

國立臺灣師範大學運動與休閒學院

運動競技學系 碩士論文

以動力系統的架構探討不同項目運動員  
的跑步動力型態



研究生：宋 婕

指導教授：劉有德

中華民國 107 年 7 月

中華民國臺北市

# 以動力系統的架構探討不同項目運動員的跑步動力型態

107 年 7 月

研究生:宋 婕

指導教授:劉有德

## 摘要

跑步為所有陸上運動的基礎。即使在該項運動競賽中沒有實際跑步的技術內容，在進行體能訓練時也往往會以跑步的方式實施。由於跑步常被視為一般人均具備的能力，在競技運動項目中，除了徑賽項目的運動員外，較少針對跑步的動作進行訓練。許多對速度有較高需求的運動項目，如籃球、足球、棒球等，也很少針對跑步技術進行訓練。動力系統理論是一種以數學模式檢驗系統中動力變化的工具。在動力系統理論的架構下，可以利用觀察狀態域(state space)中動力變化的圖形以及量化次序參數(order parameter)的方式，了解系統中動力質與量的變化。本研究以動力系統的理論架構，比較徑賽項目優秀運動員與非徑賽項目優秀運動員在短距離跑步的動力狀況。實驗招募大專甲組徑賽短跑運動員及橄欖球運動員共 15 位，進行三種速度的 60 公尺衝刺跑，以三台數位攝影機串連方式拍攝跑步過程，拍攝的影片以 Simi Motion 動作分析系統擷取下肢運動學資料，並以左右腿與額面的角度、角速度及相對相位進行圖型及量化分析。研究結果發現三種速度結果的呈現是由步長及步速兩種策略調整而來的，在速度持續增加時步長與步速都會增大，而慢速跑中步長與步速則不會持續往上增加。在跑步的過程中兩腿是呈現反相動作，當速度變慢時反相的協調型態有較大的起伏，出現較不穩定的現象，同時短跑選手動作協調的穩定度也高於橄欖球選手。本研究除提供以動力系統理論進行跑步動作型態分析之應用外，亦可作為不同競技運動項目運動員檢驗跑步動作的方法。

**關鍵字：**動力系統理論、短距離跑、相平面、相對相位

# **Exploring the running dynamics of different sports background from the Dynamical Systems perspective**

2018, July

Student: Jie Song  
Advisor: Yeou-Teh Liu

## **Abstract**

Running is the fundamental skill of all land-based sports. Coaches also often prescribe running in the training program to enhance physical fitness. However, specific running skills have rarely been emphasized in sport training except for athletes of the track events. Even for the sports where moving speed of the players is in great demand such as basketball, soccer, and baseball, running skill has rarely been found in the training program. Dynamical Systems Theory adopts mathematical models to analyze the dynamics of interest. Under the framework of the dynamical systems theory, we may observe the changes in the dynamic state of the system and quantify the value of the order parameter to understand the qualitative and quantitative changes of the system dynamics. Based on the dynamical systems theory, the purpose of the study was to compare the dynamics of running between the elite athletes of sprinters and non-sprinters. Fifteen division A collegiate sprinters and rugby athletes performed 60m run in 3 speeds. Three digital cameras, placed in concatenation, were used to videotape the runs. The movement kinematics of the legs were digitized with the Simi Motion movement analysis system, and the angles of the left and right legs with respect to the frontal plane were used to derive the relative phase for further quantitative and graphical analyses. The results showed that the 3 running speeds were the results of adjusting step length and step speed. During the speed up phase, both step length and step speed increased. The step length and step speed did not continue to increase for the medium and slow speed runs. The two legs were in anti-phase during running and larger oscillations around the anti-phase were observed

for the lower speed runs. In addition, the sprinters also showed a more stable anti-phase coordination than the rugby athletes. The current study applied the dynamical systems theory in analyzing running dynamics. This method may be applied to examine the running movements/dynamics for athletes of different events.

**Keywords: dynamical systems theory, short distance run, phase plane, relative phase**



## 謝誌

回顧這兩年研究所的日子裡，所有的人、事、物幾乎是從陌生到熟悉，在這過程中看到問題，也會開始學著想辦法解決問題。首先要謝謝我的家人支持我所選擇的路，讓我無後顧之憂的完成學業，謝謝我的指導教授有德老師無私心的在幫助我們在新的領域中吸收知識並且像媽媽一樣的照顧我們！老師謝謝您～我很喜歡MBLAB的學習氛圍以及保持運動好習慣的熱潮，我第二專長(羽球)的潛能慢慢的被激發出來，雖然我到後期都沒有在參與大家的運動時間，之後我會找到球友繼續的培養我第二專長，有時間我還會想和室友們打球！而在經過 seminar、NASPSPA、碩士論文的洗禮後，會持續關注運動行為的議題，輔助自己未來在教學或訓練的教材基礎。也謝謝各位室友對 Nana 的包容與關懷，我絕對忘不了我們從白天到天色暗都還待在實驗室的日子(大家彼此積極的態度，是我的動力)，我不奢求你們掛念我，但我畢業後三餐一定要按時吃，再來努力拼手邊的進度，因為不會有人像我一樣無時無刻想進食，像鬧鐘一樣提醒吃飯時間到了。最後謝謝口委、受試者、MBLAB 的學長姊同學們、師大飛虎隊、IHC 教會的朋友們，感謝天父一路上的扶持，將一切榮耀都歸給祢，阿門！

# 目次

|                 |           |
|-----------------|-----------|
| 中文摘要            | i         |
| 英文摘要            | ii        |
| 謝誌              | iv        |
| 目次              | v         |
| 圖次              | vii       |
| <br>            |           |
| <b>第壹章 緒論</b>   | <b>1</b>  |
| 第一節 前言          | 1         |
| 第二節 問題背景        | 1         |
| 第三節 研究目的        | 3         |
| 第四節 名詞操作性定義     | 3         |
| 第五節 研究範圍與限制     | 3         |
| <br>            |           |
| <b>第貳章 文獻探討</b> | <b>4</b>  |
| 第一節 動力系統理論      | 4         |
| 第二節 短距離跑        | 8         |
| 第三節 橄欖球訓練需求     | 11        |
| 第四節 文獻總結        | 12        |
| <br>            |           |
| <b>第參章 研究方法</b> | <b>13</b> |
| 第一節 實驗參與者       | 13        |
| 第二節 器材與場地       | 13        |
| 第三節 實驗程序        | 14        |

|            |                   |    |
|------------|-------------------|----|
| 第四節        | 資料處理與統計分析         | 16 |
| <b>第四章</b> | <b>結果</b>         | 17 |
| 第一節        | 60 公尺短跑時間         | 17 |
| 第二節        | 跑步動力狀態            | 17 |
| 第三節        | 步長與步速之間斷動力        | 20 |
| 第四節        | 相平面、虎克平面與相對相位     | 24 |
| <b>第五章</b> | <b>討論</b>         | 27 |
| <b>第六章</b> | <b>結論與建議</b>      | 31 |
|            | 引用文獻              | 32 |
|            | 附錄                | 36 |
| 附錄一        | 角度與角加速度之虎克平面圖(快速) | 36 |
| 附錄二        | 角度與角加速度之虎克平面圖(中速) | 37 |
| 附錄三        | 角度與角加速度之虎克平面圖(慢速) | 38 |
| 附錄四        | 步速映像線性適配圖(快速)     | 39 |
| 附錄五        | 步速映像線性適配圖(中速)     | 41 |
| 附錄六        | 步速映像線性適配圖(慢速)     | 43 |
| 附錄七        | 步長映像線性適配圖(快速)     | 45 |
| 附錄八        | 步長映像線性適配圖(中速)     | 47 |
| 附錄九        | 步長映像線性適配圖(慢速)     | 49 |

# 圖次

|                                 |    |
|---------------------------------|----|
| 圖 2-1 來回點觸工作之相平面                | 5  |
| 圖 2-2 走路相平面圖                    | 5  |
| 圖 2-3 HKB 兩手協調由反相到同相之相對相位示意圖    | 6  |
| 圖 2-4 不同難度指數來回點觸動作的虎克軌跡圖        | 7  |
| 圖 2-5 走路虎克軌跡圖                   | 8  |
| 圖 3-1 場地佈置與校正架示意圖               | 14 |
| 圖 3-2 實驗流程圖                     | 15 |
| 圖 4-1 不同速度 60 公尺短跑平均時間          | 17 |
| 圖 4-2 兩組別不同速度 60 公尺短跑平均時間       | 17 |
| 圖 4-3 十五位實驗參與者跑 60 公尺步速與步長之動力狀態 | 18 |
| 圖 4-4 三種跑速步長映像線性適配之平均斜率         | 21 |
| 圖 4-5 兩組運動員三種跑速步長映像線性適配圖        | 21 |
| 圖 4-6 三種跑速步長映像線性適配之平均決定係數       | 21 |
| 圖 4-7 兩組運動員三種跑速步長映像線性適配之平均決定係數  | 21 |
| 圖 4-8 三種跑速步速映像線性適配之平均斜率         | 22 |
| 圖 4-9 兩組運動員三種跑速步長映像線性適配之平均斜率    | 22 |
| 圖 4-10 三種跑速步速映像線性適配之平均決定係數      | 23 |
| 圖 4-11 兩組運動員三種跑速步速映像線性適配之平均決定係數 | 23 |
| 圖 4-12 短跑運動員左右腿三種速度相平面圖例        | 24 |
| 圖 4-13 橄欖球運動員左右腿三種速度相平面圖例       | 24 |
| 圖 4-14 橄欖球運動員左右腿三種速度虎克平面圖例      | 24 |
| 圖 4-15 短跑運動員左右腿三種速度虎克平面圖例       | 25 |
| 圖 4-16 三種跑速 60 公尺短跑相對相位平均值      | 25 |



圖 4-17 兩組運動員三種跑速 60 公尺短跑相對相位平均值 . . . . . 25

圖 4-18 三種跑速 60 公尺短跑相對相位平均標準差 . . . . . 26

圖 4-19 兩組運動員三種跑速 60 公尺短跑相對相位平均標準差 . . . . . 26

圖 4-20 60 公尺短跑快速左右腿相對相位圖 . . . . . 26

圖 4-20 60 公尺短跑快速左右腿相對相位圖 . . . . . 26



# 第壹章 緒論

## 第一節 前言

跑步被認為是一種人人都會的運動方式。近年來社會經濟發展穩定，人們意識到健康的重要。為了推動民眾的運動風氣，台灣各區域開始推廣大人、小孩皆可參與的路跑活動。跑步是一種強調個人肢體的活動，是一種快速移動人體重心的方式。隨著環境的變化，高低不同的坡度，跑步時所使用的力量、策略及跑步整體呈現的型態皆會有些不同。雖然競技運動中的跑步與休閒活動中的路跑都是以雙腳交替移動的運動方式，這兩者間是否有不同之處？尤其在田徑場中進行的徑賽項目，由於跑步產生的速度是徑賽項目唯一的目的，是否也與其他不是以速度為唯一目的之運動中的跑步有不同之處？

在許多不同以跑步為主的運動項目中，運動員所接觸的訓練手段多樣化，而長時間訓練的環境下身體肢段動作也會產生適應現象，一般來說教練在沒有特殊要求情況下並不會特別修正運動員的跑步型態。許多運動項目的訓練核心是以高速度能力為首要，而速度是由肌力及爆發力所形成的一個身體的運動素質，速度訓練的過程中若沒有特別細分成體能、專項基本動作、跑步的型態時，教練往往會以專項運動項目的動作技術來設計課表內容，且在專項技術下亦常會忽略跑步技術是運動中速度的基礎要領。如棒球運動中的打擊者擊出球後，須具有好的的跑壘速度；足球、籃球運動之前鋒則需有以跑速作為進攻的必要條件，以利於競賽進行中的速度位移，是提升運動表現的關鍵(陳帝佑、徐明城，2012)。而在於不同徑賽距離之跑步運動員對於步幅和步頻之調控，各有不盡相同之策略，短跑與長跑運動員會採用適合自己的跨步技術，以因應跑速的變化 (Bushnell & Hunter, 2007)。

## 第二節 問題背景

跑步是一個全身性的運動，測量跑步運動的表現一般以完成跑步距離的時間來代表。如跑 100 公尺的時間約在 10-20 秒間，跑十公里則可能從 30 分鐘到超過兩小時。

然而跑步的時間表現無法提供跑步過程等影響最終時間的有關訊息。進一步對跑步過程進行分析，則常見將整段跑步的距離分段，如針對百公尺項目，依距離階段可分成起跑、加速度、最高速度與高速度維持等階段，這些階段的表現對選手成績具有重大的影響，因此也是訓練重點(Sheppard & Young, 2006)。以台灣現況為例，起跑至最高速度約在第 40 公尺處，速度為  $9.00 \pm 0.26$  m/s，該速度可持續維持穩定約 30 公尺，但開始呈下降趨勢；70 公尺速度為  $8.88 \pm 0.31$  m/s，隨後持續下降至終點  $8.53 \pm 0.23$  m/s (陳德盛、王月琪、蔡宗晏、張嘉澤、陳佳慧，2016)。除了分段的跑步過程外，分析跑步過程亦常以步長，步頻等數據為分析基礎(如，劉淑華，2007)，作為量化平均跑步過程表現的基礎。跑步的表現亦可從運動生理的觀點來分析，如短跑項目的表現與無氧能力有關，在進行短跑運動時無氧能量以三磷酸腺苷(adenosine triphosphate，簡稱 ATP)代謝所產生的能量是能維持 6-8 秒鐘之肌肉動力(王光濤、陳贊如、蔡麗玉、陳順勝，1896)，但這類的測量觀察僅能以間接的方式檢驗，且對促進了解跑步動作的動力變化過程有限。

人體狀態隨著時間有所改變，一個系統狀態隨著時間有所改變的系統便是一個動力系統(Dynamical systems)(莊國良、黃姿榕、劉有德，2015)。動力系統理論(Dynamical Systems Theory, DST)是一種以數學模式檢驗系統中動力變化的工具(Abraham & Shaw, 1984)。自從以相轉移的數學函數描述及預測雙手間手指擺動的協調型態會隨著擺動頻率而產生改變的 HKB 模式(Haken, Kelso, & Bunz, 1985)以來，逐漸有根據動力系統理論探討人體運動系統動力變化的研究(如 Liu & Newell, 2015; Palut & Zanone, 2005)。本研究擬以動力系統理論的架構，將人體跑步動作系統視為兩下肢交互擺盪的動力系統，觀察不同訓練背景的運動員在從事不同要求的跑步工作時，系統中動力質與量的變化。

### 第三節 研究目的

以動力系統理論的工具觀察不同項目運動員之跑步動力狀況。

### 第四節 名詞操作性定義

- 一、短距離衝刺跑（全力）：在短時間內產生自身最高的速度。
- 二、中距離穩定跑（1500 公尺）：速度介於短距離衝刺跑與長距離慢跑之間。
- 三、長距離慢跑（馬拉松）：跑步的節奏維持不變，過程中步伐以舒適的姿態前進。
- 四、下肢角度：以每幅影片中右髖與右膝之線段與額狀面間的夾角為右下肢角度；以每幅影片中右髖與左膝之線段與額狀面間的夾角為左下肢角度。
- 五、步長：以左右腳著地時踝關節點 x 座標之差計算每步長。
- 六、步速：以步長除以對應之時間差為每步之步速。
- 六、啟動時間：以實驗參與者開始啟動的前一幅。

### 第五節 研究範圍與限制

本研究選用短距離衝刺、中距離穩定跑及長距離慢跑作為實驗的工作，不同運動項目的運動員僅以徑賽短跑運動員及橄欖球運動員為觀察對象，對其他項目運動員間的比較不在本研究範圍之內。實驗方式以站立起跑開始進行 60 公尺跑步，不同起跑方式及更長距離的跑步動力變化亦不在本研究範圍之內。

## 第貳章 文獻探討

### 第一節 動力系統理論

#### 一、動力系統與動力系統理論

動力系統 (Dynamical systems) 是指隨著時間的流逝，系統內的狀態會改變的系統 (莊國良、黃姿榕、劉有德，2015)；而動力系統理論 (Dynamical Systems Theory, DST) 則是一個利用數學模式對系統中的動力變化進行檢驗的工具 (Abraham & Shaw, 1984)。這個理論緣自於數學的領域，但在近代的應用則常見於物理學領域的複雜適應系統 (莊國良、黃姿榕、劉有德，2015)。人類的行為多變化，由各種粗略動作、高難度的精細動作呈現出不同的動作型態。如此複雜的行為我們常以各種不同的練習方式達成學習某項動作型態的目標。人體的動作系統亦屬於複雜適應系統，包含具有多個子系統、多層次、自我組織、會有交互作用和呈非線性趨勢等複雜適應系統的特質 (莊國良、黃姿榕、劉有德，2015)。

以動力系統理論探討動力質性，可以利用圖像的方式作初步的觀察 (Abraham & Shaw, 1984；Bongers, Fernandez, & Bootsma, 2009)。對一個簡單振盪器 (oscillator) 運動狀態的描述，可以以位移與速度為座標的相平面 (phase plane) 表示。如以來回畫線的工作進行相平面的作圖，Bongers, Fernandez 與 Bootsma (2009) 發現快的來回動作在相平面呈現圓形的軌跡，而越慢的動作相平面中呈現的軌跡越偏離圓形 (圖 2-1)。利用相同概念嘗試對走路時下肢擺動的角度進行相平面的觀察，發現經過標準化的角位移與角速度雖也呈現圈狀的軌跡，但沒有來回畫線的軌跡平滑 (圖 2-2)。這類軌跡呈現相當規律、穩定的型態，可以視作動作型態的吸引子 (莊國良、黃姿榕、劉有德，2015)。

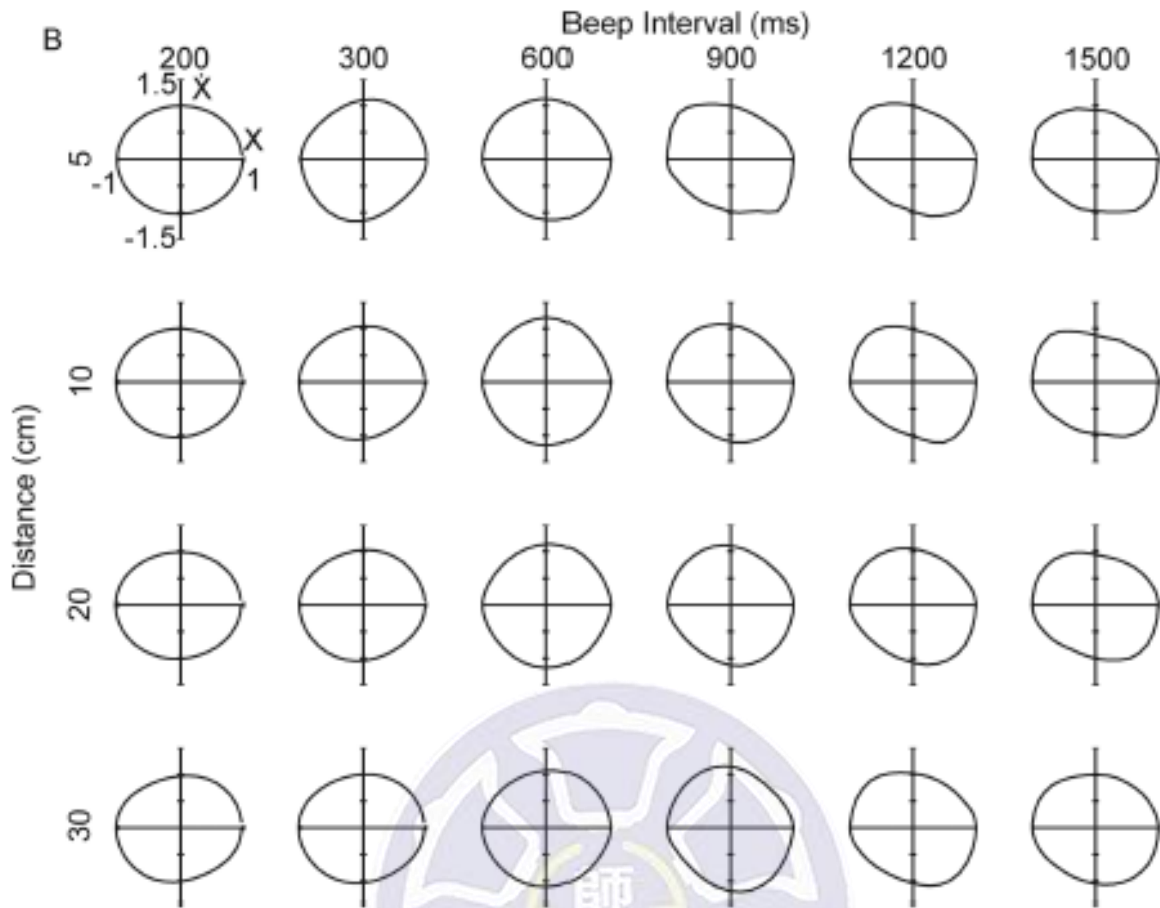


圖 2-1. Bongers, Fernandez 與 Bootsma (2009) 研究中來回點觸工作之相平面。

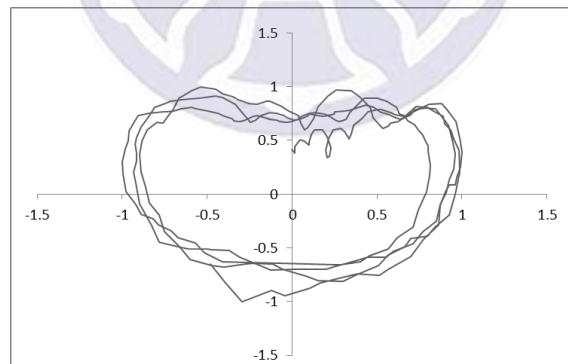


圖 2-2 走路相平面圖，橫軸為標準化位移，縱軸為標準化速度。

## 二、HKB 模式與相對相位

在運動控制文獻中首次以動力系統理論檢驗運動行為變化的研究便是 HKB 模式 (Haken, Kelso & Bunz, 1985)。所謂 HKB 模式是指當兩手手指在內收與外展的運動中，隨著節拍器的頻率加快到臨界值時，手指間的協調型態會自反相轉移成同相的相對

