

# 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 -

### 子計劃六：頸髓損傷患者上肢功能性電刺激之研究

#### The Studies of Functional Electrical Stimulation of Upper Extremities for Cervical SCI Patients

計畫編號：NSC 87-2213-E-002-068

執行期限：86年8月1日至87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

肢體的麻痺導會往往導致嚴重的運動功能及日常活動功能喪失。然而在傳統的復健治療下，頸髓損傷的病人的預後往往只能以殘存的肌肉功能來決定。功能性電刺激利用電腦控制電刺激肌肉，產生既定的動作，可以重建患者所失去的功能。因此功能性電刺激成為現代復健治療上，恢復失能者日常生活能力的一種重要的工具。

本研究研究對象著重於頸髓損傷中最常發生的 C5, C6 頸髓損傷病患。針對這些病人的腕伸直肌、肘伸直肌都已麻痺的特性設計功能性電刺激。第一年使用體表的功能性電刺激合併支架使用，控制肘關節運動與手合握之動作。此套功能性電刺激系統包括一個由神經網路控制器，以提供系統給予患者合適的刺激。此系統在模擬及實驗上得到初步的成功。

**關鍵詞：**功能性電刺激, 頸髓損傷, 四肢癱瘓

#### Abstract

The loss of motor function of limbs will cause severe impairment of daily activity. In classical rehabilitation program, the outcomes of the cervical spinal cord injury (SCI) patients are determined by the residual motor function. Functional Electrical Stimulation (FES), which stimulated

paralyzed muscles by computer to provide "extra" muscle power, could restore the motor functions which could not be done in classical program. Therefore, using FES system to restore the abilities for activities of daily living is one of the major therapeutic methods in rehabilitation.

The most common cervical SCI patients with C5/C6 quadriplegia are selected as our subjects. In these patients, the elbow extensors and the wrist extensors are generally paralyzed. Therefore, our goal is to use a FES system to restore the function of these paralyzed muscles with proper orthoses.

In the first year, we applied the orthoses and surface FES to accomplish elbow movement and hand closing. The FES system contained a diagonal recurrent neural network controller to provide suitable stimulation. The computer simulation and clinical examination of this FES system demonstrated the preliminary success.

#### 二、緣由與目的

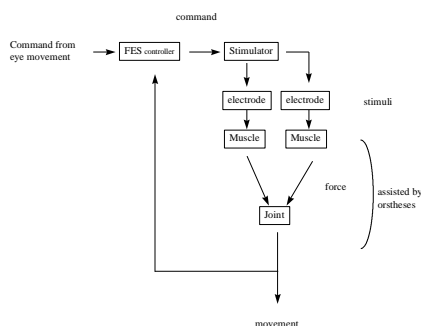
功能性電刺激 (FES) 是利用電刺激癱瘓肢體的神經肌肉，使肌肉產生收縮，進而產生功能上有用的動作。功能性電刺激在復健上的運用首先是由 Liberson 等人用於中風病人步行時的懸垂足 (foot-drop) 矯

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病變或外傷導致四肢及軀幹完全或者不完全麻痺。而對不同位置的受傷病患，會產生不同程度的功能喪失。其中頸髓受傷的患者往往是這類患者中其中功能受損最嚴重的一群。

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。並已有成果發表於國內外之期刊[2-4]。然而對於全身癱瘓的脊髓損傷患者，目前國內並沒有研究者對此進行研究；而在國外的相關研究仍有一些問題存在，必須要解決。舉例而言，目前所能控制的動作仍是十分地不自然，不能使病人的心理接受；不容易有回饋的信號（如觸覺、壓覺、溫度覺）...。此外，由於專利的問題，引進國內要花費大量的經費，不符合成本的效益。

然而由於上肢的動作複雜，而且不同程度的病人會有不同的功能喪失狀況，因此複雜度相當地高。然而就上肢功能性電刺激的臨床使用而言，最容易成為初步成果的就是 C5 之 SCI 病人在支架的輔助之下，達成手抓握的動作；或是 C5,C6 病人在電刺激與支架的輔助下，能使肘關節運動到定位。而其他的動作將需要更複雜的控制與更多的肌肉以來達成。



圖一 上肢功能性電刺激之方塊圖

因此，本計劃的目的在於：初步建立使用功能性電刺激回復因頸髓損傷所造成之全身癱瘓患者的上肢功能的臨床治療計劃。

本計劃主要的工作在於建立一個完整的頸髓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，以供做功能性電刺激之參考圖樣、完成植入性電極之人體使用臨床評估。

此外，本研究亦利用了自 60 年代初開始發展之神經網路控制系統，對功能性電刺激進行控制，經訓練後可描述系統刺激電流與欲追縱肘關節角度之非線性動態關係。

### 三、研究方法與進行步驟：

由於上肢的動作複雜，而且不同程度的病人會有不同的功能喪失狀況。因此在本計劃中必須合理地降低。故本計劃針對依美國脊髓損傷協會(American Spinal Cord Injury Society, ASIS)所訂之標準為 C5、C6 損傷的病人進行功能性電刺激之臨床實驗，以回復這些病人之部份功能。

