

國立臺灣體育運動大學競技運動學系

碩士學位論文

我國女子 400M 跨欄選手之全程跑結構特徵分析

ANALYSIS ON THE STRUCTURAL CHARACTER OF
THE WHOLE PROCESS OF THE TAIWAN'S FEMALE
400M HURDLERS ATHLETES



研 究 生：王 敏 姿 撰

指 導 教 授：林 華 韋 教 授

中 華 民 國 101 年 6 月

論文名稱：我國女子 400M 跨欄選手之全程跑結構特徵分析

總頁數：49 頁

院校組別：國立臺灣體育運動大學競技運動學系碩士班

畢業時間及提要別：100 學年度第 2 學期碩士學位論文提要

研究生：王敏姿

指導教授：林華章教授

中文摘要

本研究目的為分析我國女子 400M 跨欄選手全程跑結構特徵之各欄間速度、步數、步頻及三個分段速度、分段速度遞減率，並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。本研究以 2010 年國際田徑邀請賽參加女子組 400 公尺跨欄之全程跑過程中，錄取預賽、決賽成績 70 秒內之國內十名選手為研究對象。利用 10 部 SONY 數位攝影機，拍攝全程跑比賽情形，擷取選手從起跑開始至越過終點線之跑步動作畫面，並參考官方網站所提供正式成績紀錄表，作為本研究原始成績之依據。在實驗完成後，透過 KWON 3D 動作分析系統進行數據處理。將所得運動學參數藉由 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、速度遞減率之相關數據並深入分析。研究結果如下：一、起跑至第一欄、第二欄至第八欄及第九欄至第十欄之欄間步數與成績達顯著相關，顯示我國選手逐漸減少欄間步數，是提升成績關鍵之一。二、本研究發現第九欄至第十欄之欄間步頻與比賽成績達顯著相關，說明我國選手欄間節奏特徵容易有忽然加快步頻、步幅縮減現象，使得欄間跑的節奏不穩定，比賽成績隨之增長。三、起跑至第十欄之欄間速

度與成績皆達顯著負相關，亦即欄間速度越快，成績會越好，特別是在起跑至第二欄與第四欄至第七欄階段，選手的起跑加速與維持高速跑能力是欄間跑階段影響成績之關鍵所在。四、前、中、後三個分段速度與成績皆達顯著負相關，顯示三個分段速度皆影響比賽成績，特別是中段速度（第五欄至第八欄）影響比賽成績關係最大。五、前～中段分段速度遞減率高於中～後段分段速度遞減率，顯示我國選手速度分配不當，前半段速度快，但無法維持高速跑，使得後半段速度大幅下降。

關鍵詞：400 公尺跨欄、欄間節奏、欄間步數、速度變化

Abstract

The purpose of the study was to analysis the velocity of each hurdles, strides of each hurdles, stride frequency of each hurdles, three sections of velocity and section rates of deceleration. Discuss the correlation between the tempo of each hurdles and the velocity variation with the final results of Taiwan female athletes of 400m hurdles. The Subjects were ten female athletes of 400 m hurdles in Taiwan who passed the elimination and final in 70 seconds over the entire race in 2010 Taipei International Invitational Athletics Tournament. Ten Digital Video Camera Recorders to capture running motion from start to pass the finish line, and compared with official website providing formal racing forms, all of which were as the basis of the raw scores of the study. Kwon 3D Motion Analysis System was used to digitize the parameters. Microsoft Excel 2003 software was used to calculate the strides of each hurdles, stride frequency of each hurdles, velocity of each hurdles, velocity of each sections and section rates of deceleration, significant level $p < .05$. The results were as follows: 1. the strides of each hurdles from start to the first, to the second, to the eighth and to the ninth were all reach the significant level with the race results. 2. stride frequency from hurdle eighth to ninth was reach the significant level with the race results. 3. velocity of each hurdles form start to the tenth hurdle was shown negative correlation and reach the significant level with the race results. 4. section velocity of front, middle and after were shown negative correlation and reach the significant level with the race result

Key words: 400m hurdles, tempo of each hurdles, stride frequency of each hurdles, velocity variation

誌 謝

本論文能夠順利完成，特別感謝我的指導教授林華韋教授三年來的悉心指導與關懷。並承蒙張立羣教授的教導與指引，吳鴻文教授、林槐庭教授的批閱斧正，提供許多寶貴建議，使本論文更趨完善，在此至上由衷的感謝。感謝國立臺灣體育運動大學給予學習與再成長的機會，讓學生更充實了運動訓練實務與運動科學理論的學習。

從事田徑運動十餘年，特別感謝陳谷豐教練、林惠珍教練及陶武訓教練的教導與關懷，在學期間所上的師長李海吟老師的照顧與協助，你們的鼓勵使我備感溫馨。研究期間，感謝徐佩菁教練提供的技術報告書，羿蓁、玫璇、鴻均、李灝、憲輝、宗益在學業上的幫忙與協助。感謝實驗拍攝時，偉達、姿含、郁慧等學弟妹們的幫忙，在此一併致上我最誠摯的謝意。

最後謹以畢業的喜悅分享給摯愛的父母與家人，感謝你們始終在背後默默支持我、經常打電話來幫我加油打氣，還有曾經教導及幫助過我的人，沒有你們不會有今天小小的成就，願以此論文獻給我身邊所有的師長與親友，與你們共同分享這份成果！

敏姿 謹致

目 錄

中文摘要	I
英文摘要	III
誌 謝	IV
目 錄	V
表目錄	VII
圖目錄	VIII
第一章 緒論	1
第一節 研究背景	1
第二節 研究動機	3
第三節 研究目的	6
第四節 研究假設	6
第五節 研究範圍	6
第六節 操作性定義	7
第二章 文獻探討	8
第一節 400公尺跨欄間節奏之相關性研究	8
第二節 400公尺跨欄速度變化與體能分配之相關性研究	12
第三節 文獻總結	14
第三章 研究方法與步驟	16
第一節 研究方法	16
第二節 實驗流程	17
第三節 資料處理與分析	20
第四章 結果與討論	22
第一節 出發階段之運動表現特徵	25
第二節 欄間跑階段之運動表現特徵	27

第三節	終點衝刺階段之運動表現特徵.....	33
第四節	全程跑之運動表現特徵.....	34
第五章	結論與建議.....	44
第一節	結論.....	44
第二節	建議.....	45
參考文獻.....		47
中文文獻.....		47
日文文獻.....		48
英文文獻.....		49

表目錄

表 1	我國女子 400 公尺跨欄歷年十傑成績.....	3
表 2-1	受試者基本資料一.....	16
表 2-2	受試者基本資料二.....	16
表 3	攝影機拍攝之範圍.....	18
表 4	受試者身高與比賽成績.....	22
表 5-1	受試者各欄間時間.....	23
表 5-2	受試者之各欄間速度.....	24
表 5-3	受試者之各欄間步數.....	24
表 5-4	受試者欄間跑階段之步頻.....	25
表 5-5	受試者出發階段之各項數據.....	27
表 5-6	受試者出發階段各項數據與比賽成績之相關.....	27
表 5-7	受試者各欄間速度與比賽成績之相關.....	28
表 5-8	受試者欄間跑階段步數與比賽成績之相關.....	32
表 5-9	受試者欄間跑階段步頻與比賽成績之相關.....	33
表 5-10	受試者終點衝刺階段之速度.....	34

表 5-11	終點衝刺階段速度與比賽成績之相關.....	34
表 6-1	前四名選手各欄間速度與比賽成績之相關.....	35
表 6-2	前四名選手各欄間步數與比賽成績之相關.....	36
表 6-3	前四名選手各欄間步頻與比賽成績之相關.....	36
表 6-4	後四名選手各欄間速度與比賽成績之相關.....	37
表 6-5	後四名選手各欄間步數與比賽成績之相關.....	37
表 6-6	後四名選手各欄間步頻與比賽成績之相關.....	38
表 7	受試者起跑至第十欄之欄間步頻平均.....	39
表 8	受試者之各分段速度及速度遞減率.....	41
表 9	我國與世界級選手之分段速度與分段速度遞減率.....	42

圖目錄

圖 1	實驗場地佈置圖.....	18
圖 2	實驗流程圖.....	19
圖 3	前段、中段、後段之分段圖.....	21
圖 4-1	A 選手之欄間速度曲線圖.....	29
圖 4-2	B 選手之欄間速度曲線圖.....	29
圖 4-3	C 選手之欄間速度曲線圖.....	29
圖 4-4	D 選手之欄間速度曲線圖.....	29
圖 4-5	E 選手之欄間速度曲線圖.....	30
圖 4-6	F 選手之欄間速度曲線圖.....	30
圖 4-7	G 選手之欄間速度曲線圖.....	30
圖 4-8	H 選手之欄間速度曲線圖.....	30
圖 4-9	I 選手之欄間速度曲線圖.....	30

圖 4-10	J 選手之欄間速度曲線圖.....	30
圖 5	我國與世界級選手分段速度曲線圖.....	43
圖 6	我國與世界級選手分段速度遞減率曲線圖.....	43

第一章 緒論

第一節 研究背景

跨越障礙物是人類在長期生產以及與自然鬥爭中所形成的一種基本的生活技能。田徑運動的跨欄跑，是由跨越障礙物的基本技能，發展演變而來。跨欄運動起源於 17~18 世紀的英國，至今已有一百多年歷史。男、女的發展時期也有不同，大約在 20 世紀初才開始興起女子跨欄運動。隨著跨欄跑的發展與演進，跨欄項目也隨之增多。1900 年奧運會上首次出現男子 400 公尺跨欄項目，第一名由美國選手 Walter Tewksbury 獲得，成績為 57.60 秒。女子 400 公尺跨欄的發展比較晚，1974 年由波蘭運動員 Krystyna Kacperczyk 創下第一個女子 400 公尺跨欄的電動計時世界紀錄 56.51 秒。奧運列為正式比賽項目是在 1984 年的第 23 屆奧運會上，當時的欄高為 76.2 公分，欄間距離 35 公尺，全程 10 個欄，金牌由當時就讀於美國愛荷華州立大學 (Iowa State University) 的摩洛哥籍選手 Nawal El Moutawakel 所獲得，她以 54.61 秒的成績創造了第一次女性 400 公尺跨欄的奧運會紀錄 (許樹淵，1992)。

近年來，競技運動不斷挑戰人體極限，現代跨欄跑趨向有系統的科學化訓練。隨著跨欄技術的改進，運動員的水準越來越高，國際比賽的成績也十分接近，為了充足的發揮自我潛力，運動員開始要求比賽中的所有環節，無論是全程跑的戰術結構，或是跨欄技術特徵，都是提昇跨欄選手比賽成績的關鍵所在。目前世界級優秀女子 400 公尺跨欄運動員的專項技術和專項素質之間的差距越來越小。根據目前國內外

文獻資料，影響 400 公尺跨欄成績的主要因素為平跑速度、跨欄技術及欄間節奏（王西國、曲慶志，2006）。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。綜觀現今世界優秀女子 400 公尺跨欄運動員的 400 公尺成績與 400 公尺跨欄成績，大約相差 1.5~5 秒左右（王炳花，2008），其說明欄間節奏與全程速度變化在比賽戰術上佔有其很大重要性。

