

國立臺灣體育學院競技運動學系
碩士學位論文

鉛球投擲最後出手動作技術分析
~以參加 2007 年德國哈勒投擲邀請賽鉛
球選手比賽為例~

THE TECHNICAL ANALYSIS OF THE FINAL
RELEASE MOTION OF SHOTPUT
~THE ANALYSIS OF BIOMECHANICAL MOTION
BEFORE THE SHOTPUTTING RELEASE IN 2007
GERMAN HARLER INVITATIONAL GAME~



研究生：張銘煌 撰
指導教授：趙榮瑞 教授

中華民國 99 年 6 月

鉛球投擲最後出手動作技術分析 ~以參加 2007 年德國哈勒投擲邀請賽鉛球選 手比賽為例~

摘 要

筆者，自 2006 年第十五屆杜哈亞運獲得歷屆男子鉛球銅牌之後，以 19.45 公尺成績並打破自己所保持的全國紀錄（19.09 公尺），將續在 2007 年德國哈勒投擲邀請賽以（20.20 公尺）再創新猶。短期間之內，以旋轉式推鉛球的技術將國內紀錄（18.18 公尺）往前邁進了兩米之多，不免讓國內研究學者深感興趣。因此，本研究為探討德國哈勒投擲邀請賽鉛球投擲最後出手動作技術分析。

對象為德國哈勒投擲邀請賽前七名決賽菁英選手，其中包含三位滑步式投擲及四位旋轉式投擲選手，於鉛球投擲場地側邊 90 度角架設 DV 擷取影片資料，以 Silicon Coach 動作分析軟體進行分析。分析範圍為投擲者最後階段-投擲階段（release phase），主要分析擲鉛球出手距離、出手平均速度、出手高度、出手角度、鉛球角度、鉛球平均速度、成績。採用單一樣本 t 檢定說明六項參數之穩定性與否，再依 One-way ANOVA 檢定進行旋轉式、滑步式投擲最後出手動作之同質性檢定，事後再比較以 Pearson 相關係數考驗成績與六項（出手距離、出手高度、出手平均速度、出手角度、鉛球角度、鉛球平均速度）之關係。研究結果顯示：在出手角度上，我國選手張銘煌（ 41.2° ）為最低及 Bartels, Ralf（ 55.9° ）為最高，同時也形成張銘煌（ 35.5° ）鉛球飛行角度較低、Bartels, Ralf（ 43.6° ）鉛球飛行角度為最高。Bartels, Ralf 選手更在出手角上顯著優於其他六位選手，因此在成績上，其組間差異同時也達到顯著性差異。

關鍵字：旋轉式投擲、出手角度、鉛球

The Technical Analysis of the final Release Motion of Shotput
~The analysis of biomechanical motion before the shotputting Release in
2007 German Harler invitational game~

Abstract

In 2006, Ming-Huang Cheng, the national record holder for shot put in Taiwan, won the bronze medal of men ' s shot put by 19.45 metres in Doha Asian Games and broke the national record of 19.09 metres. After that, he again outdid his own record by 20.20 metres in 2007 Halle Invitational Throwing Game. He added about 2 metres to the national record by rotational technique in short time. Therefore, the purpose of this study is to analyze in 2007 Halle Invitational Throwing Game.

The subjects of this study were the seven elite shot-putters who had entered the final of 2007 Halle Invitational Throwing Game, including three using the glide technique and four the rotational technique.

The video data was collected by the Digital Video set 90 degree beside the shot put field and analyzed by the Siliconcoach video analysis software. Only the data in the release phase is analyzed, including release position, average release velocity, release height, release angle, shot put angle, average shot put velocity, and the result. The study adopts one sample t-test, one way ANOVA, and Pears to analyze the data.

The result indicated that Ming-Huang Cheng has the lowest release angle 41.2° and Ralf Bartels the highest 55.9° , his shotput has the lower flying angle 35.5° while Ralf Bartels the highest 43.6° . More over, since Ralf Bartels ' release angle is much better than other six, the difference between group is significant in result.

Key words: Rotational technique, release angle, shot put.

誌謝

首先誠摯的感謝指導教授趙榮瑞博士，老師細心的教導使我得以一窺運動競技領域的深奧，不時的討論並指點我正確的方向，使我在這些年中獲益匪淺。老師對於學問的嚴謹更是我學習的典範。

本論文的完成另外亦得感謝中華民國田徑協會林正峰前理事長與王景成秘書長，為我向行政院體委會爭取到寶貴的國外移地訓練計畫與經費，在他們用心安排之下把銘煌送到德國訓練及比賽。在德國訓練的日子裡也感謝眾位師長：包括黃忠仁副理事長、邱永盛訓練組組長、林佳和老師與郭燦星老師的幫忙與鼓勵。

銘煌在這一段期間，也要感謝黃茂穎學長在百忙之中及不厭其煩的指出我研究中的缺失，並給我寶貴意見及修改，且總能在我迷惘時為我解惑，也感謝我的家人在我求學過程中鼓勵與支持。也要感謝行政院體育委會國家運動選手訓練中心的運科組，提供完善的軟硬體設備。

感謝國立台灣體育學院競技運動學系研究所的師長們，在銘煌研究所求學當中鼓勵與支持，特別感謝田徑隊投擲教練呂欣善老師，用心栽培銘煌在訓練上突破成績更是我前進的動力

最後，感謝我的口試委員高明峰老師、陳裕鏞老師、林晉榮老師以及我敬愛的指導教授趙榮瑞老師，謝謝您們用心的指導。

目錄

摘要	I
誌謝	III
第一章 緒論	1
第一節 研究背景	1
第二節 研究動機與目的	2
第四節 研究範圍	3
第五節 研究限制	4
第六節 名詞解釋	4
第二章 文獻探討	7
第一節 鉛球運動的歷史	7
第二節 影響鉛球投擲距離的因素	10
第三節 關於鉛球最佳出手角度	15
第四節 鉛球出手的相關性	17
第五節 滑步式與旋轉式推鉛球動作技術之探討	22
第三章 研究方法	37
第一節 研究對象	37
第二節 實驗時間與地點	38
第三節 實驗儀器與工具	38
第四節 實驗場地佈置	39
第五節 實驗方法與流程	39
第六節 資料處理	41
第七節 研究範圍與限制	42
第八節 資料分析	42
第四章 結果與討論	43
第一節 鉛球投擲最後出手動作之單一比較	44

第二節	鉛球投擲最後出手動作之同質性檢定	45
第三節	鉛球投擲最後出手動作之相關性比較	48
第四節	總結	50
第五章	結論與建議	53
參考文獻	55

圖目錄

圖 1 - 1 出手示意圖王效紅、張英波 (2004)	4
圖 1 - 2 出手角度示意圖	5
圖 1 - 3 鉛球飛行角度示意圖	5
圖 2 - 1 滑步式推鉛球技術動作圖 (摘自 盧雁)	9
圖 2 - 2 旋轉式推鉛球技術動作圖 (許樹淵 , 1992)	9
圖 2 - 3 投擲測量距離 = 抵趾板的水平出手距離 (dh) + 拋 射距離 (dp)	11
圖 2 - 4 斜拋運動公式	11
圖 2 - 5 鉛球投擲運動生物力學模式 (許樹淵 , 1997) ...	13
圖 2 - 6 滑步式推鉛球技術動作分析圖 (摘自盧雁)	25
圖 2 - 7 過渡階段圖	30
圖 2 - 8 左腿單支撐階段圖	31
圖 2 - 9 騰空階段圖	32
圖 2 - 10 右腳單支撐階段圖	33
圖 2 - 11 雙腳支撐階段圖	34
圖 2 - 12 投擲階段圖	35
圖 3 - 1 場地設置圖	39
圖 3 - 2 步驟與流程圖	40
圖 3 - 3 Silicon Coach 分析軟體操作介面	41
圖 4 - 1 我國選手張銘煌及 Bartels, Ralf 在最後出手角度比 較分析圖	53

表目錄

表 3 - 1 選手基本資料	37
表 3 - 2 實驗時間與地點	38

第一章 緒論

第一節 研究背景

近十年來世界田徑錦標賽，利用滑步式推鉛球技術與旋轉式推鉛球技術的選手都創造了優異的成績。過去台灣推鉛球的方式，採用旋轉式推鉛球技術動作的男性鉛球選手非常稀少，大部份男性選手還是都採用滑步式推鉛球技術，例如先前的台灣區運動會的鉛球比賽中男性選手幾乎都使用滑步式推鉛球技術。然而在 2003 年全國運動會的男子鉛球比賽中，第一名的選手以採用旋轉式推鉛球技術動作的成績（18.18 公尺），打破了滑步式推鉛球技術動作的成績（18.02 公尺），因此採用旋轉式推鉛球技術動作便是形成了主要訓練的形式。以目前台灣的鉛球全國紀錄成績（20.20 公尺）和亞洲紀錄成績（21.13 公尺）及世界紀錄成績（23.12 公尺），還是有所差異的，所以如何在旋轉式推鉛球的技術層次上進步，這是一個非常值得研究的重點。

在旋轉式推鉛球技術動作的演變下，許多國內學者與教練也漸漸的對於旋轉式推鉛球技術動作，進行相關的研究，旋轉式推鉛球技術動作上的理論分析比較複雜，研究學者與教練也受限於國內有限的文獻，在旋轉式推鉛球技術動作的教學與訓練發生困難，這是我們台灣所面臨的瓶頸問題。

隨著田徑運動的實踐和體育科學的發展，推鉛球的技術是不斷的改進和完善。而且提高其成績是教練員和體育教師普遍關注的問題，近年來許多專家學者對推鉛球技術投入了研究和探討。而研究人員相繼對運用生物力學提出對推鉛球

技術進行了相關分析。但是對於推鉛球運動的研究，往往集中在出手速度、出手高度和出手角度等因素的獨立研究，其中尤其以研究鉛球的出手角度最多，如對傳統最佳角度的研究，並提出了修正角度公式（高傑峰、等，2005）。但是綜合看法，影響推鉛球技術的因素不僅涉及生物力學的基礎原理，而他更強調的是，個體差異的身體素質所產生的影響。而且力量是鉛球運動員的重要身體素質之一，如何發展鉛球運動員的力量素質，是提高鉛球運動員成績的重要因素（張天祥，2000）。是故，所以我們更要清楚的揭露，從選手比賽觀察的角度來分析，在定性研究上應該要更深入的討論，利用生物力學的分析中對選手的觀察。要建立定性研究上的意義，必須加以分析選手個體在力量素質上的觀察，如此未來在實質上對選手的訓練技術才能更接近實務與突破。

第二節 研究動機與目的

本研究主要以全國紀錄保持人為例，自從2006年第十五屆杜哈亞運獲得歷屆男子鉛球銅牌之後，以19.45公尺成績並打破全國紀錄（原紀錄19.09公尺），成為國內投擲項目國家重點培育選手，仍為國內鉛球全國紀錄保持人，體型條件亦屬國際型選手體型，過去參加2007年德國哈勒投擲邀請賽，該比賽有來自歐洲和世界排名幾位知名選手參賽，亦是德國年度最重視的比賽之一。因此，各選手實力並駕齊驅，如何突破現況成績之瓶頸，在技術上的提升分析是當務之急。因此透過瞭解全國紀錄保持人與各國選手的大型比賽，

在定性的觀察研究上進一步分析的優缺點，猶為當務之急。

本研究的主要目的是透過運動生物力學的二度空間動作分析法 (2D Motion Analysis)，探討 2007 年德國鉛球巡迴賽比賽中技術動作之定性分析，為主要研究目的為：

探討全國紀錄保持人-張銘煌與各國鉛球最後出手動作之觀察，主要分析擲鉛球出手距離、出手平均速度、出手高度、出手角度、鉛球角度、鉛球平均速度、成績。

- 一、比較各個國家選手鉛球投擲最後出手動作之單一比較分析。
- 二、比較各個國家選手鉛球投擲最後出手動作之同質性檢定分析。
- 三、比較各個國家選手鉛球投擲最後出手動作之相關性比較分析。
- 四、總結：依各個國家選手鉛球投擲最後出手動作分析觀察研究後，總結提出具體實際技術結果改善。

第四節 研究範圍

本研究係屬個案研究的範圍，主要是針對全國紀錄保持人及其他國家選手在 2007 年德國哈勒投擲邀請鉛球比賽中進行投擲技術研究，研究內容是以全國紀錄保持人及其他國家選手六次投擲取得最遠的一次為主。主要研究方法是透過影片及運動生物力學的二度空間分析法 (2D Motion Analysis) 進行研究。

