

## 第一章、緒論

### 第一節、前言

鉛球投擲項目從第一屆奧林匹克運動會就是比賽項目之一，重物投擲對更早之前的古希臘戰士而言，也是他們的競技訓練項目之一。1950年代，鉛球投擲的技術出現了大變革，美國選手 Parry O'Brien 首先採用背向滑步式鉛球投擲的技術（見圖 1-1-1），此技術提高了滑步的速度和最後用力肌肉工作的距離，並發揮了轉體的力量，Parry O'Brien 以此獨特的技術，獲得 1952 年、1956 年兩屆奧林匹克運動會的冠軍，而且從 1953 年到 1959 年的 6 年中，他共刷新了 10 次世界紀錄，並把世界紀錄提高到 19.30 公尺，背向滑步式鉛球投擲的技術一直到現在，都還有許多鉛球選手使用。



圖 1-1-1：背向滑步式鉛球投擲技術（周鶴鳴、陳在頤，1986）

旋轉式鉛球投擲技術（見圖 1-1-2）來自於 1940、50 年代一些具創造性的鏈球、鐵餅投擲選手，如：F. Tootell、O. Chandler，B. Ward、J. McGrath(USA)、J. Malek(Czechoslovakia)、V. Alekseev(Russia)……等（Rasmussen, 1998），他們直覺地認為此種技術可以將鉛球推得更遠，並且嘗試運用旋轉式鉛球投擲。一直到 1963 年美國選手 John McGrath 以 63 呎（約 19.20 公尺）的成績獲得 AAU 比賽的冠軍時，此旋轉式鉛球投擲技術才漸漸被其他選手使用，包括在當時使用背向滑步式鉛球投擲技術的優秀選手 Oldfield 也改用旋轉式鉛球投擲技術，並且投出 75 呎（約 22.86 公尺）的驚人成績（因職業而未被承認為世界紀錄）。蘇聯選手 Alexander Barishnikov 在 1976 年創下 72 呎 2 1/4 吋（約 22.00 公尺）的世界紀錄，並且在該年的奧林匹克運動會獲得銅牌，他是第一個以旋轉式鉛球投擲技術達到此成就的鉛球選手。自此以後，旋轉式鉛球投擲技術更快地被其他選手廣泛採用，包括 Dave Laut（1984 年奧林匹克運動會銅牌）、Greg Trefralis、Augie Wolf……等（周鶴鳴、陳在頤，1986；許樹淵，1992；Rasmussen, 1998; Palm, 1991）。現在的鉛球世界紀錄 23.12m，亦是由 Randy Barnes 於 1990 年使用旋轉式鉛球投擲技術所創下。1985 年世界錦標賽男子鉛球決賽選手有近一半的人使用旋轉鉛球投擲技術，而且 2000 年奧林匹克運動會男子鉛球項目的前三名選手，均是

