



12-31-2006

# The Effect of Transcutaneous Electric Nerve Stimulation on Local Skin Temperature

Chien-Ting Liu

Pei-Ying Chao

Shin-Liang Pan

Chein-Wei Chang

Yen-Ho Wang

Follow this and additional works at: <https://rps.researchcommons.org/journal>



Part of the [Rehabilitation and Therapy Commons](#)

### Recommended Citation

Liu, Chien-Ting; Chao, Pei-Ying; Pan, Shin-Liang; Chang, Chein-Wei; and Wang, Yen-Ho (2006) "The Effect of Transcutaneous Electric Nerve Stimulation on Local Skin Temperature," *Rehabilitation Practice and Science*: Vol. 34: Iss. 2, Article 3.

DOI: [https://doi.org/10.6315/2006.34\(2\)03](https://doi.org/10.6315/2006.34(2)03)

Available at: <https://rps.researchcommons.org/journal/vol34/iss2/3>

This Original Article is brought to you for free and open access by Rehabilitation Practice and Science. It has been accepted for inclusion in Rehabilitation Practice and Science by an authorized editor of Rehabilitation Practice and Science. For more information, please contact [twpmrscore@gmail.com](mailto:twpmrscore@gmail.com).

原著

# 經皮神經電刺激對皮表溫度的影響

劉建廷 趙珮瑛 潘信良 張權維 王顏和

國立臺灣大學醫學院附設醫院復健部

先前研究指出經皮神經電刺激能促進慢性傷口的癒合，其中一項可能機轉為增加皮膚微循環的血流量。本研究探討經皮神經電刺激對皮膚溫度的影響。利用紅外線溫度攝影儀器進行二維區域性的皮表溫度測量，紀錄經皮神經電刺激後六個不同區域的皮膚溫度。本研究共收集有 12 名受試者，每位都分別接受控制組、感覺閾值、運動閾值下、運動閾值上四種不同強度的經皮神經電刺激。結果顯示若接受在運動閾值以下的刺激電量各區域皮膚並沒有顯著的溫度上升，只有接受運動閾值上的電刺激會在電極近端區域造成局部溫度上升，故在本研究中經皮神經電刺激對溫度提升的作用區域僅侷限在電極的附近區域，對遠端沒有溫度血流提升的效應。綜合以上結果，可知運動閾值上強度的經皮神經電刺激使得局部皮膚溫度上升，其作用的機轉可能是因為局部肌肉收縮造成血液循環增加。因此我們如果要利用經皮神經電刺激來提升皮膚的血流及溫度，應使用運動閾值上的強度，電極擺設的原則為選擇局部有可供刺激肌肉的部位較為適合。（台灣復健醫誌 2006；34(2)：81-88）

**關鍵詞：**經皮神經電刺激(transcutaneous electric nerve stimulation, TENS)，紅外線溫度攝影(infrared thermography)，皮膚溫度(skin temperature)，肌肉收縮(muscle contraction)，血流(blood flow)

## 前言

因肢體障礙而長期臥床患者的壓瘡以及糖尿病患者的慢性肢體潰瘍是重要的醫療問題，這些慢性傷口的處理往往要耗費大量的醫療資源，並且容易造成感染與截肢，甚至危及生命。因此，如何有效地治療這些慢性傷口乃成為重要的醫療課題。傳統上對於慢性傷口的治療是以局部換藥與外科手術進行清創或是皮瓣轉移術為主，另外亦有研究指出經皮神經電刺激(transcutaneous electric nerve stimulation, TENS)能促進這些慢性傷口的癒合。<sup>[1-5]</sup>由於經皮神經電刺激具有可攜、方便、便宜以及副作用低的優點，故可能為一有價值的治療方法，但是目前對於經皮神經電刺激治療慢性傷口的機轉尚無定論，其中一項可能機轉為增加皮膚微循環的血流量。<sup>[5-11]</sup>對於皮膚血流的測量，先前對於 TENS 的研究曾使用 laser Doppler flowmeter 直接測量微循環的

