

國立臺灣師範大學運動與休閒學院

體育學系 碩士學位論文

以主成份分析探討優秀標槍選手標槍投擲



研究生：陳仲裕

指導教授：張家豪

中華民國 108 年 8 月

中華民國臺北市

以主成份分析探討優秀標槍選手標槍投擲技術

2019 年 7 月

研究生：陳仲裕

指導教授：張家豪

摘要

近年來我國標槍選手在國際比賽中屢屢創下佳績，其投擲技術的優劣取決於投擲瞬間全身肢段間協調能力，將標槍以最有效的方式投擲出手。**目的：**藉由統計分析探討影響標槍投擲技術的關鍵因素，提供教練與選手往後在技術上的調整與提昇表現。**方法：**9 位國內甲組優秀標槍選手在田徑場上實際進行投擲，收取成功的六次投擲動作並紀錄成績，分析投擲成績最佳與最差的運動學參數並進行成對樣本 t 檢定與主成份分析，顯著水準為 $\alpha = .05$ 。**結果：**投擲成績最佳與最差的運動學參數在配對 t 檢定中並無達到顯著差異。透過主成份分析將可將運動學 12 維的資料縮減至 4 個主成份，並可解釋 80% 以上的動作差異，投擲成績較佳與較差的第一主成份內容皆包含肩關節角度與投擲步步距。**結論：**在投擲成績最佳與最差的運動學上並無差異，肩關節角度與投擲步步距確實對標槍投擲技術有相當重要的影響，或許未來研究可以朝這兩個部分多加探討。

關鍵字：過頂投擲、運動學、動作分析

Using principal component analysis to explore the javelin throw in elite athlete

July,2019

Author : Zhong-Yu Chen

Advisor : Jia-Hao Chang

Abstract

Taiwan's javelin players have repeatedly achieved great success in international competitions in recent years. The technique of the javelin throwing depends on the ability to coordinate between the limbs during the throwing moment, and throws the javelin in the most effective way. The purpose of this study was to explore the main factors of javelin throwing technique through statistical analysis. Provide coaches and players to technically adjust and improve performance in the future. Method: 9 elite javelin players was recruited and asked for javelin throwing and record six times successful throwing in the track and field. Throwing movement kinematic parameters were collected with 3D motion analysis system. The paired sample t-test and principal component analysis (PCA) were used to compare the best and worst kinematic parameters of throwing performance. The statistical significance was set at $\alpha = .05$. Results: There was no significance difference between the best and worst kinematic parameters of throwing performance. The PCA result showed that the 4 principal components were sufficient to explain over 80% of variance for both throwing performance. The 1st component include the angle of shoulder joint and the last stride in both throwing performance. Conclusion: There was no significance difference between the best and worst kinematic parameters of throwing performance. The angle of the shoulder joint and the last stride are very important for javelin throwing. There can be discussed in these two parts in the future study.

Keywords: overhead throwing, kinematic, motion analysis

謝 誌

回想過去這幾年研究所我經歷了很多人生難忘的時光，不論是校內外的正式發表或是參與國際研討會等都令人難忘，在就讀師大研究所的這段時間中，首先最要感謝的是我的指導教授，張家豪老師，感謝老師在研究上給予的指導與建議，也會在生活以及工作上給予不同的關懷與方向，真的謝謝您這幾年給予我的指導、包容與鼓勵。同時也要感謝我的口試委員文信老師與惠婷老師，因為你們不吝惜的指教，才使我能完成這論文研究。

感謝師大力學實驗室的所有夥伴，陪我一起度過這難忘的研究所時光，特別由衷感謝建志、瑋勻、陳佑、鉢登、柏誠、昱安、文杰、文星，感謝學長姐們傳授儀器軟體與實驗研究的相關知識與秘訣，謝謝師大實驗室的大家一路上的相挺，讓我在實驗室的生活充滿豐富且精彩的點點滴滴，也感謝曾經在實驗上幫助過我的人，讓我能順利完成論文研究。

最後，我要感謝我親愛的家人，爸爸、媽媽、大姐、二姐，謝謝你們無數的關心與鼓勵，並總是默默支持我做自己想做的事情，讓我能無後顧之憂的完成學業與考上正式教師。

目 次

中文摘要.....	i
英文摘要.....	ii
謝誌.....	iii
目次.....	iv
表次.....	vi
圖次.....	vii

第壹章 緒論..... 1

第一節、問題背景.....	1
第二節、研究目的.....	2
第三節、研究限制.....	2
第四節、名詞操作性定義.....	3

第貳章 文獻探討..... 5

第一節、標槍投擲動作技術分析.....	5
第二節、標槍投擲生物力學研究.....	7
第三節、影響標槍投擲距離的因素.....	8
第四節、應用主成份分析探討運動技術.....	9

第參章 研究方法..... 11

第一節、研究參與者.....	11
----------------	----

第二節、實驗儀器與設備.....	11
第三節、實驗器材與架設.....	15
第四節、實驗流程.....	15
第五節、資料處理與分析.....	16
第肆章 結果.....	19
第一節、投擲成績最佳時之運動學分析.....	19
第二節、投擲成績最差時之運動學分析.....	21
第三節、配對樣本 t 檢定分析.....	23
第四節、主成份分析.....	25
第伍章 討論.....	29
第陸章 結論與建議.....	33
第一節、結論.....	33
第二節、建議.....	33
引用文獻.....	34

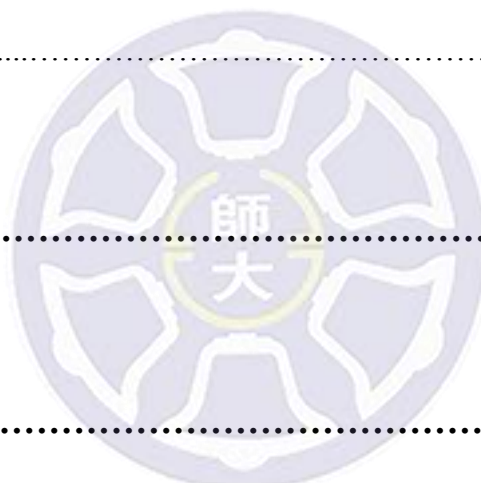


表 次

表 3-1 反光球名稱與其解剖學位置.....	14
表 4-1 投擲成績最佳時出手瞬間身體各關節角度.....	19
表 4-2 投擲成績最佳時出手瞬間各角度與高度.....	20
表 4-3 投擲成績最佳時交叉步與投擲步步距.....	21
表 4-4 投擲成績最差時出手瞬間身體各關節角度.....	21
表 4-5 投擲成績最差時出手瞬間各角度與高度.....	23
表 4-6 投擲成績最差時交叉步與投擲步步距.....	23
表 4-7 不同投擲距離的配對樣本 t 檢定.....	24
表 4-8 投擲成績最佳時之成份數與各成份變異數解釋量.....	25
表 4-9 投擲成績最佳時各成份之內容.....	26
表 4-10 投擲成績最差時之成份數與各成份變異數解釋量.....	27
表 4-9 投擲成績最差時各成份之內容.....	

圖 次

圖 1-1 出手角度.....	3
圖 1-2 槍體角.....	3
圖 1-3 攻擊角.....	4
圖 3-1 Vicon 紅外線攝影機.....	11
圖 3-2 Vicon Nexus 套裝分析軟體.....	12
圖 3-3 反光球黏貼位置.....	12
圖 3-4 實驗攝影機架設圖.....	15
圖 3-5 實驗流程圖.....	15
圖 3-6 角度定義圖.....	17
圖 4-1 投擲成績最佳時個成份數之特徵值.....	25
圖 4-2 投擲成績最差時個成份數之特徵值.....	27
圖 5-1 不同投擲距離選手之肩關節角度圖.....	29

第壹章 緒論

第一節 問題背景

近年來我國標槍選手在國際比賽中屢屢創下佳績，2017 年世界大學運動會中我國標槍好手鄭兆村以 91.36 公尺摘金且躍居新科亞洲紀錄保持人，同時黃士峰也以 86.64 公尺的佳績摘銅。目前男子標槍世界紀錄是由捷克標槍選手 Jan Zelezny 以 98.48 公尺所創下，而鄭兆村是亞洲男子標槍成績突破 90 公尺的唯一一人，

標槍屬於田徑運動項目之一，其投擲技術優劣取如何應用全身與肢段間的動力鏈作用集中於標槍之上，以獲得較大的動能，並將速度與最適宜出手條件最佳化，如何利用助跑、交叉步、投擲步、軀幹旋轉與最後的出手動作，將全身的作用力集中於標槍之上，使標槍獲得較大之動能，以最大的速度與最適宜的出手條件將標槍擲出，其最終目的為力求標槍能投擲到最遠的距離以獲取好成績。先前的世界大學運動會可以證明我國男子標槍選手已經有站上世界級標槍比賽舞台的實力。

