

國立臺灣體育學院
National Taiwan College of Physical Education
體育研究所碩士學位論文

優秀跳高運動員的運動科學服務：
運動學的技術診斷
SPORTS SCIENTIFIC SERVICES
TO THE ELITE OF HIGH JUMP ATHLETE:
TECHNIQUES DIAGNOSIS OF KINEMATICS



研究生：李春安 撰
指導教授：陳重佑 博士

中華民國 99 年 6 月

論文名稱：優秀跳高運動員的運動科學服務：運動學的技术診斷

總頁數：91頁

院校所組別：國立臺灣體育學院體育研究所

畢業及提要別：98學年度第2學期碩士學位論文提要

研究生：李春安

指導教授：陳重佑博士

中文摘要

本研究的主要目的乃就運動學的研究手段，對臺灣優秀女子跳高運動員吳孟珈曲線助跑階段末期至起跳動作進行分析，並提供教練員與運動員作為訓練的參考。研究服務的對象身高 1.71m、體重 56kg，在 2009 年全中運（比賽成績 1.70m）前的訓練階段與 2009 年全國運動會跳高比賽（比賽成績 1.74m）進行運動學動作影像收集，動作記錄與分析的工具分別為 Sony HDR-FX7 高解析度數位攝影機（60Hz）與 Vicon Motus 9.2.0 版三度空間影像分析系統。重心路徑方向的計算結果顯示吳孟珈曲線助跑最後第二步的著地位置，在二次測試均出現偏離曲線助跑路徑外側，且起跳階段的重心最低高度都略顯較高（約為身高的 55-57%），全中運前的運動學特徵為加速起跳形式，而全國運動會則為減少最後一步步長的減速起跳形式，以致全國運動會離地角度增加；臺灣的優秀女子跳高運動員也都有偏離曲線助跑路徑外側的直線助跑現象，而出現最後一步的重心路徑方向角高於最後第二步。2009 年 11 月的第三屆亞洲室內運動中，吳孟珈以 1.80m 的成績獲得第六名，顯示仍需要更多運動科學服務的介入，祈以協助運動員未來奪取更佳成績。

關鍵詞：背向式跳高、生物力學、助跑

Lee, Chun-An (2010). Sports Scientific Services to the Elite of High Jump Athletes: Techniques Diagnosis of Kinematics. Unpublished master thesis, National Taiwan College of Physical Education.

ABSTRACT

The purpose of this study is to analysis the curved approach and the takeoff techniques of high jump for Meng-Chia Wu, the best female athlete of high jump in Taiwan, to provide the kinematical information to athlete and athletic coach. The body height and weight of Wu is 1.71m and 56kg respectively. The high jump movements of the training phase before 2009 Taiwan National High School Games (1.70m in Games) and 2009 Taiwan National Games (1.74m in Games) were acquired and digitized by digital HD video camera recorders (Sony HDR-FX7, 60Hz) and Vicon Motus v9.2.0 three-dimensional cinematography system. The results of direction of the path of the centre of mass (COM) at the last two steps showed the landing position of the right foot in the penultimate stride was always out of the run-up path of curve and the lowest height of COM (55-57% of body height) was somewhat high during takeoff phase in two assessments of Wu's high jump. The kinematical characteristics of Wu was increase velocity to takeoff at the training phase before 2009 Taiwan National High School Games, but it was reduced the last stride length to slow down and to increase the angle of takeoff at the 2009 Taiwan National Games. The direction of the path of the COM at the end of the takeoff phase was higher than the penultimate stride in Taiwan elite female high jump athletes. It can be regarded as straight path to run-up at the last two steps. At the third Asian Indoor Games (November, 2009), Wu got the sixth place for a jump of 1.80m. It indicated that the more intervention of sports scientific services is necessary in order for the elite athlete to gain the best performance in the future.

Key words: high jump, biomechanics, run-up

謝 誌

本論文得以順利完成，最要感謝我的指導教授陳重佑博士，在研究期間，老師悉心的指導與鼓勵，不僅給予學生諸多觀念的啟發，引導建立正確的研究理念，使學生在學習的過程中受益良多，謹此致上最誠摯的謝意。

感謝許太彥教授、陳帝佑教授，對本文提出最愷切的建議與指導，令學生收穫匪淺，而教授們的學術涵養及謙沖為懷的學者風範，更是學生景仰與學習榜樣。

感謝臺體體育研究所許光庶所長及陳相榮教授、蘇金德教授、高明峰教授、陳裕鏞教授、聶喬齡教授，在各項專門學科的指導與鼓勵，引導學生能在此運動學領域中鑽研。

感謝臺體研究生偉勳、茂萍、晴惠、雁文、紹渝、俊憲、麗子、文進等同學，在大太陽下協助我完成實驗的拍攝工作，尤其感謝偉勳細心協助影片剪輯，讓我的研究得以順利進行。

感謝后綜高中林啟仲教練，除了同意讓他的學生吳孟珈參與實驗，在實驗期間還時時鼓勵我、並提供意見，讓我的研究順利進行，研究結果對吳孟珈的技術更有正面的幫助。

感謝研究所同窗好友碧柔、宜文，在求學中對春安的相互扶持，謝謝您們。感謝內埔國小劉修榮、黃進傳校長的鼓勵與包容，及東益、敏文的協助、所有本校同仁們的關心。

感謝父親李溪祥先生、母親盧金英女士、岳母張陳幼女士，給予無限的支持與關愛，感激內人張金雪女士在我求學及專注論文寫作中，大力協助與督促，兒子仲璿的協助與女兒詩涵的關心。有您們的支持與鼓勵，才使得論文順利完成。

李春安 謹誌

中華民國 99 年 6 月

目 錄

中文摘要	I
英文摘要	II
謝 誌	III
目 錄	IV
表 目 錄	VI
圖 目 錄	VII
附 錄	VIII
第 壹 章 緒 論	1
第 一 節 前 言	1
第 二 節 問 題 背 景	2
第 三 節 研 究 目 的	5
第 四 節 研 究 範 圍	5
第 五 節 研 究 限 制	5
第 六 節 名 詞 解 釋	6
第 七 節 研 究 的 重 要 性	7
第 貳 章 文 獻 探 討	8
第 一 節 臺 灣 女 子 背 向 式 跳 高 運 動 發 展 的 概 況	8
第 二 節 背 向 式 跳 高 運 動 技 術 分 析	12
第 三 節 跳 高 助 跑 階 段 生 物 力 學 研 究	17

第四節	跳高起跳階段生物力學研究	21
第五節	結語	26
第參章	研究方法與步驟	27
第一節	研究對象	27
第二節	實驗時間與地點	28
第三節	實驗儀器與工具	29
第四節	實驗儀器的同步技術	30
第五節	實驗步驟與流程	31
第六節	資料處理	35
第肆章	研究結果與討論	36
第一節	吳孟珈全中運前的技術分析	36
第二節	吳孟珈全運會跳高比賽的技術分析	47
第三節	全運會優秀女子跳高運動員的技術分析	58
第四節	綜合討論	69
第伍章	結論與建議	75
第一節	結論	75
第二節	建議	76
引用文獻	77
中文部分	77
英文部分	79

表 目 錄

表 2-1	臺灣女子跳高紀錄演進.....	9
表 2-2	臺灣女子跳高成績自 1989 年後每一年的最佳成績.....	11
表 2-3	世界優秀跳高選手在 1987-1992 年世界田徑重要比賽的最後兩步的助跑速度.....	17
表 2-4	世界優秀跳高運動員在 1987-1992 年世界田徑重要比賽身體重心軌跡與橫竿的夾角.....	20
表 2-5	世界優秀跳高運動員在 1987-1992 年世界田徑重要比賽起跳開始的身體重心高度與佔身高的比率.....	21
表 2-6	優秀跳高運動員的起跳時間.....	22
表 2-7	世界優秀跳高運動員在 1987-1992 年世界田徑重要比賽助跑最後一步的步幅及角度、與橫竿的夾角及距離.....	24
表 2-8	跳高運動員起跳階段的水平速度與垂直速度.....	25
表 3-1	研究對象與國際優秀跳高運動員基本狀況及比賽成績...	28
表 3-2	參考點實際座標值與線性轉換後座標值之誤差.....	34
表 4-1	2009 年全中運前吳孟珈起跳前、後重心軌跡與橫竿的相關角度.....	37
表 4-2	2009 年全中運前吳孟珈最後兩步步長的比較.....	39
表 4-3	2009 年全中運前吳孟珈起跳開始的重心高度及起跳前、後速度的變化.....	41
表 4-4	2009 年全中運前吳孟珈起跳前、後重心高度變化表.....	46
表 4-5	2009 年全運會吳孟珈起跳前、後重心軌跡與橫竿的相關角度.....	49
表 4-6	2009 年全運會吳孟珈助跑最後兩步步長的比較.....	50

表 4-7	2009年全運會吳孟珈起跳開始重心高度及起跳前、後速度的變化.....	51
表 4-8	2009年全運會吳孟珈起跳前、後重心高度變化表.....	55
表 4-9	2009年全運會前吳孟珈助跑最後兩步支撐與飛程時間...	56
表 4-10	2009年全國運動會女子跳高比賽運動員成績一覽表.....	58
表 4-11	2009年全運會優秀女子運動員起跳前、後重心軌跡與橫竿的相關夾角.....	59
表 4-12	2009年全運會優秀女子運動員助跑最後兩步步長.....	60
表 4-13	2009年全運會優秀女子運動員起跳開始的重心高度及起跳前、後速度的變化.....	61
表 4-14	2009年全國運動會優秀女子跳高運動員起跳前、後重心高度的變化.....	67

圖 目 錄

圖 2-1	影響跳高高度的因素	15
圖 3-1	實驗場地與儀器布置圖	31
圖 3-2	數位化分析的標誌點位置與名稱	34
圖 4-1	2009年全中運前吳孟珈助跑最後兩步及起跳和空中階段的 身體重心軌跡俯視圖	40
圖 4-2	2009年全中運前吳孟珈六次試跳的重心速度曲線圖	43
圖 4-3	2009年全中運前吳孟珈重心水平速度曲線圖	44
圖 4-4	2009年全運會吳孟珈起跳前、後重心軌跡與橫竿的相關 角度俯視圖	48
圖 4-5	吳孟珈2009年全運會四次試跳的重心速度曲線圖	52
圖 4-6	吳孟珈2009年全運會重心水平速度曲線圖	53
圖 4-7	吳孟珈2009年全運會女子跳高比賽，跳1.76m高度的動作 單線圖	57
圖 4-8	2009年全運會優秀女子運動員起跳前、後重心速度變化 曲線圖	64
圖 4-9	2009年全運會優秀女子運動員起跳前、後重心水平速度 變化曲線圖	65
圖 4-10	2009年全運會女子優秀運動員起跳前、後重心高度比較 曲線圖	68

附 錄

附錄 A	實驗參與者須知	82
附錄 B	實驗參與者同意書	83

第壹章 緒論

第一節 前言

自從 Fosbury Flop 跳高技術發展以來，國際運動場上的跳高紀錄就屢創新高，並在 1993 年由古巴跳高運動員 Javier Sotomayer 以 2.45m 創下新的跳高紀錄後，此一紀錄就高懸至今成為國際跳高運動員攻頂的目標。然而，2009 年的男子跳高最佳成績則為 Andra Manson 與 Ivan Ukhov 的 2.35m；在亞洲紀錄方面，男子跳高則由中國運動員朱建華於 1984 年創下的 2.39m 保持至今（International Association of Athletics Federations [IAAF], 2009）。女子跳高的世界紀錄則是 1987 年保加利亞運動員 Stefka Kostadinova 的 2.09m 保持至今，而 2009 年的女子跳高最佳成績則是克羅地亞共和國運動員 Blanka Vlastic 的 2.08m，亞洲紀錄則為哈薩克運動員 Marina Aitova 所創下的 1.99m（IAAF, 2009）。

臺灣的男子跳高成績自 1982 年由劉金鎗運動員創下 2.22m 後，直到 2007 年才由曹志豪運動員以 2.23m 的成績超越，而 2009 年的全國運動會男子跳高成績則由向俊賢以 2.15m 奪得金牌。女子跳高成績方面，臺灣的紀錄則是 1989 年由蘇瓊月的 1.86m 保持至今；直至 2010 年的 21 年期間，雖然有多位女子跳高運動員接近 1.86m 的成績，可是均未能有任何突破的進展。自 2000 年以來，雖然有一至二年的女子跳高最佳成績突破 1.80m，但是，多年來僅是維持在 1.75m 的水準。近年來締造最佳女子跳高成績的運動員，多為大專以上學生，在 2009 年則有 15 歲的吳孟珈運動員（現為國中三年級學生）屢次締造佳績，並在 2009 年的全國運動會中以 1.74m 奪得金牌、2009 年 11

月的越南亞洲室內運動會中以 1.80m 奪得第 6 名，可說是 2000 年以來，最有希望突破 1.86m 臺灣女子跳高紀錄的運動員。

第二節 問題背景

跳高是一種速度與力量結合的運動項目，更是一項瞬發力表現的運動項目。為了要克服重力，爭取垂直方向的高度提昇，就必須將 Fosbury Flop 跳高技術的助跑 (run-up)、起跳 (takeoff)、騰空/過竿 (bar clearance) 和著地 (pit landing) 等四個階段貫串發揮 (Dapena, 2000; Hay, 1993; 吳敏, 2003; 張志銘, 1992)。Hay (1993) 指出跳高成績的決定因素包括了離地高度 (takeoff height)、騰空高度 (flight height) 和過竿高度 (clearance height) 等三個高度的加總；但是助跑及起跳卻是創造三個高度優勢的重要條件。Dapena (1980a, 1980b) 在研究跳高助跑階段指出，運動員必須通過直線加速助跑，並於起跳前的 4 至 5 步進入曲線的助跑模式，此時的助跑速度將達到 6 至 8m/s；起跳時，運動員將會降低水平速度，並大幅增加垂直速度和身體翻轉的角動量，以創造起跳過竿的最佳條件。曲線助跑是跳高運動員轉換身體工作目的之重要階段，在進入曲線助跑時，跳高運動員的身體必須沿著行進的曲線向內傾斜，再於起跳時將身體向外躺向橫竿，所以，就使得起跳過程中，身體依照接近垂直的方向離地。因此，進入曲線助跑後身體向內傾斜，除了可以提供曲線行進的向心來源以外，更為運動員製造了身體翻轉過竿的轉動動量 (Dapena, 1995)，也可以避免為了助跑起跳而過度前傾身體的衝竿動作 (Dapena, 1980b; Jacoby, 1987)。為了解釋跳高曲線助跑的概念，Dapena, Ae 和 Iiboshi (1997) 則通過

圓弧曲線擬合的方式，分析運動員曲線助跑 4 步的落腳位置，並指出助跑速度越快或弧線曲度越小時，跳高運動員身體向圓弧中心的傾斜角就要增加。不過，Tan 和 Yeadon (2005) 則通過簡單的數學點粒子模型 (simple mathematical point mass model)，分析檢證曲線助跑的主要優點，認為曲線助跑為產生身體繞橫竿旋轉的角速度來源。

此外，也有許多研究指出曲線助跑可以有效的降低起跳階段的身體重心，以創造起跳階段的較大垂直位移，而使得跳高運動員可以有較為充分的力量作用時間，發展離地速度所需的垂直衝量 (Ae, Sakatani, Yokoi, Hashihara, & Shibukawa, 1986; Dapena, 1987, 1993; Jacoby, 1986)。

馬俊明、周巧玲 (2003) 的研究指出，起跳階段都是經由下肢腿部動作完成支撐與起跳動作。起跳動作主要由前導腿蹬擺和起跳腿緩衝、蹬伸所構成，而起跳速度是影響成績最主要的因素之一，其中垂直速度更是起跳過程中，前導腿蹬擺及起跳腿緩衝與蹬伸互相配合之下所產生。前導腿的快速擺動是提高起跳速度和改變助跑速度方向的重要因素。支撐階段的過程，必需由下肢髖、膝、踝關節伸肌完成增強式的收縮 (陳全壽、相子元，1998)。所以，Dapena (1997) 以角動量計算與貓旋的理論模型分析跳高騰空階段的技術，指出跳高運動員離地後的初期屈膝和伸髖動作，可以使起跳腳產生反向的運動，或減緩起跳腳的旋轉，在角動量守恆的力學機制下，就造成身體軀幹的旋轉速度加快，而創造軀幹過竿的有利條件。在軀幹過竿後的階段，跳高運動員將減緩軀幹的旋轉 (屈頸關節或含胸收腹動作)，而增加過竿的角速度。林啟仲 (1997) 也提出過竿過程的動作技術，指出跳高動作離地後

唯一能做的隨意運動是身體的補償運動，當起跳後重心騰升到接近最高點時，頭肩部過竿後須下壓，才能使腰臀重心部分上升，亦即身體的髖部因頭肩部過竿的降低，引起相反運動而抬高。這也說明了運動員弓身以提高髖關節高度、收腹以加速下肢旋轉速度，以降低身體坐落或碰觸橫竿動作的失敗機率。

中國跳高運動員朱建華，曾於 1985 年三破世界跳高紀錄，但臺灣運動員在跳高這個項目上卻一直沒有好的表現。特別是臺灣女子跳高運動自 1989 年蘇瓊月運動員創下 1.86m 後，跳高紀錄停頓了 21 年，至今無人能突破。其中也有身材極佳、身體素質極好的選手，如林素琦（最佳成績 1.85 公尺）、唐莉文（最佳成績 1.82 公尺）等，她們在國中階段即已展露頭角，可是在進升至大學之後，成績滑落、不進反退，殊為可惜。有鑑於此，實有必要運用研究，針對目前臺灣女子跳高成績表現最好的吳孟珈運動員，科學化的持續追蹤其表現，並提供生物力學方面的訊息，提供教練員與運動員參考，以改進技術提高運動成績。

目前大多數臺灣女子跳高運動員容易達到 1.65m，但從 1.65m 過到 1.70m 或更高的高度，則產生了瓶頸。本研究擬以運動學的分析技術，記錄吳孟珈運動員在背向式跳高全程的動作表現，期能提供對於背向式跳高的動作技術特徵等訊息。希望能從運動科學服務中提供有關的動作訊息給教練員與運動員，並藉以發現其應改進的方向，而突破停滯 21 年的女子跳高紀錄。

第三節 研究目的

本研究目的乃以運動學的研究手段，提供臺灣優秀女子跳高運動員吳孟珈的動作表現訊息，具體研究問題方面，探討的方向如下：

- 一、起跳前、後身體重心軌跡及最後一步運動方向與橫竿夾角的運動學參數之變化。
- 二、起跳前、後水平速度及垂直速度運動學參數之變化。
- 三、起跳前、後重心高度運動學參數之變化。

第四節 研究範圍

本研究只針對臺灣后綜高中國中部運動員吳孟珈為分析對象，分別於臺灣中等學校運動會比賽前及臺灣全國運動會女子跳高比賽等兩個階段實施測試。本研究主要從吳孟珈運動員實際跳高測試或比賽中試跳的高度，以運動學的觀點來探討吳孟珈起跳前後的水平速度和垂直速度的變化，及身體重心高度、方向，身體到達最高點等過程，並據此與世界優秀女子跳高運動員比較。背向式跳高空中過竿動作之優劣，亦是影響運動員跳高成績之一，但本研究只探討吳孟珈的助跑及起跳動作，其過竿動作雖有加強改善之處，但不在本研究探討範圍。

第五節 研究限制

本研究採實際三維攝影分析方法，經資料處理其所得之

身體重心（center of mass，簡稱 COM）必須假定如下：

- 一、人體各肢段都有一個固定的質量中心點（對垂直方向而言，即為肢體的重心）。
- 二、假定在人體運動過程中，每一個肢段的質量中心位置固定不變。
- 三、運動過程的每一肢段都被視為長度不變、質量均勻分佈的剛體結構。
- 四、由於無法以直接的方法獲得實驗參加者的實際肢段參數資料，因此，本研究的人體肢段參數乃採用 Dempster(1955) 之人體參數資料。

第六節 名詞解釋

一、助跑速度

- （一）助跑速度：助跑過程中，身體重心移動的水平速度。
- （二）助跑最後第二步速度：助跑最後第二步腳離地瞬間的水平速度。
- （三）助跑最後一步速度：助跑最後一步腳離地瞬間的水平速度。

二、起跳時間：從起跳腳開始著地瞬間（著地），到離地瞬間（騰空）所經歷的時間。

三、起跳速度：起跳腳離地瞬間重心的速度，包括水平速度、垂直速度及偏竿速度。

四、起跳距離：起跳腳離地瞬間與橫竿垂直面所形成的距離。

五、角度定義：本研究所指的角度，是指跳高運動員接近橫竿時的相關角度：在本文中 t_1 表示最後一步的運動方向，

即兩腳連線與橫竿的夾角， p_2 、 p_1 表示最後兩步騰空時，身體重心軌跡分別與橫竿的夾角， p_0 表示起跳後身體重心軌跡與橫竿的夾角。

六、運動學：運動學是力學的分支，它專門描述物體的運動，就是物體在空間中的位置隨時間的演進而作的改變，但不涉及力和運動所產生的根源等因素之探討。

第七節 研究的重要性

本研究以臺灣目前最具潛力的女子跳高運動員吳孟珈為實驗對象，雖然該運動員的運動表現已具有一定的水準，但在助跑及起跳速度方面仍具有進步的空間。而本研究將目的定位在助跑及起跳速度等運動學訊息的獲得，藉此提供教練及運動員參考，相信在科學研究人員、教練員與運動員之間密切聯繫與溝通，在合理的科學訓練下，運動員更能有效的發揮自己的潛能，獲得佳績。