使用旋轉式鉛球投擲技術，2004 年奧林匹克運動會前三名則有兩位使用。如今，旋轉式鉛球投擲技術已成為現在鉛球投擲技術發展的一股趨勢。

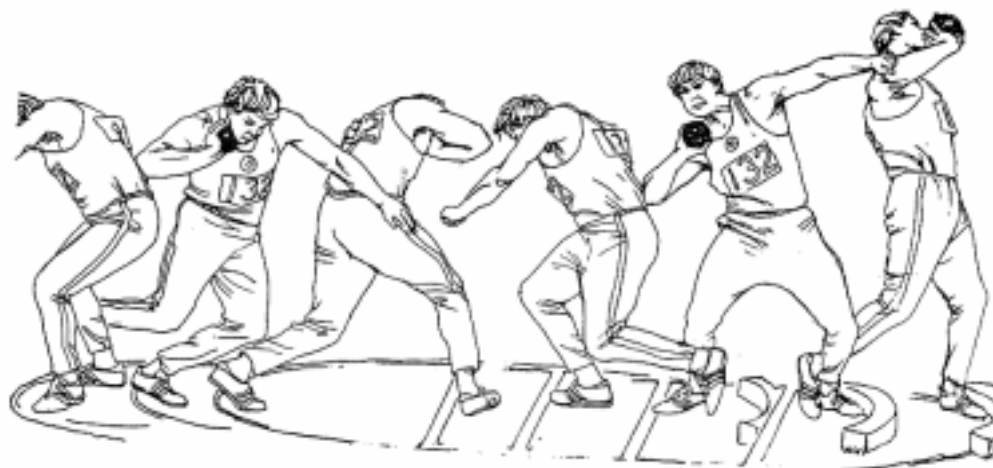


圖 1-1-2：旋轉式鉛球投擲技術（周鶴鳴、陳在頤，1986）

鉛球投擲項目雖然是以上肢握持鉛球，將之投擲至遠處，以距離來判斷成績好壞，其投擲動作的下肢卻扮演著重要且關鍵的角色。鉛球投擲是屬上手投擲的一種，但不同於棒壘球、標槍上手投擲，鉛球投擲是用類似推的方式將鉛球投至遠處，在投擲的過程中，下肢肌肉關節帶動身體移向投擲方向，並且在最後用力時，下肢肌肉做有力的蹬伸和支撐，以及帶動上半身扭轉，促使身體有效率地連動，而後用投擲臂將器物投擲出去（許樹淵，1992），Dessureault（1978）即指出鉛球投擲的力量，主要是由鉛球選手的雙腳所產生的。鉛球投擲技術必須注重整體動作各環節的流暢連結，以及速度節奏的掌握，它是一項速度力量型的投擲運動，而其速度節奏的控制是由下肢關節肌肉所決定的。甚至鉛球投擲動作身體的平衡也是

依賴下肢的關節肌肉，以背向滑步式鉛球投擲技術來說，兩次的下肢支撐動作，一次是以右腳滑步單支撐，一次是以左腳支撐制動。下肢積極的蹬伸向前向上抬起發力，讓用力的連慣性更好，最後用力時間更短，動作更快，下肢肌肉關節的適當支撐平衡能讓動作更為流暢平順（Luhtanen, Blomqvist & Vanttiene, 1997）。因此，在鉛球投擲項目的專項訓練中，對於下肢肌力、速度、瞬發力、敏捷性、協調性的訓練是不可少的（Palm, 1991）。

對鉛球投擲項目的下肢專項訓練，有兩種意義：一是增進內在神經肌肉系統的反應能力，縮短反應時間；二是增進外在肌肉系統力、力矩的作用效率。鉛球投擲之下肢專項訓練效果的呈現，將是依賴下肢最大肌力及瞬發肌力的表現。最大肌力可分為三種：（1）最大向心收縮力；（2）最大離心收縮力；（3）最大靜性收縮力。瞬發肌力又稱爆發力，是指神經肌肉系統在有限的時間內最大限度產生衝量的能力，影響瞬發肌力的重要因素有：（1）最大肌力；（2）達到最大肌力所需的時間；（3）快速肌力指數（SSI, Speed Strength Index）；（4）發力率（RFD, Rate of Force Development）；（5）初始發力率（IRFD, Initial Rate of Force Development）（劉宇、江界山、陳重佑，1996）。在鉛球投擲動作中，藉由實驗研究資料可以看出下肢關節肌肉表現結果的呈現。

人體的骨骼肌肉系統人體大部份之動作是由許多骨骼肌（skeletal）

成群的協調作用所產生，並非由單獨肌肉群所控制。人體的骨骼肌係藉由肌腱而與骨骼相連，當肌肉收縮時，它們圍繞著關節而產生運動。而每一塊肌肉皆由許多肌纖維所組成；肌纖維是由運動神經所支配，當肌肉受到控制產生收縮，此收縮肌肉稱主動肌（agonist），在關節的另一端，受到肌肉收縮而使肌肉伸開之成對肌肉，稱為拮抗肌（antagonist）。拮抗肌之作用與主動肌相反，一個動作須靠主動肌收縮與拮抗肌放鬆協同作用才可完成。運動中各個骨骼肌肉間，其收縮作用的轉移，很難直接從人體試驗測量中得到，唯有透過間接的方式，如：逆動力學、肌電圖（EMG）等資料，才能間接了解骨骼肌肉活動的情況。

