

運用於傳統中醫療法之電灸罐的熱傳遞研究

杜鳳棋¹ 李宗翰²

¹大華技術學院自動化工程系

²大華技術學院機電工程研究所

307 新竹縣芎林鄉大華路 1 號

摘要

在世界各地的古老文化傳承中，傳統醫療法都是不可遺漏的一部分。中國傳統療法與其他原始醫學不同之處，是採用各種天然器具而不使用任何藥物，並以經絡穴道為基礎。本論文的研究焦點旨在強調“熱”在中醫醫療方面的運用，研究方法主要是利用 ANSYS 軟體進行數值計算，模擬分析電灸罐內的熱傳遞情形。由於中國傳統療法中的灸療、拔罐以及針灸，在現今環境的侷限下，似乎已逐漸式微，甚至瀕臨失傳的危機。因此本論文積極的保留傳統中醫學存在價值，有效的改善長久以來傳統療法在施做方面的缺失，藉由現代科技融入傳統醫學，以便讓中國的傳統醫學能風華再現。在本論文中，我們並不採用數值方法直接解統御方程式，對於如何藉由 ANSYS 軟體探討電灸罐在空罐狀態下的熱傳遞（灸療）、罩在皮膚上罐體內的熱傳遞（拔罐）、以及留針狀態下罩在皮膚上罐體內的熱傳遞（針灸）等三種狀態。經由計算結果得知，在電灸罐縱橫比在 $H/D=2.3$ 的幾何形狀下，設定溫度與外界溫度比值 $T_o/T_\infty < 10$ 的範圍內，熱對流為罐體內主要的熱傳遞機構。

關鍵詞：針灸，灸療，拔罐，電灸罐，熱傳遞

Heat Transfer in an Electro-Moxibustion Cup for Traditional Chinese Medical Therapy

FENG-CHYI DUH¹ and TSUNG-HAN LI²

¹Department of Automation Engineering, Ta Hwa Institute of Technology

²Graduate School of Mechatronics Engineering, Ta Hwa Institute of Technology

No. 1, Dahua Rd., Qionglin Shiang Hsinchu County, Taiwan 307, R.O.C.

ABSTRACT

Traditional Chinese medicine (TCM) consists of a range of established therapeutic practices developed over several thousand years in China. Utilizing mainly heat, clinical treatments and therapies in TCM typically include acupuncture in conjunction with moxibustion and cupping. These techniques are characterized by their amazingly rapid achievement of the desired results by the application of heat. Because moxibustion often includes the burning of moxa or the mugwort herb, patients who have respiratory problems should avoid inhaling the smoke. The cupping treatment is accomplished by applying heat to certain external areas of the body; however, this therapy carries the

risk of burning the patient when not carefully executed. The aim of this research was to use ANSYS software to study heat transfer in a newly designed electro-moxibustion cup and investigate TCM therapies focusing on moxibustion, cupping and zhenjiuology. Among the results, the new cup was found to be subject to the aspect ratio $H/D=2.3$ and the temperature ratio $T_o/T_\infty < 10$; moreover, the heat transfer mechanism was observed as varying along the axial direction. Normal heat conduction to the skin is relatively small; hence, the heat transfer mechanism is dominated by heat convection.

Key Words: moxibustion, cupping, heat transfer, electro-moxibustion cup

一、前言

西醫具備良好的醫學養成教育，治理病人的豐富經驗都在先進的醫院中累積而成，思維的軌跡自然難以脫離科技邏輯。反觀中醫在現代的發展史，無論多麼的用心，也遮掩不了在現代科技的進攻下，與科學尋求客觀統合的精神背道而馳。如果能量無限的科學，真能替我們解決所有的健康問題，則無論接受服務者和行醫者，的確只需依循著科技的方向追求便可。可惜在病因、病原複雜的領域，科技的貢獻距離理想仍相當遙遠；且看過敏、病毒、衰老、失調、癌症等病症，至今仍缺乏徹底解決的方法。主宰現代的科技既非全能，多元的取向便有其必要，因此中醫便有了保存和發展的空間。

中國傳統的中醫療法屬於原始醫學的一部分，那是因為在早已走進歷史極為遙遠的時代，人類只能利用草藥、偏方及土方，那是不得已、無可選擇的治療方式。西方醫學亦是如此，歷經巴比倫、羅馬帝國時代連綿迄今，生老病死總有治病的傳說，然而能沿用至今，其實並不如中國醫學來得紮實與豐富。少數源自印度的自然療法（homeopathy），在英國與歐洲尚有民間醫院採用，不過也只有二、三百年的發展歷史。相較之下，中國傳統療法與哲學觀流傳千年而屹立不搖，確實可說是人類文明發展史上的寶貴遺產。

其實世界各地古老文化傳承中，傳統療法都是不可遺漏的一部分，然而中國傳統療法與其他原始醫學不同之處，即是採用各種天然器具，而不使用任何藥物，並以經絡與穴道為基礎。事實上，經絡與穴道之觀念，也唯有藉著傳統療法才能發掘人體奇妙的潛力，亦可以肯定中國傳統療法在醫療方面的內涵。在中國的醫學史中，傳統療法（針灸與拔罐等）的應用是民間醫療的主流，至今已累積相當豐富的經驗與傳承。

在中國傳統療法中，針灸與拔罐都是透過“熱”的作用，藉由熱刺激而發揮治療的功效，且由熱刺激效應激發抗病能力，藉以達到恢復健康的目的。惟因灸療法須燃燒中藥

草而產生燻煙，在現今的中醫院所根本難以施做；拔罐療法則須使用酒精燈加熱，溫度難以掌控且迅速回溫，目前絕大部分都改用真空吸力操作。中國傳統針灸療法在現今環境的侷限下，似乎已逐漸式微，甚至瀕臨失傳的危機。