標槍選手需在既定的範圍內，將標槍以最有效的方式投擲出手，投擲者為充分發揮投擲能力，從一開始的啟動助跑，中間的交叉步，到最後的投擲步與出手動作，皆需要整體動作的配合與協調，在技術上更需符合生物力學的基本原理，如此才能獲得最佳的成績 (林寶成，2001)。影響標槍投擲的因素眾多，過去研究針對影響標槍選手投擲技術的因素進行探討包括選手的身材與出手前的姿勢，以及出手後標槍離手瞬間的角度、速度、高度與槍體在空中飛行的表現等。Morris 與 Bartlett (1996) 研究指出優秀的標槍選手其標槍有 70% 的速度是在出槍前的投擲步階段所產生，而投擲步階段的動作時間往往不到一秒鐘，優秀選手必須在出槍前的那一瞬間同時完成複雜的制動、出槍及推蹬等動作其實並不容易，有許多細部的技術層面並不容易以肉眼來觀察出。先前的研究多探討標槍出手時之相關運動學參數如出手角度、速度、高度等，而影響標槍投擲的因素很多，究竟哪些因素才是影響標槍投擲的關鍵技術卻尚未釐清。此外人類的運動行為是充滿複雜性的多肢段動作，過去對於人類複雜的多肢段動作研究常使用動作分析方式，多

以運動學、動力學方法紀錄三維空間的動作資料，比較動作間的差異性，而人類運動是同時間許多參數所共同組成的複雜系統，若只針對某一特定參數進行研究，卻又容易忽略參數間彼此交互作用的關係，而主成份分析方法（Principal Component Analysis，簡稱 PCA）具有解決辨認功能性參數的問題，同時也提供了簡化、辨認複雜資料的方式，如今主成份分析已廣泛運用在許多研究。

第二節 研究目的

本研究希望藉由紅外線高速攝影機的拍攝，更清楚地瞭解我國優秀標槍選手的標槍投擲動作，並藉由統計分析期望找出影響標槍投擲技術的關鍵因素，提供教練與選手往後技術上的調整與提升投擲表現。

第三節 研究限制

為了能瞭解標槍選手在場上的實際情況，本研究於正式比賽場中蒐集標槍投擲資料，但仍有幾項限制：

- (一) 選手全身需貼上光球，與平常比賽時所穿著的輕便服裝有所差異。
- (二) 本研究不考慮空氣阻力、溼度等氣候因素對槍體飛行的影響。

第四節 名詞操作性定義

- 一、出手速度：標槍出手後瞬間，標槍重心移動的合速度。
- 二、出手高度：出手瞬間槍體質心距離地面之垂直高度。
- 三、投擲距離：投擲弧線中心與標槍落點間水平距離。
- 四、出手角度：標槍在出手後瞬間槍體重心移動方向與水平軸的夾角。

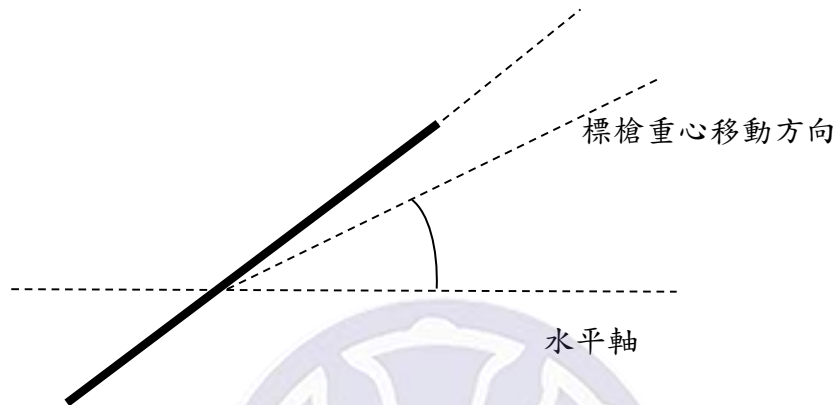


圖 1-1 出手角度

- 五、槍體角：出手後標槍與水平軸之間的夾角。

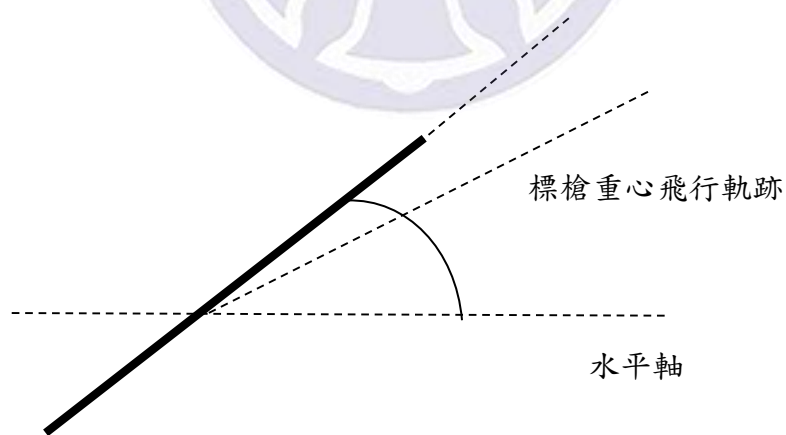


圖 1-2 槍體角

六、攻擊角：槍體角度減去出手角度，正值表示槍體角度大於出手角度，負值表示槍體角度小於出手角度。

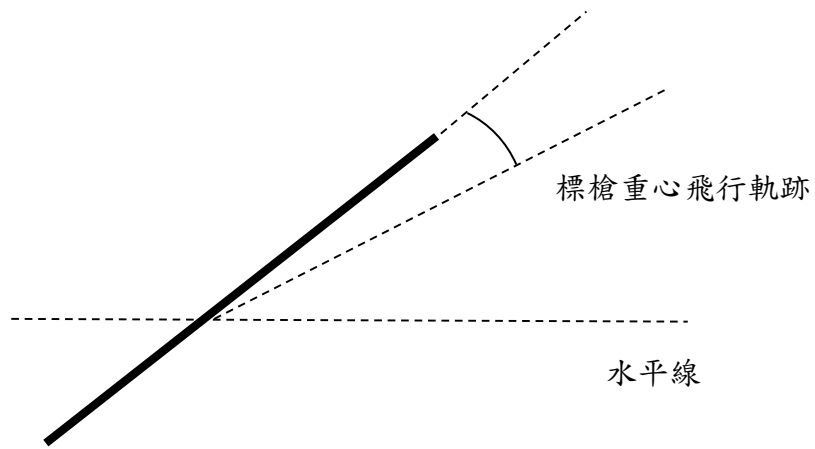


圖 1-3 攻擊角



第貳章 文獻探討

第一節 標槍投擲動作技術分析

投擲標槍技術主要包含一開始的助跑、中間的交叉步與投擲步到最後槍體出手動作所組成。投擲動作中又以最後兩步交叉步和投擲步的配合最為重要 (Morris & Bartlett,1996)，流暢的步伐動作能加快下肢的運動速度，迅速地完成下肢的位移，再配合扭轉軀幹到最後出手，整個鞭打效應結合動作技術和爆發力，由下肢而上肢產生力量至最後出手。

標槍投擲動作分期如下：

一、助跑期

助跑的目的是要增加最後的投擲速度。助跑時槍身需保持穩定且手臂放鬆。助跑距離一定要固定且中間不要有任何跳步出現，以免降低速度，確保每一次動作距離都能相同，此可增加動作的穩定性。

二、投擲步期

目前大多數的選手皆採用前交叉步，因為此種步法最容易保持原來的速度。以右手投擲者為例，先設定交叉步的起始步點，助跑時當左腳踩到預設點時，引槍動作開始、身體向右側身、右膝向上提做前交叉步、雙眼注視前方，左肩朝向投擲方向，此時左手仍然與助跑時相同擺動，保持原有的協調性。右腳落地後，左腳向前跨出、腳尖朝向投擲方向、上身微向後仰，接著如同開始的動作一再循環，主要的目的是要加大做功距離與保持原有的助跑速度，並在引槍同時不失去平衡。

三、引槍期

做投擲步的同時必須漸漸引槍，一般而言，前交叉步的步數大部分為五步與七步。引槍動作通常與最後一個交叉步同時完成，此時右手向後拉、左腳向前跨。

四、支撐步期

右手持槍者而言，支撐腳為左腳。支撐腳必須扮演煞車、支撐與轉移等作用。煞車時腳跟先著地、腳尖隨後著地且指向投擲方向，腳尖指向投擲方向有利於踝關節的運作。在作支撐步期，支撐腳盡量不要彎曲過大，避免緩衝過多造成力量的流失與動作的不連貫。

