

第二章、相關文獻探討

第一節、逆動力學模型相關研究

人類可以活動、運動，是因為人體骨骼肌肉系統作用，促使多關節連續的移動和轉動，造成人體產生動力的要素，肢段之間的互動與骨骼肌肉的活動情形，是各國研究學者所積極去探索的。

Andrews (1982) 研究關節合力矩和肌肉活動之間的關係，他指出這層關係目前是無法經由直接實驗測量得到的，因此，利用間接的模型研究結合 EMG 資料，來推斷其關係，他在此模型研究，加上一些關鍵的假設，減少模型研究中肌肉力值簡化分佈的問題，此外，還考慮到拮抗肌肉活動的作用影響。這些標準的模型假設包括：(a) 視關節為一個點；(b) 力的轉移只發生在肌肉、韌帶和骨頭接觸的地方；(c) 導出適當定義的、合理正確的肌肉、韌帶力作用點和方向；(d) 忽略無關緊要的肌肉本身的力矩作用；(e) 視韌帶和骨頭接觸力的力矩，在力矩等式中，是可忽略的或可估計的，如果是可估計的，那必定是可確定的或可從肌肉力矩中分開的。

從肌力、重力、地面反作用力產生的關節力和力矩，是了解下肢控制運動，一個很重要的方法，而運動學的測量、分析僅能對運動的效果進行描述，動力學外力的測量、分析亦僅能探討外力對運動的影響及外力與重心的關係，兩者均不能瞭解肢體運動控制的機轉 (Schneider, 1990)。透

過動力學逆過程的分析，能深入瞭解人體運動時肢體的運用與控制（劉宇，2001）。

人體運動時，身體各肢段因為受到重力、外力（地面反作用力）、肌肉力的影響，而產生外顯的動作。動力學逆過程就是透過攝影機拍攝外顯的動作，使用動作影像分析軟體量化外顯的動作，以及利用測量力量的工具（測力板）所記錄的地面反作用力值，再加上已知的重力，來推估動作過程中肌肉作用的情形（Winter，1990）。

多關節多肢體的運動，肢體的動作受關節力矩所控制與決定，因此，透過關節力矩的分析才能深入的了解肢體運動控制的機轉。此外，肌肉力量與能量傳遞的現象，亦是探討內在肌肉機制的重要參考依據，然而動作過程中關節力矩以及單一肌群的力量並無法直接測得，藉由建立肢體運動的生物力學模式來計算與推估這些動力學參數便是一個重要的研究手段（劉宇，2001；Winter，1990）。

肢段鏈模型運用於運動下肢動作的研究（如：Bobbert & van Ingen Schenau, 1988; Eng & Winter, 1995; Hunter, Marshall & McNair, 2004; Jacobs, Bobbert & van Ingen Schenau, 1996; Jacobs & van Ingen Schenau, 1992; Johnson & Buckley, 2001; Mann, 1981; Mann & Sprague, 1980; Winter, 1983），建立肢段的動力學模型，透過運動學參數資料、人體肢段參數以及外力來計算與推估人體關節反作用力與肌肉力矩，以觀察淨肌肉活動。藉由淨關節肌肉力矩與功率我們可以推知動作期

間主作用(dominate)力矩方向以及關節肌肉產生能或吸收能功率(Winter, 1990)。因此，藉由肢段鏈模型推導所得的淨肌肉動力學參數是動作研究上分析與討論的重要依據，透過此肌肉模型的建立，探討動作過程中肌肉收縮速度、肌肉力量以及能量的傳遞等現象。

第二節、鉛球投擲動作之下肢動力學相關研究

Dessureault (1978) 研究 13 名背向滑步式鉛球投擲選手 (投擲距離 10.66~20.68 公尺)，利用兩個測力板和兩個攝影機同步擷取資料，對下肢地面反作用力的分析結果發現較好的選手在騰空後，右腳著地的垂直力較大，而且右腳著地的水平制動衝量也較大 (見圖 2-2-1)；在右腳單支撐期後，左腳著地的水平制動力和投擲方向相反，而且此左腳著地的水平制動衝量較先前右腳著地的水平制動衝量大 75% 之多。當 Dessureault (1978) 比較所有由雙腳產生的水平衝量時，發現所有鉛球投擲選手的水平制動衝量大於水平推進衝量。此外，右腳著地的垂直衝量是雙腳所產生垂直衝量總和的 61%。

