣料層間之溫度變化。

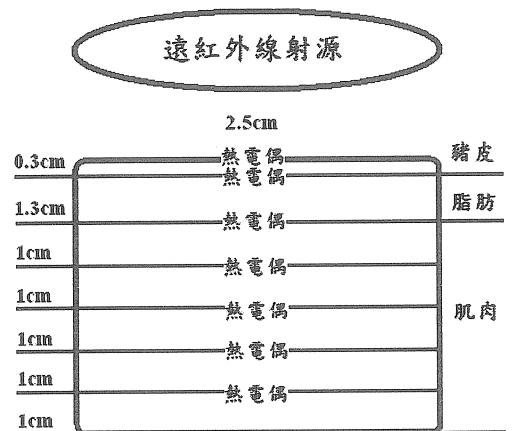


圖 1 遠紅外線照射豬肉組織及熱電耦之空間配置

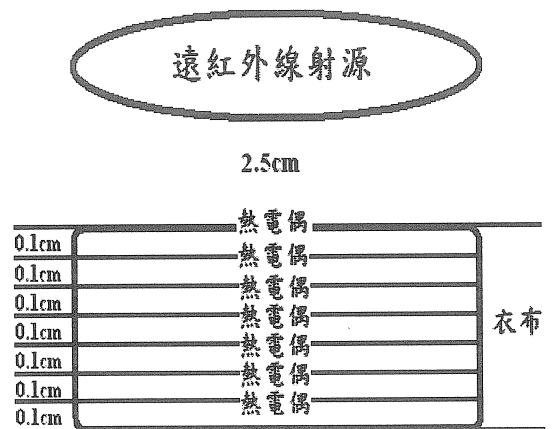


圖 2 遠紅外線照射衣料及熱電耦之空間配置

### 不同放射峰值之遠紅外線及照射時間在不同衣料之穿透能力

本研究利用 6 小塊厚度爲 0.1 cm 之兩種常見衣料（100% 聚酯纖維及 100% 棉質；面積  $= 4 \times 4 \text{ cm}^2$ ）觀察不同放射峰值之遠紅外線在衣料層中之溫度變化。堆疊上述 6 小塊 100% 聚酯纖維之衣料，並在衣料表面及各層衣料間安置熱電偶（CompuNurse ETM2000）後，置於密

## 結果

### 遠紅外線在不同之放射器表面溫度及照射時間對組織層之穿透能力

當遠紅外線放射器之表面溫度爲  $45.0^\circ\text{C}$  時，其放射強度峰值可由 Wien's displacement law（式 1）求出（其中， $\lambda_{\text{max}}$  爲最大放射率之波長， $T$  爲絕對溫度），其值爲  $9.11 \mu\text{m}$ 。 $\lambda_{\text{max}} = 2897/T (\mu\text{m})$  [1]

豬肉樣品經 60 分鐘之照射後，可發現豬皮組織上表面

之溫度上升至 50.2°C，而 0.3 cm 之組織層亦有明顯的溫度遞增，其值由 37°C 提升至 42.3°C，而 1.6 cm 深處之脂肪組織由 37.0°C 增升至 39.8°C，至於 2.6、3.6 及 4.6 cm 深處之肌肉分別微增至 39.3、39.2 及 38.7°C (圖 3)。當遠紅外線放射器之表面溫度為 65.0°C 時，其放射強度峰值為 9.11 μm。豬皮組織在此遠紅外線照射下，其表面溫度在 60 分鐘後由 37°C 增升至 52.8°C，而豬皮下之溫度則升高至 44.2°C；此外，脂肪組織層(1.6 cm 深處)之溫度由 37°C 增升至 40.5°C；在 2.6 及 3.6 cm 4.6 cm 深處之肌肉組織層則分別微增至 40.0、39.3 及 39.1°C (圖 4)。