中醫的現代發展史，實際卻是反映出傳統國粹逐漸沒落的歷程，在現代科技的助長下，西醫儼然呈現唯我獨尊之勢，除非傳統中醫能及時引進科技、利用科學，否則將會陷於自我封閉的境地。西醫盛行就像科學實驗的可重現性一樣，因為西醫醫療器材都是現代科技的結晶，這是中醫在過去領先西方醫學一千多年中忽略的一個重點，實在值得我們省思。學術研究可推動科技發展，科技進步可創造人類福祉，在如此的良性循環之下，其實中醫與西醫應可相輔相成，同時成為主流醫學。

二、文獻探討

對於中國傳統療法的一些基本知識應有所認知，俾以對本研究之進行有所助益。因為中國傳統療法的施做方式，必定會涉及電灸罐的設計細節，直接攸關罐體內的熱傳遞良窳。

針療法（acupuncture）與灸療法（moxibustion）均是屬於中國傳統醫學的外治療法，針療法是採用各式針具刺入人體穴位，施行特定之運針法（或行針法）一段時間，產生刺激作用而激發經氣，達到治療病痛與恢復健康之功效。灸療法則是採用特製的藥草，在人體穴位的皮膚表面燒灼或燻熨，產生特有氣味與溫熱的刺激效應，藉以調節生理機能、增進身體健康，達成解熱鎮痛與養生保健之目的。針療法與灸療法在療效具有相輔相成之功能，在臨床上常合併運用或先後交替使用，故通常合稱為針灸（zhenjiuology）[5, 6, 8]。

針灸是透過對人體穴位的刺激，經由經絡之傳輸而通達臟腑，從而活絡氣血以收受治療功效，故穴位亦稱「刺激點」，俗稱「穴道」[6]。穴位為臟腑的氣血通達體表之部位，人類經由長期與疾病抗爭與醫療實踐中，隨著經驗的累

積，穴位已被逐漸發現並記錄。根據學者專家對針灸進行研究，發現針灸刺激的穴位有可能刺激人體內部的神經，使人體大腦內部釋放出不同的神經傳送素，因而產生療效 [6]。人們對於密佈在全身穴位的明確位置與治療範圍，均奠定良好的基礎並賦予特定的名稱。

「經絡學說」是探討人體經絡系統、生理功能、病理變化以及臟腑關係之論述。經絡學說的創始及發展，其實與針灸療法具有密不可分的關聯性 [3]。經絡乃是氣血運行的通路，而氣血又是人體維繫生命的泉源，誠如『內經』指出：「用針之類，在於調氣」及「凡刺之真，必先治神」。由此看來，針法與灸法若運用得宜，將可舒暢與調適氣血運行於全身，使人能展現「神采奕奕，神氣活現」的氣度。古人云：「學醫不知經絡，開口動手便錯」，由此可見，經絡學說在中醫學的確占有舉足輕重的地位。

拔罐 (cupping) 是中醫傳統的治療方式之一，1973 年在中國湖南省長沙市的馬王堆漢墓出土之醫書中可發現，早在秦漢以前就有了拔罐療法，只是當時並沒有目前的玻璃製品，都是以動物的角做為吸拔的工具，因此拔罐法在古代的典籍中亦稱為「角法」。拔罐法係以罐為工具，利用加熱方式使罐內形成負壓，以致罐能吸附於皮膚或穴位，由於產生溫熱刺激，使被拔部位有充血或瘀血，可達到防治疾病的一種外治法 [4, 7, 10]。

人類很早以前就認識到熱療對疾病的治療作用，熱療有助於肌肉與關節放鬆，最常被運用於疼痛治療。當溫度高於身體中心溫度 (37°C) 時，身體反應會自動加速血液循環以降低溫度，加速血液循環提高組織修復能力，並增進排除代謝廢物的速度。物理治療因子中，熱療因子之發展由來已久，人類很早就知曬太陽可以緩和癢及痛，中國古代也使用灸 (moxa) 來治病，溫泉之使用也流傳甚久。根據穿透人體組織的深淺，可將熱療分為淺層熱療 (superficial heat) 及深層熱療。淺層熱療透熱深度小於 1 公分；深層熱療又稱為透熱療 (diathermy)，其熱量可深入 3~6 公分 [9]。

以上的文獻回顧，讓我們領會到中國傳統療法相當依賴「熱」，不管是灸療或是拔罐，既是一種溫熱刺激，就必須達到一定的「熱」程度，絕不能浮皮潦草，表熱裡不熱，結果達不到治療的目的。本論文積極保留「原始醫學」存在的價值，戮力的改善長久以來「傳統療法」在施做方面的缺失，藉由現代科技融入傳統醫學，以便讓中國的傳統醫學能風華再現。

三、研究方法

本論文主要在於解析電灸罐內的熱量傳遞，雖然數值方法直接採用 ANSYS 軟體 [12] 進行，但要驗證數值計算結果的正確性，我們仍須對基本熱傳遞 (fundamentals of heat transfer) 有所認知。在本論文中，我們並不需要採用繁複的數值方法解複雜的統御方程式，只要藉由 ANSYS 軟體配合適當的邊界條件設定，便能從溫度場探討電灸罐內的熱傳遞狀況 [2]。本論文的研究焦點，主要係針對三種傳統中醫療法進行熱傳遞分析：空罐狀態下的熱傳遞 (灸療)、罩在皮膚上罐體內的熱傳遞 (拔罐)、以及在留針狀態下，罩在皮膚上之罐體內的熱傳遞 (針灸)。

通常，溫度達到 42°C 癌細胞將會自然的消滅；此外，在人體體內的研究方面，人體的組織細胞只要在 58°C 維持三分鐘，即會造成細胞膜之脂質雙層的破壞，細胞內蛋白質的變性，而導致細胞凝固性壞死 (coagulation necrosis) [9]。可見掌控電灸罐內溫度的重要性，如何拿捏得宜全憑醫師根據病患的需求予以設定。本論文在以下的分析中，將皮膚表面的期望溫度 T_s ，選擇為 42°C 的安全值。

