國立臺灣師範大學體育學系
碩士學位論文

漢字草書連寫之個體與工作限制

研 究 生：施長志
指導教授：楊梓楣

中華民國 101 年 8 月
中華民國臺北市

國立臺灣師範大學體育學系碩士論文通過簽名表

系所別：體育學系碩士班 運動科學組

姓名：施長志　　學號：698300555

碩士論文題目：漢字草書連寫之個體與工作限制

經審查合格，特予證明

論文口試委員

卓俊伶　博士
國立臺灣師範大學體育系

賴世烱　博士
國立臺北護理健康大學運動保健系

楊梓楣　博士
國立臺灣師範大學體育學系
論文指導教授

系主任簽章：

中 華 民 國 101 年 1 月 31 日

漢字草書連寫之個體與工作限制

2012 年 8 月

研 究 生：施長志
指導教授：楊梓楣

摘　要

協調受到動作者屬性及外在條件制約所影響，亦即個體、工作與環境限制，三者交互作用引致個體最適化協調之產出。本研究立基於動作協調觀點，欲藉由個體與工作限制之操弄，探究兩者對於書寫表現之影響。本研究招募 36 名未受書法相關專業訓練之成人參與者，依書寫者執筆手與書寫姿勢分為：右慣用手非迴腕書寫者、左慣用手迴腕書寫者以及左慣用手非迴腕書寫者三種書寫者類型，每組 12 名；相依變項為書寫工具筆尖性質（硬筆與軟筆）及執筆手（慣用手與非慣用手），於不同書寫情境下進行漢字草書連筆書寫任務，分析書寫樣本與六自由度磁力追蹤儀所記錄之資料，以 3（組別）x 2（筆尖性質）x 2（執筆手）混合設計三因子變異數分析，後二因子為重複量數，針對每秒書寫面積、各關節交叉相關係數與關節角度變異進行統計考驗，檢證書寫表現與肢體內協調形式的變化與差異。結果顯示書寫者類型、筆尖性質與執筆手會交互影響書寫表現，不同書寫者類型與執筆手會有不同之動作協調形式，不同書寫工具會引致協調形式之改變。

關鍵詞：書寫、毛筆、書寫姿勢、協調

Organism constraint and task constraints of consecutive Chinese cursive writing

August, 2012

Joseph Chang-Chih Shih
Advisor: Melvin Chih-Mei Yang

ABSTRACT

Coordination is affected by the property of the organism and external conditions, that is, organism, task, and environment constraints would interact with one another to induce the production of the most appropriate coordination. This research based on the movement coordination viewpoint. Organism and task constraints were manipulated to explore how the writing performances were influenced. Thirty-six healthy adults who were not well-trained in Chinese calligraphic skills were recruited. According to the writing dominant-hand and the writing posture, the 36 participants were classified into three groups: (1) right-handed non-inverter, (2) left-handed non-inverter, and (3) left-handed inverter. The repeated dependent variables include the characteristic of the pen-tip (hard and soft) and writing hand (dominant and non-dominant hand). Participants were required to perform the straight-line Chinese cursive-writing task under different writing conditions. The writing sample and the position data recorded by the Polhemus Liberty were analyzed. In order to find the differences of writing performances and the changes of intra-limb coordination patterns, the writing square measured per second, cross-correlation coefficient of target joints, and the variability of the joint degrees were statistically analyzed by mixed-designed three-way ANOVAs: 3 (groups) x 2 (pen-tip properties) x 2 (writing hands). The later two factors were repeated measures. The results showed that the types of the writer, the characteristic of the pen-tip, and the writing hand would interact to influence the writing performance. Different were found in movement coordination pattern among different groups and writing hands. Writing tools would induce the coordination pattern to change.

Keywords: handwriting, Chinese writing brush, writing posture, coordination

謝　誌

終於到了一本論文最簡單也最困難的一部份；說它簡單，無非是因為它無關乎於學術研究的邏輯與嚴整性，可以隨心所欲恣性發揮，說它困難，實在是因為假若沒有先前多少日以繼夜焚膏繼晷的努力，哪有機會在此時此刻裝作煞有其事的模樣，敲打著這本論文的最後幾個字。從建立一個 word 檔開始，走筆至今，前後歷時一年半載，一段不算長也不算短的時間，我盡可能不談相對論，因為日子裡的酸甜苦辣總讓我三年的學術生涯過得忽快忽慢，然而，真要寫些感謝的話，就偏想以陳之藩先生從愛因斯坦身上所領會的覺悟：「需要感謝的人太多了，就感謝天罷。」一言概括，然而呀然而，在一篇謝誌裡謝天，稱得上是一種逃避，那就言歸正傳吧。

首先對每位參與本次實驗的參與者致上最高謝意，尤其是協助招募參與者的各位，沒有你們熱情的加入，我的實驗難以順利完成，也感謝”Mr. Liberty”在瀕臨掛點前的苦撐，讓我可能成為第一個感謝實驗儀器的研究生；其次感謝 TGIT 的夥伴們：尚武學長在儀器設定的視訊教學，雖然終究沒能派上用場；麗晶、國威、嘉音與銘仁幾位學長姊在學術生涯上的經驗分享，讓我在迷惘中堅定志向；感謝一門三傑的兄弟檔－嘉君、嘉笙與嘉彬學長在學術上的砥礪，特別是同為中教大校友的嘉君學長在統計軟體實務的教導；丁良學長樹立待人處事好榜樣；鳴遠是打球時的好對手與好搭檔；詩薇、安婕、溫旬三位女孩為實驗室帶來歡笑與朝氣；以及高中好友威憲在資料分析上所提供的協助。致謝口試委員賴世烱教授對於論文內容的指正，並鼓勵我繼續朝夢想邁進；卓俊伶教授平時的照顧與惕勵，感激之情點滴在心；更得銘謝恩師楊梓楣教授在學術、待人接物，甚至是便條紙上遣字用詞的細心指導與諄諄教誨，您利銳的思判、豐富的學養與開闊的襟懷，讓我感興趣的研究課題不因領域刻板限制而顯得窒礙難行。

最後感謝我的家人－老爸、老媽以及幫忙輸入資料的老姊，你們一直是我最大的支柱，讓我無憂無慮地投入研究所課業，在我無助時提供最溫暖的鼓勵，疲累時給予最親切的撫慰，我由衷地感到慶幸與感激，我愛你們！

施長志 謹誌 2012 年 8 月

目　次

國立臺灣師範大學體育學系碩士論文通過簽名表.....i

論文授權書.....ii

中文摘要.....iii

英文摘要.....iv

謝誌.....v

目次.....vi

表次.....viii

圖次.....ix

第壹章　緒論.....1

第一節　問題背景.....1

第二節　研究問題.....7

第三節　研究基本假定與限制.....7

第四節　名詞解釋.....8

第五節　研究重要性.....11

第貳章　文獻探討.....12

第一節　類書寫動作相關文獻.....12

第二節　書寫動作之非線性特質與變異性.....14

第三節　書寫表現的測量.....16

第四節　書寫動作之個體與工作限制.....17

第五節　文獻小結.....22

第六節　假說.....22

第參章　研究方法……23

第一節　實驗參與者……23

第二節　實驗器材……23

第三節　實驗場地佈置……24

第四節　實驗設計與工作……25

第五節　實驗流程……26

第六節　資料處理與分析……27

第肆章　結果與討論……29

第一節　書寫表現……29

第二節　肢體內協調……47

第三節　綜合討論……83

第伍章　結論與建議……86

第一節　結論……86

第二節　建議……86

參考文獻……88

附錄……94

附錄一　慣用手問卷……94

附錄二　參與者須知暨實驗同意書……95

附錄三　練習範本－「水」字……96

附錄四　練習範本－「去」字……97

表　次

表 1　各組以慣用手與非慣用手書寫時之腕、肘關節角度變異-「水」字...82

圖　次

圖 1　迴腕姿勢.....10

圖 2　非迴腕姿勢.....10

圖 3　場地佈置圖-1.....25

圖 4　場地佈置圖-2.....25

圖 5　場地佈置圖-3.....25

圖 6　場地佈置圖-4.....25

圖 7　右慣用手非迴腕書寫者每秒書寫面積之筆尖性質與執筆手因子交互作用-「水」字.....30

圖 8　硬筆書寫情境每秒書寫面積之書寫者類型與執筆手因子交互作用-「水」字.....31

圖 9　每秒書寫面積之書寫者類型與執筆手因子交互作用-「去」字.....32

圖 10　書寫面積之筆尖性質與執筆手交互作用-「水」字.....36

圖 11　書寫面積之筆尖性質與執筆手交互作用-「去」字.....37

圖 12　右慣用手非迴腕書寫者書寫時間之筆尖性質與執筆手交互作用-「水」字.....39

圖 13　軟筆書寫情境書寫時間之書寫者類型與執筆手交互作用-「水」字...40

圖 14　硬筆書寫情境書寫時間之書寫者類型與執筆手交互作用-「水」字...41

圖 15　非慣用手書寫情境書寫時間之書寫者類型與筆尖性質交互作用-「水」字.....42
圖 16　書寫時間之書寫者類型與筆尖性質交互作用-「去」字.....43
圖 17　書寫時間之書寫者類型與執筆手交互作用-「去」字.....44
圖 18　筆尖－尺骨莖突 Y 軸交叉相關係數之書寫者類型與執筆手交互作用-「水」字.....48
圖 19　右慣用手非迴腕書寫者尺骨莖突－肱外上髁 Y 軸交叉相關係數之筆尖類型與執筆手交互作用-「水」字.....49
圖 20　軟筆書寫情境尺骨莖突－肱外上髁 Y 軸交叉相關係數之書寫者類型與執筆手交互作用-「水」字.....50
圖 21　硬筆書寫情境尺骨莖突－肱外上髁 Y 軸交叉相關係數之書寫者類型與執筆手交互作用-「水」字.....51
圖 22　慣用手書寫情境尺骨莖突－肱外上髁 Y 軸交叉相關係數之書寫者類型與筆尖性質交互作用-「水」字.....52
圖 23　肱外上髁－肩峰 Y 軸交叉相關係數之書寫者類型與執筆手交互作用-「水」字.....53
圖 24　尺骨莖突－肱外上髁 Y 軸交叉相關係數之書寫者類型與執筆手交互作用-「去」字.....55
圖 25　肱外上髁－肩峰 Y 軸交叉相關係數之書寫者類型與執筆手交互作用

-「去」字.....56
圖 26　筆尖－尺骨莖突 X 軸交叉相關係數之書寫者類型與執筆手交互作用-「水」字.....59
圖 27　筆尖－尺骨莖突 X 軸交叉相關係數之筆尖性質與執筆手交互作用-「水」字.....59
圖 28　尺骨莖突－肱外上髁 X 軸交叉相關係數之書寫者類型與執筆手交互作用-「水」字.....61
圖 29　尺骨莖突－肱外上髁 X 軸交叉相關係數之筆尖性質與執筆手交互作用-「水」字.....61
圖 30　右慣用手非迴腕書寫者肱外上髁－肩峰 X 軸交叉相關係數之筆尖性質與執筆手交互作用-「水」字.....62
圖 31　軟筆書寫情境肱外上髁－肩峰 X 軸交叉相關係數之書寫者類型與執筆手交互作用-「水」字.....64
圖 32　右慣用手非迴腕書寫者筆尖－尺骨莖突 X 軸交叉相關係數之筆尖性質與執筆手交互作用-「去」字.....65
圖 33　左慣用手非迴腕書寫者筆尖－尺骨莖突 X 軸交叉相關係數之筆尖性質與執筆手交互作用-「去」字.....66
圖 34　硬筆書寫情境筆尖－尺骨莖突 X 軸交叉相關係數之書寫者類型與執筆手交互作用-「去」字.....67

圖 35　慣用手執筆情境筆尖－尺骨莖突 X 軸交叉相關係數之書寫者類型與筆尖性質交互作用-「去」字.....68
圖 36　非慣用手執筆情境筆尖－尺骨莖突 X 軸交叉相關係數之書寫者類型與筆尖性質交互作用-「去」字.....69
圖 37　尺骨莖突－肱外上髁 X 軸交叉相關係數之書寫者類型與執筆手交互作用-「去」字.....70
圖 38　尺骨莖突－肱外上髁 X 軸交叉相關係數之筆尖性質與執筆手交互作用-「去」字.. 71
圖 39　筆尖－尺骨莖突交叉相關（Y 軸）.....72
圖 40　筆尖－尺骨莖突交叉相關（X 軸）.....73
圖 41　腕關節角度變異之書寫者類型與執筆手交互作用-「水」字.....74
圖 42　左慣用手非迴腕書寫者腕關節角度變異之筆尖性質與執筆手交互作用-「去」字.....75
圖 43　左慣用手迴腕書寫者腕關節角度變異之筆尖性質與執筆手交互作用-「去」字.....76
圖 44　硬筆書寫情境腕關節角度變異之書寫者類型與執筆手交互作用-「去」字.....77
圖 45　慣用手書寫情境腕關節角度變異之書寫者類型與筆尖性質交互作用-「去」字.....78

圖 46　肘關節角度變異之書寫者類型與執筆手交互作用－「水」字.....80

圖 47　肘關節角度變異之書寫者類型與執筆手交互作用－「去」字.....81

第壹章　緒論

為應付生存所需，個體必須產生各式各樣的行動以達維生之功能性目的，如跑、跳等；隨文明進展，在滿足基本生理需求後，人類更發展了許多藝術活動，比如歌劇、演奏、繪畫、書法等，這些不盡相同的動作形態的共通點是個體在執行動作時，必須有效率地協調各身體肢段，以達成所欲追求的功能性目的。本研究旨在探究個體於本身條件制約下，與工作限制交互作用，對於書寫動作協調產生之影響。本章內容包括：第一節、問題背景；第二節、研究問題；第三節、研究基本假定與限制；第四節、名詞解釋；以及第五節、研究重要性。

第一節　問題背景

動物體所展現出的動作類型極為眾多，不同動作器 (effector) 之間如何彼此共動達成某功能性目的，一直是動作行為學研究者所關注的研究課題。

「訊息處理觀點」(information-processing perspective) 認為動作的產出係由中樞神經系統 (CNS) 全權地掌控，個體藉由此中樞機制，從記憶庫裡提取動作程式 (motor program)，執行程式並控制特定肌肉或關節完成動作表現。動作程式是為一種內在表徵 (internal representation)，係一系列動作的命令，個體由感覺系統接收外界刺激，經刺激確認 (stimulus identification)、反應選擇 (response selection) 以及反應編序 (response programming) 三個步驟產出動作 (Schmidt & Lee, 2005)；換言之，早在動作開始之前動作程式已組織完成，一旦動作程式已被預設好，產出的動作也就被決定了。動作協調觀點對訊息處理觀點提出批判，認為若動作係由單一系統擔負全責，這就好比腦中有一個小人 (homunculus) 必須應付極其大量的工作負荷，且假若此概念為真，那麼又是誰操控著腦中小人？不斷延伸的結果，似乎會有著無窮無盡的腦中小人。

俄羅斯生理學家 Bernstein 最早提出了「自由度的問題」(the problems of the degrees of freedom) －亦被稱為「Bernstein's Problem」，係為動作控制相關議題的一大創見，但

受限於使用之文字系統，直到 1967 年英譯本問世後，這份研究成果才得以流傳。個體內有無數個細胞，細胞形成組織，組織形成器官，不同的器官又進一步聯合形成系統，Bernstein (1967) 認為不論從哪一層次觀之，都存有若干或無數個自由度，若欲使彼此之間能有效率地合作以完成工作任務，則存在個體內大量自由度的問題必須加以解決；單以動作的產出與執行而言，其認為人體構造甚是複雜，包含相當龐雜的力學自由度，若欲使個體能有效率地執行動作，則須適度減低存於肢段間的眾多自由度，並指稱：「the coordination of a movement is the process of mastering redundant degrees of freedom of the moving organ, in other words, its conversion to a controllable system」(p. 127)。

根據英文字典，「協調」被定義為：「the harmonious functioning of parts for effective results」(Coordination, n.d.)，也就是各單位間能夠和諧共動以求效率的產出結果。然而，洪朝欽（1999）認為傳統科學觀係為化約論 (reductionism) 與決定論 (determinism) 的哲學觀，所追求的是秩序 (order) 的本質，是具有規律且穩定的一種特質；化約論指稱事物皆具有可化約性，整體特性分別埋藏於各組成成份之中，可透過拆解，以各點擊破的方式去推知整體；決定論意指系統中沒有任何隨機的 (random) 成份，一切都是確定的，而線性方程式 (linear equation) 正滿足了這樣的科學哲學觀。試想，如果化約論為真，那麼各部份被切割後還存在著所謂的關係嗎？那協調又如何產生？顯然地，面對協調問題，化約論似乎不是剖析真相最理想的一把刀。於是，複雜系統 (complex systems) 的概念被引入；湯偉君、邱美虹（2007）認為複雜系統具有以下特質：(一) 多層次：組成成份異質，有不同層次之分，即系統是由至少兩個以上的次系統 (subsystem) 所組構而成；(二) 突現 (emerging) 與非線性 (nonlinear)：突現意指某現象不可預期的發生，現象的發生是各次系統之間交互作用之結果，因改變是非線性，整體不等同於部份的總和，當部份改變超過一定閾值後便會發生突現，這種非線性難以預測的特質就是「混沌」(chaos)，但混沌並非全然雜亂無章，而是亂中有序，碎形 (fractal) 結構即為一例；(三) 動態的 (dynamic)：隨時間而改變，肇因於次系統之間彼此不斷的交互作用；(四) 自我組織 (self-organization)：系統運作所產生的現象係各次系統間互動後的結果，並無一個主導者控制整個系統運行，而是透過自我組織機制進行運作。舉例來說，颱風形成是由

地球自轉產生的科氏力、空氣特性（氣流、氣溫、氣壓）以及地形等次系統交互作用的結果，從原先的低氣壓氣團忽地產生旺盛對流作用，並形成颱風眼結構，此即為颱風的突現，整個發展過程呈非線性，假若此低壓帶出現於陸地附近之海域，那也可能因為缺乏地形與水氣等條件而無法形成颱風，所以牽涉其中的次系統眾多，是多重因果，也意味著難以預測，無任何單一因子主宰了颱風的生成消失以及強弱、走向，類似現象如冰雹、龍捲風或地震的發生等。

Turvey (1990) 針對 Bernstein's Problem 指出：（一）動作係為分散式的建構 (distributed construction of movements)：協調狀態並非由單一次系統所決定，而是由許多次系統交互作用，以當區權宜 (local expediencies) 的方式產出動作，這個概念否決傳統訊息處理觀點，由中樞神經系統全權負責動作執行之想法，中樞神經僅是眾多次系統之一，無法單獨決定所有動作指令，此觀點正符合複雜系統的多層次特徵；（二）行動計劃之不明確性 (indefiniteness of action plans)：意指執行動作時，所擬的計劃是功能性取向，抽象而不具體，因為不同自由度，亦即不同的肢段組合可達成同一目的，相同自由度也可藉由另一方式達到不同之工作目標；所以個體只需決定某功能性目的，次系統便能依此彈性募集 (softly assemble) 以完成動作目標，此即複雜系統中自我組織的概念；(三) 控制彈簧模式 (spring model of control)：或稱質量－彈簧系統 (mass-spring system) (Tuller, Turvey, & Fitch, 1982)，類似於不明確行動計劃，指稱動作者僅需知悉動作的終點（某一功能性目的），不需在乎起點或一開始的條件為何，也不需任何外在的控制，便能完成動作，在一定彈性限度內，彈簧可自我調節。

動作的產出係個體次系統依某功能性目的彈性招募執行之結果，是故，變異在所難免，Newell and Corcos (1993) 認為動作的變異性 (variability) 不僅存在於生物體之間，個體內也存有變異性，Newell and Slifkin (1998) 認為變異性是個體行為的自然特徵，事實上，沒有兩個動作會是完全一樣，即便機械性工具也是如此，很多時候，動作過程的變異也同時造成動作結果的不穩定，然而動作變異性的增加，不必然使動作表現產生退化（賴世烱、卓俊伶，2000）。過去動作行為相關研究將變異性視為一種噪音 (noise)，常以動作結果之標準差 (standard deviation, SD) 數據作為代表，並期望此變異性盡可能

減到最小，避免干擾實驗數據；實際上，變異可能不僅來自於隨機 (stochastic) 而不具意義的雜訊，更包含決定性的 (deterministic) 特質，亦即混沌的 (chaotic) 結構性變異，此變異具訊息功能，會受某些特定因子影響而產生變化，如速度或施力等，Carlton and Newell (1993) 認為變異性可更精確分為：空間變異、時間變異與力量變異，本研究試圖透過漢字書寫動作變異性說明肢體內協調之現象。

書寫 (handwriting) 是常被使用的動作技能，即便電腦已漸普及，書寫仍被依賴。書寫，如行走，奔跑以至於彈琴等，都是屬於連續地節奏性動作，皆以類似的方式表現整個動作形式，執行動作的肢體不全然是意識控制，而是遵照物理原則，猶如非線性的擺盪器 (non-linear oscillator) (Kelso, Holt, Rubin, & Kugler, 1981)，執筆書寫需要各受動器間複雜的協調 (Latash, Danion, Scholz, Zatsiorsky, & Schöner, 2003)，而受動器間並非各自獨立運作，彼此協同運作形成「連結擺盪器」(coupled oscillator)。Hollerbach (1981) 認為書寫成品可被視為受擺盪限制調整的過程，並提出書寫的擺盪器理論 (oscillation theory of handwriting)，立基於彈簧肌肉模式 (spring muscle model)，垂直擺盪系統決定了字高，水平擺盪系統則藉由相位 (phase) 與振幅 (amplitude) 的調整負責控制字形，並提出字形是否為透過認知系統表徵（如：語言系統）來控制之反思。

Berninger (1994) 認為書寫不單僅是一個純粹的動作技巧，而是一種結合數個認知與動作過程整合的「手寫語言」(language by hand)，儘管在教育領域強調的是關於語文認知能力－亦即寫作時之文章組構品質的部份，仍抹煞不了書寫時運筆動作之必須；Medwell and Wray (2007) 綜整過去相關研究後，提出高度自動化 (automaticity) 的運筆能力有助於提升文章撰寫品質之看法，也顯示出書寫動作之重要性，是故本研究亟欲以動作協調觀點剖析書寫動作如何被表現。

Kugler, Kelso, and Turvey (1980) 試以函數 (function) 的概念，對「協調」(coordination)、「控制」 (control) 與「技能」 (skill) 進行定義，認為「協調」是「限制 (constrain) 潛在自由變項並使之轉變為一行為單位 (behavior unit) 之函數」，這些潛在的自由變項其實就是眾多的組成分子，透過整合，使各變項之間彼此牽制與連動，而不再是單一存在的自由度，換言之，就是將紛雜的自由度減低；「控制」是「協調函數參

數化的過程」，即將協調函數中的各個變項分別賦予某數值，其中可能含括了位移、速度、角度等數值，甚是關於某些認知的成份；而「技能」則是「賦予各個控制變項一個最佳值」，這表示個體能夠以最有效率的方式執行動作以達成目的；這些為數眾多的函數變項，可依其屬性被另分為：必要的與非必要的兩種類別，「必要變項」 (essential variables) 決定了此一協調函數的「拓樸屬性」(topological property)，而「非必要變項」(non-essential variables) 則造成協調函數整體數值上的改變；這兩者之別會隨著情境不同而改變。假若個體如訊息處理觀點所述，是以動作程式引致動作產生，那麼同一個體之慣用手 (dominant hand) 與非慣用手 (non-dominant hand) 動作表現不應有如此大的差異，類似動作卻有著不同的拓樸性質。

Kugler et al. (1980) 認為自由度問題可藉由一個「肌肉連結」 (muscle linkage) 的概念解決，或稱之為「協調架構」(coordinative structure)，也就是將為數眾多的獨立肌肉彼此連結為一組肌肉群，形成一個集合體 (collection)，實際形成協調架構並不一定是實體上真正彼此相連的肌肉，協調架構的產生，其實是來自於各種限制對行動的影響，更精確來說，這種限制扮演某種規範或是引導的作用，透過此機制，個體能將各個或數個次系統透過自我組織機制彼此連結，大量減低自由度。Turvey, Fitch, and Tuller (1982) 提出限制等式 (equation of constraint) ($df = ND - C$；df＝自由度；N＝元素個數；D＝維度；C＝限制)，闡明個體如何藉由限制降低自由度。

Newell (1986) 認為協調受「有機體」 (organism)、「工作」 (task) 與「環境」(environment) 三種限制的影響：(一) 「有機體限制」是存於個體內的限制，亦稱為「個體限制」，是關乎於動作者特徵，依 Kugler et al. (1980) 對於限制之分類，可細分為相對時間獨立 (relatively time independent) 的「結構性限制」 (structural constraint)，如短時間之內變動相對較小的身高、腿長等，以及相對時間相依 (relatively time dependent) 的「功能性限制」 (functional constraint)，如內分泌系統或是突觸連結等。Clark (1995) 提出個體限制不應侷限於個體有形的部份，個體的認知、情緒及心理層面等，都應屬個體限制的一部份，Williams, Davis, and Williams (1999) 也認為有機體限制含括身體、情感及認知三個部份；(二) 「工作限制」反映了活動規則所產生的限制，易於操弄，相較於

環境限制更具有特定性 (Williams et al., 1999)，如工作目標、規則或使用工具等，如書寫速度的要求、使用紙張與筆尖性質等；(三) 「環境限制」是較難操控且多是相對時間獨立的限制，如重力、溫溼度或場地材質等。Clark (1995) 認為環境限制除可見之物理環境外，更應包含社會文化 (socio-cultural) 環境，同一動作在不同文化背景下有不同意涵，同一意念在不同文化背景下可能由不同動作形式所表達，Williams et al. (1999) 認為環境限制係以能量流 (energy flow) 的形式，如聲光透過個體感覺系統傳遞給動作者。這些限制係為可能影響整個系統行為之因子 (factor)，即協調函數中所指稱的「自由變項」，個體最適化協調之產出則來自於個體、工作與環境限制交互作用的結果，然而三者對協調的影響則因情境不同而改變，在一系統中，足以造成系統發生非線性轉換現象之限制因子，稱為「控制參數」 (control parameter)，如速度因子（屬工作限制）即為馬步態轉換之控制參數，是為一必要變項，而整個系統則可藉由一個或數個「次序參數」(order parameter)，亦稱「集合變項」 (collective variables)，來加以描述 (Haken, 1977)，係屬非必要變項；個體藉由三種限制的交互作用，使得各次系統藉由自我組織的機制產生新的動作形式，這種非線性地動作形式轉移 (transition) 常可被觀察到，Beek, Peper, and Stegeman (1995) 提出吸引子 (attractor) 的概念用以說明協調形式的移轉現象，意指某一狀態對於某系統之動態行為穩定性 (stability) 具有吸引力，此系統藉由內在成份與外在條件交互作用以尋求偏好行為模式，吸引井 (well) 深度決定吸引力之大小，常見的動作行為系統中可能具有多重吸引子，依其行為特性可分為：(一) 點吸引子 (point attractor)，單一穩定狀態，如不倒翁即是典型；(二) 週期性吸引子 (periodic attractor)，足夠的時間尺度 (time scale) 下，動態行為具週期性，經固定時間週期後，系統重現同一狀態值，如行星運行；(三) 準週期性吸引子 (quasi-periodic attractor)，類似於週期性吸引子的概念，幾乎但不全相同地再現類似的狀態值，如彗星軌跡因質量較小，較易受外界擾動，呈現出近似但不盡相同的準週期性軌跡；(四) 混沌吸引子 (chaotic attrctor)，或為奇異吸引子 (strange attractor)，非線性、不可預測但穩定，亂中有序。當各次系統持續地隨時間推演，不斷地進行交互作用，系統受擾動而趨於不穩定，原展現的吸引狀態，即某動作形式，會在某一或某些次系統受擾動超過一定閾值後崩解，而使之落入另

一吸引狀態，於是便發生協調形式的轉移 (transition)，亦即動作形式產生改變。

在限制對於書寫動作協調影響之方面，Newell and Van Emmerik (1989) 與 Van Emmerik and Newell (1990) 先後利用書寫與描繪 (draw) 動作探究個體與工作限制對於協調之影響，利用交叉相關統計考驗，以質化與量化方式，說明個體協調形式之轉變，兩實驗結果皆證實了 Newell (1986) 所提出的假說：協調受到個體、工作與環境限制之交互影響。

根據以上相關理論背景與實驗確知，個體、工作與環境限制對協調形式之轉變扮演相當重要的角色。社會文化也是影響個體協調的環境限制之一 (Clark, 1995)，過去研究利用漢字系統作為媒介者仍寡，是故本研究以漢文化特有的書法草書字形為範本，加入今人相對不熟悉的書寫工具－毛筆（墨水筆），藉由書寫者類型、書寫工具與執筆手之操弄，進一步檢證個體與工作限制對書寫動作及各受動器間協調形式之影響。

第二節　研究問題

基於動作協調觀點之理論背景及過去書寫相關議題之研究，本研究提出以下四個研究問題：

(一) 不同書寫者類型是否有不同書寫表現與肢體內協調形式？

(二) 筆尖性質是否影響書寫表現與肢體內協調形式？

(三) 不同執筆手是否造成不同的書寫表現與肢體內協調形式？

(四) 書寫者類型、筆尖性質、執筆手是否交互影響書寫表現，並有不同的肢體內協調形式？

第三節　研究基本假定與限制

本研究係採協調觀點，針對實驗結果進行探究，此一研究手段假定系統之行為是由組成系統 (component systems) 聚合而成，亦即整體之行為是各次系統（此稱之組成系統）互動之結果，此些組成系統會因應功能性需求與情境制約而重組 (Thelen & Ulrich,

1991)。研究者假定：（一）實驗參與者書寫經驗類似，參與者可能採取之書寫策略不影響書寫表現與肢體內協調，並能依實驗要求，以平時書寫動作形式，書寫正確字形，並流暢地完成書寫動作；（二）書寫時指關節造成之腕關節角度變異遠小於實際腕關節擺動造成之變異，故不影響腕關節角度變異值之計算。

受樣本個數相對較少所限，本研究未募集右慣用手迴腕書寫者，並為避免人為強力介入造成之影響，亦無招募左慣用手右手書寫者；受限於攝影設備，書寫時間之計算誤差界於±333ms (30Hz)；書寫長度與書寫平均寬度量測工具最小計至 0.1cm；另外，漢字草書字形甚眾，形貌不一，本研究僅選取其中兩字（水、去）作為探討標的，並非代表漢字草書全體性質。

第四節　名詞解釋

本章節針對動作協調觀點與研究重要名詞與操作型定義作明確的定義與闡釋，包含：一、協調；二、肢體內協調；三、慣用手；四、手慣用性；五、迴腕位置；六、迴腕書寫者以及七、書寫。

一、協調 (coordination)

Bernstein (1967) 認為協調係掌握眾多的自由度，並使之轉變為一個可控系統的過程，個體經凍結自由度、解放自由度與利用反作用力之階段進程，最終達成動作協調之狀態；Kugler, Kelso, and Turvey (1980) 以為協調是限制潛在自由變項並使之轉變為一行為單位之函數。本研究定義協調為個體、環境及工作限制交互作用達成功能性目的之過程。

二、肢體內協調 (intra-limb coordination)

本研究中，肢體內協調係指動作者受個體、環境及工作限制交互作用達成功能性目的之過程，各肢段與各關節間的相對關係。本研究將肢體內協調定義為個體進行書寫時，執筆手各關節位置相對關係以及關節角度變異情形，其中腕關節角度定義為「筆尖－尺

骨莖突－肱外上髁」所形成之夾角、肘關節角度定義為「尺骨莖突－肱外上髁－肩峰」所形成夾角。

三、慣用手 (dominant hand)

慣用手係指個體執行某一手部相關動作時慣以使用之手，如書寫、執拍或丟擲等動作，可能是右手、左手或是兩手皆可；本研究慣用手係指實驗參與者慣於執筆書寫之手，相反地，另一手則定義為非慣用手 (non-dominant hand)。

四、手慣用性 (hand preference or handedness)

Annett (2009) 認為手慣用性是一種會受到基因與社會文化影響的人類生物特徵。手慣用性為個體執行手部相關動作時，使用手的整體趨勢，非僅限於單一手部參與動作；Rigal (1992) 認為判定手慣性應將表現與偏好同時納入考量，擇一採用時應以手部效率測驗 (hand-efficiency test) 為主，傳統慣為採用的問卷法為輔，但此作法較為費時耗力，是故本研究以 Coren (1992) 慣用手問卷中文版作為主要調查依據，依問卷分數由高至低（詳見附錄一）所代表之側化程度，可分為：（一）強右慣用性 (strongly right-handed)：33-36 分、（二）中右慣用性 (moderately right-handed)：29-32 分、（三）弱右慣用性 (weakly right-handed)：25-28 分，以及（四）混合慣用性 (ambidextrous)：24 分、（五）弱左慣用性 (weakly left-handed)：20-23 分、（六）中左慣用性 (moderately left-handed)：16-19 分，與（七）強左慣用性 (strongly left-handed)：12-15 分；另輔以觀察參與者慣用手與非慣用手之實際書寫表現作為篩選方式。

五、迴腕位置 (inverted position)

迴腕位置係為書寫姿勢 (writing posture) 之一種，McKeever (1979) 界定迴腕位置 (inverted position or hooked position) 為執筆手置於書寫行列上方，筆尖(pen point) 朝向書寫頁面底部（如圖 1 所示），反之，書寫執筆手在書寫行列之下，筆尖朝向頁面頂端

（詳如圖 2），則定義為非迴腕位置；Szeligo, Brazier, and Houston (2003) 指出迴腕姿勢在不同手慣用性族群皆被觀察到，但左慣用手族群所佔比率是相對較高的。