所以，在今日臺灣女子跳高成績一直處於裹足不前的情況下，對於跳高技術的研究，正是相關領域人員應積極努力奮鬥的重要工作。通過本研究對跳高助跑、起跳技術的運動學分析，不僅有助於提昇跳高助跑、起跳的技術，對基層教練工作者的協助，也將深具實質的義意與價值。

第貳章 文獻探討

跳高是一個多世紀以來技術演變最為突出的田徑運動項目，也是近幾十年來各國專家學者對其技術研討最為深廣的項目之一。跳高技術的發展，從最初的跨越式與相繼出現的剪式、滾式和俯臥式，至目前的背向式，每次的變革都使跳高技術更合理、更科學、更能發揮人體的潛在能力，並創造更好的成績。

第一節 臺灣女子背向式跳高運動發展的概況

1945年臺灣光復後，林素貞以1.28m，於1946年開創臺灣的第一個女子跳高比賽的紀錄。廖學松（2006）研究臺灣女子跳高運動發展的歷程，依據場地、器材、設備的進步及跳高技術的改進，將跳高演進的過程分成兩個階段。

從表2-1可發現，從1946年至1963年這一階段器材、設備簡陋，並且在泥土場地或砂子場地上比賽，跳高的技術大都採用剪式跳高或腹滾式跳高。1963年紀政創下1.58m之後，紀錄保持了9年，但在1972年場地、器材及設備都有改善之後，終於由吳玉枝將紀錄推向1.60m。

1968年美國跳高運動員 Dick Fosbury，自創背向式跳高技術並在第19屆奧運會上摘金，但臺灣卻遲至1976年，在洪春來首次使用背向式跳高技術參加比賽，才以1.72m打破了當時一度被視為臺灣女子跳高的障礙1.70m，而且更造成臺灣女子跳高運動員紛紛開始學習背向式跳高。因此女子跳高在技術獲得突破後，成績也才有了比較大幅度的進步。

表 2-1 臺灣女子跳高紀錄演進

姓 名	年 代	全 國 記 錄 成 績
林 素 貞	1946 年	1.28 m
邱 月 嬌	1947 年	1.31 m
林 素 貞	1948 年	1.36 m
吳 樹 森	1948 年	1.40 m
林 素 貞	1950 年	1.42 m
黃 彩 華	1953 年	1.42 m
吳 韻 珊	1955 年	1.42 m
黃 惠 美	1955 年	1.42 m
李 桂 芬	1956 年	1.43 m
張 幸 子	1956 年	1.43 m
張 幸 子	1957 年	1.47 m
張 幸 子	1957 年	1.53 m
黃 文 蓉	1959 年	1.54 m
張 幸 子	1960 年	1.55 m
黃 文 蓉	1960 年	1.55 m
張 幸 子	1962 年	1.56 m
紀 政	1962 年	1.57 m
紀 政	1963 年	1.58 m
吳 玉 枝	1972 年	1.60 m
吳 麗 華	1973 年	1.60 m
吳 麗 華	1974 年	1.64 m
吳 麗 華	1975 年	1.68 m
洪 春 來	1976 年	1.68 m
洪 春 來	1976 年	1.72 m
洪 春 來	1976 年	1.73 m
洪 春 來	1978 年	1.74 m
劉 燕 秋	1979 年	1.75 m
顏 桂 花	1980 年	1.76 m
劉 燕 秋	1982 年	1.77 m
劉 燕 秋	1983 年	1.78 m
劉 燕 秋	1983 年	1.80 m
劉 燕 秋	1983 年	1.83 m
武 為 瓊	1986 年	1.84 m
蘇 瓊 月	1987 年	1.84 m
蘇 瓊 月	1988 年	1.85 m
蘇 瓊 月	1989 年	1.86 m

資料來源：廖學松，2006，跳高運動，頁 19-20。

不過值得注意的是，1977年世界女子紀錄已在德國 Rosemarie Ackermann 運動員不斷的破紀錄下突破了 2.0m 大關。

1983年臺灣由當時跳高界一支獨秀的劉燕秋跳過 1.80m 後，終於在 1989年由蘇瓊月創下了 1.86m 的紀錄。當時的世界紀錄自 1977年突破 2.0m 大關後，在優秀運動員努力下不斷翻新紀錄，於 1987年保加利亞運動員 Stefka Kostadinova 跳過 2.09m，並且這個紀錄一直維持至今，沒人能突破。

臺灣與世界紀錄相差了 23cm，1989年至 2010年這 21年來，臺灣女子跳高運動員沒有人超越 1.86m 紀錄（表 2-2）；而全世界也有 23年的時間，沒有人能突破 Stefka Kostadinova 跳過的 2.09m。

但綜觀臺灣這 21年來（表 2-2），其中也有身材極佳、身體素質極好的運動員，如林愷琦（最佳成績 1.85m）、馬君萍（最佳成績 1.84m）、唐莉文（最佳成績 1.82m）、林淑靜（最佳成績 1.80m）等選手，她們在國中階段即已嶄露頭角，可是在進升至大學之後，成績滑落、不進反退，之後就沒有新秀出現（跳過 1.80m 以上），而形成斷層（林啟仲，1997）。

臺灣目前女子跳高的現況，如蔡昕域、陳嘉琪、朱佳翎、蔡佩芸、鄭筠懷、李依柔、林芸蔓、吳孟珈等實力在 1.67m 至 1.80m 之間，其中只有吳孟珈的年齡最小（只有 15歲），但卻跳最高（1.80m），最具潛力。期盼未來教練多加努力，為女子跳高加一把勁，期望在不久的將來，能超越 1.86m 的紀錄。

表 2-2 臺灣女子跳高成績自 1989 年後每一年的最佳成績

時間 (西元年)	姓名	最高成績
1989	蘇瓊月	1.86m
1990	林慄琦	1.82m
1991	林慄琦	1.85m
1992	蘇瓊月	1.82m
1993	馬君萍	1.83m
1994	馬君萍	1.84m
1995	唐莉文	1.81m
1996	馬君萍	1.76m
1997	馬君萍	1.78m
1998	馬君萍	1.82m
1999	唐莉文	1.80m
2000	唐莉文	1.81m
2001	唐莉文	1.75m
2002	林淑靜	1.80m
2003	林淑靜	1.75m
2004	林淑靜	1.77m
2005	林慄琦	1.75m
2006	陳嘉琪	1.75m
2007	陳嘉琪	1.75m
2008	李依蓉	1.71m
2009	吳孟珈	1.80m

資料來源：中華民國田徑協會提供，研究者整理。

第二節 背向式跳高運動技術分析

跳高是一種克服垂直障礙、爭取向上高度的運動項目(吳敏, 2003), 其技術結構據研究指出乃由助跑(run-up)、起跳(takeoff)、騰空/過竿(bar clearance)和落地(pit landing)四個部分組成(Hay, 1993; 程麗平, 2004); 而每個階段的技術是銜接相連, 環環相扣、密不可分的(張志銘, 1992), 因此整個跳高動作具有連貫性、整體性及系統性, 若第一階段助跑技術不佳, 就會影響其它階段的表現。今顧及論述之連貫性與完整性, 將依Dapena(1980a, 1980b)指出的跳高過程: 助跑、起跳和過竿等三階段進行研究分析。

一、助跑為快速有力的起跳創造良好的條件

趙連甲、呂強、史鴻範等(1996)研究指出, 助跑的任務在獲得身體向前移動的水平速度, 同時創造快速有力的起跳良好條件。為了達到以上目的, 運動員起跳前必須具有快速的水平速度, 才能快速轉變成向上的動量。許樹淵(1992)認為運動員個人的肌力和技術優劣, 常常會影響速度的利用, 速度利用低會影響起跳的效率和旋轉的作用。因此, 快速助跑的目的就是為積極起跳準備合適的條件(Hay, 1977; Dapena, 1980a; 程麗平, 2004; 趙連甲、李國東, 2004; 王琨, 2000; 吳敏, 2003; 吳敏、陳亞中, 2005; 張志銘, 1992)。

Dapena(1980a, 1980b)在研究跳高助跑階段指出, 運動員必須通過直線加速助跑, 並於起跳前的4至5步進入曲線的助跑模式, 此時的助跑速度將達到6至8m/s; 起跳時, 運動員將會降低水平速度, 並大幅增加垂直速度和身體翻轉的角動量,

以創造起跳過竿的最佳條件。曲線助跑是跳高運動員轉換身體工作目的之重要階段，在進入曲線助跑時，跳高運動員的身體必須沿著行進的曲線向內傾斜，再於起跳時將身體向外躺向橫竿，所以，就使得起跳過程中身體依照接近垂直的方向離地。因此，進入曲線助跑後身體向內傾斜，除了可以提供曲線行進的向心來源以外，更為運動員製造了身體翻轉過竿的轉動動量 (Dapena, 1995)，也可以避免為了助跑起跳，身體過度前傾，造成衝竿的動作 (Dapena, 1980b; Jacoby, 1987)。

Dapena, Ae 和 Iiboshi (1997) 通過圓曲曲線擬合的方式解釋跳高曲線助跑的概念，分析運動員曲線助跑 4 步的落腳位置，並指出助跑速度越快或曲線曲度越小時，跳高運動員身體向圓曲中心的傾斜角就要增加。不過，Tan 和 Yeadon (2005) 則通過簡單的數學點粒子模型 (simple mathematical point mass model) 分析檢證曲線助跑的主要優點，認為曲線助跑是產生身體繞橫竿旋轉角速度的來源。

此外，也有許多研究指出，曲線助跑可以有效降低起跳階段的身體重心，以創造起跳階段的較大垂直位移，而使得跳高運動員可以有較為充分的力量作用時間，發展離地速度所需的垂直衝量 (Ae, Sakatani, Yokoi, Hashihara, & Shibukawa, 1986; Dapena, 1987, 1993; Jacoby, 1986)。

採用曲線助跑並且在不影響跑速的情況下，至起跳時身體側對橫竿，最後一步與橫竿的夾角約成 20-30°，以保證人體在騰空後，有一個適宜的相對於橫竿的垂直位移距離 (Dapena, 1980b)。這為起跳作好了準備，有利於起跳時的身體繞縱軸旋轉，起跳後身體轉成背向橫竿的姿勢。

二、起跳是跳高中最重要的階段

助跑為起跳提供準備，過竿中大部分問題，都是由助跑或起跳所造成的。馬俊明、周巧玲（2003）研究指出，跳高起跳階段都是經由下肢腿部來完成支撐與起跳動作，起跳技術主要由前導腿蹬擺和起跳腿緩衝與蹬伸所構成，其中垂直速度更是起跳過程中，起跳腿蹬伸及前導腿蹬擺互相配合之下所產生；而前導腿快速蹬擺的動作，有助於減少水平速度的損失，並獲得較大的垂直速度（施文忠，1998）。起跳支撐階段的過程，乃下肢髖、膝、踝關節伸肌，必需完成增強式的收縮，並且儲存大量的彈性適能，才能產生較大的蹬伸力量（陳全壽、相子元，1998）。因此，起跳技術必須提高水平速度、肢體力量及分力動作的利用率，以取得最大的垂直速度，及有效的騰越橫竿速度，起跳離地後身體重心提升的垂直高度才會越高（Dapena, 1988）。所以起跳時要獲得較大的垂直衝量，應加強助跑速度的訓練。

林啟仲（1997）的研究指出，助跑與起跳的結合是跳高技術的重點，而此技術的困難處，在於起跳腳蹬伸，前導腳上擺與雙臂助擺與軀幹伸展配合，而此關鍵完成的好壞，在很大程度上，取決於助跑的最後兩步之跑法，節奏速度是否轉換合理，即能不能在最後第二步伸的時候，為起跳作有效的擺動和蹬伸的配合。從助跑過程至起跳腳著地階段，其身體重心最低點是出現在最後第二步支撐最大反衝時，此後重心軌跡即未再下降，而呈直線上升。因此，林啟仲（1997）認為跳高起跳動作乃是從最後第二步支撐最大反衝階段開始，而非最後一步起跳腳著地開始。

三、跳躍使人體重心升高，是過竿最主要的條件

根據 Hay (1977) 研究指出，跳高時人體的跳躍高度是由三個垂直距離的總合所決定，這就是跳高理論中的重要公式： $H = H_1 + H_2 \pm H_3$ (見圖 2-1)。

H：能夠跳過的橫竿高度，就是運動的成績。

H_0 ：起跳前人體著地瞬間，身體重心的高度。

H_1 ：起跳時人體離地瞬間，身體重心的高度。

H_2 ：通過蹬地，使人體重心升高的高度。

H_3 ：人體重心騰起的最高點至橫竿之間的距離。

H：起跳階段人體著地與離地瞬間，身體重心相差的高度。

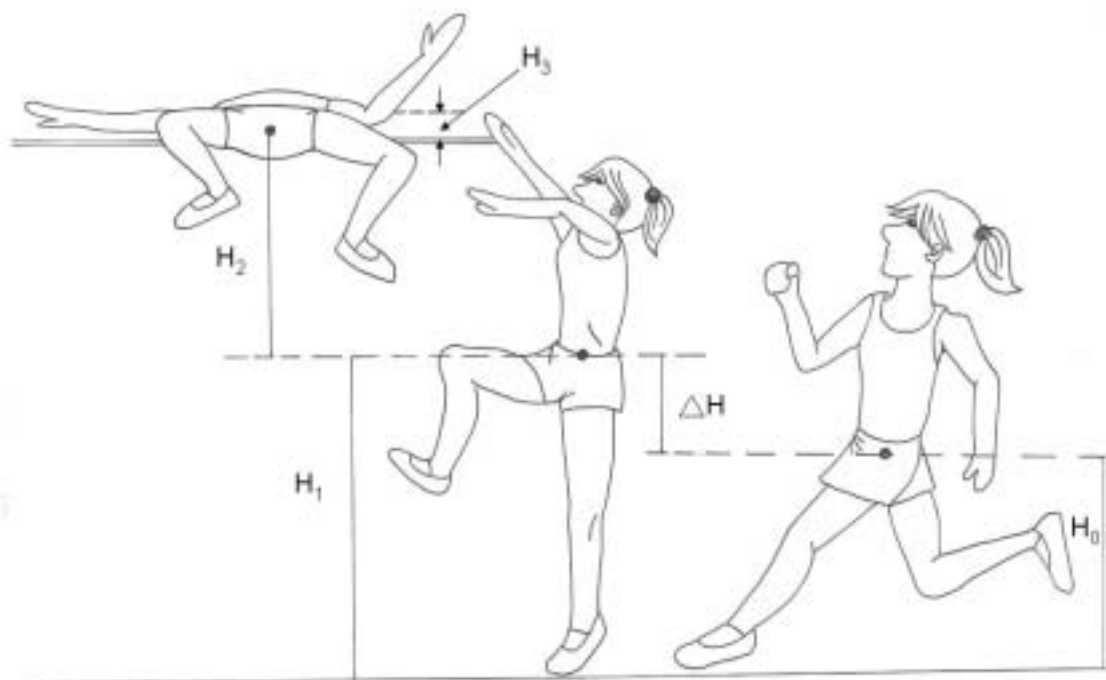


圖 2-1 影響跳高高度的因素 (改繪自 Hay, 1993)

從公式中可以看出與跳高成績直接相關的三個條件。

H_1 ，即起跳瞬間人體重心高度。身材高，特別是下肢修長的人，重心也高，這是極為有利的條件；運動員起跳時的身體姿勢會直接影響身體重心的變化，如在起跳時兩臂和前導腿充分向上高擺、提肩、拔腰，整個身體充分向上伸展，起跳腿的膝、踝關節充分蹬直，就會顯著提高身體重心的位置（馬明彩、熊西北，2004）。

H_3 為人體重心騰起的最高點至橫竿之間的距離，因此 H_3 值越小越好。這主要取決於運動員過竿動作和竿上的姿勢。背向式跳高背向過竿，就是為了要利用已獲得的騰空高度越過更高的橫竿，所以 H_3 是衡量過竿動作優劣的主要標準（馬明彩、熊西北，2004），也是背向式跳高技術最讓人稱羨之處。

由以上可以看出，在決定跳高成績的三個條件中， H_1 和 H_3 與運動員的身體形態及採用姿勢、身體各部分的協調動作有關，是提高跳高成績不可忽視的因素。但是，決定跳高成績的主要條件，卻是通過跳躍使身體騰空的距離 H_2 。這是跳高技術中最主要的關鍵。

所以，Dapena（1997）以角動量計算與貓旋的理論模型分析跳高騰空階段的技術，指出跳高運動員離地後的初期屈膝和伸髖動作，可以使起跳腳產生反相的運動，或減緩起跳腳的旋轉，在角動量守恆的力學機制下，造成身體軀幹的旋轉速度加快，而創造軀幹過竿的有利條件；在軀幹過竿後的階段，跳高運動員將減緩軀幹的旋轉（屈頸關節或含胸收腹動作），而增加過竿的角速度。林啟仲（1997）也提出了過竿過程的動作技術，指出跳高動作離地後唯一能做的隨意運動是身體的補償運動。當起跳後重心騰升到接近最高點時，頭肩部須下壓，才能使腰臀重心部份上升，亦即身體的髖部因頭肩部過

竿後的降低，引起相向運動而抬高。這也說明了運動員弓腰以提高髖關節高度，收腹以加速下肢旋轉速度，同時減少碰觸橫竿的動作失敗機率。

第三節 跳高助跑階段生物力學研究

背向式跳高技術發展的趨勢，朝向加快助跑速度，增加起跳速度和幅度。這是因為曲線助跑速度越快，身體內傾角度越大，重心就相對降得越低，身體由內傾轉變為豎直的時間就越短、速度就越快、工作距離就越大，身體重心快速上升的速度和幅度也就越大，有利於垂直速度的累積增大而獲得更大的騰起初速度。這是背向式跳高利用助跑速度提高起跳效果的最大優越性所在。

表 2-3 世界優秀跳高運動員在 1987-1992 年世界田徑重要比賽的最後兩步的助跑速度 (m/s)

	最後第二步助跑速度	平均	最後一步助跑速度	平均
男子	6.9-8.1	7.4	6.6-8.0	7.4
女子	6.3-7.5	7.0	6.3-7.2	7.0

資料來源：研究者整理自 Dapena (2000) 的研究結果。

助跑最後兩步在本文中，是指從助跑倒數第三步結束，左腳著地瞬間，到起跳腿左腳著地瞬間止。以 Stefka Kostadinova 的最後兩步的助跑速度來看，最後第二步助跑速度為 7.5m/s，最後一步助跑速度為 7.3m/s，只約慢 0.2m/s。Dapena(2000)從 1987-1992

年對世界優秀跳高運動員在世界田徑重要的比賽上所做的研究，如表 2-3，可見最後兩步的助跑速度相差無幾，為了提高起跳速度，最後一步的助跑速度與最後第二步助跑速度，應幾乎一樣或只能減少很少的速度，以維持高速來獲得較大的垂直速度。

根據生物力學原理，可計算出起跳垂直初速度每秒增加 0.1m，跳高高度大約能提高 3.5cm；林啟仲（1997）的研究指出，女子欲跳過 1.93m 達到國際運動健將標準，在起跳之前的水平速度必須達到 7m/s 方可做到。

當跳高運動員將助跑距離增加到 10-14 步，並改進助跑動作使之更趨於短跑技術，從而大大地提高了助跑速度。如中國跳高運動員朱建華三破世界紀錄時，助跑速度最快達 8.73m/s。而 Javier Sotomayor 1993 年創造 2.45m 世界紀錄時，助跑最後兩步平均速度更高達 8.93m/s；女子運動員助跑速度最快者為 Stefka Kostadinova，她的助跑最後兩步平均速度也高達 7.86m/s，其助跑速度之快，展現出個人速度能力的特質。

程麗平（2004）根據 2003 年在無錫市舉行的江蘇省青少年田徑比賽，進入前 6 名的運動員為研究對象，結果顯示：跳高運動員的成績與 100m 速度有高度相關（ $r = .842$ ），這表示速度對跳高成績的影響很大。

曲線助跑是跳高運動的最大特點，根據 Dapena（1980a, 1980b）的研究，曲線助跑階段，優秀跳高運動員的助跑速度應該要達到 6-8 m/sec。起跳階段包括離地的最後一步，在這期間水平速度減小，垂直速度增加，並且產生翻轉的動力。在騰空階段，跳高運動員在空中的旋轉動作，是為了提高身體的重心，增加運動員越過橫竿的效果。然而，騰空過程中的很多特點

顯示，起跳階段的優劣，必須依賴前面助跑階段的結果。

當運動員做曲線助跑的時候，身體必須隨著曲線向內傾斜，來提供必需的向心力。所以，在起跳的時候人的身體會向內傾斜。當運動員身體在橫竿上作翻轉動作（背弓）時，在這之前起跳階段的最初位置（角度）是非常重要的。自起跳之後，當騰空階段開始時，身體沒有過度的向外傾斜，並且允許身體做必要的旋轉（Dapena, 1980b; Ecker, 1976）。

