

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

脊髓損傷患者功能性電刺激系統之研發與應用(II)

The Developments and Applications of Functional Electrical Stimulation Systems for Spinal Cord Injuries

計畫編號：NSC 88-2614-E-002-003

執行期限：87 年 8 月 1 日至 88 年 7 月 31 日

主持人：賴金鑫

執行機構及單位名稱：國立臺灣大學復健科

E-mail: jslai@ccms.ntu.edu.tw

一、中文摘要

脊髓損傷(Spinal Cord Injury, SCI)是因為病人的脊髓受到外傷或其他病變導致四肢及軀幹完全或不完全麻痺。由於肢體功能的喪失，會嚴重影響病患者的活動功能及獨立性。此類患者多好發於富有工作能力的年輕人，這些年輕患者往往因此而喪失工作能力，不僅使國家損失許多生產力；更因為照顧這些病患需要龐大的醫療照顧人力，形成國家資源的一種浪費。功能性電刺激(functional electrical stimulation, FES)是利用電刺激病人的神經肌肉系統，使病人得到功能上的重建與回復。目前功能性電刺激為許多先進國家認為是重建脊髓損傷患者功能的良方，並且業已投注許多心力加以研發。我們認為不論在未來對患者的功能重建上、在減少患者對他人的依賴上、在降低照護的人力需求上、以及建立本土化高附加價值的醫療工業上的考量，功能性電刺激都是一項值得投注人力金錢下去研發的項目。

本計劃第二年整合了四個子計劃，對功能性電刺激進行進一步研究。並完成預計之目標。

關鍵詞：功能性電刺激，脊髓損傷

Abstract

Spinal Cord Injury (SCI) resulted from trauma or other lesion will cause the paralysis or paresis of extremities and trunk of patients, whose motor function and independence are impaired according to its level and severity. Functional Electrical Stimulation (FES) could restore the motor function of SCI patients with the controlled electrical neuromuscular stimulation and be thought as a useful rehabilitation utility in developed countries. We believe that the FES is valuable for the restoration of motor function and independence of SCI patients, the reduction of cost of medical care, and creation of high-tech medical industries in Taiwan.

This FES researching program with four projects has achieved the desired goals of the second year.

二、緣由與目的

功能性電刺激(FES)是利用電刺激癱瘓肢體的神經肌肉，使肌肉產生收縮，進而產生功能上有用的動作。功能性電刺激在復健上的運用首先是由 Liberson 等人用於中風病人步行時的懸垂足(foot-drop)矯

正[1]。自此之後 FES 使用來重建中樞神經病變或受傷的病人所喪失的功能。

脊髓損傷(Spinal Cord Injury, SCI)是因為病人的脊髓受到外傷或其他病變導致四肢及軀幹完全或不完全麻痺。患者會因為受傷位置的不同而產生不同程度的功能喪失。

在國內，已有臺灣大學電機工程研究所及成功大學醫學工程研究所對此題目進行研發。並已有初步成果發表於國內外之期刊[2-3]。未來不論是就患者本身的功能重建、減少患者對他人的依賴、降低照護的人力需求、以及建立本土化高附加價值的醫療工業等各方面來考量，FES 都是一項值得投注人力金錢下去研發的項目。因此，本計劃的目的在於建立一個完整的脊髓損傷患者功能性電刺激治療計劃、建立動作圖樣資料庫及相關的基礎研究、完成功能性電刺激人體使用之臨床評估。

三、研究方法與進行步驟：

第二年我們整合了二個醫學工程相關單位（臺大電機所、以及中原醫工所）以及兩個復健科學臨床研究單位（臺大復健科、以及長庚復健科）對此一題目進行研究。第二年經國科會核准補助的研究包括下列四個子計劃：

子計劃一：復健用多通道功能性電刺激系統之研發(II)：由臺大電機所郭德盛教授主持；

子計劃二：以動物模式研究電刺激參數與肌肉神經傳導性之關係(II)：由中原醫工所張恆雄教授主持

子計劃三：頸髓損傷患者上肢功能性電刺激之研究(II)：由台大復健科賴金鑫教授主持；

子計劃四：功能性電刺激在不完全脊髓損傷病患步行能力增進之應用(II)：由長庚復健科黃美涓副教授主持
功能性電刺激在不完全脊髓損傷病患步行

能力增進之應用(II)：由長庚復健科黃美涓副教授主持

以上四個子計劃，分別對基礎、臨床、及不同層度的失能狀況來加以研究。

三、結果與討論

子計劃一已經設計出一套以數位信號處理晶片為主的電刺激器，有產生任意刺激波型(arbitrary waveform)、接受不同控制信號的能力。此系統提出以「元素」與「包波」合成刺激波形的方。使用者可於個人電腦上開發的視窗化界面設計所需的波形，再將之傳送到電刺激器上輸出。系統採用 TMS320C32 數位訊號處理器合成四通道高解析度刺激波形，並透過自製的輸出級電路產生定電流隔離刺激。

