

影響鉛球推擲距離之
運動學參數相關研究

The Relationships of Parameters of
the Kinematics to Distance of
the Elite World Shot-putters

翁梓林、水心蓓

Tzu-lin Won and Hsin-pei Shuei

國立台北師範學院學報第十二期

National Taipei Teachers College
Taipei, Taiwan, Republic of China
June 1999

影響鉛球推擲距離之 運動學參數相關研究

翁梓林 水心蓓*

摘 要

本研究目的在探討世界一流男女鉛球選手(各十四名)，鉛球推擲時的運動學參數對影響推擲成績的相關研究，其運動學參數(預測變項)包括基本參數與幾何參數。使用統計方法為多元逐步迴歸分析法。

研究結果發現男女鉛球一流選手，在基本變項方面，出手速度與出手角度兩個變項上能有效預測推擲距離，亦驗證拋射體的科學理論；而在幾何變項上，男鉛球選手在旋轉階段的鉛球運行路徑、滑步距離兩個變項上亦有效預測出手速度。

而在預測迴歸方面分為一、基本變項與推擲距離的迴歸方程式為(一)男選手原始分數迴歸方程式為： $\text{推擲成績} = -24.43 + 2.82 * \text{出手速度} + 0.10 * \text{出手角度}$ ；男選手標準化分數迴歸方程式為： $\text{推擲成績} = 1.21 * \text{出手速度} + 0.28 * \text{出手角度}$ ；(二)女選手原始分數迴歸方程式： $\text{推擲成績} = -17.13 + 2.51 * \text{出手速度} + 0.10 * \text{出手角度}$ ；女選手標準化分數迴歸方程式： $\text{推擲成績} = 1.56 * \text{出手速度} + 0.1 * \text{出手角度}$ 。二、幾何變項與出手速度的迴歸方程式為：男選手原始分數迴歸方程式： $\text{出手速度} = 12.5 + 1.37 * \text{鉛球加速路徑} - 1.01 * \text{滑步距離}$ ；標準化分數迴歸方程式： $\text{出手速度} = 0.43 * \text{鉛球加速路徑} - 0.38 * \text{滑步距離}$ 。

*翁梓林：體育學系講師
水心蓓：體育學系講師

影響鉛球推擲距離之 運動學參數相關研究

翁梓林 水心蓓*

壹、緒 論

一、前 言

近代鉛球的比賽要追溯到1896年的第一屆奧林匹克運動會，而歷代奧林匹克運動會中的鉛球金牌得主在成績的突破和推擲的技術改進上有值得肯定的地位。當然從1896年至今，世界頂尖的高手在成績的進步，正是鉛球推擲技術演繹過程的代表史。

從過去的一篇報導指出(謝茂松，民80)，針對1896年至1988年奧運男女子鉛球選手作一研究，發現在年齡、身高與體重方面可得知：(一)奧運級男女選手平均年齡為25至27歲左右；(二)男女選手的身高則是，男選手186至199公分；女選手為172至178公分；(三)男女生體重則是，男子112至134公斤；女子為80至88公斤；(四)男子推擲成績從18.91公尺進步至23.12公尺；其女子16.32公尺進步到22.63公尺。而從以上數據可進一步探討為何成績進步的幾個原因：除了訓練的專業化、器材改進之外，推擲技術的進步，更是成績突破的最大主因，此一技術的進步，應是植基於生物力學(biomechanics)的基礎而不斷的向前邁進，而每一種在技術上的改革，其主要目的就是能夠增加力量加諸鉛球所需要的時間及距離，使鉛球在出手時的瞬間有最大的速度產生。

推鉛球(shot-put)是我國在國際競賽中屬於較弱的運動項目，而值得隱憂的是最近幾年一直無法突破成績上的瓶頸。國內一般教練與選手皆歸因於東方人體型之

*翁梓林：體育學系講師
水心蓓：體育學系講師

劣勢，但是近觀中共大陸女選手李梅素在1988年締造21.76公尺之亞洲記錄(國內記錄為蔡敏玲所保持14.88公尺)，與世界記錄22.63公尺(俄羅斯Lisovskaya 1987)相差不大的情形似可說明鉛球運動除體型的條件外，推擲技術更是影響推擲距離重要因素之一；所以，推擲技術中的參數(parameters)探討，是吾等從事科學研究不可或缺的責任，亦是運動生物力學研究中值得探討之重要課題。因此，如能以科學實驗處理，將動作技術量化後的參數建立常模時，必能成為教學與訓練可遵循的依據。

二、問題背景

推鉛球是一種由肩上向前推擲的運動，其基本動作有異於標槍或棒球的投擲動作。它是在直徑2.135公尺投擲圈內，以男子7.265~7.285公斤(女子4.025~4.005公斤)重鉛球作推擲的運動，因此每一位選手會尋找最佳推擲方法，以追求最遠的推擲距離。所以，一旦鉛球從選手手中出手後，除受重力及空氣阻力的影響外，如能發揮出手時的一些最佳相關參數，會使選手增加獲勝的機會。因此，鉛球推擲技術及速度遠比肌力來得重要。

從過去文獻裡，鉛球推擲的研究印證拋射體科學觀念。美國生理學家Cureton (1935)就以攝影法研究推擲距離是由三段構成，一是出手點與砥趾板之水平距離；二是等高重心點之拋物線距離；三是等高點至球落地之水平距離。後兩段距離可從不等高拋物線距離公式求出，理論上鉛球推擲距離是由出手瞬間速度(release velocity)、出手角度(release angle)及出手高度(release height)等三種參數所決定。此論點在1991年石慶賀及尉順華研究鉛球推擲初始條件生物力學分析乙文中獲得進一步解釋，以模式理論分析(出手速度=11.5m/sec，出手角度=41度，出手高度2.0公尺為基準)，發現出手角度及出手高度變化，對推擲距離較少影響(不及0.5公尺)，但出手速度影響變化較大(差±3公尺)。對此研究持相同論點前有三井(1962)，吳延禧&方興(1989)等人。