Jacoby (1987) 的研究也指出在起跳前身體向內傾斜，在起跳後向外傾斜，意味著運動員在這個過程中的身體趨近於垂直。因此來自地面的反作用力，將可以產生更大的垂直速度。研究證明曲線助跑在起跳階段之前，可以有效的降低身體重心（Ae, Sakatani, Yokoi, Hashihara & Shibukawa, 1986; Heinz, 1974），並且在起跳時，透過身體重心的移動增加垂直距離（Dapena, 1993; Jacoby, 1986），這樣就有更多的時間去發展一個更大的垂直動力（Dapena, 1987; Jacoby, 1986; Wagner, 1985）。

跳高運動員在起跳時，必須發展足夠的翻轉（背弓）角動量，當身體越過橫竿，在靠近最高點的時候，達到一個水平方位（Dapena, 1995），而角動量通常和橫竿是平行的（Dapena, 1980b）。許多教練認為曲線助跑在最後第二步階段，對發展身體翻轉（背弓）有幫助（Fix, 1981; Jacoby, 1986; Paolillo, 1989）。Heinz (1974)、Dapena (1980b) 使用三維攝影圖像來分析運動員的助跑，也發現曲線助跑在起跳的過程中可以證實產生翻轉（背弓）的角度。

有些研究者和教練把跳高運動員的曲線助跑階段，描述成「圓曲」或者是「四分之一圓」（Chu & Humphrey, 1981; Martin, 1982），Dapena、Ae和 Iiboshi (1997) 也認同「四分之一圓」的說法，認為

在起跳前倒數第二步的位置，跳高運動員的腳通常是位於曲線的外面的。Kerssenbrook (1974) 分析 Dick Fosbury 的曲線助跑，發現彎曲的幅度會隨著跳高選手越接近橫竿而增加。

曲線助跑的主要作用之一，就是使跳高運動員在起跳開始時保持身體內傾的反向傾斜。助跑的速度越大或曲線曲度越小，產生的向曲線圓心的傾角就大。一般運動員進入曲線助跑後，身體重心的軌跡開始會在腳印的左側（以右邊起跳者而言），這是因為運動員在曲線跑時身體向左傾斜之故。重心軌跡最後會與腳印重合，在起跳結束時，身體重心幾乎在起跳腳的上方。

表 2-4 世界優秀跳高運動員在 1987-1992 年世界田徑重要比賽身體重心軌跡與橫竿的夾角
角度單位 (°)

助跑身體與橫竿相關角度	男子	平均	女子	平均
最後一步雙腳連線方向與橫竿的夾角 (t_1)	26-33	30	23-34	29
最後第二步身體重心軌跡與橫竿的夾角 (p_2)	46-55	51	44-51	50
最後一步身體重心軌跡與橫竿的夾角 (p_1)	30-44	40	36-43	40
起跳後身體重心軌跡與橫竿的夾角 (p_0)	29-44	37	33-40	36

資料來源：研究者整理自 Dapena (2000) 的研究結果。

根據 Dapena (2000) 從 1987-1992 年對世界優秀跳高運動員在世界田徑重要的比賽上所做的研究顯示（表 2-4），世界優秀跳高男、女運動員，越靠近橫竿，角度越小，即 $p_2 > p_1 > p_0$ ，以女子為例， p_2 、 p_1 、 p_0 的角度，平均為 50° 、 40° 、 36° 。這與曲線助跑的技術是有極大關聯的。男、女跳高運動員在最後一步雙腳連線方向與橫竿所成的夾角角度差不多，大約是 $29-30^\circ$ 。

第四節 跳高起跳階段生物力學研究

為使作用於身體的力量，在垂直方向的運動範圍儘可能大，在開始起跳時，重心需要處於較低的位置，而在起跳結束時處於較高的位置。大部份跳高運動員的重心，在起跳結束時是相當高的，但在起跳開始時，使重心處於較低的位置卻比較困難。據 Dapena (2000) 從 1987-1992 年對世界優秀跳高運動員在世界田徑重要的比賽上所做的研究 (表 2-5)，男子運動員在起跳開始的重心高度平均約 0.90m，佔身高比率約 46%；女子運動員在起跳開始的重心高度平均約 0.87m，佔身高比率約 48.4%。可見世界優秀跳高運動員在起跳開始的重心高度都不超過 50%，身體重心都是處在較低位置的。

表 2-5 世界優秀跳高運動員在 1987-1992 年世界田徑重要比賽起跳開始的身體重心高度與佔身高的比率

性別	起跳開始的重心高度 (m)	佔身高比率 (%)
男子	0.90	46.0
女子	0.87	48.4

資料來源：研究者整理自 Dapena (2000) 的研究結果。

跳高的助跑和起跳，旨在使起跳結束時人體能達到最大的垂直速度，垂直速度越大，身體重心上升的高度就越高，成績也越好。據 Dapena (1988) 的研究指出，當起跳腳著地時，身體重心的垂直速度為負值且越大時，施加給地面的作用力越大，運動員在起跳階段獲得向上的垂直速度就越大。助跑最後幾步身體重心明顯下降，對助跑速度會產生不利的影

響，也不利於順利完成快速起跳的動作。也就是說，身體重心起伏過大，會影響蹬擺動作的順利完成。程麗平（2004）針對江蘇省青少年男子背向式跳高研究，助跑最後一步起跳腳著地時，身體重心的垂直速度為 $0.318 \pm 0.433\text{m/s}$ ，且大部分運動員起跳前的垂直速度皆為正值，顯然會影響起跳離地時的垂直速度，進而影響起跳效果。

因此在保持助跑最後幾步速度的同時，降低身體重心並完成快速有力的起跳是十分重要和有意義的研究課題。其關鍵是使助跑最後幾步的速度、身體重心高度和快速起跳的結合達到最佳化，而這一最佳化結合對不同的運動員來說是各有差異的（Dapena, 2000）。

表 2-6 優秀跳高運動員的起跳時間

研究者	起跳時間 (sec)	備註
Ozzlin(1977)研究 Dick Fosbury 運動員	0.12-0.13	
Dapena(1980)研究跳過 1.98-2.13m 的運動員	0.14-0.20	平均 0.16
Ritzdorf and Conrad(1987)研究第二屆世界田徑錦標賽跳過 2.29-2.38m 男子運動員	0.15-0.20	平均 0.168
Dapena(1988)研究世界優秀的跳高運動員	0.15-0.24	平均 0.186
劉金槍(2001)研究劉金槍運動員	0.17-0.18	

從起跳腳開始觸地瞬間，到離地瞬間所經歷的時間為起跳時間。多位學者研究指出，跳高乃欲將身體提升到較高點，那麼躍起的作用力大小和作用力的時間長短，即起跳時的支撐時間，便直接影響到身體重心提升的高度，適度的起跳時間（0.14-0.20 秒），起跳離地後身體重心提升的垂直高度愈高，

所跳過的高度也愈高 (Hay, 1977; Dapena, 1988; 陳錦龍, 1982) 。在吳敏、陳亞中 (2005) 的研究中指出，起跳時間是常用來反應跳高運動員起跳腿動作速度的物理量。

根據表 2-6 研究的結果顯示，起跳時間為 0.12-0.24 秒之間。助跑速度加快時，起跳時間就會縮短，在技術穩定的情況下，縮短起跳時間是起跳技術的關鍵，也就證明適度且快速的起跳，起跳離地後身體重心提升的垂直高度越高，跳高的成績越好。

在許多傳統教科書認為，男子基於肌力之優勢，起跳時間會比女子短，但據林啟仲 (1987) 研究指出，起跳時間最短者為佐騰惠 (日本) 的 0.11 秒，而世界女子紀錄保持者 Stefka Kostadinova 為 0.14 秒，她們比男子朱建華 (中國) 0.173 秒及世界男子紀錄保持者 Javier Sotomayor 的 0.15 秒還快，可見傳統教科書在這些論點值得商榷。

據 Dapena (2000) 認為在助跑的最後一步，如果起跳腳著地早了，將在重心尚未獲得充足的垂直向下速度之前就開始起跳，為減小這種向下的垂直速度，選手必須設法使最後兩步非常快的先後觸地，而且最後兩步支撐的節奏應該非常快。如果最後一步步長很長，起跳腳可晚些著地，運動員在開始起跳的瞬間就不會產生較大的向下垂直速度。技術最好的跳高運動員在這方面有最小的負「向下的垂直速度」值 (Dapena, 1993) 。

從表 2-7 可發現男、女子運動員助跑最後一步的步幅都大於自己的身高約 109%、104%。運動員越靠近橫竿，角度越小，起跳後重心軌跡與橫竿的夾角，從表 2-7 可發現男、女子運動員分別約 35°、36°。在最後一步助跑越接近垂直方向靠近橫竿

時，助跑重心軌跡與橫竿的夾角會較大的運動員，將在起跳完成後越接近垂直方向背向橫竿運動。

表 2-7 世界優秀跳高運動員在 1987-1992 年世界田徑重要比賽助跑最後一步步幅、起跳腳與橫竿的夾角及起跳距離

	最後一步的步幅 (m)	佔身高的比率 (%)	起跳腳與橫竿的 夾角 (°)	起跳腳與橫竿的 距離 (m)
男子	2.12	109	35	0.88
女子	1.90	104	36	0.86

資料來源：研究者整理自 Dapena (2000) 的研究結果。

起跳腳與橫竿的距離取決於助跑最後的運動方向和離地騰起後身體的水平速度，並與越過的高度有關，它決定了最大高度值相對於橫竿的位置。從表 2-7 可發現男、女子運動員分別為 0.88m、0.86m。助跑最後一步快的運動員，起跳後有更大的水平速度，起跳後飛行的水平距離會比較大，為了使重心在起跳後達到最高點時差不多在橫竿的正上方，他們需要離橫竿更遠的地方起跳。

據 Dapena (1993) 研究指出，運動員在起跳腳著地開始，應該有較大的水平速度（如表 2-8 助跑末速度），而且應該沒有水平速度的損失。但在起跳後水平速度卻減少很多，這是由於運動員在起跳階段向前蹬伸造成的，也是此時運動員受到了地面向後的反作用力之故。這種在起跳階段水平速度的損失，是起跳階段的固有部分。它們也會與垂直速度產生很大的關係。如果在起跳階段沒有損失很大的水平速度，即表示這個運動員沒有好好利用助跑階段獲得的水平速度。也就是

說運動員在助跑階段產生水平速度，然後在起跳階段失去部分水平速度以獲得垂直速度。如果在助跑時產生的水平速度不足，或不足以在起跳時利用，則運動員就不能用適當的助跑，獲得垂直速度幫助跳得更高。

表 2-8 跳高運動員起跳階段的水平速度與垂直速度 (m/s)

跳高運動員	助跑末速度	起跳後的水平速度	起跳階段減少的水平速度	起跳開始向下的垂直速度	起跳結束垂直速度
1987-1992年男子運動員	6.6-8.0	3.5-4.1	3.3-4.2	0.3-0.7	4.3-4.7
1987-1992年女子運動員	6.3-7.3	3.5-4.3	2.8-3.7	0.2-0.8	3.8-4.1
1980年跳過1.98-2.13m運動員	6.3-7.9	3.4-4.5	2.3-3.7	0.2-0.7	3.6-4.1
1988年世界優秀運動員	6.5-8.3	2.6-4.5	3.4-4.0	0.2-0.9	4.3-4.5

研究者整理自 Dapena (2000) 對優秀跳高選手的研究結果。

起跳結束時的垂直速度，由起跳開始時的垂直速度及起跳階段垂直速度的變化量所決定，起跳結束時的速度對騰起的重心高度十分重要。在起跳開始時的垂直速度通常是一個小的負值（以向上的垂直速度而言），表 2-8 所示起跳開始是「向下」的垂直速度，約 0.2-0.9m/sec，則是助跑結束時（即起跳開始時）因運動員向前快速運動，會伴有一些向下的運動。起跳結束時重心的垂直速度，可確定運動員離地後所能達到的騰空高度，從表 2-8 可知要成為世界級的運動員，起跳結束時重心的垂直速度男子須達 4.3m/sec 以上、女子須達 3.8m/sec 以上（Dapena, 1993）。

第五節 結語

從文獻的整理中，得知快速助跑是為積極有力的起跳做準備，為了提高起跳後的騰起垂直速度，一方面要加大對地面的垂直作用力，另一方面還要延長力的作用時間，使運動員獲得足夠的動量，進而使起跳速度增加。不論運動員絕對速度的水平如何，只有以較高的速度進入起跳才最具有意義，才能成功的跳躍過新的高度。能將快速的水平速度轉換為人體起跳離地瞬間較大的垂直上升速度，對運動員的起跳才更具效果。

尤其以助跑技術的力學基礎，不但要降低身體重心，而且要提高助跑最後兩步的速度，技術難度較大，必須透過系統訓練才能掌握。因此助跑最後幾步在保持速度的同時，降低身體重心並完成快速有力的起跳，是最重要的課題。其關鍵是使助跑最後幾步的速度、身體重心高度和快速起跳的結合達到最佳化，而這一最佳化結合對不同的運動員來說是各有差異的。

在許多生物力學的運動學研究結果得知，人體不同的動作型態造就不同的人體運動學參數表現。因此本研究乃利用運動生物力學的運動學方法，分析助跑起跳技術層面，以期了解運動員在背向式跳高助跑、起跳動作特徵的表現。研究結果利用助跑、起跳的運動學參數數據，分別表達助跑起跳之最後兩步之速度、重心軌跡與高度、起跳階段的水平速度、垂直速度的變化等人體運動學參數，並加以討論。

第參章 研究方法與步驟

本研究是通過三維攝影影片分析法，以獲得運動學參數，而其方法與實施步驟可分為六節加以說明：一、研究對象；二、實驗時間與地點；三、實驗儀器與工具；四、實驗儀器的同步技術；五、實驗步驟；六、資料處理。

第一節 研究對象

本研究實驗以目前就讀臺中縣后綜高中國中部三年級女生吳孟珈選手（年齡 15 歲、身高 1.71m、體重 56kg）為實驗對象。該運動員小學 5 年級開始參加臺中縣瑞穗國小田徑校隊，目前只有 5 年的訓練年齡。吳孟珈小學最佳成績 1.52m，到 97 年最佳成績已達 1.70m，2009 年吳孟珈跳高成績突飛猛進，從第一屆亞洲青年運動會（2009 年 6 月 24 日）跳過 1.75m 奪得臺灣代表隊唯一的一面金牌、臺灣中等學校田徑錦標賽（2009 年 10 月 8 日）跳過 1.78m，更於越南河內舉行的第三屆亞洲室內運動會（2009 年 10 月 31 日）跳過 1.80m 獲得第六名，其成績具有相當穩定的成長（表 3-1）。

在正式測試之前，先讓實驗參與者了解本研究實驗目的、實驗過程，以及可能發生的危險等，並請實驗參與者簽署「實驗參與者須知」、「參與實驗同意書」，以作為保障實驗參與者自身的權利。

表 3-1 研究對象與國際優秀跳高運動員基本狀況及比賽成績

運動員	國家	身高 (m)	質量 (kg)	個人最好成績 (m)	比賽中最好成績 (m)
Amy Acuff	美國	1.88	64	1.98	1.96 (U97)
Galina Astafei	羅馬尼亞	1.84	65	2.00	2.00 (O92)
Susanne Beyer-Helm	民主德國	1.78	58	2.02	2.02 (W87)
Emilia Dragieva	聯邦德國	1.69	55	2.00	2.00 (W87)
Keike Henkel	德國	1.82	63	2.07	2.02 (O92)
Stefka Kostadinova	保加利亞	1.80	60	2.08	2.05 (W87)
Ioaminet Quintero	古巴	1.80	60	1.98	1.97 (O92)
Coleen Sommer	美國	1.76	58	2.00	1.96 (U87)
吳孟珈	臺灣	1.71	56	1.75	1.75 (Y09)
吳孟珈	臺灣	1.71	56	1.78	1.78 (C09)
吳孟珈	臺灣	1.71	56	1.80	1.80 (A09)

註：W87=1987年室內世界田徑錦標賽；U87=1987年美國田徑錦標賽；O92=1992年奧林匹克運動會；U97=1997年美國田徑錦標賽；Y09=2009年第一屆亞洲青年運動會；C09=2009年中華民國中等學校田徑錦標賽；A09=2009年第三屆亞洲室內運動會。

第二節 實驗時間與地點

第一階段：2009年全國中等學校運動會前測

(一) 測試時間：2009年4月16日下午14:00-17:00。

(二) 測試地點：臺中縣后綜高中運動場跳高場地。

第二階段：2009年全國運動會女子跳高比賽

(一) 測試時間：2009年10月25日下午14:30-17:30。

(二) 測試地點：臺中市田徑運動場跳高場地。

第三節 實驗儀器與工具

本研究所需的儀器如下：

一、測量部分

(一) Redlake IDT MotionPro X3TM 高速攝影機一組，採樣頻率為500Hz。

(二) Sony HDR-FX7攝影機二部，採樣頻率為60Hz、快門為1/10000及DV空白錄影帶三卷。

(三) 三度空間標定架一個。

(四) 筆記型電腦一部。

(五) 相關器材如角架五組、閃光燈、計分牌一個、50m延長線兩卷、皮尺一卷、充飽電量攝影機電池等器材。

(六) 海綿墊、跳高架、橫竿。

二、資料處理部分

(一) 影像數位化部份與分析部分(運動學資料的分析)，是使用Vicon Motus v9.2.0版分析軟體；硬體方面為ACCR Aspire-A720Z筆記型電腦一部。

(二) 實驗數據的統合整理是以Origin 7.0版專業資料分析系統進行作圖。

第四節 實驗儀器的同步技術

本研究所使用的重要儀器包括：高速攝影機一部、Sony (HDR-FX7)攝影機二部，為了使擷取的所有運動學資料都能相同於整個運動的時間序列，而不會產生時相位移或失真的情況，以滿足研究所需了解整個動作過程的變化情形，將實驗儀器同步的技術是非常重要的工作。

本研究實驗儀器同步的方法，主要是利用一部閃光燈的閃光，作為整個同步訊號傳入的樞紐。為不影響受試者，在受試者起跳過竿時再由研究者進行按鍵閃光，而閃光燈方向朝攝影機攝影範圍內閃光，閃光不會照到受試者。

在正式實驗時，研究者站在跳高墊旁（不影響受試者情況下），手持閃光燈控制器，在受試者起跳過竿時進行按鍵閃光，閃光後會在每一台攝影機留下一個白色小光點。由於 Sony (HDR-FX7)攝影機拍攝頻率為 60Hz、快門為 1/10000，每一台攝影機的頻率都一樣，因此從「第一部」影片資料中找到出現白色小光點的影片為第一張影片，若設為 $n = 1$ ，由此張影片往前找到所須的助跑第二步著地前的位置，假設為第 40 張；再從出現白色小光點的影片往後找到受試者落墊的位置，假設為第 36 張；依同樣方法在「第二部」影片資料中找到出現白色小光點的影片為第一張影片，同樣設為 $n = 1$ ，由此張影片往前找到所須的助跑第二步著地前的位置，擷取到第 40 張；再從出現白色小光點的影片往後找到受試者落墊的位置，擷取到第 36 張。此時兩部影片擷取後的張數都是 76 張，都是具有相同時間序列的影像。

第五節 實驗步驟與流程

第一階段實驗，在后綜高中田徑場舉行，實驗場地與儀器布置安排如圖 3-1：

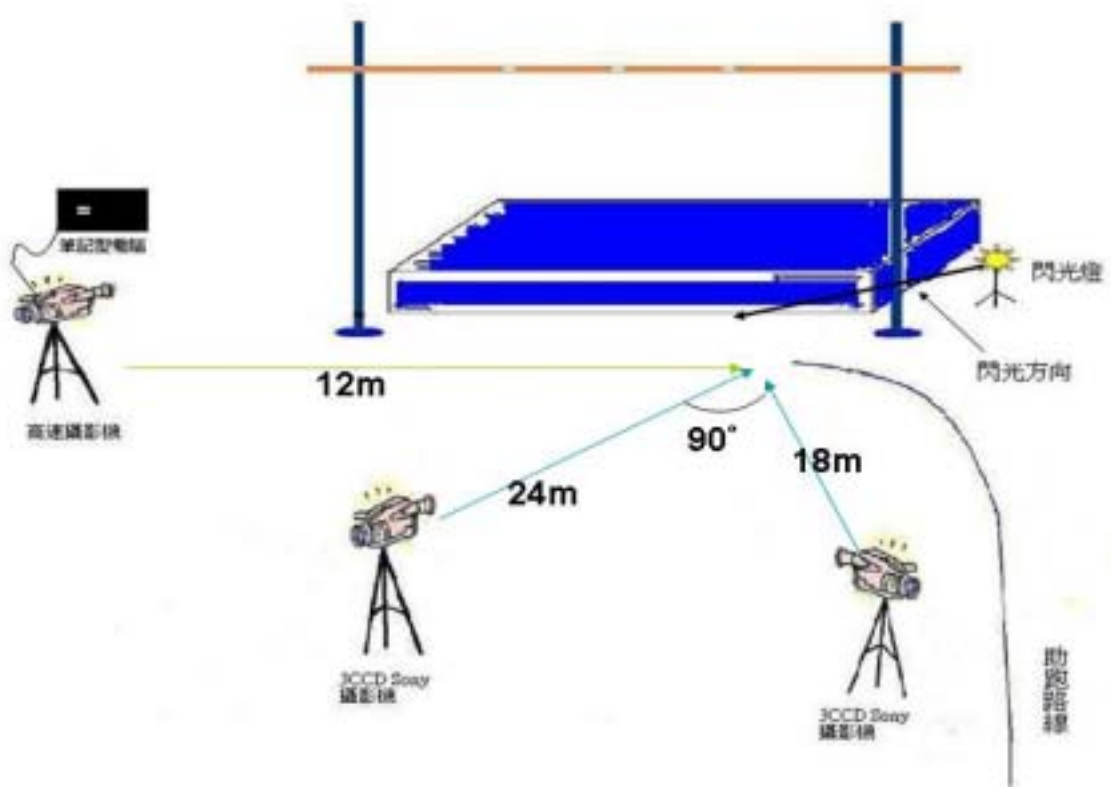


圖 3-1 實驗場地與儀器布置圖

- 一、本研究在完成預備測試，經檢討分析整個實驗流程的缺失後，始得進行正式測試。場地的布置大約如下所述：先取得受試者的起跳位置後，於該處放置三度空間座標架。高速攝影機放置在跳高墊的左方約 12m 處，筆記型電腦連接於旁；一部 Sony 攝影機放置於受試者助跑起點後方（跳高墊右方），距受試者的起跳位置約 18m 處，拍攝範