遠紅外線在不同之放射器表面溫度及照射時間對棉質衣料之穿透能力

當遠紅外線射源之表面溫度為 45.0°C 時，經 60 分鐘之照射後，棉質衣料表面及 0.1 cm 深處之溫度由 23°C 升高至約 33.8°C，而在厚度 0.2、0.3 及 0.4 cm 深處之溫度則提高至 31~32°C，而 0.5 cm 深處之溫度則提升至 30.7°C (圖 5)。

當遠紅外線放射器之表面溫度為 65.0°C 時，棉質衣料經 60 分鐘之照射後，表面溫度由 23.0°C 升高為 46.5°C，而在深度 0.1、0.2、0.3 及 0.4 cm 之溫度分別提升至 45.4、43.2、42.2 及 40.7°C，而 0.5 cm 深處之溫度則提升至 39.1°C (圖 6)。

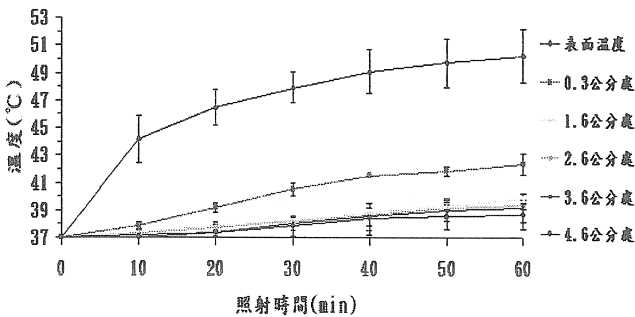


圖 3 遠紅外線放射器表面溫度為 45.0°C 時，肌肉組織層經照射後之溫度變化

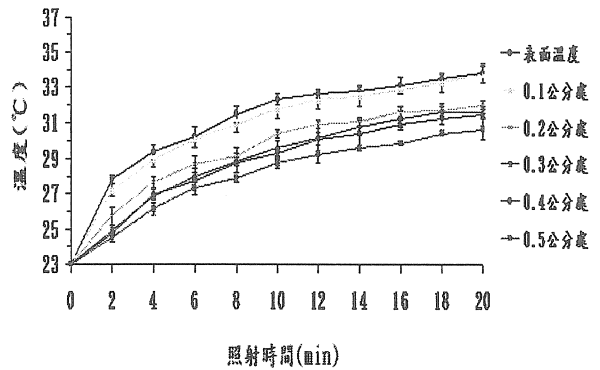


圖 5 遠紅外線放射器表面溫度為 45.0°C 時，100% 棉質衣料經照射後之溫度變化

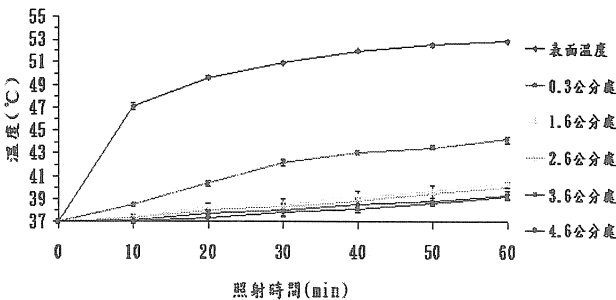


圖 4 遠紅外線放射器表面溫度為 65.0°C 時，肌肉組織層經照射後之溫度變化

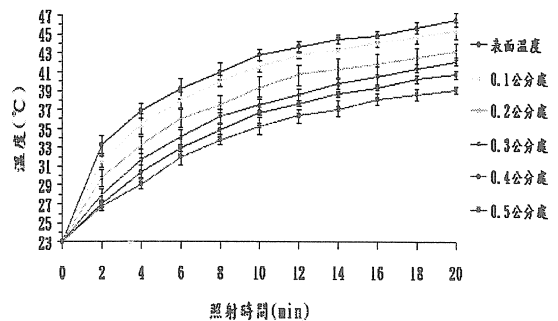


圖 6 遠紅外線放射器表面溫度為 65.0°C 時，100% 棉質衣料經照射後之溫度變化

### 不同遠紅外線放射率峰值及照射時間對聚酯纖維衣料之穿透能力

當遠紅外線射源之表面溫度為 45.0°C 時，聚酯纖維衣料經 60 分鐘之照射後，表面溫度由 23.0°C 升高至 37.9°C，而在 0.1、0.2、0.3 及 0.4 cm 深處之溫度分別增至 36.7、36.4、35.7 及 34.1°C，0.5 cm 深處之溫度則提升至 33.9°C (圖 7)。當遠紅外線放射器之表面溫度為 65.0°C 時，聚酯纖維衣料之表面溫度經 60 分鐘之照射後，由 23.0°C 升高為 49.1°C，而在深度 0.1、0.2 及 0.3 cm 深處之溫度分別升至 47.9、46.6 及 45.6°C，而 0.4 cm 及 0.5 cm 深處之溫度則升高為 42~43°C (圖 8)。

