

優秀女子鉛球運動員推擲技術之分析

國立臺北教育大學

蔡葉榮

國立臺灣師範大學

黃長福

摘要

目的：分析國內優秀女子鉛球運動員鉛球推擲動作之運動學參數，以提供後續訓練計畫安排的依據。**方法：**以三名國內優秀女子鉛球運動員為受試對象，利用兩台 Redlake 高速攝影機 (125Hz) 拍攝背向滑步推鉛球動作，本研究所得的影像資料由 Kwon 3D 3.0 動作分析系統進行直接線性轉換與各運動學參數的運算。**結果：**在鉛球合速度方面，受試者 A 在右腳滑步開始、左腳著地和鉛球離手瞬間分別為 2.82 公尺/秒、1.96 公尺/秒和 10.25 公尺/秒；受試者 B 分別為 1.45 公尺/秒、2.40 公尺/秒和 10.50 公尺/秒；而受試者 C 則分別為 2.27 公尺/秒、2.26 公尺/秒和 10.26 公尺/秒。在滑步階段滑步距離和轉移階段雙腳距離方面，三位受試者分別為 0.73 公尺與 0.98 公尺、0.66 公尺與 1.15 公尺、0.86 公尺與 0.89 公尺。**結論：**受試者 A 應加強滑步階段重心的轉移技術，受試者 B 應強化滑步階段開始啟動的滑步技術，受試者 C 在轉移階段應加長雙腳支撐距離；此外，三位受試者總滑步距離皆太短，應強化相關的技術及體能訓練，提升其總滑步距離，以充分利用投擲圈的有限距離來獲得水平動量，為鉛球離手速度創造有利的條件。

關鍵詞：鉛球、運動學、女子

The Kinematics Analysis of Elite Female Shot Putter

Abstract

Purpose : The purpose of this study was to analyze the kinematics variables of elite female shot putters in glide during pre-competitive season. The results can provided to coaches' training program in the future. **Methods** : Three elite female shot putters were recruited as subjects. Two synchronized Redlake high-speed cameras (sampling frame: 125 Hz) were used to record the data. The raw data was digitized by Kwon 3D. **Results** : For the resultant velocity of the shot put ball, subject A's were 2.82 m/s, 1.96 m/s and 10.25 m/s at the instant of starting to glide of the right leg, landing of left foot and ball released respectively. Subject B's were 1.45 m/s, 2.40 m/s and 10.50 m/s in the same events respectively. Subject C's were 2.27 m/s, 2.26 m/s and 10.26 m/s respectively. The gliding distance during the gliding phase of each subject was 0.73m, 0.66 m and 0.86 m. The distance between two foots during transition phase of each one was 0.98m, 1.15m and 0.89m. **Conclusion** : Subject A should enhance skills in center of gravity Translation technique during the gliding phase. Subject B should emphasize the initial of the gliding phase, leg-pushed skill. Subject C should increase the distance between two legs during the transition phase. In addition, the total gliding distances of three subjects were not longer enough for the generation of horizontal momentum.

Key words : shot put, kinematics, female

壹、緒論

一、問題背景

鉛球運動是屬於速度力量性項目，是一種以力量為基礎，以速度為核心的田徑投擲項目。近代鉛球運動的歷史可追溯到 19 世紀中葉，英國人米契爾將鉛球推到 11.79 公尺，這是體育史資料所記載最早的近代鉛球紀錄（人民體育出版社，1994）。隨著運動訓練法的不斷精進，目前世界男、女運動員鉛球紀錄均已超過 22 公尺。鉛球運動向來是我國田徑運動中成績較差的項目之一，與世界級的成績仍有一段差距，尤其是女子鉛球，目前僅有一位運動員突破 15 公尺大關，其個中原因實值得吾等共同來關切。

運動訓練的目標最後是為了參加比賽，且能以最高水準的競技能力來參與比賽，並獲取佳績。為達此一境界則運動教練必須正確的安排週期和規劃訓練過程，使選手競技能力能合理持續的發展與提升（葉憲清，2003）。一般而言，國內運動教練經常會以簡易的觀察法來對運動員進行技術診斷與分析，但是鉛球是運動員在極短的時間內，以極快的速度動作將鉛球推出，其所組成完整技術的各個環節都會相互影響，光憑肉眼的判斷經常會影響分析的準確性。運動生物力學之攝影分析法，能有效的解決前述之問題，目前國內有關鉛球推擲的研究文獻（張立群、洪得明，1993；潘寶石（1993）；羅俊欽、黃長福 1998；彭賢德、黃長福，2003），但都侷限於男子運動員，有關女子鉛球推擲動作的分析卻是付之闕如。在現代競技訓練中，年度訓練計畫是教練與運動員組織運動訓練過程重要的安排，其中以雙週期安排是最重要的年度安排模式，而雙週期的安排，包含兩個準備期、兩個比賽期和兩個過度期（久麥田，1997）。目前國內田徑運動訓練也是以此模式訓練為主，賽前訓練與準備期有直接的關係，因此在對準備期的訓練做出正確的分析後，才可能使賽前訓練計畫制訂的更為合理、有效。為此，本研究試以運動生物力學之攝影分析法，對於國內優秀女子運動員進行技術的分析與診斷，研究所得的定量參數期能提供運動教練訓練計畫擬定的參考依據，進而有效的提升運動員的成績表現。