逆動力學（Inverse dynamics）是一種計算人體運動時，身體關節作用、肌群作用的力、力矩和功率的工具。一般的運動學分析無法瞭解肢體運動控制的機轉，這些控制和協調人體運動的內力，很難使用直接的方法測量，而逆動力學乃是一種可以間接推估運動時肢段作用肌群的力、力矩和功率的方法，計算肌肉關節力矩的意義在於它可以提示關節肌群在關節運動過程中起哪些主要作用，它們又是如何工作的，透過逆動力學的分析，更能深入了解人體運動時，肢體的運用與控制，幫助了解連結肢段動作及在連結關節上的肌肉活動，在關節處力和力矩的分析，可以更了解動作作用產生的因素（劉宇，2001；Winter, 1990）。Andrews（1982）亦指出肌肉關節力矩和肌肉活動之間的關係，是沒辦法從直接的實驗測量得

到，只有利用逆動力學模型研究和 EMG 等間接的方法，來探索其關係，而逆動力學模型研究，所導出的力、力矩及功率均必須於每一個關節上來呈現。

對於鉛球投擲訓練，其下肢骨骼關節肌肉活動的協調性、爆發力該如何加強？藉由了解鉛球投擲過程中，下肢關節力矩、功率與關節肌肉作用控制的機轉是最好的方法。除了在投擲運動的專項訓練方面外，在類似的投擲運動傷害預防和復健上，亦是有需要對各個關節肌肉活動的了解。

## 第二節、問題背景

我國男性鉛球選手大多採用背向滑步式鉛球投擲技術，我國旋轉式鉛球投擲技術的發展尚在起步階段，但使用旋轉式鉛球投擲技術的選手已有不錯的成績，如：2001 年的全國運動會及 2002 年的全國中等學校運動會的男子鉛球項目冠軍均是採用旋轉式鉛球投擲技術，男女全國記錄保持人也都是使用旋轉式投擲技術。我國的男子鉛球項目成績（我國記錄 18.02 公尺）和世界級選手（世界記錄 23.12 公尺）相較之下仍有一段相當大的一段差距（近來全國前八名平均約 15~17 公尺；世界級前八名平均約 20~22 公尺，資料來源：田徑協會）。

我國的鉛球項目成績和世界級選手之間的差距為何這麼大？旋轉式鉛球投擲技術與背向滑步式鉛球投擲技術之間的差異到底為何？均需要

進一步去探討，因此，希望藉此研究找出各參數之差異與比較，來提供許多相關的訊息給予教練和選手在鉛球投擲技術訓練與學習上之參考。

鉛球投擲技術已經發展多年，對於鉛球投擲技術的研究大多是運動學方面的研究（Alexander, 1991; Egger, 1994; Linthorne, 2001; Liu & Wang, 2000; Maheras, 1998; Palm, 1990; Palm, 1991; Tsirakos & Killias, 1995; Tsirakos, Bartlett & Killias, 1995; Zatsiorsky, 1990; Zatsiorsky, Lanka & Shalmanov, 1981），僅少部分研究（Dessureault, 1978; Zatsiorsky et. al., 1981; Bartonietz, 1994）深入由動力學方面來進行研究探討。儘管鉛球投擲技術是相當複雜的三維空間動作，然而單純運動學的分析無法了解其動作對瞬發肌力的要求以及對關節肌肉協調與平衡作用能力的要求，動力學的分析能使鉛球投擲技術的研究更加的完善。不論是旋轉式或背向滑步式鉛球投擲技術，右腳在跨步/滑步至投擲圈中間，右腳均需先做有力的著地支撐及蹬伸，然後在最後用力期靠左腳著地制動以及蹬伸，雙腳向前向上發力，因此，在訓練上，更有需要針對該下肢關節肌肉專項的訓練要點做個釐清，並且對此鉛球投擲動作的肌肉與關節作用機轉做清楚的說明，以利投擲動作的學習與控制。Bartonietz（1994）即指出，我們必需找出鉛球投擲技術力量關係之間的基本要素，以專注在發展特定力量的訓練上。

