

中進度
報 告

研發自動回饋控制之幫浦循環器解決脊髓損傷者
姿勢性低血壓引起之暈眩

Development of a feedback control pumping
circulator to prevent postural hypotension

計畫類別： 個別型計畫 整合型計畫
計畫編號：NSC 92 - 2218 - E - 038 - 003
-
執行期間： 92 年 8 月 1 日至 93 年 7 月 31
日

計畫主持人：賴建宏 台北醫學大學附設醫院復健科主治醫師
共同主持人：陳適卿 台北醫學大學附設醫院附件科主任
劉正良 台灣大學機械工程研究所教授
張恆雄 中原大學醫學工程學系暨研究所教授
游忠煌 陽明大學復健科技輔具研究所助理教授
計畫參與人員：洪偉翎 台灣大學機械工程研究所碩士班研究生
劉士偉 中原大學醫學工程研究所博士班研究生

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)： 精簡報告 完整
報告

本成果報告包括以下應繳交之附件：

赴國外出差或研習心得報告一份

赴大陸地區出差或研習心得報告一份

出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份

國際合作研究計畫國外研究報告書一份

處理方式：除產學合作研究計畫、提升產業技術及人才培育研究

計畫、列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢

涉及專利或其他智慧財產權，一年 二年後可公

開查詢

執行單位：台北醫學大學醫學系復健科

中 華 民 國 93 年 9 月 27 日

(二)中英文摘要

一、中文摘要

高位脊髓損傷病患因自律神經傳導障礙，導致姿勢改變時，產生姿勢性低血壓，並併發眼花、暈眩的狀況。為幫助姿勢性低血壓患者改善暈眩狀況，本研究利用一套具自動回饋系統之下肢幫浦循環器，量測可量化之生理參數：血氧濃度、心律、血壓與呼吸頻率，變更不同的施加壓力，將積存於下肢的血液壓回，以研究不同傾斜床角度與不同幫浦壓力下病患之生理狀況，以供作為自動控制策略之訂定與研究。

結果可以看到當無任何幫浦壓力施加時，血壓會隨傾斜床角度逐漸升高而下降，而當有幫浦壓力施加於下肢時，血壓會因幫浦壓力的增加而回升，但幫浦施加壓力大到一定程度時，其效益反而無法與幫浦壓力成正比，因此可證明幫浦壓力之改變有助於改善姿勢性低血壓，再進一步分析，更可以得到收縮壓與舒張壓對應幫浦壓力與傾斜床角度之模型，由此血壓模型之建立，可以作為病患血壓於不同傾斜床角度與幫浦施加壓力下之預測，供自動控制策略訂定之參考。

關鍵字：姿勢性低血壓、脊髓損傷、下肢幫浦循環器、生理參數

二、英文摘要

One of the major cardiovascular and hemodynamic complications in individuals with spinal cord injury (SCI) is postural-related orthostatic hypotension. It can interfere and delay medical and rehabilitation treatment

Patients with SCI above T6 interrupt the sympathetic pathways from brain stem to sympathetic nerves and disrupt the voluntary muscle contractions of the lower extremities. Therefore, these patient may suffered from impairment of blood control in the responses to postural change and severe venous pooling in the lower extremities.

Using a tilt table or elevating a reclining wheelchair gradually is the common practice for patient with SCI to achieve the upright position. However, it would be a time-consuming process. A variety of external compression methods, like abdominal binder, elastic compression stockings and pressure boots, have been used to try to alleviate the effects of orthostatic hypotension, with inconsistent results.

The purpose of our study is to try to develop a circulator pumping system of lower extremities (CPSLE) to alleviate the posture hypotension in subjects with (SCI) and to evaluate the effects of this CPSLE in controlling the posture hypotension in individuals with spinal cord injury.

