

運用磁阻感應元件於復健運動之關節角度測量—以肘關節為例

高秀玲^{a*}、黃衍文^a、丁浩桓^a、陳琮琪^b、邱淑芬^b、林惠如^b

^a 國立台北護理學院資訊管理系暨研究所

^b 國立台北護理學院護理系暨研究所

*通訊作者：高秀玲，f40960062@ntcn.edu.tw

摘要

當病人身體的關節活動有障礙時，必需藉由復健運動使身體的機能發揮到最佳的狀態，在評估復健運動的效能上，透過測量關節角度的變化，能了解肢體受損情形與預後，因此關節活動度是一項重要的量化的指標，以做為調整復健計畫方向。目前評估關節活動度需由復健師手持特定度量工具為患者反覆評估，不但費時且所量測出的數值會依復健師的經驗不同而有所誤差。本研究應用可量測出三軸角度變化的磁阻感應元件於肘關節復健運動的評估，利用磁阻感應元件以無線傳輸的方式將肘關節屈曲伸展與內旋外旋之角度值傳輸至個人電腦，並利用 VB.NET 運算所獲得之角度值，可協助復健師量測病患肘關節活動度與活動率，並準備搭配虛擬實境軟體，讓病患透過觀看電腦螢幕，了解自己復健情形，以達到復健目的，並增強病患執行復健運動的意願。

關鍵字：磁阻感應元件、復健運動、關節活動度、虛擬實境

Abstract

When patients have difficulties in using their joints, they need rehabilitation to help them return to the best condition. By measuring the changes of joint angles, we can realize the impairing circumstances and prognosis when assessing the effectiveness of rehabilitation. Thus, the motion of range is an important quantitative indicator to adjust the rehabilitation schedule. Currently, to evaluate the ranges of motion, physiatrists have to take a specific measurement tools to repeatedly assess for the patients. In this way, it is not only time-consuming and the amount accuracy will vary from the experiences of physiatrists. This study applied three-axis magneto-Impedance sensor in measuring elbow joint motion. We use the magneto-Impedance sensor to measure the flexion, extension, pronation, and supination of elbow joint, and the sensor can transmit the angle value to personal computer through wireless communications. The received value after operating can assist the physiatrist to measure the activities of elbow, hope to combine the received value with virtual reality and let patients complete the action on the computer screen to achieve the purpose of rehabilitation. Reduce the dull feeling because of the repetitive movements.

Keyword: Magneto-Impedance Sensor, rehabilitation exercise, range of motion, virtual reality

1、研究動機與目的

隨著國人生活型態改變與社會人口趨向老化，人們的健康問題漸漸由急性傳染病轉為以慢性病為

主。許多慢性如中風、關節置換的病患會有身體活動功能障礙，都有可能影響日常活動。對於身體活動功能障礙可藉由復健運動來達到矯正或治療的目的[1]。臨床上藉由量測關節活動度為判定復健計畫成效之評估指標[2]，目前關節活動度的量測大多由復健師手持度量器為病患反覆進行測量，需耗費許多時間與人力，且評估檢查與角度測量容易因復健師經驗的不同而有所誤差[16]。常見的肘關節復健為屈曲、伸展與內旋、外旋，本研究藉由具有感測直線與旋轉運動的磁阻感應元件 (Magneto-Impedance Sensor; MI Sensor)，即時偵測病患肘關節活動度與運動次數，以無線方式傳輸至個人電腦，並透過 VB.net 程式之運算，呈現病人復健運動的成效，可促進病人對復健運動進展的了解，同時也減少復健師量測關節活動度之時間，以提升復健治療的品質。將來準備結合 3Ds Max 所塑造之模型與 Virtools 軟體，以虛擬實境效果於螢幕呈現病患即時之動作，藉此促進病患復健之意願。

2、文獻探討

2.1、關節活動度(Range of Motion; ROM)