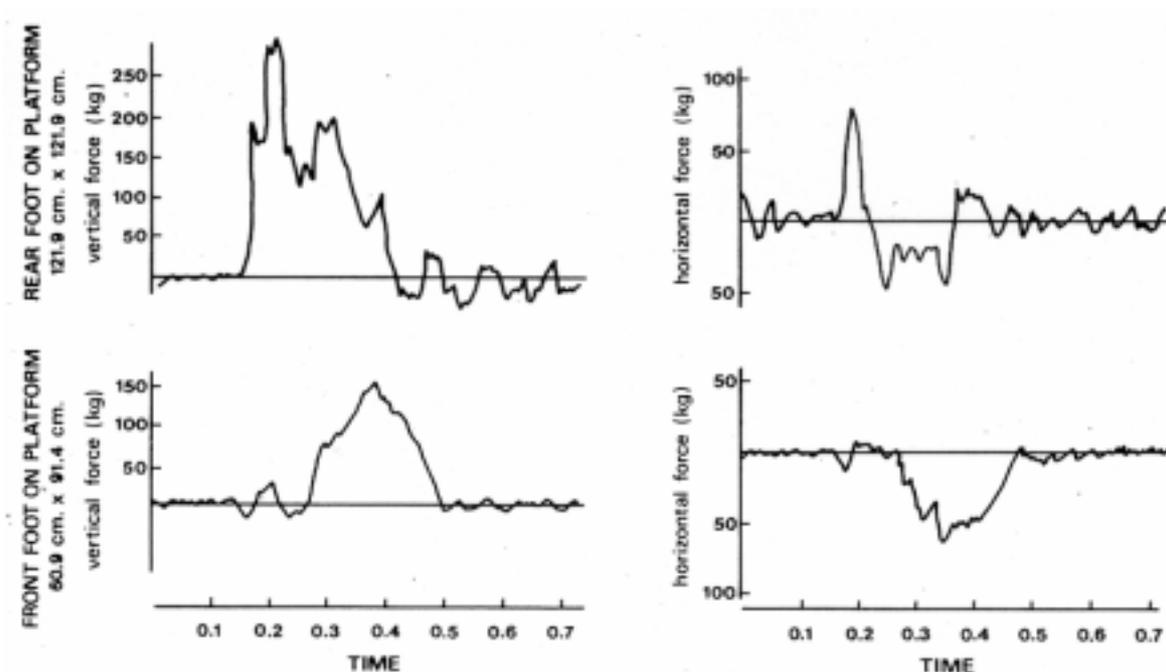


圖 2-2-1：雙腳著地之地面反作用力曲線圖，上為右腳；下為左腳，投擲距離 16.09 m。(Dessureault, 1978)

Zatsiorsky, Lanka & Shalmanov (1981) 指出在進入騰空前的右腳蹬地之測力板曲線形，是先漸漸地增加到最大值，然後，突然減少到零，而技術較差的鉛球選手，其曲線形會起伏波動（見圖 2-2-2）。在起始階段，其最大的垂直力約為體重的 2 倍，而最大的水平力可達到 647 ± 240 N，而且和投擲距離有正相關。