皮膚 (skin 或 cutis) 及其衍生物—毛、指甲、腺體及許多特殊感受器—組成人體的皮膚系統。皮膚不僅是包裹人體內臟、肌肉、骨骼的皮囊，本身也是種活器官，擁有神經、血管、色素細胞和腺體。皮膚是覆蓋身體的堅韌不透水的外皮，與口、鼻、眼臉和泌尿、肛門的粘膜相接。皮膚是身體最大的器官，成年人的皮膚面積有 1.8 平方公尺，厚度約為 2.12~4.08 mm，其中眼臉最薄而手掌與腳掌最厚 (眼皮部位，為 0.2~0.66 mm，而手心、腳心的厚度為 2~4 mm)。皮膚由外到內，可分成表皮、真皮及皮下組織等三層 [1]。

有關數值方法所須設定的邊界條件，可將電灸罐的邊界條件以圓柱座標 (r, θ, z) (圖 1) 予以描述。在電灸罐周圍 ($r=R$ 及 $z=H$) 的邊界條件設為絕熱狀態，因此壁面之徑向的熱傳遞必須為零，意即傳導熱通量為

$$q_{r=R}'' = -k_a \left. \frac{\partial T}{\partial r} \right|_{r=R} = 0 \quad (1)$$

在罐體內頂面之軸向的熱傳遞為零，意即傳導熱通量為

$$q_{z=H}'' = -k_a \left. \frac{\partial T}{\partial z} \right|_{z=H} = 0 \quad (2)$$

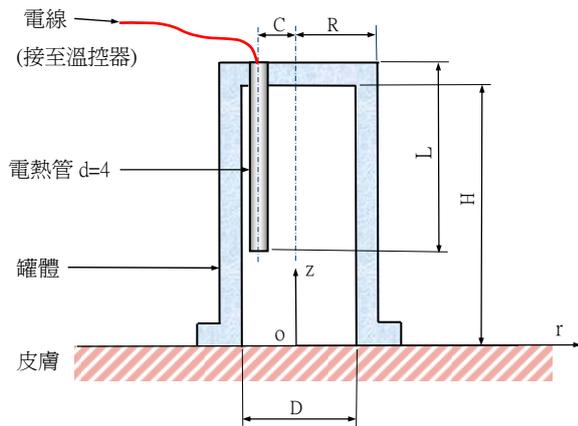


圖 1. 電灸罐的幾何形狀

在罐體內底面的邊界條件設定分成二種，在空罐狀態下為

$$T|_{z=0} = T_{\infty} \quad (3)$$

若罩在皮膚上罐體內的熱傳遞（拔罐），及留針狀態下罩在皮膚上罐體內的熱傳遞（針灸）等二種狀態，在罐體內底面皮膚直接接觸，故軸向的熱傳熱通量相等，意即傳導熱通量為

$$k_a \frac{\partial T}{\partial z} \Big|_{z=0^+} = k_s \frac{\partial T}{\partial z} \Big|_{z=0^-} \quad (4)$$

式中 k_a 與 k_s 分別為空氣與皮膚的熱傳導係數。

在傳統的拔罐療法中，普通拔火罐的式樣均為口小肚大的玻璃罐，瓶口之邊緣向外翻，呈鐘形而口略向外。由於在電灸罐內，只有在避開電熱管的環狀區域才適合容置灸針，所以電熱管在電灸罐內呈偏心裝置，在實務操作會比較安全。本論文擬設計安全性較高的電灸罐，假設罐體之幾何尺寸為：內徑 D 、高度 H 之開口罐器，外觀呈倒杯狀，如圖 1 所示；電灸罐內電熱管的安裝係以偏心方式設計，即電熱管中心軸與電灸罐中心軸呈平行，電熱管長度 L 、偏心量為 C 。在數值計算時，罐體的內部高度 H 與內徑 D 的比值 $H/D=2.3$ ，電熱管長度 L 與內徑 D 的比值 $L/D=1.2$ ，顯見罐體屬於較為細長的型式，主要是預留空間以便容置灸針。

四、結果與討論

在使用 ANSYS 軟體的數值計算中，計算結果的準確性與可接受度，完全端視數值方法中的參數設定。本論文在執行數值計算所需設定的參數有：計算區域的元素分割（element meshing）數與暫態過程中的時間間距（time interval） Δt 。將元素分割得愈細，將會增加計算結果的準確性，但使用過細的元素會增加總元素數，因此需要更多的計算時間與貯存空間，就整體效益並不是最佳化的狀態；時間間距的細分亦面臨同樣的情況。經由數值方法測試達到電熱管 99% 設定溫度（ T_0 ）的時間做比較，最少總元素數（1101 個）達到設定溫度的 99% 所須的操作時間為 878 秒；最多總元素之間（10,294 個）達到設定溫度所須的操作時間為 881 秒，兩者之間的相對誤差僅為 0.341%，由此可見，元素數多寡對於操作時間的影響微乎其微。對於計算時間測試結果得知，最少總元素數（20.5 秒）與最多總元素（190.6 秒）之間的差異高達 9.3 倍；至於時間間距則不影響數值計算結果。據此，本論文各數值計算例，我們的數值計算參數皆採用總元素數為 1101 個，時間間距則取為 30 秒。

本論文數值方法的重點，在於計算電熱管加熱之後（ $t>0$ ），在罐體中的溫度變化狀況。由於加熱源可利用數位溫度控制套件，故電熱管的設定溫度 T_0 將分別選擇 50、100、150 及 200°C 等四種不同的固定值；至於外界溫度 T_{∞} ，則分別選取 15、20、25 及 30°C 等四個固定值。