在世界跨欄運動技術水準和運動成績不斷提高的過程中，我國女子 400 公尺跨欄選手的比賽成績卻是呈現停滯甚至下降的趨勢。查閱我國女子 400 公尺跨欄歷年十傑的成績，自 1984 就已有 58~59 秒的成績紀錄（表 1）。1998 年 12 月 14 日的曼谷亞運會上，我國女子 400 公尺跨欄好手徐佩菁，更創造了 55.71 秒的全國紀錄，直至今日無人能突破。現今女子 400 公尺跨欄世界紀錄由俄羅斯選手 Yuliya Pechonkina 保持，她在 2003 年世界田徑錦標賽創下 52.34 秒的優異成績。亞洲地區目前最佳紀錄，由中國選手韓青和宋英蘭共同保持的 53.96 秒紀錄，相較之下我國與世界或亞洲區的水準仍有明顯差距。如何透過科學化的訓練方法，使 400 公尺跨欄選手能有效發揮身體能力，進而邁向高水準的運動表現，這都是對於日後是否能提升我國跨欄運動成績，相當重要迫切的課題。

表 1 我國女子 400 公尺跨欄歷年十傑成績表

順序	運動員	成績	時間（比賽名稱）	地點
1	徐佩菁	55.71	1998 年（亞洲運動會）	曼谷
2	范敏華	58.22	1999 年（全國運動會）	桃園
3	賴利嬌	58.54	1984 年（第 23 屆奧運）	洛杉磯
4	張芬華	58.62	1987 年（亞洲賽）	新加坡
5	潘秀蘭	59.18	1995 年（全大運）	鳳山
6	王佩薰	59.28	1994 年（區中運）	豐原
7	鄭妃汝	59.56	1985 年（全國中正盃）	宜蘭
8	周雅淳	59.62	1997 年（亞青賽）	曼谷
9	王欣欣	59.71	1994 年（全國中正盃）	桃園
10	王敏姿	60.16	2006 年（全大運）	雲林

來源：中華民國田徑協會官方網站

第二節 研究動機

女子 400 公尺跨欄是一項連續跨越障礙快速跑的非對稱週期性項目。全程跑中需跨越每隔 35 公尺置放高 76.2 公分的十個欄架，選手須以高速跑的能力，及優異的跨欄技術水準跑完全程。在全程跑過程中，常有出現速度分配不均導致後半段出現體力下降影響成績的情況，因此如何有效運用身體素質以維持步幅和速度，選手必須要有很高的戰術策略。徐佩菁（2000）認為，跨欄跑的戰術就全程跑而言，運動員的速度感和節奏感很重要，具備了這方面的能力，才能有好的成績。在運動員訓練水準及專項技術不斷地提升中，完善的欄間節奏和速度分配愈來愈受到重視。400 公尺跨欄屬於

人體極限項目之一，徐佶與黃群輝（1995）說明全程的速度分配、各欄間的速度發揮和利用程度，以及各欄間與全程的節奏在訓練和比賽中極為重要。

運動科學不斷的進步，電子科技已廣泛運用到運動領域的各層面，人們對跨欄跑技術的要求越來越細緻，有研究證明欄間跑的節奏是影響跨欄跑成績的主要因素。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，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。在近二十年的研究結果發現，400公尺跨欄在欄間節奏已有很大的改進，目前欄間跑的步數有減少的趨勢，世界優秀女子運動員大多採用15~17步（翁志成，2006）。但我國運動員普遍是採用17~19步。為了瞭解我國優秀運動員與世界級運動員的差距，研究運動員的欄間節奏特徵與成績間的關係，為本研究動機之一。

掌握欄間節奏須考慮到全程跑的速度和體能分配。森丘保典等（2000）認為在持續高速跑的競賽種類裡，如何分配全程跑速度，使得能夠有效率的使用能量，是獲得優異成績的關鍵所在。運動員體能的分配與運動員在400公尺跑中的速度有密切相關，運動員會隨著速度的變化而形成在時間上的差別（秦永祥、劉超，2009）。依據能量供能特點，磷化物系統(ATP-CP)是人體體能輸出功率最高的供能系統，在人體體能中所占的比率為20%~25%；醱酵解系統(乳酸系統)為400公尺跑的主要供給身體能量來源，具有供能時間長、在

人體缺氧狀態下產生能量供人體使用的特點，約占人體體能的比率 75% 左右；而有氧系統的供能在 400 公尺項目中則較少，只占人體體能的 5% 左右（秦永祥、劉超，2009）。

400 公尺跨欄與 400 公尺相同，皆是以 ATP-CP 及醱酵解乳酸系統為供應能源，但因途中多跨十個欄架，林正常(1997)指出，若沒有合理的分配速度，容易導致後半段體力不足出現小碎步現象，這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。世界優秀選手都是採用平穩加速的方式維持最大極限的速度，從而有效的提高速度利用率，減少速度的下降（徐佶、黃群輝，1995）。400 公尺跨欄的前半段成績會好於後半段的成績，但後半段的成績越好，全程跑的成績就會越好。森丘保典等（2000）也利用速度下降率分析出 400 公尺跨欄運動員在比賽中各段落之速度變化情形，使得在跨欄跑的訓練中起了重要的作用。為了幫助運動員與教練有效建立訓練方法，從 400 公尺跨欄全程跑的分段速度變化，探討選手體能分配的情形，是本研究動機之二。

筆者在 11 年來的選手生涯中，深刻體會到 400 公尺跨欄全程跑不能只靠單一體能素質完成，不穩定的欄間節奏或不合理的體能分配，均為影響獲得優異成績的關鍵所在。與同儕在參賽及互相討論中，發現國內許多選手時常在比賽中無法維持固定的節奏，往往一昧的加快平跑速度，卻忽略仍有許多技戰術的思考。進一步認識如何掌握自己的比賽戰術是奠定勝利的基礎。綜觀近幾年的研究文獻，針對我國女子 400 公尺跨欄優秀選手全程跑特徵方面之相關研究仍較缺乏。本研究以蒐集 2010 年國際田徑邀請賽女子 400 公尺跨欄比賽運

動學參數，分析選手在比賽中，不同欄間步數、欄間時間的差異情形與速度變化與成績之間的關係；並參考森丘保典等（2000）之研究方法，來探討分段速度變化情形，使選手或教練能藉由所得結果，找出在全程跑節奏中的最佳模式，進而提升成績。

第三節 研究目的

本研究目的主要是以國內女子 400 公尺跨欄選手為研究對象，分析 400 公尺跨欄全程跑結構特徵中之各欄間速度、步數、步頻及三個分段速度、分段速度遞減率；探討選手各欄間節奏及分段速度變化情形，期望能為選手提供有效的比賽模式及對成績的提升有所助益。

第四節 研究假設

本研究假設如下：

- 一、選手各欄間速度與成績有顯著相關。
- 二、選手各欄間步數與成績有顯著相關。
- 三、選手各欄間步頻與成績有顯著相關。
- 四、選手之速度遞減率與成績有顯著相關。

第五節 研究範圍

本研究範圍以 2010 年國際田徑邀請賽女子組 400 公尺跨欄之預賽、決賽成績 70 秒內之國內十名選手，全程跑比賽過程中，各欄間時間及步數進行分析。由於本研究目的主要是針對 400 公尺跨欄全程跑結構特徵分析，因此不對選手的跨欄技術做深入探討。本實驗主要拍攝選手比賽情形，攝影機

架設於比賽場地之看台上，僅能以其拍攝影片加以分析。研究探討只限於選手之比賽時表現，亦即全程跑之各運動學參數及成績資料。其他如選手本身之身體狀況、自然溫度、濕度及風速等自然的因素則不在本研究之研究範圍內。

第六節 操作性定義

- 一、欄間節奏：由運動員全程跑的時間、欄間跑的步數、欄間跑的步頻及每個跨欄步的動作特徵表現。
- 二、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。
- 三、起跑至第一欄步數：從起跑第一步開始計算到跨過欄架著地前的步數。
- 四、欄間時間：跨過欄架後著地瞬間時間至跨過下一個欄架之著地瞬間之間所使用的時間。
- 五、平均速度：每秒鐘跑的距離。速度 = 距離 / 時間（公尺 / 秒）
- 六、速度遞減率：單位時間內速度變化率，或單位時間內速度遞減之百分比。遞減率的大小反映分段速度形勢的好壞，遞減率越小，說明速度下降幅度越小。

第二章 文獻探討

本研究引用文獻共分為三個部分進行探討：一、400 公尺跨欄欄間節奏之相關性研究；二、400 公尺跨欄速度變化與體能分配之相關性研究；三、文獻總結。

第一節 400 公尺跨欄欄間節奏之相關性研究

在競技運動中，節奏是用來描述運動時身體各部分所表現出來的強度或時間間隔的關係（岳新坡、張本春，2005）。在跨欄過程中，運動員必須跨越固定數量、固定距離、固定欄高的欄架，因此跨欄跑可說是一種須按一定節奏完成動作的週期性項目。在 400 公尺跨欄跑中，運動員最常出現一種會破壞欄間節奏的模式，即「跳欄」和「小碎步」現象。成萍與王慶玉（2002）認為這並非與欄架高度有關，而是直接關係到體能不足和欄間節奏不穩。王西國與曲慶志（2006）探討 400 公尺跨欄跑的技術訓練及欄間節奏證實，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。

徐佶與黃群輝（1995）針對優秀女子跨欄運動員 400 公尺跨欄比賽戰術結構特徵分析提出，正確評價運動員比賽全程中各個環節的情況，準確找出運動員進一步提高成績的關鍵所在，才能充分發揮運動員的潛力。400 公尺跨欄的全程是由各個不同技術特徵所組成的不同階段。一般分為出發段、欄間跑段、終點衝刺段。藉以此評價運動員參賽時各環

節表現是否為之恰當方法。並可由這些段落的表現研究出優秀運動員參賽時的整體關係，找出他們之間的變化情形，使能獲得更有效的訓練。何秋華、唐新發與楊小紅（2002）在淺談中國優秀女子 400 公尺跨欄跑運動員欄間跑節奏的時空特徵中，將跨欄跑的節奏從時間和空間上進行定量的分析（即 9 個欄間跑的間隔時間和步數），探討出中、外優秀運動員在欄間節奏方面的差距，以利運動員在訓練或比賽上之參考依據。縱觀以上文獻，掌握欄間節奏勢必對運動員的比賽戰術，有其極大的重要性，以下將欄間節奏加以分段做深入探討。

一、出發階段之相關研究

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。司鵬巧與史東林（2000）在 400 公尺欄節奏的掌握和控制一文說明，起跑至第一欄的步數與欄間跑步數有關。根據彎道跑技術對過欄動作的影響，此階段的欄間步數及起跨腿須有所選擇。運動員根據自己所選的步數才能順利起跨過欄，使起跑至第一欄的速度和全程跑的速度相互應。因此，固定第一欄的步數是保證欄間跑順利進行的基本條件。

優秀女子 400 公尺跨欄運動員起跑至第一欄的欄間步數為 23~25 步，王炳花（2008）研究世界女子 400 公尺跨欄運動員全程速度節奏特徵一文提到，起跑至第一欄階段的步數沒有太大差別，但此一階段從距離和時間的比例來看，應佔 12%。許多研究認為，這一階段所耗的時間若比較短，表示運動員的加速能力強（王炳花，2008），但也說明，這以生理

