

國立臺灣體育運動大學
National Taiwan University of Physical Education and Sport
體育研究所碩士學位論文

扯鈴基本動作學習的雙手協調

The Bimanual Coordination of Basic Diabolo Movement



研究生： 冉茂萍 撰
指導教授： 陳重佑 博士

中華民國 101 年 9 月

論文名稱：扯鈴基本動作學習的雙手協調

總頁數：49 頁

院校所組別：國立臺灣體育學院體育研究所

畢業及提要別：100 學年度第 2 學期碩士學位論文題要

研究生：冉茂萍

指導教授：陳重佑博士

中文摘要

本研究主要目的在探討藉由扯鈴運鈴動作學習歷程，雙手動作的協調性、穩定性與動作型態的練習效應。實驗以 7 名未曾有扯鈴運動經驗的大專院校之體育運動員為實驗參加者，進行連續一週的扯鈴運鈴動作學習，並以 VICON 三度空間影像分析系統（攝影機：MX-F40）進行動作過程的資料收集，並以 Nexus 1.6.1 版軟體分析跳躍過程下肢各關節位移、速度、力量、力矩等運動學參數，研究的統計方法為重複量數單因子變異數分析與 HSD 法事後比較，顯著水準設定為 .05，比較扯鈴運鈴上肢動作行為的差異。分析結果顯示，學習初期與學習後期雙手的協調性隨著練習而逐漸提升，其上肢動作的穩定性也隨著練習而提升。動作型態方面的改變，學習初期與學習後期的動作表現顯示腕關節動作角速度時間峰值差約為 50ms，肘關節角速度則並無明顯差異，代表兩關節間的動作較為獨立，呈現出整個學習階段肢段動作從凍結自由度轉變為釋放自由度的特徵。本研究的結果說明，扯鈴運鈴動作練習過程中，雙手動作的協調性、穩定性與動作型態會隨著不同的學習階段產生轉變。

關鍵詞：動作學習、協調、動態系統

The Bimanual Coordination of Basic Diabolo Movement

Jan, Mao-Ping

ABSTRACT

The purpose of this study was to investigate the practice effects of coordination, stability, and movement pattern in diabolo of basic movement during the learning process. Seven participants never have diabolo movement experience physical education students. To learning diabolo of basic movement for a week. The Vicon 3-D motion analysis system with 8 cameras (MX-F40, 200 Hz) were synchronized to acquire the kinematical data respectively. The Vicon Nexus 1.6.1 was used to calculate the kinematics parameters of high extremity that included displacement, velocity, moment, etc. Repeated measure one-way ANOVA and HSD post-hoc were adopted to analyze the statistical difference with an alpha level of .05. The movement pattern showed the timing difference was around 50ms between peak velocity of wrist. It appeared that two joints reached high speed in sequence and intersegment acted independent to release degree of freedom (DOF) . It indicated that the Bimanual Coordination, stability, and movement pattern during the diabolo of basic movement learning.

Keywords: motor learning, Coordination, dynamical systems

謝誌

在臺體經歷了四個寒暑，終於在這個時候要告別了，研究所四年的歷練，讓我在為學做人的這些日子裡經歷了許多酸甜苦辣的回憶，今天不才的我，如果真的擁有些微的成就，完全是因為太多的老師、隊友與同學們的支持與鼓勵。

本論文的順利完成，首先要感謝學生的指導教授----陳重佑博士在體院四年的武術龍獅練習與學術研究歷程中，付出無比的耐心與愛心，悉心的指導。以及口試委員陳帝佑博士與林靜兒博士對於本論文的指導與寶貴意見，因為有如此的深入的見解與細微的提醒，才能讓學生的論文臻至充實完善。我也要感謝唐人屏老師與蔡明雄老師在習武的過程不僅是啓蒙者，也是引道者；以及一同研究並且也是優秀隊友的同伴們，犧牲時間協助實驗與資料整理的俊憲、子豪、建志、孟光、易聖與依蓁以及威勁力學團隊的夥伴們，文進學長、綺珊、晴惠、麗子、兆渝與雁文以及系辦的柏惠助教與各工讀生學弟妹等等，要感謝的人實在太多，我抱著謙遜的心情在此一併感謝。

最後，要感謝將我辛苦拉拔長大的我的親人----再起中先生、冉秀英女士以及冉啓華女士，希望將本論文與二十六年來茂萍學習成長的成果，與其求學生涯所獲得的榮耀，獻給無怨無悔付出的你們，以感謝他們為孩子的成材用盡半生辛勞。

冉茂萍 謹誌

中華民國 100 年 8 月

目 錄

摘要	I
謝誌	III
目錄	V
表目錄	VI
圖目錄	VII
第一章、緒論	1
第一節、問題背景	1
第二節、研究目的與假設	3
第三節、研究範圍與限制	3
第四節、名詞解釋與操作性定義	4
第五節、研究的重要性	5
第二章、文獻探討	7
第一節、理論基礎-自由度	7
第二節、雙手協調工作	10
第三節、學習過程的行為改變	13
第四節、結語	16
第三章、研究方法與步驟	17
第一節、實驗參與者	17
第二節、實驗儀器與器材	17
第三節、實驗步驟	20
第四節、資料處理與分析	21

第四章、結果與討論	22
第一節、上肢動作的行為特徵 -----	22
第二節、鈴的運動學參數變化 -----	30
第三節、綜合討論 -----	34
第五章、結論與建議	35
第一節、結論 -----	35
第二節、建議 -----	36
引用文獻 -----	37
一、中文部分 -----	37
二、英文部分 -----	38
附錄 -----	
附錄一、實驗參與者同意書 -----	42

表目錄

表 1：Pluggingait Fullbody Model (SACR) 反光球放置表	14
--	----

圖目錄

圖 1：VICON Plugingait Model 反光球黏貼位置參照圖 ----	14
圖 2：紅外線高速攝影機-----	15
圖 3：圖 3：安全扯鈴一組 -----	15
圖 4：第一天右手腕關節 X 軸動作型態 -----	24
圖 5：第七天右手腕關節 X 軸動作型態 -----	24
圖 6：第一天右手腕關節 Y 軸動作型態 -----	25
圖 7：第七天右手腕關節 Y 軸動作型態 -----	25
圖 8：第一天右手腕關節 Z 軸動作型態 -----	26
圖 9：第七天右手腕關節 Z 軸動作型態 -----	26
圖 10：第一天左手腕關節 X 軸動作型態 -----	27
圖 11：第七天左手腕關節 X 軸動作型態 -----	28
圖 12：第一天左手腕關節 Y 軸動作型態 -----	28
圖 13：第七天左手腕關節 Y 軸動作型態 -----	29
圖 14：第一天左手腕關節 Z 軸動作型態 -----	29
圖 15：第七天左手腕關節 Z 軸動作型態 -----	30

第一章 緒論

第一節 問題背景

無論從簡單的粗略動作或是複雜的精細動作，人體必須學習適當的控制並運用身體中各肢段、關節做出因應環境所需或是特殊情境需求的動作形式。當個體在學習一項新的動作技能時，必須透過練習或經驗來幫助逐漸改善動作行為的能力，也認為人類動作必須經由練習而使得個體行為或技能達到精熟且產生相對持久性改變的一個過程（張春興，1989；Schmidt, 1991；Schmidt & Lee, 1999）。隨著近年來動作行為學（motor behavior）的發展，許多相關的研究課題也紛紛提出，在動作行為學領域中又可區分為動作控制（motor control）、動作學習（motor learning）與動作發展（motor development）三個分科，其中動作學習主要在探討影響個體動作技能學習的學習變項與表現變項（Schmidt & Lee, 1999）因此，在學習任何動作技能的過程，身體與肢體如何經由學習的過程而達到精熟的表現，以及肢體間動作如何相互控制產生協調便是學習過程非常重要的關鍵。

Magill（2003）提出了動作的產生來自於身體組織間相互影響所產生的結果，而這些組織包含了感覺、知覺、認知與動作等成分。然而，人體動作是由肌肉、關節和大大小小的肢段結合而成的組合體，不論是從簡單的少數關節參與動作，如單一的按按鍵動作亦或是特殊性複雜動作技能，如籃球的跨下運球及排球的扣球等，都屬於肢體協調表現的一種

動作模式。雖然劉盈君與楊梓楣（2009）認為動作協調的過程當中，還有許多因素皆足以影響動作控制協調，像遺傳或是環境等因素，且當個體在執行不同的運動如網球、排球等活動時，動作會隨著該運動的型態產生特殊的協調性。然而，就動態系統理論（*dynamical systems theory*）中所探討動作的協調來看，必須適當的控制身體自由度，再透過自我組織而形成。