This study used a randomized control trial with repeated measure design. Both patients with SCI and healthy able-bodied subjects underwent tilting table test from 0°

to 75°. All participants were strapped in place on the tilt table. Heart rate (HR), systolic blood pressure (SBP), diastolic blood pressure (DBP), and etc. cardiovascular response of subjects were measured by using physiological monitor device. The ECG recorders were put on the chest, the rubber bladder of the pressure cuff was applied on the arms, and the CPSLE was set to both lower legs of participants

The results showed this CPSLE system could alleviate posture hypotension in individuals with SCI above T6.

Keywords: posture hypotension, spinal cord injury, circulator pumping system of lower extremities, cardiovascular response.

(四)報告內容

一、前言

依據新竹市脊髓損傷者協會資料顯示，台灣目前有三萬多名脊髓損傷患者，並且以每年二千多人的速度增加，發生原因有來自車禍或工地意外等事故。以該資料來看，脊髓損傷患者的人口實在是越來越值得重視。

目前對於姿勢性低血壓的患者，醫學上的治療方式主要是以傾斜床訓練，來逐步使患者適應臥立姿勢之改變。但高位脊髓損傷患者因生理上的缺陷，造成復健進度緩慢，也使得病患復健意願低落。為改善脊髓損傷患者姿勢性低血壓之情況，本研究擬針對脊髓損傷患者，研究一套留積於下肢的血液回流之控制系統，冀能改善姿勢性低血壓所造成之心律加快、血壓下降、頭暈眼花等症狀。

二、研究目的

正常人於臥立姿勢改變時，血液會受重力影響往下積存而欲使血壓下降，此時，主動脈弓和頸動脈竇之壓力接收器偵測到動脈壓與血氧濃度下降，其訊號傳入腦部，使交感神經興奮，血壓上升，維持正常人在臥立姿勢改變後的血壓穩定。但高位脊髓損傷患者在握立姿勢改變時，因訊號傳入腦部受阻，導致血液積存在下肢，使得血壓下降，稱為姿勢性低血壓。因為大腦細胞需要藉由大腦血流循環才能取得氧氣和葡萄糖，來維持大腦的代謝作用，當病患血壓下降，輸往大腦血流量減少，大腦取得的氧氣便會減少。當血壓下降到一臨界值以下，大腦血流自我調節機制失效，此時，腦部開始有節律障礙的症狀，因此，病患會產生頭暈、眼花、休克等症狀，使病患無法久站。

本研究之目的在於利用一套具自動控制系統之下肢幫浦循環器，以可量化的心律與血壓變異的量測為判斷基準，變更不同的施加壓力，將積存於下肢的血液壓回，以延長患者的站立時間，希望能縮短患者的復健療程。

但為了能對傾斜床角度、幫浦壓力與患者的生理反應資訊有進一步的探討，本研究擬就自動控制策略方面進行實驗，以研究傾斜床角度、幫浦壓力與患者心率及血壓變異之關係。並建立生理資料庫，以作為建構自動控制系統策略之參考。自動控制系統之策略與軟硬體架構完成後，進行臨床實驗，以驗證本研究對姿勢性低血壓患者於傾斜床復健情形上之幫助。

三、文獻探討

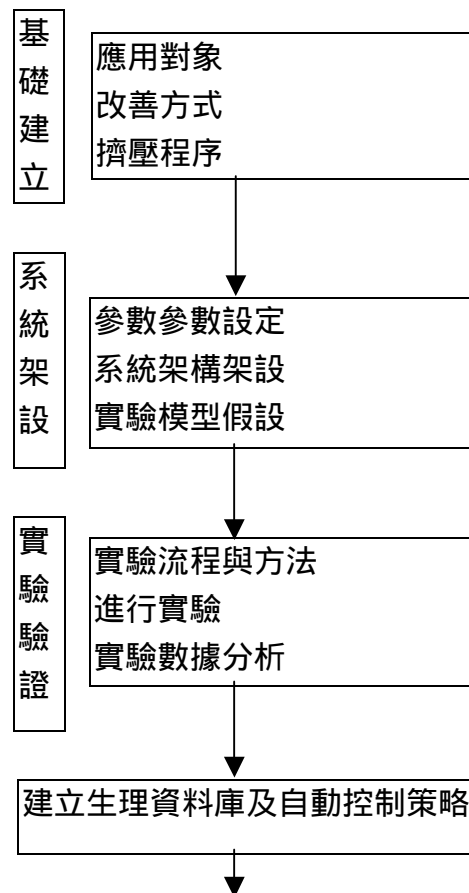
高位脊髓損傷病患姿勢改變時，會因血液積存在下肢及自主神經反應不協調，而使下肢血管收縮不良，致使血壓突然下降，稱為姿勢性低血壓¹⁻³。而血壓下降，也將使輸往大腦的血流量減少⁴⁻⁵；由於大腦細胞需要藉由腦血流循環才能取得足夠的氧氣和葡萄糖來維持代謝作用，儘管病患有血壓下降的現象，此時大腦還是能夠從減少的腦流量中取得足夠的氧，但當血壓下降到臨界值以下時，將

