

國立臺灣體育運動大學
National Taiwan University of Physical
Education and Sport

體育研究所碩士學位論文

田徑 400MH 欄間節奏之分析
--以我國優秀選手陳傑為例--
The Analysis of the 400 Meter Hurdle Rhythm
Between Hurdles
--Take Taiwanese Talented Athlete Chieh Chen
for Example—



研究生：江竹偉 撰
指導教授：趙榮瑞 教授

中華民國 103 年 7 月

摘要

本研究之研究目的為比較陳傑選手與國外優秀400MH選手為對象，進行欄間節奏之差異分析比較。『欄間節奏』是指由運動員400MH全程跑的時間、欄間跑的步數、步頻的動作特徵表現。以400MH全程跑中，欄間的時間、步數進行探討，探討各欄間節奏及速度變化情形與成績間之相關，期能為教練及選手在訓練、比賽之參考應用。將所得資料藉由Microsoft Excel 2003軟體進行各項數據計算，求得欄間步數、欄間步頻、欄間速度、分段速度之相關數據並深入分析。並以描述性統計、和皮爾遜積差相關法分析比較國內外之欄間節奏差異。結果：一、有效減少全程跑步數是提升成績的途徑，現階段陳傑選手以全程跑步數164步的欄間節奏去完成比賽。二、最快與最慢欄間差值，陳傑選手與國外選手莫里也差距0.34秒，在欄間速度與欄間節奏表現還不夠穩定。三、欄間衝刺階段速度呈現負相關，表示優秀選手加速時間較強，加速到第一欄至第二欄出現最高速度，其中從第三欄間段開始到第十欄間段，七個欄間段皆出現負相關且達顯著。四、最後一個欄架至終點的欄間速度、欄間步頻與最終成績達負相關且顯著，表示在最後加速過程中，衝刺速度的重要性。

關鍵詞：400MH，欄間節奏，欄間步數

Abstract

The study aims to analyze and compare the differences between hurdle rhythms with the subjects, Chieh Chen, and other foreign elite athletes. Hurdle rhythm refers to the time an athlete needs to finish 400 meters hurdle, the numbers of steps between hurdles, and the stride frequency. Based on the time and steps between hurdles in a 400 meters hurdle, the research discusses the relation between hurdle rhythms and changes of speed and the results, hoping to be a reference for coaches and hurdlers in training and competition. Microsoft Excel 2003 software was used to calculate and analyze the strides of each hurdle, stride frequency of each hurdle, velocity of each hurdle, and velocity of each section. Further, descriptive statistics and Pearson correlation were utilized to compare the differences between domestic and overseas hurdle rhythms. The results are as follows. (1) One way to improve the race result is to reduce the entire number of steps effectively. Currently, Chieh Chen, completes a race with 164 steps hurdle rhythm. (2) Regarding the difference between the fastest and slowest hurdle rhythm, there is a gap of 0.34 seconds between Chieh Chen and Murray, a foreign athlete. Chieh Chang's performance on hurdle speed and hurdle rhythm is not stable enough. (3) A negative correlation was revealed in the speed of sprint stage between hurdles. Elite athletes perform better during the accelerating stage, and reach the maximum speed between the first and second hurdle. Seven

hurdles, from the third hurdle to the tenth hurdle, show negative correlation and reach the significant level. (4) A significant negative correlation was found between the hurdle speed from the last hurdle to the finish line, stride frequency, and the final results, which indicates the significance of the sprint speed during the last acceleration.

Key words: 400 meters hurdles, hurdle rhythm, number of steps between hurdles

誌謝

就讀研究所這兩年來，首先要感謝國立台灣體育運動大學給予我最好的學習、成長的機會，並感謝指導教授趙榮瑞老師在此期間不厭其煩的指導、督促與鼓勵，林貴福教授、陳裕鏞教授在百忙之餘抽空指導，精闢分析，使本論文更趨完善，在此致上由衷的感謝。

在職求學期間，特別感謝大甲高中的支持與協助，孫念祖老師及大甲高中體育組的同仁，給我最大的鼓勵與支持，讓我順利完成學業。研究期間，感謝陳傑的幫忙與協助，在此一併致上我最誠摯的謝意。

最後感謝摯愛的父母與家人，始終支持著我的夢想，讓我無憂無慮在運動場上奮鬥，沒有你們就沒有今天的我，將此論文獻給所有關心我的良師益友，與你們共同分享這份成果。

竹偉 謹致

目錄

摘要	II
Abstract	II
誌謝	IV
表目錄	VII
圖目錄	VIII
第壹章 緒論	1
第一節 問題背景	1
第二節 研究目的	5
第三節 研究假設	6
第四節 研究範圍與限制	6
第五節 名詞操作性定義	7
第貳章 文獻探討	9
第一節 步幅、步頻之相關性研究	9
第二節 400 公尺跨欄間節奏之相關性研究	10
第三節 400 公尺跨欄速度與體能分配之相關性研究	14
第四節 本章總結	18
第參章 研究方法及步驟	19
第一節 研究流程	20
第二節 研究對象	21
第三節 拍攝時間、地點及研究工具	24
第四節 資料處理及統計方法	25
第四章 結果與討論	26
第一節 陳傑選手 400 公尺跨欄歷年全程跑步數之運動	

表現特徵	26
註：研究者整理	29
第二節 陳傑選手與世界優秀選手 400 公尺跨欄全程跑 欄間速度、步數、步頻與成績之分析	29
第三節 陳傑選手與世界優秀選手起跑出發階段、 欄間階段、終點階段速度、步數、步頻與成績之分析	37
第四節 陳傑選手與世界優秀選手前後程階段欄間 速度、步數、步頻與成績之分析	45
第五章 結論與建議	48
第一節 結論	48
第二節 建議	50
參考文獻	51

表目錄

表 1-1	我國男子 400MH 歷年十傑	5
表 2-1	第一欄步數與欄間步數參考表	13
表 3-1	陳傑選手自 2008 年到 2009 年歷年成績一表	21
表 3-2	陳傑選手自 2010 年到 2013 年歷年成績一表	22
表 3-3	102 年全國運動會男子 400MH 決賽名單	23
表 3-4	陳傑選手與世界優秀選手 400MH 成績一表	23
表 4-1	陳傑選手自 2008 至 2009 年歷年欄間步數一表 ..	27
表 4-2	陳傑選手自 2010 到 2013 年歷年欄間步數一表 ..	28
表 4-3	400 公尺跨欄全程跑步數	29
表 4-4	陳傑與國外選手參加各項比賽各欄間時間	31
表 4-5	陳傑與國外選手參加各項比賽各欄間步數	33
表 4-6	陳傑與國外選手各欄間速度(公尺/秒)	35
表 4-7	陳傑與國外選手各欄間之步頻(步/速度)	36
表 4-8	出發至第一個欄架各項數據	38
表 4-9	出發至第一個欄架各項數據與成績之相關	39
表 4-10	欄間跑階段欄間速度與比賽成績之相關	41
表 4-11	欄間跑階段步數與比賽成績之相關	42
表 4-12	欄間跑階段步頻與比賽成績之相關	43
表 4-13	最後一個欄架至終點各項數據	44
表 4-14	最後一個欄架至終點各項數據與成績之相關 ...	44
表 4-15	優秀選手前後程欄間各項數據	46
表 4-16	出發至第五個欄架各項數據與成績之相關	47
表 4-17	第五個欄架至終點各項數據與成績之相關	47

圖目錄

圖 1-1	400MH 欄間距離圖	8
圖 2-1	研究流程	20
圖 2-2	實驗場地佈置圖	24
圖 4-1	陳傑與國外選手參加各項比賽各欄間時間	32
圖 4-2	陳傑與國外選手參加各項比賽各欄間步數	34
圖 4-3	陳傑與國外選手各欄間速度(公尺/秒)	35
圖 4-4	陳傑與國外選手各欄間步頻(步/速度)	36

第壹章 緒論

第一節 問題背景

田徑運動的起源，都與人類的生存及自衛要求有密切的關係，跨欄發展於英國。十七～十八世紀時，英國牧羊人經常跨越羊圈，這種活動逐漸演變為跨欄跑。成為田徑比賽項目已有一百多年歷史。最早的跨欄比賽出現於 1860 年。當時跨欄對距離、欄高、欄間距離、欄架數量均無統一規定。最早的跨欄跑也叫障礙跑，是跨越埋在地上的既笨重又危險的木支架或木柵欄。跨欄真正得到發展並形成技術風格是在美國十九世紀末，美國運動員 Alvin Kraenzlein 因改進直線前跨和單臂前導技術，後來成了現代跨欄技術的基礎。在跨欄史上，他被稱作"現代跨欄運動之父"(許樹淵，1992)。第二屆奧運會開始設 400 公尺跨欄項目，第一個世界紀錄是美國選手 Charles Bacon 在 1908 年第四屆奧運會上以 55" 的成績奪得冠軍。最先使 400 公尺跨欄跑發生改觀的是 David Hemery，在 1968 年墨西哥奧運會上，Hemery 在決賽時以獨特的步點創造了 48"1 的世界新紀錄。他將前 7 個欄的 15 步減少為 13 步，使它達到了前所未有的成績。美國 Edwin Moses 的崛起，他是第一個人將 10 個欄間步數都以 13 步完成，1976 年蒙特婁奧運會 400 公尺跨欄決賽，Moses 以 47"64 的世界紀錄奪得了金牌，連續十年保持不敗的選手，並革新了這個項目的整個概念(王港，徐向軍，1997)。

跨欄跑是在快速跑中連續跨一定數量、一定高度和一定

間隔距離的競賽項目，練習跨欄跑可以發展速度、敏捷、柔軟等身體素質，提高動作協調性、準確性和節奏感。郭潔民與張凱（2007）提出跨欄跑是田徑項目中技術難度最大的項目之一，跨欄跑中流暢而鮮明的節奏是良好技術的標誌，也是運動員提高跨欄跑成績的關鍵。跨欄跑關鍵技術是調整步長，在適宜的起跨距離處用同一隻起跳腳起跨，不致於在欄架前產生墊步或小碎步。司鵬巧、史東林（2000）提出了掌握和控制400公尺跨欄節奏的方法，認為欄間節奏是影響運動成績的主要因素。

在世界田徑運動成績不斷提高的過程中，我國田徑在奧運殿堂中，除了楊傳廣及紀政在早期獲得無上光榮之外，近代只有雪梨奧運陳天文400公尺跨欄進入準決賽及倫敦奧運張銘煌鉛球進入決賽，但在亞洲各國列強中，以劉翔在雅典奧運中110公尺跨欄獲得金牌，證明了黃種人在奧運中田徑徑賽，也存在著可能性，日本運動員為末大，他400公尺跨欄以47.89秒在第8屆世界田徑錦標賽獲得第三名，排2001年世界第三的好成績，在以競技體能為主要目標的田徑項目中，亞洲運動員可以在技術性相對強的一些項目中首先取得突破，相較之下我國與世界或亞洲區的水準差距甚大。如何迎頭趕上，是值得我們去深思的問題。如何客觀的去認識、了解、分析，使400公尺跨欄選手能提高運動成績，是值得我國田徑界去關注和研究之課題。

400公尺跨欄是技術性較強的速度力量項目，又是短跨項目中距離最長的運動，以無氧醣解功能為主，跨越障礙快速跑的非對稱周期性項目，除了要求運動員具備短距離跨欄跑的專項素質外，對速度耐力和力量耐力要求也很高。劉巍等

