

國立臺灣體育運動大學競技運動學系
碩士學位論文

大專女子跳高運動員助跑最後二步和
起跳動作之生物力學分析

THE BIOMECHANICAL ANALYSIS OF THE LAST TWO
STEPS OF APPROACH RUN AND TAKE-OFF IN
COLLEGIATE FEMALE HIGH JUMPERS



研究生：林芸蔓 撰

指導教授：張立羣 副教授

中華民國 102 年 7 月

大專女子跳高運動員助跑最後二步和起跳動作 之生物力學分析

摘要

本研究目的在於探討大專女子跳高運動員助跑最後二步和起跳動作的特徵。以 102 年全國大專校院運動會公開女子組跳高前八名運動員為研究對象，利用二部攝影機拍攝比賽過程，使用動作分析系統進行影片數位化處理，獲得三度空間的運動學數據。研究結果發現全體受試者的技術特徵為助跑最後二步步幅縮短、步頻增加、助跑最後二步助跑速度增加、助跑與起跳的重心速度較慢、起跳後的內傾角度過大、起跳腳著地瞬間的身體重心高度略低，且在起跳階段垂直速度變化和成績達顯著相關。研究總結，全體受試者的助跑速度明顯較慢，雖然起跳垂直速度增加，但因為助跑階段的水平速度不足以轉換成更多的垂直速度，加上全體受試者沒有將助跑的內傾姿勢維持直到起跳結束而影響到起跳角度與垂直高度。因此運動員應改善助跑速度與起跳時的身體傾斜角度，來獲得更多的垂直高度，以提升成績表現。

關鍵詞：跳高、生物力學、技術

The Biomechanical Analysis of the Last Two Steps of Approach Run and Take-off in Collegiate Female High Jumpers

Abstract

The purpose of this study was to discuss the characteristics of the last two-steps of approach and takeoff in university female high jumpers. In this study, top eight female high jumpers of National Intercollegiate Athletic Games in 2013 were selected as participants. The Games were filmed by two cameras and the system of action analysis was used to process digital film to obtain 3D kinematics data. The results showed that all participants had the same pattern of shortening stride length, increasing stride frequency and increasing velocity for the last two steps of approach. Besides, the velocity of center of mass for approach and takeoff was slower. In addition, the inward lean angle was too large after taking off. The body of center of mass height at the instant of touchdown of the takeoff leg was slightly low. The present study also found that the variation of vertical velocity in takeoff phase was significantly correlated with sport performance. In summary, all the participants' velocity of approach was obviously slower. Although the vertical velocity of takeoff was increased, the horizontal velocity of approach was not enough to transform into vertical velocity. Also, all

the participants did not maintain the inward lean until the end of takeoff. As a result, the takeoff angle and vertical height was affected. Therefore, athletes should improve velocity of approach and the angle of body lean at takeoff in order to obtain vertical height and enhance sports performance.

Key words: High jump, biomechanical, technique.

謝 誌

能完成論文是件不簡單的事，必須絞盡腦汁與努力閱讀許多文獻才能完成一本著作。從前論文這件事對我來說是不可能辦到的，現在我辦到了，好不可思議！因為經過研究所的歷練，成長了不少。結束了三年的研究旅程，雖然過程有點小曲折，但終於順利生產。

論文得以完成首先要感謝的是我的指導教授立羣老師，讀碩士班期間，不管是學業或者是運動，在我曾想放棄的時鼓勵我，在我跌倒時拉我一把，在我疏於學習時當我背後的推手，在我撰寫論文期間，不辭辛勞的校正，讓我能無畏挫折往前走，也讓我受益良多，千言萬語只有一句：謝謝您。

感謝研究群的夥伴們羿蓁、銘修、柏坊、偉達、文堂、漢城與俊瀚，因為有你們在實驗時的協助，才能讓實驗能夠順利進行。另外，要特別感謝銘修-Kwon3D達人，有他的協助，使我在處理資料的過程能更加順利。也要謝謝我的專長老師，在我受傷期間無法參與訓練時包容我，也因為他的鼓勵讓我沒有因為無法運動而放棄繼續完成論文的動力。

最後感謝我的家人在背後的支持、鼓勵與包容，讓我在碩班的三年裡無後顧之憂地做研究。

僅以此論文獻給我的師長、同學、隊友以及家人們。

芸蔓 謹誌

中華民國一〇二年八月十四日

目 錄

中文摘要	I
英文摘要	II
謝 誌	IV
目 錄	V
表 目 錄	VII
圖 目 錄	VIII
第壹章 緒論	1
第一節 問題背景	1
第二節 研究目的	3
第三節 研究範圍	3
第四節 研究限制	4
第五節 名詞解釋	4
第貳章 文獻探討	8
第一節 影響跳高成績的生物力學因素	8
第二節 助跑技術的生物力學	11
第三節 起跳技術的生物力學	13
第四節 結語	16
第參章 研究方法	17
第一節 研究對象	17
第二節 實驗時間與地點	18
第三節 實驗儀器與設備	18
第四節 實驗步驟	19
第五節 資料處理與分析	21
第肆章 結果	23
第一節 跳高的高度	23

第二節	助跑最後二步的步幅、步頻與速度	24
第三節	起跳階段水平與垂直速度變化	27
第四節	起跳階段身體傾斜角度	29
第五節	起跳階段膝關節角度與角速度	30
第六節	起跳階段膝關節支撐時間	33
第七節	起跳階段身體重心高度	34
第八節	起跳離地瞬間的起跳速度、起跳角度與起跳距離	35
第伍章	討論	36
第一節	跳高的高度	36
第二節	助跑最後二步的步幅、步頻與速度變化	37
第三節	起跳階段的動作技術	43
第陸章	結論與建議	52
參考文獻	53
附錄	59

表目錄

表 3-1 運動員基本資料	17
表 3-2 受試者比賽成績與研究分析成績	21
表 4-1 影響跳高成績的三個高度	24
表 4-2 助跑最後二步的速度變化	25
表 4-3 助跑最後二步之步幅	26
表 4-4 助跑最後二步之步頻	27
表 4-5 起跳階段水平速度變化	28
表 4-6 起跳階段垂直速度變化	29
表 4-7 起跳階段身體傾斜角度	30
表 4-8 起跳階段膝關節角度變化	31
表 4-9 起跳階段膝關節角速度	32
表 4-10 起跳階段膝關節支撐時間	33
表 4-11 起跳階段身體重心高度	34
表 4-12 起跳離地瞬間的起跳速度、起跳角度與起跳距離 ...	35
表 5-1 女子跳高運動員助跑最後二步水平與垂直速度	41
表 5-2 女子跳高運動員起跳階段水平與垂直速度	45

圖目錄

圖 1-1 跳高三個高度圖	4
圖 1-2 後傾角度之定義圖	5
圖 1-3 內傾角度之定義圖	6
圖 1-4 膝關節角度之定義圖	6
圖 1-5 起跳角度之定義圖	7
圖 2-1 跳高三個高度圖	9
圖 2-2 影響跳高高度的生物力學圖	10
圖 3-1 實驗場地佈置圖	20
圖 5-1 世界級女子跳高運動員的助跑水平速度與身體重心高度的關係圖	39
圖 5-1 助跑水平速度與身體重心高度的關係圖	40

第一章 緒論

第一節 問題背景

跳高是一個對技術要求相當高的田徑項目。跳高的技術分成助跑、起跳與過竿三個階段，其中助跑階段是最重要且關鍵的階段，因為起跳和過竿都必須依賴助跑才能完成，且各階段動作是環環相扣（張志銘，1992）。助跑階段由一個直線跑接著在起跳前的一個四到五步的弧線跑所組成。運動員應以一種固定的助跑形式來獲得最適當的速度（Humphrey & Nordquist, 2000）並準確地踏到起跳點，使助跑速度得以有效的被利用。因為有適當的水平速度才能使運動員擁有足夠的速度進入起跳階段，而這個階段的助跑速度在 6.1 到 8.0m/s 之間（Dapena, Gordon, & Meyer, 2006）。

在起跳階段，如果助跑階段所產生的速度太快，容易使運動員在執行起跳動作時因向前衝量大於向上的衝量，而無法完成垂直的起跳，因此運動員在進入起跳階段，應找到合適的水平速度來與垂直速度作轉換，準備起跳。所以，運動員要達到更好成績表現將取決於助跑到起跳之間的水平速度轉換成垂直速度，當垂直速度越快，身體重心上升的高度就會越高。此外，研究指出弧線助跑有利於在起跳前降低身體重心（Ae, Sakatani, Yokoi, Hashihara, & Shibukawa, 1986），由於選手為了在起跳階段獲得更好的垂直衝量，則必須要增加身體重心的垂直距離（Dapena, 1993; Jacoby

1986)。因為弧線助跑的關係，進入起跳階段，在起跳腳著地時，身體會向內傾斜同時也向後傾斜來產生旋轉的角動量，此時由於快速的助跑速度與人體運動的慣性使得起跳腳的膝關節承受相當大的反作用力造成屈曲，產生一個向下的負垂直速度與最小的膝關節角度，而且這些的變化會隨跳躍高度的上升而增 (Antekolović, Blazevic, Mejovšek, & Coh, 2006)，因此在起跳腳著地瞬間身體重心的垂直速度都會是一個較小的負值，Dapena (1988) 指出向下的垂直速度較小代表著動作技術越優異。在起跳完成後，接著的是飛程階段，此時運動員要成功的過竿必須要產生適當的角動量 (Dapena, 2000)，若運動員旋轉不足 (即角動量不足) 會導致在過竿時身體失去平衡，造成髖關節的一側低於另一側，使身體朝橫竿平面傾斜，進一步影響到過竿時的高度，造成過竿效率變差。過去研究發現女子跳高運動員在起跳階段中透過角動量來產生旋轉的量比男子跳高運動員小 (Dapena, 1997)。由於在空中角動量是守恆的，因此運動員可透過貓式旋轉 (catting)，讓身體在作用與反作用力的情況下使身體產生扭轉形成角動量 (Dapena, 1997)。

目前女子跳高世界紀錄由 Stefka Kostadinova 在 1987 年創下的 2.09 公尺，維持至今尚未有人能刷新此紀錄；而我國女子跳高紀錄由蘇瓊月在 1989 年創下的 1.86 公尺，這樣的成績也高掛了 23 年之久，且與世界紀錄相差了 23 公分之多。自 2000 年以來，我國雖然有一至二年的女子跳高成績突破 1.80 公尺，但是多年來僅維持在 1.75 公尺的水準 (李春安, 2010)，這樣的現況是我國極需去突破的。然而，有關我國女子跳高運動員技術的研究相當缺乏，因此，本研究將以生

物力學研究方法分析目前國內大專女子跳高運動員的技術特徵，其研究結果提供給運動員與教練作參考，以此來改善運動表現。

第二節 研究目的

本研究目的在於探討大專女子跳高運動員助跑倒二數步和起跳動作的特徵，其結果提供運動員與教練參考以改善運動技術表現來提升競技成績。具體目的為探討：

- 一、助跑最後二步的步幅、步頻與速度的變化。
- 二、起跳腳著地到離地的速度變化。
- 三、起跳腳著地到離地的身體內傾與後傾角度變化。
- 四、起跳腳著地到離地的身體重心高度變化。
- 五、起跳腳著地到離地的膝關節角度變化。
- 六、起跳腳離地的起跳速度與起跳角度。