綜合以上各文獻研究，可以發現到對鉛球推擲距離影響的基本參數(basic parameters)為出手速度、出手角度及出手高度，而三者參數中又以出手速度影響最鉅。所以，如何獲得到出手速度，是運動生物力學者主要研究課題。Morris & Bartlett(1996)在推擲的生物力學分析指出，對傳統研究推擲前所產生種種技巧作分析，發現一流選手在此階段如能有效運用推擲技巧，將有助於成績提昇。這種觀念與Hay(1993)在運動技術生物力學分析乙文中所提出結論是相似的。易言之，鉛球未出手前的動作技巧，應是選手獲得出手速度的主要來源。此部份亦是Morris & Bartlett (1994)所指大部份運動生物力學學者對鉛球推擲過程中較缺乏研究的一

環。

複雜鉛球推擲過程中，在判斷技術水準時，有必要將動作分為若干期，因為細分結果，有助於觀察選手動作表現與診斷動作。而在鉛球推擲技術方面，已經有研究者將此動作分為若干階段，以利於動作分析。例如：張健(1989)與張立群等人(1993)將鉛球推擲動作分為滑步階段、過渡階段(準備推擲階段)及最後用力等三個階段。事實上，三個階段動作過程應可再細分以利於動作結構完整性，1987年在羅馬所舉行世界田徑錦標賽，就針對投擲動作作生物力學分析，就將鉛球推擲動作分別以幾何(geometric)符號分成(一)下降動作(descending)：鉛球最高點位置(Zmax)至最低點位置(Zmin)。(二)開始階段(starting)：鉛球最低點位置至右腳離地(R↑)。(三)滑步階段(glide)：右腳離地(R↑)至右腳著地(R↓)。(四)轉移階段(Transition)：右腳著地(R↓)至左腳支撐(L↓)。(五)旋轉階段(rotation)：左腳支撐(L↓)至肩軸旋轉平行推擲方向(∥)。(六)推擲階段(Delivery)：肩軸旋轉平行推擲方向至鉛球出手(o↗)，等六個階段。而六個推擲階段建立是目前從事鉛球推擲動作技術分析中，被認為最完整及嚴謹的分析模式。雖然學者所提出動作分期不盡然一樣，但Morris & Bartlett(1996)認為在推擲過程每一動作階段皆有其運動生物力學作用。而這些影響鉛球推擲的幾何參數(geometric parameters)值在推擲過程中所扮演角色是相當重要的，同時也是獲得較佳基本參數(basic parameters)主要來源，但大多數科學研究並不將此放入其中。

目前研究證實：影響鉛球推擲距離的基本參數有出手速度、出手角度、出手高度及出手點與抵趾板之距離(overreaching)，其中以出手速度影響最鉅，且與推擲成績成高相關($r=.91$)且達顯著差異($P<.05$) (翁梓林, 民83)。而文獻亦證實推擲前的各階段的動作參數(幾何參數)更是創造較好基本參數的必要條件；是故，如何有效分析各階段的動作參數，是獲得較佳推擲成績的另一重要因素。其這些推擲前的幾何參數經過文獻整理有滑步距離(length of glide)、滑步速度、左腳支撐(L↓)至肩軸旋轉平行推擲方向(∥)的鉛球軌跡距離、最後加速有效距離及最後加速有效的速度等參數。由於一般運動生物力學的研究在動作技術分析方面，大部份採取的皆屬個案研究；所以對一些動作技術的參數只能作比較性與推估性的敘述；事實上，這些影響的參數(變項)，對鉛球推擲距離的預測力情形，可進一步進行作統計處理，來解釋參數間之關聯性與重要性。次之，現今國內鉛球運動研究中，只有探討一些基本參數作概略性的敘述，其對基本參數與鉛球推擲距離間，能否找出一個線性組合，說明一組基本參數(變項)與推擲距離之關係？有值得進一步探討之必要性。再之，經過以上文獻瞭解，其推擲前的幾何參數，是創造有利的基本參數條件之一，

所以，本研究所感興趣是幾何變項(參數)中對基本參數的預測力又為何？而整體關係是否具有統計上的顯著性？是故，本研究問題是想瞭解世界一流男女鉛球選手在推擲技巧中的變項(參數)對影響推擲距離的關係為何？

三、研究目的

(一)男女鉛球選手推擲基本變項影響推擲距離的預測力為何？並建立其逐步迴歸模式。

(二)男女鉛球選手推擲幾何變項影響基本參數之預測力又為何？並建立其逐步迴歸模式。

四、研究範圍

本研究主要針對背向式推擲鉛球，並無包含側向式及旋轉式推擲。

五、名詞解釋

(一)背向式推擲法：為1951年(P, O'Brien)所改革的一種推擲法，手持鉛球背向推擲圈站立，位置儘量靠外側來獲取滑步距離，再以身體旋轉180度往推擲方向擲出。

(二)基本參數(basic parameters)：本研究將影響鉛球出手後的推擲距離，譬如出手速度、出手角度、出手高度及出手點與腳趾板之距離等參數稱為基本參數。

(三)幾何參數(gerometric parameters)：在運動過程中有兩類不同量的集合相互規律對應，其對應方式能以幾何圖形表示出，這就是為一個幾何函數；而其中以特定符號代表兩集合中的各數，此特定符號就是幾何參數。

貳、文獻探討

本章節分成三個部份：一、拋射體之理論基礎；二、鉛球推擲之動學參數研究；三、本章結語。

一、拋射體之理論基礎

鉛球推擲，如以力學的觀念運用於動作上，它是屬於拋射體的運動。從理論科學解釋，可發現一物體會下落是該物體被地球地心引吸引至地球上，使得所有物體以 32ft/sec^2 之固定加速度加速落向地球。所以，一旦拋射體被推出後並以自由方式運動，該物體只受慣性(以固定速度運動之自然傾向)與地心引力的影響；而水平運