(2008)認為，400公尺跨欄全程速度分配，各欄間速度的發揮和利用程度，以及各欄間及全程的節奏在訓練和比賽中顯得十分重要。掌握欄間節奏須考慮到全程跑的體能分配。聶銀娣與張正(1998)指出，400公尺跨欄比賽的優勝者往往不是速度最快的運動員，而是在整個比賽中能有效控制，變換節奏及維持欄間配速的運動員。因此，良好的欄間節奏必須具備合理的欄間步數，擁有適宜的步幅。

400公尺平跑速度是由步幅及步頻交互作用所產生的結果，范春來與羅永生(2001)指出，400公尺跨欄欄間跑的穩定速度是由相對穩定的步幅及步頻決定的，全程的速度是否均勻穩定，同運動成績有著密切的關係。欄間節奏就是重要的關鍵，速度的穩定，節奏的好壞將決定全程跑的運動成績。因此，400公尺跨欄選手不僅要有良好的速度，也要有固定的節奏，使選手能在高速跑過程中，正確踏上起跨點過欄，以利於全程跑的流暢性(王敏姿，2012)。現有國內外跨欄跑文獻中，節奏是跨欄項目的靈魂，欄間跑步數是400公尺跨欄節奏的主要內涵，從世界優秀400公尺跨欄選手的欄間步數來看，郭潔民與張凱(2007)提出，主要有三種節奏模式：一、單一的步數模式，即用一種欄間步數跑完全程。採用這一模式的有美國著名選手Moses，採用欄間步數13步。二、採用兩種步數模式，即前半程或多半程用一種固定模式，後半程或少半程用比前半程或多半程多的固定步數。採用此種模式的人較多。三、採用3種步數節奏，這種模式的代表是第8屆世界田徑錦標賽的冠軍Sanchez。以上三種節奏在世界上取得過優異成績，但是值得注意的是，減少欄間步數應該從選手的身材條件和訓練模式做全面考量，不能盲目模仿。為了瞭

解我國及國外優秀選手的差距，研究跨欄選手的欄間節奏與成績間的關係，為本研究動機之一。

目前國內400公尺跨欄優秀選手首屈一指是，我國男子400公尺跨欄歷年十傑中，排名第二陳傑秒數49.68的成績(表1-1)，就讀台灣體育運動大學的陳傑選手，該選手由高中階段2009年至今2013年於國內未嘗敗績，陳傑選手高中就讀大甲高中，研究者在中學階段指導陳傑三年時間，指導過程中體會到400公尺跨欄全程跑，不能光靠單方面體能、過欄技術及400公尺平跑成績，而要考慮適宜的欄間節奏、欄間步數及合理的體能分配，才能創造優異的成績表現。同屬亞洲，日本選手為末大身高170公分、體重66公斤，在欄間跑以13-14-15步組合方式跑出47.89秒，排2001年世界第三的好成績。反觀陳傑選手身高182公分、體重70公斤，個人最佳成績為49.68秒，目前確有差距，但就身體素質來說，要跑進世界前八名，或是亞洲第一，確有相當大的機會。因此，研究者欲從102年全國運動會男子組400公尺跨欄決賽中，對於陳傑選手欄間節奏加以分析，盼能透過分析結果，再與世界優秀400公尺跨欄選手，對於欄間節奏的因素分析結果做比較，進而從中了解陳傑選手2009年到2013年各項大賽中，不同的欄間節奏與成績之間的關係。期望透過分析比較結果，讓國內從事田徑訓練相關各級教練在教學訓練之上參考，乃此為本研究動機之二。

表 1-1 我國男子 400MH 歷年十傑

名次	成績	姓名	比賽名稱	時間	地點
1	48.63	陳天文	世界大運會	2001	北京
2	49.68	陳傑	全國大運會	2012	高雄
3	50.47	林進福	世青田徑賽	1998	阿訥西
4	50.68	陳毓德	全國錦標賽	2012	台北
5	50.81	陳慶發	國際邀請賽	1999	高雄
6	51.09	林正智	亞洲田徑賽	1983	科威特
7	51.15	戴世然	亞洲田徑賽	1975	首爾
8	51.33	陳書緯	北市春季盃	2010	台北
9	51.33	吳聖傑	全國中運會	2012	台北
10	51.34	陳龍志	台區田徑賽	1998	基隆

資料來源：中華民國田徑協會官方網站(2014)

第二節 研究目的

基於研究動機，本研究之目的為：

- 一、探討陳傑選手 400 公尺跨欄歷年全程跑步數之運動表現特徵。
- 二、探討陳傑選手與世界優秀選手 400 公尺跨欄全程跑欄間速度、步數、步頻與成績之分析。
- 三、探討陳傑選手與世界優秀選手起跑出發階段、欄間階段、終點階段欄間速度、步數、步頻與成績之分析。
- 四、探討陳傑選手與世界優秀選手前後程階段之欄間速度、步數、步頻與成績之分析

第三節 研究假設

研究假設：針對目的四點提出。

- 一、陳傑選手 400 公尺跨欄歷年比賽過程欄間步數與成績出現顯著差異。
- 二、陳傑選手在 102 年全國運動會男子 400 公尺跨欄及世界優秀 400 公尺跨欄選手的欄間速度、欄間步數、欄間步頻與成績有顯著相關。
- 三、陳傑選手在 102 年全國運動會男子 400 公尺跨欄及世界優秀 400 公尺跨欄選手的出發至第一個欄階段、欄間階段、最後一個欄至終點的欄間速度、欄間步數、欄間步頻與成績有顯著相關。
- 四、陳傑選手在 102 年全國運動會男子 400 公尺跨欄及世界優秀 400 公尺跨欄選手的前後五個欄速度與成績有顯著相關

第四節 研究範圍與限制

- 一、本研究以 102 年全國運動會男子 400 公尺跨欄決賽陳傑選手，全程跑比賽過程中，各欄間步數與成績進行分析。拍攝影片加以分析記錄數據所得，但受限於兩台攝影機拍攝，僅能在田徑場司令台上方進行拍攝，因可能影響視覺角度上判定的差異，欄間時間或許有部分誤差現象。
- 二、本研究以第 8 屆世界田徑錦標賽 400 公尺跨欄前八名選手，各欄間步數與成績作為分析資料。本研究資料之取得是以陳志強(2004)400M 欄運動特徵的分析和評價研

究，所整理成績統計數據一覽表。

- 三、本研究主要是針對 400 公尺跨欄全程跑欄間步數進行分析，因此不對選手的跨欄技術做深入探討。並未深入探究各選手之體能狀況、心理狀況、自然溫度、濕度及風速等自然的因素則步在本研究之研究範圍內，因此無法針對各變項進行更深層之分析，僅以統計分析各選手之欄間步數的數據。

第五節 名詞操作性定義

- 一、全國運動會：原名為台灣區運動會，因民國 88 年精省之後，行政院體育委員會主導，將從民國 63 年開始舉辦的台灣區運動會，更改名稱為全國運動會，迄今共舉辦八屆【含 88 年桃園縣、90 年高(縣)高(市)屏(縣)、92 年台北縣、94 年雲林縣、96 年台南市、98 年台中市、100 年彰化縣、102 年台北市】。全國運動會的運動項目僅以奧、亞運比賽的運動種類，隔年舉辦全民運動會以非奧、亞運運動種類的。將以往每年舉辦的台灣區運動會，改為每兩年舉辦一次，朝著奧運和亞運模式改進，一年舉辦全國運動會，隔年舉辦全民運動會。
- 二、400MH：400M HURDLERS 為 400 公尺跨欄英文的縮寫。
- 三、欄間節奏：由運動員全程跑的時間、欄間跑的步數、步頻的動作特徵表現。
- 四、起跑至第一欄步數：從起跑動作第一步開始計算到跨過欄架著地前的步數。

五、欄間步數：受試者跨過欄架著地後至跨過下一個欄架著地前之間所使用的步數。

六、最後欄架至終點步數：從跨過最後欄架著地後至終點之間所使用的步數。

七、優秀選手：以國際賽事為主成績在 49 秒內的優秀選手。

八、400MH 欄間距離圖：

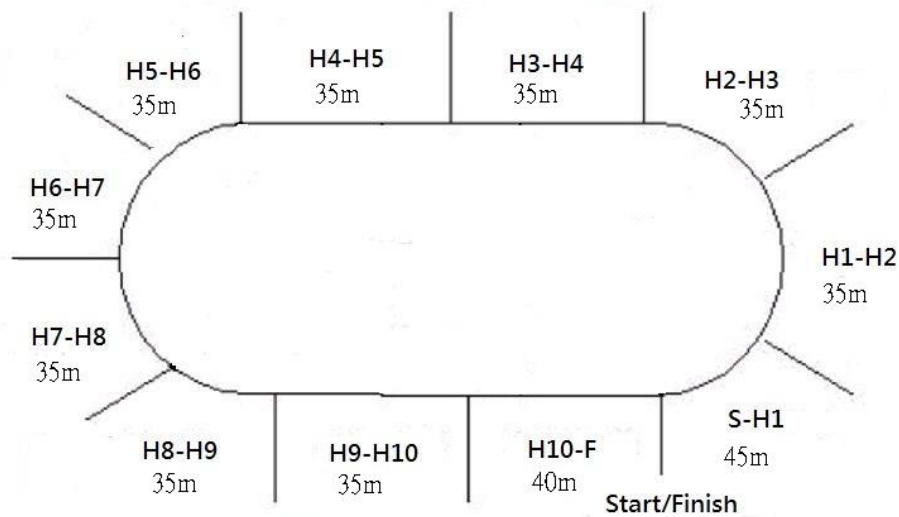


圖 1-1 400MH 欄間距離圖

第貳章 文獻探討

本章共分為三節，第一節、步幅、步頻之相關性研究，第二節、400公尺跨欄間節奏之相關性研究，第三節、400公尺跨欄速度與體能分配之相關性研究，第四節、本章總結。

第一節 步幅、步頻之相關性研究

田徑運動是其他運動的基礎，其中速度又象徵人類的本能，長期以來，教練和專家就提出了跑步速度是受步幅與步頻所影響之理論，跑的技術優劣在於步幅和步頻，步幅大，步頻快，速度肯定快。Hay (2003) 指出，對速度而言，步幅和步頻則是構成速度的兩大關鍵因素，亦是評價優秀短跑選手技術是否合理的重要指標。Kunz and Kaufmann (1981) 以生物力學觀點，研究指出世界級優秀短跑選手的優越性，必須具有最佳化的步幅與步頻組合。跑者速度的增加，是推動力增進而來的，推動力增加導致步幅的增長，適當步幅和步頻結合是提高速度的最佳途徑 (Hubbard, 1993)，跑步速度是步幅與步頻的交互作用，步幅和步頻是處於一個不斷組合、不斷變化的動態過程，一定的步幅與步頻組合產生速度的組合效應 (劉淑華, 2006)。潘瑞根 (2002) 提出，影響步幅的因素很多，步幅與技術的合理性及力量、柔軟度等素質有關，與增進步幅的能力，應了解影響步幅的因素有腿長、蹬地的力量、速度和角度、髖關節的靈活性、肌肉柔韌性、擺腿及著地技術等。在跑步步態方面的研究，Clarke 等 (1985)

提出，當跑步速度增加時，跑者首先隨著改變的是其跑步的步幅，接著才是步頻。可見在速度改變時步幅是比步頻有較大之影響。由營養及能量系統可知：四百公尺跑在生理上受到 ATP-PC 能量系統及乳酸能量系統，及少許有氧系統的機轉的影響，使得四百公尺在跑步技術及配速上更為艱鉅（王建峻等人，1998），配速（Pace）一詞，應可當做速度分配來解釋，但事實上，配速亦可解釋為步幅、步頻、步調等。