五、出槍期

右手以先拉後擲為原則，主要目的是利用身體轉動來擲槍，而非單用手臂來擲槍。右手擲出的同時左手迅速向下拉，可確保身體平衡。擲出時手肘伸直且靠中心軸投出，使旋轉半徑加到最大。

六、跟隨動作

右手投擲時，右手一定要跟到最後，確保力量的一貫與方向的正確性。槍離手後要阻止身體向前的動量，出手後右腳屈膝向胸前並向前跨大步，同時左腳為支撐點用力伸直後並向後側伸展，使身體有向地面跌落的傾向，同時左手向後擺振，以維持平衡。

第二節 標槍投擲生物力學研究

優秀標槍選手在比賽和訓練過程中，大多採用三步或五步的投擲步伐，而其中三步的投擲標槍技術較易學習，而其動作要點如下：(1) 在交叉步時，需注意蹬地方向。(2) 助跑於倒數一或二步時，上半身應保持直立。(3) 三步投擲標槍需要高強度的速度和協調訓練。

邱靖華 (2000) 研究指出，透過增加助跑速度可提高標槍的出手速度，增加最後用力投擲的飛行距離，加大作用於標槍的力量和縮短用力時間，增加標槍投擲瞬間的初速度是獲得佳績的關鍵。以外過去研究指出優秀男性標槍選手的出手速度可達到 32 m/s，女性標槍選手達 28 m/s。在其他外在因素不變的條件下，出手速度每增加 1 m/s，標槍飛行距離可增加 5-6 公尺，因此提高標槍出手速度是提高運動成績的關鍵因素 (王良展, 2002)。但想要將標槍擲到最遠的距離，不僅僅需要較快的出手速度，也必須具有理想的出手角度。翁梓林 (1998) 以國內八名優秀甲組標槍選手實驗對象，探討標槍投擲時的運動參數，發現平均出手角度為 34.82°，平均攻角為 3.25°。邱永興等人 (1996) 研究指出攻擊角接近零度時，標槍所受的空氣阻力最小。

影響標槍投擲表現的因素除了槍體角度外人體的投擲動作亦佔了很大的關鍵，過去研究指出由於軀幹部分的肌肉質量較大，產生的扭轉力量也較大。在投擲時腹部肌肉的使用能提供投擲時上肢在做高速圓周運動時所需的離心力。同時在制動時身體也會以髖關節為支點，造成上半身往前傾的現象，使身體向前的動量傳達到上肢及標槍 (Hirashima, 2002)。Bartlett 與 Morris (1996) 研究1995 世界盃男子標槍選手投擲，其肩軸平均和投擲方向呈 140 deg，同時也指出軀幹旋轉的平均角速度為 315.2 deg/s，顯示標槍投擲時身體扭轉的重要性。

在整個投擲過程中，過去研究發現較優秀的投擲動作皆有移動序列性 (Proximal-Distal sequence) 的現象 (Fradet, et al., 2004)。移動序列性是指在動作的過程中，將力量從近端透過肢段依序傳至遠端產生最佳速度的過程，上肢看似一條鞭子在作抽打的動作，表現較佳且較有效率的肩上投擲動作皆有移動序列性現象的產生。亦有文獻指

出優秀男性與女性標槍運動員在投擲時的上肢動作並不完全按照移動序列性的現象，研究發現在標槍投擲時選手的肘關節會先伸直而後肩關節在產生內轉 (Liu, Leigh, & Yu, 2010)。

第三節 影響標槍投擲距離的因素

標槍投擲是一項需要速度性爆發力的運動，決定投擲距離的要素包括投擲時釋放的能量與槍體在空中的受力，其中槍體在空中所受的力不是我們能控制的。而在釋放投擲能量的各階段中，以最後的交叉步與投擲步最為重要(Bartlett & Best 1988)。優秀標槍選手運用協調的投擲動作以獲得較佳的投擲成績，Whiting, et al. (1991) 研究指出出手速度是影響標槍投擲成績最為重要的因素，而要提高出手速度的產生是需要標槍投擲動作各階段速度的串連，其中又以投擲步階段最為重要，投擲步其為上肢動作序列獲得最大投擲速度的階段，而上肢關節角速度在投擲步與最後投擲出手時達到最大速度。Juris (1985) 研究中發現投擲成績與出手速度成正比，攻擊角越大槍體所受獲得之上升力越大，將有助於標槍在空中停留的時間，攻擊角會影響槍體之壓力中心移動，而往後移動越多，則槍頭速度下降，對標槍飛行成績有不利的影響。

影響標槍加速度的產生主要由外力的大小及作用時間的長短來決定，而外力的產生除了靠上肢段產生外，推蹬時的地面反作用力也是一個重要來源 (Mero, Komi, Korjus, Navarro, & Gregor 1994)。推蹬時的地面反作用力越大，則相對傳達到槍體的能量也會越大；Lindinger 與 Jordan (1995) 在其研究中表示投擲成績越好的選手其足底推蹬力量也越大，且推蹬力量的大小與出手速度之間有顯著的正相關存在，故推蹬力量也是影響投擲成績的一個重要因素。然而投擲成績並非完全由推蹬力量大小來決定，推蹬力量也必須與出槍動作與時機巧妙配合，以達到整體動作動力鍊的協調。相關研究以二維分析的方式(Whiting, Gregor, & Halushka, 1991) 以及三維分析的方式探討標槍投擲動作 (Liu, Leigh, & Yu, 2010; Mero, Komi; Morriss, Bartlett, & Navarro, 2001)，以攝影機拍攝的標槍投擲動作的資料，再計算人體關節與肢段的移動與質心的運動，分析標槍投擲時的

角度與速度。透過運動學分析，Bartlett (1996) 等人以擷取頻率 50 Hz 的攝影機收取投擲標槍時的人體關節角度與標槍槍體資料進行分析，發現在不同層級中，投擲距離與離手時的槍體速度、槍體投擲角度均不相同，且優秀的運動員具有較大的關節角速度與較長的加速期。Morriss, Bartlett 與 Navarro (2001) 以兩台擷取頻率 200 Hz 的高速攝影機分析標槍投擲動作，分析的期間為最後一步腳觸地開始到標槍離手瞬間的資料，如此的擷取設備與分析方法可獲得較佳的標槍投擲的上肢生物力學資料。

投擲標槍的過程中包含許多複雜的動作，其中速度、力量與動作協調都需要適當的配合，從助跑到交叉步和投擲步到出槍之間動作中，任何一個環節都會影響最後的成績，而最後出槍的速度與動作即是反映所有先前動作的結果，亦會影響標槍投擲距離，相關研究分析槍體離手瞬間的參數，包含出手角度、出手速度、槍體仰角、槍體速度、加速度等。研究指出出手速度是影響標槍投擲成績最為重要的因素，文獻針對出手速度與角度，在不計空氣阻力時出手速度越快所得的成績越好，但固定出手速度狀況下標槍成績便取決於角度的變化。標槍裡想的投擲角約在 35° ~ 40° 之間。而出手高度的增加將有助於標槍空中停留的時間，時間越長則飛行距離越遠。

第四節 應用主成份分析探討運動技術

科學性研究中為了驗證所提出的假設，科學家必須選擇能反映實驗操作的參數最為觀察變項。而人類運動是同時間許多參數所共同組成的複雜系統，但若只針對某一特定參數進行研究，卻又容易忽略參數間彼此交互作用的關係，而主成份分析方法 (Principal Component Analysis, 簡稱 PCA) 解決辨認具有功能性參數的問題，主成份分析提供了如何簡化、辨認複雜資料的方式，並開始廣泛運用在許多研究。

主成份分析能將許多變縮減為少數幾個獨立的成份，使分析工作更有效率，而主成份分析也被廣泛運用在許多研究領域中，Moura, Martins, 與 Cunha, (2014) 利用主成份分析分析2006年世界盃足球比賽中每次對戰輸贏兩隊的攻守數據，找出影響贏球的關鍵要素。亦有研究利用主成份分析來探討人體多肢段協調與動作特徵，能夠以線性相關的