二、研究目的

本研究主要目的在分析國內優秀女子鉛球運動員於訓練階段準備期推擲動作之運動學參數，以作為賽前期鉛球推擲技術改進之參考依據。

三、名詞操作性定義

(一) 滑步式推擲法

為 1951 年 (O'brien) 所改變的一種推擲法，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 度往推擲方向推出 (如圖一所示)。



圖一 滑步式鉛球推擲動作連續圖

(二) 推擲動作階段之劃分

鉛球推擲動作一般可分為準備階段、滑步階段、轉移階段和推擲階段。本研究僅就滑步階段、轉移階段和推擲階段進行分析。

1. 步階段(Gliding Phase)：由滑步腳(右腳)驅動瞬間到滑步腳著地瞬間之階段。
2. 移階段(Transitional Phase)：由滑步腳著地瞬間到擺動腳著地瞬間之階段。
3. 擲階段(Delivery Phase)：由擺動腳著地到最後鉛球離手瞬間之階段。

貳、方法

一、受試對象

本研究受試對象為國內三名優秀女子運動員，其基本資料如表一所示。

表一：受試者基本資料

| 受試者 | 年齡(歲) | 身高(公分) | 體重(公斤) | 專項(年) | 最佳成績 |
|-----|-------|--------|--------|-------|----------|
| A | 18 | 166 | 82 | 5 | 13.40 公尺 |
| B | 17 | 171 | 100 | 4 | 14.11 公尺 |
| C | 20 | 168 | 78 | 7 | 14.58 公尺 |

二、實驗方法與步驟

- (一) 受試者受試前實施熱身運動 1 小時(含熱身運動及試擲)。
- (二) 正式測驗每人以背向滑步推擲 6 次，而取成績最佳的一次進行分析，測驗成績如表二所示。

表二：受試者 6 次推擲成績表(單位：公尺)

| 受試者 | 一 | 二 | 三 | 四 | 五 | 六 | 最佳成績 (公尺) |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------|
| A | X | 11.43 | 12.07 | 12.59 | X | X | 12.59 |
| B | 12.14 | 12.21 | 12.41 | 12.04 | X | 12.21 | 12.41 |
| C | 11.97 | 12.15 | 12.04 | 12.33 | 11.55 | X | 12.33 |

註：X表示失敗

- (三) 兩台 Redlake 高速攝影機(125Hz) 同步截取三位鉛球運動員三維推擲動作的資料，一台置於投擲圈的側面，記錄鉛球運動員在矢狀面上的動作，另一台置於投擲圈正後方，記錄鉛球運動員在額狀面上的動作，兩台攝影機的夾角約為 90 度，其場地配置如圖二所示。



圖二 場地配置圖

- (四) 使用 Peak 3D 座標參考架 (25 個參考點) 來轉換三度空間的座標位置及方向，以及定義人體 21 個標誌點 (前額、左右耳、左右肩、左右肘、左右腕、左右中指、左右髖、左右膝、左右踝、左右足跟、左右足第五跖趾關節) 鉛球中心 1 個標誌點和 14 個人體肢段。關節角度定義為兩相鄰肢段間的合角度 (相對角度)。
- (五) 本研究所得的影像資料由 Kwon 3D 3.0 動作分析系統進行直接線性轉換與各運動學參數的運算，並且使用該軟體內建之人體肢段參數 (Kwon, 1993)，人體肢段參數如表三所示，以 Fourth order zero-lag Butterworth 進行原始資料之修勻。

表三：人體肢段參數

| | 肢段重心位置 (CM) (%) | 肢段重量 (Mass) (%) |
|----|-----------------|-----------------|
| 軀幹 | 47.66 | 46.84 |
| 頭 | 50.00 | 8.24 |
| 上臂 | 43.60 | 3.25 |
| 前臂 | 43.00 | 1.87 |
| 手掌 | 46.80 | 0.65 |
| 大腿 | 43.30 | 10.50 |
| 小腿 | 43.40 | 4.75 |
| 足 | 50.00 | 1.43 |