總結以上的文獻發現，400 公尺跨欄是短跑中距離最遠的項目，能量介於乳酸和有氧系統之間，因此要達到優秀成績必須能量的分配，且在一定間隔距離跨越欄架，穩定均勻的速度卻又是得勝的要素，良好穩定的速度就是步幅與步頻的交乎作用，如何運用步頻及步幅的配合以求速度的維持，為本文要探討的。

第二節 400 公尺跨欄間節奏之相關性研究

跨欄跑是選手在快速跑中連續跨一定數量、一定高度和一定間隔距離的競賽項目，所以說各個欄架之間的欄間步數，必須配合得宜，在適宜的起跨距離處起跨迅速越過欄架，如果欄間節奏無法穩定，以致於在欄架前產生墊步或小碎步情形，成績就會受到影響。許樹淵（1992）指出欄間跑步是從起跨腿下欄著地開始，到下一次起跨時，起跨腳踏上起跨點為止的動作過程。它的目的在於以正確適當的節奏，快速地跑完欄間距離，為下一次起跨步創造更為有利的條件。王西國與曲慶志（2006）探討 400 公尺跨欄跑成績的主要原因證實，400 公尺跨欄運動員要創造出優異的成績，既要有良

好的速度也要有穩定的節奏，才能在快速跑中準確踏上起跨點上欄，不僅可節省體能上的消耗，也利於平跑速度的發揮，使運動員的跨欄動作更協調。范春來與羅永生（2001）指出，欄間節奏是速度穩定的關鍵，節奏的好壞取決於各欄間步中腿的支撐時間和身體騰空時間的比例及各步的步長等因素，每個欄間節奏快慢將決定全程跑的成績。庄明謙與楊磊（2001）提出 400 公尺跨欄的關鍵是每一個欄周期的平均速度的平穩性，全程的速度分配、各欄間速度發揮和利用程度，而保持速度的關鍵是欄間跑節奏的掌握。研究表明，欄間步數的相對減少是成績不斷提高的重要原因之一，分析結果表明，世界 400 公尺跨欄優秀選手的欄間步數分為兩種。一是固定節奏的欄間步、另一種是不固定節奏。無論哪種欄間步節奏都應是有規律的，固定節奏的欄間步很難保證各分段體能的合理分配，因此，當今世界最優秀的運動員多採用後種欄間步節奏（謝旭東，2007）。成萍與王慶玉（2002）說明，400 公尺跨欄跑選手比賽中通常出現的跳欄和小碎步等缺陷，以欄架高度並無直接關係，與之有直接關係的是體能不足和欄間跑節奏零亂。400 欄架選手跑每一個欄間步時，所遵循的原則應是保持均勻的速度和穩定的步幅。所以，為了獲得較理想的節奏，選手在跑欄間步時可採用左、右腿攻欄的混合步型跑欄間節奏（庄明謙、楊磊 2001）。夏健松與金紅珍（2004）在優秀男子 400 公尺欄運動員全程技術的運動學分析中指出，世界男子 400 公尺跨欄成績的發展，可以清楚地發現，運動員的 400 公尺欄成績與他們的欄間跑的步數有著一定的關係，在一定的水平基礎上，隨著欄間步的減少，成績相應地有所提高。因此，根據個人能力選擇和掌握合理

的過欄技術和欄間節奏是非常重要的。跨欄跑的動作節奏不僅表現在跨欄周期中各步速度不等，而且還表現在過欄與欄間跑的動作連貫、起跨、跨跑銜接緊密，不間斷，不停頓等方面（范強，2001）。王港與徐向軍（1997）針對400公尺跨欄來說，一般可以劃分為，一、起跑到第一個欄架，距離為45公尺，將決定400公尺跨欄選手跨越最初幾個欄架的節奏，優秀400公尺跨欄選手大多採用20-22步跑至第一個欄架，選手步數多少可適用於跑至第一個欄架及相應的欄間步跑最適合步數（表2-1）。戴勇（2008）指出，起跑至第一欄為400公尺跨欄全程速度節奏的加速階段，在此一階段的加速中合理控制節奏，順利跨越第一欄，將對全程速度節奏有著直接的影響。王西國與曲慶志（2006）說明，優秀400公尺跨欄選手的步數男子在13-15步，因此，選手在確定步數時，應根據自己的身高、步長和平跑速度，選擇適合自己身材、素質的欄間步數，使平跑速度得到最佳的發揮。而400公尺跨欄有5至6個欄架是在彎道上，所以能利用彎道離心力跨好彎道欄，對提高運動成績相當重要，庄明謙與楊磊（2001）在400M跨欄運動員欄間節奏一文中說明，跑彎道時盡量可能調整左腿成為擺動腿，以便更好地克服離心力，獲得平穩的節奏跨越欄架。跨欄跑的節奏是由步幅與步頻構成的，范強（2001）在男子400米跨欄訓練中掌握技術發展素質一文中指出，要提高欄間距的節奏，首先要考慮合理減少欄間步數，也就是增大步長，在此基礎上再適當增加步頻。陳志強（2004）分析國外優秀選手欄間節奏後發現，在400公尺跨欄的運動訓練中，優選出真正適合選手個性化特徵的欄間跑節奏的組合方式，是選手取得優異成績不可忽視的重

要因素之一。

總結以上的文獻發現，400公尺跨欄選手的欄間節奏關係著步幅與步頻的交互變化，欄間跑節奏組合方式也不盡相同，需要不斷嘗試和訓練，可以在彎道能使用左腿成為擺動腿，克服離心力達到更有效率的速度表現，單數跑節奏或是雙數跑節奏在變化節奏時，會有兩步之間的差異，即便後半程體能下降導致步幅減小，總不至於在一個欄間距離多跑兩步，如此對欄間節奏破壞程度相當大，而混合式節奏，則影響著一步的差異，但是要有一個前提，即選手必須具備左右腳都能起跨過欄的技術技能。建立適合的欄間步節奏，使400公尺的速度在全程跑中得到充分的發揮，是獲勝的關鍵。

表 2-1 第一欄步數與欄間步數參考表

跑至第一欄架步數	欄間跑步數
20	13
21	13
22	13-14
23	14-15

第三節 400 公尺跨欄速度與體能分配之相關性研究

體能在競技運動中是不可或缺的一環，擁有良好的體能不僅對提升運動成績有幫助，亦可提高運動能力。全程跑的分配體能，對提高全程跑的成績有直接影響，400 公尺跨欄是短跑中距離最遠的項目，能量介於乳酸和有氧系統之間所以選手在運動中受到能量供能影響。田中原（2003）根據研究表明，400 公尺欄架比賽是在 400 公尺跑道上跑 400 公尺，因此，其供能特點應類似於 400 公尺比賽的供能特點。400 公尺比賽的能量消耗來源於三個途徑：一、高能磷酸化合物的分解（占 20%~25%）；二、無氧代謝過程產生的 ATP（占 55%~60%）；三、有氧代謝過程產生的 ATP（占 15%~20%）。優秀選手非乳酸無氧代謝能力更強，即耐乳酸能力更強，使其在加速和保持最大速度方面持續跑更遠的距離。王西國與曲慶志（2006）根據能量供應特點，從起跑到 10 秒左右的運動距離內機體主要是依靠磷酸元系統供能，10 秒左右以後由於連續地高強度運動，肌肉中 CP 大量消耗，供能方式轉變為無氧糖酵解供能逐漸佔主導地位。由於產生大量糖酵解的產物，就是乳酸，導致糖解酶的活性受到抑制，糖酵解供能速率下降，ATP 的含量減少，使肌肉快速收縮的能力下降，跑速減慢。因此，保持高速度跑的能力的大小，關鍵取決於肌糖元酵解生成乳酸能力的大小和肌體耐乳酸能力的高低。王瑩琪（2010）提出 400 公尺的平跑速度為影響男子 400 公尺跨欄成績的重要因素之一。具備高度的速度水準，對 400 公尺跨欄選手來說能有較好的速度儲備，前後半程能有效分配速度，使體能消耗不會有太大幅度。謝旭東（2007）在現

代男子 400 跨欄速度分配一文中指出，世界優秀選手 400 跨欄比賽的速度分配，一般在 1~3 欄段達到最大速度，而後逐漸下降速度，至 7~8 欄段的平均速度與其他後段欄段相比，此階段有非常明顯的下降速度，而在 9~10 欄段與欄後段為衝刺階段，表明選手衝刺能力越好成績就越好。夏健松與金紅珍（2004）根據研究表明，從第 7 欄架開始進入調整階段，400 公尺跨欄選手在跑到約 300 公尺處就開始出現乳酸堆積的反應，結果將導致速度的下降，而優秀選手則會一方面積極地自我調整，為最後衝刺做好準備，一方面爭取佔據有利的名次，為最後創造優異的專項成績創造條件。郭浩民與張凱（2007）說明，跨欄跑中選手往往產生節奏凌亂現象，原因是前段 200 公尺欄與後段 200 公尺欄速度分配不合理導致欄間節奏發生變化而引起的，保持最高速階段和最後階段的速度耐力和專項耐力是決定優秀 400 公尺跨欄選手成績的重要因素。由於後半段體能消耗過大，如果硬性強調步數固定，一定會使選手拉大步上欄，導致步頻變慢，欄間速度下降。所以每個選手必須根據自己具體情況選擇欄間跑的步數，Moses 在創造世界紀錄後，曾試圖用減少自己的欄間步數來提高成績，前 7 個欄間用 12 步，後 2 個欄間用 13 步。步數是比創世界紀錄時少 7 步，但是成績卻慢了 1.69 秒。而 Kevin 即開始採用前 4 個欄間跑用 12 步，使他體力同樣消耗過大，導致最後 2 個欄不得不採用 14 步，影響了速度，成績也不理想。之後他改變欄間跑的步數，在一開始的彎道採用 13 步，而進入第一個直道的 2 個欄間採用 12 步減少了體力消耗，後面 5 個欄間採用 13 步，最後創造了 46.78 秒的世界紀錄。可見，選手根據自身的特點選擇自己的欄間節奏更為重要。

司鵬巧、史東林（2000）說明，400 公尺跨欄受到欄間距離和全程跑距離的影響，需平均分配每一個欄間跑的速度和全程跑的速度，才能避免不合理的體能消耗，使選手得以充分發揮水準。王西國與曲慶志（2006）指出，優秀選手的前後 200 公尺成績差值很小，當兩屆奧運會冠軍 Taylor 創下 47.50 秒的最佳成績時，前後 200 公尺的差值為 2.18 秒，另一位世界優秀選手 Herbert 最佳成績為 47.81 秒，前後 200 公尺的差值為 1.85 秒，這表明是體力分配的好，可使其機體耐受更高的乳酸刺激，能有效地利用糖酵解時所釋放的能量，降低乳酸供能的消耗速率，延長乳酸供能的時間，從而能完成更長時間的極量運動，更大程度地反映出這些優秀選手保持高速度跑的能力強，速度耐力好。叢林與劉東方（2008）在提高 400 米欄成績途徑一文中指出，在穩定的全程跑欄間節奏前提下，採用均速跑方式有利於提升成績，後半程慢於前半程不應超過 2~3 秒。如果前半程速度過快而造成後半程減速過多，或前半程太慢而不能充分發揮應有的跑速，都會影響全程跑的成績。以計時為主的競技比賽哩，在每一場比賽中都能以最大速度維持高速跑能力，是獲得優異成績的基本要求。像 400 公尺跨欄這種要高速度維持 40~50 秒的項目，要有效率的使用身體所體供的能量及提升最高速度，不僅對身體素質上有所要求，還要有合理的速度分配，使得有效成為最佳跑步模式（森丘保典等，2000）。王敏姿（2012）針對 400 公尺跨欄而言，起跑至第一個欄架的重點在於如何控制加速階段的速度節奏，此段不應加速過快，若不控制速度節奏，以較快的步頻起跑過第一欄，必定會過早引起神經系統的疲勞，過度消耗體內 ATP-CP 供能，導致後程速度節