相位。相對相位是由兩隻手指的相位角相減所得，而相位角是由相平面上每一點與原點的線段和 x 軸正向軸之夾角而得。相對相位提供兩個肢段間相對時間的關係，自 HKB 模式以來，許多研究均嘗試以相對相位作為探討協調型態變化的變項(王甯、劉有德 2014；Li, Bogert, Caldwell, Emmerik, & Hamill, 1999)。跑步的動作主要由雙下肢交互向前擺動所成，也許也可以利用相對相位作為探討動力軌跡變化的變項。

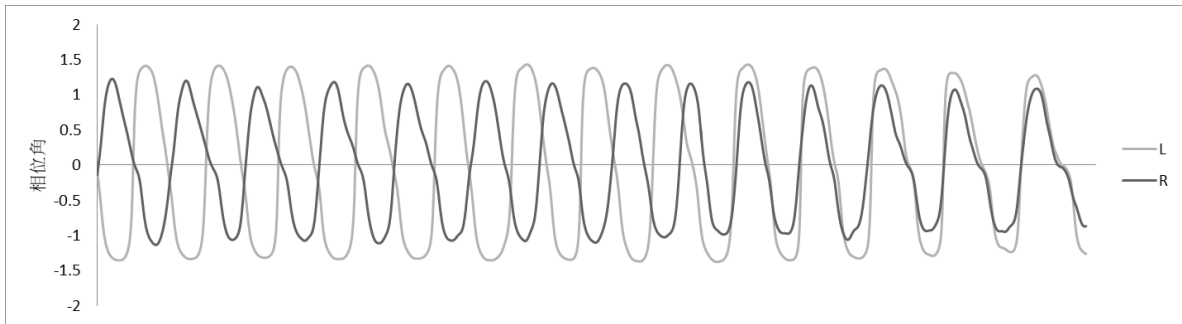


圖 2-3 HKB 兩手協調由反相到同相之相對相位示意圖，縱軸為相位角，橫軸為頻率，由左至右越來越快，圖中為左手(L)和右手(R)隨著頻率改變之相位角。

### 三、虎克平面

虎克定律 (Hooke's law) 是力學彈性理論中的一條基本定律，原先討論的範圍在於固體材料受力之後，材料中的應力與應變 (單位變形量) 之間的線性關係，延伸至人體動作系統的應用，則以加速度 (力) 及位移在虎克平面所呈現出的關係，討論動力質性的變化。在 Guiard (1993) 討論費茲典範中來回點觸動作，以虎克平面上的位移與加速度作圖，可以顯示在不同難度指數下動力軌跡的直性特徵。圖 2-4 顯示當難度指數越低時，軌跡成線性關係，符合虎克定律的描述，然而當難度指數增加，則越來越偏離線性的關係。走路的動作亦可嘗試以虎克平面的方式呈現其動力質性。圖 2-5 為對應圖 2-2 做出之虎克軌跡圖。雖然走路的虎克軌跡不如來回點觸動作的虎克軌跡平滑穩定，然而仍可隱約看出其具有來回點觸動作中慢速 (高難度指數) 及負斜率的特徵。

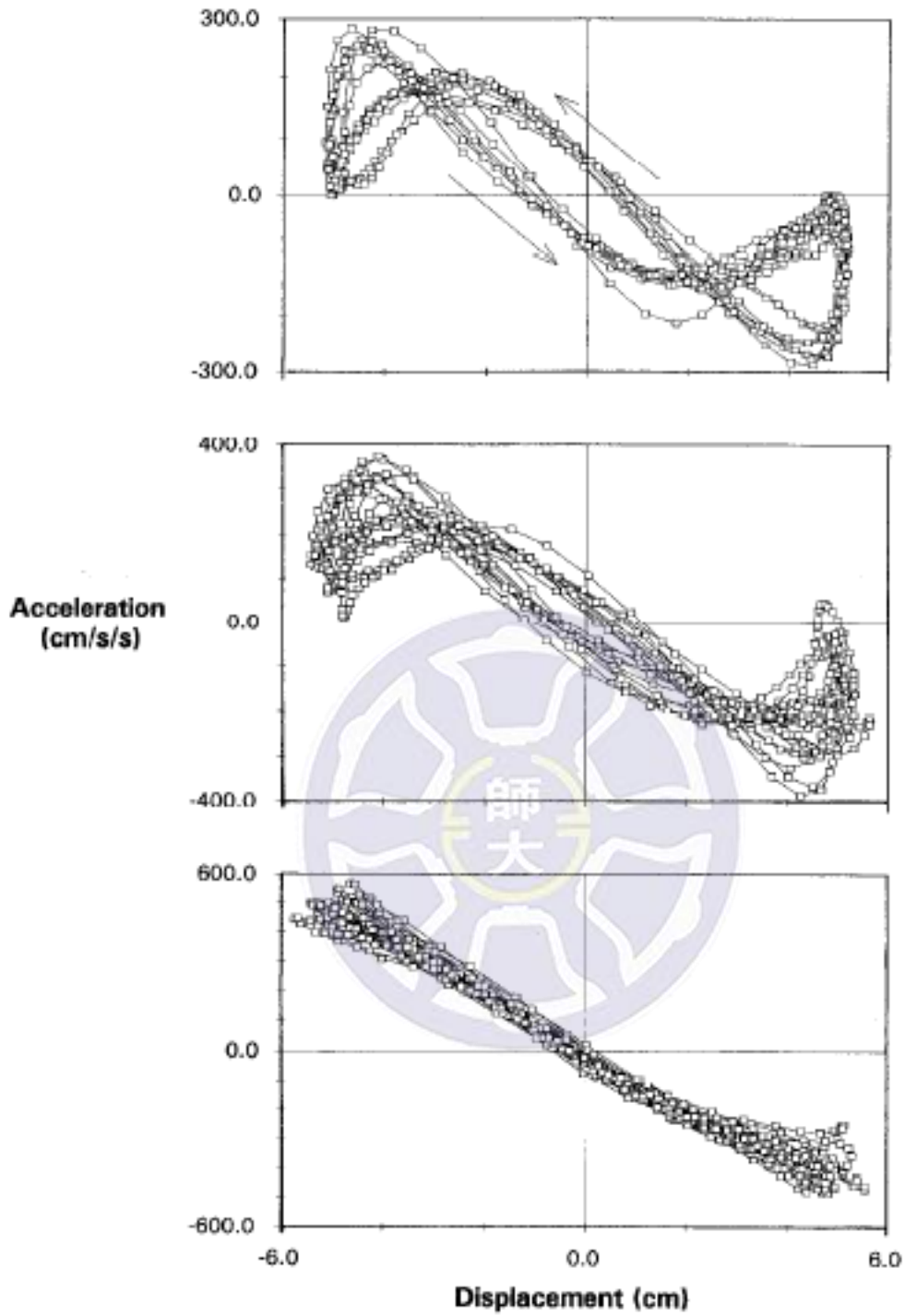


圖 2-4. 不同難度指數來回點觸動作的虎克軌跡圖。由上至下難度指數遞減。



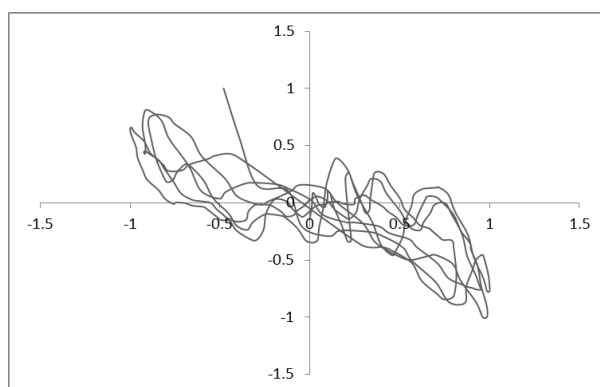


圖 2-5 走路虎克軌跡圖。

## 第二節 短距離跑

### 一、田徑短跑技術

人隨著成長及居住環境的變化，產生各種不同的肢體動作，像是小朋友從嬉戲中的移動一直到能自然控制跑步的速度；為了跨越地上積水或溝渠而有跳躍的動作，及抓握身邊隨手可取的物品往遠處拋丟目標物等，這些因日常生活所遇到而自然發生的動作會隨著成長時間所增加的練習機會而提高動作的效率。這些被視為人人皆會的運動在公元前 776 年古希臘的第一屆古代奧運會田徑比賽中被列為正式的比赛項目：跑步、跳遠及擲鐵餅；1896 年第一屆現代奧運會上這些項目皆成為主要競技項目。田賽是以距離為測量標準的項目，包括投擲、跳躍，而徑賽則是以時間為測量標準的項目，有各種距離的跑及跨欄等項目。在徑賽中百公尺項目依距離階段可分成起跑後的加速跑、最高速度維持的途中跑、最速度維持與最後衝刺高速度維持階段（簡鴻玟，1995；Sheppard & Young, 2006），這些階段的表現對選手最後成績具有重大的影響，因此也常是教練及選手在訓練過程中的課程指標。

由於跑步是田徑短跑選手之主要運動方式，跑步型態的要求便是訓練的重點，如在高速度階段以高抬腿去維持高速度；增大後蹬支撐反作用力與減少著地時阻力為百公尺支撐階段技術的重點(金良遠、葉良志，2007)。為了要讓跑者能有較足夠的時間產生小腿下壓的動作，並能有充分的反作用力，將注意力集中應用在大腿積極下壓小腿的擺

動，由此可知馬克操高抬腿動作在充分屈曲抬腿腳下肢關節、讓足部在步態雀躍階段產生較大推蹬力的一連串動作機轉之下，是有助於身體前進動量的產生(蘇宣輔、劉于詮、林漢森、黃泰源，2012)。而向下伸展踝關節，以前腳掌主動著地的動作，能有助於推蹬時間，也讓腳著地點靠近身體重心垂直線的地面上，增加了推蹬力，對跑者的成績較有助益(簡鴻玟，1995)。以上論述顯示跑步速度是建立於跑步技術之上，跑動中重心軌跡的上下變化幅度較為平穩，相對地就減少許多耗能(余雪安、張家豪、葉良志，2016)。

對短距離選手來說，好的跑步技術是跑步速度的來源，而好的跑步技術影響在長時間比賽運動選手的跑步經濟性，也隨之影響跑步的表現(Hauswirth, 2001)。維持一定水準的技術，可增進速度的提升且不易消耗能量。像是馬克操高抬腿動作和一般抬腿動作的差異在於馬克操練高抬腿動作，膝關節角度最小值較小，可讓抬腿腳之抬腿高度提升，另外下肢也能產生較大的登力峰值來讓身體前進(蘇宣輔、劉于詮、林漢森、黃泰源，2011)。雖然跑步技術尚未見提出標準動作，研究結果多是建議跑著們的動作型態盡量接近有利的角度或動作的方向。

田徑短距離跑可分為 100 公尺、200 公尺以及 400 公尺，短跑加速度來源跟步幅與步頻有關(劉淑華，2007；Hunter, Marshall, & McNair, 2004)，其中以 100 公尺距離為最短，選手需要在很短的時間下，充分利用步幅及步頻的調配，來增加速度或維持速度。100 公尺短跑可分為其過程可分為 30 公尺加速期、30-60 公尺高速期以及 60 公尺以後的維持。30 公尺加速期係指從起始點靜止速度的情況下起跑至 30 公尺，加速的期間，步幅與步頻之間為高相關，步幅和步頻會一起增加來影響跑速(劉淑華，2007)。30—60 公尺高速期，通常選手會在這個時期加速到最高速度，研究顯示 100 公尺短跑專業選手，在 60 公尺內身體質心的瞬時速度，可增加到每秒約 10-12 公尺；而選手步幅可增加到 2.2-2.5 公尺，步頻可增加到每秒 4-5 步，且不同層級選手在加速前期的差別，主要會反映在步幅的增加，世界級選手可增加約 0.7-0.8 公尺左右，而一般選手則約在 0.3-0.4 公尺左右，60 公尺以後選手通常就不會再加速，取而代之的是盡可能維持速度(Mackala,

2007)。因此短跑選手加速表現相當重要，如何在 60 公尺內使自己產生最大速度，往往是 100 公尺短跑比賽表現的重要關鍵。

## 二、徑賽以外跑步速度為重的運動項目

以目前台灣運動訓練現況，非田徑項目的運動訓練並不重視跑步技術，尤其是團體項目，因為一支隊伍要顧及數十位選手的專項技術外，還有體能等訓練項目，當一位教練要負責這麼多訓練內容時，跑步技術動作常常是被忽略的一項，因此對跑步的要求，常是停留在只要衝刺速度快、秒數接近標準即可。

文獻指出足球比賽最重要的致勝關鍵，取決於足球射門前搶球時的衝刺跑能力(王秀銀, 2008)。足球是以跑步為主的項目，一位足球選手如果擁有最佳的衝刺能力，則在足球場上一定也會有最佳的表現，換言之，衝刺對於足球運動而言是一項非常重要的能力(王秀銀、薛惠玲, 2010)。此外，棒壘球中的跑壘過程亦被視為與短跑衝刺的過程相似，包含起跑、加速、維持、衝線等階段。在棒、壘球中傳、接球是防守的基本技巧，而打、跑即是構成攻擊的基本要素(林國華、劉強, 2007)，對棒、壘球員跑步速度上的要求皆是反應在比賽中，若沒有提前在球入手套內前抵達壘上時，跑者出局的機率不僅高也降低攻擊得分的好機會。成功的跑壘員除了須具備正確的跑壘觀念外，還要擁有優異的跑壘技巧，而跑壘技巧就是包括跑步的速度、型態、體能之能力(葉志仙, 1993)。

籃球運動是屬於開放性的運動，具備高速度、高爆發力、高協調性、高對抗性、高空優勢及高技巧性的特徵。後衛球員是全隊的靈魂人物，掌控全場的進攻節奏，不僅要助攻而且要適時的得分(陳順義, 1998)，助攻是需要快速的移位；前鋒的角色也需要快速的突破前場並投籃得分(李鴻棋, 2001)，因此無論是場上的哪一個位置皆須負責即時發揮高速度之功效。排球擊球技術中，必須在最短時間內辨識來球速度、方向及落點，再以迅速的起動、採用合理快速的移動步法及穩定平衡的制動，才可有效擊球，降低失誤(邱金治, 2012)；羽球特性之快速步法移動及不斷變化方向的急停急跑、跳躍，特別強調水平距離移動及速度爆發力展現(高幸利、陳佳慧、王月琪、蕭博仁, 2009)；網球網前的截擊有 90% 是靠雙腳完成，尤其截擊時的啟動腳之步法、速度及離網距離，

都將會是影響球賽勝負的關鍵(張世聰、陳淑貞,2007)。因各種運動場地規則的不同,比賽區域有大小長短的分別,移動的方式也會隨著目的及情境有特殊性。不同運動項目的衝刺跑步型態也因而在長期訓練適應下有所不同。

### 第三節 橄欖球訓練需求

台灣橄欖球運動發展至今已有近百年的歷史,近代橄欖球運動強調直線攻擊的運用,同時應變防守戰術讓運動員在前進、支援或壓迫過程中能有效率的執行攻防之技術。在男子國際賽中球員總移動距離約 1800 公尺,衝刺距離約佔總距離 10.6% (莊國禎、張振崗,2014),場上衝刺的總距離也意指著專項技術成熟穩定後速度的強化可能是幫助選手提升比賽表現的因素之一。比賽過程中常看見球員面臨到短距離中加速與衝刺進行跑位與接應等挑戰 (Duthie, Pyne, Marsh, & Hooper, 2006),同時還要承受激烈比賽時頻繁的身體碰撞及快速的奔跑與擒抱 (曹校章、陳寶億,2006)以達成比賽中所期待的好表現。因此在橄欖球競賽中,我們需要跑者應用更多的跑步技巧(Hedger, 1999),或是可穿插速度較快的選手,來提高前鋒的機動性以提高運動成績。良好的體能是一切技術的根基,透過全身性體能的訓練,可有助於肌力、爆發力、肌耐力、速度與敏捷性、柔軟度等的提升(陳寶億、曹校章,2007),尤其若速度訓練可結合跑步技術動作的訓練,能幫助球員增添對於衝刺、速度之能力。球員具備順暢與高速度的衝刺時,能夠在有利的攻擊區域持著球快速的衝破底線將球達陣得分、而防守方的球隊所具備的短距離衝刺能力,則反映在能攔阻對方達陣的次數。

#### 第四節 文獻總結

觀察不同競技運動之比賽內容，許多運動項目多有高速跑步的需要，在專項的技術訓練之外跑步速度技術的增進應對提升比賽表現有所幫助。在徑賽短距離跑中可將距離分段檢驗，100 公尺跑約在 40 公尺處達到最高速，而達到最高速時應有最大的步頻，步幅組合。在動力系統理論的架構下，可以觀察到系統動力的質性變化及量化動力變化的差異。觀察跑步的動力變化，可以將左右下肢擺動角度的關係視為反應系統內動力狀態的變數，亦可將步長、步速組成的相平面軌跡作為檢驗不同跑步訓練背景運動員跑步動力現象的依據。



## 第參章 研究方法

### 第一節 實驗參與者

本實驗招募 7 名男性符合國內大專甲組橄欖球賽參賽資格及 8 名男性符合國內大專甲組田徑賽參賽資格之運動員，其半年內下肢無運動傷害者為實驗參與者。在告知實驗相關訊息並簽署實驗參與者知情同意書後進行本實驗。

### 第二節 器材與場地

#### 一、實驗器材

本實驗研究器材包含：

1. Casio 數位攝影機 (30fps)。
2. 攝影機腳架。
3. 水平儀。
4. 10 公尺以上之皮尺。
5. 三角障礙桶。
6. 大型校正架 (訓練用欄架)。
7. 外觀白色如排球大小的球體。
8. Simi Motion 動作分析軟體。



