

國立臺灣體育運動大學競技運動學系
碩士學位論文

女子三級跳遠單腳跳-跨步跳轉換動作
對成績的影響

**The Impact of Performance on the Transition
Between the Hop and the Step in Female
Triple Jumpers**



研究生：張偉達 撰

指導教授：張立羣 副教授

中華民國 102 年 7 月

女子三級跳遠單腳跳-跨步跳轉換動作對成績的影響

摘要

本研究目的為探討女子三級跳遠單腳跳-跨步跳轉換動作特徵以及對成績的影響，以 102 年大專校院運動會公開女子組前八名選手為研究對象，以兩台數位攝影機拍攝比賽過程，收集單腳跳著地至跨步跳起跳瞬間動作，利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參數，以皮爾森積差相關來分析各項運動學參數與成績之間的相關情形。研究結果發現，單腳跳-跨步跳轉換動作特徵中發現，著地-起跳水平速度是遞減、飛程角度隨著垂直速度增加而增加、著地前支撐腳有積極地做著地動作以及軀幹左右傾斜角度範圍與世界級選手相似，技術種類以單腳跳式為主的趨勢。為了增加跨步跳距離必須提升速度、減少膝關節動作範圍以及縮短支撐時間。在單腳跳距離、跨步跳距離及著地距離與比賽成績之間達顯著正相關。在起跳垂直速度以及飛程角度與跨步跳距離達顯著正相關。其中著地角度在比賽成績與跨步跳距離之間皆達顯著負相關。

關鍵詞：轉換動作、跨步跳距離、積極性著地

The Impact of Performance on the Transition Between the Hop and the Step in Female Triple Jumpers

Abstract

The purpose of this study explore the women's triple jump hop -step transition actions characteristics and impact for performance, in 102 national intercollegiate athletic games open female's players as the research object, two digital cameras to shoot during the race, collection hop landing to step take off momentary action, carried video digitized use of motion analysis system, obtain 3D kinematic parameters, using the Pearson's correlation to analyze performance the correlation between the kinematics parameters. Results showed, found in hop-step transition actions, landing-take off the horizontal velocity is decremented 、 takeoff angle with the vertical speed increases 、 support legs do positive landing and trunk left and right tilt angle range with the world athletes similar, type of technology is dominated by hop type trends. To increase the step distance must to enhance the speed 、 reduced knee range of motion and shorten the support time. Significant positive correlation with performance between hop distance 、 step distance and landing distance. Significant positive correlation with step distance between take off vertical

velocity and takeoff angle. Which significant negative correlation with landing angle between performance and step distance.

Key word : transition actions, step distance, positive landing.

謝 誌

記得剛開學的第一周，就想著這勢必得休學，因為在大學時期並沒有那麼認真的在讀書上，每天只想著要練習比賽。在碩士班的前面階段，也是如此，變成讓自己在讀書上得花更多時間，直到碩三才清楚知道，光練習是不能畢業的！自己知覺練習跟論文是無法相互平衡的，因此放棄練習來完成論文。在撰寫的日子發生了許多事情，有開心也有難過的，但俗話說：「努力不一定會成功，而成功必定努力過」，就算遇到再困難的事情，就算列印了休學在手上，還是要用正面的心態去面對去解決，最後才讓這本論文誕生。

很榮幸接受了立羣老師的指導，因為老師對研究的看法及顧慮，讓我學會到必須要考慮很多因素，才能完成一項研究。老師也很有耐心想辦法來解決我所遇到的問題必提出看法，或許我並沒有做到最好，但在每一次的談話及討論都能讓我有許多想法並受用，在此真的很感謝立羣老師，因為你不厭其煩的教導，才會有這本論文的產生，真的很感謝。

在每一個成功的研究背後，一定會有一群很專業且辛苦的工作人員，我的研究團隊們，銘修、芸蔓、漢城、俊瀚以及練瘋話的羿蓁，真的是很感謝你們的辛苦付出。當我產生一些負面想法時，在跟我的好朋友文堂、佩助教姊以及世華主任抱怨完之後，並會提供意見，增加我繼續往前的動力，真的辛苦你們三位的耳朵了，謝謝你們！也感謝我的專長老師乃老師的指導讓我成長學習，跳部的夥伴們你們也辛苦了！我的朋友 OA 不散團，阿杰、賴潔、麵包、虎虎、湘湘以及墊肩姊，這段時間感謝你們讓我在辛苦中產生很大的快樂

及支持!最後還有最支持我的家人們，感謝你們的支持。沒有老師、團隊、朋友、隊友以及家人的支持，不會造就現在的我感謝你們。

未來過了三年或十年，再回頭看這論文，或許會覺得應該可以再加強哪部分，但現階段的我，已經把目前最好的呈現出來，也因選寫論文的日期，讓我培養獨立學習及思考的能力，

謹以此論文獻給我最摯愛的師長、朋友、同學、隊友、家人們。

偉達 謹致

目 錄

中文摘要	I
英文摘要	II
謝 誌	IV
目 錄	VI
表 目 錄	VIII
圖 目 錄	IX
第 壹 章 緒 論	1
第一節 問題背景	1
第二節 研究目的	4
第三節 研究範圍	5
第四節 研究限制	5
第五節 名詞解釋	6
第 貳 章 文 獻 探 討	10
第一節 三級跳遠技術特徵	10
第二節 單腳跳-跨步跳轉換技術之相關研究	15
第三節 結語	19
第 參 章 研 究 方 法 與 步 驟	20
第一節 研究對象	20
第二節 實驗時間與地點	21
第三節 實驗儀器與設備	22
第四節 實驗步驟	23
第五節 資料處理與分析	25
第 肆 章 結 果	27
第一節 三級跳遠成績、三跳距離及三跳比率	27

第二節	單腳跳-跨步跳轉換階段之水平、垂直速度、速度變化及飛程角度·····	30
第三節	單腳跳-跨步跳轉換階段之著地與起跳角度、距離及踝關節速度·····	34
第四節	單腳跳-跨步跳轉換階段之膝關節角度及支撐時間·····	36
第五節	單腳跳-跨步跳轉換階段之軀幹左右與前後傾斜角度·····	39
第六節	單腳跳-跨步跳轉換階段之著地、起跳高度及變化·····	41
第伍章	討論·····	42
第一節	單腳跳-跨步跳轉換動作特徵·····	42
第二節	影響三級跳遠成績與跨步跳距離的運動學參數·····	50
第陸章	結論與建議·····	52
第一節	結論·····	52
第二節	建議·····	53
參考文獻	·····	54
一、中文部分	·····	54
二、英文部分	·····	55

表目錄

表 3-1	受試者基本資料	20
表 4-1	三級跳遠成績與三跳距離	27
表 4-2	三跳比率與技術類型	28
表 4-3	三跳之擺臂型態	28
表 4-4	單腳跳-跨步跳轉換階段之著地、起跳水平速度及變化	31
表 4-5	單腳跳-跨步跳轉換階段之著地、起跳垂直速度、變化及飛程角度	33
表 4-6	單腳跳-跨步跳轉換階段之踝關節速度、著地角度及距離	35
表 4-7	單腳跳-跨步跳轉換階段之膝關節角度	36
表 4-8	單腳跳-跨步跳轉換動作之支撐時間	37
表 4-9	單腳跳-跨步跳轉換階段之膝關節角速度	38
表 4-10	軀幹左右傾斜角度	39
表 4-11	軀幹前後傾斜角度	40
表 4-12	著地、起跳高度及變化	41

圖目錄

圖 1-1	單腳跳-跨步跳轉換階段動作·····	6
圖 1-2	三跳距離·····	7
圖 1-3	著地距離(a)、起跳距離(b)、膝關節角度(c)、 著地角度(d)、起跳角度(e)、身體重心水平速 度(f)、身體重心垂直速度(g)參數定義 圖·····	8
圖 1-4	身體軀幹在前後方向與左右方向的傾斜角度 定義圖·····	9
圖 3-1	實驗場地佈置圖·····	24
圖 4-1	前八名選手著地與起跳水平速度變化 圖·····	31

第壹章 緒論

第一節 問題背景

三級跳遠的技術分成助跑、單腳跳 (Hop)、跨步跳 (Step) 及跳躍 (Jump) 所組合而成的，是一個技術性高且要求運動員本身的協調性高的田徑項目。三級跳遠與跳遠之間不同的差別，在於三級跳遠選手在一次試跳中必須完成三個起跳動作，相對地就會有三個支撐階段，而跳遠選手在一次試跳中只有一個起跳動作，因此三級跳遠的技術要求來的比跳遠高。

女子三級跳遠的發展比男子三級跳遠要來的晚，在 1990 年國際田徑總會 (International Amateur Athletic Federation, IAAF) 才承認女子三級跳遠為比賽項目，在 1993 年列入室內、室外世界田徑錦標賽項目，在 1996 年亞特蘭大奧運會成為正式比賽項目，到目前為止女子世界紀錄是由烏克蘭選手 Inessa KRAVETS 在 1995 年所創下的 15.50m，臺灣全國紀錄是由王國慧在 1999 年所創下的 13.63m。在 2012 年倫敦奧運會，女子三級跳遠由哈薩克 Olga Rypakova 以 14.98m 獲得冠軍。

三級跳遠的表現受到助跑速度、起跳的轉換技術及選擇適合的三跳比率的影响 (Susanka, Jurdik, Koukal, Kratky, & Velebil, 1987)。張立群 (2004) 指出，增加助跑速度以及減少三跳過程中水平速度的損失，是三級跳遠技術的關鍵。高玉娟與黃長福 (2011) 研究發現助跑最後第二步離地的水平速度與成績達顯著相關，在助跑最後第二步應採用

高重心跑法進入起跳。在 2011 年世界錦標賽中，女子三級跳遠助跑最後一步的速度平均為 9.09 m/s，而女子跳遠為 9.44 m/s。研究指出世界級三級跳遠選手的助跑速度跟成績並未達顯著相關 (Brüggemann, 1990; Hay & Miller, 1985)，主要是受到運動員同質性高的關係，彼此的水平速度都相似沒有太大的落差，因此沒有達到顯著關係。運動員利用助跑的速度進入單腳跳階段進行起跳，起跳角度不宜太大，三級跳遠需在空中準備著地與下一步的起跳，必須考慮地面的反作用力，以免造成跨步跳、跳躍的水平速度損失過多。Perttunen, Kyrolainen, Komi, 與 Heinonen (2000) 指出單腳跳著地時垂直方向的地面反作用力為體重 15.2 倍、水平方向為 7 倍。也就是說，助跑速度越快，支撐腳就要承受更大的反作用力，且過大的反作用力不利於下一步的起跳。三級跳遠單腳跳的起跳角度與跳遠不同，跳遠要有較高的騰空，而三級跳遠則不能過高，2011 年世界錦標賽中女子三級跳遠單腳跳的飛程角度平均為 13.68° ，跳遠則為 20.7° 。如果單腳跳的騰空過高，則在單腳跳著地後會損失過多的水平速度，所以運動員要分配好每一步的距離避免有過大或過小距離的現象，這是跟跳遠項目不同的地方。因此助跑速度固然重要，分配好三跳的距離更是不可或缺的一項技術。

Hay (1992) 指出三跳的比率對成績是一個關鍵作用，而許多研究卻顯示世界級選手之三跳比率和成績之間沒有顯著的相關 (Hay, 1999; Hay & Miller, 1985)。雖然三跳比率並不是影響成績好壞的關鍵，但過度強調某一跳，並不一定會有助於成績，因此，運動員必須分配力量去執行每

一個支撐階段，以免發生某一跳過大或者過小的現象發生。三級跳遠成績及三跳比率會因單腳跳-跨步跳-跳躍轉換技術，而有所影響，轉換得宜相對的成績也就會提升。

三級跳遠的單腳跳-跨步跳-跳躍技術轉換，是在每個支撐階段發生的。每個支撐階段運動員會產生水平速度與垂直速度的變化，運動員在支撐階段獲得起跳的垂直速度，不可避免的也會失去水平速度 (Yu, 1999a)。Yu 與 Hay (1996) 研究發現水平速度的損失和垂直速度的獲得為線性相關，水平速度的損失會隨著垂直速度的增加而增加。將每個支撐階段的水平速度損失最小化，以及有效提升垂直速度 (Hay & Miller, 1985)，因為水平速度損失太多會導致縮短整體的距離。在每個支撐階段，損失的水平速度跟增加的垂直速度的關係是支撐階段水平-垂直動力轉換的結果，因此，透過手臂和擺動腿動作將水平的動能轉換成垂直的動能 (Yu, 1999b)，可以減少 19% 的水平速度的損失與增加 12% 的垂直速度 (Yu, 1993)。因此，單腳跳-跨步跳-跳躍轉換技術是影響成績重要的因素之一。