奏明顯降低的現象，運動員在此一階段順利跨越第一欄，才能為接下來的九個欄間奠定良好的穩定節奏。

由以上文獻得知，優秀400公尺跨欄選手在全程跑中體能的分配，是從起跑至高速階段10秒左右的運動距離內，控制加速階段的速度節奏，通常跑至2~3欄段達到最大速度，第4欄段開始保持穩定且維持高速欄間節奏，而後逐漸下降速度，變換節奏以達到調節體能的作用，在9~10欄段與欄後段為最後衝刺，此部份為影響成績優劣的階段。

第四節 本章總結

由以上文獻得知：

- 一、就步幅、步頻方面，速度是步幅、步頻交互作用後之效果，速度的好壞關係著步幅、步頻的配合，400公尺跨欄非常重視均速跑、穩定的節奏，而在欄間節奏中，能以搭配選手身材條件找出適合本身能力的節奏，較少的欄間步數、維持速度的能力都是提升成績的重要因素。優秀400公尺跨欄選手，更需要安排提升步幅的能力，加強400公尺平跑速度。
- 二、就欄間節奏方面，欄間節奏是400公尺跨欄最重要的核心，欄間節奏的好與壞將決定成績的呈現。改善欄間節奏必須要全面的考量，包括彎道的起跨腳，節奏的變換適宜，整體的速度體能之分配，最重要選手本身的專項能力是否能與欄間節奏配合。訓練中應嘗試不同的跑法，找出適合自己的欄間節奏，培養左右腳都能起跨過欄的技術技能，才不會導致欄間節奏變換過大，削減過多的速度維持及體能的分配。
- 三、就速度與體能分配方面，400公尺跨欄其供能方式與400公尺雷同，在分段速度中要有合理的速度分配，前200公尺速度過快而造成後200公尺減速過多，或前200公尺速度太慢而不能充分發揮應有的跑速，導致體能消耗過大，無法控制加速階段的節奏，都影響全程跑的成績。而提升穩定的全程跑欄間節奏，前後半程速度控制得宜且不要落差太大，則是獲得佳績的基本條件。

第參章 研究方法及步驟

本章共分為五節，第一節、研究方法，第二節、研究對象，第三節、拍攝時間、地點及研究工具，第四節、資料處理及統計方法。

第一節 研究流程

本研究流程如圖 2-1。

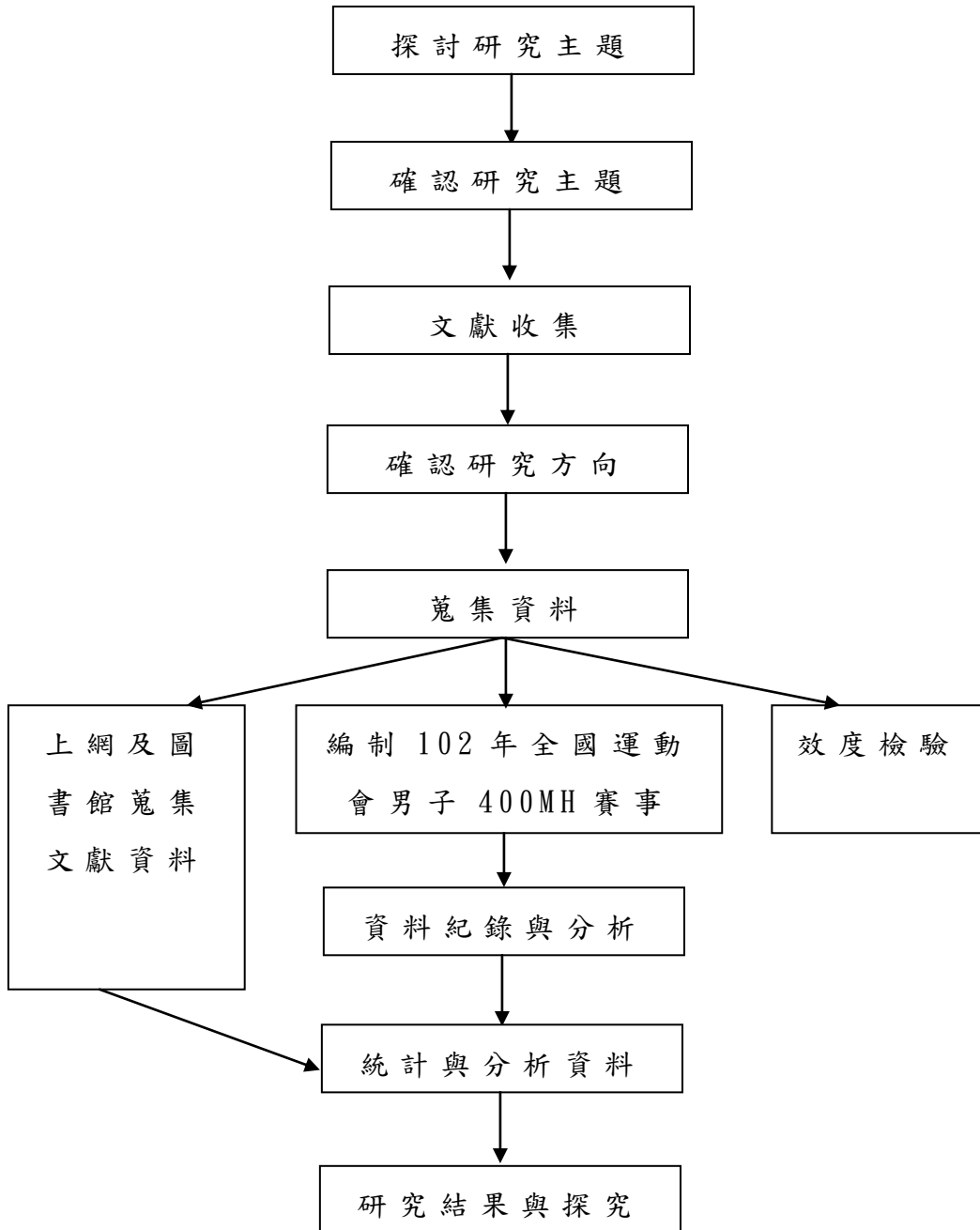


圖 2-1 研究流程

第二節 研究對象

一、研究對象

本研究以陳傑選手歷年大賽成績以及參加中華民國 102 年全國運動會男子 400MH 決賽成績為研究對象；與成績在 49 秒內世界優秀 400 公尺跨欄田徑選手進行分析。其歷年大賽成績(如表 3-1、表 3-2)及 102 年全國運動會男子 400MH 決賽成績名單(如表 3-3)及陳傑選手與世界優秀選手 400MH 成績一表(如表 3-4)：

表 3-1 陳傑選手自 2008 年到 2009 年歷年成績一表

歷年賽會	成績
2008 台北縣青年盃田徑賽	57.51
2008 全國中學田徑錦標賽	54.76
2009 新北市青年盃田徑賽	55.6
2009 全國中等學校運動會	52.88
2009 全國中學田徑錦標賽	52.35
2009 全國運動會	50.94
2009 東亞運動會	52.88

註：研究者整理。

表 3-2 陳傑選手自 2010 年到 2013 年歷年成績一表

歷年賽會	成績
2010 新北市青年盃田徑賽	53.4
2010 全國中等學校運動會	51.27
2010 臺灣國際田徑邀請賽	52.19
2010 亞洲青年田徑賽	51.12
2010 世界青年田徑賽	52.35
2010 全國田徑錦標賽	51.12
2011 大專運動會	50.17
2011 臺灣國際田徑邀請賽	50.44
2011 中國大獎賽福州站	50.14
2011 亞洲田徑錦標賽	50.39
2011 世界大學運動會	51.49
2011 全國運動會	51.17
2012 新北市青年盃田徑賽	50.69
2012 大專田徑錦標賽	50.23
2012 大專運動會	49.68
2012 臺灣國際田徑邀請賽	49.93
2012 日本大學生個人選手權	50.4
2012 倫敦奧運	50.27
2012 全國田徑錦標賽	50.23
2013 大專運動會	50.47
2013 臺灣國際田徑邀請賽	50.23
2013 全國運動會	50.23

註：研究者整理。

表 3-3 102 年全國運動會男子 400MH 決賽名單

項目：男子組 400 公尺跨欄 決賽 比賽時間：102/10/23 17:30

道次	單位	姓名	預賽成績	比賽成績
1	雲林縣	1309 王永中	54.21	54.49
2	桃園縣	1176 梁文岳	53.72	未完賽
3	臺中市	1083 王景濬	52.98	53.1
4	臺中市	1070 陳傑	52.42	50.23
5	苗栗縣	1257 余嘉軒	52.54	52.12
6	雲林縣	1307 陳毓德	53.25	51.69
7	新北市	1045 劉軒宏	53.42	53.17
8	新北市	1048 簡士翔	54.08	54.24

表 3-4 陳傑選手與世界優秀選手 400MH 成績一表

姓名	成績
陳傑	50.23
泰勒	47.5
索梅里	47.53
赫伯特	47.81
桑切斯	47.48
莫里	47.54
為末大	47.89
卡特	48.04
賈努斯	48.44

第三節 拍攝時間、地點及研究工具

一、錄影時間及地點

(一)錄影時間：民國 102 年 10 月 23 日。

(二)錄影地點：台北市立田徑場。

二、拍攝場地佈置

本研究資料之取得：

(一)大會之記錄資料。

(二)由本人結合國立台灣體育運動大學田徑專長學生至現場實況拍攝，但受限於只有 Sony DV 兩台，僅能在田徑場司令台上方及對面看台進行拍攝，詳細實驗流程如圖 2-2。

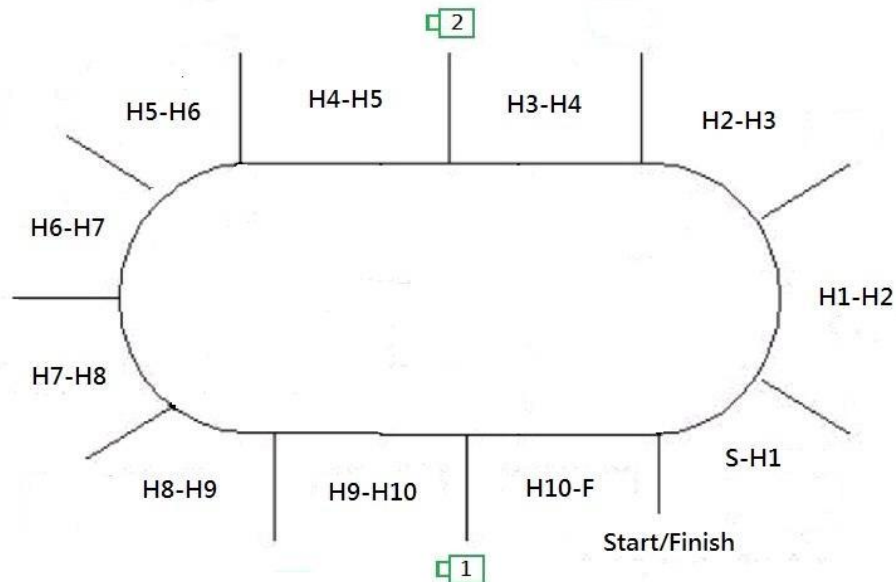


圖 2-2 實驗場地佈置圖

三、研究工具

(一) Sony DV 兩台、三腳架兩台、延長線。

(二) Acer 個人電腦一部、雷射印表機一部、SPSS for Windows 20.0 統計套裝軟體一套。

第四節 資料處理及統計方法

本研究數據採集在 102 年全國運動會比賽現場進行，將數位攝影機拍攝之影片資料，透過 KWON 3D 動作分析系統進行數據處理，求得所需的運動學參數：欄間時間、欄間步數，將所得運動學參數藉由以 SPSS for Windows 20.0 統計套裝軟體作為資料分析工具。