依據廣義的復健是指，對於患者給予妥善治療與適當訓練、及教育，教導其運用殘存的身體機能，使其在身、心、靈、社會各方面發揮潛能至極致，以達可能的最佳狀態，在壽命延長的同時，進而提升整體生活品質[1][3]。在臨床中，測量關節活動度是方便且客觀的評估復健成效的重要方法[17]，能客觀的評估肢體受損情形與預後[18]。人體的關節可分為不動、微動和可動三種，而可動關節功能範圍因受到結構上的限制，各有其一定的平均正常值為該關節活動度 (Range of Motion; ROM)，目前多採用萬用量角器手持量測工具，由復健師手持量測工具為病患反覆進行測量，量測所得的角度有助於照護人員判斷病患之復原情形，但多數文獻表示此數值可能因復健師的經驗不同而有所誤差[16]。

2.2、關節活動度的測量與數值標準

中和零位法為 1936 年首創的方法，指所有關節的運動範圍量度須從零度起始位置量起，順著關節方向，範圍增加所得角度即是此關節的活動度 (Range of motion, ROM)[1][16]。ROM 的量測通常是為病患標準擺位後，進行單一關節重複量測並紀錄，其過程耗費時間與人力成本，若採用電子量角器雖可省卻近一半的時間[1]，但仍須由專業人員手持量測，並未能節省在人力成本上的耗損。

影響測量關節 ROM 的因素很多，常見的如年齡與性別或主動被動運動，再者受測者本身的特性如身

體質量指數、職業、運動休閒、或施測者本身經驗、使用量測的儀器、擺位的姿勢，皆確定會影響 ROM 的數據[16]，因此在數據上必須有採用的原則。依據研究指出肢體的左右兩邊 ROM 無明顯的差異，且無統計上的意義[4][5][16]。但若受測者存有患肢，在測量過程中應採用受測者健肢側之關節 ROM 數值為正常標準值，比對患側的活動恢復程度，唯有兩側受傷或對側肢體不存在的情況，才以平均正常值為參照標準[1][16]，常採用的參照標準為美國骨科醫師學會、美國醫師學會的正常關節 ROM 平均值。

2.3、磁阻感應元件(Magneto-Impedance Sensor; MI Sensor)

磁阻感應元件是日本某鋼鐵業者所研發的磁性感應裝置，具有體積小、敏銳、快速回應與低耗電量的特性[19][20]，可由 3 軸加速度與 3 軸磁感應來量測直線與旋轉運動，可利用藍芽等無線方式將資料傳輸至個人電腦上。目前日本已嘗試將 MI Sensor 應用於汽車的導航上[21]，而日本手機業者也利用 MI Sensor 的定位功能發展電子地圖[6]，南韓與日本的手機業者也應用其動作感測功能製作手機遊戲[7]。在醫療領域上，日本學者也應用 MI Sensor 於血管的定位上，以 MI Sensor 的三維定位功能取代傳統的 x 光的二維顯影技術，更利於醫生判斷導管在病患血管中的位置[20]。

2.4、MI Sensor 於生理訊號之擷取

生理訊號是藉由感應裝置從病患身上取得如電位差、溫度或是壓力等各種不同的訊號，經過變換或縮減以利於分析，並將處理過的訊號傳送至顯示裝置或加以儲存。生理訊號由類比訊號轉為數位訊號時，其取樣頻率是影響精準度的關鍵，取樣頻率過低，可能造成某些訊號流失，導致無法取得訊號特徵值，而取樣頻率過高，則可能存取過多不必要的值，增加電腦運算及存取的負荷。為了精確的取得訊號，依取樣原理可知，取樣頻率必須大於訊號內最高頻率的兩倍[8][22]，才足以正確地取得生理訊號。

2.5、虛擬實境(Virtual Reality)於臨床上的應用現況

虛擬實境是利用電腦即時產生的三維環境、特別的顯示科技(如：頭盔顯示器、立體眼鏡)、與特定的輸入裝置(如：感應手套、3D 滑鼠)三者[23]，藉由輸入裝置獲得使用者動作角度的改變，並允許使用者與其互動。新加坡學者將虛擬實境應用於居家照護上，利用虛擬實境系統協助腦損傷、中風與帕金森氏症患者於運動與認知上的復健，並使用虛擬廚房訓練病患的日常生活技能[24]。而瑞典學者將虛擬實境應用於中風病患的復健上，利用觸控儀器對於半身癱瘓的中風病患進行復健，以促進病患肢體動作的恢復[25]。國內也有不少學者及碩士論文將虛擬實境應用在中風患者的復健上，並比較虛擬實境與傳統方式的效果。黃偉順將虛擬實境應用於中風患者肢體與平衡復健上[9]，辛柏陞與於俊宏也將虛擬實境應用於手部復健上[10][11]，而於俊宏也表示虛擬實境其擬真性由數據顯示已近似於真實情境，因此採用虛擬實境技術在復健