在第一個計算例中，主要是探討電灸罐在空罐狀態下的熱傳遞（灸療），使用的邊界條件為（1）~（3）式所設定之狀態。圖 2 的曲線係描繪罐體內的溫度上升狀態，在每一個範例中的電熱管設定溫度（ T_0 ），同樣皆選擇 50、100、150 及 200°C 等四種；外界溫度 T_{∞} 均假設為 20°C。從圖中的曲線趨勢清楚可見，無論電熱管的設定溫度為若干，當電熱管開始加熱後，溫度會迅速的上升，但達到某一個程度後，溫度上升的狀況便趨於緩慢。再從數值計算結果得知，四種不同電熱管設定溫度的情況下，達到電熱管 99% 設定溫度之操作時間分別需要 878、936、952 及 959 秒，溫度雖呈等差級距增加，但操作時間卻可大幅縮短。由此可知，傳統中醫師利用燃燒時火焰的熱量，主要是用以迅速排除罐體內空氣的原理，然而罐體迅速吸附在皮膚上，常會使患者感到灼痛過緊。

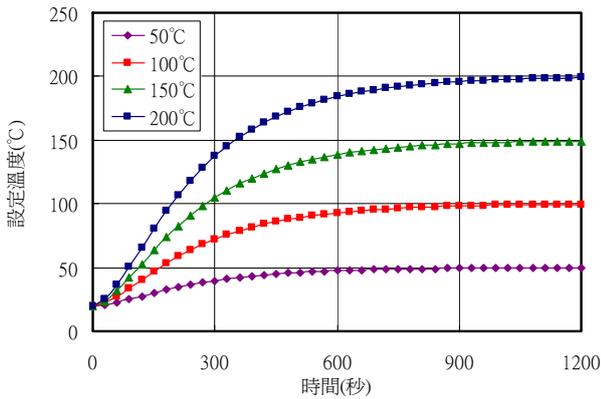


圖 2. 罐體內的溫度上升狀態 ($T_{\infty}=20^{\circ}\text{C}$)

為進一步瞭解並掌握溫度上升快慢的情況，我們將上述四種不同電熱管設定溫度情況下 (T_o 分別設定為 50、100、150 及 200°C ；外界溫度 T_{∞} 均假設為 20°C) 的加熱狀態，透過溫度變化率 (rate of temperature change) 的曲線圖予以描述 (如圖 3 所示)，其中溫度變化率 (\dot{T}) 的定義如下所列

$$\dot{T} = \frac{\Delta T}{\Delta t} = \frac{(T_{t+\Delta t} - T_t)}{\Delta t} \quad (5)$$

其中 $\Delta T = T_{t+\Delta t} - T_t$ 表示溫差 ($^{\circ}\text{C}$ 或 K)， Δt 代表時間間距。透過圖中的曲線分佈可清楚的看出，在開始加熱階段溫度上升極為迅速，很快的達到曲線峰值 (peak value)。緊接著，溫度變化率呈現遞減的趨勢，此意味溫度增加開始趨緩。

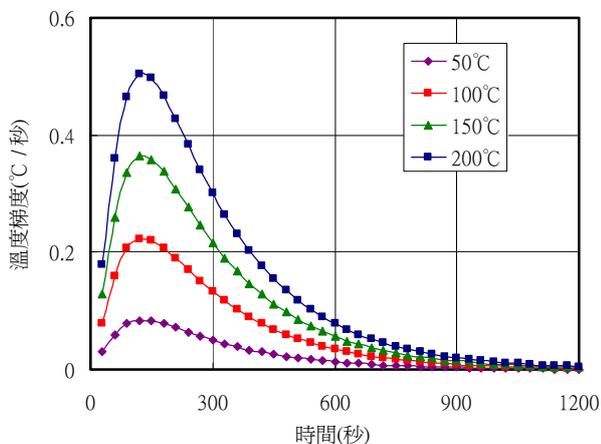


圖 3. 罐體內的溫度變化率 ($T_{\infty}=20^{\circ}\text{C}$)

為了再深入探討溫度變化率情形，我們將溫度單位予以消去，以便單純的檢視曲線變化率，方法是將溫度變化率 (\dot{T}) 除以絕對溫差 ($T_o - T_{\infty}$)，即

$$\frac{\dot{T}}{T_o - T_{\infty}} \Big|_{\max} = \frac{1}{\Delta t} \frac{T_{t+\Delta t} - T_t}{T_o - T_{\infty}} \Big|_{\max} \quad (6)$$

式中單位為 $1/\text{sec}$ ，下標 \max 表示溫度變化率在峰值的狀態。很顯然，經過處理所得到的結果，必可將圖 2 的四條溫度變化率曲線合併成一條，此時變化率不再與設定溫度 (T_o) 及室溫 (T_{∞}) 有關。透過定性分析可判定，變化率曲線必定與原先四條溫度變化率曲線的趨勢相同，意即在開始加熱階段變化率上升極為迅速，很快的達到曲線峰值，接著呈現遞減的情況。

再以熱傳遞效果來評估電熱管安裝方式的良窳，此不但影響熱傳遞效率，同時也攸關熱傳遞的基本模式。由熱傳遞的基本原理可知，加熱源若位在罐體的下方，此意味罐體內頂部溫度將小於底部溫度 ($\partial T/\partial z < 0$)，因此在罐體內的空氣密度在重力方向呈遞減的趨勢 ($\partial \rho/\partial z > 0$)。由於在頂部較密的空氣重力大於底部較疏的空氣重力，迫使頂部較重的空氣下降；底部較輕的空氣上升，形成對流的移動現象，故在罐體內的空氣將會呈現不穩定狀態 (unstable state)，最後逐漸發展成不穩定環流 (unstable circulation)。在此種電熱管安裝方式中，主要的熱傳遞機構為熱對流 (thermal convection)。

