

植基於嵌入式系統之上肢復健系統研製

劉冠佑、吳錫修

南開科技大學 電子工程系

通訊作者：劉冠佑

聯絡地址：542 南投縣草屯鎮中正路 568 號

電子郵件：guanyu@nkut.edu.tw

投稿日期：2018 年 12 月

接受日期：2018 年 12 月

摘 要

肩關節為人體中最为複雜的關節，由於肩關節被關節囊與關節韌帶包圍，這種軟組織是肩關節運動時的主要限制，並且提供肩關節的穩定度。一旦肩關節活動失能則許多的日常生活功能亦受限，造成生活品質下降。在臨床的中老年人肩關節疾病中，以冷凍肩（五十肩）最為常見，因關節囊產生互相沾黏，導致肩膀活動度不足的現象，嚴重的人會合併酸痛，甚至痛得晚上睡不著。肩關節疾病在治療方面主要放在在減除疼痛與肩關節功能的重建，以恢復其關節活動度。除藥物治療外若能搭配復健的進行將會使效果更加的顯著，所以好的復健器材，搭配好的復健行為將會使問題減少。本論文主要目的是要建構一套適用於醫療復健機構或患者家中的被動式上肢復健系統，經由簡單的設定即可由系統來帶動患者進行上肢被動式復健，所設計系統採用單晶片微控制核心，以大幅降低系統複雜度與成本，藉由自動行程設計讓患者進行上肢復健，以解決病患肩關節運動受限的問題。

關鍵詞：五十肩、肩關節、被動式復健

壹、緒論

復健 (rehabilitation) 的含意為「重新恢復」，藉由專業人員的協助並運用輔助器材來改善病患之缺損功能，以提昇自我照顧及社會適應能力。目的在協助因傷痛疾病導致功能受損之患者機能重建，期儘可能恢復功能以減低日常生活及社會活動的障礙。

根據世界衛生組織的定義，復健的內容分為三個層次，最低層次為「機能的恢復」，其次為「活動的執行」，最高目標為「生活角色的參與」。綜合來說，復健的方式可分為二大類型，一為促使基本機能的恢復或維持，此為認定機能尚有恢復潛能時適用，另一類為代償方法的學習與調適，在其神經恢復可塑性較低時適用。其實這二者息息相關，適度

的代償有助於機能恢復，而機能恢復的情況影響需要代償的程度與方法，每一環節均是復健的重要過程 (DeLisa et al., 2005; Braddom, 2010)。

人體以骨骼為支架，以關節為樞紐，通過肌肉的協調動作而進行活動。當骨或關節發生損傷後，肢體因失去穩定的支架及靈活的樞紐而不能進行正常活動。例如銀髮族由於行動遲緩，平衡感較差因而容易跌倒；再加上骨質疏鬆，因此在跌倒後很容易造成骨折情況發生；雙手萬能，人為萬物之靈靠的就是靈活的雙手，所以若是上肢功能失調，對於日常生活活動或工作等將會造成很大的影響。

在上肢中，連接上臂與軀幹部份的構造稱為肩關節，組成肩關節的骨骼、韌帶及肌肉乃人體所有關節中最複雜。肩關節是由肱骨的圓頭和肩胛骨的淺窩所組成，形成一個所謂

的杵臼關節，但是由於相當鬆的連結，以及肱骨大的關節面相對於關節盂淺的關節面，使得肩關節可以做相當大範圍的活動，但也因為這個緣故而使肩關節較不穩定，而造成傷害（周光儀等，2013）。肩部通常被分為五個關節或類似構造：盂肱關節、肱骨喙突尖峰關節、肩鎖關節、胸鎖關節及肩胛胸廓關節。盂肱關節由肱骨近端及肩胛的關節盂組成，和旋轉帶有直接的關係。盂肱關節的活動度很大，但其穩定性也相對的就比較差。關節盂唇在關節盂外緣，由軟骨所構成，可以提供關節某程度的穩定度。以功能上來說，旋轉帶是提供盂肱關節穩定度及活動度，其構造共由四條肌肉組成：棘上肌、棘下肌、小圓肌及肩胛下肌，這些肌肉的肌腱和關節囊部分結構是提供盂肱關節穩定性的構造。纖維性的關節囊本身是一較鬆散的組織，可以提供的穩定度有限。因此，日常生活的運動主要還是以旋轉帶肌腱及韌帶的連接，來加強穩定盂肱關節。