學能量供應系統觀點來看，加速過早對全程的速度分配和節奏勢必會帶來不良的影響。

另外，也有步數的多寡與成績間較無顯著相關的研究。曾麗萍與魏家駿（1998）針對 6 名中、外優秀女子 400 公尺跨欄運動員全程跑步數之研究，發現起跑至第一欄的步數皆為 23 步，在此一階段的步數與成績並未有顯著差異。但在步數相同的情況下，所反映出的時間差別是由於步頻快慢的關係。

二、欄間跑階段之相關研究

方水泉（2002）在 400 公尺欄特徵與訓練對策一文指出，最佳欄間跑的節奏模式，是隨著運動員身體素質的全面發展而不斷提升，欄間跑步數的多少與 400 公尺跨欄成績有著極其重要的關係。叢林與劉東方（2008）在全程跑節奏模式中說明，一般後半程的步數比前半程多 1~2 步。例如前半程或前八個欄用一種步數節奏跑，後半程或後兩個欄用另一種步數節奏跑。王瑩琪（2010）更進一步探討優秀 400 公尺跨欄選手的欄間步數，將其分為三種節奏模式：一是單一步數模式，即各欄間使用一種步數跑。採用此一模式的有美國著名跨欄運動員摩西，他的欄間均採用 13 步完成，以 47.02 秒創出個人最佳成績。二是採用兩種步數模式，即前後半程各一種步數。男子世界紀錄保持者凱文·楊所採用的步數比較特別，他在第三、四欄間用 12 步跑完，其他欄間用 13 步，跑出 46.78 秒的個人最佳成績。第三種模式是由三種步數模式跑完全程。例如多米尼加的桑切斯，他的前五個欄間為 13 步，第六、七個欄間為 14 步，第八、九個欄間為 15 步，個

人最佳成績 47.54 秒。

曾麗萍與魏家駿（1998）針對中、外優秀女子 400 公尺跨欄運動員全程跑的步數分析出欄間步數與成績間之關係。第一位跑進 53 秒的前紀錄保持者 Marina Stepanova，她的欄間節奏穩定，欄間步數均以 15 步的單一節奏模式完成，並在 1986 年創下 52.94 秒的個人最佳成績。而中國優秀女子 400 公尺跨欄運動員在後程幾個欄間跑的步數增加了 2~3 步，與 Marina Stepanova 成績相較起來大約差了 2~4 秒左右。途中改變節奏或多跑步數，都將影響途中跑的速度。方水泉（2002）指出，這是由於在 250 公尺處乳酸堆積產生的疲勞，迫使步長縮短、步頻減慢，不得不在欄間多跑步數，這是造成跑速下降的主要因素。

從 400 公尺跨欄的技術發展來看，叢林與劉東方（2008）認為運動員必須熟練地掌握左、右腿跨欄技術，可有效提升專項運動成績。如世界優秀男子 400 公尺跨欄選手 Al-Somaily Hadi Soua'an，第二~九個欄用 13 步，第十個欄用 14 步；Gorban Boris，第二~八欄採用 13 步，八~十欄用 14 步。研究者認為此種節奏模式不會因體力、風力等因素而影響欄間節奏，且有利於發揮欄間跑技術，使跨欄步與欄間跑更緊密結合。王瑩琪（2010）針對男子 400 公尺跨欄欄間節奏之三種步數模式的看法，認為無論何種步數模式皆可以創造出世界級的成績。減少 400 公尺跨欄步數是提高專項成績的主要途徑，但前提必須在不降低步頻的條件下，減少欄間步數才能有效地提高 400 公尺跨欄成績。

三、全程節奏之相關研究

方水泉（2002）對於欄間跑步數的相關研究，認為逐漸減少欄間跑的步數、提高欄間跑的速度，為提升400公尺跨欄成績行之有效的方法。世界優秀女子400公尺跨欄選手，皆是採用減少欄間步數，加快欄間步頻的方式，創造了卓越的成績紀錄。他以前亞洲紀錄保持者陳菊英為研究對象，分析她在改變欄間節奏前後對成績的影響。陳菊英原本的欄間節奏模式為第一至第六個欄採用15步跑，第六至第十個欄為17步。1990年，15步跑的欄間節奏維持至第八個欄，全程的成績由56.78秒進步到55.12秒，改變前後的成績快了1.66秒。

森丘保典等人（2000）分析國際一流男子選手欄間步數，發現欄間步數與成績並未有顯著差異。欄間步數雖與成績沒有相關，但因此一研究是針對50秒內的優秀選手做為研究對象，研究結果全程跑的步數（不包含第十個欄至終點）最大約在130步左右。森丘保典等人此一研究表示，成績50秒內的優秀男子400公尺跨欄選手，全程跑的步數必能跑進130步以內。

第二節 400公尺跨欄速度變化與體能分配之相關性研究

從生物力學的角度來說，速度是由步幅和步頻兩種因素構成的。在訓練過程中，這兩者是相互制約的，步幅太大勢必會影響步頻，而步頻太高又會使步幅相對的縮短（劉淑華、簡鴻玟，2006）。同時提高選手的步幅和步頻能力是取得較好成績的有效方法。王瑩琪（2010）提出400公尺的平跑速度

為影響男子 400 公尺跨欄成績的主要因素之一。具備高度的速度水準，對 400 公尺跨欄運動員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。

由於 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，使運動員得以充分發揮水準（司鵬巧、史東林，2000）。研究指出，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（叢林、劉東方，2008）。以曾麗萍與魏家駿（1998）針對中、外優秀運動員前後 200 公尺的時間比較為例，當 M·斯捷潘諾娃創下 52.94 的最佳成績時，前後 200 公尺的差值僅 2.1 秒，顯示她是以均速跑的速度分配完成，且後程無明顯減速現象。

眾所皆知，以計時為主的競技比賽裡，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。像這種要高速度維持 40~50 秒的項目，要有效率的使用身體所提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）。優秀選手的欄間速度分配情形，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。途中若出現明顯的減速或加速情形，容易導致不必要的體力消耗。

400 公尺跨欄的出發階段是決定在第一時間取得優勢的時機，不僅要克服在彎道上進行的快速過欄，步幅也要有高

度的穩定性。王瑩琪（2010）探討世界優秀男子 400 公尺跨欄運動員速度分配情形，指出在全程跑中的最高速度是出現在 1~3 個欄，而後逐漸下降，在後段速度降到最低。森丘保典等人（2000）針對國際一流選手的比賽模式做速度變化的分析，發現優秀運動員在第一至第二欄會達到最高速度，之後到終點的速度都是遞減現象。徐佶、黃群輝（1995）探討世界優秀女子選手的速度變化情形，也發現從起跑至第二個欄的速度變化曲線是上升的，第二個欄過後開始平穩的下降，全程跑的最小速度出現在起跑至第一欄，最大速度出現在第一欄至第二欄。

400 公尺跨欄跑從起跑至第一個欄架、欄間跑，最後跨越第十個欄架後到終點，運動員都有屬於自己的固定步數，相對的，400 公尺跨欄跑的速度必會受到限制（王瑩琪，2010）。因此，運動員對於合理的體能分配須有更高的要求。曾麗萍、魏家駿（1998）從時間上分析優秀女子 400 公尺跨欄運動員的全程跑特點，國外優秀運動員在起跑至第一欄階段的時間占全程跑總時間的 12.36%；九個欄間跑占全程跑總時間的 76.94%；而最後一欄至終點所占全程跑總時間為 10.42%。

第三節 文獻總結

總結以上文獻資料，跨欄跑是一項對速度、速耐力等身體素質要求很高且技術性複雜的項目，無論何種步數的節奏模式，皆可創造出世界級的優異成績。絕大多數 400 公尺跨欄運動員在全程跑中都會變換節奏，改善全程跑的步數模式

對提升專項運動成績固然有其重要作用。運動員在身體素質不錯的條件下，應嘗試不同的跑法，找出適合自己的欄間節奏。400公尺跨欄雖與400公尺跑供能方式很接近，但卻不能像400公尺一樣在能量供應不足情況下以最大速度跑完全程。400公尺跨欄須考慮到受固定欄間距離的限制，當速度下降時，要以相同速度節奏完成欄間跑是一件相當困難的事情，因此，合理的欄間節奏對於成績有其重要影響。

對於400公尺跨欄的全程跑而言，每一個分段也有其特徵結構。起跑至第一欄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。無論何種欄間節奏皆是創造世界級優異成績的方法，但前提是須有完善合理的節奏模式。國內很少有關於針對女子400公尺跨欄全程跑結構特徵方面的探討，因此本研究將以欄間節奏及速度變化情形加以進行探討，期望能對選手或教練在訓練上有所幫助。

第三章 研究方法與步驟

本研究的方法與步驟分為三個部分加以說明：第一節、研究方法；第二節、實驗流程；第三節、資料處理與分析。

第一節 研究方法

一、研究對象

本研究是以 2010 年國際田徑邀請賽參加女子組 400 公尺跨欄之選手，錄取預賽或決賽成績在 70 秒內之國內十名選手為研究對象（表 2-1）。受試者平均身高為 165 ± 5.5 公分，平均體重為 52 ± 4.1 公斤，平均年齡為 21 ± 1.8 歲（表 2-2）。

表 2-1 受試者基本資料一

受試者	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
身高 (cm)	173	163	172	164	170	164	163	160	168	154
體重 (kg)	59	52	56	48	58	52	49	50	50	46
年齡 (years)	21	23	21	19	23	22	25	19	20	20
最佳成績 (sec)	60.21	61.52	62.55	63.80	62.52	62.31	61.83	64.55	66.63	65.14

表 2-2 受試者基本資料二

人數	年齡 (years)	身高 (cm)	體重 (kg)	最佳成績 (sec)
	Mean \pm SD	Mean \pm SD	Mean \pm SD	Mean \pm SD
女 10	21 ± 1.8	165 ± 5.5	52 ± 4.1	63.11 ± 1.81

二、實驗日期與地點

本研究實驗進行之時間與地點如下：

- (一) 預備實驗時間：99年5月10~11日。
- (二) 預備實驗地點：桃園縣立體育場。
- (三) 實驗時間：99年5月28日。
- (四) 實驗地點：臺北市田徑場。

三、實驗儀器

- (一) SONY 數位攝影機 10 台
- (二) 三腳架 10 個
- (三) KWON 3D 動作分析系統
- (四) Microsoft Excel 2003 資料分析系統

第二節 實驗流程

本研究先以 2010 年全國大專校院運動會為預備實驗拍攝，並將其研究結果缺失加以檢討修正後，作為本研究實驗方法。本實驗地點於臺北市田徑場內進行，將攝影機架設置於運動行進間之右側看台區上。為了減少拍攝誤差，10 部攝影機擺設位置均能清楚拍攝每位選手比賽過程之不同地點（圖 1）。

拍攝 2010 年國際田徑邀請賽女子組 400 公尺跨欄之預賽、決賽全程比賽過程，擷取選手從起跑開始至越過終點線之跑步動作的運動學參數資料。每部攝影機拍攝的範圍如表 3。拍攝結束後，參考比賽之官方網站提供比賽正式成績紀錄表，以作為本研究原始成績之依據。