過去的三級跳遠研究，針對水平與垂直速度轉換、支撐階段地面反作用力、擺臂與擺動腿動作... 等因素對於成績的影響 (陳九州、王淑華、陳志中，2005；Allen, King, & Yeadon, 2010；Hay & Miller, 1985；Miladinov & Bonov, 2004；Yu & Hay, 1995)，而只針對單腳跳-跨步跳轉換對成績的重要研究卻很少，研究發現，影響跨步跳距離是跨步跳的起跳垂直速度 (Brüggemann & Arampatzis, 1999)，宋波 (2007) 研究發現，在三級跳遠中跨步跳階段跳不起來的原因為：沒有掌握三級跳遠的起跳和著地技術以及身體素質

方面的能力達不到要求。而研究並沒有詳細指出單腳跳-跨步跳轉換技術對於成績的影響。在三級跳遠比賽中，單腳跳-跨步跳的轉換最為重要的原因，是讓助跑的速度在單腳跳-跨步跳技術轉換時，可以減少水平速度損失及提升垂直速度，在跨步跳-跳躍技術轉換階段也是如此，如果能在單腳跳-跨步跳轉換階段轉換得宜，將有助於提升跨步跳-跳躍-沙坑的距離，進而提升整體的成績。因此，上述有關單腳跳-跨步跳轉換技術的相關問題，是值得進一步研究及探討的。

第二節 研究目的

探討女子三級跳遠選手單腳跳-跨步跳轉換動作特徵以及對成績的影響。其研究探討：

- 一、轉換階段的重心水平速度與垂直速度的變化
- 二、轉換階段的膝關節角度的變化
- 三、轉換階段的踝關節速度、著地距離、起跳距離、著地角度、起跳角度與飛程角度
- 四、轉換階段的重心高度的變化
- 五、轉換階段的身體軀幹前後傾斜與左右傾斜角度的變化
- 六、三跳距離及三跳比率

第三節 研究範圍

本研究以 102 年全國大專運動會公開女子組三級跳遠決賽選手為對象，利用兩台攝影機拍攝受試者的單腳跳-跨步跳轉換動作，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，所以影片拍攝過程會受到許多外在因素影響，因此如果選手最佳成績的動作未能完整拍攝（如被人群擋到），僅能以次佳成績進行分析。

第五節 名詞解釋

- 一、單腳跳-跨步跳轉換階段：以起跳腳左腳為例，單腳跳在空中階段，當左腳膝關節通過右腳膝關節時為轉換動作的開始到跨步跳起跳離地瞬間為動作的結束（如圖 1-1）。

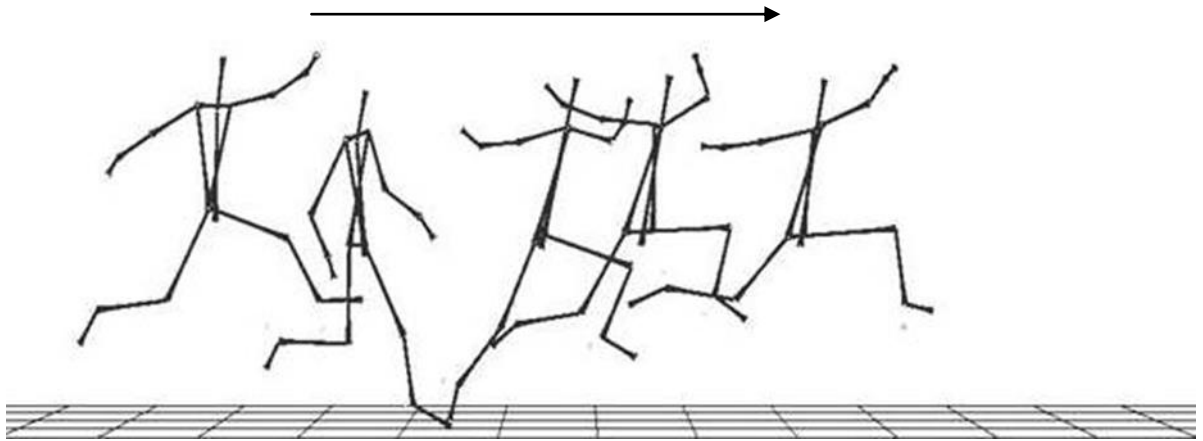


圖 1-1 單腳跳-跨步跳轉換階段動作。

二、三跳距離：單腳跳距離 Hop distance（單腳跳起跳瞬間腳尖至跨步跳起跳瞬間腳尖）、跨步跳距離 Step distance（跨步跳起跳瞬間腳尖至跳躍起跳瞬間腳尖）、跳躍距離 Jump distance（跳躍起跳瞬間腳尖至沙坑最靠近起跳板的落地點）。

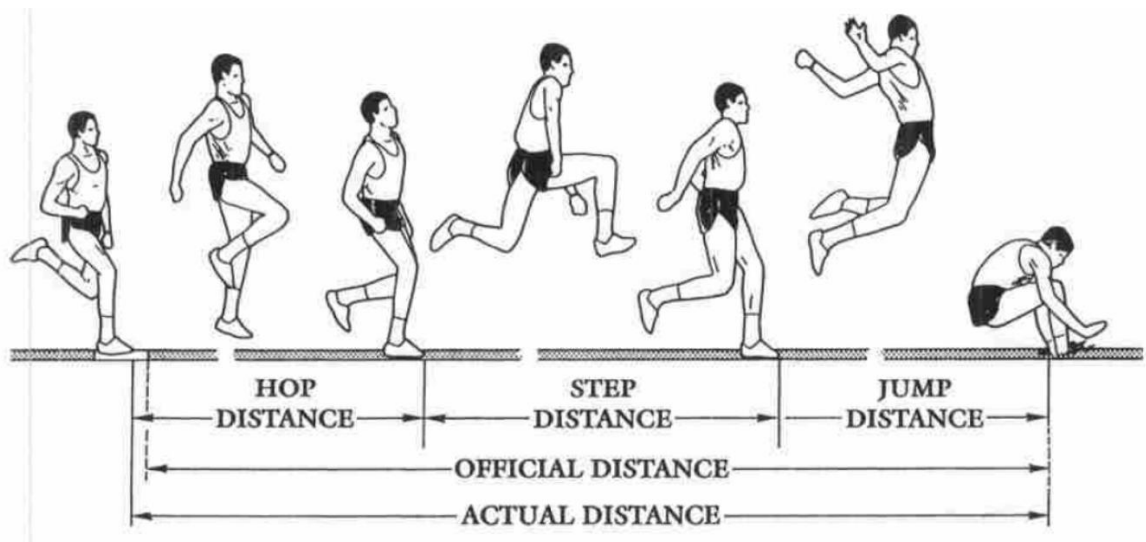


圖 1-2 三跳距離。資料來源：Hay (1999)。

- 三、著地距離：在支撐腳著地瞬間身體重心與支撐腳腳跟之間的水平距離。
- 四、起跳距離：在起跳腳離地瞬間身體重心與起跳腳腳尖之間的水平距離。
- 五、膝關節角度：支撐腳的大腿和小腿之間所形成的夾角。
- 六、著地角度：支撐腳著地時身體重心和踝關節連線與水平面之夾角。
- 七、起跳角度：起跳腳離地時身體重心和踝關節連線與水平面所形成之夾角。
- 八、飛程角度：起跳腳離地時身體重心飛程軌跡與水平面所形成之夾角。



圖 1-3 著地距離(a)、起跳距離(b)、膝關節角度(c)、著地角度(d)、起跳角度(e)、飛程角度(f)、身體重心水平速度(g)、身體重心垂直速度(h)參數定義圖

九、軀幹傾斜角度：身體軀幹前後方向傾斜角度（在矢狀面上，雙肩及雙髖中心點的連線與垂直線之間之夾角）與身體軀幹左右方向傾斜角度（在額狀面上，雙肩及雙髖中心點的連線與垂直線之間之夾角）。

軀幹左右傾斜

軀幹前後傾斜



圖 1-4 身體軀幹在前後方向與左右方向的傾斜角度定義圖
(起跳腳是左腳為例)

十、積極性著地動作：支撐腳在著地前向後和向下抓地的動作（以著地瞬間前一張影片的踝關節之水平速度表示）。

第貳章 文獻探討

本章分為三級跳遠技術特徵、單腳跳-跨步跳轉換技術之相關研究及結語等三個部分進行文獻探討。

第一節 三級跳遠技術特徵

三級跳遠選手在連續三次的著地-起跳動作中，執行單腳跳、跨步跳以及跳躍動作。這三跳的動作不僅影響到三級跳遠成績，而彼此之間也會相互的影響。因此這三跳各有其目標與特點。Susanka 等 (1987) 指出三級跳遠要有理想的表現，必須具備以下條件：減少單腳跳-跨步跳-跳躍轉換過程中身體重心水平速度的損失；身體重心左右移動的變化範圍最小；在騰空階段的身體重心拋物線變化幅度最小；身體重心在支撐期與騰空期之間有良好的轉換；在跳躍有良好的落地技術。

陳九州等 (2005) 指出在三跳的起跳動作方面，宜採用較小幅度的積極性著地動作；在三跳的起跳前起跳腳的「最大屈膝角」不應小於 135~140 之最佳伸膝發力角度範圍；在跳躍過程中，強調大幅度且強而有力的手臂與擺動腳之快擺觀念；考慮其身體素質與技術特點，找出個人合理的三跳飛程角度範圍；朝向「速度型」、「平跳速度型」或「跳躍型」之三級跳遠術類型發展。三級跳遠是由不同的動作所組合而成三級跳遠是由助跑、單腳跳、跨步跳、跳躍四個階段所組合而成的，各階段動作特徵說明，在每跳動作的特徵皆不相同，其各跳動作之特徵如下：

一、助跑

助跑是三級跳遠第一個階段，提升助跑最後 10m 速度是提高三級跳遠成績的重要關鍵（曾立火，1999）。助跑最後第二步應採用高重心跑法進入單腳跳的起跳（高玉娟、黃長福，2011），利用助跑的水平速度帶進起跳階段，並且減少起跳損失的距離（起跳腳腳尖與起跳板前緣的距離，最少的損失為 0）。

二、單腳跳

助跑過後的第一跳為單腳跳階段，這階段是三級跳遠成功的關鍵（Susanka et al., 1987）。避免騰空過高、重心下降幅度不能過多、身體保持稍微前傾、蹬板的幅度要大、擺動腿要積極的配合起跳腳大幅度擺動（宋波，2007）。飛程角度過大地面反作用力也就越大。運動員在支撐期間，必須在減少水平速度損失的情況下，來產生足夠的向上垂直速度。起跳離地後，起跳腳的髖、膝、踝三個關節應充分地伸展，擺動腳大腿與地面平行，小腿放鬆下垂，約三分之一的空中飛行後，擺動腳開始做向下伸展（向下踩）的動作，而起跳腿則以大腿帶動小腿向前高抬，帶動髖部向前完成換步，形成空中的跨步姿勢，緊接著做出向前伸出著地腿（陳九州、王淑華、邱俊璟，2006），主要的目的，為獲得理想的單腳跳距離以及為跨步跳作準備（Brüggemann, 1990）。

在三級跳遠的跨步跳與跳躍的起跳腳起跳前的著地動作，又稱積極性著地動作，分為以下幾種：（一）著地腳大幅度向前伸出型（a wide forward reaching lead leg action）：以產生彈射效果，將選手彈出進入下一跳；（二）彈跳動作型（ricochet action）：縮小起跳角度，充分利用儲存

之彈性能；（三）著地腳主動下採型（An active placement of the lead leg）：造成著地腳屈肌瞬間收縮的反射動作（Krejer, 1993）。其主要作用是要讓著地腳能夠主動的做著地動作，以利起跳時能夠減少著地時間及水平速度損失。Miller 與 Bennet (1991) 指出，積極性著地動作特點是：在著地瞬間，著地腳應落在髖關節前下方，若在髖關節正下方，起跳將會產生較大的前旋效果，反之，若離髖關節太遠，容易產生煞車效果造成水平速度的損失過多且不利於起跳，進而使腳後跟受傷。