假使加熱源位在罐體的上方，此意味著罐體內頂部溫度將大於底部溫度 ($\partial T/\partial z > 0$)，因此在罐體內的空氣密度在重力方向呈遞增的趨勢 ($\partial \rho/\partial z < 0$)。在此狀況下，由於頂部較疏的空氣重力小於底部較密的空氣重力，故罐體內的空氣會呈現穩定狀態 (stable state)，不會再有容積流體移動 (bulk fluid motion) 的現象。

對於影響罐體加熱的另一個變數，將探討罐體內初始外界溫度 T_{∞} 的變化影響。由於外界溫度反應在自由對流變化現象極為敏感，對於數值計算的影響更是不容忽視。從圖 4 的溫度變化曲線來看，整個趨勢顯現從開始加熱一段時間之後，室溫的影響會逐漸的消失。就定量分析而言，當時間達到約 476 秒之後，初始的四種狀態 (初始外界溫度 T_{∞} 分別為 15、20、25 及 30°C)，在罐體內的相對溫度差均會小於 1%，此意味在歷經一段時間之後，外界溫度的影響性會逐

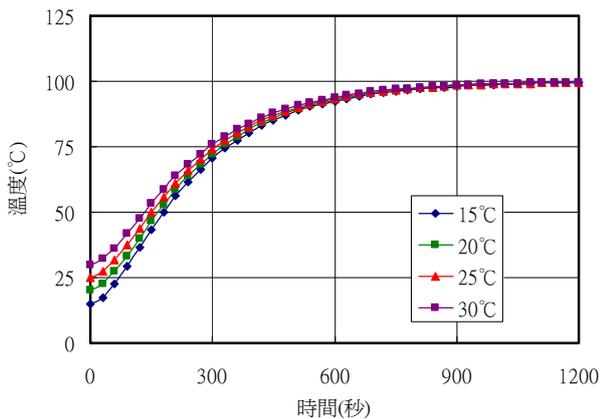


圖 4. 罐體內的溫度上升狀態 ($T_0=100^\circ\text{C}$)

漸式微，終而幾乎消失。

接著，我們將上述四種不同外界溫度 T_∞ 情況下的加熱狀態 (T_0 均設定為 100°C ； T_∞ 分別假設為 15°C 、 20°C 、 25°C 及 30°C)，利用溫度變化率變化圖予以描述，結果如圖 5 所示。在此溫度變化率 (\dot{T}) 的定義如 (5) 式所列。透過圖中的曲線分佈可清楚的看出，在開始加熱階段溫度上升極為迅速，很快的達到曲線峰值，相對於外界溫度 T_∞ 分別假設為 15°C 、 20°C 、 25°C 及 30°C 的情況，溫度梯度的峰值分別是 0.2376 、 0.2236 、 0.2097 及 $0.1957^\circ\text{C}/\text{秒}$ ，在此可發現外界溫度 T_∞ 呈等差級距遞增，溫度梯度的峰值卻呈等差級距遞減。另外，我們亦發現溫度梯度的峰值均發生在時間為 120 秒，之後溫度變化率呈現遞減的趨勢，此意味溫度增加開始趨緩。

本論文研究直接採用 ANSYS 套裝軟體建立數學模型，最後亦以等溫環狀線 (isothermal contour) 的高階塗彩方式，呈现在罐體中的溫度變更狀態。罐體內的塗彩方式對於問題

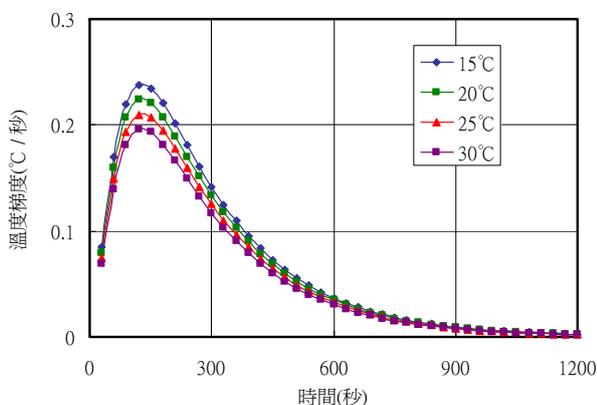


圖 5. 罐體內的溫度變化率 ($T_0=100^\circ\text{C}$)

的可視化 (visualization) 相當有幫助，本論文研究將透過 ANSYS 程式提供的軟體，加強可視化結果的呈現。

圖 6 與圖 7 分別為電熱管的設定溫度依然是 $T_0=100^\circ\text{C}$ 、外界溫度 T_∞ 均假設為 20°C ，電灸罐在時間分別為 60 秒及 120 秒的溫度分布圖。在電熱管剛開始加熱後，由於表面高溫藉由熱流的效應往罐體的右下方傳遞，所以在圖 6 顯示出等溫環狀線由左上角往右下方呈遞減趨勢。隨著時間增加，等溫環狀線逐漸的拉平呈水平狀，如圖 7 所示。一直到時間 $t=120$ 秒之前，罐體底部 (皮膚表面) 的溫度已均達到期望溫度 T_s 。

在接續的分析例子中，我們將進行第二種狀態—罩在皮膚上罐體內的熱傳遞 (拔罐) 的研究，在本計算例中，使用的邊界條件為 (1)、(2) 及 (4) 式所設定之狀態。由於在罐體內底面與皮膚直接接觸，故軸向的熱傳熱通量相等，