血流量，也有使用 skin thermistor 測量皮表溫度的變化，其結果卻仍有爭論，其原因可能是這些探測器的放置位置不同所造成，<sup>[7, 8]</sup>因為 laser Doppler flowmeter 與 skin thermistor 均為點狀測試，在先前研究當中大多只放置約兩個測量點，而目前我們在 TENS 對於皮膚血流量影響的區域分佈並不十分瞭解的情況下，只做點狀測試就有可能會產生分歧的結果，因此做二維(two-dimensional)區域性的皮膚血流測量就顯得非常重要。一般認為皮膚溫度可以反應皮膚微循環的情形，<sup>[8]</sup>若利用紅外線溫度攝影(infrared thermography)做二維區域性的溫度影像紀錄，應可以改善上述點狀測量的缺點，並且可以對 TENS 電極位置與溫度變化區域的相對關係做分析。故在本研究中將利用紅外線溫度攝影，來探求不同強度的 TENS 對於局部皮膚溫度的影響。

## 材料與方法

投稿日期：94 年 9 月 16 日 修改日期：94 年 11 月 21 日 接受日期：94 年 11 月 29 日

抽印本索取地址：潘信良醫師，國立臺灣大學醫學院附設醫院復健部，台北市 100 中山南路七號

電話：(02) 23123456 轉 7749 e-mail：pslcb@ha.mc.ntu.edu.tw

## 研究對象與方法

本研究經醫院倫理委員會核准，收集男女性健康自願受試者十二名（男性和女性各六名），其年齡為  $28 \pm 2.3$  歲，測試前均先獲得各受試者書面同意。受試者排除條件為：1. 上肢曾受外傷及曾接受手術者；2. 吸煙者；3. 有心臟病、糖尿病、腎臟疾患者（可能有水腫或其它干擾微循環而無法標準化）；4. 受試期間因疾病或受傷導致體溫發生變化者。每一個受試者連續四週，每週各接受一種 TENS 測試，共接受四種 TENS 測試，這四種測試分別為：A. 控制組(control TENS；有貼 TENS 電極但是不通電)、B. 運動閾值上(above motor threshold TENS；會產生肌電圖可記錄到的複合肌肉動作電位(compound muscle action potential, CMAP)、C. 運動閾值下(below motor threshold TENS)、D. 感覺閾值(perception threshold TENS)，由電腦隨機分派十二名受試者接受這四種測試的順序。

測試步驟如下：

受試者採取仰臥姿於檢查床上，使右前臂呈旋後(supination)姿勢。以肘皺(elbow crease)中點與腕皺(wrist crease)中點的兩點連線中點為中心，偏向橈側 2 公分之後(以免干擾溫度攝影測量區域)，再向近端 5 公分貼 TENS 陰極電極，向遠端 5 公分貼陽極電極，TENS 電極的大小為  $2 \times 1.5$  英吋，其縱軸與前臂呈垂直方向擺設(圖 1)。另外在橈側屈腕肌(flexor carpi radialis)的肌腹(muscle belly)處貼上記錄電極(recording electrodes)，以偵測肌肉的活性。在溫度攝影儀器的設置方面，將紅外線攝影鏡頭裝置於右前臂上方 50 公分處，以肘皺中點與腕皺中點的兩點連線中點為攝影中心。研究室的室溫控制在  $24^{\circ}$  至  $25^{\circ}\text{C}$ ，以數位型室溫溫度計裝置在檢查床邊的牆壁上，監測室溫的變化。如果在某單次測試過程當中，室溫變化超過  $0.5^{\circ}\text{C}$ ，則排除該次測驗的結果。準備好之後，受試者先靜臥 20 分鐘以和室溫平衡並使新陳代謝趨於穩定。

經皮神經電刺激(TENS)：

本研究使用 Roland ET-10 (Eletttronica Pagani, Italy) 電刺激儀器，設定頻率為 10 Hz，脈衝持續時間(pulse duration)為 200  $\mu\text{s}$ 。電刺激所產生的肌肉活性，是在橈側屈腕肌上做監測，因為此肌肉為較表層而且在電刺激時較容易被刺激而收縮。為了監測肌肉活性，使用 Medelec synergy (Oxford Instruments, UK) 肌電圖儀器，以兩個 Ag/AgCl 電極，相距 2 公分，作用電極(active electrode)置於肌腹上，參考電極(reference electrode)在較近端，而接地電極(ground electrode)置於肘窩上緣。在 TENS 刺激輸出後，依照肌電圖機器所顯示的肌肉