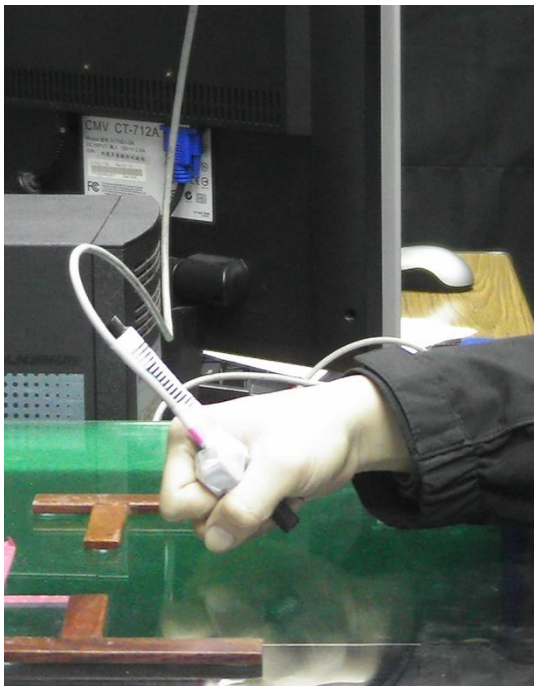


圖 1　迴腕姿勢

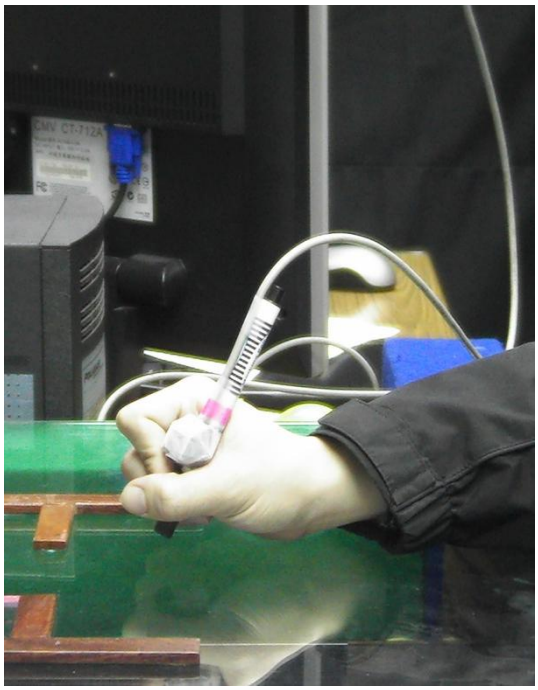


圖 2　非迴腕姿勢

六、迴腕書寫者 (inverter)

採用迴腕姿勢進行書寫之書寫者族群即被定義為迴腕書寫者。本研究之迴腕書寫者定義為直行書寫時，在紙張不偏斜之前提下，採筆尖朝內筆桿朝外姿勢之書寫者－即筆尖朝向書寫頁面底部，反之為非迴腕書寫者(non-inverter)。

七、書寫 (handwriting)

Berninger (1994) 認為書寫不單僅是一種動作技巧，而是一種結合數個認知與動作過程整合的手寫語言；Sassoon, Nimmo-Smith, and Wing (1986) 則認為書寫是手部動作後所保留下來的可見軌跡；Athènes, Sallagoïty, Zanone, and Albaret, (2004) 認為書寫可被定義為語言的可見軌跡 (visible trace)。本研究之書寫係指個體執筆按所提供之範本與指示進行運筆書寫的動作。

第五節　研究重要性

動作協調觀點認為：個體、工作與環境限制交互作用影響動作協調及控制形式(Newell, 1986)，本研究從 Clark (1995) 所提出；環境限制應包含社會文化環境造成的限制之觀點著眼，針對過去相關研究較少觸及之漢字系統、直行書寫以及毛筆此一書寫工具為探討標的，探討個體與工作限制對書寫動作表現之影響，並藉由研究成果，提供寫字、書法教學，甚至是書法創作上之實務應用。

第貳章　文獻探討

基於動作協調觀點之理論背景與欲探知之研究問題，本章將回顧過去有關書寫動作之相關文獻，並以協調觀點對於書寫相關議題進行探討。本章撰寫內容依序如下：第一節、類書寫動作相關文獻；第二節、書寫動作之非線性特質與變異性；第三節、書寫表現的測量；第四節，書寫動作之個體限制與工作限制；第五節，文獻小結；及第六節，假說。

第一節　類書寫動作相關文獻

Sassoon et al. (1986) 認為書寫是手部動作後所保留下來的可見軌跡，然而這樣的定義似乎不夠周全，因為同樣的敘述也完全適用於描繪動作之界定。類書寫動作 (handwriting-like movement) 係指書寫的樣本 (sample) 並非隸屬於任一現存語言系統之單字，而是藉由劃線或幾何圖形，如圓形、橢圓形的繪製等，類推書寫動作可能發生之情形，是故在書寫動作研究上具有一定參考價值。

利用繪製動作，Van Emmerik and Newell (1990) 操弄手慣用性、書寫平面傾角與圓直徑尺寸，探討個體限制與工作限制對於肢體內協調與筆尖運動學參數之影響，結果發現肢段連結 (limb linkages) 的相關程度隨著圓直徑的增大及書寫平面方向由水平到垂直之過程而遞增，當工作限制加諸於系統中，儘管肢段內拓樸特徵 (topological features) 產生了系統性地改變，筆尖的運動學拓樸特徵卻未發生改變，這顯示個體以不同之自由度達成相同之工作目標，並提出系統中的變 (transitions) 與不變 (invariances) 是系統以工作限制為函數尋求最具效率執行動作之結果。

Meulenbroek and Thomassen (1991) 設計三個實驗檢證促成書寫動作之兩個獨立空間參照系統 (independent spatial reference system)，其一為有利於斜線書寫之手與臂解剖系統 (anatomical system)，另一為製造水平與垂直線條之幾何系統 (geometrical system)；實驗參與者被要求在不同方向上重複進行前後劃線動作，實驗一發現水平方向線條的變異程度顯著大於其他方向，可能肇因於水平方向需要手與指兩次系統不一致的協調

(incongruent coordination)，收縮伸展彼此拮抗；實驗二指出當手臂位置改變時，會影響參與者斜線方向的繪製動作，亦即解剖系統隨情境之轉換而產生改變，而幾何系統則未受到影響，這表示幾何系統可能依賴於知覺系統而非動作系統；第三個實驗發現當動作形態與幅度改變時，以及當缺乏視覺控制時，皆影響了描劃方向偏好的選擇，更證實了解剖系統與幾何系統的確有別，必須加以區分。

以右慣用手非迴腕、左慣用手迴腕 (left-handed inverter) 和左慣用手非迴腕 (left-handed non-inverter) 三種書寫者類型為研究之組別變項，Meulenbroek and Thomassen (1992) 操弄手臂位置，利用同於先前研究之實驗流程進行分析，結果顯示書寫者類型與手臂置放位置效果達顯著，兩者有交互作用，表示有多個參照系統牽涉於動作方向之控制，此篇研究也證實過去研究之發現，手、臂解剖系統導致斜線書寫方向，幾何系統則涉入水平線與垂直線的描劃，此外，研究結果也支持許多左慣手所採用之迴腕姿勢乃是生物力學因素使然之觀點，此姿勢有利於左慣用手書寫者書寫右斜向筆跡 (rightward-slanted script)。

Athènes et al. (2004) 與 Sallagoïty, Athènes, Zanone, and Albaret (2004) 的兩個研究利用相同測驗方法：相對相位掃描 (scan of relative phase, RP) 與相對振幅掃描 (scan of relative amplitude, RA)，結合順時鐘方向與逆時鐘方向的描劃，計算時間誤差 (temporal error)，用以檢證非線性連結擺盪器之假說，結果 Athènes et al. (2004) 發現僅有部份描劃形狀是自發 (spontaneous) 而穩定的形式，這也證實吸引子可能不是單一一種形式；進一步地，Sallagoïty et.al. (2004) 研究中加入了執筆手肢段（慣用手、非慣用手）以及繪製速度（自發速度、高速度）之操弄，發現隨著工作難度的提高，個體描劃之表現也發生改變，許多穩定的形式在高速度情境下有退化之現象，非慣用手與慣用手執筆描繪也有類似效應，同樣證實了非線性連結擺盪器之假說。

Dounskaia, Gemmert, and Stelmach (2000) 以劃圓 (circle-drawing) 及四種不同受動器結合方式之劃線 (line-drawing) 工作作為實驗任務，其中劃線工含括：（一）僅使用手腕、（二）僅使用手指、（三）由腕－指同步收縮或伸展組成之相同形式 (equivalent pattern)，以及（四）腕收縮伴隨指伸展或指收縮伴隨腕伸展之非相同形式 (non-equivalent

pattern)，共四種結合形式；兩種工作皆被要求在不同速度等級上執行，從慢到最快共計四個層級；工作的執行可視為生物力學限制 (biomechanical constraint) 與工作限制的結合，藉此觀察右慣用手書寫者隨工作難度的增加，對於其在不同工作要求下之表現造成怎樣的影響；結果發現，相同形式與僅使用手腕及僅使用手指之表現相當類似，非相同形式在最快速度之工作要求下，變動性較大且速度也相對較慢；且在此情境下執行劃圓工作，所呈現之軌跡係為傾斜橢圓形 (tilted oval)，這表示工作要求造成之擾動，致使筆跡拓樸特徵產生改變，可以推測動作的形式也發生了質變；然而，對於其將手腕及手指各自視為單一自由度之次系統，立論參與者在指腕相同形式情境下，並未展現出自由度降低之趨勢，則尚需進一步驗證，因單從力學自由度而言，手指次系統所涵蓋自由度應遠遠在手腕次系統之上，絕非為單一自由度，此看法也可藉由比較兩次系統之表現而可推知一二。

第二節　書寫動作之非線性特質與變異性

近年來，隨著分析技術與設備漸為成熟，手寫板、相關軟體以及演算法的發展與應用，引發數篇以非線性混沌特質剖析書寫動作過程或其成品之研究；除此之外，Teulings (1996) 回顧過去相關研究，系統化地將書寫動作控制模型類分為宏觀 (macroscopic)、微觀 (microscopic) 以及計算 (computational) 模型三大面向，對於瞭解書寫動作控制有很大助益，前述 Hollerbach (1981) 根據彈簧肌肉模式所提出書寫的擺盪器理論也列屬其一，惟涉及內容廣泛，故本章節僅就書寫的非線性渾沌特質以及書寫變異性之相關研究進行介紹。

書寫品質常藉由對於靜態、離線的 (off-line) 輸出結果，以主觀或形式識別 (pattern recognition) 之方式來加以評量，精熟表現多以辨識性或最小之空間變異性表達，但對於動態書寫過程本身，此評價方式所能獲取的訊息甚寡；Longstaff and Heath (1997) 提出上述之批判，並投入空間與運動學相關性之研究；此研究募集 18 位參與者，要求以書寫體書寫 (cursive writing) 一字母彼此連接（不需提筆離開紙面）之假字－“madronal”，

相關之運動學參數透過手寫板採集，統計分析結果顯示，精熟書寫者展現較佳的時間一致性，換言之，空間的不一致（較差識辨性）與動態變動性相關，此研究成果也提供了一個用以評估書寫品質之量化手段。

Longstaff and Heath (1999) 另以多種非線性分析演算法，如最大李亞普諾夫指數 (largest Lyapunov exponent)、關聯維度 (correlation dimension) 等檢驗書寫之時間特徵 (temporal characteristics)，參與者被要求執行同於過去研究所採用之工作任務，是以在不需提筆之情況下，動作過程之運動學參數皆得以被記錄，分析水平方向與垂直方向速度曲線剖面，顯示為混沌的，亦即具有決定性特質，書寫係為混沌動態過程 (chaotic dynamic process) 之產物，系統最初狀態決定於環境以及生物力學背景，隨著時間推展，系統狀態可能呈現極大的轉變，此即為「蝴蝶效應」(butterfly effect)，類似的混沌特質也在其他研究中被發現。

Dooijes and Struzik (1994) 研究中指出，以書寫體進行書寫時，在環狀 (loop) 字形中展現了碎形幾何特質；Fernandes and Chau (2008) 使用握力量測工具測量參與者進行繪製與書寫動作兩種工作任務時之橈骨力度 (radial force)，其中，描繪動作包含在不同速度下劃出不同半徑大小的圓，以及跟隨節拍器同步劃圓，研究目的在於藉由實證性資料描述書寫筆跡之變異性，以期能夠發展出解釋書寫
速度與品質之理論；研究發現在繪製週期 (drawing period) 與執筆握力 (grip force) 方面皆顯示具有碎形之特質，進一步檢視分析結果指出，控制書寫速度與執筆握力之變異係為彼此獨立之過程，此外，在執行書寫工作任務時，執筆握力也展現碎形特性 (fractal properties)。

書寫形式 (handwriting patterns) 存有變異性，Djioua and Plamondon (2009) 整合動作控制背景與個人數位助理 (personal digital assistant, PDA) 或智慧型手機 (smartphone) 書寫辨識器 (recognizers) 之觀點，應用運動學理論 (kinematic theory) 進行研究，認為動作變異主要來自於肌肉神經系統 (neuromuscular system, NMS) 以及排定 (scheduling) 動作任務 (motor task) 之中樞神經系統 (central nervous system, CNS) 所引起的整體性與區域性波動，結果發現受試者能自發地製造尺寸改變而不顯著地影響書寫時之速度剖

面時宜，亦即單改變振福而未影響動作相對時宜，此外，當參與者改變書寫整體方向時，發現速度剖面亦未受嚴重之影響；從協調觀點觀之，或許只是因為改變幅度所造成之擾動尚未超過某一閾值，是故個體仍得以相同之協調架構執行動作，所觀察到的速度剖面也極為雷同。

綜觀以上研究，部份研究者以非線性分析演算法作為研究手段，闡明書寫動作之混沌特質，部份研究則量測書寫過程之力學或運動學作為依變項，探究書寫之變異性與非線性特質，下一節將針對書寫表現的測量進行歸類與討論。

第三節　書寫表現的測量

藉由書寫的測驗 (test) 與測量 (measurement)，可用以評量 (evaluation) 個體書寫表現；測驗係指能夠提供系統化觀察，一種具特定工具或程序之資料收集技術，測量則為根據某些規則，針對標的物體、個體或事件本質賦予數字的過程，評量是利用測量所得數據與預先決定標準進行比較的過程。Tucha, Tucha, and Lange, (2008) 明確點出 Medwell et al. (2007) 暗示性地藉由批評書寫測驗僅聚焦於書寫的整潔性 (neatness)，忽略書寫速度的重要性，所提出書寫測量的兩種手段:結果取向 (product-oriented) 與過程取向 (process-oriented)，兩者之別在於時間向度的考量與否，各有優勢與缺點，相關測量方式分述如下。

一、結果取向

相對時間獨立之測量取向，測量參與者書寫結果，如識辨性 (legibility)，由數位具相關專業能力評分者對書寫結果進行評分，同時考驗評分者間信度與再測信度，以確保評分之可信度；計算一段時間內書寫總字數作為書寫速度指標，或量測筆觸之尺寸大小 (stroke size) 等 (例：Graham & Berninger, 1998; Graham, Weintraub, Berninger, & Schafer, 1998; Summers & Catarro, 2003; Van Gemmert, Teulings, & Stelmach, 2001)。結果取向關注於書寫的筆跡，優點在於符合一般對於書寫表現之定義，但因缺乏時間向度的考量，

根據 Fitts' Law 闡述之速度－準確度交換 (speed-accuracy trade-off) 現象 (Fitts, 1954)，優質表現可能來自於大量時間的投注，也意味著書寫缺乏效率。

二、過程取向

不同於相對時間獨立之結果取向的量測，此一研究典範係於參與者進行書寫的過程中進行測量，如書寫時的筆壓、速度、加速度，或在書寫同一樣本之條件下，記錄書寫所需時間作為書寫速度指標等（例：Tankle & Heilman, 1983; Meulenbroek & Van Galen, 1989; Van Gemmert, Teulings, & Stelmach, 2001）。此外，Tucha et al. (2007) 提出以速度剖面倒轉數 (number of inversions in the velocity profile, NIV) 作為評量書寫動作自動化指標，並回顧一系列相關應用之文章，其指出書寫動作愈流暢（不必然代表動作速度很快），NIV 值愈小，表示書寫動作愈精熟，速度剖面圖呈鐘形 (bell-shaped) 的圓滑進程 (smooth course)，同樣地概念也可應用在加速度剖面圖上，配合手寫板與相關軟體進行分析，係為書寫動作研究之新典範（例：Jasper, Häubler, Marquardt, & Hermsdorfer, 2009; Tucha, Aschenbrenner, & Lange, 2000）。過程取向關注於書寫過程，優點係為對於動作本身有較佳的解讀能力，是動態的描述，而其缺失則在於忽略了空間準確度的考量，亂而章法的筆跡或許在動作上很流暢，但若要認定此為優質的動作表現，恐怕是不太具有說服力。

動作行為學研究常藉由各種不同之書寫表現，推測心理動作 (psychomotor)的特徵，以下小節採用限制觀點，討論個體限制與工作限制之於書寫動作表現的影響。

第四節　書寫動作之個體限制與工作限制

Newell (1986) 將限制進一步細分為個體、環境與工作限制，乃種類之別，事實上，限制之間彼此交互作用，換言之，三者是緊密結合而難以分割的，在許多研究中也發現，不同書寫者族群與工作任務間常有交互作用之情形，而環境變項雖會影響動作協調形式的產出，但其屬於較難操弄之因子，過去研究中較少論及，是故本章節僅針對可能影響

書寫動作之個體與工作限制進行探討。

在教育學領域，相關文獻指出年齡、教育程度、手慣用性，甚至是性別等都可能會影響書寫之表現（例：Graham et al., 1998a; Graham et al., 1998b）；而在職能治療、神經學甚至是行為學範疇，亦有文獻指出某些疾病，如帕金森氏症、多重硬化症或書寫障礙等，也會對精細動作肢段協調或書寫字跡表現造成相當程度影響（例：Teuling, Contreras-Vadal, Stelmach, & Adler, 1997; Van Gemmert, 2001; Longstaff & Heath, 2003; Kushki, Schwellnus, Ilyas, & Chau, 2011），這些影響因子都可被視為一種個體限制。以下針對「教育學與人因工程學領域」、「手慣用性與迴腕、非迴腕書寫者」以及「左右手書寫與鏡像書寫」之個體與工作限制相關研究進行探討。

一、教育學與人因工程學領域

在教育學領域，Chartrel and Vinter (2008) 將年齡介於 5 到 8 歲之 100 名右慣用手參與者依學校年級分為三組，要求在四種情境下進行字母抄寫工作，包含一般情境、時間限制情境（最快書寫速度）、空間限制情境（準確地在行間書寫）以及時間－空間限制情境（以最快速度準確地在行間書寫），結果發現年紀相對較長之幼兒族群有較佳的書寫速度與流暢度，且透過書寫表現的改變可推測，時間空間之雙重限制引致年歲最小之書寫者族群更多書寫動作的調整；然而，研究中各組年齡差距實在有限，又處於習字之初，書寫表現不穩定，書寫經驗也會造成相當大的影響，這種分組方式與比較結果似乎不具太大意義。

在人因工程研究領域，Chan and Lee (2005) 以中文書寫為探討標的，操弄用筆類型（鉛筆、人因設計原子筆）、紙質（上膠與否）、書寫平面角度（水平、15 度傾角）以及行距空間（3mm、5mm、無行列），並以九點量尺調查參與者主觀偏好，以多因子變異數分析比較書寫速度異同，結果發現書寫於未上膠紙質以及 3mm 行距寬度兩種情境下有較快的書寫速度，但在主觀評分上，較寬的行距或無行距限制是較受喜愛的，這種衝突恐怕是來自書寫速度量測是以書寫時間為指標，雖已考量筆劃數對書寫時間造成的影響，預先將資料標準化再進行統計考驗分析，然而其未考慮筆劃長短有別，彼此差異

甚大，標準化方式並未能真實反應出實際運筆之速度，或許應以實際總書寫軌跡長度除以書寫時間作為速度指標。

數年後，Chan and So (2009) 利用不同的統計分析方式，針對不同年齡層華人之中文書寫表現進行探究，包括國小學童（6-11 歲）、大學生（20-23 歲）與老年人（65-70 歲）三組，每組 20 名，男女各半，採一般估計方程式 (generalized estimating equations, GEE) 與複合邊際回歸模式 (multiple marginal regression model)分析各組在：(1) 不同書寫平面角度（水平或呈 15 度斜角）；(2) 書寫方向（水平或垂直方向）；(3) 行距空間（5mm、7mm 以及無行列）情境下之書寫速度，另使用九點量尺調查參與者在各情境之主觀偏好，發現一如 Chan and Lee (2005) 研究中所觀察到的現象，參與者在行距空間偏好與書寫速度表現之間有所衝突，推測原因如前所述，此外，實驗中也發現不同參與者族群有其最合適之書寫情境組合，顯示書寫動作效率同時受到個體與工作限制之影響。

二、手慣用性與迴腕、非迴腕書寫者

Peters and McGrory (1987) 以四種書寫者類型，包含不同手慣性（左慣用手、右慣用手）與書寫姿勢（迴腕、非迴腕）作為實驗參加者，比較四組書寫表現，結果顯示迴腕書寫者使用慣用手書寫時，書寫速度與非迴腕書寫者相等，但當使用非慣用手書寫時，迴腕書寫者相較於非迴腕書寫者有較佳的書寫速率。

Meulenbroek et al. (1989) 研究中共計招募 10 名右慣用手書寫者、10 名左慣用手迴腕書寫者以及 7 名左慣用手非迴腕書寫者，使用高達 12 項之多的工作任務，比較其書寫速度、流暢性、筆壓、上下筆跡方向與提筆次數和距離之差異，結果顯示手慣用性與書寫姿勢會輕微影響筆跡方向，女性參與者展現較小的筆壓與較慢的書寫速度，當非迴腕左慣用手書寫者 (non-inverted lefthander) 執行由左至右之書寫動作時，提筆次數與距離大於其他兩組，此外，書寫寬度也略窄於右慣用手與左慣用手迴腕書寫者，此結果意味著，許多左慣用手書寫者所採用的迴腕姿勢係為因應書寫工作之要求－由左到右的書寫形式，即受此一工作限制之影響，致使個體採取功能性調整 (functional adaption)，遂產生迴腕之動作形式。

同樣與 Meulenbroek et al. (1989) 研究中所募集的參與者類型為研究對象，Szeligo et al. (2003) 操弄書寫角度與書寫工作類型，量測正上方俯拍之執筆角度為依變項，以混合設計三因子變異數分析，針對適應假說 (adaption hypothesis)：「迴腕書寫姿勢是左慣用手族群為因應書寫工作限制而所採取之功能性調整」進行檢證，並利用問卷調查手慣用性與執筆姿勢的介入情形，如介入者、介入時期以及改變執筆手或執筆姿勢之個人意願；結果部份證據支持調整假說，經由問卷調查顯示部分未使用迴腕姿勢之左慣用手書寫者係肇因於人為的介入，如父母師長要求以標準姿勢（非迴腕姿勢）進行書寫。

三、左右手書寫與鏡像書寫

Tankle and Heilman (1983) 首先針對不同慣用手族群之鏡像書寫 (mirror writing) 能力進行實驗探討，此一研究課題引發許多學者的關注，並啟發後續之研究，實際上，鏡像書寫也是種工作限制，研究發現在書寫時間之比較發現，左慣用手族群不論在使用慣用手或非慣用手都較右慣用手族群為短；在慣用手一般書寫(normal writing) 情境，發現在書寫時間上，兩組並無顯著差異；在鏡像書寫錯誤率 (error rate) 方面，使用慣用手書寫時，左慣用手族群錯誤發生率低於右慣用手族群；使用非慣用手時，右慣用手族群（左手書寫）有較佳的表現，換言之，不論哪一慣用手書寫族群，當使用左手進行鏡像書寫時有較低的錯誤率；結果顯示，左慣用手族群相較於右慣用手族群有較佳的鏡像書寫能力。其提出了三個假說以說明實驗之結果：(一) 空間偏好假說 (spatial bias hypothesis)：左慣用手族群相較於右慣用手族群有較佳能力克服平時的書寫方向性（由左至右），並將之遷移至鏡像書寫（由右至左）之工作，以協調觀點來看，此優勢可能來自於左慣用手族群可能存有較多相對高技能階段之協調架構，因而更能應付陌生的鏡像書寫工作；(二) 鏡像假說 (mirror-engram hypothesis)：右半腦含括了文字鏡像，左慣用手書寫者可以直接使用既存之印象，因此，無論哪一慣用手族群使用左手進行鏡像書寫時，皆有較低的錯誤率 (Orton, 1928)，推論此與個體儲存文字表徵系統之腦半球部位有所關聯，可視為個體限制所造成之效應；(三) 動作假說 (motor hypothesis)：遠離身體軀幹之動作相較於朝向身體之動作較為準確，使用慣用手鏡像書寫時，左慣用手族群之

運筆動作是遠離身體的，相反地，右慣用手族群運筆動作則是朝向身體，是故不論手慣用性為何，使用左手進行鏡像書寫的錯誤率會比較低 (Brown, Knauft, & Rosenbaum, 1948)，這也就是說，以執行動作而言，以左手進行鏡像書寫是較具吸引力的；然而不同實驗工作任務如此類推，是否有過度推論之嫌？運筆動作係朝向或遠離身體又該如何定義？可能又涉及起筆位置與書寫者之相對關係、書寫者書寫姿勢，甚至是書寫姿勢之界定方式等外在變項所影響。Vaid and Stiles-Davis (1989) 重新檢視 Tankle and Heilman (1983) 之研究，修正並複製了先前之實驗，但研究結果並不支持「左慣用手族群之鏡像書寫能力上優於右慣用手族群」。

Yang (1997) 使用漢字作為探究鏡像書寫之媒介，結果發現右慣用手族群使用左手進行鏡像書寫時，相較於使用右手書寫時有較低的錯誤率；據此，Yang 認為最佳的說明機制應是鏡像假說。

以 NIV 作為依變項，Tucha et. al. (2000) 探討不同手慣用性族群鏡像書寫之表現，此研究除左慣用手與右慣用手書寫者之外，還加入了左慣用手右手書寫者之族群；結果發現在慣用手一般書寫情境與非慣用手鏡像書寫情境，組間表現並無達到顯著差異；在慣用手鏡像書寫情境與非慣用手一般書寫情境，左慣用手以及左慣用手右手書寫族群皆顯著優於右慣用手族群，此研究傾向於支持空間阻礙假說。

Newell and Van Emmerik (1989) 認為技能學習 (skill learning) 是加諸限制於在達成工作目標前提下之個體與環境間的交互作用，取得一組穩定，也可能是最理想的身體肢段拓樸特徵 (topological characteristics)；研究中，透過多達 1000 次的大量練習，以動態系統觀點探討不同手慣用性參與者非慣用手之技能學習，並利用成對交叉相關 (paired cross-correlation) 之統計方法檢證各肢段間位移的相關程度，結果發現當右慣手書寫者 (right-hander) 以非慣用手書寫時，其動作形式有別於使用慣用手書寫之形式，傾向於鎖定末端 (distal) 肢段關節，利用近端 (proximal) 關節進行書寫，換言之，當被要求使用非慣用手書寫之工作限制被加入後，參與者凍結部份自由度以達成工作目的，但在左慣用手書寫者 (left-hander) 則無類似現象，顯示不同的個體特質，如使用非慣用手之動作經驗，的確對動作形式造成影響，是為一種個體限制。

第五節　文獻小結

縱觀上述相關研究，個體限制與工作限制的確交互影響著書寫表現，然而在漢字書寫方面之相關研究仍是較缺乏的，尤其在直行書寫表現部分，此外，部份研究雖使用筆壓作為依變項，但少見有筆壓與書寫表現，如識辨性或書寫速度、流暢度等變項之關係探討，推測其因，相關研究常以書寫板使用之觸控筆、鉛筆或原子筆等硬筆作為書寫用具，其對於書寫平面的不同施力，或許會影響書寫過程之速度或流暢度，但並不會造成書寫成品太大影響，也就是說，單就個體可覺察的部分，亦為絕大多數教育從業人員關注的書寫成品識辨性，筆壓並非影響表現之關鍵，是故本研究以漢字連筆直行書寫為工作任務，加入書寫用具筆尖性質之操弄，藉由對於筆壓較為敏感之毛筆（墨水筆），觀察書寫工具對於書寫表現與個體協調之影響。

第六節　假說

依據相關理論背景架構與文獻探討，個體會因應有機體限制、工作與環境限制，致使動作形式產生改變，針對前述之研究問題提出以下假說：

(一) 在一般書寫情境（慣用手執硬筆書寫），右慣用手書寫者每秒書寫範圍較左慣用手迴腕書寫者與左慣用手非迴腕書寫者大，左慣用手書寫者之間則無顯著差別，各組在關節位置會有不同相關程度以及不同之關節角度變異。

(二) 使用軟筆（墨水筆）書寫時每秒書寫範圍較小，改變書寫工具之筆尖性質，個體會有不同的關節位置相關程度以及相異的關節角度變異。

(三) 慣用手執筆書寫時每秒書寫範圍較大，不同執筆手有不同的關節位置相關程度以及相異的關節角度變異。

(四) 書寫者類型、筆尖性質與執筆手會交互影響書寫表現，並有不同的肢體協調形式。

第參章　研究方法

本研究基於協調觀點，操弄不同書寫者類型、書寫工具筆尖性質與執筆手，觀察書寫表現與書寫時之肢體內協調形式，探討個體限制與工作限制對於書寫動作之影響。本章含括以下小節：第一節、實驗參與者；第二節、實驗器材；第三節、實驗場地佈置；第四節、實驗設計與工作；第五節、實驗流程；第六節、資料處理與分析。

第一節　實驗參與者

本實驗招募 34 名健康成人，學歷大專以上，無讀寫困難，依手慣性與書寫姿勢分為：(1) 第一組：右慣用手非迴腕書寫者 12 名（6 男 6 女），平均年齡 23.01 ± 2.54 歲，慣用手問卷分數 35.92 ± .29 分，屬強右慣用性；(2) 第二組：左慣用手非迴腕書寫者 12 名（4 男 8 女），平均年齡 22.27 ± 3.03 歲，慣用手問卷分數 13.92 ± 3.12 分，屬強左慣用性；與 (3) 第三組：左慣用手迴腕書寫者 12 名（6 男 6 女），平均年齡 21.58 ± 2.12 歲，慣用手問卷分數 15.33 ± 4.01 分，介於強左慣用性與中等左慣用性；右慣用手迴腕書寫者因樣本數較少，故未募集該類型書寫者，參與者手慣性與書寫姿勢皆未經強力之人為介入而改變者，即無左慣用手右手書寫者，或原為迴腕姿勢改為非迴腕姿勢之書寫者，且無長期接受書法相關專業訓練，熟悉草書字形或精熟日文書寫等因素之可能影響其書寫表現者，並於實驗開始前填寫慣用手問卷 (Coren, 1992) 及實驗參與同意書，並藉由實際書寫動作確認書寫姿勢。

第二節　實驗器材

為量測個體在工作限制下，各肢段執行書寫動作之動態變化與書寫表現，使用以下器材：（一）練習描本、書寫範本與書寫紙張：練習描本提供字形予參與者進行練習，每字大小為 2cm x 2cm（不標示，參與者不知實際大小），為單字以及兩字與七字連寫之字形；範本為五字連寫字形，置放於執筆手反側，供正式試作參照；書寫紙張與書寫範本大小皆為對半 A4 描圖紙，中軸印有 20cm 虛線作為書寫基準線；（二）透明玻璃板，

為書寫平面；（三） A4 壓克力板，用以黏附書寫紙張；（四）印矩，固定於書寫平面，用以固定壓克力板；（五）奇異筆與墨水筆各一支，為書寫工具；（六）數位攝影機（廠牌：JVC）與腳架兩組，其一係為拍攝書寫過程所用，監控書寫者是否有停頓或筆畫錯誤之情形；另一組攝影器材則架設於書寫平面左側 90 度角之位置，用以觀察書寫姿勢；（七）電視盒（廣寰 1680 電視盒）與液晶螢幕：電視盒用以轉換影像訊號，並透過液晶螢幕以監控書寫過程。（八）肩關節、肘關節與腕關節護具（廠牌：LP）各二，並車縫魔鬼氈以黏貼感應器；（九）六自由度磁力追蹤儀 (Polhemus LIBERTY)，含半徑一米接收範圍之接收器以及六個感應器，訊號頻率為 240Hz，接收器黏附於書寫平面上，置於書寫紙張前方，兩感應器以透明膠帶黏附於兩書寫工具之筆桿底端（距筆尖 3.5cm），另外三個感應器分別以魔鬼氈固定於執筆手之尺骨莖突、肱外上髁、肩峰，最後一個感應器則用以標記起筆時間；（十）窗簾滑軌與滑輪，用以拉載感應器線路；（十一）大型腳架兩具，用以支撐窗簾滑軌，滑軌高度約 180cm；（十二）桌上型電腦一台，與六自由度磁力追蹤儀連線，所收集資料由 MotionMonitor 軟體進行紀錄。

第三節　實驗場地佈置

參與者於單純背景環境下書寫，書寫平面為厚約 0.3cm 之透明玻璃板，為避免磁力追蹤儀訊號受到干擾，玻璃板架設於 10cm 高，外層包覆絨布之木條上，並以魔鬼氈固定，避免滑動，其上黏貼定位用印矩兩個，用以置放黏附書寫用紙之 A4 壓克力板，六自由度磁力追蹤儀主機、桌上型電腦以及監控用螢幕置於參與者右方桌面，六自由度磁力追蹤儀接收器置於參與者前方，數位攝影機固定於腳架，置於書寫平面前下方進行拍攝，並藉由電視盒將影像訊號輸出至螢幕以監控整個書寫過程，場地佈置圖如圖 3 至 6 所示。