#### 二、實驗場地佈置

60 公尺速度衝刺場地佈置如圖 3-1。在直線跑道面向終點之右側架設 3 台攝影機，第一台距離起跑處 11.5 公尺，第二台與第一台間距離 19.21 公尺，第三台與第二台間距離 20.08 公尺。攝影機至實驗參與者所使用的跑道的垂直距離為 23 公尺。開始錄製實驗資料前在每兩台攝影機共同攝影範圍內以一顆白球開始落下時間進行同步設定，三台攝

影機以固定位置串連方式收集 60 公尺短距離衝刺資料。

### 三、校正架長度

在跑道上以間隔 21.11 公尺、20.5 公尺、18.60 公尺之四個男子百一跨欄所使用欄架的上下兩點作為校正架參考座標，欄架至地面的高度為 92 公分。每台攝影機依序以每兩個欄架的四個參考座標進行校正。(圖 3-1)。

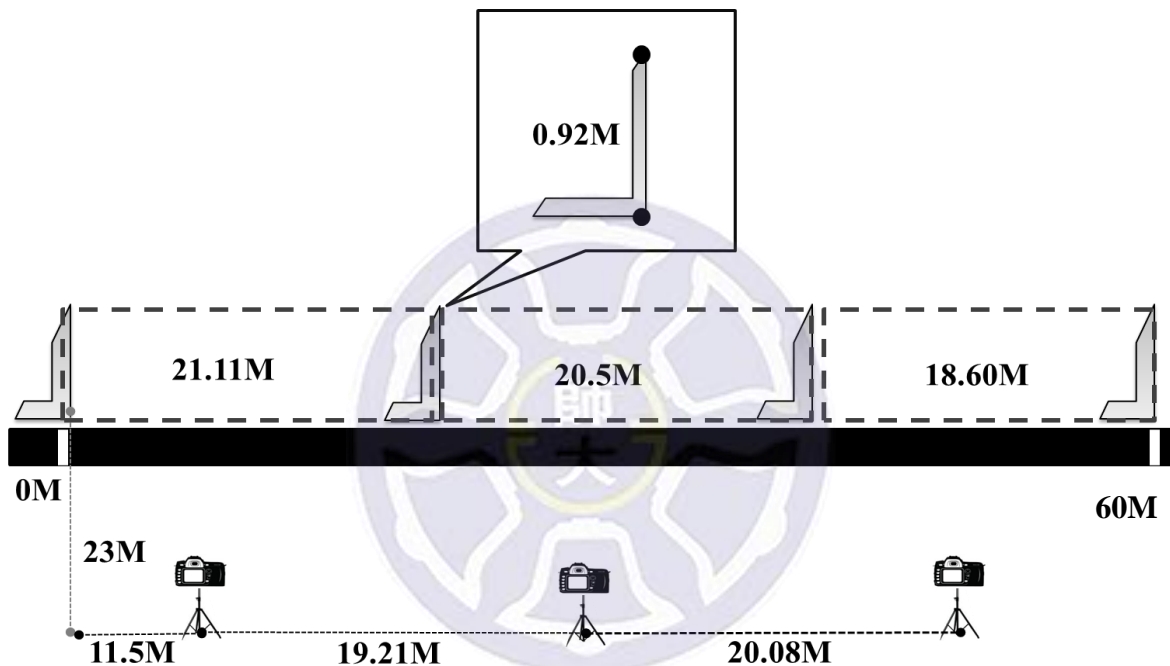


圖 3-1 場地佈置與校正架示意圖

## 第三節 實驗程序

### 一、實驗動作

運動員暖身運動約 30 分鐘~1 小時後，將反光貼布貼於右髖、右膝、右踝外側及左膝、左踝內側，至 60 公尺起點就位完畢後聽從口令（各就位）以站立式起跑進行 60 公尺短距離跑，情境分為全力衝刺、中距離（1500 公尺）速度及長距離（馬拉松）速度，

各情境試作次數為一趟。為避免運動傷害之產生，告知跑者通過終點後勿立即中止速度，應順勢將速度沿著跑道緩衝放慢速度。資料收集分三次完成，每次收集人數為三人、四人及八人。每位實驗參與者的三種情境以隨機方式安排順序，每人完成一次試作後再開始第二種情境的試作。

## 二、實驗操作流程說明

1. 架設實驗器材。
2. 攝影機按下錄製後進行同步動作。(以球體落下作為每兩台攝影機同步時間點)
3. 實驗參與者進行 60 公尺衝刺並以碼表計時
4. 以 SIMI motion 標記衝刺動作 (右髖、右膝、右踝外側及左膝、左踝內側)
5. 數據資料匯入 excel 彙整進行分析

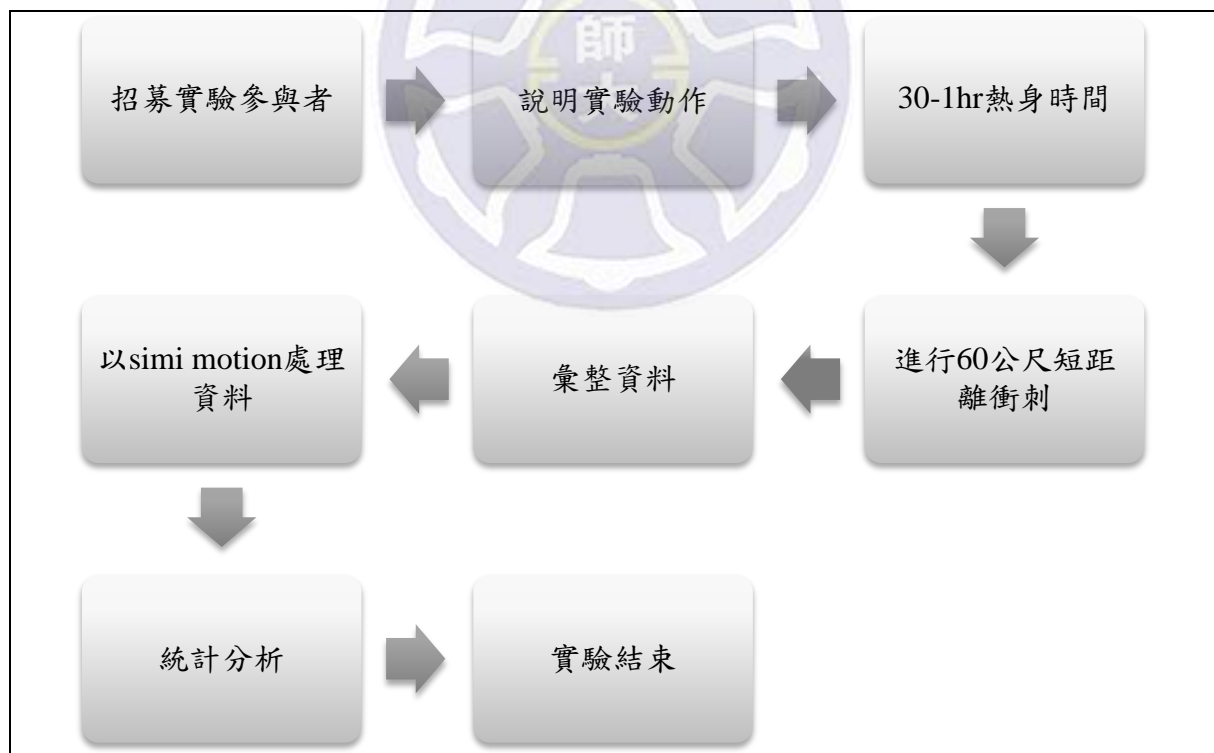


圖 3-2 實驗流程圖



## 第四節 資料處理與統計分析

### 一、資料處理

1. 將錄製的影片匯入 Simi Motion 動作分析軟體，標記右髖、右膝、右踝外側及左膝、左踝內側之軌跡，並輸出左右腿與額狀面的角度、角速度及角加速度。
2. 將右踝外側及左踝內側之資料匯入 Excel 後，以着地時左右踝 X 座標為準計算步長及步速，並繪製步長-步速跑步狀態圖，再以每步步長及步速值 n 對下一步 (n+1) 作散佈圖（映像，map）並進行線性適配。
3. 將左右腿與額狀面的角度、角速度及角加速度等資料匯入 Excel 後，找出角度、角速度、角加速度之最大值與最小值，以公式（一）將數據標準化，再以標準化的左右腿角位移及角速度繪製相平面、虎克平面軌跡圖，及左右腿的相對相位。

$$N = \{x - [(max+min)/2]\} / [(max-min)/2] \quad \text{公式（一）}$$

其中 N 為標準化之值；x 為標準化前之值；max 為最大值；min 為最小值

### 二、統計分析

1. 以混合設計二因子變異數分析檢驗兩組運動員與三種速度對 60 公尺跑時間的影響。
2. 以混合設計二因子變異數分析檢驗兩組運動員與三種速度對 60 公尺跑的 n 對 n+1 次步長映像散佈圖線性適配的斜率及決定係數之影響。
3. 以混合設計二因子變異數分析檢驗兩組運動員與三種速度對 60 公尺跑的 n 對 n+1 次步速映像散佈圖線性適配的斜率及決定係數之影響。

## 第肆章 結果

### 第一節 60 公尺短跑時間

60 公尺短跑時間在快速、中速與慢速之間達顯著差異， $F(1.14,14.84)=45.74$ ， $p < .05$ ， $\eta_p^2=.78$ 。成對比較皆達顯著差異  $ps < .05$ 。在短跑選手與橄欖球選手間差異雖未達顯著水準， $F(1,13)=4.53$ ， $p = .052$ ， $\eta_p^2=.26$ 。60 公尺短跑成績與層級間交互作用未達顯著， $F(1.14,14.84)=1.19$ ， $p = .30$ ， $\eta_p^2=.08$ 。圖 4-1 與 4-2 分別顯示所有實驗參與者在三種速度跑的時間以及不同運動項目運動員在三種速度跑的時間。

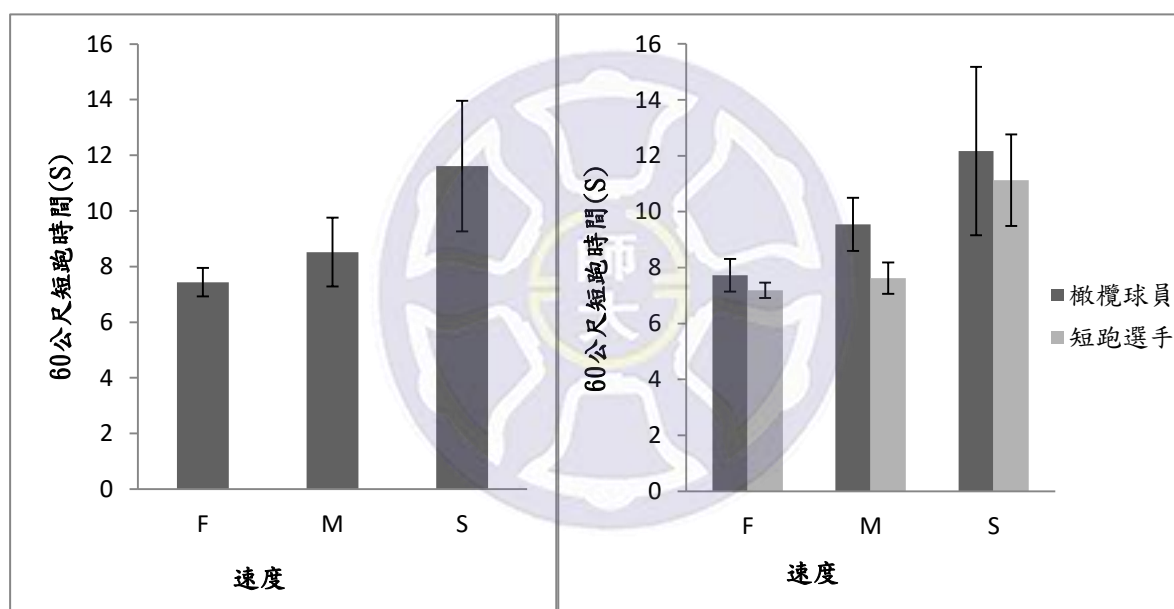


圖 4-1 不同速度 60 公尺短跑平均時間

及標準差。

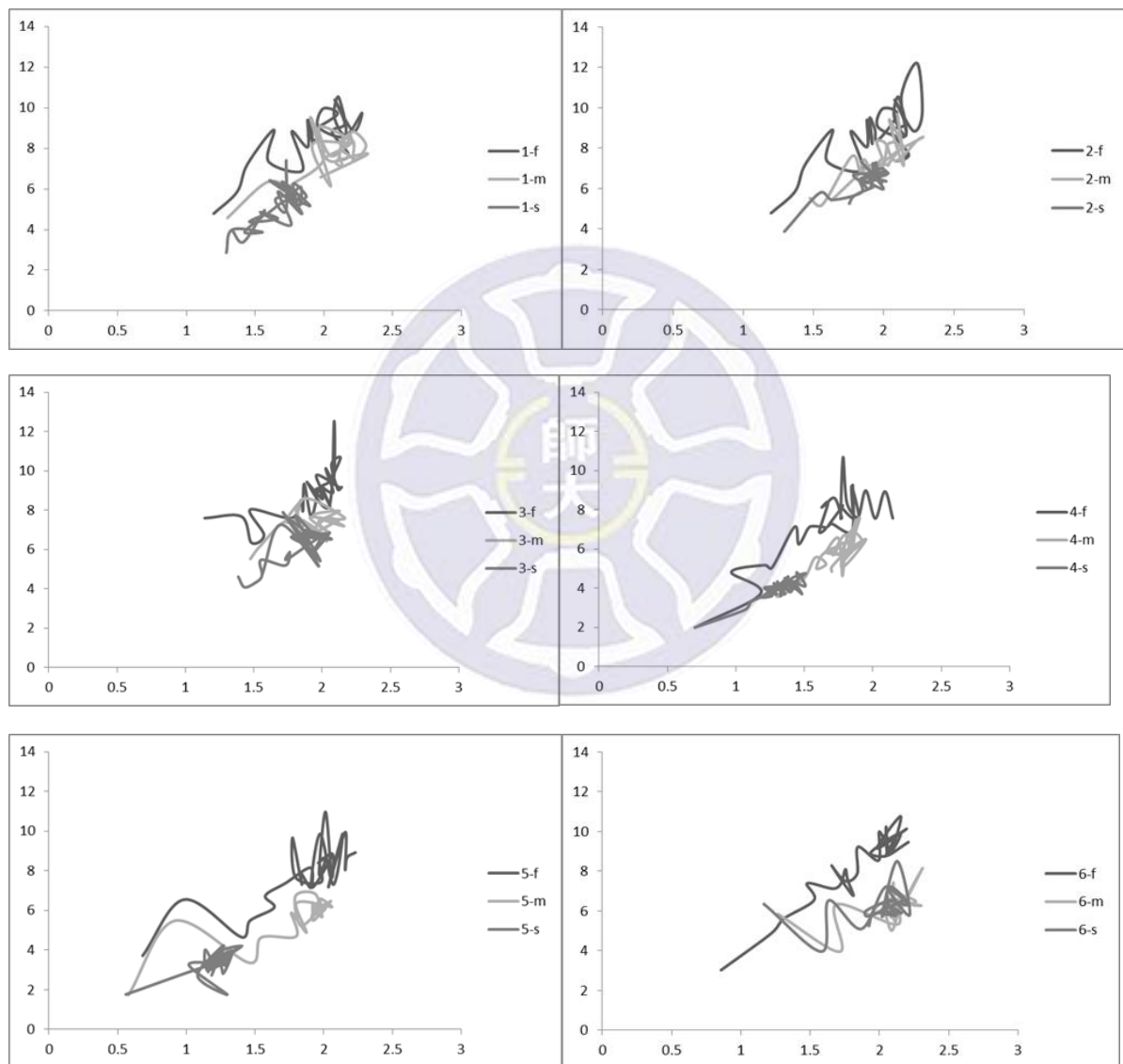
圖 4-2 兩組別不同速度 60 公尺短跑平均時間

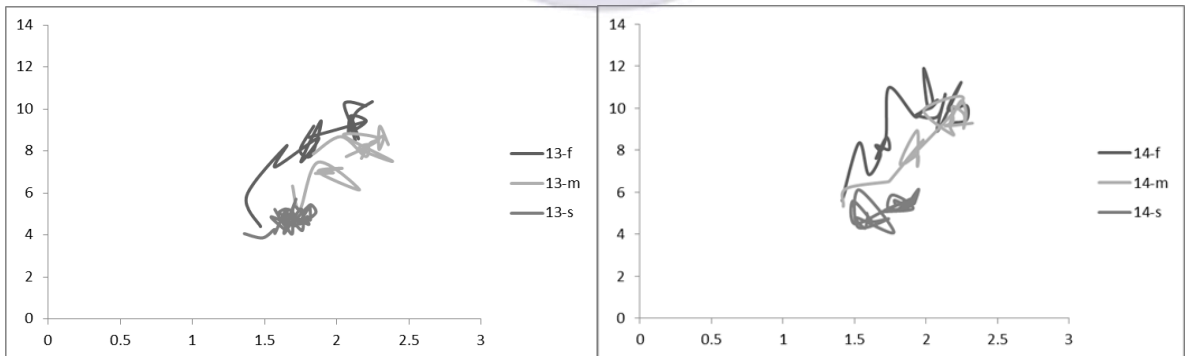
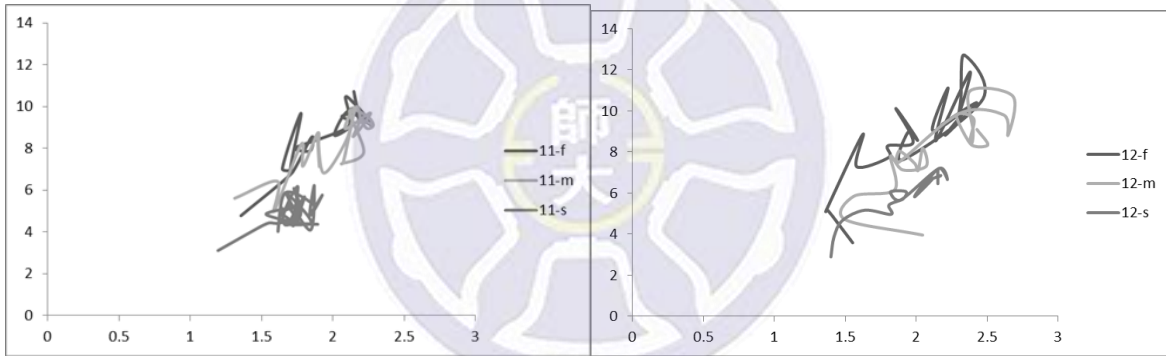
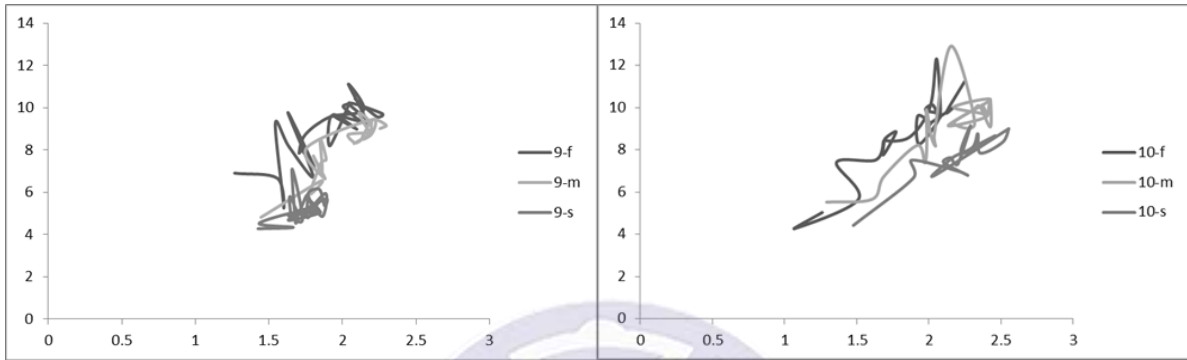
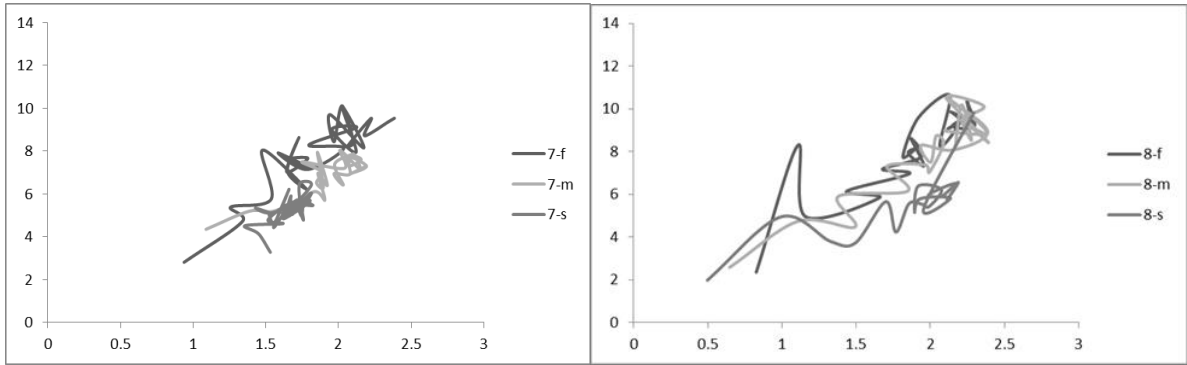
及標準差