動(由慣性所控制)與垂直運動(受地心引力與慣性之控制)兩者間的運動方向是獨立的。再者,任何拋射體的拋物線,其大小與形狀須視出手速度與出手角度而定,因地球的地心引力會以相同速率加速所有物體,但與物體重量無相關;因此拋物體的軌跡不受其重量、大小或形狀所影響。以上所述的拋射體科學原理只有在當拋物體在真空中運動或運動時所通過介質之阻力並無顯著影響時,才可能是真實的。所以研究拋物體運動時通常有三個主要參數及觀念:(一)最大高度(maximum height):從地面至拋物線頂端垂直距離;(二)水平範圍(horizontal range):投擲點至落地點之水平距離;(三)飛行時間(time of flight):投擲後至落地所須時間。而最大高度,水平範圍與飛行時間這三個參數的每一個量,均視出手速度與出手角度的特殊數學關係而定。

出手速度的影響是相當明顯的,出手速度愈大,軌跡的飛行時間愈長高度愈高。因此,對一特定的推擲高度來說,當出手的速度增加時,最大高度、水平範圍、飛行時間也會增加,並產生一個較大力量使鉛球加速。所以在運動學(kinematic)來說,出手速度愈大時,拋射體飛行時間就愈長,相對的最大高度就愈高。在推擲項目中,以力量來達到較大的推擲速度並非唯一改慮因素;推擲方向也同樣重要。事實上,以最佳出手角度推擲拋射體,往往比力量來得重要。

出手角度影響水平範圍的方式較複雜。如果出手角度極大(接近 90°),拋射體將有一段相當長的時間停留在飛行中,但是該物體所經過的水平範圍會不遠。反之,如果出手角度極小(接近 0°),則速度皆使用在水平方向,其飛行時間相當短,因此在拋射體落地前,不會飛得遠。有相當多的數據顯示,想要得到最大水平範圍的出手角度,是介於兩個極端值 0° 至 90° 之間。事實上,數學家分析指出,當推擲角度為 45° 時能達至最大水平範圍。但這種觀點只會在真空中才顯現的。易言之,如果空氣阻力會改變軌跡的話,則 45° 的出手角度不能產生最大水平範圍。這種情況通常是推擲點與落地點必須在同一高度上。如果是推擲點與落地點不在同一高度上,其出手角度亦隨之調整;如在一個傾斜面上將拋射體向上投,則要達到最大水平範圍所需推擲角度必須大於 45° ,譬如:籃球;但如果地面是向下傾斜的話,則須加大水平速度使軌跡較平坦,因此要得到最大水平範圍之推擲角度將會小於 45° ,譬如:推擲鉛球或鏈球。

以數學來表示在一個傾斜面上,要有最大水平範圍的推擲角度不等於 45° 是有可能的。如果是向上推擲,其向上推擲角度須大於 45° ;如果是向下推擲,則推擲角度須小於 45° 。舉例來說,假設在一傾斜 10° 的斜面上將拋射體向上推擲,則推擲角度為 $45^\circ + 1/2 * 10^\circ = 50^\circ$ 時可以得到最大水平範圍。如果以同一個拋射體在

一個向下傾斜10度的斜面上推擲，則推擲角度為45度減去 $1/2 * 10$ 度等於40度時，可得到最大水平範圍。但是，要注意的是這些角度所得到的最大水平範圍，其距離之測量，是從推擲點到落地點的水平距離，而不是測量推擲點到落地點的斜面距離。

二、鉛球推擲之運動學參數研究

根據拋射體理論基礎，鉛球推擲後飛行軌跡，除受地心引力與空氣阻力影響外，其影響拋射距離取決於出手速度、出手角度與出手高度三者函數變化而定。所以本部份將探討：(一)實際影響推擲距離的基本參數；及(二)推擲前動作分期的動學參數(幾何參數)探討。

(一)實際影響推擲距離的基本參數

1. 出手點與抵趾板之水平距離(overreaching or no-reaching)：

美國生理學家Cureton(1935)就以攝影法研究推擲距離是由三段構成，一是出手點與抵趾板之水平距離(overreaching or no-reaching)；二是等高重心點之拋物線距離；三是等高點至球落地之水平距離。鉛球推擲是屬於不等高的拋物體，其推擲距離是由出手點與抵趾板之水平距離，與出手後水平距離的總和。一般來說，出手點與抵趾板之水平距離(overreaching or no-reaching)受體型與姿勢影響較為明顯。出手點與抵趾板之水平距離，倘若前腳離抵趾板緣較遠時，此段距離有可能負值。依Cureton指出，美國成年男子此段距離應為30公分左右，而1987年羅馬所舉行世界田徑賽，分析男、女選手(前八名)此段距離為平均值為10.5公分及0.5公分。

2. 出手速度、出手角度與出手高度：

鉛球從選手手中出手後之水平距離端視五大參數影響，也就是出手速度、出手角度、出手高度、重力及空氣阻力。鉛球一旦被推出，面對重力及空氣阻力無法改變外，其餘變數均由推擲者所控制。再則，從拋射體理論可瞭解到，影響鉛球推擲之最大水平範圍，視出手速度(release velocity)及出手角度(release angle)的兩者之間函數關係而定。

據日人西藤宏思(1973)研究指出鉛球熟練者其平均出手速度為11.2m/sec，三井(1962)及吳延禧&方興(1989)進一步研究指出，出手速度每增加1m/sec就會增加實際距離約2~2.5公尺。而陳太正、謝茂松(1983)研究國內六位優秀選手，結果指出其平均出手速度為10.77m/sec，而曾經是國內男子鉛球紀錄保持人林宗正其出手速度為11.15m/sec。但如根據在1987年羅馬所舉行世界田徑錦標賽中，針對前八名男子選手進行力學分析及1989年大陸選手李梅素破亞洲紀錄分析結果發現，世界一流選手其出手速度近於14m/sec。所以，如何增加出手速度是最需努力的課題。