第三節 研究範圍

本研究以 102 年全國大專校院運動會公開女子組跳高決賽之前 8 名運動員為對象，利用二部攝影機拍攝受試者助跑最後二步到落到墊上的動作進行運動學分析。

第四節 研究限制

本研究在實際比賽中進行，因此影片拍攝過程會受到許多無法控制的外在因素影響，如果受試者最佳成績的動作無法完整拍攝（如被人群擋到畫面），僅能以次佳成績進行分析。

第五節 名詞解釋

一、起跳高度：起跳時人體離地瞬間身體重心距離地面的高度，見圖 1-1 H_1 。

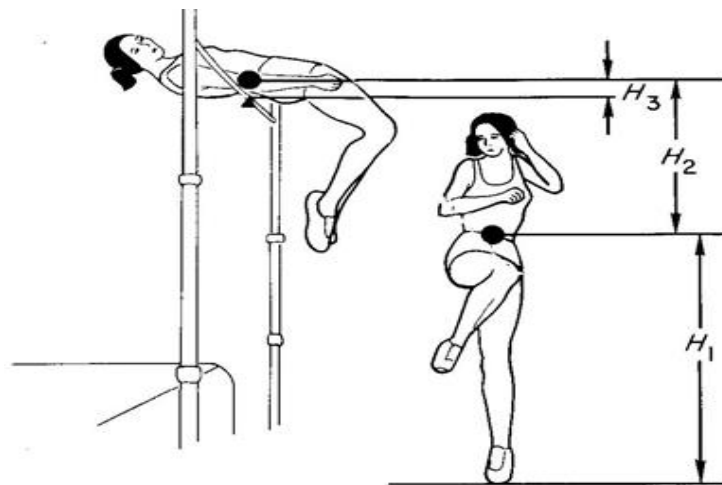


圖 1-1. 跳高三個高度圖 (Hay, 1993)

- 二、飛程高度：通過跳躍使人體身體重心升高的高度，見圖 1-1 H2。
- 三、過竿高度：人體身體重心騰起的最高點與橫竿之間的距離，見圖 1-1 H3。
- 四、起跳瞬間：起跳腳離開地面瞬間。
- 五、步幅：為腳尖離地瞬間位置到另一腳腳尖離地瞬間位置之間的距離。
- 六、步頻：為腳尖離地瞬間到另一腳腳尖離地瞬間之間的時間之頻率。
- 七、身體重心高度：身體重心距離地面的高度。
- 八、後傾角度：起跳腳在地面時，在矢狀面 (Z-Y) 上身體重心與腳踝的連線與水平面之間的角度，見圖 1-2。

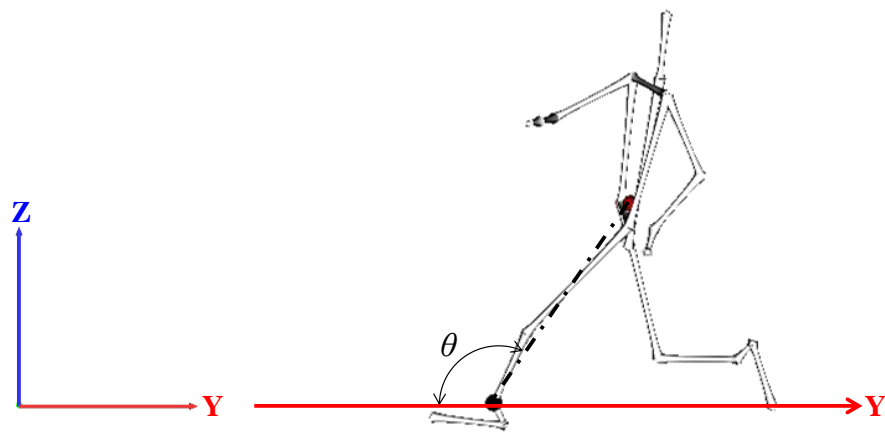


圖 1-2. 後傾角度之定義圖

九、內傾角度：起跳腳在地面時，在額狀面（Z-X）上身體重心與腳踝的連線與水平面之間的角度，見圖 1-3。

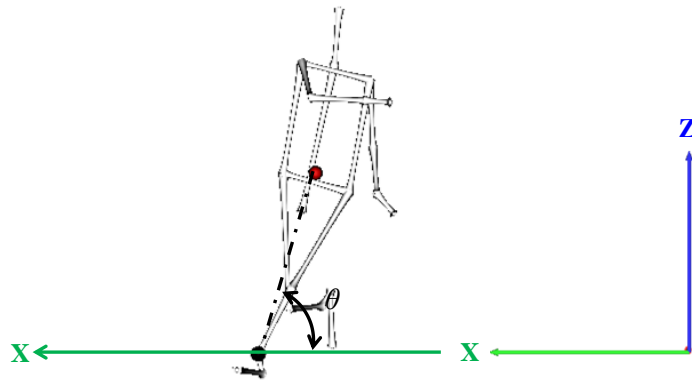


圖 1-3. 內傾角度之定義圖

十、膝關節角度：髌前上棘、脛骨上端之連線與脛骨上端、脛骨內踝之連線在三度空間所形成的夾角，見圖 1-4。

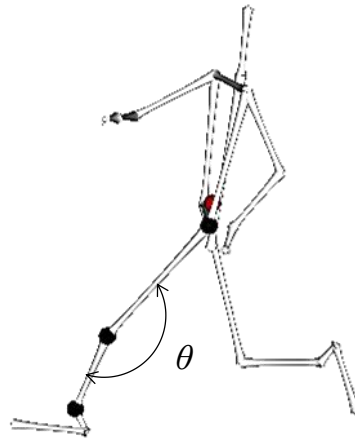


圖 1-4. 膝關節角度之定義圖

十一、起跳距離：起跳腳離地瞬間腳尖與橫竿平面之間的距離。

十二、起跳角度：起跳腳離地瞬間，身體重心的向量與水平面所形成的角度，見圖 1-5。

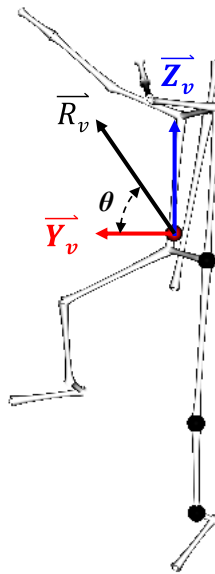


圖 1-5. 起跳角度之定義圖

第貳章 文獻探討

第一節 影響跳高成績的生物力學因素

背向式跳高是一項挑戰高度極限的運動，其技術的特徵是由跑轉變為跳，由支撐轉變為騰空，由水平位移轉變為拋射運動（趙連甲、呂強與史鴻范，1996）。跳高表現可由三個高度構成（圖 2-1），第一個高度為起跳高度（H1），代表起跳時人體離地瞬間身體重心距離地面的高度；第二個高度為飛程高度（H2），代表通過跳躍使人體身體重心升高的高度；第三個高度為過竿高度（H3），代表人體身體重心騰起的最高點與橫竿之間的距離，這個高度數值越小就表示過竿的效率越好；此外，趙連甲等（1996）認為影響跳高成績表現的三個因素中，以飛程高度是決定跳高表現的主要條件，因為飛程高度是受起跳瞬間的起跳速度與起跳角度所影響，起跳角度由水平速度與垂直速度所形成，因此垂直速度越快獲得的飛程高度就能越高（張志銘，1993）。而這個三高度的每一個變數受其所連接的變數所決定，而這些變數可以由圖 2-2 影響跳高高度的生物力學模式圖來表示。Conrad & Ritzdorf (1990) 針對第 26 屆奧林匹克運動會女子跳高優秀運動員進行的研究，獲得世界紀錄保持人 Kostadinova 跳過的 2.01 公尺時的起跳高度為 1.19 公尺，約占跳高成績 0.59%，飛程高度為 0.89 公尺（0.44%），過竿高度為 0.07 公尺（0.03%）；而男子跳高運動員 Andeyenko 在跳過 2.38 公尺時的起跳高度為 1.43 公尺，約占跳高成績 0.60%，飛程高度為 1.07 公尺（0.45%），過竿高度為 0.12 公尺

(0.05%)。女子世界跳高紀錄保持人 Kostadinova 的身高為 180 公分、男子跳高運動員 Andeyenko 的身高為 2.02 公分。從上述的研究可以發現到起跳高度取決於運動員的身高，身高越高的運動員身體重心就相對的較高，與身高較矮的運動員比較，佔的優勢就會比較多。由此可知，身高為跳高運動員所具備的條件外，也是影響成績的重要因素之一。

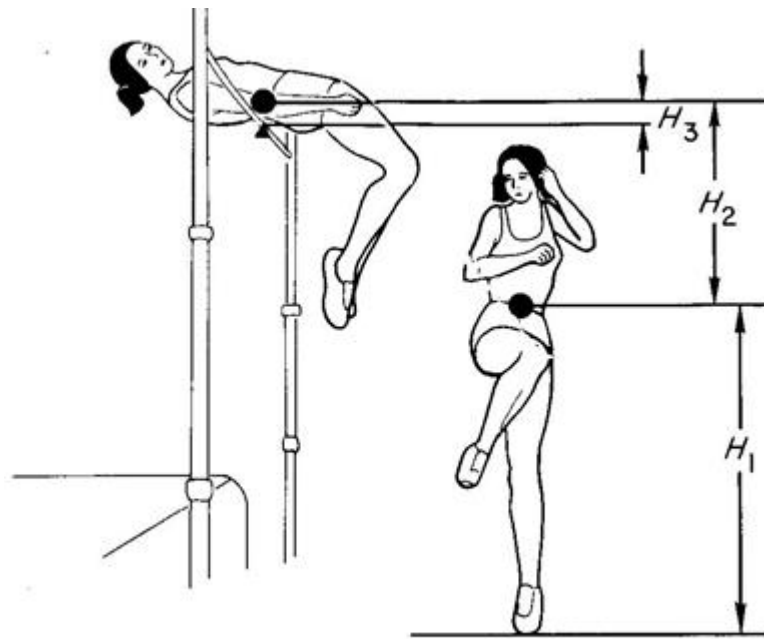


圖 2-1. 跳高三個高度圖 (Hay, 1993)

H_1 ：起跳高度， H_2 ：飛程高度， H_3 ：過竿高度

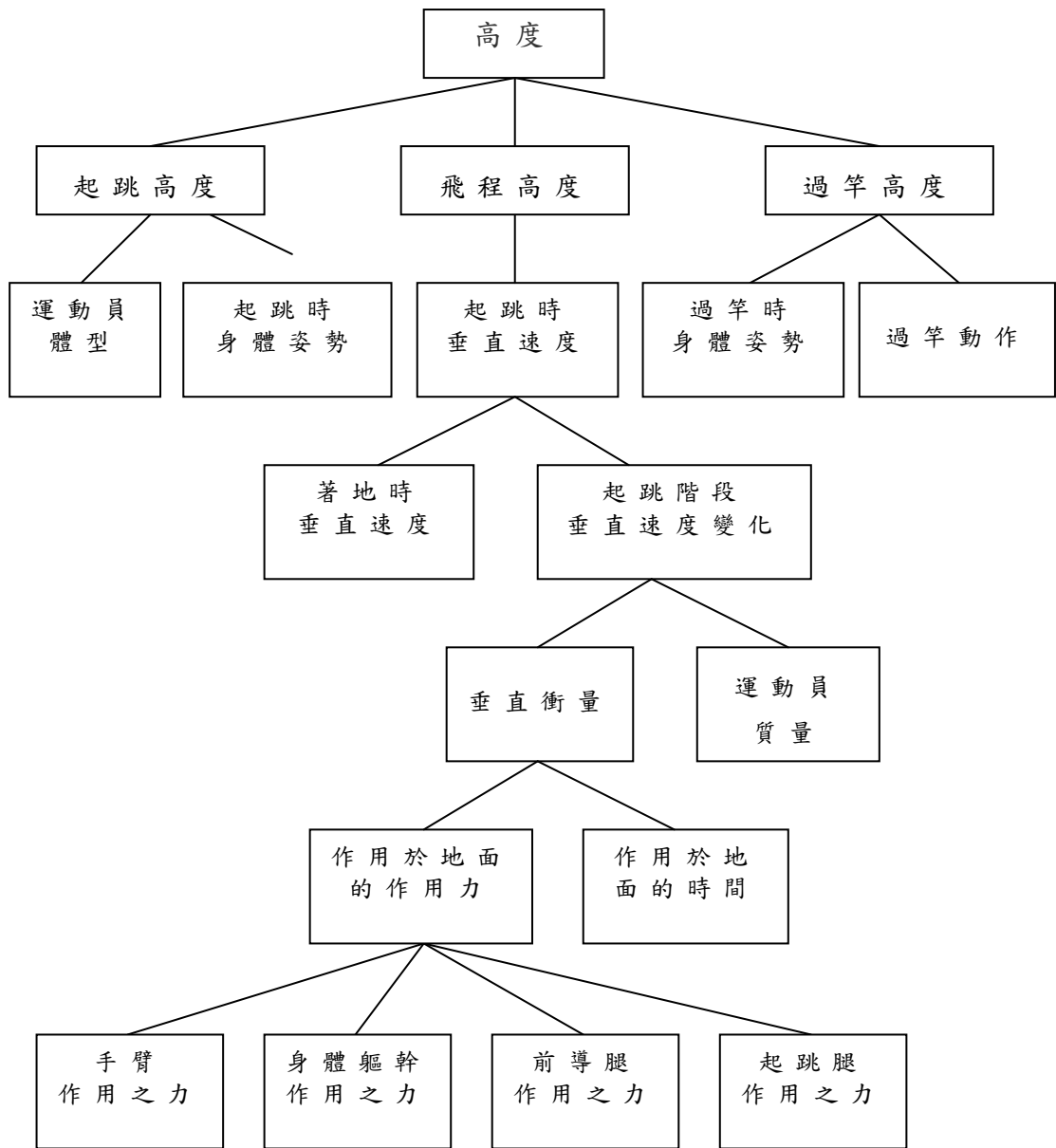


圖 2-2. 影響跳高高度的生物力學圖 (改編自洪得明 (1991) 、Hay (1993))