上具有效果。陳彥達與陳春成也分別將虛擬實境應用於中風患者的坐姿平衡訓練與復健運動上[12][13]。朱育秀針對虛擬實境復健是否有療效做進一步探討，結果顯示虛擬實境訓練有助於增加中風病患在行走時，健側腳跨步長度及跨越障礙物的高度[14]。吳英的研究更指出虛擬實境對於慢性中風患者姿勢控制方面可以增進視覺平衡能力、平台前傾測試表現[15]。

3、研究方法

本研究是利用磁阻感應元件所製成的生理訊號擷取器，應用於肘關節屈曲、伸展與內旋、外旋兩個常做的復健運動上，讓病患將此擷取器配戴於手肘上，擷取其動作之角度。屈曲與伸展的測量是在病患肘關節解剖位置先訂定生理訊號擷取器的初始角度，當病患手肘彎曲時，再利用擷取器 x 軸與水平面的夾角變化來量測病患肘關節屈曲伸展之活動度，而肘關節內旋與外旋則是利用 y 軸與水平面的夾角變化來測定。病患在進行復健運動時，亦可利用水平面與擷取器 x 軸與 z 軸的角度變化來判斷其手肘是否有偏移的情形。

3.1、磁阻感應元件旋轉方式

磁阻感應元件的可移動軸有三個，分別可繞著其 x 軸、y 軸與 z 軸旋轉。感應元件於水平時，其 x 軸、y 軸與水平面的夾角應為零，當感應元件繞著 x 軸旋轉時，依飛行運動原理來看此動作為 Pitch，感應元件繞著 y 軸與 z 軸旋轉時，則分別為 Roll 與 Yaw。Figure 1 為磁阻感應元件本身之座標軸，利用此感應元件所改變的角度可得知病患手肘關節活動度。

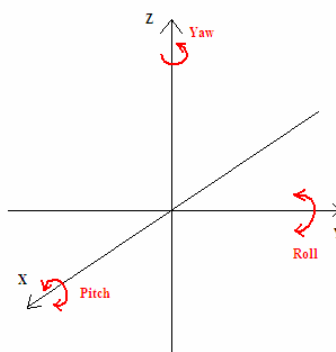


Figure 1 磁阻感應元件之座標軸，依飛行運動原理可知上述三動作為 Pitch、Roll 與 Yaw

3.2、磁阻感應元件之訊號擷取

本研究所使用之感應元件可即時地偵測感應元件 x 軸和 y 軸與水平面之間的夾角，藉由 VB.NET 呼叫感應元件之 DLL 檔可擷取感應元件所偵測到的值，並以 2.4GHz 無線方式傳送至個人電腦。肘關節活動度的測量方式是在手肘所配戴之磁阻感應元件擷取其與水平面所夾之角度，以獲得初始位置，在復健過程中利用 VB.NET 所擷取到的數值與初始值相減以得到目前病患肘關節的角度，如 Figure 2、Figure 3 與 Figure 4。



Figure 2 肘關節屈曲與伸展活動度，由病患手腕上的感應元件所獲之值來運算其肘關節活動度。左圖為復健動作之伸展，右圖則為復健動作屈曲。



Figure 3 以磁阻感應元件量測肘關節內旋之活動度。左圖為復健初始動作，右圖為內旋之動作。



Figure 4 以磁阻感應元件量測肘關節外旋之活動度。左圖為復健初始動作，右圖為外旋之動作。

一般正常人手肘關節的活動次數至多為一秒鐘兩下，為了讓取樣值繪出的圖更為精確，考慮到生理訊號之取樣原理—取樣頻率必須大於最高頻率的兩倍，因此本研究分別對於一秒鐘取樣四次、十次與二十次做測試，以了解何者為最合適之取樣頻率。經測試後發現，這三種取樣頻率皆可正確地計算出病患之肘關節運動次數。一秒鐘取樣四次的取樣頻率對於病患之運動次數雖可正確計算，但考慮到採取復健的病患多半為肌力較不足的患者。為準確量測病患於復健中的每個動作的肘關節角度，因此本研究採用一秒鐘取樣十次的取樣頻率，以期更有效地量測病患之關節活動度。