導致大腦的血流自我調節機制失效，則氧化機制將失去平衡，產生神經電位活性的能量開始減少，並嚴重影響中央神經系統的傳導性。此時腦部會開始有節律障礙(dysrhythmia)的症狀，因而產生頭暈、眼花、休克等症狀，換句話說，要維持中央神經系統系統電位活性(electrical activity)的能量，大腦氧化作用的過程佔了很大的因素⁶⁻⁸。

目前已經有許多方法被用來減輕姿勢性低血壓⁹，其中最常被利用的方法係使用傾斜床逐漸升高傾斜角度來增加脊髓損傷病患直立的忍耐度，此治療方法比較費時，且效果因人而異。而水份與鹽份充分的攝取，也是減輕姿勢性低血壓的方法。另外，經常發生姿勢性低血壓者，也有使用藥物如麻黃素(ephedrine)、fludrocortisone 及麥角胺(ergotamine)來改善姿勢性低血壓，同時使血壓升高，但是目前僅限於個案報告。使用彈性襪以增加靜脈血液，減少血液積存於下肢的情形，以改善姿勢性低血壓之應用也是有，但還是無法達到很好的效果。而目前最多學者研究的改善姿勢性低血壓的方式，乃是利用功能性電刺激(functional electrical stimulation, FES)，以減輕姿勢性低血壓¹⁰。

本研究利用一套具自動回饋系統之下肢幫浦循環器，在變更不同的施加壓力與傾斜床角度下，量測病患之生理參數，以建立姿勢性低血壓患者的生理資料庫與模型，作為自動控制策略的判斷依據。