收縮情形決定 TENS 的輸出強度，當決定好電刺激強度時，即將肌肉活性監測電極移除，以避免干擾紅外線溫度攝影的進行。各刺激強度的設定方式如下：在運動閾值上組：逐漸增加刺激電流強度，直到開始有肉眼可見的肌肉收縮，並可以在肌電圖儀器上產生可記錄到的複合肌肉動作電位(compound muscle action potential)。運動閾值下組：先找到運動閾值上的刺激強度，之後逐漸減少電流強度，直到肌電圖上的複合肌肉動作電位消失( $<0.2\text{mV}$ )即為測試的電流強度。感覺閾值組：由零開始逐漸增加刺激電流強度，直到受試者首度有感覺產生為止，此時的強度從未引起肌電圖上有可記錄到的複合肌肉動作電位。控制組：只貼電極不通電。TENS 施行時間為連續 20 分鐘。

## 資料收集

紅外線溫度攝影：

記錄時間共計 40 分鐘，每五分鐘記錄一次，在 0 分鐘，與進行 TENS 後的第 5、10、15、20 分鐘，以及停止 TENS 後的第 25、30、35、40 分鐘的時間點上，各以 IR2000 (MedSun, USA)紅外線溫度攝影儀紀錄溫

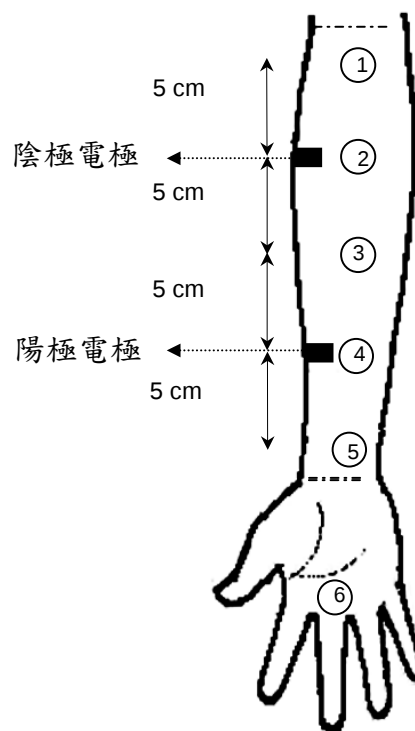


圖 1. TENS 電極擺設(陰極電極和陽極電極)和紅外線溫度攝影的六個紀錄區域(圓圈 1~6 分別代表區域一到區域六)。

度圖像，接著使用溫度攝影的分析軟體 IRIS2000。將受試前臂屈側以肘皺中點與腕皺中點的兩點連線中點為中心，於前臂向遠端與近端對稱每 5 公分選定一直徑為 1.5 英吋(3.8cm)的五個圓形區域，由近到遠端分別為區域一、二、三、四、五。最後並在中指的基部手掌也選定一個直徑 1.5 英吋的圓形區域訂為區域六，共計六個紀錄區域(圖 1)，由 IRIS 2000 分析軟體分別求出各區域的平均皮表溫度。

## 資料分析

本研究是以在溫度攝影所求得不同區域的平均溫度，以各記錄時間點的溫度與零點時間的溫度相減求得溫度差再進行分析，使用的統計軟體為 SAS 8.1，由於本研究採用隨機區集設計(randomized block design)，每位受試者均隨機接受四種不同的 TENS 測試，故使用混合模式(mixed model)分析，以便在兼顧個人隨機效應造成的變異之下，對 TENS 組別與時間等固定效應進行分析比較。

## 結 果

圖 2 中分別列出在四組不同強度的經皮神經電刺激下，六個皮膚溫度紀錄區域(區域一到區域六)與時間零點溫度的差異相對於時間的關係圖。

其中區域一(圖 1，最近端的區域)在不同的 TENS 刺激下，除了運動閾值上組，其餘各組皮膚溫度皆隨著時間而緩慢地些微下降(圖 2a)，但運動閾值上組於電刺激後 10 至 25 分鐘內有溫度上升的傾向，直到受測後 30 分鐘，即停止電刺激後 10 分鐘，溫度才開始下降(表 1，區域一)。各組重複測量資料經過混合模式分析後，可得到溫度隨著時間而有顯著下降的趨勢