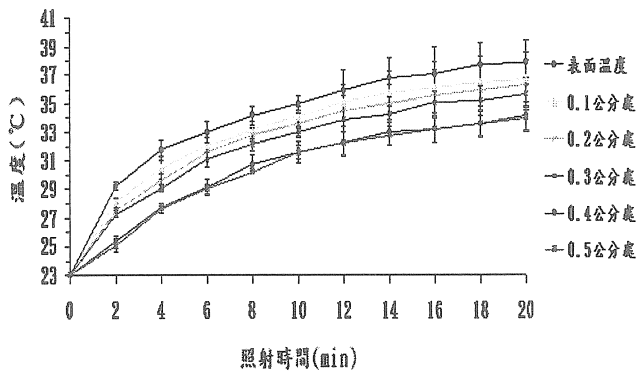


圖 7 遠紅外線放射器表面溫度為 45.0°C 時，100% 聚酯纖維衣料經照射後之溫度變化

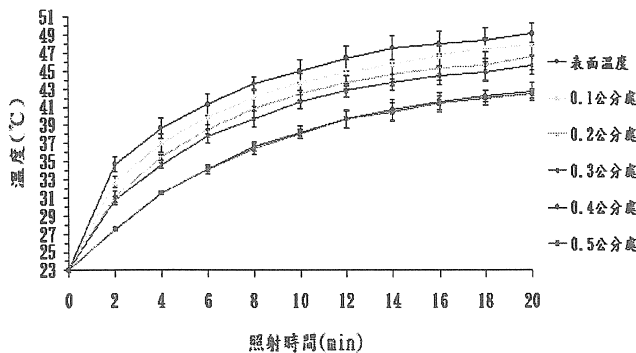


圖 8 遠紅外線放射器表面溫度為 65.0°C 時，100% 聚酯纖維衣料經照射後之溫度變化

### 討論

當遠紅外線放射器之表面溫度不同時，其放射率峰值亦隨之改變，且離體豬肉樣品接受遠紅外線照射時，可發現遠紅外線幾乎在 0.3 cm 之豬皮組織即被吸收殆盡，使其增溫速度較其他組織層為快。此外，遠紅外線放射器之表面溫度亦影響深層組織之增溫效果；當表面溫度為 45.0°C 時，經照射 60 分鐘後之豬肉樣品，其豬皮與脂肪層交界處組織 (深度 0.3 cm) 之溫度為 42.3°C，而當表面溫度為 65.0°C 時，其溫度為 44.2°C。由此可知，隨著遠紅外線放射器表面溫度增加，淺層組織 (如：表皮、脂肪以及淺層肌肉組織) 之升溫速度亦隨之提高，但深層組織 (如：2.6、3.6 及 4.6 cm 深處之肌肉組織) 則較無明顯差異。

在二種不同表面溫度 (45°C 及 65°C) 之遠紅外線放射器照射 60 分鐘後，可觀察到豬皮組織之上表面至 0.3 cm 深度處，其溫度差異約為 8°C，而經過脂肪組織層後，其值約減少 10~13°C，在肌肉層之溫度衰減程度相似與肥肉層。在最深層之肌肉 (4.6cm) 增溫情況，在射源表溫 45 及 65°C 照射下，分別得其值為 38.7°C 及 39.2°C，兩者差異不大。此外，在二種放射率峰值之遠紅外線照射下，欲提升組織深層溫度 1°C 之時間約為 30-40 分鐘；提升至 2°C 至少約 60 分鐘。