第五節 研究限制

本研究其實施一次實驗，於正式比賽試擲時拍攝，針對全國紀錄保人及其他國家選手之出手高度、出手角度、出手速度等運動學參數研究，至於其他運動學參數則未加以研究。

第六節 名詞解釋

- 一、最後出手：鉛球於投擲階段（release phase）至鉛球離手過程中最後出手動作。
- 二、出手距離：鉛球離開投擲者手的一霎那，球離底趾板的水準距離（如圖 1-1）。
- 三、出手高度：鉛球離開投擲者手的一霎那，球離底趾板的垂直距離（如圖 1-1）。

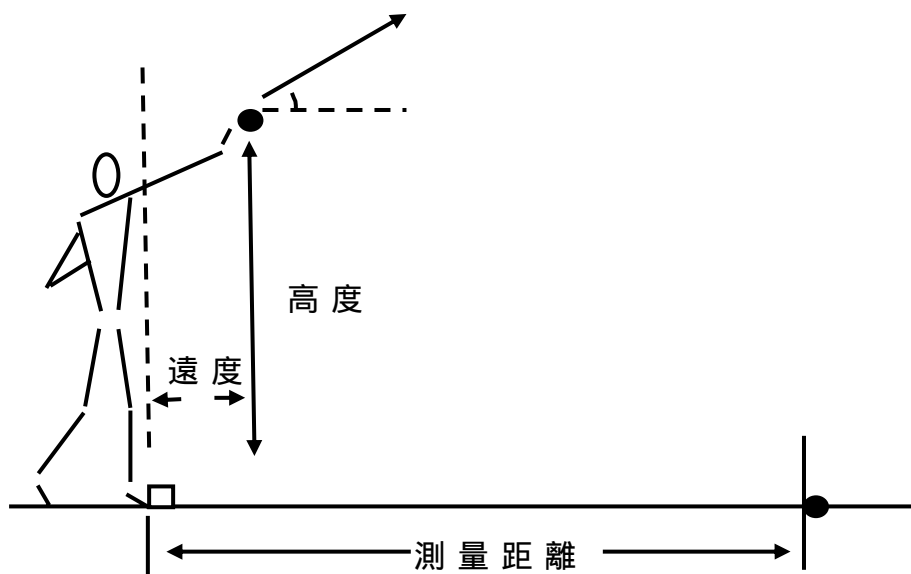


圖 1 - 1 出手示意圖王效紅、張英波（2004）

四、出手平均速度：鉛球於投擲階段中，從頸部到鉛球離手時的手腕平均速度。

五、出手角度：鉛球在出手時與水平方向之間的夾角（如圖 1-2）。



圖 1 - 2 出手角度示意圖

六、鉛球飛行角度：鉛球於投擲階段中，從頸部到鉛球離手時與水平面的角度（如圖 1-3）。



圖 1 - 3 鉛球飛行角度示意圖

七、鉛球平均速度：鉛球於投擲階段中，從鉛球離手至下一張圖時的鉛球平均速度。

第二章 文獻探討

第一節 鉛球運動的歷史

縱觀推鉛球運動發展至今有 600 多年的歷史，在西元 1340 年前，蘇格蘭和愛爾蘭的民間遊戲中，就有一種方法與推鉛球動作基本相似的比賽活動，它被人們認為是鉛球運動的雛形。推鉛球被認定為田徑比賽是在十八世紀 60 年代。在西元 1865 年時，英國的牛津和劍橋兩所大學的在校學生就用 7.25 公斤的鉛球進行了比賽。現代男子鉛球比賽，鉛球的標準重量即是根據砲彈的重量 16 磅而來的，現在的鉛球重量為 7.26 公斤，是 1978 年國際業餘田徑協會所制定得重量（吳文忠，1952）。

推鉛球作為近代奧運會的比賽項目，男子鉛球項目是在 1896 年第一屆近代奧運會上舉行，第一名成績為 11.22 公尺；而女子鉛球項目則是在西元 1948 年十四屆近代奧運會中舉辦，冠軍的成績是 13.75 公尺，此時女子鉛球重量為 4 公斤。根據文獻記載，最初的推鉛球場地是在一條直線後面進行的，其準備方式五花八門，技術上也比較雜亂。後來規定在一個正方形場地上進行比賽，以後又改為在直徑 2.135 公尺的圓圈內進行，並限定鉛球必須落在一定落地區域內成績才有效（呂景義，2006）。在那麼小的圓圈裡面，要如何把鉛球的成績提升到最遠，然後要用什麼的技術動作把鉛球擲出，且落在有效的區域內。

鉛球運動的發展可追溯到十九世紀中，從現代第一屆奧運會開始，鉛球運動水準發展很快，從最早的歷史資料記載

的 11.79m 到現在 23.12m 的鉛球世界紀錄，整整提高了 11.33m (唐華義，2002)。鉛球成績的提高，很多程度上取決於鉛球技術的不斷變革和創新，在目前科技革命浪潮的推動下，多種科技手段，多領域和多學科知識以及相關項目先進訓練方法日益廣泛和深入的滲透、移植及應用，有效加快了投擲專項訓練理論與實踐的科學化進程。當今人們分析和解決各種時機問題則更具全面、系統、有序和協同等現代科學方法論的特點，同時也成為高水準選手訓練過程理論設計與具體實施中的一個極其重要的標誌。

鉛球運動是投擲項目之一，鉛球又是投擲項目中最重的器械，要想把鉛球推的更遠，就必須研究如何使運動員運用合理的運動技術及發揮強大的肌肉力量。鉛球運動員除了要掌握完善的運動技術（出手速度、出手高度、出手角度），還必須具備良好的身體素質（力量、速度）。Maheras (1998) 指出，出手速度是影響鉛球推擲距離的重要因素，其次是出手角度，出手高度是影響推擲距離最不重要的因素（其原因是因為大部分的優秀選手，在比賽中為了提高成績而增加出手速度）。

縱觀鉛球技術的演變，從最原始的墊步式推鉛球，發展到側向滑步式推鉛球、半背向式滑步推鉛球以及過渡到背向式滑步推鉛球，一直到今天背向式滑步技術（圖 2-1）與旋轉式技術（圖 2-2）並立共存，不難看出，提高出手初速度始終是推動鉛球技術變革的基本動因。



圖 2 - 1 滑步式推鉛球技術動作圖（摘自 盧雁）

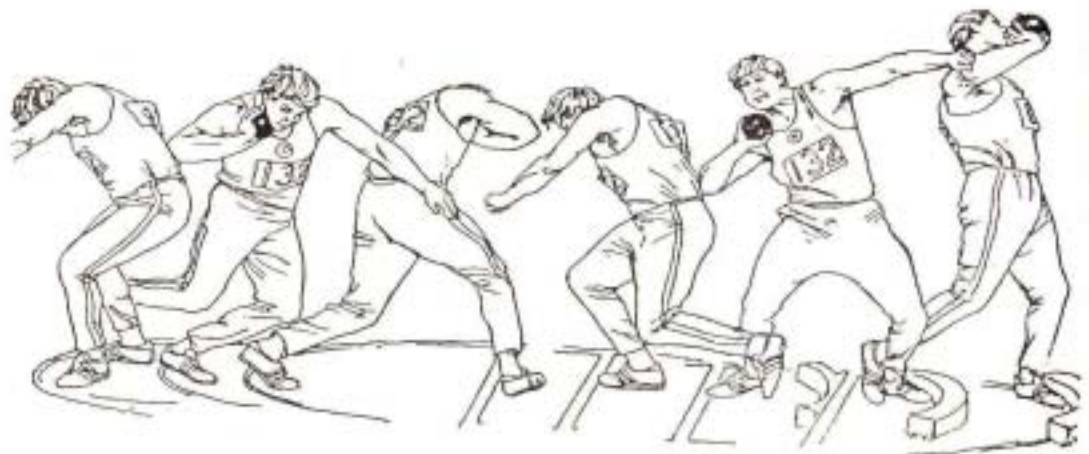


圖 2 - 2 旋轉式推鉛球技術動作圖（許樹淵，1992）

第二節 影響鉛球投擲距離的因素

推鉛球是一個以力量為基礎，以速度為核心的速度力量型的田徑投擲項目。依據投擲原理，鉛球的水準速度是決定鉛球投擲遠度的最主要因素（李建英、王曉剛，2004）。指出鉛球之投擲距離決定於出手速度、出手角度、出手高度，其中最重要的決定因素是出手速度（基於拋射體公式，因為速度的平方影響拋射距離）（Hay，1993）。過去學者李旭鴻及侯曼，（2005）從物理角度出發來分析鉛球的出手速度、出手高度和出手角度對飛行距離的影響。然而吳宏江（2005）也認為決定鉛球成績的要素是出手高度、出手角度和出手速度，但從運動競技的角度看，不同運動員的出手高度和角度是相對恆定的，不會因成績的提高而出現明顯的改變。

張健、鄭亞平（1998）研究顯示，最後用力是推鉛球技術中最主要及關鍵的環節。目前關於推鉛球技術研究主要涉及滑步與最後用力的銜接和左側支撐等動作的分析，而對軀幹動作的研究甚少，對其動作的三維生物力學分析尚未見到。最後用力技術中，滑步與最後用力的銜接和穩固有力的支撐，是影響推鉛球成績的主要因素。而如果要增大鉛球的投擲距離，就必須增加出手速度並採用適宜的投擲角度和較高的出手點。出手點一般比較固定，那麼從力學原理上來講，鉛球成績的好壞，主要取決於投擲角度和投擲速度（略去空氣阻力）（趙鴻斌，1996）。

王效紅、張英波（2004）為了更精確測量鉛球這項計畫的目的是決定對測量距離和一次高水準投擲有貢獻的潛在因素。鉛球的測量距離可以分為兩部分（圖 2-3）。

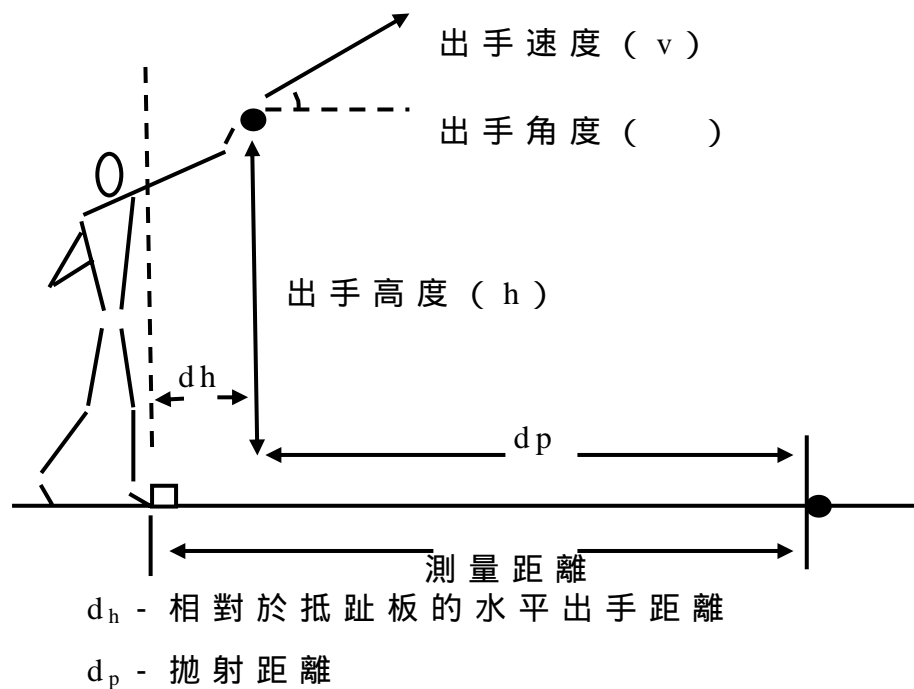


圖 2 - 3 投擲測量距離 = 抵趾板的水平出手距離 (d_h) + 拋射距離 (d_p)

第一部分是拋射距離，是指鉛球出手後移動的總距離。投擲距離是由出手高度、出手角度和出手速度決定的。這三個參數可帶入斜拋運動公式來計算拋射距離 (圖 2-4)。(v - 出手速度； θ - 出手角度； h - 出手高度； g - 重力加速度，大約為 9.81 m/s^2) 拋射距離是出手速度、出手角度和出手高度的結果。拋射距離與速度平方成正比。

$$d_{\text{拋射}} = \frac{V^2 \sin 2\theta}{2g} \left[1 + \left(\frac{2gh}{V^2 \sin^2 \theta} \right) \right]^{\frac{1}{2}}$$