( $p=0.0003$ )；但是在區域一不同的 TENS 刺激組之間，溫度變化沒有達到統計學上的顯著差異( $p=0.116$ )。

區域二和區域三在各組不同的 TENS 刺激強度下，運動閾值上組於電刺激後 10 至 25 分鐘內溫度會有上升(圖 2b, c)，其中區域二在 15 分鐘時溫度上升最顯著(+0.15 °C，表 1，區域二，15 分鐘)，而區域三則在 20 分鐘時出現最明顯的溫度上升(+0.11°C，表 1，區域三，20 分鐘)，直到受測後 30 分鐘此二區域皮膚溫度才出現逐漸下降的趨勢。而其餘三組(運動閾值下組、感覺閾值組與控制組)皮膚溫度在電刺激後皆隨著時間而緩慢下降。上述四組在區域二和區域三的皮膚溫度重複測量資料以混合模式分析顯示各組之間溫度有顯著差異(區域二  $p=0.016$ ，區域三  $p=0.064$ )，運動閾值上電量刺激組與其他組比較，有顯著溫度上升。另一方面，所有組別皮膚溫度隨著時間均呈現緩慢下降(區域二  $p=0.0007$ ，區域三  $p=0.0003$ )。

分析在區域四對於不同的 TENS 刺激組的溫度重複測量資料也顯示溫度隨著時間而有顯著下降( $p<0.0001$ )，但是在各組之間則沒有顯著溫度差異( $p=0.103$ )。

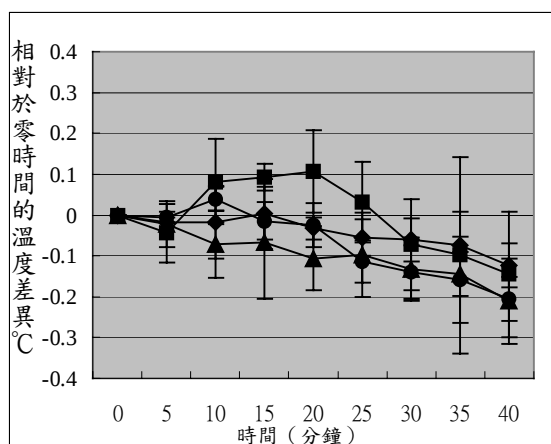
區域五和區域六(圖 2e, f)在四種 TENS 強度刺激下皮膚溫度皆呈現隨著時間逐漸下降( $P<0.0001$ )。比較各組不同的 TENS 刺激強度，其中運動閾值上組於受電刺激之後皮膚溫度並未上升，反而較其他三組下降得更快，並且於電刺激後 40 分鐘達到最低溫(區域五 -0.63 °C，區域六 -1.05°C，表 1)。分析顯示各組之間溫度出現顯著差異(區域五  $p=0.0007$ ，區域六  $p=0.0024$ )，然而差異的情形與先前區域二和三有很大的不同，運動閾值上組接受 TENS 刺激後不僅溫度沒有上升的傾向，其溫度下降情形反而較其他組顯著。

表 1. 在運動閾值上經皮神經電刺激之下，區域一到區域六於各時間點之平均溫度變化(°C)\*

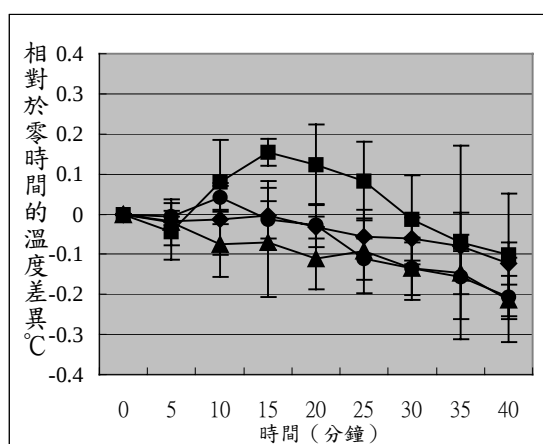
|     | 5 分鐘       | 10 分鐘      | 15 分鐘      | 20 分鐘      | 25 分鐘      | 30 分鐘      | 35 分鐘      | 40 分鐘      |
|-----|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 區域一 | -0.04±0.07 | 0.08±0.11  | 0.09±0.03  | 0.11±0.10  | 0.03±0.10  | -0.07±0.11 | -0.10±0.24 | -0.15±0.15 |
| 區域二 | -0.04±0.07 | 0.08±0.10  | 0.15±0.03  | 0.12±0.10  | 0.08±0.10  | -0.01±0.11 | -0.07±0.24 | -0.10±0.15 |
| 區域三 | 0.00±0.07  | 0.06±0.11  | 0.09±0.03  | 0.11±0.10  | 0.10±0.10  | -0.01±0.11 | -0.11±0.24 | -0.16±0.15 |
| 區域四 | 0.00±0.07  | 0.05±0.11  | 0.04±0.03  | 0.04±0.10  | -0.10±0.10 | -0.12±0.11 | -0.24±0.24 | -0.20±0.15 |
| 區域五 | -0.04±0.08 | -0.06±0.11 | -0.15±0.05 | -0.19±0.11 | -0.26±0.11 | -0.35±0.15 | -0.54±0.44 | -0.63±0.25 |
| 區域六 | -0.02±0.08 | -0.05±0.13 | -0.13±0.07 | -0.28±0.20 | -0.69±0.20 | -0.65±0.30 | -0.85±0.80 | -1.05±0.48 |