四、研究方法



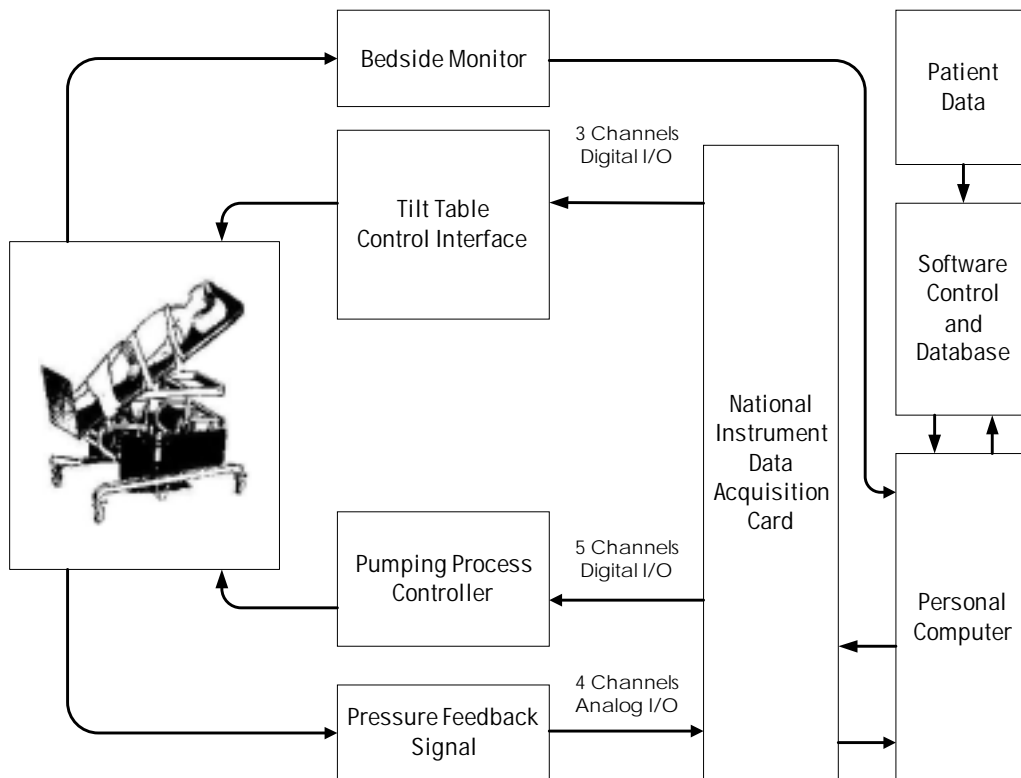
結論

圖一 研究流程圖

研究流程如圖一所示。應用對象設定為高位脊髓損傷患者(T6 以上)，改善方式乃是採用自動擠壓控制幫浦系統，施加於下肢，以增加血液回流。所施加之壓力較彈性襪要大，但仍控制在人體可承受範圍內，擠壓方式採單方向式擠壓程序。

1. 系統方面：

本研究需利用一套具控制系統之下肢幫浦循環器及傾斜床裝置，以測定在不同傾斜角度與幫浦壓力下，病患之生理參數。故本研究在硬體方面，包含了訊號擷取系統與生理監視器、傾斜床及其控制裝置、氣壓裝置及電路控制系統。整體系統架構如圖二所示：

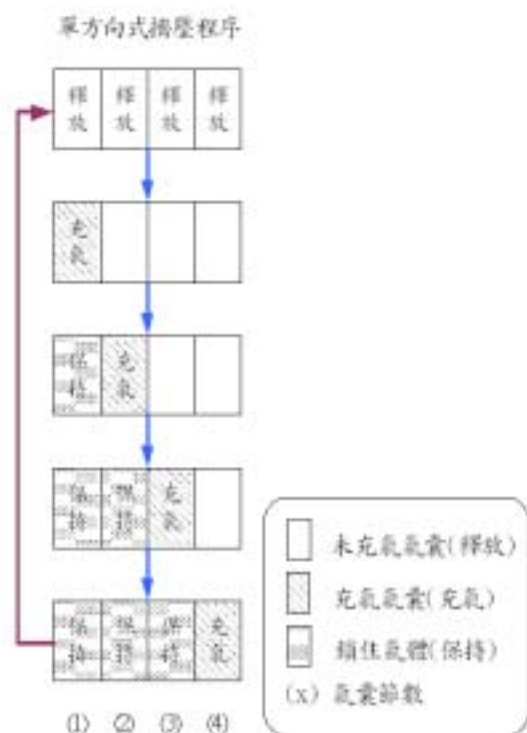


圖二 系統架構圖

訊號擷取系統包含個人電腦、DAQ card、LabVIEW 應用軟體撰寫之程式及生理監視器。傾斜床及控制裝置則包含傾斜床、平移及傾斜控制器、與電腦整合之控制程式、傾斜角度指示器。氣壓及電路控制系統則包括幫浦、氣壓護套、電磁閥、壓力感測器、已程式化之 CPLD 單晶片跟訊號放大開關電路。

軟體架構包括利用 LabVIEW 應用軟體所撰寫之程式、Max+Plus II 應用軟體以及 CPLD 單晶片寫入程式及過程。

在控制擠壓方式方面，利用四組氣囊作充氣及洩氣，達到程序化的擠壓下肢，使下肢積流的血液可以回流到上肢與腦部，其擠壓程序如圖三。



圖三 控制程序圖

2. 實驗方面

關於病患生理參數之研究，原選定心律、血壓、血氧濃度與呼吸頻率為觀察病患的生理參數，但經實驗後的分析比較結果，病患的血氧濃度與呼吸頻率均無明顯變化，而考慮血壓在姿勢性低血壓的表現上最為明顯，所以採用收縮壓與舒張壓為主要的分析參數。而幫浦施加壓力之變異則選定 25、50、75、100、125mmHg 與不施加壓力作為比較，以確定幫浦施加壓力之變化，是否能改善姿勢性低血壓之情況。