第二節 助跑技術的生物力學

好的跳高表現，需依賴助跑階段所產生的速度來決定獲得的高度，而快速助跑的目的就是為了增加積極起跳而準備的合適條件 (Dapena, 1980)，助跑速度越快，相對進入弧線助跑階段的內傾角度就越大，對於維持身體向內傾斜姿勢就越有幫助，起跳之後身體與橫竿的距離也會越遠，創造的垂直高度就越多。

助跑技術的重點在於產生高的水平速度，因此速度是背向式跳高的靈魂 (郭春峰，2008)，而運動員必須以一種固定的節奏來完成每次的跳躍，因為固定助跑能使得運動員在速度的轉換過程更加有連貫性。Dapena 等 (2006) 指出女子跳高運動員助跑最後第二步水平速度在 6.1~8.0m/s，最後一步 6.1~8.0m/s，助跑起跳開始時的垂直速度在 -0.9~0.0m/s；而男子跳高運動員助跑最後第二步的水平速度在 6.9~8.1m/s 之間，助跑最後一步 6.9~8.0m/s，助跑起跳開始時的垂直速度 -0.1~-0.7m/s (Dapena & Ficklin, 2007)。此外，跳高運動員在助跑階段具有較高的水平速度，但並非越快越好，主要是因為在起跳階段為了獲得更多的垂直速度，就必須在起跳過程中損失一定的水平速度 (Dapena, 1988)，因此適當的降低水平速度，有助於運動員減少在起跳時的向前衝量。為了使作用於身體的力量在垂直方向盡可能的大，身體重心在開始起跳時需要處於一個較低的位置，在起跳結束時處於較高的位置，但是在起跳之前重心要處於較低的位置是困難的 (Dapena, 2000)。當重心處於較低時，運動員的非起跳腳在屈曲時必須使用較大力量來支撐整個身體，加上在起跳腳著

地時運動員還必須克服膝關節的屈曲程度 (Dapena, 2000)。因此，運動員如何妥善的運用在助跑速度中，水平速度與垂直速度的轉換以及配合最佳的身體重心高度 (Dapena, 1988)，將是跳高成績表現的關鍵。

助跑階段除了速度之外，還要強調步幅與步頻。助跑最後第二步與助跑最後一步的步幅對跳高的助跑節奏影響很大 (童樹濤, 2010)。過去研究發現世界級男子跳高運動員的助跑最後第二步步幅範圍在 1.98 ~2.53 公尺，步頻 3.41 ~4.04 步/秒；助跑最後一步步幅為 1.83 ~2.18 公尺，步頻 4.29~5.37 步/秒 (Ritzdorf & Conrad, 1987)，而世界級女子跳高運動員的助跑到數第二步步幅範圍在 1.73~2.16 公尺，步頻 3.17~4.08 步/秒；助跑最後一步步幅 1.69~2.03 公尺，步頻 3.83~5.26 步/秒 (Conrad & Ritzdorf, 1990)。以上的研究可看出跳高運動員在助跑中以縮短步幅來增加步頻，但在 Conrad & Ritzdorf (1990) 對女子跳高運動員的研究中，發現有少數的運動員的助跑最後第二步步幅比最後一步幅長，助跑最後一步步頻比助跑最後第二步快，這顯示選手藉由延長支撐期間，來增加下肢對地面的推蹬力量，為了儘可能減少水平速度的損失，為起跳作準備。而我國的跳高研究中，李春安 (2010) 指出國內優秀女子跳高運動員的助跑最後第二步步幅範圍在 1.51~1.85 公尺，此結果與世界級女子跳高運動員相差約 0.13~0.31 公尺左右；而國內優秀女子跳高運動員的助跑最後一步步幅範圍在 1.28~1.57 公尺，此結果與世界級女子跳高運動員相差了 0.41~0.46 公尺，這樣的差異來自於運動員的身高，由於國內運動員的平均身高為 1.73 公尺，而漢城奧運的前八名女子跳高運動員的平均身高為 1.96

公尺 (Conrad & Ritzdorf, 1990) ，從李春安 (2010) 與 Conrad & Ritzdorf (1990) 的研究可以明顯看出在身高上的差距。

第三節 起跳技術的生物力學

在起跳階段，運動員在水平速度與垂直速度轉換會決定跳躍成績表現，此階段的垂直速度絕大部分是來自於助跑最後二步水平速度的產生 (Dapena et al., 2006) ，加上為了減少向前水平速度的衝量，則起跳開始前必須損失一些水平速度以準備進入起跳階段，研究發現助跑結束前的水平速度和起跳結束時的身體重心垂直速度達到顯著正相關 (Dapena, McDonald, & Cappaert, 1990) ，這代表著起跳之前的水平速度越快，垂直速度就會越快，因此形成較有利的起跳角度。

Dapena 等 (2006) 指出世界級優秀女子跳高運動員在起跳開始時的水平速度在 3.1~4.6m/s 之間，在起跳結束時的垂直速度在 3.35~4.00m/s 之間；另外在世界級優秀男子跳高運動員的起跳開始時的水平速度在 3.5~4.6m/s 之間而且起跳結束時的垂直速度在 4.15~4.50m/s 之間 (Dapena & Ficklin, 2007) 。

除了起跳開始的水平與垂直速度之外，跳高運動員在起跳結束時的重心垂直速度也是影響跳躍高度的因素之一 (Conrad & Ritzdorf, 1990) 。Dapena (2000) 研究世界級優秀女子跳高運動員在起跳結束時的身體重心垂直速度高達 4.10m/s ，但此研究與作者在 2006 年所研究的世界級優秀女子跳高運動員在起跳結束時的重心垂直速度相差 0.10m/s

(Dapena et al., 2006) ，這二篇研究的數據差距並不大，顯現出起跳結束時的身體重心垂直速度對跳高技術的重要性。此外，在起跳階段會因為快速的助跑與人體慣性的因素，迫使起跳腳做出屈曲動作時而產生一個重心向下的負垂直速度。Dapena 等 (2006) 研究指出，起跳階段的水平速度為 6.1~8.0m/s，起跳階段開始時的垂直速度為 -0.9~0.0m/s。從上述的研究結果可以發現到，技術越好的跳高運動員會在起跳階段開始時有一個最小的向下負垂直速度 (Dapena, 1993)。而人體在跑步的過程中，雙腳離開地面時重心會稍微向上移，在下一步腳著地前重心又會下降一些，為了要減少向下的負垂直速度，必須要求運動員加快助跑最後二步的速度，使得運動員的起跳腳在獲得向下的垂直速度之前提早與地面接觸來提升重心高度 (Dapena, 1988) Dapena 等 (2006) 指出女子跳高運動員起跳開始時的重心高度平均 0.89 公尺，佔身高的 48.2%；Dapena 與 Ficklin (2007) 研究，男子跳高運動員在起跳開始時的重心高度平均 0.89 公尺，佔身高的 46.2%。可見世界級跳高運動員在起跳開始時都處於較低的重心高度。而重心高度與運動員的最小膝關節角度有關 (Blažević, Antekolović, & Mejovšek, 2006)。

弧線助跑主要的作用之一，就是使跳高運動員能在起跳開始時保持向內傾斜的姿勢 (Dapena, 2000) 來獲得較多的起跳高度與創造有利的角動量；當助跑的速度越快時，所產生內傾角度就越大，因為身體的內傾能降低身體的重心。過去有關內傾角度的研究，Conrad & Ritzdorf (1990) 第 26 屆奧林匹克運動會女子跳高優秀運動員所做的研究，得到起跳開始時內傾角度為 72~92 度，起跳結束時的內傾角度為 87~93

度；而 Dapena 等 (2006) 對美國田徑錦標賽的優秀女子跳高運動員所做的研究，發現起跳階段開始時的內傾角度為 69~83 度，起跳結束時的內傾角度為 87~104 度。上述的研究也發現到，在起跳階段的內傾角度的變化較小的運動員，較容易造成運動員無法在起跳結束後向垂直方向起跳，越過更高的可能性的可能性會較小。此外，廖學松 (2006) 指出內傾角度過小或減小時，將會影響到起跳時的動作及起跳時的速度，同時在離地時的內傾角度若過小，也將導致身體力量沒有辦法完全朝向垂直方向，因而減少向上的衝量。除了起跳開始時與起跳結束後會產生內傾角度外，同時在起跳開始時也會向後傾斜，Dapena 等 (2006) 指出起跳時的後傾角度為 73~85 度，起跳結束時的後傾角度為 82~99 度；Ae 等 (1986) 日本筑波大學的五名男子跳高運動員的後傾角度為 32~40 度。從過去的研究可以發現到，在起跳開始時，能有更大的後傾角度與內傾角度的跳高運動員可以跳得更高 (Dapena, 2000)。

在下肢關節的表現上，Isolehto, Virmavirta, Kyröläinen, Komi (2003) 研究 2005 年世界錦標賽的男子跳高運動員在起跳開始時的膝關節角度在 161.8~173.9 度，起跳階段的最小膝關節角度在 127.9~163.5 度，起跳結束時的膝關節角度在 168.6~178.0 度。在 2007 年大阪世界田徑錦標賽的前 3 名男子跳高運動員在起跳開始時的膝關節角度在 151~170 度，起跳階段的最小膝關節角度在 133~145 度，起跳結束時的膝關節角度在 172~177 度 (Ae et al, 2008)。從上述的研究結果可看出世界跳高運動員在起跳腳著地時是略彎的，受人體慣性的影響，在起跳階段前半段膝關節持續彎曲，此時肌肉會

開始儲存彈性位能，直到膝關節彎曲至最低點，在起跳結束時伸展膝關節釋放彈性位能來完成起跳動作。

第四節 結語

跳高是一項具有複雜技術的運動，運動員為了要爭取更多的高度，必須結合助跑、起跳、過竿三個階段的技術，並妥善利用各個階段所創造的效果，以有效率的方式表現出來。在助跑過程中，不但要降低身體重心，還要加快助跑最後二步的速度其技術難度較大，對運動員來說是較不易掌握。在助跑階段的水平速度過慢或過快均會影響垂直速度，且過竿的成敗在於水平速度與垂直速度的轉換，若垂直速度不足以使運動員在空中騰空時，那麼將會導致過竿失敗。因此，要使助跑的結合有連貫性與節奏性且能穩定踏上起跳點，將是跳高運動員最重要的課題。而起跳階段的重點在於起跳開始時的內傾姿勢與起跳結束後的垂直方向，其內傾姿勢可以使運動員在起跳階段結束時朝向垂直方向；另一方面運動員還須擁有較大肌力來對抗在執行高速的助跑速度進入起跳的膝關節屈曲。執行跳高技術的過程中，需要注意每個細節，因此本研究將分析跳高運動員技術的特徵，來改善運動員動作技術表現，提升競技成績。

第參章 研究方法

本研究利用三度空間影片分析方法來獲得運動員跳高動作之運動學參數的數據，以探討大專女子跳高運動員技術的優缺點與關鍵運動學參數。其研究方法分為五個部分說明：一、研究對象；二、實驗時間與地點；三、實驗儀器與設備；四、實驗步驟；五、資料處理與分析。