3.3、關節活動度曲線繪製

利用程式中設置的角度1、角度2、角度3三個變數，將每次擷取到的角度值依序填入，若角度2同時大於或同時小於角度1與角度3，則此時角度2為相對極小值或相對極大值，Figure 5 是利用各時間點病患之肘節活動角度所繪製而成的曲線圖。當角度2為相對極小值時該點為 ROM 起點，若為相對極大值，則該點為 ROM 終點，由 ROM 起點與終點的差值可判斷是否符合完成一次手肘屈曲復健運動。

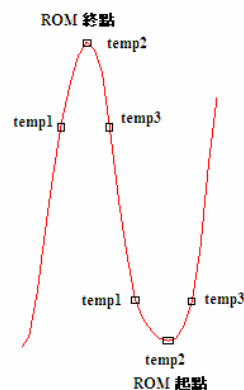


Figure 5 ROM 起點與終點判斷方式，橫軸為時間，縱軸為肘關節活動度

4、結果與討論

本研究利用 VB.NET 呼叫磁阻感應元件之 DLL 檔，透過 2.4GHz 無線傳輸方式將數值傳至個人電腦，並根據訊號取樣原理測試出較合適之取樣頻率，以一秒鐘十次的取樣頻率擷取感應元件 y 軸轉動角度，利用各時間點所得到的角度值與肘關節初始位置所得到的值兩者運算後，以獲得病患肘關節之活動角度，並以 VB.NET 設置的三個變數依序存取磁阻感應元件所擷取到的值，若出現相對極小值，則該點為 ROM 起點，反之若出現相對極大值，則該點為 ROM 終點。復健運動次數是藉由 ROM 起點與 ROM 終點的差來判斷病患是否執行一次屈曲復健運動的標準，並於螢幕即時呈現病患當下之動作角度與復健次數。

本研究對於肘關節活動度的測量分為屈曲、伸展與內旋、外旋兩種，Figure 6 與 Figure 7 分別為測量肘關節屈曲與伸展及內旋與外旋活動度的視窗，視窗最上方為病患在復健運動中，儀器所偵測到的角度曲線圖，橫軸單位為秒，縱軸單位為角度。視窗左下角“目前位置”是於測量 ROM 初始位置時先擷取的角度，以做為後續計算關節活度角度之用。“本次活動度需大於幾度”是提供復健師依據病人情況設定需達到多少的活動度，提供系統做為判斷該次復健運動是否達到一下的值。視窗右下方“目前角度”是呈現病患目前關節活動度，而“復健次數”則為病患關節活動達到復健師所設定的值之次數。