首先計算各欄間之平均速度（即欄間距離／欄間時間，單位：公尺／秒）及各欄間步頻（即欄間步數／欄間時間，單位：步／秒），所得運動學參數如下：欄間速度、欄間步數、欄間步頻、分段速度，本研究將所得數據以皮爾遜（Pearson）積差相關來分析，各項參數與比賽成績之相關情形，顯著水準定為 $\alpha=.05$ 。

第四章 結果與討論

400 公尺全程跑的速度節奏，可以用全程跑各欄間速度及前中後速度的差異來衡量速度節奏的好壞。大量實驗證明，要使選手找到適應欄距的步數，必須具體分析，區別選擇。身高是決定欄間跑步數的基礎，而身體素質和訓練技術水平同樣決定欄間步數，世界優秀選手全程跑欄間步數為 153~165 步（郭潔民，張凱，2007）。

第一節 陳傑選手 400 公尺跨欄歷年全程跑步數之運動表現特徵

對照陳傑歷年成績欄間步數表如表 4-1、4-2，由開始接觸 400 公尺跨欄以全程欄間節奏 15 步跨完全程跑，接著提升 400 公尺平跑速度的能力，當平跑速度在欄間節奏 15 步時無發揮最有效率的能力，才逐漸減少欄間步數。自 2010 年世界青年田徑錦標賽開始調整為前五個欄間節奏為 14 步，後五個欄間為 15 步，接著一年後又改進為前七個欄間節奏為 14 步，後三個欄間為 15 步，累積七場比賽經驗，在 2012 年全國大專運動會中，跑出 49.68 秒成功達到倫敦奧運的參賽標準，對於陳傑選手是一種最大的鼓勵，陳傑選手由 2008 年開始接觸田徑運動，在短短 4 年期間就能達成前進奧運的夢想，是相當難得可貴。但是在 400 公尺跨欄的秒數還距離世界優秀選手還有一段差距，為了使成績更上一層，陳傑從 2013 年開始，欄間節奏改為 13-14-15 組合混合步數，表 4-3 顯示出，

陳傑在 2013 年全國運動會全程跑步數中與世界優秀選手並無差異，在欄間步數的減少部分，已靠近世界級選手一步，可看出陳傑在身高步長方面，不會比其他選手劣勢。但在全程跑步數合乎世界級選手水準，相對的欄間速度的維持及體能的分配就得面臨考驗，必須具備高度的 400 公尺速度水平，而在欄間跑時 13 步及 14 步不僅僅是一步之差，是更高強度的跑的動力和乳酸堆積，引起肌肉疲勞，無法保持高速，勢必會造成速度下降。若要和世界級選手競爭，減少欄間步數為首要的訓練手段，2012 年大專運動會時，陳傑以 49.68 秒的佳績拿到倫敦奧運門票時候，當時的欄間步數為前 7 欄 14 步後 3 欄 15 步的節奏，隨後陳傑在奧運前夕首度前往美國接受知名教練訓練，美國教練明確告知陳傑，以陳傑的身材條件，欄間節奏必須改為 13~15 步的節奏，才能更上一層。自 2013 年間開始在比賽中做出 13-14-15 步的欄間節奏，總步數為 164 步。

表 4-1 陳傑選手自 2008 至 2009 年歷年欄間步數一表

成績	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
57.51	23	15	15	15	15	15	15	15	15	15	25
54.76	23	15	15	15	15	15	15	15	15	15	24
55.6	23	15	15	15	15	15	15	15	15	15	24
52.88	23	15	15	15	15	15	15	15	15	15	22
52.35	23	15	15	15	15	15	15	15	15	15	21
50.94	23	15	15	15	15	15	15	15	15	15	20
52.88	23	15	15	15	15	15	15	15	15	15	22

註一：A；S-H1，B；H1-H2，C；H2-H3，D；H3-H4，E；H4-H5，F；H5-H6，G；H6-H7，H；H7-H8，I；H8-H9，J；H9-H10，K；H10-F。

註二：研究者整理。

表 4-2 陳傑選手自 2010 到 2013 年歷年欄間步數一表

成績	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
53.4	23	15	15	15	15	15	15	15	15	15	22
51.27	23	15	15	15	15	15	15	15	15	15	21
52.19	23	15	15	15	15	15	15	15	15	15	22
51.12	23	15	15	15	15	15	15	15	15	15	21
52.35	23	14	14	14	14	14	15	15	15	15	22
51.12	21	14	14	14	14	14	15	15	15	15	21
50.17	21	14	14	14	14	14	14	15	15	15	19
50.44	21	14	14	14	14	14	14	15	15	15	20
50.14	21	14	14	14	14	14	14	15	15	15	19
50.39	21	14	14	14	14	14	14	15	15	15	20
51.49	21	14	14	14	14	14	14	15	15	15	21
51.17	21	14	14	14	14	14	14	15	15	15	19
50.69	21	14	14	14	14	14	14	15	15	15	18
50.23	21	14	14	14	14	14	14	15	15	15	18
49.68	21	14	14	14	14	14	14	15	15	15	18
49.93	21	14	14	14	14	14	14	15	15	15	18
50.4	21	13	13	13	14	14	15	15	15	15	18
50.27	21	14	14	14	14	14	14	15	15	15	18
50.23	21	14	14	14	14	14	14	15	15	15	18
50.47	21	14	14	14	14	14	14	15	15	15	18
50.23	21	13	13	13	13	14	14	15	15	15	18
50.23	21	13	13	13	13	14	14	15	15	15	18

註一：A；S-H1，B；H1-H2，C；H2-H3，D；H3-H4，E；H4-H5，F；H5-H6，G；H6-H7，H；H7-H8，I；H8-H9，J；H9-H10，K；H10-F。

註二：研究者整理。

表 4-3 400 公尺跨欄全程跑步數

姓名	成績	全程步數
陳傑	50.23	164
泰勒	47.5	159
索梅里	47.53	158
赫伯特	47.81	170
桑切斯	47.48	162
莫里	47.54	170
為末大	47.89	164
卡特	48.04	161
賈努斯	48.44	169

註：研究者整理

第二節 陳傑選手與世界優秀選手 400 公尺跨欄全程 跑欄間速度、步數、步頻與成績之分析

本研究將所獲得之運動學參數與比賽成績，分為各欄間之平均速度（即欄間距離／欄間時間，單位：公尺／秒）、各欄間步頻（即欄間步數／欄間時間，單位：步／秒）及全程跑。經過對於世界級優秀選手 400 公尺跨欄跑全程分析，計算各欄間速度（表 4-3）、各欄間步數（表 4-4）、各欄間之平均速度（表 4-5）、各欄間步頻（表 4-6），探討優秀選手們在不同分段之運動表現特徵。

一、欄間時間

400公尺跨欄的欄間速度、步數、步頻是描述和分析400公尺跨欄運動特徵的重要指標之一，由表4-3發現陳傑選手的欄間速度從第五個欄間時明顯衰退過多，欄間秒數與前一段相比增加0.3秒，國外選手大約只有增加0.1秒左右，此段欄間為陳傑選手變化欄間節奏的間段，欄間步數由13步轉換為14步，代表在欄間節奏上及步長掌控不佳，導致速度下降，無法保持高速。9名選手在欄間速度發生衰退情況超過0.2秒皆出現在後段欄間，陳傑發生在第五欄間，桑切斯在第六欄間，其他在第七欄間的分別是，泰勒、莫里、卡特，在第八欄間的分別是，索梅里、赫伯特、為末大、賈努斯，會發生超過衰退情況超過0.2秒幾乎都在欄間節奏之變換，欄間步數增加一步，多數優秀選手會利用此階段來調整呼吸節奏，準備最後階段的衝刺。陳傑選手在後段欄間速度衰退情況保持約每一欄間增加0.2秒左右，反觀國外優秀選手自第八欄間到終點，都還能保持住欄間速度，增加不到0.1秒，如泰勒、桑切斯、為末大、賈努斯皆能保持相同的速度，代表後段加速能力很好且節奏穩定。由圖4-1得知，最快與最慢欄間差值的是莫里，只有0.61秒，表示前段欄間與後段欄間的速度分配良好，莫里在欄間速度與欄間節奏表現得相當合理，而差值最大的分別為亞洲選手陳傑0.95秒、為末大0.97秒，由表4-3中得知，最快欄間與最慢欄間的差值在0.8秒以內較為合理，說明全程節奏比較平穩，為末大具有良好的平跑速度，過快的第一欄間速度節奏3.62秒，導致後段欄間秒數差異過大，陳傑的400公尺平跑速度雖不如世界優秀選手，在第一欄間速度節奏3.86秒，九名選手排第8位，比賈努斯3.88秒快，導致第三

欄間速度下降到4.08秒，與其他選手最慢的赫伯特3.88秒相比，相差了0.2秒，從速度變化角度來看，這是由於陳傑選手在起跑加速階段過快，導致中段與後段速度出現大幅下降情形。幾乎在第四欄間區段，世界一流選手都還保持欄間時間在4秒以內，陳傑在第三欄間就已經超過4秒，說明欄間節奏不佳，合理的控制欄間節奏，不讓過快的第一欄間消耗太多能量，避免後段欄間節奏劇烈下降，是陳傑選手需要加強的。

表 4-4 陳傑與國外選手參加各項比賽各欄間時間

姓名	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
陳傑	5.97	3.86	3.9	4.08	4.09	4.37	4.43	4.55	4.65	4.81	5.52
泰勒	5.90	3.72	3.76	3.84	3.92	3.96	4.12	4.36	4.44	4.44	5.04
索梅里	5.94	3.72	3.76	3.84	3.88	4.00	4.04	4.20	4.44	4.52	5.19
赫伯特	5.98	3.80	3.84	3.88	3.99	4.01	4.04	4.16	4.36	4.48	5.27
桑切斯	5.70	3.60	3.81	3.82	3.90	4.01	4.27	4.36	4.43	4.45	5.13
莫里	5.86	3.81	3.82	3.84	3.90	4.03	4.06	4.27	4.32	4.42	5.21
為末大	5.74	3.62	3.69	3.83	4.00	4.04	4.14	4.29	4.57	4.59	5.38
卡特	5.78	3.72	3.76	3.84	3.96	4.08	4.12	4.36	4.40	4.60	5.42
賈努斯	5.98	3.88	3.8	3.84	3.96	4.16	4.2	4.28	4.56	4.52	5.26