詳細實驗流程如圖 2。

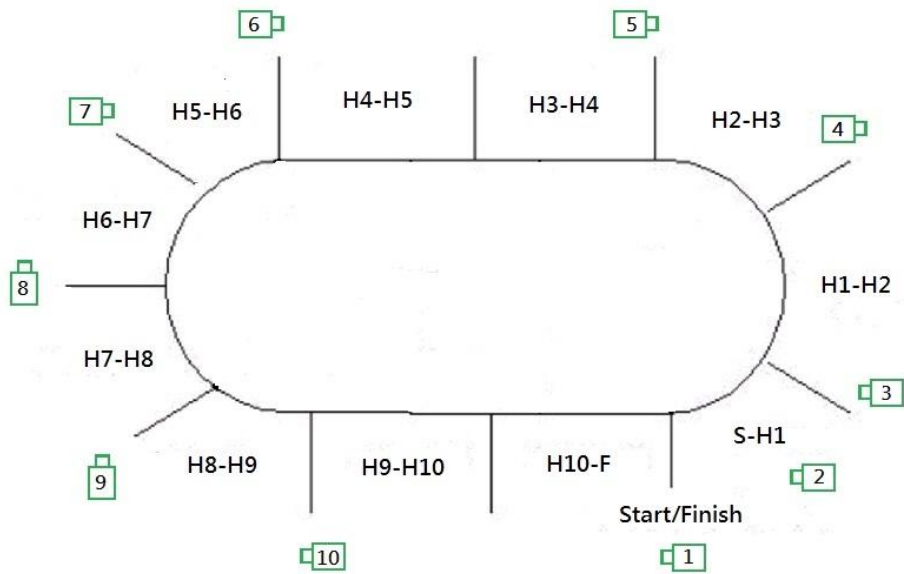


圖 1 實驗場地佈置圖

表 3 攝影機拍攝之範圍

攝影機	拍攝範圍
1	發令槍、H10-F
2	S-H1 (1~4道)
3	S-H1 (5~8道)
4	H1-H2
5	H2-H3
6	H3-H5
7	H5-H6
8	H6-H7
9	H7-H8
10	H8-H10

※ S : Start , H : Hurdle , F : Finish

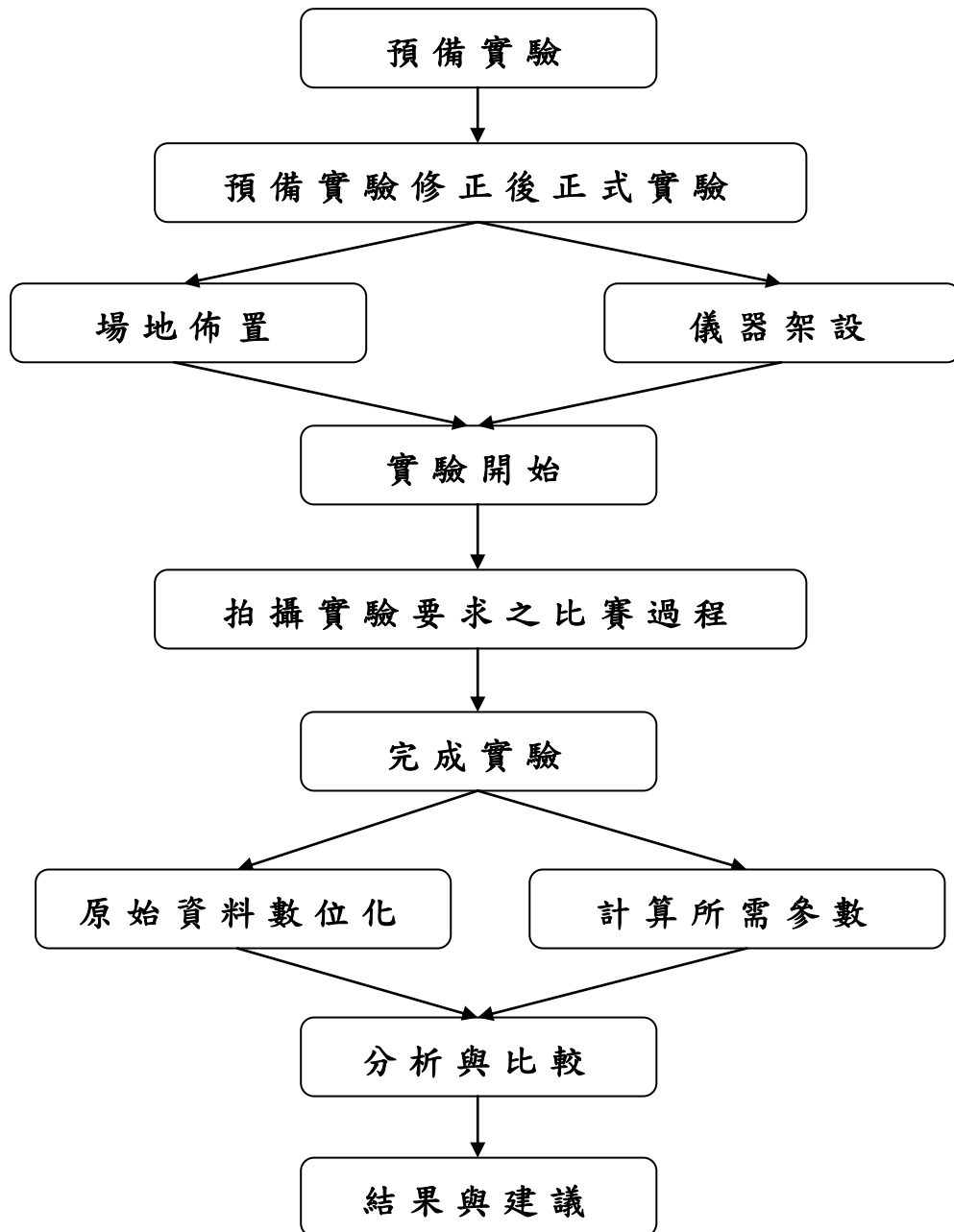


圖 2 實驗流程圖

第三節 資料處理與分析

本研究數據採集皆在比賽現場進行，於比賽結束後將 10 部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 Microsoft Excel 2003 軟體進行各項數據計算與分析。

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），並參考森丘保典等人（2000）之研究方法，將 400 公尺跨欄分成三個分段（圖 3），分別為前段（從起跑至第 5 欄，距離為 185m）、中段（第 5 欄至第 8 欄，距離為 105m）、後段（第 8 欄至終點，距離為 110m）。進一步計算各分段之時間及平均速度，再以各分段之平均速度計算其速度遞減率，計算公式如下：

三個分段速度（m/s）：

前段速度 = 185 / （第一欄至第五欄時間）

中段速度 = 105 / （第五欄至第八欄時間）

後段速度 = 110 / （第八欄至終點時間）

速度遞減率（%）：

前段~中段速度遞減率 =

$$\left[1 - \left(\text{中段速度} \div \text{前段速度} \right) \right] \times 100$$

中段~後段速度遞減率 =

$$\left[1 - \left(\text{後段速度} \div \text{中段速度} \right) \right] \times 100$$

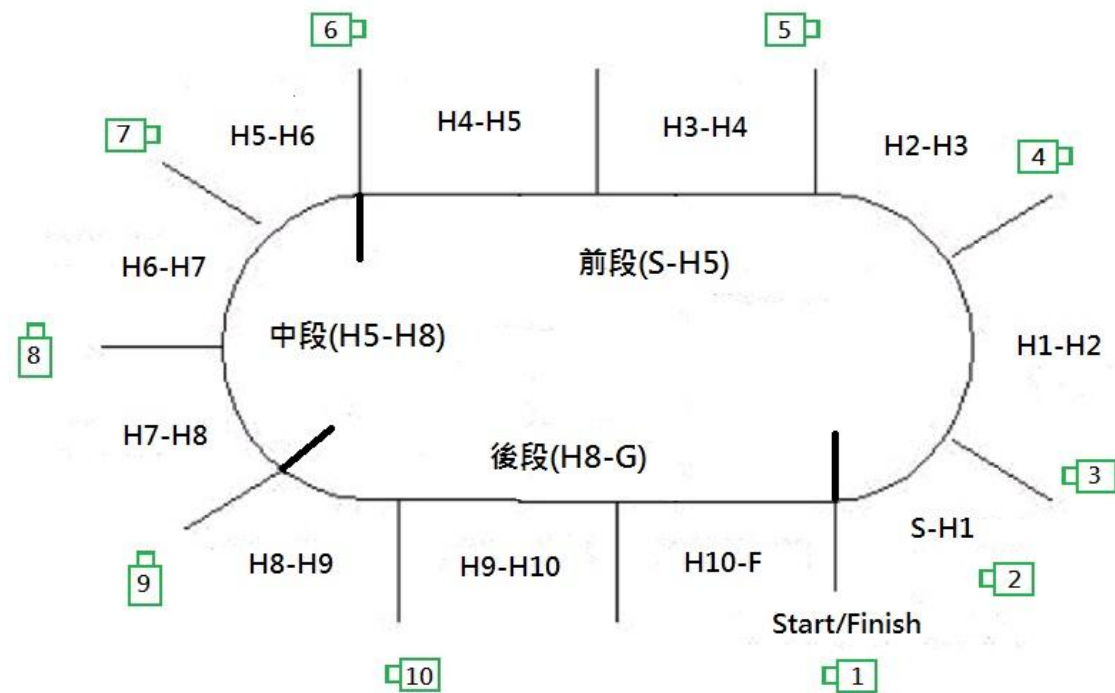


圖 3 前段、中段、後段之分段圖

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、速度遞減率。由於本研究拍攝之影片在擷取畫面後，仍有儀器架設之誤差，因此不對第十欄至終點階段之欄間步數與欄間步頻進行分析。

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，顯著水準訂為 $\alpha=0.05$ 。

第四章 結果與討論

黃霞（2008）分析國內外優秀 400 米欄運動員的技術分析指出，女子 400 公尺跨欄欄高為 76.2 公分，身材高的運動員重心較高，過欄時重心不必騰起過高，即可完成過欄動作；反之，個子矮小運動員在過欄時，重心騰起過高，水平向前速度損失較大，容易影響欄間跑速度。因此，選才時必須選用身材高大運動員。

世界優秀女子 400 公尺跨欄運動員身高大約在 171~176 公分（黃霞，2008），表 4 顯示我國選手之身高平均 165 ± 5.5 公分，只有三位選手為 170 公分以上的身高條件，明顯看出世界優秀選手在身高素質上佔有一定優勢。

表 4 受試者身高與比賽成績

	身高 (cm)	成績 (sec)
A 選手	173	64.49
B 選手	163	65.03
C 選手	172	65.59
D 選手	164	65.62
E 選手	170	66.82
F 選手	164	67.20
G 選手	163	68.77
H 選手	160	69.04
I 選手	168	69.39
J 選手	154	69.42
Mean±SD	165 ± 5.5	67.14 ± 1.81

400 公尺跨欄的全程是由各個不同技術特徵所組成的不同階段，為了評估運動員參賽時各環節表現是否恰當，本研究將所獲得之運動學參數與比賽成績（表 5-1、5-2、5-3、5-4），分為出發階段（起跑至第一欄）、欄間跑階段（第一欄至第十欄）、終點衝刺階段（第十欄至終點）及全程跑，探討受試者在不同分段之運動表現特徵。