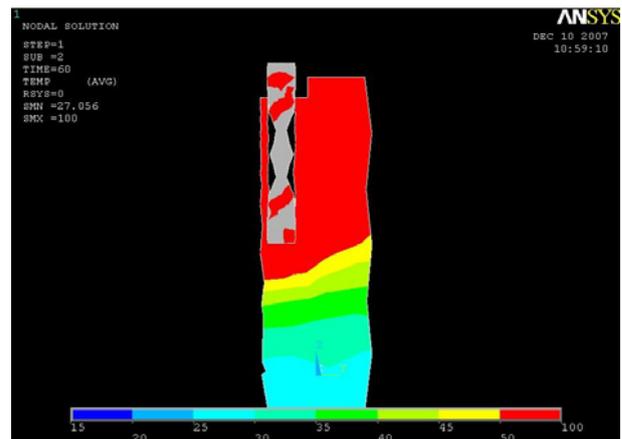


圖 6. 空罐體內的溫度分布 ($t=60$ 秒)

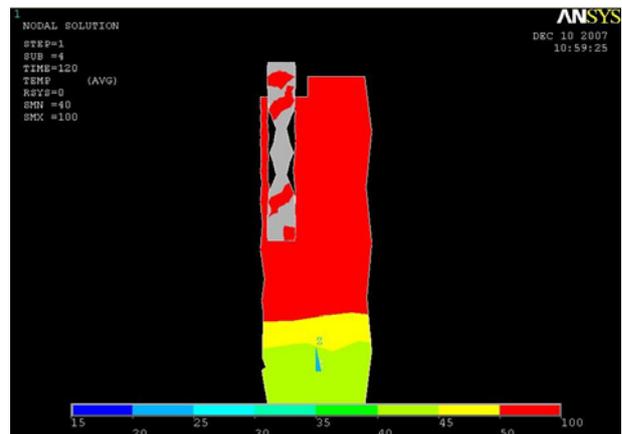


圖 7. 空罐體內的溫度分布 ($t=120$ 秒)

意即在介面的傳導熱通量相等，因此數值計算須採用（4）式的邊界條件設定，其中 k_a 為空氣的熱傳導係數，本論文採用平均溫度（mean 或 average temperature） $T_m = (T_o + T_\infty) / 2$ 為基準之固定值 [11]； k_s 為皮膚的熱傳導係數（0.37 W/m·°C）[11]。利用 ANSYS 軟體配合邊界條件設定，計算結果可從圖 8 的溫度變化，檢視罐體內的熱傳遞情形。在電熱管開始加熱後，由於表面高溫引致熱氣流往上升，在電熱管表面形成熱邊界層，並隨著高度增加厚度增加，立即將罐器上方的空氣加熱而使溫度急速上升。由於熱空氣達到罐器頂部後，將會轉由壁面再繞循壁面往下流動，而底部未受熱的冷空氣會隨循環氣流牽引向上，因此形成對流效應。

隨著時間增加，罐器上方的熱量逐漸累積，並藉由熱對流的效應往下傳遞，由於罐內溫差逐漸減小，引致浮力效應減弱，直至時間達到 $t=120$ 秒（圖 9），等溫環狀線幾乎接近水平狀。從圖 9 亦可看出，在鄰近電熱管側的溫度仍比另一側略高，但溫度差異已相當的微小。從圖中的等溫環狀線可估算出，罐體中心軸距離皮膚表面 3.3 mm 處，中心軸溫度已達約 42°C，而罐體兩側壁面的溫差則在 1°C 以內。若加熱時間再持續下去，則等溫線將會呈現完全水平的狀態。

由於電熱管的一個端面裸露在罐體外頂面，所以在上端將會有部分熱量散逸到外界空氣中，而且在罐體外頂面的溫度分布呈現非對稱的形狀，其中電熱管左邊緊鄰罐體外緣側的等溫線較為密集，此意味溫度梯度較大；電熱管右邊接近罐體中心軸側的等溫線較為疏散，這表示溫度梯度較小。

在最後一種分析例中，我們所要探討的狀態為留針狀態下，罩在皮膚上罐體內的熱傳遞（針灸）的研究。在中國傳

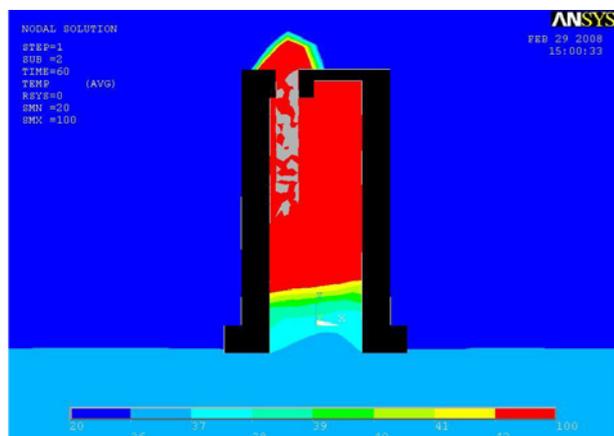


圖 8. 拔罐體內的溫度分布（ $t=60$ 秒）

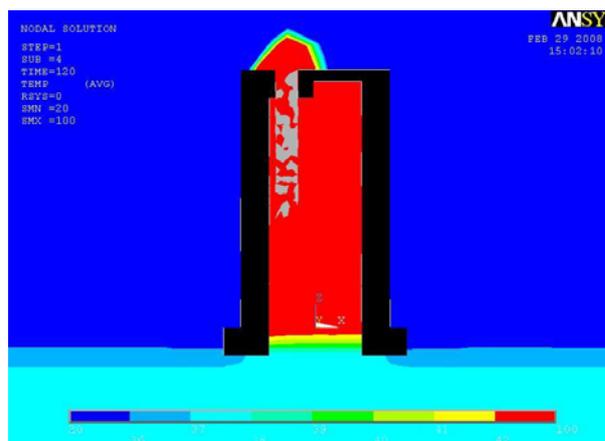


圖 9. 拔罐體內的溫度變化（ $t=120$ 秒）

統療法中，針上灸又名「溫針法」或「燒針尾」；溫針乃針刺與艾灸合併使用的一種方法，適用於既須留針又須施灸的病患。操作時，先按疾病虛實施行補瀉，然後在適當留針深度，將艾絨搓團捻於針柄距皮膚 2~3 公分點燃，透過針體之導熱性將熱力傳入穴位，產生治療作用；溫針適應範圍較廣，如痺證、痿證等均可適用。目前中醫診療有利用電熱代替艾灸稱為電灸，操作時在特製的電熱器先通電達一定溫度後，即在施術部位進行灸熨；一般電灸可灸 10~15 分鐘。