### 第二節 跑步動力狀態

以步長與步速兩個變數作出三種跑步速度的二維動力變化狀態，如圖 4-3 X 軸為步長、Y 軸為步速所顯示 15 位實驗參與者的三種跑步動力狀態，可以觀察出三種跑步在

二維狀態域的動力有明顯不同的區域，尤其是 1-7 號的橄欖球運動員，三種跑速分別有不同的步長與步速穩定區域。然而在 8-15 號的短跑運動員中，快速跑及中速跑的區域有重疊的現象，不易分出這兩種速度的動力區域。短跑運動員中的 13 及 15 號，雖然三種跑速有較明顯不同的區域，但是在中速跑的最大步長似乎長於快速跑，與橄欖球運動員在中速跑時普遍步長與步速均低於快速跑的現象有所不同。





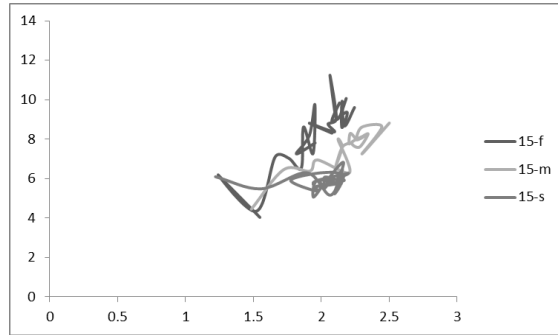


圖 4-3 十五位實驗參與者跑 60 公尺步速與步長之動力狀態。每幅圖中標號為實驗參與者編號，1-7 號為橄欖球運動員，8-15 號為短跑運動員；圖中所示 f 為快速跑，m 為中速跑，s 為慢速跑。

### 第三節 步長與步速之間斷動力

#### 步長映像線性適配斜率

根據結果顯示，在 60 公尺跑快速、中速及慢速間的步長映像線性適配斜率達顯著差異， $F(1,32,17.14)=17.39, p < .0001, \eta_p^2=.57$ 。進行事後成對比較，快速度的斜率大於中速與慢速， $p < .05$ ，中速度與慢速度間未達顯著差異， $p = 0.94$ 。運動員組間的斜率無顯著差異， $F(1,13)=2.68, p = .12, \eta_p^2=.17$ ，速度與運動員組間的交互作用亦未達顯著， $F(1,32,17.14)=.49, p = .55, \eta_p^2=.04$ 。圖 4-4 與 4-5 分別顯示所有實驗參與者在三種速度跑的步長映像線性適配斜率以及不同運動項目運動員在三種速度跑的步長映像線性適配斜率。

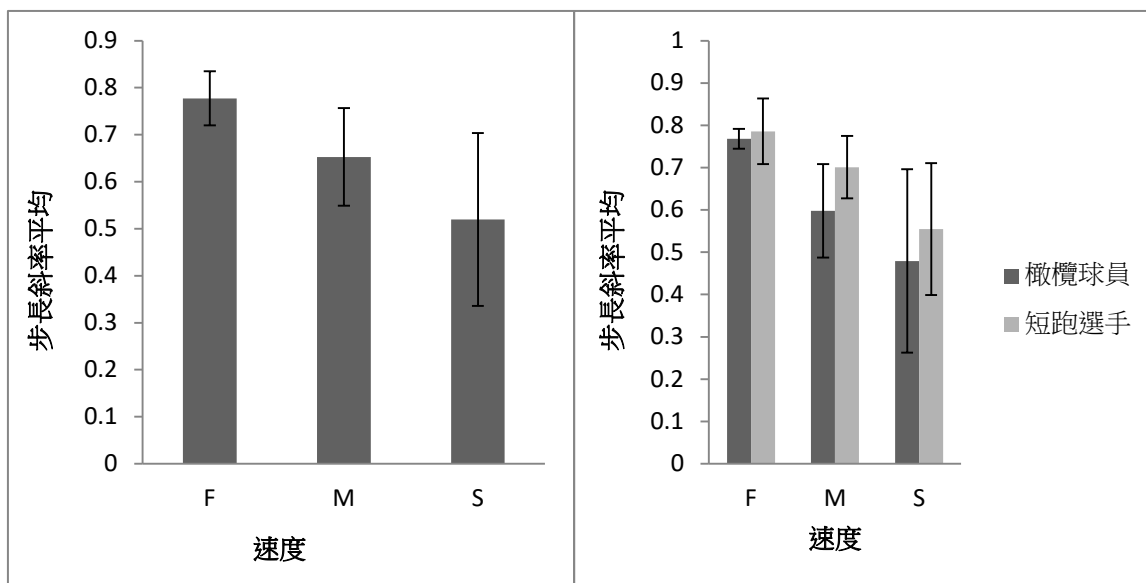


圖 4-4 三種跑速步長映像線性適配之平均斜率與標準差

圖 4-5 兩組運動員三種跑速步長映像線性適配之平均斜率與標準差

映像線性適配決定係數

在 60 公尺跑快速、中速及慢速間之步長映像線性適配決定係數達顯著差異， $F(2,26)=16.88, p<.0001, \eta_p^2=.565$ 。事後成對比較，快速顯著大於中速與慢速， $ps<.05$ 。運動員組間未達顯著差異， $F(1,13)=.55, p=.472, \eta_p^2=.041$ 。而組別與不同速度間的交互作用也未達顯著效果， $F(2,26)=1.31, p=.29, \eta_p^2=0.92$ 。圖 4-6 與 4-7.....

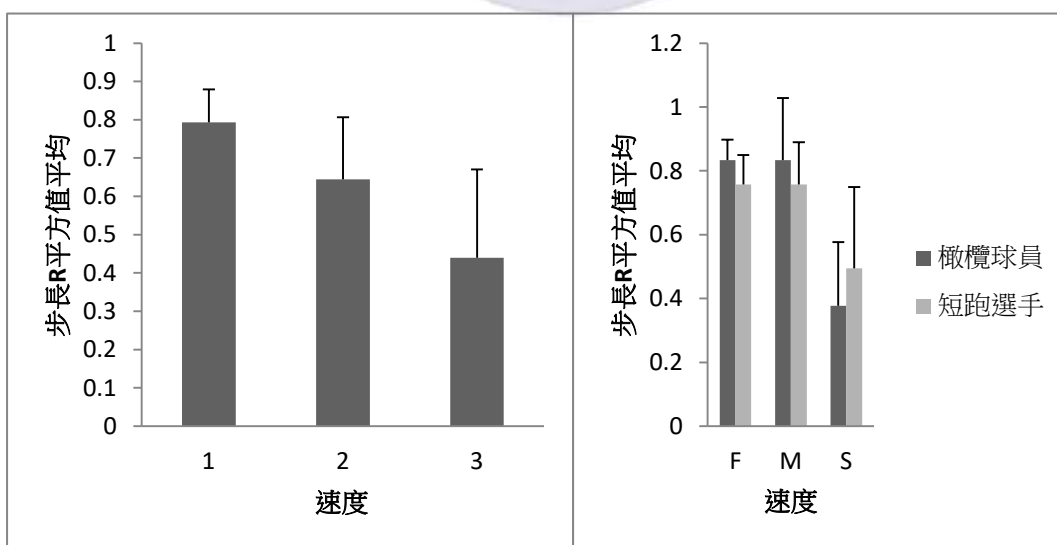


圖 4-6 三種跑速步長映像線性適配之平均決定係數與標準差

圖 4-7 兩組運動員三種跑速步長映像線性適配之平均決定係數與標準差

### 步速映像線性適配斜率

在 60 公尺跑的快速、中速及慢速間之步速映像線性適配斜率達顯著差異， $F(2,26)=5.05$ ， $p=.014$ ， $\eta_p^2=.28$ 。經事後成對比較，快速顯著大於慢速， $p<.05$ ，中速度與其它速度間並無顯著差異， $p$  值分別為.16 及.58。運動員組間達顯著差異， $F(1,13)=7.1$ ， $p<.05$ ， $\eta_p^2=.35$ ，而在不同速度與組間的交互作用達顯著， $F(2,26)=3.84$ ， $p<.05$ ， $\eta_p^2=.23$ 。圖 4-8 與 4-9...

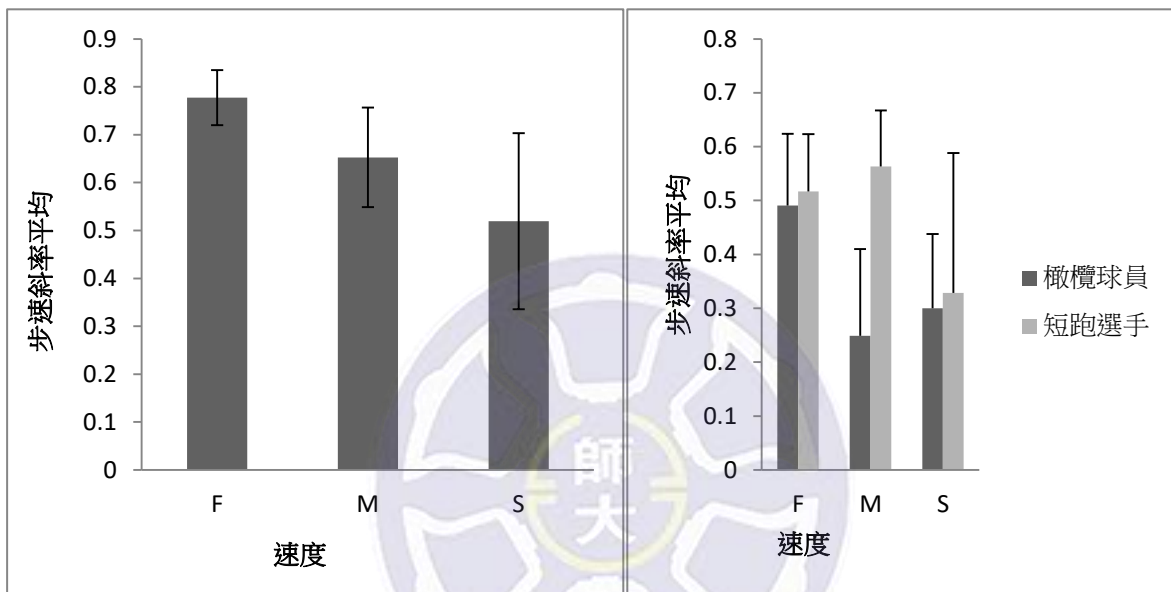


圖 4-8 三種跑速步速映像線性適配之平均斜率與標準差

圖 4-9 兩組運動員三種跑速步長映像線性適配之平均斜率與標準差

### 步速映像線性適配決定係數

在 60 公尺跑步速映像線性適配決定係數在快速、中速及慢速間達顯著差異， $F(2,26)=4.08$ ， $p<.05$ ， $\eta_p^2=.24$ 。經事後成對比較，快速與中速未達顯著差異， $p=.51$ ，中速與慢速間未達顯著差異， $p>.05$ ，快速顯著大於慢速， $p<.05$ 。運動員組間達顯著差異， $F(1,13)=7.67$ ， $p<.05$ ， $\eta_p^2=.37$ 。不同速度與運動員組間未達顯著效果， $F(2,26)=2.90$ ， $p=.07$ ， $\eta_p^2=.18$ 。圖 4-10 與 4-11.....

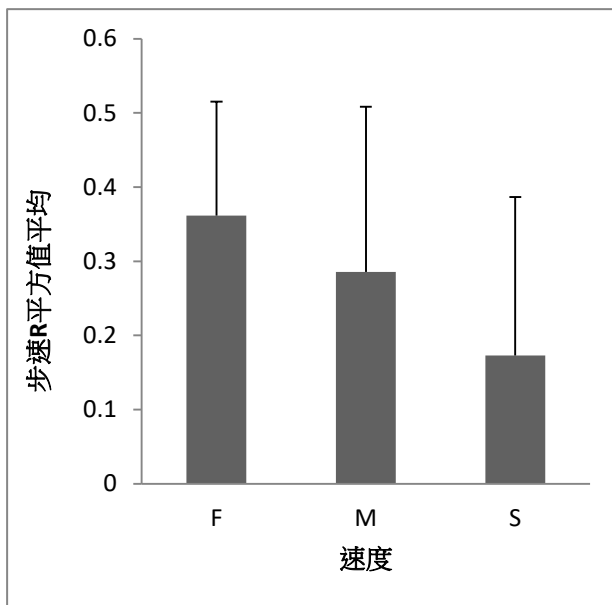


圖 4-10 三種跑速步速映像線性適配之平均決定係數與標準差

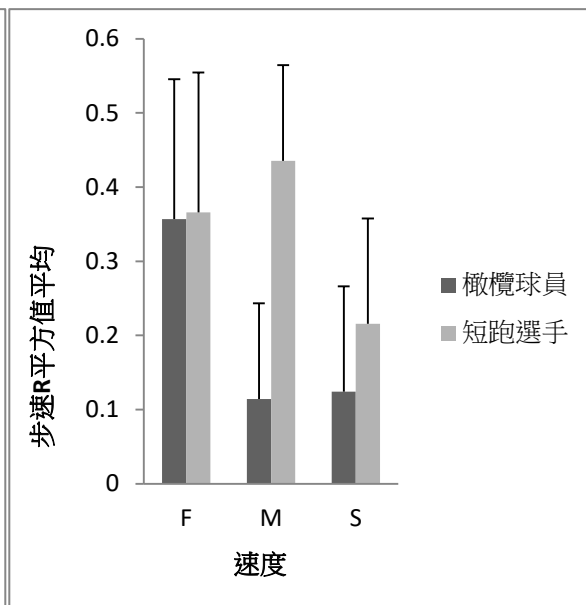


圖 4-11 兩組運動員三種跑速步速映像線性適配之平均決定係數與標準差





#### 第四節 相平面、虎克平面與相對相位

無論是短跑或是橄欖球運動員，當速度越快的時候標準化相平面的圖形會接近正圓形，而隨著跑步的速度減慢，相平面圖形就越偏離圓形。圖 4-12、圖 4-13 以 X 軸角位移與 Y 軸角速度展示短跑運動員及橄欖球運動員各一位左、右腿在快、中、慢三種速度下相平面的圖例。

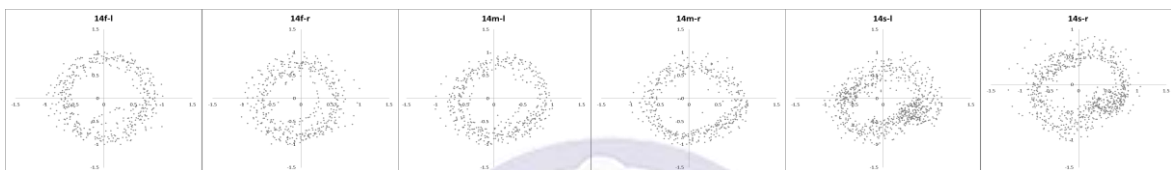


圖 4-12 短跑運動員左右腿三種速度相平面圖例

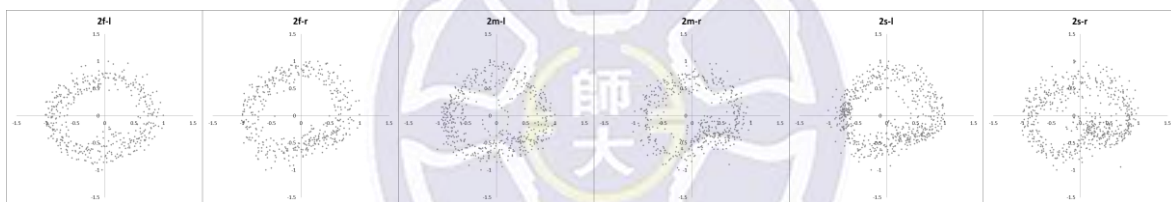
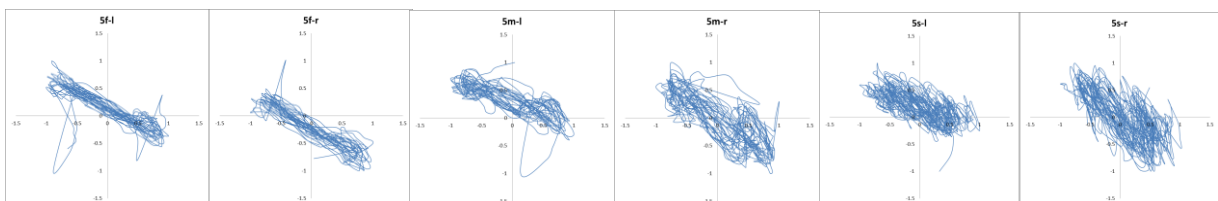


圖 4-13 橄欖球運動員左右腿三種速度相平面圖例

虎克平面顯示位移與加速度間的關係。圖 4-14、15 顯示一位橄欖球運動員與一位短跑運動員左、右腿在快、中、慢三種速度下 (X 軸) 角位移與 (Y 軸) 角加速度為虎克平面的圖例。一般而言，在快速時，位移與加速度呈現規律緊密的線性關係，而隨著跑步速度減慢，這個虎克平面散佈圖的變異性變得較大，尤其在橄欖球運動員中，往往在中速時，虎克平面上的圖形分佈就較高速時來的廣；不少短跑運動員則在慢速跑時才



有明顯較廣分布的現象。

圖 4-14 橄欖球運動員左右腿三種速度虎克平面圖例

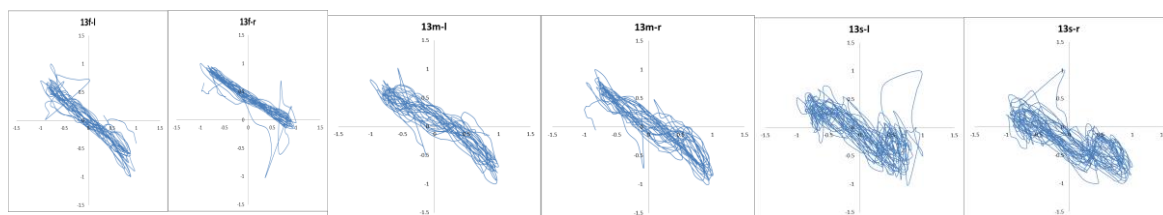


圖 4-15 短跑運動員左右腿三種速度虎克平面圖例

將標準化後的角度值算出相對相位，再找出相對相位的平均值與標準差，以混合二因子檢驗平均數與標準差之差異。相對相位平均數三種速度未達顯著差異， $F(2,26)=1.25, p>.05, \eta_p^2=.09$ 。相對相位平均數不同組別（橄欖球選手及短跑選手）也未達顯著差異， $F(1,13)=.04, p>.05, \eta_p^2=.003$ 。相對相位平均數三種速度與不同組別也無顯著交互作用， $F(2,26)=.38, p>.05, \eta_p^2=.03$ 。（圖 4-16、圖 4-17）