圍要拍攝到受試者助跑最後三步處到身體落墊位置。另一部 Sony 攝影機放置於跳高墊右方，距受試者起跳位置約 24m 處，拍攝範圍一樣要能拍攝到受試者助跑最後三步處到身體落墊位置。兩部攝影機為避免造成失真，而無法找出同步位置，夾角約成 90° 。本實驗尚須準備一至兩臺 Sony 數位攝影機，依三度空間影片分析法進行架設，以作為預備影像資料，來避免實驗過程中無法預期的其他問題發生，而錯失比賽情境或練習情境的動作記錄。

- 二、正式實驗的過程，首先由工作人員先行記錄受試者的基本資料，並告知實驗參與者整個實驗的過程，及試跳的高度與流程後，方始請實驗參與者填寫「實驗參與者同意書」。
- 三、在正式進行實驗前，先拍攝三度空間座標架約三分鐘。在實驗過程中，攝影機於開始實驗時即保持拍攝狀態直至實驗結束為止，且在實驗參與者狀況極佳狀態時，依序進行施測。
- 四、拍攝時，實驗參與者遵照紀錄員的口令，當聞「預備」口令時，實驗參與者於起跳預備位置準備。當紀錄員下達「開始」口令時，實驗參與者就助跑起跑位置開始測試，每個高度試跳三次，但只要成功就不必再跳。
- 五、實驗完後仍必須再一次拍攝三度空間座標架約三分鐘。第二階段為全國運動會比賽中實際拍攝，先於比賽前向大會申請比賽中進行科學實驗。該實驗只安排兩部 Sony 攝影機，在比賽前放置於靠近跳高場地的看台上，相距約 90° ，並做好調焦及拍攝三度空間座標架約三分鐘工作。因為於比賽中進行，為不影響運動員比賽，運動員依裁判指示進行比賽，

閃光燈放在跳高墊右後方地上，由研究生手拿閃光燈控制器，皆於運動員過竿後落墊前閃光，避免影響運動員的心情及比賽的進行。自起跳高度1.60m開始拍攝，拍攝至比賽完畢，拍攝方式採全程錄影。其餘步驟則與第一階段相同。

第六節 資料處理

實驗的運動學參數的獲得主要是由 Vicon Motus v9.2.0版運動學分析系統進行計算，分別點取兩部攝影機的跳高橫竿及身體標誌點共21個，標誌點位置如圖3-2。

人體的19個標誌點將人體簡化為12個肢段，分別為：頭與頸環節、右上臂、右前臂、左上臂、左前臂、右大腿、右小腿、右足、左大腿、左小腿、左足、軀幹。人體重心的運動學參數計算，乃採用 Hanavan的人體模型進行實驗參與者的肢段參數計算。根據黃長福、陳重佑、陳帝佑、劉宇和李志明(2000)對於二度空間原地垂直跳影片分析的人體重心誤差研究，使用 Dempster (1955)的肢段參數在重心位移、重心速度和重心加速度之計算描述中，分別有0.2689%、0.2975%與0.2899%的誤差可能範圍(表3-2)。

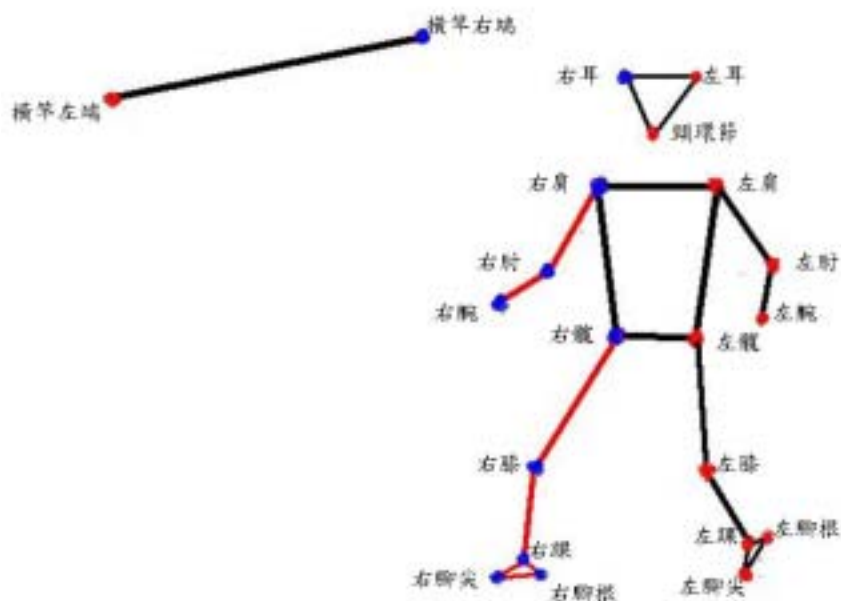


圖 3-2 數位化分析的標誌點位置與名稱

此座標是為每一部攝影機的個別座標系統 (camera coordinate system)，將兩部攝影機的個別座標系統資料經 DLT 直接線性轉換 (direct linear transformation, DLT) 後，再以 Butterworth 數位濾波法修勻後，即可獲得實際的三度空間座標值，誤差值如表。表 3-2 中顯示計算參考點的誤差在各方向的誤差都小於 0.5%。

表 3-2 21 個參考點實際座標值與線性轉換後座標值之誤差

	X	Y	Z	Position
均方根誤差 (mm) (root mean square)	4.6405	5.8652	5.7153	9.4127
誤差百分比 (%) (object space)	0.2689	0.2975	0.2899	0.2870

有關於本研究中助跑方向、重心軌跡與橫竿所成的角度計算方式如下：

一、最後一步兩腳連線與橫竿的夾角 t_1 的求法：

\vec{F} 長度指的是最後第二步與最後一步腳離地時 (foot takeoff) 的位置兩點連線的長度。

\vec{B} 長度指的是橫竿左右兩邊連線的長度 (bar (x', y', z'))。

$$\vec{F} \cdot \vec{B} = |\vec{F}| \cdot |\vec{B}| \cos t_1$$

$$\begin{aligned} |\vec{F}| &= (x_1 - x_2)x' + (y_1 - y_2)y' + (z_1 - z_2)z' \\ &= (x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2 + (z_1 - z_2)^2 \\ &= \sqrt{((x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2 + (z_1 - z_2)^2)} \end{aligned}$$

$$|\vec{B}| = \sqrt{((x')^2 + (y')^2 + (z')^2)}$$

以吳孟珈選手第三次跳 1.73m 為例：

$$\therefore \cos t_1 = \frac{(x_1 - x_2)x' + (y_1 - y_2)y' + (z_1 - z_2)z'}{\sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2 + (z_1 - z_2)^2} \cdot \sqrt{x'^2 + y'^2 + z'^2}} = A = 0.947713$$

$$\therefore t_1 = \cos^{-1} 0.947713 = 0.324804 \text{ rad} = \frac{0.324804 \times 180^\circ}{3.14159} = 18.6099^\circ \cong 19^\circ$$

二、最後兩步騰空時，身體重心軌跡分別與橫竿的夾角 p_2 和 p_1 ，及起跳後身體重心軌跡與橫竿的夾角 p_0 的求法：

\vec{V} 長度指的是身體重心 (COM) 的 x 與 z 的速度。

\vec{B} 長度指的是橫竿左右兩邊連線的長度 (bar (x', z'))。

$$\cos p = \frac{\vec{V} \cdot \vec{B}}{|\vec{V}| |\vec{B}|} = \frac{(x_1 \times x') + (z_1 \times z')}{\sqrt{x_1^2 + z_1^2} \times \sqrt{x'^2 + z'^2}} = A$$

$$p = \cos^{-1} A$$

第肆章 研究結果與討論

為了進行本研究，在2009年4月全國中等學校運動會（以下簡稱全中運）之前進行吳孟珈跳高訓練期的技術分析，另於2009年10月全國運動會（以下簡稱全運會）女子跳高比賽，進行吳孟珈正式跳高比賽的技術分析，並與全運會前六名運動員比較分析。分析的內容則依照Dapena（2000）對世界優秀女子跳高運動員分析的部份運動學參數內容進行診斷，並回饋給教練員及運動員。

第一節 吳孟珈全中運前的技術分析

本研究在全中運前的先導實驗，計蒐集到 1.55m、1.60m、1.65m、1.73m-1、1.73m-2 及 1.73m-3 共 6 次高度的運動學參數，依背向式跳高最後兩步助跑及起跳的相關動作進行以下的技術分析。

本節分析的內容製表，將同時呈現 Dapena（2000）對世界優秀女子跳高運動員分析與研究者對吳孟珈技術分析的運動學參數，以作為其它各節與世界優秀女子跳高運動員相關技術分析比較時的依據。

一、起跳前身體重心軌跡與橫竿的相關夾角

根據 Dapena（2000）研究表示，跳高運動員在進入曲線助跑後身體重心的軌跡，開始時是在腳印的左側，這是因為運動員在弧形跑時身體向左傾斜，身體重心軌跡最後一步與腳印重合，在起跳結束時，身體重心幾乎在起跳腳的上方。

表 4-1 2009 年全中運前吳孟珈起跳前、後重心軌跡與橫竿的相關角度

運動員		$t_1(^{\circ})$	$p_2(^{\circ})$	$p_1(^{\circ})$	$p_0(^{\circ})$	SL_1		TOD(m)
						(m)	(%)	
Amy Acuff		23	50	36	33	1.96	90	0.53
Galina Astafei		32	-	39	34	2.00	109	0.88
Susanne Beyer-Helm		29	50	42	40	1.80	101	1.04
Emilia Dragieva		33	47	41	40	1.85	109	0.82
Keike Henkel		30	55	41	38	1.91	105	0.94
Stefka Kostadinova		34	51	43	37	2.06	114	0.98
Ioaminet Quintero		30	51	42	34	1.91	106	0.75
Coleen Sommer		23	44	36	33	1.72	98	0.90
平均		29	50	40	36	1.90	104	0.86
標準差		4.20	3.45	2.73	3.00	0.11	7.52	0.16
吳孟珈全中運前的練習	1.55m	34	40	29	35	1.62	95	0.86
	1.60m	40	41	31	33	1.67	98	0.78
	1.65m	17	42	30	31	1.67	98	0.58
	1.73m-1	19	41	29	33	1.72	100	0.74
	1.73m-2	15	41	28	33	1.63	95	0.88
	1.73m-3	19	40	27	34	1.56	91	0.82
	平均	24	41	29	33	1.65	96	0.78
標準差	10.35	0.75	1.41	1.33	0.05	3.19	0.11	

註： t_1 為最後一步的方向； p_2 和 p_1 為最後兩步重心軌跡的方向； p_0 為起跳後重心的方向與橫竿的夾角。 SL_1 為最後一步的步長與身高的相對步長；TOD為起跳腳與橫竿的距離。

表 4-1 為 2009 年 4 月全中運前的先導實驗，吳孟珈助跑最後兩步及起跳和空中階段的身體重心與橫竿的相關角度表。 t_1 是最後一步兩腳連線與橫竿的夾角； p_2 和 p_1 為最後兩步騰空時，身體重心軌跡分別與橫竿的夾角； p_0 為起跳後身體重心軌跡與橫竿的夾角。運動員越靠近橫竿，角度越小。 SL_1 為最後一步的步長與身高的相對步長；TOD 為起跳腳與橫竿的距離。

(一) 助跑最後一步的方向與橫竿的夾角

從表 4-1 得到吳孟珈在全中運前六次的測試中， t_1 角度分別為 34° 、 40° 、 17° 、 19° 、 15° 、 19° ，顯現最後一步的方向與橫竿的夾角差異極大（標準差為 10），原因應是助跑技術不穩定所造成。跳 1.65m 與 1.73m 的高度時， t_1 角度相差不多，不過都小於 20° 。

(二) 助跑最後兩步重心軌跡與橫竿的夾角

表 4-1 顯示吳孟珈全中運前（2009 年 4 月）最後兩步重心軌跡與橫竿的的夾角， p_2 、 p_1 、 p_0 的測量平均是 41° 、 29° 、 33° ，呈現 $p_2 > p_1$ ， $p_1 < p_0$ 。但據 Dapena (2000) 研究指出運動員越靠近橫竿，身體重心軌跡與橫竿的夾角角度越小，即 $p_2 > p_1 > p_0$ 。但吳孟珈的 $p_1 < p_0$ ，從現場觀察，吳孟珈最後第二步踩向弧線偏外緣，最後一步再踏到弧線內緣，因而產生 $p_1 < p_0$ 的情形，需要教練員特別研究，以改善吳孟珈最後兩步助跑的動作。圖 4-1 也發現吳孟珈最後兩步助跑時身體重心軌跡靠近身體，再從 p_1 的角度觀察，也可發現身體重心已提早落在抬腿腳的上方，重心軌跡過早與身體重合，而且最後兩步的助跑路線幾乎成一直線。

(三) 最後一步的步長與身高的相對步長

根據 Dapena (2000) 研究表示，最後一步的步長大於身高的

比率越大， t_1 值越大；反之最後一步的步長小於身高， t_1 值較小。吳孟珈全中運前的最後一步步長平均 1.65m，與身高的相對步長 SL_1 平均約 96%， t_1 值平均約 24° 。但觀察吳孟珈六次試跳的高度所得出的最後一步步長與身高的相對步長 SL_1 及 t_1 值參數互相比較， t_1 值時大時小，與 Dapena (2000) 的研究並不相符，是否是吳孟珈的曲線助跑技術不穩定所造成，值得教練研究。吳孟珈最後一步的步長平均 1.65m 比最後第二步步長 1.86m 少了 0.21m，減少幅度過大（表 4-2）。

表 4-2 2009 年全中運前吳孟珈最後兩步步長的比較

高 度	最後第二步步長 (m)	最後一步步長 (m)	步長差距 (m)
1.55m	1.91	1.62	0.29
1.60m	1.89	1.67	0.22
1.65m	1.70	1.67	0.03
1.73m-1	1.83	1.72	0.11
1.73m-2	1.83	1.63	0.20
1.73m-3	1.98	1.56	0.42
平 均	1.86	1.65	0.21

（四）起跳腳與橫竿的距離（TOD）

起跳距離取決於助跑最後的運動方向和離地騰起後身體的水平速度，並與越過的高度有關。多位學者研究指出有利於過竿的起跳點與橫竿的距離約 0.61-1.07m (Dapena, 1980b)。吳孟珈在全中運前的練習，起跳腳與橫竿的距離是 0.58-0.88m，平均約 0.78m，與學者研究指出有利於過竿的起跳距離差不多。

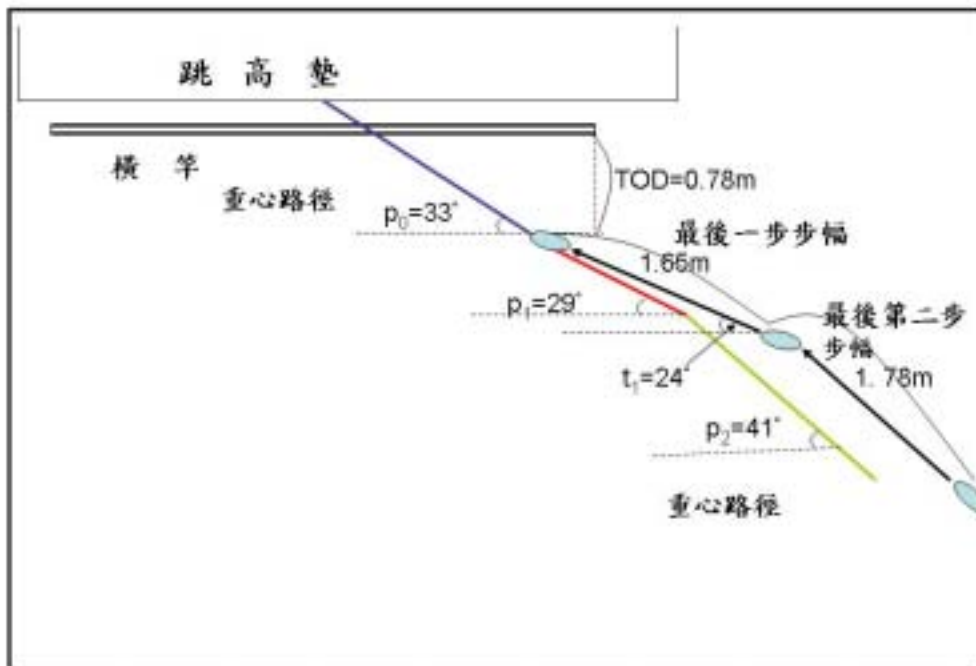


圖 4-1 2009 年全中運前吳孟珈起跳前、後身體重心軌跡俯視圖

二、起跳開始重心高度及起跳前、後速度變化的技術分析

快速的助跑有助於階段施加的垂直作用力，尤其助跑最後兩步的水平速度，對助跑結束後的起跳階段垂直作用關係非常大。茲就助跑最後兩步的水平速度及其變化、起跳開始與結束的垂直速度和起跳開始的重心高度分析如下：

(一) 最後兩步水平速度的變化

表 4-3 為吳孟珈六次試跳施測的結果，最後第二步與最後一步的水平速度分別指的是前導腳著地瞬間與起跳腳著地瞬間的速度，而起跳後的水平速度則為起跳腳離地瞬間的速度。發現吳孟珈最後第二步的水平速度平均約 4.9m/sec，最後一步的水平速度則平均達 5.6m/sec，最後一步的速度比最後第二步快約 0.7m/sec，起跳前的助跑速度是增加的，並沒有損失助跑的速度，有助於提高起跳效果。

表 4-3 2009 年全中運前吳孟珈起跳開始的重心高度及起跳前、後速度的變化

運動員	重心高度 (m)	起跳開始 重心高度 (%)	最後二步 水平速度 (m/s)	最後一步 水平速度 (m/s)	起跳後的 水平速度 (m/s)	起跳階段 水平速度 的變化 (m/s)	起跳開始 垂直速度 (m/s)	起跳結束 垂直速度 (m/s)	
									重心速度
Amy Acuff	0.92	49.0	6.3	6.3	3.5	-2.8	-0.2	3.80	
Galina Astafei	0.88	48.0	-	7.2	4.1	-3.1	-0.7	3.95	
Susanne Beyer-Helm	0.86	48.0	6.9	7.2	3.8	-3.4	-0.5	4.00	
Emilia Dragieva	0.81	47.5	6.9	7.2	3.5	-3.7	-0.8	4.10	
Keike Henkel	0.89	49.0	7.4	7.2	4.3	-2.9	-0.5	3.90	
Stefka Kostadinova	0.90	50.0	7.5	7.3	4.2	-3.1	-0.5	4.00	
Ioaminet Quintero	0.84	46.5	7.3	6.7	3.8	-2.9	-0.8	3.90	
Coleen Sommer	0.87	49.5	6.9	7.1	4.3	-2.8	-0.6	3.85	
平均	0.87	48.4	7.0	7.0	3.9	-3.0	-0.6	3.93	
標準差	0.03	1.15	0.41	0.34	0.33	0.31	0.20	0.10	
吳孟珈全中運前的練習	1.55m	0.93	54	4.8	5.5	3.4	-2.1	-0.19	3.27
	1.60m	0.94	55	4.8	5.4	3.5	-1.9	-0.14	3.39
	1.65m	0.94	55	4.9	5.5	3.4	-2.1	0.03	3.36
	1.73m-1	0.93	54	4.8	5.6	3.4	-2.2	-0.33	3.42
	1.73m-2	0.94	55	5.1	5.7	3.6	-2.1	-0.04	3.28
	1.73m-3	0.92	54	4.9	5.8	3.4	-2.4	-0.04	3.35
	平均	0.93	55	4.9	5.6	3.5	-2.1	-0.12	3.35
標準差	0.01	0.55	0.12	0.15	0.08	0.16	0.13	0.06	

起跳前的速度（即最後一步的速度）約從 5.6m/sec，下降到起跳後（即最後一步離地瞬間）速度約 3.5m/sec，減少了 2.1m/sec。從圖 4-2 前進速度的逐漸減少及垂直速度的逐漸增加情形，可說明這一部份水平速度減少的速度轉化為向上的垂直速度，與 Dapena (2000) 的研究相符。