圖 2 - 4 斜拋運動公式

對測量距離有貢獻的第二部分是出手點到測量點（抵趾板）的距離。其中拋射距離的貢獻率占到測量距離的 97%。

如果以物理角度分析鉛球的出手速度、出手高度和出手角度對飛行的距離影響，李旭鴻，侯曼（2005）提出的看法為：

- 一、鉛球的出手速度、出手高度及出手角度對飛行距離的影響各不相同，以出手速度對飛行距離的影響最大，只要稍有增加其飛行距離就會獲得較大的增加；其次是出手角度。因此，在訓練中應以發展出手速度為首要。
- 二、出手速度與出手角度之間的關係是非線性的，運動員要根據自身的條件，調節最佳的出手速度，而不必過分追求最佳出手角度。
- 三、出手高度對飛行距離的影響最小。
- 四、最佳出手角度不是一個固定數值，而是一個範圍；當出手速度一定時出手高度越高，相應的出手角度就越小；當出手高度一定時出手速度越大，相應的出手角度越大。

Luhtanen, Blomqvist (1997) 也提出，出手高度主要決定於選手的身高及手臂長；出手角度決定於水準及垂直速度；出手速度決定於鉛球之動量變化 - 衝量。

國內學者許樹淵（1997）曾經進一步指出，鉛球推投擲距離是由出手點與抵趾板之水平距離、出手後水平距離而定。除了出手點與抵趾板之水平距離需視體型和姿勢而定之外，出手後之水平距離則是由五大要素決定—推出速度、推出角度、推出時高度、重力、空氣阻力。（圖 2-5）

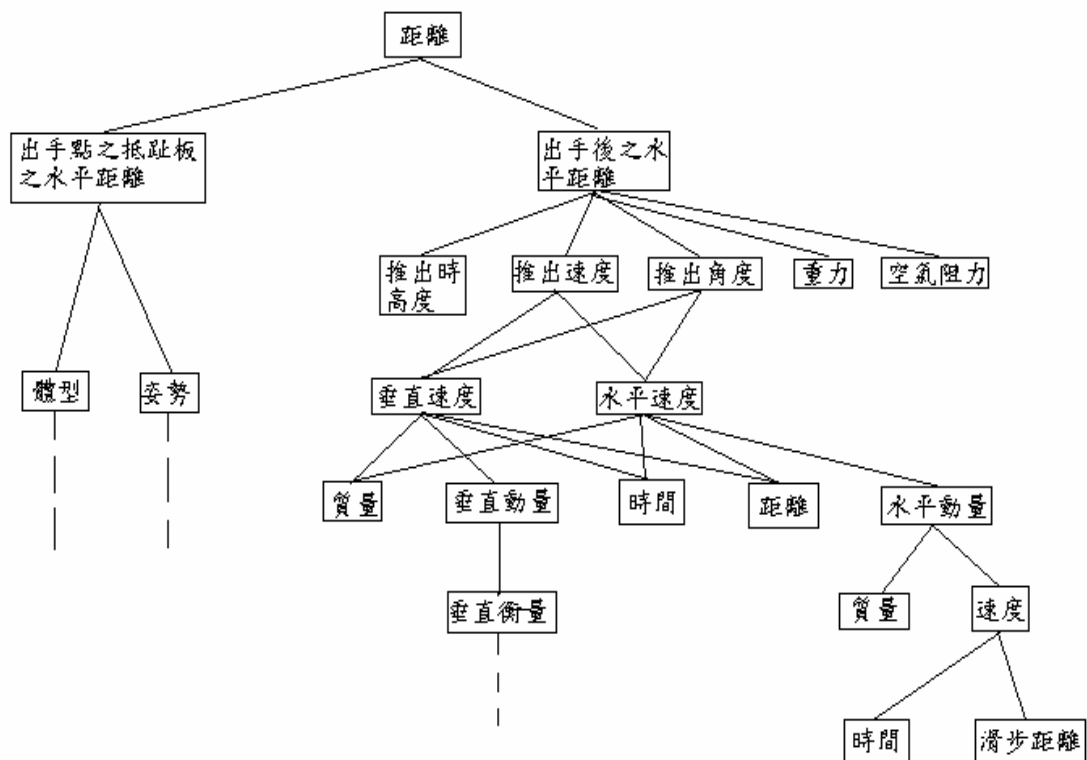


圖 2 - 5 鉛球投擲運動生物力學模式 (許樹淵, 1997)

然而，我們在實務訓練的觀察上，在滑步式推鉛球技術中對於控制身體平衡的要求卻不是那麼嚴謹，人體-器械系統的平衡對於成功運用旋轉式推鉛球技術是一個決定性的因素。如果做不出平衡的旋轉動作，鉛球則不是過早離手，就是方向不對，結果由於分力過大而影響投擲距離 (Palm 1991、Pyka and OTRANDO, 1991)。

鄭進平(2001)整理影響鉛球投擲距離的主要因素有：出手角度，出手高度和出手初速度。其研究的討論分為；出手角度，選擇科學的出手角度，高個子和矮個子選手，其身體條件是等同的；出手高度，這個因素是高個子的優勢，因為出手高度主要決定於選手的身材高度和臂的長短，雖然與腿

部力量和技术也有关系，但在选择科学的出手速度条件下，矮个子想在出手高度方面超过高个子是不可能的；出手初速度，这是最重要也是潜力最大的因素，这个因素对矮个子来说是比較有利的，因为在速度灵巧方面，一般说矮个子比高个子好一些，这就是短中有长，如果矮个子能多下功夫，盡力挖掘个人潜能，在速度方面争取优势就能彌補身高的不足，这是矮个子選手戰勝高个子的最重要的途徑。

綜合以上各學者專家之論述

一、推鉛球項目是一個以速度、力量、協調性的一個投擲項目。

二、影響鉛球投擲速度最重要的是鉛球水準速度。

三、從物理角度分析影響鉛球飛行距離有三大因素出手速度、出手角度、出手高度在三各因素當中對於鉛球飛行距離的影響各不相同，以出手速度對飛行距離影響最大。

四、當提升出手速度越快，相對會減小出手角度越小，當提升出手角度越大，相對會減慢出手速度。

增加出手初速度要做到三點：（一）整個過程速度快（二）力量足（三）幅度大。就如同，完善的鉛球技術最後用力投擲點的真實意義就在於它加大了人體給於器械的作功距離，使人體的爆發力完全的作用於鉛球上（王燕智，2000）。

第三節 關於鉛球最佳出手角度

鉛球在空中的運動軌跡是一條拋物線，它遵循斜拋運動的力學原理。在影響鉛球成績的諸多因素當中，尤以鉛球出手初速度為主導因素(侯金賢、蔡於儒，2001)。單信海(2004)鉛球出手後的飛行軌跡是由鉛球的三個出手初始條件(速度、角度、高度)決定的。而作為影響飛行軌跡的一個指標，最佳出手角度一直是近20年來鉛球技術研究的焦點，這些研究對我們認清鉛球飛行的規律無疑是有幫助的。

鉛球的飛行受空氣動力學作用較小，是一種拋射點高於落地點的協拋體運動，鉛球在飛行的遠度取決於出手速度、出手角度和出手高度。幾乎所以教科書何相關文獻均認為，投擲鉛球的最佳角度為 $40^{\circ}\sim 42^{\circ}$ ，因此在專項投擲訓練中，教練往往不加區分地、籠統地要求選手要盡力達到最佳的出手角度。然而，近20年來重要鉛球比賽的發現：許多世界級選手投擲鉛球的實際出手角大多小於 $40^{\circ}\sim 42^{\circ}$ 。如在世界田徑錦標賽上，所有採用滑步式投擲技術的運動員(如著名男子鉛球運動員布德爾、克利門科、巴加奇和維拉斯特尤克；著名女子鉛球運動員卡姆柏努斯、黃志紅、張榴紅)都有這樣一個特徵，即推球動作太低平，出手角度未能達到最佳或接近最佳的程度。還有人對採用旋轉式投擲技術的三名世界最優秀男子鉛球選戈迪亞、哈爾瓦利、貝恩斯在一次比賽中的6次投擲成績與出手角度的關係做了統計分析：除了戈迪亞有一次投擲出手角度為 41° ，達到最佳的程度外，其餘次數的投擲出手角度都在 $26^{\circ}\sim 37^{\circ}$ 之間，低於最佳程度(謝永文，1998)。劉明、金雲、(2001)等學者認為，鉛球出手角

度下降的主要原因是，鉛球選手要通過適當降低鉛球出手角度來換取能獲得更大利益的身體力量的充分發揮。鉛球選手在降低鉛球出手角度時未必是有意志的，當他找到一個能發揮身體力量的動作時，降低鉛球出手角度的事就自然發生了。

推鉛球是拋射點高於落地點的斜拋體運動，因此他的出手角度只有在小於 45° 的情況下才能獲得較大的遠度。但有觀點認為出手角度越接近 45° 越好，另外我們教科書上提供的是 $38^\circ\sim 42^\circ$ 的出手角度的最佳範圍。實踐中，世界優秀鉛球運動員的出手角要小於一些。拒不完全統計，他們的出手角度在 $35\sim 39^\circ$ 之間（鄭賀，2002）。推鉛球是拋射點高於落地點的斜拋體運動，因此它的投射出手角度只有在小於 45° 的情況下才能獲得較大的射程。但有人認為出手角度越接近 45° 越好，更有甚者提出最佳出手角度不限於小於 45° ，而更多的是在教學訓練中不加區分，籠統地要求選手採用 $38^\circ\sim 45^\circ$ 的出手角度（崔韜、李祖健，1988）。

李美霞等（2000）最佳出手角度分為理論最佳出手角度和實際最佳出手角度。所謂“理論最佳出手角度”是假定出手角度的變化不會影響運動員最大出手速度時，可獲得最大遠度的出手角度（過去的一些文獻資料所提供的最佳出手角度大多數是理論最佳出手角度參數）；所謂“實際最佳出手角度”是考慮了出手速度和出手角度之間存在著相互制約關係，在運動員現有基礎上可獲得最大遠度的出手角度。個人的實際最佳出手角度與過去的素質訓練和技術訓練情況有關，一般要比理論最佳出手角度小。成績在 19—22 m 之間的運動員的實際最佳出手角度在 $38^\circ—41^\circ$ 之間。曹海湧、陽學良（2002）在推鉛球技術中對影響出手角速度的因

素合外力矩、作用在器械上的工作時間、初始轉動慣量、制動環節轉動慣量以及投擲器械時的初始角速度，器械的工作距離分別進行對照分析，得出結論；現代推鉛球技術符合生物力學原理。張生芳、毛建民（2001）推鉛球最佳出手角度作為技術訓練的重要理論依據之一對改進和規範運動技術提高運動成績具有非常重要的意義但實踐證明以拋射點高於落地點的拋射運動規律所揭示的鉛球最佳出手角度與實踐中人們總結的最佳出手角度有較大的差異這就使人們對最佳出手角度的力學規律提出了質疑。

綜合以上各學者專家之論述：

- 一、在推鉛球的文獻與教科書上認為，鉛球的最佳地出手角度在 $38^{\circ}\sim 42^{\circ}$ ，在過去許多的世界級鉛球選手在比賽中實際出手角度大多小於一些。
- 二、優秀鉛球選手在比賽中為了取得很好的成績，增加出手速度，然而減低出手角度，他們的出手角度都在 $35^{\circ}\sim 39^{\circ}$ 之間。

第四節 鉛球出手的相關性

任運平、王法祥（2003）投擲鉛球是田賽的一個重要項目，分析研究認為推鉛球應是速度力量性專案。所以要想取得好成績，出手速度是一個重要的因素。以往討論都認為作用在鉛球上力越大，鉛球得到的出手速度就越大。事實上，運動員在比賽中作用在鉛球上的力都是盡可能大的，而對訓練有素的運動員來說，其作用在鉛球上的力量可以認為是一定的。在對推鉛球最後用力概念界定的基礎上，重新劃分推

鉛球最後用力階段，並對最後用力動作提出主要技術要求，指出了推鉛球完整技術動作，應該是放鬆自然，連貫流暢，銜接緊密而用力結構簡單，實用，充分發揮技術的總體效益（胡玖英，2003）。