協調（*coordination*）一詞定義，依據不同領域的學者，而提出了不同的看法與解釋。Turvey（1990）定義協調是將頭部、身體及軀幹動作對應於環境和物體、事件的動作表現型態。Bernstein（1967）則認為「動作協調應是動作執行自由度掌控的過程，也就是，將身體眾多的自由度轉變成一個可控制的系統」。由此得知，個體動作的協調不僅與環境事件呈一定的相關性，人體適當的肢段控制特徵也可以定義為「協調」（McGill, 2006）。為了深入探討單一動作技能學習過程中的量的改變，本研究從動作學習的觀點出發，以動作控制的概念延伸，最後再以力學的方法實證。而動作控制有許多不同觀點的理論，本文就動態系統理論的觀點為主進行探討，該理論為近年來較為熱門的行為學研究理論，常被用來解釋動作行為產生的過程（陳重佑、陳帝佑，2004），動態系統理論主張行為的改變會受到環境（*environment*）、工作（*task*）、個體（*individual*）三種限制的影響（Newell, 1986），這樣的想法來自前蘇聯學者Bernstein（1967）所提出的「自由度（*degrees of freedom*）問題」延伸而來，認為個體必須學習如何掌控身體動作中許多的自由度，方能使肢體協調的執行動作，也就是形成動作協調的過程，必需經歷凍結自由

度(freezing the degrees of freedom)、解放自由度(freeing the degrees of freedom)以及利用反作用力(the exploitation of the reactive forces)三個階段方能達到動作協調的過程。因此，本研究通過力學的方法觀察學習者不同階段運鈴動作，進行參數分析以深入探討扯鈴運動中的基本功：運鈴動作技能的學習過程，藉由學習過程中各項參數的改變，印證Bernstein (1986)的自由度問題，以及扯鈴運鈴特有的協調工作特徵轉變是否表現在動作參數的變化上。

第二節 研究目的

本研究主要目的是以動態系統的觀點描述物體操作時上肢動作的行為表現型態，並透過在固定練習下的扯鈴運鈴動作技能獲得的情況是否伴隨著手部協調動作的產生，再以運動生物力學的3度空間影像分析方法，觀察個體在每個學習階段執行扯鈴運鈴技能動作的手部動作表現。

第三節 研究範圍與限制

本研究屬於動作行為學(motor behavior)領域，以運動生物力學方法，觀察動作技能練習過程中，手部肢段動作與鈴旋轉動作的運動學參數，進一步探討動作控制改變的機轉，以動態系統理論的觀點，解釋所獲得的變項，該理論強調動作係由工作、環境與個體本身的交互作用而產生，然而以本研究實驗來看，參與者均在實驗室情境進行一周的實驗

測試，並且進行相同的實驗工作，因此，對於環境限制無法有太多解釋，主要專注個體動作行為在學習過程中的改變，由於本研究以 3 度空間影像分析方法進行，僅以運動學參數來描述學習過程的動作控制差異。研究者也要求所有實驗參與者以最認真的態度進行運鈴動作的練習，並且遵守實驗的規定，避免造成非實驗期間練習的情況。

第四節 名詞解釋與操作性定義

一、扯鈴-運鈴

運鈴動作屬於扯鈴基本動作之一，然而運鈴動作就可分為交叉運鈴、開線運鈴及繞線運鈴三種方式。本研究僅採用開線運鈴的方式進行練習。

二、自由度 (degrees of freedom)

本研究以動態系統 (dynamic systems) 的概念為基礎，探討上肢關節的動作表現。經實驗所獲得的運動學參數資料，計算出關節的角速度、角加速度、角位移等以及鈴面的角速度、角位移、角加速度、切線速度及向心加速度等參數資料，再依這些參數資料描述、判斷關節動作間的互動關係，在進一步了解關節動作鏈結 (coupling) 的程度。研究再以動作學習與動作控制的觀點探討個體在整個扯鈴運鈴動作期間物體操作的手部動作表現變化情況，藉由所獲得的運動學參數資料，呈現出手部動作由凍結自由度轉為釋放自由度的特徵或是出現逆轉的情況。

三、雙手協調

雙手協調係指雙手同時執行相同或不相同的動作模式 (Magill, 2007)。而扯鈴運鈴動作必須透過雙手間的互動方能使鈴轉動，故本研究藉由學習扯鈴運動觀察學習者手部的動作型態，並根據各學習階段的參數資料，觀察手部動作的穩定協調時間。

四、動作學習

動作學習係指個體透過練習與經驗的累積使動作行為產生相對持久性的改變過程 (Schmidt & Lee, 2005)。在本研究之動作學習係指在學習初期的動作表現。

第五節 研究的重要性

學習一項新的技能或動作，是指導者與學習者共通的課題，如何有效率的學會，或是針對錯誤進行指正，都是體育教學中無法避免的情況，因此如何快速的掌握動作技術關鍵技巧，便是非常有意義的一件事。本研究通過扯鈴運鈴動作的學習，觀察學習動作過程中所產生的變化情況，並同時檢證 Bernstein(1967)所提出的自由度問題，探討學習過程中，動作是否呈現由凍結自由度轉變為釋放自由度的動作特徵。再以動態系統理論的觀點進一步了解執行動作過程身體動作的控制情形與學習過程動作或技能的獲得是否因練習所形成，並且通過這樣的觀念闡述動作控制的獲得，了解動作行為還會受到其他因素的影響，進而加以自我組織而產生改

變。通過本研究可以深入了解與掌握相關技術學習關鍵，對體育課程教學或運動訓練安排上，都是非常重要的任務，此外，這樣的想法與概念，更可以廣泛的發揮至相關的運動技術上，亦可以做為技能學習的動作控制及能力發展的參考指標。

第二章 文獻探討

本章將過去關於學習過程的行為表現與雙手協調和肢體動作控制相關文獻加以探討。共分四節，第一節、理論基礎-自由度；第二節、雙手協調工作；第三節、學習過程的行為改變；第四節、結語。

第一節 理論基礎-自由度

動作的發展從生物體出生開始，也是生活中必需具備的基本能力之一，因此在各階段的動作均有不同的發展與表現。生物體動作可從許多層面的角度作為探討與解釋，因此，過去對於個體動作在學習、控制與發展機制等領域研究中備受關注，而在各個不同的領域中卻也都各持不同的觀點來闡述動作的相關機制。直到後期動態系統(Dynamical Systems)的提出為傳統的動作行為理論提出了不同的觀點與解釋、說明並預測生物體的動作不僅只是由大腦控制身體肌肉或關節所產生，而是透過許多次系統的互動影響所產生的結果(胡明霞, 2009)。將動作控制與學習是以動態系統與自由度的觀點出發，解釋個體是否會隨著工作的特殊性而產生特有的協調動作特徵。

隨著動態系統的發展，有別於過去心理學領域學者，以訊息處理的觀點來解釋人體控制動作行為的機制，將人體動作的形成歸納於中樞神經系統控制的結果。而動態系統則認為動作是受到許多關鍵因素的控制所產生的，人體動作的發展也

呈現一種非線性 (nonlinear)、不連續性的 (discontinuous) 的發展方式，許多的動作來自於環境 (environment)、個體 (individual) 與工作 (task) 三個次系統的交互作用與限制因素影響，在經由個體加以自我組織 (self-organization) 所產生的結果 (Newell, 1986)。

根據動態系統的觀點認為人體動作蘊藏著許多複雜的控制機制，藉由各系統間互動、排列再加以組織進而產生動作。前蘇聯學者 Bernstein (1967) 將人體動作這樣複雜的控制機制視為自由度 (degrees of freedom) 的控制，說明人體有許多的動作並非只是單純的單關節活動，絕大部分的動作技能都是藉由多肢段、多關節與肌肉間的交互協調組織而來，並將協調的動作行為視為個體精熟的掌控身體眾多自由度的結果，進而提出自由度的問題 (Turvey, Fitch, & Tuller, 1982)。自由度的問題強調協調動作產生，個體必須學習如何掌控身體動作中眾多的自由度，方能使肢體協調的執行動作，並以自由度的概念將個體整個學習階段的動作控制過程劃分為三個階段來描述，分別為：凍結自由度 (freezing degrees of freedom)、釋放自由度 (releasing the degrees of freedom) 及利用反作用力現象 (exploitation reactive phenomenon) (劉盈君、楊梓楣，2009；張國華，2010)。練習初期，個體必須先將身體部分的關節與肢段加以固定，以限制肢段、關節的使用將動作盡可能的簡化到較容易控制與操作的範圍來達成動作要求。在經過多次的練習與經驗的整合後，個體逐漸的學會控制身體更多的肢段、關節自由度，將初期原本被限制的肢段、關節自由度逐一地釋放自由度使更多關節參與作用，並將每一部份串連起來排列、整合形成一系列連貫的動作，