在相同條件下，由豬肉樣品各組織之傳導率

(thermal conductivity;  $k = \frac{QL}{TA\Delta t}$ ，其中，Q 為熱量，t

為時間，L 為長度，A 為面積，T 則為溫度差) 可得知深層組織 (k=0.5) 之傳導率較表皮組織 (k=0.24) 及脂肪組織 (k=0.19) 來得快 [24]。但本實驗呈現之結果與上述之現象有所不同，其原因在於各組織層之厚度與吸收之熱量皆不相同；本實驗之表皮厚度 (0.3 cm) 較其它兩種組織層來得薄，此外，由於表皮組織為豬肉組織之最上層，以致於吸收之能量高於另外兩種組織層，而深層之肌肉組織因強度衰減則接受之熱量最少。

再者，本研究結果發現，遠紅外線並非以直接輻射的傳熱方式導致深層組織增溫，而是被組織表層分

子(如:水及其他具有可吸收此波段官能基之分子[25])吸收後,經由振動及轉動方式釋出熱能,使得深部組織的溫度經傳導方式傳遞至較深層組織。由於離體豬肉組織並無血流循環以藉由對流方式傳遞熱能至深層組織,而在活體組織中,遠紅外線除了可藉由傳導方式傳遞熱能外,尚可藉由遠紅外線造成血管的擴張,而導致血流增加,使熱能在組織中的傳遞更為迅速。此外,由本研究結果可知,遠紅外線在臨床之實際利用於較深層器官或組織之保健或治療上,可藉由同時在身體兩側安置射源,以提高其效果並減少照射時間。

遠紅外線在衣料中之穿透能力亦與衣料之材質有關;當放射器以不同之表面溫度照射純棉及聚酯纖維衣料 20 分鐘後,可發現 100% 聚酯纖維在 0.5 cm 深處之溫度皆高於 100% 棉質衣料,顯示聚酯纖維之傳導速率較棉質來得快。此外,亦可發現純聚酯纖維衣料之表面溫度皆高於純棉衣料,其結果可說明在相同條件之下,100% 聚酯纖維較 100% 棉質之吸收遠紅外線之波段效果為佳。再者,無論射源表面溫度為 45°C 或 65°C,可發現 100% 棉質衣料在 0.1~0.2 cm 之間,而 100% 聚酯纖維衣料則在 0.3~0.4 cm 之間呈現最大之溫度落差,此現象說明遠紅外線在聚酯纖維之穿透能力較在棉質衣料中為佳。

實驗結果亦指出射源表面溫度為 45.0°C,0.5 cm 厚度之衣料經 20 分鐘之照射後,遠紅外線穿過衣料之強度將隨厚度而衰減,觀察其造成之溫度差異,可發現在 100% 棉質衣料中平均衰減約 3.3°C,而在 100% 聚酯纖維衣料中平均衰減約 3.9°C;當射源表面溫度為 65.0°C 時,在 0.5 cm 厚度之 100% 棉質衣料中,平均衰減約 7.2°C,而在 100% 聚酯纖維衣料中平均衰減約 6.9°C。在相同條件之下,當衣料之厚度為 0.1 cm 時,經表面溫度為 45.0°C 之遠紅外線射源照射 20 分鐘後,可發現在 100% 棉質衣料中平均衰減約 0.3°C,而在 100% 聚酯纖維衣料中平均衰減約 1.0°C;當射源表面溫度為 65.0°C 時,在 100% 棉質衣料中平均衰減約 1.1°C,而在 100% 聚酯纖維衣料中平均衰減約 1.4°C。由此可知兩種衣料

材質在溫度衰減之比較,其差異並不明顯,亦可說明兩種材質之吸熱效果差不多。此外,可發現厚度及射源表面溫度越高(放射強度越高,放射率峰值移向較短波長),則其溫度衰減程度越大。此結果可作為遠紅外線醫療器材設計時,考量使用者所著衣物材質,而調校其表面溫度之參考。