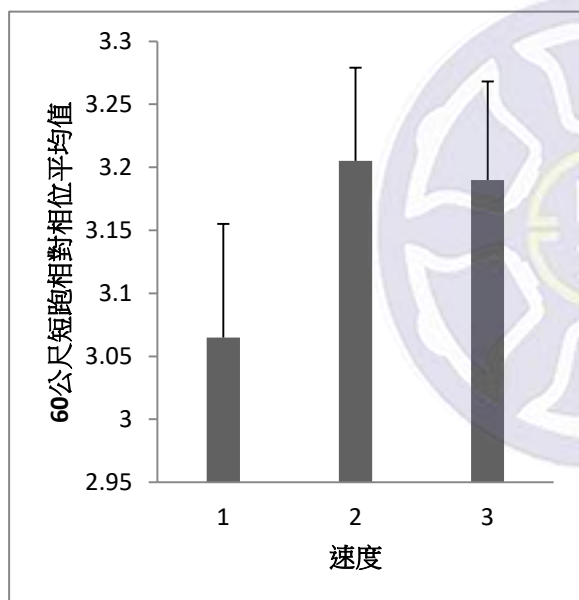


圖 4-16 三種跑速 60 公尺短跑相對相位平均值與實驗參與者間標準差

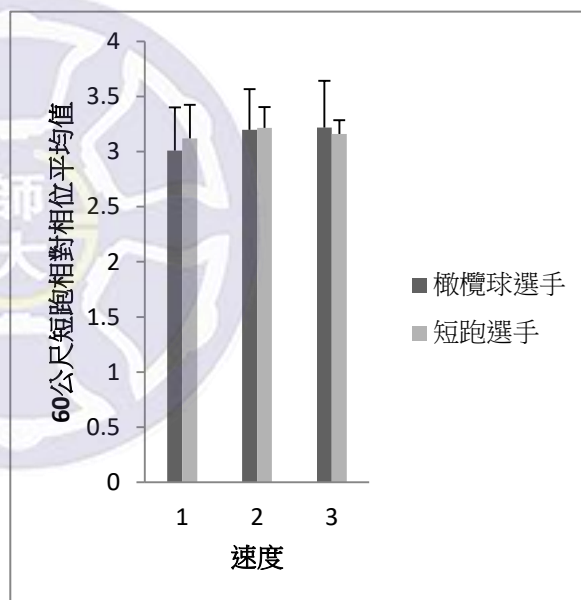


圖 4-17 兩組運動員三種跑速 60 公尺短跑相對相位平均值與實驗參與者間標準差

透過混合二因子檢驗左右腳相對相位之標準差，觀察到相對相位標準差在速度間達顯著差異， $F(2,26)=11.53, p<.05, \eta_p^2=.47$ 。經事後比較快速與慢速達顯著  $p<.05$ ，中速與快速及慢速未達顯著差異， $ps>.05$ 。相對相位標準差組別間達顯著差異， $F(1,13)=4.73, p<.05, \eta_p^2=.27$ 。相對相位標準差速度與組別間無顯著交互作用，

$F(2,26)=.19, p > .05, \eta_p^2=.014$  (圖 4-18、圖 4-19)。圖 4-20 與 4-21 分別顯示一位短跑運動員在快速及中速跑時的相對相位圖例。

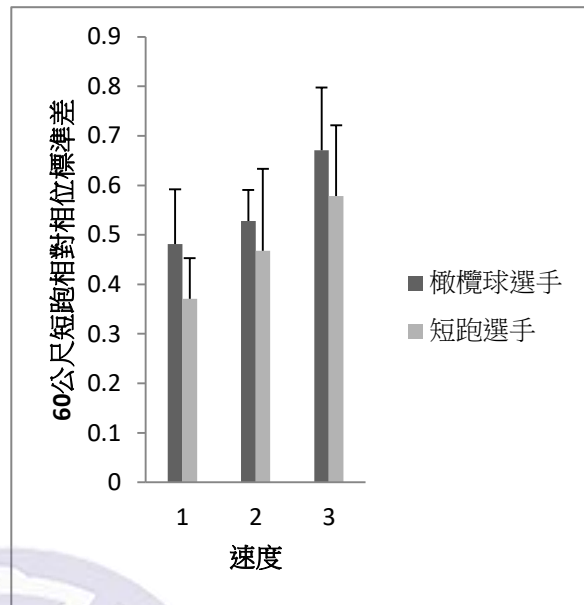
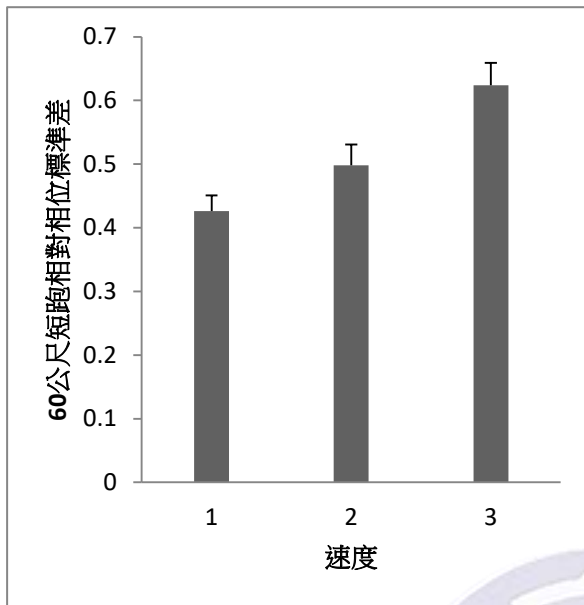


圖 4-18 三種跑速 60 公尺短跑相對相位標準差的平均數與實驗參與者間標準差

圖 4-19 兩組運動員三種跑速 60 公尺短跑相對相位標準差的平均數與實驗參與者間標準差

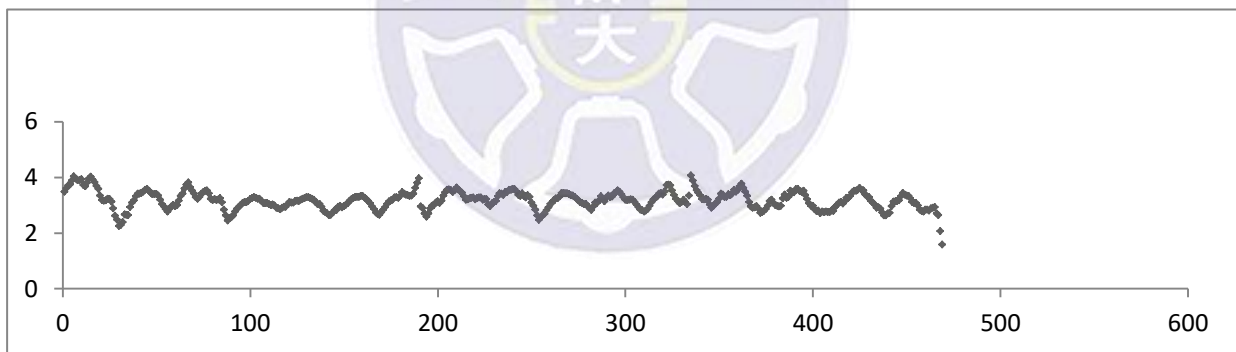


圖 4-20 60 公尺短跑快速左右腿相對相位圖

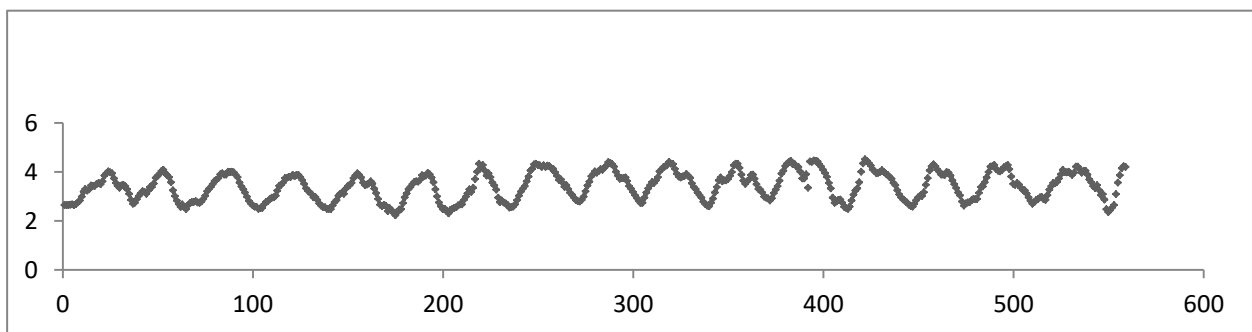


圖 4-21 60 公尺短跑中速左右腿相對相位圖

## 第五章 討論

### 選手配速與步長、步速動力的質性分析

本實驗情境設計有快速、中速、慢速跑之操控，速度強度的分配在對應實際競賽距離為 60 公尺、1500 公尺及馬拉松。根據 60 公尺短跑時間的結果（如圖 4-1）我們從步長與步速動力狀態變化的趨勢可以觀察到在不同速度下，所有的實驗參與者的步長皆會隨著步速增加而逐漸增加，並隨著不同速度的情境區分為三個區塊。除了慢速之外，快速與中速在不同層級之下有顯著的差別。短跑選手的快速與中速的時間非常接近（快速為 7.13 秒、中速為 7.67 秒），絕大多數的短跑選手在快速與中速之間很難從動力狀態圖中被區分出來。以短跑訓練來說，短距離選手（400 公尺以下）較少接觸 800 公尺以上配速跑的訓練，通常訓練課表會以短衝刺 30 或 70 公尺全速跑或以花幾分力（例：70 或 80 分力）作為主要訓練的依據。另以 2018 年全國大專院校田徑公開賽 1500 公尺決賽成績作為計算參考值，分別計算三種情境速度強度應用在 60 公尺每秒速度，對照後的結果發現尤其是在 1500 公尺，以短跑選手為主的實驗參與者每一趟的配速都比目前全國選手的成績來的快（中華民國田徑協會。取自：<http://163.17.55.5/ugame2017/>），未來操弄不同的配速情境可以類似 1500 公尺與馬拉松的方式，也許能較有效的反映實驗參與者們轉換速度的策略。

相對的，橄欖球選手在競賽中多以不同速度的方式進行，並且於競賽中要應變場上的攻擊方與防守方戰術的變化並隨時轉換跑位速度，在非持球的同時，選手本身速度也要保持在慢速的跑動，以利在慢速跑中轉換跑位並改變速度來進行有效的攻擊或防守。除此之外，在欲達陣的情況之下選手要以全速衝刺來進行達陣。橄欖球項目的訓練指標是以 30 公尺以內的短衝刺、慢速中瞬間加速衝刺的能力作為訓練的基礎（蔡政霖、林清忠，2010）。即使橄欖球選手在中速與慢速跑的結果中發現與上述短跑選手所討論的情況相似，橄欖球選手的速度仍快於全國大專田徑決賽選手的成績，但是從步長、步速

的動力狀態圖我們可以觀察到橄欖球選手對於轉換速度的策略比較能掌控，明顯地看出快速、中速、慢速三種速度下，X 軸方向的步長會隨著 Y 軸方向的步速增強而呈現三種程度的趨勢。

整體來說，以統計測量的方法顯示出短跑選手與橄欖球選手之間的時間差異雖未達顯著，但其效果量是相當大的 ( $\eta_p^2=.26$ ) 且 p 值非常接近 .05，換句話說，兩層級選手之間在不同的速度情境表現之下應該存在著差異。尤其是在快速情境，短距離的選手預期應該要遠優於橄欖球選手，但隨著情境要求的速度逐漸變慢之下，兩層級之間的差距應當越來越小。我們透過事後 t 考驗證實這樣的結果，如同先前的預期，在快速情境之下短距離選手短跑時間優於橄欖球選手，( $t_{13}=2.5$   $p=.027$   $d=1.26$ ); 在中速情境下，短跑選手也相同的顯著優於橄欖球選手，( $t_{13}=4.9$   $p=.000$   $d=2.47$ )，但是不同於原先所預測，兩層級在中速情境的短跑時間差距遠大於在快速情境的時間差距，其原因發現短跑選手似乎無法有效地辨別快速與中速度情境之間的差別或許是造成兩種不同層級在這兩種速度下有顯著差異的主要原因(見動力狀態圖 4-3)。最後在慢速的情境之下，兩層級之間的差異如先前預期的結果相同，( $t_{13}=.851$   $p=.41$   $d=0.43$ )，未來在實驗情境上的設計必須要考量如何有效與明確的區分不同的速度情境。

#### 步長與步速的間斷動力 (映像)

我們將跑步的步長 (步速) 與步長 (步速) 間的關係以映像的方式作圖，可以以步長 (步速) 映像的斜率反映出步長 (步速) 的改變率 (Liu, Mayer-Kress, & Newell, 1999)，用以了解不同跑速時以步長 (步速) 為單位的間斷動力變化。所有步長映像的斜率均為正值，顯示跑步的動力係以步長逐漸增大 (減小) 的方式進行。由於所有的斜率均小於 1，表示具有吸引子動力；而斜率值較大，代表步長改變至吸引子的過程較慢，或可以視為持續在增加步長，以達到穩定的最長步長 (吸引子) (Liu, Hsieh, & Newell, 2013)。

統計考驗的結果顯示隨著跑步速度的減慢，步長映像的斜率有變小的趨勢。斜率較小代表步長的變化較快到達吸引子的位置，也可以說步長沒有持續在變化 (加長)。詳細檢視每位實驗參與者的數據發現，所有橄欖球運動員中速跑的步長映像斜率都比快速跑時小，但是短跑運動員中有兩位 (13、15) 中速跑的步長映像斜率反而比快速跑時的

斜率來得大。再參考其在步長、步速動力狀態的圖形，發現這兩位實驗參與者在中速跑的步長的確有較快速跑長的現象，但是由於步速仍控制小於快速的步速，在狀態域中仍能明顯分辨出這兩種速度跑的區域。比較快速與慢速跑的斜率，速度降低斜率變小的趨勢則更為明顯，幾乎所有的實驗參與者都符合這個趨勢。

步長映像線性適配的決定係數有跑速越慢，係數越小的趨勢，表示當跑速較慢時，步長逐漸加長的這個趨勢變得較不穩定。從圖 4-7 的平均數與標準差可知，無論是短跑或是橄欖球運動員，僅有在快速跑的決定係數平均數達 0.7 以上，且運動員間的差異較低；當跑速變慢時，不但決定係數平均數值減低，運動員間的差異也變得較大。這代表隨著跑速變慢，運動員在每步步長的變化也變得較無規律，而人與人間的差異也隨著跑速變慢而增加。

步速映像的斜率反映出步速的改變率。如同步長斜率的結果，當跑速越慢時，步速映像的斜率有越小的趨勢。這代表當跑速慢時，步速的變化較快到達預定值，而預定值可由步速映像中斜率為 1 的輔助線與線性適配函數的交叉點來預估（參閱附錄四）。圖 4-5 顯示，雖然步速的斜率有越慢越小的趨勢，但是即使在快速跑時，其平均斜率也只有 0.5 左右，遠小於同速度時步長映像的斜率，表示無論跑速，步速的變化很快就到達預定值，且在快速跑時步速映像線性適配的決定係數也只有約 0.37，顯示步速的變化沒有很高的規律。檢視個別實驗參與者的步速映像斜率，發現在較慢的中速（橄欖球運動員一位）及慢速（橄欖球運動員二位、短跑運動員三位）時產生負的斜率（參閱附錄四、五、六）。負斜率代表步速的值在預定值的上下來回震盪，顯示快慢交替的步速動力。在慢速時產生較多負斜率的步速動力，顯示跑者對維持步速的一種特殊策略。

#### 雙腿的協調動力

跑步時兩腿交替向前擺動，以推動地面產生的反作用力將身體重心向前移動，形成向前的速度。若單以一隻腿的動作來看，可將其視為「倒鐘擺（inverse pendulum）」的運動。隨著跑步的速度變慢，無論左、右腿，其擺動震幅與速度所形成的圓形相平面圖，逐漸偏離圓形，顯示其在著地期的時間增長，類似連續點觸運動在空間目標較小時動作時間較長的動作型態（Bongers, Fernandez, & Bootsma, 2009）。觀察以擺動震幅與加速度

所形成的虎克平面圖，則發現在快速跑時所呈現規律的線性關係，隨著速度放慢，變異性也變大。速度（60公尺跑時間）對虎克平面圖的影響也可以從幾位短跑運動員中速跑的結果反應。由前述配速的討論內容可知，部分短跑運動員中速跑與快速跑的結果類似，在這些實驗參與者中速跑的虎克平面圖也顯現趨向線性關係的圖形。

跑步兩腿間的協調動力以兩個「倒鐘擺」的相對相位來檢視，發現勿論運動項目或跑步速度均對平均相對相位無顯著影響，跑步時兩腿的平均相對相位約在  $3.14(180^\circ)$ ，但是檢視在不同跑步速度中的相對相位變異性，發現隨著跑步速度降低，相對相位的變化有增加的趨勢，且在快速跑與慢速跑間達到顯著差異；短跑運動員也有較橄欖球選手較低的變異性。觀察每一試作內相對相位的變化，發現跑步時相對相位在  $3.14(180^\circ)$  上下有著相當規律的起伏，這個震幅可能便是相對相位變異性增加的來源。短跑運動員普遍來說兩腿間的相對相位起伏幅度較橄欖球員小，可能反映跑步訓練對雙腿協調型態的穩定。而相對相位起伏幅度的增加可能也與慢速跑時著地時間增加，增長偏離反相動作型態的時間有關。



## 第陸章 結論與建議

本研究觀察短跑運動員與橄欖球運動員以三種速度進行 60 公尺跑步，發現三種速度結果的呈現是由步長及步速兩種策略調整而來的，在速度持續增加時步長與步速都會增大，而慢速跑中步長與步速則不會持續往上增加。在跑步的過程中兩腿是呈現反相動作，當速度變慢時反相的協調型態有較大的起伏，出現較不穩定的現象，同時短跑選手動作協調的穩定度也高於橄欖球選手。

未來建議招募實驗參與者前應調查個人徑賽成績及對於不同跑速配速的了解並加以計算（可以中華民國田徑協會公布之成績為依據），在設計速度情境的部分可以告訴實驗參與者到達終點的確切秒數。實驗有要求 60 公尺以上為拍攝距離的話，為了讓畫面銜接有重疊的部分，建議能提供四架攝影機為較理想。





## 引用文獻

- 王秀銀 (2008)。2007 年我國世界大學運動會女子足球選手衝刺能力之研究。文化體育學刊，6，1-5。
- 王甯、劉有德 (2014)。蝶泳運動動作型態之分析。大專體育學刊，16(4)，403-411
- 王秀銀、薛惠玲 (2010)。衝刺能力對足球運動之影響。大專體育，108。
- 王裕翔、廖翊宏、孫正諺、周峻忠(2014)。台灣優秀大學橄欖球前鋒與後衛之一般體能差異比較。運動生理暨體能學報，18，1-9。
- 王光濤、陳贊如、蔡麗玉、陳順勝 (1896)。台灣優秀大學橄欖球前鋒與後衛之一般體能差異比較。運動生理暨體能學報，18 期，1-9。
- 中華民國田徑協會。民 106 年 4 月 7 日，取自：<http://163.17.55.5/ugame2017/>。
- 金良遠、葉良志 (2007)。田徑百公尺短跑項目中途跑支撐時期技術分析。臺中學院體育，4 193-196。
- 余雪安、張家豪、葉良志 (2016) 百公尺途中跑支撐時期地面反作用力的控制與運動表現。運動教練科學，42
- 李鴻棋 (2001)籃球運動訓練科學。中華民國體育總會九十年運訓練法研討會。台北：中華民國體育總會，6-7。
- 邱金治 (2012) 排球運動移動能力運用之探析。大專體育，122：39-46。
- 林國華、劉強(2007)壘前與壘後起跑方式之生物力學分析。大專體育學刊，9(1)，47-55。
- 高幸利、陳佳慧、王月琪、蕭博仁 (2009)。不同下肢動力檢測方式對高中女生羽球選手移位速度之相關探討。運動教練科學，15 期，43-52。
- 陳帝佑、徐明城 (2012) 彰化師大體育學報。11，83 -93
- 陳德盛、王月琪、蔡宗晏、張嘉澤、陳佳慧 (2016) 臺灣體育學術研究。60 期，P21 —

- 陳順義 (1998)：籃球各位置球員間基本技術及競技技術的描述性分析。1998 年國際大專運動教練科學研討會論文集，113-123 頁。
- 陳寶億、曹校章(2007)。循環訓練在橄欖球選手體能訓練上之應用。大專體育，92，18-24。
- 曹校章、陳寶億 (2006)。淺談橄欖球運動員之選材。大專體育雙月刊，84，145-151。
- 張世聰、陳淑貞 (2007) 青少年軟網選手不同 準備位置對遠身截擊腳步移位速度及離網 距離之研究。運動教練科學，8，77-86。
- 莊國良、黃姿榕、劉有德 (2015)。複雜系統與二語學習華語文教學研究。12 卷 4 期，77-109。
- 莊國禎、張振崗 (2014)。七人制橄欖球的生理需求與訓練。國立臺灣體育運動大學學報，3 卷 1 期，55-64。
- 葉志仙 (1993) 跑壘員應注意事項。兄弟棒球雜誌，13 卷，45-47 頁。
- 蔡政霖、林清忠(2010)。運動生理學在橄欖球運動訓練上的應用。中華體育季刊，24(1)，1-12 頁。
- 簡鴻玟 (1995)。黃信平跑百公尺技術之生物力學研究。體育學報，20，225-236。
- 劉淑華 (2007) 100 公尺跑分段速度參數之相關研究，9 卷 2 期，83-96 頁
- 蘇宣輔、劉于詮、林漢森、黃泰源(2011)。馬克操高抬腿與一般抬腿動作抬腿腳運動生物力學分析。長榮運動休閒學刊，85-93。
- Abraham, R. H., & Shaw, C. D. (1984). Dynamics: the geometry of behavior. Part one: periodic behavior. *Aerial P.*
- Bongers, R. M., Fernandez, L., & Bootsma, R. J. (2009). Linear and logarithmic speed-accuracy trade-offs in reciprocal aiming result from task-specific parameterization of an invariant underlying dynamics. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 35(5), 1443.
- Bushnell, T., & Hunter, I. (2007). Differences in technique between sprinters and distance runners at equal and maximal speeds. *Sports Biomechanics*, 6(3), 261-268.