使動作技能操作上更加協調、穩定。舉例來說，學習者在剛開始學習投籃練習時，起初的注意焦點分別集中於手部的每一部分，因此藉由限制腕關節與肘關節的動作，使肘關節保持固定，促使學習者較易達成投籃動作技能。經過多次的練習後，學習者已逐漸熟悉腕關節與肘關節的動作，進而開始利用手部關節，即原受限制的關節自由度逐漸釋放，將單一肢段關節加以組織連結，促使動作執行更加有效率。練習使個體逐漸學會掌控身體中許多的自由度，Bernstein (1967) 更提出了「利用被動力量」的概念，解釋個體除了有效地控制動作中身體多餘的自由之外，還必須將環境中的外力、慣性力和重力等加以利用，學習以最小的能量輸出來完成動作技能 (Schneider, Zernicke, Schmidt & Hart, 1989)。

Southard與Higgins (1987) 的壁球實驗研究，發現練習初期學習者因不了解該動作的形式，於是在練習初期限制部分肢段參與動作，經過多次練習後個體逐漸熟析技能操作方式進而逐一將原受限制的自由度參與作工，以利動作技能表現的提升。Woollacott等人 (1998) 觀察嬰兒學習站立平衡控制研究，發現嬰兒在學習站立之初，出現了凍結膝關節與髖關節自由度的特徵，只利用踝關節動作來保持身體的平衡，透過練習嬰兒逐一地增加自由度的數量，並學習利用寬關節的控制改善因身體不穩定所出現的搖擺現象。Vereijken, Whiting, 與Newell (1992) 利用滑雪模擬動作實驗探討自由度的問題，發現透過練習個體的自由度出現由凍結自由度轉變為釋放自由度的動作特徵，下肢關節活動角度也呈現明顯的改變。黃麟棋與卓俊伶 (1998) 的非慣用手飛鏢投擲研究，藉由操弄自由度的結果顯示，關節自由度的限制與釋放過程

有助於提升學習者在初學階段的動作表現。許多研究發現在動作學習過程正如 Bernstein 提出的，個體動作會出現初期得凍結自由度而後到釋放自由度的動作型態。

動作的產生不僅受到內部系統間的交互作用影響，還會隨著工作本身的特殊性與限制而改變身體自由度的數量 (Newell & Vaillancourt, 2001)，這也說明了動作的執行會隨著動作的特殊性需求與限制而改變其動作型態。因此，並非所有的動作型態都符合 Bernstein 所提出的個體動作呈現單一方向(凍結自由度→釋放自由度)改變的特徵。Hashizume 與 Matsuo (2004) 學習雙手拋三球研究，在上肢關節活動分析結果發現，受試者在學習雙手拋三球的過程，上肢關節屈伸活動角度會隨著練習而逐漸出現遞減的特徵。實驗結果不僅說明了特殊工作需求會影響動作型態的改變，也因為特殊性動作造成自由度呈現「逆向」的轉變特徵(釋放自由度→凍結自由度)。

第二節 雙手協調工作

雙手協調不外乎是利用雙手同時完成相同或不同的動作模式 (Magill, 2007)，如兩手隨著一定的節奏速度下交替執行打鼓的動作，當打擊速度越來越快時，敲打的動作會不會變成雙手同時一起敲打，或是諸如類似的遊戲如，一手畫圓形另一手畫正方形、一手拍桌面另一手進行寫字等，這些由雙手來執行完成的動作，稱之為雙手協調。

個體如何精確地控制身體各肢段、關節使動作能夠協調

(Coordination) 的完成動作技能，由前蘇聯學者 Bernstein (1967) 所提出的自由度概念中，認為動作協調因是盡可能地利用身體多餘的自由度，在動作執行初期限制人體肢段的自由度儘可能將影響動作的因素降低到可控制的範圍以達成動作目標。而 Turvey (1990) 進一步的將協調解釋為根據環境與工作的特殊性，而使動作產生符合當下狀態的運動模式，並且將協調定義為頭部、軀幹與肢段間對應於環境和物體、事件的動作表現型態。影響動作協調的因素除了需要利用身體中許多複雜的自由度之外，也會因個體本身與操作環境和工作類型三者之間交互作用的結果影響行為的表現，進而產生不同的協調形式執行動作 (Newell, 1986)。

Hashizume 與 Matsuo (2004) 學習雙手拋三球動作研究中，發現初學者丟球的手部動作時間頻率影響到丟接球的成功率和動作的穩定，在執行雙手連續丟球動作中時宜 (timing) 成為影響動作的關鍵因素 (Beek & Santvoord, 1992)。根據 Haken, Kelso, 與 Buna (1985) 所提出的一個「HKB」數學方程式，說明人類雙手相位動作存在著一種協調模式 (Fitzpatrick, Schmidt, & Lockman, 1996; Ringenbach & Lantero, 2005; Robertson, 2001)，為影響雙手動作轉變與穩定因素提供了描述與解釋。Kelso (1984) 的雙手手指節奏性動作協調變化的研究，發現手指反相位 (anti-phase) 動作 (非對稱的動作型態)，其頻率逐漸加快到達某依臨界值時，反相位動作會突然轉變為同相位 (in-phase) 動作型態。肢段進行 0 度的相對相位的擺動稱為同相位，反之當肢段進行 180 度的相對相位擺動稱為反相位 (Schmidt & Lee, 1999)。Kelso 與 Schoner (1988) 雙手食指 0 度到 180 度之間左右來回平

行相位運動研究，發現隨著手指移動速度逐漸加快達到某一速度頻率時，手指的運動模式會突然產生不自主的改變，此時的相位運動會轉變為相反相位的運動模式。Haken 等人（1985）將造成雙手手指相位動作的突發性轉變因素視為一個控制參數（control parameter），隨著動作頻率逐漸增加，雙手手指動作會從原先的穩定模式轉變為另一種新的穩定模式。

Beek 和 Santvoord（1992）利用時間的限制進行雙手丟三球動作的控制，並透過 Shannon 理論發現在動作穩定階段手部動作具有一定的時間結構特徵，如雙手在同一時間頻率執行相同的動作，或是在固定的速度節奏中執行不同類型的動作。此時動作的速度成了重要的關鍵因素，在雙手相位運動的研究，當移動速度增加到達某一臨界值時，動作會產生與原相位相反的動作型態之轉變。動作隨著速度的加快或減慢，造成動作由一種動作轉變為另一種動作型態，或是由一種穩定的動作模式變不穩定再回到穩定的動作模式（Cleick, 1990）。在同相位與反向位兩種協調動作中，同相位協調動作的穩定性較高，反向位動作的穩定性次之（Haken et al., 1985; Kelso et al., 1981）。

Mechsner 等人（2001）研究雙手食指做對稱和平行動作並配合雙手手掌向上或向下的姿勢，研究結果發現手掌的姿勢並不會影響雙手動作的進行，另外在雙手對稱動作最為穩定，由此可知雙手的面相並不影響手部的運動方向。根據許多研究得知同相位運動比反相位運動較不容易產生轉變，同相位動作相較趨於穩定、協調，反相位動作雖然較易產生改變，但仍可藉由訓練控制降低反相位動作轉變頻率並維持反

相位的動作協調 (Lee, Blandin & Proteau, 1996)，或是利用較低的頻率維持反相位動作的穩定 (Wuyts et al., 1998)。造成動作轉變的因素甚多，外在環境的影響也會造成動作產生非特定的改變 (Kelso 1984; Scholze & Kelso 1989)。在技能學習初期此階段學習者的動作穩定性偏低，行為也較容易產生改變，學習階段如何有效地控制執行動作時的動作穩定與協調動作，除了系統組織間的調節也必須將操作者本身、動作與操作環境三方面加入考量，但仍有許多研究還無法明確地解釋個體系統是如何有效地控制雙手產生協調的動作，其日後還有待更多研究證實。

第三節 學習過程的行為改變

許多的動作技能都是需要被學習的，個體在藉由練習或過去經驗的獲得不斷地修正、調整動作，也使得在動作學習的過程每一次的動作表現更趨近於目標技能動作，並且於每次的操作中個體動作會逐漸形成一種相似的動作型態。多數的動作與技能的獲得都是藉由學習與練習而產生的 (楊梓楨, 2006)，動作學習係指經由練習與經驗的獲得而使得個體行為或動作產生相對持久性改變的一個過程 (張春興, 1989 ; Schmidt, 1991 ; Schmidt & Lee, 1999)，其主要探討影響個體動作技能學習的學習變項與表現變項 (Schmidt & Lee, 1999) 因此，在學習任何動作技能的過程，身體與肢體如何經由學習的過程而達到精熟的表現，以及肢體間動作如何相互控制產生協調便是學習過程非常重要的關鍵。