就本年度而言，本計劃的目標在於找尋合適的病人並給予合適的電刺激訓練、製作病人所需要之輔具、收集正常人之肌電信號做為刺激之圖樣(pattern)、並進行初步之刺激圖樣結果驗證。

本計劃在第一年之中以一位 C6 受試者，利用支架來重建病人之抓與肘關節之動作。腕關節屈曲肌(wrist flexors)、肱二頭肌(biceps brachii)與肱二頭肌(biceps brachii)將為本研究之目標肌肉。

前六個月為病人的預先訓練、支架之製作刺激圖樣之設計。此外亦建立了一套包括個人電腦、信號擷取卡、數位類比卡、2 頻道的電刺激器。軟體程式則以 C 撰寫。

本研究亦延續先前之研究成果[2]，進一步改良，利用對角線回饋神經網路(Diagonal Recurrent Neural Network, DRNN),進行電刺激器控制之研究。

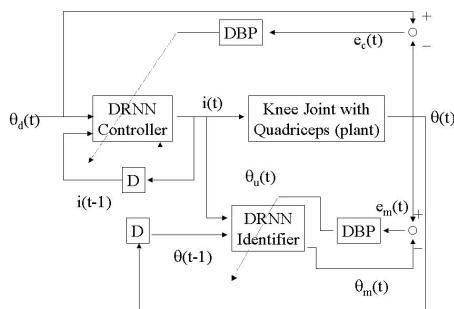
### 三、結果與討論

本計劃第一年針對受試者，利用支架將受試者之腕關節固定於 20 度伸展之功能性位置，並以電刺激器確定受試者可以以電刺激腕屈曲肌完成手部之抓取動作；而肱二頭肌(biceps brachii)之電刺激亦可以提

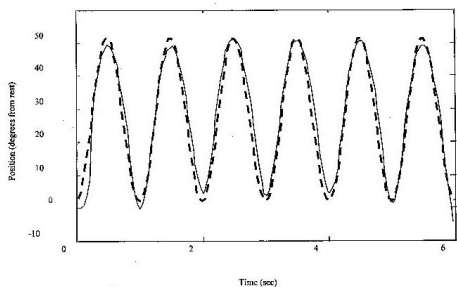
供肘關節角度之控制。

經前六個月為病人的預先訓練、配合支架，製作刺激圖樣之設計。病人可以單獨控制手之抓取的動作，以及肘關節之關節控制。

本研究同時針對關節角度控制，新發展一套完全以類神經網路控制之功能性電刺激系統。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，並同時可以線上修正控制器之類神經網路參數。類神經網路的架構是採用對角化迴饋神經網路架構，而 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縱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 (DRNN controller and identifier) 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。



圖二 DRNN 控制器方塊圖



圖二 以神經網路控制關節角度之模擬

就目前初步之研究結果，由於 DRNN 之線上學習之特性，可以免除離線學習所需要之時間，為目前少數幾種較合適之控制方式，故本研究第二年將進一步利用此一成果進行多關節之角度控制，即同時控制腕關節與肘關節之運動。

#### 四、計畫成果自評

本計畫第一年主要的工作是以電刺激上肢肌肉，配合設計良好之支架，以完成所需求之肘關節及腕關節運動。在第一年我們以表面刺激的功能性電刺激合併支架使用，控制肘關節運動與手合握之動作。此外亦新設計了一個功能性電刺激系統，其中包括一個由 DRNN 為中心的神經網路控制器，以提供合適的刺激。在模擬及實驗上得到初步的成功。本計畫之初步研究成果將發表於國際電機電子工程師學會醫學工程學會大會上[4]，也吸取許多寶貴經驗，完整的研究成果正積極準備發表中。然由於功能性電刺激應用於上肢癱瘓患者的一重要目標即是達到功能性之動作，現階段的功能性電刺激行走系統使用表面電刺激仍是一嚴重限制，本研究往後將以目前的研究基礎，更進一步研究利用植入式電極之功能性電刺激上肢動作控制研究。未來本研究第二年仍將先利用第一年在模擬及實驗上得到初步的成功的 DRNN 表面刺激功能性電刺激器合併支架，同時控制兩個關節的動作，並以動作分析儀加以分析。以完全控制肘關節及手合握之動作。而此功能性動作將可提供受試者初步的一些簡單的功能性動作，並以模擬實驗模擬其他複雜動作時之所需控制波型情形，如此便可在安全無虞的狀況下找出適合的刺激時序設計。其結果將可預估不同動作時肌肉之電刺激量及提供功能性電刺激上肢肌肉的電刺激控制器設計之參考。

#### 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] C-C Ku and K. Y. Lee, "Diagonal recurrent networks for dynamic systems control," IEEE Trans. Neural Networks. vol. 6, no. 1, pp.144-156, 1995.

[4] 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.