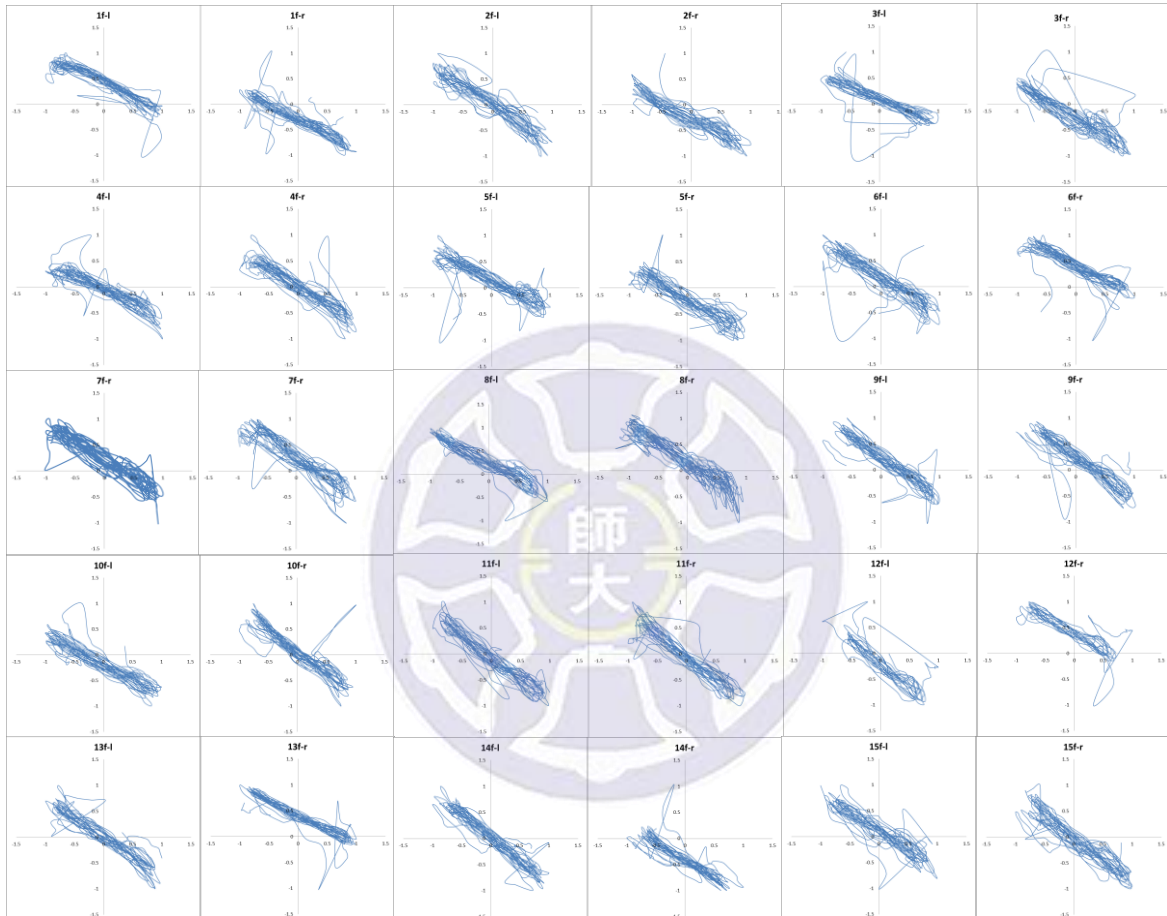
- Duthie, G., Pyne, D., Marsh, D., & Hooper, S. (2006). Sprint patterns in rugby union players during competition. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 20(1), 208-214
- Guiard, Y. (1993). On Fitts's and Hooke's laws: Simple harmonic movement in upper-limb cyclical aiming. *Acta psychologica*, 82(1), 139-159.
- Haken, H., Kelso, J. S., & Bunz, H. (1985). A theoretical model of phase transitions in human hand movements. *Biological Cybernetics*, 51(5), 347-356.
- Hedger, S. (1999). Injury Prevention, A Success Story. *Sports Coach*, 23 No 12000 ,37-38.
- Hauswirth, C., & Lehenaff, D. (2001). Physiological demands of running during long
- Hunter, J. P., Marshall, R. N., & McNair, P. J. (2004). Interaction of step length and step rate during sprint running. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 36(2), 261-271.
- Li, L., van den Bogert, E. C., Caldwell, G. E., van Emmerik, R. E., & Hamill, J. (1999). Coordination patterns of walking and running at similar speed and stride frequency. *Human Movement Science*, 18(1), 67-85.
- Liu, Y. T., Mayer-Kress, G., & Newell, K. M. (1999). A piecewise linear, stochastic map model for the sequential trial strategy of discrete timing tasks. *Acta Psychologica*, 103(1-2), 207-228.
- Liu, Y. T., Hsieh, T. Y., & Newell, K. M. (2013). Drift and diffusion in movement adaptation to space-time constraints. *Motor control*, 17(4), 323-339.
- Liu, Y-T., & Newell, K. M. (2015). S-shaped motor learning and non-equilibrium phasetransitions. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 41, 403-414.
- Mackala, K. (2007). Optimisation of performance through kinematic analysis of the different phases of the 100 metres. *New Studies in Athletics*, 22(2), 7.
- Palut, Y., & Zanone, P. G. (2005). A dynamical analysis of tennis: Concepts and data. *Journal of Sports Sciences*, 23(10), 1021-1032.
- Sheppard, J. M., & Young, W. B. (2006). Agility literature review: Classifications, training

and testing. *Journal of Sports Sciences*, 24(9), 919-932.

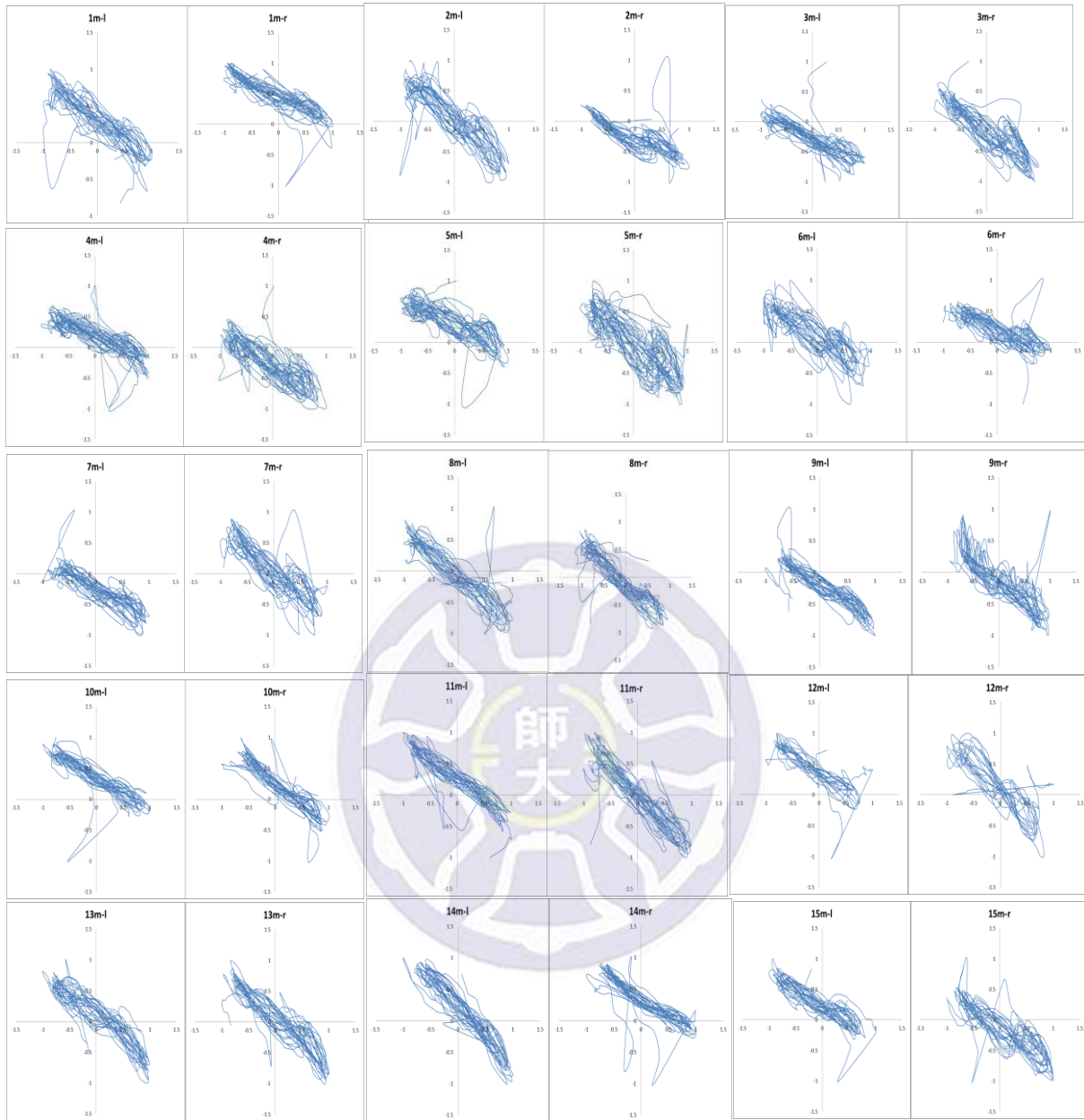


# 附錄一 角度與角加速度之虎克平面圖(快速)

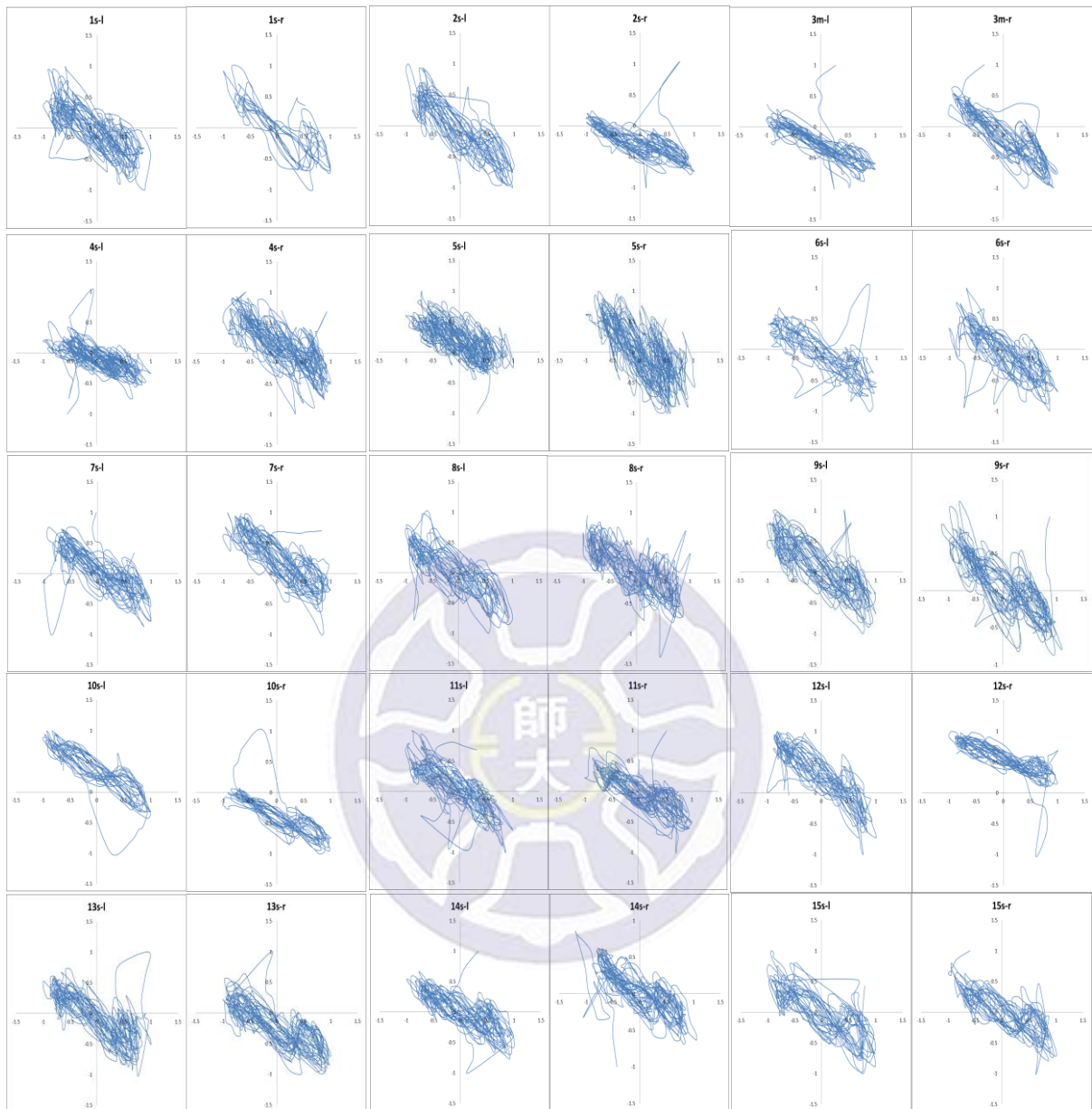
(虎克平面圖：X 軸為加速度,Y 軸為位移)