\*數據以平均值±標準誤表示

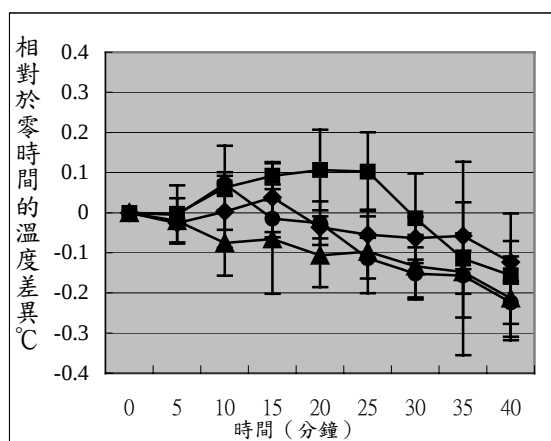
a. TENS 刺激 區域一



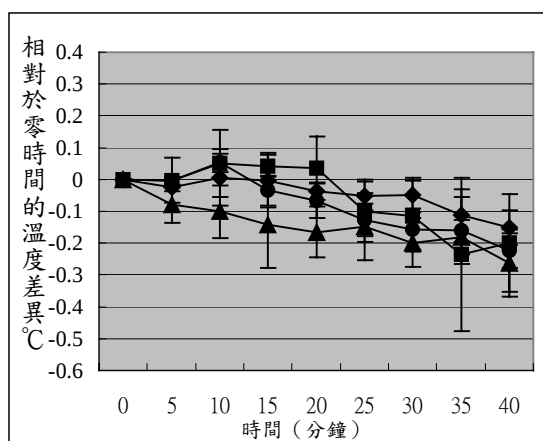
b. TENS 刺激 區域二



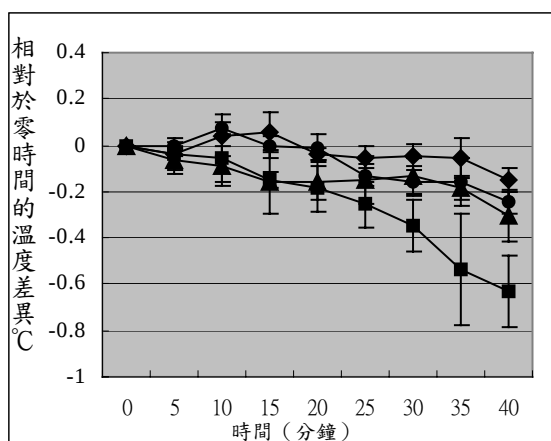
c. TENS 刺激 區域三



d. TENS 刺激 區域四



e. TENS 刺激 區域五



f. TENS 刺激 區域六

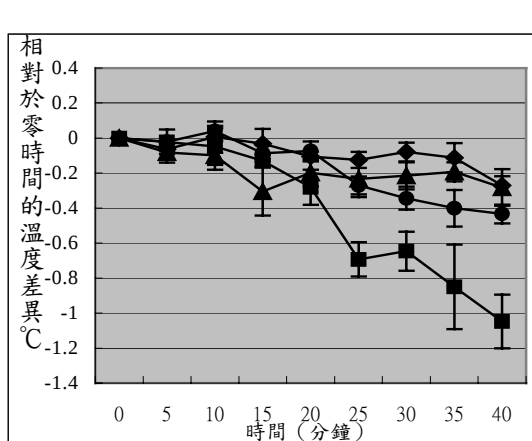


圖 2. 四組不同強度的 TENS 電刺激下(控制組、感覺閾值、運動閾值下、運動閾值上)區域一到六皮膚溫度相對於時間的關係圖，負值代表相對於基礎值溫度下降，正值代表溫度上升，各點表示方式為 mean  $\pm$  SEM，每個測試組都有相同的十二人。符號表示：◆控制組，●感覺閾值，▲運動閾值下，■運動閾值上。