在接續的討論內容中，我們將定性的探討溫罐器的熱傳遞效應，其中必須強調的是，針上灸既須留針又須施灸，所以本例和上一例的最大差異處，就是本例要考慮灸針留置在罐體內，對熱傳遞造成的影響性。為了與上一例的溫灸罐有所區別，並且與中醫慣用的專有名詞取得一致的稱法，我們將針上灸所使用的罐體稱為「溫罐器」。透過罐體內留針所造成的熱傳遞差異，我們將可判別溫罐器熱傳遞效果的良窳。在本計算例中，使用的邊界條件為（1）、（2）及（4）式所設定之狀態。

藉由圖 10 的溫度變化情形，我們將探討偏心式溫罐器的熱傳遞效應。由於電熱管偏心裝置的緣故，故罐體內將有較大的空間容置灸針的針柄與針尾，安全性顯然比電熱管中心線與溫罐器中心線重合的型式（電熱管位在罐器中心軸線）高許多。在接續的分析中，灸針仍須避開電熱管，故在本計算例子中，我們將裸露在皮膚表面的針尾、針柄及部分針身，合計長度仍假設為 15 mm，灸針中心軸與罐體中心軸假設重合，如圖 10 所示。

由於偏心式溫罐器在加熱的初始階段，熱量原本就會從

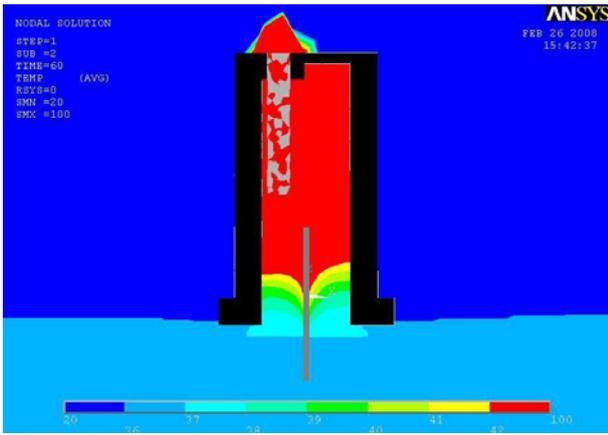


圖 10. 針灸罐體內的溫度分布 (t=60 秒)

電熱管所在之處 (左上方) 往右下方傳遞, 如圖 8 所示。當我們比較溫灸罐與溫罐器的差異時, 意即比較圖 8 與圖 10 之差別, 顯然在罐體中心因存在灸針, 造成截然不同的熱傳遞現象, 在鄰近罐體壁面的溫度變化並沒有多大的改變。這正足以顯示, 大部分的熱量均經由灸針的熱傳導入人體, 至於空氣熱對流的傳遞效應較為緩慢。

從圖 10 (t=60 秒) 顯示, 在鄰近灸針兩側之等溫線已逐漸呈現對稱的現象, 這正意味兩側溫度差異已相當的微小。隨著時間持續到圖 11 (t=120 秒) 時, 兩側之等溫線幾乎已完全呈現對稱狀。由於電熱管的端面會裸露在罐體外頂面, 所以在上端與直置式相同, 將會有部分熱量散逸到外界空氣中。

為進一步比較溫灸罐與溫罐器的熱傳遞效應, 我們將取預期溫度 42°C 等溫線與皮膚表層的距離 Δz , 用以比較兩者

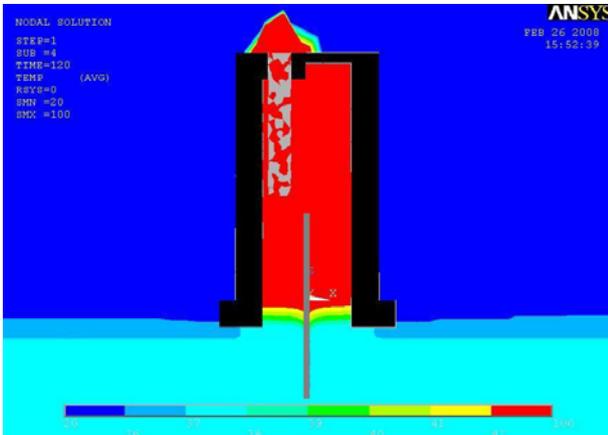


圖 11. 針灸罐體內的溫度分布 (t=120 秒)

之間的量化差異; 對於等溫線未能呈現水平狀的計算例子, 我們將取兩側壁面的平均值距離為標準。就物理意義而言, 依據傅立葉熱傳導定律 (Fourier's law of heat conduction) [11] 可將傳導熱通量表示成

$$q_{cond} = -k \frac{dT}{dz} \tag{7}$$

若微分存在連續性 (continuity), 則可將上式改寫成差分形式

$$q_{cond} = k \frac{\Delta T}{\Delta z} \tag{8}$$

其中在 (7) 式中的負號已併入差分商。由 (8) 式可知, 等溫線與皮膚表層的距離 Δz 愈小, 則罐體內的傳導熱通量 q_{cond} 愈大。

圖 12 分別顯示在無針 (拔罐) 與有針 (針灸) 情況下, 42°C 等溫線與皮膚表層的距離 Δz 關係圖。從圖 10 可看出, 隨著時間逐漸增加距離會成遞減的趨勢, 此意味加熱時間愈長傳導熱量愈大。再詳細觀察在無針 (拔罐) 與有針 (針灸) 的曲線分布, 我們察覺二種情況下的曲線極為接近, 且均近似線性, 其中有針 (針灸) 的傳導熱量顯然較無針 (拔罐) 略多。