鉛球投擲動作的關節與肌肉作用機轉為何？該如何利用關節與肌肉的作用來學習、控制鉛球投擲的動作？均需要進一步去探討，希望藉此研究提供許多相關的訊息給予教練和選手在鉛球投擲技術訓練上之參考。此外，由逆動力學模型去探討鉛球投擲技術動作之研究未曾有其他學者做過，因此，亦希望此研究的結果能提供給其他研究者相關的訊息，以做為其他研究之參考。

### 第三節、研究目的

一、本研究的目的是：

- (一) 分析旋轉式與背向滑步式投擲技術之運動學參數，並探討其與成績表現之相關性。
- (二) 分析旋轉式與背向滑步式投擲技術之地面反作用力參數，並探討其與成績表現之相關性。
- (三) 分析旋轉式與背向滑步式投擲技術之關節力矩、功率參數，應用逆動力學模型來探討鉛球投擲過程中，下肢關節肌肉作用的控制機轉，釐清鉛球投擲技術關節肌肉作用的模式。

希望透過運動學與逆動力學的方式，深入探討，以期提供教練或選手在日後運動訓練或競賽中作為提升投擲表現與預防運動傷害之參考。

二、分析之運動學參數如下：

1. 實際測量之投擲距離



2. 出手速度
3. 出手角度
4. 出手高度
5. 跨步/滑步與傳遞階段之步幅分配長度
6. 各技術要點上的鉛球速度值及鉛球速度曲線
7. 各技術要點上的肩-髖角度
8. 各分期中的鉛球運行長度及運行路徑曲線
9. 各分期中的鉛球速度改變
10. 旋轉式投擲動作左、右腳趾速度最大值及其速度曲線
11. 肩軸、髖軸最大角速度及其速度曲線

### 三、動力學參數如下：

1. 左、右腳地面反作用力之最大垂直力、水平制動力、水平主動力及產生時間
2. 左、右腳地面反作用力之最大垂直力、水平主動力發力率
3. 左、右腳制動垂直衝量、制動水平衝量及其作用時間
4. 左、右腳主動垂直衝量、主動水平衝量及其作用時間
5. 左、右腳之垂直、水平總衝量及總作用時間
6. 傳遞期、最後用力期之垂直、水平總衝量

7. 左、右腳踝、膝、髖之關節肌肉力矩、功率曲線、最大力矩及其產生時間

#### 第四節、研究範圍

本研究以男性旋轉式與背向滑步式鉛球投擲優秀選手為受試者（均以右手臂投擲），利用四部高速數位攝影機，記錄其投擲動作，並進行 3D 處理分析，獲取運動學資料；以及利用二部測力板在受試者著地時，獲取動力學資料，並進一步運用逆動力學模型得到下肢各關節肌肉之動力學參數。

#### 第五節、研究限制

在進行肢段的建構前，假定：1.人體在動作過程中各肢段為密度相等的剛體結構，運動時各肢段的質心相對位置與轉動慣量不變。2.各關節視為鉸鏈連結的點，而各連結點的質量與摩擦力忽略不計（Winter, 1990）。

#### 第六節、名詞操作性定義

1. 投擲距離（distance）—  $d_{\text{official}}$ ，鉛球推擲出後落地點到投擲圈前緣抵趾板的距離。（圖 1-1-3）
2. 投擲臂（release arm）— 推擲出鉛球的手臂，在此均以右手臂投擲者為實驗對象。