圖 4-2 為吳孟珈的重心速度曲線圖，從圖中可觀察到六次不同高度的試跳，吳孟珈因最後一步的水平速度比最後第二步快，所以起跳前水平速度的曲線是先上升的，上升到起跳腳著地時才開始往下降。但垂直速度的曲線在起跳前約 0.2sec 的位置（起跳腳著地），從 0 m/s 下降一些後，便一路上升到起跳腳離地瞬間的位置（0.0sec），起跳後便一路往下降。

圖 4-3 為六次試跳的重心水平速度曲線集合圖，從圖中可觀察到試跳 1.73m-3 的水平速度最快達到 5.8m/sec；而且每一次試跳起跳前的水平速度，在最後一步起跳腳著地時，均達到最後助跑階段的最高速度。以吳孟珈試跳 1.73m-3 為例，吳孟珈助跑最後第二步的時間約在起跳前的 0.350sec，水平速度為 4.9m/s，最後一步的時間約在起跳前的 0.183sec，水平速度為 5.8m/s、垂直速度為 -0.04m/s；起跳後的水平速度為 3.4m/s，減少了 2.4m/s；而此時垂直速度約 3.35m/s。

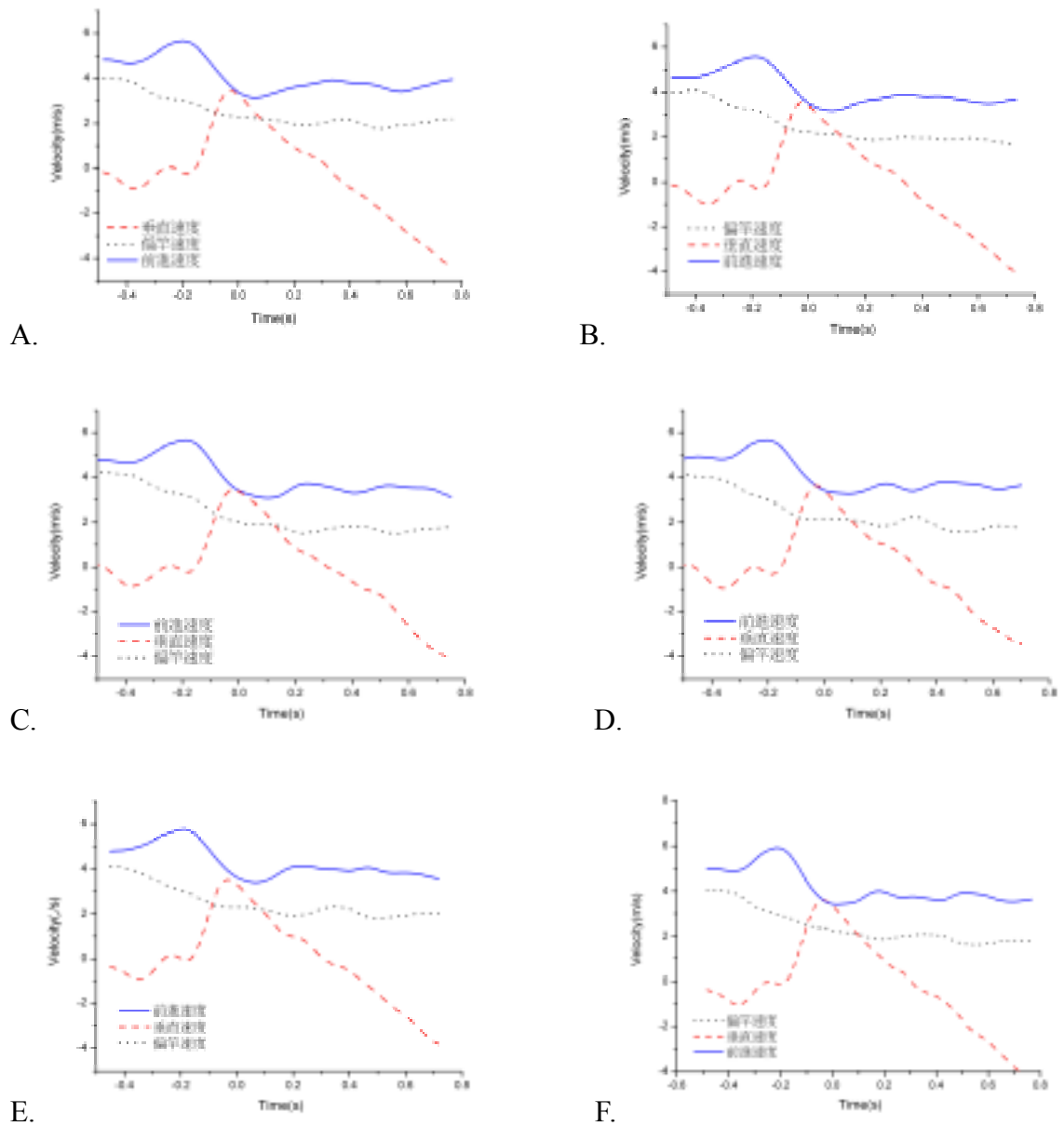


圖 4-2 2009 年全中運前吳孟珈六次試跳的重心速度曲線圖。
 註：A.= 1.55m ，B.= 1.60m ，C.= 1.65m ，D.= 1.73m-1 ，E.= 1.73m-2 ，
 F.= 1.73m-3 ，等六次試跳高度的重心速度曲線圖。時間軸 0 表示
 起跳腳離地瞬間的位置。

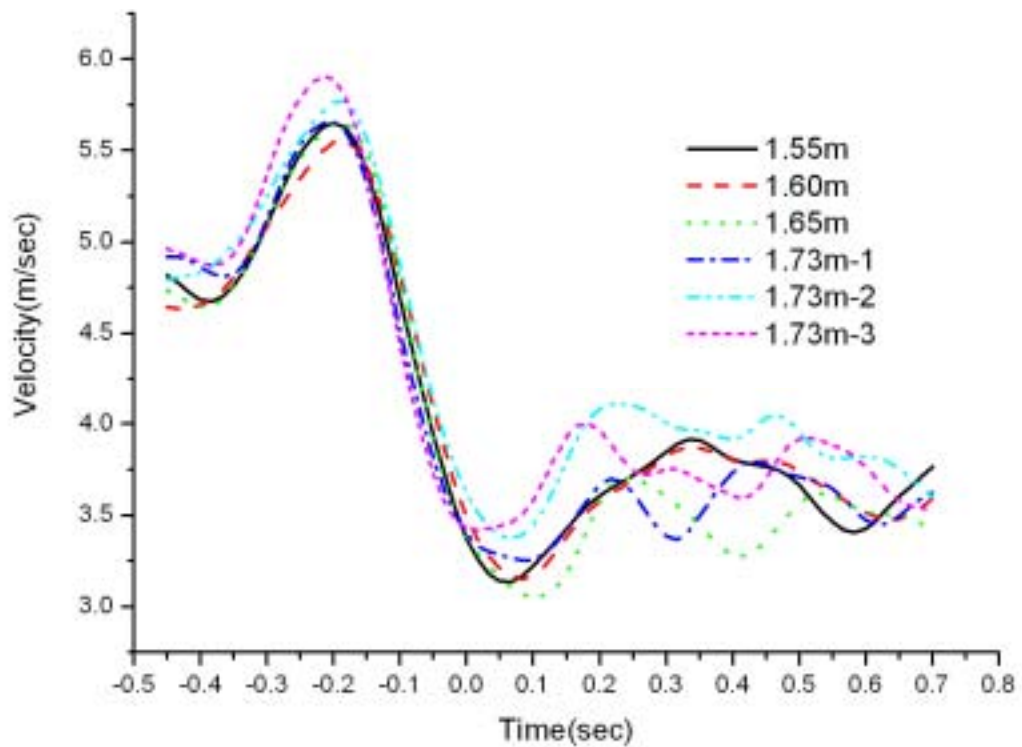


圖 4-3 2009 年全中運前吳孟珈重心水平速度曲線圖

(二) 起跳開始與結束的垂直速度

起跳結束時的垂直速度，由起跳初始時的垂直速度及起跳階段垂直速度的變化量所決定，這個速度對起跳的高度十分重要。根據 Dapena (2000) 的研究指出，跳高運動員在助跑結束即起跳開始時（即最後一步起跳腳著地時），因運動員快速向前運動，會伴有一些向下的運動，也就是在起跳開始的垂直速度是一個很小的負值。技術最好的跳高運動員起跳初始時的垂直速度有最小的負值。

吳孟珈起跳開始的垂直速度，除了試跳 1.65m 為 0.03m/sec 是一個正值外，其它 5 次的試跳均得到一個小的負值：從 -0.04 m/sec 到 -0.33m/sec；其中以試跳 1.73m-2、1.73m-3 兩次的試跳得到最小的向下的垂直速度：-0.04m/sec。

吳孟珈起跳結束的垂直速度平均達 3.34m/sec，要成為世界級的運動員，起跳結束時重心垂直速度男子須達 4.3m/sec 以上，女子須達 3.8m/sec 以上 (Dapena, 1993)，吳孟珈已接近這一水準。

(三) 起跳開始的重心高度

起跳開始的重心高度，指的是助跑結束起跳腳著地瞬間的重心位置。Dapena (2000) 研究指出，為使作用於身體的力，在垂直方向的運動範圍儘可能大，重心在開始起跳時，需要處於較低的位置，而在起跳結束時，處於較高的位置。吳孟珈起跳開始的重心高度平均為 0.93m，佔身高高度 (1.71m) 的 55%，大於 50%，身體重心高度比較高，比世界優秀女子跳高運動員 48% 大很多。

三、起跳前、後重心高度的變化

根據 Hay (1977) 研究指出，跳高時人體的跳躍高度是由離地高度、騰空高度和過竿高度三個垂直距離的總和所決定的，這就是跳高理論中的重要公式： $H = H_1 + H_2 + H_3$ (見圖 2-1)。

表 4-4 為吳孟珈 2009 年全中運前六次試跳高度的重心高度表。這個時期，吳孟珈的重心高度變化情形為：

起跳開始重心高度 H_0 ：0.92-0.94m，平均約 0.93m；

離地高度 H_1 ：1.26-1.33m，平均約 1.29m；

騰空高度 H_2 ：0.46-0.50m，平均約 0.48m；

過竿高度 H_3 ：0.04-0.19m 平均約 0.11m；

重心騰起總高度最高點為 1.74-1.79m，平均約 1.77m。

表 4-4 2009 年全中運前吳孟珈起跳前、後重心高度變化表

運動員	重心高度	H ₀ (m)	H ₁ (m)	H ₁ 與身高之比 (%)	H ₂ (m)	H ₃ (m)	重心騰起總高度(m)	騰起高度利用率 (%)
Stefka Kostadinova		0.90	1.33	73.48	0.76	0.03	2.09	98.56
Coleen Sommer		0.87	1.34	76.14	0.64	0.02	1.98	98.99
Susanne Beyer-Helm		0.86	1.30	73.03	0.76	0.07	2.06	96.60
Amy Acuff		0.92	1.30	69.15	0.72	0.04	2.02	98.02
平均		0.89	1.32	72.95	0.72	0.04	2.04	98.04
標準差		0.03	0.02	2.88	0.06	0.02	0.05	1.04
吳孟珈全中運前的練習	1.55m	0.93	1.27	74.27	0.47	0.19	1.74	89.08
	1.60m	0.94	1.26	73.68	0.51	0.18	1.78	89.89
	1.65m	0.94	1.27	74.27	0.49	0.11	1.76	93.75
	1.73m-1	0.93	1.28	74.85	0.50	0.05	1.78	97.19
	1.73m-2	0.94	1.30	76.02	0.47	0.04	1.77	97.74
	1.73m-3	0.92	1.33	77.78	0.46	0.06	1.79	96.65
	平均	0.93	1.29	75.15	0.48	0.11	1.77	94.05
	標準差	0.01	0.02	1.38	0.02	0.06	0.02	3.47

由以上結果分析，吳孟珈起跳開始重心高度 H₀ 雖與世界優秀女子跳高運動員差不多，但重心位置佔身高 55%，是處於較高的位置（如表 4-4）。離地高度 H₁ 與世界優秀女子跳高運動員差不多，但騰空高度 H₂ 只 0.48m，則比世界優秀女子跳高運動員少了 0.20m 以上。

吳孟珈試跳 1.55m、1.60m、1.65m 的過竿高度 H₃ 為 0.19m、0.18m 及 0.11m，因試跳高度較低，所得 H₃ 也較大，以此檢驗騰起高度利用率較無義意。故以吳孟珈試跳三次的 1.73m 高度來觀察，她

的重心騰起總高度最高點約 1.78m，過竿高度 H_3 平均 0.05m，由此來看她試跳 1.73m 的騰起高度利用率約 97%。

第二節 吳孟珈全運會跳高比賽的技術分析

本研究在全運會的女子跳高比賽中，計蒐集到吳孟珈 1.67m、1.70m、1.73m、1.76m 共 4 次高度的運動學參數，依背向式跳高最後兩步助跑及起跳的相關動作進行以下的技術分析。

一、起跳前身體重心軌跡與橫竿的相關夾角

表 4-5 顯示 2009 年 10 月全運會女子跳高比賽，吳孟珈助跑最後兩步方向及起跳和空中階段的身體重心軌跡與橫竿的相關角度。 t_1 、 p_2 、 p_1 、 p_0 的標準差都極小，顯示這個階段吳孟珈助跑的技術穩定。圖 4-4 是依據表 4-5 所繪製的俯視圖。

(一) 最後一步的方向與橫竿的夾角

從表 4-5 得到吳孟珈在全運會四次的試跳中，最後一步的方向與橫竿的夾角 t_1 分別為 26° 、 32° 、 26° 、 27° ，平均約 28° 。不同高度所得到的 t_1 角度差異並不大（標準差 = 2.87），顯現吳孟珈在全運會的表現，最後一步的方向一致，並且與世界優秀女子跳高運動員最後一步方向與橫竿的夾角差異極小（ t_1 約 29° ）。

(二) 最後兩步重心軌跡與橫竿的夾角

吳孟珈在全運會的試跳中，最後兩步重心軌跡與橫竿的夾角， p_2 、 p_1 、 p_0 的測量平均是 57° 、 46° 、 54° （表 4-5），呈現 $p_2 > p_1$ 且 $p_1 < p_0$ ，但角度比吳孟珈在全中運之前最後兩步重心軌跡與橫竿的夾角大了許多（表 4-1： p_2 、 p_1 、 p_0 的測量平均是 41° 、 29° 、 33° ）。與 Dapena (2000) 的研究：運動員越靠近橫竿，身體重心

軌跡與橫竿的夾角角度越小，即 $p_2 > p_1 > p_0$ ，仍不符合。吳孟珈最後第二步踩向弧線偏外緣，最後一步再踏到弧線內緣，因而產生 $p_1 < p_0$ 的情形，最後兩步的助跑路線幾乎成一直線仍未改善。

從圖 4-4 發現吳孟珈最後兩步助跑時，身體向內傾斜，導致重心軌跡偏向助跑路線左側，最後重心軌跡於起跳時才與身體重合。據 Dapena (2000) 的研究指出，起跳時的重心軌跡與橫竿夾角 p_0 約為 45° 左右，會獲得比較大的旋轉角速度，而且起跳後身體上升前移方向要與橫竿成 90° 背弓，才會獲得較大的上升騰空高度。觀看吳孟珈在全運會表現，起跳後身體上升騰空前移方向偏左，應是 p_0 太大的結果。

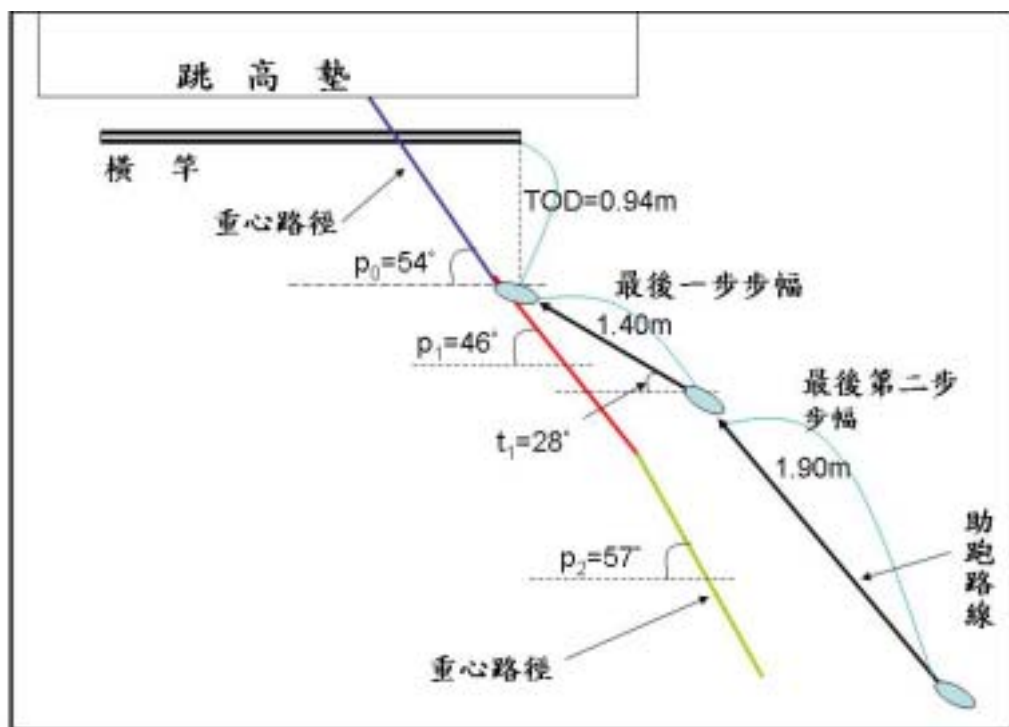


圖 4-4 2009 年全運會吳孟珈起跳前、後重心軌跡與橫竿的相關角度俯視圖

表 4-5 2009 年全運會吳孟珈起跳前、後重心軌跡與橫竿的相關角度

起跳高度	與橫竿的夾角	t_1 (°)	p_2 (°)	p_1 (°)	p_0 (°)	SL_1		TOD (m)
		(m)	(%)					
Amy Acuff		23	50	36	33	1.96	90	0.53
Galina Astafei		32	-	39	34	2.00	109	0.88
Susanne Beyer-Helm		29	50	42	40	1.80	101	1.04
Emilia Dragieva		33	47	41	40	1.85	109	0.82
Keike Henkel		30	55	41	38	1.91	105	0.94
Stefka Kostadinova		34	51	43	37	2.06	114	0.98
Ioaminet Quintero		30	51	42	34	1.91	106	0.75
Coleen Sommer		23	44	36	33	1.72	98	0.90
平均		29	50	40	36	1.90	104	0.86
標準差		4.20	3.45	2.73	3.00	0.11	7.52	0.16
吳孟珈全運會跳高比賽	1.67m	26	55	44	49	1.38	81	0.89
	1.70m	32	55	46	54	1.40	82	0.84
	1.73m	26	60	49	60	1.37	80	1.07
	1.76m	27	58	46	54	1.43	84	0.97
	平均	28	57	46	54	1.40	82	0.94
	標準差	0.287	0.245	0.206	4.50	0.03	0.171	0.10

註： t_1 為最後一步的方向； p_2 和 p_1 為最後兩步重心軌跡的方向； p_0 為起跳後重心的方向與橫竿的夾角。 SL_1 為最後一步的步長與身高的相對步長； TOD 為起跳腳與橫竿的距離。

(三) 後一步的步長與身高的相對步長

吳孟珈全運會跳高比賽中的最後一步步長為 1.37m、1.40m、

1.37m、1.43m，平均 1.40m，與身高的相對步長 SL_1 平均約 82%。觀察吳孟珈起跳前的身體重心高度與身高的比率平均約為 57%（超過 50%），重心高度（平均 0.97m）是處於較高的位置。吳孟珈的最後第二步步長平均 1.90m，最後一步短少約 0.50m，兩步差距太大；若從吳孟珈最後兩步的水平速度觀察（表 4-7）：最後第二步約 5.8m/s、最後一步約 4.8m/s，速度減慢約 1m/s；應為吳孟珈在全運會跳高比賽中的最後兩步步長相差約 0.50m，差距太大所影響（表 4-6）。

表 4-6 2009 年全運會吳孟珈助跑最後兩步步長的比較

高度	最後第二步步長 (m)	最後一步步長 (m)	步長差距 (m)
1.67m	1.93	1.38	0.55
1.70m	2.05	1.40	0.65
1.73m	1.77	1.37	0.40
1.76m	1.83	1.43	0.40
平均	1.90	1.40	0.50

（四）起跳腳與橫竿的距離（TOD）

起跳距離決定了起跳最大高度值相對於橫竿的位置，與起跳後身體重心到達最高點時的位置有直接關係。吳孟珈在全運會中，起跳腳與橫竿的距離是 0.89m、0.84m、1.07m、0.97m，平均約 0.94m（表 4-5）。觀察動作分析系統影片，發現吳孟珈起跳後身體重心到達最高點時的位置，都已超過橫竿的正上方，起跳距離仍有檢討的必要。