註：重心位置為該肢段近端距質心之位置百分比；重量為該肢段佔全身重量百分比。

參、結果

本研究將背向滑步推鉛球動作依技術結構劃分為滑步階段，轉移階段和推擲階段，準備階段動作不在本研究探討範圍。表四所示為三位受試者在滑步階段之運動學參數，表五所示為轉移階段之運動學參數，表六所示為推擲階段之運動學參數，表七為本研究受試者和國外優秀選手 (Michael & Li, 1988) 重要運動學參數比較。

表四：滑步階段之運動學參數

| 參 數 | A | B | C |
|--------------------|-------|-------|-------|
| 滑步開始時右小腿與地面的夾角(度) | 57.8 | 42.6 | 55.3 |
| 滑步開始時右膝關節角度(度) | 174.7 | 154.2 | 159.0 |
| 滑步開始時右髖角度(度) | 98.5 | 115.3 | 112.5 |
| 滑步結束時右髖角度(度) | 113.7 | 125.9 | 124.1 |
| 滑步開始時鉛球的水平速度(公尺/秒) | 2.50 | 1.34 | 2.14 |
| 滑步開始時鉛球的垂直速度(公尺/秒) | 1.17 | 0.56 | 0.73 |
| 滑步開始時鉛球的合速度(公尺/秒) | 2.82 | 1.45 | 2.27 |
| 滑步結束時鉛球水平速度(公尺/秒) | 1.55 | 1.36 | 2.37 |
| 滑步結束時鉛球垂直速度(公尺/秒) | 0.20 | -0.39 | -0.05 |
| 滑步結束時鉛球合速度(公尺/秒) | 1.62 | 1.41 | 2.40 |
| 滑步時間(秒) | 0.16 | 0.18 | 0.17 |
| 滑步距離(公尺) | 0.73 | 0.66 | 0.86 |

表五：轉移階段之運動學變數

| 參 數 | A | B | C |
|--------------------|-------|-------|-------|
| 左腳著地時右髖角度(度) | 125.4 | 119.9 | 125.6 |
| 左腳著地時鉛球的水平速度(公尺/秒) | 1.89 | 2.36 | 2.24 |
| 左腳著地時鉛球的垂直速度(公尺/秒) | -0.40 | 0.42 | -0.22 |
| 左腳著地時鉛球的合速度(公尺/秒) | 1.96 | 2.40 | 2.26 |
| 轉移階段時間(秒) | 0.10 | 0.17 | 0.09 |
| 轉移階段雙腳距離(公尺) | 0.98 | 1.15 | 0.89 |

表六：推擲階段之運動學參數

| 參 數 | A | B | C |
|-------------|-------|-------|-------|
| 球離手速度(公尺/秒) | 10.25 | 10.50 | 10.26 |
| 球離手角度(度) | 37.90 | 34.30 | 33.50 |
| 球離手高度(公尺) | 1.98 | 1.91 | 1.93 |
| 離手高度百分比(%) | 1.19 | 1.16 | 1.15 |
| 推擲期時間(秒) | 0.36 | 0.33 | 0.30 |

表七：本研究 and 國外優秀選手 (Michael & Li, 1988) 重要運動學參數比較

| 參 數 | A | B | C | Michael & Li , 1988 |
|--------------------|-------|-------|-------|---------------------|
| 滑步開始時鉛球的合速度 (公尺/秒) | 2.82 | 1.45 | 2.27 | 1.85 ± 0.83 |
| 滑步結束時鉛球合速度 (公尺/秒) | 1.62 | 1.41 | 2.40 | 1.95 ± 0.55 |
| 左腳著地時鉛球的合速度 (公尺/秒) | 1.96 | 2.40 | 2.26 | 3.05 ± 0.59 |
| 球離手速度 (公尺/秒) | 10.25 | 10.50 | 10.26 | 12.50 ± 0.60 |
| 球離手高度 (公尺) | 1.98 | 1.91 | 1.93 | 1.97 ± 0.03 |
| 球離手角度 (度) | 37.90 | 34.30 | 33.50 | 35.00 ± 2.00 |
| 滑步時間 (秒) | 0.16 | 0.18 | 0.17 | 0.18 ± 0.03 |
| 轉移階段時間 (秒) | 0.10 | 0.17 | 0.09 | 0.06 ± 0.05 |
| 推擲期時間 (秒) | 0.36 | 0.33 | 0.30 | 0.23 ± 0.09 |