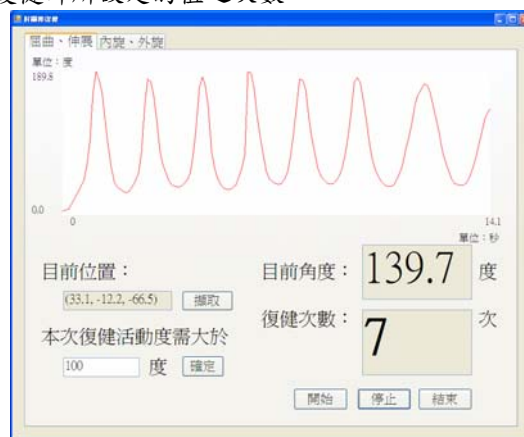


Figure 6 系統畫面-屈曲伸展，曲線圖橫軸為時間，縱軸為關節活動度

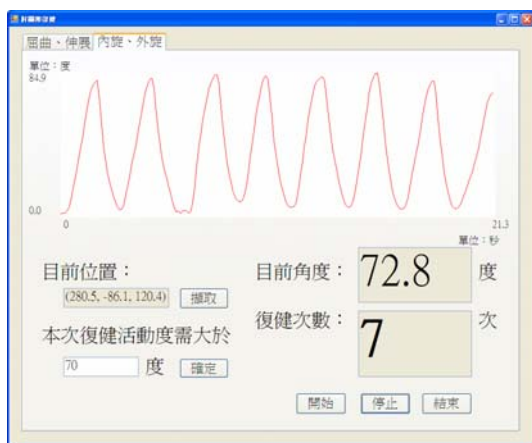


Figure 7 系統畫面-內旋外旋，曲線圖橫軸為時間，縱軸為關節活動度

磁阻感應元件可即時偵測病患復健之動作變化，相較於早期傳統如心電圖等生理訊號儀器，磁阻感應元件是以無線方式傳輸，可使病患免於有線儀器的牽絆，而其偵測頻率為 25 毫秒一次，可即時並準確地呈現角度的改變。除了應用於復健外，已有業者將磁阻感應元件應用於手機電子地圖、互動式遊戲，與汽車導航上，亦有學者將此磁阻感應元件取代傳統 X 光顯影技術，將感應元件應用在血管定位上。目前本研究僅應用此磁阻感應元件所提供的角度變化於復健運動上，尚未利用感應元件能夠偵測速度與加速度的功能，未來可於速度與加速度兩者做進一步之應用。

本研究目前僅針對屈曲、伸展與內旋、外旋等肘關節常用的復健動作做測試，對於像中風這類肌力較差的患者，在復健時可能會出現手肘偏移而導致誤差的情形，未來將配合 virttools 軟體，以 3D 物件即時呈現患者當下的動作，如 Figure 8，未來將把監測病患復健動作是否正確納入研究中，並將系統擴大應用至肩關節與膝關節上，以期更貼近復健師工作之需求。

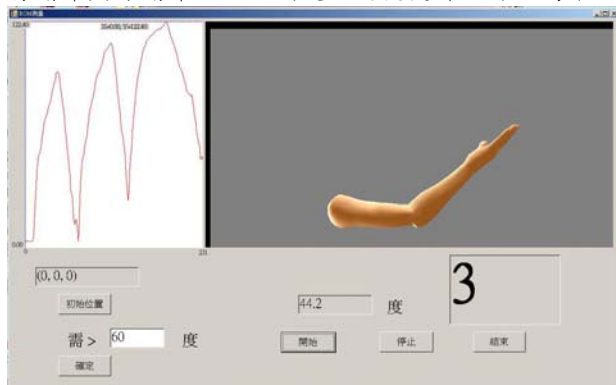


Figure 8 搭配 3D 物件以即時呈現患者當下復健動作

而有專家提出本研究之磁阻感應元件體積過大，在量測上易有誤差產生，實際測試結果確實會有此問題，以內外旋之誤差較為明顯。由於本研究為初期階段，是使用廠商提供的現成元件，因此其體積較大，但內部實際之 IC 體積僅 5.2x6.0x1.5mm，未來將為復健病患另外設計，將 IC 結合護腕手套專供病患配戴，即可解決感應元件體積過大之問題。

5、結論與建議

復健醫療除了仰賴復健醫療人員外，設備器材的配合運用也是提高醫療品質的重要關鍵。本研究希望能藉助磁阻感應器即時量測病患手肘彎曲的關節活動度，輔助復健師量測病患之關節活動度，以降低復健師的工作量，進而提升醫療品質。

目前系統尚為雛型階段，所使用之感應元件並不是針對復健需求設計，因此在復健內旋與外旋時容易因感應元件未能貼緊手腕而產生誤差，為降低此誤差，未來將改善感應元件的配戴方式，以類似腕帶並縮小感應元件的方式取代目前配戴方式，如此將可降低因感應元件未貼緊手腕而產生的角度改變。又配合系統的需求，未來也將搭配塑模軟體 3Ds Max 所塑造之模型與開發虛擬實境的 virttools 軟體，結合磁阻感應元件以求真正達到虛擬實境的效果。