三、跨步跳

在跨步跳階段，是最難掌握及發展的階段，重點在於繼續保持最大的水平速度、維持空中平衡以及取得適當的著地姿勢。著地後，著地腿迅速緩衝，配合著雙臂與擺動腿積極有力的向前擺動，可以幫助起跳腿向下產生更大的作用力，增加向前推進的動力。在起跳腿做出快速有利的蹬伸動作時，髖、膝、踝三個關節應充分伸展，軀幹保持正直或稍向前傾（陳九州等，2006）。選手必須減少在著地時身體重心的垂直速度以及在支撐期間水平速度的損失最小，並且能產生一個足夠的起跳垂直速度（張立群，2004）。

四、跳躍

在最後的跳躍階段，利用擺動腿和雙臂的向前及向上之擺動，來幫助起跳腳產生更大的作用力（陳九州等，2006）。空中動作類似跳遠的動作，選手利用剩餘的水平速度以及去獲得最大的垂直速度，並配合理想的落地技術，來獲得最大的跳躍距離（Brüggemann, 1990）。

除此之外，影響三級跳遠成績因素其中一項是三跳比

率，它扮演一個決定成績的關鍵角色（許樹淵，1992；Yu & Hay, 1996），Hay (1992) 根據三跳佔三級跳遠成績百分比的多寡提出三種技術類型，分別是：

1. 單腳跳式：單腳跳的百分比比跳躍的百分比大 2% 以上（例如：38%、30%、32%）。
2. 均衡式：單腳跳及跳躍的百分比之間差距小於 2%（例如：34%、31%、35%）。
3. 跳躍式：跳躍的百分比比單腳跳的百分比大 2% 以上（例如：32%、30%、38%）。

Hay (1992) 指出三跳的比率對成績是一個關鍵作用，而許多研究則顯示出世界級選手之三跳比率和成績之間沒有顯著的相關 (Hay, 1999; Hay & Miller, 1985)。然而，在 1992 年奧運會男子三級跳遠比賽中，美國選手 Mike Conley 採用跳躍式為主的技術以 18.17m 的成績獲得奧運冠軍，從 1985 年的 17.78m 到 1992 年間的 18.17m，Conley 選手從單腳跳式轉變到均衡式，最後轉變為跳躍式為主的技術，從 Conley 選手的個案中找他屬於適合他自己的最佳化三跳比率 (田兆鐘，1995)。證實沒有一個適合所有選手的三跳比率，則是要選擇適合自己的三跳比率，而三跳比率會隨的每一步的飛程角度而有所改變。

Krejer (1985) 指出最佳飛程角度分別為：單腳跳 $16^{\circ}\sim 18^{\circ}$ 、跨步跳 $14^{\circ}\sim 15^{\circ}$ 以及跳躍 17° 。在 2011 年世界錦標賽男子三級跳遠決賽，前八名三跳的飛程角度分別為：單腳跳 $10.3^{\circ}\sim 14.1^{\circ}$ 、跨步跳 $11.4^{\circ}\sim 14.8^{\circ}$ 以及跳躍 $13.7^{\circ}\sim 21.8^{\circ}$ ，而女子三級跳遠決賽，前八名三跳的飛程角度分別為：單腳跳 $11.8^{\circ}\sim 15.4^{\circ}$ 、跨步跳 $6.7^{\circ}\sim 17.7^{\circ}$ 以及跳躍 $16.1^{\circ}\sim 22.1^{\circ}$ 。

(Seo et al., 2011)。由於所採用技術類型的不同，所以三跳的飛程角度將會有所不同（陳九州等，2005）通常在三級跳遠中單腳跳與跨步跳的飛程角度不會太大，主要原因為飛程角度越大，則會加大下一步的著地負荷，則不利於起跳動作的實施，也會增加水平速度的損失。

綜合上述相關研究文獻，在比賽進行中，運動員要盡量維持身體重心的水平速度、水平速度與垂直速度要有良好的轉換、三跳時合理的身體重心垂直速度、降低水平速度損失率、重心起伏變化變小、要有較短的支撐時間及較長飛行時間等影響因素，進而利用擺臂、適合的著地角度、起跳角度及分配好三跳比率，並且讓三跳技術銜接更加流暢有節奏(Panoutsakopoulos & Kollias, 2008)，將會有效增加成績距離。在三級跳遠比賽中，每跳的距離會因水平速度、垂直速度及飛程角度而有所不同，而如何減少水平速度的損失並且增加垂直速度是三級跳遠選手的重要技巧。而三級跳遠表現跟每跳的表現而息息相關，因此，如能從單腳跳-跨步跳轉換技術開始改善，對於跨步跳-跳躍轉換也會有所改善，進而提升整體表現，在如此改良的技術下女子選手突破 16m 將為期不遠（游正忠、羅元鴻，2003）。

第二節 單腳跳-跨步跳轉換技術之相關研究

三級跳遠是一項技術性高的運動項目，運動員以協調的肢體活動與單腳跳-跨步跳-跳躍轉換技術來產生每一步的成績與水平垂直速度，透過運動生物力學的研究，可以深入瞭解肢體動作的情況，提供教練理論基礎。三級跳遠的單腳跳-跨步跳轉換技術，在激活肌纖維生物化學調查顯示，最開始的力量跟 FT 纖維的百分比例有一個直接的關係 (Jürgens, 1998)，由中樞神經系統 (CNS) 管理。過去有關三級跳遠的相關研究主要有助跑對成績的影響、手臂擺動對水平和垂直速度的影響、擺動腳對水平和垂直速度的影響、三跳比率對整體成績的影響、水平-垂直速度轉換及單腳跳-跨步跳轉換等 (陳九州等, 2005; Allen et al., 2010; Hay & Miller, 1985; Krejer, 1985; Miladinov & Bonov, 2004; Yu, 1999a、b; Yu & Hay, 1995)。

從擺動手與擺動腳研究發現，在每一跳的支撐階段，透過擺動手與擺動腳的作用下，可以維持身體的平衡、減少水平速度的損失及提升垂直速度 (Hay, 1992)。三級跳遠的擺臂動作主要分為單臂擺動與雙臂擺動，Yu (1999b) 提出第三種半擺 (arm-and-half swing) 擺臂動作 (即著地瞬間為單臂擺動動作轉變成雙臂擺動動作做起跳)，單臂擺動主要作用是可延續向前的水平速度提升少許向上的垂直速度，雙臂擺動會增加向上的垂直速度減少向前水平速度 (陳九州等, 2006)，但半擺擺臂動作則會使垂直速度損失隨著水平速度損失增加而增加 (Yu, 1999b)。研究顯示改變擺臂方式有助於整體成績的提升，使用電腦最佳化模擬顯示雙臂擺動動作

提升在各跳的髖、膝和踝關節的角速度單腳跳為 5.5%，0.0%，7.8%，跨步跳為 0.6%，2.2%，5.0%，跳躍為 1.3%，8.3%，5.1% (Allen et al., 2010)。另外一個研究發現，在單腳跳，跨步跳和跳躍支撐階段的擺動手可減少重心的向前水平速度損失約 9%，16%和 19%，每個支撐階段的重心垂直速度增加約 9%。在跨步跳和跳躍支撐階段的擺動腿提供重心的垂直速度增加約 3%，在跨步跳支撐階段的手臂動作也有助於擺動腿重心的橫向（水平軸）水平速度，表示在不同支撐階段的擺動手與擺動腿可能需要做調整以獲得垂直速度並保持全身的水平速度 (Yu & Hay, 1995)。Yu (1999b) 研究指出在單腳跳及跨步跳似乎單臂擺動是最佳的擺臂動作，其主要原因為，單腳跳的起跳腳角度不宜過大，以免造成著地腳著地時的地面反作用力太大，則不利於跨步跳的起跳，間接地影響到整體成績。在單腳跳-跨步跳-跳躍的過程中，如何有效的提升垂直速度並且減少水平速度的損失，是一個重要課題。基於此原因發展出混合式手臂動作（單臂擺動-雙臂擺動-雙臂擺動），研究表示使用混合式手臂動作可提升女子三級跳遠的成績，結果顯示受試者的成績從 13.78m 進步到 14.10m (Miladinov & Bonov, 2004)。單-雙-雙的擺臂優點，是利用單腳跳的單臂擺動、平跳、速度快並且減少水平速度的損失之特性，並結合跨步跳的雙臂向前擺動，以獲得較大的向上動力增加垂直速度，（陳九州等，2006；Yu, 1999b）。

Jürgens (1998) 研究單腳跳-跨步跳技術轉換中發現，成功的轉換動作取決於速度、膝關節角度以及支撐時間。當水平、垂直速度慢、膝關節動作範圍大以及支撐時間過長，將導致跨步跳距離短，進而影響跳躍的速度。起跳角度也是單

腳跳-跨步跳技術轉換好壞因素之一，其原因為垂直速度會隨著飛程角度的增加而增加。Seo 等 (2011) 研究 2011 年世界錦標賽女子三級跳遠決賽中表示，冠軍 Saladuha 選手三跳的垂直速度為 2.22 m/s、1.62 m/s、2.29 m/s 與飛程角度變化為 15.1°、12.8°、21.2°，亞軍 Rypakova 選手各跳垂直速度為 2.03 m/s、1.51 m/s、2.13 m/s 飛程角度變化情形為 3.4°、11.0°、17.1°。游正忠 (2004) 研究臺灣 92 年全國運動會女子三級跳遠空中動作中發現，垂直速度為 2.26 m/s、1.63 m/s、2.42 m/s 飛程角度為 17.78°、13.50°、20.80°。透過世界級及國內優秀女子選手的數據發現，兩者在垂直速度增加時，飛程角度也相對增加。Yu 與 Hay (1996) 研究發現，水平速度的損失與在各跳的垂直速度的增加是呈線性關係，每跳垂直速度增加，所喪失水平速度損失的敏感度，會隨著水平-垂直速度的轉換的絕對值增加而增加。減少水平速度的損失與提升垂直速度對於三級跳遠運動員是重要，而每一跳的水平速度損失垂直速度增加與每一階段的支撐階段轉換有所影響，研究表示 2011 年世界田徑錦標賽中男子冠軍 Taylor 選手各階段水平速度的損失分別為 0.87 m/s、1.09 m/s、1.28 m/s 垂直速度為 1.78 m/s、1.92 m/s、2.43 m/s，亞軍 Idowu 選手各跳水平速度損失為 0.97 m/s、1.54 m/s、1.58 m/s 垂直速度為 2.15 m/s、2.05 m/s、2.6 m/s (Seo et al., 2011)。研究發現，水平速度的損失和垂直速度的獲得為線性相關 (Yu, & Hay, 1996)，表示水平速度的損失會隨著垂直速度的增加而增加，從上述 2011 年世界田徑錦標賽中的冠亞軍選手的數據，印證了 Yu 等的研究結果。

由於起跳腳在著地階段，因水平速度的衝量和重力的作

用，使地面產生強大的反作用力，迫使髖、膝、踝三個關節彎曲緩衝（陳九州等，2005），Perttunen, Kyrolainen, Komi, & Heinonen, (2000) 研究發現，在單腳跳著地時，支撐腳必須承受高達體重 15.2 倍的地面反作用力（垂直方向），Ramey 與 Williams (1985) 則發現到，女子選手必須承受高達體重 8.19-8.67 倍的地面反作用力（垂直方向）。而當地面反作用力負荷過大時，支撐腳膝關節角度範圍將會變大，而水平速度損失也會增加。Krejer (1985) 指出當支撐腳膝關節角度範圍超過 50° ，將導致緩衝過深時，會延遲起跳腳的推蹬，造成運動員無法進行有力的起跳，會增加水平速度的損失以及減少距離，並且無法獲得合理的垂直速度與起跳角度。最大屈膝角指的是起跳腿著地後，其膝關節最大的彎曲角度，又稱緩衝腳（陳九州等）。在 2011 年世界田徑錦標賽男子三級跳遠決賽前八名三跳的最大屈膝角度分別為：單腳跳 $137^{\circ}\sim 152^{\circ}$ 、跨步跳 $132^{\circ}\sim 145^{\circ}$ 以及跳躍 $133^{\circ}\sim 149^{\circ}$ ，女生則為： $133^{\circ}\sim 150^{\circ}$ 、 $136^{\circ}\sim 156^{\circ}$ 以及 $138^{\circ}\sim 148^{\circ}$ (Seo et al., 2011)，此結果與陳九州等研究結果相似。著地角度由於積極性著地動作的關係，來縮短著地時支撐腳和身體重心之間的距離，因此，著地角度與著地距離是相互影響。研究表示，著地距離短讓軀幹及膝關節產生前傾的特點，進而可以維持水平速度 (Tsukuno et al., 2011)。