第一節 研究對象

本研究對象為 102 年全國大專校院運動會公開女子組跳高決賽前 8 名運動員。其基本資料如表 3-1。

表 3-1

運動員基本資料

受試者	身高 (m)	體重 (kg)	起跳腳	最佳成績 (m)
A	1.69	61	左	1.69
B	1.66	55	左	1.72
C	1.76	67	左	1.66
D	1.76	60	右	1.62
E	1.64	52	左	1.71
F	1.67	54	右	1.53
G	1.68	62	左	1.72
H	1.72	57	左	1.54
平均數	1.70	58.50	-	1.65
標準差	0.04	4.93	-	0.08

第二節 實驗時間與地點

一、預備實驗

- (一) 實驗時間：2012年3月24日
- (二) 實驗地點：國立臺灣體育運動大學田徑場

二、正式實驗

- (一) 實驗時間：2013年4月30日
- (二) 實驗地點：宜蘭運動公園田徑場

第三節 實驗儀器與設備

本實驗所需的儀器與設備如下：

一、測量儀器

- (一) SONY HXR-NX70N 數位攝影機兩台 (快門速度：500Hz)。
- (二) CASIO FX-FH29 數位相機一台
- (三) 三腳架三支 (SONY VCT-870RM)。
- (四) 立體參考座標架一座
- (五) 水平儀二個
- (六) 皮尺一卷
- (七) 鋼尺三卷
- (八) 場記板一個
- (九) 白板筆、板擦一組

二、資料處理

- (一) Kwon3D 動作分析系統
- (二) SPSS for Windows 12.0 版統計分析軟體
- (三) Microsoft Excel 2010 資料計算軟體

第四節 實驗步驟

本研究為確保實驗過程中所收集資料的正確性，實驗過程中依照下列步驟進行。

- 一、在比賽開始前 2 小時進行場地布置 (圖 3-1)，首先將兩台數位攝影機置於比賽場地的看台上，面對海綿墊一台攝影機置於右側，而另一台攝影機則置於左側，兩台攝影機皆可以同時拍攝到運動員助跑最後二步至落墊的動作。此外，在海綿墊正前方看台上架設一台相機，用來拍攝全部參賽運動員每次跳躍的全部過程。
- 二、在比賽開始 1 小時前先進行立體參考座標架的拍攝約 10 秒鐘，其位置及範圍可涵蓋助跑最後第二步至橫竿的範圍。
- 三、比賽開始兩部攝影機拍攝全部參賽運動員的每次跳躍過程，並記錄跳躍的成績。
- 四、在比賽結束後向獲得前 8 名運動員詳細說明研究目的、內容及注意事項，再給予填寫參與實驗同意書及個人基本資料。

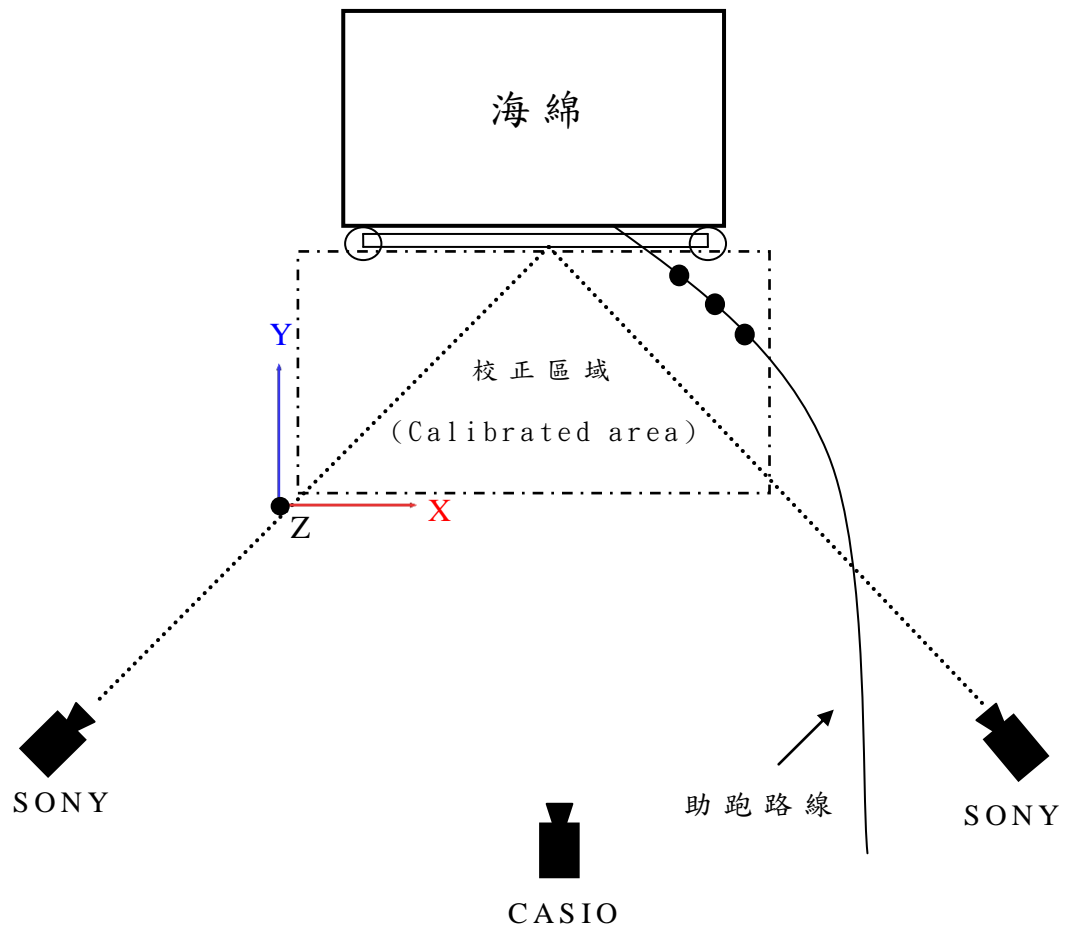


圖 3-1. 實驗場地佈置圖 (修改自 Isolehto, Virmavirta, Kyröläinen, Komi, 2007)

第五節 資料處理與分析

本研究選取受試者比賽最佳成績進行分析，但受試者 E 與 F 運動員因影片出現雜訊的影響，則以次佳成績來進行分析，本研究選取之受試者跳躍高度如表 3-2。從攝影機擷取影片後，以 Kwon 3D 3.1 版動作分析軟體將運動員從兩部攝影機所擷取的影片進行數位化處理。由於本研究的攝影機內部無同步啟動，亦無外部同步裝置，因此本研究將兩部攝影機所拍攝的影片之起跳腳離地瞬間作為影片的同步點，擷取助跑最後第二步的支撐腳離地瞬間前五張影片至運動員過竿之最高點後的五張影片為分析範圍。

表 3-2

受試者比賽成績與研究分析成績

受試者	比賽成績 (m)	分析成績 (m)
A	1.66	1.66
B	1.66	1.66
C	1.66	1.66
D	1.62	1.62
E	1.58	1.54
F	1.58	1.54
G	1.54	1.54
H	1.45	1.45
平均數	1.59	1.58
標準差	0.07	0.08

本研究人體肢段參數利用（何維華、相子元、李超群，2005）的 14 個肢段 21 個標記點的人體模型。首先以手動方式分別點取橫竿末端兩側以及人體標記點，分別為頭頂、會陰、第七頸椎、左右肩峰、左右橈骨頭、左右橈骨莖突、左右中指末端、左右髂前上棘、左右脛骨上端、左右脛骨內踝、左右腳尖以及左右腳跟。然後將兩部攝影機所獲得的二度空間座標資料，以直接線性轉換（Direct linear transformation, DLT）的方法進行處理，來獲得實際的三度空間座標資料，再利用 Kwon 3D 3.1 動作分析系統所提供的四階巴特沃茲零相位移數位濾波法（Butterworth Fourth-order Zero Lag Digital Filter），將原始資料進行修勻，截斷頻率（cutoff frequency）設為 6Hz。最後將修勻過的資料，利用 Kwon 3D 動作分析系統及 Microsoft Office Excel 2007 版資料分析軟體來計算相關運動學參數資料。

本研究分析的運動學參數包括：在助跑階段的最後二步步幅與步頻以及最後二步步體重心水平與垂直速度變化；在起跳階段的身體重心水平與垂直速度、身體的傾斜角度、膝關節角度、身體重心高度、起跳速度、起跳角度與起跳距離，另外計算跳高三個高度：起跳高度、飛程高度與過竿高度。

將所蒐集的各項運動學參數，利用 SPSS for windows 12.0 統計分析軟體以描述統計方法計算平均數與標準差，再以皮爾遜積差相關分析各項運動學參數與跳高成績之相關，顯著水準定為 $\alpha=.05$ 。

第肆章 結果

本研究所得結果分為六個部分加以闡述：一、跳高的高度；二、助跑最後二步的步幅、步頻和速度；三、起跳階段水平與垂直速度；四、起跳階段身體傾斜角度與膝關節角度；五、起跳階段身體重心高度；六、起跳離地瞬間的起跳速度、角度、高度與距離。

第一節 跳高的高度

表 4-1 為影響跳高成績的三個高度。表中顯示全體受試者都是起跳高度最高，平均為 $1.08\pm 0.03\text{m}$ ；其次為飛程高度，平均為 $0.49\pm 0.08\text{m}$ ；而過竿高度屬於三個高度中最低的，平均為 $0.07\pm 0.05\text{m}$ 。

表 4-1

影響跳高成績的三個高度

受試者	起跳高度 (m)	飛程高度 (m)	過竿高度 (m)
A	1.05	0.61	0.10
B	1.07	0.52	0.00
C	1.13	0.53	0.08
D	1.11	0.50	0.05
E	1.08	0.37	0.05
F	1.07	0.46	0.04
G	1.07	0.55	0.17
H	1.05	0.42	0.08
平均數	1.08	0.49	0.07
標準差	0.03	0.08	0.05

第二節 助跑最後二步的步幅、步頻與速度

一、助跑最後二步的速度變化

表 4-2 為助跑最後二步的速度變化，如表顯示全體受試者水平速度最後第二步平均為 $4.18 \pm 0.41 \text{ m/s}$ ，最後一步平均為 $4.77 \pm 0.33 \text{ m/s}$ ；助跑最後第二步垂直速度平均為 $0.23 \pm 0.13 \text{ m/s}$ ，最後一步平均為 $-0.01 \pm 0.12 \text{ m/s}$ 。其結果發現全體受試者在助跑最後一步的水平速度都比最後第二步快。在垂直速度方面，則是最後第二步的垂直速度比最後一步快，且部分受試者最後一步的垂直速度出現負值。

表 4-2

助跑最後二步的速度變化

受試者	水平速度 (m/s)		垂直速度 (m/s)	
	最後第二步	最後一步	最後第二步	最後一步
A	4.42	5.24	0.41	0.05
B	3.51	4.28	0.07	0.00
C	4.57	5.06	0.29	-0.05
D	4.67	4.74	0.27	-0.16
E	4.29	5.03	0.09	-0.03
F	3.68	4.53	0.37	-0.13
G	4.08	4.84	0.13	0.24
H	4.22	4.46	0.19	0.02
平均數	4.18	4.77	0.23	-0.01
標準差	0.41	0.33	0.13	0.12

二、助跑最後二步之步幅與步頻

表 4-3 為助跑最後二步之步幅與表 4-4 助跑最後二步之步頻，如表顯示大多數受試者的助跑最後一步步幅 ($1.38 \pm 0.28\text{m}$) 均比最後第二步 ($1.71 \pm 0.13\text{m}$) 來的短，唯有 D 運動員的步幅是助跑最後第二步步幅 (1.44m) 比第一步 (1.48m) 短，其助跑最後一步佔身高的百分比範圍在 77.91 到 97.16% 之間。在步頻方面，最後第二步平均為 $3.72 \pm 0.31\text{strides/s}$ ，助跑最後一步步頻平均為 $4.74 \pm 0.47\text{strides/s}$ ，全體受試者均是助跑最後一步步頻比最後第二步快。

表 4-3

助跑最後二步之步幅

受試者	步幅 (m)		最後一步步幅
	最後第二步	最後一步	佔身高百分比 (%)
A	1.82	1.44	85.21
B	1.62	1.43	86.14
C	1.76	1.71	97.16
D	1.44	1.48	84.09
E	1.89	1.50	91.32
F	1.74	1.46	87.43
G	1.53	1.39	82.74
H	1.56	1.34	77.91
平均數	1.71	1.38	86.50
標準差	0.13	0.28	5.77