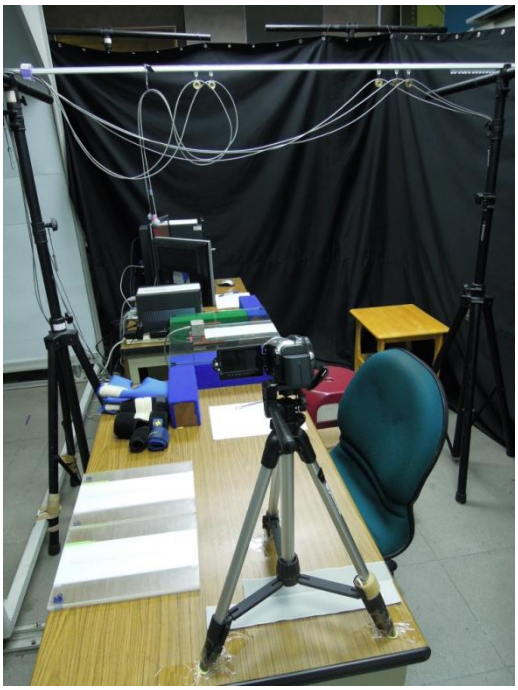


圖 3　場地佈置圖-1

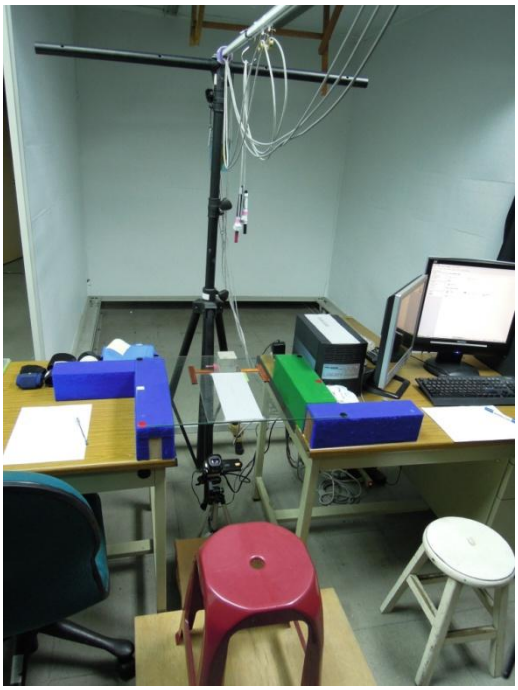


圖 4　場地佈置圖-2

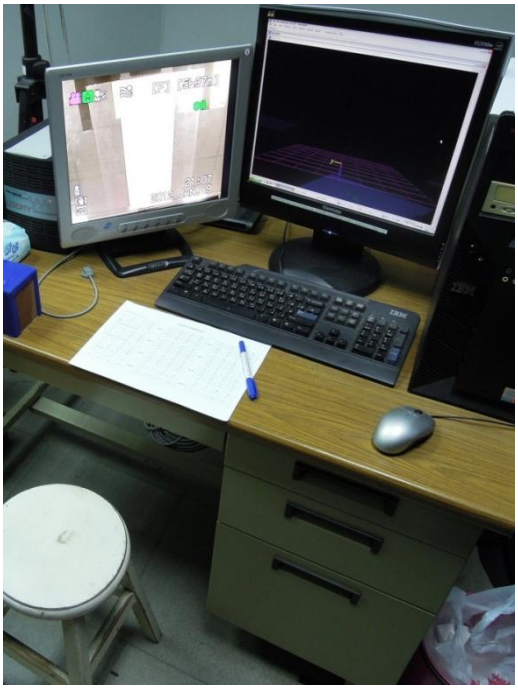


圖 5　場地佈置圖-3

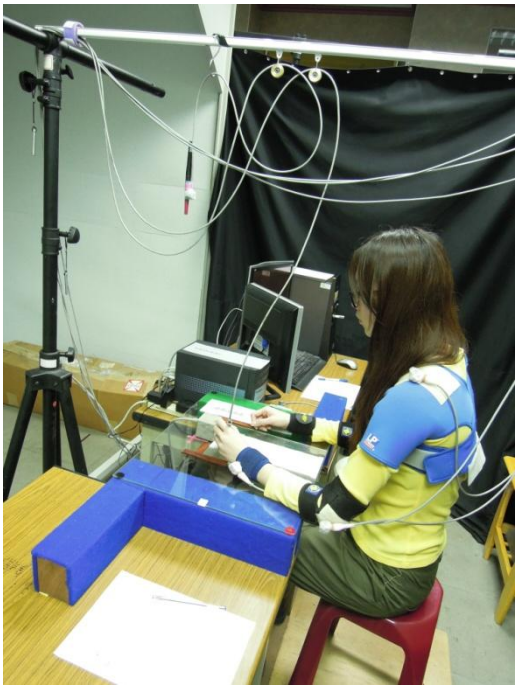


圖 6　場地佈置圖-4

第四節　實驗設計與工作

本研究操弄之獨立變項為書寫者類型，包含右慣用手非迴腕書寫者、左慣用手非迴腕書寫者及左慣用手迴腕書寫者；操弄之相依變項分別為：(一) 書寫工具筆尖性質：

硬筆（奇異筆）及軟筆（墨水筆）;（二）執筆手：慣用手與非慣用手。

參與者被要求在上述相依自變項交互組合之四種情境（慣用手硬筆書寫、慣用手軟筆書寫、非慣用手硬筆書寫、非慣用手軟筆書寫），在能夠確切掌握基本字形之前提下，於書寫紙張之書寫基準線上，盡可能以接近平常之速度舒適而流暢地進行連筆書寫，書寫時不可超出所劃定之虛線範圍，書寫錯誤或未達工作要求時必須進行補寫，此外，若斷筆位置影響之資料分析時，亦須進行補寫。書寫材料為「水、去」兩漢字草書字形，字形大小約略等同於書寫範本 (2cm x 2cm)，同一字由上而下連筆書寫五次，書寫期間筆尖盡可能不提離紙面直至完成書寫，每一情境書寫三次，總試作次數為 24 次（2 字 x 4 情境 x 3 試作），各情境試作次序採亂數安排，每書寫四次即換手進行書寫，各組一半之參與者由慣用手開始書寫，另一半參與者則由非慣用手開始書寫，每 4 次試作休息一分鐘；檢證書寫表現之依變項為：（一）每秒書寫範圍與（二）失敗試作次數；肢體內協調形式改變與否所考驗之依變項為：（一）各關節位置交叉相關係數，以及（二）關節角度變異，不同字之間分別進行分析。

第五節　實驗流程

本實驗進行流程如下所述：（一）確認參與者是否符合招募相關條件，並進行書寫姿勢之判定;（二）請參與者填寫慣用手問卷（附錄一），由實驗者說明實驗工作要求，介紹實驗器材、流程並告之相關注意事項，確認實驗參與者已知悉其權力與實驗相關事項後，請其仔細閱讀簽署「參與者須知暨實驗同意書」（附錄二）並填寫相關資料;（三）明確指出黏貼感應器之關節點位置（左手與右手之尺骨莖突、肱外上髁與肩峰，共計六個點），請參與者於接下來之練習與正式試作中，協助確認各關節點位置，並由實驗者協助參與者穿戴護具;（四）將感應器黏附於正式試作首先執筆之手，開始進行練習，利用練習描本，先以硬筆進行單字描寫一次，兩字連筆描寫練習一次以熟悉字形，若此為參與者之慣用手，則另進行七字連筆書寫練習一次，完成後改以墨水筆進行單字與兩字書寫練習各一次，若此為參與者之非慣用手，則另進行七字連筆描寫練習一次；完成

後將感應器黏貼至另一手，重複前述練習步驟，練習範本詳見附錄三與附錄四；（五）說明正式實驗之工作說明與注意事項，依預先排定之亂數表安排試作情境次序，參與者須聽從實驗者口令進行試作，實驗者於每次試作前先讀誦該次試作之情境與排序（例：「右手硬筆書寫第二個字，第七次試作預備……開始」)，參與者聽到「開始」後，採自我配速方式進行書寫，每完成 4 次成功試作後休息一分鐘，並將感應器換至另一手進行書寫，如此重複直到完成所有試作。

第六節　資料處理與分析

本節分為資料處理與統計考驗兩部份，詳細計算方式與處理流程分述如下：

一、資料處理

（一）書寫長度：書寫字跡於書寫紙張中軸基準線所涵蓋之直線距離。

（二）書寫平均寬度：每字最大寬度加總後除以總字數（五字)。

（三）書寫面積：書寫長度乘以書寫平均寬度即為書寫面積。

（四）書寫時間：利用六自由度磁力追蹤儀標記之時間點與停筆時間點進行分析，計算從下筆至完成書寫所耗時間。

（五）每秒書寫面積：書寫長度乘以書寫平均寬度再除以書寫時間。

（六）失敗試作次數：僅針對書寫字形錯誤之情形進行計次，其餘如連筆字數錯誤及書寫發生停頓之試作亦為失敗試作，須重新進行書寫，失敗試作中所擷取之運動學資料不納入肢體內協調的分析之中。

（七）關節角度之量測：手指前端（筆尖－尺骨莖突）與前臂（尺骨莖突－肱外上髁）所形成之夾角為腕關節角度、肘關節角度定義為前臂（尺骨莖突－肱外上髁）與上臂（肱外上髁－肩峰）所形成之夾角，考驗腕關節與肘關節角度變異（標準差）作為肢體內協調之指標。此外，為避免起收筆對於分析資料造成影響，每一試作前後十分之一書寫時間的資料將不納入分析。

角度計算公式：$\cos\theta = \dfrac{\vec{a}\ \ \vec{b}}{|\vec{a}||\vec{b}|} = \dfrac{a_1b_1 + a_2b_2 + a_3b_3}{\sqrt{a_1^{\ 2} + a_2^{\ 2} + a_3^{\ 2}}\sqrt{b_1^{\ 2} + b_2^{\ 2} + b_3^{\ 2}}}$

若 $\vec{a} = (a_1, a_2, a_3)$，$\vec{b} = (b_1, b_2, b_3)$，$\vec{a} \neq \vec{0}$，$\vec{b} \neq \vec{0}$，兩向量夾角為 θ，則 θ 可由 arc cosθ 求得。

（八）肢體內協調：本研究係指個體進行書寫時，執筆手各關節位置相對關係以及關節角度變異情形。擷取筆尖、尺骨莖突、肱外上髁與肩峰於 X、Y 軸向之位置參數，對(1) 筆尖－尺骨莖突、(2) 尺骨莖突－肱外上髁，以及 (3) 肱外上髁－肩峰進行成對交叉相關統計考驗，利用相關係數作為考驗肢體內協調形式差異之指標。

二、資料分析

書寫表現上，本研究以不同書寫者類型（右慣用手非迴腕書寫者、左慣用手非迴腕書寫者與左慣用手迴腕書寫者）、不同筆尖性質之書寫工具（硬筆與軟筆）以及不同執筆手（慣用手與非慣用手）作為自變項，採混合設計三因子變異數分析 (mix-designed three-way ANOVAs)，其中筆尖性質與執筆手為重複量數，考驗各依變項（每秒書寫面積與書寫錯誤次數）之差異。

肢體內協調之檢證，以 3（書寫者類型）x 2（筆尖性質）x 2（執筆手）混合設計三因子變異數分析，筆尖性質與執筆手為重複量數，考驗不同書寫者類型在各書寫情境之關節位置交叉相關係數以及腕關節與肘關節角度變異之差異，作為肢體內協調形式異同之檢證。

本研究之顯著水準皆為 $\alpha = .05$，並計算效果量大小 (effect size, ES, η^2)，若三因子變異數分析差異達顯著，則以 Scheffe 法進行事後比較。

第肆章　結果與討論

書寫是種在生活中常使用的動作技能。本研究根據協調觀點，操弄不同執筆手與筆尖性質，並觀察此二因子與不同書寫者族群交互作用，對於書寫表現與動作協調形式所造成之影響。本章節針對實驗所得之結果進行報告，並進一步結合過去相關研究發現深入討論。本章含括有：第一節、書寫表現；第二節、肢體內協調。

第一節　書寫表現

本實驗探討個體限制與工作限制對於書寫動作表現之影響，主要觀察之依變項為每秒書寫面積與書寫錯誤次數，輔以書寫面積與書寫時間之探討。

一、每秒書寫面積

以 3（書寫者類型）x 2（筆尖性質）x 2（執筆手）混合設計三因子變異數分析，筆尖性質與執筆手為重複量數，考驗不同書寫者類型每秒書寫面積之差異，結果發現：

書寫「水」字部份，書寫者類型、筆尖性質與執筆手三者交互作用達顯著 ($F(2,105) = 5.649$, $p < .05$)，進行各細格內二因子交互作用之考驗：

1. 書寫者類型因子恆常

右慣用手非迴腕書寫者組內，筆尖性質與執筆手兩因子交互作用達顯著 ($F(1,35) = 17.686$, $p < .05$, $\eta^2 = .01$)，進行單純主要效果之檢證：(1) 執軟筆書寫情境，執筆手差異未達顯著 ($F(1,35) = .399$, $p > .05$, $\eta^2 = .00$)；(2) 執硬筆之書寫情境，慣用手書寫時之每秒書寫面積顯著大於非慣用手書寫時 ($F(1,35) = 15.040$, $p < .05$, $\eta^2 = .09$)；(3) 慣用手書寫情境，執軟筆書寫時之每秒書寫面積顯著大於執硬筆書寫 ($F(1,35) = 6.050$, $p < .05$, $\eta^2 = .02$)；(4) 非慣用手書寫情境，執軟筆書寫時之每秒書寫面積顯著大於執硬筆書寫時 ($F(1,35) = 32.005$, $p < .05$, $\eta^2 = .15$)；如圖 7 所示。

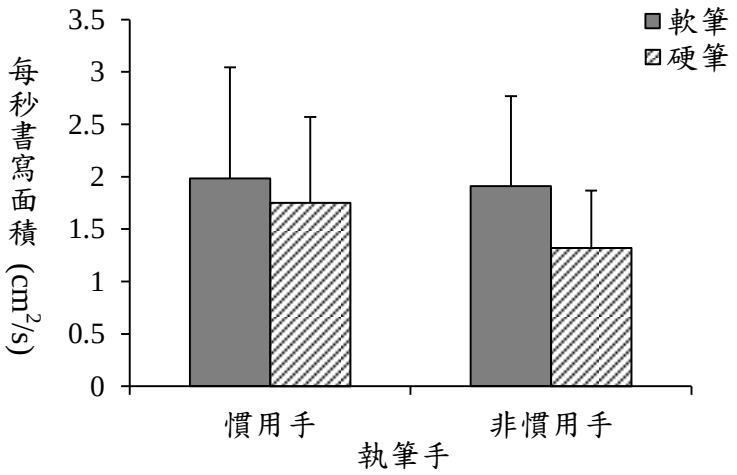


圖 7　右慣用手非迴腕書寫者每秒書寫面積之筆尖性質與執筆手因子交互作用-「水」字

左慣用手非迴腕書寫者組內之筆尖性質與執筆手因子交互作用未達顯著 ($F(1,35) = .961$, $p > .05$, $\eta^2 = .00$)；筆尖性質主效果達顯著 ($F(1,35) = 41.861$, $p < .05$, $\eta^2 = .06$)，執軟筆書寫之每秒書寫面積顯著大於執硬筆書寫；執筆手主效果未達顯著 ($F(1,35) = .521$, $p > .05$, $\eta^2 = .00$)。

左慣用手迴腕書寫者組內，筆尖性質與執筆手兩因子間交互作用未達顯著水準 ($F(1,35) = 1.210$, $p > .05$, $\eta^2 = .00$)；筆尖性質主效果達顯著 ($F(1,35) = 22.270$, $p < .05$, $\eta^2 = .06$)，執軟筆書寫之每秒書寫面積顯著大於執硬筆書寫；執筆手主效果亦達顯著水準 ($F(1,35) = 12.806$, $p < .05$, $\eta^2 = .02$)，慣用手書寫之每秒書寫面積顯著大於非慣用手時之每秒書寫面積。

2. 筆尖性質因子恆常

執軟筆情境，書寫者類型與執筆手交互作用並未達顯著 ($F(2,105) = .090$, $p > .05$, $\eta^2 = .00$)；書寫者類型因子 ($F(2,105) = .189$, $p > .05$, $\eta^2 = .00$) 與執筆手($F(1,105) = 2.708$, $p > .05$, $\eta^2 = .00$) 主效果皆未達顯著。

執硬筆情境，書寫者類型與執筆手交互作用達顯著 ($F(2,105) = 6.984$, $p < .05$, $\eta^2 = .02$)，進一步執行單純主要效果之檢證：(1) 右慣用手非迴腕書寫者組內，執筆手達顯著差異 ($F(1,35) = 15.040$, $p < .05$, $\eta^2 = .09$)，分析結果顯示，慣用手之每秒書寫面積大於非慣用手每秒書寫面積；(2) 左慣用手非迴腕書寫者組內，執筆手未達顯著差異

水準 ($F(1,35) = .032$, $p > .05$, $\eta^2 = .00$)；(3) 左慣用手迴腕書寫者組內，執筆手達顯著差異 ($F(1,35) = 16.979$, $p < .05$, $\eta^2 = .05$)，慣用手之每秒書寫面積大於非慣用手；(4) 慣用手情境下比較三種書寫者類型之差異，結果發現三者差異未達顯著 ($F(2,107) = .240$, $p > .05$, $\eta^2 = .01$)；(5) 非慣用手情境，三組差異亦未達顯著 ($F(2,107) = 3.245$, $p > .05$, $\eta^2 = .06$)；如圖 8 所示。

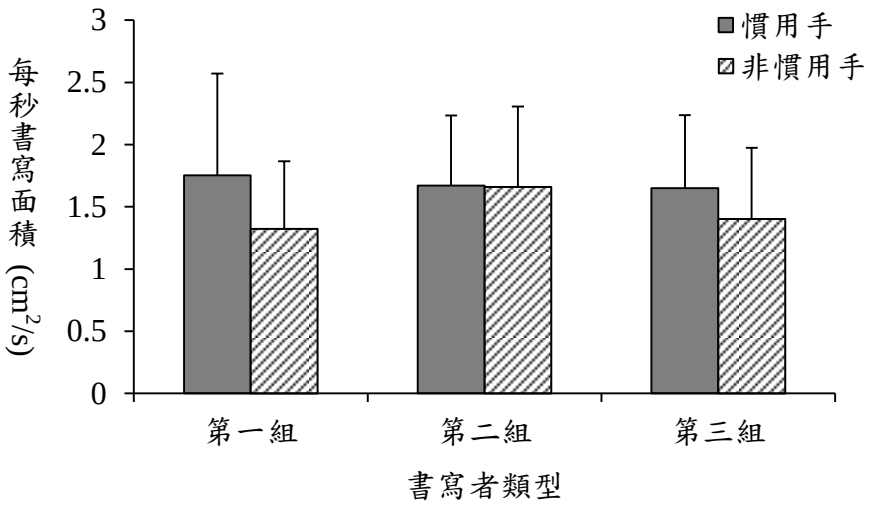


圖 8　硬筆書寫情境每秒書寫面積之書寫者類型與執筆手因子交互作用-「水」字

3. 執筆手因子恆常

於慣用手執筆情境，書寫者類型與筆尖性質兩因子間交互作用未達顯著 ($F(2,105) = .720$, $p > .05$, $\eta^2 = .00$)；書寫者類型主效果未達顯著 ($F(2,105) = .079$, $p > .05$, $\eta^2 = .00$)；僅筆尖性質主效果達顯著 ($F(1,105) = 36.967$, $p < .05$, $\eta^2 = .04$)，使用軟筆書寫時之每秒書寫面積大於使用硬筆。

非慣用手執筆情境，組別與筆尖性質交互作用未達顯著 ($F(2,105) = 2.433$, $p > .05$, $\eta^2 = .01$)；組別因子主要效果未達顯著 ($F(2,105) = 1.122$, $p > .05$, $\eta^2 = .02$)；而筆尖性質主效果達顯著 ($F(1,105) = 77.446$, $p < .05$, $\eta^2 = .09$)，使用軟筆書寫之每秒書寫面積大於硬筆書寫之每秒書寫面積。

不同於「水」字分析結果，書寫「去」字時，三因子間（書寫者類型、筆尖性質與

執筆手）交互作用並未達顯著 ($F(2,105) = .637, p > .05$)，進行二因子交互作用之考驗：

1. 書寫者類型與筆尖性質交互作用未達顯著 ($F(2,213) = .097, p > .05, \eta^2 = .00$)；書寫者類型主效果達顯著 ($F(2,213) = 4.831, p < .05, \eta^2 = .04$)，結果顯示左慣用手非迴腕書寫者之每秒書寫面積顯著大於右慣用手非迴腕書寫者；筆尖性質主效果達顯著差異 ($F(2,213) = 153.395, p < .05, \eta^2 = .09$)，使用軟筆書寫時之每秒書寫面積顯著大於使用硬筆書寫。
2. 書寫者類型與執筆手交互作用達顯著 ($F(2,213) = 3.105, p < .05, \eta^2 = .00$)，進一步執行單純主要效果之檢證：(1) 右慣用手非迴腕書寫者組內，執筆手達顯著差異 ($F(1,71) = 7.949, p < .05, \eta^2 = .02$)，慣用手之每秒書寫面積大於非慣用手每秒書寫面積；(2) 左慣用手非迴腕書寫者組內則發現，執筆手差異未達顯著 ($F(1,71) = .003, p > .05, \eta^2 = .00$)；(3) 檢證左慣用手迴腕書寫者組內執筆手差異，亦達顯著水準 ($F(1,71) = 5.248, p < .05, \eta^2 = .01$)，慣用手相較於非慣用手有較大之每秒書寫面積；(4) 在慣用手情境下比較組別差異，結果顯示差異未達統計顯著水準 ($F(1,71) = 1.613, p > .05, \eta^2 = .02$)；(5) 在非慣用手情境下比較各組別之書寫表現，統計結果顯示差異達顯著 ($F(1,71) = 7.476, p < .05, \eta^2 = .06$)，左慣用手非迴腕書寫者皆顯著大於其他兩組；如圖 9。

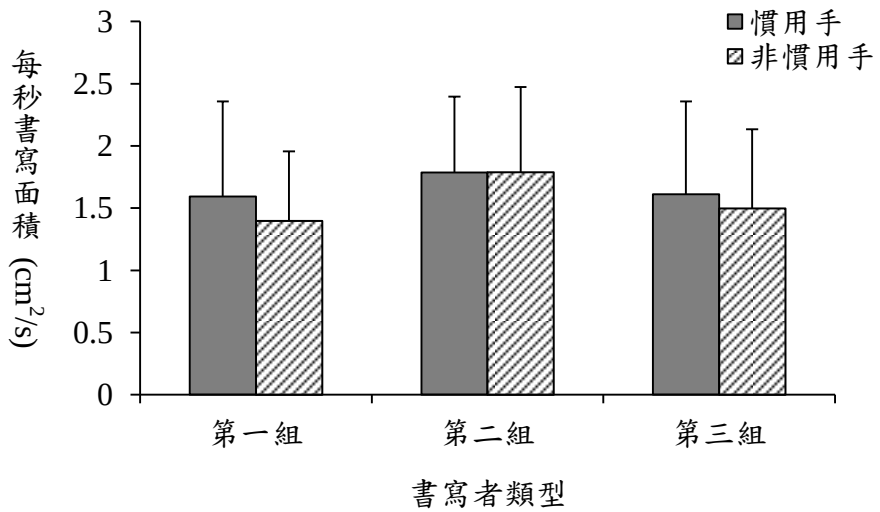


圖 9　每秒書寫面積之書寫者類型與執筆手因子交互作用-「去」字

3. 筆尖性質與執筆手交互作用未達顯著 ($F(1,107) = 2.745$, $p > .05$, $\eta^2 = .00$)；筆尖性質主效果達顯著 ($F(1,107) = 129,490$ $p < .05$, $\eta^2 = .09$)，結果發現使用軟筆書寫時之每秒書寫面積顯著大於使用硬筆時之每秒書寫面積；執筆手主效果亦達顯著 ($F(1,107) = 8.027$, $p < .05$, $\eta^2 = .01$)，使用慣用手進行書寫時之每秒書寫面積顯著大於使用非慣用手。

綜整以上結果發現，就每秒書寫面積此一依變項而言，並不符合假說一之預測，右慣用手書寫者並未有較大之每秒書寫面積，不同書寫者類型之書寫表現的確有差異，但此一結果意味著書寫表現可能受到個體限制的影響，值得深究的是，此差異僅在以非慣用手書寫「去」字的情境中達統計考驗水準，事後比較顯示左慣用手非迴腕書寫者相較於其他兩組有較大的每秒書寫面積，雖與過去研究發現有類似之處 (Peters & McGrory, 1987; Meulenbroek et al., 1989)，仍難以斷言個體限制是否必定影響書寫表現；慣用手之檢證顯示，右慣用手非迴腕書寫者並未因人文社會優勢（右慣用手書寫族群佔人口組成之多數）而更有利於漢字草書字形連寫，假說一之推論係來自於文字演進之過程，文字系統並非一人之力所能造就，當絕多數人以右手執筆書寫，此文字系統對於右慣用手族群而言應當更具吸引力，但本實驗中，當使用慣用手書寫時，書寫者類型之每秒書寫面積差異皆未達顯著，這可能意味著，在未要求筆劃（如永字八法）精確到位的條件下，漢字草書連寫之工作難度對於不同書寫族群而言，並無明顯差別，不同書寫者類型之書寫表現並無顯著差異；推測可能的成因有：（一）過去研究多直接以書寫時間作為書寫速度指標，然而此一作法忽略書寫字跡大小之考量，是故導致結果產生偏誤，本研究將過去研究多所採用之書寫時間，藉由書寫面積進行尺度化，以提供更具說服力之資料數據，不過相關研究也指出書寫時間與字形大小可能並非呈一元線性關係 (Phillips, Ogeil, & Best, 2009)，然而非線性的轉換何時發生？此於日後研究中必須加以考量；（二）書寫姿勢係個體為因應工作之功能性目的：在能夠辨識基本字形之前提下，盡可能以平常速度流暢書寫所產生的動作形式；事實上，從書寫姿勢影片中可發現，即便是非迴腕參與者也會使用迴腕姿勢進行書寫，參與者為達成草書直行連寫工作任務，亦有相當比例

的非迴腕參與者於書寫期間後段使用迴腕姿勢進行書寫，亦即以腕部的屈曲完成書寫，而非移動整個手臂，採此書寫方式之參與者會在書寫過程中，漸漸從一開始的中鋒用筆轉為側鋒，甚至是偏鋒之筆勢，字形也會有愈來愈大之趨勢，此現象猶在左慣用手迴腕書寫者之軟筆書寫樣本可發現，值得注意的是，此一現象也在某種程度上影響了每秒書寫面積此一指標之有效性。

在筆尖性質的比較上，執軟筆書寫之每秒書寫面積皆大於硬筆，與假說二不符，推測造成此一現象係軟筆筆毛特性之故，導致書寫筆跡粗細有相當程度的變動，影響了書寫面積的計算，如前所提，過去研究發現書寫字形放大數倍後，所增加的書寫時間相對較短，亦即兩者之間的關聯性可能不屬一元線性關係，運動學參數分析指出，字形愈大時，有更多的時間是用在加速筆劃的運行 (Phillips et al., 2009)，是故雖然執軟筆書寫耗費較多的時間，然其在書寫面積上更遠遠超過硬筆，最後產生軟筆書寫時之每秒書寫面積大於硬筆之情況。

執筆手之書寫表現上，結果發現不同字形之間其分析結果產生歧異，在「去」字的部分，除左慣用手非迴腕書寫者外，以慣用手進行書寫相較於非慣用手有較大之每秒書寫面積，與假說三部份相符，但在「水」字方面，右慣用手非迴腕書寫者在軟筆情境，慣用手與非慣用手之每秒書寫面積並無顯著差異，但在硬筆書寫情境之表現上，慣用手每秒書寫面積顯著大於非慣用手之表現，亦符假說三之推論，這可能表示在使用軟筆書寫情境下，因工作難度相對較大且不熟悉，致使其慣用手優勢未得以顯現，此論點也可從軟筆書寫情境下，執筆手表現差異皆未達顯著獲得支持；而左慣用手非迴腕書寫者類型，其慣用手與非慣用手表現並無差異，但同為左手執筆之左慣用手迴腕書寫者類型，仍可觀察到慣用手表現係優於非慣用手之情形；此外，除前所提及，在軟筆書寫情境下各書寫者類型與執筆手表現皆未達顯著差異外，硬筆書寫情境下比較組別與執筆手之差異，結果也僅發現左慣用手非迴腕書寫者之執筆手差異未達顯著，其他組別以慣用手執筆書寫時皆有較大的每秒書寫面積。然而，受書寫期間書寫姿勢可能發生轉換等外在變項影響，再加上非慣用手書寫姿勢與慣用手所採姿勢之別，是以造成兩左慣用手書寫族群差異之詳切原因較難推知，可能的原因是左慣用手族群於日常生活中有較多使用非慣

用手的機會，因此存有較多的協調架構以應付工作所需，此為可能造成左慣用手族群之慣用手與非慣用手書寫表現差距較為有限之原因；關於此論點，也可從參與者填寫之手慣用卷分數看出端倪，相對於右慣用手高一致性地使用右手執行所有問卷中所提及之工作，而左慣用手族群，不論迴腕或非迴腕書寫者，其慣用手問卷分數相對有較大的標準差，且其慣用性也非落於極端之強左慣用性，而是介於中等到強左慣用性之間，這表示左慣用手書寫者相較於右慣用手書寫者有更高使用非慣用手之頻率，然而在每秒書寫面積此一依變項的檢視下，為何僅有左慣用手非迴腕書寫者之執筆手未有顯著差異，詳確原因有待進一步探知。

二、書寫面積

每秒書寫面積此一依變項同時受到書寫面積與書寫時間所影響，為能夠釐清不同書寫者類型於不同工作限制下之書寫表現，進一步針對書寫面積進行 3（書寫者類型）x 2（筆尖性質）x 2（執筆手）混合設計三因子變異數分析，結果發現：

在書寫「水」字情境下進行三因子交互作用之考驗，書寫者類型、筆尖性質與執筆手三者交互作用未達顯著 ($F(2,105) = 1.236$, $p > .05$)，進行二因子交互作用之檢證：

1. 書寫者類型與筆尖性質交互作用未達顯著 ($F(2,213) = 1.341$, $p > .05$, $\eta^2 = .00$)；書寫者類型主效果未達顯著 ($F(2,213) = 2.131$, $p > .05$, $\eta^2 = .01$)；筆尖性質主效果達顯著差異 ($F(1,213) = 488.343$, $p < .05$, $\eta^2 = .36$)，結果指出執軟筆書寫之書寫面積顯著大於執硬筆書寫。
2. 書寫者類型與執筆手交互作用未達顯著 ($F(2,213) = .613$, $p > .05$, $\eta^2 = .00$)；書寫者類型主效果未達顯著 ($F(2,213) = 1.136$, $p > .05$, $\eta^2 = .01$)；執筆手因子主要效果達顯著 ($F(1,213) = 35.499$, $p < .05$, $\eta^2 = .02$)，結果發現非慣用手書寫時之書寫面積顯著大於慣用手書寫之面積。
3. 筆尖性質與執筆手交互作用達顯著 ($F(1,107) = 10.141$, $p < .05$, $\eta^2 =.01$)，進行單純主要效果之檢證：(1) 於軟筆書寫情境，執筆手差異達顯著 ($F(1,107) = 25.758$, $p < .05$, $\eta^2 = .04$)，非慣用手執筆書寫時之書寫面積顯著大於慣用手書寫面積；(2) 執硬筆書

寫情境，非慣用手書寫面積顯著大於慣用手 ($F(1,107) = 12.210$, $p < .05$, $\eta^2 = .02$)；(3) 慣用手書寫情境，執軟筆書寫時之書寫面積顯著大於執硬筆書寫時 ($F(1,107) = 270.651$, $p < .05$, $\eta^2 = .35$)；(4) 於非慣用手書寫情境，執軟筆書寫時之書寫面積顯著大於執硬筆書寫時之面積 ($F(1,107) = 240.501$, $p < .05$, $\eta^2 = .39$)；如圖 10 所示。

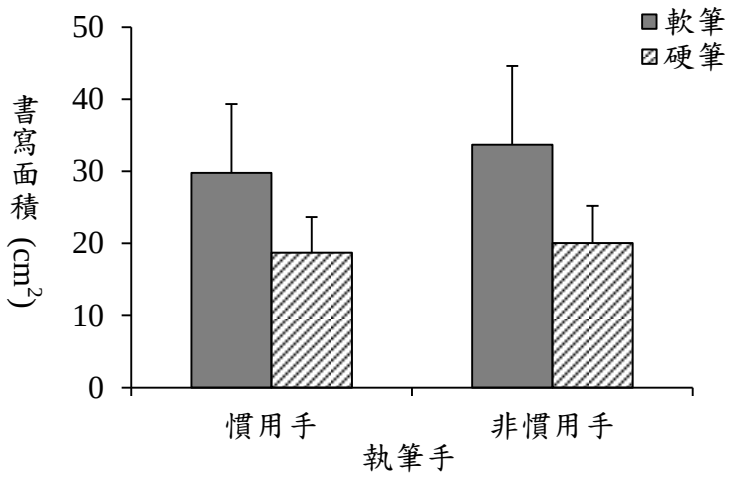


圖 10　書寫面積之筆尖性質與執筆手交互作用-「水」字

在「去」字情境下進行混合設計三因子變異數分析，書寫者類型、筆尖性質與執筆手三者交互作用未達顯著 ($F(2,105) = 1.735$, $p > .05$)，進行二因子交互作用之檢證：

1. 書寫者類型與筆尖性質交互作用未達顯著 ($F(2,213) = 1.551$, $p > .05$, $\eta^2 = .00$)，書寫者類型主效果未達顯著 ($F(2,213) = 1.053$, $p > .05$, $\eta^2 = .01$)；筆尖性質主效果達顯著差異 ($F(1,213) = 638.460$, $p < .05$, $\eta^2 = .41$)，結果顯示執軟筆書寫之面積顯著大於執硬筆書寫之書寫面積。
2. 書寫者類型與執筆手交互作用未達顯著 ($F(2,213) = 2.042$, $p > .05$, $\eta^2 = .00$)，書寫者類型主效果未達顯著 ($F(2,213) = .538$, $p > .05$, $\eta^2 = .01$)；執筆手主效果達顯著 ($F(1,213) = 67.448$, $p < .05$, $\eta^2 = .03$)，數據顯示，非慣用手書寫時之書寫面積顯著大於慣用手。
3. 筆尖性質與執筆手交互作用達顯著 ($F(1,107) = 5.927$, $p < .05$, $\eta^2 = .00$)，進行單純主要效果之檢證：(1) 於軟筆書寫情境，執筆手差異達顯著 ($F(1,107) = 37.996$, $p < .05$,