## 附錄二 角度與角加速度之虎克軌跡圖(中速)

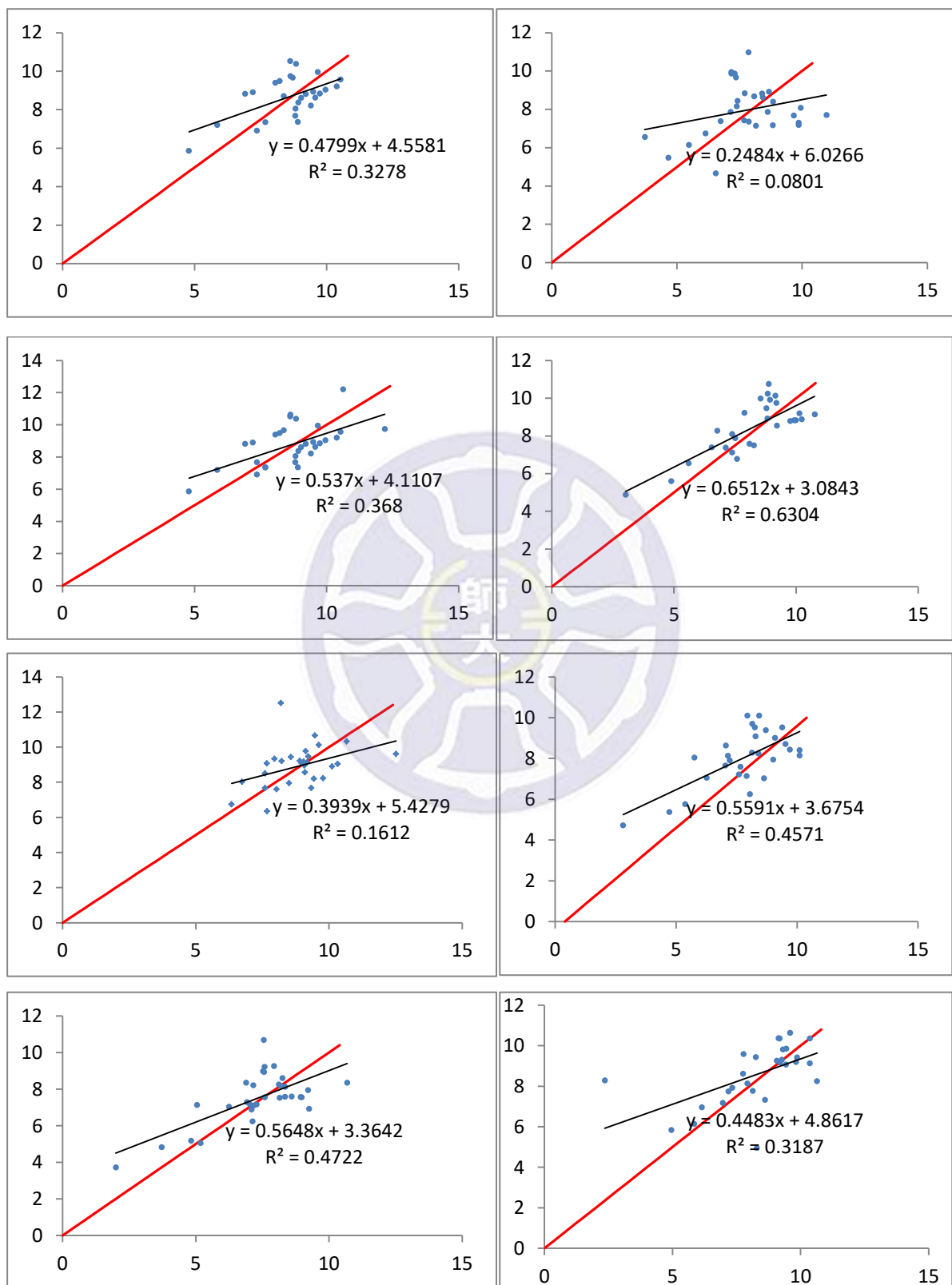


### 附錄三 角度與角加速度之虎克軌跡圖(慢速)

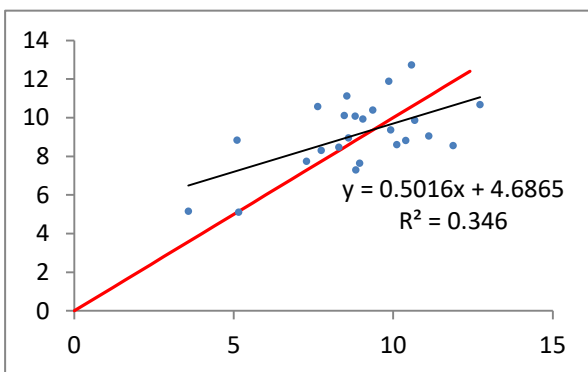
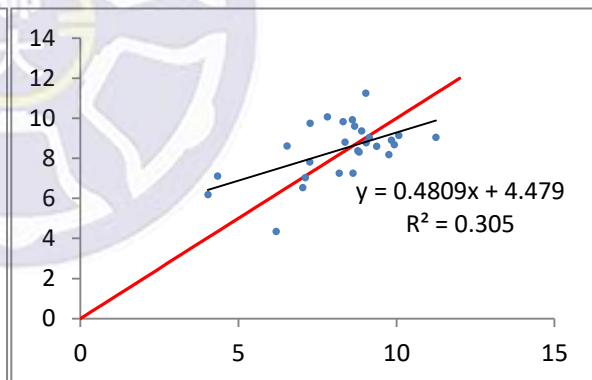
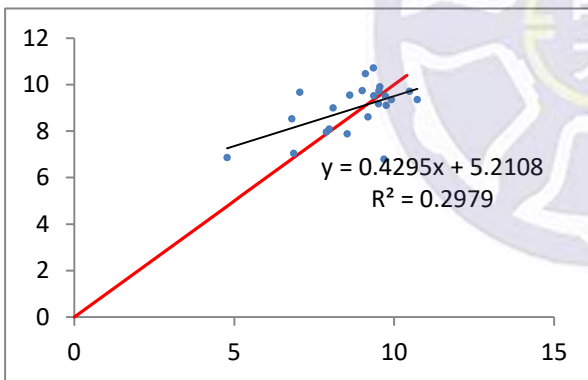
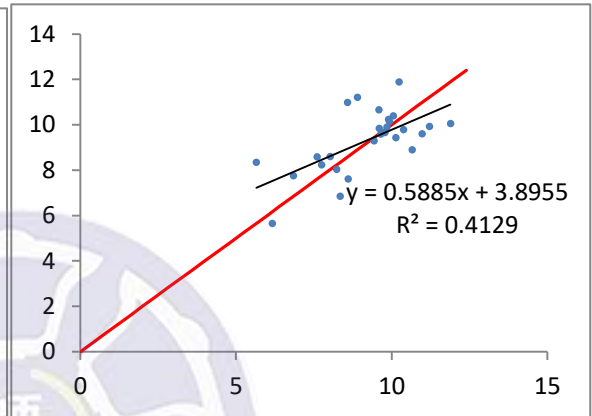
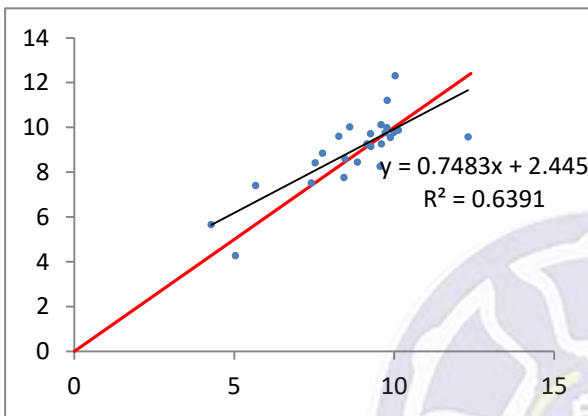
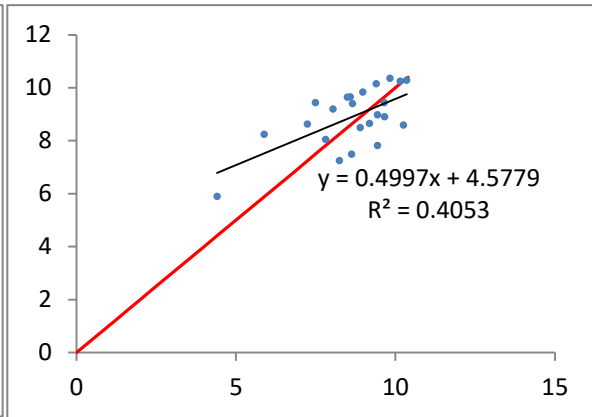
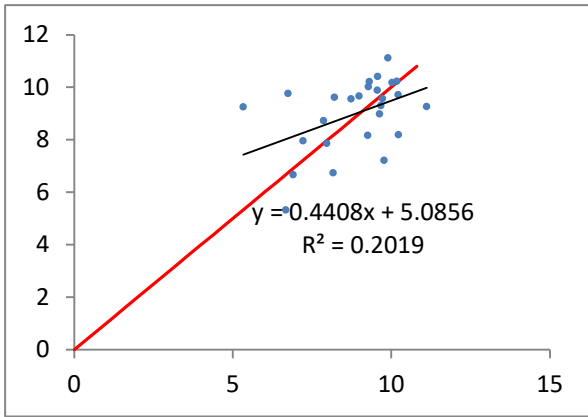


### 附錄四 步速映像線性適配圖(快速)

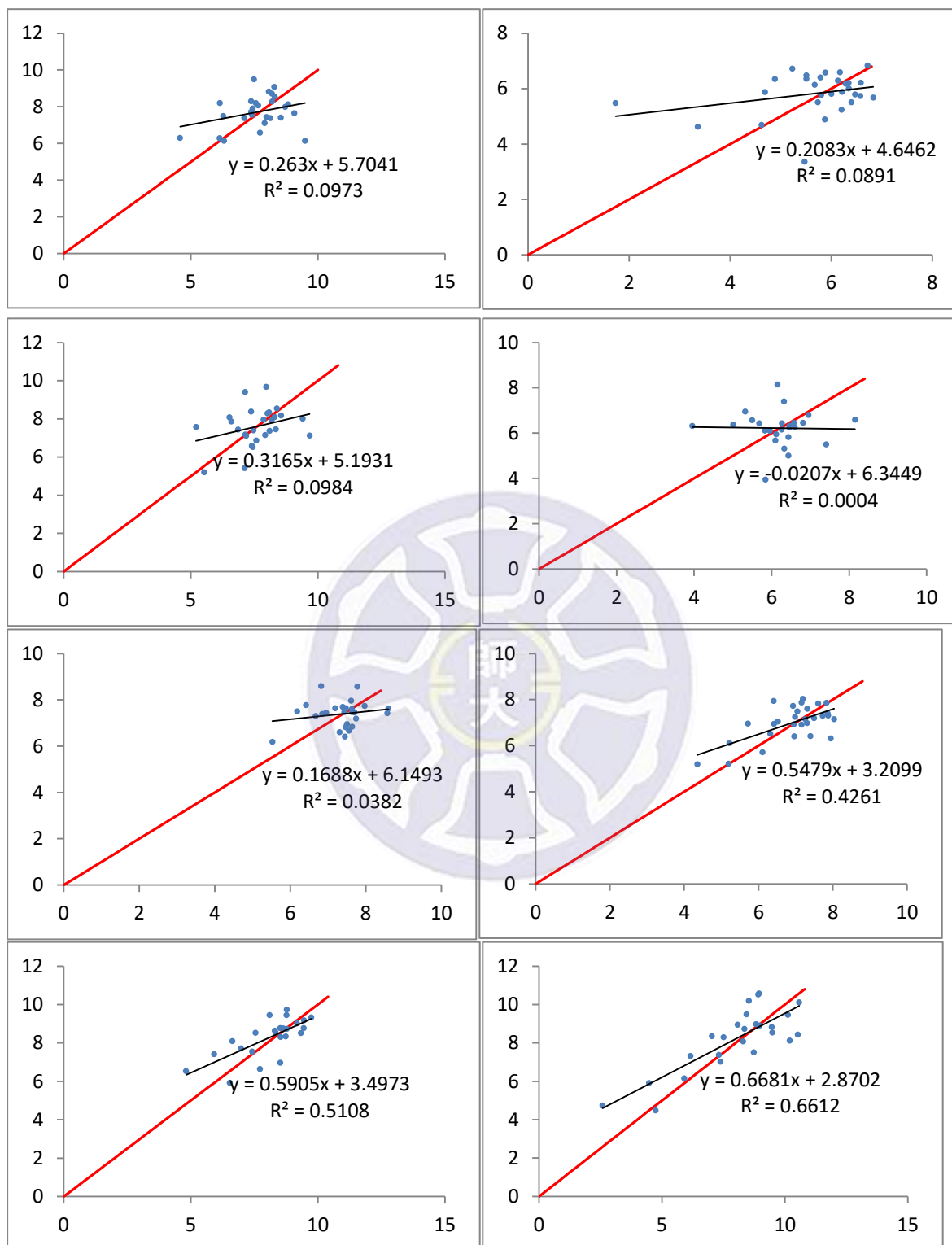
(X 軸步速 n, Y 軸步速 n+1)

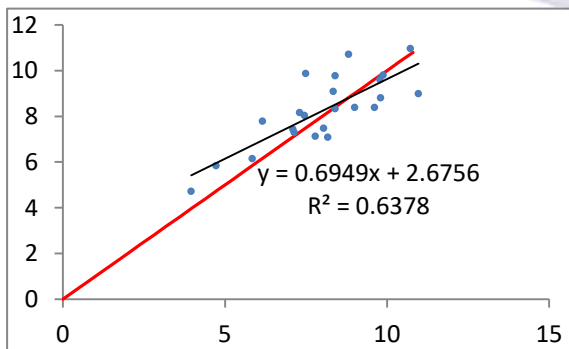
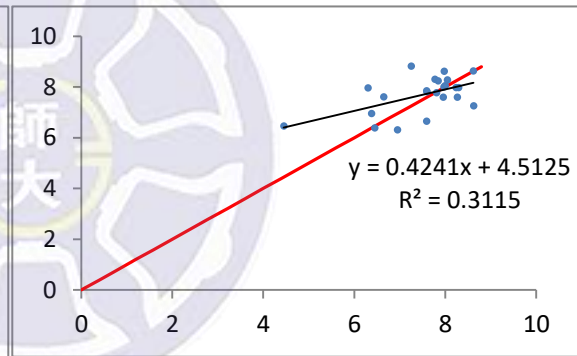
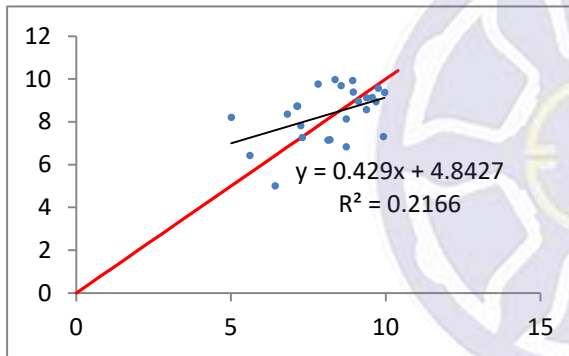
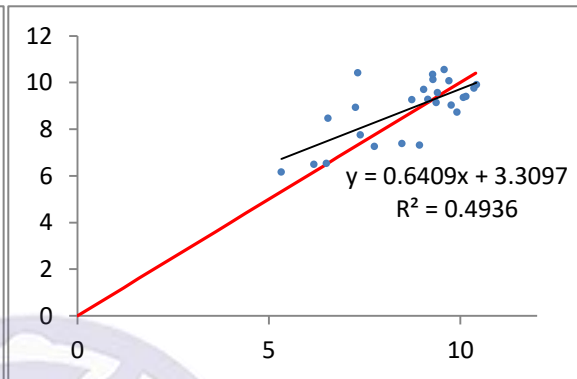
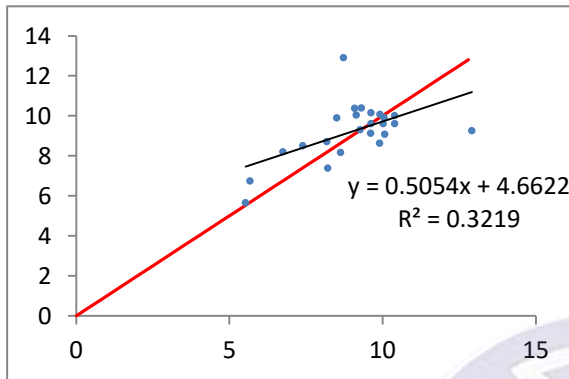
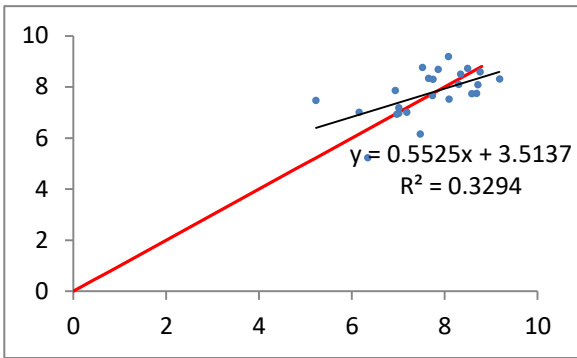
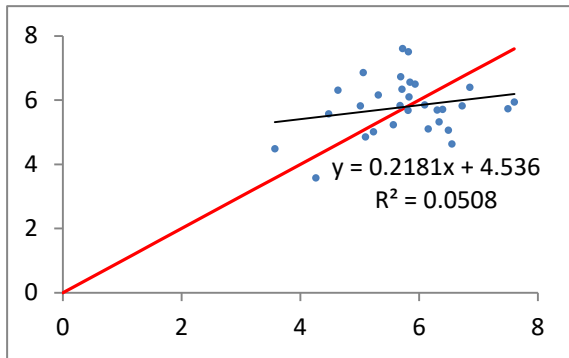




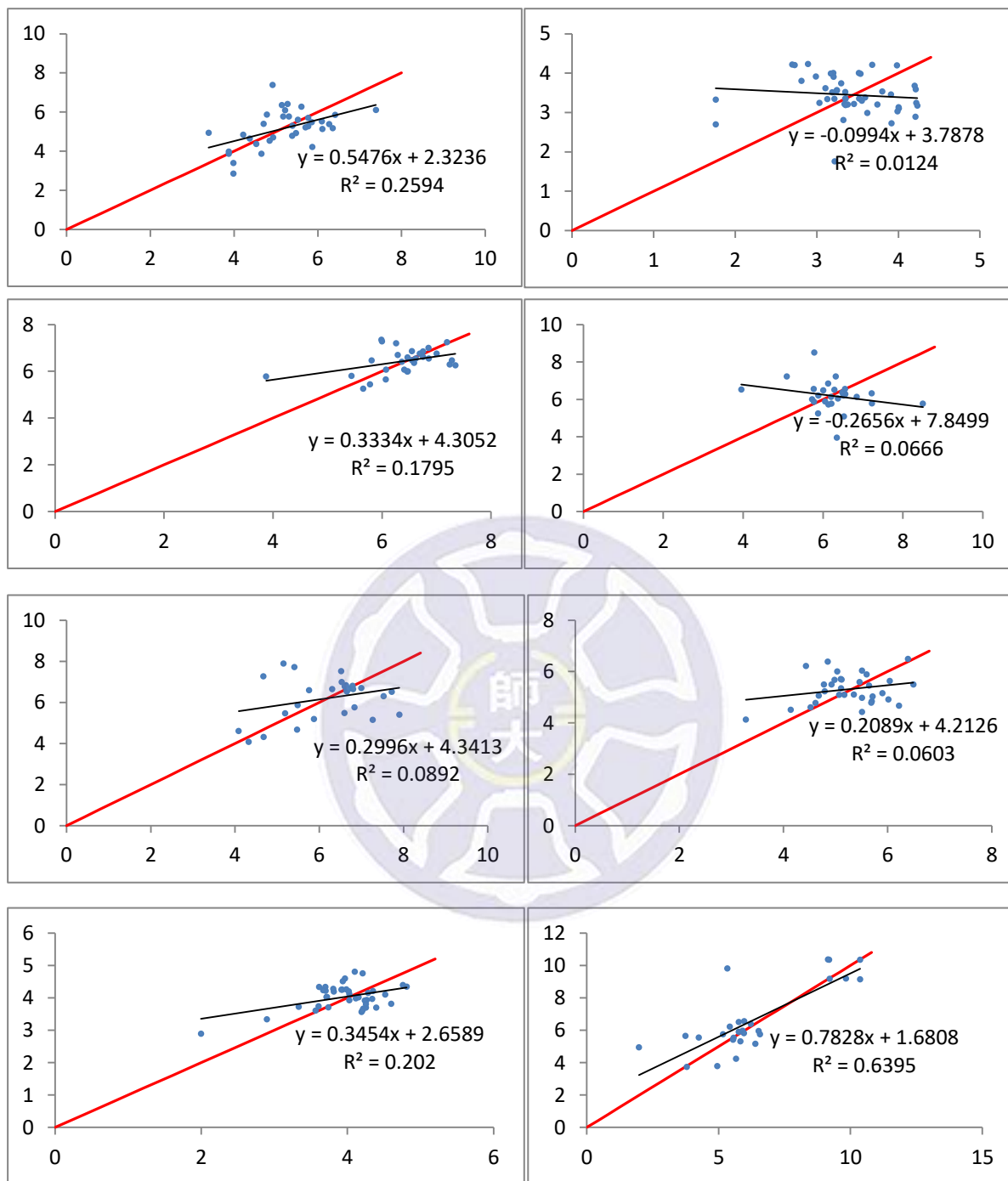


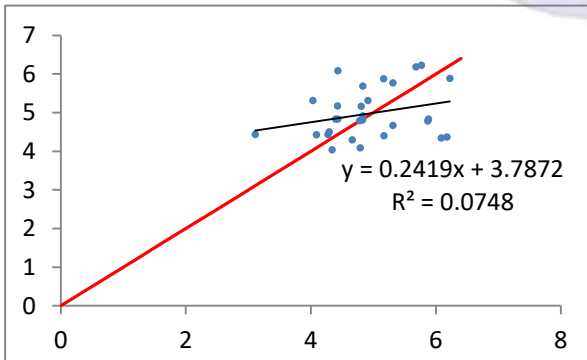
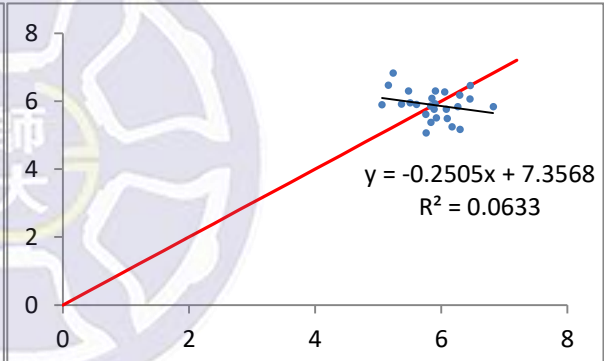
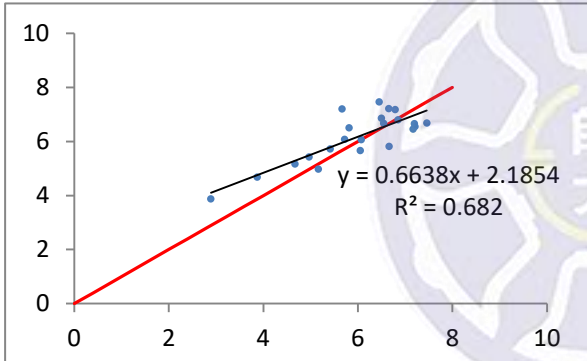
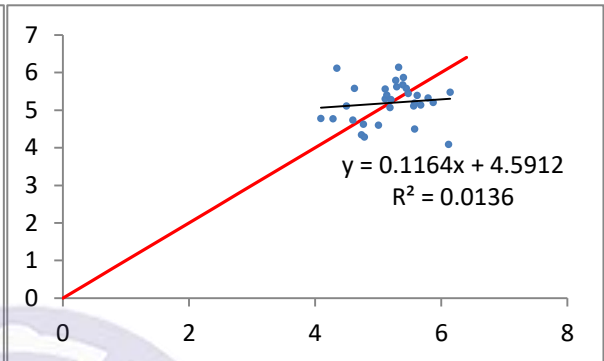
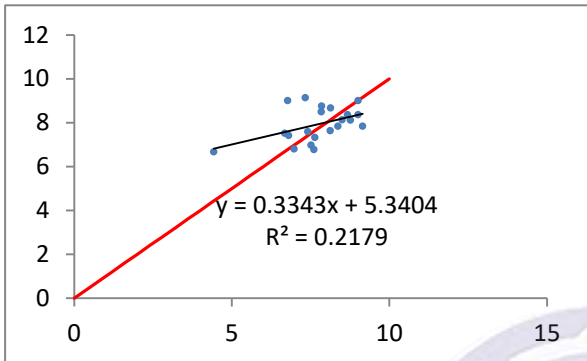
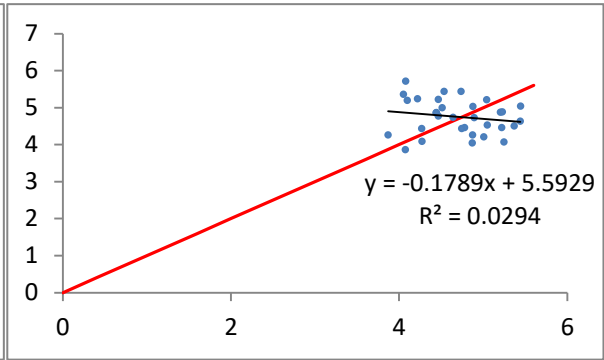
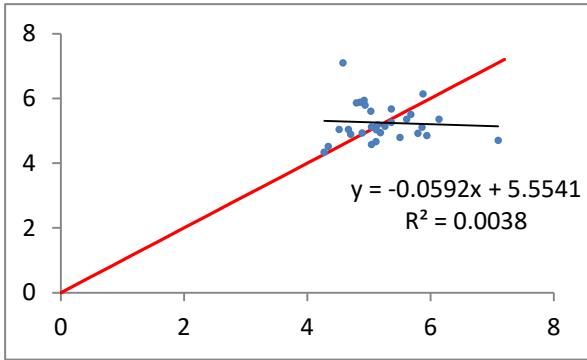
附錄五 步速映像線性適配圖(中速)