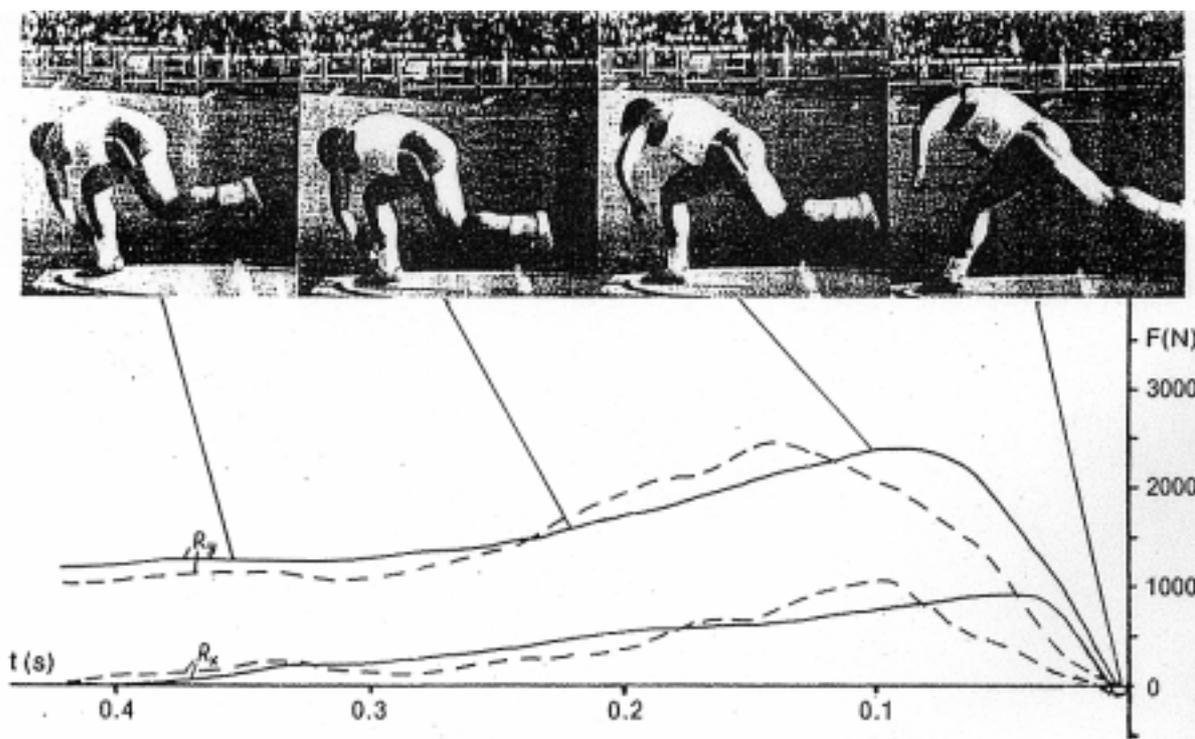


圖 2-2-2: 起始階段右腳之垂直 R_y 水平 R_x 地面反作用力曲線圖，實線為較好之鉛球投擲選手（投擲距離：19.6 m）；虛線為較差之鉛球投擲選手（投擲距離：13.5 m）。（Zatsiorsky, Lanka & Shalmanov, 1981）

在騰空後右腳著地（進入傳遞階段）及最後用力期的加速階段，幾乎所有研究鉛球投擲的學者都會進行探討，尤其做測力板實驗時，研究雙腳的地面反作用力與投擲動作之間的交互作用。Zatsiorsky et. al.（1981）指出右腳的垂直地面反作用力的發力率能反應出該選手的技術水準，較好的選手有較大的發力率（即地面反作用力曲線斜率較大），但不定有最大的垂直地面反作用力（見圖 2-2-3）。滑步後右腳著地直到右腳離地期間，其垂直地面反作用力曲線有兩個峰值，在右腳著地時第一個峰值達到最高，通常這個值是選手體重的 3~4 倍以上。第一個峰值的大小與滑步技巧和接下來的右腳動作有直接的相關。右腳著地及最後用力期的加速階段的

測力板垂直地面反作用力曲線有兩個峰值，這兩個峰值和投擲距離的相關為 0.31 和 0.34 ($n=50$)，而第二個峰值的產生，和右膝開始伸展幾乎是同時發生的，二個峰值的值相對於第一個峰值較小，然而隨著技術的進步，第二個峰值的值會隨著增加。

Zatsiorsky et. al. (1981) 指出右腳著地及最後用力期的加速階段的測力板水平地面反作用力方向有三次改變(見圖 2-2-3)，首先與投擲方向相反的力是制動力(在圖中，水平地面反作用力是負值)，達到 700~800 N，和投擲距離為負相關 ($r=-0.50$; $n=50$)，並且其最大制動力值和作用時間會隨著技術的進步而減小；接下來是與投擲方向相同推進力(在圖中，水平地面反作用力是正值)，達到 500~600 N，和投擲距離為正相關 ($r=0.60$; $n=50$)，此最大推進力值會隨著技術的進步而增加；然後在右腳完全伸展前，大約是在右腳離地前 70~80 毫秒，此時的垂直地面反作用力約有 400~600N，水平地面反作用力又是負值(與投擲方向相反的力)，達到 200~300 N，和投擲距離為正相關 ($r=0.49$; $n=50$)，此力是由於右腳滑動所造成的，因為投擲者在向前運動時，試圖維持與地面的接觸。