η^2 = .06)，非慣用手之書寫面積顯著大於慣用手書寫之面積；(2) 執硬筆書寫情境，同樣發現使用非慣用手書寫時，相較於慣用手書寫有較大之書寫面積 (F(1,107) = 32.687, p < .05, η^2 = .06)；(3) 在慣用手書寫情境，執軟筆書寫時之書寫面積顯著大於執硬筆書寫時之面積 (F(1,107) = 269.571, p < .05, η^2 = .38)；(4) 非慣用手書寫情境，執軟筆書寫時之書寫面積亦顯著大於執硬筆書寫之面積 (F(1,107) = 379.059, p < .05, η^2 = .48)；如圖 11 所示。

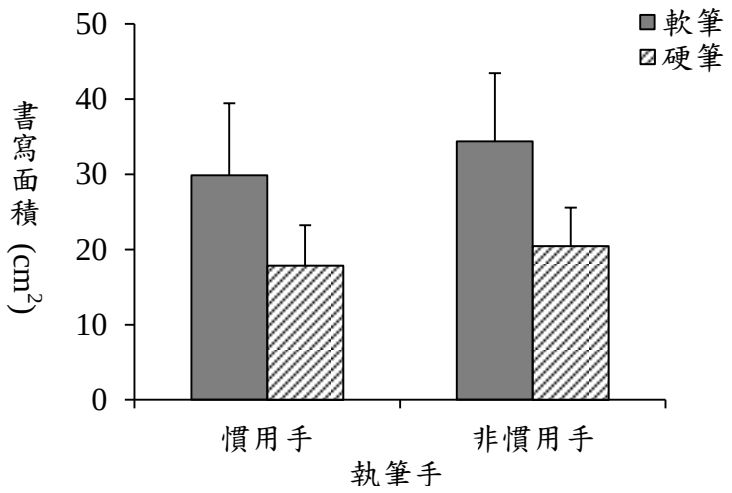


圖 11　書寫面積之筆尖性質與執筆手交互作用-「去」字

整合以上分析結果，發現在書寫不同字形時，書寫面積之異同全然一致，據此，可推知書寫時間必有所差異，因而導致每秒書寫面積在不同字形情境之分析結果產生相異之情形：僅在書寫「水」字情境之三因子交互作用達顯著，但在書寫「去」字情境，組別、筆尖性質和執筆手交互作用則未達統計顯著水準。

書寫者類型主效果皆未達顯著，亦即不同組別的書寫面積並無太大不同，這意味著不同書寫者類型並未影響書寫字形之大小，換言之，非慣用手執筆書寫「去」字情境之每秒書寫面積組別差異（左慣用手非迴腕書寫者之每秒書寫面積顯著大於其他兩類型書寫者）必為書寫時間差異所引致。

筆尖性質的比較方面，同於每秒書寫面積的分析結果，當執軟筆書寫時之書寫面積大於執硬筆書寫，且遠大於範本所圍構的 20cm^2 面積（水：M = 31.73 ± 10.42 cm^2；去：

M = 32.13 ± 9.55 cm^2），而硬筆之書寫面積則略小於範本圍構面積（水：M = 19.38 ± 5.08 cm^2；去：M = 19.14 ± 5.39 cm^2），這表示執軟筆書寫時，參與者傾向於把字形寫大，亦即參與者為能達成實驗之工作要求：在能夠辨識基本字形的前提下，以接近平常速度進行流暢書寫，使得書寫樣本與範帖所構成的書寫面積有所差距，這可能是因為執軟筆書寫時，對於筆壓之變化較為敏感，且所有參與者皆無長時間接受專業書法訓練，是以（一）在動作控制上較為不易，而較大字形提供了較大容錯空間，有利於基本字形之識辨，避免粗細不一致的筆劃糊成一團；（二）參與者傾向於以大肌肉進行運筆，致使無法精細控制，使得字形大小與範本字形尺寸有所出入。

在執筆手統計分析考驗結果則發現：以非慣用手執筆書寫時之書寫面積，顯著大於以慣用手執筆書寫的面積，此結果與每秒書寫面積之分析結果相歧，可能之原因為非慣用手對於精細動作 (fine motor) 的控制係相對困難，故當參與者使用非慣用手書寫時，是以粗大動作 (gross motor) 進行書寫（如以整個臂膀帶動筆的運行），有別於慣用手執筆書寫之形式；另一方面，使用非慣用手書寫在控制上相對困難，是以造成參與者把字寫大之傾向；尺度化（每秒書寫面積）與未尺度化（書寫面積）之數據資料分析結果截然不同，發生逆轉之情形，此意味著書寫面積與書寫時間的確非為一元線性關係，當參與者以慣用手執筆書寫時，有較短的書寫時間，較佳的動作效率。

三、書寫時間

以 3（書寫者類型）x 2（筆尖性質）x 2（執筆手）混合設計三因子變異數分析，筆尖性質與執筆手為重複量數，考驗不同書寫者類型於各情境下之書寫時間之差異，其結果所下所述：

「水」字之分析結果顯示，三因子間：書寫者類型、筆尖性質與執筆手交互作用達顯著 ($F(2,105) = 3.314$, $p < .05$)，進行各細格內二因子交互作用之考驗：

1. 書寫者類型因子恆常

右慣用手非迴腕書寫者組內，筆尖性質與執筆手兩因子交互作用達顯著 ($F(1,35) = 5.337$, $p < .05$, $\eta^2 = .01$)，進行單純主要效果之檢證：(1) 執軟筆書寫情境，執筆手

差異達顯著 ($F(1,35) = 18.499$, $p < .05$, $\eta^2 = .10$)，使用非慣用手書寫時有較長的書寫時間；(2) 在執硬筆之書寫情境，慣用手所耗費之書寫時間較非慣用手短 ($F(1,35) = 24.117$, $p < .05$, $\eta^2 = .19$)；(3) 慣用手書寫情境，執軟筆書寫相較於執硬筆書寫時需較長的書寫時間 ($F(1,35) = 152.264$, $p < .05$, $\eta^2 = .24$)；(4) 非慣用手書寫情境下之檢證則發現執軟筆書寫時之書寫時間顯著大於執硬筆書寫時 ($F(1,35) = 32.816$, $p < .05$, $\eta^2 = .06$)；如下圖所示（圖 12）。

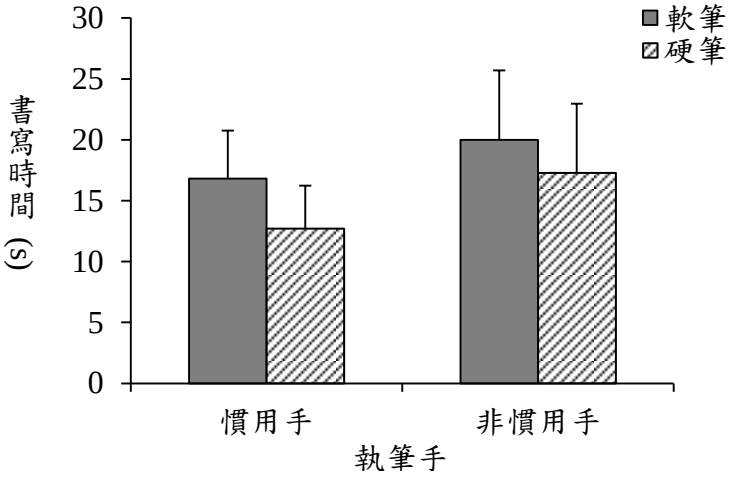


圖 12　右慣用手非迴腕書寫者書寫時間之筆尖性質與執筆手交互作用-「水」字

左慣用手非迴腕書寫者組內之筆尖性質與執筆手之交互作用未達顯著；($F(1,35) = .413$, $p > .05$, $\eta^2 = .00$)；筆尖性質主效果達顯著 ($F(1,35) = 107.824$, $p < .05$, $\eta^2 = .22$)，執軟筆書寫之書寫時間顯著大於執硬筆書寫；執筆手主效果亦達顯著水準 ($F(1,35) = 24.897$, $p < .05$, $\eta^2 = .03$)，慣用手所耗費的書寫時間較短。

在左慣用手迴腕書寫者組內，筆尖性質與執筆手兩因子間交互作用未達顯著 ($F(1,35) = .292$, $p > .05$, $\eta^2 = .00$)；檢視各因子主效果發現：(1) 筆尖性質主效果達顯著 ($F(1,35) = 91.076$, $p < .05$, $\eta^2 = .17$)，執軟筆書寫之書寫時間顯著大於執硬筆書寫所需耗費之書寫時間；(2) 執筆手主效果亦達統計顯著水準 ($F(1,35) = 55.028$, $p < .05$, $\eta^2 = .11$)，慣用手書寫之書寫時間顯著短於非慣用手書寫時。

2. 筆尖性質因子恆常

執軟筆情境下，書寫者類型與執筆手交互作用達顯著 ($F(2,105) = 4.329$, $p < .05$, $\eta^2 = .01$)，進行單純主要效果之檢證：(1) 右慣用手非迴腕書寫者組內，執筆手達顯著差異 ($F(1,35) = 18.499$, $p < .05$, $\eta^2 = .10$)，非慣用手有較長的書寫時間；(2) 左慣用手非迴腕書寫者以非慣用手書寫時，有較長的書寫時間($F(1,35) = 13.714$, $p < .05$, $\eta^2 = .03$)；(3) 在左慣用手迴腕書寫者組組內發現，執筆手差異達顯著 ($F(1,35) = 40.061$, $p < .05$, $\eta^2 = .11$)，慣用手書寫所耗費時間短於非慣用手；(4) 在慣用手情境下比較三種書寫者類型的差異，發現三者差異未達顯著 ($F(2,107) = 1.839$, $p > .05$, $\eta^2 = .03$)；(5) 非慣用手情境下，書寫者類型差異達顯著 ($F(2,107) = 5.418$, $p < .05$, $\eta^2 = .09$)，事後比較顯示，左慣用手迴腕書寫者相較於左慣用手非迴腕書寫者耗費較長的書寫時間；詳如圖 13 所示。

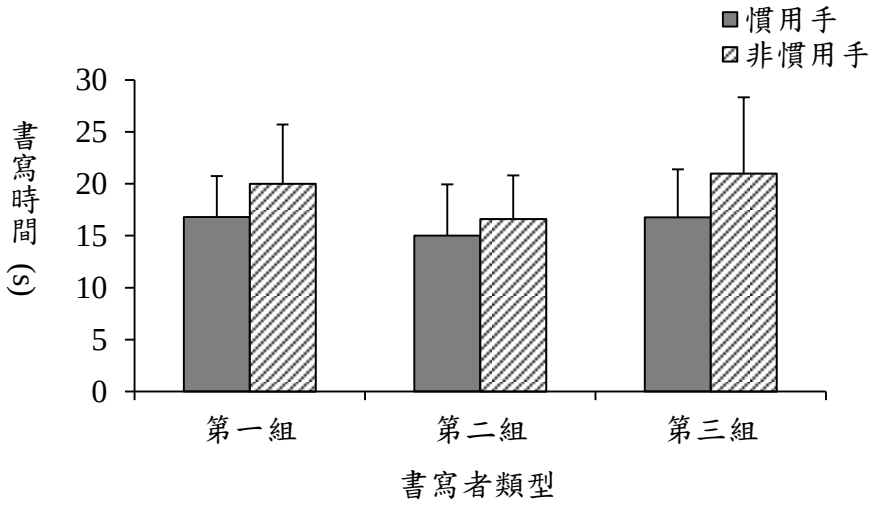


圖 13　軟筆書寫情境書寫時間之書寫者類型與執筆手交互作用-「水」字

執硬筆情境，書寫者類型與執筆手交互作用達顯著 ($F(2,105) = 7.109$, $p < .05$, $\eta^2 = .02$)，進一步檢證單純主要效果：(1) 右慣用手非迴腕書寫者組內，執筆手達顯著差異 ($F(1,35) = 24.117$, $p < .05$, $\eta^2 = .19$)，慣用手書寫時間短於非慣用手；(2) 左慣用手非迴腕書寫者組內，同樣發現非慣用手有較長的書寫時間 ($F(1,35) = 19.632$, $p < .05$, $\eta^2 = .05$)；(3) 左慣用手迴腕書寫者組內，執筆手達顯著差異 ($F(1,35) = 52.459$, $p < .05$, $\eta^2 = .18$)，相較於非慣用手，慣用手有較短的書寫時間；(4) 慣用手情境下比較三種

書寫者類型之差異，結果發現三者差異未達顯著 ($F(2,107) = 2.452$, $p > .05$, $\eta^2 = .04$)；(5) 在非慣用手情境，三組差異達顯著 ($F(2,107) = 9.681$, $p < .05$, $\eta^2 = .14$)，事後比較發現，左慣用手非迴腕書寫者相較於其他兩組有較短的書寫時間（如圖 14）。

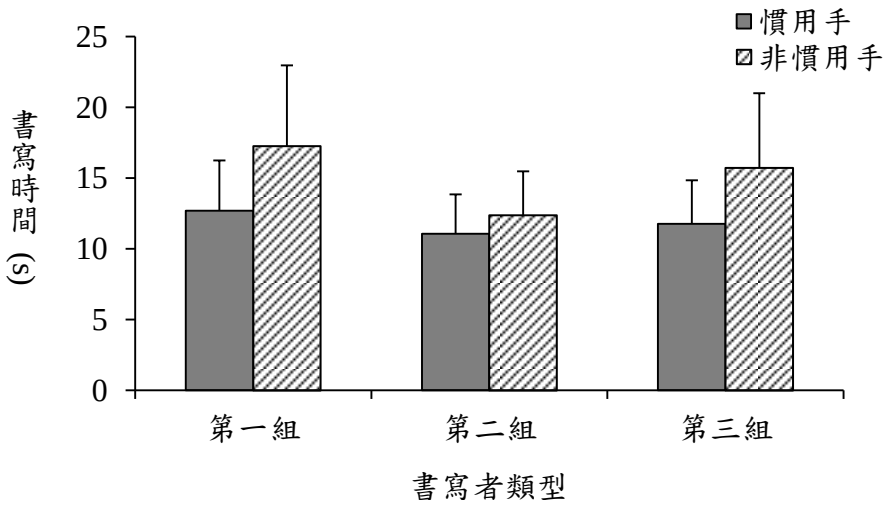


圖 14　硬筆書寫情境書寫時間之書寫者類型與執筆手交互作用-「水」字

3. 執筆手因子恆常

慣用手執筆情境下，書寫者類型與筆尖性質交互作用未達顯著 ($F(2,105) = 1.472$, $p > .05$, $\eta^2 = .00$)；書寫者類型主效果未達顯著 ($F(2,105) = 2.119$, $p > .05$, $\eta^2 = .03$)；僅筆尖性質主效果達顯著 ($F(1,105) = 268.872$, $p < .05$, $\eta^2 = .24$)，軟筆書寫時之書寫時間較執硬筆書寫時來得長。

非慣用手執筆情境，組別與筆尖性質因子交互作用未達顯著 ($F(2,105) = 5.878$, $p < .05$, $\eta^2 = .01$)，進一步執行單純主要效果之分析：(1) 右慣用手非迴腕書寫者組內，筆尖性質達顯著差異 ($F(1,35) = 32.816$, $p < .05$, $\eta^2 = .06$)，毛筆書寫時有較長的書寫時間；(2) 左慣用手非迴腕書寫者同樣在毛筆書寫情境有較長的書寫時間 ($F(1,35) = 104.117$, $p < .05$, $\eta^2 = .26$)；(3) 在左慣用手迴腕書寫者組，執筆手差異達顯著 ($F(1,35) = 63.527$, $p < .05$, $\eta^2 = .15$)，使用毛筆書寫時有較長的書寫時間；(4) 在毛筆書寫情境下，三種書寫者類型的差異達顯著 ($F(2,107) = 5.418$, $p < .05$, $\eta^2 = .09$)，事後比較顯示，第三組左慣用手迴腕書寫者相較於左慣用手非迴腕書寫者有較長的書寫時間；(5) 硬

筆書寫情境下比較書寫者類型差異，檢證結果表示差異達顯著 ($F(2,107) = 9.681$, $p < .05$, $\eta^2 = .14$)，經事後比較發現，左慣用手非迴腕書寫者相較於其他兩組所耗費之書寫時間較短；詳見下圖（圖 15）。

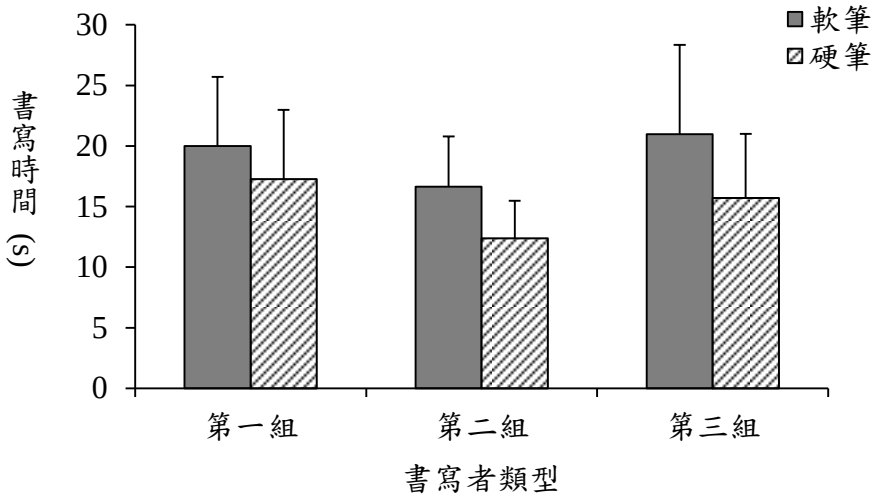


圖 15　非慣用手書寫情境書寫時間之書寫者類型與筆尖性質交互作用-「水」字

在「去」字方面，分析結果顯示書寫者類型、筆尖性質與執筆手三者交互作用未達顯著 ($F(2,105) = .177$, $p > .05$)，進行二因子交互作用之考驗：

1. 書寫者類型與筆尖性質交互作用達顯著 ($F(2,213) = 7.238$, $p < .05$, $\eta^2 = .01$)，進一步進行單純主要效果考驗：(1) 右慣用手非迴腕書寫者組，筆尖性質差異達顯著 ($F(1,71) = 150.905$, $p < .05$, $\eta^2 = .13$)，執軟筆書寫較執硬筆書寫時間長；(2) 左慣用手非迴腕書寫者組內，筆尖性質差異達顯著 ($F(1,71) = 24.023$, $p < .05$, $\eta^2 = .03$)，執軟筆書寫相對於執硬筆書寫有較長的書寫時間；(3) 左慣用手迴腕書寫者組內比較軟硬筆之差異，結果顯示差異達顯著水準 ($F(1,71) = 181.882$, $p < .05$, $\eta^2 = .19$)，執軟筆書寫相較於硬筆書寫需耗費較長書寫時間；(4) 於毛筆書寫情境之分析發現，組別差異達顯著 ($F(2,215) = 10.452$, $p < .05$, $\eta^2 = .08$)，事後比較發現，左慣用手非迴腕書寫者相較於其他兩組有較短的書寫時間；(5) 於硬筆書寫情境下，組別差異達顯著 ($F(2,215) = 7.830$, $p < .05$, $\eta^2 = .07$)，事後比較結果亦顯示，右慣用手非迴腕書寫者與左慣用手迴腕書寫者之書寫時間皆較左慣用手非迴腕書寫者為長；如圖 16。

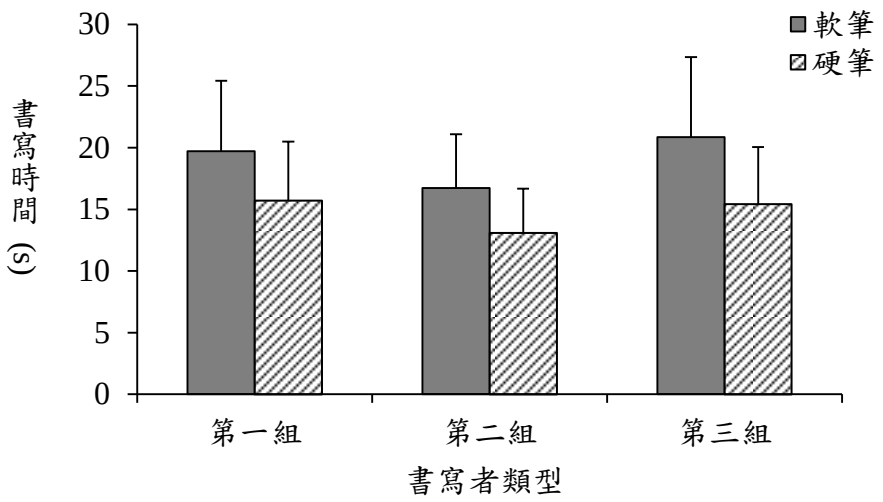


圖 16　書寫時間之書寫者類型與筆尖性質交互作用-「去」字

2. 書寫者類型與執筆手交互作用達顯著 ($F(2,213) = 18.365$, $p < .05$, $\eta^2 = .02$)，進一步進行單純主要效果考驗：(1) 右慣用手非迴腕書寫者組內，執筆手差異達顯著 ($F(1,71) = 90.349$, $p < .05$, $\eta^2 = .22$)，非慣用手執筆較慣用手書寫需耗費較長之書寫時間；(2) 左慣用手非迴腕書寫者組內比較筆尖性質差異，結果顯示差異達顯著，執筆手差異達顯著 ($F(1,71) = 132.377$, $p < .05$, $\eta^2 = .18$)，非慣用手相對於慣用手執筆書寫有較長書寫時間；(3) 左慣用手迴腕書寫者組內，同樣發現執筆手差異達顯著 ($F(1,71) = 98.058$, $p < .05$, $\eta^2 = .11$)，以慣用手執筆書寫相較於非慣用手書寫之時間為短；(4) 慣用手書寫情境比較組別差異，結果顯示差異達顯著 ($F(2,215) = 3.520$, $p < .05$, $\eta^2 = .03$)，經事後比較發現，左慣用手非迴腕書寫者相較於左慣用手迴腕書寫者有較短的書寫時間；(5) 非慣用手情境，組別差異達顯著 ($F(2,215) = 15.761$, $p < .05$, $\eta^2 = .12$)，左慣用手非迴腕書寫者書寫時間短於其他兩類型書寫者；詳見圖 17。

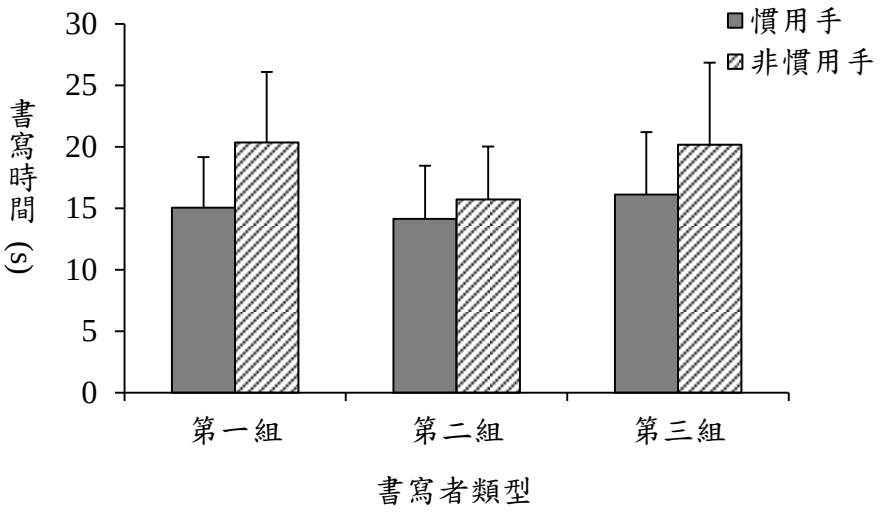


圖 17　書寫時間之書寫者類型與執筆手交互作用-「去」字

3.　筆尖性質與執筆手交互作用未達顯著 ($F(1,107) = .092$, $p > .05$, $\eta^2 = .00$)；筆尖性質主效果達顯著 ($F(1,107) = 327.905$, $p < .05$, $\eta^2 = .15$)，執軟筆較執硬筆書寫需花費較長之書寫時間；執筆手主效果達顯著 ($F(1,107) = 108.777$, $p < .05$, $\eta^2 = .11$)，數據顯示使用非慣用手進行書寫之書寫時間長於使用非慣用手。

書寫時間係過去研究較慣以採用之書寫速度指標（例：Tankle & Heilman, 1983; Vaid & Stiles-Davis, 1989; Yang, 1997），其未考慮字形大小，僅針對書寫字數或筆劃數目進行控制。綜整以上分析結果資料發現，「水」、「去」兩字在書寫時間表現上與每秒書寫面積指標的分析結果有類似之處，在「水」字情境下，三因子交互作用接達顯著，而在書寫「去」字情境，三因子之間交互作用則無達顯著，這可能意味著書寫時間亦是相當可靠之指標，亦即在字形大小未有甚大差距的情形下，對於書寫時間進行尺度化之必要性也許不大；另一個可能原因為在一定字形大小之條件下，書寫面積與書寫時間仍呈現一元線性關係，而尚未發生非線性之轉變，所以尺度化與未尺度化之書寫速度指標有類似之結果，假若書寫面積產生很大的變異，那麼也許每秒書寫面積與書寫時間之聯結就會相對弱許多。

在書寫者類型之比較上，左慣用手非迴腕書寫者在各書寫情境下（慣用手執筆、非慣用手執筆、軟筆書寫以及硬筆書寫情境），書寫時間皆較其他兩組短，且不論是在書

寫「水」字或「去」字皆發現此一情形，雖未盡然達到顯著差異水準，但此一趨勢相當一致，然而是何種因素造成此一現象仍難以得知，如果非迴腕姿勢對於左慣用手執筆者而言是較具效率的動作形式，那又為何此一類型之書寫者在於左手執筆書寫者中僅佔相對少數？詳確原因仍待進一步的探知。

筆尖性質之考驗結果顯示，執軟筆書寫需耗費較多的書寫時間，但是使用軟筆書寫的面積遠大於硬筆書寫面積，亦也遠大於書寫範本所圍面積，某種程度上係未能符合書寫字形大小約略等同於書寫範本之工作要求，終致使假說二未符預期，若改以書寫時間作為檢證，則結果並未出於預測之外。

在執筆手分析結果方面，以慣用手執筆書寫有較短的書寫時間，且相較於非慣用手有較大之書寫範圍，慣用手於書寫時間上有更大的差距幅度，是以在每秒書寫範圍的統計考驗上，仍符合假說三之推測：使用慣用手書寫時有較大之每秒書寫範圍。

四、書寫錯誤次數

以 3（書寫者類型）x 2（筆尖性質）x 2（執筆手）混合設計三因子變異數分析，其中筆尖性質與執筆手為重複量數，考驗不同書寫者類型於各書寫情境之書寫錯誤次數差異，其結果如下所述：

針對「水」字的三因子交互作用之考驗，書寫者類型、筆尖性質與執筆手三者交互作用未達顯著 ($F(2,105) = .212, p > .05$)，進行二因子交互作用之檢證：

1. 書寫者類型與筆尖性質交互作用未達顯著 ($F(2,213) = .144, p > .05, \eta^2 = .00$)；書寫者類型主效果達顯著 ($F(2,213) = 4.151, p < .05, \eta^2 = .02$)，結果顯示左慣用手非迴腕書寫者書寫錯誤次數顯著多於左慣用手迴腕書寫者；筆尖性質主效果未達顯著差異 ($F(1,213) = .082, p > .05, \eta^2 = .00$)。
2. 書寫者類型與執筆手交互作用未達顯著 ($F(2,213) = 1.094, p > .05, \eta^2 = .01$)，書寫者類型主效果達顯著 ($F(2,213) = 4.890, p < .05, \eta^2 = .02$)；左慣用手非迴腕書寫者書寫錯誤次數多於左慣用手迴腕書寫者之書寫錯誤次數，執筆手主效果差異未達統計顯著水準 ($F(1,213) = 1.794, p > .05, \eta^2 = .01$)。

3. 筆尖性質與執筆手交互作用未達顯著 ($F(1,107) = .265, p > .05, \eta^2 = .00$)；筆尖性質之差異未達顯著水準 ($F(1,107) = .110, p > .05, \eta^2 = .00$)；執筆手主效果亦未達顯著差異 ($F(1,107) = 1.940, p > .05, \eta^2 = .01$)。

「去」字之三因子交互作用檢驗結果發現，書寫者類型、筆尖性質與執筆手交互作用未達顯著 ($F(2,105) = 1.083, p > .05$)，進行二因子交互作用之考驗：

1. 書寫者類型與筆尖性質交互作用未達顯著 ($F(2,213) = .770, p > .05, \eta^2 = .00$)；書寫者類型方面，主效果未達顯著水準 ($F(2,213) = .659, p > .05, \eta^2 = .00$)；筆尖性質差異亦未達顯著 ($F(1,213) = .099, p > .05, \eta^2 = .00$)。
2. 組別與執筆手交互作用未達顯著 ($F(2,213) = .812, p > .05, \eta^2 = .00$)；書寫者類型之主效果未達顯著 ($F(2,213) = .632, p > .05, \eta^2 = .00$)；執筆手主要效果同是未達顯著之情形 ($F(1,213)= .419, p > .05, \eta^2 = .00$)。
3. 筆尖性質與執筆手兩因子間交互作用未達顯著 ($F(1,107) = 1.609, p > .05, \eta^2 = .00$)；筆尖性質主效果未達顯著水準 ($F(1,107) = .099, p > .05, \eta^2 = .00$)；執筆手主要效果亦未達顯著 ($F(1,107) = .442, p > .05, \eta^2 = .00$)。

分析結果顯示僅在書寫「水」字之組別差異達顯著，左慣用手非迴腕參與者之書寫錯誤次數顯著多於左慣用手迴腕參與者，在「去」字部分則無任何差異，由描述統計結果發現，各書寫者類型之書寫錯誤次數相當有限，無論於任一情境下，各組平均書寫錯誤次數皆不大於 0.2 次，此數據結果意味著書寫錯誤次數之表現上可能存有天花板效應 (ceiling effect)，再加上書寫錯誤次數此依變項並非為連續變數，是以在此不宜作過多之推論；造成天花板效應的可能原因：(一) 研究中，為避免參與者發生過多的書寫錯誤以至於產生練習效果，因而影響書寫表現之量測，故參與者係參照書寫範本進行書寫，是以發生錯誤機率微乎其微；(二) 實驗中僅就字形書寫錯誤計次，而未考量書寫字數錯誤或書寫時之物理性因素（如：筆壓過大導致筆紙之間產生過大摩擦力所造成之停頓）或非物理性因素造成的停頓（如：忘了字形而停頓）。

第二節　肢體內協調

除書寫表現外，本研究另就個體書寫時的肢體內協調形式進行探討，主要觀察之依變項為執筆手各關節位置相對關係以及關節角度變異情形。

一、相鄰標記點位置成對交叉相關

（一）Y 軸之相鄰標記點位置成對交叉相關

擷取筆尖、尺骨莖突、肱外上髁與肩峰之位置點，針對(1) 筆尖－手腕、(2) 手腕－手肘、(3) 手肘－肩膀之 Y、X 軸位置進行成對交叉相關統計考驗，利用相關係數作為考驗肢體內協調形式差異之指標。

首先就 Y 軸（矢狀面）位置，以 3（書寫者類型）x 2（筆尖性質）x 2（執筆手）混合設計三因子變異數分析，筆尖性質與執筆手為重複量數，考驗不同書寫者類型於各書寫情境下的關節位置交叉相關係數差異，其代表著書寫者各關節於直行連寫工作任務之共動情形，結果發現：

書寫「水」字情境，筆尖－尺骨莖突之交叉相關係數，三因子交互作用未達顯著 ($F(2,102) = 2.019$, $p > .05$)，進行二因子交互作用之考驗：

1. 書寫者類型與筆尖性質交互作用未達顯著 ($F(2,210) = .938$, $p > .05$, $\eta^2 = .00$)；書寫者類型主效果達顯著 ($F(2,210) = 3.091$, $p < .05$, $\eta^2 = .02$)，左慣用手非迴腕書寫者交叉相關係數大於左慣用手迴腕書寫者；筆尖性質主效果達顯著 ($F(1,210) = 14.104$, $p < .05$, $\eta^2 = .02$)，結果顯示使用軟筆書寫時之位置相關係數顯著大於執硬筆書寫時之相關係數。
2. 書寫者類型與執筆手交互作用達顯著 ($F(2,207) = 3.687$, $p < .05$, $\eta^2 = .02$)，單純主要效果之檢證發現：(1) 右慣用手非迴腕書寫者組內比較慣用手與非慣用手，差異未達顯著 ($F(1,69) = 1.018$, $p > .05$, $\eta^2 = .01$)；(2) 左慣用手迴腕書寫者組內比較執筆手，差異達顯著 ($F(1,69) = 5.268$, $p < .05$, $\eta^2 = .04$)，非慣用手書寫時之相關係數大於慣用手；(3) 左慣用手迴腕書寫者組內之比較，執筆手差異達顯著 ($F(1,69) = 5.193$, p

< .05, η^2 = .03)，使用非慣用手執筆書寫時有較大的交叉相關係數；(4) 慣用手執筆情境比較三組差異，組別達顯著差異 (F(2,213) = 3.715, p < .05, η^2 = .03)，經事後比較發現，第一組右慣用手非迴腕書寫者之相關係數顯著大於第三組左慣用手迴腕書寫者族群；(5) 非慣用手情境，書寫者類型達顯著差異 (F(2,211) = 3.645, p < .05, η^2 = .03)，經事後比較發現，左慣用手非迴腕書寫者書寫時之相關係數，顯著大於右慣用手非迴腕書寫者族群；詳見下圖（圖 18）。