根據動態系統認為動作的發展屬於一種非線性、非連續性的，動作常是以一種突現 (emerge) 的方式產生，進而使

行為持續不斷地改變。練習促使個體動作技能逐漸成熟，然而當精熟動作的產生是否建立在良好的動作控制上，有學者將學習過程的動作行為提出了階段性的劃分，如 Fitts 和 Posner (1967) 提出的學習三階段模式，將行為劃分為認知階段 (cognitive stage)、連結階段 (associative stage) 與自動化階段 (autonomous stage)，試圖將所觀察到的各學習階段的動作表現進行描述。Gentile (1972) 則提出藉由操作的方式來建立對於動作概念的觀點，且發現個體隨著不同的工作類型其動作表現也有所差異。

隨著學習階段所提出的動作行為表現，了解初學階段動作出現快速進步的能力表現特徵，由最初的緩慢、停頓、不自然等動作表現，轉變為流暢、連貫、穩定與協調等動作表現型態。直到後期因精熟動作模式以建立到一定的程度，導致後續進步情形較為緩慢，綜觀整個學習過程，肢體動作似乎產生了一系列的變化，也逐漸形成一種特定的動作模式，促使在動作技能執行上呈現出更穩定、一致和多樣性的發展模式，其技能表現水平也相對持久的提升。

多數的技能與動作多是透過學習與練習而產生的 (楊梓楨, 2006)，然而精熟動作的形成是否與控制有關，陳重佑與陳帝佑 (2004) 認為：「動作學習就是動作控制的獲得」。藉由不斷地練習與學習，經由適當的控制產生穩定的動作形式，依動態系統的觀點，肢體動作特徵會隨著環境特徵的不同而產生特定的穩定動作模式，然而個體系統也會隨著環境因素的限制而受到干擾，造成不穩定的動作產生，再經由系統的自我組織的過程，個體動作常會以突現的方式使動作呈現另一種新的穩定的動作型態 (Gordon, 1987; Woollacott &

Shumway-Cook, 1990)。

事實上，個體本身動作似乎存在著一種協調模式，再經由練習逐漸形成一種協調結構，當個體動作維持一段時間的穩定與協調後，要使其改變是相當困難的。然而這樣的協調結構並非一成不變，若要使固有的穩定狀態轉換成另一種穩定協調動作時，就必須要有更大的干擾促使產生新的動作行為。然而由一種穩定動作型態轉換到另一種穩定的動作型態，是什麼因素造成動作的轉變呢？動態系統理論假設當動作由一種狀態改變到另一種狀態，影響這些動作型態改變的因素稱為控制參數（control parameters）。個體的行為一但進入到一種穩定的狀態或變成一種習慣之後要改變其動作模式是相當困難的，然而一但要改變現有的穩定動作型態，就需要更多的能量參與，動作才會轉變為另一種新的動作型態，而控制參數就是造成動作型態轉變的因素之一。以Kelso的雙手手指節奏性動作實驗中，在同相位與反相位兩種穩定的協調動作模式，將速度視為控制參數造成動作的轉變。

當動作有規律的增加或減少到達某一變量時，個體透過自我組織的方式，動作從一種穩定的動作型態進入到不穩定狀態後，在轉換成一種穩定的動作型態（Cleick, 1999）。就Hoyt和Taylor（1981）針對馬的步態動作行為進行探討，發現馬從走路到奔馳的過程，隨著走路的速度逐漸增加到達某一頻率時走路的動作形態會轉變為一種小跑步的動作模式，當速度持續的加快，小跑步會轉變成奔馳的動作特徵；馬從走路到小跑步再到奔馳此三種不同的動作型態，當走路隨著速度逐漸增加變成小跑步動作型態時，此時的動作處於一種不穩定的階段，導致行為很容易因為速度持續的加快就變成

奔馳或速度一減慢由跑步轉變成走路的動作型態 (Diedrich & Waeern, 1995)。

第四節 節語

透過前面的文獻探討，根據 Bernstein (1967)所提出的自由度問題，對動作學習與控制理論的研究造成了深深的影響，且將體視為一個機械系統 (mechanical system)，認為人體動作是由眾多複雜的自由度組織合成的，並非只由中樞神經系統的控制來產生動作。並將複雜動作簡化再從這些簡單的動作形成連結 (unit)，將單一肢段關節加以組織產生動作，更強調了動作的穩定性。

動作的協調性無非是個體能夠精熟的控制身體各肢段、關節的自由度所發展出來的一種協調模式，這也說明了動作的協調是必須經由長期的練習逐漸發展而成的。另一方面個體也會因本身固有的協調模式，導致動作在某種情況下突然的產生轉變，使動作轉變為自我喜好的一種協調模式。許多學者也證實了動作的學習會因環境、工作、個體三者間的交互影響使動作產生改變，然而動作學習也是經由長時間的練習和經驗的累積，促使行為產生一種恆久性的改變。

第三章 研究方法

本研究透過三度空間影片分析法，做為運動學資料參數的獲得。本實驗研究方法與步驟分別為下：第一節、實驗參與者；第二節、實驗儀器與設備；第三節、實驗設計與流程；第四節、資料處理與分析。

第一節 實驗參與者

本實驗參與者為 7 名（ 23.3 ± 1.1 歲）均無扯鈴運動經驗的大專院校之體育生，為了確保實驗參與者皆無扯鈴運動經驗，在實驗之前事先進行一次的扯鈴測試，以確認所有的實驗參與者在過去均無扯鈴運動的經驗，並且於測驗前預先請實驗參與者試作一次扯鈴運動練習以作為評斷標準，這樣的測試是為了確保每位實驗參與者皆符合本實驗參與者的要求，經由基本測試後挑選符合本研究的實驗參與者。在正式實驗之前，研究者為每位實驗參加者說明實驗的流程與步驟，並簽屬「實驗參與者同意書」。

第二節 實驗儀器與器材

本研究使用安全扯鈴一組（鈴面直徑 12.2cm，鈴身重量 260g，鈴棍一副）做為實驗使用之器材，為了計算鈴的轉速度於是在鈴面處貼點以便計算鈴的轉動參數。實驗並使用 VICON 3D 影像擷取系統收集運動學資料，共 8 台紅外線高

速攝影機(包含 4 台廣角鏡頭、2 台長鏡頭與 2 台普通鏡頭),在透過攝影機收集實驗參與者身體的反光球點與器材的反光球之運動學資料,反光球大小為 24mm、共 23 顆,各之段與器材反光球放置點如表 1 所示,反光球黏貼位置如圖 1 所示。

一、儀器設備

- (一) 8 紅外線高速攝影機 (MX-F40), 如圖 2。
- (二) 一組安全扯鈴, 如圖 3。

二、資料處理相關軟體

- (一) Microsoft Excel 2007 中文版試算分析軟體。
- (二) VICON Nexus 1.6.4 版影像系統資料分析軟體。
- (三) SPSS 18.0 統計分析中文版軟體。
- (四) Origin Pro 7.03 版繪圖軟體。

表 1：反光球黏貼點

左側	右側	鈴與棍
第二掌指關節 LFIN	第二掌指關節 RFIN	棍前端左側 LBAR
腕關節 LWRA	腕關節 RWRA	棍前端右側 RBAR
前臂 LFRA	前臂 RFRA	鈴上點 UPLIN
肘關節 LELB	肘關節 RELB	鈴斜上點 TOP
上臂 LUPA	上臂 RUPA	鈴下點 DOWNLIN
肩關節 LSHO	肩關節 RSHO	

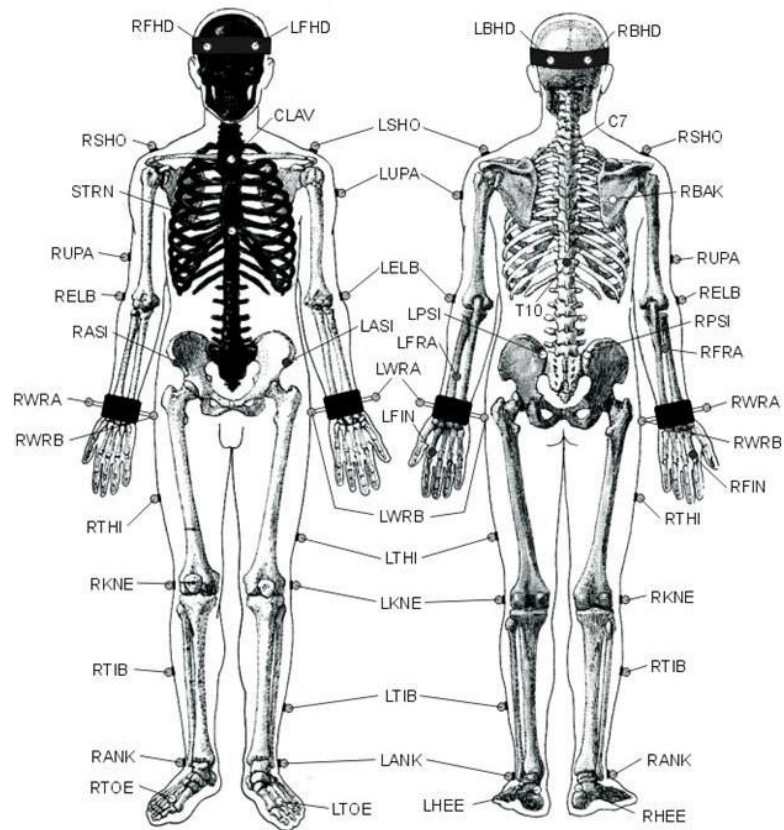


圖 1：VICON Plugingait Model 反光球黏貼位置參照圖

(摘自 VICON Nexus 軟體說明書)