在肩關節的構造中，此一複雜的組織使肩關節的運動範圍相當廣，一般可將肩關節的活動情形分為五類（田力維，1999）：

第一類為上肢的向上活動向度：包含前彎 (Forward Flexion) 即手臂循矢狀面舉高，外舉 (Abduction) 即手臂在縱斷面舉高的運動和肩胛面上舉運動 (Scapular Plane Elevation)，一般人的活動範圍為 0~180 度。

第二類為上肢的背後活動向度：包含水平伸展 (Horizontal Extension) 即手臂在水平面上向後伸展的運動，一般人的活動範圍為 0~45 度和後舉運動 (Backward Extension)，一般人的活動範圍為 0~60 度。

第三類為上肢的水平活動向度：主要為水平彎曲運動 (Horizontal Flexion)。一般人的活動範圍為 0~135 度。

第四類為向下的運動向度：主要為內舉運動 (Adduction) 即手臂接近軀幹的動作，活動範圍與向上的活動向度相同。

第五類為上肢的旋轉活動向度：包含外旋運動 (External Rotation) 和內旋運動 (Internal Rotation) 即手臂依肱骨軸旋轉的運動，此運動的活動範圍和上臂的位置有關，一般人的活動範圍約為 0~180 度。

因肩關節為人體內運動範圍最大的關節，動作頻繁容易疲勞，受傷的機率亦高，常導致慢性退行性變化。當身體各部位關節活動頻率增加時，身體愈能活動自如；反之，長期缺少運動，柔軟性必然受到限制，並且關節會變得愈來愈僵硬，而俗稱為『五十肩』之『冷凍肩』的症狀之一也包含肩關節運動不足的例子。推究其發生的原因，中老年人肩部病變的原因多為退化性之原因例如：頸椎神經根炎、關節囊炎、鈣化肌腱炎、肩卡住症候群、旋轉肌群斷裂、內臟源因性痛、肱二頭肌肌腱斷裂等。現在的五十肩治療方面重點放在減除疼

痛與功能的重建（恢復其關節活動度），包括使用消炎止痛藥、關節內注射、物理治療、鬆動術及肩關節伸展運動以及自我運動。五十肩的治療方面在藥物治療上已有卓越的發現，但若搭配復健的進行將會使效果更加的顯著，所以好的復健器材，搭配好的復健行為將會使問題減少。

一般常用的復健治療—主要為物理治療，次為職能治療。在減輕疼痛活化肌腱方面，物理治療有各種熱療方式（如短波、熱敷及紅外線等），電療（干擾波及超音波等）及各種肩關節活動手法，在增加肩關節活動度及強化肌力方面，物理治療或職能治療的運動治療非常重要。肩關節伸展運動可分為主動式運動與被動式運動：主動式運動是指病患在沒有他人或是藉助儀器的情況下的運動，這類的運動目的除了要增加關節的活動程度外，還要加強肩關節附近肌肉的力量，避免這些肌肉因為之前缺乏運動，而產生的肌肉無力及肌肉萎縮現象。肩關節常用的主動運動治療有考德曼式運動、手指爬牆運動、牽拉運動、推牆運動、鐘擺運動、肩胛骨活動運動、端盤運動、拉棒運動等。而被動式運動是利用外在力量來把沾黏住的關節拉鬆，例如治療師會利用不同的手法來拉鬆關節，增加關節的活動程度。

醫師或治療師對於病患的復健，早期常需使用增強性活動來誘發病患的職能能力恢復，經由持續且正確的訓練，可以使得受傷肢體的功能進步並維持在最佳狀態，連續被動式運動是病患的肢體復健常用的臨床策略 (Rasyid et al., 2004；黃珮珊，2004)，而機器輔助臂運動療法 (Robot-Assisted Arm Movement Therapy) 則是被動式運動常用的復健治療方法之一，利用機械設備實施被動式復健 (Furusho et al., 2003; Kiguchi et al., 2006; Li et al., 2005; 董憲奇，2002)，對病患上肢之動作及肌力有明顯改善情形。

由於肩關節的運動範圍相當廣，目前在醫療院所復健科對於上肢無法上舉的患者，醫師或治療師會要求患者使用圖一所示的指梯來進行手指爬牆運動治療（示範者為埔里基督教醫院復健科復健師施孝龍組長），為一種主動式復健設備，指梯掛在牆壁上面而患者面對指梯取立位，分為前面及側面進行，單手或雙手用力碰觸階梯緩緩向上爬，使上肢盡量上舉，再緩緩向下爬回原位，藉此增加肩關節的活動程度，並加強肩關節附近肌肉的力量，對肩關節運動的上肢向上活動向度與水平活動向度進行復健。