實驗步驟

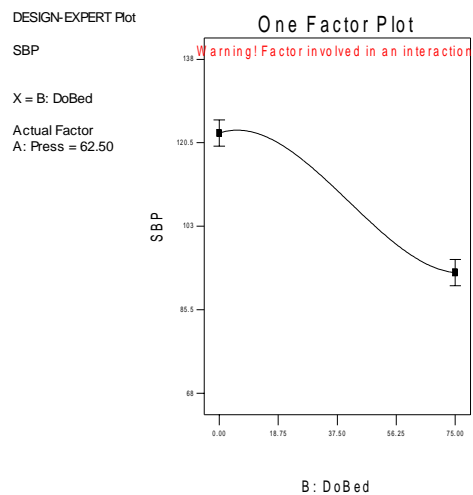
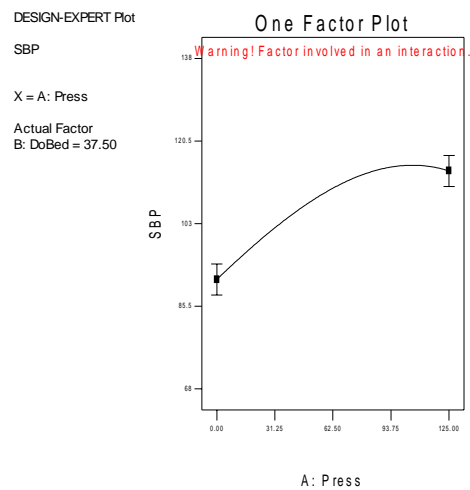
本實驗經正常人測試安全無虞後，才進行脊髓損傷病患之人體實驗。為確保病患之安全，當病患收縮壓低於 60mmHg 或舒張壓低於 40mmHg，或是病患出現高血壓情況時，將會中止實驗，並進行緊急處理。此外，當病患要求停止，實驗亦會中止。

- A、 首先將受試者移至傾斜床，並以仰臥的姿勢躺平。
- B、 為受試者套上氣壓護套，接上氣壓導管，導管的另一端則與氣壓裝置中之氣壓護套接頭連接。
- C、 用酒精擦拭心電量測之正確位置，將心圖貼片貼上，並接上訊號導線(共 3 條)。同時，將血壓計套在手臂上。
- D、 啟動生理監視器及訊號擷取系統。
- E、 輸入受試者的基本資料，包括姓名及脊髓損傷情況。

- F、 啟動筆記型電腦中之 LabVIEW 程式，並執行之。
- G、 先讓病患平躺於傾斜床上至少五分鐘，在確保病患之心率、血壓等生理參數穩定之後，才開始進行實驗。
- H、 在實驗進行中，生理監視系統將即時記錄受試者之心率、血氧濃度與呼吸頻率；一分鐘之後，生理監視系統自動量測受試者之血壓，之後以每隔兩分鐘量測血壓一次。
- I、 當實驗進行第 6 分鐘、12 分鐘、18 分鐘和 24 分鐘時，傾斜床分別傾斜至 30 度、45 度、60 度及 75 度仰角。
- J、 實驗中的單一程序將於第 24 分鐘結束，此時停止 LabVIEW 程式和生理訊號擷取功能，並緩緩將受試者回歸平躺臥姿。
- K、 單一程序結束後，可重覆步驟 G，進行下一組壓力實驗。