表 5-1 受試者各欄間時間（單位：秒）

受試者	S-H1	H1-H2	H2-H3	H3-H4	H4-H5	H5-H6	H6-H7	H7-H8	H8-H9	H9-H10	H10-F
A	7.23	4.97	5.17	5.47	5.50	5.77	5.77	5.97	5.97	5.83	6.86
B	7.27	5.00	5.03	5.18	5.30	5.57	5.97	6.00	6.33	6.13	7.25
C	7.20	4.97	4.97	5.10	5.27	5.47	6.07	6.53	6.40	6.33	7.29
D	7.20	5.00	5.17	5.22	5.47	5.73	5.90	6.10	6.30	6.27	7.27
E	7.50	5.23	5.30	5.30	5.53	5.77	5.97	6.13	6.27	6.13	7.69
F	7.40	5.23	5.53	5.60	5.77	6.00	5.97	6.33	6.30	6.20	6.87
G	7.33	5.13	5.27	5.60	5.90	6.17	6.43	6.43	6.43	6.30	7.77
H	7.43	5.10	5.40	5.47	5.77	5.90	6.03	6.33	6.77	6.77	8.07
I	7.63	5.43	5.73	5.90	5.97	6.17	6.30	6.37	6.30	6.20	7.39
J	7.60	5.37	5.47	5.50	5.80	6.10	6.30	6.57	6.90	6.57	7.25

表 5-2 受試者之各欄間速度 (單位：公尺／秒)

受試者	S-H1	H1-H2	H2-H3	H3-H4	H4-H5	H5-H6	H6-H7	H7-H8	H8-H9	H9-H10	H10-F
A	6.22	7.04	6.77	6.40	6.36	6.07	6.07	5.86	5.86	6.00	5.83
B	6.19	7.00	6.96	6.76	6.60	6.28	5.86	5.83	5.53	5.71	5.52
C	6.25	7.04	7.04	6.86	6.64	6.40	5.77	5.36	5.47	5.53	5.49
D	6.25	7.00	6.77	6.70	6.40	6.11	5.93	5.74	5.56	5.58	5.50
E	6.00	6.69	6.60	6.60	6.33	6.07	5.86	5.71	5.58	5.71	5.20
F	6.08	6.69	6.33	6.25	6.07	5.83	5.86	5.53	5.56	5.65	5.82
G	6.14	6.82	6.64	6.25	5.93	5.67	5.44	5.44	5.44	5.56	5.15
H	6.06	6.86	6.48	6.40	6.07	5.93	5.80	5.53	5.17	5.17	4.96
I	5.90	6.45	6.11	5.93	5.86	5.67	5.56	5.49	5.56	5.65	5.41
J	5.92	6.52	6.40	6.36	6.03	5.74	5.56	5.33	5.07	5.33	5.52

表 5-3 受試者之各欄間步數 (單位：步)

受試者	S-H1	H1-H2	H2-H3	H3-H4	H4-H5	H5-H6	H6-H7	H7-H8	H8-H9	H9-H10	總步數
A	22	15	16	16	17	17	17	17	17	17	171
B	25	18	17	17	17	18	19	19	21	19	190
C	25	17	17	17	17	17	19	19	19	19	186
D	25	17	17	17	17	17	18	18	19	19	184
E	26	17	17	17	17	19	19	19	19	19	189
F	26	19	19	19	19	19	19	19	19	19	197
G	25	17	17	18	18	19	19	19	19	19	190
H	25	17	19	19	19	19	19	19	21	21	198
I	26	18	19	19	19	20	20	20	20	20	201
J	27	19	19	19	20	20	21	21	23	21	210

表 5-4 受試者欄間跑階段之步頻（單位：步／秒）

受試者	S-H1	H1-H2	H2-H3	H3-H4	H4-H5	H5-H6	H6-H7	H7-H8	H8-H9	H9-H10
A	3.04	3.02	3.09	2.93	3.09	2.95	2.95	2.85	2.85	2.92
B	3.44	3.60	3.38	3.28	3.21	3.23	3.18	3.17	3.32	3.10
C	3.47	3.42	3.42	3.33	3.23	3.11	3.13	2.91	2.97	3.00
D	3.47	3.40	3.29	3.26	3.11	2.97	3.05	2.95	3.02	3.03
E	3.47	3.25	3.21	3.21	3.07	3.29	3.18	3.10	3.03	3.10
F	3.51	3.63	3.44	3.39	3.29	3.17	3.18	3.00	3.02	3.06
G	3.41	3.31	3.23	3.21	3.05	3.08	2.95	2.95	2.95	3.02
H	3.36	3.33	3.52	3.47	3.29	3.22	3.15	3.00	3.10	3.10
I	3.41	3.31	3.32	3.22	3.18	3.24	3.17	3.14	3.17	3.23
J	3.55	3.54	3.47	3.45	3.45	3.28	3.33	3.20	3.33	3.20

第一節 出發階段之運動表現特徵

本研究結果顯示，十位選手在起跑至第一欄階段之步數與成績達顯著相關如表 5-6 ($r=.641, p<.05$)。這表示在此一階段的步數越多，欄間時間越慢，影響比賽成績越大，與司鵬巧、史東林（2000）針對 400m 欄節奏的掌握和控制提出，起跑至第一欄之欄間步數與成績有關的理論有相同趨勢。固定起跑姿勢和第一欄的步數是保證欄間跑順利進行的基礎。優秀女子 400 公尺跨欄運動員起跑至第一欄的欄間步數為 23~25 步，表 5-3 結果顯示，A、B、C、D、G、H 六位選手有相同趨勢，除了 A 選手 22 步外，其餘五位選手皆以 25 步完成。從表 5-5 的步數與步頻結果來看，在此一階段以相同步數完成者有 B、C、D、G、H 五位選手的 25 步及 E、F、I 三

位選手的 26 步，此兩組在步數相同的情況下，所反映出的欄間時間差別是由於步頻快慢的關係，符合過去曾麗萍、魏家駿（1998）針對中、外優秀女子 400 公尺跨欄全程跑之相關研究理論。比較 A 選手與 C、D 選手的差異，發現 A 選手在此一階段只使用 22 步，欄間時間卻比 C、D 選手長，從步頻表現來看，A 選手在此一階段之步頻為 3.04 步／秒、C 選手為 3.47 步／秒、D 選手為 3.47 步／秒，此結果說明 A 選手可能是由於身高為受試者中最高者，其欄間節奏表現為步幅大、步頻慢，而 C、D 兩位選手在此一階段則是以步幅小、步頻快的節奏表現完成。其結果也反映出，C、D 選手之出發階段的起跑加速能力與反應表現優於 A 選手。

一般而言，在田徑徑賽項目的出發階段，時間越短，速度越快越好。表 5-6 顯示，十位選手之起跑至第一欄速度與成績達顯著負相關 ($r=-0.811, p<.05$)，顯示此段速度影響比賽成績關係甚大，選手提升此段速度對於比賽成績有其重要性。從戰術角度來看，運動員的出發技術良好，在比賽一開始就處於領先位置，使運動員在比賽心理上佔有一定優勢，這對於比賽勝利有著重要影響。但由於 400 公尺跨欄在短距離項目中是距離最長的一項運動項目，身體代謝與供應能量系統決定了在比賽中不可能全程都是全速跑。田中原（2003）針對女子 400 米跑全程速度變化的生理學分析指出，400 公尺加速跑階段距離占全程四分之一，其重點是盡量延長 ATP-CP 系統的供能時間，如果過早地轉入無氧醣酵解系統（乳酸系統）供能，將會加快乳酸的累積，不利於後程速度的發揮。因此，合理的速度分配顯得十分重要，以下將進一步探討欄間節奏與速度分配情形。

表 5-5 受試者出發階段之各項數據

	A 選手	B 選手	C 選手	D 選手	E 選手	F 選手	G 選手	H 選手	I 選手	J 選手
S-H1 速度	6.22	6.19	6.25	6.25	6.00	6.08	6.14	6.06	5.90	5.92
S-H1 步數	22	25	25	25	26	26	25	25	26	27
S-H1 步頻	3.04	3.44	3.47	3.47	3.47	3.51	3.41	3.36	3.41	3.55

(單位：速度：公尺／秒，步數：步，步頻：步／秒)

表 5-6 受試者出發階段各項數據與比賽成績之相關

	平均數	標準差	r 值
S-H1 速度	6.10	0.12	-0.811*
S-H1 步數	25.2	1.25	0.641*
S-H1 步頻	3.41	0.13	0.389

* $p < .05$

第二節 欄間跑階段之運動表現特徵

本研究結果顯示，十位選手全程跑中，速度最快出現在第一欄至第二欄間（表 5-7，平均 6.81 ± 0.21 公尺／秒），且達顯著負相關 ($r = -0.800$, $p < .05$)，與過去王瑩琪（2010）、王敏姿（2009）、森丘保典（2000）等人，針對優秀 400 公尺跨欄運動員研究指出，運動員在第一欄至第二欄出現最高速度有相同發現。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。但本研究發現，十位選手在第二欄過後之速度變化皆出現減速和加速情形，特別是在第四欄至第八欄間，速度大幅下降，四個欄間皆出現負相關（表 5-7， $r=-0.877$ ， $r=-0.829$ ， $r=-0.804$ ， $r=-0.704$ ）。過去王敏姿（2009）研究世界級女子 400 公尺跨欄之速度變化情形顯示，其速度下降幅度最大出現在第七欄至第九欄間。此說明我國選手可能加速過早、維持高速跑能力不佳，使得在第四欄開始出現大幅下降情形。此外，本研究也發現，多數選手在第八欄至第十欄階段，速度有些微增加情形，只有 H 選手之速度變化為持續下降。此一階段為最後平跑階段，一般而言，選手會因為前段所累積的疲勞以致無法再提升速度。本研究結果明顯看出，我國選手可能在前段並沒有合理的分配速度、體能分配不均，導致後段速度出現加快的情形；亦或選手在戰術上使用前段體能保留，將最後平跑階段做為衝刺階段，加快速度為自己奪取勝利機會。

表 5-7 受試者各欄間速度與比賽成績之相關

	平均數	標準差	r 值
比賽成績 (sec)	67.14	1.81	
欄間速度 (m/s)			
起跑至第一欄	6.10	0.12	-0.811*
第一欄至第二欄	6.81	0.21	-0.800*
第二欄至第三欄	6.61	0.27	-0.783*
第三欄至第四欄	6.45	0.27	-0.699*
第四欄至第五欄	6.23	0.26	-0.877*
第五欄至第六欄	5.98	0.24	-0.829*
第六欄至第七欄	5.77	0.18	-0.804*
第七欄至第八欄	5.58	0.18	-0.704*
第八欄至第九欄	5.48	0.21	-0.698*
第九欄至第十欄	5.59	0.21	-0.674*

* $p < .05$

本研究從欄間速度曲線圖可明顯看見（圖 4-1 至圖 4-10），D 選手的速度下降較為穩定，與過去研究優秀女子 400 公尺跨欄欄間跑速度的下降趨勢較為相近（森丘保典，2000），其餘九位選手之欄間跑階段皆出現上下波動的不規則曲線，明顯看出選手各欄間速度不穩定，出現忽快忽慢情形。A 選手的速度下降幅度雖然比較小（圖 4-1），但速度變化明顯不流暢，這可能是在專項技術或體能的因素，亦或心理因素而影響全程跑的比賽成績。C 選手在第五欄至第七欄間速度下降幅度最大（圖 4-3），且第七欄至第九欄階段速度持續增加。從速度變化角度來看，這是由於 C 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與上升情形。

