

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)-

子計劃三: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 88-2614-E-002-005

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

頸髓損傷造成之肢體麻痺往往會導致病患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，頸髓損傷病患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。針對這些病人的上肢功能設計功能性電刺激。第二年主要為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類神經網路控制器，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 in cervical cord injured patients always result in severe impairment of daily activities. In classical rehabilitation program, the outcomes of the cervical spinal cord injury (SCI) patients are determined by the residual motor function. The technique described as "functional electrical stimulation (FES)", which stimulated paralyzed muscles by

computer to provide "extra" muscle power, could restore the motor functions of SCI patients. Therefore, application of FES system becomes an important modern rehabilitation methodology to restore the ADL functions of the disabled.

The common C5/C6 quadriplegic patients are selected as our subjects. Our goal is to use a FES system to restore the functions of their paralyzed muscles of upper limbs.

In the second year, a FES control system with feedback loop was developed for upper limbs. The FES system contained a diagonal recurrent neural network controller to provide suitable stimulation. The clinical evaluation 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 便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。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，最常見的是 C5 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。

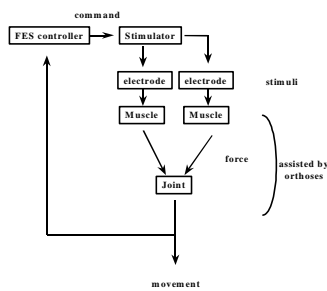


圖 1 上肢功能性電刺激之方塊圖

因此，本計劃的目的在於：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)所構成的控制器，以提供系統給予患者合適的刺激。

三、研究方法與進行步驟：

本研究針對六位受試者的肩部動作進行電刺激控制的臨床實驗。將 FES 使用於肩部的肌肉群(deltoid, supraspinatus)以得到所需要的肩部動作。圖一為 FES 動作控制之示意圖。由個人電腦給予預先設計好的軌跡，再以電子量角器(Model XM180, Biometrics Ltd.)量取角度送回控制器，利用控制器評估電子量角器與預設軌跡間的誤差來調整電流，並以 RS232 介面與電刺激器溝通。

四、結果與討論

本計劃第二年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(DRNN controller and identifier)可以分別對系統進行辨識與分析的工作，真正達成實際應用的功效。

表 1 為 DRNN 控制器與傳統的比例控制器(proportional controller)比較的結果。角度的均方差(RMS tracking)顯示在 0-25sec 有能力將肩關節穩定的控制到所需的角速度，而之後亦能將關節控制在穩定的角速度。相對於比例控制器，其誤差值較小。

五、計畫成果自評

本計畫第二年主要的工作是發展具有迴饋控制之電刺激動作。因此我們設計了一個功能性電刺激系統，其中包括一個由 DRNN 為中心的類神經網路控制器，以提供合適的刺激。在實驗上得到初步的成

功，其部份研究成果已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。由於功能性電刺激應用於上肢癱瘓患者的重要目標之一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。未來本研究第三年仍將先利用第二年得到初步成功的 DRNN 表面刺激功能性電刺激器，合併支架，以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日常生活必需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。

Hong Kong ,1998.

六、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,

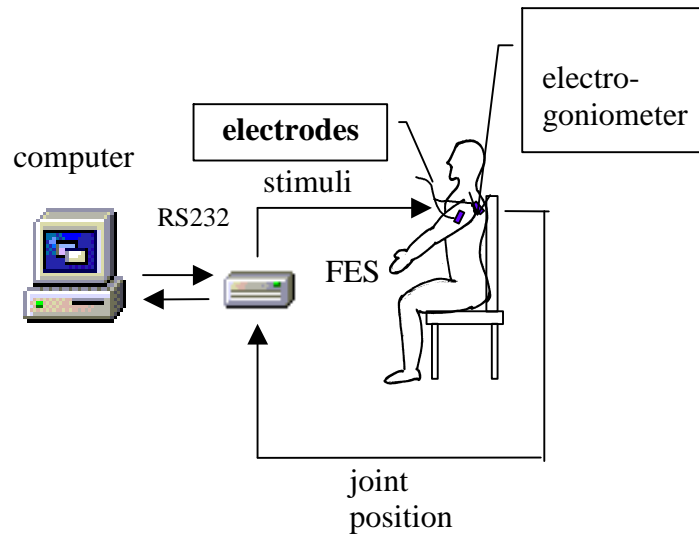


圖 2 實驗示意圖

表 1 以不同控制方法追蹤預設之角度變化軌跡之結果比較。表(a)為比例控制器控制之結果，表(b)為 DRNN 控制器控制之結果。其中數字單位為度。

(a) Tracking to the desired motion of shoulder abduction by proportional controller

Time	0~50sec		0~25sec		25~50sec	
Subject	RMS error	STD	RMS error	STD	RMS error	STD
1	18.427	17.985	24.227	23.819	9.601	9.133
2	20.241	14.172	25.579	18.321	12.84	6.701
3	13.648	13.232	18.904	18.279	3.895	3.525
4	13.648	20.727	25.69	20.709	17.755	19.932
5	21.210	19.201	28.591	24.659	9.0715	8.357
6	13.715	13.278	19.198	18.571	2.771	2.031
Mean	16.815	16.433	23.698	20.726	9.322	8.280

(b) Tracking to the desired motion of shoulder abduction by DRNN controller

Time	0~50sec		0~25sec		25~50sec	
Subject	RMS error	STD	RMS error	STD	RMS error	STD
1	16.499	15.096	22.484	18.915	6.241	6.184
2	13.909	12.834	19.346	17.816	3.561	1.808
3	11.262	10.599	15.611	14.821	3.158	1.854
4	26.277	20.628	37.013	22.307	3.321	1.173
5	10.472	10.286	14.735	14.047	1.481	1.412
6	16.227	14.48	22.795	17.269	2.556	2.513
Mean	15.774	13.987	21.997	17.529	3.386	2.491