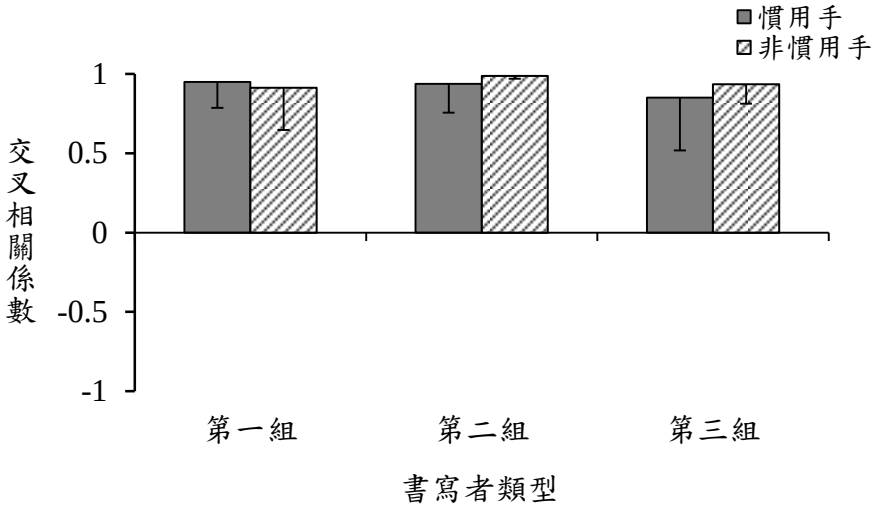


圖 18　筆尖－尺骨莖突Y軸交叉相關係數之書寫者類型與執筆手交互作用-「水」字

3.　筆尖性質與執筆手交互作用未達顯著 (F(1,104) = 2.799, p > .05, η^2 = .01)；筆尖性質主效果達顯著 (F(1,104) = 13.919, p < .05, η^2 = .02)，結果發現使用軟筆書寫時之位置相關係數顯著大於執硬筆書寫時之相關係數；執筆手主要效果則未達顯著 (F(1,104) = 2.458, p > .05, η^2 = .01)。

尺骨莖突－肱外上髁之交叉相關係數，三因子間交互作用達顯著 (F(2,102) = 5.085, p < .05)，進行各細格內二因子交互作用之考驗：

1. 書寫者類型因子恆常：

右慣用手非迴腕書寫者組內，筆尖性質與執筆手兩因子交互作用達顯著 (F(1,34)

= 8.153, $p < .05$, $\eta^2 = .02$)，進一步執行單純主要效果之檢證：(1) 執軟筆書寫情境，執筆手差異達顯著 ($F(1,34) = 52.375$, $p < .05$, $\eta^2 = .40$)，以非慣用手執筆書寫時，有較大的交叉相關係數，另帶一提的是，敘述統計顯示慣用手執筆之交叉相關係數為負值 (M = -.069 ± .822)；(2) 執硬筆書寫情境，執筆手差異亦達顯著水準 ($F(1,34) = 15.288$, $p < .05$, $\eta^2 = .19$)，慣用手執筆書寫時之相關係數顯著小於非慣用手；(3) 慣用手書寫情境下比較筆尖性質差異，結果發現在執硬筆書寫時之交叉相關係數值顯著大於執軟筆書寫 ($F(1,35) = 8.334$, $p < .05$, $\eta^2 = .06$)，慣用手執筆之交叉相關係數亦為負值 (M = -.087 ± .818)；(4) 在非慣用手書寫情境中，筆尖性質差異未達顯著差異水準 ($F(1,34) = .677$, $p > .05$, $\eta^2 = .00$)；如圖 19。

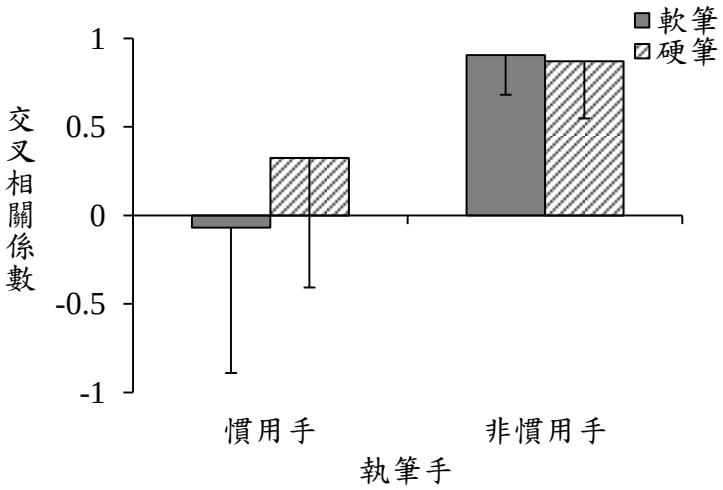


圖 19　右慣用手非迴腕書寫者尺骨莖突－肱外上髁 Y 軸交叉相關係數之筆尖類型與執筆手交互作用-「水」字

左慣用手非迴腕書寫者族群組內之分析指出，筆尖性質與執筆手交互作用未達顯著水準 ($F(1,34) = 2.160$, $p > .05$, $\eta^2 = .01$)；且筆尖性質因子 ($F(1,34) = 1.152$, $p > .05$, $\eta^2 = .00$) 與執筆手主要效果皆未達顯著水準 ($F(1,34) = 3.982$, $p > .05$, $\eta^2 = .02$)。

左慣用手迴腕書寫者與左慣用手非迴腕書寫者族群有相當類似之情況，其筆尖性質與執筆手之交互作用亦未達顯著 ($F(1,34) = .179$, $p > .05$, $\eta^2 = .00$)；且筆尖性質主效果 ($F(1,34) = 1.669$, $p > .05$, $\eta^2 = .00$) 和執筆手之主要效果皆未達顯著之水準 ($F(1,34) = 2.685$, $p > .05$, $\eta^2 = .03$)。

2. 筆尖性質因子恆常：

執軟筆書寫情境，分析結果發現書寫者類型與執筆手交互作用達顯著水準 ($F(2,102) = 19.068$, $p < .05$, $\eta^2 = .11$)，進一步執行單純主要效果之檢驗：(1) 右慣用手非迴腕書寫者組內，執筆手差異達顯著差異 ($F(1,34) = 52.745$, $p < .05$, $\eta^2 = .40$)，非慣用手執筆書寫之交叉相關係數顯著大於慣用手，慣用手執筆之交叉相關係數為負值 (M = -.069 ± .822)；(2) 在左慣用手非迴腕書寫者組內之檢證則發現，不同於第一組書寫者，當其使用慣用手執筆書寫時有較高的交叉相關係數 ($F(1,34) = 6.165$, $p < .05$, $\eta^2 = .06$)；(3) 左慣用手迴腕書寫者組內比較執筆手，差異未達顯著 ($F(1,34) = 2.604$, $p > .05$, $\eta^2 = .03$)，三者情形皆不相同；(4) 慣用手情境下比較三種書寫者類型，差異達顯著 ($F(2,106) = 18.492$, $p < .05$, $\eta^2 = .21$)，事後比較顯示，左慣用手非迴腕書寫者之交叉相關係數顯著大於其他兩組；(5) 非慣用手情境，三組差異亦達顯著 ($F(2,105) = 5.315$, $p < .05$, $\eta^2 = .09$)，經事後比較發現，第一組右慣用手書寫者之交叉相關係數顯著高於第三組左慣用手迴腕書寫者；如圖 20 所示。

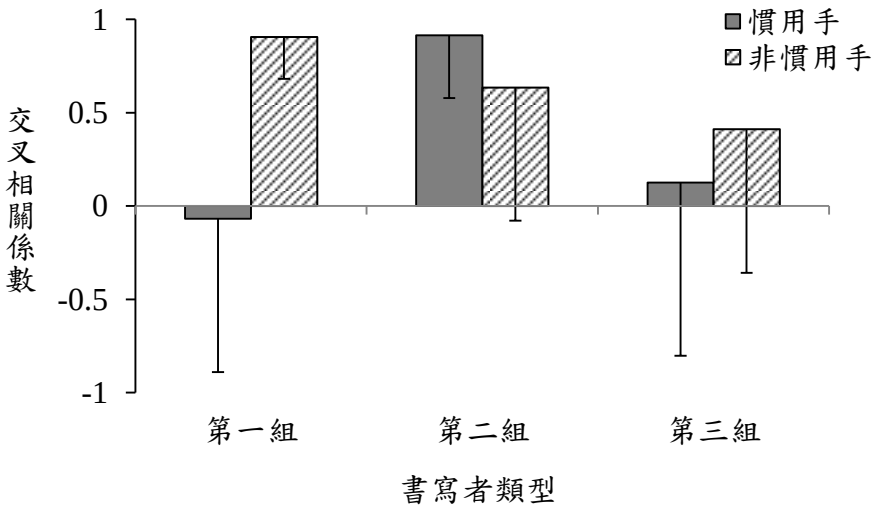


圖 20　軟筆書寫情境尺骨莖突－肱外上髁 Y 軸交叉相關係數之書寫者類型與執筆手交互作用-「水」字

執硬筆情境，書寫者類型與執筆手交互作用達顯著 ($F(2,102) = 4.995$, $p < .05$, $\eta^2 = .03$)，進一步執行單純主要效果之檢驗：(1) 右慣用手非迴腕書寫者組內，執筆手

差異達顯著差異 ($F(1,34) = 15.288, p < .05, \eta^2 = .19$)，非慣用手執筆書寫時有較高的交叉相關係數；(2) 左慣用手非迴腕書寫者組內之檢證則發現執筆手差異未達顯著 ($F(1,34) = .521, p > .05, \eta^2 = .01$)；(3) 於左慣用手迴腕書寫者組內比較執筆手，結果顯示差異並未達顯著水準 ($F(1,34) = 1.949, p > .05, \eta^2 = .02$)；(4) 慣用手情境下比較三種書寫者類型，差異達顯著 ($F(2,106) = 5.912, p < .05, \eta^2 = .09$)，左慣用手非迴腕書寫者之交叉相關係數顯著大於其他兩書寫者類型；(5) 非慣用手情境，三組差異亦達顯著 ($F(2,105) = 3.739, p < .05, \eta^2 = .06$)，由事後比較得知，右慣用手書寫者之交叉相關係數顯著高於左慣用手迴腕書寫者（如圖 21 所示）。

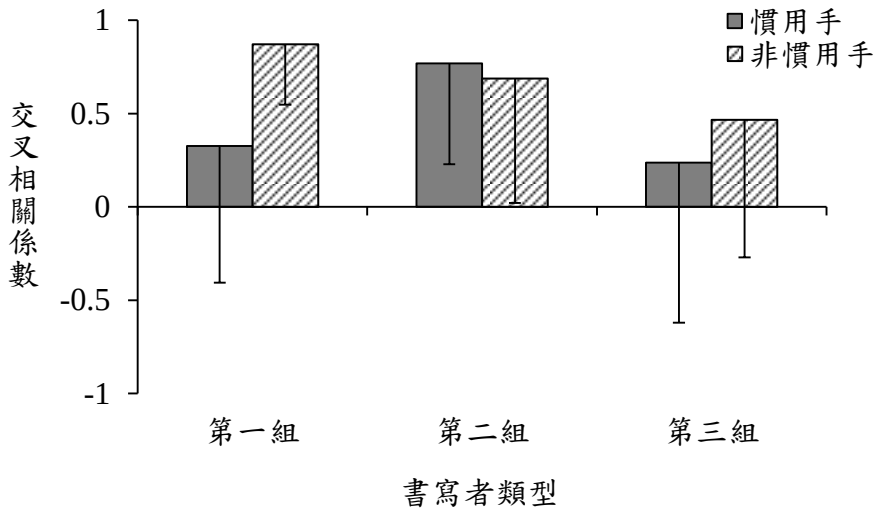


圖 21　硬筆書寫情境尺骨莖突－肱外上髁 Y 軸交叉相關係數之書寫者類型與執筆手交互作用-「水」字

3. 執筆手因子恆常：

慣用手執筆情境，書寫者類型與筆尖性質因子交互作用達顯著 ($F(2,104) = 6.647, p < .05, \eta^2 = .02$)，進一步檢證單純主要效果：(1) 第一組組內，筆尖性質差異達顯著 ($F(1,35) = 8.334, p < .05, \eta^2 = .06$)，執硬筆書寫時有較大之交叉相關係數，軟筆書寫情境之交叉相關係數為負值 ($M = -.087 \pm .818$)；(2) 第二組組內比較筆尖性質差異，結果顯示差異未達顯著水準 ($F(1,35) = 3.228, p > .05, \eta^2 = .03$)；(3) 左慣用手迴腕書寫者組內之比較發現，筆尖性質差異未達顯著 ($F(1,34) = 1.640, p > .05, \eta^2 = .01$)；(4) 軟

筆情境比較組別差異，書寫者類型達顯著差異 ($F(2,106) = 18.492$, $p < .05$, $\eta^2 = .21$)，經事後比較之檢證發現第二組左慣用手非迴腕書寫者之交叉相關係數顯著高於其他兩類書寫者；(5) 硬筆情境與軟筆書寫情境有類似之結果，組別因子同樣達顯著差異 ($F(2,106) = 5.912$, $p < .05$, $\eta^2 = .09$)，事後比較表示左慣用手非迴腕書寫者書寫時之交叉相關係數顯著較其他兩組為高；如下圖（見圖 22）。

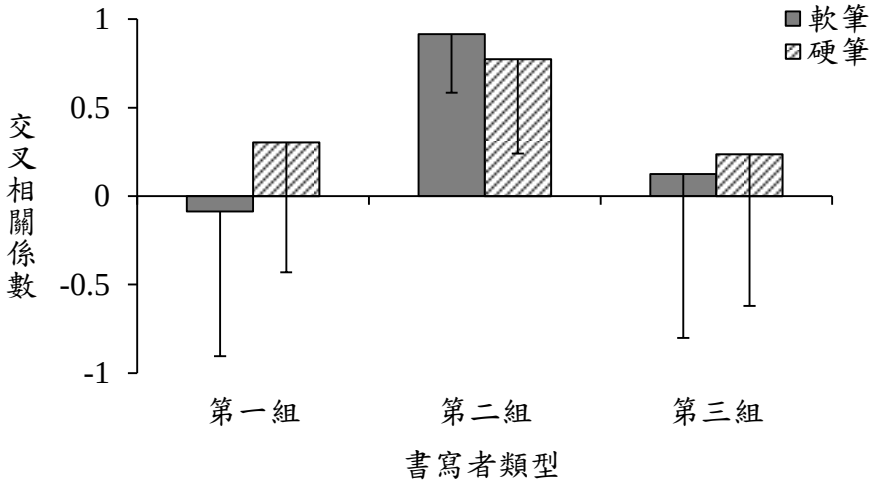


圖 22　慣用手書寫情境尺骨莖突－肱外上髁 Y 軸交叉相關係數之書寫者類型與筆尖性質交互作用-「水」字

非慣用手執筆情境，書寫者類型與筆尖性質兩因子之間交互作用未達統計考驗顯著水準 ($F(2,103) = .436$, $p > .05$, $\eta^2 = .00$)；書寫者類型主效果達顯著 ($F(2,103) = 5.151$, $p < .05$, $\eta^2 = .08$)，事後比較顯示第一組右慣用手非迴腕書寫者之相關係數顯著大於第三組左慣用迴腕書寫者；筆尖性質主效果則未達顯著 ($F(1,103) = .300$, $p > .05$, $\eta^2 = .00$)。

肱外上髁－肩峰的交叉相關係數，三因子交互作用未達顯著水準 ($F(2,102) = .129$, $p > .05$)，執行二因子交互作用之考驗：

1. 書寫者類型與筆尖性質交互作用未達顯著 ($F(2,210) = 2.594$, $p > .05$, $\eta^2 = .01$)；書寫者類型主效果達顯著 ($F(2,210) = 4.333$, $p < .05$, $\eta^2 = .03$)，左慣用手非迴腕書寫者書

寫時之相關係數大於左慣用手迴腕書寫者族群；筆尖性質之主要效果則未達統計顯著水準 ($F(1,210) = .026$, $p > .05$, $\eta^2 = .00$)。

2. 書寫者類型與執筆手交互作用達顯著 ($F(2,207) = 5.331$, $p < .05$, $\eta^2 = .03$)，進一步檢證單純主要效果：(1) 右慣用手非迴腕書寫者組內比較執筆手，差異達顯著 ($F(1,69) = 7.126$, $p < .05$, $\eta^2 = .05$)，使用非慣用手書寫時有較大的交叉相關係數；(2) 左慣用手非迴腕書寫者組內比較慣用手與非慣用手，差異未達顯著 ($F(1,69) = 3.013$, $p > .05$, $\eta^2 = .02$)；(3) 左慣用手迴腕書寫者組內比較執筆手，差異亦未達顯著 ($F(1,69) = 1.448$, $p > .05$, $\eta^2 = .01$)；(4) 慣用手執筆情境比較三組差異，書寫者類型達顯著差異 ($F(2,213) = 7.352$, $p < .05$, $\eta^2 = .06$)，經事後比較得知左慣用手非迴腕書寫者書寫時之相關係數皆顯著大於其他兩組參與者；(5) 非慣用手情境，組別差異達顯著水準 ($F(2,211) = 4.137$, $p < .05$, $\eta^2 = .04$)，右慣用手書寫者之交叉相關係數值大於左慣用手迴腕書寫者；如圖 23。

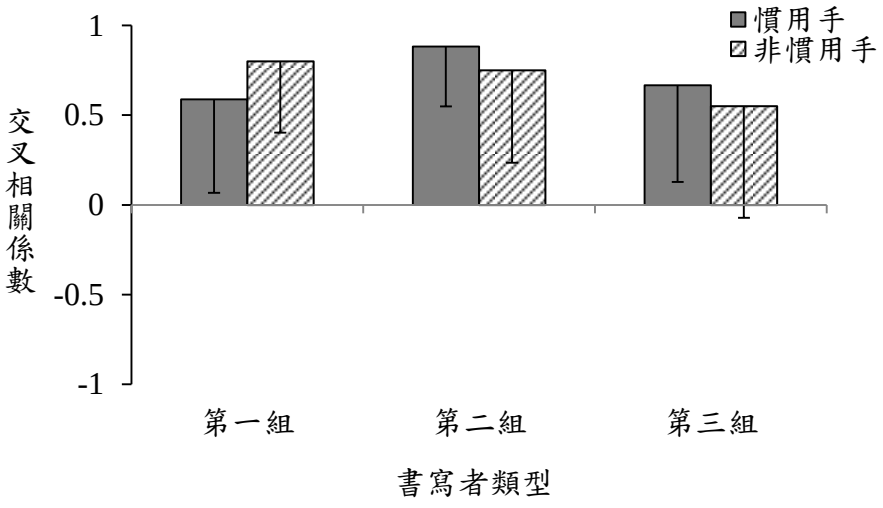


圖 23　肱外上髁－肩峰 Y 軸交叉相關係數之書寫者類型與執筆手交互作用-「水」字

3. 筆尖性質與執筆手因子交互作用未達顯著 ($F(1,104) = 2.270$, $p > .05$, $\eta^2 = .00$)；筆尖性質之主要效果 ($F(1,104) = .023$, $p > .05$, $\eta^2 = .00$) 以及執筆手之主效果 ($F(1,104) = .036$, $p > .05$, $\eta^2 = .00$) 皆未達顯著。

書寫「去」字情境，筆尖－尺骨莖突之交叉相關係數，三因子交互作用未達顯著 ($F(2,102) = .555, p > .05$)，進行二因子交互作用之考驗：

1. 書寫者類型與筆尖性質交互作用未達顯著 ($F(2,210) = 1.505, p > .05, \eta^2 = .01$)；組別主效果未達顯著 ($F(2,210) = 2.243, p > .05, \eta^2 = .01$)；筆尖性質主效果則達顯著水準 ($F(1,210) = 16.225, p < .05, \eta^2 = .03$)，軟筆書寫情境有較高的交叉相關係數值。
2. 書寫者類型與執筆手交互作用未達顯著 ($F(2,207) = 1.022, p > .05, \eta^2 = .00$)；組別主效果 ($F(2,207) = 1.672, p > .05, \eta^2 = .01$) 與執筆手之主效果皆未達統計顯著水準 ($F(1,207) = .778, p > .05, \eta^2 = .00$)。
3. 筆尖性質與執筆手交互作用未達顯著 ($F(1,104) = .713, p > .05, \eta^2 = .00$)；筆尖性質主效果達顯著 ($F(1,104) = 11.351, p < .05, \eta^2 = .03$)，執軟筆書寫時有較大的交叉相關係數；而在執筆手方面，差異則未達顯著 ($F(1,104) = .705, p > .05, \eta^2 = .00$)。

尺骨莖突－肱外上髁之交叉相關係數，三因子交互作用未達顯著 ($F(2,102) = .211, p > .05$)，進行二因子交互作用之考驗：

1. 書寫者類型與筆尖性質交互作用未達顯著 ($F(2,210) = .536, p > .05, \eta^2 = .00$)，書寫者類型主效果達顯著 ($F(2,210) = 8.766, p < .05, \eta^2 = .06$)，左慣用手迴腕書寫者書寫時之相關係數小於其他兩組；筆尖性質之主效果則是未達顯著 ($F(1,210) = .274, p > .05, \eta^2 = .00$)。
2. 書寫者類型與執筆手交互作用達顯著 ($F(2,207) = 4.621, p < .05, \eta^2 = .02$)，進一步進行單純主要效果的檢證：(1) 右慣用手非迴腕書寫者組內比較執筆手，差異達顯著 ($F(1,69) = 5.799, p < .05, \eta^2 = .04$)，非慣用手相較於慣用手執筆情境有較大交叉相關係數；(2) 左慣用手非迴腕書寫者組內比較慣用手與非慣用手之差異，結果顯示差異達顯著 ($F(1,69) = 6.637, p < .05, \eta^2 = .04$)，不同的是，結果顯示慣用手書寫情境有較大之交叉相關係數；(3) 左慣用手迴腕書寫者組內之比較發現，執筆手差異未達顯著 ($F(1,69) = .013, p > .05, \eta^2 = .00$)，檢視以上分析結果發現三類型書寫者之執筆手差異情形皆盡不同；(4) 慣用手執筆書寫情境下比較三組差異，書寫者類型達顯

著差異 ($F(2,213) = 11.794, p < .05, \eta^2 = .09$)，經事後比較發現，左慣用手非迴腕書寫者相關係數皆顯著大於其他兩類型書寫者；(5) 非慣用手情境，組別達顯著差異 ($F(2,211) = 7.216, p < .05, \eta^2 = .06$)，經事後比較發現，左慣用手迴腕書寫者書寫時之相關係數顯著低於其他兩組；如圖 24 所示。

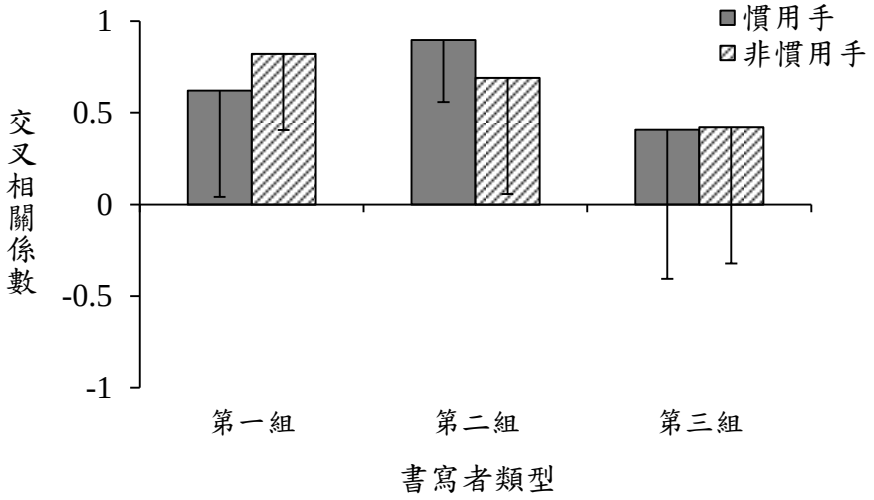


圖 24　尺骨莖突－肱外上髁 Y 軸交叉相關係數之書寫者類型與執筆手交互作用-「去」字

3. 筆尖性質與執筆手交互作用未達顯著 ($F(1,104) = 1.115, p > .05, \eta^2 = .00$)，筆尖性質主效果未達顯著 ($F(1,104) = .291, p > .05, \eta^2 = .00$)；執筆手主效果亦未達統計顯著水準 ($F(1,104) = .002, p > .05, \eta^2 = .00$)。

肱外上髁－肩峰的交叉相關係數，組別、筆尖性質與執筆手之三因子交互作用未達顯著 ($F(2,102) = 1.158, p > .05$)，進行二因子交互作用之考驗：

1. 書寫者類型與筆尖性質交互作用未達顯著 ($F(2,210) = .597, p > .05, \eta^2 = .00$)；書寫者類型主效果達顯著 ($F(2,210) = 3.403, p < .05, \eta^2 = .02$)，左慣用手非迴腕書寫者書寫時之相關係數大於第三組左慣用手迴腕書寫者；筆尖性質主效果則未達統計顯著水準 ($F(1,210) = .200, p > .05, \eta^2 = .00$)。
2. 書寫者類型與執筆手交互作用達顯著 ($F(2,207) = 6.546, p < .05, \eta^2 = .03$)，進一步檢

證單純主要效果：(1) 右慣用手非迴腕書寫者組內比較執筆手，差異達顯著 ($F(1,69) = 5.224$ $p < .05$, $\eta^2 = .03$)，使用非慣用手書寫時有較大的交叉相關係數；(2) 左慣用手非迴腕書寫族群組內，比較執筆手之差異，結果達顯著 ($F(1,69) = 7.012$, $p < .05$, $\eta^2 = .05$)，以慣用手書寫時有較大的相關係數；(3) 左慣用手迴腕書寫者組內比較執筆手差異，分析結果顯示差異未達顯著 ($F(1,69) = 2.633$, $p > .05$, $\eta^2 = .04$)，此分析結果皆異於其他兩組，亦即三種書寫者類型之執筆手差異情形皆不同；(4) 慣用手執筆情境比較三組差異，書寫者類型達顯著差異 ($F(2,213) = 8.731$, $p < .05$, $\eta^2 = .07$)，經事後比較得知，左慣用手非迴腕書寫者書寫時之相關係數顯著大於其他兩組；(5) 非慣用手執筆書寫情境之檢證，發現組別差異未達統計考驗之顯著水準 ($F(2,211) = 3.075$, $p > .05$, $\eta^2 = .03$)，如下圖所示（圖 25）。

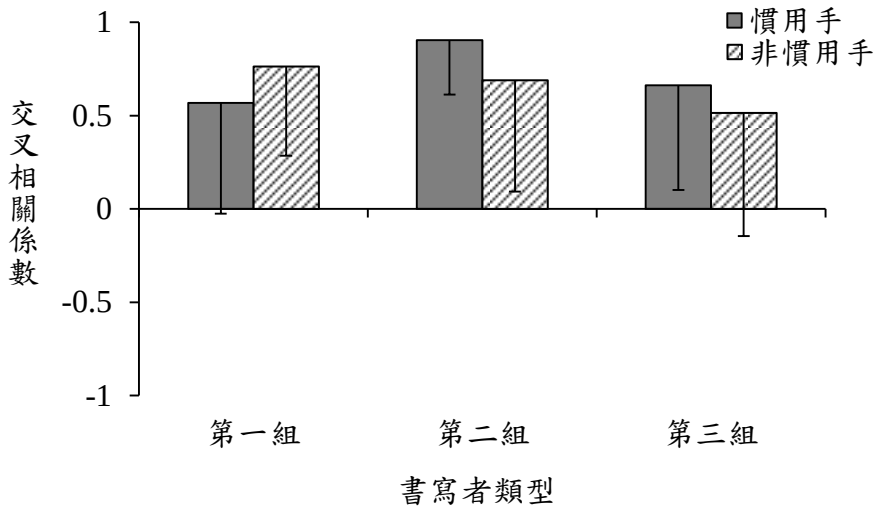


圖 25　肱外上髁－肩峰 Y 軸交叉相關係數之書寫者類型與執筆手交互作用-「去」字

3. 執筆手與筆尖性質交互作用未達顯著 ($F(1,104) = .903$, $p > .05$, $\eta^2 = .00$)；且筆尖性質主效果 ($F(1,104) = .253$, $p > .05$, $\eta^2 = .00$) 與執筆手主效果 ($F(1,104) = .856$, $p > .05$, $\eta^2 = .00$) 皆未達顯著。

本研究中，Y 軸（矢狀面）係為連筆書寫時之行進方向，由身體正前方之遠端往近側移動，迥異於英文字母橫向連結形式，是為漢字連筆書寫的一大特色，是以筆尖與尺骨莖突兩標記位置之間有很高的正相關，其交叉相關係數多在 0.800 以上，達 0.950 以上者亦不在少數；在統計檢證方面，在筆尖－尺骨莖突、尺骨莖突－肱外上髁交叉相關係數之分析發現，不同情境之間存有許多差異，此意味著各組在前臂部份有不同的肢體協調形式，相對地，肱外上髁－肩峰之交叉相關係數差異較少，顯示兩關節位置較不易受書寫者類型，抑或執筆手與書寫工具的更替所擾動；此外，不同字形之檢證結果亦發現，肱外上髁－肩峰交叉相關係數之分析結果最為一致，敘述統計數值亦相近，這表示此些近端肢段可能扮演著穩定支撐之角色，與字形之書寫較不直接相關，但並非表示此一自由度之參與重要性較低，事實上，適度減低冗餘自由度也是動作控制的一大課題。綜整以上分析結果發現，不論在筆尖－尺骨莖突、尺骨莖突－肱外上髁，或是在肱外上髁－肩峰之交叉相關係數檢證，整體而言，書寫者類型以左慣用手非迴腕書寫者族群有最高之交叉相關係數，相依因子方面，筆尖性質之比較發現執軟筆書寫情境有較高的交叉相關係數，以及執筆手之檢證發現使用非慣用手書寫時有較高的交叉相關係數；這或許意指：（一）左慣用手非迴腕書寫者相較於其他兩類型書寫者，傾向於凍結較多之自由度，但有趣的是這並不影響其書寫面積之表現，其甚至有著相對較快的書寫速度，推測也許有其他未被量測的自由度參與其中，單就此一向度檢證結果難以概觀整體協調的運作；（二）在執行相對不熟悉且具有一定難度之工作任務時，如執軟筆進行書寫，個體傾向於凍結自由度 (freezing the degrees of freedom) (Bernstein, 1967)，將部分協調函數變項，如鎖定腕關節自由度等以達成工作任務之要求，此階段的動作執行多是較為僵硬而缺乏效率，也並非認知介入所造成之行為表現；（三）不同執筆手有著不同協調架構，個體以自我組織之方式協調各肢段，以執行此一書寫任務，相對低技能的非慣用手亦有凍結自由度之現象，與執軟筆書寫之任務有類似之處。

（二）X 軸之相鄰標記點位置成對交叉相關

其次就 X 軸（額狀面）位置，以 3（書寫者類型）x 2（筆尖性質）x 2（執筆手）混合設計三因子變異數分析，其中筆尖性質與執筆手為重複量數，考驗不同書寫者類型於各書寫情境下，各關節交叉相關係數之差異，此軸向數據代表著書寫者各關節於書寫單字時之左右擺盪共動情形，結果發現：

書寫「水」字情境，筆尖－尺骨莖突之交叉相關係數，組別、執筆手與筆尖性質之三因子交互作用未達顯著 ($F(2,102) = .947, p > .05$)，進行二因子交互作用之考驗：

1. 書寫者類型與筆尖性質交互作用未達顯著 ($F(2,210) = 1.734, p > .05, \eta^2 = .01$)；書寫者類型主效果達顯著 ($F(2,210) = 4.808, p < .05, \eta^2 = .03$)，事後比較指出右慣用手非迴腕書寫者書寫時之相關係數顯著大於左慣用手非迴腕書寫者族群；筆尖性質主效果亦達顯著水準 ($F(1,210) = 73.094, p < .05, \eta^2 = .09$)，使用軟筆書寫時有較大的交叉相關係數。
2. 書寫者類型與執筆手交互作用達顯著 ($F(2,207) = 10.385, p < .05, \eta^2 = .03$)，進一步檢證單純主要效果：(1) 右慣用手非迴腕書寫者組內比較執筆手，差異達顯著 ($F(1,69) = 6.655, p < .05, \eta^2 = .02$)，使用慣用手書寫時有較大的交叉相關係數；(2) 左慣用手非迴腕書寫者組內比較慣用手與非慣用手，差異達顯著水準 ($F(1,69) = 8.754, p < .05, \eta^2 = .06$)，非慣用手執筆書寫時有較大的交叉相關係數值；(3) 左慣用手迴腕書寫者組內比較執筆手，差異達顯著 ($F(1,69) = 14.662, p < .05, \eta^2 = .06$)，結果同第二組，非慣用手較之於慣用手書寫時有較高的交叉相關值；(4) 慣用手執筆情境比較三組差異，書寫者類型達顯著差異 ($F(2,213) = 12.640, p < .05, \eta^2 = .10$)，經事後比較得知右慣用手非迴腕書寫者以慣用手進行書寫時之相關係數皆顯著大於其他兩組；(5) 非慣用手情境，組別差異未達顯著 ($F(2,211) = .162, p > .05, \eta^2 = .00$)；詳見下圖（圖 26）。