在復健醫療機構中另一個常見的肩關節復健裝置是如圖二所示的肩關節旋轉復健設備（俗稱為肩輪），做肩前屈、外展、內、外轉動作以進行旋轉活動度，以增進關節的活動範圍及強化肌肉，進行第五類上肢旋轉活動向度復健。從圖二可知目前普遍使用的肩輪可以調整旋轉阻力及旋轉半徑，而其固定在牆壁上可調整高度，可以站姿或坐姿來進行復健。



圖一 傳統式指梯復健設備及其使用情形



圖二 肩關節旋轉復健設備（肩輪）

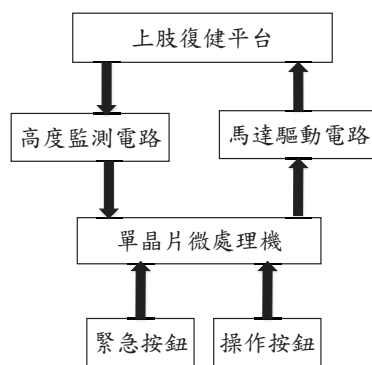
由於圖一的傳統式指梯復健設備，並無法記錄患者的復健資訊，在（吳信義等，2008）中作者針對此一缺失提出了主動式上肢復健系統來加以改良，用電腦記錄患者每次的復健資訊，如手的上舉高度、復健次數與時間等，除可將復健資訊電子化外並對復健效果進行量化分析與呈現，也可透過電腦語音對患者進行鼓勵，以加強其復健動機。

對於圖二現行的肩關節旋轉復健設備（劉冠佑等，2010）進行研究，發現有：1.無法偵測患者肩膀復健時旋前/旋後的活動角度。2.未具有復健資訊記錄及監測的功能。3.為主動式復健機構不具有被動式復健的功能。4.無法提供量化指標作為復健效果評估參考等缺點。作者針對此一缺失提出了新型肩關節復健系統來加以改良，提供給肩關節功能失調的病患來使用，主要是對肩關節運動的第五類上肢旋轉活動向度進行復健，藉以增強肩關節旋轉方面的活動度，改善病患肩關節無法正常活動的現象。

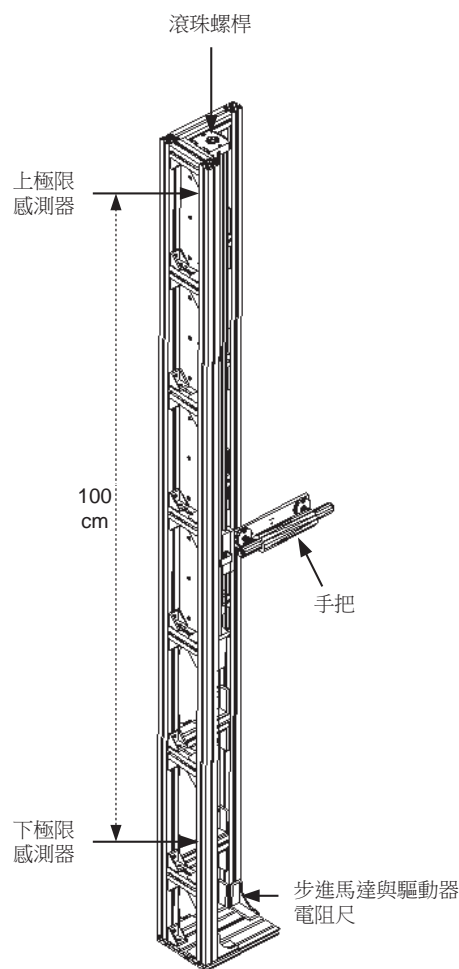
本研究主要目的是要建構一套適用於醫療復健機構或患者家中的被動式上肢復健系統，經由簡單的設定即可由系統來帶動患者進行上肢被動式復健，所設計系統採用單晶片微控制核心，以大幅降低系統複雜度與成本，藉由自動行程設計讓患者進行上肢復健。

貳、方法

整個被動式上肢復健系統架構如圖三所示，包含由步進馬達、步進馬達驅動器、電阻尺、滾珠螺桿及上下極限感測器所組成的上肢復健平台（如圖四所示）、以 ATmega1280 為核心的 Arduino mega 單晶片微處理器、緊急按鈕、系統重置按鈕。緊急按鈕位於復健手把上，當有緊急狀況時復健者按下此按鈕以避免遭受意外傷害。



圖三 被動式上肢復健系統架構圖



圖四 上肢復健平台

依據本系統的目的與需求，被動式上肢復健平台的機電機構系統設計如圖五所示，包含：

1. 嵌入式系統

嵌入式系統為復健平台的控制核心，本系統是採用 ATmega1280 為核心的 Arduino mega 單晶片微處理器。嵌入式系統會執行被動式上肢上舉復健機構的系統機構測試、偵測復健者的上舉能力等。