## 結論

本研究利用不同強度遠紅外線照射離體豬肉,實驗證明遠紅外線無法直接利用放射方式傳遞熱能至深部組織,必須藉由傳導以及(在活體組織中血液的)對流,以傳遞熱能。此外,遠紅外線強度及照射時間皆影響熱能之傳遞深度。本研究結果可資臨床研究與應用上(如:遠紅外線治療與復建)之參考,針對單一部位組織或器官,可適度調整強度與照射時間,以達到較佳的治療效果。

遠紅外線在組織中之熱傳遞深度亦受衣物之質料與厚度影響,而射源表面溫度(放射強度)及厚度亦影響遠紅外線之衰減程度。為避免使用遠紅外線產品時,遠紅外線因衣料之吸收而降低到達組織之能量,以致於減低熱效應及非熱效應之效果,可選擇較薄及易吸收其遠紅外線波段之衣料。本研究結果顯示,100% 聚酯纖維衣料較棉質衣料之傳導速率來得快,在臨床使用上,若需著衣,則建議採用 0.1 cm 之 100% 聚酯纖維衣料。

## 參考文獻

- 1、Ikeda Y, Biro S, Kamogawa Y and Yoshifuku S. Repeated sauna therapy increases arterial endothelial nitric oxide synthase expression and nitric oxide production in cardiomyopathic hamsters. *Japanese Crick Journal*. 2005;69(6):722-729.
- 2、Hamada Y, Teraoka F, Matsumoto T, et al. Effects of far infrared ray on HeLa cells and WI-38 cells. *International Congress Series*. 2003;1255:339-341.

- 3、Dover JS, Phillips TJ and Arndt KA. Cutaneous effects and therapeutic uses of heat with emphasis on infrared radiation. *J Am Acad Dermatol.* 1989;20:278-286.
- 4、高逢時，黑夜的精靈-螢光體，科學發展月刊，2003;367:64-69
- 5、謝鸚燁、林招彭、林群智\*，遠紅外線在醫學上之應用及其作用機制。台灣應用輻射與同位素雜誌，2007;3(3):333-340。
- 6、Inoue S and Kabaya M. Biological activities caused by far-infrared radiation. *Int J Biometeorol.* 1989;33:145-150.
- 7、Ise N, Kaysuura T, Kikuchi Y and Miwa E. Effect of far-infrared radiation on forearm skin blood flow, *Annals of Physiological Anthropology.* 1987;l(6):31-32.
- 8、鄒其俊，遠紅外線生物效應談，微循環學雜誌，1997;7(4):39-41。
- 9、Yu SY, Chiu JH, Yang SD, Hsu YC, Lui WY and Wu CW. Biological effect of far-infrared therapy on increasing skin microcirculation in rats. *Photodermatology, photoimmunology & photomedicine.* 2006;22(2):78-86.
- 10、Udagawa Y and Nagasawa H. Effects of far-infrared ray on reproduction, growth, behaviour and some physiological parameters in mice. *In Vivo.* 2000;14(2):321-326.
- 11、Toyokawa H, Matsui Y, Uhara J, et al. Effects of Far-Infrared Ray on Full-Thickness Skin Wound Healing in Rats. *Experimental Biology and Medicine.* 2003;228(6):724-729.
- 12、Masuda A, Koga Y, Hattanmaru M, Minagoe S and Tei C. The effects of repeated thermal therapy for patients with chronic pain. *Psychotherapy and psychosomatics.* 2005;74(5):288-294
- 13、何勇、李志新、崔友，中遠紅外線對荷瘤鼠大腦 $\beta$ -內啡肽、腦啡肽、強啡肽水平影響的實驗研究，黑龍江醫藥科學，2001;24(6):42-43。
- 14、程紹鈞、王蕩、張廣運，紅外線輻射對糖尿病兔糖代謝調控的實驗性研究，中華物理醫學與康復雜誌，2000;22(3):165-167。
- 15、Honda K and Inoue S. Sleep-enhancing effects of far-infrared radiation in rats. *Int J Biometeorol* 1988;32:92-94.
- 16、Tei C, Horikiri Y, Park JC, et al. Effects of hot water bath or sauna on patients with congestive heart failure: acute hemodynamic improvement by thermal vasodilation, *J Cardiol.* 1994;24(3): 175-183.
- 17、嚴永清，生命光線·微循環·遠紅纖維，江蘇紡織，1997;12:11-12。
- 18、姜平、羅力生，遠紅外線對鼠隨意皮瓣成活的影響，微循環學雜誌，2000;10(1):69-71。
- 19、荆蕊平、王昕、劉淑青，遠紅外線照射治療產後尿瀰留 15 例，現代中西醫結合雜誌，2000;9(13):1270。
- 20、Masuda A, Kihara T, Fukudome T, Shinsato T, Minagoe S and Tei C. The effects of repeated thermal therapy for two patients with chronic fatigue syndrome. *Journal of psychosomatic research.* 2005;58(4):383-387.
- 21、Nagasawa H, Udagawa Y and Kiyokawa S. Evidence that irradiation of far-infrared rays inhibits mammary tumor growth in SHN mice. *Anticancer Research.* 1999;19:1797-1800.
- 22、Udagawa Y., Ishigame H and Nagasawa H. Effects of hydroxyapatite in combination with far-infrared rays on spontaneous mammary tumorigenesis in SHN mice. *The American journal of Chinese medicine.* 2002;30(4):495-505.
- 23、林承德、楊明興，用以探討遠紅外線對生物體表層與深層血流影響之實驗系統設計，國立成功大學電機工程學系碩士論文，台南。
- 24、Tarlochan F and Ramesh S. Heat transfer model for predicting survival time in cold water immersion. *Biomedical Engineering- Applications, Basis and*