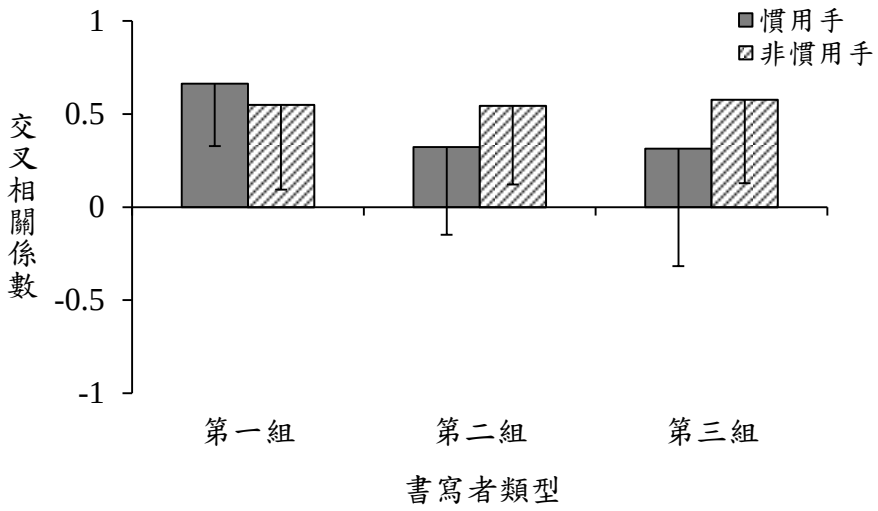


圖 26　筆尖－尺骨莖突 X 軸交叉相關係數之書寫者類型與執筆手交互作用-「水」字

3.　筆尖性質與執筆手因子交互作用達顯著 ($F(1,104) = 5.435$, $p < .05$, $\eta^2 = .01$)，進一步執行單純主要效果之檢證，結果顯示：(1) 在軟筆書寫情境下比較執筆手差異，發現其差異並未達顯著水準 ($F(1,104) = 1.254$, $p > .05$, $\eta^2 = .01$)；(2) 在執硬筆書寫情境下，執筆手差異達顯著 ($F(1,104) = 10.478$, $p < .05$, $\eta^2 = .03$)，非慣用手相較於慣用手有較大的相關係數；(3) 慣用手情境，筆尖性質差異達顯著 ($F(1,106) = 45.119$, $p < .05$, $\eta^2 = .12$)，使用軟筆書寫時相較於硬筆書寫情境有較大的交叉相關係數；(4) 非慣用手書寫情境下，軟筆相較於硬筆有較高的相關係數 ($F(1,105) = 28.645$, $p < .05$, $\eta^2 = .06$)；見圖 27。

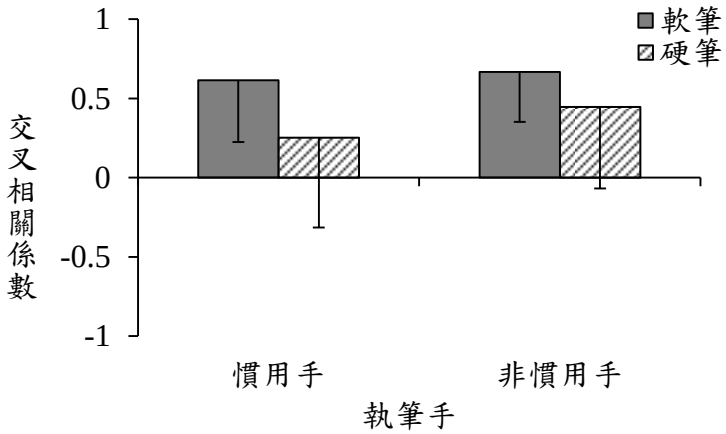


圖 27　筆尖－尺骨莖突 X 軸交叉相關係數之筆尖性質與執筆手交互作用-「水」字

尺骨莖突－肱外上髁之交叉相關係數，三因子之間交互作用未達顯著 ($F(2,102) = 1.210$, $p > .05$)，進行二因子交互作用之考驗：

1. 書寫者類型與筆尖性質交互作用未達顯著 ($F(2,210) = .061$, $p > .05$, $\eta^2 = .00$)；書寫者類型主效果達顯著 ($F(2,210) = 11.231$, $p < .05$, $\eta^2 = .07$)，左慣用手非迴腕書寫者書寫時之相關係數大於其他兩組；筆尖性質之主效果亦達顯著水準 ($F(1,210) = 4.494$, $p < .05$, $\eta^2 = .01$)，執硬筆書寫時有較高的交叉相關係數。
2. 書寫者類型與執筆手交互作用達顯著 ($F(2,207) = 11.056$, $p < .05$, $\eta^2 = .04$)，進一步進行單純主要效果的檢證：(1) 右慣用手非迴腕書寫者組內比較執筆手，差異達顯著 ($F(1,69) = 19.566$, $p < .05$, $\eta^2 = .13$)，非慣用手執筆書寫情境相較於慣用手書寫情境 (M = -.007 ± .680) 有較大的相關係數值；(2) 左慣用手迴腕書寫者組內比較慣用手與非慣用手，結果顯示差異達顯著 ($F(1,69) = 4.706$, $p < .05$, $\eta^2 = .02$)，慣用手執筆書寫時有較大的交叉相關係數；(3) 左慣用手迴腕書寫者組內之比較發現執筆手差異達顯著 ($F(1,69) = 4.128$, $p < .05$, $\eta^2 = .03$)，相較於慣用手職筆書寫情境 (M = -.102 ± .760)，非慣用手書寫時有較大之交叉相關係數；(4) 慣用手執筆情境比較三組差異，書寫者類型達顯著差異 ($F(2,213) = 19.347$, $p < .05$, $\eta^2 = .14$)，經事後比較發現，第二組左慣用手非迴腕書寫者相關係數皆顯著高於其他兩類型之書寫者族群；(5) 在非慣用手書寫情境中，組別達顯著差異 ($F(2,211) = 6.115$, $p < .05$, $\eta^2 = .05$)，事後比較得知右慣用手非迴腕書寫者族群書寫時之相關係數顯著高於左慣用手迴腕書寫者；如圖 28 所示。

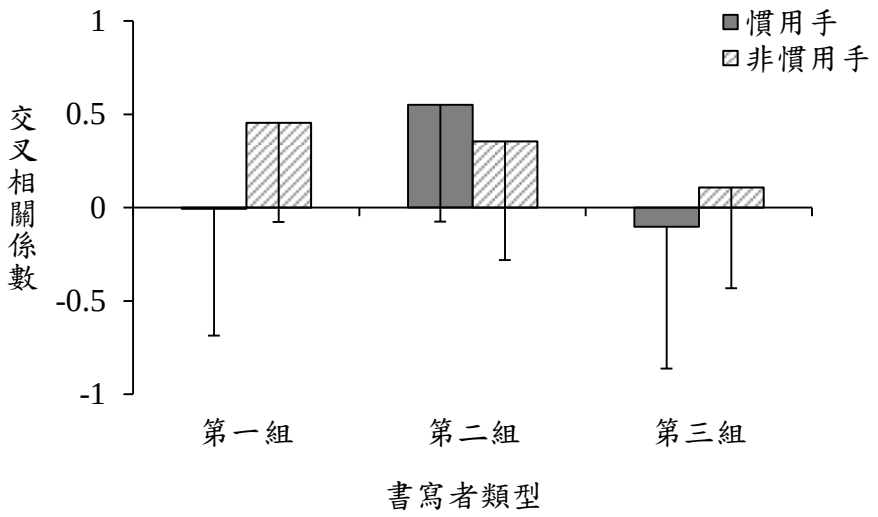


圖 28　尺骨莖突－肱外上髁 X 軸交叉相關係數之書寫者類型與執筆手交互作用-「水」字

3.　筆尖性質與執筆手交互作用達顯著 ($F(1,104) = 13.211$, $p < .05$, $\eta^2 = .02$)，單純主要效果之分析發現：(1) 軟筆書寫情境比較筆尖性質之差異，結果顯示非慣用手執筆有較高之交叉相關係數值 ($F(1,104) = 14.087$, $p < .05$, $\eta^2 = .06$)；(2) 硬筆書寫情境，執筆手差異未達顯著水準 ($F(1,104) = .000$, $p > .05$, $\eta^2 = .00$)；(3) 慣用手執筆情境之檢證發現硬筆書寫時相對於軟筆書寫有較大之相關係數 ($F(1,106) = 15.443$, $p < .05$, $\eta^2 = .03$)；(4) 非慣用手書寫情境之筆尖性質差異則未達統計顯著水準 ($F(1,105) = 1.294$, $p > .05$, $\eta^2 = .00$)；如下圖所示（圖 29）。

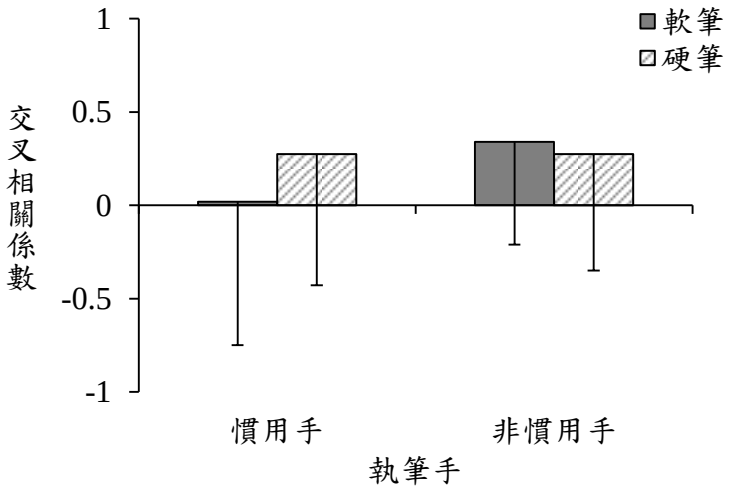


圖 29　尺骨莖突－肱外上髁 X 軸交叉相關係數之筆尖性質與執筆手交互作用-「水」字

肱外上髁－肩峰的交叉相關係數，組別、執筆手與筆尖性質三因子之間交互作用達顯著 ($F(2,102) = 3.899$, $p < .05$)，進行各細格內二因子交互作用之考驗：

1. 書寫者類型因子恆常

右慣用手非迴腕書寫者組內之分析顯示，筆尖性質與執筆手兩因子交互作用達顯著 ($F(1,34) = 9.079$, $p < .05$, $\eta^2 = .03$)，進一步執行單純主要效果之檢證：(1) 執軟筆書寫情境，執筆手差異達顯著水準 ($F(1,34) = 98.340$, $p < .05$, $\eta^2 = .63$)，慣用手執筆書寫時有較大的交叉相關係數，且非慣用手執筆之交叉相關係數值為負 (M = -.314 ± .543)；(2) 硬筆書寫情境，執筆手差異達顯著($F(1,34) = 11.844$, $p < .05$, $\eta^2 = .16$)，慣用手執筆書寫時之相關係數大於非慣用手執筆情境 (M = -.079 ± .705)；(3) 慣用手書寫情境下比較筆尖性質差異，結果發現執軟筆書寫時之交叉相關係數值顯著大於執硬筆書寫之情境 ($F(1,35) = 7.705$, $p < .05$, $\eta^2 = .07$)；(4) 在非慣用手書寫情境中，筆尖性質差異未達顯著差異水準 ($F(1,34) = 2.880$, $p > .05$, $\eta^2 = .04$)，軟筆書寫 (M = -.314 ± .543) 或硬筆書寫 (M = -.079 ± .705) 時之交叉相關係數皆為負值；如圖 30。

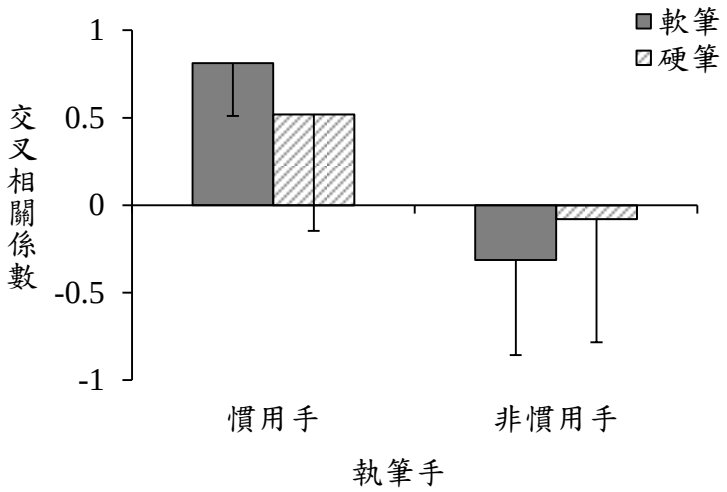


圖 30　右慣用手非迴腕書寫者肱外上髁－肩峰 X 軸交叉相關係數之筆尖性質與執筆手交互作用-「水」字

左慣用手非迴腕書寫者族群組內，筆尖性質與執筆手交互作用未達顯著 ($F(1,34) = .821$, $p > .05$, $\eta^2 = .00$)；筆尖性質主效果未達顯著 ($F(1,34) = .595$, $p > .05$, $\eta^2 = .00$)；

執筆手主效果則達顯著水準 (F (1,34) = 5.292, p < .05, η^2 = .04)，慣用手書寫時有較大的交叉相關係數。

左慣用手迴腕書寫者之分析情形又異於其他兩組，檢證結果顯示筆尖性質與執筆手之交互作用未達顯著 (F(1,34) = .196, p > .05, η^2 = .00)；且筆尖性質之主要效果 (F(1,34) = 2.751, p > .05, η^2 = .02) 以及執筆手主效果皆未達顯著之水準 (F(1,34) = 1.786, p > .05, η^2 = .01)。

2. 筆尖性質因子恆常

執軟筆書寫情境，分析結果發現書寫者類型與執筆手交互作用達顯著水準 (F(2,102) = 15.185, p < .05, η^2 = .10)，進一步執行單純主要效果之分析，結果顯示：(1) 右慣用手非迴腕書寫者組內，執筆手差異達顯著差異 (F(1,34) = 98.340, p < .05, η^2 = .63)，慣用手執筆書寫時，相較於非慣用手 (M = -.314 ± .543) 有較大之交叉相關係數；(2) 在左慣用手非迴腕書寫者族群內之檢證則發現執筆手差異未達顯著 (F(1,34) = 1.902, p > .05, η^2 = .02)；(3) 同樣地，在左慣用手迴腕書寫者組內比較執筆手，差異亦未達統計顯著水準 (F(1,34) = 1.767, p > .05, η^2 = .02)；(4) 慣用手情境下比較三種書寫者類型，差異達顯著 (F(2,106) = 5.139, p < .05, η^2 = .08)，事後比較顯示右慣用手非迴腕書寫者之交叉相關係數顯著高於其他兩組左慣用手書寫者；(5) 非慣用手情境，三組差異亦達顯著 (F(2,105) = 7.268, p < .05, η^2 = .11)，經事後比較發現，與慣用手情境相反，右慣用手書寫者之交叉相關係數 (M = -.314 ± .543) 反倒顯著低於其他兩書寫者類型；如圖 31 所示。

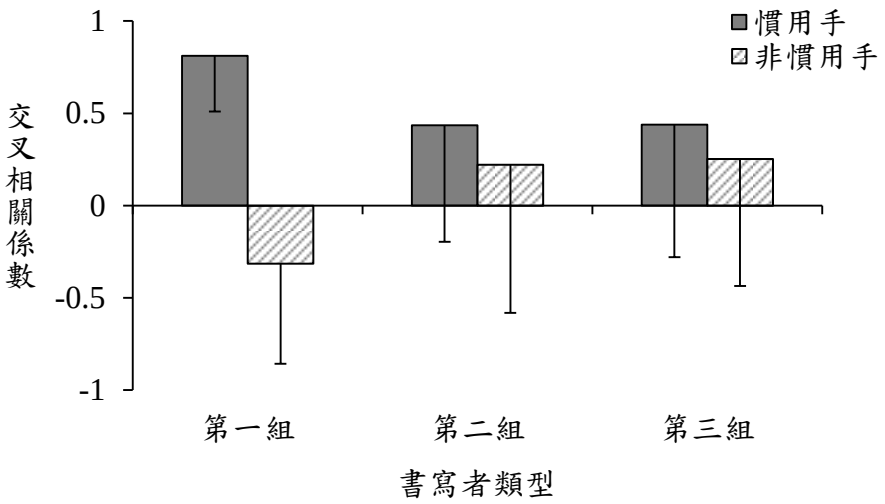


圖 31　軟筆書寫情境肱外上髁－肩峰 X 軸交叉相關係數之書寫者類型與執筆手交互作用-「水」字

執硬筆情境，書寫者類型與執筆手交互作用未達顯著 ($F(2,102) = 2.527$, $p > .05$, $\eta^2 = .02$)；組別主效果亦未達顯著 ($F(2,102) = .258$, $p > .05$, $\eta^2 = .00$)；執筆手主要效果達顯著，慣用手有較大的交叉相關係數 ($F(1,102) = 15.768$, $p > .05$, $\eta^2 = .06$)。

3. 執筆手因子恆常

慣用手執筆情境，書寫者類型與筆尖性質兩因子交互作用未達顯著水準 ($F(2,104) = 1.450$, $p > .05$, $\eta^2 = .01$)；書寫者類型主效果 ($F(2,104) = 4.080$, $p < .05$, $\eta^2 = .05$) 與筆尖性質主效果 ($F(1,104) = 6.096$, $p < .05$, $\eta^2 = .02$) 皆達統計考驗之顯著水準，事後比較顯示，右慣用手非迴腕書寫者相較於左慣用手迴腕書寫者有較大之交叉相關係數，且於執軟筆書寫情境之相關係數也較硬筆書寫情境為高。

於非慣用手執筆情境之檢驗發現，書寫者類型與筆尖性質交互作用未達顯著 ($F(2,103) = 2.276$, $p > .05$, $\eta^2 = .01$)；組別主要效果達顯著 ($F(2,103) = 4.478$, $p < .05$, $\eta^2 = .06$)，事後比較顯示第一組之相關係數顯著小於第三組左慣用手迴腕書寫者；而筆尖性質方面，主效果並未達統計顯著水準 ($F(1,103) = .002$, $p > .05$, $\eta^2 = .00$)。

書寫「去」字情境，筆尖－尺骨莖突之交叉相關係數，三因子交互作用達顯著 ($F(2,102) = 11.788$, $p < .05$)，進行各細格內二因子交互作用之考驗：

1. 書寫者類型因子恆常

右慣用手非迴腕書寫者組內之分析顯示，筆尖性質與執筆手兩因子交互作用達顯著 ($F(1,34) = 12.639$, $p < .05$, $\eta^2 = .03$)，進一步執行單純主要效果之檢驗發現：(1) 執軟筆書寫情境，執筆手差異達顯著水準 ($F(1,34) = 7.883$, $p < .05$, $\eta^2 = .06$)，非慣用手執筆書寫時有較大的交叉相關係數；(2) 硬筆書寫情境之分析指出，執筆手差異並未達統計顯著水準 ($F(1,34) = 1.152$, $p > .05$, $\eta^2 = .01$)；(3) 慣用手書寫情境下比較筆尖性質差異，結果顯示差異未達顯著 ($F(1,35) = .086$, $p > .05$, $\eta^2 = .00$)；(4) 在非慣用手書寫情境之中，筆尖性質差異達顯著水準 ($F(1,34) = 15.624$, $p < .05$, $\eta^2 = .10$)，軟筆書寫情境相較於執硬筆書寫時有較高的交叉相關係數；詳見圖 32 所示。

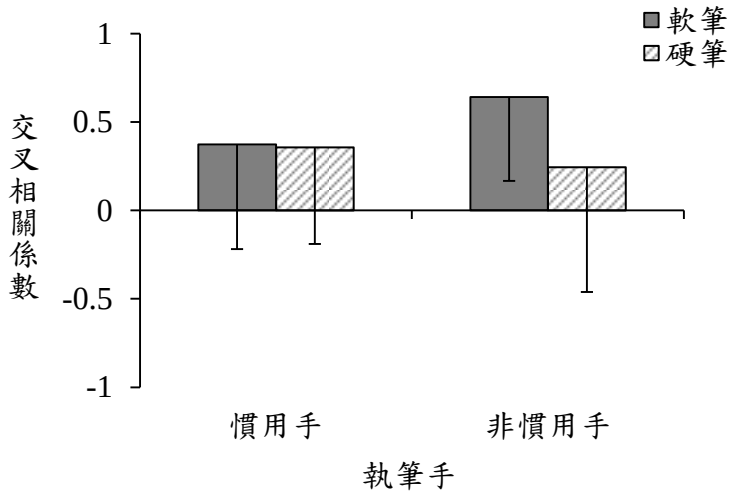


圖 32　右慣用手非迴腕書寫者筆尖－尺骨莖突 X 軸交叉相關係數之筆尖性質與執筆手交互作用-「去」字

左慣用手非迴腕書寫者族群，筆尖性質與執筆手兩因子交互作用同樣達到顯著水準 ($F(1,34) = 11.007$, $p < .05$, $\eta^2 = .04$)，單純主要效果之考驗結果顯示：(1) 執軟筆書寫情境之分析指出執筆手差異未達顯著水準 ($F(1,34) = .370$, $p > .05$, $\eta^2 = .01$)；(2) 於硬筆書寫情境之檢證，執筆手差異達顯著 ($F(1,34) = 19.310$, $p < .05$, $\eta^2 = .20$)，結果顯示，非慣用手書寫時有較大的交叉相關係數數值，慣用手之交叉相關係數為負值 (M = -.104 ± .553)；(3) 慣用手書寫情境下比較筆尖性質，結果顯示差異達顯著 ($F(1,35)$

= 10.676, $p < .05$, $\eta^2 = .11$)，執軟筆書寫相較於硬筆書寫情境 (M = -.113 ± .548) 有較大之交叉相關係數；(4) 在非慣用手書寫情境，考驗結果指出筆尖性質差異並未達顯著水準 ($F(1,34) = .950$, $p > .05$, $\eta^2 = .01$)；如圖 33。

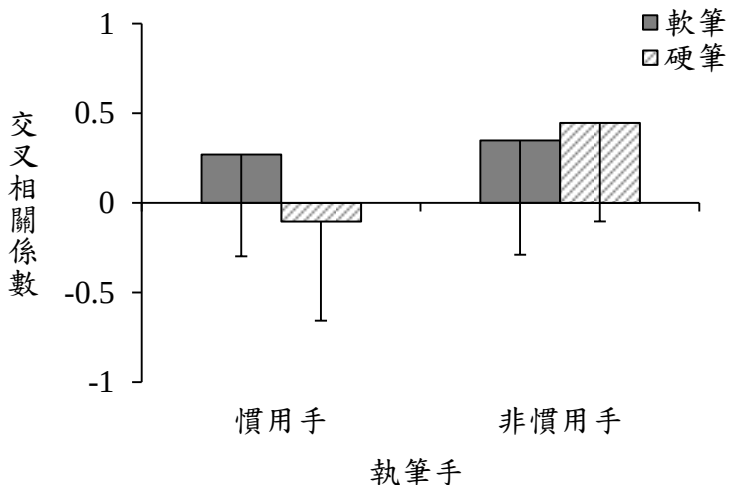


圖 33　左慣用手非迴腕書寫者筆尖－尺骨莖突 X 軸交叉相關係數之筆尖性質與執筆手交互作用-「去」字

左慣用手迴腕書寫者之考驗顯示，筆尖性質與執筆手之交互作用未達顯著 ($F(1,34) = 3.590$, $p > .05$, $\eta^2 = .01$)；筆尖性質主要效果達顯著水準 ($F(1,34) = 20.444$, $p < .05$, $\eta^2 = .10$)，軟筆書寫情境有較大之關節角度變異；執筆手主效果方面，差異未達顯著 ($F(1,34) = 3.252$, $p > .05$, $\eta^2 = .02$)。

2. 筆尖性質因子恆常

執軟筆書寫情境之檢證結果指出，書寫者類型與執筆手交互作用未達顯著水準 ($F(2,102) = 1.205$, $p > .05$, $\eta^2 = .01$)；但在組別 ($F(2,102) = 3.524$, $p < .05$, $\eta^2 = .04$) 與執筆手方面 ($F(1,102) = 4.536$, $p < .05$, $\eta^2 = .02$)，主效果皆達統計考驗顯著水準，左慣用手迴腕書寫者相較於第一組之右慣用手書寫者，以及非慣用手執筆情境較之於慣用手書寫情境有較大的交叉相關係數。

於執硬筆書寫情境，書寫者類型與執筆手之交互作用達顯著 ($F(2,102) = 7.264$, $p < .05$, $\eta^2 = .05$)；進一步檢證單純主要效果：(1) 第一組右慣用手非迴腕書寫者組內之

分析結果顯示，執筆手差異未達顯著水準 ($F(1,34) = 1.152$, $p > .05$, $\eta^2 = .01$)；(2) 在左慣用手非迴腕書寫者族群發現，執筆手差異達顯著 ($F(1,34) = 19.310$, $p < .05$, $\eta^2 = .20$)，非慣用手相較於慣用手 (M = -.104 ± .553) 書寫時有較大之交叉相關係數；(3) 在左慣用手迴腕書寫者組內比較執筆手，同樣地發現差異達顯著水準 ($F(1,34) = 4.736$, $p < .05$, $\eta^2 = .05$)，非慣用手執筆情境亦有較大的交叉相關係數；(4) 慣用手情境下比較組別差異，分析結果表示差異達顯著 ($F(2,106) = 5.668$, $p < .05$, $\eta^2 = .09$)，事後比較得知，右慣用手非迴腕書寫者之交叉相關係數顯著高於第二組左慣用手非迴腕書寫者 (M = -.113 ± .548)；(5) 於非慣用手情境下發現，三組不同書寫者類型之交叉相關係數差異並未達顯著水準 ($F(2,105) = .894$, $p > .05$, $\eta^2 = .02$)；如下圖所示（圖 34）。

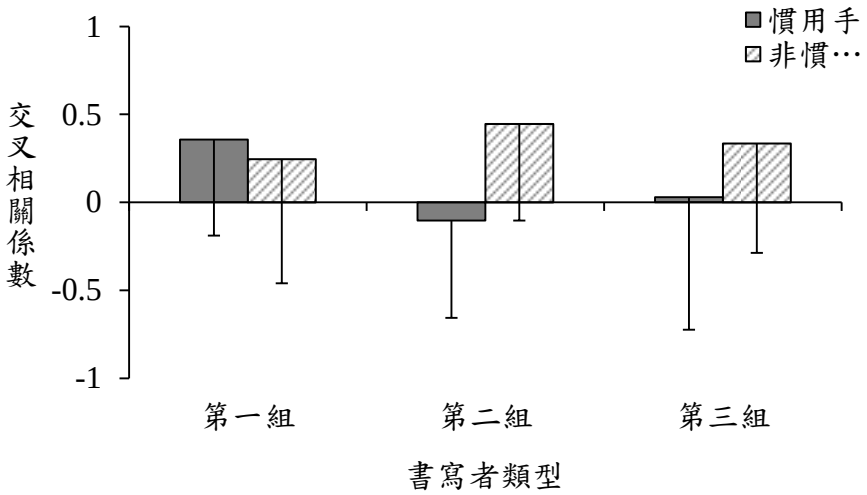


圖 34　硬筆書寫情境筆尖－尺骨莖突 X 軸交叉相關係數之書寫者類型與執筆手交互作用-「去」字

3. 執筆手因子恆常

慣用手執筆情境，書寫者類型與筆尖性質之交互作用達顯著 ($F(2,104) = 6.489$, $p < .05$, $\eta^2 = .03$)，執行單純主要效果驗證發現：(1) 第一組組內之統計分析指出筆尖性質差異未達顯著 ($F(1,35) = .086$, $p > .05$, $\eta^2 = .00$)；(2) 左慣用手非迴腕書寫者組內比較筆尖性質差異，檢證結果顯示差異達顯著 ($F(1,35) = 10.676$, $p < .05$, $\eta^2 = .11$)，硬筆

書寫時 (M = -.113 ± .548) 之交叉相關係數小於執軟筆書寫情境之相關係數；(3) 第三組組內之比較同樣發現，執軟筆書寫有較大的交叉相關係數 ($F(1,34) = 18.849$, $p < .05$, $\eta^2 = .14$)；(4) 於軟筆情境比較組別差異，結果顯示書寫者類型並未達顯著差異 ($F(2,106) = 2.189$, $p > .05$, $\eta^2 = .04$)；(5) 硬筆情境，組別達顯著差異 ($F(2,106) = 5.668$, $p < .05$, $\eta^2 = .09$)，經事後比較得知，右慣用手非迴腕書寫者書寫時之交叉相關係數顯著高於左慣用手非迴腕書寫者族群 (M = -.113 ± .548)；如圖 35。

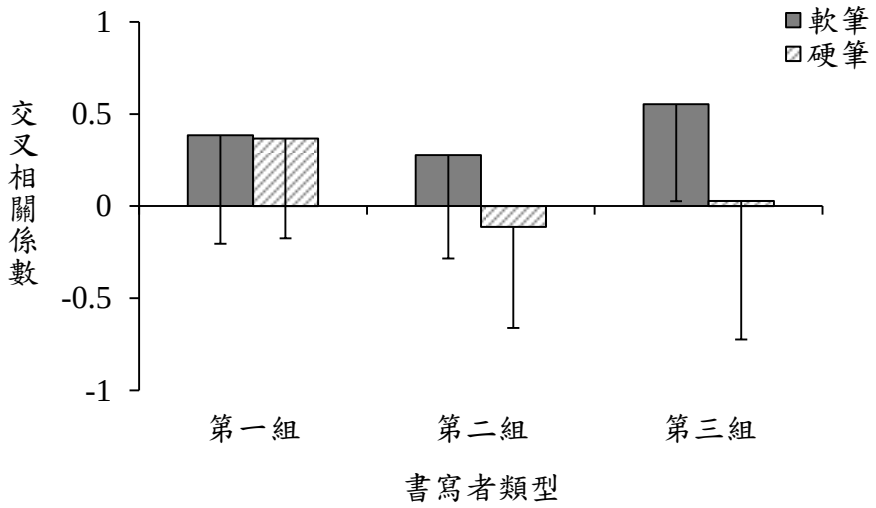


圖 35　慣用手執筆情境筆尖－尺骨莖突 X 軸交叉相關係數之書寫者類型與筆尖性質交互作用-「去」字

非慣用手執筆情境之檢驗，組別與筆尖性質交互作用達顯著 ($F(2,103) = 6.503$, $p < .05$, $\eta^2 = .03$)；進一步執行單純主要效果之考驗：(1) 右慣用手非迴腕書寫者組內，筆尖性質差異達顯著 ($F(1,34) = 15.264$, $p < .05$, $\eta^2 = .10$)，執軟筆書寫時有較大之交叉相關係數；(2) 在左慣用手非迴腕書寫者組內比較筆尖性質差異，發現並未達到統計考驗之顯著水準 ($F(1,34) = .950$, $p > .05$, $\eta^2 = .01$)；(3) 左慣用手迴腕書寫者組內之比較則發現，同第一組之分析結果，軟筆書寫情境有較大的交叉相關係數 ($F(1,35) = 6.921$, $p < .05$, $\eta^2 = .06$)；(4) 軟筆情境比較組別差異，分析報告指出書寫者類型並未達顯著差異 ($F(2,105) = 3.353$, $p > .05$, $\eta^2 = .06$)；(5) 同於軟筆書寫情境，硬筆情境下之組別差異亦未達顯著水準 ($F(2,105) = .894$, $p > .05$, $\eta^2 = .02$)；如圖 36 所示。

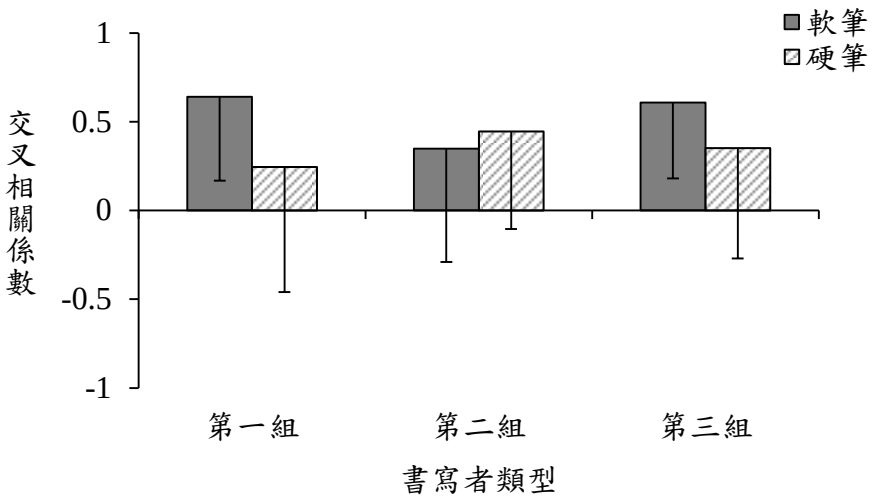


圖 36　非慣用手執筆情境筆尖－尺骨莖突 X 軸交叉相關係數之書寫者類型與筆尖性質交互作用-「去」字

尺骨莖突－肱外上髁之交叉相關係數，書寫者類型、執筆手和筆尖性質三因子交互作用未達顯著 ($F(2,102) = .494$, $p > .05$)，進行二因子交互作用之考驗：

1. 組別與筆尖性質交互作用未達顯著 ($F(2,210) = 2.464$, $p > .05$, $\eta^2 = .01$)；書寫者主效果達顯著 ($F(2,210) = 10.128$, $p < .05$, $\eta^2 = .07$)，由事後比較得知，左慣用手迴腕書寫者書寫時之交叉相關係數顯著小於其他兩組；筆尖性質主效果則未達顯著水準 ($F(1,210) = 1.434$, $p > .05$, $\eta^2 = .00$)。
2. 書寫者類型與執筆手交互作用達顯著 ($F(2,207) = 6.591$, $p < .05$, $\eta^2 = .03$)，單純主要效果的檢證表示：(1) 第一組組內比較慣用手與非慣用手，差異未達顯著 ($F(1,69) = .218$, $p > .05$, $\eta^2 = .00$)；(2) 第二組組內比較慣用手與非慣用手，差異達顯著 ($F(1,69) = 6.692$, $p < .05$, $\eta^2 = .04$)，慣用手執筆書寫相較於非慣用手有較大的交叉相關係數；(3) 第三組組內比較執筆手差異，結果發現執筆手差異達顯著 ($F(1,69) = 7.714$, $p < .05$, $\eta^2 = .05$)，非慣用手書寫時，較之於慣用手執筆情境 ($M = -.082 \pm .796$) 有較大的交叉相關係數，且三組內執筆手差異情形皆不相同；(4) 慣用手執筆情境下比較三組差異，書寫者類型達顯著差異 ($F(2,213) = 18.902$, $p < .05$, $\eta^2 = .13$)，事後比較顯示第三組書寫者 ($M = -.082 \pm .796$) 之交叉相關係數顯著低於其他兩類型書寫者；(5) 非慣用手情境，組別差異並未達顯著水準 ($F(2,211) = 1.041$, $p > .05$, $\eta^2 = .01$)；詳見