## 討 論

在四組不同強度的電刺激當中，由各區域所測的溫度曲線來看，在運動閾值下組、感覺閾值組與控制組的溫度變化情形相當類似，都是呈現緩慢下降的情形，顯示在運動閾值以下電量的經皮神經電刺激並不會造成與控制組有明顯不同的溫度效應。此三組的溫度變化隨著時間而緩慢地下降，可能是因為室溫比體溫低，雖然事先已經讓受試者在檢查室靜臥 20 分鐘，但是受試者一直處於靜臥的狀態，代謝率較低，因此在受試過程中雖然室溫沒有明顯變化，但是皮膚表面溫度仍會隨著室溫而逐漸緩慢下降。Leandri 等人的研究中發現使用 1.5 倍感覺閾值電量的經皮神經電刺激不會造成皮膚溫度的改變，但使用 3 倍感覺閾值電量刺激時則會造成局部皮膚溫度的顯著上升，<sup>[12]</sup>由此可推論刺激電量必須高於某一最低閾值，才會產生局部皮膚溫度上升的效應；其它報告亦指出使用運動閾值上電量的經皮神經電刺激，才可造成與控制組明顯不同的溫度效應。<sup>[7,13,14]</sup>

本實驗中發現若使用運動閾值上的經皮神經電刺激，在區域二、三、五、六的溫度曲線上會与其它三組有顯著的不同，且造成的溫度變化對於前臂與手部等不同位置又有所不同；在電極之間與靠近前臂近端(區域二、三)會引起顯著的皮膚溫度上升，但是相反的在遠端的手腕與手掌(區域五、六)卻有明顯的溫度下降，如果再考慮前述各組運動閾值以下(含感覺閾值)電量刺激並沒有造成顯著的溫度變化，則運動閾值上刺激在近端所造成局部溫度上升，很可能是因為局部肌肉在電刺激時重複收縮，造成局部代謝活性的上升；<sup>[15]</sup>另一方面也可能藉由肌肉重複收縮產生的唧筒作用(muscle pumping)，使血流量上升因此使得溫度上升。<sup>[16-18]</sup>在先前的研究中，Nolan 等人推論造成局部血流及溫度上升的原因為肌肉受電刺激而產生的收縮；<sup>[9]</sup>Sherry 等人<sup>[10]</sup>亦推論肌肉收縮所產生的唧筒作用、局部代謝性血管擴張物質(metabolic vasodilator substances)的堆積、<sup>[19,20]</sup>及血管內皮細胞(endothelium)釋出血管擴張因子，<sup>[21,22]</sup>皆為局部血流增加的可能機轉。另外我們在時間溫度圖上可以發現電刺激的溫度上升效應在停止電刺激之後很快地會下降，因此肌肉唧筒作用造成血流增加可能又比肌肉代謝性血管擴張物質上升更能解釋這種溫度變化的現象。

在 Nolan 的研究中，使用數位溫度計對前臂、食指及小指的溫度做定點測量，發現在脈衝模式(burst mode)電刺激下前臂的溫度在受測後會有顯著上升，但

食指及小指在電刺激前後的溫度並沒有顯著變化。<sup>[9]</sup>Crimp 等人的研究中利用雷射都卜勒測量電刺激後的遠端手指皮膚血流，<sup>[7]</sup>發現接受電刺激後遠端的手指血流並沒有上升，而是與控制組類似，都呈現類似幅度的緩慢下降趨勢。我們的研究使用紅外線溫度測量，發現在控制組、運動閾值下組與感覺閾值組電刺激下，遠端手部(區域五、六)的溫度也呈現緩慢下降的趨勢，這可能是因為遠端手部皮膚下方並沒有像前臂近端一樣有可受到電刺激而收縮的肌肉組織；另一方面，我們發現在運動閾值上組做電刺激時，遠端(區域五、六)呈現比控制組更為明顯的溫度下降情況，其機轉不明。一個可能的解釋是在進行運動閾值上電刺激時，我們觀察到由於前臂肌肉重複收縮，因此遠端的手腕與手指會在電刺激過程中不斷的抽動，而在其它刺激與控制組則不會有此現象。在不停抽動過程當中，皮膚表面會不斷地與周遭空氣有相對性運動，因此遠端皮表的熱量可能更迅速地被空氣帶走，導致遠端皮表溫度較控制組下降得更為明顯。