房宜軍（1997）”最後用力”是推鉛球的主要技術環節，動作是否正確直接影響出手速度和出手角度，用力順序、方向、速度是否合理，也直接影響推鉛球的成績。推鉛球的最後用力是在前快速滑步的基礎上，而獲得的動力運動，推鉛球的場地很小，直徑有 2.135 米，在這麼小的場地上做人體得到快速的動作是比較困難。滑步距離一般只有 1 米左右。是決定人和鉛球速度快慢是用多長時間完成這一米的移動，從原理上看，這個過程既要求快，還要保持上體的自然協調，縮短滑步的時間是提高助跑效果的方法，而增加滑步速的速度又是加大最後用力的先決條件。王保華、劉豔春（2003）根據力學原理，在器械受力一定時，加速距離越長，出手初速度就越大。完整的推鉛球技術分為握持球、滑步、最後用力和緩沖平衡 4 部分，其中滑步就是為了充分利用有限的場地，加大工作距離，從而為最後用力創造條件。滑步效果的好壞是直接影響推鉛球整體動作的銜接性、實效性和運動成績提高重要環節。

許榮振（2000）因鉛球的初速度是由施加於鉛球的衝量而決定的，所以儘量通過長距離運行路線，施加最大的力來推出鉛球，才能取得理想成績。作為對決定身體和地面接觸點的腳，特別是主要發力的支撐腳的研究具有重要意義。李勇（2002）鉛球技術是由持球、預備姿勢、滑步、最後用力和維持身體平衡等幾個動作連貫組成。滑步的目的是使鉛球

在最後用力前獲得預先速度，把鉛球推得更遠。也就是說，所有動作都是為最後用力創造良好的條件。眾所周知，最後用力是整個推鉛球技術的關鍵，但是，最後用力時的支撐腿技術卻有被忽視的現象，而支撐腿技術的好壞，直接影響著最後用力的效果。

安強（2003）左側支撐在推鉛球最後用力過程中的作用是非常重要的。良好的左側支撐用力，能夠使運動員獲得理想的超越器械姿勢，取得適合自己的出手高度、出手角度、出手速度、產生最大的爆發力、獲得最大的出手速度、取得理想成績。趙士陸（2000）推鉛球最後用力技術中的兩點支撐就是指投擲者在滑步階段結束後的最後用力過程中，以左腳落地開始，右腳蹬離地面抬起止的階段。在實際技術結構來說，推鉛球動作就是從這個階段開始，在此之後的動作成為緩衝階段，兩點支撐是他們的鏈索，把這兩個階段緊緊連繫在一起，所以兩點支撐在完整的投擲技術中是非常重要的關鍵環節。

頓中明（1998）背向推鉛球中，左腿在滑步及期與最後用力的銜接階段中起到了引導，驅動和支撐作用。從滑步和最後用力兩個緊密聯繫又相對獨立的技術環節中，對左腿的技術動作及其意義進行了探討，旨在使我們充分認知左腿再推鉛球的作用。耿岳、宋廣林（2004）鉛球滑步雙支撐階段是一個銜接連貫的過程，這一階段的動作節奏過慢或過快都將影響鉛球最後用力動作，影響滑步階段所獲得的初速度。正確的動作節奏應是在保證形成最佳用力的條件下越快越好。肖開提、百合提（2001）隨著科學技術的快速發展，各項體育運動技術都在向合理、實用性轉變，為了更快地提高

運動成績，特別是技術性非常強的專案，如不改變技術結構，不強調技術環節所起的作用，運動成績很難提高，就擲鉛球運動中最後用力左腿的工作談談在整個技術中所起的作用。

李堅、丁群（1999）運動員推鉛球技術的身體重心與鉛球速度及其關係變化特徵。研究結果表明：滑步結束時鉛球運動速度存在一個適宜區段；運動員最後用力發力時間是在最後用力階段之前；全程推球中鉛球速度有兩個較大起伏，而不是不斷加速等。

建共、田峰（2002）對鉛球運動員最後用力階段非投擲臂的運動學特徵分析，發現：非投擲臂擺動的速度、軌跡和擺動時機，會直接引起部分身體環節的變化，乃至影響到鉛球運動員正常技術發揮和投擲成績。田峰、畢亞旭（2001）鉛球運動員在最後用力階段左臂的運動學特徵，發現在最後用力階段左臂擺動的速度、軌跡以及在鉛球運動員身體轉動至正對投擲方向時左臂急速制動的時機，左臂擺動時引起身體姿勢的變化，對於能否正常發揮出鉛球運動員的技術、素質潛力，對於鉛球運動員的運動成績具有重要影響。

王保成、周志雄（2000）之研究報告指出：推鉛球是通過滑步在專項運動方向上，難產生器械最高出手速度的速度力量性項目。針對滑步式與旋轉式推鉛球技術發展，我們認識到鉛球是一項速度力量型之運動，以力量為基礎、以速度為核心。鉛球在空中的運動軌跡是一條拋物線，它遵循斜拋運動的力學原理。在影響鉛球成績的諸多因素當中，其中以鉛球出手初速度為主導因素。白光斌等（2005）最後用力階段的主要任務是使鉛球進一步積極並逐漸的加速，使鉛球在出手瞬間獲得盡可能的初速度、適當的出手角和出手差。馮曉

東、畢長年（1999）在推鉛球這個項目中，最後用力是主要的技術環節，由於出手初速度的 80%—85% 來自於最後用力的階段，其動作正確與否直接關係著出手速度、出手角度和出手高度，影響著器械飛行的遠度。隨著現代推鉛球技術的不斷改進，一些傳統的觀念和技術逐漸受到質疑或沖擊。

從運動生物力學的角度對旋轉式投擲鉛球技術進行分析，認為該技術具有可增大作用力時間使鉛球出手速度更快，最後用力時間更短的優勢（季虎，2005）。

影響鉛球速度的主要因素：

（一）出手速度

（二）出手角度

（三）出手高度

其中起決定性作用的是出手速度。

由牛頓第二定律

$$F = m a$$

$$V = a t$$

可得 $V = \frac{1}{M} Ft$

F — 人作用於鉛球上的力；

m — 鉛球的質量

a — 鉛球獲得的加速度

v — 鉛球的出手速度

t — 力作用於鉛球時間

通過查閱大量相關資料，從出手角度、最後用力的工作距離和時間、鉛球最後用力上升的高度等方面，運用運動生物力學的原理進行分析研究（魏建和，2004）。經由分析和數理推導，提出因助跑速度和最後用力使鉛球產生的速度方向

不同，滑步推鉛球的出手初速度是隨出手角度改變而變化的變量，有人認為引起這種變化原因是鉛球自身重量：當採用“最佳出手角度”投擲時，鉛球重力在出手初速度反向上的分力阻礙較大，當降低出手角度時，此分力阻礙減小，故出手初速度增大（周立、周清，2001）。

綜合以上各學者專家之論述：

- 一、鉛球出手是推鉛球主要的技術關鍵，動作正動會直接影響出手速度和出手角度，用力順序、方向、速度。
- 二、鉛球出手階段，主要任務要讓鉛球逐漸加速，使鉛球出手瞬間獲得盡可能的初速度、適當的出手角和出手差。
- 三、由於出手初速度，是來自於鉛球出手階段，鉛球技術動作正確，
直接關係到出手速度、出手角度和出手高度，是影響鉛球飛行的主要原因。

第五節 滑步式與旋轉式推鉛球動作技術之探討

自從 1972 年在奧哥斯堡（Augsburg）原蘇聯和原西德對抗賽上原蘇聯運動員巴里什尼可夫（Aleksandr Baryshnikov）採用旋轉推鉛球技術以來，這種技術才首次引起人們的密切關注。當時巴里什尼可夫以 20.54 米獲得冠軍，之後又把成績提高到 22.00 米打破世界紀錄。在 1976 年奧運會上，他採用旋轉推鉛球技術以 21.00 米獲得銅牌。事實上，旋轉推鉛球技術並不像許多人認為的那樣“新”。旋轉代替直線加速形式推鉛球，旋轉推鉛球技術的最大優勢就在於：開始時就能夠獲得更大的動量和在更大的距離內為鉛球加速用力。在

2007 年日本大阪世界田徑錦標賽男子鉛球比賽前 8 名中有 5 名採用旋轉推鉛球技術，以證明男子旋轉推鉛球技術已發展到成熟階段。本節將探討滑步式與旋轉式推鉛球動作技術與力學參數之分析。

投擲鉛球這項運動，是人體運用自身的能力，通過一定的運動形式（滑步，旋轉），將鉛球進行拋射並盡可能獲得速度的運動項目，這項運動一般分為四個階段：準備階段、預加速階段、最後用力階段、結束階段。在這幾個階段中最後用力階段則最為重要，因為它將直接影響鉛球的出手角度和初速度，從而影響鉛球的最後成績（陽勝利、等，2001）。

馮玉蓉（2008）指出背向滑步推鉛球技術不同階段下肢速度節奏特徵，在過渡階段較好的保持人體重心和鉛球速度，最後用力階段人體重心速度下降過大，對鉛球最後用力加速度會產生不利的影響。黃春雷（1997）鉛球投擲技術的重要環節是銜接技術，是滑步技術與最後用力溝通滑步技術與最後用力技術關鍵，恰當的把握這一項技術環節是完整推鉛球技術核心。目的在於正確銜接技術上的要領，銜接技術與滑步技術、預行速度、重心移動軌跡等之間存在的關係，而使整體技術更加符合運動技術原理，利於提高運動成績。

肖林鵬（2003）針對鉛球運動員滑步階段相關運動環節及鉛球的速度節奏進行了研究。結果表明，滑步階段的轉身移臀—兩腿擺蹬結束瞬間，移臀、兩腿擺蹬動作配合的動作方向、距離及時間是決定各運動環節速度的主要因素。在右腳距離地面—右腳著地瞬間，右腿主動收拉右小腿是保持身體運動慣性，維持身體重心繼續移動的重要環節。移臀與積極蹬右踝動作是滑步階段整體速度行進的關鍵。

高峰、李曉芸（2005）從理論上的分析，我們不難發現旋轉式推鉛球技術是較符合鉛球運動的基本原理和規律，其對器械的加速距離長、動作連貫流暢、富有節奏感、器械獲得預先速度大等技術特點都表明這是當前較先進的技術。旋轉式技術要求運動員更加協調、靈敏，但對運動員的身高、體重指標要求不如背向滑步技術，所以更加符合我國運動員身材相對矮小、體重較輕、爆發力強的身體條件，故應在我國鉛球運動員中推廣使用。

黃建文（2001）運用生物力學的基礎理論對背向側蹬滑步推鉛球技術連續圖片進行綜合分析，提出預先充分拉長大肌肉群的長度，進一步加大收縮時產生的張力，加快推球的運動節奏，以適宜的角度，合理的高度和最快的出手初速度推擲鉛球的動作技術。

崔允龍（1995）運用運動生物力學基礎理論，以推鉛球技術的連續圖片進行綜合分析。提出了激發肌肉潛能，加速度動作節奏，以適宜的角度、合理的高度和最快的出手速度投擲鉛球的規範動作標準。目前國際上流行背向滑步、短長節奏和背向旋轉三種推鉛球技術。林松（2005）認為每個技術環節的完成情況影響著整個動作技術的完成品質。對鉛球技術教學中錯誤出現頻率較高、且對整個動作技術的完成品質影響較大的幾個技術環節運用生物力學的觀點進行分析，背向滑步推鉛球技術是一個完整連貫動作（如圖 2-6）