表 4-4

助跑最後二步之步頻

受試者	最後第二步步頻 (strides/s)	最後一步步頻 (strides/s)
A	3.53	5.00
B	3.76	4.61
C	3.53	4.00
D	3.75	4.29
E	4.00	5.00
F	3.53	4.61
G	4.29	5.46
H	3.33	5.00
平均數	3.72	4.74
標準差	0.31	0.47

第三節 起跳階段水平與垂直速度變化

表 4-5、4-6 為起跳階段身體重心速度變化。如表中顯示，起跳腳著地瞬間的水平速度平均為 $4.73 \pm 0.31 \text{ m/s}$ ，離地瞬間平均為 $2.84 \pm 0.040 \text{ m/s}$ ，其結果表示在起跳階段水平速度損失減少 $1.88 \pm 0.32 \text{ m/s}$ 。垂直速度方面，起跳腳著地瞬間平均 $-0.04 \pm 0.21 \text{ m/s}$ ，離地瞬間平均為 $3.16 \pm 0.23 \text{ m/s}$ 。在起跳腳著地瞬間的垂直速度有 3 名運動員 (B、E 與 G) 是出現正值，全體受試者在起跳階段的垂直速度也有大幅增加的趨勢，其增加幅度為 $3.20 \pm 0.32 \text{ m/s}$ 。此外，本研究發現起跳階段垂直

速度的變化和跳高成績達顯著正相關 ($r=.754$, $p=.031$)，代表垂直速度變化越大，其跳高成績越好。

表 4-5
起跳階段水平速度變化

受試者	水平速度 (m/s)		
	著地瞬間	離地瞬間	速度變化
A	5.05	3.30	-1.75
B	4.09	2.28	-1.81
C	4.95	2.89	-2.06
D	4.76	2.45	-2.31
E	4.85	3.14	-1.70
F	4.66	2.64	-2.01
G	4.92	3.35	-1.57
H	4.55	2.71	-1.84
平均數	4.73	2.84	-1.88
標準差	0.31	0.40	0.32

表 4-6
起跳階段垂直速度變化

垂直速度 (m/s)			
受試者	著地瞬間	離地瞬間	速度變化
A	-0.17	3.51	3.68
B	0.06	3.25	3.19
C	-0.09	3.13	3.22
D	-0.32	3.16	3.48
E	0.04	3.28	3.24
F	-0.18	2.94	3.12
G	0.38	3.26	2.88
H	-0.02	2.74	2.77
平均數	-0.04	3.16	3.20*
標準差	0.21	0.23	0.32

*表示與成績達顯著相關 $p < .05$

第四節 起跳階段身體傾斜角度

表 4-7、為起跳階段身體傾斜角度，如表顯示起跳腳著地瞬間的後傾角度平均為 $123.0 \pm 2.84^\circ$ ，起跳腳離地瞬間為 $85.60 \pm 3.19^\circ$ 。而起跳腳著地瞬間的內傾角度為 $69.38 \pm 4.18^\circ$ ，離地瞬間為 $95.88 \pm 2.51^\circ$ 。從結果發現全體運動員在起跳階段身體從內傾與後傾姿勢，轉為外傾與前傾方向移動朝橫竿方

向傾斜。在起跳離地瞬間身體都已向前、向外超過垂直面，這表示運動員的身體在起跳離地瞬間已接近橫竿。

表 4-7

起跳階段身體傾斜角度

受試者	後傾角度 (°)		內傾角度 (°)	
	著地瞬間	離地瞬間	著地瞬間	離地瞬間
A	123.19	85.52	73.20	94.68
B	120.40	88.64	62.70	91.98
C	124.45	82.96	71.33	95.81
D	125.03	88.86	73.76	97.03
E	118.05	82.14	65.73	97.82
F	123.87	87.58	68.79	95.57
G	121.91	80.93	66.15	93.96
H	127.12	88.18	73.36	100.20
平均數	123.00	85.60	69.38	95.88
標準差	2.84	3.19	4.18	2.51

第五節 起跳階段膝關節角度與角速度

全體受試者在起跳階段的膝關節角度變化見表 4-8。如表顯示，全體受試者在起跳腳著地瞬間膝關節角度平均為 $166.8 \pm 5.27^\circ$ ，離地瞬間平均為 $162.3 \pm 6.58^\circ$ ，最小膝關節角度平均 $138.2 \pm 5.42^\circ$ 。表中也發現有 4 名運動員 (A、B、C 與 F) 起跳離地瞬間膝關節角度比著地瞬間大，且在起跳離

地瞬間角度較大的運動員其膝關節角度是接近伸直的。

表 4-8

起跳階段膝關節角度變化

受試者	著地瞬間	膝關節角度	離地瞬間
	膝關節角度 (°)	最小值 (°)	膝關節角度 (°)
A	166.75	142.29	172.15
B	157.22	144.06	166.19
C	151.35	137.32	167.02
D	158.54	135.50	156.42
E	166.56	132.02	160.94
F	165.10	143.21	166.35
G	160.74	141.60	154.95
H	160.74	129.74	154.47
平均數	160.88	138.22	162.31
標準差	5.27	5.42	6.58

全體受試者在起跳階段膝關節角速度見表 4-9。如表顯示，屈曲最大角速度最快的為 E 運動員 -578.7deg/s，最慢為 C 運動員 -204.0deg/s；伸展最大角速度最快的為 A 運動員 475.5deg/s，最慢為 G 運動員 295.3deg/s。

表 4-9
起跳階段膝關節角速度

受試者	屈曲		伸展	
	最大角速度	出現時間	最大角速度	出現時間
	(deg/s)	百分比	(deg/s)	百分比
A	-421.53	20.36	475.45	80.24
B	-265.90	27.32	369.54	72.68
C	-203.95	25.00	455.11	75.00
D	-272.82	25.00	351.47	83.00
E	-578.65	20.00	458.46	80.00
F	-366.54	18.48	361.75	72.83
G	-337.16	19.88	295.26	69.88
H	-423.84	23.15	352.60	76.85
平均數	-358.80	22.40	389.95	76.31
標準差	117.74	3.16	64.70	4.51

百分比單位：%

第六節 起跳階段膝關節支撐時間

表 4-10 為起跳階段膝關節支撐時間。如表中顯示，全體受試者在前支撐期平均為 $0.090 \pm 0.012s$ ，後支撐期平均為 $0.096 \pm 0.015s$ ，總時間平均為 $0.185 \pm 0.019s$ 。結果發現多數受試者的後支撐時間比前支撐時間長。

表 4-10
起跳階段膝關節支撐時間

受試者	前支撐期	後支撐期	總時間
A	0.084	0.083	0.167
B	0.083	0.100	0.183
C	0.084	0.116	0.200
D	0.116	0.084	0.200
E	0.083	0.083	0.167
F	0.084	0.100	0.184
G	0.083	0.083	0.166
H	0.100	0.116	0.216
平均數	0.090	0.096	0.185
標準差	0.012	0.015	0.019

單位：秒

第七節 起跳階段身體重心高度

表 4-11 顯示，起跳階段著地瞬間身體重心高度平均為 $0.77 \pm 0.03\text{m}$ ，離地瞬間平均為 $1.08 \pm 0.03\text{m}$ 。如表中的身高百分比顯示，全體受試者都是以較低重心姿勢進入起跳階段，且在起跳後均是高重心姿勢。

表 4-11
起跳階段身體重心高度

受試者	著地瞬間		離地瞬間	
	CM(m)	h_{TD} (%)	CM (m)	h_{TO} (%)
A	0.80	47.05	1.05	62.30
B	0.74	44.67	1.07	64.19
C	0.77	43.88	1.13	64.20
D	0.82	46.36	1.11	63.07
E	0.74	44.82	1.08	68.37
F	0.78	46.54	1.07	64.07
G	0.73	43.53	1.07	63.69
H	0.76	44.30	1.05	63.69
平均數	0.77	45.14	1.08	64.20
標準差	0.03	1.33	0.03	1.80

註：CM：身體重心高度， h_{TD} ：起跳腳著地瞬間身體重心高度佔身高百分比， h_{TO} ：起跳腳著地瞬間身體重心高度佔身高百分比

第八節 起跳離地瞬間的起跳速度、起跳角度與起跳距離

表 4-12 為起跳離地瞬間的起跳速度、角度、高度與距離。如表顯示全體受試者的起跳速度平均為 $4.26 \pm 0.37 \text{ m/s}$ ，其範圍在 3.85 到 4.82 m/s 之間、起跳角度平均為 $48.14 \pm 3.65^\circ$ 以及起跳距離平均為 $0.71 \pm 0.05 \text{ m}$ 。

表 4-12

起跳離地瞬間的起跳速度、起跳角度與起跳距離

受試者	起跳速度 (m/s)	起跳角度 ($^\circ$)	起跳距離 (m)
A	4.82	46.77	0.69
B	3.97	55.01	0.73
C	4.25	47.27	0.72
D	4.00	52.20	0.72
E	4.54	46.22	0.62
F	3.95	48.07	0.80
G	4.68	44.21	0.73
H	3.85	45.37	0.65
平均數	4.26	48.14	0.71
標準差	0.37	3.65	0.05

第五章 討論

本章分為三個部分進行討論：一、跳高的高度；二、助跑最後二步的步幅、步頻與速度變化；三、起跳階段的動作技術。

第一節 跳高的高度

本研究受試者參與 102 年大專運動會公開女子組跳高的比賽成績平均為 1.59m，8 名運動員身高平均在 1.70m，擁有極佳的身材優勢，但其中只有 3 名運動員（B、E 與 G）在比賽中曾越過 1.70m，而本次比賽中，卻沒有超越自己的最佳成績。

在影響跳高的三個高度中的起跳高度受身高與起跳姿勢所影響，全體受試者在起跳離地瞬間佔身高百分比為 $64.20 \pm 1.80\%$ 與目前世界最好的跳高女子運動員 Vlasic 比較離地瞬間為 73.06% (Panoutsakopoulos & Kollias, 2012) 是較低的，但從離地瞬間的百分比來看，國內運動員與世界級運動員均超過身高的 50%，表示在起跳後都是以高重心完成起跳，這與文獻相符合 (Dapena, 2000)。

飛程高度是決定跳高表現的重要條件，因為它受起跳的垂直速度所影響，垂直速度越快飛程高度就會越高。本研究結果以 A 運動員為最高 (0.61m)，在起跳階段的離地垂直速度 (3.51m/s) 也屬全體受試者中最快的，因此她能獲得較大的垂直距離。但是由於本研究全體受試者的垂直速度較小，因此飛程高度相對較低。

由於起跳腳離地時就決定了身體重心飛行軌跡，加上背向式跳高具有使身體重心低於橫竿高度的優勢，使其過竿高度出現負值，而在對世界級運動員的研究中也有相同發現，如阿江通良等（2010）對2007年在大阪的世界田徑錦標賽的女子運動員其起跳離地瞬間的垂直速度平均為 3.97m/s，飛程高度平均為 0.80m，過竿高度平均為 -0.09m，與 Young-Sang 等（2011）研究世界錦標賽女子冠軍的起跳離地瞬間垂直速度為 4.18m/s，飛程高度為 0.94m，過竿高度為 -0.19m，這顯示了世界級運動員的過竿的優異。Antekolović 等（2006）指出過竿高度的數值越小表示過竿的效率越好。本研究的平均值為 $0.07\text{m}\pm 0.05$ ，與中國女子運動員的數值 $0.09\text{m}\pm 0.04$ （王琨、王慧、劉秀峰與宋海四，2000），還有世界級女子運動員的數值 $0.06\text{m}\pm 0.07$ （Ritzdorf & Conrad, 1987）是有待改善的。

第二節 助跑最後二步的步幅、步頻與速度變化

一、助跑最後二步的速度變化

助跑速度是運動員有效完成起跳動作的保證（李磊、李建英與時衛東，2009），要在跳高項目中突破最大的瓶頸還是在速度上的限制，有速度上的優勢才能發揮在成績表現上（劉金鎗，2008），而助跑速度快有助於選手對地面產生較大的垂直作用力，在起跳結束獲得較大的垂直速度（Dapena, 2000; Humphrey & Nordquist, 2000），但速度並非越快越好，必須以自己能掌握且能克服膝關節屈曲的速度下進入起跳階段。在水平速度表現上，助跑最後二步應避免損失過多