圖 37 所示。

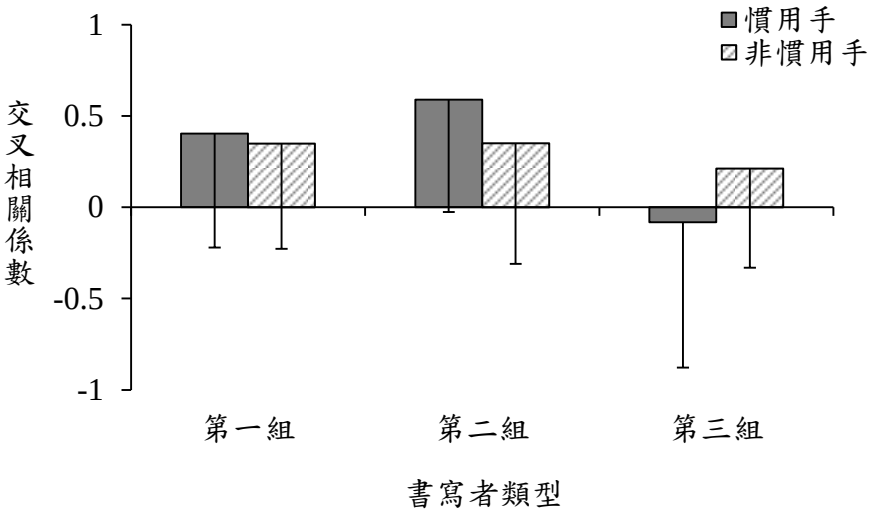


圖 37　尺骨莖突－肱外上髁 X 軸交叉相關係數之書寫者類型與執筆手交互作用-「去」字

3.　筆尖性質與執筆手交互作用達顯著水準 ($F(1,104) = 7.625$, $p < .05$, $\eta^2 = .01$)；進一步進行單純主要效果的檢證：(1) 軟筆書寫情境，結果顯示執筆手差異未達顯著 ($F(1,104) = 2.338$, $p > .05$, $\eta^2 = .01$)；(2) 於硬筆書寫情境比較筆尖性質差異，發現執筆手差異亦未達顯著水準 ($F(1,104) = 1.674$, $p > .05$, $\eta^2 = .01$)；(3) 在慣用手執筆情境，硬筆書寫時有較大之交叉相關係數 ($F(1,106) = 6.154$, $p < .05$, $\eta^2 = .02$)；(4) 非慣用手書寫情境之分析顯示，筆尖性質差異未達統計顯著水準 ($F(1,105) = 1.588$, $p > .05$, $\eta^2 = .00$)；詳如圖 38 所示。

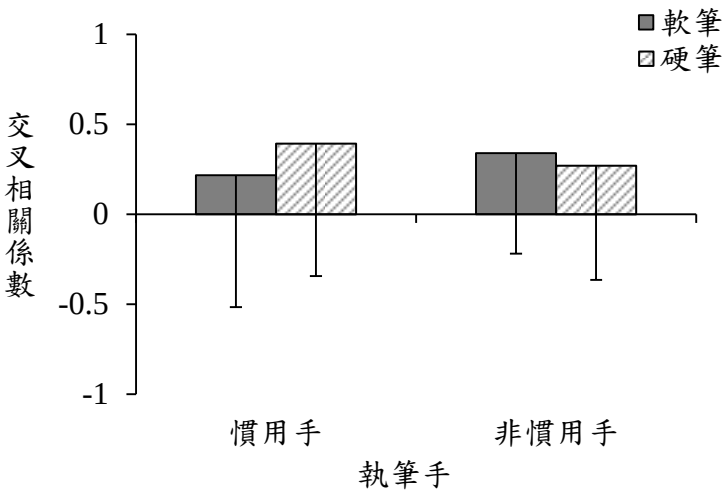


圖 38　尺骨莖突－肱外上髁 X 軸交叉相關係數之筆尖性質與執筆手交互作用-「去」字

肱外上髁－肩峰的交叉相關係數，組別、執筆手與筆尖性質三因子之間交互作用未達顯著 ($F(2,102) = 1.145, p > .05$)，進行二因子交互作用之考驗：

1. 書寫者類型與筆尖性質交互作用未達顯著 ($F(2,210) = 2.522, p > .05, \eta^2 = .01$)；書寫者類型主效果未達顯著 ($F(2,210) = .722, p > .05, \eta^2 = .01$)；筆尖性質主效果同未達顯著水準 ($F(1,210) = .745, p > .05, \eta^2 = .00$)。
2. 組別與執筆手交互作用未達顯著 ($F(2,207) = 1.961, p > .05, \eta^2 = .01$)，書寫者類型主效果未達顯著 ($F(2,207) = 1.055, p > .05, \eta^2 = .01$)；執筆手主效果達顯著 ($F(1,207) = 22.305, p < .05, \eta^2 = .04$)，慣用手執筆書寫較之於非慣用手書寫情境有較大的交叉相關係數。
3. 筆尖性質與執筆手交互作用未達顯著 ($F(1,104) = 1.547, p > .05, \eta^2 = .00$)，筆尖性質主效果未達顯著 ($F(1,104) = .689, p > .05, \eta^2 = .00$)；執筆手之主效果達顯著 ($F(1,104) = 17.379, p < .05, \eta^2 = .05, \eta^2 = .04$)，慣用手有較高的交叉相關係數。

本研究中，X 軸（額狀面）垂直於書寫時之行進方向，關乎於字的外形，筆尖在兩側之間來回移動，在筆尖－尺骨莖突的交叉相關統計圖表上，相較於 Y 軸的高一致性呈現正相關關係（如圖 39 所示），在進行交叉相關之分析時，有一定比例的圖表如圖 40

所展示，部份相關係數為正值，部份呈現負值之情形，這樣的圖例說明了指－腕關節之間的互動與擺盪；是以，相較於 Y 軸方向的高相關係數，X 軸在筆尖－尺骨莖突之交叉相關係數上相對低了許多，可能原因如下：(一) 交叉相關之統計分析係採計絕對值最大者為代表，惟當進行變異數分析考驗時，仍以原始數值進行分析，所以部份呈現負相關之數值拉低了整體平均，更可能進一步導致分析結果產生歧異，哪一執筆手或書寫工具之書寫情境下有較大的交叉相關係數變得相當不一致，然而，此一交叉相關分析圖也反應了書寫時筆尖與尺骨莖突位置之正反相位的動態改變，對於瞭解書寫動作之運行有很大的助益，此分析方法對於客觀事實之呈現究竟是優是劣恐怕暫時能難以論定；(二) X 軸的位移關乎於字的外形，是以在書寫之字形差異甚大之情形下，協調形式產生差異也仍在意料之中，然而兩者之間的因果關係仍難以釐清：究竟是不同字形導致協調形式的變動與轉移，還是動作形式的差異引致字形之間的差異？無論如何，變異數分析檢證結果顯示諸多交互作用的發生，說明書寫者類型、執筆手以及筆尖性質三者的確彼此交互影響著個體肢體內協調形式。

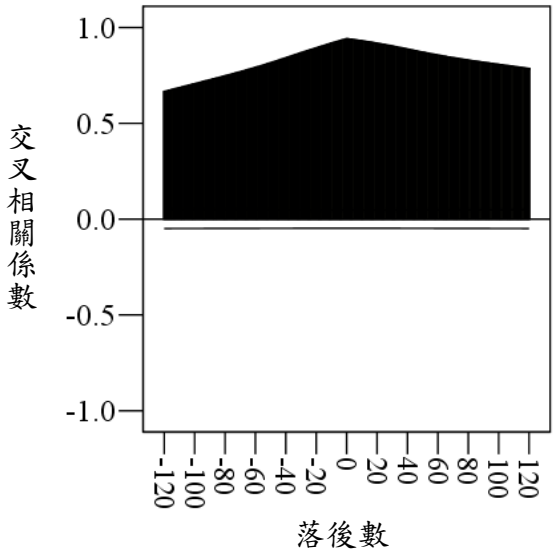


圖 39　筆尖－尺骨莖突交叉相關（Y 軸）

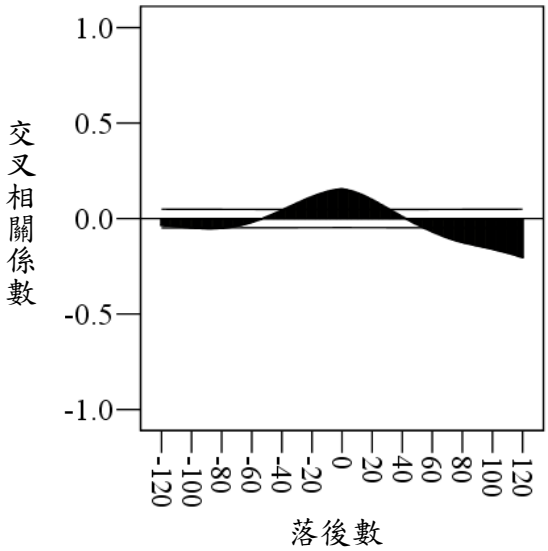


圖 40　筆尖－尺骨莖突交叉相關（X 軸）

二、關節角度變異

（一）腕關節角度變異

腕關節角度變異之統計考驗，以 3（書寫者類型）x 2（筆尖性質）x 2（執筆手）混合設計三因子變異數分析，筆尖性質與執筆手為重複量數，考驗不同書寫者類型腕關節變異之差異，結果發現：

書寫「水」字情境，組別、執筆手以及筆尖性質三因子交互作用未達顯著 ($F(2,103) = 2.834$, $p > .05$)，進行二因子交互作用之考驗：

1. 書寫者類型與筆尖性質交互作用未達顯著 ($F(2,210) = 1.183$, $p > .05$, $\eta^2 = .00$)；書寫者類型主效果達顯著 ($F(2,210) = 6.185$, $p < .05$, $\eta^2 = .05$)，左慣用手迴腕書寫者較另兩種類型書寫者有更大的角度變異；在筆尖性質方面，主效果亦達顯著 ($F(1,210) = 14.205$, $p < .05$, $\eta^2 = .01$)，軟筆書寫時有較大的關節角度變異。
2. 書寫者類型與執筆手交互作用達顯著水準 ($F(2,207) = 5.752$, $p < .05$, $\eta^2 = .02$)；進行單純主要效果之檢驗：(1) 右慣用手非迴腕書寫者組內之執筆手差異未達顯著 ($F(1,69) = .062$, $p > .05$, $\eta^2 = .00$)；(2) 左慣用手非迴腕書寫者組，分析結果顯示慣用手相較於非慣用手有較大的腕關節角度變異值 ($F(1,69) = 30.426$, $p < .05$, $\eta^2 = .12$)；

(3) 在左慣用手迴腕書寫者組內，執筆手差異雖臨界顯著水準，但仍未達顯著差異之值 ($F(1,69) = 3.970, p > .05, \eta^2 = .03$)；(4) 慣用手執筆書寫情境，組別差異達顯著 ($F(1,213) = 16.191, p < .05, \eta^2 = .12$)，事後比較顯示，右慣用手非迴腕書寫者之關節角度變異皆較其他兩組為小；(5) 非慣用手執筆書寫情境下比較三組差異，結果發現組別差異達顯著 ($F(1,211) = 4.380, p < .05, \eta^2 = .04$)，經事後比較顯示，左慣用手迴腕書寫者較左慣用手非迴腕書寫者有較大的腕關節角度變異；詳如下圖所示（圖 41）。

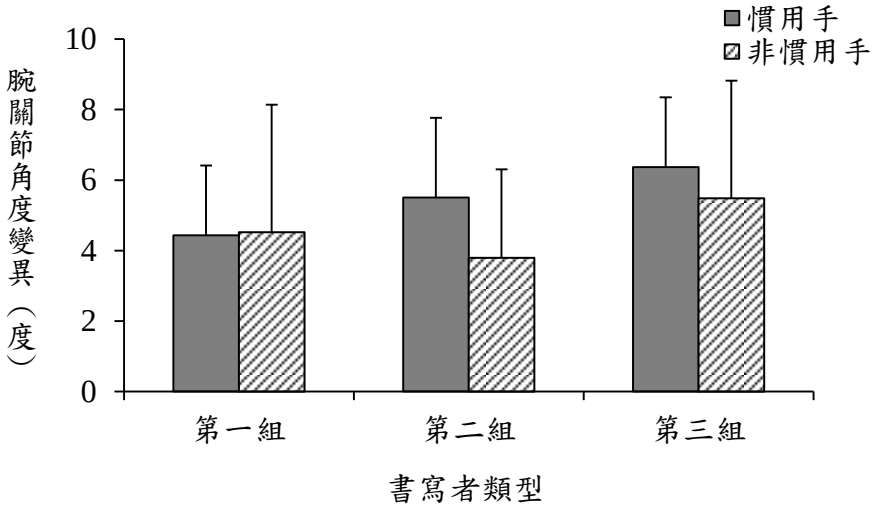


圖 41　腕關節角度變異之書寫者類型與執筆手交互作用-「水」字

3. 筆尖性質與執筆手交互作用未達顯著 ($F(1,104) = 1.807, p > .05, \eta^2 = .00$)；筆尖性質主效果達顯著 ($F(1,101) = 14.367, p < .05, \eta^2 = .01$)，使用軟筆書寫時有較大的關節角度變異；執筆手主效果亦達顯著水準 ($F(1,104) = 8.835, p < .05, \eta^2 = .02$)，慣用手書寫時有較大的關節角度變異。

書寫「去」字情境，三因子交互作用達顯著 ($F(2,103) = 5.625, p < .05$)，進行各細格內二因子交互作用之考驗：

1. 書寫者類型因子恆常

右慣用手非迴腕書寫者組內，筆尖性質與執筆手兩因子交互作用未達顯著水準

(F(1,34) = 2.261, p > .05, η^2 = .00)；筆尖性質主效果未達顯著 (F(1,34) = 1.086, p > .05, η^2 = .00)；僅執筆手主效果達顯著 (F(1,34) = 4.667, p < .05, η^2 = .02)，慣用手執筆書寫時有較大的關節角度變異。

左慣用手非迴腕書寫者組內之筆尖性質與執筆手因子交互作用達顯著 (F(1,35) = 6.103, p < .05, η^2 = .02)，進行單純主要效果之檢證：(1) 執軟筆書寫情境，執筆手差異未達顯著 (F(1,35) = 1.091, p > .05, η^2 = .01)；(2) 執硬筆書寫情境，慣用手書寫時之關節角度變異顯著大於非慣用手書寫時 (F(1,35) = 27.263, p < .05, η^2 = .21)；(3) 慣用手書寫情境，執軟筆書寫與執硬筆書寫時之關節角度變異未達顯著水準 (F(1,35) = .510, p > .05, η^2 = .00)；(4) 在非慣用手書寫情境，執軟筆書寫時之腕關節角度變異顯著大於執硬筆書寫時之角度變異值 (F(1,35) = 6.485, p < .05, η^2 = .05)；如圖 42 所示。

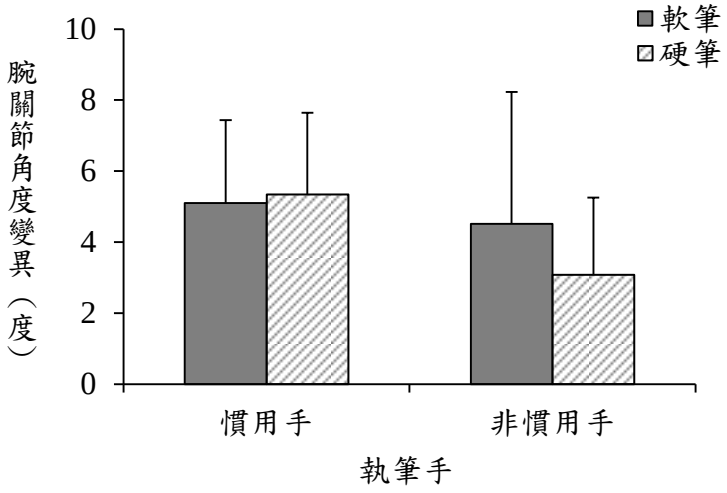


圖 42　左慣用手非迴腕書寫者腕關節角度變異之筆尖性質與執筆手交互作用-「去」字

左慣用手迴腕書寫族群組內，筆尖性質與執筆手兩因子間交互作用達顯著水準 (F(1,34) = 9.027, p < .05, η^2 = .02)，進行單純主要效果之檢證：(1) 執軟筆書寫情境，執筆手差異未達顯著 (F(1,34) = .786, p > .05, η^2 = .01)；(2) 執硬筆之書寫情境，慣用手書寫時之關節角度變異並未與非慣用手書寫時達顯著差異水準 (F(1,34) = 2.351, p > .05, η^2 = .03)；(3) 慣用手執筆書寫情境中，筆尖性質差異未達顯著 (F(1,34) = 1.007,

$p > .05$, $\eta^2 = .01$)；(4) 非慣用手書寫情境，執軟筆書寫時之腕關節角度變異大於執硬筆書寫時之關節變異 ($F(1,35) = 9.259$, $p < .05$, $\eta^2 = .03$)；如圖 43。

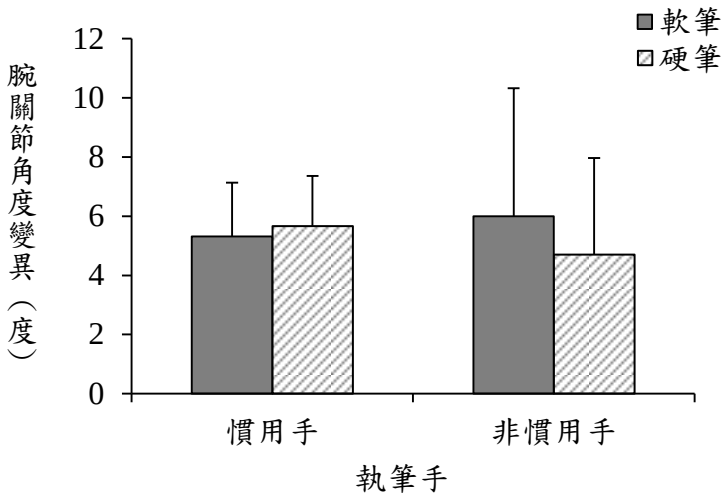


圖 43　左慣用手迴腕書寫者腕關節角度變異之筆尖性質與執筆手交互作用-「去」字

2. 筆尖性質因子恆常

執軟筆情境，組別與執筆手交互作用未達顯著水準 ($F(2,103) = 2.242$, $p > .05$, $\eta^2 = .02$)；書寫者類型 ($F(2, 103) = 2.909$, $p > .05$, $\eta^2 = .04$) 與執筆手 ($F(1,103) = .975$, $p > .05$, $\eta^2 = .00$) 主效果皆未達統計顯著水準。

執硬筆情境，書寫者類型與執筆手交互作用達顯著 ($F(2,103) = 3.835$, $p < .05$, $\eta^2 = .02$)，進一步執行單純主要效果之檢證：(1) 右慣用手非迴腕書寫者組內比較執筆手差異，結果顯示並未達顯著差異 ($F(1,34) = 1.689$, $p > .05$, $\eta^2 = .01$)；(2) 左慣用手非迴腕書寫者組內，慣用手之腕關節角度變異顯著大於非慣用手 ($F(1,35) = 27.263$, $p < .05$, $\eta^2 = .21$)；(3) 左慣用手迴腕書寫者之執筆手差異未達顯著 ($F(1,34) = 2.351$, $p > .05$, $\eta^2 = .03$)；(4) 慣用手情境下比較三種書寫者類型之差異，結果發現兩左慣用手書寫族群之關節角度變異皆大於右慣用手非迴腕書寫者 ($F(2,106) = 5.490$, $p < .05$, $\eta^2 = .09$)；(5) 非慣用手書寫情境下，三組差異則未達統計顯著水準 ($F(2,106) = 2.586$, $p > .05$, $\eta^2 = .05$)；如下圖所示（圖 44）。

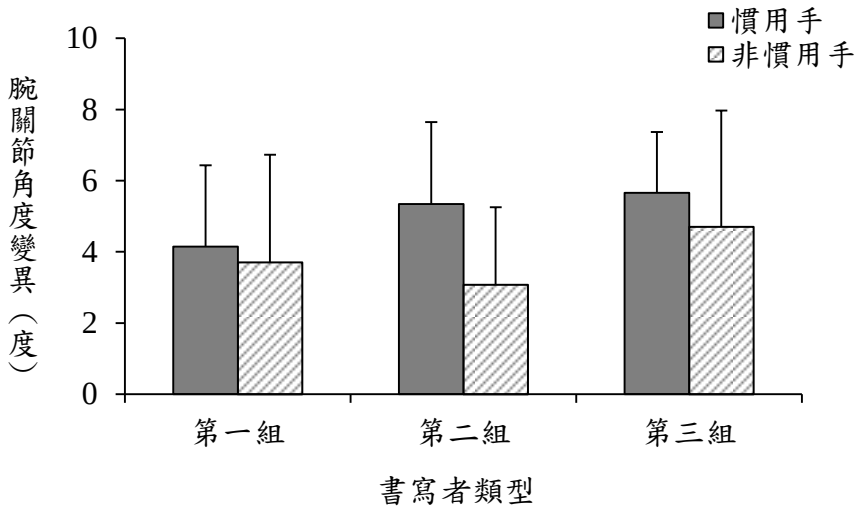


圖 44　硬筆書寫情境腕關節角度變異之書寫者類型與執筆手交互作用-「去」字

3. 執筆手因子恆常

慣用手執筆情境，書寫者類型與筆尖性質因子交互作用達顯著 ($F(2,104) = 3.189$, $p < .05$, $\eta^2 = .00$)，進一步執行單純主要效果之檢證：(1) 第一組右慣用手非迴腕書寫者組內比較筆尖性質差異，結果顯示兩者達顯著差異 ($F(1,35) = 9.355$, $p < .05$, $\eta^2 = .02$)，使用軟筆書寫時有較大的角度變異；(2) 在左慣用手非迴腕書寫者組內發現筆尖性質之差異並未達顯著水準 ($F(1,35) = .510$, $p > .05$, $\eta^2 = .00$)；(3) 左慣用手迴腕書寫者組內，筆尖性質未有顯著差異 ($F(1,34) = 1.007$, $p > .05$, $\eta^2 = .01$)；(4) 軟筆書寫情境下比較各組別之關節角度變異，結果發現三者差異並未達顯著 ($F(2,106) = .637$, $p > .05$, $\eta^2 = .01$)；(5) 執硬筆書寫情境，三組差異達顯著水準 ($F(2,106) = 5.490$, $p < .05$, $\eta^2 = .09$)，右慣用手非迴腕書寫者之腕關節角度變異皆小於其他兩左慣用手書寫者族群；如圖 45 所示。

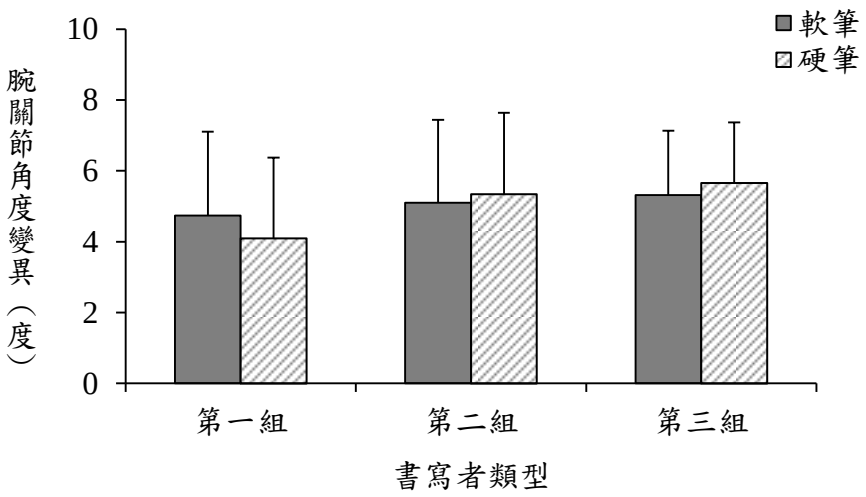


圖 45　慣用手書寫情境腕關節角度變異之書寫者類型與筆尖性質交互作用-「去」字

非慣用手執筆書寫情境中發現，書寫者類型與筆尖性質之間交互作用未達顯著 ($F(2,104) = 2.992$, $p > .05$, $\eta^2 = .01$)；書寫者類型主效果未達顯著 ($F(2,104) = 2.859$, $p > .05$, $\eta^2 = .04$)；但在筆尖性質方面，其主要效果達顯著 ($F(1,104) = 9.995$, $p < .05$, $\eta^2 = .02$)，使用軟筆書寫時之關節角度變異值顯著大於硬筆書寫之變異。

腕關節角度變異之統計分析結果顯示，在慣用手執硬筆書寫情境，兩組左慣用手書寫者相較於右慣用手非迴腕書寫者有較大之角度變異，推測係書寫姿勢造成之差異，雖有部分差異未達顯著，但整體而言大略如此，然而在非慣用手執筆或使用軟筆書寫之情境下，此一現象不復存在，推估其因為此類之工作任務係屬新奇 (novel) 且較為困難之動作技能，仍屬凍結自由度之階段，是以在關節角度變異之檢證上未達顯著；此外，在判別書寫姿勢時發現，即便是左慣用手非迴腕書寫者，也有許多臨界於迴腕與非迴腕之執筆角度，這或許也是兩左慣用手書寫族群間未發生顯著差異之緣由。

筆尖性質的部分，分析結果顯示部分情境下使用軟筆書寫時有較大之腕關節角度變異，推測其因，書寫面積與腕關節角度變異呈正相關之關係，執軟筆書寫情境有較大之書寫面積，是以有較大之腕關節角度變異，但其所造成效應很有可能受執軟筆時凍結自由度的效果而相抵，或是硬筆書寫情境有較高之技能階段，是以有較大的擺動幅度與自

由度之解放，致使並非所有情境皆然，僅有部份數據顯示差異達顯著水準。

執筆手則以慣用手執筆書寫情境有較大腕關節角度變異，但為數不多，推測此一結果亦受書寫面積效應之調節，非慣用手相較於慣用手書寫時有較大之書寫面積，所以其腕關節角度變異並未因自由度的鎖定而大幅降低，另一方面也是因為慣用手執筆書寫係為一極為精熟之工作技能，可能有較佳動作效率與較多自由度的解放，兩者交互影響，而導致僅有一小部份情境達顯著差異之情形。

（二）肘關節角度變異

以 3（書寫者類型）x 2（筆尖性質）x 2（執筆手）混合設計三因子變異數分析，筆尖性質與執筆手為重複量數，考驗不同書寫者類型肘關節變異之差異，結果發現：

書寫「水」字情境，組別、執筆手以及筆尖性質三因子交互作用未達顯著 ($F(2,102) = .568$, $p > .05$)，進行二因子交互作用之考驗：

1. 書寫者類型與筆尖性質交互作用未達顯著 ($F(2,210) = 1.456$, $p > .05$, $\eta^2 = .00$)；書寫者類型主效果達顯著 ($F(2,210) = 3.442$, $p < .05$, $\eta^2 = .02$)，檢視事後比較結果得知右慣用手非迴腕書寫者相較於左慣用手非迴腕書寫者有較大的肘關節角度變異；筆尖性質主效果同達顯著水準 ($F(1,210) = 106.346$, $p < .05$, $\eta^2 = .09$)，執軟筆書寫時有較大的肘關節變異。
2. 書寫者類型與執筆手交互作用達顯著 ($F(2,207) = 32.383$, $p < .05$, $\eta^2 = .10$)，單純主要效果之分析結果顯示：(1) 右慣用手非迴腕書寫者組內，執筆手之差異達顯著 ($F(1,69) = 10.461$, $p < .05$, $\eta^2 = .05$)，慣用手執筆書寫時有較大之肘關節角度變異；(2) 左慣用手非迴腕書寫者，執筆手差異達顯著 ($F(1,69) = 67.473$, $p < .05$, $\eta^2 = .29$)，非慣用手執筆書寫時有較大之肘關節角度變異，異於右慣用手非迴腕書寫者族群之檢證結果；(3) 於左慣用手迴腕書寫者組內比較執筆手之關節變異，差異達顯著 ($F(1,69) = 20.594$, $p < .05$, $\eta^2 = .09$)，非慣用手執筆書寫時有較大之肘關節角度變異；(4) 慣用手情境下比較組別差異，結果發現差異達顯著 ($F(2,213) = 31.542$, $p < .05$, η^2

= .19)，事後比較發現右慣用手非迴腕書寫者之肘關節變異顯著大於其他兩組，且左慣用手迴腕書寫者之肘關節變異亦大於左慣用手非迴腕書寫者；(5) 非慣用手情境下，組別差異達顯著 ($F(2,211) = 4.128, p < .05, \eta^2 = .04$)，左慣用手迴腕書寫者族群相較於右慣用手書寫者有較大之角度變異值；如下圖所示（圖 46）。

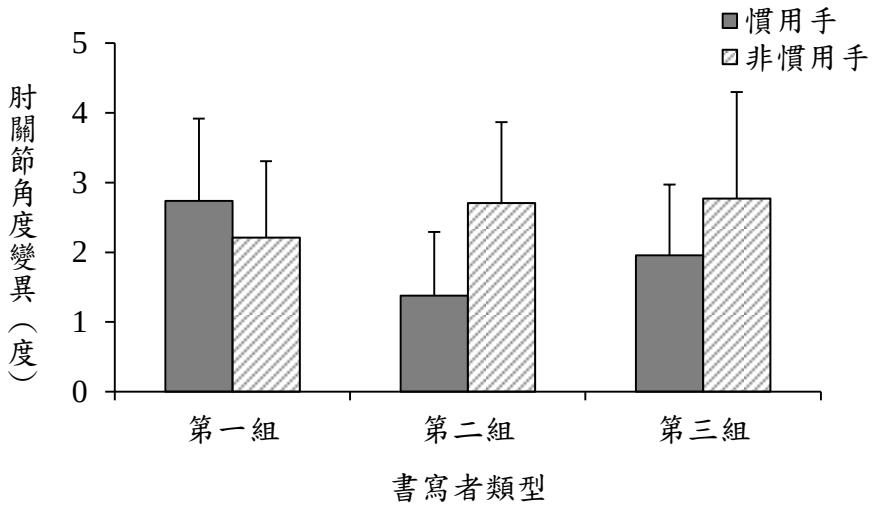


圖 46　肘關節角度變異之書寫者類型與執筆手交互作用－「水」字

3. 筆尖性質與執筆手交互作用未達顯著 ($F(1,104) = .216, p > .05, \eta^2 = .00$)；筆尖性質主效果達顯著 ($F(1,104) = 84.660, p < .05, \eta^2 = .09$)，執軟筆書寫時有較大之肘關節角度變異；執筆手差異亦達統計顯著水準 ($F(1,104) = 14.293, p < .05, \eta^2 = .05$)，非慣用手執筆書寫時有較大的角度變異。

書寫「去」字情境，組別、執筆手以及筆尖性質三因子交互作用未達顯著 ($F(2,103) = 1.193, p > .05$)，進行二因子交互作用之考驗：

1. 書寫者類型與筆尖性質兩因子之間交互作用未達顯著 ($F(2,211) = .026, p > .05, \eta^2 = .00$)；書寫者類型主效果未達顯著 ($F(2,211) = 1.883, p > .05, \eta^2 = .01$)；筆尖性質主效果達顯著 ($F(1,211) = 116.121, p < .05, \eta^2 = .11$)，執軟筆書寫時，相較於硬筆書寫情境有較大的肘關節變異。
2. 書寫者類型與執筆手交互作用達顯著 ($F(2,209) = 18.977, p < .05, \eta^2 = .05$)，進一步執

行單純主要效果之檢證：(1) 右慣用手非迴腕書寫者組內比較執筆手，差異未達顯著 ($F(1,69) = 1.593$, $p > .05$, $\eta^2 = .01$)；(2) 左慣用手非迴腕書寫者組內比較慣用手與非慣用手，差異達顯著 ($F(1,71) = 65.175$, $p < .05$, $\eta^2 = .22$)，非慣用手執筆書寫時有較大之肘關節角度變異；(3) 於左慣用手迴腕書寫者組內比較執筆手差異，分析結果表示非慣用手執筆書寫時有較大之肘關節角度變異 ($F(1,69) = 19.829$, $p < .05$, $\eta^2 = .10$)；(4) 慣用手情境下比較組別差異，結果發現差異達顯著 ($F(2,213) = 11.171$, $p < .05$, $\eta^2 = .09$)，左慣用手非迴腕書寫者之肘關節變異顯著小於其餘兩書寫者類型；(5) 非慣用手執筆書寫情境，各組別差異未達顯著 ($F(2,213) = 5.241$, $p < .05$, $\eta^2 = .05$)，事後比較發現，第三組左慣用手迴腕書寫者相較於右慣用手非迴腕書寫者族群有較大的肘關節角度變異值；如圖 47 所示。