從拋射體理論上，在不計空氣阻力及重力的情況下，任何等高的拋射最佳投擲角度為 45° ；然而鉛球推擲是屬於不等高拋射體向下投擲的狀況，所以其出手角度必須小於 45° 角。在投擲項目中，具有力量來達到較大的推擲速度並非是唯一的改慮因素；推擲的方向幾乎也同樣的重要。事實上，能以最好的出手角度將拋射體推擲出去，往往比力量來得重要。由於研究報告太少，對於出手時最適當角度仍無法有一明確數值，但應在有個合理範圍之間，有報告指出出手角度最佳化(optimum)為近於 42° 度。由第二屆世界田徑錦標賽分析中顯示當出手速度為 14.4m/sec 及出手角度 42° 或 43° 度最遠推擲距離為 23.23 公尺。

就拋物線公式來說，出手高度愈高，投擲距離會愈遠，鉛球推擲的高度與推擲者的身材和推擲姿勢有關，最好的推擲姿勢應手肘伸展且軀幹彎，投擲點要高過頭部，如此才能將出手高度增加至極點。

(二)推擲前動作分期的動學參數(幾何參數)

鉛球推擲動作的種類分為側向式、背向式與旋轉式等三種，而背向式 180° 推鉛球技術之流程，一般分為三個階段(滑步、過渡及最後用力等三個階段)，而在一九八七年於羅馬所舉行的第二屆世界田徑錦標賽中，對鉛球選手進行力學分析，並將鉛球推擲複雜動作用數學幾何符號代表各階段推擲動作的參數(見表3)。分別為鉛球最高點位置(I, Zmax)至鉛球最低點位置(II, Zmin)的下降階段(descending)；鉛球最低點位置(II, Zmin)至右腳離地(III, R↑)的開始階段(starting)；右腳離地(III, R↑)至右腳著地(IV, R↓)的滑步階段(Glide)；右腳著地(IV, R↓)至左腳著地(V, L↓)的轉移階段(transition)；左腳著地(V, L↓)至肩關節旋轉平行推擲方向(VI, ||)的旋轉階段(rotation)；肩關節旋轉平行推擲方向(VI, ||)至鉛球出手(VII, O↗)的推擲階段(delivery)。

當鉛球從選手最高點位置(I, Zmax)至最低點位置(II, Zmin)時的膝關節下降動作及(II, Zmin)至(III, R↑)的開始階段，推擲者應加速全身動作，其目的是提供鉛球能量與動量儲存，以利於應用在滑步階段(III, R↑至IV, R↓)的運作。大陸張健(1989)研究破亞洲紀錄的選手指指出，滑步階段是最後獲得出手速度主要創造條件，技術掌握較完善的運動選手，原地推鉛球與滑步推鉛球成績相差 $1.5\sim 3$ 公尺。在該階段重要參數有滑步距離、時間及速度。

Krstev(1980)指出滑步結束瞬間其軀幹彎屈與鉛球運行路徑是影響推擲速度另一重要因素，在該階段重要參數有鉛球運行距離、速度。因為在旋轉階段(L↓~||)左腳與右腳步伐位置應使肩線、臀線平行地面和推擲方向，使推擲者從滑步結束R↓，左腳接觸地面之瞬間能將滑步時的水平動能改變為上半身水平及垂直兩者

兼俱動能，然後再加諸在鉛球上，使此階段能獲得較有利的速度傳遞。所以，當旋轉階段的速度減緩時，可能造成直接影響最後推擲階段(Delivery)的連貫性(有效加速拋射距離)。而在最後推擲階段重要參數有最後加速有效距離及最後加速有效的速度。是故，推擲前的動作整體連貫，將是影響出手速度最主要原因。

三、本章結語

鉛球推擲距離從拋射體的觀點，它是一種不等高的向下推擲拋物體，其距離的遠近，將視出手速度、出手角度與出手高度三者之間函數關係而定。而參數中又以出手速度影響最大。所以，推擲前的動作分期變項(參數)中，應是影響出手速度最主要原因，而出手速度(效標變項(criterion))與推擲前的動作分期變項(預測變項)之間的關係強度有多大？即利用推擲前的幾何變項線性組合來預測效標變項的能力有多大？將是研究的重點。而將鉛球推擲距離之影響參數，透過科學實驗處理，依動作技術量化後的參數，探討變項間之重要性並建立常模，成為教學與訓練可遵循的依據。

參、方法與步驟

一、受試者

本研究所得資料為參加一九八七年羅馬所舉行世界田徑錦標賽，男女選手各十四名，進行三度空間的線性轉換後所得的相關運動學參數，

二、方法與步驟

(一)方法與步驟

資料取得是以兩部攝影機(500 CAMERAS)在不同位置同時對鉛球推擲動作進行拍攝，拍攝後以高速攝影系統(high-speed cinematograph)進行數位化(digitizing)處理，將影像號訊轉變為座標資料，透過直接線性轉換(direct linear transformation)方法，將平面座標轉換成三度空間之立體座標。其拍攝每張畫面時間為1/200秒。場地佈置如圖1：

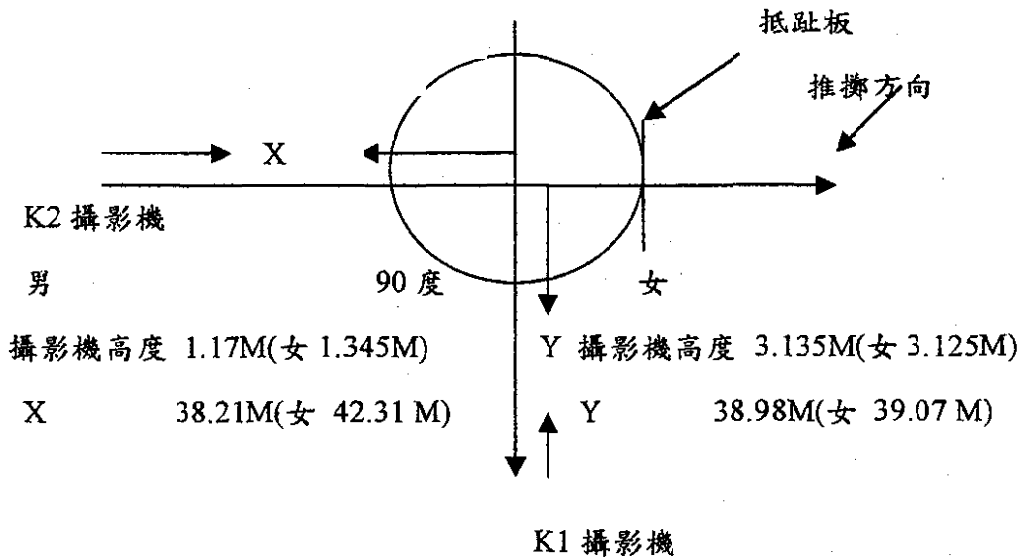


圖1 鉛球推擲場地佈置圖

(二)鉛球推擲動作的幾何符號與各階段動作要點

本研究將鉛球推擲的複雜動作，用數學幾何符號來代表各階段推擲動作要點，以利資料分析。如表1。並以高速攝影系統(每秒250張)的拍攝及透過直接線性轉換，求出各階段動作的幾何參數(geometric parameters)。