子計劃二為動物實驗，以表面式電極電刺激與埋入式電極電刺激這兩種不同之電刺激方式以及低頻(20Hz)和高頻(100Hz)等兩種刺激頻率，刺激實驗動物後肢腓腸肌，量測電刺激造成肌肉收縮時之以下變化：肌肉牽張收縮時間(twitch time)、最大肌肉牽張收縮力矩(max. twitch torque)、最大肌肉收縮力矩(max. contraction torque)以及肌肉疲勞比率(fatigue ratio)，以研究電刺激對肌肉收縮的影響。

埋入式電刺激在 twitch time、max. twitch torque、max. contraction torque 等三部分隨著週別改變較表面式電刺激顯著。高頻電刺激使肌肉牽張收縮時間縮短、強直收縮力矩增加，顯示肌肉收縮特性改變，經過電刺激訓練後，4 組刺激組的肌肉抗疲勞能力(fatigue resistance)皆增加，從本研究之結果顯示埋入式電刺激可能較表面式電刺激適用於電刺激訓練，而高頻參數較低頻參數的影響顯著。

子計劃三中，發展有迴饋控制之電刺激動作。此套功能性電刺激系統包括一個由對角化迴饋類神經網路(diagonal

recurrent neural network, DRNN)架構之控制器，以提供系統給予患者合適的刺激。所設計之關節角度控制器，具有完全以類神經網路控制之功能性電刺激的特性。本系統具有動態學習肌肉的逆向非線性動態特性，作一前饋補償控制，並可以線上修正控制器之類神經網路參數。其中所使用之 DRNN 是一種具有自我線上學習能力，同時具有對系統過去輸入記憶能力的網路，而由於 DRNN 將隱藏層中的迴饋簡化，亦可以加快運算速度。經訓練後可描述系統刺激電流與欲追蹤肘關節角度之非線性動態關係。同時，以 DRNN 所構成的控制器與系統辨識器可以分別對系統進行辨識與分析的工作，真正可以達成實際應用的功效。

子計劃四針對於脊髓損傷的病患，傳統上多是使用長腿支架 (long leg brace; LLB) 來訓練病患行走，但新型的交替式步行支架 (Reciprocating Gait Orthosis; RGO)，具備了支撐範圍加大、運用機械構造輔助行走等特點。而功能性電刺激在復健醫學上，也被證明對於恢復癱瘓患者所失去的運動功能具有相當的療效。

本研究針對半身癱瘓(paraplegia)的病患進行研究。將研究對象分為三組，分別使用傳統之長腿支架(LLB 組)、新型的交替式步行支架(RGO 組)以及交替式步行支架合併 FES 使用(RGO&FES 組)來進行步行的復健訓練與臨床評估。研究結果顯示，與 LLB 組相比使用 RGO 提供了受試者更穩定、更快速、負擔小及更獨立的行走方式；而 RGO 合併 FES 使用除了以人工代償的形式幫助受試者收縮肌肉外，更減少受試者體力上的負擔，並且增進步態的正確性。在心率差值、平均血壓差值方面，LLB 組比 RGO 組及 RGO&FES 組明顯較大 ($p<0.05$)，而步行速度則明顯降低

($p<0.05$)。步頻、步長則依 LLB 組、RGO 組 及 RGO&FES 組的順序增加($p<0.05$)。病患在進行步態動作時，體力耗費的狀況可經由呼吸之間氧氣消耗的程度來加以評斷，因此耗氧量可當作評估患者在運動行為時生理耗能的指數，而耗氧量則隨 LLB 組、RGO 組、及 RGO&FES 組的順序遞減($p<0.05$)。

四、計畫成果自評

本計劃為國內第一個針對功能性電刺激之三年整合型計劃之第二年。各子計劃皆大部份完成原擬計劃之預期目標，亦有部份成果已發表於國外相關會議之上[3]，對於脊髓損傷患者將會有相當大的助益。此外，依本計劃所發展之技術，可移轉至廠商，達成醫療工業本土化之目的。

五、參考文獻

- [1] H. J. Chizeck, R. Kobetic, E. B. Marsolais, J. J. Abbas, I. H. Donner, and E. Simon, "Control of functional neuromuscular stimulation system for standing and locomotion in paraplegics," Proc. IEEE, vol. 76, no. 9, pp. 1155-1165, 1988.
- [2] G-C Chang, J-J Luh, G-D Liao, J-S Lai, C-K Cheng, B-L Kuo, and T-S Kuo, "A neuro-control system for the knee joint position control with quadriceps stimulation," IEEE Trans. Rehabil. Eng. vol. 5, no. 1, pp.2-11, 1997.
- [3] J. J. Luh, G. C. Chang, J. S. Lai, C. K. Cheng, T. S. Kuo, and J. F. Lee "A diagonal recurrent neural network based FES system for the knee joint position control" in Proceeding of 1998 IEEE Conference of Medical and Biomedical Engineering Society, Hong Kong, 1998.