透過上述文獻研究可發現，起跳角度、最大屈膝角、水平速度及垂直速度等任何一項因素，都會影響單腳跳-跨步跳轉換技術好壞，進而影響後二跳的表現，由此可知單腳跳-跨步跳轉換技術的好壞，對成績的影響如此之大，運動員如果能夠先將單腳跳-跨步跳技術轉換加以訓練得宜，對於跨步

跳-跳躍轉換甚至整體成績，都會有很大的進步空間。

第三節 結語

綜合相關研究文獻，影響單腳跳-跨步跳轉換動作的三個重要因素為速度、膝關節角度以及支撐時間，而彼此間的關係是相互影響的。發現在單腳跳及跨步轉換階段中，從擺臂動作會影響水平-垂直速度變化、垂直速度快慢影響飛程角度大小、膝關節動作範圍影響水平速度的損失、膝關節動作範圍越大支撐時間也就越久。因此，單腳跳-跨步跳轉換技術在三級跳遠中，是影響成績好壞的重要關鍵。

然而，現階段研究仍強調水平速度與垂直速度對於成績的重要性，但目前幾篇研究速度變化仍以助跑速度及水平-垂直速度變化為指標，但這不清楚說明動作特性，卻未結合單腳跳-跨步跳技術轉換。現階段對單腳跳-跨步跳轉換階段的相關性研究論文略少，也未探討單腳跳-跨步跳轉換階段對於成績的影響。因此，上述關於單腳跳-跨步跳轉換階段的相關問題，是值得進一步研究與釐清。

第參章 研究方法與步驟

本章分成五個部分說明：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

本研究以參加 102 年全國大專校院運動會公開女子組三級跳遠前八名選手為研究對象，其基本資料如表一。

表 3-1 受試者基本資料

受試者	身高 (cm)	體重 (kg)	年齡 (歲)	最佳成績 (m)	起跳腳
A	164	56	19	13.01	右
B	163	47	22	12.51	左
C	166	51	22	12.56	左
D	161	49	20	12.57	右
E	168	60	22	11.94	右
F	161	51	19	11.80	左
G	160	53	20	11.71	左
H	173	59	20	11.07	右
平均數	164.5	53.25	20.5	12.15	
標準差	4.38	4.68	1.31	0.63	

第二節 實驗時間與地點

一、預備實驗

時間：2013年2月7日

地點：國立臺灣體育運動大學田徑場

二、正式實驗

時間：2013年4月29日

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 數位攝影機兩部
- (二) 三腳架 (SONY VCT-870RM) 兩支
- (三) 水平儀兩個
- (四) 白板筆、板擦二組
- (五) 皮尺二卷
- (六) 立體座標架一座 (長 236cm、寬 118cm、高 175cm)
- (七) 場記板二個

二、資料處理

- (一) Kwon 3D 3.1 版動作分析系統
- (二) Microsoft Excel 2010 資料分析系統
- (三) SPSS for Windows 12.0 版統計分析軟體

第四節 實驗步驟

- 一、比賽前二小時在比賽場地看台上架設兩部攝影機，一部攝影機位於助跑道側邊，另一部則位於助跑道正面，兩台攝影機距離助跑道距離分別為 65m 及 30m，兩部攝影機主光軸對準起跳板前緣 5m 處，其夾角約為 90° 。拍攝範圍為助跑最後一步至跳躍階段起跳離地瞬間。
- 二、在比賽前一小時，拍攝立體座標架 10 秒鐘，其座標架的中心位置分別在起跳板前緣前 0.2cm 及前緣前 5.2m 處。
- 三、比賽開始兩部攝影機拍攝全部參賽選手的每次試跳過程，並紀錄試跳的成績。比賽結束後，再拍攝乙次立體座標架 10 秒。
- 四、比賽結束後，向獲得前八名選手說明本研究的目的是與內容，並給予填寫受試者同意書與基本資料，以利日後將研究結果提供給選手及教練參考。

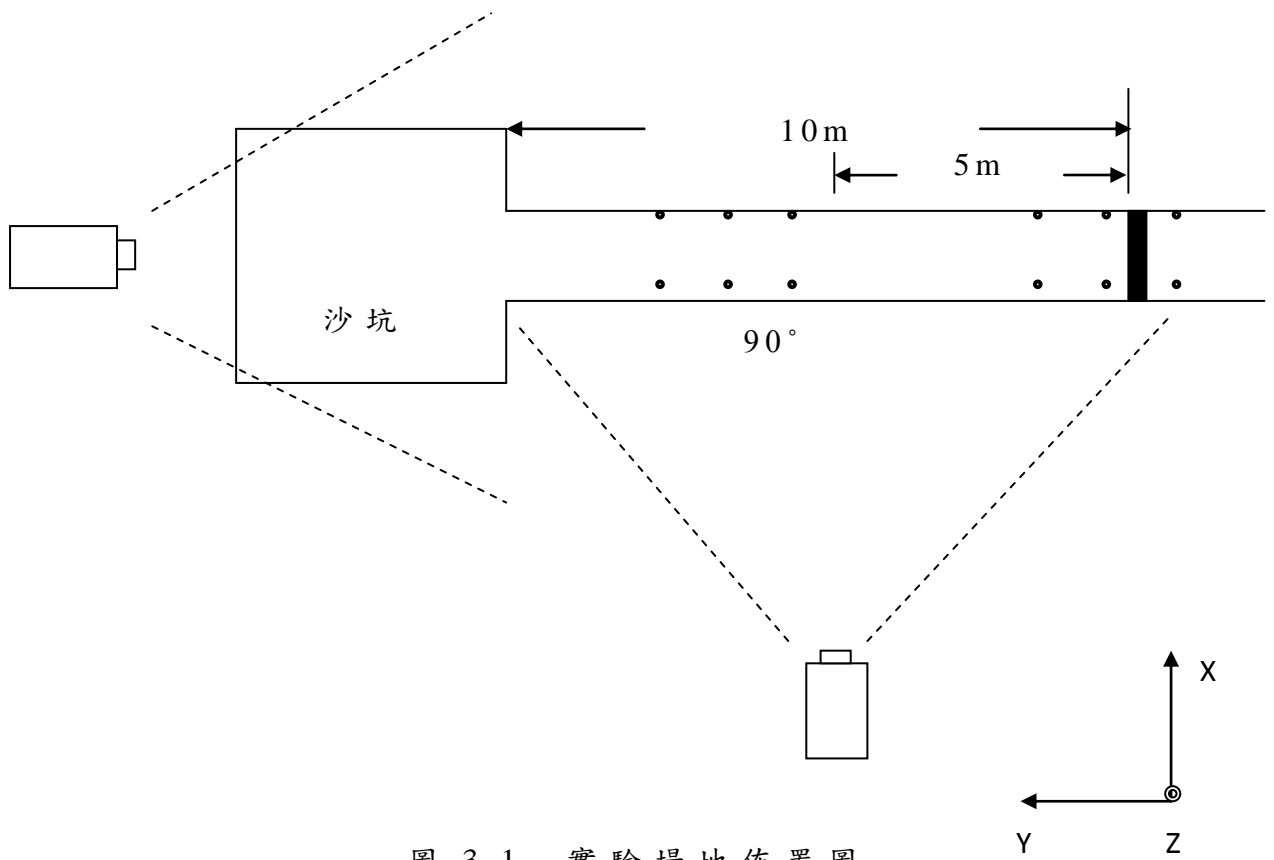


圖 3-1 實驗場地佈置圖

註：• 座標架放置位置

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，為了使擷取的資料都能相同於整個運動的時間序列，以單腳跳支撐腳著地瞬間為兩部影片同步點；擷取單腳跳起跳後在空中支撐腿前擺超越擺動腿瞬間的前十張影片到跨步跳起跳離地瞬間後十張影片進行分析，以 Kwon 3D 3.1 版動作分析軟體將擷取的影片進行數位化處理。人體肢段參數採用何維華、向子元與李超群（2005）的 14 個肢段，21 個標記點，首先以手動方式分別點取人體標記點，分別為頭頂、會陰、頸椎第七節、左肩峰、右肩峰、左橈骨頭、右橈骨頭、左橈骨莖突、右橈骨莖突、左中指末端、右中指末端、左髌前上棘、右髌前上棘、左脛骨上端、右脛骨上端、左脛骨內踝、右脛骨內踝、左腳尖、右腳尖、左腳跟、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（Cut off Frequency）設定為 6Hz。最後將修勻過的資料，利用 Kwon 3D 3.1 動作分析系統及 Microsoft Office Excel 2010 版資料分析軟體計算各項運動學參數資料。

本研究分析的運動學參數如下：單腳跳距離（單腳跳起跳離地瞬間腳尖至跨步跳起跳離地瞬間腳尖）、跨步跳距離（跨步跳起跳離地瞬間腳尖至跳躍起跳離地瞬間腳尖）、跳躍距離（跳躍起跳離地瞬間腳尖至沙坑最靠近起跳板的落地

點)、三跳比率(三跳距離佔成績的百分比)、身體重心水平速度、身體重心垂直速度、擺臂型態(雙臂擺動與單臂擺動)、著地距離(在支撐腳著地瞬間身體重心與支撐腳腳跟之間的水平距離)、起跳距離(在起跳腳離地瞬間身體重心與起跳腳腳尖之間的水平距離)、著地角度(支撐腳著地時身體重心和踝關節連線與水平面之夾角)、起跳角度(起跳腳離地時身體重心和踝關節連線與水平面所形成之夾角)、飛程角度(起跳腳離地時身體重心飛程軌跡與水平面所形成之夾角)、膝關節角度(支撐腳的大腿和小腿之間所形成的夾角)、身體軀幹前後方向傾斜角度(在矢狀面上,雙肩及雙髖中心點的連線與垂直線之間之夾角)與身體軀幹左右方向傾斜角度(在額狀面上,雙肩及雙髖中心點的連線與垂直線之間之夾角),另外再計算單腳跳-跨步跳水平速度損失率(起跳水平速度減掉著地水平速度在除於著地水平速度)。

本研究將所收集的各項運動學參數資料利用 SPSS for Windows 12.0 版統計套裝軟體以描述統計方法計算平均數與標準差,以皮爾森積差相關來分析各項運動學參數與成績以及跨步跳距離之間的相關情形,顯著水準訂為 $\alpha=.05$ 。

第肆章 結果

本研究的目的是探討女子三級跳遠選手單腳跳-跨步跳轉換動作特徵以及對成績的影響，以 102 年全國大專校運運動會大專女子甲組三級跳遠決賽前八名為研究對象。利用兩台高速攝影機蒐集在比賽中，所獲得的運動學參數。將蒐集的資料，經處理與分析後，所得的結果分為六個部分闡述：第一節為三級跳遠成績、三跳距離及三跳比率；第二節為單腳跳-跨步跳轉換階段之水平、垂直速度、速度變化及飛程角度；第三節為單腳跳-跨步跳轉換階段之著地與起跳角度、距離及踝關節速度；第四節為單腳跳-跨步跳轉換階段之膝關節角度及支撐時間；第五節為單腳跳-跨步跳轉換階段之軀幹左右與前後傾斜角度；第六節為單腳跳-跨步跳轉換階段之著地、起跳高度及變化。

第一節 三級跳遠成績、三跳距離及三跳比率

表 4-1 至 4-3 顯示，三級跳遠成績、三跳距離、三跳比率及技術類型。從表得知，單腳跳距離範圍為 4.81m 至 4.03m，平均為 4.49m，跨步跳距離範圍為 3.56m 至 2.82m，平均為 3.25m，跳躍距離範圍為 4.34m 至 3.87m，平均為 4.03m，比賽成績範圍為 12.27m 至 11.07m，平均為 11.77m。三跳比率平均為 38.14%、27.59%、34.28%，其中，單腳跳距離 ($r=.748, p=.033$) 及跨步跳距離 ($r=.847, p=.008$) 與比賽成績之間達到顯著正相關，表示距離越遠成績越遠。本研究中，前八名選手使用的技術類型以單腳跳式 6 人為最多，均