表1 鉛球推擲動作的幾何符號與動作要點

符號	Zmax	Zmin	R↑	R↓	L↓		O↗
要點	鉛球最高點位置	鉛球最低點位置	右腳離地	右腳著地	雙腳支撐	肩軸平行於推擲方向	鉛球離手
階段	下降階段	開始階段	滑步開始	滑步結束	轉移動作	旋轉動作	推擲動作

(三)資料處理的統計方法

以逐步迴歸分析統計法(STEPWISE)考驗基本參數對推擲距離的預測力；及幾何參數對基本參數中的(出手速度)預測情形。亦利用預測變項線性結合來預測效標變項的能力。

肆、結 果

本研究將依據第二屆世界田徑錦標賽中，事後國際田徑總會所提出的科學報告

中有關對男女鉛球選手的動作加以分析，所得參數包括基本參數與幾何參數等兩部份。而將影響鉛球推擲成績的參數，予以整理，並以多元逐步迴歸統計分析法 (multiple stepwise regression analysis) 探討變項中，瞭解一組預測變項 (predictors) 和一個效標變項 (criterion) 的直線關係，亦利用預測變項線性結合來預測效標變項的能力；並在效標變項的變異方面，那些預測變項最為重要；特別是在原始模式的變項數目能予減少後仍具有足夠的預測能力；而每個預測變項的預測能力，將是研究者重要的參考指標。本章節分成基本參數(變項)與幾何參數(變項)兩部份加以說明。

一、男女鉛球選手推擲之基本參數與推擲距離之預測力

(一)、男女鉛球選手在基本參數(變項)之數值表：

表2 男鉛球選手在基本參數(變項)之數值表(N=14)

項目 \ 參數	出手速度 (m/sec)	出手角度 (度)	出手高度 (公尺)	出手點與砥趾 板之水平距離 (公分)
平均值	13.70	37.4	2.21	10
標準差	0.39	2.49	0.04	0.04
最大值	14.19	41.0	2.24	17
最小值	13.07	34.1	2.13	-4
第一名	14.19	35.5	2.24	-4

表3 女鉛球選手在基本參數(變項)之數值表(N=14)

項目 \ 參數	出手速度 (m/sec)	出手角度 (度)	出手高度 (公尺)	出手點與砥趾 板之水平距離 (公分)
平均值	13.45	38.6	2.05	-5
標準差	0.41	3.21	0.09	0.08
最大值	13.85	42	2.17	11
最小值	12.82	34.4	1.94	-9
第一名	13.83	36.7	2.03	11

從表2、3分析結果顯示：一、在出手速度的變項中，男女選手平均值分別為13.70m/sec、13.45m/sec；最大值分別為14.19m/sec、13.85m/sec；最小值分別為13.07m/sec、12.82m/sec；二、在出手角度的變項中，男女選手平均值37.4及38.6度；最大值分別為41及42度；最小值分別為34.1及34.4度；三、在出手高度的變項中，男女選手平均值分別為2.19及2.15公尺；最大值分別為2.24及2.17公尺；最小值分別為2.13及1.94公尺；四、在出手點與砥趾板之水平距離的變項中，男女選手平均值分別為10、-5公分；最大值分別為17及11公分；最小值分別為-4及-9公分。

在出手速度、出手高度及出手點與砥趾板之水平距離等三個變項，其值男選手皆高於女選手；唯在出手角度此變項中，其值是女選手皆高於男女選手。

(二)男女鉛球選手在基本參數(變項)對推擲距離的預測力

表4 男選手以推擲距離為效標變項的逐步迴歸分析

選入 順序	預測變項	原始分數 迴歸係數	標準分數 迴歸係數	決定係數 改變量	累積決定 係數	淨F值
1	出手速度	2.82	1.21	0.96	0.96	140.6*
2	出手角度	0.10	0.28	0.04	0.96	37.78*
	截 距	-24.43				

* $P < .05$

原始分數迴歸方程式推擲成績 = $-24.43 + 2.82 * \text{出手速度} + 0.10 * \text{出手角度}$
標準化分數迴歸方程式推擲成績 = $1.21 * \text{出手速度} + 0.28 * \text{出手角度}$

表5 女選手以推擲距離為效標變項的逐步迴歸分析

選入 順序	預測變項	原始分數 迴歸係數	標準分數 迴歸係數	決定係數 改變量	累積決定 係數	淨F值
1	出手速度	2.51	1.56	0.88	0.88	43.70*
2	出手角度	0.1	0.1	0.11	0.99	71.41*
	截 距	-17.13				

* $P < .05$

原始分數迴歸方程式：推擲成績 = $-17.13 + 2.51 * \text{出手速度} + 0.10 * \text{出手角度}$
標準化分數迴歸方程式：推擲成績 = $1.56 * \text{出手速度} + 0.1 * \text{出手角度}$

本研究經逐步迴歸分析後顯示，男女選手在四個基本的預測變項中與推擲距離方面，皆以出手速度【 $F = 140.6, P < .05$ ； $F = 43.70, P < .05$ 】與出手角度【 $F = 37.78$ ，