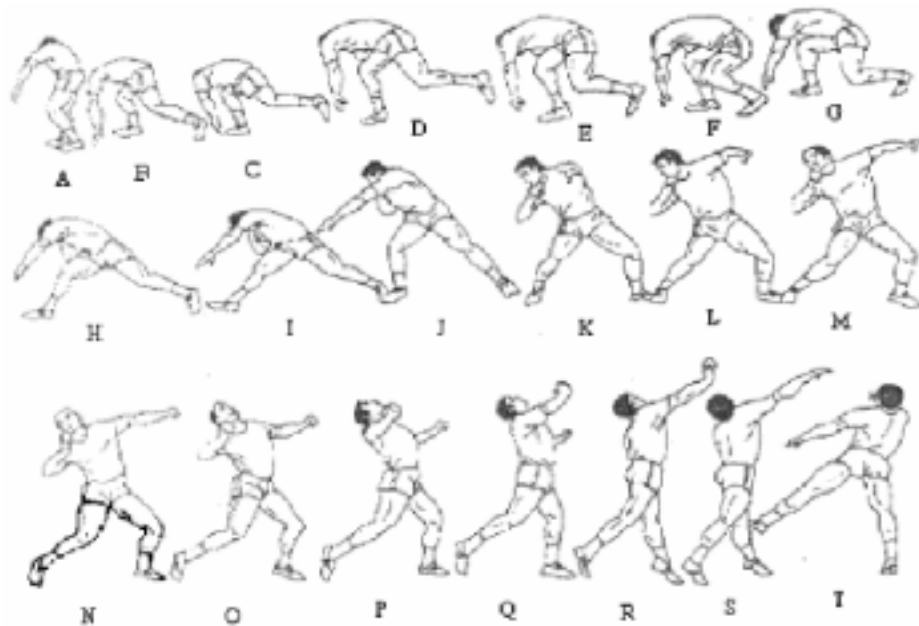


圖 2 - 6 滑步式推鉛球技術動作分析圖（摘自盧雁）

一、準備動作（預擺、團身）

預擺（圖 2-6 A~C）採用高姿者，在滑步前進行一到兩次的預擺，預擺時，左腿小腿三頭肌收縮，使左腿自然彎曲，在臀大肌和腿後肌的伸肌及外層肌群收縮的作用下，使大腿慢而穩地向上擺起，上體在腹直肌收縮的作用下，前傾與地面約成 180° 角，左臂前伸，以右腿的前腳掌支撐體重，隨後，在左小腿再股四頭肌作用下，向投擲方向伸腿。大腿在屈肌群的作用下，同時小腿在股二頭肌和小腿三頭肌的作用大小腿之間屈成 $90^\circ \sim 100^\circ$ ，並與地面約成 45° 角。右腿在屈肌群作用下，平穩下蹲。右踵回落地，全腳掌著地。上體保持原有姿勢。

團身（圖 2-6 D~F）使即將參與滑步動作的肌群進一步被拉長，為開始滑步作好心理和動作上的最後用力準備。此

時身體重心最低，可使投擲者從靜止狀態，非常平穩地過渡到運動狀態。

二、滑步（移臀、擺左腿、騰空收右小腿、右腳著地、下壓左腿，腳著地）

這是投擲者從靜止狀態過渡運動狀態，並獲得預先速度和形成良好的最後用力姿勢的運作系統。

移臀（圖 2-6 F~G）是向投擲方向移臀，使身體重心移向右腳踵，也就是說支撐面的邊緣，此時，右腳的前腳掌迅速給地面一個作用力，同時地面給與右腳掌一反作用力，人體在此力的作用下，重心移出右腳的支撐面，並在地心引力的作用下，身體經向投擲方向逐漸轉向地面方向傾倒，傾倒的過程是逐漸加速的。

擺左腿（圖 2-6 G）在身體後倒、加速失去平衡瞬間開始，左腿的後部和外側肌群快速收縮，使大腿推動小腿，並外旋，向投擲方向或抵趾板方向迅速擺伸，此過程，其慣性力的方向與動作方向相反，加大了右腿滑步蹬地的作用力，並繼續被動減小與地面的角度。特別注意，左腿擺伸的動作速度，能使右腿在最後用力時蹬地的動作速度與之銜接和加速為宜。當左腿擺伸度運作結束瞬間，右腿的股四頭肌迅速收縮，使右腿主動蹬地，在地面反作用力和左腿擺伸停止瞬間所獲向投擲方向的慣性力共同作用下，身體獲得上體前傾狀態下的低騰空位移的加速度。左臂保持前伸，拉緊上體左側肌肉，以維持騰空狀態下的身體平衡。

騰空收右小腿（圖 2-6 H~I）當右腿蹬地結束後瞬間，身體沿拋物線騰空一剎那，在小腿三頭肌迅速收縮的作用下，積極收右小腿。在收小腿的動作即將結束前，完成膝內扣、

右腳內旋、與投擲方向成 $90^{\circ}\sim 135^{\circ}$ 角的動作。軀幹保持前傾稍抬體，與地面成 45° 角左右。左臂繼續前伸，拉緊身體左側肌肉，維持騰空狀態下的身體平衡。

右腳著地（圖 2-6 J）當右腿收至投擲圈中心附近，並處於身體重心之下時，前腳掌迅速著地。大小腿之間形成 $105^{\circ}\sim 110^{\circ}$ 角。此角度是能發揮最大肌力的運動角度，不但股四頭肌參與蹬腿動作，而且腿後的股二頭肌、半膜肌和半健肌均參加伸腿工作。

下壓左腿，腳著地（圖 2-5 K~M）負責左腿下壓動作肌肉中的本體感受器，接到著地指令後，迅速下壓左腿，以左腳內側或腳前掌內側與投擲方向成 45° 角，由上至下垂直著地。著地後兩腳之間（左、右腳）的偏距 20~25 公分，形成雙腳之稱的背向最後用力姿勢。

三、最後用力（圖 2-6 N~S）

當左腿落地一剎那，形成雙腳支撐，右腿迅速邊蹬，邊內旋右膝，邊外旋右腳踵（以前腳掌為軸），特別注意此時不應伸直右膝，要保持一定屈度，此動作推動右髖向投擲方向轉動。身體重心投影點，從右腿隨之移向兩腿之間。左腿稍屈並形成左腿至左肩的左側支撐轉動軸。髖軸與肩軸行程扭緊狀態。當左臂指向投擲方向，身體重心的投影點，進一步移向左腿時，左臂迅速自動，滿弓動作形成。左臂和重心向左腿位移動作，決不可忽視。左臂向投擲方向擺動時。其慣性力加大了右腿蹬地的力量。左臂制動瞬間，加快了抬體動作也就是加快了鉛球沿出手角度線運行的速度。重心投影點向左腿位移動，體重移向左腿，使左側支撐轉動軸更加穩固，並加大了左腿對地面的作用力，有助於提高器械的垂直分速

度和出手高度。此外，滿弓動作形成，預示著從滑步到準備用力的動作過程中，所獲動量集聚於上體，尤其是腰和右胸部，為即將進行的軀幹鞭打，轉體推球動作，儲蓄了更加巨大的動量。當右髖在右腿蹬轉的快速推動下，轉向對投擲方向瞬間，急速制動借用此動量向上轉移之際，肩軸以最快的加速度，趕上並超越髖軸，以胸帶臂，右臂更迅速的推動鉛球沿出手角線飛進。當右臂的肘關節即將伸直瞬間，兩腿同時上蹬直雙膝，右臂此時恰好伸直右肘，在鉛球極速運行到左腿上方的最高點瞬間，右腕和手順序撥球，使鉛球沿 38° ~ 42° 的出手角度出手。此時，鉛球已被加速到投擲者所具有的最快的出手初速度。

旋轉推鉛球技術與福斯貝裏背越式跳高和賽迪克鏈球技術並架齊驅，並被田徑界稱為近 30 年代最重要的三項新技術。同其他技術一樣，每種新技術的產生都會引起有關專家的不同反應，1970 年巴厘什尼科夫採用旋轉一圈的技術將鉛球投出 19.20 公尺，此時多數專家對這項技術的前景仍持懷疑態度，後來在 1976 年，他採用同樣的技術創下了當時的世界記錄。這一成績的誕生不得不使大多數人改變以往的看法，特別是在第 26 屆奧運會中，旋轉推鉛球技術壟斷地位的出現，引起許多專家們的重視，其技術的科學性得到了確認，自旋轉技術產生以來，採用這項技術的運動員都取得了許多好成績（劉璠，2002）。

滑步式推鉛球與旋轉式推鉛球的演變在 1988 年漢城奧運男子鉛球比賽中，代表東德前鉛球世界紀錄保持人蒂墨曼（Ulf Timmermann，23.06 公尺）選手，他採用滑步式推鉛球的姿勢獲得第一名並打破奧運紀錄（22.47 公尺），第二名

選手代表美國藍迪 巴恩斯 (Randy Bornes) 它採用旋轉式推鉛球的姿勢以 22.39 公尺的成績並打破奧運會紀錄，隨著技術的不斷完善，在 1990 年鉛球比賽中，並以 23.12 公尺創造了新的鉛球世界紀錄。隨著旋轉式鉛球投擲不斷的發展，對此技術特點的認識也更深入，鉛球投擲不僅是注重絕對力量性項目，它更表現出速度力量的特點，並且可能加長施力於鉛球上的有效距離，追求更大出手速度，充分發揮身體的能力 (彭賢德，彭賢順，彭賢勝，2003)。彭賢德等 (2006) 旋轉式鉛球投擲技術相對於背向滑步式鉛球投擲技術，有幾個優勢，包括：讓選手產生較大的身體重心水準速度；較長的鉛球投擲路徑讓選手產生較大的整體力量；增加的速度及旋轉力矩讓選手發揮較適當的力量。旋轉式鉛球投擲技術是以類似鐵餅投擲的方式在投擲圈內旋轉。田鑫 (2003) 旋轉推鉛球運動是力量與技術相結合的速度力量性專案，它在協調、靈敏、節奏、器械控制等方面比背向投鉛球要求要高。在技術訓練手段方面近似於鐵餅技術節奏。技術要求高，球體運行路線加長，運行速度快是它的技術特點。在力量方面它以提高速度力量，專項力量為主，綜合能力要求較強。

近幾年來國內外專家學者在旋轉式推鉛球技術與力學特徵上，研究許多成果 (毛永，鄭峰，何明，於學青，2002)。在旋轉式推鉛球投擲技術分為幾個動作階段：

一、預備階段 (preparation phase)

鉛球選手以左手臂、肩膀、軀幹、來擺動，整個身體的重心在雙腳之間由左側到右側轉移。兩腳左右開立，約與肩同寬，上體保持相對正直，膝關節彎曲約 110° ，或者上體前傾，稍屈膝。身體自然向右轉動，動作要緩慢。為抵消反方

向轉動的影響，左臂微屈自然下垂，身體向右轉動的幅度要根據個人情況來定，過大過快的轉動易導致起轉時上體轉動過快，對下一步的旋轉和保持身體的平衡都是有害的。

二、過渡階段 (transition phase)

鉛球選手以右腳為施力點，將重心向左腳推送，直到右腳離地。起轉是整個旋轉動作的開始階段，又是產生旋轉動量的重要時刻。這一個階段動作動作正確與否對整個技術的完成有著重要影響。當進入起轉時，左膝積極外旋，兩腳平行，微收腹。左腿的轉動領先於左肩。再起轉逐漸向投擲圈圓心傾斜，以使身體重心向左稍前方向移動。左腳積極向投擲方向轉動，右大腿內側肌群處於適度拉長狀態，為右腿的擺動和落地創造有利條件。(如圖 2-7 所示)



圖 2 - 7 過渡階段圖

三、左腿單支撐階段 (left foot single phase)

鉛球選手以左腳為軸，並且用左腳用力蹬伸，向逆時鐘方向旋轉，直到左腳離地。轉起後，右腿離地，形成了以左腿為軸的單支撐階段。高階段的主要任務是把人體和鉛球從

投擲圈的後部推向前部，逐漸加大人體和球的旋轉速度。右腳離地後右腿微屈，右腳靠近地面向圓心弧形擺動，左腿屈膝支撐具繼續向投擲方向轉蹬。左膝保持 120° 左右，右腿擺動時大腿不要擺的太高，一般不要超過水準線。此時身體重心遠離支撐點向投擲圈圓心移動，左臂協同控制方向和維持身體平衡，使身體在平穩的移動中向前，並且配合轉動右髖。（如圖 2-8 所示）



圖 2 - 8 左腿單支撐階段圖

四、騰空階段（flight phase）

鉛球選手雙腳皆離開地面。其主要任務是：通過縮短下肢的旋轉半徑加快下肢的旋轉角速度，形成上下肢的旋轉速度差，使得肩軸、髖軸扭緊，為右腳和左腳的快速落地創造有利條件。由於人體騰空後，旋轉中的外力矩消失，因此右腿帶動右髖要快速扣轉下壓，左髖隨著右髖的轉扣下壓快速轉向投擲方向。由於鉛球基本上緊貼著人體旋轉，其旋轉半徑很小，所以軀幹、髖在空中扣轉的幅度要大於擲鐵餅的扣轉

幅度，以保證右腳落地後不停頓地旋轉，減小速度的耗損。（如圖 2-9 所示）



圖 2 - 9 騰空階段圖

五、右腳單支撐階段（right single support phase）

鉛球選手右腳著地，並以右腳為軸，向逆時鐘方向旋轉。從右腳落地到左腳落地這一階段稱為旋轉最後用力的過度階段，這是旋轉式推鉛球技術中重要的技術環節。右腳以前腳掌落在投擲圈圓心附近，投擲手指向投擲方向略邊左，身體重量大部分落在彎曲的右腿上，上體稍前傾，髖軸超越肩軸，左臂伸展扣緊，左肩位於右膝上方，軀幹呈扭緊狀態。右腳著地後以前腳掌為軸不停頓地連續轉動，表現出旋轉式推鉛球技術連續加速的特點。（如圖 2-10 所示）