如果同時考慮這種遠端溫度下降與前述運動閾值上電刺激使近端溫度上升的情形，我們可以推測運動閾值上電刺激使溫度上升的機轉很可能是來自於局部性的效應：由於肌肉重複收縮，造成血流量上升使得溫度上升，較不像是作用於整個肢體神經血管系統而使整個肢體溫度上升。

在先前的相關研究中，經皮神經電刺激的施行時間多為 15 或 20 分鐘，<sup>[6-10]</sup>為與先前的研究能互相比較，本研究將刺激時間訂為 20 分鐘。施行經皮神經電刺激的時間長短對皮表溫度或血流量所造成的影響是否有差異，目前仍未有定論。在更長時間的電刺激下是否會誘發不同的機轉進而影響皮表溫度或血流量，有待進一步的研究。

## 結 論

綜合以上所述，如果我們要利用經皮神經電刺激來提升皮膚的血流及溫度，在強度的選擇上應使用運動閾值上經皮神經電刺激。由於電刺激的有效作用區域可能僅侷限在肌肉組織的鄰近區域，對遠端沒有明顯的溫度提升效應，故電極擺設的原則為選擇局部有可供刺激肌肉的部位，臨床應用上應挑選傷口附近有可供電刺激作用的肌肉，才可能促進局部血液的循環。至於先前其它研究有報告運動閾值下電刺激強度亦能促進慢性傷口的癒合，則可能不是經由增進局部循環的機轉，而是藉由其它的作用，例如促進纖維母細胞增生，<sup>[4,23,24]</sup>抑制細菌繁殖，<sup>[25,26]</sup>或是其它未知機

轉所共同達成。

## 誌 謝

本研究承蒙國立臺灣大學醫學院附設醫院新進醫事人員研究計畫 92-N011 經費補助，特此誌謝。

## 參考文獻

1. Baker LL, Chambers R, DeMuth SK, et al. Effects of electrical stimulation on wound healing in patients with diabetic ulcers. *Diabetes Care* 1997;20:405-12.
2. Feedar JA, Kloth LC, Gentzkow GD. Chronic dermal ulcer healing enhanced with monophasic pulsed electric stimulation. *Phys Ther* 1991;71:639-49.
3. Kloth LC, Feedar JA. Acceleration of wound healing with high voltage, monophasic, pulsed current. *Phys Ther* 1988;68:503-8.
4. Bidebach MC. Accelerated healing of skin ulcers by electrical stimulation and the intracellular physiological mechanisms involved. *Acupunct Electrother Res* 1989; 14:43-60.
5. Gilcreast DM, Stotts NA, Froelicher ES, et al. Effect of electrical stimulation on foot skin perfusion in persons with or at risk for diabetic foot ulcers. *Wound Repair Regen* 1998;6:434-41.
6. Cosmo P, Svensson H, Bornmyr S, et al. Effects of transcutaneous nerve stimulation on the microcirculation in chronic leg ulcers. *Scand J Plast Reconstr Surg Hand Surg* 2000;34:61-4.
7. Cramp FL, McCullough GR, Lowe AS, et al. Transcutaneous electric nerve stimulation: the effect of intensity on local and distal cutaneous blood flow and skin temperature in healthy subjects. *Arch Phys Med Rehabil* 2002;83:5-9.
8. Cramp AF, Gilsenan C, Lowe AS, et al. The effect of high- and low-frequency transcutaneous electrical nerve stimulation upon cutaneous blood flow and skin temperature in healthy subjects. *Clin Physiol* 2000;20: 150-7.
9. Nolan MF, Hartsfield JK Jr, Witters DM, et al. Failure of transcutaneous electrical nerve stimulation in the conventional and burst modes to alter digital skin temperature. *Arch Phys Med Rehabil* 1993;74:182-7.
10. Sherry JE, Oehrlein KM, Hegge KS, et al. Effect of burst-mode transcutaneous electrical nerve stimulation on peripheral vascular resistance. *Phys Ther* 2001;81: 1183-91.
11. Fritzsche RG, Coyle EF. Cutaneous blood flow during exercise is higher in endurance-trained humans. *J Appl Physiol* 2000;88:738-44.
12. Leandri M, Brunetti O, Parodi CI. Telethermographic findings after transcutaneous electrical nerve stimulation. *Phys Ther* 1986;66:210-3.
13. Miller BF, Gruben KG, Morgan BJ. Circulatory responses to voluntary and electrically induced muscle contractions in humans. *Phys Ther* 2000;80:53-60.
14. Currier DP, Petrilli CR, Threlkeld AJ. Effect of graded electrical stimulation on blood flow to healthy muscle. *Phys Ther* 1986;66:937-43.
15. Tracy JE, Currier DP, Threlkeld AJ. Comparison of selected pulse frequencies from two different electrical stimulators on blood flow in healthy subjects. *Phys Ther* 1988;68:1526-32.
16. Mohr T, Akers TK, Wessman HC. Effect of high voltage stimulation on blood flow in the rat hind limb. *Phys Ther* 1987;67:526-33.
17. Laughlin MH. Skeletal muscle blood flow capacity: role of muscle pump in exercise hyperemia. *Am J Physiol* 1987;253:993-1004.
18. Sheriff DD. Muscle pump function during locomotion: mechanical coupling of stride frequency and muscle blood flow. *Am J Physiol Heart Circ Physiol* 2003; 284:2185-91.
19. Hilton SM, Hudlicka O, Marshall JM. Possible mediators of functional hyperaemia in skeletal muscle. *J Physiol* 1978;282:131-47.
20. Lash JM. Regulation of skeletal muscle blood flow during contractions. *Proc Soc Exp Biol Med* 1996;211: 218-35.
21. Pohl U, Holtz J, Busse R, et al. Crucial role of endothelium in the vasodilator response to increased flow in vivo. *Hypertension* 1986;8:37-44.
22. Rubanyi GM, Romero JC, Vanhoutte PM. Flow-induced release of endothelium-derived relaxing factor. *Am J Physiol* 1986;250:1145-9.
23. Cruz NI, Bayron FE, Suarez AJ. Accelerated healing of full-thickness burns by the use of high-voltage pulsed galvanic stimulation in the pig. *Ann Plast Surg* 1989;23:49-55.