方式，將在時間內序列下相關性很高的多維度資料歸類，進而縮減成數量較少、彼此為線性獨立關係的參數也就是所謂的主成份，並能保有原始資料的特性及關鍵訊息；

Balasubramaniam 與 Turvey (2004) 分析搖呼拉圈動作，發現只需要上下與左右兩個主成份便可描述 90% 以上的呼拉圈動作；Chen, Liu Mayer Kress 與 Newell (2005) 以主成份分析踩板車操作學習的全身性動作變化情形，發現學習者的動作在練習後，成份數目改變且造成相關變數解釋量的轉變；Newell (2006) 在模擬滑雪動作研究中指出，參加者從練習初期到練習結束，主成份數不變，但第一主成份的解釋量明顯增加。觀察過去的實驗主成份分析確實能將大量原始數據，轉換成較少的、彼此獨立組成的線性關係參數，而這些線性關係參數仍然具有原始資料所提供的豐富訊息。陳秀惠 (2009) 指出主成份分析的目的有兩大重點，第一為減少變項，將許多相關性較高的變數歸類，轉換成較少數互相獨立的線性組合變項；第二為用較少的變數去解釋原來資料的大部分變異。主成份分析使用的時機在於研究者面臨許多彼此可能存在相關變項的情況下，透過線性組合將這許多變項減為少數幾個獨立的成份，使分析工作更有效率。因此，主成份分析能有效的縮減資料維度，降低其複雜性，方便研究者進行資料分析(陳秀惠，2005)。

第參章 研究方法

第一節 研究參與者

研究對象為9位國內優秀甲組選手，身高： 175.7 ± 7.8 公分，體重： 77.8 ± 10.6 公斤，年齡： 21.6 ± 2.1 歲，受試者在研究期間與前三個月內無影響標槍投擲之傷害或疾病，投擲標槍時皆以右手投擲。

第二節 實驗儀器與設備

一、筆記型電腦一臺

二、VICON3D 動作分析系統(MX13+Oxford Metrics, UK)

使用8台Vicon紅外線高速攝影機，以頻率200Hz收集資料，進行運動學分析。



圖 3-1 Vicon 紅外線攝影機

三、Vicon Nexus 1.8.5 套裝分析軟體

搭配 Vicon 紅外線攝影機，進行擷取資料。



圖 3-2 Vicon Nexus 1.8.5 套裝分析軟體

四、攝影三角架八支

五、標槍

六、皮尺

七、反光球數個

肢段參數測量與反光球黏貼位置；

投擲標槍動作結合 Vicon 動作分析系統以 200Hz 的頻率擷取反光球資料，反光球的黏貼方式採用系統內建的 Plug-in-Gait 模組以及增加的大轉子關節點，來黏貼特定的關節位置，如下所示。

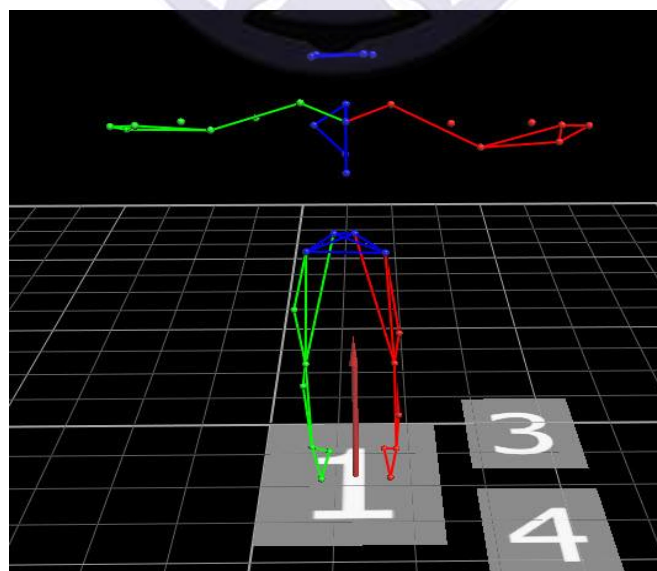


圖 3-3 反光球黏貼位置

表 3-1 反光球名稱與其解剖學位置

反光球名稱	解剖學位置	註解
FHD*		大約在太陽穴附近。
BHD*		位於頭部後面，與 FHD 在同一個水平面。
C7	第7節頸椎(7 th Cervical Vertebrae)	
T10	第10節胸椎(10 th Thoracic Vertebrae)	
CLAV	鎖骨(Clavicle)	鎖骨與胸骨的連接點
STRN	胸骨(Sternum)	胸骨劍突
RBAK		右邊肩胛骨中間
Shoulder*	肩鎖骨 (Acromio-clavicular)	
UPA*		肩鎖骨與肱骨外上髁之間
Elbow*	外上髁 (lateral epicondyle of elbow)	
FRA*		腕關節與肱骨外上髁之間
WristA*	橈骨莖突(radial styloid process)	
WristB*	尺骨莖突(ulnar styloid process)	
FIN*	第二掌骨頭 (head of second metacarpal)	
ASIS*	前上髁棘 (anterior superior iliac spine)	
PSIS*	後上髁棘 (posterior superior iliac spine)	
GT*	大轉子(greater trochanter)	

Knee*	股骨外髁 (lateral epicondyle of femoral)	
THI*		大轉子與股骨外髁之間
TIB*		股骨外髁與外踝之間
Ankle*	外踝 (lateral malleolus)	
Toe*	第二跖骨頭 (head of second metatarsal)	
Heel*	跟骨 (calcaneus)	



第三節 實驗器材與架設

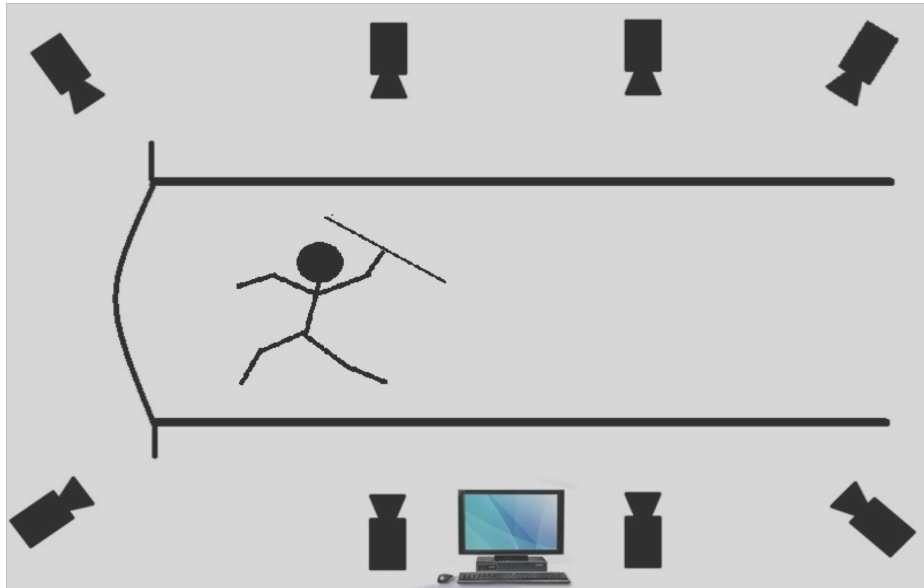


圖 3-4 攝影機架設圖與場地圖

第四節 實驗流程

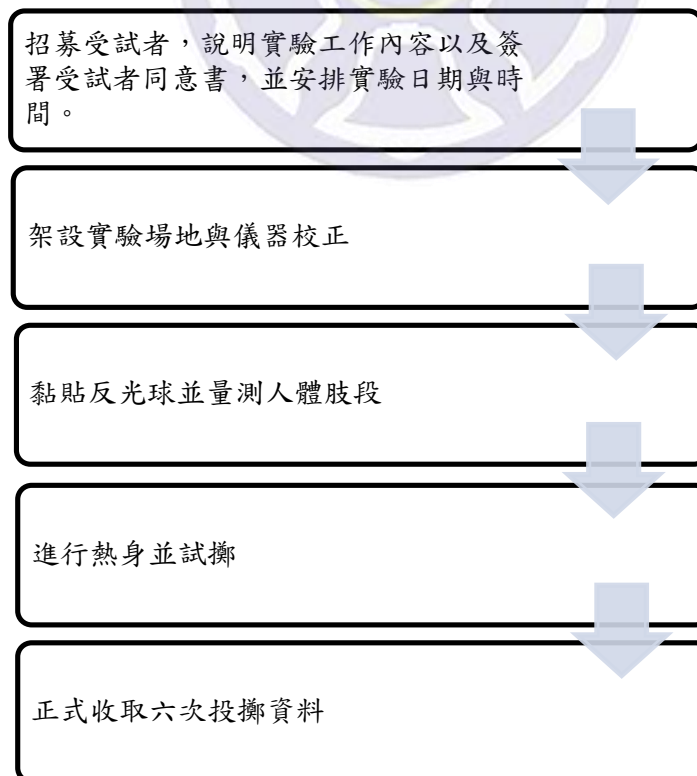


圖 3-5 實驗流程圖

第五節 資料處理與分析

一、資料收集

實驗前將場地佈置與器材調整校正，同時在受試者身上以 Plug-in-gait 的方式貼置反光球，反光球貼置於頭部 (Head)；軀幹 (Torso) C7、T10、鎖骨相交處、劍突、右後背；髖部 (Pelvis) 髌骨前後上棘 (Superior iliac spine, SIS)；上肢 (Arm) 為左右手之肩關節 (Shoulder)、肘關節 (Elbow)、腕關節 (Wrist)、中指指尖 (Finger)；下肢為左右腳之腳尖 (Toe)、踝關節 (Ankle)、膝關節 (Knee)、髖關節 (Hip)，腳尖之反光球改置於第一與第五趾骨末端外側。受試者於熱身後開始試擲，收取 9 位優秀標槍選手分別投擲六次標槍成績，以選手個人投擲成績最遠與最近距離的投擲動作運動學參數進行分析。