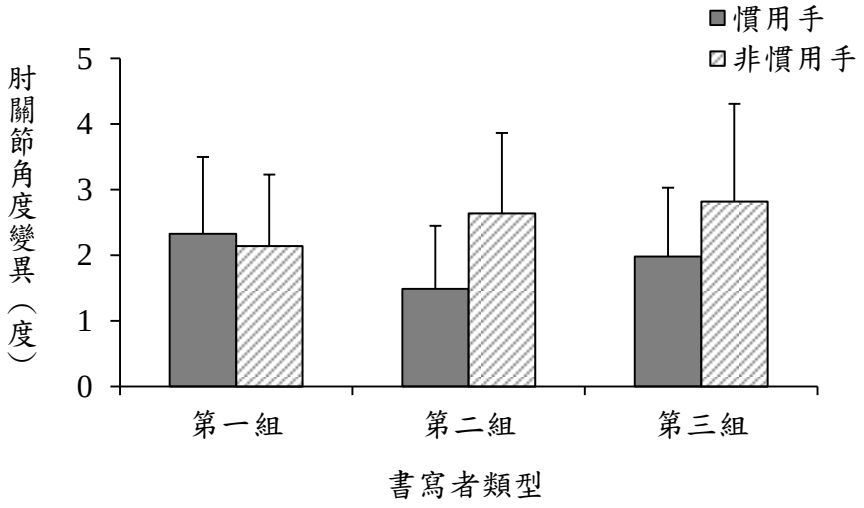


圖 47　肘關節角度變異之書寫者類型與執筆手交互作用—「去」字

3. 筆尖性質與執筆手交互作用未達顯著 ($F(1,105) = .172$, $p > .05$, $\eta^2 = .00$)；筆尖性質主要效果達顯著 ($F(1,105) = 107.820$, $p < .05$, $\eta^2 = .11$)，使用軟筆書寫有較大之肘關節角度變異；執筆手主效果亦達顯著 ($F(1,105) = 24.510$, $p < .05$, $\eta^2 = .06$)，使用非慣用手書寫有較大之肘關節角度變異。

歸納肘關節角度變異之統計分析結果有相當類似之情形，右慣用手非迴腕書寫者之肘關節角度變異與其他兩組不同，左慣用手族群，不論非迴腕或迴腕書寫者，當在組別內比較執筆手差異時皆發現，使用非慣用手時有較大之角度變異，此意指左慣用手書寫者以非慣用手執筆書寫時，傾向於藉由肘關節之屈曲，控制近端肢段以完成連寫之書寫任務，而右慣用手非迴腕書寫者則出現相反之情況：慣用手有較大的角度變異，雖然僅在書寫「水」字之情境下達顯著差異，但另一字的資料分析顯示亦有此趨勢，其成因可能為右慣用手非迴腕書寫者使用非慣用手書寫時，凍結了肘關節之自由度，致使兩相比較之下，慣用手肘關節角度變異大於非慣用手，此論點也可從非慣用手的比較上窺知一二，雖組別間差異未達顯著，但右慣用手書寫者以非慣用手執筆時之肘關節角度變異的確小於左慣用手書寫族群，但在使用慣用手執筆書寫時，情況發生逆轉，右慣用手書寫者有較大的肘關節角度變異；整理腕關節與肘關節之數據資料發現，不論哪一執筆手，右慣用手非迴腕書寫者可能係採腕、肘關節共同運作之方式，而左慣用手書寫者則更傾向於使用腕關節進行擺盪以完成字形之書寫，是以在使用慣用手執筆書寫時，其肘關節角度變異較之於右慣用手書寫者顯得較小，如表 1 所示。

	右慣用手非迴腕書寫者	左慣用手非迴腕書寫者	左慣用手迴腕書寫者
慣用手腕關節變異 (度)	4.434 ± 1.983	5.502 ± 2.266	6.367 ± 1.978
非慣用手腕關節變異 (度)	4.525 ± 3.613	3.792 ± 2.516	5.486 ± 3.337
慣用手肘關節變異 (度)	2.739 ± 1.182	1.380 ± 0.911	1.956 ± 1.017
非慣用手肘關節變異 (度)	2.212 ± 1.096	2.706 ± 1.159	2.771 ± 1.531

表 1　各組以慣用手與非慣用手書寫時之腕、肘關節角度變異-「水」字

筆尖性質的部分，分析結果顯示軟筆書寫時有較大的肘關節角度變異，推測可能也是因為執軟筆書寫時有較大書寫面積，致使有較大之角度變異，且執軟筆時，書寫者傾向於使用肘關節，即近端肢段進行動作控制，致使僅在肘關節之差異達顯著，而腕關節

角度變異之檢證上雖有類似趨勢：以軟筆書寫時有較大角度變異，但受動作控制肢段之影響，其效果未達顯著。

執筆手則以非慣用手執筆書寫情境有較大肘角度變異，在書寫任一字形之情況下，考驗筆尖性質與執筆手交互作用之統計分析上發現：以非慣用手書寫時，有較大的肘關節角度變異，其成因主要應是受書寫面積影響之故；而組別與執筆手交互作用情境則存有組別差異，兩左慣用手書寫族群有著相類似之分析結果，當使用非慣用手執筆書寫時有較大的肘關節角度變異，右慣用手書寫者則有相反之情形，不同類型之書寫者在各種書寫情境下有著不同的協調形式。

第三節　綜合討論

書寫姿勢迴腕與否並非如判別執筆手一樣容易，本次實驗於招募參與者的過程中發現，確如過去文獻所述，不論左慣用手或右慣用手書寫者，皆有採迴腕姿勢進行書寫的族群存在 (Szeligo et al., 2003)，但仍以左慣用手書寫者為眾，且有相對多數之左慣用手書寫者使用迴腕姿勢進行書寫，左慣用手非迴腕書寫者族群則甚難找尋；Teasdale and Owen (2001) 於樣本總數達1848人的研究調查中指出，約有13%人口為左慣用手書寫者，其中迴腕書寫者佔了半數 (51%)，而非迴腕書寫者比例最少，僅約五分之一，剩下的28%則屬難以分類迴腕與否的書寫族群，將此類書寫姿勢恰界於迴腕與非迴腕之間的參與者歸類為非迴腕書寫者，則可能導致結果產生某種程度的偏誤，此外，對於迴腕書寫者的定義也是影響實驗結果的潛在因子。

本研究以「水」、「去」兩字之漢字草書字形作為書寫材料，分別針對不同字形之書寫表現與肢體內協調進行統計考驗，其用意在於兩者可相互對照與驗證，並觀察相異字形之間是否對於檢證結果造成影響，而分析結果亦顯示，不同字形之檢證結果並不完全一致，雖有類似之處，但此一情形仍導致在許多交互作用的詮釋上，受到一定程度的限制 (limitation)；另一作法是將所有書寫材料一併納入分析，如施長志、楊梓楣（印刷中）以及 Yang (1997) 之研究，如此所獲得的分析數據，避免了不同字形分析結果可能發生

歧異之情形，在進一步的解釋上也相對容易，同時也免去以單一書寫材料進行推論時而有過於武斷之嫌，但其缺點在於某些效應可能在不同書寫字形下而彼此抵消，此二作法各有利弊；反觀以英文字母作為書寫素材者，為避免練習效應干擾實驗結果，多以假字 (pseudo-character) 作為書寫材料，然而，英文書寫體之連寫相對類似，假字是否具有免除練習效果之功？仍待商榷。

在書寫表現的方面，研究中試以每秒書寫面積作為依變項，亟欲提供一個經尺度化轉換之客觀數據，此變項同時受到書寫面積與書寫時間的影響，Phillips et al. (2009) 指出書寫尺寸與書寫時間並非一貫地呈現一元線性關係，尤其當實際書寫面積與書寫範本所圍構之面積產生差異時，書寫面積與書寫時間之線性關係可能就已不復存在，這影響了此一指標的有效性，再者，書寫成品與範本圍構面積差異甚大時，某種層面上所必須考量的是空間準確度的議題，如文獻背景之陳述，書寫速度快但卻雜亂無章的書寫筆跡並不被認為是好的書寫品質，在此亦然，一味地提升書寫速度卻忽略對於基本字形的掌控以及尺寸之調整，並不是書寫上所追求的目標。

在肢體內協調形式之檢證上，本次實驗係以相鄰肢段關節點之交叉相關係數與關節角度變異值作為依變項，僅針對 X 軸（額狀面）、Y 軸（矢狀面）之資料數據進行分析，Z 軸在某種程度上反應了書寫工具所造成之差別，但此一差異並非全然肇因於動作控制之議題，因為硬筆書寫工具並無法藉由位置點的資料展示其動作之變異，不論書寫者施予多少力道，其位置並未因此發生改變，是故本研究中雖有收集 Z 軸之相關數據，然而並無分析之必要；此外，受制於實驗器材設備的侷限，書寫時可能扮演極重要角色的手指關節之運動學參數則未能納入研究分析之中，事實上，協調是一整體的概念，是限制潛在的自由變項，並使之轉變為一行為單位之函數 (Kugler et al., 1980)，單就某一自由度而言，其自由度之凍結並不必然意味著動作品質的下降，或是書寫表現之退化，而是可能藉由凍結某部份之自由度而解放其他部份的肢段關節，以增進動作效率；如本研究中，若單就慣用手執筆書寫情境下，肘關節角度此一自由度而言，兩左慣用手書寫者類型相較於右慣用手非迴腕書寫者族群有較小的關節角度變異，亦即，相對而言，兩書寫者族群有凍結肘關節自由度之情形，然而在每秒書寫面積之書寫表現分析上，三組表現

差異並不大，甚至肘關節角度變異值最小（差異達顯著）的左慣用手非迴腕書寫者更有著稍快的書寫速度（差異未達顯著），若將腕關節角度變異值納入考量，即可發現，兩組左慣用手族群相較於右慣用手書寫者，大量解放腕關節之自由度，是以補償肘關節之凍結，或應該說，兩者必須視為同一系統，但此系統並不僅僅包含此二者，單就其一表現之特徵，是難以探知整體協調形式之共動；又比如研究結果亦發現，左慣用手非迴腕書寫者於慣用手執筆情境下，在許多相鄰關節點之間有較高的交叉相關係數，此意味著某方面的自由度凍結情形，但其書寫表現並未較他組為差，這表示可能有其他自由度涉入其中，只是不在本次實驗觀察之列，不代表其不存在或不具重要性。

協調既是整體性的概念，整體並非部份的總和，過度分割將難以呈現其本質，一如瞎子摸象都僅是掌握其中某一部分的特質，然而，研究有其限制，就實驗統計資料進行詮釋時，更應該回頭審視相關理論觀點其背後真正之意涵。

第伍章　結論與建議

本研究藉由操弄執筆手與筆尖性質，觀察其對於不同書寫者類型執行漢字草書直行連寫之工作任務時，動作表現與協調形式的影響。本章針對研究結果發現提出結論，並對後續相關研究提出建議。

第一節　結論

經由實驗中各依變項之統計考驗，不論從書寫表現上，或是在肢體內協調之檢證中皆可發現，漢字草書直行連寫之工作受不同書寫者類型、執筆手與筆尖性質交互作用所影響，針對待答之研究問題，歸納以下結論：(一) 不同書寫者類型會有不同書寫表現與肢體內協調形式；(二) 筆尖性質會影響書寫表現與肢體內協調形式，使用軟筆書寫時有較大的書寫範圍，較慢的書寫速度，以及較高的關節交叉相關係數；(三) 執筆手會影響書寫表現並有不同的肢體內協調形式，研究中發現：非慣用手執筆書寫時有較大書寫範圍與較慢的書寫速度，且不同書寫者類型有不同的非慣用手書寫表現；(四) 書寫者類型、筆尖性質、執筆手三因子或兩兩因子之間交互影響書寫表現，並有不同的肢體內協調形式。

第二節　建議

本小節分別針對方法與未來研究方向提出建議。方法上的建議：(一) 書寫動作是極為精細之動作，相關動作經驗都可能影響書寫表現，而慣用手問卷扮演了篩選參與者之重要角色，但本研究所採用之慣用手問卷已漸不符現代日常生活經驗，再加以缺乏文化背景之考量，發展中文化慣用手問卷或許已是勢在必行；(二) 實驗中，參與者被要求在固定之位置，以摹寫之方式進行書寫，但也因書寫字跡樣本差異甚大，致使在肢體內協調形式之推論與詮釋受到很大限制，或如固定於印矩的書寫位置可能形成另一種工作限制，導致書寫者肢體共動形式發生改變，或是角度變異可能受到書寫範圍之影響，可能解決的方法是以類似走軌道之方式，限制書寫路徑，如此可使書寫成品差異減至最小，

更有利於資料處理與詮釋，但此一作法降低了「寫字」的成份，這也是必須加以考量的部份；(三) 書寫面積係由長寬相乘，可能放大了實際書寫長度之效應，致使其與書寫時間雖呈正比關係，但卻呈現一非線性關係，致使資料分析結果不如假說所預期；(四) 在字體大小未有太大差異之前提下，書寫速度之尺度化或許並非必要，書寫時間也是具相當效度的指標。

未來研究建議：(一) 本研究為避免過去經驗對於書寫表現之影響，使用漢字草書字形作為實驗材料，未來可進一步探討認知與動作經驗對於書寫表現之影響；(二) 本實驗加入書法重要元素－毛筆 (墨水筆)，僅就動作表現部份進行探討，往後可嘗試結合生態心理學觀點，針對視知覺部份進行探究。

參考文獻

施長志、楊梓楣（印刷中）。新字書寫準確度之手慣用性與筆劃方向效應。大專體育學刊。

洪朝欽（1999）。非線性動力系統、秩序、混沌、複雜與自我組織。科學月刊，30 卷，134-139 頁。

湯偉君、邱美虹（2007）。複雜系統、突現及其對科學教育的啟示。科學教育，301 卷，17-25 頁。

賴世烱、卓俊伶（2000）。力量變異對飛鏢投擲動作表現的影響。體育學報，29 卷，169-177 頁。

Annett, M. (2009). Patterns of hand preference for pairs of actions and the classification of handedness. *British Journal of Psychology, 100*, 491-500.

Athènes, S., Sallagoïty, I., Zanone, P. G., & Albaret, J. M. (2004). Evaluating the coordination dynamics of handwriting. *Human Movement Science, 23*, 621-641.

Beek, P. J., Peper, C. E., & Stegeman, D. F. (1995). Dynamical models of movement coordination. *Human Movement Science, 14*, 573-608.

Berninger, V. W., & Graham, S. (1998). Language by hand: A synthesis of a decade of research on handwriting. *Handwriting Review, 12*, 11-25.

Bernstein, N. (1967). *The coordination and regulation of movements.* Oxford, England: Pergamon Press.

Brown, J. S., Knauft, E. B., & Rosenbaum, G. (1948). The accuracy of positioning movements as a function of their direction and extent. *American Journal Psychology, 61*, 167-182.

Coordination. (n.d.). In *Merriam-Webster Online Dictionary*. Retrieved from http://www.merriam-webster.com/dictionary/coordination

Chan, A. H. S., & Lee, P. S. K. (2005). Effects of different task factors on speed and preference in Chinese handwriting. *Ergonomics, 48*, 38-54.

Chan, A. H. S., & So, J. C. Y. (2009). Task factor usability ratings for different age groups writing Chinese. *Ergonomics, 52*, 1372-1385.

Chartrel, E., & Vinter, A. (2008). The impact of spatio-temporal constraints on cursive letter handwriting in children. *Learning and Instruction, 18*, 537-547.

Carlton, L. G., & Newell, K. M. (1993). Force variability and characteristics of force production. In K. M. Newell & D. M. Crocos (Eds.), *Variability and motor control* (pp. 15-36). Champaign, IL: Human Kinetics.

Clark, J. E. (1995). On being skillful: Patterns and constraints. *Research Quarterly for Exercise and Sport, 66*, 173-183.

Coren, S. (1992). Handedness questionnaire. Adapted from S. Coren (Ed.), *The left-hander syndrome: The causes and consequences of left-handedness.* Retrieved June 21, 2011, from Neuroscience for Kids Web site: http://faculty.washington.edu/chudler/rltablen.html

Djioua, M., & Plamondon, R. (2009). Studying the variability of handwriting patterns using the kinematic theory. *Human Movement Science, 28*, 588-601.

Dooijes, E. H., & Struzik, Z. R. (1994). The fractal dimension of handwriting. In: Proceedings of the IEEE Electronics Division European Workshop on Handwriting Analysis and Recognition: A European Perspective. IEEE Press, London.

Dounskaia, N., Van Gemmert, A. W. A., & Stelmach, G. E. (2000). Interjoint coordination during handwriting-like movements. *Experimental Brain Research, 135*, 127-140.

Fernandes, D. N., & Chau, T. (2008). Fractal dimensions of spacing and grip force in drawing and handwriting production. *Journal of Biomechanics, 41*, 40-46.

Fitch, H. L., Tuller, B., & Turvey, M. T. (1982). The Bernstein perspective: III. Tuning of coordinative structures with special reference to perception. In J. A. S. Kelso (Ed.), *Human motor behavior: An introduction* (pp. 271-281). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Fitts, P. M. (1954). The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement. *Journal of Experimental Psychology, 47*, 381-391.

Graham, S., Weintraub, N., Berninger, V., & Schafer, W. (1998). Development of handwriting speed and legibility in grades 1-9. *The Journal of Educational Research, 92*, 42-52.

Graham, S., & Berninger, V. (1998). The relationship between handwriting style and speed and legibility. *The Journal of Educational Research, 91*, 290-296.

Haken, H. (1977). *Synergetics: An introduction.* Berlin, FRG: Springer Verlag.

Hollerbach, J. M. (1981). An oscillation theory of handwriting. *Biological Cybernetics, 39*, 139-156.

Jasper, I., Häubler, A., Marquardt, C., & Hermsdorfer, J. (2009). Circadian rhythm in handwriting. *Journal of Sleep Research, 18*, 264-271.

Kelso, J. A. S., Holt, K. G., Rubin, P., & Kugler, P. N. (1981). Patterns of human interlimb coordination emerge from the properties of non-linear, limit cycle oscillatory process: Theory and data. *Journal of Motor Behavior, 13*, 226-261.

Kugler, P. N., Kelso, J. A. S., & Turvey, M. T. (1980). On the concept of coordinative structures as a dissipative structure: 1. Theoretical lines of convergence. In G. E. Stelmach & J. Requin (Eds.), *Tutorials in motor behavior* (pp. 3-47). Amsterdam: North-Holland.

Kushki, A., Schwellnus, H., Ilyas, F., & Chau, T. (2011). Changes in kinetics and kinematics of handwriting during a prolonged writing task in children with and without dysgraphia. *Research in Developmental Disabilities, 32*, 1058-1064.

Latash, M. L., Danion, F., Scholz, J. F., Zatsiorsky, V. M., & Schöner, G. (2003). Approaches to analysis of handwriting as a task of coordinating a redundant motor system. *Human Movement Science, 22*, 153-171.

Longstaff, M. G., & Heath, R. A. (1997). Space-time invariance in adult handwriting. *Acta Psychologica, 97*, 201-214.

Longstaff, M. G., & Heath, R. A. (1999). A nonlinear analysis of the temporal characteristics of handwriting. *Human Movement Science, 18*, 485-524.

Longstaff, M. G., & Heath, R. A. (2003). The influence of motor system degradation on control of handwriting movements: A dynamical system analysis. *Human Movement Science, 22*, 91-110.

McKeever, W. F. (1979). Handwriting posture in left-handers: Sex, familial sinistrality and language laterality correlates. *Neuropsychologia, 17*, 429-444.

Medwell, J., & Wray, D. (2007). Handwriting: What do we know and what do we need to know？*Literacy, 41*, 10-15.

Meulenbroek, R. G. J., & Van Galen, G. P. (1989). Variations in cursive handwriting performance as a function of handedness, hand posture and gender. *Journal of Human Movement Studies, 16*, 239-254.

Meulenbroek, R. G. J., & Thomassen, J. W. M. (1991). Stroke-direction preferences in drawing and handwriting. *Human Movement Science, 10*, 247-270.

Meulenbroek, R. G. J., & Thomassen, J. W. M. (1992). Effects of handedness and arm position on stroke-direction preferences in drawing. *Psychological Research, 54*, 194-201.

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. 341-360). Amsterdam: Martinus Nijhoff.

Newell, K. M., & Corcos, D. M. (1993). *Variability and motor control.* Champaign, IL: Human Kinetics.

Newell, K. M., & Slifkin, A. B. (1998). The nature of movement variability. In J. P. Piek (Ed.), *Motor behavior and human skill* (pp. 143-160). Champaign, IL: Human Kinetics.

Newell, K. M., & Van Emmerik, R. E. A. (1989). The acquisition of coordination: Preliminary analysis of learning to write. *Human Movement Science, 8*, 17-32.

Orton, S. T. (1928). Specific reading disability－Strephosymbolia. *Journal of The American Medical Association, 90*, 1095-1099.

Peters, M., & McGrory, J. (1987). The writing performance of inverted and noninverted right- and left-handers. *Canadian Journal of Psychology, 41*, 20-32.

Phillips, J. G., Ogeil, R. P., & Best, C. (2009). Motor constancy and the upsizing of handwriting. *Human Movement Science, 28*, 578-587.

Rigal, R. A. (1992). Which handedness: Preference or performance ? *Perceptual and Motor Skills, 75*, 851-866.

Sallagoïty, I., Athènes, S., Zanone, P. G., & Albaret, J. M. (2004). Stability of coordination patterns in handwriting: Effects of speed and hand. *Motor Control, 8*, 405-421.

Sassoon, R., Nimmo-Smith, I., & Wing, A. (1986). An analysis of children's penholds. In H. Kao, G. Van Galen & R. Hoosain (Eds.), *Graphonomics: Contemporary research in handwriting* (pp. 93-106). Amsterdam: Elsevier.

Schmidt, R., & Lee, T. (2005). *Motor control and learning: A behavioral emphasis* (4th ed.). Champaign, IL: Human Kinetics.

Summers J., & Catarro, F. (2003). Assessment of handwriting speed and factors influencing written output of university students in examinations. *Australian Occupational Therapy Journal, 50*, 148-157.

Szeligo, F., Brazier, B., & Houston, J. (2003). Adaptations of writing posture in response to task demands for left- and right-handers. *Laterality, 8*, 261-276.

Tankle, R. S., & Heilman, K. M. (1983). Mirror writing in right-handers and in left-handers. *Brain and Language, 19*, 115-123.

Teasdale, T. W., & Owen, D. R. (2001). Cognitive abilities in left-handers: Writing posture revisited. *Neuropsychologia, 39*, 881-884.

Teulings, H. L. (1996). Handwriting movement control. In S. W. Keele & H. Heuer (Eds.), *Handbook of perception and action.* (pp. 561-613). London: Academic Press.

Teuling, H. L., Contreras-Vadal, J. L., Stelmach, G. E., & Adler, C. H. (1997). Parkinsonism reduces coordination of finger, wrist, and arm in fine motor control. *Experimental Neurology, 146*, 159-170.

Thelen, E., & Ulrich, B. D. (1991). Hidden skill: A dynamic systems analysis of treadmill stepping during the first year. *Monographs of the Society for Research in Child Development*, 56(1, Serial No.223).

Tucha, O., Aschenbrenner, S., & Lange, K. W. (2000). Mirror writing and handedness. *Brain and Language, 73*, 432-441.

Tucha, O., Tucha, L., & Lange, K. W. (2008). Graphonomics, automaticity and handwriting assessment. *Literacy, 42*, 145-155.

Tuller, B., Turvey, M. T., & Fitch, H. L. (1982). The Bernstein perspective: II. The concept of muscle linkage or coordination structure. In J. A. S. Kelso (Ed.), *Human motor behavior: An introduction* (pp. 253-270). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.

Turvey, M. T. (1990). Coordination. *The American Psychologist, 45*, 938-953.

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.

Vaid, J., & Stiles-Davis, J. (1989). Mirror writing: An advantage for the left-handed? *Brain and Language, 37*, 616-627.

Van Emmerik, R. E. A., & Newell, K. M. (1990). The influence of task and organismic constraints on intralimb and pen-point kinematics in a drawing task. *Acta Psychologica, 73*, 171-190.

Van Gemmert, A. W. A., Teulings, H. L., & Stelmach, G. E. (2001). Parkinsonian patients reduce their stroke size with increased processing demands. *Brain and Cognition, 47*, 504-512.

Williams, A. M., Davis, K., & Williams, J. G. (1999). *Visual perception and action in sport.* New York: E & FN Spon.

Yang, M. J. (1997). Mirror writing in right-handers and left-handers: A study using Chinese characters. *Neurosychologia, 35*, 1491-1498.

附錄一

慣用手問卷

感謝您抽空填寫本問卷，我們將根據您所提供之資料選取合適的參與者，您的協助將對本研究產生極大貢獻，在此先向您致上最高謝意。請仔細閱讀問卷問題後，根據「實際情況」進行填答，答案無分對錯，您所填答之答案以及個人資料僅供學術研究之用，絕不外洩，請放心填答。

	左手	右手	任一手
1. 您用哪一手寫字?			
承上題，是否有他人(父母或師長)更改過您書寫之慣用手？_____(填是或否)			
2. 您用哪一手畫圖?			
承上題，是否有他人(父母或師長)更改過您畫圖之慣用手？_____(填是或否)			
3. 您用哪一手投球?			
4. 您用哪一手拿球拍(網球拍、羽球拍、桌球拍)?			
5. 您在刷牙時是用哪一手拿牙刷?			
6. 您是用哪一手拿刀切東西?			
7. 您是用哪一手拿鐵鎚釘釘子?			
8. 在點火柴時，您是用哪一手拿火柴棒?			
9. 您用哪一手拿擦橡皮擦?			
10.您用哪一手發牌給他人?			
11.在穿針線時，您用哪一手拿線?			
12.您用哪一手拿蒼蠅拍?			
TOTAL			

分數計算
1.計算左手、右手、及任一手的回答數目。
2.將右手回答數乘以 3，此答案= R
3.將任一手回答數乘以 2，此答案= E
4.總分 = R + E + (左手回答數)

國立臺灣師範大學體育學系
指導教授：楊梓楣
實 驗 者：施長志

附錄二

參與者須知暨實驗同意書

您好：

本實驗旨在探討「不同書寫者類型於不同書寫情境之書寫動作表現差異與協調形式之轉移」希望能徵求您的同意，參與本次實驗。

實驗中，將請您分別使用左右手，根據所提供之範本字形，以連寫之方式按筆劃順序與連筆字數之要求，流暢地進行書寫。本實驗屬動作行為的研究，不會對人體造成任何的傷害。測驗成績以及個人相關資料將不對外公開，僅供作為學術研究之用。此外，在實驗期間，若您有任何因素造成意願之改變，可以告知實驗者，隨時終止並退出實驗。最後，感謝您的配合與參與！

-參與者同意書-

經過閱讀，並且了解以上陳述，我願意參與本次研究。

出生年月日：_____/_____/_____

參與者簽名：_____

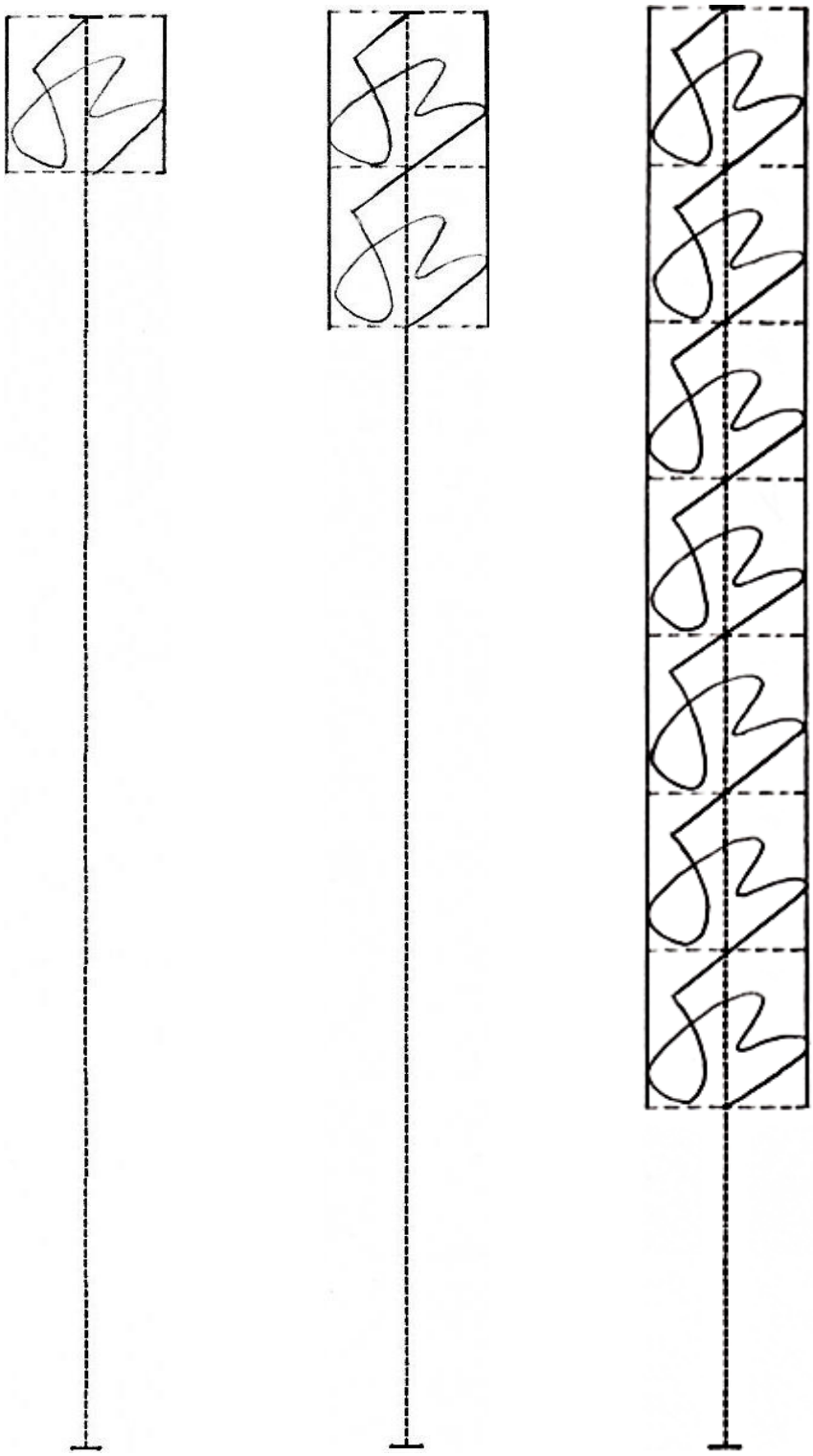
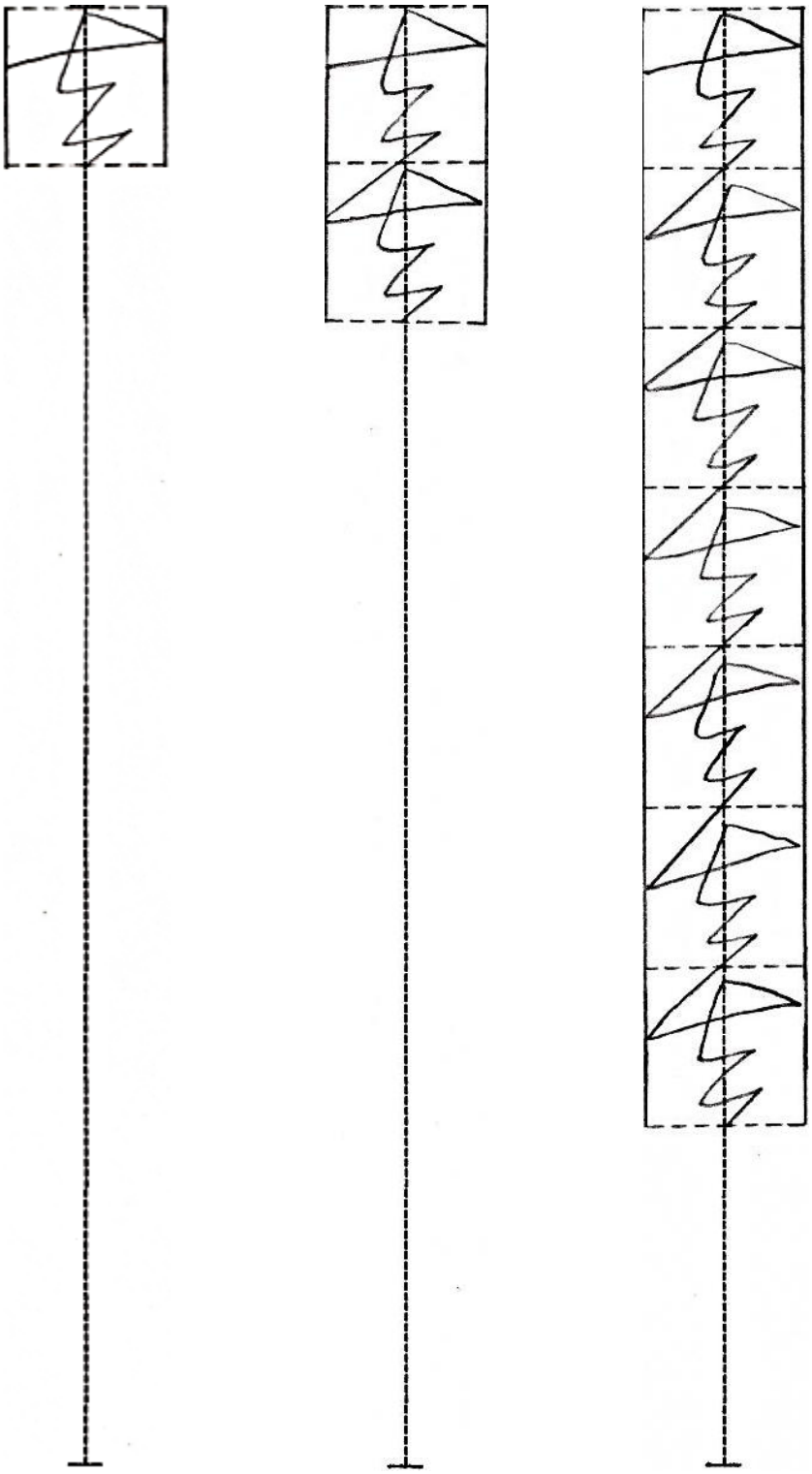
日　　期：_____/_____/_____

實 驗 者：_____

實驗日期：_____

國立臺灣師範大學體育學系
指導教授：楊梓楣　博士
研 究 者：施長志　敬上
連絡電話：0921-999481
E-MAIL：zoezoeorc@hotmail.com

附錄三　練習範本－「水」字



附錄四　練習範本－「去」字