圖 2：紅外線高速攝影機

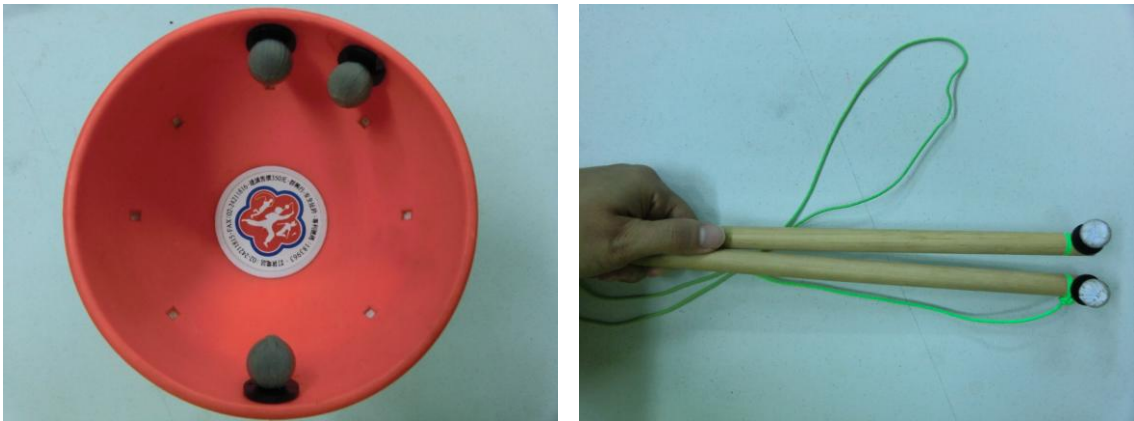


圖 3：安全扯鈴一組

第三節 實驗步驟

本實驗進行流程如下：

- 一、篩選出無扯鈴運動經驗的實驗參與者。
- 二、實驗開始前先與實驗參與者說明本研究的實驗流程、相關時程與注意事項並請實驗參與者簽署實驗參與者同意書。
- 三、代收齊所有實驗參與者的實驗同意書後，則準備進行反

光球貼點定位動作。

- 四、實驗開始前進行動作說明、示範與要求，本實驗的動作一律採用開線運鈴的方式並從地面起鈴，並且要求每位實驗參與者務必先將鈴放置於地面呈靜止狀態，待聽從指示開始動作，並以慣用手做為主要手進行上下拉線運鈴動作。
- 五、實驗參與者開始進行 10 下的上下拉線運鈴動作後，即可停止，待休息 5 分鐘後再次進行施測，每次測驗為一個循環，共做 10 個循環為期一週。

第四節 資料處理與分析

實驗收集主要採用 Vicon Nexus 1.6.4 版影像系統進行資料收集，影片資料收集使用 8 台 Vicon 紅外線攝影機收集運動學資料，採樣頻率為每秒 200Hz，透過原始資料的輸出，以 Microsoft Excel 2007 進行試算，再以 SPSS 18.0 版軟體將運動學參數進行統計分析。統計使用重覆量數單因子變異數分析，統計值若達顯著差異，則以杜凱法 HSD 進行事後比較的處理。

第四章 結果與討論

本章主要探討藉由一週的連續性測驗中，觀察學習扯鈴動作期間的個體動作行為變化，過程中所收集的參數包含雙手上肢關節動作的參數資料與鈴面的運動學資料參數的改變，經重覆量數單因子變異數分析（one-way repeated-measures ANOVA），將實驗所得的資料進行統計分析後，依序呈現統計分析結果並加以闡述：其分為第一節上肢動作的行為特徵；第二節鈴的運動學參數變化；第三節、綜合討論。

第一節、上肢動作的行為特徵

本研究以 7 名均無扯鈴運動經驗的高中及大學體育生為實驗參與者，讓實驗參與者執行連續一週的運鈴練習，再藉由數據圖分析上肢動作行為特徵的改變。本研究所使用的器材為研究者所提供的，因此所有實驗參與者均使用相同的器材執行運鈴動作，故無法針對個別需求做調整。實驗參加者進行運鈴動作練習時，一律皆從地面靜止在依指示開始進行動作。研究將從質性分析的觀點出發，紀錄上肢動作曲線圖從學習初期與學習後期的上肢（X 軸、Y 軸與 Z 軸）動作表現型態。

在上肢動作表現圖線中，將 X 軸定為動作的前後方向、Y 軸定為動作的左右方向、Z 軸定為動作的上下方向，進行扯鈴運鈴動作說明並解釋，因此本節將上肢動作型態分為三個部分進行探討：一、右手腕關節動作表現特徵；二、左手腕關節動作表現特徵。

一、右手腕關節動作表現特徵

(一) 右手腕關節 X 軸動作型態

根據圖 4、圖 5 為實驗參加者的第一天與第七天運鈴練習的右手腕關節 X 軸動作位移曲線圖。實驗資擷取以鈴放置地面並從身體的右側方向開始分析，紀錄從地面準備階段與雙手上下牽拉階段的參數資料。本研究著重於上肢單手及雙手的動作型態分析，故對鈴的角位移、角加速度轉動等不進行任何討論。

從第一天與第七天的右手腕關節 X 軸動作曲線圖（圖 4、圖 5）可清楚觀察到實驗參加者從學習初期第一天的腕關節動作與學習後期第七天的腕關節動作，從地面準備階段到上下牽拉動作階段的腕關節動作型態曲線，在圖 4 的動作表現曲線圖中可明顯看到實驗參加者的第一天腕關節動作出現前後偏移的幅度較大轉為逐漸變小的動作型態，但到了第七天的動作表現曲線圖中（圖 5），右手腕關節動作幅度出現逐漸持續上升的動作型態。

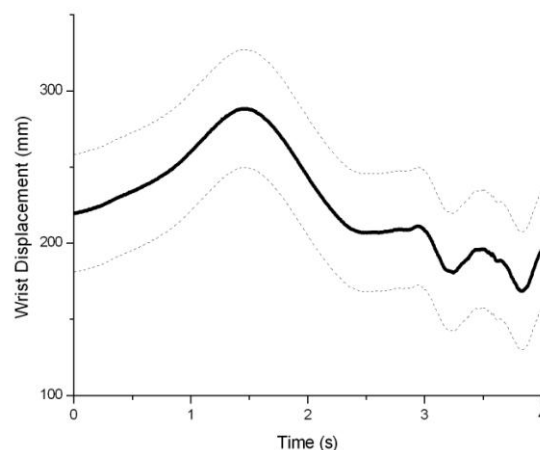


圖 4 第一天右手腕關節 X 軸動作型態

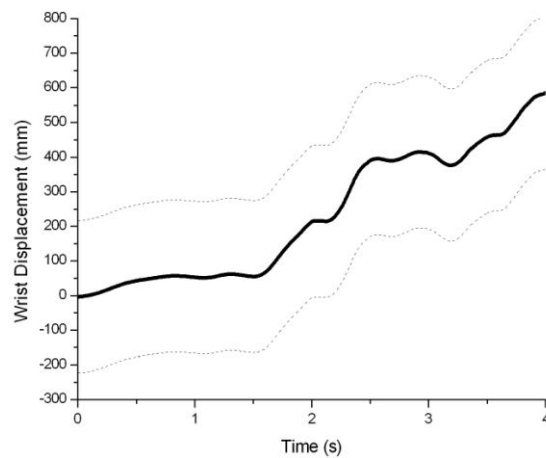


圖 5 為第七天右手腕關節 X 軸動作型態

(二) 右手腕關節 Y 軸動作型態

圖 6、圖 7 為實驗參加者的第一天與第七天運鈴練習的右手腕關節 Y 軸位移動作曲線圖。實驗資料擷取鈴放置地面從右側準備牽拉至左側開始上下牽拉運鈴動作，故圖 6 為第一天右手腕關節 Y 軸動作，從圖 6 動作曲線圖中，腕關節動作於開始階段呈現明顯的大幅度偏移情況，所花費的動作時間也較長，但從圖 5 為第七天的動作曲線圖觀察到，從準備階段到上下牽拉階段的腕關節偏移幅度明顯的縮小，所花費的動作時間也明顯減少。