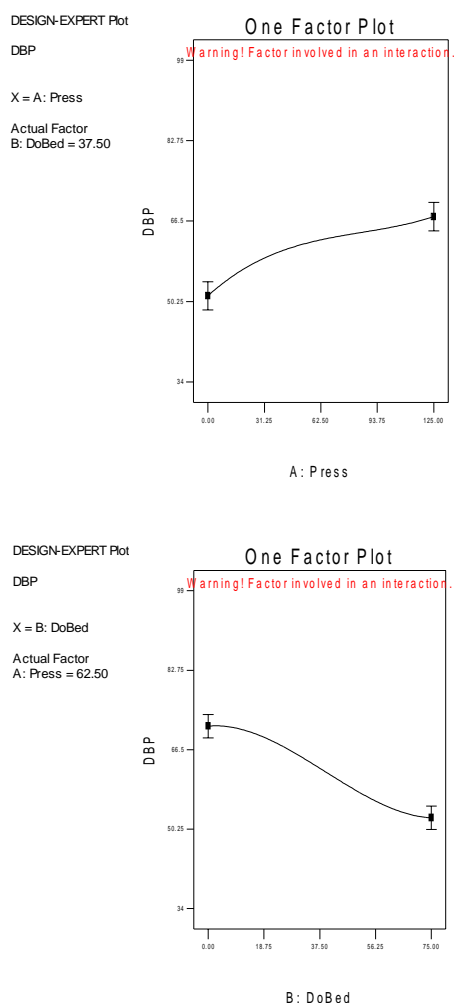
五、結果與討論

本系統應用於三位頸椎損傷病患身上，並將所得之實驗數據，經實驗分析軟體 Design-Expert6.0.5 整理分析後，可得到收縮壓與舒張壓對應於不同之傾斜床角度與幫浦壓力之關係，如下圖四、圖五。



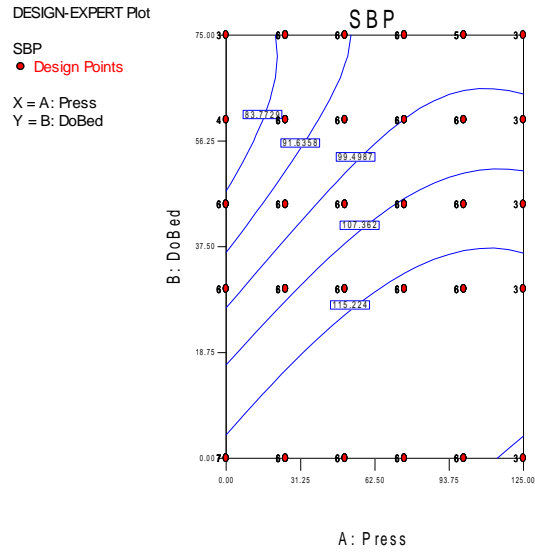
圖四 收縮壓對應幫浦壓力(上圖)與傾斜床角度(下圖)之關係

可以看到當無任何幫浦壓力施加時，血壓會隨傾斜床角度逐漸升高而下降，而當有幫浦壓力施加於下肢時，血壓會因幫浦壓力的增加而回升，但幫浦施加壓力大到一定程度時，其效益反而無法與幫浦壓力成正比。因此可證明幫浦壓力之改變有助於改善姿勢性低血壓。而本系統應用於四位 T11~T12 的脊髓損傷病患時，亦觀察出胸椎病患本身無姿勢性低血壓之症狀，而其血壓皆不易受幫浦壓力之施加而有所改變。