二、資料分析

本研究影像處理經由軟體分析 (Visual3D v5, C-motion Inc., USA)，動作影像檔案經由 Butterworth second order 低頻濾波以 10 Hz 濾波後進行分析，分析出槍瞬間身體矢狀面之軀幹角度、肩關節角度、肘關節角度、膝關節角度，標槍離手瞬間的槍體速度、角度與高度。步伐分析部分包含助跑之步幅為交叉步著地到投擲步右腳著地之距離，以及投擲步右腳著地至投擲步左腳著地之距離。

比較選手投擲標槍成績最遠與最近的動作分析，經由 SPSS 統計軟體 (21.0, IBM Corp., USA) 以配對樣本 t 檢定分析出槍瞬間身體矢狀面之軀幹角度、肩關節角度、肘關節角度、膝關節角度、槍足角度，標槍離手瞬間的槍體速度、角度、高度，助跑之步幅為交叉步著地到投擲步右腳著地之距離，以及投擲步右腳著地至投擲步左腳著地之距離是否在兩次擲槍的運動學上有差異，顯著水準設 $\alpha=0.05$ 。

關節角度部分經由人體關節點建立人體肢段模型，關節點包含，頭部、肩關節、肘關節、腕關節、大轉子、膝關節、踝關節、腳尖。將肩峰與大轉子的連線定義為軀幹、肩關節與肘關節之連線為上臂、肘關節與腕關節連線為前臂、大轉子與膝關節連線為大腿，膝關節與踝關節連線為小腿，踝關節連線至腳尖為足部、標槍為槍頭與槍尾之連線，

槍體與足部角度為槍頭與足尖之連線相對於空間縱軸的位置，軀幹角度為肩關節與大轉子的縱軸與空間中縱軸的夾角，肩關節為大轉子與肩峰和肘關節之夾角，肘關節為肩關節與肘關節和腕關節之夾角，膝關節為大轉子與膝關節和踝關節之夾角，角度定義圖如圖 3-6。

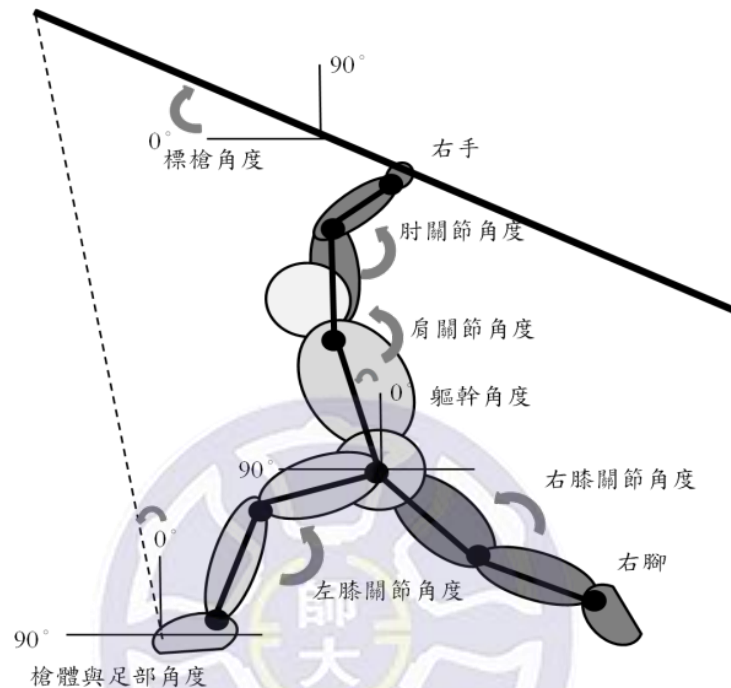


圖 3-6 角度定義圖

三、主成份分析 (Principal Component Analysis, 簡稱 PCA)

以 SPSS (21.0, IBM Corp., USA) 統計軟體針對上述之運動學參數進行主成份分析，分析的結果如成份數、解釋量、成份分數等加以討論。

主成份分析名詞如下：

1. 成份數：經主成份分析分析後原始資料縮減至較少的維度，每一維度資料即為一成份。
2. 主成份分數：根據該成份中運動學變數所對應的特徵向量，經由原始運動學資料所投射而得的新時間序列，能代表該成份動作的變化趨勢。

3. 特徵值：原始資料乘上個加權係數的加權總分，亦代表主成份的變異數。
4. 特徵值個數：代表主成份分析的特徵值個數，表整體資料能夠縮減的維度多寡。
5. 解釋量：代表特徵值可以解釋原始變數的多少，個特徵值佔所有特徵值總合的百分比。



第肆章 結果

第一節 投擲成績最佳時之運動學分析

本研究經運動學分析後得知 9 名選手在投擲成績最佳時出槍瞬間身體各關節角度與投擲距離。肩關節角度為 $107.2 \pm 11.8^\circ$ ，最大角度為 130.3° ，最小角度為 92.2° ，肘關節角度為 $153.4 \pm 5.3^\circ$ ，最大角度為 163.5° ，最小角度為 146.2° ，右膝關節角度為 $129.7 \pm 7.9^\circ$ ，最大角度為 146° ，最小角度為 118.1° ，左膝關節角度為 $143 \pm 13.6^\circ$ ，最大角度為 167.5° ，最小角度為 122.1° ，投擲距離為 54.6 ± 12.6 公尺，最遠距離為 73.03 公尺，最近距離為 34.5 公尺，如表 4-1

表 4-1 投擲成績最佳時出槍瞬間身體各關節角度

受試者編號	肩關節 (degree)	肘關節 (degree)	右膝關節 (degree)	左膝關節 (degree)	投擲距離 (m)
1	130.3	150.9	123.8	126.3	47.8
2	116.4	151.3	129.1	154.8	55.8
3	104.9	163.5	135.4	143.9	48.2
4	111.8	158.7	118.1	138.5	58.6
5	107.6	156.5	126.3	147.1	34.5
6	109.9	150.5	128.4	141.6	62.3
7	97.4	153.9	133.9	122.1	42.2
8	92.2	149.3	126.7	167.5	69.7
9	95.1	146.2	146.0	145.2	73.0
<i>M</i>	107.2	153.4	129.7	143	54.6
<i>SD</i>	11.8	5.3	7.9	13.6	12.6

MAX	130.3	163.5	146	167.5	73.03
MIN	92.2	146.2	118.1	122.1	34.5

表 4-2 為 9 名選手在投擲成績最佳時出槍瞬間各角度與高度。出槍角度為 $35.1 \pm 7.9^\circ$ ，最大角度為 46.9° ，最小角度為 19.1° ，槍足角為 $87.3 \pm 10.2^\circ$ ，最大角度為 104.4° ，最小角度為 72.3° ，槍 COM 夾角為 $90.7 \pm 12.0^\circ$ ，最大角度為 109.0° ，最小角度為 72.3° ，出槍速度為 18.3 ± 3.08 m/s，最快速度為 22.9 m/s，最慢速度為 13.1 m/s，出槍高度為 1.71 ± 0.06 m，最高高度為 1.80 m，最低高度為 1.60 m。

表 4-2 投擲成績最佳時出槍瞬間各角度與高度

參數	出槍角度 (degree)	槍足角 (degree)	槍 COM 夾角 (degree)	出槍速度 (m/s)	出槍高度 (m)
M	35.1	87.3	90.7	18.3	1.71
SD	7.9	10.2	12.0	3.08	0.06
MAX	46.9	104.4	109.0	22.9	1.80
MIN	19.1	72.3	72.3	13.1	1.60