圖 2 - 10 右腳單支撐階段圖

六、雙腳支撐階段 (double support phase)

鉛球選手左腳著地，此時雙腳皆著地，並且用力蹬伸，以及身體扭轉。最後用力階段是從右腳單支撐結束、左腳落地後開始的。此時人體的下肢進入雙支撐階段，骨盆及雙腿處於比較固定的姿勢，肩軸與髖軸之處於較大的扭緊狀態。在左腿牢固支撐的情況下，右腿右髖積極轉動用力。同時左臂適時地向投擲方向轉動，使胸部的肌群形成預先的伸展拉長，為後面以胸帶臂加速用力作準備。(如圖 2-11 所示)



圖 2 - 11 雙腳支撐階段圖

七、投擲階段（release phase）

鉛球選手右或左先離地，直到鉛球推出離手。最後用力是推鉛球技術的最後加速階段。其主要任務是在旋轉的基礎上給鉛球在加速，以最快的出手速度和適宜的投擲角度把鉛球擲出去，是決定投擲成績的關鍵技術環節。在下肢和軀幹繼續向前用力的機基礎，左肩左臂即時地制動配合兩腿用力蹬伸，挺胸伸臂急劇加速有力地將鉛球推出。（如圖 2-12 所示）



圖 2 - 12 投擲階段圖

基於文獻論述的整理，研究分析的應用在鉛球技術的發展趨勢是：（一）加強鉛球出手前的作功距離；（二）提高鉛球最後用力前的移動速度；（三）能使更多的肌肉群參加最後推球的工作，並為這些肌肉工作創造良好的條件（蔚順華、石慶賀，1990）。因此各種技術的改進，都是以增加運動選手最後用力前的身體扭緊程度、蓄積能量為目的。過去討論半背向式滑步技術向背向滑步技術的變革，就是從滑步開始時身體與投擲方向的 45° 變成完全背對投擲方向，並採用低姿勢進入滑步狀態，從而加大了身體扭緊的程度、加長了鉛球與人共進的距離，在最後用力時伸展全身把鉛球推出（羅俊欽、黃長福，1998）。投擲的滑步轉體技術和滑步短長步技術都是考慮如何進一步把能量集中儲存在肩、髖、腰部的扭緊中（呂景義，2006）。旋轉式技術則正是發展了以往技術中身體扭緊的特點，動作更加舒展、連貫、加速路線長，突出了人球合一、連續加速的技術特點，提高了鉛球在最後用力前的初始速度，比較符合推鉛球技術的基本原理。

綜合以上各學者專家之論述，我們的觀點建立，旋轉式推鉛球應該提出了激發肌肉潛能，加速度動作節奏，適宜的角度、合理的高度和最快的出手速度投擲鉛球的規範動作標準。並且在旋轉式推鉛球動作技術的特點，所表現速度力量，要加長施力於鉛球上的有效距離，比現出更大的出手速度。對旋轉式推鉛球動作技術的騰空階段、右腳單支撐階段，這是旋轉式推鉛球技術中最重要的技術環節討論。

第三章 研究方法

本研究主要是透過生物力學的資料分析研究與紀錄影片動作分析的觀察，進行全國鉛球投擲紀錄保持人及其他國家選手推鉛球的技術討論與分析。本章將針對受測者之基本資料與研究方法與步驟加以闡釋。

第一節 研究對象

本研究測試對象為全國鉛球投擲紀錄保持人及其他國家選手，其基本資料如（表 3- 1）所示：

表 3 - 1 選手基本資料

姓名	國籍	出生日期	身高	體重	最佳成績
Bartels , Ralf	德國	1978/2/21	186	125	21.36
Zielinski , Dominik	波蘭	1980/4/25	190	120	20.12
Scott , Dorian	牙買加	1982/3/1	193	105	21.45
Chang , Ming-Huang	台灣	1982/8/7	194	135	19.45
Schmidt , Marco	德國	1983/9/5	201	127	19.52
Konopka , Mikulas	斯洛伐克	1979/1/23	193	110	21.57
Kujala , Seppo	芬蘭	1980/9/24	186	111	19.35
Hubenbecker , Marko	德國	1986/6/14	200	107	18.05

第二節 實驗時間與地點

本研究的實驗觀察，情境條件為正式之比賽，時間與地點如表 3-2 所示：

表 3 - 2 實驗時間與地點

實驗	地點	時間	附註
旋轉式投擲	德國哈勒	2007 年 5 月 19 日	德國投擲日

第三節 實驗儀器與工具

儀器架構本實驗所需要的儀器如下：

- 一、 ASUS F3 電腦 一台
- 二、 腳架 一組
- 三、 水準儀 一組
- 四、 鉛球 五個
- 五、 CASIO EX-FH20 數位相機 一台
- 六、 Silicon Coach 分析軟體

第四節 實驗場地佈置

本實驗的測量場地、時間與儀器架設方法均不相同。主要是依照場地的特性與空間加以調整，原則上的場地設置如圖 3-1 所示。

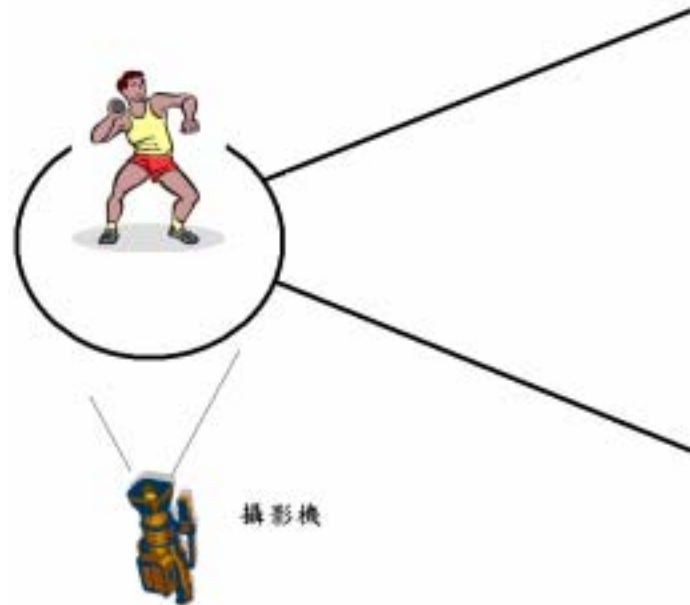


圖 3 - 1 場地設置圖

第五節 實驗方法與流程

測試進行前，將所需之注意事項告知參與實驗拍攝的工作人員，讓工作人員瞭解施測的步驟及方法以避免危險發生。正式進行實驗時，受試者依照主試者的口令動作，當聞『請就位』的口令時，受試者開始站在其習慣的準備位置，當主試者下達『開始』的口令的同時，受試者立即開始預備動作，旋轉至將鉛球擲出為止。總共讓受試者正式投擲六次，分別測量投擲成功成績，每次測驗完成後紀錄該次投擲感覺，以作日後分析動作的參考。本實驗之步驟與流程如圖 3-2 所示。

資料蒐集

實驗設計及規劃

比賽前攝影機之架設、影像畫面之設定

比例尺之架置、拍攝並進行場地測量

選手賽前熱身並進行比賽之六次投擲

比賽過程之拍攝並紀錄投擲成績

比賽結果，再次拍攝比例尺畫面並進行場地測量

圖 3 - 2 步驟與流程圖

第六節 資料處理

本研究以 Silicon Coach 套裝軟體進行訊號處理及分析，收集各關節角度之原始資料，並對鉛球路性之原始資料收集後進行設定 SPSS 軟體的事後資料處理（如圖 3-3）。



圖 3 - 3 Silicon Coach 分析軟體操作介面

第七節 研究範圍與限制

本研究係屬個案研究的範圍，主要是針對全國紀錄保持人及其他國家選手在 2007 年德國哈勒投擲邀請鉛球比賽中進行投擲技術研究，研究內容是以全國紀錄保持人及其他國家選手六次投擲成績。主要研究方法是透過紀錄影片動作分析，並參照運動生物力學的二度空間分析法（2D Motion Analysis）進行研究與討論。本研究其實施一次實驗，於正式比賽試擲時拍攝，針對全國紀錄保人及其他國家選手之出手高度、出手角度、出手速度等運動學參數研究，至於其他運動學參數則未加以研究。

第八節 資料分析

1. 本研究利用 SPSS for Windows 12.0 中文版，統計套裝軟體進行資料的統計分析。
2. 以單一樣本 t 檢定說明本次比賽六擲中之差異性，呈現出六項參數之穩定性與否。
3. One-way ANOVA 檢定進行各旋轉式、滑步式投擲最後出手動作之同質性檢定，檢定項目為出手距離、出手高度、出手平均速度、出手角度、鉛球角度、鉛球平均速度等六項。
4. 事後比較採用以 Pearson 相關系數考驗成績與六項（出手距離、出手高度、出手平均速度、出手角度、鉛球角度、鉛球平均速度）關係。
5. 顯著差異水準定為 $p < 0.05$ 。

第四章 結果與討論

本研究目的主要為比較兩種不同投擲方式（旋轉式、滑步式），以 2007 年德國哈勒投擲邀請賽中七位來世界排名前幾位知名參賽選手為受試對象。其中旋轉式投擲者四位、滑步式投擲者三位，平均身高 $192.88 \pm 5.62\text{cm}$ 、體重 $117.50 \pm 10.85\text{kg}$ 、投擲成績 $20.11 \pm 1.26\text{m}$ 。將比賽六次投擲所蒐集之資料，各種測量項目相關資料依序為出手距離、出手高度、出手平均速度、出手角度、鉛球角度、鉛球平均速度、投擲成績經處理後，再進行統計分析。以上所得資料均以表格及圖形加以呈現。本研究欲呈現之結果包括：

- 一、鉛球投擲最後出手動作之單一比較
- 二、鉛球投擲最後出手動作之同質性檢定
- 三、鉛球投擲最後出手動作之相關性比較
- 四、總結

第一節 鉛球投擲最後出手動作之單一比較

單一樣本 t 檢定分析七位選手投擲六次之後所得差異性，依此說明在比賽中的最後出手動作之穩定性。最後出手動作之參數為出手距離、出手高度、出手平均速度、出手角度、鉛球角度、鉛球平均速度以及最後成績為比較，所得結果如表 4-1。

表 4- 1 單一樣本 t 檢定分析出手距離、出手高度、出手平均速度、出手角度、鉛球角度、鉛球平均速度、成績之平均值
(標準差) Mean±(SD)

編號	出手距離	出手高度	出手平均速度	出手角度	鉛球飛行角度	鉛球平均速度	成績
	Mean±(SD)	Mean±(SD)	Mean±(SD)	Mean±(SD)	Mean±(SD)	Mean±(SD)	Mean±(SD)
	單位：cm	單位：cm	單位：m/s	單位：度°	單位：度°	單位：m/s	單位：m
1	21.9(9.5)*	267.6(5.6)*	11.8(1.1)*	45.5(1.6)*	37.1(1.8)*	11.4(1.5)*	18.8(0.3)*
2	16.3(13.5)*	264.2(9.5)*	11.7(0.6)*	46.7(1.4)*	36.9(1.9)*	9.9(2.6)*	19.2(0.5)*
3	6.9(11.8)	259.9(9.5)*	12.9(1.6)*	55.9(1.1)*	43.6(1.7)*	10.2(1.6)*	20.2(0.3)*
4	5.9(8.9)	267.5(12)*	12.7(1.6)*	48.5(4.0)*	40.0(3.0)*	10.2(2.4)*	16.9(0.6)*
5	8.6(17.3)	254.4(9.1)*	12.1(0.7)*	48.2(4.5)*	41.9(3.2)*	12.4(1.7)*	19.3(0.2)*
6	20.2(8.5)*	261.3(7.5)*	12.6(1.4)*	48.2(2.9)*	40.5(1.7)*	11.2(1.8)*	18.3(0.3)*
7	23.5(9.4)*	254.5(6.5)*	11.4(0.5)*	41.2(4.3)*	35.5(3.1)*	11.9(2.8)*	18.3(0.3)*

*p<.05

備註：

1. Schmidt, Marco 2. Zielinski, Dominik 3. Bartels, Ralf
4. Hübenbecker, Mark 5. Scott, Dorian 6. Kujala, Seppo
7. Chang, Ming-Huang