衡式 2 人，跳躍式則無人使用（如表 4-2）。前八名選手皆使用單-單-半擺之擺臂型態（如表 4-3）。

表 4-1 三級跳遠成績與三跳距離

受試者	單腳跳 (m)	跨步跳 (m)	跳躍 (m)	成績 (m)
A	4.74	3.34	4.19	12.27
B	4.78	3.39	3.92	12.09
C	4.57	3.56	3.89	12.02
D	4.22	3.36	4.34	11.92
E	4.81	3.16	3.87	11.84
F	4.39	3.32	3.92	11.63
G	4.40	3.07	3.88	11.35
H	4.03	2.82	4.22	11.07
平均數	4.49*	3.25*	4.03	11.77
標準差	0.28	0.23	0.19	0.40

*表示與比賽成績達到顯著相關 ($p < .05$)

表 4-2 三跳比率與技術類型

受試者	單腳跳(%)	跨步跳(%)	跳躍(%)	技術類型
A	38.6	27.2	34.2	單腳跳式
B	39.5	28.0	32.5	單腳跳式
C	38.0	29.6	32.4	單腳跳式
D	35.5	28.1	36.4	均衡式
E	40.6	26.7	32.7	單腳跳式
F	37.7	28.6	33.7	單腳跳式
G	38.8	27.0	34.2	單腳跳式
H	36.4	25.5	38.1	均衡式
平均數	38.14	27.59	34.28	
標準差	1.64	1.26	2.02	

*表示與比賽成績達到顯著相關 ($p < .05$)

表 4-3 三跳之擺臂型態

受試者	單腳跳	跨步跳	跳躍
A	單臂擺動	單臂擺動	半擺
B	單臂擺動	單臂擺動	半擺
C	單臂擺動	單臂擺動	半擺
D	單臂擺動	單臂擺動	半擺
E	單臂擺動	單臂擺動	半擺
F	單臂擺動	單臂擺動	半擺
G	單臂擺動	單臂擺動	半擺
H	單臂擺動	單臂擺動	半擺

第二節 單腳跳-跨步跳轉換階段之水平、垂直速度、速度變化及飛程角度

表 4-4 顯示，在單腳跳-跨步跳轉換階段的之水平、垂直速度、速度變化及飛程角度。從表得知，著地水平速度最大值為 8.03m/s，最小值為 7.28m/s，平均為 7.57m/s，起跳水平速度最大值為 7.80m/s，最小值為 6.60m/s，平均為 7.18m/s，水平速度變化範圍為 0.68m/s 至 0.15m/s，平均為 0.39m/s，水平速度損失率範圍為 2.05%至 9.34%，平均為 5.17%，全部受試者從著地水平速度到起跳水平速度皆是遞減的趨勢。起跳水平速度以 D 選手為最快，E 選手為最慢，水平速度變化以及水平速度損失率以 C 選手變化最小，E 選手變化最大。

表 4-4 單腳跳-跨步跳轉換階段之著地、起跳水平速度、水平速度變化及損失率

受試者	著地水平速度 (m/s)	起跳水平速度 (m/s)	水平速度變化 (m/s)	水平速度損失率 (%)
A	7.60	7.18	-0.42	5.53
B	7.56	7.02	-0.54	7.14
C	7.33	7.18	-0.15	2.05
D	8.03	7.80	-0.23	2.86
E	7.28	6.60	-0.68	9.34
F	7.31	7.01	-0.30	4.10
G	7.83	7.39	-0.44	5.62
H	7.64	7.28	-0.36	4.71
平均數	7.57	7.18	-0.39	5.17
標準差	0.27	0.34	0.17	2.33

*表示與比賽成績達到顯著相關 ($p < .05$)

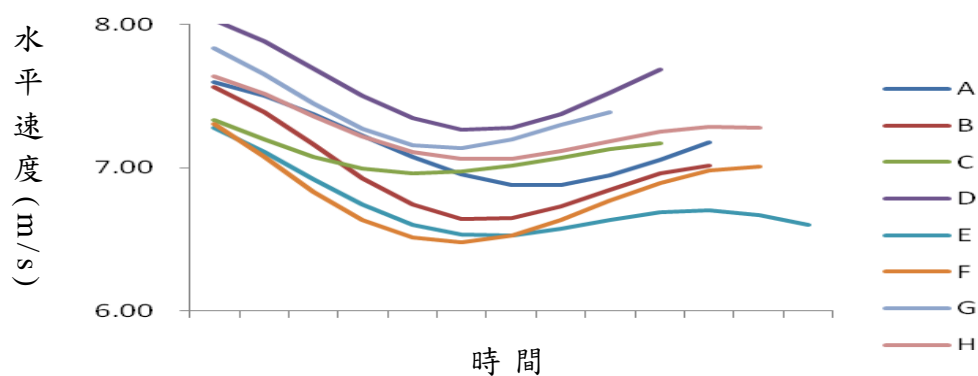


圖 4-1 前八名選手著地與起跳水平速度變化圖

表 4-5 顯示，在著地垂直速度範圍為最大值為 -1.49m/s 最小值為 -2.12m/s ，平均為 -1.81 m/s ，起跳垂直速度最大值為 1.41m/s ，最小值為 0.69m/s ，平均為 1.12m/s ，垂直速度變化範圍為 3.33m/s 至 1.59m/s ，平均為 2.83m/s ，飛程角度範圍為 12.34° 至 5.39° ，平均為 9.36° ，其中，起跳垂直速度與跨步跳距離之間達到顯著正相關 ($r=.842, p=.009$)，表示起跳垂直速度越快跨步跳距離越遠。飛程角度與跨步跳距離之間達到顯著正相關 ($r=.924, p=.001$)，表示飛程角度越大跨步跳距離越遠。全體受試者的飛程角度隨著垂直速度增加而增加。起跳垂直速度以 C 選手為最快，飛程角度為 C 選手為最大，H 選手兩者皆為最小，D 選手垂直速度變化最小，B 選手為最大。

表 4-5 單腳跳-跨步跳轉換階段之著地、起跳垂直速度、速度變化及飛程角度

受試者	著地垂直 速度 (m/s)	起跳垂直 速度 (m/s)	垂直速度 變化 (m/s)	飛程角度 (°)
A	-1.99	1.24	3.23	9.77
B	-1.97	1.36	3.33	10.96
C	-1.70	1.41	3.11	12.34
D	-1.53	1.06	1.59	9.12
E	-2.12	0.87	2.99	7.54
F	-1.93	1.36	3.29	10.95
G	-1.48	1.15	2.63	8.81
H	-1.78	0.69	2.47	5.39
平均數	-1.81	1.14#	2.83	9.36#
標準差	0.23	0.26	0.59	2.19

#表示與跨步跳距離達到顯著相關 ($p < .05$)

註：負值表示垂直速度向下

第三節 單腳跳-跨步跳轉換階段之著地與起跳角度、距離及踝關節速度

表 4-6 顯示，前八名選手在踝關節速度範圍為 -4.82m/s 至 -1.44m/s ，平均為 -3.19m/s ，著地角度範圍為 76.04° 至 67.36° ，平均為 72.45° ，著地距離範圍為 0.34m 至 0.22m ，平均為 0.26m ，起跳角度範圍為 51.53° 至 41.02° ，平均為 46.30° ，起跳距離範圍為 0.80m 至 0.49m ，平均為 0.63m 。其中，著地角度與比賽成績之間 ($r=-.905, p=.002$) 及跨步跳成績之間 ($r=-.709, p=.049$) 達到顯著負相關，表示著地角度越小成績越遠。著地距離與比賽成績之間達到顯著正相關 ($r=.867, p<.005$)。全體受試者有著起跳角度越小起跳距離就越多，著地角度越大著地距離越少的趨勢。

表 4-6 單腳跳-跨步跳轉換階段之踝關節速度、著地角度及距離

受試者	踝關節 速度 (m/s)	著地角度 (°)	著地距 離 (m)	起跳角 度 (°)	起跳距 離 (m)
A	-4.82	67.36	0.34	50.86	0.57
B	-3.95	71.15	0.28	45.94	0.63
C	-3.77	71.37	0.27	50.43	0.56
D	-1.44	71.90	0.26	43.45	0.60
E	-2.47	73.84	0.25	41.02	0.74
F	-2.12	73.45	0.24	43.84	0.70
G	-3.07	74.51	0.23	51.53	0.49
H	-3.89	76.04	0.22	43.30	0.80
平均數	-3.19	72.45*#	0.26*	46.30	0.63
標準差	1.12	2.65	0.04	4.08	0.10

*表示與比賽成績達到顯著相關 ($p < .05$)

#表示與跨步跳距離達到顯著相關 ($p < .05$)

註：負值表示踝關節向後動作

第四節 單腳跳-跨步跳轉換階段之膝關節角度及支撐時間

表 4-7 顯示，前八名選手在著地膝關節角度範圍為 154.37° 至 142.80° ，平均為 150.26° ，最小膝關節角度範圍為 135.16° 至 116.34° ，平均為 122.77° ，起跳膝關節角度範圍為 166.87° 至 136.55° ，平均為 152.79° ，膝關節角度變化範圍為 70.00° 至 35.02° ，平均為 57.90° ，其中 A、B 與 E 選手是著地比起跳的角度大，其餘皆是起跳比著地角度大的趨勢。動作範圍以 B 選手最大，G 選手最小。

表 4-7 單腳跳-跨步跳轉換階段之膝關節角度

受試者	著地 膝關節角度 ($^{\circ}$)	膝關節角度 最小值($^{\circ}$)	起跳 膝關節角度 ($^{\circ}$)	動作範圍 ($^{\circ}$)
A	154.37	122.90	152.33	60.90
B	152.51	116.34	150.17	70.00
C	149.91	125.58	166.87	65.62
D	149.66	117.27	152.86	67.98
E	149.98	120.83	136.55	44.87
F	142.80	116.73	153.31	65.73
G	150.45	135.16	154.89	35.02
H	152.38	127.34	155.37	53.07
平均數	150.26	122.77	152.79	57.90
標準差	3.44	6.48	8.28	12.50

從表 4-8 得知，前八名選手在著地至最小膝關節角度的範圍為 0.08s 至 0.05s，平均為 0.07s，在最小膝關節角度至離地的範圍為 0.12s 至 0.08s，整體平均為 0.10s，在單腳跳-跨步跳轉換動作的支撐時間範圍為 0.20s 至 0.13s，平均為 0.17s，在支撐時間 C、D 及 G 選手低於平均值。

表 4-8 單腳跳-跨步跳轉換動作之支撐時間

受試者	著地瞬間至最小膝關節角度的時間 (s)	最小膝關節角度至離地瞬間的時間 (s)	支撐時間 (s)
A	0.08	0.08	0.17
B	0.08	0.08	0.17
C	0.07	0.08	0.15
D	0.07	0.08	0.15
E	0.08	0.12	0.20
F	0.07	0.12	0.18
G	0.05	0.08	0.13
H	0.07	0.12	0.18
平均數	0.07	0.10	0.17
標準差	0.01	0.02	0.02

從表 4-9 得知，前八名選手在著地膝關節最大角度速平均為 -508.71deg/s ，前八名皆為負值，起跳膝關節最大角度速平均為 499.63deg/s ，前八名皆為正值。

表 4-9 單腳跳-跨步跳轉換階段之膝關節角速度

受試者	著地	起跳
	膝關節最大角速度 (deg/s)	膝關節最大角速度 (deg/s)
A	-495.07	476.11
B	-576.47	537.90
C	-494.67	669.28
D	-636.55	582.74
E	-509.30	380.29
F	-478.64	523.64
G	-337.53	385.41
H	-541.45	441.69
平均數	-508.71	499.63
標準差	86.68	99.23

第五節 單腳跳-跨步跳轉換階段之軀幹左右與前後傾斜角度

表 4-10 顯示，前八名選手的著地軀幹左右傾斜角度範圍為 17.95°至 8.24°，平均為 13.09°，起跳軀幹左右傾斜角度範圍為 8.08°至 0.86°，平均為 3.85°，在動作範圍最大值為 14.35°，最小值為 5.84°，平均為 9.23°，全體受試者在著地時皆傾斜於支撐腳方向，其中左右傾斜角度範圍最小的為 D 選手。

表 4-10 軀幹左右傾斜角度

受試者	支撐腳	著地 軀幹左右傾 斜角度(°)	起跳 軀幹左右傾 斜角度(°)	動作範圍 (°)
A	右	8.43	0.86	7.48
B	左	16.38	7.79	8.59
C	左	17.95	8.08	9.87
D	右	8.24	2.40	5.84
E	右	16.64	2.29	14.35
F	左	10.73	1.73	9.00
G	左	12.24	5.16	7.08
H	右	14.11	2.48	11.63
平均數		13.09	3.85	9.23
標準差		3.77	2.80	2.73