註一：A；S-H1，B；H1-H2，C；H2-H3，D；H3-H4，E；H4-H5，F；H5-H6，G；H6-H7，H；H7-H8，I；H8-H9，J；H9-H10，K；H10-F。

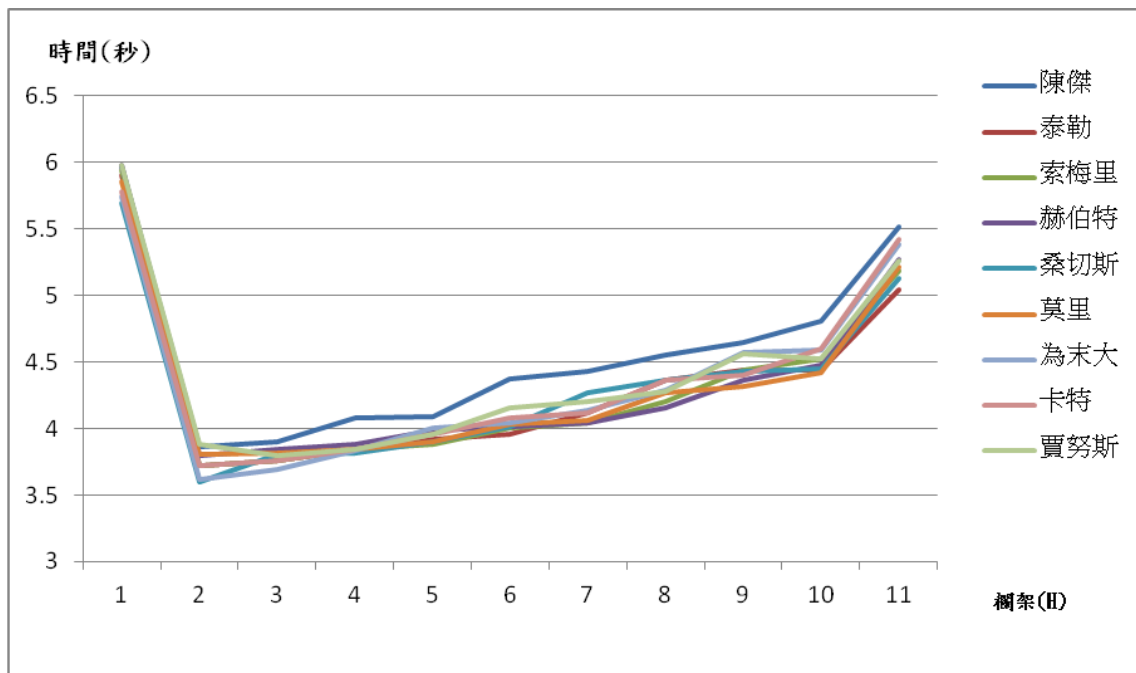


圖 4-1 陳傑與國外選手參加各項比賽各欄間時間

二、欄間步數

從表 4-5 分析可知，9 名選手每個欄間跑節奏不盡相同，以兩種步數組合方式的有 6 名選手，分別是泰勒、索梅里、赫伯特、莫里、卡特、賈努斯，以三種步數組合方式的有 3 名選手，分別是陳傑、桑切斯、為末大。在起跑到第一個欄架的步數統計中，除了為末大一個人採用 20 步以外，其他包括陳傑、泰勒、索梅里、桑切斯及卡特採用 21 步，剩下三位選手均採用 22 步，值得一提的是，以日本選手為末大的身高並不比其他幾位選手來的高大，卻能有效運用髖關節活動範圍及推蹬能力，才能用 20 步跑出 5.74 秒，在全部選手排名第二。從圖 4-2 發現，在第一欄間至最後一欄間，九名優秀選手皆採用左右腳都能起跨過欄的技術，由此可知，400 公尺跨欄在後半段時利用增加步頻來取代因為體能的消耗而造成的速度下

降。因此說，在400公尺跨欄的訓練中，選擇真正適合選手個別化條件的欄間節奏的組合方式，也是幫助優秀選手取得優異成績的重要條件之一。

表 4-5 陳傑與國外選手參加各項比賽各欄間步數

姓名	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
陳傑	21	13	13	13	13	14	14	15	15	15	18
泰勒	21	13	13	13	13	13	13	14	14	14	18
索梅里	21	13	13	14	13	13	13	13	13	14	18
赫伯特	22	14	14	14	14	14	14	15	15	15	19
桑切斯	21	13	13	13	13	13	14	14	15	15	18
莫里	22	14	14	14	14	14	14	15	15	15	19
為末大	20	13	13	13	13	14	14	15	15	15	19
卡特	21	13	13	13	13	13	14	14	14	14	19
賈努斯	22	14	14	14	14	14	14	14	15	15	19

註：A；S-H1，B；H1-H2，C；H2-H3，D；H3-H4，E；H4-H5，F；H5-H6，G；H6-H7，H；H7-H8，I；H8-H9，J；H9-H10，K；H10-F。

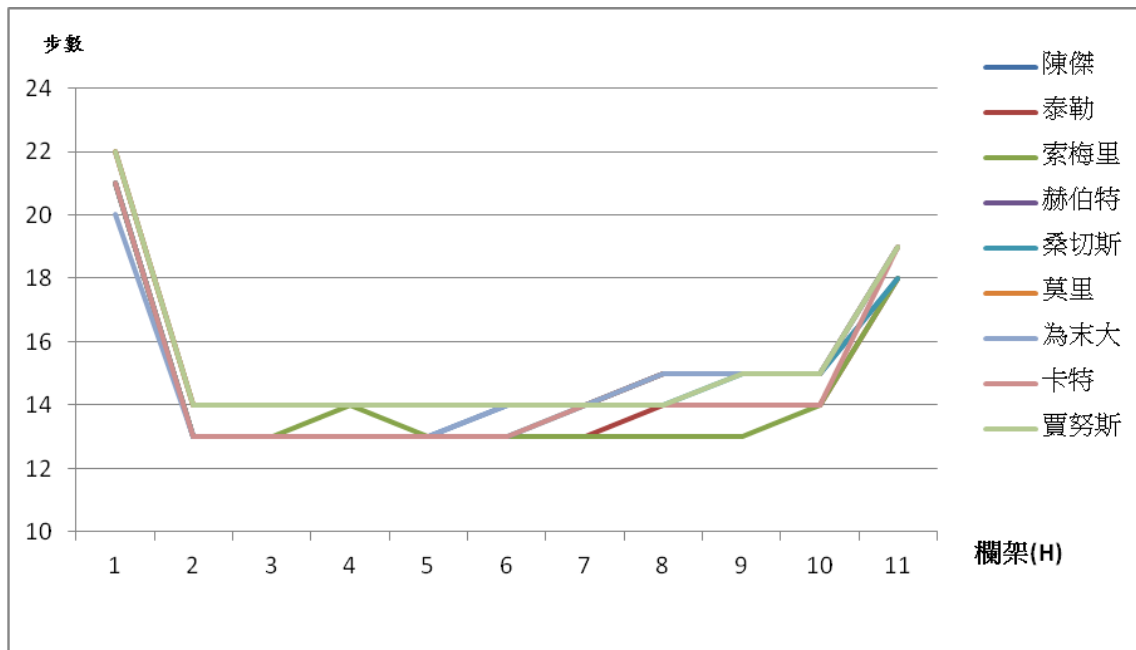


圖 4-2 陳傑與國外選手參加各項比賽各欄間步數

三、欄間速度、欄間步頻

從表 4-6、4-7 來看，在步數相同的情況之下，所呈現出來的是步頻快慢的差異，符合過去劉淑華（2006）針對短跑選手步幅、步頻之相關研究理論相同，比較陳傑選手與國外選手，後三個欄間段使用 15 步，包含陳傑共有四名選手，其中發現陳傑選手在使用 15 步的欄間步頻，所花得時間比其他三名選手長，此最後階段表現出，陳傑選手後段衝刺能力較為不足，導致步頻變慢，速度無法維持。

表 4-6 陳傑與國外選手各欄間速度(公尺/秒)

姓名	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
陳傑	7.54	9.07	8.97	8.58	8.56	8.01	7.90	7.69	7.53	7.28	7.25
泰勒	7.63	9.41	9.31	9.11	8.93	8.84	8.50	8.03	7.88	7.88	7.94
索梅里	7.58	9.41	9.31	9.11	9.02	8.75	8.66	8.33	7.88	7.74	7.71
赫伯特	7.53	9.21	9.11	9.02	8.77	8.73	8.66	8.41	8.03	7.81	7.59
桑切斯	7.89	9.72	9.19	9.16	8.97	8.73	8.20	8.03	7.90	7.87	7.80
莫里	7.68	9.19	9.16	9.11	8.97	8.68	8.62	8.20	8.10	7.92	7.68
為末大	7.84	9.67	9.49	9.14	8.75	8.66	8.45	8.16	7.66	7.63	7.43
卡特	7.79	9.41	9.31	9.11	8.84	8.58	8.50	8.03	7.95	7.61	7.38
賈努斯	7.53	9.02	9.21	9.11	8.84	8.41	8.33	8.18	7.68	7.74	7.60

註：A；S-H1，B；H1-H2，C；H2-H3，D；H3-H4，E；H4-H5，F；H5-H6，G；H6-H7，H；H7-H8，I；H8-H9，J；H9-H10，K；H10-F

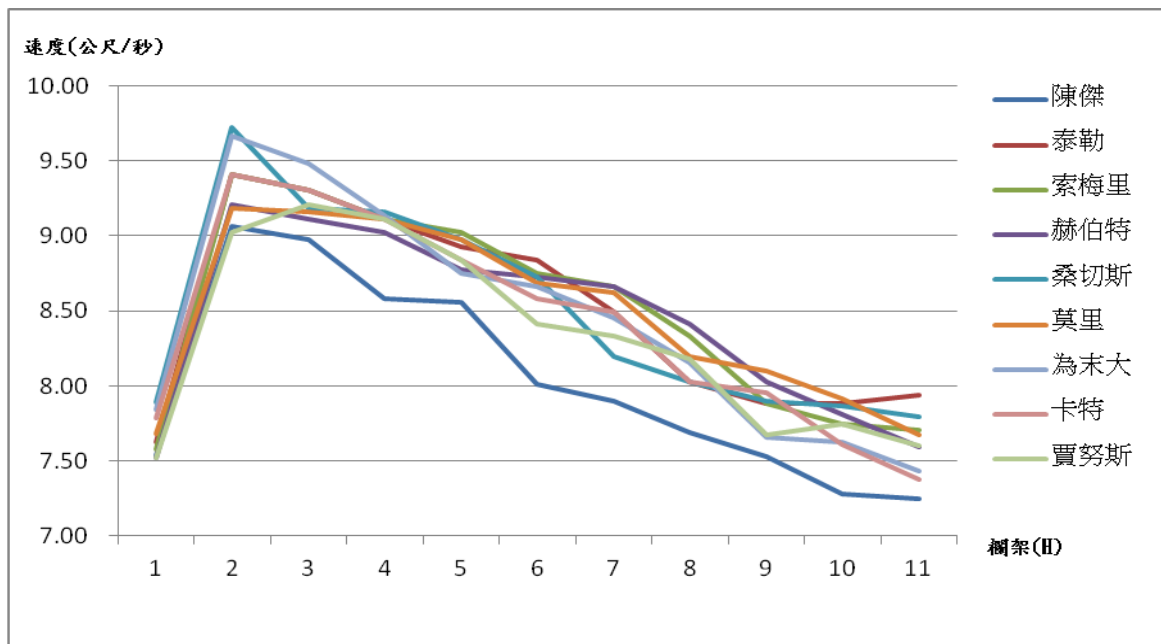


圖 4-3 陳傑與國外選手各欄間速度(公尺/秒)