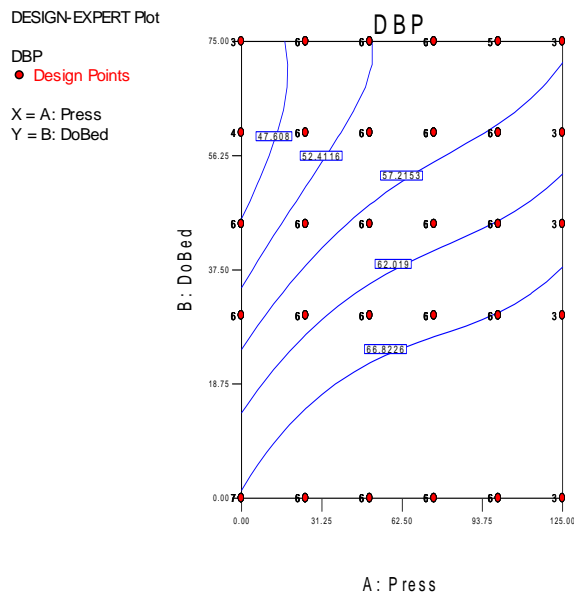


圖五 舒張壓對應幫浦壓力(上圖)與傾斜床角度(下圖)之關係

再進一步分析，更可以得到收縮壓與舒張壓對應幫浦壓力與傾斜床角度之模型，由此血壓模型之建立，可以作為病患血壓於不同傾斜床角度與幫浦施加壓力下之預測，供自動控制策略訂定之參考。



圖六 收縮壓對應幫浦壓力與傾斜床角度之模型圖



圖七 收縮壓對應幫浦壓力與傾斜床角度之模型圖

(五)參考文獻

1. P. Lopes, and S. Figoni, "Current literature on orthostatic hypotension and training in SCI patients," *American Corrective Medical Therapy Journal*, vol. 36, pp.56-59, 1981.
2. E. William, Jr. Staas, S. F. Christopher, K. F. Mitchell, W. F. Guy, and E. S. R. Mary, "Spinal cord injury and spinal cord injury medicine," *Rehabilitation*

- Medicine*, vol. 51, pp. 1267-1269, 1998.
3. F. M. Maynard, "Post-traumatic cystic myelopathy in motor incomplete quadriplegia presenting as progressive orthostatic," *Archives of Physical Medicine & Rehabilitation*, vol. 65, pp. 30-32, 1984.
 4. F. Gonzalez, J. Y. Chang, K. Banovac, D. Messina, A. Martinez-Arizala, and R. E. Kelly, "Autoregulation of cerebral blood flow in patients with orthostatic hypotension after spinal cord injury," *Paraplegia*, vol. 29, pp. 1-7, 1991.
 5. E. Savin, J. Siegelova, B. Fisher, and P. Bonnin, "Intra- and extracranial artery blood velocity during a sudden blood pressure decrease in humans," *European Journal of Applied Physiology*, vol. 76, pp. 289-293, 1997.
 6. H. Stevens, and J. Fazekas, "Experimentally induced hypotension," *Arch Neurol Psych*, vol. 73, pp. 416-418, 1955.
 7. B. P. Olaf, S. Svend, and E. Lars, "Cerebral autoregulation," *Cerebrovascular and Brain Metabolism Review*, vol. 2, pp. 161-192, 1990.
 8. R. Juul, S. A. Slordahl, H. Torp, B. A. J. Angelsen, and A. O. Brubakk, "Flow estimation using ultrasound imaging (color M-mode) and computer postprocessing," *Journal of Cerebral Blood Flow and Metabolism*, vol. 11, pp. 879-882, 1991.
 9. Staas WE, Formal CS, Gershkoff AM, Hirschwald JF, Schmidt M, Schultz AR et al, "Rehabilitation of the spinal cord-injured patient in : DeLisa JA, Gans BM, editors," *Rehabilitation medicine-principles and practice*, pp. 890-896, 1993.
 10. Grooms TE, Huang CT, *Orthostatic hypotension after spinal cord injury: treatment with fludrocortisone and ergotamine* , pp. 56-58, 1991.

(六)計畫結果自評

本研究已完成在不同傾斜床角度與不同幫浦壓力下脊髓損傷病患之生理狀況研究，驗證不同的幫浦施加壓力對於姿勢性低血壓患者症狀之改善，並建立血壓對應幫浦壓力與傾斜床角度之模型，可供作為自動控制策略之訂定與研究。

而未來將朝向改良自動控制回饋系統，以傾斜床角度與病患血壓為回饋訊號，建構閉迴路控制系統，使自動控制下肢幫浦循環器更為完善，能夠維持姿勢性低血壓患者的血壓縮小在一定範圍內，以改善姿勢性低血壓。

另外，目前本研究的資料正在撰寫中，將儘快投稿於國內外雜誌。