表 4-7 2009 年全運會吳孟珈起跳開始重心高度及起跳前、後速度的變化

運動員	重心速度	起跳開始	最後二步	最後一步	起跳後的	起跳階段	起跳開始	起跳結束	
		重心高度	水平速度	水平速度	水平速度	水平速度的變化	垂直速度	垂直速度	
		(m)	(%)	(m/s)	(m/s)	(m/s)	(m/s)	(m/s)	
Amy Acuff		0.92	49.0	6.3	6.3	3.5	-2.8	-0.2	3.80
Galina Astafei		0.88	48.0	-	7.2	4.1	-3.1	-0.7	3.95
Susanne Beyer-Helm		0.86	48.0	6.9	7.2	3.8	-3.4	-0.5	4.00
Emilia Dragieva		0.81	47.5	6.9	7.2	3.5	-3.7	-0.8	4.10
Keike Henkel		0.89	49.0	7.4	7.2	4.3	-2.9	-0.5	3.90
Stefka Kostadinova		0.90	50.0	7.5	7.3	4.2	-3.1	-0.5	4.00
Ioaminet Quintero		0.84	46.5	7.3	6.7	3.8	-2.9	-0.8	3.90
Coleen Sommer		0.87	49.5	6.9	7.1	4.3	-2.8	-0.6	3.85
平均		0.87	48.4	7.0	7.0	3.9	-3.0	-0.6	3.93
標準差		0.03	1.15	0.41	0.34	0.33	0.31	0.20	0.10
吳孟珈全運會跳高比賽	1.67m	0.97	57	5.9	4.3	3.1	-1.2	0.15	3.27
	1.70m	0.97	57	6.1	4.7	3.5	-1.2	0.08	3.41
	1.73m	0.94	55	5.7	4.4	3.3	-1.1	0.07	3.33
	1.76m	0.98	57	5.8	4.8	3.4	-1.4	0.34	3.39
	平均	0.97	57	5.9	4.6	3.3	-1.2	0.16	3.35
	標準差	0.02	1	0.2	0.2	0.2	0.1	0.13	0.06

二、起跳開始重心高度及起跳前、後速度變化的技術分析

表 4-7 為吳孟珈 2009 年全運會女子跳高比賽的水平速度與垂直速度變化的情形。茲就助跑最後兩步的水平速度及其變化、起跳開始與結束的垂直速度和起跳開始的重心高度分析如下：

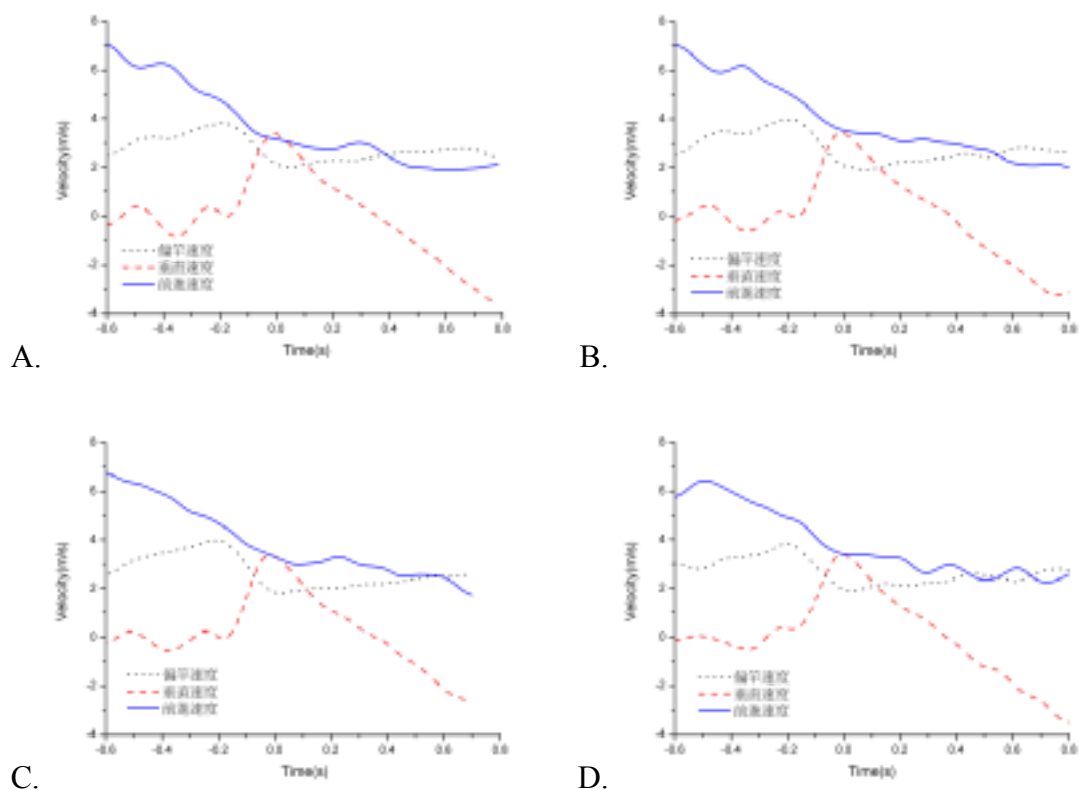


圖 4-5 吳孟珈 2009 年全運會四次試跳的重心速度曲線圖
A.是 1.67m，B.是 1.70m，C.是 1.73m，D.是 1.76m

(一) 最後兩步水平速度的變化

表 4-7 得到吳孟珈在全運會四次的試跳中，最後第二步的水平速度為 5.9m/sec、6.1m/sec、5.7m/sec、5.8m/sec，平均約 5.9m/sec；最後一步的水平速度為 4.3m/sec、4.7m/sec、4.4m/sec、4.8m/sec，平均約 4.6m/sec，最後一步的速度比最後第二步減慢約 1.3m/sec，起跳前的助跑速度是遞減的。以世界優秀女子跳高運動員，最後第二步的水平速度 7.0m/sec、最後一步的水平速度也達 7.0m/sec，兩步之間水平速度幾乎沒有減少。由此發現吳孟珈在助跑最後兩步的水平速度方面最需要加強。

吳孟珈起跳後的水平速度為 3.1m/sec、3.5m/sec、3.3m/sec、3.4m/sec，平均約 3.3m/sec，比起跳前的水平速度減少約 1.2m/sec。世界優秀女子跳高運動員起跳後的水平速度約 3.9m/sec，比起跳前的水平速度減少 3.1m/sec(表 4-7)，吳孟珈起跳後的水平速度比世界優秀運動員少 0.6m/sec，但比起跳前的水平速度減少的部分，吳孟珈卻減少比較少。

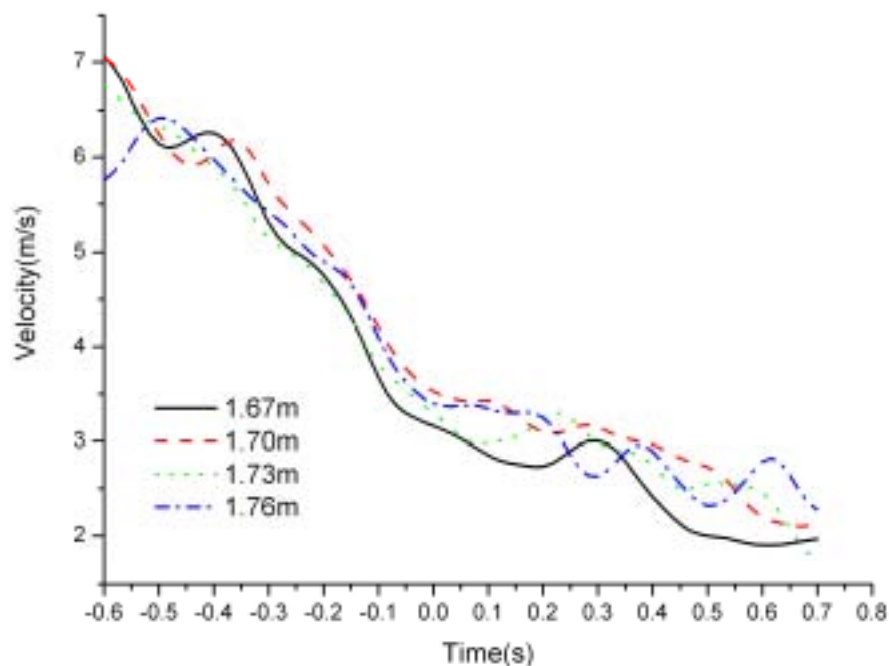


圖 4-6 吳孟珈 2009 年全運會重心水平速度曲線圖

圖 4-6 則為四次試跳的重心水平速度曲線集合圖，從圖中可觀察到試跳 1.70m 高度在起跳前達到 6.1m/sec，起跳後達到 3.5m/sec 的水平速度最快。而試跳 1.67m 高度在起跳前、後的水平速度較慢 (5.7m/sec、3.1m/sec)。在試跳 1.67m 及 1.70m 的曲線起點達 7.0m/sec，與世界優秀女子跳高運動員的水平速度相當。不過吳孟珈四次試跳的重心水平速度，在起跳前都是下降的。

(二) 起跳開始與結束的垂直速度

吳孟珈起跳開始的垂直速度，都是正值，分別為：0.15m/sec、0.08m/sec、0.07m/sec、0.34m/sec；平均 0.16m/sec。並沒有出現如 Dapena (2000) 研究所指出，在起跳開始的垂直速度是一個很小的負值。吳孟珈起跳結束的垂直速度分別為 3.27m/sec、3.41m/sec、3.33m/sec 及 3.39m/sec，平均達 3.35m/sec。與世界優秀女子運動員起跳結束時垂直速度 3.8m/sec 以上 (Dapena, 1992) 比較，吳孟珈已接近這一水準。

(三) 起跳開始的重心高度

吳孟珈在 2009 年全運會女子跳高比賽中，起跳開始的身體重心高度平均為 0.97m，佔身高高度 57%，大於 50%，身體重心高度偏高。比世界優秀女子運動員重心高度平均為 0.87m，佔身高高度 48% (表 4-7)，吳孟珈起跳開始的重心高度明顯太高。

三、起跳前、後重心高度的變化

表 4-8 為吳孟珈 2009 年全運會的重心高度變化情形，分析如下：

起跳開始重心高度 H_0 ：0.94m-0.97m，平均約 0.97m；

離地高度 H_1 ：1.28m-1.34m，平均約 1.30m；

騰空高度 H_2 ：0.48m-0.58m，平均約 0.54m；

過竿高度 H_3 ：0.07m-0.16m 平均約 0.13m；

重心騰起總高度為 1.82m-1.89m，平均約 1.84m。

觀察吳孟珈在全運會的表現，她的重心騰起總高度平均約 1.84m，過竿高度 H_3 平均 0.13m，由此來看她的騰起高度利用率 93.1%，利用率較低，可見吳孟珈騰起高度遠超過橫竿高度，

宜加強過竿技術，應可再創更高的成績。從吳孟珈在試跳 1.76m 時的重心騰起總高度 1.89m 來看，已超越全國紀錄 1.86m，超越全國紀錄指日可待。

表 4-8 2009 年全運會吳孟珈起跳前、後重心高度變化表

運動員	重心高度	H ₀ (m)	H ₁ (m)	H ₁ 與身高之比 (%)	H ₂ (m)	H ₃ (m)	重心騰起總高度(m)	騰起高度利用率 (%)
Stefka Kostadinova		0.90	1.33	73.48	0.76	0.03	2.09	98.56
Coleen Sommer		0.87	1.34	76.14	0.64	0.02	1.98	98.99
Susanne Beyer-Helm		0.86	1.30	73.03	0.76	0.07	2.06	96.60
Amy Acuff		0.92	1.30	69.15	0.72	0.04	2.02	98.02
平均		0.89	1.32	72.95	0.72	0.04	2.04	98.04
標準差		0.03	0.02	2.88	0.06	0.02	0.05	1.04
吳孟珈全運會跳高比賽	1.67m	0.97	1.34	78.36	0.48	0.15	1.82	91.76
	1.70m	0.97	1.28	74.85	0.58	0.16	1.86	91.40
	1.73m	0.98	1.28	74.85	0.52	0.07	1.80	96.11
	1.76m	0.94	1.31	76.61	0.58	0.13	1.89	93.12
	平均	0.97	1.30	76.17	0.54	0.13	1.84	93.10
	標準差	0.02	0.03	1.68	0.05	0.04	0.04	2.14

表 4-9 2009 年全運會前吳孟珈助跑最後兩步支撐與飛程時間
時間 (sec)

高 度	最後第三步		最後第二步		最後一步	備註
	支撐時間 T ₃	飛程時間	支撐時間 T ₂	飛程時間	支撐時間 T ₁	
1.60m	0.138	0.118	0.150	0.022	0.166	成功
1.65m	0.136	0.110	0.152	0.038	0.168	成功
1.70m	0.140	0.116	0.152	0.048	0.164	失敗
1.70m	0.144	0.134	0.146	0.040	0.156	成功
1.75m-1	0.146	0.128	0.160	0.046	0.156	失敗
1.75m-2	0.144	0.136	0.150	0.034	0.160	失敗
1.75m-3	0.136	0.114	0.156	0.044	0.156	失敗
平均	0.141	0.122	0.152	0.039	0.161	

四、助跑最後兩步支撐與飛程時間

由於無法在全運會中以高速攝影機拍攝運動員的動作，所以特別於 2009 年 10 月 17 日，前往后綜高中拍攝吳孟珈的動作，記錄到吳孟珈在全運會前 7 次試跳的資料。表 4-9 顯示吳孟珈在全運會前助跑最後兩步支撐與飛程的時間，分析如下：

(一) 支撐時間

吳孟珈是屬於右邊助跑起跳的運動員，最後三步著地腳為左腳、右腳、左腳，最後第三步左腳著地支撐時間為 0.136-0.146sec，平均 0.141sec；最後第二步右腳著地支撐時間為 0.146-0.160sec，平均 0.152sec；最後一步左腳著地支撐時間為 0.156-0.168sec，平均 0.161sec。發現最後三步著地時間呈現 $T_1 > T_2 > T_3$ ，最後三步著地支撐時間逐次增加，這就說明吳孟珈助跑速度會減慢的原因了。

(二) 飛程時間

吳孟珈最後第三步左腳離地到最後第二步右腳著地的飛程時間為 0.110-0.136sec，平均 0.122sec；最後第二步右腳離地到最後一步左腳著地的飛程時間為 0.022-0.048sec，平均 0.039sec。最後兩步的飛程時間很短，應是吳孟珈前導腳快速擺起，而促使起跳腳快速積極著地的結果。

(三) 起跳時間

吳孟珈起跳的時間（最後一步支撐時間）只有 0.161sec，與表 2-6 優秀跳高運動員的起跳時間 0.160-0.186sec 相差不多。

五、吳孟珈的跳高技術分解圖

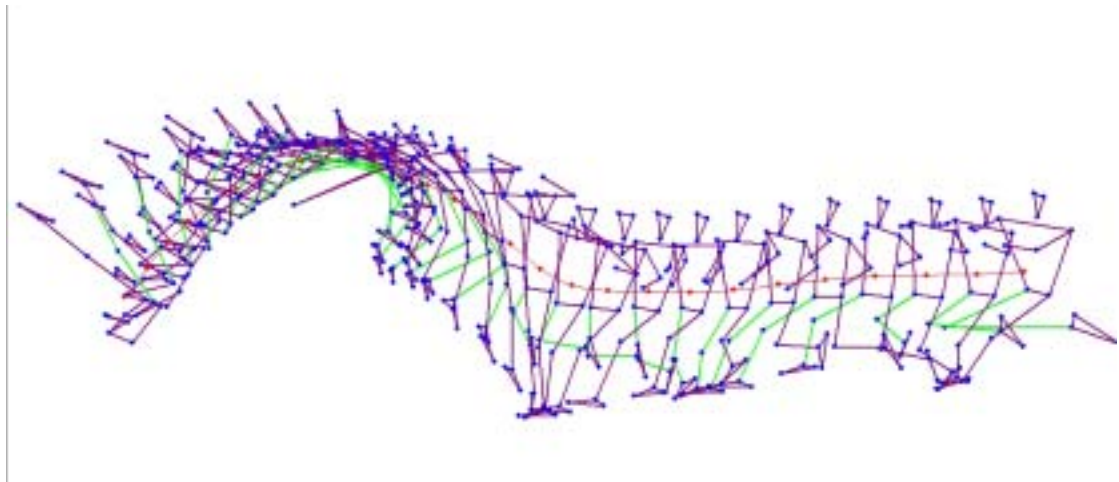


圖 4-7 吳孟珈 2009 年全運會女子跳高比賽，跳 1.76m 高度的動作單線圖

從圖 4-7 發現吳孟珈起跳騰起翻轉過竿的動作，右腳擺動腿抬得不夠高，而且在起跳後身體上升中會下放。並且身體通過橫竿上方時，身體重心還在上升（未到達最高點），可見吳孟珈重心騰起最高點的位置是在橫竿的後方。

第三節 全運會優秀女子跳高運動員的技術分析

本節為 2009 年 10 月 25 日全國運動會女子跳高比賽中，所蒐集到前六名運動員最高成績之數位影像，經動作分析系統處理之後，依最後兩步身體重心與橫竿的夾角、助跑最後兩步的速度變化、起跳前後重心高度的變化等技術作分析比較。

表 4-10 2009 年全國運動會女子跳高比賽運動員成績一覽表

姓名	縣市	成績 (m)	身高 (m)	起跳方向	名次
吳孟珈	台中縣	1.74	1.71	右邊	1
鄭筠懷	台北市	1.73	1.70	左邊	2
蔡佩芸	台北縣	1.73	1.70	右邊	3
林淑靜	新竹市	1.70	1.75	右邊	4
林愷琦	台北縣	1.70	1.78	右邊	5
曹郁瑩	雲林縣	1.67	1.76	右邊	6

表 4-10 為 2009 年全國運動會女子跳高比賽前六名運動員成績一覽表，本實驗一開始即以吳孟珈為實驗對象，因吳孟珈採右邊助跑起跳，拍攝範圍以右邊為主，而第二名鄭筠懷為左邊助跑起跳，無法蒐集，故不列入本研究分析對象。吳孟珈最後比賽成績為 1.74m，也因天暗無法蒐集到此高度的紀錄，所以以吳孟珈第二次試跳 1.76m 的運動學參數，與其他優秀女子運動員作分析比較。

表 4-11 2009 年全運會優秀女子運動員起跳前、後重心軌跡與橫竿的相關夾角

運動員	t_1 (°)	p_2 (°)	p_1 (°)	p_0 (°)	SL ₁		TOD (m)
					(m)	(%)	
吳孟珈	27	58	46	54	1.43	84	0.97
蔡佩芸	37	66	57	62	1.28	75	0.93
林淑靜	42	13	24	13	1.56	89	1.12
林愷琦	31	53	44	57	1.57	88	0.69
曹郁瑩	29	12	23	12	1.45	82	0.89

註： t_1 為最後一步的方向； p_2 和 p_1 為最後兩步重心軌跡的方向； p_0 為起跳後重心的方向與橫竿的夾角。SL₁ 為最後一步的步長與身高的相對步長；TOD 為起跳腳與橫竿的距離。

一、最後兩步身體重心與橫竿的夾角

表 4-11 呈現 2009 年全國運動會女子跳高比賽，優秀運動員起跳前、後重心軌跡與橫竿的相關夾角。結果顯示林淑靜最後一步的方向 t_1 ：46°最大，蔡佩芸 t_1 ：37°次之，吳孟珈 t_1 ：27°最小。

測量最後兩步重心軌跡的方向，得出蔡佩芸 p_2 、 p_1 、 p_0 ：66°、57°、62°角度最大，其次為吳孟珈的 58°、46°、54°，及林愷琦的 53°、44°、57°；而林淑靜 p_2 、 p_1 、 p_0 ：13°、24°、13°，及曹郁瑩的 12°、23°、12°則相對較小。

不過較值得關注的是，這些運動員最後兩步重心軌跡與橫竿的的夾角，都呈現 $p_2 > p_1$ ， $p_1 < p_0$ 。與 Dapena (2000) 的研究不符：運動員越靠近橫竿，身體重心軌跡與橫竿的夾角角度越小，即 $p_2 > p_1 > p_0$ 。包括吳孟珈在內的這些運動員， p_1 都小於 p_0 ，從表 4-11 可得出這些運動員最後第二步踩向弧線偏外緣

(得到較小的 p_1 角度)，最後一步再踏到弧線內緣(得到較大的 p_0 角度)，因而產生 $p_1 < p_0$ 的情形，最後兩步的助跑路線幾乎成一直線。

表 4-12 2009 年全運會優秀女子運動員助跑最後兩步步長

運動員	最後第二步(m)	最後一步(m)	步長相差(m)	最後一步與身高之比
吳孟珈	1.83	1.43	0.40	84%
蔡佩芸	1.51	1.28	0.23	75%
林淑靜	1.85	1.56	0.29	89%
林愷琦	1.64	1.57	0.07	88%
曹郁瑩	1.57	1.45	0.12	82%

從表 4-12 可得出 2009 年全國運動會女子跳高比賽優秀運動員最後一步步長，都比最後第二步的步長短，除了林愷琦兩步步長只相差 0.07m，是表列運動員中相差最少的，其次是曹郁瑩兩步相差 0.12m。吳孟珈兩步步長相差 0.40m，相差最大。

從最後一步步長與身高的相對步長 SL_1 的研究也得出：這些優秀運動員的最後一步的步長都不大，除了蔡佩芸 1.28m 超短外，其餘運動員介於 1.43-1.57m 之間，與身高的比率只介於 75-89%，與世界優秀女子跳高運動員 104% 比較，相差很大。