結果顯示 Bartels, Ralf、Hubenbecker, Mark、Scott, Dorian 三位選手在出手距離上，皆在 p>.05 沒有達顯著性差異，在出手距離上有較穩定情形。其餘參數皆在 p<.05 達顯著性差異，因此可說明世界頂尖的鉛球好手在鉛球投擲過程

中之穩定性，是會所造成最後出手動作上的差異性。亦表示在每次投擲過後所做的動作調整度也較高。

第二節 鉛球投擲最後出手動作之同質性檢定

依 One-way ANOVA 檢定分析七位選手投擲六次後彼此間之差異性，依此說明在比賽中七位選手最後出手動作條件。最後出手動作之參數為出手距離、出手高度、出手平均速度、出手角度、鉛球角度、鉛球平均速度以及最後成績為比較，所得結果如表 4-2：

表 4- 2 One-way ANOVA 檢定比較鉛球投擲最後出手動作

同質性之平均差 (Mean Difference (I-J))

項目	出手距離	出手高度	出手平均速度	出手角度	鉛球飛行角度	鉛球平均速度	成績	
(I) 編號	(J) 編號	Mean Difference (I-J)						
1	2	5.63	3.41	0.09	-1.18	0.19	1.45	-0.37
	3	15.00*	7.68	-1.07	-10.35*	-6.48*	1.19	-1.38*
	4	15.96*	0.07	-0.91	-2.94	-2.88*	1.15	1.96*
	5	13.28	13.15*	-0.29	-2.62	-4.79*	-1.01	-0.44
	6	1.73	6.32	-0.80	-2.63	-3.32*	0.17	0.54
	7	-1.61	13.11*	0.37	4.32*	1.67	-0.52	0.68
	2	1	-5.63	-3.41	-0.09	1.18	-0.19	-1.45
3		9.37	4.28	-1.17	-9.18*	-6.67*	-0.25	-1.00*
4		10.33	-3.34	-1.00	-1.76	-3.07*	-0.30	2.33*
5		7.65	9.74	-0.38	-1.44	-4.98*	-2.46	-0.07
6		-3.90	2.91	-0.89	-1.45	-3.51*	-1.28	0.91*
7		-7.24	9.71	0.28	5.50*	1.48	-1.97	1.06*
3		1	-15.00*	-7.68	1.07	10.35*	6.48*	-1.19
	2	-9.37	-4.28	1.17	9.18*	6.67*	0.25	1.00*
	4	0.97	-7.62	0.16	7.41*	3.60*	-0.04	3.34*
	5	-1.71	5.46	0.79	7.73*	1.68	-2.21	0.93*
	6	-13.27	-1.36	0.28	7.72*	3.15*	-1.03	1.91*
	7	-16.61*	5.43	1.44*	14.67*	8.15*	-1.71	2.06*
	4	1	-15.96*	-0.07	0.91	2.94	2.88*	-1.15
2		-10.33	3.34	1.00	1.76	3.07*	0.30	-2.33*
3		-0.97	7.62	-0.16	-7.41*	-3.60*	0.04	-3.34*
5		-2.68	13.08*	0.62	0.32	-1.91	-2.16	-2.40*
6		-14.24	6.25	0.11	0.31	-0.44	-0.98	-1.42*
7		-17.58	13.05*	1.28	7.26*	4.55*	-1.67	-1.28*
5		1	-13.28	-13.15*	0.29	2.62	4.79*	1.01
	2	-7.65	-9.74	0.38	1.44	4.98*	2.46	0.07
	3	1.71	-5.46	-0.79	-7.73*	-1.68	2.21	-0.93*
	4	2.68	-13.08*	-0.62	-0.32	1.91	2.16	2.40*

續接下頁

續接上頁

	6	-11.56	-6.83	-0.51	-0.01	1.47	1.18	0.98*
	7	-14.90*	-0.04	0.66	6.94*	6.47*	0.49	1.13*
6	1	-1.73	-6.32	0.80	2.63	3.32*	-0.17	-0.54
	2	3.90	-2.91	0.89	1.45	3.51	1.28	-0.91*
	3	13.27	1.36	-0.28	-7.72*	-3.15	1.03	-1.91*
	4	14.24*	-6.25	-0.11	-0.31	0.44	0.98	1.42*
	5	11.56	6.83	0.51	0.01	-1.47	-1.18	-0.98*
	7	-3.34	6.79	1.17	6.95*	4.99	-0.69	0.14
7	1	1.61	-13.11*	-0.37	-4.32*	-1.67	0.52	-0.68
	2	7.24	-9.71	-0.28	-5.50*	-1.48	1.97	-1.06*
	3	16.61*	-5.43	-1.44*	-14.67*	-8.15	1.71	-2.06*
	4	17.58*	-13.05*	-1.28	-7.26*	-4.55	1.67	1.28*
	5	14.90*	0.04	-0.66	-6.94*	-6.47	-0.49	-1.13*
	6	3.34	-6.79	-1.17	-6.95*	-4.99	0.69	-0.14

* $p < .05$

備註

1. Schmidt, Marco
2. Zielinski, Dominik
3. Bartels, Ralf
4. Hübenbecker, Mark
5. Scott, Dorian
6. Kujala, Seppo
7. Chang, Ming-Huang

結果顯示出手平均速度上 Bartels, Ralf 以平均值 12.9 m/s 優於其他六位選手 (表 4-1), 且在組間差異上不同質性於其他六位選手, 達顯著性差異 $p < .05$ (表 4-2)。我國選手張銘煌以平均值 11.4 m/s 小於其他六位選手 (表 4-1), 且在組間差異上不同質性於其他六位選手, 達顯著性差異 $p < .05$ (表 4-2)。因此, Bartels, Ralf 選手在出手速度最快的同時變化幅度也大, 反之, 我國張銘煌選手在出手速度最慢的同時變化幅度也大。

出手角度上 Bartels, Ralf 仍以 55.9 度優於其他六位選手 (表 4-1), 達顯著性差異 $p < .05$ (表 4-2)。相對來說, 我國

選手張銘煌則在出手角度上以 41.2 度明顯低於其他六位選手 (表 4-1), 達顯著性差異 $p < .05$ (表 4-2), 其出手角度變化雖無其他六位選手來得明顯, 但在平均值上組間比較則呈現差異。

鉛球飛行角度上, 我國張銘煌選手與其他六位選手並無顯著性的差異 $p > .05$ (表 4-2), 然而在平均值 35.5 度上仍為七位選手當中最底, 離理想拋物線 45 度角仍有一段距離, 因此可說明鉛球飛行角仍稍微低略。

鉛球平均速度無差異, 組間未達顯著性差異 $p < .05$ 。若假設在相同的鉛球平均速度表現上, 鉛球飛行角度則成致勝關鍵, 因此, 我國張銘煌選手若調整鉛球飛行角度後, 必能有更進一步的空間。

六擲成績比較後, Bartels, Ralf 以平均值 20.2m 優於其他六位選手 (表 4-1), 同組間差異也顯著高於其他六位選手, 達顯著性差異 $p < .05$ (表 4-2)。相對而言, Hubenbecker, Mark 以平均值 16.9m 低於其他六位選手 (表 4-1), 同組間差異也顯著低於其他六位選手, 達顯著性差異 $p < .05$ (表 4-2)。我國張銘煌選手在本賽事上的表現約為五、六名之水準, 與實際上之第四名略接近。

第三節 鉛球投擲最後出手動作之相關性比較

本節依 Pearson 相關性檢定來分析七位選手最後出手階段的關係數為何? 此樣本數量為六次投擲後所有成功試擲的數量檢定關係數, 關係參數值為出手距離、出手高度、出手平均速度、出手角度、鉛球角度、鉛球平均速度及成績間等

七項的相關性。所得結果如表 4-3。

表 4- 3 Pearson 相關性檢定鉛球投擲最後出手動作之相關性 (n=7)

Pearson Correlation	出手距離	出手高度	出手平均速度	出手角度	鉛球飛行角度	鉛球平均速度	成績
出手距離	1.00						
出手高度	0.46**	1.00					
出手平均速度	-0.17	0.21	1.00				
出手角度	-0.52**	0.24	0.24	1.00			
鉛球飛行角度	-0.57**	-0.03	0.24	0.81**	1.00		
鉛球平均速度	0.14	-0.20	-0.43*	-0.28	-0.09	1.00	
成績	-0.06	-0.20	0.04	0.30	0.21	-0.03	1.00

*p<.05

結果顯示出手距離與出手高度成 0.46 的正相關係數，且達顯著性差異 $p<.01$ (如表 4-3)。此結果亦說明在三角函數 \tan 中，若出手角度不變，延伸水準線亦是出手距離後，相對也理所當然的延伸出手高度，在此動作說明出手動作的持續延伸。

出手距離與出手角度成 -0.52 的負相關係數，且達顯著性差異 $p<.01$ (表 4-3)。此結果說明在三角函數 \cos 中，出手動作的延伸長度不變，若是刻意延長出手距離，正使得 \cos 角度相對降低，本研究結果亦證實最後出手動作的出手距離是衰減出手角度最主要原因之一。此結果也符合我國張銘煌在出手距離上 23.5 (9.4) cm 為七位選手之首，出手角度 41.2 (4.3) °為七位選手之末，造成出手角度最低的主要原因。

出手距離與鉛球飛行角度成 -0.57 的負相關係數，且達顯著性差異 $p<.01$ (表 4-3)。與上敘出手角度相同，出手距離

延長鉛球軌跡的水準長度，相對而言，同時也在降低鉛球飛行角度。此結果也符合我國張銘煌在出手距離上 23.5 ± 9.4 cm 為七位選手之首，鉛球飛行角度 $35.5 \pm 3.1^\circ$ 為七位選手之末，亦是造成鉛球飛行角度最低的主要原因。

出手平均速度與鉛球平均速度成 -0.43 的負相關係數，且達顯著性差異 $p < .01$ (表 4-3)。造成本結果的可能原因眾多，在相同能量釋放當中，若不給予鉛球太多的能量，則會造成鉛球推不完整而撥空，此時出手速度雖快，但鉛球飛行速度卻沒有提升。出手角度，隨著角度提高，施予鉛球的位能相對提高，則需要更大的能量釋放，因此，隨著出手角度的提高，出手速度相對降低。因此，為達到完美拋物線 45° 角，則需要更大的推高能力。出手平均速度與鉛球平均速度的能量守衡，未來還可做更進一步的探討。

出手角度與鉛球飛行角度成 0.81 的正相關係數，且達顯著性差異 $p < .01$ (表 4-3)。出手角度與鉛球飛行角度成一定的比例，無論滑步或旋轉式投擲，最後的雙腳支撐到出手階段來決定鉛球的飛行角度，因此，出手角度提高亦會同時提高鉛球飛行角度。

第四節 總結

本研究依前三節分析結果後總結我國張銘煌在德國哈勒比賽情形與其他六位世界級選手所做的簡敘說明。依結果顯示六擲成績比較後，Bartels, Ralf 以平均值 20.2 m 優於其他六位選手 (表 4-1)，同組間差異也顯著高於其他六位選手，達顯著性差異 $p < .05$ (表 4-2)，因此 Bartels, Ralf 選手投擲成績顯著優於其他選手。Bartels, Ralf 在出手距離上有較穩

定情形，僅以 6.9 ± 11.8 cm 少於我國張銘煌在出手距離上 23.5 ± 9.4 cm，且變化性小。其中，出手距離較短的情況下，Bartels, Ralf 仍然擁有最高的 55.9 度優於其他六位選手，相對來說，我國選手張銘煌則在出手角度上以 41.2 度明顯低於其他六位選手（表 4-1）。出手角度與鉛球飛行角度成 0.81 的正相關係數（表 4-3），因此，出手角提高亦會同時提高鉛球飛行角。鉛球飛行角度上，我國張銘煌選手與其他六位選手在同質性比較上並無顯著性的差異 $p > .05$ （表 4-2），然而在平均值 35.5 度上仍為七位選手當中最底，離理想拋物線 45 度角甚有一段距離，因此可說明鉛球飛行角仍稍微低略。若假設在相同的鉛球平均速度表現上，鉛球飛行角度則成致勝關鍵，因此，我國張銘煌選手若調整鉛球飛行角度後，必能有更進一步的空間。