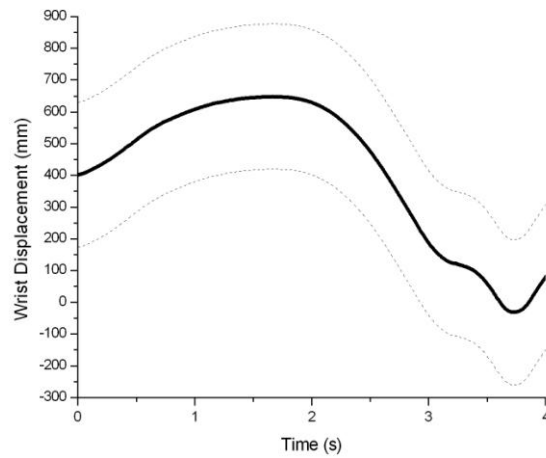


圖 6 第一天右手腕關節 Y 軸動作型態

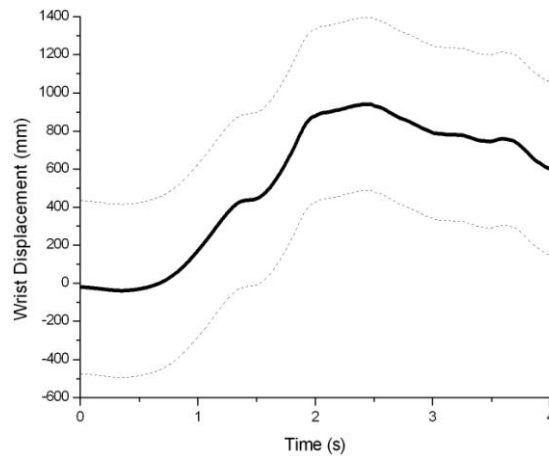


圖 7 第七天右手腕關節 Y 軸動作型態

(三) 右手腕關節 Z 軸動作型態

圖 8、圖 9 為實驗參加者的第一天與第七天運鈴練習的右手腕關節 Y 軸位移動作曲線圖。從圖 8 為第一天腕關節的動作曲線圖中，在上下牽拉階段動作曲線圖顯示腕關節動作呈現少次數的上下起伏波動的動作曲線，直到圖 9 為第七天

腕關節動作曲線圖顯示，腕關節動作不但在準備階段動作使用時間減少外，到了上下牽拉階段的動作也出現穩定的動作型態。

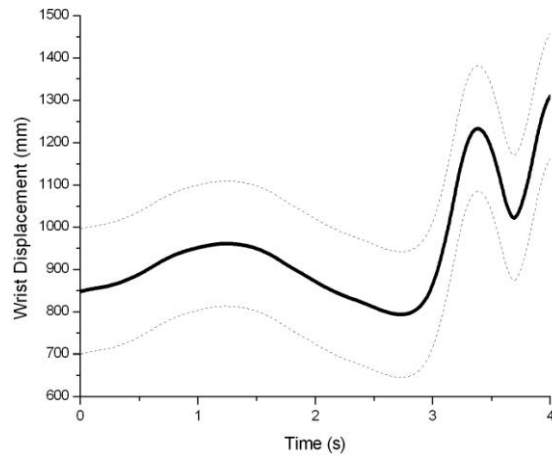


圖 8 第一天右手腕關節 Z 軸動作型態

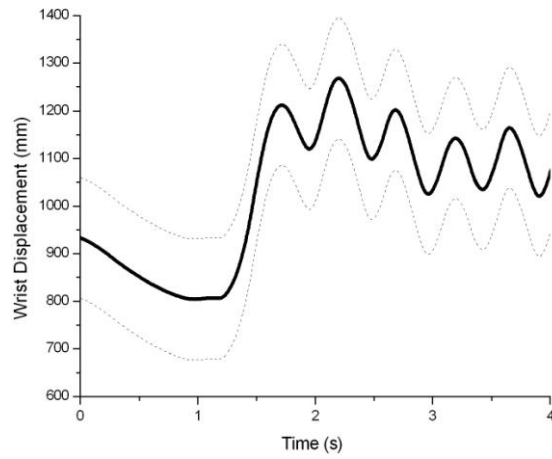


圖 9 第七天右手腕關節 Z 軸動作型態

二、左手腕關節動作表現特徵

(一) 左手腕關節 X 軸動作型態

圖 10、圖 11 為實驗參加者的第一天與第七天運鈴練習的左手腕關節 X 軸動作位移曲線圖。圖 10 為第一天腕關節的動作曲線圖顯示，左手腕關節動作在準備階段的時候就已出現前後偏移的情況，直到第七天的動作曲線圖中(圖 11)，顯示左手腕關節動作型態在準備階段變得較平順，到了上下牽拉階段時才出現較穩定的動作。

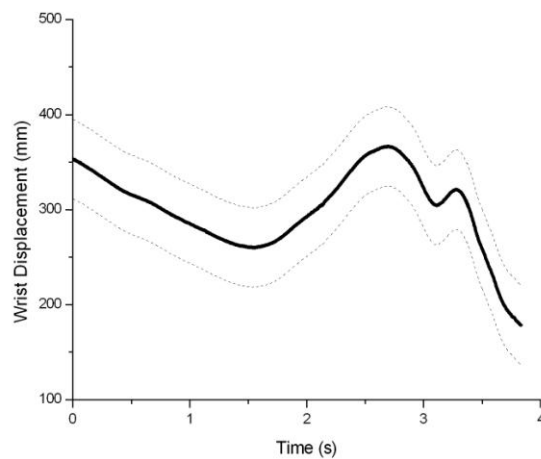


圖 10 第一天左手腕關節 X 軸動作型態

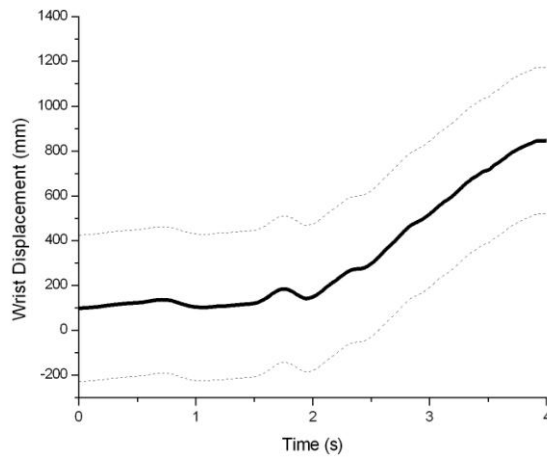


圖 11 第七天左手腕關節 X 軸動作型態

(二) 左手腕關節 Y 軸動作型態

圖 12、圖 13 則為實驗參加者的第一天與第七天運鈴練習的左手腕關節 Y 軸動作位移曲線圖。圖 12 為第一天腕關節的動作曲線圖顯示，左手腕關節動作時間較第七天(圖 13)動作時間長。

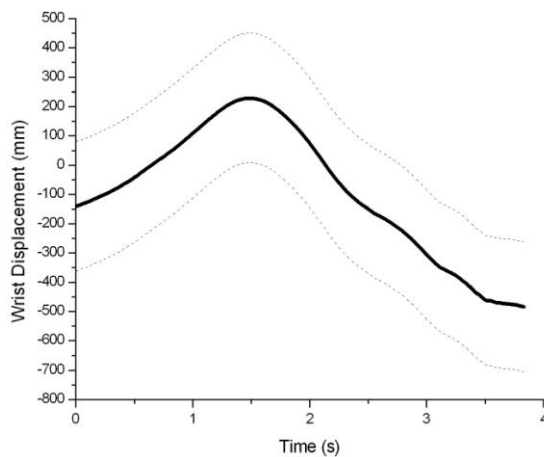


圖 12 第一天左手腕關節 Y 軸動作型態

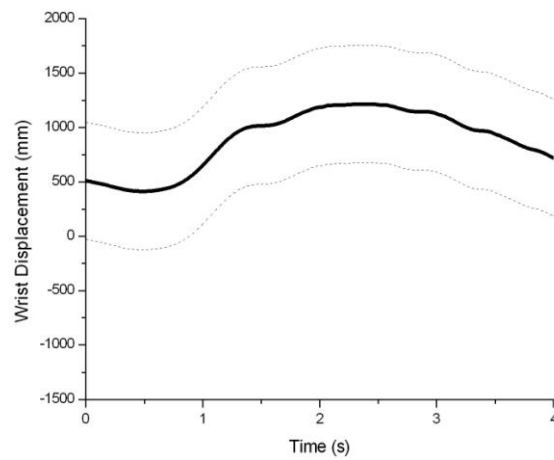


圖 13 第一天左手腕關節 Y 軸動作型態

(二) 左手腕關節 Z 軸動作型態

圖 14、圖 15 為實驗參加者的第一天與第七天運鈴練習的右手腕關節 Y 軸位移動作曲線圖。從圖 14 的動作曲線圖顯示，腕關節準備動作時間相較於第七天（圖 15）的準備動作時間長，在圖 15 中也發現，腕關節動作逐漸出現規律的運動型態。