起跳腳與橫竿的距離以林淑靜的 1.12m 最長，林愷琦 0.69m 最短，吳孟珈 0.97m、蔡佩芸 0.93m、曹郁瑩 0.89m，起跳距離相差不多。不過起跳距離因個人技巧、速度而有很大的不同，必須從運動員起跳後身體重心最高點與橫竿的相關位置來探討。從動作分析系統數位影像觀察，發現吳孟珈起跳後身體

重心達到最高點時，重心已在橫竿之後，表示起跳位置太靠近橫竿，起跳距離可再加長一些；曹郁瑩起跳後身體重心達到最高點時，重心接近橫竿上方，但尚未到達橫竿正上方，起跳點可稍移後一些。蔡佩芸、林淑靜、林愷琦三人起跳後身體重心達到最高點時，重心在橫竿正上方，她們三人的起跳距離最適合。

表 4-13 2009 年全運會優秀女子運動員起跳開始的重心高度及起跳前、後速度的變化

運動員	起跳開始重心高度		最後第二步	最後一步	起跳後水	起跳階段水	起跳開始	起跳結束
	(m)	(%)	水平速度	水平速度	平速度	平速度變化	垂直速度	垂直速度
	(m)	(%)	(m/s)	(m/s)	(m/s)	(m/s)	(m/s)	(m/s)
吳孟珈	0.98	57	5.8	4.8	3.4	-1.4	0.34	3.39
蔡佩芸	0.99	58	5.4	4.4	3.0	-1.4	0.24	3.10
林淑靜	0.98	56	4.9	3.6	2.9	-0.7	-0.08	2.92
林愷琦	0.96	54	5.7	4.3	3.0	-1.3	-0.35	2.83
曹郁瑩	0.91	52	5.1	4.6	3.4	-1.2	-0.09	3.67

二、起跳前、後速度的技術分析

表 4-13 為 2009 年全運會女子跳高比賽，優秀運動員的水平速度與垂直速度變化的情形。茲就助跑最後兩步的水平速度及其變化、起跳開始與結束的垂直速度和起跳開始的重心高度分析如下：

(一) 最後兩步及起跳前、後水平速度的變化

表 4-13 顯示全運會女子跳高比賽優秀運動員，從其最後

第二步與最後一步的水平速度分析得到：吳孟珈為 5.8m/s、4.8m/s，最後兩步的水平速度最快，但從最後第二步到最後一步的水平速度減少了 1.0m/s。蔡佩芸為 5.4m/s、4.8m/s，最後第二步到最後一步的水平速度減少 1.0m/s。林淑靜為 4.9m/s、3.6m/s，最後第二步到最後一步的水平速度減少 1.3m/s，是最後兩步水平速度最慢的運動員。林愷琦 5.7m/s、4.3m/s，最後第二步到最後一步的水平速度減少 1.4m/s，減少的速度最多。曹郁瑩為 5.1m/s、4.6m/s，最後第二步到最後一步的水平速度減少 0.5m/s，減少的速度最少。

從以上分析，發現臺灣優秀運動員的最後第二步與最後一步的水平速度，都是往下遞減，而且減少了 1.0m/s 以上，減少的幅度相當大，值得臺灣教練與運動員特別注意與加強。而且最後兩步助跑的水平速度，距世界優秀運動員的 7.0-6.0m/s 水準，還有一大段差距，最須要努力。

從全運會女子跳高比賽優秀運動員起跳前、後水平速度的變化分析得到：吳孟珈起跳前的水平速度為 4.8m/s，起跳後的水平速度為 3.4m/s，減少 1.4m/s。蔡佩芸起跳前的水平速度為 4.4m/s，起跳後的水平速度為 3.0m/s，減少 1.4m/s。林淑靜起跳前的水平速度為 3.6m/s，起跳後的水平速度為 2.9m/s，減少 0.7m/s。林愷琦起跳前的水平速度為 4.3m/s，起跳後的水平速度為 3.0m/s，減少 1.3m/s。曹郁瑩起跳前的水平速度為 4.6m/s，起跳後的水平速度為 3.4m/s，減少 1.2m/s。

從以上分析，發現起跳前的水平速度以吳孟珈 4.8m/s 最快，起跳後的水平速度也是吳孟珈 3.4m/s 最快；起跳前的水平速度以林淑靜 3.6m/s 較慢，起跳後的水平速度也以林淑靜 2.9m/s 較慢；起跳前、後水平速度的變化，以吳孟珈、蔡佩芸減少

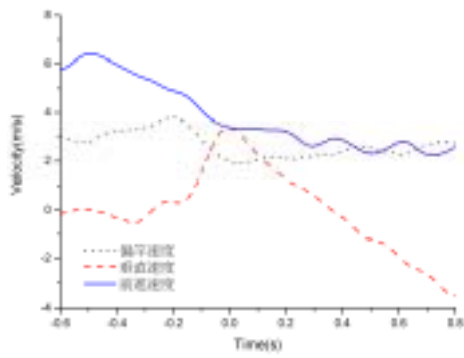
1.4m/s 最多；以林淑靜減少 0.7m/s 最少。但以 Dapena (2000) 的研究指出，以水平速度減少的速度會轉化為向上的垂直速度來看，林淑靜起跳後的垂直速度只有 2.92m/s，是這些優秀運動員中最小的。曹郁瑩起跳後的垂直速度有 3.67m/s，是這些優秀運動員中最大、最好的。

(二) 起跳開始與結束的垂直速度

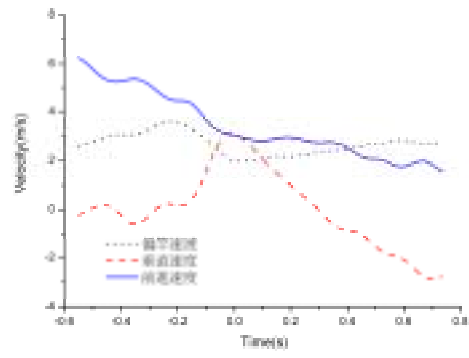
從表 4-13 的起跳開始結束的垂直速度分析發現，林淑靜、林愷琦、曹郁瑩起跳開始的垂直速度是一個負值：-0.08、-0.35、-0.09m/s，以林淑靜、曹郁瑩的 -0.08、-0.09m/s 較小，結果與 Dapena (2000) 的研究相符。吳孟珈、蔡佩芸起跳開始的垂直速度卻是正值：0.34m/s、0.24m/s，須要加強改善。

起跳結束的垂直速度分析發現，曹郁瑩起跳後的垂直速度有 3.67m/s 最大，吳孟珈 3.39m/s 次之；林淑靜、林愷琦起跳後的垂直速度 2.92m/s、2.83m/s 較小。以 Dapena (1992) 研究指出世界級的女子運動員，起跳結束時重心的垂直速度應有 3.8m/sec 以上，曹郁瑩最接近這個水準。

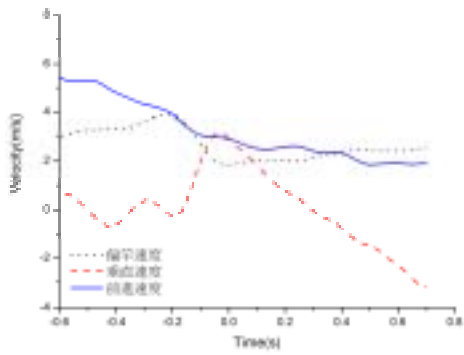
圖 4-8、圖 4-9 是 2009 年全運會優秀女子運動員起跳前、後重心速度變化曲線圖，分別為 A.是吳孟珈，B.是蔡佩芸，C.是林淑靜，D.是林愷琦，E.是曹郁瑩的重心速度曲線圖。時間軸 (0) 表示起跳腳離地瞬間的位置，由此位置觀察起跳前及起跳後水平 (前進) 速度、垂直速度、偏竿速度的變化。



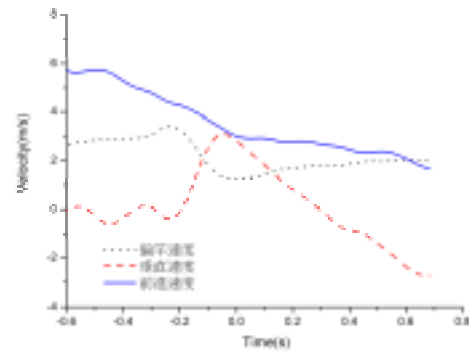
A.



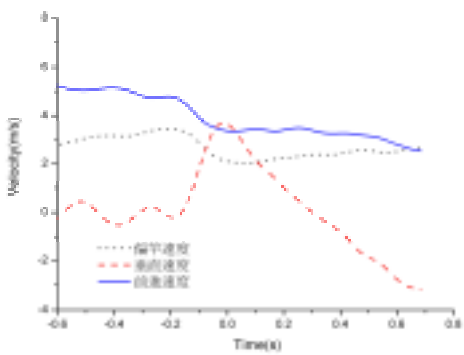
B.



C.



D.



E.

註：

A：吳孟珈 1.76m

B：蔡佩芸 1.73m

C：林淑靜 1.73m

D：林愷琦 1.70m

E：曹郁瑩 1.67m

圖 4-8 2009 年全運會優秀女子運動員起跳前、後重心速度變化曲線圖

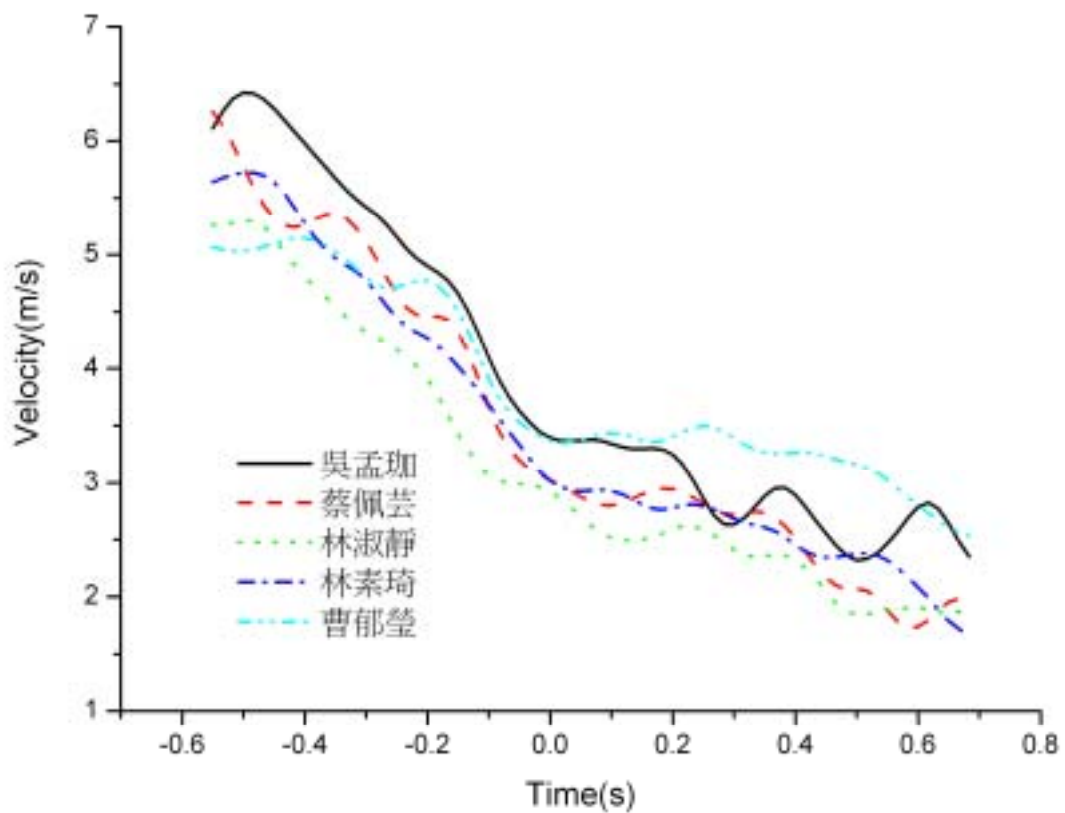


圖 4-9 2009 年全運會優秀女子運動員起跳前、後重心水平速度變化比較曲線圖。

從圖中觀察臺灣優秀女子跳高運動員的曲線變化，與第二節分析吳孟珈的重心速度曲線圖類似，表示臺灣優秀女子跳高運動員起跳前、後的水平速度及垂直速度的變化類似，除吳孟珈的水平（前進）速度、垂直速度表現得都比較快之外，所有運動員的水平速度都是一直往下遞減的，減少的幅度相當大，到起跳後減少的幅度才稍稍緩和。運動員在起跳前的垂直速度，在約 0.2sec 的位置（即起跳腳著地瞬間），都有些微下降，但下降的幅度都不一（如表 4-13 所示），之後就

一直上升到起跳腳離地瞬間的位置 (0.0sec)。起跳前水平速度減少速度轉化為向上的垂直速度，與 Dapena(2000)的研究相符。

(三) 起跳開始的重心高度

從表 4-13 的起跳開始的重心高度分析發現：蔡佩芸起跳開始的重心高度佔身高 58%、吳孟珈 57%、林淑靜 56%、林愷琦 54%、曹郁瑩 52%，她們起跳開始的重心高度佔身高的比率都大於 50%，以 Dapena (2000) 的研究指出，優秀跳高運動員起跳開始的重心高度佔身高的比率都小於 50%，臺灣女子跳高運動員，在起跳前的身體重心高度需要練習再低一些，但不可因此而減慢速度。

三、起跳前、後重心高度的變化

表 4-14 及圖 4-10 得到 2009 年全國運動會跳高比賽優秀女子運動員起跳前、後的重心高度，分析如下：

吳孟珈起跳前的重心高度 H_0 為 0.98m，佔自己身高 57%，起跳後的重心高度 H_1 為 1.31m，佔自己身高 76.61%，騰空高度 H_2 為 0.58m，重心騰起總高度 1.89m，與橫竿的距離是 0.13m，騰起高度利用率為 93.12%。

蔡佩芸起跳前的重心高度 H_0 為 0.99m，佔自己身高 58%，起跳後的重心高度 H_1 為 1.31m，佔自己身高 77.06%，騰空高度 H_2 為 0.46m，重心騰起總高度 1.77m，與橫竿的距離是 0.04m，騰起高度利用率為 97.74%。

林淑靜起跳前的重心高度 H_0 為 0.98m，佔自己身高 56%，起跳後的重心高度 H_1 為 1.32m，佔自己身高 75.42%，騰空高度 H_2 為 0.40m，重心騰起總高度 1.72m，與橫竿的距離是 -0.01m，騰起高度利用率為 100.58%。

林愷琦起跳前的重心高度 H_0 為 0.96m，佔自己身高 54%，起跳後的重心高度 H_1 為 1.37m，佔自己身高 76.97%，騰空高度 H_2 為 0.40m，重心騰起總高度 1.77m，與橫竿的距離是 0.07m，騰起高度利用率為 96.05%。

曹郁瑩起跳前的重心高度 H_0 為 0.91m，佔自己身高 52%，起跳後的重心高度 H_1 為 1.27m，佔自己身高 72.16%，騰空高度 H_2 為 0.50m，重心騰起總高度 1.77m，與橫竿的距離是 0.10m，騰起高度利用率為 94.35%。

表 4-14 2009 年全國運動會優秀女子跳高運動員起跳前、後重心高度的變化

運動員	成績 (m)	身高 (m)	H_0 (m)	H_1 (m)	H_1 與身高比 (%)	H_2 (m)	H_3 (m)	重心騰起總高度 (m)	騰起高度利用率 (%)
吳孟珈	1.76	1.71	0.98	1.31	76.61	0.58	0.13	1.89	93.12
蔡佩芸	1.73	1.70	0.99	1.31	77.06	0.46	0.04	1.77	97.74
林淑靜	1.73	1.75	0.98	1.32	75.42	0.40	-0.01	1.72	100.58
林愷琦	1.70	1.78	0.96	1.37	76.97	0.40	0.07	1.77	96.05
曹郁瑩	1.67	1.76	0.91	1.27	72.16	0.50	0.10	1.77	94.35

綜合以上分析，發現臺灣優秀女子跳高運動員起跳前的重心高度平均 56%，都超過 50%，起跳前的重心高度太高；起跳後的重心高度平均 1.32m，佔身高 76.34%，以林愷琦 1.37m 最高，主要原因為她的身高 1.78m 較高，此即為身高的優勢。騰空高度以吳孟珈 0.58m 最高，曹郁瑩 0.50m 次之，但比起世界優

秀女子跳高運動員的 0.72m，還差距甚大。起跳後騰空高度的獲得，應是目前臺灣優秀跳高運動員極須努力之處。

重心騰起總高度以吳孟珈 1.89m 最高，林淑靜 1.72m 最低(圖 4-10)，但就重心騰起最高點與橫竿的距離而言，吳孟珈 0.13m 最大，林淑靜 -0.02m 最小，所以騰起高度利用率吳孟珈只有 92.06%，而林淑靜卻有 100.58%，可見林淑靜騰空動作的技術最優異，而吳孟珈在這方面的技巧則必須再求改善。

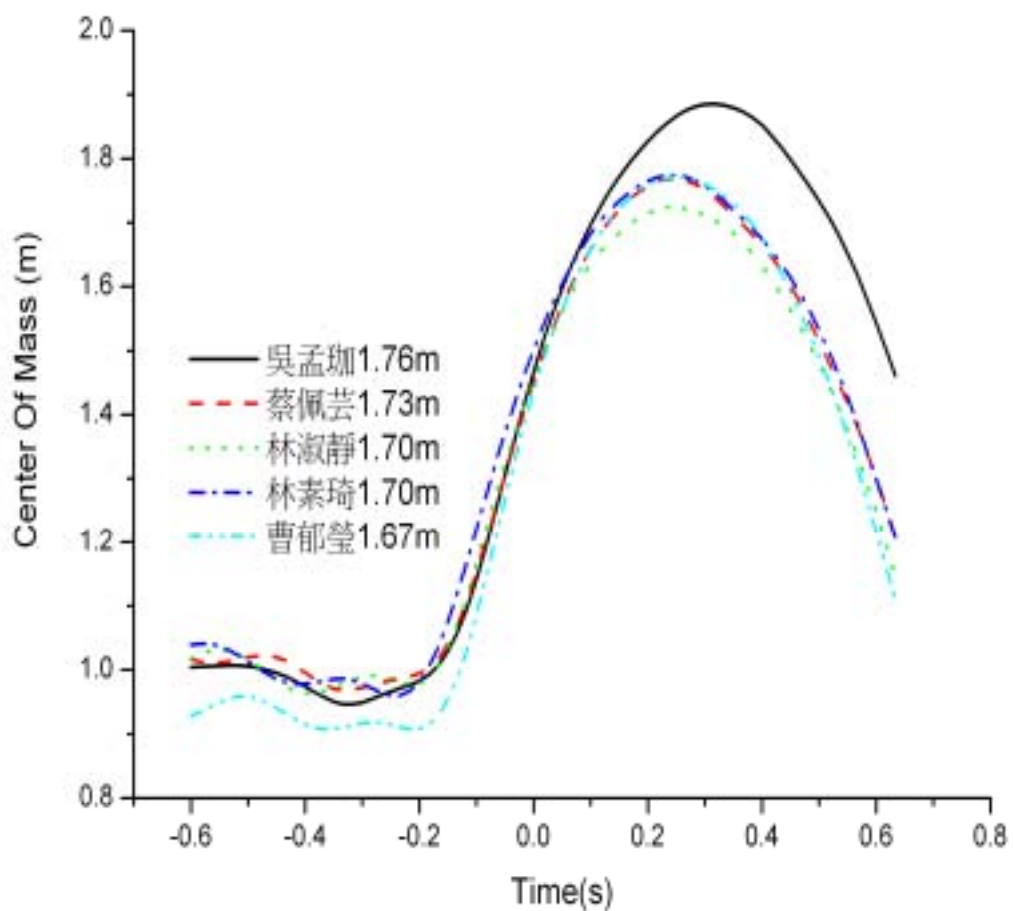


圖 4-10 2009 年全運會優秀女子運動員起跳前、後重心高度比較曲線圖

第四節 綜合討論

從最後兩步身體重心、最後一步運動方向與橫竿夾角的變化評析，對於大部分使用背向式跳高的運動員來說，助跑常常是從與橫竿垂直的直線開始，接著最後 5 步是曲線。曲線助跑的主要作用之一，就是使跳高選手在起跳開始時保持身體內傾的反向傾斜。助跑的速度越大或曲線曲度越小，產生的向曲線圓心的傾角就大。一般選手進入曲線助跑後，身體重心的軌跡開始時會在腳印的左側（以右邊起跳者而言），這是因為選手在曲線跑時身體向左傾斜之故。重心軌跡最後會與腳印重合，在起跳結束時，身體重心幾乎在起跳腳的上方。

根據 Dapena (2000) 的研究顯示（表 2-4），世界優秀跳高男、女運動員，越靠近橫竿，角度越小，會呈現 $p_2 > p_1 > p_0$ 。以女子為例， p_2 、 p_1 、 p_0 的角度，平均為 50° 、 40° 、 36° 。這與曲線助跑的技術是有極大關聯的。