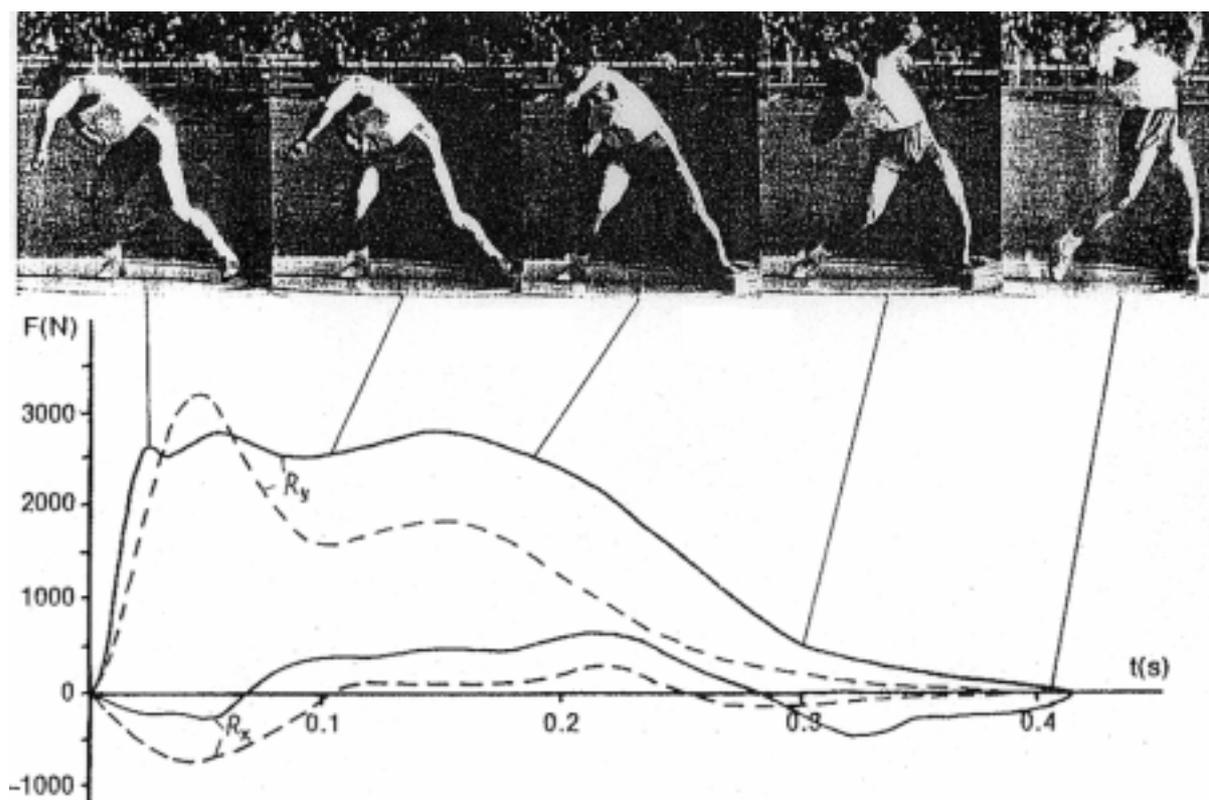


圖 2-2-3: 傳遞階段右腳之垂直 R_y 水平 R_x 地面反作用力曲線圖，實線為較好之鉛球投擲選手（投擲距離：19.6 m）；虛線為較差之鉛球投擲選手（投擲距離：13.5 m）。（Zatsiorsky, Lanka & Shalmanov, 1981）