的水平速度，使其在起跳後能保留一些水平速度來使運動員向橫竿推進。過去文獻發現到部分世界級的女子運動員助跑最後二步水平速度是逐漸減少 (Dapena, 1988, 2000, 2006) 以利獲得較大的垂直速度，而本研究受試者在助跑最後二步的水平速度的卻是逐漸增加，全體受試者透過助跑最後二步的步幅縮短與步頻較快，以較快的步頻有利於快速的起跳。從助跑最後二步的水平速度的變化上發現兩種的型態，水平速度逐漸減少，有利於速度的轉換，其速度較容易掌握；水平速度逐漸增加有利於獲得較大垂直速度，但速度轉換較不易，容易失速。這兩種型態都各有優勢，卻不一定適用於每位運動員。

在垂直速度的表現上，全體受試者都有明顯的減少，且在助跑最後一步開始出現負值，這表示運動員在執行助跑最後二步的過程中積極的向前來減少向下速度。助跑水平速度越快，所獲得的起跳垂直速度也越快 (Dapena, 2000)。而隨著跳躍高度增加，助跑最後一步水平速度增加，其起跳離地瞬間垂直速度也會增加。從表 5-1 顯示，在比較世界級女子運動員在各項比賽中獲得的參數，當女子運動員要跳過 1.90 公尺的高度，其助跑水平速度要達到 6.7m/s 以上，然而，本研究受試者在最後二步的速度上明顯與世界級的運動員相差甚大，所獲得的垂直速度也會較慢，這是國內女子跳高運動員在技術上造成無法突破 1.70m 的一個極需要改善的缺點。

在助跑過程中，為了順利使水平速度轉換成垂直速度而獲得起跳效果，應降低身體重心來加長垂直距離 (郭天榮與艾菲，2004)，因為以較低重心進入起跳，可以增加人體對地面產生垂直作用力的作用時間，重心就能獲得較長的移動

距離 (Dapena, 1988)。從圖 5-1 與圖 5-2 就能看出世界級運動員和本研究受試者都是以快速度助跑與較低姿勢來進入起跳 (Dapena et al., 2006)。

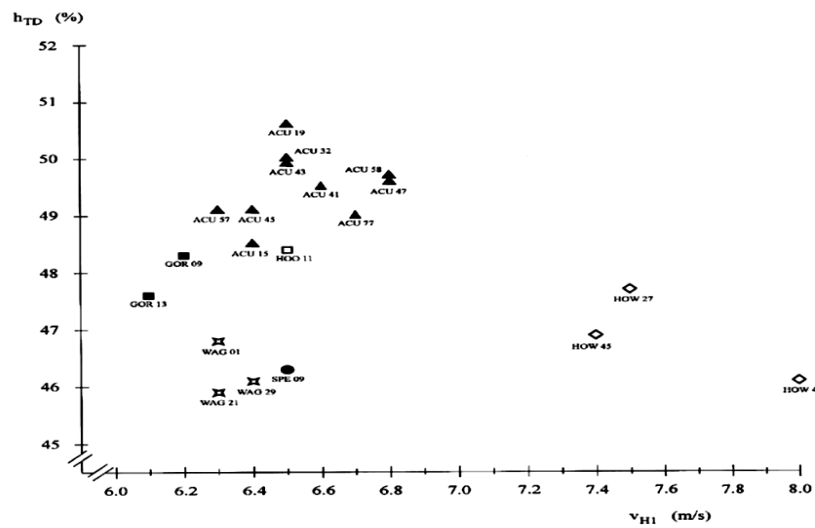


圖 5-1. 世界級女子跳高運動員的助跑水平速度與身體重心高度的關係圖 (Dapena et al., 2006)

註： h_{TD} ：起跳腳著地瞬間身體重心高度佔身高百分比， V_{H1} ：助跑最後一步的水平速度

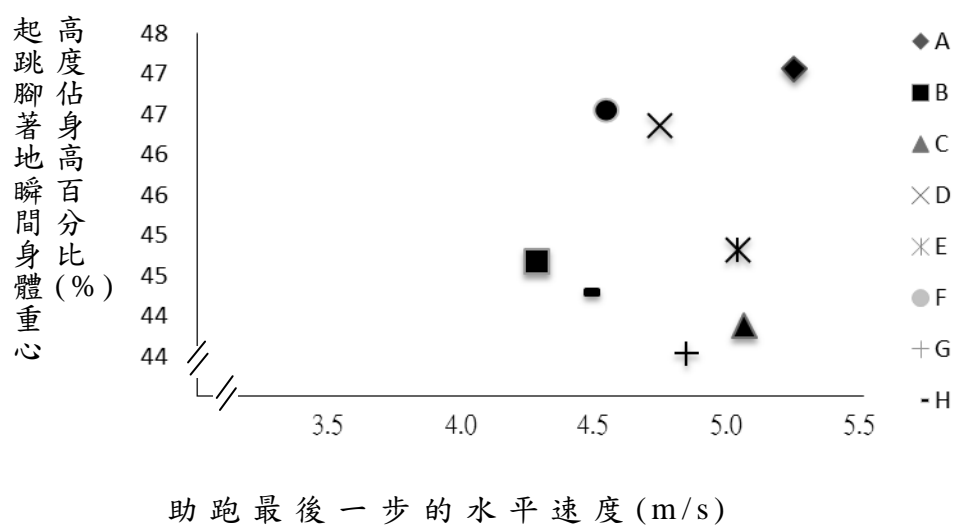


圖 5-2. 助跑水平速度與身體重心高度的關係圖

表 5-1

女子跳高運動員助跑最後二步水平與垂直速度

資料來源	跳高成績 (m)	助跑最後第二步 水平速度 (m/s)	助跑最後一步 水平速度 (m/s)
WC 1987 ^a	2.09-1.93	6.69±0.69	6.76±0.66
OG 1988 ^b	2.03-1.90	6.99±0.35	6.88±0.41
WC 1991 ^c	2.00-1.90		6.73±0.42
WC 2007 ^d	2.05-1.97		6.85±0.40
WC 2011 ^e	2.03-2.00		
Dapena ^f	2.05-1.96	7.03±0.38	7.03±0.32
Dapena ^g	1.86-1.78	6.51±0.22	6.33±0.14
NG 2009 ^h	1.76-1.67	5.90±0.20	4.60±0.20
本研究	1.66-1.45	4.18±0.41	4.77±0.33

註：WC：世界錦標賽，OG：奧運會，NG：全國運動會，其後的數字則代表年代。a：Ritzdorf 與 Conrad (1990)；b：Conrad 與 Ritzdorf (1990)；c：飯干明、阿江通良、結城匡啟、高松潤二、長尺光雄與湯海鵬 (1994)；d：阿江通良、永原隆、大島雄治、小山紅之、高本惠美與柴山一仁 (2010)，e：Kim 等 (2011)，f：Dapena (2000)；g：Dapena 等 (2006)；h：李春安 (2010)。

二、助跑最後二步的步幅與步頻變化

在助跑最後二步的步幅與步頻對跳高影響很大（童樹濤，2010），運動員用縮短步幅的方式來加快節奏增加步頻（Conrad & Ritzdorf, 1990）。本研究結果發現助跑最後一步步幅（1.34~1.71m）比第二步短（1.44~1.89m），本研究部分受試者的步幅縮小步頻增加可以增快速度，與過去文獻有相同的趨勢（王凌飛，2008；李春安，2010；Ritzdorf, & Conrad, 1987, Conrad & Ritzdoff, 1990）。但由於助跑最後一步的步幅大可增加非起跳腳擺腿與蹬伸的幅度使肌肉能充分拉長，創造垂直向上的條件（韓慧、邊衛與王倩，1996），從最後一步步幅來看世界及運動員的步幅佔身高幾乎都接近甚至超過百分之百（Dapena, 2006），而本研究受試者卻只有佔86.50%，由於國內大專運動員身高不及世界級運動員（Dapena, 2006），因此本研究受試者的步幅還可再增大。

由於最後二步接近起跳階段，加上在這兩步中的水平與垂直速度要準備做轉換，因此助跑節奏對跳高是相當重要的，尤其是在助跑最後二步的速度，Humphrey, & Nordquist (2000) 指出在助跑最後二步起跳腳是以一種快速而迅猛的姿態進入起跳階段，且節奏應與中文所用的詞彙“天、今天（day、today）”的節奏相似。從結果可以看出8名受試者的節奏與這個原理相符，但在速度的數值上是小於世界級運動員（Ritzdorf & Conrad, 1987）。由於較大的步幅可增加蹬伸幅度，而本研究全體受試者助跑最後二步步幅的距離相差甚小以致步頻慢於世界級運動員（國內運動員最後二步步頻 3.72 與 4.74strides/s，世界級運動員 3.88 與 4.94strides/s）。

第三節 起跳階段的動作技術

一、起跳的速度變化

助跑的目的地在於為開始起跳創造合適的條件 (Dapena, 2000)，為了增加人體對地面的作用時間，必須增加重心的移動距離。Dapena (2000) 指出降低身體重心時，不應明顯的損失速度。但本研究全體受試者在起跳的水平速度上卻有明顯減少，以 D 運動員來說，起跳腳著地瞬間為 4.76m/s，離地瞬間為 2.45m/s，在水平速度的變化為 -2.31m/s，為本研究受試者損失最多的運動員，這樣的情形會減少膝關節在起跳階段的角速度。然而，進入起跳階段時的起跳腳在著地時會給地面一個力量，離地時會往地面向下用力，此時作用於地面的力量會產生相反的力量（即地面反作用力）傳到起跳腳上 (Dapena et al., 2006)。這個力量就會使運動員的水平速度改變成垂直速度，且在起跳腳著地瞬間會出現一個向下的負垂直速度，過去文獻指出好的跳高運動員會有最小的負垂直速度值 (Dapena, 2000)，而垂直速度負值越大表示運動員可能是因為起跳腳在著地前距離地面高度過高，如此下肢就需要承受較大的衝擊力且不利於起跳，這樣的結果顯示運動員在起跳階段的垂直速度轉換的技術上還不夠成熟所造成的。本研究結果顯示著地瞬間的垂直速度在 -0.32 到 0.38m/s，在過去的文獻中也發現著地瞬間垂直速度有正值現象 (飯干明等, 1994)。由於跳高在起跳階段起跳腳是以腳跟先著地，而出現負的垂直速度，而出現正值的因素可能為運動員的雙腳離地的飛程時間較短，起跳腳較早著地所造成。在起跳階段離地瞬間的垂直速度中，8 名運動員大多數都達到 3.10m/s

以上，但與世界級女子跳高運動員起跳結束的垂直速度 3.62m/s (Dapena et al., 2006) 相比還有些許的差距。過去研究發現世界級女子跳高運動員，在起跳階段，身體重心水平速度從助跑最後一步的 $7.03\pm 0.35\text{m/s}$ ，下降到起跳腳離地瞬間的 $3.94\pm 0.33\text{m/s}$ ，但增加了身體重心垂直速度，由起跳腳著地瞬間時的 $-0.58\pm 0.20\text{m/s}$ ，可提高到起跳腳離地瞬間時的 $3.94\pm 0.10\text{m/s}$ (Dapena, 2000)。本研究在起跳的重心水平與垂直速度與上述世界級女子的比較相差甚多，因此，臺灣女子運動員應將提升助跑速度做為未來訓練的重要目標。此外，本研究發現在起跳階段垂直速度變化和成績達顯著相關，垂直速度變化越大的運動員，其成績也會越好。跳高是一向追求高度的運動，重心移動距離較大，能越過的高度就高，為了要獲得較大的重心移動距離，就必須增加垂直速度，也就表示垂直速度變化較大，能獲得的垂直高度就越高。從表 5-2 顯示比較世界級女子在各項比賽中獲得的參數所示，當跳高成績在 1.7 公尺左右，其起跳結束的垂直速度約 3.35m/s (李春安，2010)，而成績在 2 公尺時垂直速度高達 4.13m/s (阿江通良等，2010)，再次證明垂直速度大小對於跳高成績的影響相當大。