表 4-3 為 9 名選手在投擲成績最佳時交叉步與投擲步步距，交叉步步距為 2.13 ± 0.34 m，最大交叉步步距為 2.58 m，最小交叉步步距為 1.54 m，投擲步步距為 1.73 ± 0.17 m，最大投擲步步距為 1.99 m，最小投擲步步距為 1.50 m。

表 4-3 投擲成績最佳時交叉步與投擲步步距

參數	交叉步步距 (m)	投擲步步距 (m)
<i>M</i>	2.13	1.73
<i>SD</i>	0.34	0.17
<i>MAX</i>	2.59	1.99
<i>MIN</i>	1.54	1.50

第二節 投擲成績最差時之運動學分析

表 4-4 為 9 名選手在投擲成績最差時出槍瞬間身體各關節角度與投擲距離。肩關節角度為 $99.9 \pm 7.17^\circ$ ，最大角度為 110.7° ，最小角度為 89.8° ，肘關節角度為 $150.0 \pm 7.4^\circ$ ，最大角度為 162.6° ，最小角度為 138.1° ，右膝關節角度為 $131.0 \pm 10.7^\circ$ ，最大角度為 148.9° ，最小角度為 116.1° ，左膝關節角度為 $142.4 \pm 14.6^\circ$ ，最大角度為 162.3° ，最小角度為 115.2° ，投擲距離為 52.5 ± 12.5 公尺，最遠距離為 68.8 公尺，最近距離為 33.4 公尺。

表 4-4 投擲成績最差時出槍瞬間身體各關節角度

受試者編號	肩關節 (degree)	肘關節 (degree)	右膝關節 (degree)	左膝關節 (degree)	投擲距離 (m)
1	110.7	158.4	117.5	143.2	45.4
2	90.8	153.4	131.7	115.2	54.7

3	99.1	148.4	129.4	130.4	46.5
4	97.3	145.3	128.1	157.2	55.5
5	109.9	147.4	148.9	162.3	33.4
6	100.4	145.0	134.8	141.8	58.7
7	101.5	162.6	116.1	132.1	37.4
8	89.8	151.9	129.0	150.1	65.0
9	100.2	138.1	144.0	149.3	68.8
<i>M</i>	99.9	150.0	131.0	142.4	52.5
<i>SD</i>	7.17	7.4	10.7	14.6	12.5
<i>MAX</i>	110.7	162.6	148.9	162.3	68.8
<i>MIN</i>	89.8	138.1	116.1	115.2	33.4

表 4-5 為 9 名選手在投擲成績最差時出槍瞬間各角度與高度。出槍角度為 $38.7 \pm 12.7^\circ$ ，最大角度為 51.4° ，最小角度為 16.7° ，槍足角為 $92.1 \pm 9.8^\circ$ ，最大角度為 101.8° ，最小角度為 77.0° ，槍 COM 夾角為 $87.5 \pm 11.0^\circ$ ，最大角度為 106.1° ，最小角度為 74.2° ，出槍速度為 17.8 ± 2.6 m/s，最快速度為 23.5 m/s，最慢速度為 14.8 m/s，出槍高度為 1.75 ± 0.05 m，最高高度為 1.83 m，最低高度為 1.63 m。

表 4-5 投擲成績最差時出槍瞬間各角度與高度

參數	出槍角度 (degree)	槍足角 (degree)	槍 COM 夾角 (degree)	出槍速度 (m/s)	出槍高度 (m)
<i>M</i>	38.7	92.1	87.5	17.8	1.75
<i>SD</i>	12.7	9.8	11.0	2.6	0.05
<i>MAX</i>	51.4	101.8	106.1	23.5	1.83
<i>MIN</i>	16.7	77.0	74.2	14.8	1.63

表 4-6 為 9 名選手在投擲成績最差時交叉步與投擲步步距，交叉步步距為 2.08 ± 0.27 m，最大交叉步步距為 2.43 m，最小交叉步步距為 1.69 m，投擲步步距為 1.65 ± 0.18 m，最大投擲步步距為 1.88 m，最小投擲步步距為 1.43 m。

表 4-6 投擲成績最差時交叉步與投擲步步距

參數	交叉步步距 (m)	投擲步步距 (m)
<i>M</i>	2.08	1.65
<i>SD</i>	0.27	0.18
<i>MAX</i>	2.43	1.88
<i>MIN</i>	1.69	1.43

第三節 配對樣本 t 檢定分析

以配對樣本 t 檢定分析出槍瞬間身體矢狀面之軀幹角度、肩關節角度、肘關節角度、膝關節角度、槍足角度，標槍離手瞬間的槍體速度、角度、高度，助跑之步幅為交叉步著地到投擲步右腳著地之距離，以及投擲步右腳著地至投擲步左腳著地之距離是否在最佳與最差的投擲動作運動學上有差異，顯著水準設 $\alpha = .05$ ，結果在最佳與最差的投擲動作運動學上並無顯著差異，如表 4-7。

表 4-7 不同投擲距離的成對樣本 t 檢定

標槍投擲動作 參數	成績 佳		差		<i>t</i>	<i>p</i>
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>		
角度 (degree)						
軀幹角度	10.1	7.3	9.3	6.0	0.46	.655
肩關節角度	107.2	11.8	99.9	7.1	2.02	.078
肘關節角度	153.4	5.3	150.0	7.4	1.14	.287
右膝關節角度	129.7	7.9	131.0	10.7	-0.34	.740
左膝關節角度	143.0	13.6	142.4	14.6	0.09	.929
槍足角度	87.3	10.2	92.1	9.8	-1.32	.223
槍 COM 夾角	90.7	12.0	87.5	11.0	0.94	.375
出槍角度	35.1	7.9	38.7	12.7	-0.69	.508
速度 (m/s)						
出槍速度	18.3	3.0	17.8	2.6	0.84	.425
高度 (m)						
出槍高度	1.71	0.06	1.75	0.05	-1.61	.146
距離 (m)						
投擲成績	55.5	13.2	52.5	12.5	5.48	.001
交叉步步距	2.13	0.34	2.08	0.27	0.50	.630
投擲步步距	1.73	0.17	1.65	0.18	1.97	.084

第四節 主成份分析

一、特徵值與特徵向量

擷取投擲成績最佳時之各關節角度、跨步距離、出槍角度與速度等之運動學參數共 12 維，經過主成份分析，取特徵值大於 1 之成份數如圖 4-1，結果可將原始 12 種運動學參數縮減至只需要 4 個成分，即可解釋 89% 以上的變異如表 4-8，而各成分所包含之內容與相關性如表 4-9。

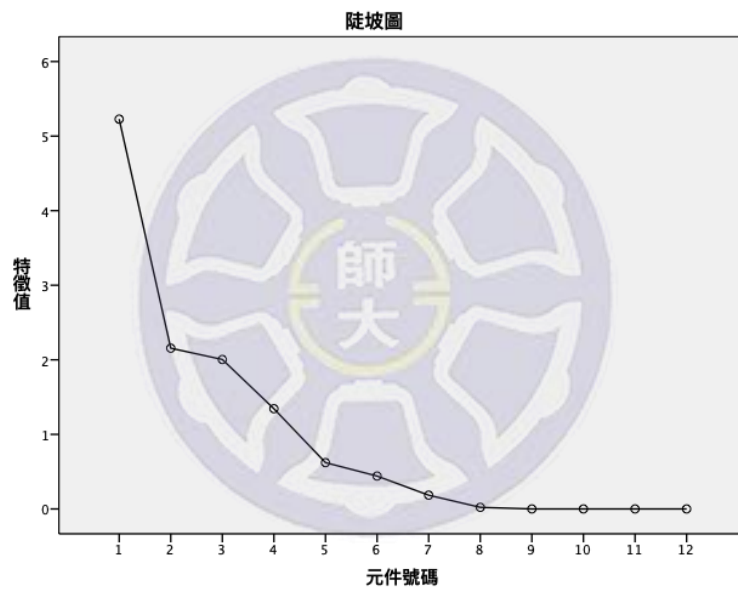


圖 4-1 投擲成績最佳時各成份數之特徵值

表 4-8 投擲成績最佳時之成份數與各成分變異數解釋量

成分	起始特徵值	變異百分比%	累積解釋量%
1	5.22	28.27	28.27
2	2.15	22.71	50.99
3	2.00	19.87	70.87
4	1.34	18.56	89.43

表 4-9 投擲成績最佳時各成份之內容

標槍投擲動作 參數	成分			
	1	2	3	4
槍足角度	.934			
右膝關節角度	.866			
肩關節角度	-.777			
投擲步步距	.630			
肘關節角度		-.978		
出槍速度		.749		
軀幹角度		.740		
左膝關節角度			.950	
交叉步步距			.939	
出槍高度				.834
槍 COM 夾角				.794
出槍角度				-.730