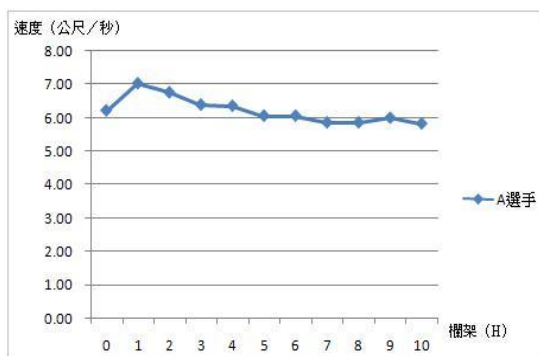


圖 4-1 A 選手之欄間速度

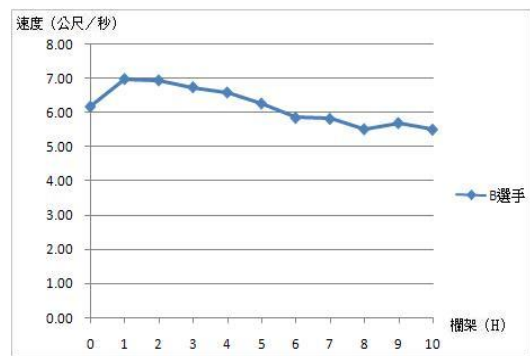


圖 4-2 B 選手之欄間速度

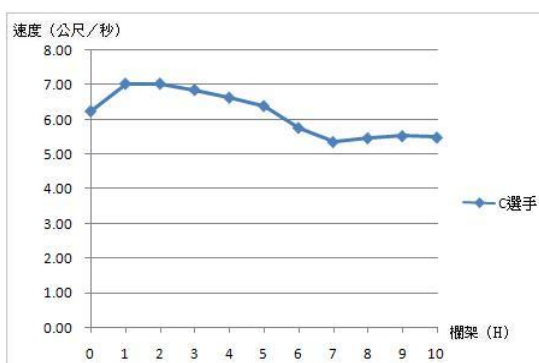


圖 4-3 C 選手之欄間速度

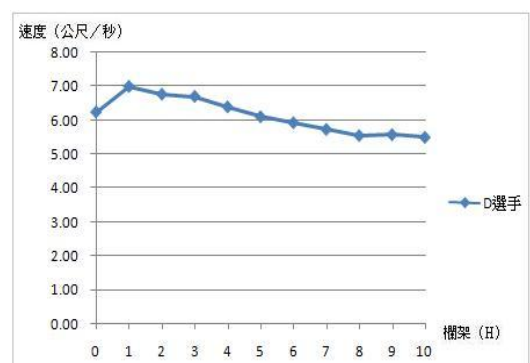


圖 4-4 D 選手之欄間速度

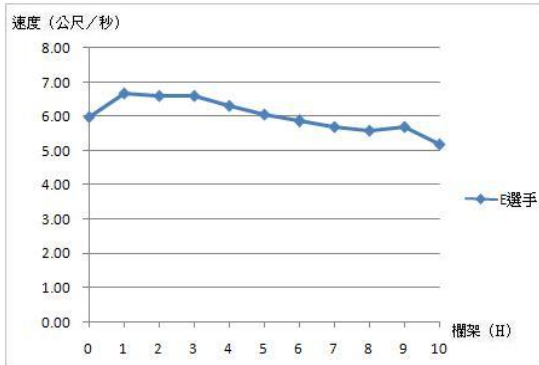


圖 4-5 E 選手之欄間速度

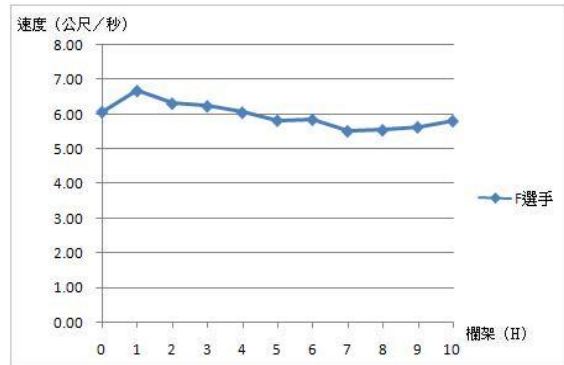


圖 4-6 F 選手之欄間速度

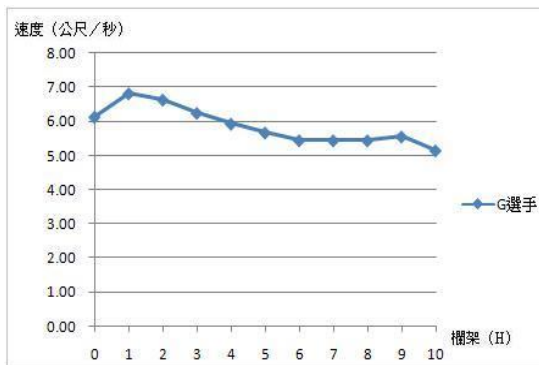


圖 4-7 G 選手之欄間速度

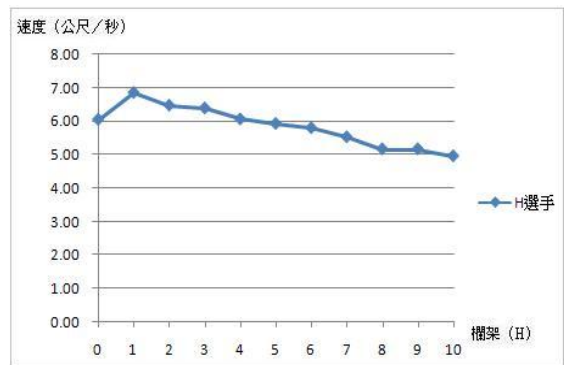


圖 4-8 H 選手之欄間速度

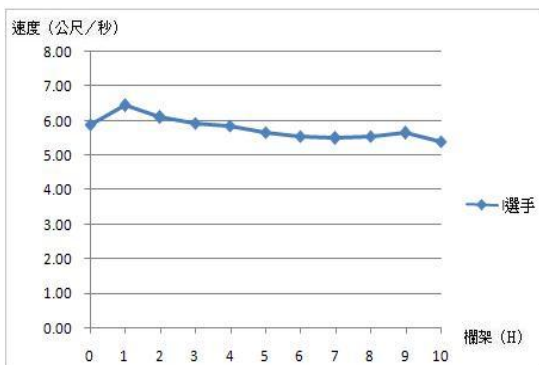


圖 4-9 I 選手之欄間速度

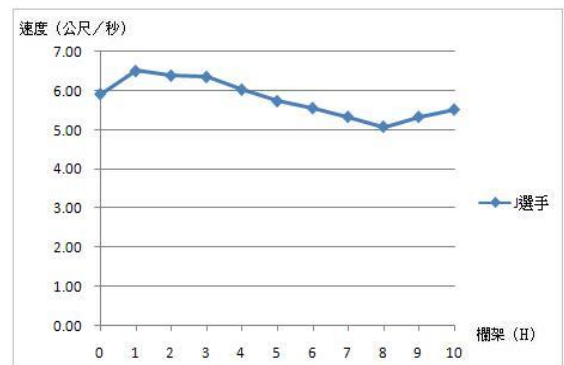


圖 4-10 J 選手之欄間速度

表 5-8 結果顯示，十位選手只有在第一欄至第二欄及第八欄至第九欄之欄間步數與成績未達顯著相關。此說明兩階段可能存在著影響成績好壞的因素是由於步幅大小或步頻快慢的關係。其餘的欄間跑階段，欄間步數與成績皆達顯著相關，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。優秀女子 400 公尺跨欄選手之欄間跑步數為 15~17 步，本研究結果只有 A 選手之欄間跑步數使用 15~17 步，其餘九位選手皆使用 17~23 步完成（表 5-3）。十位選手中只有 A 選手之欄間節奏與世界級選手最接近，其餘我國選手與世界級優秀選手在專項能力上仍有一段差距。欄間跑階段是否減少步數，對於我國選手提升此階段成績是值得關注的問題。

從表 5-3 進一步針對欄間節奏表現說明，A 選手使用單雙數混合步法，第一欄至第三欄間增加了 1 步，第四欄後到終點皆以 17 步完成。從步頻表現來看（表 5-4），並非十位選手中最快者。由此可知，A 選手欄間節奏特徵步幅大，雖然欄間步頻不快，但每一欄間步頻差距小，顯示欄間節奏表現比起其他選手穩定。F 選手是十位選手中唯一使用單一步數 19 步完成者，其欄間節奏表現步幅小、步數多，使得他在欄間節奏的步頻也比較快，由於體能會隨著欄間跑的距離越長而顯得消耗越快，使得 F 選手欄間時間使用也越長。C、E 選手為單數步跑法最相似兩者，前半段使用 17 步，後半段使用 19 步，但 E 選手在第五欄至第六欄間比 C 選手提早增加 2 步，欄間跑時間也比 C 選手長，從步頻表現方面來看，E 選手略差，此說明 E 選手可能在專項素質或體能上不足，使得欄間步數須增加 2 步，而影響了全程跑的成績。

表 5-9 為十位選手在欄間跑段的步頻與成績之相關，研究結果顯示欄間跑階段只有第九欄至第十欄之步頻與成績達顯著相關($r=-0.877$ ， $p<.05$)，說明欄間步頻越快，比賽成績越慢。Sinning 和 Forsyth(1970)研究結果指出，步頻是造成速度快慢的因素，步頻越快、步幅越大，速度就會越快。本研究之結果與理論不同，我國選手欄間步頻快，全程跑之比賽成績反而變慢，這可能是因為我國選手在欄間跑途中，由於體能與速度上為合理的分配或心理因素影響，出現在預備跨越下一欄以前，突然增加步頻與步幅縮小的現象，使得欄間跑出現不穩定的節奏，欄間時間也因為步頻的增加而變長。特別在第九欄至第十欄階段，此階段之步頻影響比賽成績關係甚大。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。因此我國選手如何維持穩定的節奏，減少速度的下降，是值得關注的焦點之一。

表 5-8 受試者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(sec)	67.14	1.81	
欄間步數(s)			
第一欄至第二欄	17.4	1.11	0.502
第二欄至第三欄	17.7	1.10	0.785*
第三欄至第四欄	17.8	1.08	0.886*
第四欄至第五欄	18	1.10	0.853*
第五欄至第六欄	18.5	1.12	0.892*
第六欄至第七欄	19	1.00	0.752*
第七欄至第八欄	19	1.00	0.752*
第八欄至第九欄	19.7	1.55	0.579
第九欄至第十欄	19.3	1.10	0.799*

* $p<.05$

表 5-9 受試者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 (sec)	67.14	1.81	
欄間步頻 (f)			
第一欄至第二欄	3.38	0.17	0.152
第二欄至第三欄	3.34	0.13	0.423
第三欄至第四欄	3.28	0.15	0.534
第四欄至第五欄	3.20	0.12	0.413
第五欄至第六欄	3.15	0.12	0.555
第六欄至第七欄	3.13	0.11	0.399
第七欄至第八欄	3.03	0.11	0.459
第八欄至第九欄	3.08	0.15	0.379
第九欄至第十欄	3.08	0.09	0.707*

* $p < .05$

第三節 終點衝刺階段之運動表現特徵

下最後一欄至終點為最後平跑階段，選手經過高速、緊張、激烈的比賽過程後，在最後階段常常是勝負關鍵的一個重要階段。本研究結果如表 5-10，此一階段為全程跑中最小速度階段，與過去王敏姿（2009）研究世界優秀女子的結果有相同結果。另外，本研究結果發現，此階段之速度與成績未達顯著相關（表 5-11），這說明十位選手在此階段速度是否增加對於成績的好壞並沒有很大影響，與過去森丘保典（2000）等人研究結果有相同趨勢。徐佩菁（2000）提出此階段 40 公尺衝刺的重要性，運動員必須高抬大腿，身體稍前傾，在與疲勞做鬥爭的情況下，運動員應以接近短跑的加速跑來完成，如此，選手再配合自己的比賽戰術，對於全程跑的成績勢必會有影響。