在最後左腳著地的垂直、水平地面反作用力方面，Zatsiorsky et. al. (1981) 指出左腳水平地面反作用力使投擲者減速，雖然此力阻礙了投擲者向前運動，但是卻幫助投擲者提高身體的重心。較好選手的左腳著地垂直、水平地面反作用力值較大，而且其曲線的斜率也相對地較大（見圖 2-2-4）。對於鉛球的加速，特別是水平速度，左腳的作用要比右腳的作用來得重要。右腳在傳遞期的開始是加速身體往投擲方向的運動，之後，右

腳提供的水平推進力減小，並轉為制動力，此右腳制動力與左腳的制動力一起作用。

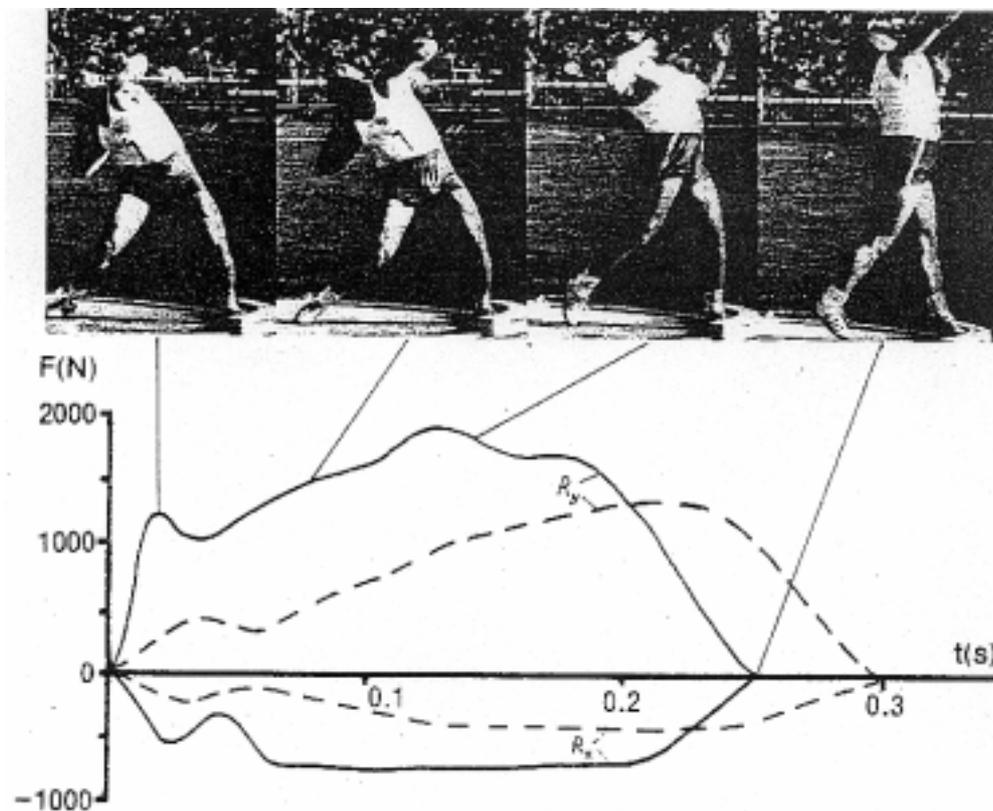


圖 2-2-4: 傳遞階段左腳之垂直 R_y 水平 R_x 地面反作用力曲線圖，實線為較好之鉛球投擲選手（投擲距離：19.6 m）；虛線為較差之鉛球投擲選手（投擲距離：13.5 m）。（Zatsiorsky, Lanka & Shalmanov, 1981）

Bartonietz (1994) 研究比較 20 位背向滑步式鉛球投擲選手與 12 位旋轉式鉛球投擲選手的地面反作用力，指出旋轉式鉛球投擲選手的右腳推進力使身體重心加速開始於左腳著地時；而背向滑步式鉛球投擲選手右腳推進力使身體重心加速開始於左腳著地前（見圖 2-2-5）。旋轉式鉛球投擲