擷取投擲成績最差時之各關節角度、跨步距離、出槍角度與速度等之運動學參數共 12 維，經過主成份分析，取特徵值大於 1 之成份數如圖 4-2，結果可將原始 12 種運動學參數縮減至只需要 4 個成分，即可解釋 86% 以上的變異如表 4-10，而各成分所包含之內容與相關性如表 4-11。

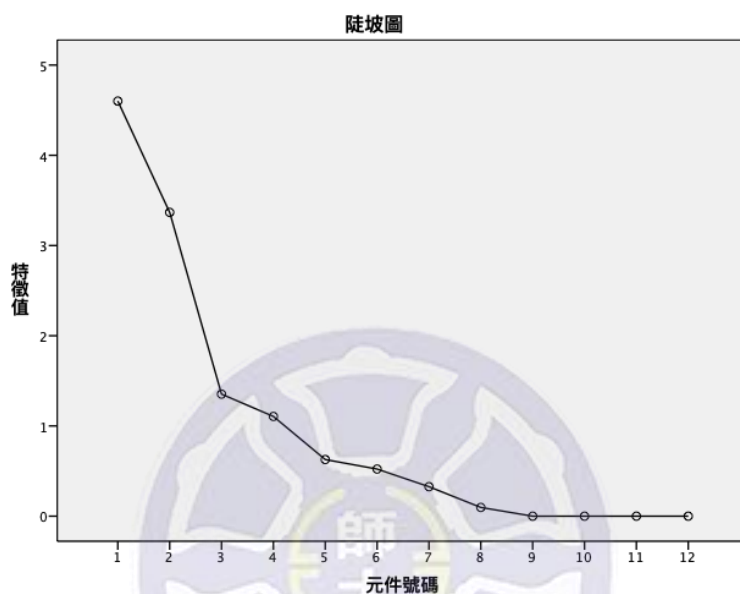


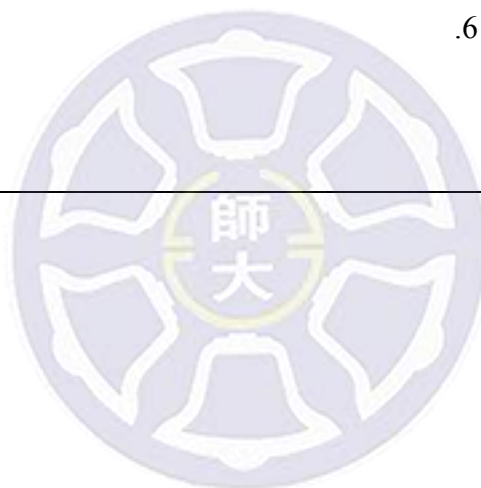
圖 4-2 投擲成績最差時各成份數之特徵值

表 4-10 投擲成績最差時之成份數與各成分變異數解釋量

成分	起始特徵值	變異百分比%	累積解釋量%
1	4.60	24.37	24.37
2	3.36	24.37	48.74
3	1.35	19.93	68.68
4	1.10	18.20	86.88

表 4-11 投擲成績最差時各成份之內容

標槍投擲動作 參數	成分			
	1	2	3	4
肩關節角度	-.923			
交叉步步距	.886			
投擲步步距	.723			
槍足角度		.948		
槍 COM 夾角		-.924		
左膝關節角度				
出槍高度			.782	
軀幹角度			.778	
出槍速度			.649	
出槍角度			.618	
右膝關節角度				.913
肘關節角度				-.839



第五章 討論

本研究在探討影響標槍投擲距離的動作特徵結果發現，選手投擲較遠時，肩關節角度於投擲較遠時為 $107.2 \pm 11.8^\circ$ ，較近時為 $99.9 \pm 7.1^\circ$ ($t=2.02$)，除了肩關節角度差異為 7.3 外，其他關節於兩種投擲距離之間，差異介於 0.8~3.4 度，而由圖 5-1 可發現，9 位選手中標槍投擲距離較遠時，有 6 位選手肩關節會較大，投擲較遠時，在其圖上看似有較大的肩關節角度，但投擲距離最遠的 9 號選手，肩關節為 95.1° ，低於投擲較近時的 100.2° ，因此不同選手投擲時，肩關節有不同動作方式，肩關節角度增加或減少，並不會影響擲槍距離。



圖 5-1 不同投擲距離選手之肩關節角度圖

標槍投擲最遠時之肘關節角度為 $153.4 \pm 5.3^\circ$ ，較近時為 $150.0 \pm 7.4^\circ$ ($t=1.14$)，投擲最遠的選手角度為 146.2° ，而投擲最近的選手角度為 162.6° ，而相關研究使用取樣頻率 50 Hz 的攝影機分析肘關節角度，結果指出優秀選手比賽時的肘關節角度為 $151 \sim 160^\circ$ ，與本研究分析之肘關節角度結果相似，同時本研究發現左腳（前腳）膝關節角度於投擲較遠時為 $143.0 \pm 13.7^\circ$ ，較近時為 $142.4 \pm 14.6^\circ$ ($t=-0.34$)，右腳於投擲較遠時膝關節角度為 $129.7 \pm 8.0^\circ$ ，較近時為 $131.1 \pm 10.7^\circ$ ($t=0.09$)，如圖 5-2，也與該研究結果的前腳膝關節角度範圍為 $137 \sim 173^\circ$ 符合 (Campos, Brizuela, & Ramón, 2004)，較彎屈的角度可能使身體質心較低，幫助控制身體停留在投擲的界線內。出槍瞬間軀幹角度、肩關節角

度、左右腳膝關節角度在不同投擲距離之間未發現差異。軀幹角度於投擲較遠時，向前傾斜 $10.1 \pm 7.3^\circ$ ，投擲距離較近時為 $9.3 \pm 6.0^\circ$ ($t=0.46$)，

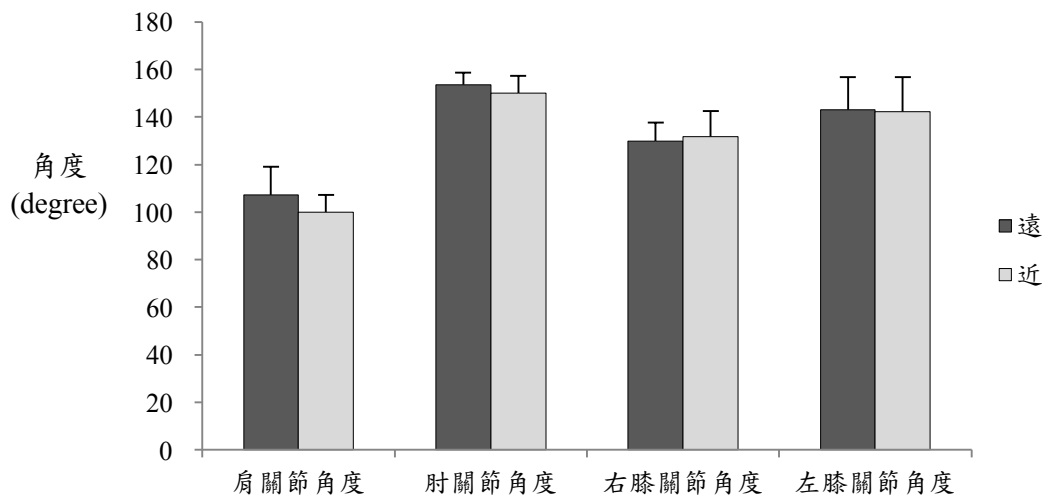


圖 5-2 標槍投擲瞬間選手之關節角度圖

在槍體運動學部分，即使投擲距離不同，槍體有相似的速度、高度、角度。投擲成績較佳的平均距離為 55.0 ± 12.5 m，成績較差的平均距離為 52.1 ± 11.8 m，其中飛行最遠距離為 73.0 m，在此筆資料中，槍體速度為 22.9 m/s，出手高度 1.74 m，角度為 41.0° 。投擲成績較佳的出手高度為 1.71 ± 0.06 m、角度為 $35.1 \pm 7.9^\circ$ 、槍體速度為 18.3 ± 3.0 m/s，投擲成績較差時出手高度為 1.75 ± 0.05 m、角度 $38.7 \pm 12.7^\circ$ 、槍體速度為 17.8 ± 2.6 m/s。出手高度與角度在不同投擲距離間，未發現差異 (高度: $t=-1.61$ ；角度 $t=-0.69$)。相關研究曾建議出手角度為 $32^\circ \sim 36^\circ$ (Kunz & Kaufmann, 1983)，而在拋體公式則是於 45° 時能有較遠的拋射距離，但標槍的出手須考慮出手的高度、速度與槍體運動等，Kunz & Kaufmann (1983) 的受試者擲槍距離於 44~67 m 之間，建議 $32^\circ \sim 36^\circ$ 的出槍角度，而相關研究在國際田徑總會 (IAAF) 比賽中發現，選手擲槍距離到達 89 m 時，出槍角度為 37° 和 31° (Campos, Brizuela, & Ramón, 2004)，Morriss, Bartlett, and Fowler (1997) 分析 12 位世界田徑錦標賽的選手指指出，選手成績介於 78.16~89.06 m 之間的成績中，出手角度平均為 38.0° ，成績最好的選手出槍時的高度為 181 cm。因此不論是擲槍較遠的選手或擲槍距離較近的選手， $32^\circ \sim 38^\circ$ 的出槍角度皆為適當的角度，本研究之投擲成