表 5-10 受試者終點衝刺階段之速度

	A 選手	B 選手	C 選手	D 選手	E 選手	F 選手	G 選手	H 選手	I 選手	J 選手
H10-F 速度	5.83	5.52	5.49	5.50	5.20	5.82	5.15	4.96	5.41	5.52

(速度：公尺／秒)

表 5-11 終點衝刺階段各項數據與比賽成績之相關

	平均數	標準差	r 值
第十欄至終點	5.44	0.26	-0.534

* $p < .05$

第四節 全程跑之運動表現特徵

本研究將十位選手分為前四名與後四名兩群組做進一步比較，前四名選手之比賽成績平均 65.18 ± 0.46 公尺／秒（表 6-1），後四名選手之比賽成績平均 69.16 ± 0.27 秒（表 6-4）。研究結果顯示，前四名選手只有在第九欄至第十欄之欄間速度與成績達顯著相關如表 6-1 ($r = -0.976$, $p < .05$)，欄間步數與欄間步頻皆未有顯著相關（表 6-2、6-3），說明前四名選手群組中，第九欄至第十欄的速度是全程跑的關鍵所在，此一階段的速度越快，比賽成機會越好，後四名選手則反之。本研究發現，後四名選手在起跑至第一欄之欄間速度與成績達顯著負相關如表 6-4 ($r = -0.990$, $p < .05$)，研究結果說明後四名群組中，影響全程跑之成績的關鍵在起跑至第一欄速度，代表四位選手起跑是否在起跑反應、加速能力亦或心理因素等戰術而影響起跑加速之速度表現。另外，後四名選手

之欄間步數與比賽成績並未達顯著相關（表 6-5），但第七欄至第八欄、第九欄至第十欄之欄間步頻與成績達顯著相關如表 6-6($r=0.968$ 、 $r=0.986$ ， $p<.05$)，其結果表示四位選手此兩階段之步頻與比賽成績有著重要影響。這可能是由於此兩階段已是後半段，在體能上已開始疲乏而影響欄間節奏出現雜亂不穩定的現象，使得後段的欄間節奏因為加快步頻反而影響比賽成績。

表 6-1 前四名選手各欄間速度與比賽成績之相關

	平均數	標準差	r 值
比賽成績 (sec)	65.18	0.46	
欄間速度 (m/s)			
起跑至第一欄	6.23	0.02	0.592
第一欄至第二欄	7.02	0.02	-0.307
第二欄至第三欄	6.89	0.12	0.373
第三欄至第四欄	6.68	0.17	0.839
第四欄至第五欄	6.50	0.12	0.405
第五欄至第六欄	6.21	0.13	0.486
第六欄至第七欄	5.91	0.11	-0.739
第七欄至第八欄	5.70	0.20	-0.685
第八欄至第九欄	5.60	0.15	-0.862
第九欄至第十欄	5.71	0.18	-0.976*
第十欄至終點	5.58	0.14	-0.892

* $p<.05$

表 6-2 前四名選手各欄間步數與比賽成績之相關

	平均數	標準差	r 值
比賽成績 (sec)	65.18	0.46	
欄間步數 (s)			
起跑至第一欄	24	1.30	0.862
第一欄至第二欄	17	1.09	0.610
第二欄至第三欄	17	0.43	0.862
第三欄至第四欄	17	0.43	0.862
第四欄至第五欄	17	0.00	N/A
第五欄至第六欄	17	0.43	-0.190
第六欄至第七欄	18	0.83	0.616
第七欄至第八欄	18	0.83	0.616
第八欄至第九欄	19	1.41	0.412
第九欄至第十欄	19	0.87	0.862

* $p < .05$

表 6-3 前四名選手各欄間步頻與比賽成績之相關

	平均數	標準差	r 值
比賽成績 (sec)	65.18	0.46	
欄間步頻 (f)			
起跑至第一欄	3.36	0.18	0.898
第一欄至第二欄	3.36	0.21	0.616
第二欄至第三欄	3.30	0.13	0.747
第三欄至第四欄	3.20	0.16	0.862
第四欄至第五欄	3.16	0.06	0.405
第五欄至第六欄	3.06	0.12	0.146
第六欄至第七欄	3.08	0.09	0.512
第七欄至第八欄	2.97	0.12	0.098
第八欄至第九欄	3.04	0.17	0.160
第九欄至第十欄	3.01	0.07	0.466

* $p < .05$

表 6-4 後四名選手各欄間速度與比賽成績之相關

	平均數	標準差	r 值
比賽成績 (sec)	69.16	0.27	
欄間速度 (m/s)			
起跑至第一欄	6.00	0.10	-0.990*
第一欄至第二欄	6.66	0.18	-0.888
第二欄至第三欄	6.41	0.19	-0.826
第三欄至第四欄	6.24	0.18	-0.313
第四欄至第五欄	5.97	0.08	-0.053
第五欄至第六欄	5.75	0.11	-0.111
第六欄至第七欄	5.59	0.13	0.103
第七欄至第八欄	5.45	0.08	-0.349
第八欄至第九欄	5.31	0.20	-0.192
第九欄至第十欄	5.42	0.19	0.024
第十欄至終點	5.26	0.22	0.772

* $p < .05$

表 6-5 後四名選手各欄間步數與比賽成績之相關

	平均數	標準差	r 值
比賽成績 (sec)	65.18	0.46	
欄間步數 (s)			
起跑至第一欄	26	0.83	0.861
第一欄至第二欄	18	0.83	0.861
第二欄至第三欄	19	0.87	0.830
第三欄至第四欄	19	0.43	0.830
第四欄至第五欄	19	0.71	0.858
第五欄至第六欄	20	0.50	0.933
第六欄至第七欄	20	0.83	0.861
第七欄至第八欄	20	0.83	0.861
第八欄至第九欄	21	1.48	0.672
第九欄至第十欄	20	0.83	0.602

* $p < .05$

表 6-6 後四名選手各欄間步頻與比賽成績之相關

	平均數	標準差	r 值
比賽成績 (sec)	69.16	0.27	
欄間步頻 (f)			
起跑至第一欄	3.43	0.07	0.555
第一欄至第二欄	3.38	0.09	0.568
第二欄至第三欄	3.38	0.12	0.420
第三欄至第四欄	3.34	0.12	0.267
第四欄至第五欄	3.24	0.15	0.694
第五欄至第六欄	3.20	0.08	0.924
第六欄至第七欄	3.15	0.13	0.899
第七欄至第八欄	3.07	0.10	0.968*
第八欄至第九欄	3.14	0.14	0.925
第九欄至第十欄	3.13	0.08	0.986*

* $p < .05$

本研究結果發現，A 選手是十位選手中，起跑至第十欄總步數合計使用最少，也是全程跑成績最快者（表 5-3，A 選手 171 步）。C、D、E 選手總步數大約 186 步左右，名次分別在第三、四、五名。一般而言，400 公尺跨欄的步數多寡與身高條件有關，高者步少、矮者步多（黃霞，2008）。A 選手步數少、步頻慢，身高也是十位選手中最高者（173 公分），可能在身高條件與專項素質表現下，使她在欄間節奏特徵表現步幅大，使用最少步數並在比賽成績最佳者。但 C、E 選手在良好的身高條件下，欄間步數卻比 D 選手多（表 4、表 5-3），這說明 D 選手的欄間節奏表現步幅大，若能在專項素質或訓練水準上加強，增進步頻表現，勢必對比賽成績有重要影響。黃霞（2008）指出，減少欄間跑步數應從運動員

的身體條件和訓練水平出發，如果單純追求比較少的欄間步數，就會拉大步，破壞跑步的正確技術。過去學者方水泉（2000）、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，A、C、D、E選手皆為步數少者的前五名選手，本結果符合過去相關理論。但也有例外，如B選手總步數比三、四、五名選手多（表5-3，B選手190步），起跑至第十欄成績比三者快；F選手使用197步比G選手使用190步的成績還要快。從表7之欄間步頻來看，B選手從起跑至第十欄之欄間步頻平均 3.27 ± 0.14 步，F選手 3.24 ± 0.20 步，此結果說明B選手與F選手雖然欄間步數多，但可能是由於身高條件較其他選手矮小（表4），使得欄間節奏表現步幅小、步頻快，因此，欄間速度比步數少者還要快。以生理學觀點來看，步頻快容易引起神經系統疲勞，如何在加快步頻中，使體能的消耗減到最低，進而提升比賽成績，是往後值得加以探討的重點。

表7 受試者起跑至第十欄之欄間步頻平均

	平均數	標準差
A 選手	2.96	0.09
B 選手	3.27	0.14
C 選手	3.17	0.18
D 選手	3.12	0.15
E 選手	3.16	0.08
F 選手	3.24	0.20
G 選手	3.08	0.13
H 選手	3.24	0.17
I 選手	3.22	0.06
J 選手	3.36	0.12

（步頻：步／秒）

在女子 400 公尺跨欄運動中，運動員全程維持最高速度的能力是衡量運動員速度耐力好壞的標準之一（徐佶、黃群輝，1995）。本研究結果顯示，十位選手在全程跑過程中，從起跑至第十欄之欄間速度與成績皆達顯著負相關，表示每個欄間速度皆影響成績，速度越快，成績表現越好，尤其在起跑至第二欄與第四欄至第七欄階段，這些階段無論是選手的起跑加速或是維持高速跑能力，皆是欄間跑階段影響成績之關鍵所在。

進一步針對三個分段速度加以探討（起跑至第五欄為前段、第五欄至第八欄為中段、第八欄至終點為後段），表 8 結果顯示三個分段速度與成績皆達顯著負相關 ($p < .05$)，表示三個分段速度與成績皆相互影響。其中，以中段速度與成績最為高度相關 ($r = -0.907, p < .05$)，顯示此段為影響全程跑成績之關鍵階段。與過去王敏姿（2009）等人研究世界級女子 400 公尺跨欄三個分段速度結果，影響成績關係以中段速度為最主要原因有相同趨勢。依據能量供能系統來看，ATP-CP 系統及乳酸系統是 400 公尺跨欄項目主要的供能系統，本研究結果說明，我國選手對於乳酸耐受能力不佳，無法有效利用體能維持高速跑運動，這是造成速度、節奏明顯變化情形主要因素之一。此外，本研究結果也發現，我國選手在前～中段速度遞減率高於中～後段速度遞減率（表 8，前～中段：9.96%，中～後段：4.72%）。與過去王敏姿（2009）等人研究世界級女子 400 公尺跨欄之分段速度遞減率結果相反。其結果表示，我國選手前段速度快，但由於起跑加速太快，影響中～後段維持高速跑能力，明顯看出速度分配不當，影響全程跑成績。我國選手若要提升 400 公尺跨欄成績，改善前

段速度與後段速度的維持有其重要性存在。

表 8 受試者之各分段速度及速度遞減率

	平均數	標準差	r 值
分段速度 (m/s)			
前段速度	6.41	0.20	-0.851*
中段速度	5.77	0.17	-0.907*
後段速度	5.50	0.21	-0.706*
速度遞減率 (%)			
前~中段	9.96	1.92	-0.010
中~後段	4.72	3.17	-0.027