2. 極限感應器

圖五中的上、下極限感應器為光遮斷器，兩者是用來限制步進馬達運動的範圍（100 公分），超過此範圍時嵌入式系統會自動切斷脈波的輸出，停止馬達的運轉。它們的工作電壓為 24 伏特，必須經過電壓準位轉換器變成 5 伏特才能被嵌入式系統所接受。

3. 步進馬達驅動

如圖五所示，嵌入式系統只要送給步進馬達驅動系統兩種訊號：脈波與方向，就可以控制步進馬達的運轉。脈波是由『可程式化脈波產生器』來產生，其範圍為 100~5000Hz，用來控制步進馬達的轉速，脈波控制訊號可以抑制『可程式化脈波產生器』送出脈波。而方向訊號是用來控制步進馬達

的順時鐘或逆時鐘運轉。

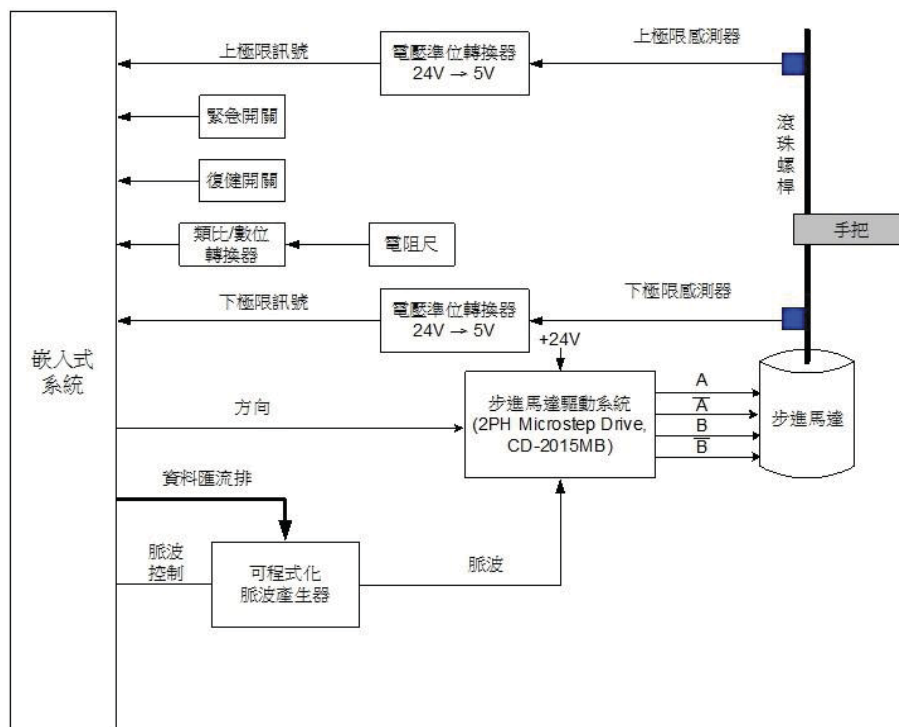
4. 復健開關

系統中配置有按鈕式開關與腳踏式開關，後者是給左右手臂都受傷者使用。復健者按住復健開關時馬達就會運轉，放掉復健開關時馬達停止運轉，如此可帶動復健的進行。

5. 緊急安全系統

緊急安全系統在被動式復健系統中佔有很重要的單元，以避免復健者遭受意外傷害：

- (1) 手把移動範圍：如圖五中之上極限感測器與下極限感測器，界定手把可移動的範圍。
- (2) 系統測試：檢測機構是否能正常運作，手把會先回到上極限感測器位置，再運轉至下極限感測器位置，並停駐於該處，完成系統機構的測試。
- (3) 復健進行中的安全措施：在被動式復健中，復健者依據自己忍受疼痛的程度來操控復健按鈕，繼續做上舉的復健活動，只要放掉復健按鈕馬達即會停止。地面上置有腳踏式緊急開關，復健者在復健中發生異常狀況時（如馬達產生誤動作等），此時可以利用該裝置迅速切斷馬達電源，可以保護復健者安全。



圖五 上肢復健平台機電機構系統

參、結果

本系統依被動式運動復健需求設計，利用步進馬達旋轉帶動復健把手升降，藉由外在力量來把患者沾黏住的關節拉鬆以增加關節的活動程度，系統運作如圖六所示。進行復健

時復健者立於復健平台前，當患者患側手握復健平台上的手把時，健側手或腳操作相關按鈕，讓患側手緩緩向上爬升到設定最高位置時系統會停留一段時間，再緩緩向下降到最低位置，隨著手把緩緩做往復式向上爬升與下降動作，促使