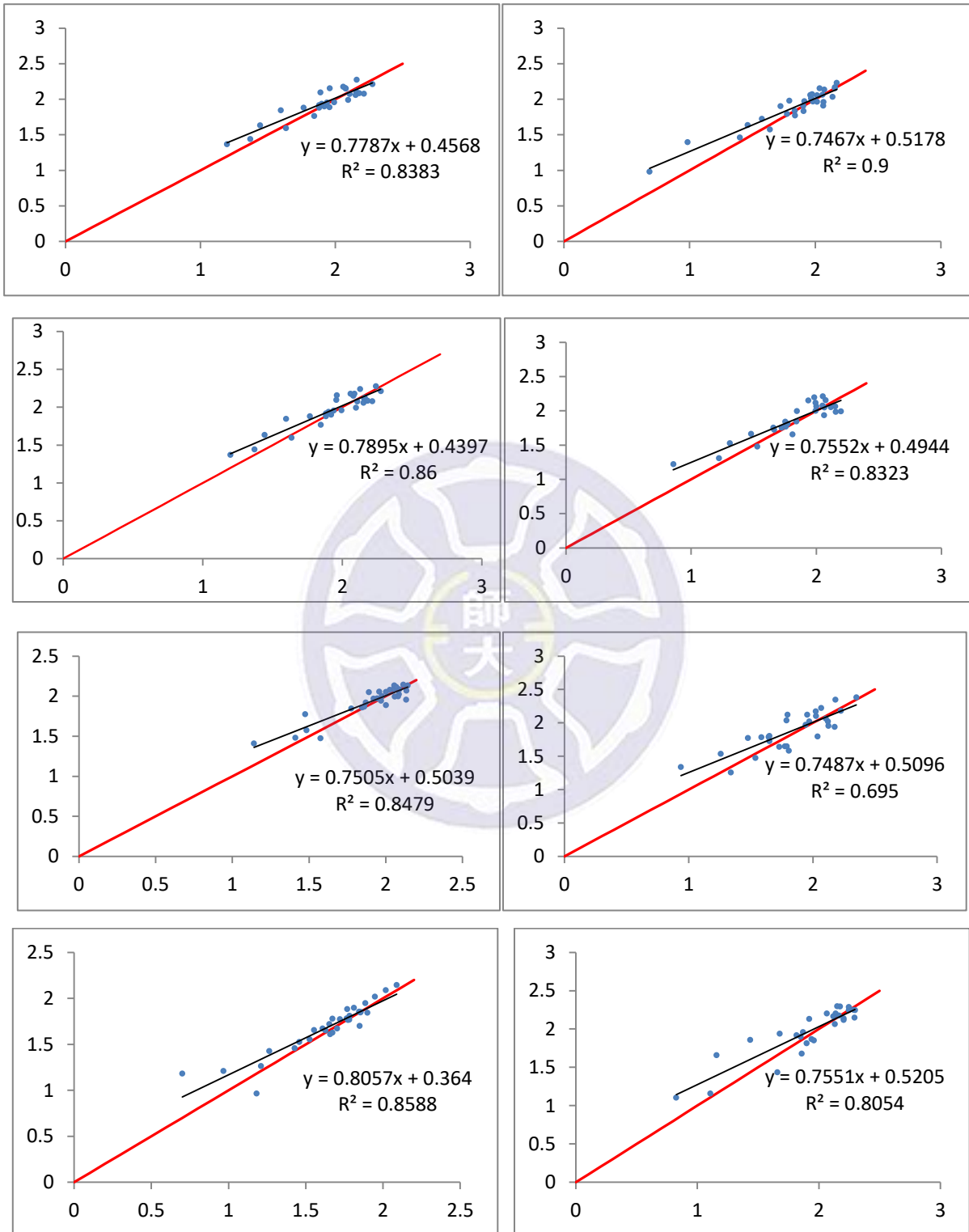
附錄六 步速映像線性適配圖(慢速)

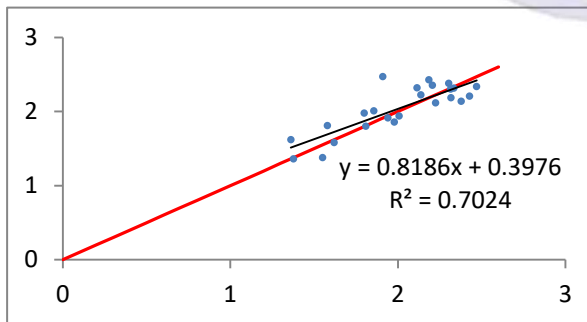
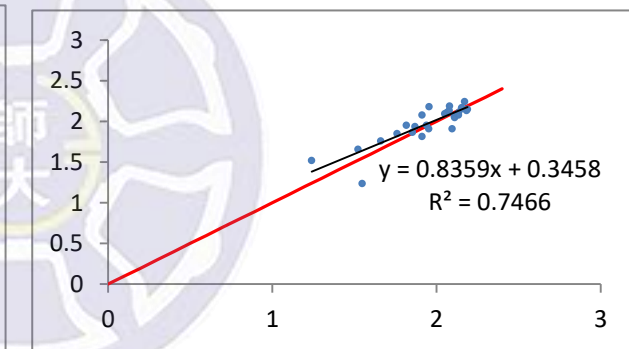
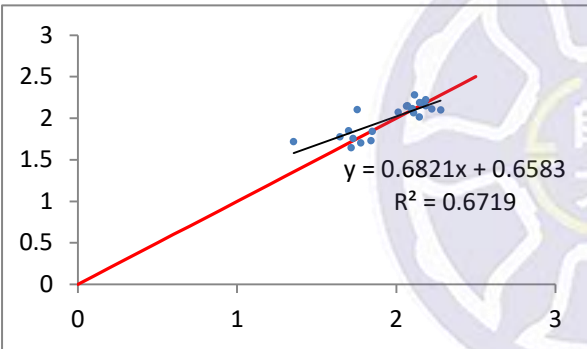
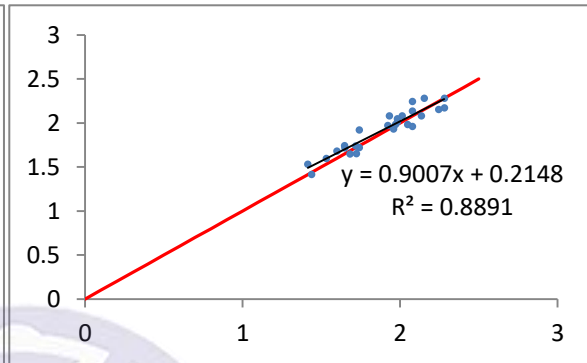
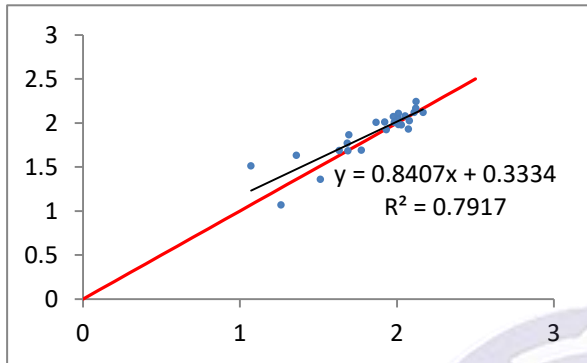
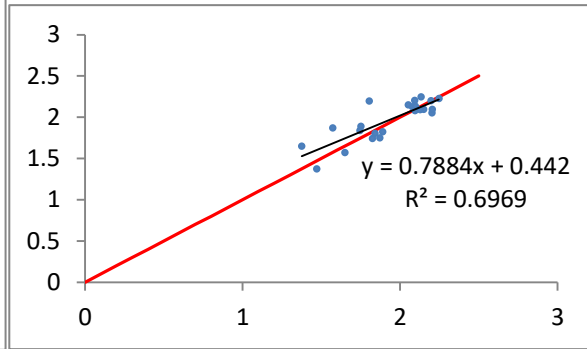
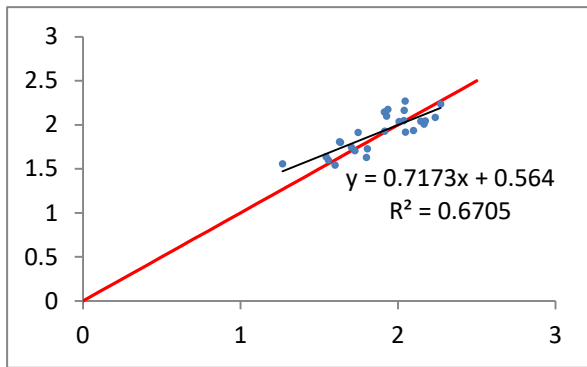




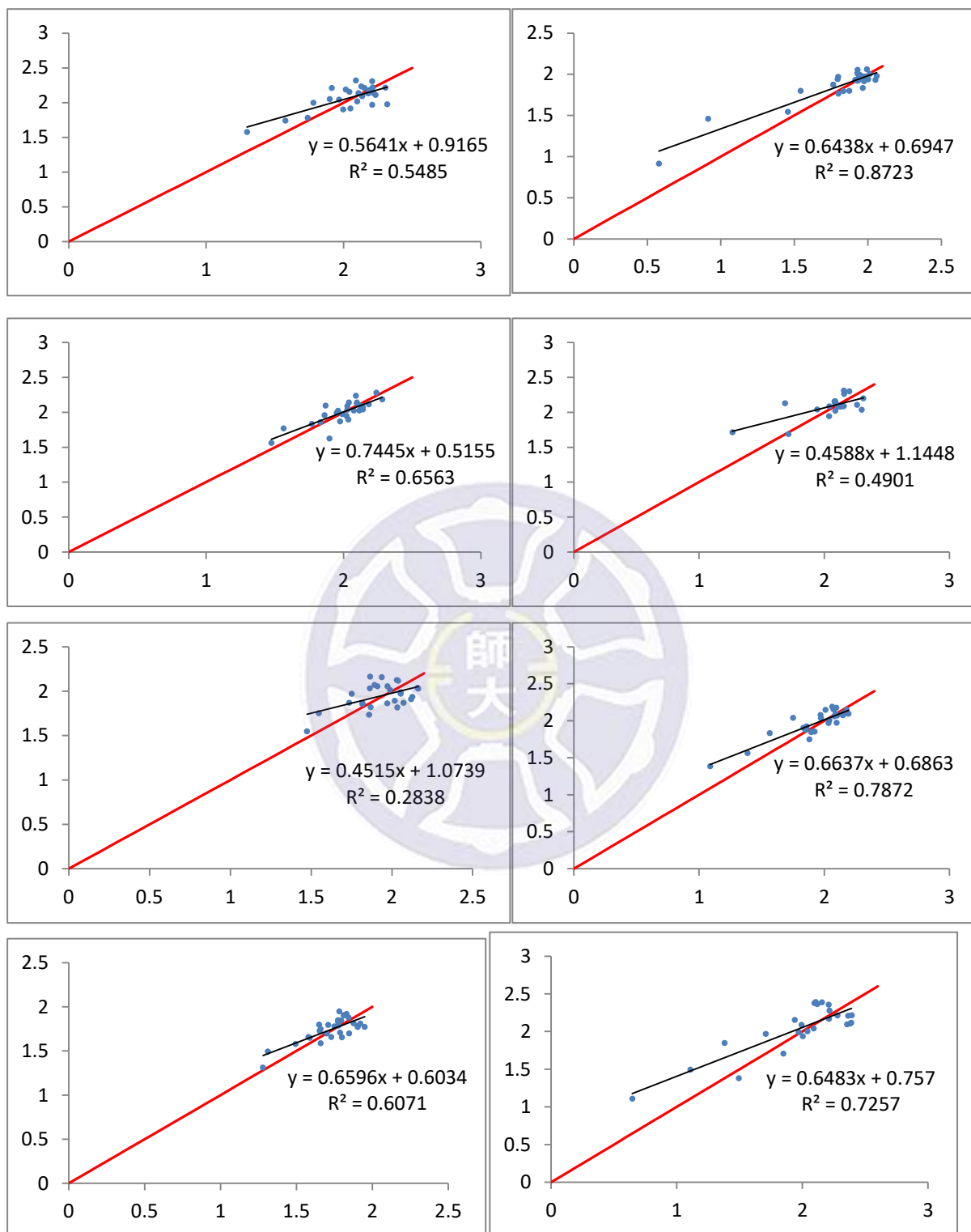
# 附錄七 步長映像線性適配圖(快速)

(X 軸步長 n, Y 軸步長 n+1)

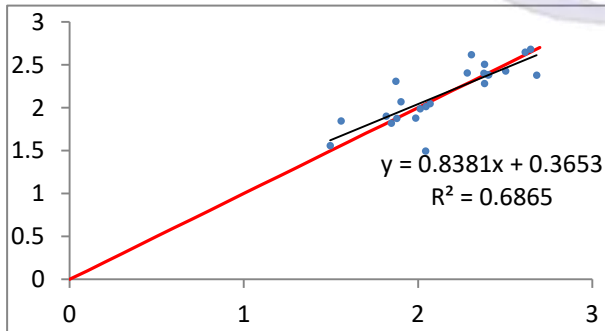
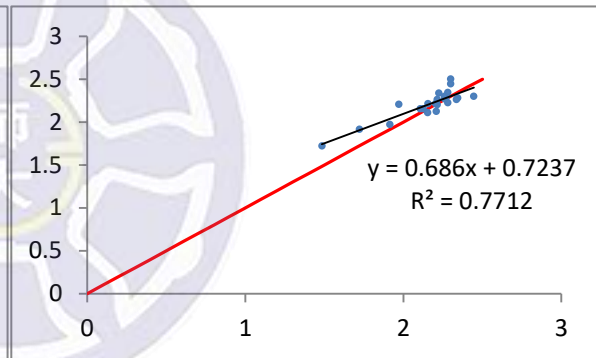
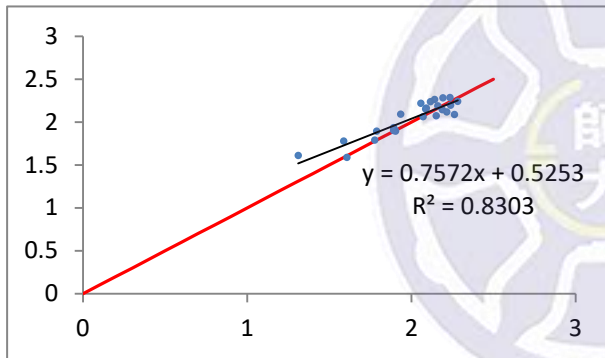
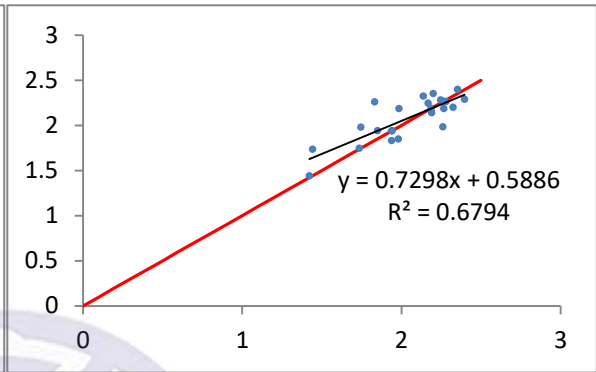
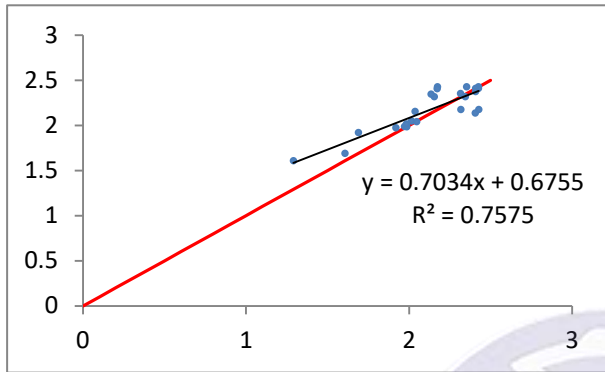
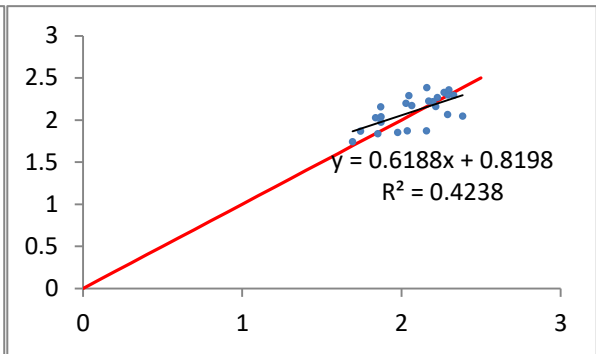
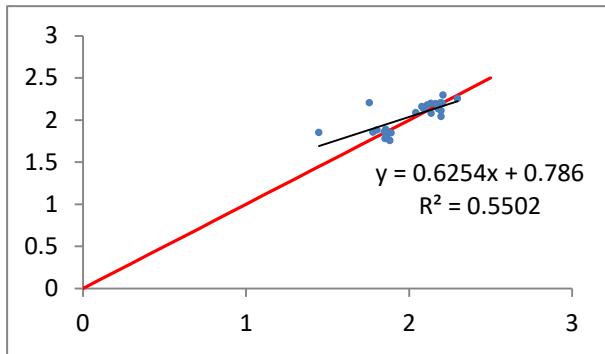




附錄五 步長映像線性適配圖(中速)







附錄八 步長映像線性適配圖(慢速)