*p<.05

進一步比較我國與世界優秀選手之差異，表 9 為我國與王敏姿（2009）針對世界級女子 400 公尺跨欄之相關研究數據。其結果顯示我國 400 公尺跨欄成績及三個分段速度與世界級選手有明顯的差距。由圖 5 可明顯看出，世界級選手之三個分段速度逐漸下降，我國選手前段與中段速度下降幅度較大。在分段速度遞減率方面，世界級選手中~後段比前~中段高，我國選手則反之（圖 6）。由此可知，世界級選手之 400 公尺跨欄全程跑特徵，是從起跑加速階段開始，合理的分配速度節奏，採取如何維持高速跑對策及逐漸下降的方式，完成最佳的欄間跑模式。我國選手則是前段加速能力好，但可能是專項耐力不足，導致中段速度出現大幅下降，影響後段速度忽快忽慢情形。在能量供應系統中，ATP-CP 系統在

高速運動中只能維持約 10 秒，在整個加速跑過程中的作用極為重要，如何延長 ATP-CP 系統的供能時間，以及提升乳酸系統負荷能力，有利於後程速度的發揮，是值得關切的重要部分。

表 9 我國與世界級選手之分段速度與分段速度遞減率

	國內選手	世界級選手
比賽成績 (sec)	67.14±1.81	53.74±0.84
分段速度 (m/s)		
前段速度	6.41	8.00
中段速度	5.77	7.41
後段速度	5.50	6.69
速度遞減率 (%)		
前~中段	9.96	7.31
中~後段	4.72	9.69

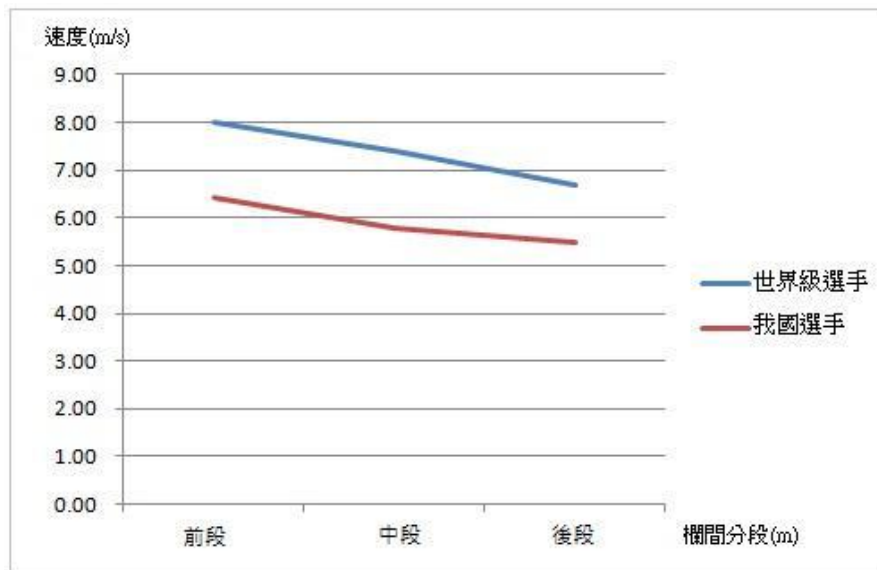


圖 5 我國與世界級選手分段速度曲線圖

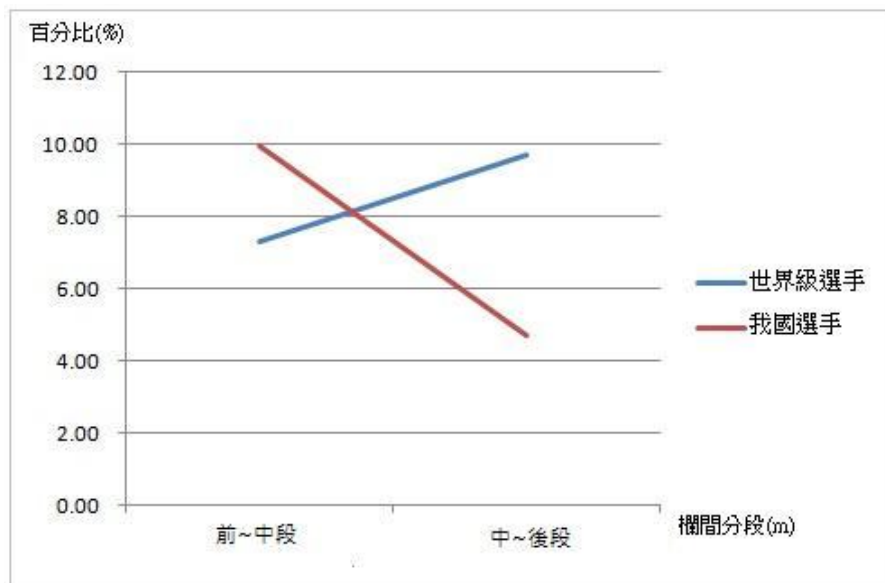


圖 6 我國與世界級選手分段速度遞減率曲線圖

第五章 結論與建議

第一節 結論

本研究主要目的為分析我國女子 400M 跨欄選手全程跑結構特徵之各欄間速度、步數、步頻及三個分段速度、分段速度遞減率，以探討各欄間節奏及速度變化情形與成績間之相關，為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、出發階段

固定起跑至第一欄之欄間步數與成績有重要性存在，起跑姿勢與第一欄的步數是保證欄間跑順利進行的基礎。

二、欄間跑階段

1. 除了第一欄至第二欄及第八欄至第九欄，各欄間步數皆影響著成績。步數越多，欄間時間越慢。
2. 十位選手之九個欄間跑階段在跨越下一欄以前有出現忽然加快步頻、步幅縮小的現象，使得欄間跑出現不穩定的節奏，特別是在第九欄至第十欄階段。這是由於沒有合理的分配速度，或體能不足原因，欄間節奏隨著體能下降出現雜亂不穩定的情形，影響全程跑比賽成績。
3. 九個欄間跑速度皆影響著成績，特別是在第四欄至第八欄間，速度大幅下降，是影響全程跑成績因素關鍵之一。
4. 十位選手最大速度出現在第一欄至第二欄間，最小速度出現在第八欄至第九欄間，表示我國選手起跑加速能力好，但維持高速跑能力不佳，而影響全程速度分配情形。

三、全程跑

1. 前、中、後三個分段與成績皆相互影響。

2. 分段速度遞減率雖與成績未達顯著相關，但前～中段分段速度遞減率大於中～後段分段速度遞減率，表示我國選手400公尺跨欄全程速度變化情形為起跑加速階段快，中段速度開始大幅下降，前～中段速度為比賽成績關鍵。
3. 我國女子400公尺跨欄運動員與世界優秀女子運動員比較，在欄間跑的節奏與速度有很明顯的差異。

第二節 建議

- 一、逐漸減少欄間步數是提升成績主要途徑之一，但一個重要的前提是，在不降低步頻的基礎上，減少欄間步數可以有效地提升400公尺跨欄成績。
- 二、無論是單數跑欄間節奏模式或是單雙數混合跑欄間節奏模式，勢必對選手之400公尺跨欄成績皆有利弊可言。運動員應根據自身的訓練水準、身體條件、身體素質選擇一個固定的模式，在有效地體能分配下，才能有效改善欄間節奏。
- 三、我國選手之400公尺跨欄成績關鍵在起跑至第二欄與第四欄至第八欄階段的速度。由於起跑加速過快，速度分配不均，使得前段消耗太多體力，中段速度下降幅度變大，若能採用均速跑法，提升前段的加速能力與中段速度的維持，有利於提升全程跑成績。
- 四、ATP-CP系統在高速運動中只能維持約10秒，在整個加速跑過程中的作用極為重要，在400公尺跨欄跑中的起跑加速階段不能像100公尺跑那樣全速跑進，對速度應有一定的控制，有效降低人體體能中ATP-CP系統的消耗率，延長能量的供能時間，未全程跑的體能分配奠定

基礎。

- 五、 乳酸系統是提高和維持運動員快速跑動的主要條件，透過有計畫的訓練，合理的控制訓練量和強度，可改善運動員的乳酸耐受能力，提高 400 公尺跨欄選手的速度耐力是往後訓練關注的重點。

參考文獻

一、中文部分：

- 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。
- 王西國、曲慶志 (2006)。影響男子 400 米跨欄成績的主要因素分析。濟南職業學院學報，3，93-94。
- 王炳花 (2008)。世界優秀女子 400m 欄運動員全程速度節奏特徵研究。未出版碩士論文，山東師範大學，山東省濟南市。
- 王敏姿 (2009)。世界級女子 400 公尺跨欄選手之速度分析。2009 亞太國際運動生物力學研討會暨台灣運動生物力學年會(頁 165-166)。台灣：中國文化大學體育學系。
- 方水泉 (2002)。400 米欄特徵與訓練對策。田徑，總第 162 期，22-25。
- 司鵬巧、史東林 (2000)。400m 欄節奏的掌握和控制。河北體育學院學報，14(2)，25-30，93-94。
- 田中原 (2003)。女子 400 米跑全程速度變化的生理學分析。山西師大體育學院學報，18(3)，45-47。
- 成萍、王慶玉 (2002)。400 米跨欄跑的技術訓練及跨欄節奏管窺。山東體育科技，24(3)，12-13。
- 何秋華、唐新發、楊小紅 (2002)。淺談我國優秀女子 400 米跨欄跑運動員欄間節奏的時空特徵。四川體育科學，1，40-41。
- 林正常 (1997)。運動生理學。臺北，師大書苑。
- 岳新坡、張本春 (2005)。論跨欄跑訓練理論的幾點創新。田徑，6，45-46

- 徐佶、黃群輝 (1995)。我國女子 400 米跨欄跑技戰術特徵的剖析。廣州體育學院學報，15(3)，31-36。
- 徐佶、黃群輝 (1995)。優秀女子跨欄運動員 400 米欄比賽戰術結構特徵及比較分析。山東體育科技，2，1-6。
- 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。
- 翁志成 (2006)。田徑教材教學與訓練。臺北市：師大書苑。
- 秦永祥、劉超 (2009)。400 米跑體能分配時相的研究。田徑，117，13-14。
- 許樹淵 (1992)。田徑論。臺北市：偉彬體育研究社。
- 曾麗萍、魏家駿 (1998)。優秀女子 400m 欄運動員的全程跑特點。湖北體育科技，2，23-25。
- 黃霞 (2008)。國內外優秀 400 米欄運動員的技術分析及訓練方法研究。未出版碩士論文，武漢體育學院，湖北省武漢市。
- 劉淑華、簡鴻玟 (2006)。國內與國際優秀競賽百公尺跑者速度之比較分析。運動教練科學，7，109-115。
- 戴勇 (2008)。黃瀟瀟與世界優秀女子運動員 400m 欄的技術參數對比分析。體育學刊，15(4)，88-91。
- 叢林、劉東方 (2008)。淺談提高 400 米欄成績的途徑。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的關係。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

林寛道(2000)。陸上競技男子400mハードル走における速度変化特性と記録との関係：内外一流選手のレースパターンの分析から。『*體育學研究*』, 45, 414-421。

三、英文部分：

Sinning, W.C. & Forsyth, H.L. (1970). Lower Limb Actions While Running at Different Velocities. *Medicine and Science in Sport*, 2, 28-34