根據圖 4-1 與表 4-1 得悉，吳孟珈在 2009 年全中運之前練習的技術分析，吳孟珈進入曲線助跑後，身體重心的軌跡開始時在腳印的左側，但因最後兩步重心軌跡與橫竿的夾角，都呈現 $p_2 > p_1$ ， $p_1 < p_0$ ， p_1 都小於 p_0 ；其最後兩步的曲線助跑路徑幾乎成一直線，重心軌跡提早於起跳前就與助跑路徑重合。而吳孟珈在 2009 年全運會正式跳高比賽中的技術分析，據圖 4-4 與表 4-5 的結果得悉，最後兩步重心軌跡與橫竿的夾角，雖然角度大了許多，但也都呈現 $p_2 > p_1$ ， $p_1 < p_0$ ， p_1 都小於 p_0 。顯示吳孟珈最後第二步腳著地位置有偏離弧線助跑路徑，表示她為了最後的起跳，最後第二步踩向弧線偏外緣，

最後一步再踏到弧線內緣，最後兩步的助跑路線幾乎成一直線，如此容易促使身體提早直立，造成前衝過大，影響起跳後身體重心最高點落在橫竿的後面。

背向式跳高採用曲線助跑，並且在不影響跑速的情況下，至起跳時身體側對橫竿，最後一步與橫竿的夾角約成 $20-30^{\circ}$ (Dapena, 1980a)，男、女跳高運動員在最後一步雙腳連線方向與橫竿所成的夾角角度差不多，大約是 $29-30^{\circ}$ (表 4-1)，以保證人體在騰空後，有一個適宜的相對於橫竿的垂直位移距離。吳孟珈在 2009 年全運會正式跳高比賽中最後一步與橫竿的夾角約成 28° ，這為起跳作好了準備，有利於起跳時的身體繞縱軸旋轉，起跳後身體轉成背向橫竿的姿勢。

起跳距離取決於助跑最後的運動方向和離地騰起後身體的水平速度，並與越過的高度有關。多位學者研究指出有利於過竿的起跳點距離與橫竿的距離約 $0.61-1.07\text{m}$ (Dapena, 1980b)。吳孟珈的起跳距離約 0.94m (表 4-5)。觀察動作分析系統的影片，發現吳孟珈起跳後身體重心到達最高點時的位置，都已超過橫竿的正上方，起跳距離仍有檢討的必要。

助跑的目的就是為開始起跳準備合適的條件。起跳技術必須高度利用水平速度、肢體力量及分力動作，以取得最大的垂直速度及有效的騰越橫竿速度，起跳離地後身體重心提升的垂直高度才會越高，所跳過的成績就越高 (Dapena, 1988)。所以起跳時人體要獲得較大的垂直衝量，應加強助跑速度的訓練。以 Stefka Kostadinova 的最後兩步的助跑速度來看，最後第二步助跑速度為 7.5m/s ，最後一步助跑速度為 7.3m/s ，只約慢 0.2m/s 。Dapena (2000) 從 1987-1992 年對世界優秀跳高選手在世界田徑重要的比賽上所做的研究如表 2-3。可見最後兩步的助跑

速度相差無幾，為了提高起跳速度，最後一步的助跑速度與最後第二步助跑速度，應幾乎一樣或只能減少很小的速度，以維持高速來獲得較大的垂直速度。根據表 4-3、表 4-7 發現吳孟珈在 2009 年全中運之前的練習最後兩步的助跑速度從 4.9m/s 提升到 5.6m/s，呈現加速起跳形式；2009 年全運會最後兩步的助跑速度從 5.9m/s 下降到 4.6m/s，呈現減速起跳形式，助跑速度顯然比世界優秀女子運動員慢很多；而且最後兩步的助跑速度相差 1.3m/s 以上，差距過大，因而影響了起跳速度。而從表 4-9 的結果顯示，最後三步腳著地支撐的時間逐次增加，證明吳孟珈助跑速度會減慢的原因了。

起跳結束時的垂直速度，由起跳開始時的垂直速度及起跳階段垂直速度的變化量所決定，在起跳開始時的垂直速度通常是一個小的負值，如表 2-8 所示起跳開始垂直速度 -0.2 到 -0.9m/sec，理由是助跑結束時（也就是起跳開始時）因運動員向前快速運動，會伴有一些向下的運動。技術最好的運動員在這方面有最小的負值（Dapena, 1993）。吳孟珈在 2009 年在全中運前練習的結果顯示，起跳開始垂直速度 -0.12m/sec，起跳後垂直速度 3.35m/sec，但在全運會時起跳開始垂直速度 0.16m/sec，起跳後垂直速度 3.35m/sec，起跳後垂直速度並沒有多大變化，但起跳開始的垂直速度卻沒有得出較小的負值，推論應與吳孟珈在全運會起跳前的身體重心較高（57%）有關。不過就 Dapena（1993）的研究表示，世界級的運動員，起跳結束時重心的垂直速度女子須達 3.8m/sec 以上，吳孟珈差 0.45m/sec，還需再加強下肢肌力。

有許多研究指出曲線助跑可以有效的降低起跳階段的身體重心，以創造起跳階段的較大垂直位移，而使得跳高運動

員可以有較為充分的力量作用時間，發展離地速度所需的垂直衝量（Ae, Sakatani, Yokoi, Hashihara, & Shibukawa, 1986; Dapena, 1987, 1993; Jacoby, 1986）。

為使作用於身體的力量，在垂直方向的運動範圍儘可能大，在開始起跳時，重心需要處於較低的位置，而在起跳結束時處於較高的位置。據 Dapena (2000) 從 1987-1992 年對世界優秀跳高運動員在世界田徑重要的比賽上所做的研究（表 2-5），女子運動員在起跳開始的重心高度平均約 0.87m，佔身高比率約 48%。可見世界優秀跳高運動員在起跳開始的重心高度都不超過 50%，身體重心都是處在較低位置的。吳孟珈在 2009 年全中運的表現來看，在起跳開始的重心高度平均約 0.93m，佔身高比率約 55%，身體重心是處在較高位置的。吳孟珈在全運會時，起跳開始的重心高度平均 0.97m，佔身高比率 57%，吳孟珈在全運會時身體重心提高的原因，推論應與最後一步步長變小（只約 1.40m）、最後兩步步長差距過大（約 0.50m）及速度減慢有關。

過竿時重心的最大高度，在起跳結束時就已經完全決定了。它是由起跳結束時重心的高度和垂直速度所決定。據 Dapena (2000) 研究指出，在起跳腳離地的瞬間，優秀跳高運動員的重心高度一般在 68-73% 之間。這意味著身高高的運動員有內在的優勢，她們的重心在離地時，就比較高了。吳孟珈的身高在這一方面較吃虧，而且起跳前身體重心處在較高的位置，所以起跳騰空後身體重心的高度最高 0.58m（全中運前只 0.51m），比起世界優秀女子跳高運動員平均達 0.70m 以上，吳孟珈遠遠不如。但吳孟珈重心的最大高度，全中運前約 1.77m，全運會則提高到 1.86m，顯見吳孟珈起跳後獲得的重心

高度有很大的進步。

跳高運動員起跳後重心騰起最高點與橫竿高度越接近，也就是過竿高度越小，表示過竿效果越好。吳孟珈在全運會的表現，她的重心騰起總高度平均約 1.84m，過竿高度 H_3 平均 0.13m，由此來看她的騰起高度利用率 93.1%，利用率較低，可見吳孟珈騰起高度遠超過橫竿高度，宜加強過竿技術，應可再創更高的成績。但過竿效果與起跳距離、空翻角動量、轉體旋轉角度、背弓、及結束背弓的時機有關，但本研就只探討吳孟珈的助跑及起跳的動作，空中的動作則不在本研究範圍內，所以在此不作贅述。

本研究同時記錄了全運會女子跳高比賽中優秀運動員的動作。結果發現目前臺灣優秀運動員，最後第二步踩向弧線偏外緣（得到較小的 p_1 角度），最後一步再踏到弧線內緣（得到較大的 p_0 角度），因而產生 $p_1 < p_0$ 的情形（表 4-11），最後兩步重心軌跡與橫竿的夾角，都呈現 $p_2 > p_1$ ， $p_1 < p_0$ 。與吳孟珈所得到的結果一樣，最後兩步的助跑路線幾乎成一直線，可見曲線助跑的技术有檢討改善的必要。

根據表 4-13 的結果顯示，臺灣優秀女子跳高運動員的最後第二步水平速度 5.38m/sec，與最後一步的水平速度 4.34m/sec，比世界級的水準慢很多，而且都呈現減速起跳形式，減少了 1.04m/s 以上，減少的幅度相當大，值得臺灣教練與運動員努力改善及加強。

從表 4-14 的起跳開始的重心高度分析發現：臺灣優秀女子跳高運動員起跳開始的重心高度佔身高的比率都大於 50%，雖然獲得 3.18m/s 的垂直速度，但卻只得到 0.47m 的騰起高度及 1.78m 的重心騰起總高度。就過竿高度而言，除吳孟珈

外，其他臺灣優秀女子跳高運動員經分析得到 0.05m 的過竿高度，及 97.2% 的過竿效果，顯見臺灣優秀女子跳高運動員起跳後的空中背弓動作優異。

研究結果顯示臺灣優秀女子跳高運動員，在曲線助跑技術，起跳前的身體重心高度需要練習再低一些，而且助跑的速度應是訓練的重點。

第五章 結論與建議

第一節 結論

本研究是以目前臺灣最具潛力、成績最好的女子跳高運動員吳孟珈為研究對象，經由兩部 Sony 數位攝影機的拍攝，並利用 Vicon Motus v9.2.0 版運動學分析系統及 Origin 7.0 版專業資料分析系統計算處理與作圖，經分析獲得運動員起跳前後重心軌跡及運動方向與橫竿的夾角、起跳開始的重心高度及起跳前後速度的變化、起跳前後重心高度的變化等資料。

吳孟珈身高只 1.71m，在跳高世界裡相對弱勢，雖然她起跳後身體重心騰起的高度有 0.58m，身體重心騰起的總高度平均達 1.86m，為臺灣目前優秀女子跳高運動員騰起最大與最高的高度，並且逼近全國紀錄。

吳孟珈在助跑最後第二步的水平速度最快達 6.1m/sec，最後一步的水平速度 4.8m/sec，起跳後的垂直速度 3.35m/sec，而且起跳後身體重心騰空最高點達 1.89m，擁有臺灣目前優秀女子跳高運動員最快的助跑速度、與身體重心騰空最高的成績，對一名女少年運動員而言相當出色。

不過吳孟珈在全國賽階段的表現，越接近起跳位置，腳支撐的時間卻越長（0.141-0.152-0.161sec），助跑速度反而漸次遞減（減少約 1.3m/sec），所以造成最後兩步（1.90m 及 1.40m）差距過大，達到約 0.50m 以上，呈現減速起跳形式。因此造成吳孟珈在起跳前的身體重心高度平均約 0.93m，佔身高的 57%，吳孟珈在起跳前身體重心是處在較高的位置的。因此不容易獲得較小的向下的垂直速度，也就造成起跳腳著地的衝量及動

量的損失，並造成地面反作用力的減少，而影響身體重心騰起的高度。

吳孟珈最後一步身體重心軌跡與橫竿的夾角比起跳時身體重心軌跡與橫竿的夾角小 ($p_1 < p_0$)，吳孟珈最後第二步腳著地位置有偏離弧線助跑路線，表示她為了最後的起跳，最後第二步踩向弧線偏外緣，最後一步再踏到弧線內緣，最後兩步的助跑路線幾乎成一直線，如此容易促使身體提早直立，造成前衝過大，影響起跳後身體重心最高點落在橫竿的後面。

吳孟珈前導腳上擺幅度不足，易形成右髖部重心低於起跳腳的左髖部重心，並且上升過程中抬腿腳有往下放的現象，不僅會影響到吳孟珈起跳騰起後的高度，也會影響過竿後最後的相向運動的不足，而不幸碰觸橫竿。

從以上吳孟珈助跑起跳動作所得的分析資料顯示，吳孟珈必須加強並改善曲線助跑及起跳的技術。

第二節 建議

吳孟珈最後兩步助跑速度約 5.8m/s，世界級應達 7.0m/s 以上，助跑速度還有一大段的差距。但吳孟珈起跳後身體重心最高達 1.89m，已超過臺灣女子跳高紀錄 1.86m，而通過本研究對跳高助跑起跳技術的運動學分析，提供教練員與運動員參考，已顯現相當的效益，若再從心理學、生理學、營養學、運動傷害防護等專家的適度介入，對教練員與吳孟珈日後的訓練，必定可以更能有效發揮潛能，獲得佳績。

引用文獻

一、中文部份

- 王琨 (2000)。中國與世界優秀女子跳高運動員起跳技術生物力學對比分析。《中國體育科技》，36(5)，17-19。
- 吳敏 (2003)。對我國優秀背越式跳高運動員速度素質及訓練手段初步探討。未出版碩士論文，北京體育大學，北京市。
- 吳敏、陳亞中 (2005)。優秀越背式跳高運動員技術的快速特徵。《首都體育學院學報》，17(1)，74-76。
- 林啟仲 (1997)。背向式跳高技術與訓練方法之研究。未出版碩士論文，中國文化大學，臺北市。
- 施文忠 (1998)。跳遠起跳中前導腿技術的探討。《上海體育學院學報》，22，23-25。
- 馬明彩、熊西北 (2004)。田徑運動技術訓練理論與方法。臺北市：諾亞森林。
- 馬俊明、周巧玲 (2003)。男子跳遠運動員不同跳次中前導腿擺動對速度變化特徵的影響。《上海體育學院學報》，27(4)，46-49。
- 張志銘 (1992)。臺灣優秀背向式跳高選手運動生物力學分析。未出版碩士論文，國立臺灣師範大學，臺北市。
- 許樹淵 (1992)。田徑論。臺北市：偉彬體育研究社。
- 陳全壽、相子元 (1998)。反覆衝擊式肌力增強器對肌力、肌耐力訓練效果之探討。1998國際大專運動教練科研討會，臺北市。
- 陳錦龍 (1982)。背向式跳高起跳時間對成績的影響研究。未

- 出版碩士論文，國立臺灣師範大學，臺北市。
- 程麗平（2004）。江蘇省青少年男子背越式跳高運動員助跑最後兩步及起跳技術的三維運動學分析。未出版碩士論文，蘇州大學，江蘇省。
- 黃長福、陳重佑、陳帝佑、劉宇、李志明（2000）。不同人體肢段參數之重心動態性誤差研究。中華民國體育學會體育學報，28，305-314。
- 廖學松（2006）。跳高運動。未出版碩士論文，國立體育學院，桃園縣。
- 趙連甲、呂強、史鴻範（1996）。跳高訓練法。北京市：北京體育大學。
- 趙連甲、李國東（2004）。現階段中國男子背越式跳高運動員助跑最後一步至起跳的技術分析。北京體育大學學報，27（2），975-977。
- 劉金鎗（2008）。台灣男子跳高紀錄保持者動作技術個案研究。臺中市：高立圖書。

二、西文部份

- Ae, M., Sakatani, Y., Yokoi, T., Hashihara, Y., & Shibukawa, K. (1986). Biomechanical analysis of the preparatory motion for takeoff in the Fosbury Flop. *International Journal of Sport Biomechanics*, 2, 66-77.
- Chu, D., & Humphrey, S. (1981). The high jump : the Flop high jump. In V. Gambetta (Ed.), *Track and field coaching manual* (pp. 173-180). West Point, NY: Leisure Press.
- Dapena, J. (1980a). Mechanics of translation in the Fosbury Flop. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 12, 37-44.
- Dapena, J. (1980b). Mechanics of rotation in the Fosbury Flop. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 12, 45-53.
- Dapena, J. (1987). Basic and applied research in biomechanics of high jumping. In B. van Gheluwe & J. Atha (Eds.), *Current research in sports biomechanics* (pp. 19-33). Basel, Switzerland: Karger.
- Dapena, J. (1988). Biomechanical analysis of the Fosbury Flop. *Track Technique*, 104, 3317-3333.
- Dapena, J. (1993). Biomechanical studies in the high jump and their implications to coaching. *Modern Athlete and Coach*, 31(4), 7-12.
- Dapena, J. (1995). The rotation over the bar in the Fosbury-Flop high jump. *Track Coach*, 132, 4201-4210.
- Dapena, J. (1997). Contributions of angular momentum and cating to the twist rotation in high jump. *Journal of Applied Biomechanics*, 13, 239-253.
- Dapena, J., Ae, M., & Iiboshi, A. (1997). A closer look at the shape of the high jump. *Track Coach*, 138, 4406-4411.
- Dapena, J. (2000). The high jump. In V. M. Zatsiorsky (Ed.), *Biomechanics in sport: Performance enhancement and injury prevention* (pp. 284-311). Malden, MA:

Blackwell Science.

- Dempster, W. T. (1955). Space requirements of the seated operator. *WADC Technical Report*, (pp. 55-159). Wright-patterson Air Force Base, OH: Aerospace Medical Research Laboratory (NTIS No. AD-87892).
- Ecker, T. (1976). *Track and field: Technique through dynamics*. Los Altos, CA: Tafnews Press.
- Fix, D. (1981). Why the Flop is better. In J. Jarver (Ed.), *Contemporary theory, teaching and training* (pp. 44-46). Los Altos, CA: Tafnews Press.
- Hay, J. G. (1977). Technique ultimate in high jump style? *Track and Field Quarterly Review*, 3, 5-8.
- Hay, J. G. (1993). *The biomechanics of sports techniques* (4th ed.). Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Heinz, S. (1974). A curved run-up in straddle. *Modern Athlete and Coach*, 12(4), 28-29.
- International Association of Athletics Federations. (2009). *High jump records*. Retrieved December 31, 2009, from <http://www.iaaf.org/statistics/records/inout=0/discType=5/disc=HJ/detail.html>
- Jacoby, E. (1986). High jump: a technique evaluation. *Track Technique*, 97, 3089-3093.
- Jacoby, E. (1987). A guide to the flop high jump approach. *Track and Field Quarterly Review*, 87(4), 39-45.
- Kerssenbrook, K. (1974). Fosbury's run-up. *Modern Athlete and Coach*, 12(1), 18-19.
- Martin, D. E. (1982). The Flop: technical perspectives. In D. E. Martin, D. Stones, G. Joy, & J. Wszola (Eds.), *The high jump book* (pp. 103-132). Los Altos, CA: Tafnews Press.
- Ozolin, N. (1977). The takeoff action. *Track and Field Quarterly Review*, 3, 52-53.
- Paolillo, B. (1989). Why use a curved approach in the high jump. *Modern Athlete and Coach*, 27(1), 19-20.

- Ritzdorf, W., & Conrad, A. (1990). Biomechanical analysis of the high jump. In P. Brüggemann., & P. Sušanka. (Eds.), *Scientific report on the Second world championships in athletics: Rome 1987* (Report G, 2nd ed.). Marshallarts, England: International Athletic Foundation.
- Tan, J. C., & Yeadon, M. R. (2005). Why do high jumpers use a curved approach? *Journal of Sports Science*, 23(8), 775-780.
- Wagner, B. (1985). High jump (Fosbury technique). In H. Payne (Ed.), *Athletes in action* (pp. 116-133). London: Pelham Books.

附錄 A 實驗參與者須知

實驗參與者須知

首先感謝您志願參加本項研究。本研究之題目為：優秀跳高運動員的運動科學服務：運動學的技術診斷。其目的在檢測助跑起跳重心軌跡與橫竿的角度、助跑起跳的速度與起跳前後重心高度之運動學分析。

為求避免其他因素的影響，以使實驗得以順利進行，進而能夠獲得正確的結果，敬請遵守下列事項。

實驗須知：

- 1.請據實填寫基本資料。
- 2.請瞭解實驗流程。
- 3.實驗前，請先行暖身活動。
- 4.請穿著正式跳高比賽的比賽服。
- 5.起跳高度從 1.55m 開始，每次升高 5cm，每個高度試跳 3 次，但只要試跳成功，該高度就不必再試跳。
- 6.試跳高度為 1.55m、1.60m、1.65m、1.73m 等 4 個高度。
- 7.由於高速攝影機拍攝過程必須經由電腦儲存，都需花數分鐘，所以每次均由工作人員喊口令後，實驗者才可試跳。
- 8.為處理後製的同步，拍攝過程中會以閃光當記號。

再次感謝您的協助與合作！

國立臺灣體育學院 體育研究所
指導教授 陳重佑
研究生 李春安

附錄 B 實驗參與者同意書

實驗參與者同意書

論文題目：優秀跳高運動員的運動科學服務：運動學的技術
診斷

指導教授：陳重佑 博士

研究生：李春安

研究單位：國立臺灣體育學院 體育研究所

連絡電話：(04) 25562003-841

依實驗研究之規定，研究者有義務將研究的過程，以及可能發生的危險，向實驗參與者說明清楚，且應盡其所能的保護實驗參與者的健康與權益，並須隨時回答實驗參與者的問題。實驗參與者如改變意願時，可隨時退出實驗，且不受任何限制，但應事先通知研究者。

本人已經閱讀過實驗參與者須知，且經研究者詳細解說後，對於研究的內容、步驟及實驗期間可能發生的狀況均已瞭解，並同意參加本實驗，並在實驗期間全力配合，盡最大的努力來完成實驗。

本研究需要您的參與合作！請在下面實驗參與者欄內簽名，表示同意參與實驗，並且願意遵守上列說明。

實驗參與者：_____ (簽名)

連絡電話：_____

連絡地址：_____