---

Communications. 2005;17(4):159-166.

Publishing. 1992:264-279

25、Skoog DA, Leary JJ. Principles of Instrumental  
Analysis 4<sup>th</sup> Ed. Saunders College

# Penetration Potential of Far-Infrared Ray in Different Fabrics and Tissues

Ying-Yeh Hsieh<sup>1</sup> Wei-Chung Liu<sup>2</sup> Ming-Hua Feng<sup>3</sup> Jao-Perng Lin<sup>1</sup> \*Chin-Chun Lin<sup>4</sup>

*<sup>1</sup>Institute of Medical Imaging, Yuanpei University*

*<sup>2</sup>Department of Radiological Technology, Tzu-Chi College of Technology*

*<sup>3</sup>Computer Science and Information Engineering, Nanhua University*

*<sup>4</sup>Institute of Natural Healing Sciences/General Education Center, Nanhua University*

## Abstract

This research aimed to investigate the variation of temperature inside the soft tissue, 100% cotton and 100% polyester cloths under the irradiation of different intensity of far-infrared ray (FIR) with different irradiation time, so that to probe the effect of the thickness of soft tissue and cloth as well as the cloth materials on thermal transmission by far-infrared ray. The results indicated that the temperature at 4.6 cm deep from surface of the (pork) tissue sample rose from 37°C to 38.7°C and 39.1°C after 60 min of irradiation with a FIR emitter whose surface temperature was respectively adjusted as 45°C and 65°C. Besides, after 20 min of irradiation with the FIR emitter by setting the surface temperature as 45°C and 65°C, the temperature at 0.5 cm deep from surface of the 100% cotton cloth rose from 23°C to 30.7°C and 39.1°C while that of the 100% polyester cloth rose from 33.9°C to 42.4°C. This represented that the rate of thermal conduction of polyester is faster than that of cotton. The results of this research provide a reference for FIR users as well as clinical research and applications to appropriately adjust the FIR intensity and irradiation time according to the composition of the irradiated tissues or organs to obtain better effects of healing. Furthermore, thinner polyester clothes were suggested for the dressing of patients in clinical use.

**Keywords:** far-infrared ray, thermal conduction, transmission, polyester, cotton