表 5-2

女子跳高運動員起跳階段水平與垂直速度

資料來源	跳高成績 (m)	水平速度 (m/s)		垂直速度 (m/s)	
		著地瞬間	離地瞬間	著地瞬間	離地瞬間
WC 1987 ^a	2.09-1.93		3.75±0.41		4.09±0.28
OG 1988 ^b	2.03-1.90		3.65±0.42		3.94±0.11
WC 1991 ^c	2.00-1.90		4.17±0.38		3.74±0.10
WC 2007 ^d	2.05-1.97	6.84±0.38	3.42±0.35	-0.13±0.12	3.97±0.11
WC 2011 ^e	2.03-2.00		3.54±0.31		4.13±0.06
Dapena ^f	2.05-1.96		3.94±0.31	-0.58±0.19	3.94±0.09
Dapena ^g	1.86-1.78		3.63±0.31	-0.24±0.21	3.54±0.07
NG 2009 ^h	1.76-1.67		3.30±0.20	0.16±0.13	3.35±0.06
本研究	1.66-1.45	4.73±0.31	2.84±0.40	-0.04±0.21	3.16±0.23

註：WC：世界錦標賽，OG：奧運會，NG：全國運動會，其後的數字則代表年代。a：Ritzdorf 與 Conrad (1990)，b：Conrad 與 Ritzdorf (1990)；c：飯干明等 (1994)；d：阿江通良等 (2010)，e：Kim 等 (2011)，f：Dapena (2000)；g：Dapena 等 (2006)；h：李春安 (2010)。

二、身體傾斜角度的變化

弧線助跑的特點之一就是在助跑階段持續的向弧線中心傾斜姿勢。Dapena (1988) 指出跳高運動員在起跳腳著地瞬間身體都會向後傾斜，隨著身體向前移動，在起跳腳離地瞬間身體通常會接近或略超過垂直面；由於助跑最後幾步為弧線跑，所以運動員在進入弧線時的身體會向弧線中心傾斜，在起跳階段身體會向右旋轉（指左腳為起跳腳之運動員），起跳結束時身體會略超過垂直面 (Dapena, 2000)。因此，傾斜角度就成為跳高的主要特徵。在助跑過程中，身體會稍微向前傾斜，Conrad & Ritzdorf (1990) 指出向後傾斜是從起跳階段起跳腳著地開始，且在 10° 到 20° （即 100° 到 110° ）之間。在起跳腳著地瞬間後傾角度越大時，成功過竿的機率就會越大 (Dapena, 1988)。而本研究在離地瞬間的後傾角度在 81° 到 89° 之間，小於過去文獻研究的研究結果 90° 到 101° (Ritzdorf & Conrad, 1987; Conrad & Ritzdorf, 1990)。此外，研究結果也發現全體受試者在起跳階段的後傾角度變化很大，在起跳離地瞬間超越於垂直面，會導致起跳時，身體提早向橫竿靠近，很可能在重心高度達到橫竿平面前就把橫竿碰落。

在內傾角度方面，8 名運動員在起跳腳著地瞬間內傾角度 63° 到 74° 皆小於過去研究 71° 到 107° (Ritzdorf & Conrad, 1987; Conrad & Ritzdorf, 1990; Dapena, 2000)。王季瑜與涂瑞洪 (2009) 指出身體傾斜角度變化較小的運動員可以跳得比較高。以從 A 運動員與 E 運動員為例，A 運動員著瞬間內傾角度為 73.2° ，離地瞬間為 94.7° ，而 E 運動員著地瞬間為 65.7° 離地瞬間為 97.8° 。E 運動員在著地與離地瞬間內傾

角度相差較大，導致在起跳後的重心達到最高點之前身體會超過垂直面較多，這不利於獲得較大垂直高度（A 為 3.51m/s，E 為 3.28m/s）。而身體傾斜角度與起跳離地瞬間垂直速度有關，通常在起跳腳著地瞬間擁有較大的後傾角度以及較小的內傾角度，在起跳後能獲得較大的垂直速度（Dapena et al., 2006），更進一步地獲得較大的垂直高度，而在本研究以 A 運動員也有同樣發現（後傾角度 123° 內傾角度 73° 與垂直速度 3.68m/s）。Dapena 等（2006）指出下肢肌力較差的運動員，沒有辦法獲得更多的上升能力，主要是因為下肢肌力較差，所以她們不能跳的更高，這會導致在起跳後很快達到最高點，因此她們需要在著地瞬間利用更大後傾角度、較小內傾角度才能在空中產生更多角動量。本研究結果發現一名運動員（H）起跳離地的內傾角度達到 100°，這個數值在理想範圍內，在過去研究中（Ritzdorf & Conrad, 1987；Conrad & Ritzdorf, 1990；Dapena, 1988, 2000, 2006, 2007），也發現到部分世界級跳高運動員在起跳離地瞬間的內傾角度超過 100°，Dapena 等（2006）離地瞬間內傾角度超過垂直面 10 度是可以被認為正常的。在助跑階段中，進入弧線跑時身體會因為弧線的關係而向弧線中心傾斜，速度越快身體向內傾斜就會越多，但如果身體向內傾斜不夠，運動員就會難以執行弧線跑，也就是當離心力大於向心力時，身體缺少向內傾斜角度，離心力會將運動員拉離助跑的弧線跑路線。因此，較快的速度以及較佳身體傾斜角度的配合能使運動員在執行弧線跑時更加順暢。

三、膝關節動作的變化

跳高是一項利用速度來追求跳躍高度的項目，在執行技術的過程中，運動員必需克服人體的慣性。起跳腳在著地時，下肢肌肉會預先拉長來儲存彈性能，在膝關節持續彎曲時會到達最大彎曲，然後在進入起跳過程時釋放彈性能來增加運動員的跳躍高度（孟站領與張慶來，2004）。膝關節的彎曲程度會影響跳躍結果，較大的膝關節角度對運動員而言就會是一大影響，因為在起跳時是肌肉在做離心運動，它可能使肌腱儲存更多的彈性能量（Isolehto, Virmavirta, Kyröläinen, & Komi, 2007）。王琨、王慧、劉秀峰與宋海四（2000）指出起跳腳著地瞬間起跳腳不能完全伸直也不能過度彎曲。因為完全伸直會造成膝關節承受過度的衝擊力；過度彎曲會使膝關節無力抵抗人體慣性而無法完成起跳動作。本研究的 8 名受試者在起跳腳著地時膝關節角度在 151 到 167° 之間與過去文獻 156 到 169° 之間（Conrad & Ritzdorf, 1990）的數值接近。在起跳腳著地與離地瞬間的膝關節都是略微伸直。在起跳階段最小膝關節角度可能會影響飛程高度（H2），角度越大越不利，這個角度通常在 140° 左右（Conrad & Ritzdorf, 1990）。本研究結果發現膝關節的最小角度在 129.7° 到 144.0° 之間，其中 H 運動員的膝關節角度更小於 130°，其飛程高度 0.42m 也是全體受試者中較低的，膝關節角度彎曲過多，這會使膝關節肌肉做收縮運動時無法儲存更多彈性能，這對於下肢肌力不足的運動員會導致無力去抵抗屈曲，也造成起跳階段的轉換技術變差。孟站領與張慶來（2004）指出起跳階段的最小膝關節角度在 130° 到 150° 之間才能快速起跳，超過 150° 後，隨膝關節角度增大力量會減小，而本研究數值符

合這個範圍。膝關節在離地瞬間角度通常會大於著地瞬間的角度，表示起跳後的膝關節充分伸展，而全體受試者中，有4名運動員（A、B、C與F）出現起跳離地瞬間膝關節角度大於起跳著地瞬間的角度，但是變化都不大，過去研究也有相同發現（Yuong-Sang et al., 2011）。王凌飛（2008）指出起跳離地瞬間膝關節伸展不完全，會影響起跳後地面對人體的反作用力，進而影響垂直起跳的速度。

從角速度與支撐時間來看，屈曲最大角速度越快表示屈曲程度大，反之速度越慢表示膝關節有抵制屈曲；在伸展最大角速度上，速度越快則表示在起跳階段積極的做起跳。研究結果發現屈曲最大角速度最快的是E運動員，她的最小膝關節角度也屬全體受試者中較小的，但其前支撐時間卻是短的，表示E運動員在起跳腳著地時，在快速的助跑速度的情況下，因為無力抵抗人體慣性而快速達到最大屈曲，使膝關節角度從 166.5° 彎曲至 132.0° ，這樣會不利於起跳技術的轉換；而伸展最大較速度最快的A運動員，在支撐時間的後支撐期比前支撐期短，代表A運動員在起跳結束時起跳腳積極的做伸展以快速完成起跳，而快速的起跳有助於獲得較大的地面反作用力。

四、起跳的重心高度

重心在起跳開始時應處於較低的位置，而在起跳後應處於較高的位置（Dpaena, 2000），從本研究全體受試者可以看出這個趨勢，且在著地瞬間的起跳的重心高度皆低於身高的50%是略低的，相較於國內優秀運動員吳孟珈是較低的（李

春安，2010)，因此這有助於垂直高度的獲得。而離地的起跳高度受身高影響，8名受試者的平均身高為1.70m，起跳高度平均為1.08m佔了身高64%，比較國內優秀運動員吳孟珈的身高為1.71m，重心高度平均為1.29m佔身高75%（李春安，2010），在比較世界優秀運動員Vlasic的身高1.93m，重心高度為1.41m佔了身高73%，由此可證明身高的重要性。

五、起跳的角度、高度與距離

起跳速度受由水平速度與垂直速度的影響，飛程高度受垂直速度影響，因此跳高運動員進入起跳階段前，助跑的水平與垂直速度的轉換就是關鍵，其中一個速度受影響就會連帶影響其他階段所能產生的效益。本研究受試者的起跳角度範圍在 44.2° 到 55.0° ，比較世界錦標賽的前3名女子跳高運動員的起跳角度範圍在 46.6° 到 52.2° （Kim, Lee, Kim, Kwon, & Wiu, 2011）是相近的。以運動員B與G為例，G運動員起跳角度 44.2° 小於B運動員的 55.0° ，這是因為G運動員在起跳腳離地瞬間的水平速度（3.35m/s）比B運動員（2.28m/s）還快的關係，在全體受試者也有相同結果發現。比較不同的是G與H運動員，她們的起跳角度是全體受試者中最小的，這是因為G運動員的起跳速度為4.68m/s，其水平速度大於垂直速度，這可能會使運動員在起跳後因為水平速度太大而向前衝碰觸橫竿；而H運動員的起跳速度為3.85m/s，其水平速度與垂直速度相近，這會導致在過竿階段水平距離移動較慢，在重心達到最高點前身體直接往橫竿垂直落下，而使過竿失敗機率增大。

起跳距離是個重要的因素，因為它會決定起跳腳在著地時腳尖距離橫竿的位置，當水平速度越快的運動員所需要的

起跳距離較要更遠。本研究受試者的起跳距離 ($0.71\text{m}\pm 0.05$) 相似於 Dapena (2006) 的研究結果 ($0.80\text{m}\pm 0.18$)，與臺灣最好的女子運動員吳孟珈的數值 $0.94\text{m}\pm 0.10$ (李春安, 2010) 相比較卻顯得較小。Dapena (2000) 指出如果運動員的起跳點太遠，重心就會在通過橫竿平面前達到最高點而造成跳躍失敗。而本研究的受試者的起跳距離較近的原因可能是助跑水平速度較慢與躍過的高度較低而使得起跳距離偏近。

第陸章 結論與建議

經研究後發現國內大專女子跳高運動員技術特徵為助跑最後二步步幅縮短、步頻增加、助跑最後二步助跑速度增加、助跑與起跳的重心速度較慢、起跳後的內傾角度過大、起跳腳著地瞬間的身體重心高度略低。

全體受試者在助跑，最後一步水平速度平均只有 4.77m/s。在起跳的水平速度平均只有 2.84m/s，顯著比國外運動員低，這是跳躍高度無法突破 1.70m 的原因之一。

全體受試者在膝關節角度的表現上與世界級運動員相差不大，但仍有運動員的角度較小，因為起跳階段的膝關節角度對成績也是一大影響。運動員要如何以更快的助跑速度與低重心姿勢進入起跳階段，而不使膝關節屈服而影響起跳角度是跳高運動員需要去克服的問題。