績較佳的出手角度為 $35.1 \pm 7.9^\circ$ 與符合與過去研究之結果，但投擲成績較差的出手角度為 $38.7 \pm 12.7^\circ$ ，去高於過去研究，其原因可能是身高和出手高度使本研究選手採用較高的出槍角度，過去研究的選手為歐美選手，出手高度於 1.8~2.0 m 之間 (Campos, Brizuela, & Ramón, 2004)，而本研究皆為亞洲選手，出手高度在 1.71~1.75 m 間，因此在出手角度上可能有不同策略。

在步距部分投擲成績較佳時，由交叉步著地到投擲步右腳著地之平均距離為 2.13 ± 0.34 m，投擲成績較差時為 2.08 ± 0.27 (t=-0.50)，投擲成績較佳時之投擲步右腳著地至投擲步左腳著地之平均距離為 1.73 ± 0.17 m，投擲成績較佳時為 1.65 ± 0.18 m (t=1.97)，在不同投擲距離間有相似的步距。雖然在標槍投擲時研究所呈現的各關節角度與步距在統計上成對樣本 t 檢定中皆未達顯著差異，但其中肩關節角度 ($p=.078$) 與投擲步步距 ($p=.084$) 接近顯著，或許未來研究可以朝這兩個部分多加探討。

在收取資料時選手於非賽季期間，應此可能無法獲得最好的投擲數據，在不同投擲距離之動作特徵類似的結果，槍體速度差異之平均值僅差 0.5 m/s，因此模擬比賽時，選手出手注重的動作的穩定和流暢，在投擲最遠和最近的動作分析中未有明顯的不同，此外，由於受試者在全身皆貼上反光球，同時槍體上亦有 2 個反光球，反光球對於動作和槍體飛行可能會造成影響，標槍槍體的重量、重心會改變，同時槍體在空中的旋轉以及阻力亦受影響。

不同的的投擲動作除了影響選手的表現外，更讓人感興趣的是投擲動作本身受到了哪些要素所影響？透過主成份分析，將不同投擲成績之各關節角度、跨步距離、出槍角度與速度等之運動學參數共 12 維，經過主成份分析，由於本研究所分析之運動學參數為不同單位量，所以萃取主成份之方式選用相關矩陣，共同性設為 1，取特徵值大於 1 之成份數，結果投擲成績較佳與較差的運動學數據皆可將原始 12 種運動學參數縮減至只需要 4 個成分，即皆可解釋 80% 以上的動作，只有在各成份內容上有所差異，在投擲成績較佳的第一主成份內容包含肩關節角度、投擲步步距、右膝關節與槍足角度，變異量為 28.27%，而投擲成績較差的第一主成份內容包含肩關節角度、投擲步步距與交叉步步距，變異量為 24.37%，其中兩種投擲距離之第一主成份皆包含關肩節角度、投擲

步步距，說明在投擲動作中肩關節角度與投擲步步距確實有相當重要影響，對照不同投擲距離的成對樣本 t 檢定，雖然皆未達顯著差異，但其中肩關節角度 ($p=.078$) 與投擲步步距 ($p=.084$) 是在所有運動學參數中最接近顯著，或許未來研究可以朝這兩個部分多加探討。



第陸章 結論與建議

第一節 結論

本研究主要目的為透過主成份分析探討影響標槍投擲技術的運動學參數，所得結論如下：

- 一、在投擲成績最佳與最差的運動學參數中並無差異。
- 二、在主成份分析部分，投擲成績較佳與較差的第一主成份內容皆包含肩關節角度與投擲步步距，可見在投擲動作中肩關節角度與投擲步步距確實有相當重要影響。

第二節 建議

未來可多針對肩關節角度與投擲步步距等運動學參數多加分析，別找出最佳投擲技術的特徵。



引用文獻

中文部分

王良展 (2002)。我國標槍選手投擲動作之三度空間運動學分析及 2D 電腦模擬預測。未出版碩士論文，國立體育學院。桃園縣。

林寶城 (2001)。投擲的運動生物力學。載於許樹淵 (主編)，運動力學 (頁127-155)。台北市：中華民國體育學會。

邱靖華 (2000)。男子世界標槍紀錄保持者之最佳出手條件推估。大專體育學刊，11，733-766。

邱永興、劉俊概、李建勳、涂瑞洪 (2005)。標槍投擲之最佳出手條件探討。中華體育季刊，19 (2)，37-44。

翁梓林 (1998)。國內優秀選手標槍投擲三度空間運動學分析。台北師院學報，11，733-766。

陳秀惠 (2005)。量化全身性運動協調之工具-主成份分析，體育學報，38(4)，39-52。

陳秀惠 (2009)。以主成份分析量化多肢段運動協調的方法與實作。載於劉有德 (主編)，運用主成份分析量化運動行為(頁43-62)。台北市:五南出版社。

英文部分

Bartlett, R. M., & Best, R. J. (1988). The biomechanics of the javelin throw: A review. *Journal of Sport Science*, 6, 1-38.

- Bartlett, R., Muller, E., Raschner, C., Lindinger, S., & Jordan, C. (1995). Pressure distributions on the plantar surface of the foot during the javelin throw. *Journal of Applied Biomechanics*, 11, 163-176.
- Balasubramaniam, R. & Turvey, M.T. (2004). Coordination modes in the multisegmental dynamics of hula hooping, *Biological Cybernetics*, 90, 176-190.
- Chen, H. -H, Liu, Y.-T., Mayer-Kress, G. & Newell, K. M. (2005). Learning the Pedalo Locomotion Task. *Journal of Motor Behavior*, 37, 247-256.
- Fradet, L., Botcazou, M., Durocher, C., Cretual, A., Multon, F., Prioux, J., & Delamarche, P. (2004). Do handball throws always exhibit a proximal-to-distal segmental sequence. *Journal of Sports Science*, 22, 439–447.
- Hong , S., & Newell, K.M. (2006). Change in organization of degrees of freedom with learning. *Journal of Motor Behavior*, 38, 88-100.
- Hui L., Steve, L., & Bing, Yu., (2014). Comparison of sequence of trunk and arm motion between short and long official distance group in javelin throwing. *Sport Biomechanics*, 13 (1) ,17-32.
- Hirashima, M., Kadota, H., Sakurai, S., Kudo, K., & Ohtsuki, T. (2002). Sequential muscle activity and its functional role in the upper extremity and trunk during overarm throwing. *Journal of Sports Sciences*, 20, 301-310.
- Mero, A., komi, P. V., Korjus, t., Navarro, N., & Gregor, R. J., (1994). Body segment contributions to javelin throwing during final thrust phases. *Journal of Applied*

Biomechanics, 10, 166-177.

Morriss, C., & Bartlett, R. (1996). Biomechanical factors critical for performance in the men's javelin throw. *Journal of Sports Medicine*, 21(6), 438-446.

Morriss, C., Rartlett, R., Navarro, E. (2001). The function of blocking in elite javelin throws: a re-evaluation. *Journal of Human Movement Studies*, 41, 175-190.

Moura, F. A., Martins, L. E., Cunha, S. A. (2014). Analysis of football game-related statistics using multivariate techniques. *Journal of Sports Sciences*, 32(20), 1881-1887.

Roger, B., Erich, M., Christian, R., Stefan, L., & Caroline, J. (1995). Pressure distributions on plantar surface of the foot during the javelin throw. *Journal of Applied Biomechanics*, 11,163-176.

Whiting, W. C., Grego, R. J., &Halushka, M. (1991). Body Segment and release parameter contribution to new rules javelin throwing. *International Journal of Sport Biomechanics*, 7, 111-124.