註：正值表示傾斜支撐腳方向，負值表示傾斜擺動腳方向

表 4-11 顯示，前八名選手的著地瞬間軀幹前後傾斜角度範圍為 10.88° 至 -5.66° ，平均為 4.47° ，起跳軀幹前後傾斜角度範圍為 17.23° 至 16.87° ，平均為 10.68° ，在軀幹前後傾斜動作範圍最大值為 19.43° ，最小值為 1.19° ，平均為 8.24° ，全部受試者中，E 選手在著地時軀幹向後傾斜，有兩位受試者在著地時軀幹向前傾斜比起跳時多其餘皆是起跳時比著地多，其中軀幹前後傾斜動作範圍最大為 E 選手，C 選手傾斜角度為最小。

表 4-11 軀幹前後傾斜角度

受試者	支撐腳	著地時	起跳時	動作範圍 ($^{\circ}$)
		軀幹前後	軀幹前後	
		傾斜角度($^{\circ}$)	傾斜角度($^{\circ}$)	
A	右	2.86	17.23	14.37
B	左	10.88	8.58	2.30
C	左	6.52	7.71	1.19
D	右	6.37	16.87	10.50
E	右	-5.66	13.77	19.43
F	左	1.28	4.05	2.77
G	左	6.98	1.20	5.78
H	右	6.55	16.10	9.55
平均數		4.47	10.68	8.24
標準差		5.00	6.18	6.44

註：正值表示軀幹向前傾斜，負值表示軀幹向後傾斜

第六節 單腳跳-跨步跳轉換階段之著地、起跳高度及變化

表 4-12 顯示，著地高度範圍為 0.92m 至 0.80m，平均為 0.87m，身體重心高度最低點範圍為 0.78m 至 0.89m，平均為 0.84m，起跳高度範圍為 0.94m 至 0.80m，平均為 0.90m，身體重心高度變化範圍範圍為 0.05m 至 0.14m，平均為 0.09m，著地-起跳高度差範圍為 -0.03m 至 0.12m，平均為 0.04m，其中，D、E 及 H 選手著地高度比起跳高度高。

表 4-12 著地、起跳高度及變化

受試者	著地高度 (m)	身體重心高度最低點 (m)	起跳高度 (m)	身體重心高度變化範圍 (m)	著地-起跳高度差 (m)
A	0.84	0.82	0.94	0.14	0.10
B	0.85	0.81	0.89	0.12	0.04
C	0.91	0.89	0.95	0.08	0.04
D	0.81	0.78	0.80	0.05	(0.01)
E	0.91	0.87	0.88	0.05	(0.03)
F	0.87	0.84	0.90	0.09	0.03
G	0.80	0.78	0.92	0.14	0.12
H	0.92	0.89	0.91	0.05	(0.01)
平均數	0.86	0.84	0.90	0.09	0.04
標準差	0.05	0.05	0.05	0.04	0.05

註：() 括號代表起跳高度低於著地高度

第五章 討論

本章分為兩個部分進行討論。第一節為單腳跳-跨步跳轉換動作特徵，第二節為影響三級跳遠成績與跨步跳距離的運動學參數。

第一節 單腳跳-跨步跳轉換動作特徵

三級跳遠是透過不同形式的騰空階段表現出跳躍的特色(許樹淵, 1992)，三級跳遠的技術由助跑、單腳跳、跨步跳及跳躍所組合而成，表示成績是由三個距離所加起來的總合，但三跳距離並不是影響成績好壞的重要因素(張立群, 2003)，選手只強調某一階段的距離，對於成績不會有所幫助，而是要分配好每一跳的距離。綜合過去研究發現，良好的單腳跳-跨步跳轉換動作必須具備以下條件：減少單腳跳-跨步跳轉換過程中重心水平速度的損失；縮小身體重心左右移動的變化範圍；採用幅度較小的積極性著地動作；最大屈膝角不應小於 $135^{\circ}\sim 140^{\circ}$ 之最佳伸膝發力角度(陳九州等, 2005; Susanka et al., 1987)。

每跳的距離均由起跳距離、空中距離與著地距離所構成(Hay, 1992; Brüggemann, 1990)。每一跳的距離是形成三級跳遠的成績，從拋物線原理得知，起跳的速度、角度與高度，皆會影響每一跳的距離，而最直接影響是起跳速度，由起跳的水平速度與垂直速度所構成。從助跑中獲得的水平速度進入起跳，是影響成績的開始(許樹淵, 1992; 張立群, 2004; Panoutsakopoulos & Kollias, 2008; Susanka et al., 1987; Yu,

1999a、b; Yu & Hay, 1996)。選手在助跑中所獲得的水平速度會隨著每一跳的著地而減少水平速度，如果在支撐階段的水平速度損失太多會導致縮短整體的距離成績。

本研究單腳跳距離與跨步跳距離皆與比賽成績達到顯著相關，過去研究發現，男子單腳跳距離與成績達顯著相關 (Brüggenmann, 1990)，也有三跳的距離與成績之間沒有顯著相關發現 (Hay, 1999; Hay & Miller, 1985)，在游正忠與陳建勳 (1997) 研究國內男女三級跳遠的三跳距離成績中，女子選手在跨步跳及跳躍距離與成績達到顯著相關。表示，從過去到現在，女子三級跳遠必須增加跨步跳距離可增加比賽成績。

本研究受試者較多以單腳跳式的技術類型為主，在 2009 年世界田徑錦標賽 (Mendoza et al., 2009) 與 2011 年世界田徑錦標賽 (Seo et al., 2011) 的女子選手也是以單腳跳式的技術類型較多，表示與世界級選手的技術類型趨勢是相似的。現今男女三級跳遠世界紀錄，男生是以跳躍式技術類型 (34%、30%、36%) 所創下的 (宋亮、李文東、宋惠娟，2006)，女生是以平衡式技術類型 (36.3%、27.2%、36.5%) 所創下的 (游正忠、羅元鴻，2003)。目前並沒有研究指出一個適合所有選手的最佳化之三跳比率，比率會隨著運動員的體型、助跑速度和下肢力量等而有所不同 (Hay, 1992)。Seo 等人 (2011) 研究指出，女子選手讓跨步跳階段以一種過渡或戰略的方式來處理，其主要特徵是飛程角度小，使地面反作用力小，以利下一跳的起跳，而這種利用縮短跨步跳距離來增加跳躍距離是早期及初學者選手所使用的技術類型。本研究中 H 選手原本是短跑選手，此次是第一次參加三級跳遠比賽，

三跳比率為 36.4%、25.5%、38.1%，跨步跳比率僅 25.5% 顯示該選手將跨步跳作為一種過渡階段，即透過縮短跨步跳距離（其中跨步跳距離 2.82m 為所有選手中最近的），進而增加跳躍距離（跳躍距離 4.22m 為所有選手中距離第二遠的）來增加自己的成績。研究發現，三跳比率會隨著水平速度的減少和垂直速度的增加之間有顯著相關，表示水平-垂直速度的轉換是影響成績的一個重要因素，而每個運動員的最佳三跳比率都不相同。本研究中的跨步跳距離與過去研究相對來的短（Yu, 1999a）。

Jürgens (1998) 研究指出，速度、膝關節角度以及支撐時間是影響單腳跳-跨步跳轉換動作的關鍵因素，當水平、垂直速度慢、膝關節動作範圍大以及支撐時間過長，將會縮短跨步跳的距離。從拋物線原理得知，起跳速度與角度會影響每一跳的距離，而影響最大的是起跳速度，是由起跳水平速度與垂直速度所構成的。Hay 與 Miller (1985) 研究表示，起跳水平速度及起跳垂直速度越快，所產生的距離就會越遠。而垂直速度會隨著飛程角度的增加而增加（游正忠，2004）。本研究結果顯示，在單腳跳-跨步跳轉換動作的起跳水平速度 $7.18 \pm 0.34 \text{ m/s}$ 雖較游正忠 (2004) 研究 $6.79 \pm 0.31 \text{ m/s}$ 快，但起跳垂直速度 $1.14 \pm 0.26 \text{ m/s}$ 以及飛程角度 $9.36 \pm 2.19^\circ$ 則較小於游正忠研究的 $1.63 \pm 0.48 \text{ m/s}$ 與 $13.50 \pm 3.77^\circ$ 。雖然水平速度快但提昇拋物線弧度的垂直速度與飛程角度卻過小，因此，跨步跳距離相對會比較短。本研究飛程角度比 Krejer (1985) 提出的跨步跳最佳飛程角度 $14^\circ \sim 15^\circ$ 範圍小。Yu (1999b) 研究指出，雙臂擺動動作能有效增加垂直速度。由於本研究受試者在跨步跳階段使用單臂擺動動作的關係，在垂直速度的

提升較雙臂擺動少。Miladinov 與 Bonov (2004) 研究指出，在三跳過程中使用混合式（單-雙-雙）擺臂動作可有效提升女子三級跳遠的成績。主要是在跨步跳階段利用雙臂擺動動作，提升垂直速度及飛程角度的關係，進而增加跨步跳的距離。因此，選手必須要選擇自己本身適合的每一跳的飛程角度，當飛程角度越大，在著地時所承受的地面反作用力就越大，當選手自身肌力無法負荷時，會導致支撐腳膝關節彎曲過深。本研究支撐階段最小膝關節角度平均為 $122.77 \pm 6.48^\circ$ ，本研究中僅 F 選手的最小膝關節角度與陳九州等 (2005) 研究最小膝關節角度 $135^\circ \sim 140^\circ$ 結果相似，其餘的皆小於這範圍。本研究的最小膝關節角度大多小於這範圍，導致膝關節變化過大，因此，容易造成水平速度損失多，進而影響整體成績。Krejer (1985) 研究指出，支撐腳膝關節動作範圍不可超過 50° 。當膝關節彎曲過深時會增加水平速度的損失並且無法獲得合理的垂直速度與飛程角度（陳九州等，2006；游正忠，2004）。本研究膝關節動作範圍為 35.05° 至 70.00° ，其中僅有 E 與 G 選手未超過，其餘皆超過 Krejer 研究，顯示本研究受試者在支撐階段會損失較多的水平速度而影響成績。雖然增加飛程角度會增加距離，但並非越大越好，Perttunen 等人 (2000) 研究發現，單腳跳著地時垂直方向的地面反作用力為體重 15.2 倍、水平方向為 7 倍以及 Ramey 與 Williams (1985) 研究指出，女子單腳跳著地瞬間垂直方向的地面反作用力為體重為 8.19-8.67 倍。由於下肢要承受如此大的負荷，因此如何減少水平速度的損失是一個重要關鍵。Tsukuno 等人 (2011) 研究世界級女子三級跳遠選手起跳動作中指出，當著地垂直速度小，可使地面衝擊力較

小及減少水平速度的損失。本研究著地垂直速度 $-1.81 \pm 0.23 \text{m/s}$ 及水平速度變化 $0.39 \pm 0.17 \text{m/s}$ 較 Panoutsakopoulos 與 Kollias (2008) 研究世界級女子選手 $-3.55 \pm 0.3 \text{m/s}$ 與 $0.46 \pm 0.2 \text{m/s}$ 小，表示本研究的地面衝擊力較小及讓水平速度損失更小。雖然本研究的膝關節動作範圍大，但本研究受試者的助跑速度、垂直速度、飛程角度小而導致跨步跳距離短以及使用單臂擺動動作的關係，因為速度慢以及角度小導致產生的地面反作用力小以及單臂擺動皆是減少水平速度損失的緣故 (Yu, 1999a)，因此這可能是導致本研究水平速度損失較小的因素，而影響水平速度損失的因素是相互聯繫的，當膝關節變化大以及支撐時間長都是會增加水平速度損失。由於本研究未獲得單腳跳階段的數據，因此，本研究的水平速度變化定義是著地瞬間到起跳瞬間的水平速度的差值，而過去研究的定義是跨步跳階段的起跳水平速度與單腳跳階段的起跳水平速度的差值，因此本研究結果和 2011 年世界田徑錦標賽 (Seo et al., 2011) 與 2009 年世界田徑錦標賽 (Mendoza et al., 2009) 的運動生物力學研究報告的水平變化分別為 $0.76 \pm 0.44 \text{m/s}$ 及 $0.70 \pm 0.18 \text{m/s}$ 有很大的不同