3. 出手速度 (release velocity) —  $V_{\text{release}}$ ，鉛球推出離手瞬間，鉛球沿投擲方向的速度。(圖 1-1-3)
4. 出手角度 (release angle) —  $\theta_{\text{release}}$ ，鉛球推出離手瞬間，鉛球沿投擲方向與水平方向之間的夾角。(圖 1-1-3)
5. 出手高度 (release height) —  $h_{\text{release}}$ ，鉛球推出離手瞬間，鉛球到地面之間的高度。(圖 1-1-3)
6. 髖角度 (hip angle) —  $\theta_{\text{hip}}$ ，肩、髖、膝所成之夾角。(圖 1-1-5)
7. 膝角度 (knee angle) —  $\theta_{\text{knee}}$ ，髖、膝、踝所成之夾角。(圖 1-1-5)
8. 踝角度 (ankle angle) —  $\theta_{\text{ankle}}$ ，膝、踝、腳趾尖所成之夾角。(圖 1-1-5)
9. 騰空期 (flight phase) — 飛程，此時鉛球選手的雙腳皆離開地面。(圖 1-1-4)
10. 右腳單支撐期 (right foot single support phase) — 此時單一右腳支撐，鉛球選手右腳著地，並以右腳為軸，向逆時鐘方向旋轉。(圖 1-1-4)
11. 雙腳支撐期 (double support phase) — 此時雙腳支撐，鉛球選手左腳著地後，雙腳皆著地，並且用力蹬伸。(圖 1-1-4)
12. 最後用力期 (thrusting phase) / 投擲期 (release phase) — 最後用力，鉛球選手左腳著地(雙腳支撐期)，直到鉛球推出離手。(圖 1-1-4)
13. 滑步期 (glide phase) — 右腳滑動離地到右腳著地。(圖 1-1-4)

14. 傳遞期 (deliver phase) — 傳遞，騰空後，右腳著地到左腳著地。(圖 1-1-4)
15. 制動期 (braking phase) — 地面反作用力方向與投擲方向相反時。
16. 主動期 (propulsive phase) — 地面反作用力方向與投擲方向相同時。
17. 滑步步幅 (glide length) — 騰空時所飛行的距離。背向滑步式為右腳滑動離地到右腳著地的距離。
18. 傳遞步幅 (deliver length) — 騰空後，右腳著地到左腳著地的距離。
19. 鉛球運行距離/路徑 (shot put path length) — 滑步開始時，即右腳離地時，鉛球所在的位置，到鉛球離手瞬間這一段，鉛球運行的距離。
20. 著地瞬間：測力板開始收到反作用力訊號的瞬間。
21. 發力率 (RFD, Rate of Force Development)：指作用力  $F$  和作用時間  $T$  的比值 ( $\frac{\Delta F}{\Delta T}$ )。

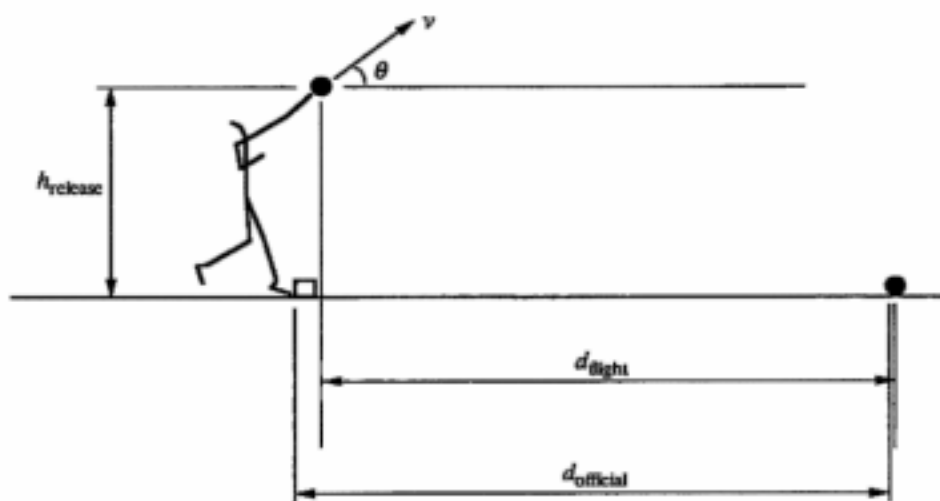


圖 1-1-3：投擲距離  $d_{\text{official}}$ 、出手速度  $v_{\text{release}}$ 、出手角度  $\theta_{\text{release}}$ 、出手高度  $h_{\text{release}}$  示意圖