以出手動作的力學參數來決定拋物線的優劣，Bartels, Ralf 在出手平均速度上以平均值 12.9m/s 優於其他六位選手（表 4-1），組間差異上不如我國選手張銘煌變化性較小，兩組比較上達顯著性差異 $p < .05$ （表 4-2），因此 Bartels, Ralf 選手在出手平均速度最快。出手距離與出手高度成 0.46 的正相關係數（表 4-3），此結果亦說明在三角函數 \tan 中，若出手角度不變，延伸水準線亦是出手距離後，相對也理所當然的延伸出手高度，在此動作說明出手動作的向上延伸，造成 Bartels, Ralf 選手的出手角度較高。出手距離與出手角度成 -0.52 的負相關係數，且達顯著性差異 $p < .01$ （表 4-3），此結果說明在三角函數 \cos 中，出手動作的延伸長度不變，若是刻意延長出手距離，正使得 \cos 角度相對降低，本研究結果亦證實最後出手動作的出手距離是衰減出手角度

最主要原因之一。此結果也符合我國張銘煌在出手距離上 23.5 ± 9.4 cm 為七位選手之首，出手角度 $41.2 \pm 4.3^\circ$ 為七位選手之末，造成出手角度最低的主要原因。出手距離與鉛球飛行角度成 -0.57 的負相關係數，且達顯著性差異 $p < .01$ (表 4-3)，與上述出手角度相同，出手距離延長鉛球軌跡的水準長度，相對而言，同時也在衰減鉛球飛行角度。此結果也符合我國張銘煌在出手距離上 23.5 ± 9.4 cm 為七位選手之首，鉛球飛行角度 $35.5 \pm 3.1^\circ$ 為七位選手之末，亦是造成鉛球飛行角度最低的主要原因。出手平均速度與鉛球平均速度成 -0.43 的負相關係數，且達顯著性差異 $p < .01$ (表 4-3)。造成本結果的可能原因眾多，在相同能量釋放當中，若不加予鉛球太多的能量，則會造成鉛球推不完整而撥空，此時出手速度雖快，但鉛球飛行速度卻沒有提升。出手角度，隨著角度提高，施予鉛球的位能相對提高，則需要更大的能量釋放，因此，隨著出手角度的提高，出手速度相對降低。

第五章 結論與建議

根據本研究結果，出手角度上我國選手張銘煌及 Bartels, Ralf 在七位選手當中的差異為極端（ 41.2° 、 55.9° ），因此，所形成出手距離較遠、鉛球飛行角度較低（ 35.5° 、 43.6° ），所獲得的拋物線為最低。Bartels, Ralf 選手更在出手角上顯著優於其他六位選手，因此在成績上，其組間差異同時也達到顯著性差異。本研究結論與文獻探討部份雷同，證實在出手動作上出手速度及出手角度才是決定成績好壞的最後關鍵。



圖 4 - 1 我國選手張銘煌及 Bartels, Ralf 在最後出手角度比較分析圖

本研究對象為四位旋轉式投擲及三位滑步式投擲，在最後的出手階段無探討出手前六個步驟，僅由出手階段中探討

最後出手動作，因此無關係到兩種投擲方式的不同。而本研究中 Bartels, Ralf 選手是以滑步式所獲得較佳的成績。由以上結論綜合出以下點建議：

- 一、若在最後的出手階段前提供最佳的施力動作給予出手高度及出手速度，本研究建議先研究原地站姿投擲力學動作分析後再逐漸探討滑步式及旋轉式速度上的變化。
- 二、滑步式及旋轉式所構成鉛球水準速度提升最主要的因素，然而如何在兩種技術層面上提升額外的垂直速度分力，應是後續研究重要議題。

參考文獻

一、中文部份

- 毛永、鄭峰、何明、於學清（2002）。推鉛球技術的演變暨旋轉式推鉛球技術的要點和難點。《山東體育科技》，24（1），頁1-4。
- 王保成、周志雄（2000）。再論推鉛球的最後用力。《中國體育科技》，36（5），頁29-31。
- 王保華，劉豔春（2003）。體育專業女生推鉛球滑步技術的教學改進。《天中學刊》，（18）2，頁111-112。
- 王效紅、張英波譯自（2004）。推鉛球的關鍵因素分析。《美國田徑教練員》，第166期
- 王燕智（2000）。推鉛球技術中最後用力投擲點的分析與研究。《西安體育學完學報》，17（4），頁57。
- 田峰、畢亞旭（2001）。對我國男子鉛球運動員最後用力左臂運動技術的研究。《廣州體育學院學報》，（21）3，頁62-66。
- 田鑫（2003）。旋轉推鉛球的技術分析與訓練。《首都體育學院學報》，（15）3，頁41-43。
- 白光斌，龔銳（2005）。我國優秀女子鉛球運動員于鑫、程小燕背向滑步推鉛球技術動作的速度節奏研究。《北京體育大學學報》，28（1），頁134-136。
- 任運平、王法祥（2003）。出手速度之間的推鉛球出手角度與關係。《北京體育大學學報》，（26）5，頁717-718。
- 安強（2004）。推鉛球最後用力技術中的兩點支撐。《唐山師專學報》，（22）2，頁118-119。

- 吳文忠 (1952)。奧林匹克運動會史。臺北市:台灣商務印書館。
- 吳宏江 (2005)。在論提高鉛球出手速度的方法。天中學刊, (20) 5, 頁 52-53。
- 呂景義 (2006)。張銘煌選手鉛球投擲技術之運動學分析與監控。國立體育學院教練研究所碩士論文。
- 李旭鴻、侯曼 (2005)。鉛球的飛行距離與其影響因素的力學分析。北京體育大學學報, 28 (2), 頁 208-210。
- 李勇 (2002)。支撐腿技術對提高鉛球成績的教學實驗研究。湖北體育科技, (21) 2, 頁 203-204。
- 李建英、王曉剛 (2004)。對我國優秀女子鉛球運動員背向滑步推鉛球技術的研究。中國體育科技, 40 (6), 頁 7-12。
- 李美霞、盧競榮、嚴波濤 (2000)。女子背向滑步推鉛球技術分析和評定指標研究。中國體育科技, (36) 12, 頁 14-16 (16 接 35)。
- 李堅、丁群 (1999)。中國優秀女子運動員推鉛球速度特徵發現與分析。天津體育院學學報, (14) 2, 頁 42-45。
- 肖林鵬 (2003)。女子鉛球運動員滑步階段速度節奏特徵研究。四川體育科學, 1, 頁 29-30。
- 肖開提、百合提 (2001)。淺談擲鉛球最後用力中的左側支撐。新疆教育學院學報, (17) 2, 頁 112-114。
- 周立、周清 (2001)。對推鉛球最佳出手角的研究。浙江體育科學, 23 (2), 頁 48-51。
- 季虎 (2000)。論旋轉式投擲鉛球技術的優性。濟南大學學報, 10 (5), 頁 88-89。

- 房宜軍 (1997)。以實效性提高推鉛球 ” 最後用力 ” 技術。
泰安師專學報 , 6 , 頁 119-120。
- 林松 (2005)。背向滑步推鉛球教學中應注意的幾個技術環節。
瀋陽體育學院學報 , (24) 4 , 頁 112-113。
- 侯金賢、蔡於儒 (2001)。論旋轉推鉛球投擲。
師大體育 , 45 , 頁 17-21。
- 胡玖英 (2003)。淺談推鉛球的最後用力。
康定民族師範高等專科學校學報 , (12) , 頁 125-127。
- 唐華義 (2002)。論鉛球技術課教學。
廣西體育高等專科學校 , 23 (2) , 頁 69-71。
- 耿岳、宋廣林 (2004)。對推鉛球滑步雙支撐階段的認識。
山東體育學院學報 , (20) 1 , 頁 56-57。
- 高峰、李曉芸 (2005)。中國鉛球運動員運用旋轉式推鉛球技術的優越性。
浙江體育科學 , (27) 5 , 頁 80-82。
- 高傑峰、盧偉華、黃勇、張沂 (2005)。影響鉛球運動距離的各要因素分析。
體育科研 , 26 (2) , 頁 41-43。
- 崔允龍 (1995)。推鉛球動作系統的生物力學分析。
天津體育學院學報 , 10 (2) , 頁 46-51。
- 張生芳、毛建民 (2001)。對推鉛球最佳出手角度的重新認識。
四川體育科學 , 2 , 頁 44-47。
- 張英波譯自國際田聯 (2008)。旋轉推鉛球的技術特色。
新田徑研究季刊 , 第 4 期。
- 張健、鄭亞平 (1998)。對背向推鉛球最後用力過程中軀幹三維運動的生物力學研究。
中國體育科技 , 34 (5) , 頁 38-42。
- 曹海湧、楊學良 (2002)。對推鉛球技術動作的生物力學分

- 析。 *邯鄲師專學報*， (12) 3， 頁 60-61。
- 許榮振 (2000)。推鉛球中支撐腳的方向對最後用力的影響。
延邊大學學報， (26) 4， 頁 316-318。
- 許樹淵 (1997)。運動生物力學。 *臺北市:合記圖書出版社*。
- 單信海 (2004)。鉛球飛行軌跡動態模式軟體的編制。 *體育科學*， 24 (3)， 頁 24-26。
- 彭賢德、彭賢勝、彭賢順 (2006)。旋轉式鉛球投擲技術流程與練習步驟。 *運動教練科學*， 6， 頁 71-83。
- 彭賢德、彭賢順、彭賢勝 (2002)。旋轉式鉛球投擲技術之探討。 *教練科學*， 2， 頁 102-112。
- 馮玉蓉 (2008)。亞洲冠軍李玲背向滑步推鉛球技術下肢速度節奏特徵分析。 *體育學刊*， (15) 5， 頁 90-93。
- 馮曉東、畢長年 (1999)。對推鉛球最後用力技術的再認識。
北京體育師範學院學報， (11) 2， 頁 83-86。
- 黃建文 (2001)。背向側蹬滑步推鉛球生物力學分析。 *淮北煤師院學報*， (22) 3， 頁 69-72。
- 黃春雷 (1997)。背向滑步推鉛球的銜接技術。 *浙江體育科學*， (19) 4， 頁 3-6。
- 楊勝利、張衡、王東方 (2001)。淺談鉛球投擲的初速度。
許昌師專學報， (20) 5， 頁 33-35。
- 頓中明 (1998)。淺談背向滑步推鉛球最後用力中左腿動作技術。 *荊州師專學報*， (21) 3， 頁 87-88。
- 趙士陸 (2000)。推鉛球最後用力技術中的兩點支撐。 *唐山師專學報*， (22) 2， 頁 68-69。
- 趙鴻斌 (1996)。鉛球教學投擲角度的實驗研究。 *浙江體育科學*， 18 (4)， 頁 25-27。

- 劉明、金雲、邢曉東（2001）。推鉛球運動項目發展的回顧與展望。 *山東體育科技*，23（4），頁 5-8。
- 劉璠（2002）。談旋轉推鉛球技術的優越性。 *遼寧體育科技*，24（1），頁 16-17。
- 蔚順華、石慶賀（1990）。鉛球投擲初始條件之生物力學分析。 *國立體育學院論叢*，1（2），頁 97-105。
- 鄭賀（2002）。推鉛球技術發展趨勢。 *體育科研*，23（1），頁 13-14。
- 崔韜、李祖健（1988）。鉛球最佳出手角的計算及其在實踐中的應用。 *體育科學*，18（2），頁 59-61。
- 鄭進平（2001）。如何提高矮個鉛球選手運動水準的幾個問題。 *蘭州教育學院學報*，3，頁 48-50。
- 謝永文（1998）。推鉛球最佳出手角的運動學分析。 *廣州體育學院學報*，18（4），頁 63-66。
- 羅俊欽、黃長福（1998）。鉛球推擲之運動學分析。 *台灣師大體育研究*，5，頁 87-94。
- 譚建共、田峰（2002）。最後用力階段非投擲臂擺動特徵對鉛球技術的影響。 *西安體育學院學報*，(19)3，頁 90-92。
- 盧雁。 <http://www.400m.idv.tw/400m/skill/sp/teaching.htm>。

二、英文部份

- Hay , J . G . (1993) . The biomechanics of sport techniques
(4th ed .) . *Englewood Cliffs* , NJ : The Paramount
Communications .
- Luhtanen , P . & Blomqvist , M . & Vanttiene , T . (1997) .
A comparison of two elite shot putters using the
rotational shot put technique . *New studies in athletics* ,
12 (4) , 25-33 .
- Maheras , A . V . (1998) . shot put : optimum angle of release .
Track and field quarterly review . 98 (4) , 24-26 .
- Palm , V . (1991) . *Balance-the key to success in the rotational
shot put technique* . *Modern athlete and coach* , 29 (2) ,
30-31 .
- Pyka , I . & Otrando , B (1991) . Rotational shot put . *Nation
Strength and Conditioning Association Journal* . 13 , 6-9 ,
83-88 .