24. Gentzkow GD, Miller KH. Electrical stimulation for dermal wound healing. Clin Podiatr Med Surg 1991; 8:827-41.
25. Im MJ, Lee WP, Hoopes JE. Effect of electrical stimulation on survival of skin flaps in pigs. Phys Ther 1990;70:37-40.
26. Kincaid CB, Lavoie KH. Inhibition of bacterial growth in vitro following stimulation with high voltage, monophasic, pulsed current. Phys Ther 1989;69:651-5.

## The Effect of Transcutaneous Electric Nerve Stimulation on Local Skin Temperature

Chien-Ting Liu, Pei-Ying Chao, Shin-Liang Pan, Chein-Wei Chang, Yen-Ho Wang

Department of Physical Medicine and Rehabilitation, National Taiwan University Hospital, Taipei.

Previous reports have shown that transcutaneous electric nerve stimulation (TENS) can accelerate the rate of chronic wound healing, but the mechanism for such is unknown. It has been proposed that TENS may enhance healing by increasing cutaneous blood flow. In the present study, we investigated the effects of TENS on local skin temperature. Infrared thermography was used to measure the changes of local skin temperature after treatment with TENS. Twelve subjects, 6 men and 6 women, were enrolled and underwent the following four different TENS modes in random sequences: (1) sham stimulation (control), (2) perception threshold TENS, (3) below motor threshold TENS, and (4) above motor threshold TENS. No significant difference in skin temperature occurred when subjects received TENS below the motor threshold. In contrast, when above motor threshold TENS was administered, the local temperature increased proximally, but decreased distally. The effects of TENS on blood flow and temperature is limited to local areas. Taken together, these data suggest that the above motor threshold TENS-induced local temperature effect is possibly due to a muscle contraction-coupled rise in blood flow. Thus, when TENS is applied for the purpose of increasing skin temperature or blood flow, the above motor threshold should be used. Furthermore, the electrodes should be placed over the proximal parts of the muscles that are to be stimulated. ( Tw J Phys Med Rehabil 2006; 34(2): 81 - 88 )

**Key words:** transcutaneous electric nerve stimulation (TENS), infrared thermography, skin temperature, muscle contraction, blood flow