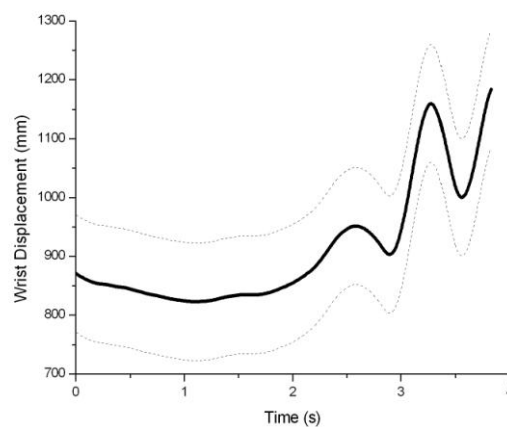


圖 14 第一天左手腕關節 Z 軸動作型態

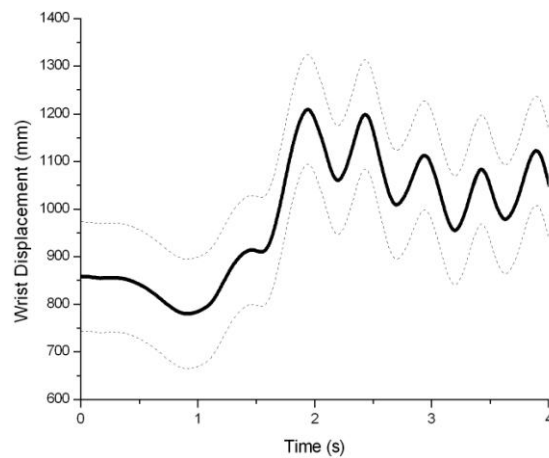


圖 15 第七天左手腕關節 Z 軸動作型態

第二節、鈴的運動學參數變化

在鈴的運動學分析中，主要藉由鈴的旋轉角位移、角速度、角加速度、切線速度、切線加速度及向心加速度峰值差等運動學參數。為了有效率的呈現實驗結果，資料處理的部分僅擷取每天練習歷程的第一筆資料與最後一筆資料進行統計考驗。

從學習過程的角速度曲線中，比較扯鈴動作過程中鈴面的角速度峰值變化，根據重複量數單因子變異數分析顯示，學習初期的角速度峰值。找出角速度、角加速度的峰值及對應的時間點，並計算出兩點速度峰值的時間差。在實驗過程中所有人的比率降低，(0.81 at Session 3; 0.79 at Session 7; and 0.78 at Session 10)。圖 16 顯示在第三次練習階段，每位受試者的時間變項的平均時間比率的變異。其中兩組達顯著差異，一組比率在 0.83(受試者有 S1, S2, S4 and S8)，和另一組比率在 0.80(S3, S5, S6 and S7)。不意外兩組間的平均休止

比率達顯著差異，($t(6) = 9.18, p < 0.001$, 單側, 雙側 T 檢定)。所有受試者的拋球的循環時間(BCT)是拋球和接球的手部循環時間(HCT)的 1.5 倍。Shannon's 建議丟球雜耍依照程式執行。

圖 17 實驗採用單因子重複量數變異數分析，在練習階段未達顯著差異，($F(2, 14) = 1.72, p > 0.2$)。受試者在第三次練習階段的休止比率高於 0.38，S3 的休止比率為 0.76，S1 在的時次練習階段和 S3 在第七次與第十次練習階段為 0.75 (0.70 and 0.69, 個別的)。角速度和角加速度的循環時間的 3.7.10 練習階段的比率分別為 0.864.795 and 0.744。s 子重複量數變異數分析在練習階段達顯著差異 $F(2, 14) = 3.95, p < 0.05$ ，使用 (HSD) 比較，HCT 的相關係數的休止比率不大 ($r = 0.58, p < 0.01, n = 24$)。這樣的結果顯示出鈴的速度峰值時間差隨著練習而明顯增加，但到了最後一天則明顯降低，換句話說，相較於練習初期，練習後期鈴面旋轉速度時間間格變大，動作出現由小動作型態的現象；但到了練習後期階段，速度時間變慢，動作表現出現較大的動作型態。

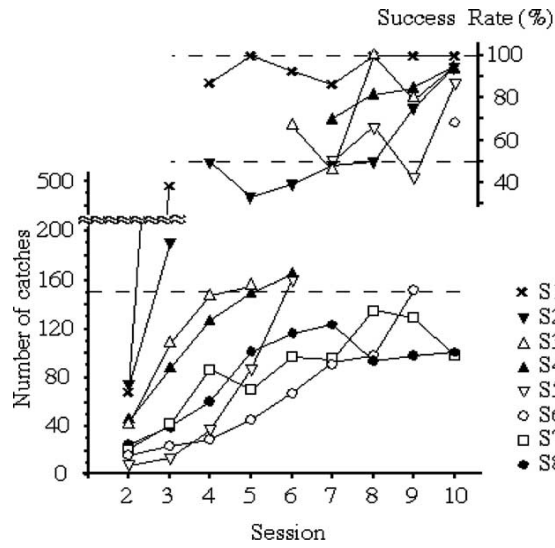


圖 16 鈴的速度

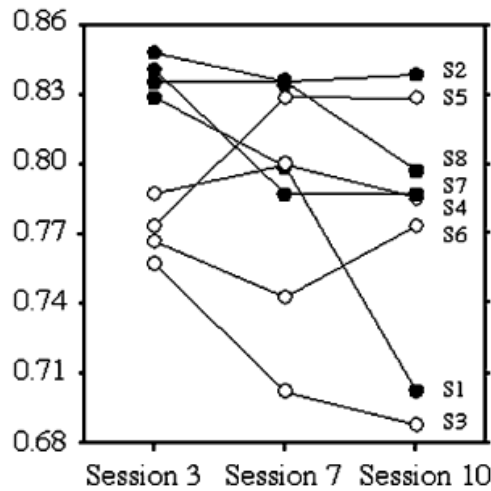


圖 17 學習過程速度

第三節、綜合討論

生物體動作的產生主要是個體本身、工作與環境等限制的交互作用的影響，Thelen et al. (1993) 根據系統理論的概念，解釋生物體的運動模式 (movement patterns) 的學習與發展過程，即動作的重新組織是從生物體週邊的生物力學訊

息開始，通過生物體的運動器官（organism）與週邊環境以動態、共生的交互作用形式，是的中樞神經系統逐漸產生適應。也就是說，動作發展的過程中，運動模式不僅僅是單純的在腦部獨立工作、思考、記憶等，並命令運動器官完成動作；而是運動器官經由外界環境的回饋與外立場交互作用等因素，在混合於神經肌肉系統中。

本研究設計利用主要利用一週的連續性運鈴練習，將所蒐集的參數資料分析操作時器材時的雙手關節角速度變化的運動參數。主要目的在於學習扯鈴運鈴動作的雙手控制型態是否會因為長期的練習造成經驗的累積進而造成動作技能的獲得情形。從各關節角速度與動作表現曲線變異數的分析結果中可以發現，在腕關節的變異性表現上無論是最大角速度、角加速度、最小角速度三方面都大顯著差異。這也說明了兩種機制：一是當初學動作時上肢動作因為沒有流暢性的跟隨所以肘的自由度也隨之受到控制；二是腕關節在學習初期與學習後期的動作表現尚達顯著差異。因此蘇聯學者 Bernstein（1967）針對動作控制與發展對自由度所提出的觀念：控制了身體的自由度即掌握了動作控制、強調穩定性的必要性及協同動作即為協調性的重要來源等三方面加以驗證，肘、腕關節在扯鈴運鈴動作學習過程可以視為一個聯結，所以當腕關節動作穩定後其動作才能得到良好的控制效果。

在肘關節的角速度分析發現，肘關節最大角速度在學習出其與學習後期並無差異，而在腕關節角速度方面，發現學習初期與學習後期腕關節 Z 軸分向的控制影響最大，進而影響了實驗參與者的動作行為產生改變。