$P < .05$; $F = 71.41$, $P < .05$ 】兩個變項達顯著水準。如表4、5。所以，男女選手的出手速度與出手角度是推擲距離主要的預測變項。並由決定係數的改變量顯示，在男女選手出手速度的預測力分別為0.96及0.89；在男女選手出手角度的預測力分別為0.04及0.11。而從迴歸係數正負號可看出男女鉛球選手出手速度及出手角度值愈高，其推擲的距離愈遠。

二、男女鉛球選手在幾何參數(變項)之數值表與基本參數之預測力

(一)男女鉛球選手在基本參數(變項)之數值表

表6 男鉛球選手在幾何參數(變項)之數值表(N=14)

項目 \ 參數	鉛球運行路徑 (轉移階段)公尺	鉛球運行路徑 (旋轉階段)公尺	鉛球運行路徑 之速度(旋轉 階段) m/sec	滑步距離(滑 步階段)公尺
平均值	1.76	1.67	7.36	0.98
標準差	0.12	0.11	0.53	0.15
最大值	1.99	1.83	8.30	1.20
最小值	1.59	1.50	7.13	0.81
第一名	1.81	1.66	8.30	0.87

表7 女鉛球選手在幾何參數(變項)之數值表(N=14)

項目 \ 參數	鉛球運行路徑 (轉移階段)公尺	鉛球運行路徑 (旋轉階段)公尺	鉛球運行路徑 之速度(旋轉 階段) m/sec	滑步距離(滑 步階段)公尺
平均值	1.63	1.51	7.14	0.90
標準差	0.11	0.04	0.45	0.07
最大值	1.78	1.56	7.65	1.00
最小值	1.48	1.47	6.24	0.80
第一名	1.75	1.65	7.17	1.00

由表6、7分析結果顯示：一、在鉛球運行路徑的變項中(轉移階段)，男女選手平均值分別為1.76m、1.63m；最大值分別為1.99m、1.78m；最小值分別為1.59m、1.48m；二、在鉛球運行路徑的變項中(旋轉階段)，男女選手平均值分別為1.67m、1.51m；最大值分別為1.83m、1.56m；最小值分別為1.50m、1.47m；三、在鉛球運

行路徑的速度變項中(旋轉階段)，男女選手平均值分別為7.36m/sec、7.14m/sec；最大值分別為8.30m/sec、7.65m/sec；最小值分別為7.13m/sec、6.24m/sec；四、滑步距離(滑步階段)的變項中，男女選手平均值分別為0.98m、0.90m；最大值分別為1.20m、1.00m；最小值分別為0.81m、0.80m；

從鉛球運行路徑(轉移階段)、鉛球運行路徑(旋轉階段)、鉛球運行路徑之速度(旋轉階段)及滑步距離等幾何變項中的平均值看出，其男選手皆高於女選手。

(二)男鉛球選手在幾何參數(變項)對出手速度的預測力

表8 男選手以出手速度為效標變項的逐步迴歸分析

選入 順序	預測變項	原始分數 迴歸係數	標準分數 迴歸係數	決定係數 改變量	累積決定 係數	淨F值
1	鉛球加速 路徑 (旋 轉 階 段)	1.37	0.43	0.19	0.19	2.72*
2	滑步距離	-1.01	-0.38	0.15	0.33	2.45*
	截 距	12.5				

* $P < .05$

本研究經逐步迴歸分析後顯示，男選手在四個幾何的預測變項中與出手速度的效標變項關係，以鉛球加速路徑(旋轉階段)【 $F=2.72$ ， $P<.05$ 】與滑步距離【 $F=2.45$ ， $P<.05$ 】兩個變項達顯著水準。如表8。所以，男選手的鉛球加速路徑(旋轉階段)與滑步距離是出手速度主要的預測變項。並由決定係數的改變量顯示，在男選手的鉛球加速路徑(旋轉階段)預測力為0.19；在滑步距離的預測力為0.15及0.11。而從迴歸係數正負號可看出男鉛球選手在鉛球加速路徑(旋轉階段)值愈高，其出手速度愈大；在滑步距離(滑步階段)方面值愈高，出手速度愈低。而原始分數迴歸方程式：出手速度=12.5+1.37*鉛球加速路徑-1.01*滑步距離；標準化分數迴歸方程式：出手速度=0.43*鉛球加速路徑-0.38*滑步距離

伍、討 論

本章節分成兩部份討論：一、基本參數部份；二、幾何參數部份。

一、基本參數部份

本研究所指的基本參數包括出手速度、出手角度、出手高度及出手點與砥趾板之水平距離。在過去的研究指出，以攝影法研究鉛球推擲距離是由三段構成，一是出手點與砥趾板之水平距離、二是等高重心點之拋物線距離，三是等高點至球落地之水平距離。後兩段距離可從不等高拋物線距離公式求出，此公式的參數有出手瞬間速度(release velocity)、出手角度(release angle)及出手高度(release height)等三種(Cureton, 1935)。

依拋射體的運動形式大致可分(一)水平拋射運動；(二)垂直拋射運動；及(三)有傾角的拋射運動，大部份的運動項目皆屬此類型。而有傾角的拋射運動依起落點之差異又可分為1、起落點在同一水平面上的拋射運動，又稱為等高拋射運動，例如：足球；2、起落點不在同一水平面上的拋射運動，又稱為不等高拋射運動；一般而言此類型的運動又可分(1)出手點高於落點的拋射運動，例如：推鉛球、擲鐵餅、鏈球；(2)出手點低於落點的拋射運動，例如：投籃球。理論上，此兩種拋射運動的差異，按數學程式的推演，其最佳推擲角度前項為小於45度；而後者為大於45度。是故，推擲鉛球的距離，為出手點至砥趾板之水平距離與不等高的拋射運動距離(出手速度、出手角度及出手高度三者函數而定)所構成。