再看圖 12 的比較結果可知, 曲線在前 90 秒迅速減小, 當時間在 90 秒之後曲線即呈現和緩的遞減趨勢。但從絕對量化的數據顯示, 有針 (針灸) 的傳導熱量比無針 (拔罐) 僅略多一點, 在 t=90 秒之前可看出具有顯著的差別。可見

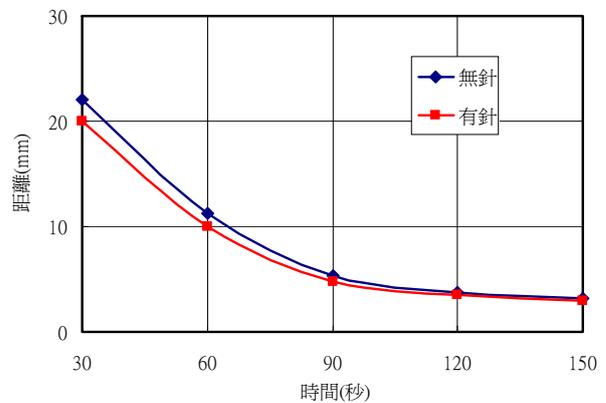


圖 12. 42°C 等溫線與皮膚距離

有針（針灸）對於罐體內空氣的熱對流效應並無具體明顯的影響性，無針（拔罐）最主要是將熱量直接透過熱傳導傳遞至人體中。

五、結論

人類很早以前就認識到“熱”對疾病的治療作用，長久以來，將“熱”運用到醫術的手法也相當的精湛。如今，拜現代科技進步所賜，人們對於“熱”的掌握與運用，在技術上已相當的成熟，但運用到傳統醫療卻是相當罕見。

本論文採用 ANSYS 軟體配合適當的邊界條件分析電灸罐內的溫度分布，藉以研究罐體內的熱傳遞現象。數值方法係採用圓柱座標 (r, θ, z) 描述電灸罐的幾何形狀，電灸罐的內部邊界條件在頂部及周圍均假設為絕熱狀態。罐體內底面的邊界條件設定分成二種，在空罐狀態下假設為外界溫度；若罩在皮膚上及留針狀態下罩在皮膚上等二種狀態，在罐體內底面皮膚直接接觸，故軸向的熱傳熱通量相等。本論文的各數值計算例，我們的數值計算參數皆採用總元素數為 1,101 個，時間間距則取為 30 秒。

經由數值結果得知，在開始加熱階段溫度上升極為迅速，當時間歷經約 120 秒左右，曲線將會達到峰值的狀態，接著溫度變化率就會呈現線性遞減的趨勢。由於電灸罐罐體的內部高度 H 與內徑 D 的比值 $H/D=2.3$ ，形式屬於細長型的設計，經由數值分析所獲致的結論可歸納出，在設定溫度介於 $50\sim 200^{\circ}\text{C}$ 的範圍，室溫在 $15\sim 30^{\circ}\text{C}$ 的區間，設定溫度與外界溫度比值 $T_0/T_{\infty} < 10$ 的範圍內，自然對流為主要的熱傳遞機構。另外，有針（針灸）對於罐體內空氣的熱對流效應並無具體明顯的影響性，無針（拔罐）最主要是將熱量直接透過熱傳導傳遞至人體中。

誌謝

本論文承蒙國科會（NSC 92-2622-E-233-001-CC3）及聿新生物科技股份有限公司經費補助，特此申謝。

參考文獻

1. 方嘉佑 (民 95), 不用打針—經皮輸藥, 科學發展月刊, 403, 34-39。
2. 杜鳳棋、蔡源泰 (民 97), 電灸罐的熱傳遞分析, 技術學刊, 23(2), 107-116。
3. 施又文 (民 90), 「黃帝內經」關於「臟腑經絡」的生理觀, 中國文化月刊, 257, 17-29。
4. 施松杉 (民 94), 臨床拔罐發揮, 臺灣中醫臨床醫學雜誌, 11(3), 231-238。
5. 施議強、吳中興 (民 96), 針灸臨床療效探討, 當代醫學, 34(4), 313-317。
6. 高宗桂、裴景春 (民 95), 中國古代針灸處方特色與中華文化對選穴之影響, 中華針灸醫學會雜誌, 95, 23-31。
7. 陳方佩、鍾茂修 (民 95), 拔罐法治療疾病的文獻探討, 中華針灸醫學會雜誌, 95, 13-22。
8. 傅彬貴、林昭庚 (民 95), 使用針刺治療與經濟效益關係之實證醫學文獻評讀, 中華針灸醫學會雜誌, 95, 1-11。
9. 黃哲勳 (民 91), 淺談高週波電熱燒灼術 (Radiofrequency Thermal Ablation, RTA) 在腫瘤治療上的應用, 高雄醫師會誌, 35, 27-28。
10. Cui, J. and G. Zhang (1989) A survey of thirty years' clinical application of cupping. *Journal of Traditional Chinese Medicine*, 9(3), 151-154.
11. Incropera, F. P. and D. P. DeWitt (2002) *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, 5th Ed., John Wiley & Sons, New York, NY.
12. Moaveni, S. (2003) *Finite Element Analysis: Theory and Application with ANSYS*, 2nd Ed., Prentice Hall, New Jersey.

收件：97.09.16 修正：97.12.18 接受：98.02.06