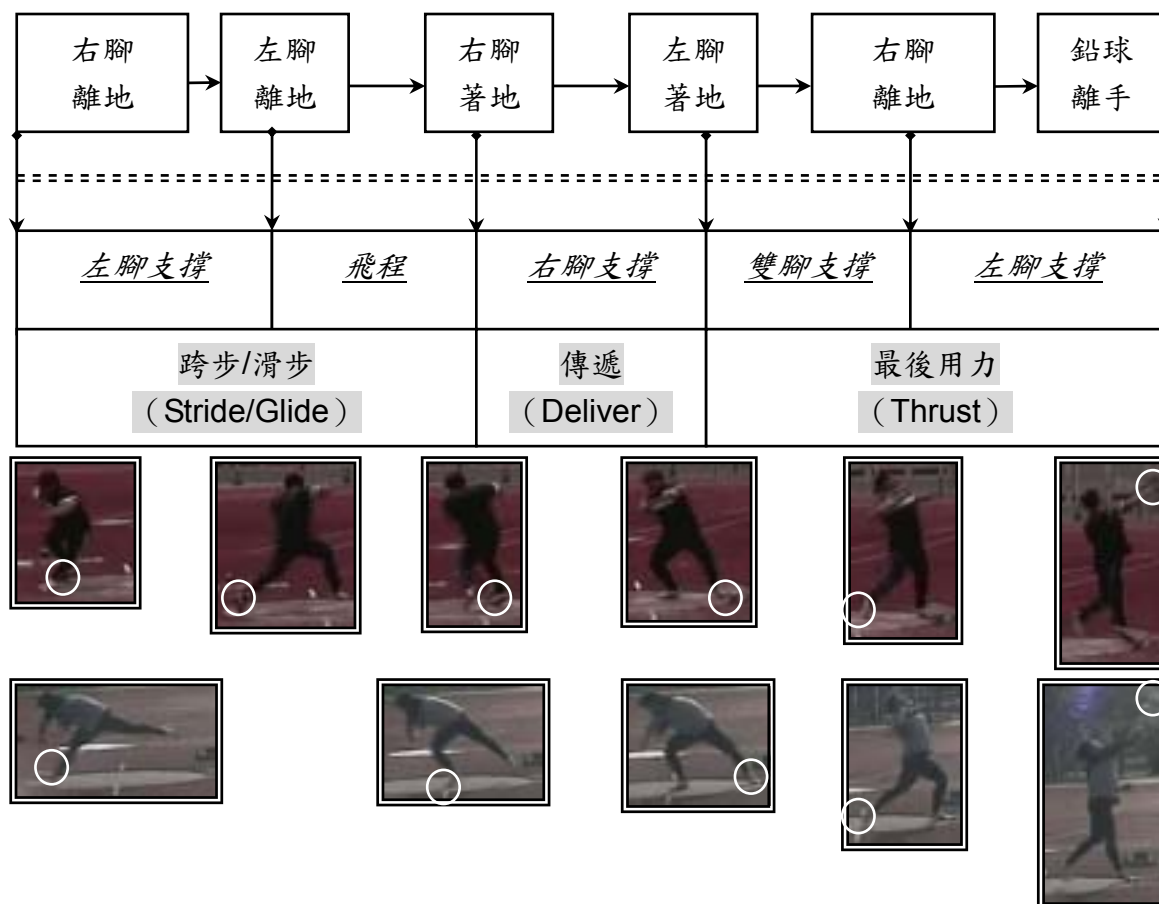


圖 1-1-4：旋轉式與背向滑步式鉛球投擲動作要點、分期圖

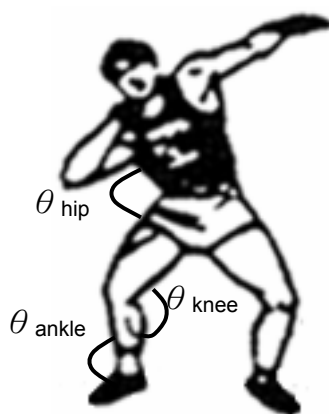


圖 1-1-5：關節角度示意圖