患側手作垂直的上下運動，以逐漸拉鬆肩關節，並增加肩關節的活動程度，達到上肢上抬之復健目的。

本系統在使用時可針對不同沾黏程度的患者設定不同的復健升降高度，以符合不同疼痛程度或不同伸展高度受限患者復建的需求。



圖六 被動式上肢復健系統運作情形

肆、結論

本研究建構一套以單晶片微控制核心的被動式上肢復健系統，以大幅降低系統複雜度與成本，透過簡單的設定即可由系統來帶動患者進行上肢被動式復健，適用於醫療復健機構或患者家中。目前尚未將本研究成果實際應用於臨床使用上，未來將與中山醫學大學職能治療系合作申請人體試驗，進行本系統實際使用評估與改善，以使本系統更符合臨床使用需求。

參考文獻

田力維（1999）。冷凍肩患者生活形態與復健動作關係之研究。未出版之碩士論文，臺南市，國立成功大學工業設計研究所。

吳信義、吳秉衡、劉冠佑、吳錫修（2008）。上肢復健系統（一）。中華民國發明專利 I294776號。

黃珮珊（2004）。連續被動式運動手部與手腕復健機研發。未出版之碩士論文，臺北市，國立陽明大學復健科技輔具研究所。

董憲奇（2002）。肘關節神經復健用機器人之改進與臨床研究。未出版之碩士論文，臺南市，國立成功大學機械工程研究所。

劉冠佑、吳錫修、陳培文、吳信義（2010）。新型肩關節復健系統之研製。2010國際福祉科技服務管理研討會，529-535頁，南投縣，南開科技大學。

Braddom, R. L. (2010). *Physical Medicine and Rehabilitation E-Book*. Elsevier Health Sciences.

DeLisa, J. A., Gans, B. M., & Walsh, N. E. (Eds.). (2005). *Physical medicine and rehabilitation: principles and practice (Vol. 1)*. Lippincott Williams & Wilkins.

Furusho, J. (2003). Development of rehabilitation robot system with functional fluid devices for upper limbs. *International Journal of Human-friendly Welfare Robotic Systems*, 4(2), 23-27.

Kiguchi, K., & Kundu, S. K. (2006). *Development of a 2DOF Inner Skeleton Robot for Forearm Motion Assist*. International Joint Conference, 1260-1265.

Li, Q., Wang, D., Du, Z., & Sun, L. (2006). *A novel rehabilitation system for upper limbs*. In *Engineering in Medicine and Biology Society. 27th Annual International Conference*, 6840-6843.

Mckinley M., & O'Loughlin V. (2013). 人體解剖學（周光儀、胡明一、張格東、李靜恬、陳淑瑩、王順德等）。新北市：藝軒。（原著於2012年出版）。

Rasyid, H. N., Mengko, T. R., Soegijoko, S., & Pramudito, J. T. (2004). *Design and realization of personal computer-based continuous passive motion device to prevent shoulder joint stiffness*. 2004 IEEE Asia-Pacific Conference on Circuits and Systems, 1, 573-576.

Development of an Upper Limb Rehabilitation System Based on Embedded System

Guan-Yu Liu , Shyi-Shiou Wu

Department of Electronic Engineering, Nan Kai University of Technology

Abstract

The shoulder joint is the most complex joint of the human body. Because the shoulder joint is surrounded by the joint capsule and the joint ligament, this soft tissue is the main limitation of the shoulder joint movement and provides the stability of the shoulder joint. The disability of the shoulder joints is also limited by many daily functions, resulting in a decline in quality of life. In the clinical middle-aged and elderly patients with shoulder joint disease, the frozen shoulder (fifty shoulders) is the most common, because the joint capsules are sticky to each other, resulting in insufficient shoulder mobility. Serious people may have soreness and even pain at night. The treatment of shoulder joint disease is mainly focused on the reconstruction of pain and shoulder function to restore its joint mobility. In addition to medical treatment, if the rehabilitation can be carried out, the effect will be more significant, so good rehabilitation equipment, with good rehabilitation behavior will reduce the problem. The main purpose of this thesis was to construct a passive upper limb rehabilitation system suitable for medical rehabilitation institutions or patients' homes. The system can drive patients to passive rehabilitation of upper limbs. The system used single-chip micro-control core to reduce system complexity and cost. . The automatic stroke design allowed the patient to rehabilitate the upper limbs and solved the problem of limited shoulder movement.

Keywords: frozen shoulder, shoulder joint, passive rehabilitation