由表2與3可看出世界一流男女鉛球選手其出手速度平均要在13.70及13.45m/sec左右。有關國內鉛球出手速度部份研究的文獻有翁梓林(1998)研究的選手其參數為10.23m/sec；陳太正、謝茂松(1983)研究的選手為10.77m/sec；而曾經是國內記錄保持人林宗正選手其出手速度為11.15m/sec；張立群與洪得明(1993)研究陳信裕與呂景義兩名選手，破全國紀錄時其值分別為11.93與12.01m/sec；所以從以上國內研究的出手速度的值，更可進一步瞭解在成績為何有如此差距。就拋物線公式來說，出手高度愈高，投擲距離會愈遠，鉛球推擲的高度與推擲者的身材和推擲姿勢有關，最好的推擲姿勢應手肘伸展且軀幹彎，投擲點要高過頭部，如此才能將出手高度增加至極點。由表2與3看出男女一流選手之出手高度平均值為2.21與2.05公尺，所以，在出手速度與出手角度相差不大情形下，其身材之優劣程度，可能就造成成績上稍微差異。另外，一般來說，出手點與砥趾板之水平距離(overreaching or no-reaching)與出手高度一樣，受體型與姿勢影響較為明顯。出手點與砥趾板之水平距離，倘若前腳離砥趾板緣較遠時，此段距離有可能負值。已經有研究認為當推擲者，試圖想增加出手高度及出手點與砥趾板之水平距離等參數(如過度跳躍等)時，可能直接影響最後階段的整體表現(翁梓林, 1989)。由表2與表3看出男女一流鉛球

選手之出手高度平均值為10與—5公分。

綜合以上影響推擲距離的基本變項有出手點至砥趾板之水平距離、出手速度、出手角度及出手高度等四個變項(空氣阻力與重力不計情況下)。而以上四個變項對推擲距離的重要性(迴歸預測力)方面到底為何?可由表4與5進一步解釋,本研究指出四個變項裡,男女一流鉛球選手,其出手速度與出手角度具有預測力,其重要性順序為出手速度與出手角度(決定係數.96與.04);且兩者迴歸係數皆為正號,表示出手速度與出手角度值愈高,其推擲成績就愈好,這樣的結果相當符合拋射體的科學觀念——出手速度影響推擲距離最鉅。所以,對世界級的男女鉛球選手而言,出手速度的追求與出手角度的合理性是構成最佳推擲成績的保證。至於出手高度與出手點至砥趾板之水平距離這兩者預測變數,對推擲距離的預測情形,是較無法顯現出其重要性,因為就拋射體的理論其出手高度的差異,對實際的距離是影響較小的。所以,此變項與推擲距離關係,較無預測力是相當合理的。

二、幾何參數部份

本研究對推擲前的動作分成為鉛球最高點位置(I, Z_{max})至鉛球最低點位置(II, Z_{min})的下降階段(descending)、鉛球最低點位置(II, Z_{min})至右腳離地(III, R↑)的開始階段(starting)、右腳離地(III, R↑)至右腳著地(IV, R↓)的滑步階段(Glide)、右腳著地(IV, R↓)至左腳著地(V, L↓)的轉移階段(transition)、左腳著地(V, L↓)至肩關節旋轉平行推擲方向(VI, ||)的旋轉階段(rotation)、肩關節旋轉平行推擲方向(VI, ||)至鉛球出手(VII, O↗)的推擲階段(delivery)。其六個階段分別用數學的幾何符號來代表各階段的重要運動學參數,其參數包括有滑步階段的滑步距離、速度與時間;轉移階段至旋轉階段的鉛球運行路徑、時間與速度;及旋轉階段至推擲階段的鉛球最大水平拋射距離、速度與時間。

從表6、7得知,男女鉛球選手在滑步距離平均值分別為.98與.90公尺(滑步時間平均0.15秒),而國內研究陳信裕與呂景義兩位選手破記錄時,該值為0.78與0.70公尺(滑步時間平均0.15秒),比較下在滑步階段的速度上是有段差距。滑步階段主要是在滑經投擲圈(直徑2.135公尺)的過程中獲得動量,然後加諸於鉛球上而取得動量,此動量又以水平動量影響最大,所以,滑步階段的速度獲得是相當重要的。一般說來原地推擲與滑步推擲,會在成績上有2~3公尺差距(張健,1989)。Krstev(1980)指出滑步結束瞬間其軀幹彎屈與鉛球運行路徑是影響推擲速度另一重要因素。因為在旋轉階段(L↓~||)左腳與右腳步伐位置應使肩線、臀線平行地面和推擲方向,使推擲者從滑步結束R↓,左腳接觸地面之瞬間能將滑步時的水平動能改變為上半身水

平及垂直兩者兼俱動能，然後再加諸在鉛球上，使此階段能獲得較有利的速度傳遞。如果滑步結束時R↓，右腳的位置能適時離開推擲軸，將使身體未旋轉前能增加軀幹肌肉的預前伸展(Pre-tension)來幫助下一階段的連貫。而左腳著地時L↓身體重心如在推擲軸的右側將會造成骨盆(pelvic)動作受到限制，於是髖關節及軀幹旋轉可能會受到限制，以影響最後推擲階段。此原因是造成最後鉛球推擲太偏離推擲軸方向的主因之一，由表6、7可看出，一流鉛球選手在鉛球運行路徑(轉移階段與旋轉階段)，應在1.5~1.8公尺之範圍間，才對最後推擲階段的出手速度，創造有利的條件。

由於出手速度是影響推擲距離的最重要參數(表4、5所示，決定係數高達.96及.88)，所以推擲前的幾何變項對出手速度的效標變項之間的迴歸預測方面，可從表8得知在旋轉階段的鉛球運行路徑與滑步距離對出手速度具有預測力；從迴歸係數的正負號得知，其旋轉階段的鉛球運行路徑愈大，其出手速度較大，這樣的結果與理論上是符合的，因為從運動學與動力學的理論中得知，加大工作距離(縮短時間，一流選手平均為0.26秒)，將可造成較大的功(work)，亦相對提高出手速度的增加機會。另外，滑步距離的迴歸係數為負號，得知滑步距離愈大，其出手速度會愈小，因為當滑步距離如愈長(男女選手平均為.98與.90公尺)，通常超過推擲圈之半徑1.06公尺後，將直接影響轉移階段鉛球運行的路徑及身體重心的轉移。是故，這樣的結果是頗符合一般教練與教師的認知。雖然旋轉階段的鉛球運行路徑與滑步距離這兩者變項是幾何變項中，對出手速度是較具有預測力，而從決定係數的改變量看出(0.19與0.15)，其強度並不是相當大；這樣的結果讓研究者認為，影響出手速度的變項，除了運動學參數外，其大部份出手速度的主要來源，應是動力學的重要變項，如衝量(三維的分量)、轉矩(torque)、轉動慣量(moment of inertia)及水平作用力等。所以，對實際影響出手速度而言，推擲前各階段的力量探討，是研究鉛球推擲相當重要的參考指標。