Koh 與 Hay (1990b) 研究指出，著地時踝關節的水平速度負值越大，可減少水平速度損失及獲得較遠的實際距離，運動員在單腳跳著地前加強積極性著地的動作將會有助於跨步跳距離的提升。Miller 與 Bennet (1991) 研究指出，當著地距離大，在著地時會容易產生煞車效果，造成水平速度的損失過多且不利於起跳，進而使腳後跟受傷。因此，運動員為了降低水平速度損失，支撐腳會在著地前向後及向下抓地 (積極性著地動作)，如此可縮短著地時支撐腳和身體重心之

間的距離（著地距離），進而減少著地時的地面反作用力，並且縮短支撐時間，來降低各跳水平速度的損失（Koh & Hay, 1990a），這表示著地前能積極地做著地動作將會有效的縮短著地距離。本研究的踝關節水平速度 $-3.19 \pm 1.12 \text{m/s}$ 較 Panoutsakopoulos 與 Kollias (2008) 的踝關節水平速度 $-1.39 \pm 0.34 \text{m/s}$ 大，表示本研究較積極做著地動作，相對本研究的著地距離 0.26 ± 0.04 也會較 $0.51 \pm 0.07 \text{m}$ 短以及水平速度的損失 $0.39 \pm 0.17 \text{m/s}$ 也較 $0.46 \pm 0.2 \text{m/s}$ 少。由於本研究的踝關節水平速度與過去研究皆呈現為負值，表示積極性著地動作的特徵與 Koh 與 Hay (1990b) 研究是相似的。

游正忠 (2004) 指出起跳瞬間膝關節未蹬伸完全，將會導致推蹬時間短、起跳不完全及起跳距離短，而增加跨步跳起跳距離將可增加跨步跳距離，其主要是因為增加起跳距離，將可增加支撐階段後半段的推蹬時間，在推蹬力量提升下，距離將獲得增加。本研究起跳距離為 $0.65 \pm 0.11 \text{m}$ 較游正忠 (2004) 研究女子起跳動作中的起跳距離 $0.42 \pm 0.07 \text{m}$ 遠。而本研究起跳瞬間膝關節角度平均為 $152.79 \pm 8.28^\circ$ ，僅有 C 選手的起跳瞬間膝關節角度 166.86° 與游正忠 (2004) 研究女子起跳膝關節角度研究結果 $165.43 \pm 11.59^\circ$ 相似，其餘皆小於此結果。Panoutsakopoulos 與 Kollias (2008) 研究指出增加成績的因素之一是要有較短的支撐時間。由於本研究的膝關節角度動作範圍大以及起跳距離遠的關係，因此在支撐階段的支撐時間 $0.17 \pm 0.02 \text{s}$ 也會比 Panoutsakopoulos 與 Kollias 的研究 $0.14 \pm 0.01 \text{s}$ 久。本研究由於支撐時間長，所以起跳距離也較遠，但起跳膝關節角度又小於游正忠 (2004) 的研究，因為支撐時間長與起跳膝關節角度小的關係，這可能是

導致跨步跳距離短的因素。Brüggemann (1990) 研究發現，在跨步跳階段重心變化幅度最大，主要是著地時支撐腳承受地面反作用力是三跳裡面最大的。研究發現，跨步跳起跳時重心低，是為了減少水平速度的損失，而身體過度朝前以及支撐負荷大的，會導致重心高度較低 (Hay & Miller, 1985)。本研究結果發現，僅 D、E 及 F 選手的著地高度比起跳高度高，和 Hay 與 Miller 研究相似。本研究起跳高度為 $0.90 \pm 0.05\text{m}$ ，較游正忠 (2004) 研究的起跳高度 $0.95 \pm 0.04\text{m}$ 低。而起跳高度會隨著受試者身高、起跳膝關節角度以及起跳距離而改變，表示身高矮、起跳膝關節角度小以及起跳距離遠，都會讓起跳高度較低，本研究受試者都較游正忠的研究中，身高矮 ($170 \pm 0.06\text{m}$)、起跳膝關節角度小 ($165.43 \pm 11.59^\circ$) 以及起跳距離大 ($0.42 \pm 0.07\text{m}$)，因此造成起跳高度較低的緣故。

雖然本研究的起跳水平速度、水平速度損失、踝關節速度、著地距離以及起跳距離雖然都優較過去研究，是因為選手所跳的距離短、水平與垂直速度較慢以及負荷較小時，所以會比較容易執行動作，因此才會出現部分數據比世界級選手還要好。雖然這些數據都優於過去研究，但影響距離的水平與垂直速度慢以及選手肌力不足，所以並不會因此提升整體的成績。而在 Jürgens (1998) 指出影響單腳跳-跨步跳轉換技術的三個因素：速度快、膝關節動作範圍小以及支撐時間短，發現本研究垂直速度慢、膝關節動作範圍大以及支撐時間長，與 Jürgens 研究不同，因此可能造成跨步跳距離近的關係。

本研究身體軀幹左右傾斜角度範圍為 $9.23^\circ \pm 2.73^\circ$ ，其中

D 選手為變化幅度最小，而 A 選手在起跳瞬間，身體軀幹左右傾斜角度接近中心 0 度，因此 A 選手應為最好，主要是因為在起跳時軀幹接近中心點時，身體為平衡狀態，有效維持水平速度及提升垂直速度，並有助於提升跨步跳距離。本研究軀幹前後傾斜動作範圍為 1.19° 至 19.43° ，全部受試者中，僅以 E 選手在著地時軀幹向後傾斜，其中軀幹前後傾斜動作範圍最大為 E 選手，C 選手軀幹前後傾斜角度為最小。在 2011 年世界田徑錦標賽中，著地時軀幹向前傾斜的人居多，在軀幹前後傾斜動作範圍為 1° 至 17° (Seo et al., 2011)，與本研究結果相似。由於，目前沒有文獻證實影響成績的軀幹前後傾斜的變化幅度的範圍，而本研究的結果發現，軀幹前後傾斜與成績間未達顯著相關。

第二節 影響三級跳遠成績與跨步跳距離的運動學參數

三級跳遠的成績，是單腳跳、跨步跳及跳躍距離的總和，從助跑速度、起跳階段、飛程階段及支撐階段中的水平速度、垂直速度及各關節角度，皆是影響最後成績的因素。

本研究結果顯示有四個參數與成績達到顯著相關，分別為單腳跳距離、跨步跳距離、著地角度及著地距離。本研究中跨步跳距離與成績達到顯著相關此結果與游正忠（2004）研究發現相似。本研究受試者跨步跳比率較世界級選手少，可能是本研究選手肌力較小，為了避免增加跨步跳距離導致縮短跳躍距離的情況發生，因此選擇讓跨步跳距離以過渡的方式進行。Koh 與 Hay（1990a）研究表示，運動員著地前的積極性著地動作，它是縮短著地時支撐腳和身體重心之間的距離。表示著地角度與著地距離兩者之間是息息相關並相互影響（附錄十二）。本研究中著地角度與成績達到顯著負相關，著地距離達到顯著正相關。但本研究受試者因水平速度較慢的緣故，因此在執行動作比較容易，所以會造成成績較短的選手是著地角度大以及著地距離短的現象。而本研究由於樣本數較少也可能是形成與成績達顯著相關的關係。

本研究也針對影響跨步跳距離的運動學參數進行分析，本研究結果顯示有三個參數與跨步跳距離達到顯著相關，分別為起跳垂直速度、飛程角度及著地角度。其中，著地角度在比賽成績與跨步跳距離皆達到顯著負相關。起跳垂直速度與飛程角度與跨步跳距離達到顯著正相關，由於拋物線原理表示當水平與垂直速度快以及飛程角度大之下，就會形成距

離較遠。然而並非是要速度要達到最快角度要最大，而是要合理的起跳垂直速度及飛程角度，主要是當騰空過高時，支撐腳承受的負荷也就會越大，促使水平速度損失過多，不利於下一跳的起跳 (Perttunen et al., 2000)。

另外，本研究也針對影響水平速度損失的運動學參數進行分析，本研究結果顯示起跳膝關節角度與水平速度損失達到顯著負相關 (附錄十一)。但實際上影響水平速度損失的參數並非只有一項，當支撐腳接觸地面的時間越長，水平速度也會損失越多，會產生此結果，可能是因為本研究的樣本數少的關係。

然而，本研究僅四個參數與成績達到顯著相關，其它參數未與成績達到顯著相關，是由於本研究受試者皆是大專優秀選手，選手彼此同質性高差異不大以及受試者人數少的緣故，這可能是導致參數間的顯著性不高，雖然本研究未發現其他參數與成績的相關性，但對於各階段距離而言這些參數對成績好壞的影響還是相當重要的。

第陸章 結論與建議

本研究目的是探討女子三級跳遠單腳跳-跨步跳轉換階段對於成績的影響，探求影響成績的關鍵運動學參數。根據研究的結果與討論後，總結研究的發現，並對於後續的研究提供可行的建議。

第一節 結論

在三級跳遠單腳跳-跨步跳轉換動作中發現，本研究受試者在部分運動學參數雖然較優於過去研究，這是因為跳的成績短、速度較慢以及可能所承受的反作用力較小的緣故。雖然受試者的成績近，但在單腳跳-跨步跳轉換動作特徵中發現，著地-起跳水平速度是遞減、飛程角度隨著垂直速度增加而增加、著地前支撐腳有積極地做著地動作以及軀幹左右傾斜角度範圍是跟世界級選手是有相似，技術種類也是以單腳跳式為主的趨勢。

在影響成績與跨步跳距離的運動學參數中發現，與比賽成績達到顯著相關的參數有四個，單腳跳距離、跨步跳距離以及著地距離達到顯著正相關，著地角度達到顯著負相關。與跨步跳距離達到顯著相關的參數有三個，起跳垂直速度與飛程角度達到顯著正相關，而著地角度在比賽成績與跨步跳距離皆達到顯著負相關。

第二節 建議

基於 Jürgens (1998) 研究單腳跳-跨步跳技術轉換的理論，本研究受試者，為了要增加跨步跳距離，必須要提升水平速度以及垂直速度、縮短支撐時間以及支撐腳膝關節角度範圍低於 50° 。當選手速度提升時，支撐腳在著地時獲得較大的負荷，因此，選手同時增加支撐腳的肌力，可讓支撐腳承受較大的反作用力，也會降低著地時膝關節角度範圍。

本研究的單腳跳-跨步跳轉換動作特徵、三跳比率及影響成績的運動學參數與過去研究相似，但在軀幹前後傾斜角度在過去研究中並未有詳細的解說，在跨步跳-跳躍轉換動作特徵是否與單腳跳起跳轉換動作特徵是否與本研究有所差異，未來可以探討助跑-單腳跳轉換動作與跨步跳-跳躍轉換動作對於成績及距離的影響，特徵是否會有所不同。此外，本研究為女子選手，對於未來可比較性別上的差異。最後，本研究是以全國大專校院的女子選手為主，對於未來可以在探討全國運動會的女子選手的轉換動作。

參考文獻

一、中文部分

- 田兆鐘 (1995)。康利的成功給我們的啟示。《田徑》，1，71-75。
- 宋波 (2007)。三級跳遠中第二步為什麼騰不起來。《田徑》，8，48-49。
- 宋亮、李文東、宋惠娟 (2006)。愛德華茲三級跳遠技術的運動學分析。《體育成人教育學刊》，22(2)，67-68。
- 何維華、相子元、李超群 (2005)。應用核磁共振法建立台灣女性人體肢段參數之研究 (行政院國家科學委員會 NSC93-2320-B-154-002-)。台北市：行政院國家科學委員會。
- 高玉娟、黃長福 (2011)。女子三級跳遠選手助跑與踏板起跳階段技術分析。《輔大體育學刊》，10，1-12。
- 許樹淵 (1992)。《田徑論》。台北：偉彬體育研究社。
- 張立群 (2003)。三級跳遠之三跳比率。《教練科學》，2，278-291。
- 張立群 (2004)。三級跳遠技術之生物力學研究。《台南女子技術學院學報》，23，577-594。
- 游正忠、陳建勳 (1997)。國內優秀男女三級跳遠選手三段距離成績之分析。《體育學報》，24，98-107。
- 游正忠、羅元鴻 (2003)。現今女子三級跳遠技術類型與未來發展之分析。《嘉大體育健康休閒》，2，118-122。
- 游正忠 (2004)。國內優秀女子三級跳遠選手空中動作運動學分析。中華民國大專院校九十三年度體育學術研討會專刊 (頁 247-259)。台北市：輔仁大學。

- 游正忠(2007)。三級跳遠選手助跑速度與身體重心縱移幅度之分析。輔仁大學體育學刊，6，101-112。
- 陳九州、王淑華、陳志中(2005)。優秀三級跳遠選手的技術特徵與訓練重點。北體學報，13，305-318。
- 陳九州、王淑華、邱俊璟(2006)。三級跳遠各階段之動作流程及技術要領。北體學報，14，1-12。
- 曾立火(1999)。國內優秀女子三級跳遠運動員速度指標比較。上海體育學院學報，24，20-22。

二、英文部分

- Allen, S. J., King, A., & Yeadon M. R. (2010). Is a single or double arm technique more advantageous in triple jumping. *Journal of Biomechanics*, 43, 3156-3161.
- Brüggemann, G. P. (1990). Biomechanical analysis of the triple jump. In G. P. Brüggemann, & B. Glad (Eds.), *International Amateur Athletic Federation Scientific research project at the games of the XXIV Olympiad -Seoul 1988: final report* (pp.306-362). Seoul: International Athletic Foundation.
- Brüggemann, G. P., & Arampatzis, A. (1999). Triple jump. In G. P. Brüggemann, D. Koszewski, & H. Muller (Eds.). *Biomechanical research project Athens 1997: final report* (pp. 114-129). Maidenhead: Meyer & Meyer Sport.
- Hay, J. G., & Miller, J. A. (1985). Techniques used in triple jump. *International Journal of Sport Biomechanics*, 1,

185-196.