表 4-7 陳傑與國外選手各欄間之步頻(步/速度)

姓名	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
陳傑	3.52	3.37	3.33	3.19	3.18	3.20	3.16	3.30	3.23	3.12	3.26
泰勒	3.56	3.49	3.46	3.39	3.32	3.28	3.16	3.21	3.15	3.15	3.57
索梅里	3.54	3.49	3.46	3.65	3.35	3.25	3.22	3.10	2.93	3.10	3.47
赫伯特	3.68	3.68	3.65	3.61	3.51	3.49	3.47	3.61	3.44	3.35	3.61
桑切斯	3.68	3.61	3.41	3.40	3.33	3.24	3.28	3.21	3.39	3.37	3.51
莫里	3.75	3.67	3.66	3.65	3.59	3.47	3.45	3.51	3.47	3.39	3.65
為末大	3.48	3.59	3.52	3.39	3.25	3.47	3.38	3.50	3.28	3.27	3.53
卡特	3.63	3.49	3.46	3.39	3.28	3.19	3.40	3.21	3.18	3.04	3.51
賈努斯	3.68	3.61	3.68	3.65	3.54	3.37	3.33	3.27	3.29	3.32	3.61

註：A；S-H1，B；H1-H2，C；H2-H3，D；H3-H4，E；H4-H5，F；H5-H6，G；H6-H7，H；H7-H8，I；H8-H9，J；H9-H10，K；H10-F

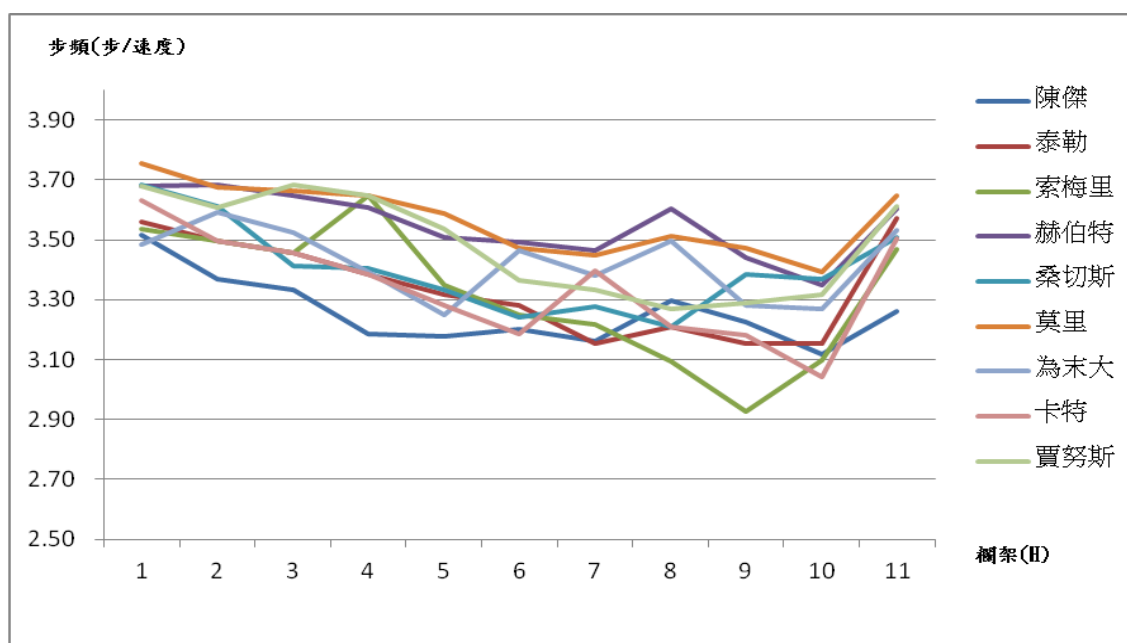


圖 4-4 陳傑與國外選手各欄間步頻(步/速度)

第三節 陳傑選手與世界優秀選手起跑出發階段、 欄間階段、終點階段速度、步數、步頻與成績之分析

一、起跑出發階段

起跑出發階段對於短跑項目而言，無論是生理、心理方面，在最終成績和比賽勝負都具有相當大影響，400公尺跨欄不像110公尺跨欄對於起跑反應速度要求高，加上400公尺跨欄優秀選手加速能力距離較長，因此該階段與最終成績的相關性相對較低。與過去戴勇（2009）針對影響男子400公尺跨欄速度發揮研究指出，起跑至第一個欄架的速度與成績不存在顯著性相關，但是衝刺階段速度呈現負相關，起跑階段的過份加速是造成後段衝刺力缺乏的原因之一。從表4-8可知，從開始出發至第一個欄間各選手速度差異不大，最高是桑切斯（7.89公尺／秒），最低是赫伯特及賈努斯（7.53公尺／秒），其中陳傑排名第七位（7.54公尺／秒）似乎欄間速度是相當接近的，但事實並非如此，這一階段距離是45公尺，選手們保持了相同或是相近的速度，但是他們的能量消耗是不一樣的，對於400公尺跨欄選手來說，短跑水平越強就表示能具有更多的能量儲存，就可以消耗較少的能量來維持與別人相同和相近的速度，更有利於後段保持較高的速度，不至於速度下降過多。表4-8研究結果顯示，九名選手的全程跑中，速度最快出現在第一欄至第二欄間（平均9.35公尺／秒），且達顯著負相關（ $r=-0.553, p<.05$ ），與過去王瑩琪（2010）、森丘保典（2000）等人，針對優秀400公尺跨欄選手研究指出，選手在第一欄至第二欄出現最高速度有相同發現。從第一個

欄間至第三個欄間各選手步數差異不大，由此可見，選擇良好欄間步數，能有效發揮速度耐力的延續，速度耐力指運動中較長時間內肌肉收縮克服阻力的能力，對於周期性項目在後段保持速度非常重要。森丘保典（2000）等人指出，優秀400公尺跨欄選手欄間速度之分配情形，是以穩定的狀態，從起跑加速至維持高速跑，而後逐漸緩慢下降。在經歷前三個欄架的加速跑過後，選手本身的磷酸供能系統供能基本結束，轉而由糖酵解供能。糖酵解供能效率比較低，一般而言大部分選手速度都會下降，導致欄間節奏的轉換。

表 4-8 出發至第一個欄架各項數據

	陳傑	泰勒	索梅里	赫伯特	桑切斯	莫里	為末大	卡特	賈努斯
S-H1 速度	7.54	7.63	7.58	7.53	7.89	7.68	7.84	7.79	7.53
S-H1 步數	21	21	21	22	21	22	20	21	22
S-H1 步頻	3.52	3.56	3.54	3.68	3.68	3.75	3.48	3.63	3.68

表 4-9 出發至第一個欄架各項數據與成績之相關

	平均數	標準差	r 值
S-H1 速度	7.67	0.14	-0.399
S-H1 步數	21.22	0.67	-0.043
S-H1 步頻	3.61	0.09	-0.339

二、欄間階段

在欄間步數方面，影響成績好壞的因素是由於步幅大小或步頻快慢的關係，從表 4-10 得知，在第五個欄間前，9 名選手皆以高速最大步幅去完成欄間段，過去學者王西國與曲慶志（2006）指出，逐漸減少欄間跑的步數、提高欄間跑的速度，是提高 400 公尺跨欄成績行之有效的方法，本結果符合過去相關理論。隨著跑的距離增長，在通過第五欄後均不能保持較長的步幅，步數就會增加，這也表示欄間步數越多，欄間時間會越長，步數多寡是決定成績好壞其中之一的因素。在表 4-10 中發現，其中從第三欄間段開始到第十欄間段，七個欄間段皆出現負相關且達顯著，結果明顯看出，選手可能在前段合理的分配速度，在戰術上使用前段體能保留，將最後欄間段做為衝刺階段，維持速度為自己奪取勝利機會。由表 4-12 得知，依據總體步頻指數排序，由大至小分別是，步頻最快是莫里（3.58 步/s）、赫伯特（3.56 步/s）、賈努斯（3.49 步/s）、為末大（3.42 步/s）、桑切斯（3.41 步/s）、泰勒及卡特（3.35 步/s）、索梅里（3.32 步/s）、陳傑（3.26 步/s），

結合步數來判斷，莫里，赫伯特及賈努斯是採用高步頻模式的跑法，其餘的選手皆是總步數在165步以下的中步頻模式跑法，由此可見，高步頻模式欄間節奏表現步幅小、步數多，使得欄間節奏的步頻也比較快，每一欄間步頻差距小，而中步頻模式欄間節奏特徵步幅大，欄間步頻維持速度，使得欄間節奏控制度要得宜，避免因步數的調整造成欄間節奏速度差異過大，陳傑選手在總步數164步、平均步頻（3.26步/s），從步頻表現方面來看，相較國外選手欄間步頻偏慢，步頻數值波動較大，這樣的節奏，對於體能的消耗較大，是否能跑進48秒，提升此階段的問題，似乎是關鍵的所在。

表 4-10 欄間跑階段欄間速度與比賽成績之相關

	平均數	標準差	r 值
比賽成績	48.05	0.88	
欄間步頻			
H1-H2	9.35	0.25	-0.553
H2-H3	9.23	0.15	-0.592
H3-H4	9.05	0.18	-0.923*
H4-H5	8.85	0.14	-0.859*
H5-H6	8.60	0.25	-0.978*
H6-H7	8.42	0.25	-0.785*
H7-H8	8.12	0.21	-0.703*
H8-H9	7.85	0.19	-0.743*
H9-H10	7.72	0.20	-0.898*

* $p < .05$

表 4-11 欄間跑階段步數與比賽成績之相關

	平均數	標準差	r 值
比賽成績	48.05	0.88	
欄間步頻			
H1-H2	13.33	0.50	-0.104
H2-H3	13.33	0.50	-0.104
H3-H4	13.44	0.53	-0.239
H4-H5	13.33	0.50	-0.104
H5-H6	13.56	0.53	0.448
H6-H7	13.78	0.44	0.347
H7-H8	14.33	0.71	0.36
H8-H9	14.56	0.73	0.315
H9-H10	14.67	0.50	0.309

表 4-12 欄間跑階段步頻與比賽成績之相關

	平均數	標準差	r 值
比賽成績	48.05	0.88	
欄間步頻			
H1-H2	3.56	0.10	-0.628
H2-H3	3.51	0.12	-0.368
H3-H4	3.48	0.17	-0.578
H4-H5	3.37	0.14	-0.424
H5-H6	3.33	0.12	-0.323
H6-H7	3.32	0.12	-0.345
H7-H8	3.32	0.17	-0.021
H8-H9	3.26	0.17	-0.049
H9-H10	3.23	0.13	-0.316

三、終點階段

通過第十個欄間後，到終點距離為40公尺，此階段為決定勝負關鍵的一環。選手們經過跨越十個欄架的能量耗損，所能運用的力量已所剩無幾，最後一個欄架至終點的欄間速度、欄間步頻與最終成績達負相關且顯著，表示在最後加速過程中，衝刺速度的重要性，與過去徐佩菁（2000）提出此階段40公尺衝刺的重要性。從表4-13發現，在最終階段速度的呈現，陳傑的欄間速度（7.25公尺/s），與國外選手中最好的泰勒（7.94公尺/s）相比，明顯看出後段速耐力的差距，主要原因為國外選手都是跑進49秒的優秀選手，進入最後階段衝刺，表現的是選手耐乳酸能力。從運動生化角度來看，高強度持續刺激神經系統和乳酸堆積，造成肌肉疲勞導致速