6、誌謝

感謝國科會計畫 NSC 97-2221-E-227-001-MY3 提供部分研究經費補助。

參考文獻

- [1] 胡順江, 復健醫學與護理. 台北: 匯華, 2001.
- [2] 楊榮森, 復健醫學, 3 ed. 台北: 合記, 1991.
- [3] 黃美涓, "老人之復健原則," 當代醫學, vol. 33, pp. 49-54, 2004.
- [4] 李曉惠, 林光華, 和 胡名霞, "護理之家院民下之被動關節活動度測量與姿勢評估量表之信度研究," 物理治療, vol. 28, pp. 71-77, 2003.
- [5] 徐秀雲, 邱浩遠, 和 林聖哲, "手指各關節的主動活動度之正常值," 中華重建整形外科醫誌, vol. 7, pp. 38-44, 1998.
- [6] 三宅常之, "手機配上感測器會怎樣? 愛知製鋼展望未來," 2005.
- [7] 金子寬人, "'用手勢操作' 的手機 夏普搶先三星投產," 2005.
- [8] 張慧朗 和 邱文達, 醫學資訊管理學. 台北: 偉華, 2006.
- [9] 黃偉順, "虛擬實境科技在中風患者肢體及平衡復健上的應用," in 醫學工程研究所: 國立陽明大學, 2001, p. 53.
- [10] 於俊宏, "虛擬實境應用於手部復健與電動輪椅模擬系統之研發," in 機械工程研究所. vol. 碩士: 國立中央大學, 2005, p. 73.
- [11] 辛柏陞, "虛擬實境手部功能訓練系統 之設計開發與成效探討之研究," in 機械工程研究所: 國立中央大學, 2004, p. 119.
- [12] 陳春成, "網路 3d/Vr 腦中風居家復健運動學習輔助系統之開發研究," in 運動科學研究所. vol. 碩士: 國立體育學院, 2005, p. 101.
- [13] 陳彥達, "虛擬實境應用於坐姿平衡訓練系統之研究," in 機械工程研究所. vol. 碩士: 國立中央大學, 2005, p. 79.
- [14] 朱育秀, 湯佩芳, 和 胡名霞, "虛擬實境於中風病患步行與平衡能力訓練之應用," 物理治療, vol. 33, pp. 121-128, 2008.

- [15] 吳英, "虛擬實境姿勢控制訓練對中風患者平衡及行走功能之療效," in 物理治療學系暨研究所. vol. 碩士: 國立陽明大學, 2006, p. 90.
- [16] C. C. Norkin and D. J. White, *Measurement of joint motion: a guide to goniometry*. Philadelphia: F.A. Davis, 2003.
- [17] B. Swanson, C. Goran-Hagert, and G. d. G. Swanson, "Evaluation of impairment in the upper extremity," *J Hand Surg*, vol. 5, pp. 896-926, 1987.
- [18] J. Owen, D. Stephens, and J. G. Wright, "Reliability of hip range of motion using goniometry in pediatric femur shaft fractures," *Canadian Journal of surgery*, vol. 50, pp. 251-255, 2007.
- [19] K. Mohria, T. Uchiyamaa, L. P. Shena, C. M. Caia, and L. V. Paninab, "Amorphous wire and CMOS IC-based sensitive micro-magnetic sensors (MI sensor and SI sensor) for intelligent measurements and controls," *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* 249, vol. 249, pp. 351-356, 2002.
- [20] K. Totsu, Y. Haga, and M. Esashi, "Three-axis magneto-impedance effect sensor system for detecting position and orientation of catheter tip," *Sensors and Actuators A: Physical*, vol. 111, pp. 304-309, 2004.
- [21] Y. Honkura, "Development of amorphous wire type MI sensors for automobile use," *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, vol. 249, pp. 375-381, 2002.
- [22] E. H. Shortliffe and J. J. Cimino, *Biomedical informatics: computer applications in health care and biomedicine*, 3 ed. New York: Springer, 2006.
- [23] T. Kuhlen and C. Dohle, "Virtual Reality for Physically Disabled People," *Computers in Biology and Medicine*, vol. 25, pp. 205-211, 1995.
- [24] D. Gourlay, K. C. Lun, and G. Liya, "Virtual reality and telemedicine for home health care," *Computers & Graphics*, vol. 24, pp. 695-699, 2000.
- [25] J. Broeren, M. Rydmark, and K. S. Sunnerhagen, "Virtual Reality and Haptics as a Training Device for Movement Rehabilitation After Stroke: A Single-Case Study," *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, vol. 85, pp. 1247-1250, 2004.