的垂直地面反作用力較背向滑步式的大，然而曲線斜率卻是背向滑步式鉛球投擲較大（陡直）。

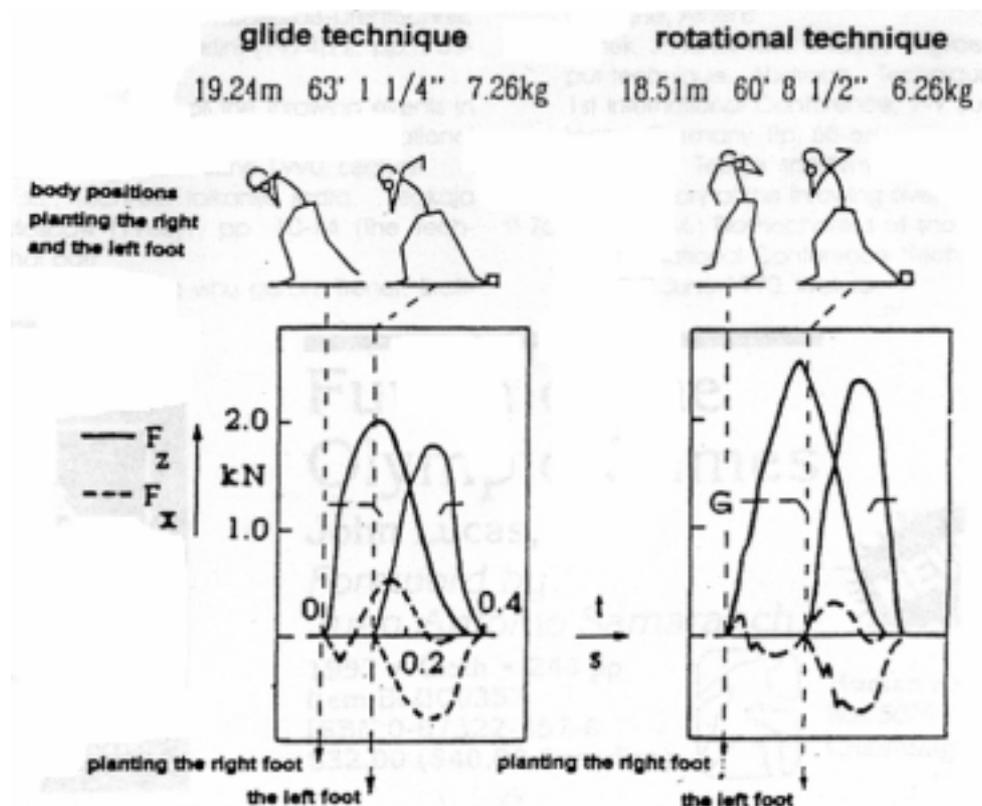


圖 2-2-5：傳遞階段右、左腳之垂直（實線）水平（虛線）地面反作用力圖，右邊為背向式鉛球投擲選手（投擲距離：19.24 m）；左邊為旋轉式鉛球投擲選手（投擲距離：18.51 m）（Bartonietz, 1994）

第三節、文獻總結

過去研究學者們利用逆動力學探討下肢文獻大多是走跑跳動作的分析，對於上述動作持續地都有研究學者投入其中，此外，關於鉛球投擲動作的逆動力學更是少之又少，從過去到現在不乏鉛球投擲的運動學分析（邱靖華，2000；翁梓林、水心蓓，1999；張立群、洪得明，1993；彭賢德、黃長福，2004；彭賢德、黃長福、彭賢勝，2004；彭賢德、彭賢勝、黃長福，2004；蔚順華、石慶賀，1990；潘寶石，1993；羅俊欽、黃長福，1998；Linthorne, 2001; Luhtanen, Blomqvist & Vanttiene, 1997; Liu & Wang, 2000; Maheras, 1994, 1998; Palm, 1990, 1991; Tsirakos & Killias, 1995; Tsirakos, Bartlett & Killias, 1995; Zatsiorsky, Lanka & Shalmanov, 1981），而鉛球投擲的動力學分析卻相當缺乏，因此，本研究特別針對鉛球投擲進行分析，著重下肢的動力學分析，並且分析完整的背向滑步式鉛球投擲動作，包含運動學資料分析，最終能結合動力學與運動學資料，對旋轉式與背向滑步式鉛球投擲動作做整體性的研究探討。