- Hay, J. G. (1992). The biomechanics of the triple jump: A review. *Journal of Sports Sciences*, *10*, 343-378.
- Hay, J. G. (1999). Effort distribution and performance of Olympic triple jumpers. *Journal of Applied Biomechanics*, *15*, 36-51.
- Jürgens, A. (1998). Biomechanical investigation of the transition between the hop and the step. *New Studies in Athletics*, *13*(4), 29-39.
- Koh, T. J., & Hay, J. G. (1990a). Landing leg motion and performance in the horizontal jumps. I : The long jump. *International Journal of Sport Biomechanics*, *6*, 343-360.
- Koh, T. J., & Hay, J. G. (1990b). Landing leg motion and performance in the horizontal jumps. II : The triple jump. *International Journal of Sport Biomechanics*, *6*, 361-372.
- Krejer, V. (1985). The run-up and the take-off in triple jump. *Modern Athlete and Coach*, *23*(1), 17-19.
- Kreyer, V. (1993). About the female triple jump. *Modern Athlete and Coach*, *31*(1), 13-17.
- Mendoza, L., Nixdorf, E., Isele, R., & Günther, C. (2009). Scientific Research Project Biomechanical Analyses at the 12th IAAF Championships in Athletics: Final report triple jump. Retrieved from German Athletics Federation web site:
<http://www.iaaf.org/download/download?filename=bc07d8b6-0668-4ab9-b4a8-ce62da1aaaae.pdf&urlSlug=6-bio>

[mechanics-report-wc-berlin-2009-triple](#)

- Miladinov, O., & Bonov, P. (2004). Individual approach in improving the technique of triple jump for women. *New Studies in Athletics*, 19(4), 27-36.
- Miller, S., & Bennett, S. (1991). The Triple Jump. *Track and Field Quarterly Review*, 91, 16-20.
- Panoutsakopoulos, V., & Kollias, I. A. (2008). Essential parameters in female triple jump technique. *New Studies in Athletics*, 23(4), 53-61.
- Perttunen, J., Kyrolainen, H., Komi, P., & Heinonen, A. (2000). Biomechanical loading in the triple jump. *Journal of Sports Sciences*, 18, 363-370.
- Ramey, M., & Williams, K. R. (1985). Ground reaction forces in the triple jump. *International Journal of Sport Biomechanics*, 1, 233-239.
- Seo, J. S., Kim, H. M., Nam, K. J., Park, Y. H., Choi, S. B., & Kim, J. H. (2011). Biomechanics Research Project in the IAAF World Championships Daegu 2011. *Korean Journal of sport Biomechanics*, 21 (5), 621-629.
- Susanka, P., Jurdik, M., Koukal, J., Kratky, P., & Velebil, V. (1987). Biomechanical analysis of the triple jump. In G.P. Brüggemann and P. Susanka (Eds.), *International Athletic Foundation scientific report on the 2nd world championships in athletics, Rome 1987* (pp.F1-67). Rome: International Athletic Foundation.
- Tsukuno, A., Ae, M., Koyama, H., Muraki, Y., & Takamoto, M.

- (2011). Analysis of the takeoff motion for the world top female triple jumpers. *Portuyuese Journal of Sport Sciences*, 11 (suppl. 2), 407-409.
- Yu, B. (1993). The functions of free limbs and their relationships with the performance in the triple jump. Unpublished doctoral dissertation, *The University of Iowa, Iowa City, IA*.
- Yu, B. (1999a). Horizontal-to-vertical velocity conversion in the triple jump *Journal of Sports Sciences*, 17, 221-229.
- Yu, B. (1999b). Biomechanical studies on triple jump techniques: theoretical considerations and applications. *Scientific Proceedings of the XVII International Symposium on Biomechanics in Sports*, 17-26. Retrieved from <https://ojs.ub.uni-konstanz.de/cpa/article/view/4043>
- Yu, B., & Andrews, J. A. (1998). The relationship between free limb motions and performance in the Triple Jump. *Journal of Applied Biomechanics*, 14, 223-237.
- Yu, B., & Hay, J.G. (1995). Angular Momentum and performance in the Triple Jump: A Cross-Sectional Analysis. *Journal of Applied Biomechanics*, 11, 81-102.
- Yu, B., & Hay, J. G. (1996). Optimum phase ratio in the triple jump. *Journal of Biomechanics*, 29, 1283-1289.

實驗同意書

研究題目：女子三級跳遠單腳跳-跨步跳轉換動作對成績的影響

指導教授：張立羣 副教授

研究生：張偉達

研究單位：國立臺灣體育運動大學 競技運動學系

連絡電話：0931-730188

一、研究目的

其探討單腳跳-跨步跳轉換技術動作特徵以及對成績的影響，其結果提供教練及選手參考其重要性進而提升國內成績。

二、受試者的權利和責任

1. 研究資料絕對保密，會以研究代碼取代姓名，所獲得的資料僅供研究之用。

2. 感謝您詳細閱讀，如同願意參與本研究，請填寫基本資料，本研究將保障個人隱私，感謝您的參與與配合。

本人 在完全詳讀與理解上述之內容後，同意成為此研究之受試者，並願意配合填寫一份個人資料。

受試者簽名：

日期： 年 月 日

附錄 二

受試者基本資料

編號：

姓名		年齡	
學校(年級)			
出生年月日	/ /	運動年齡	
身高(cm)		體重(kg)	
最佳成績(年份)		起跳腳	
本次最佳成績			

附錄 三

三跳距離及比率與比賽成績之相關係數表 (n=8)

參數	<i>r</i> 值	<i>p</i> 值
單腳跳距離 (m) *	.748	.033
跨步跳距離 (m) *	.847	.008
跳躍距離 (m)	-.018	.967
單腳跳比率 (%)	.306	.461
跨步跳比率 (%)	.570	.140
跳躍比率 (%)	-.604	.113

*表示與比賽成績達到顯著相關 ($p < .05$)

附錄 四

著地、起跳水平、垂直速度及踝關節速度與比賽成績及跨步跳距離之相關係數
表 (n=8)

參數	成績相關		跨步跳距離相關	
	<i>r</i> 值	<i>p</i> 值	<i>r</i> 值	<i>p</i> 值
著地水平速度 (m/s)	-.163	.701	-.215#	.609
起跳水平速度 (m/s)	-.138	.745	.010	.982
水平速度變化 (m/s)	.025	.953	-.356	.387
水平速度損失率 (%)	.039	.926	-.371	.366
著地垂直速度 (m/s)	-.366	.372	-.072	.865
起跳垂直速度 (m/s)	.605	.112	.842#	.009
垂直速度變化 (m/s)	.318	.443	.281	.501
踝關節速度 (m/s)	-.191	.651	.027	.949

*表示與比賽成績達到顯著相關 ($p < .05$)

#表示與跨步跳距離達到顯著相關 ($p < .05$)

附錄 五

飛程角度、著地角度、距離、起跳角度及距離與比賽成績及跨步跳距離之
相關係數表 (n=8)

參數	成績相關		跨步跳距離相關	
	r 值	p 值	r 值	p 值
飛程角度 (°)	.664	.073	.924#	.001
著地角度 (°)	-.905*	.002	-.709#	.049
著地距離 (m)	.867*	.005	.585	.128
起跳角度 (°)	.231	.582	.303	.466
起跳距離 (m)	-.395	.333	-.505	.202

*表示與比賽成績達到顯著相關 (p<.05)

#表示與跨步跳距離達到顯著相關 (p<.05)

附錄 六

重心高度與比賽成績及跨步跳距離之相關係數表 (n=8)

參數	成績相關		跨步跳距離相關	
	r 值	p 值	r 值	p 值
著地重心高度 (m)	-.176	.677	-.162	.702
起跳重心高度 (m)	-.019	.965	.008	.984
重心變化 (m)	.117	.782	.010	.981

*表示與比賽成績達到顯著相關 (p<.05)

#表示與跨步跳距離達到顯著相關 (p<.05)

附錄 七

膝關節角度與比賽成績及跨步跳距離之相關係數表 (n=8)

參數	成績相關		跨步跳距離相關	
	r 值	p 值	r 值	p 值
著地膝關節角度 (°)	.213	.612	-.169	.688
最小膝關節角度 (°)	-.538	.169	-.488	.220
起跳膝關節角度 (°)	-.062	.885	.300	.471
膝關節變化 (°)	.563	.146	.668	.070

*表示與比賽成績達到顯著相關 (p<.05)

#表示與跨步跳距離達到顯著相關 (p<.05)

附錄 八

膝關節角速度與比賽成績及跨步跳距離之相關係數表 (n=8)

參數	成績相關		跨步跳距離相關	
	r 值	p 值	r 值	p 值
著地膝關節角速度(°)	-.020	.963	-.110	.795
最小膝關節角速度(°)	.695	.056	.602	.114
起跳膝關節角速度(°)	.316	.445	.119	.779

*表示與比賽成績達到顯著相關 (p<.05)

#表示與跨步跳距離達到顯著相關 (p<.05)

附錄 九

軀幹左右、前後傾斜角度與比賽成績及跨步跳距離之相關係數表 (n=8)

參數	成績相關		跨步跳距離相關	
	r 值	p 值	r 值	p 值
著地軀幹左右傾斜(°)	-.054	.900	.040	.924
起跳軀幹左右傾斜(°)	.153	.718	.397	.331
左右變化(°)	-.237	.572	-.354	.390
著地軀幹前後傾斜(°)	-.052	.903	.117	.782
起跳軀幹前後傾斜(°)	.237	.571	-.133	.754
前後變化(°)	.078	.855	-.361	.379

*表示與比賽成績達到顯著相關 (p<.05)

#表示與跨步跳距離達到顯著相關 (p<.05)

附錄 十

支撐時間與比賽成績及跨步跳距離之相關係數表 (n=8)

參數	成績相關		跨步跳距離相關	
	<i>r</i> 值	<i>p</i> 值	<i>r</i> 值	<i>p</i> 值
著地至最小膝關節角度 (m/s)	.620	.101	.314	.449
最低點高度 (m)	-.187	.658	-.144	.733
最小膝關節角度至離地 (m/s)	-.537	.170	-.552	.156
變化範圍 (m)	-.274	.511	.207	.623
支撐時間 (m/s)	.042	.921	-.211	.616

*表示與比賽成績達到顯著相關 ($p < .05$)

#表示與跨步跳距離達到顯著相關 ($p < .05$)

水平速度變化與運動學參數之相關係數表 (n=8)

參數	r 值	p 值
著地膝關節角度 (°)	.288	.489
最小膝關節角度 (°)	-.038	.929
起跳膝關節角度 (°) *	-.865	.006
膝關節變化 (°)	-.473	.236
支撐時間 (m/s)	.516	.191
軀幹左右傾斜變化 (°)	.483	.225
軀幹前後傾斜變化 (°)	.548	.160
重心幅度 (m)	.197	.641

*表示與水平速度變化達到顯著相關 (p<.05)

附錄 十二

著地角度與著地距離之相關係數表 (n=8)

參數	<i>r</i> 值	<i>p</i> 值
著地距離 (m) *	-.980	.001

*表示與著地角度達到顯著相關 ($p < .05$)