此外，全體受試者起跳腳離地瞬間的內傾角度大，均超過直面不利於垂直向上起跳，在起跳後碰到橫竿的機率也增大，進而導致跳躍失敗。

本研究全體受試者身高平均 1.70m，卻沒有幾人能夠突破大關 1.70m，因此，國內大專女子跳高運動員應善加利用在身高的優勢來提升更佳的高度表現。

本研究給運動員以下建議：首先應以改善助跑速度為首要條件，第二為改善起跳時的身體傾斜角度。在改善技術時可以以較慢的速度，因為這樣使速度要容易掌握，當技術更加熟練後，便能加入快速的助跑速度。最後，期許未來臺灣的女子跳高成績能夠向上突破，邁向國際。

參考文獻

一、中文部分

- 王凌飛 (2008)。我國優秀女子背越式跳高運動員助跑最後兩步和起跳速度特徵的運動學研究。瀋陽體育學院學報，27 (1)，89-91。
- 王琨、王慧、劉秀峰、宋海四 (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。
- 王季瑜、涂瑞洪 (2009)。背向式跳高的生物力學原理概述。屏東教大體育，12，303-309。
- 何維華、相子元、李超群 (2005)。應用核磁共振法研究運動員之人體肢段參數。國科會專題研究計畫成果報告 (NSC93-2320-B-154-002)。
- 李磊、李建英、時衛東 (2009)。我國女子跳高運動員起跳技術的運動學分析。中國體育科技，45 (1)，57-61。
- 李春安 (2010)。優秀跳高運動員的運動科學服務：運動科學的技術診斷 (未出版碩士論文)。國立臺灣體育學院，台中市。
- 孟站領、張慶來 (2004)。膝關節屈伸肌力矩、關節角度對下蹲跳高度影響程度的實驗研究。浙江體育科學，26 (3)，100-103。
- 洪得明 (1991)。運動生物力學定性分析的方法。文化體育，10，22-28。
- 郭春峰 (2008)。影響背越式跳高運動員起跳高度的主要相關因素及提高途徑的研究 (未出版碩士論文)。武漢體

- 育學院，武漢。
- 郭天榮、艾菲 (2004)。淺析背越式跳高中助跑與起跳緊密結合的主要因素。江寧體育科技，26 (3)，52。
- 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。
- 張志銘 (1993)。國內優秀背向式跳高選手運動生物力學分析。體育學報，15，239-261。
- 童樹濤 (2010)。我國女子跳高運動員鄭幸娟與布蘭卡·弗拉西奇跳高技術運動學參數的對比分析。安徽體育科技，31 (2)，38-42。
- 廖學松 (2006)。背向式跳高最後第一步三維運動學分析 (未出版碩士論文)。國立體育學院，桃園縣。
- 趙連甲、呂強、史鴻范 (1996)。跳高訓練法。北京：北京體育大學。
- 劉金鎗 (2008)。台灣男子跳高紀錄保持者動作技術個案研究。台北縣：高立圖書有限公司。
- 韓慧、邊衛、王倩 (1999)。對我國部分優秀女子跳高運動員起跳前後的一些技術分析。體育科學，19 (6)，39-41。

二、外文部分

- 阿江通良、永原隆、大島雄治、小山紅之、高本恵美、柴山一仁(2010)。第11回世界陸上女子走高跳上位入賞者の跳躍動作のバイオメカニシ的分析。主編：佐佐木秀幸、小林寛道、阿江通良。世界一流陸上競技者のパフォーマンスと技術(171-175頁)。東京都：財団法人日本陸上競技連盟。
- 飯干明、阿江通良、結城匡啓、高松潤二、長尺光雄、湯海鵬(1994)。走高跳のバイオメカニシ的分析。主編：佐佐木秀幸、小林寛道、阿江通良。世界一流陸上競技者の技術(169-183頁)。東京都：ベースボール・マガジン社。
- Ae, M., Nagahara, R., Ohshima, Y., Koyama, H., Takamoto, M., & Shibayama, K. (2008). Biomechanical analysis of the top three male high jumpers at the 2007 World Championships in athletics. *New Studies in Athletics*, 23 (2), 45-52.
- 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.
- Antekolović, L., Blazevic, I., Mejovšek, M., & Coh, M. (2006). Longitudinal follow-up of kinematic parameters in the high jump - A case study. *New Studies in Athletics*, 21 (4), 27-37.
- Blažević, I., Antekolović, L., & Mejovšek, M. (2006).

- Variability of high jump kinematic parameters in longitudinal follow-up. *Kinesiology & Exercise Science*, 38 (1), 63-71.
- Conrad, A., & Ritzdorf, W. (1990) . Biomechanical analysis of the high jump. In G. P. Brüggemann, & B. Glad (Eds.) , *International Amateur Athletic Federation Scientific research project at the games of the XXIV Olympiad-Seooul 1988 : final report* (pp.177-216) .Seoul : International Athletic Foundation.
- Dapena, J. (1980) . Mechanics of translation in the Fosbury Flop. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 12, 37-44.
- Dapena, J. (1988) . Biomechanical analysis of Fosbury Flop. *Trach 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. (1997) . Contributions of angular momentum and catting to the twist rotation in high jumping. *Journal of Applied Biomechanics*, 13, 239-253.
- Dapena, J. (2000) . High jump. In V. M. Zatsiorsky (Ed.) , *Biomechanics in Sport: Performance enhancement and injury Prevention (pp.284-311)* . Malden, MA:Blackwell Science.
- Dapena, J., & Ficklin, K. T. (2007) . *Scientific services project – high jump #32 (men)* . Indiana : USA Track &

Field.

- Dapena, J., Gordon, J. B., & Meyer, W. (2006) . *Scientific services project – high jump #29 (women)* . Indiana: USA Track & Field.
- Dapena, J., McDonald, C., & Cappaert, J. (1990) . A regression analysis of high jumping technique. *International Journal of Sport Biomechanics*, 6, 246-261.
- Hay, J. G. (1993). *The biomechanics of sports techniques*. New Jersey: Prentice Hall.
- Humphrey, S. & Nordquist, D. (2000). High jump. In J. L. Rogers (Project Coordinator), *USA track & field coaching manual* (pp. 173-197) . Champaign, Ill.: Human Kinetics.
- Isolehto, J., Virmavirta, M., Kyröläinen, H., & V. Komi, P. (2003) . *Biomechanical Analysis of the High jump*. Neuromuscular Research Center, University of Jyväskylä, Finland.
- Isolehto, J., Virmavirta, M., Kyröläinen, H., & Komi, P. (2007) . Biomechanical analysis of the high jump at the 2005 IAAF World Championships in athletics. *New Studies in Athletics*, 22 (2) , 17-27.
- Jacoby, E. (1986) . High jump - a technique evaluation. *Track Technique*, 97, 3089-3093.
- Kim, K. M., lee, E. H., Kim, S. S., Kwon, M. S. & Wi U., R. (2010). Women's high jump biomechanics research

report from the IAAF world championships, Daegu 2011.
In Y.S. Bae (Ed.), *Biomechanics research project in the IAAF world championships, Deagu 2011*. (pp.56-64).
Seoul: Korean Society of Sport Biomechanics.

Panoutsakopoulos, V., & Kollias, I. A. (2012) . 3D
Biomechanical analysis of women's high jump technique.
New Studies in Athletics, 27 (3) , 31-44.

Ritzdorf, W., & Conrad, A. (1987) . Biomechanical analysis of
the high jump. In G.P. Brüggemann and P. Susanka
(Eds.) , *International Atheltic Foundation cientific
report on the 2nd world championships in athletics,
Rome 1987* (pp.G1-50) . Rome: International Athletic
Foundation.

Young-Sang, B., Eui-Hwan, K., Ki-Man, K., Joeong-Min, Lee.,
Sung-sup, K., Moon-soek, K., & Ung-Ryang, W.
(2011) .Biomechanical analysis of take-off techniques of
women's high jump winners at IAAF World
Championships, Daegu 2011. *Korean Journal of Sport
Biomachanics*, 21 (5) , 585-593.

附錄一

受試者實驗同意書

論文題目：大專女子跳高選手助跑最後二步和起跳動作之
生物力學分析

指導教授：張立羣副教授

研究生：林芸蔓

聯絡電話：0919535106

本研究進行以大專運動會為主要實驗，分析跳高運動員在比賽期間的助跑最後二步的動作技術，以提供運動員改善成績表現與提供教練做參考。為維護受試者之權利，研究者有義務將研究過程向受試者說明，如受試者有任何疑問，研究者應盡其所能將其作解答。

經研究者說明解說後，本人已詳細了解研究過程、實驗內容與步驟，並同意參與本研究，且在研究期間盡最大努力來完成實驗。如果您表示同意參與實驗，請在下方受試者欄內簽名，並且願意遵守上列說明。

受試者簽名：

通訊地址：

聯絡電話：

日 期： 年 月 日

附錄二

受試者基本資料

實驗日期： _____
姓名： _____ 身 高： _____
體重： _____ 出生月日： _____
運動年齡： _____ 慣用腳： _____
最佳運動成績： _____

※ 在過去一年內，您的上肢：肩關節、腕關節、肘關節、
上臂、前臂；下肢：髖關節、膝關節、踝關節、大腿、
小腿是否有發生過骨折、韌帶撕裂、肌腱發炎、神經肌
肉或骨骼等疾病傷害，或者正在進行手術後復健？

是（請加以描述）

否

附錄三

跳高三個高度與成績之相關係數表 (n=8)

參數	r 值	p 值
著地瞬間起跳高度 (m)	.336	.415
著地瞬間起跳高度佔身高百分比 (%)	.268	.521
離地瞬間起跳高度 (m)	.442	.273
離地瞬間起跳高度佔身高百分比 (%)	-.277	.506
飛程高度 (m)	.679	.064
過竿高度 (m)	-.239	.569

*表示與成績達顯著相關 (p<.05)

附錄四

助跑最後最後二步步幅、步頻、水平及垂直速度與成績之相關係數表 (n=8)

	參數	<i>r</i> 值	<i>p</i> 值
步幅 (m)	助跑最後第二步	.168	.691
	助跑最後第一步	.557	.151
步頻 (strides/s)	助跑最後第二步	-.009	.983
	助跑最後一步步頻	-.534	.173
水平速度 (m/s)	助跑最後第二步水平速度	.138	.744
	助跑最後一步水平速度	.314	.448
垂直速度 (m/s)	助跑最後第二步垂直速度	.249	.553
	助跑最後一步垂直速度	-.179	.672

*表示與成績達顯著相關 (p<.05)

附錄五

起跳階段身體重心速度與成績之相關係數表 (n=8)

參數	<i>r</i> 值	<i>p</i> 值
著地瞬間水平速度 (m/s)	.042	.921
離地瞬間水平速度	-.127	.764
水平速度變化	-.275	.510
著地瞬間垂直速度 (m/s)	-.302	.467
離地瞬間垂直速度	.688	.059
垂直速度變化*	.754	.031

*表示與成績達顯著相關 ($p < .05$)

附錄六

起跳階段身體傾斜角度與成績之相關係數表 (n=8)

參數	<i>r</i> 值	<i>p</i> 值
著地瞬間後傾角度 (°)	-.210	.618
離地瞬間後傾角度	.038	.928
著地瞬間內傾角度	-.051	.904
離地瞬間內傾角度 (°)	-.671	.069

*表示與成績達顯著相關 (p<.05)

附錄七

起跳階段膝關節角度、角速度、支撐時間與成績之相關係數表 (n=8)

參數	<i>r</i> 值	<i>p</i> 值
著地瞬間膝關節角度 (°)	-.366	.372
膝關節角度最小值	.551	.157
離地瞬間膝關節角度	.683	.062
屈曲最大角速度 (deg/s)	.545	.163
伸展最大角速度	.451	.261
前支撐時間	-.147	.729
後支撐時間	-.165	.696
總時間	-.229	.585

*表示與成績達顯著相關 (p<.05)

附錄八

起跳離地瞬間起跳速度、起跳角度以及起跳距離與成績之相關係數表 (n=8)

參數	<i>r</i> 值	<i>p</i> 值
起跳速度	.236	.574
起跳角度	.569	.141
起跳距離	.276	.508

*表示與成績達顯著相關 ($p < .05$)