度下降現象，此階段如果專項速耐力好，將對提高比賽成績和最後名次有相當大的關係，因此在表4-14得知該階段的速度及步頻與最終成績表現達到相關。

表 4-13 最後一個欄架至終點各項數據

	陳傑	泰勒	索梅里	赫伯特	桑切斯	莫里	為末大	卡特	賈努斯
S-H1 速度	7.25	7.94	7.71	7.59	7.8	7.68	7.43	7.38	7.6
S-H1 步數	18	18	18	19	18	19	19	19	19
S-H1 步頻	3.26	3.57	3.47	3.61	3.51	3.65	3.53	3.51	3.61

表 4-14 最後一個欄架至終點各項數據與成績之相關

	平均數	標準差	r 值
H10-F 速度	7.60	0.22	-0.750*
H10-F 步數	18.56	0.53	-0.145
H10-F 步頻	3.52	0.12	-0.761*

* $p < .05$

第四節 陳傑選手與世界優秀選手前後程階段欄間

速度、步數、步頻與成績之分析

400公尺跨欄是一項與眾不同且具有挑戰性的項目，400公尺跨欄需要有400公尺跑的能力，行徑間跨越欄架的能力和水平跳躍的動態視覺控制能力，跨欄跑中流暢而鮮明的節奏是良好技術的指標，也是選手提高成績的關鍵。對於速度耐力和力量耐力要求也很高，不具備良好的速度耐力和力量耐力水平是很難取得優異成績。跨欄選手要發揮速度的根本途徑是透過固定欄間步數和一定的欄間節奏在欄架間段來完成的。研究者試圖對於欄間節奏較為全面的分析，探索欄間節奏的概念，探討不同欄間模式對於400公尺跨欄成績的影響，找出準確可信的數據，進而掌握正確的欄間跑節奏。從表4-15得知，陳傑選手前後五個欄間時間差值為6.43秒，欄間步數差值為18步，與日本選手為末大相似（6.43秒、20步），相較其他優秀選手如泰勒、莫里和赫伯特，前後五個欄間時間差值幾乎都在5秒左右，欄間步數差值為14步以下，對於採用哪種欄間節奏最重要的是要在交換欄間步數節奏同時，保持速度，以保證步頻與步幅的平衡結合。林正常（1997）指出，此現象會使運動員在後半段更耗費體力，前後段的時間差距變大，影響運動員取得優異的成績。對於國內外優秀選手全程參數與成績相關分析，以及欄間速度利用率不同的選手的速度變化比較分析表明，如果前半程階段速度的優勢無法帶來整體速度的優勢，反而帶來對後半程速度更多的負面影響，所以前半程階段速度優勢對於成績的貢獻度在某一定程度上將失去意義。從表4-16、4-17整個欄間步數與步頻的變

化來看，欄間步頻的變化是影響後段欄間速度變化的主導因素，在整個欄間的多數時段中，步頻處於下降的過程，維持步頻的能力是保持全程欄間速度節奏的重要因素。

表 4-15 優秀選手前後程欄間各項數據

姓名	S-H5 欄間時間	H5-F 欄間時間	S-H5 欄間步數	H5-F 欄間步數
陳傑	21.9	28.33	73	91
泰勒	21.14	26.36	73	86
索梅里	21.14	26.39	74	84
赫伯特	21.49	26.32	78	92
桑切斯	20.83	26.65	73	89
莫里	21.23	26.31	78	92
為末大	20.88	27.01	72	92
卡特	21.06	26.98	73	88
賈努斯	21.46	26.98	78	91

表 4-16 出發至第五個欄架各項數據與成績之相關

	平均數	標準差	r 值
S-H5 速度	8.83	0.14	-0.819*
S-H5 步數	14.93	0.51	-0.122
S-H5 步頻	3.51	0.11	-0.525

* $p < .05$

表 4-17 第五個欄架至終點各項數據與成績之相關

	平均數	標準差	r 值
H5-F 速度	8.05	0.19	-0.945*
H5-F 步數	14.91	0.49	0.326
H5-F 步頻	3.33	0.12	-0.316

* $p < .05$

第五章 結論與建議

第一節 結論

本研究主要目的為分析國內外優秀選手400M跨欄選手全程跑結構特徵之各欄間速度、步數、步頻及前後五欄分段速度，以探討各欄間節奏與成績間之相關，為國內教練及選手在日後訓練時參考或比賽之應用。所得結論如下：

一、陳傑選手400公尺跨欄歷年全程跑之運動表現特徵

有效減少全程跑步數是提升成績的途徑，目前以全程跑步數164步的欄間節奏去完成比賽，本次102年全國運動會400公尺跨欄決賽中，可能在國內比賽中其他選手較無法帶給陳傑較大的刺激張力，或是因為才剛轉換全程欄間步數造成節奏混亂，後半段速度無法維持，成績才暫時無法提升。

二、陳傑選手與世界優秀選手全程跑之運動表現特徵

陳傑選手在第五欄間段，速度衰退過多，其他國外選手皆在較後段欄間，表示國外選手持續穩定加速的能力，較陳傑選手加速能力來的更長、更持續，而最快與最慢欄間差值，陳傑選手與國外選手莫里也差距0.34秒，在欄間速度與欄間節奏表現還不夠穩定並且合理。

三、陳傑選手與世界優秀選手出發階段、欄間階段、終點階段之運動表現特徵

1. 出發階段

400公尺跨欄優秀選手加速能力距離較長，對於良好的出發階段與最終成績的相關性較低，但選手的出發技術良好，在比賽一開始就取得領先位置，會使選手在心理層面

佔有一定的優勢。

2. 欄間階段

從第一欄間至第三欄間各選手的欄間步數差異不大，表示在前半段欄間選手們有效減少欄間步數，來提高且維持速度，能有效發揮速度耐力的延續，而發生較大的欄間速度的差值，幾乎會在欄間節奏轉換的時刻，換句話說，就是利用多了一步步數，提升步頻來維持速度，這樣對於選手來說，是需要較多的時間訓練與多次比賽的經驗，去克服步數增加、步頻加快且速度能夠維持。

3. 終點階段

此階段速度及步頻對於最終成績有達顯著，表示最後終點階段必須採用步頻快的方式衝向終點，衝刺階段關係著最終成績的好壞。因此，保持最後終點階段速度的能力取決於肌體耐乳酸能力的高低。

四、陳傑選手與世界優秀選手前後程階段之運動表現特徵

選手們能夠充分發揮本身速度水平的重要技術因素，是否能合理控制起跑加速階段的速度和欄間最大速度，保持全程欄間速度節奏的平穩性最為重要。前半程階段欄間速度以高速且放鬆去完成，後半程階段欄間速度以維持速度克服乳酸堆積為首要目標。

第二節 建議

- 一、有效率減少全程欄間步數是提升成績的捷徑，針對個人專項能力與身材條件，應嘗試不同的欄間節奏，調整出適合發揮水平速度的欄間節奏。
- 二、保持最高速度階段和最終階段所需要的速度耐力和專項耐力是決定陳傑選手現階段突破成績的重要因素。
- 三、陳傑選手與國外優秀選手之關鍵差異，在於起跑後到第三欄間速度下降，由於欄間節奏無法穩定，使得前段消耗太多體力，若能發揮較長的加速距離，提升高強度速度耐力，維持後段欄間步頻的能力，成績一定會有所提升。
- 四、將400公尺跨欄不同的段落劃分是分析選手速度和專項耐力的重要指標，將更有利於教練、選手訓練，比賽時的成績設定和訓練安排。並且經過比賽的反覆磨練，才能根據個人特點調整出最適合欄間節奏。

參考文獻

一、中文部分：

- 王西國、曲慶志（2006）。影響男子 400 米跨欄成績的主要原因分析。《濟南職業學院學報》，3，93-94。
- 王建峻、吳錦雲、張宏文（1998）。體育系男女學生 400 公尺配速之教學研究。《藝術學報》，63，249-256。
- 王港，徐向軍（1997）。《跨欄》，北京，人民體育出版社。
- 王瑩琪（2010）。影響男子 400 米跨欄跑成績的主要因素。《田徑》，4，34-35。
- 王敏姿（2012）。我國女子 400M 跨欄選手之全程跑結構特徵之分析。未出版碩士論文，台灣體育運動大學，臺中市。
- 田中原（2003）。世界男子 400 米欄比賽節奏的模式研究。《瀋陽體育學院學報》，2，103-105。
- 司鵬巧、史東林（2000）。400 公尺跨欄節奏的掌握和控制。《河北體育學院》，14(2)，25-30，93-94。
- 庄明謙、楊磊（2001）。高校女子 400M 跨欄運動員欄間節奏的探討。《體育科技》，22(1)，21-23。
- 林正常（1997）。《運動生理學》。臺北，師大書苑。
- 范春來、羅永生（2001）。400M 欄間跑技術不容忽視的兩個重要因素。《哈爾濱體育學院學報》，19(3)，97-98。
- 郭潔民、張凱（2007）。400M 跨欄跑的成績與節奏相關關係的研究。《湖北體育科技》，26(3)，285-287。
- 許樹淵（1992）。《田徑論》。臺北市：偉彬體育研究社。

- 徐佩菁 (2000)。男子400公尺欄。未出版碩士論文，國立體育學院，桃園縣
- 夏健松，金紅珍 (2004)。優秀男子400M欄運動員全程技術的運動學分析。湖北體育科技，23(3)，344-346。
- 陳志強 (2004)。400M欄運動特徵的分析和評價研究。中國體育科技，40(2)，15-19。
- 劉巍、付凱、袁吉 (2008)。我國優秀400M欄運動員欄間技術的生物力學判斷。武漢體育學院學報，42(12)，77-79。
- 劉淑華 (2006)。短跑選手步幅、步頻與平均速度之相關研究。輔仁大學體育學刊，5，171-184。
- 戴勇 (2008)。黃瀟瀟與世界優秀女子運動員400M欄的技術參數比對分析。體育學刊，15(4)，88-91。
- 潘瑞根 (2002)。短跑訓練實務。未出版之碩士論文技術報告書，國立體育大學。
- 謝旭東 (2007)。現代男子400M欄跑速度分配的特徵研究。體育科技，28(2)，28-30。
- 叢林，劉東方 (2008)。淺談提高400米欄成績途徑。田徑，4，4-6。
- 聶銀娣、張正 (1998)。淺談男子400M欄欄間跑節奏與運動成績關係。武漢體育學院學報，1。

二、日文部分：

- 森丘保典、山田正明、松尾彰文、岡田英孝、阿江通良、小林寬道 (2000)。陸上競技男子400mハードル走における速度變化特性と紀錄との關係：内外一流選手のレースパターン

ンの分析から。 *體育學研究* , 45 , 414-421。

三、英文部分：

Clarke, T. E., Cooper, L. B., Hamill, C. L., & Clarke, D. E.
(1985). The effect of varied stride upon shank
deceleration in running. *Journal of Sports Science*, 3,
41-49.

Hubbard A. W.(1995). An Experimental Analysis of Certain
Fundamental Difference Between Trained and
Untrained Runners, *Research Quarterly for Exercise
and Sport*,10(3),28-38.

Hay,J. G.(1993).*The Biomechanics of Sports Techniques(4th
ed.)*.Englewood Cliffs,NJ:Prentice Hall.

Kunz, H. & Kaufmann, D. A. (1981) . Biomechanics Analysis
Of Sprinting. Decachletes Versus Champions. *British
Journal of Sports Medicine*, 15, 117-181.