本研究透過實驗參與者雙手上下運鈴的節奏性動作，在

探討學習的前、中、後階段的動作特徵，由實驗參與者每次試作的結果顯示，在實驗參與者的運鈴動作練習中，出現初期動作甚多的不穩定狀況，成功完成的次數也隨之降低，經過多次練習後，進入成功運鈴次數逐漸提高，雙手動作較高的穩定情況。可以發現上肢關節動作，如同 Bernstein(1967)學者所提出的自由度的概念，動作初期會出現動節自由度的動作特徵，經練習後逐漸轉變為釋放自由度的動作特徵。隨著動作由一個不穩定階段到，進入完全穩定階段之間的漸入穩定階段，為實驗參與者學習過程自我組織的一個關鍵期。雖然實驗參與者進入了動作完成度較高的動作階段，可是仍然經常性的出現完成度大幅下落的初期階段動作特徵，顯示縱使是進入了穩定的高完成度階段，在個體限制、環境限制或是工作限制的影響下，導致學習者均極易出現動作穩定性退化的現象。

第五章 結論與建議

旨在探討透過學習扯鈴運鈴動作的實驗，分析描述實驗參與者的雙手協調動作自我組織動態系統變化的歷程。在研究中以 7 名均無扯鈴運動經驗之高中或大專院校體育生為實驗參與者，並觀察實驗參與者在各學習階段的雙手協調性動作發展，及實驗參與者的動作獲得之間的相互關係。以下僅就研究結果與討論中的發現提出結論，並針對未來後續相關研究方向提出建議。

第一節 結論

本研究透過三度空間高速攝影機分析的技術，紀錄所有實驗參與者在學習扯鈴運動動作的動作行為表現。在學期初期的運鈴動作表現中，檢證的所有實驗參與者的上肢動作差異性，結果發現隨著練習次數的增加，扯鈴運鈴動作的速度由快變慢、上肢動作的加速度由快轉慢、最大速度時間。但在扯鈴運鈴的動作檢證中，發現雖然學習初期的動作關節活動角度出現凍結自由度的特徵，到了學習後期上肢動作則由凍結自由度轉為釋放自由度的特徵，進而影響了動作技能的獲得情形。

而關於運鈴動作的上肢各關節角速度的研究中，發現肘關節各項角速度運動學參數資料在學習初期與學習後期，都沒有達到顯著差異，也就是肘關節動作對扯鈴運鈴動作均無影響。

第二節 建議

本研究以 VICON 3D 影像分析系統收集動作參數資料，以 Nexus 軟體計算下肢各項參數運動學與動力學資料。

研究結果與以往的自由度相關研究相似，本實驗使用關節動作峰值的時間差作為觀察自由度變化的指標，是否影響實驗結果，往後需深入進行驗證。因此，建議後續研究可增加目標物，以利參與者能有更好的發揮。以上的問題，都是可以建立在本研究基礎上，作為未來深入探討的方向。

引用文獻

一、中文部份

張春興（1989）。*張氏心理學辭典*。台北市：東華。

成戎珠（1994）。動作發展新理論：動力系統理論之介紹。*中華物療誌*，19（1），88-97。

黃鱗棋、卓俊伶（1998）。關節自由度對間斷動作表現的影響：個案研究。*體育學報*，25，229-237。

陳重佑，陳帝佑（2004）。動態系統理論在動作行為學之應用。*彰化師大體育學報*，4，53-65。

劉有德（2008）。*動作技能學習*。台北市，禾楓。

胡明霞（2009）。*動作控制與動作學習*。台北市，金名。

張國華（2010）。*環境限制下投擲準確性的自由度效應*。未出版之碩士論文，國立彰化師範大學，彰化市。

劉盈君，楊梓楣（2009）。關節自由度限制引致飛鏢投擲表現之改變。*大專體育學刊*，11，（2），47-56

二、英文部分

- Bernstein, N. (1967). *The coordination and regulation of movements*. Oxford England:Pergamon Press.
- Hashizume, K., & Matsuo, T. (2004). Temporal and spatial factors reflecting performance improvement during learning three-ball cascade juggling. *Human Movement Science*, 23, 207-233.
- Keele, S. W. (1968) . Movement control in skilled motor performant. *Psychological Bulletin*, 70, 837-403.
- Lantero, D. A., & Ringenbach, S. D. (2009). Factor influencing children's performances of a steady-state bimanual coordination task. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 80(2), 205-212.
- McGraw,M.B. (1943) . *The neuromuscular maturation of the human infant*. New York: Columbia University.
- McGill, R.A. (2006) . *Motor learning and control: Concepts and applications* (8th ed) . New York: McGraw-Hill.
- Newell, K. M. (1986). Constraints on the development of coordination. In M. G. Wade & H. T. A. Whiting (Eds.), *Motor development in children: Aspects of coordination and control* (pp. 314-360).Boston: Martinus Nijhoff.
- Southard, D., & Higgins, T. (1987) . Changing movement patterns: Effects of demonstration and practice. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 58, 77-80.
- Schmidt, R. A. (1975) . A schema theory of discrete motor

- skill learning theory. *Psychological Review*, 82, 225-260.
- Schmidt, R. A., Lee, T. D. (1999). *Motor Control and Learning*. USA: Human Kinetics.
- Schmidt, R. A., & Wrisberg, G. A. (2008). *Motor learning and performance: A situation-based learning approach*. (4th Ed.). Champaign, IL: Human Kinetics.
- Schneider, K., Zernicke, R. A., Schmidt, R. A., & Hart, T. J. (1989). Changes in limb dynamics during practice of rapid arm movements. *Journal of Biomechanics*, 22, 805-817.
- Scholz, J. P., & Schöner, G. (1999). The uncontrolled manifold concept: Identifying control variables for a functional task. *Experimental Brain Research*, 126, 289-306.
- Schöner, G. (1995). Recent developments and problems in human movement science and their conceptual implications. *Ecological Psychology*, 7, 291-314.
- Southard, D., & Higgins, T. (1987). Changing movement patterns: Effects of demonstration and practice. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 58, 77-80.
- Steenbergen, B., Marteniuk, R. G., & Kalbfleisch, L. E. (1995). Achieving coordination in prehension: Joint freezing and postural contributions. *Journal of Motor Behavior*, 27, 333-348.
- van Emmerik, R. E. A., den Brinker, B. P. L. M., Vereijken,

- B., & Whiting, H. T. A. (1989). Preferred tempo in the learning of a gross cyclical action. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *41A*, 251–262.
- Vereijken, B., van Emmerik, R. E. A., Bongardt, R., Beek, W. J., & Newell, K. M. (1997). Changing coordinative structures in complex skill acquisition. *Human Movement Science*, *16*, 823–844.
- Vereijken, B., van Emmerik, R. E. A., Whiting, H. T. A., & Newell, K. M. (1992). Free(z)ing degrees of freedom in skill acquisition. *Journal of Motor Behavior*, *24*, 133–142.
- Vereijken, B., Whiting, H. T. A., & Beek, W. J. (1992). A dynamical systems approach to skill acquisition. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *45A*, 323–344.
- Zanone, P. G., & Kelso, J. A. S. (1992). Evolution of behavioral attractors with learning. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *18*, 403–421.
- Zanone, P. G., & Kelso, J. A. S. (1997). Coordination dynamics of learning and transfer: Collective and component levels. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *23*, 1454–1480.
- Turvey, M. T., Fitch, H. L., & Tuller, B. (1982). The Bernstein perspective: I. The problems of degrees of freedom and context-conditioned variability. In J. A. S. Kelso

(Ed.) , Human motor behavior: An introduction (pp. 239-252) . Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.

附錄一

實驗參加者同意書

首先非常感謝你志願參與本次的實驗研究，所填寫之相關資料僅提供學術研究時使用及參考，絕對保密並不作其他用途，本次所要研究的主題是「扯鈴運鈴動作學習的雙手協調」，為使實驗進行順利並求得正確的實驗結果，請配合以下說明事項：

1. 施測日期：101年2月6日至101年2月12日
2. 集合時間：晚上9點30分
3. 集合地點：國立臺灣體育學院體操館
4. 因實驗所需，每位實驗參與者當天需穿著貼身背心。

而為瞭解你的健康狀況，煩請填寫運動安全問卷：

1. 是 否 你時常到保健中心接受治療嗎？
2. 是 否 你的手部曾經扭傷過而目前造成不便嗎？
3. 是 否 你的其他身體部位曾經動過手術和受過嚴重外傷嗎？
4. 是 否 有上述未提到而不能參加運動的原因嗎？

～感謝您的真誠協助和參與～

國立臺灣體育學院體育研究所

指導教授 陳重佑 博士

研究生 冉茂萍