陸、結 論

本研究以參加世界田徑錦標賽的男女鉛球選手為研究對象，探討基本變項與推擲距離的關係，以驗證拋射體的科學理論。另外探討運動學參數與推擲成績的關係，結果發現男女鉛球一流選手在出手速度與出手角度兩個變項上能有效預測推擲距離；與男鉛球選手在旋轉階段的鉛球運行路徑、滑步距離兩個變項上亦有效預測出手速度。其在一、基本變項與推擲距離的迴歸方程式為(一)男選手原始分數迴歸方程式為：推擲成績 = $-24.43 + 2.82 * \text{出手速度} + 0.10 * \text{出手角度}$ ；男選手標準化分數

迴歸方程式為：推擲成績 $=1.21 * \text{出手速度} + 0.28 * \text{出手角度}$ ；(二)女選手原始分數迴歸方程式：推擲成績 $= -17.13 + 2.51 * \text{出手速度} + 0.10 * \text{出手角度}$ ；女選手標準化分數迴歸方程式：推擲成績 $= 1.56 * \text{出手速度} + 0.1 * \text{出手角度}$ 。二、幾何變項與出手速度的迴歸方程式為：男選手原始分數迴歸方程式：出手速度 $= 12.5 + 1.37 * \text{鉛球加速路徑} - 1.01 * \text{滑步距離}$ ；標準化分數迴歸方程式：出手速度 $= 0.43 * \text{鉛球加速路徑} - 0.38 * \text{滑步距離}$ 。

參考文獻

- 王敏男(民70)：田徑技術與訓練。台北，健行文化事業有限公司。
- 吳延禧、方興(民78)：女子鉛球的三維運動分析。國家體委體育科學研究所學報，2卷2期，頁47。
- 陳太正(民71)：田徑運動力學。台北，長白出版社。
- 陳太正、謝茂松(民73)：鉛球推擲技術之運動學分析。中華民國大專院校體育總會體育學術研討會專刊，頁57。
- 張立群、洪得明(民82)：陳信裕、呂景義破全國男子鉛球紀錄之動作的運動學分析。體育與運動，87期，頁17。
- 張健(民78)：對李梅素在六運會破亞洲紀錄時的技術動作力學分析。北京體育師範學院學報，1期，頁83。
- 許樹淵(民66)：鉛球投擲動作之力學分析。中華民國大專院校體育總會體育學術研討會專刊，頁2。
- 許樹淵等人(民74)：馬宗義原地鉛球推擲之動學和動力學分析。大專體總體育學術研討會，頁383。
- 許樹淵(民77)：運動技術指導原理。台北，協進圖書有限公司
- 許樹淵(民86)：運動生物力學。台北，合記圖書出版社。
- 許樹淵(民86)：運動科學導論。台北，偉彬體育研究社。
- 葉憲清(民60)：田徑研究。台北，啟華社。
- 謝茂松(民76)：鉛球推擲技術分析與研究。高立圖書有限公司。
- Ariel, G. (1974). Method For biomechanical analysis of human performance. *R.Q.* 45 (1), 26-38.
- Cureton, T.K. (1935). Elementary principle and techniques of Cinematographic analysis as aids in athletic research. *R.Q.* 10 (3), 1-6.
- Hay, G. (1973). *The biomechanics of sport techniques*. prentiice-Hall.
- Hermann, G.W.(1962). An electromyographic study of selected muscles involved in the shot put. *R.Q.* 33 (1), 22-26.
- Lindner, E. (1971). The phenomenon of the freedom of lateral deviation in Throwing. *Medicine and sport*, 6, 240-245.
- Mileshin, L. & Papanova, V. (1986). Sergei Smirnov and Wolf Timmerman in the shot put. *Legkaya Atletika*, 12, 16-18.
- Stepanek, J. (1987). Comparison of back and rotation technique of shot put based on spatial analysis. *International symposium of biomechanics in sport*.

- Throwbridge, E.A. (1980). The mechanics of shot put. *Athletic coach* **14, 2**, 28-32
- Ward, B.(1970). Analysis of Dallas Long's shot putting. *Track Technique*, **39**, 8-9.
- Winter, D.A. (1979). *Biomechanics of human movement*. Inc. U.S.A.

The Relationships of Parameters of the Kinematics to Distance of the Elite World Shot-putters

*Tzu-lin Won and Hsin-pei Shuei**

ABSTRACT

The purpose of this study was to examine the relationships of parameters of the kinematics to distance. Subjects were 14 males and 14 females shot-putters. Parameters(predictors variable) included basic parameters and geometric parameters. The analysis of stepwise multiple-regression was conducted.

The results indicated that males and females release velocity and release angle were the effective predictors of the distance of the shot-put in the basic parameters and proved the science theory of the projectiles motion. The second results indicated that males length of trajectory(L.T, rotational phase) and length of glide(L.G, gliding phase) were the effective predictors of release velocity.

The basic(geometric) parameters and the distance(velocity) of put predicted regression were as follows:

1. Predicted regression in male $S = -24.43 + 2.82 * V + 0.10 * \theta$, $S = 1.21 * V + 0.28\theta$; $V = 12.5 + 1.37 * (L.T) - 1.01 * (L.G)$, $V = 0.43 * (L.T) - 0.38 * (L.G)$
2. Predicted regression in female $S = -17.13 + 2.51 * V + 0.10 * \theta$; $S = 1.56 * V + 0.1\theta$

*翁梓林：體育學系講師
水心蓓：體育學系講師