註：Michael & Li (1988) 研究對象鉛球平均推擲成績為 17.4 ± 1.33 公尺

肆、討論

滑步階段的主要任務是使身體和鉛球從靜止狀態向推擲方向產生運動，為轉移階段和推擲階段獲得一定的速度與形成有利的推擲姿勢奠定基礎。本研究受試者 B 在滑步開始時右小腿與地面有較小的夾角 (42.6 度)，就力學效益而言應有利於地面水平反作用力的發揮，進而影響滑步開始時的鉛球速度，但本研究並無此趨勢呈現，其原因有待進一步探究。在膝關節角度方面受試者 A (174.7 度) 明顯大於受試者 B 及 C，顯示受試者 A 有較充份的膝關節蹬伸角度，如此將有助於滑步開始時鉛球速度的提昇。張立群與洪得明 (1993) 指出髖關節角度為評量滑步階段重要的指標，當右髖關節在滑步階段如能保持較小的角度，則可增加鉛球推擲的加速路徑，由表三顯示，三位受試者從滑步開始至結束之髖關節角度變化都超過 10 度，顯示三位受試者在滑步過程中軀幹太早上抬，未能持續保持較低姿勢。在滑步起始階段有較高的鉛球速度是有助於最後離手速度 (Luhtanen, Blomqvist, & Vanttien, 1997)，為使鉛球取得較快的速度，滑步應力求快速有力，但不宜起伏太大，因此，水平速度重於垂直速度。本研究受試者 A 在滑步開始有較佳的水平速

度及合速度，分別為 2.50 公尺/秒和 2.82 公尺/秒，但其垂直速度為 1.17 公尺/秒也是三位受試者中最大的，當其滑步結束時水平速度明顯減少為 1.55 公尺/秒，這是因為受試者 A 在滑步過程中產生跳動的現象，而使其水平速度急速下降。而受試者 B 和受試者 C 則因滑步過程較為平順，因而使其鉛球水平速度在滑步結束時均能提高。滑步的步幅長度分配會影響整體動作的下肢作功效率，根據 Bartonietz (1994) 研究指出，一般可分為兩種技術型態，一種是短滑步 長支撐（短長型），另一種則是長滑步 短支撐。短長型技術源於西德，以右手推擲為例，其表現為右腳在滑步階段中的滑步距離約為 0.6~0.8 公尺，轉移階段雙腳距離約為 1.2~1.3 公尺，此技術主要優點是簡單易學且能使滑步和最後用力更直接、迅速地銜接。從表四及表五顯示，本研究受試者 A、B、C 的滑步距離和轉移階段的雙腳支撐距離分別為 0.73 公尺與 0.98 公尺、0.66 公尺與 1.15 公尺和 0.86 公尺與 0.89 公尺，僅受試者 B 較接近於短長型的步幅比例。

轉移階段是從右腳滑動結束到左腳落地，不但是滑步的延續，更是最後推擲的準備，轉移階段的目的是在於使滑步階段產生的動力，迅速而協調的轉移至推擲階段，可謂扮演著承先啟後的關鍵角色。在此階段軀幹應保持向後傾斜，專家們提到一個評估技術的指標，即是 Chin-Knee-Toe 的垂直線指標（謝茂松，1994）。從表五看出，在此階段當左腳著地時，僅有 B 受試的右髖角度保持較小的角度（119.9 度），而受試者 A、C 右髖角度較大，顯示其軀幹未保持向後傾斜，如此將不利於動量的轉移及最後爆發性投擲姿勢（power position）的建立。保持或增加滑步階段所獲得的鉛球速度，也是轉移階段重要的任務（許樹淵，1992），三位受試者在水平速度及合速度，分別為 1.89 公尺/秒與 1.96 公尺/秒、2.36 公尺/秒與 2.40 公尺/秒和 2.24 公尺/秒與 2.26 公尺/秒，除受試者 C 減低外，受試者 A 和受試者 B 均有增加的趨勢；此外，在垂直速度方面發現，受試者 A、C 均出現負值，分別為 -0.40 公尺/秒和 -0.22 公尺/秒，表示兩位受試者在左腳著地瞬間未能即時產生制動的作用，如此可能會影響到動量的轉移。在轉移時間方面，三位受試者分別為 0.10 秒、0.17 秒和 0.09 秒，Hay (1993) 研究指出，成績較佳的選手，在轉移階段所花費的時間有逐漸縮短的趨勢，就本研究和國內優秀男選手（0.034 – 0.085 秒）相比較仍

有差距存在(張立群、洪得, 1993)。Tsirakos, Bartlett, and Killias (1995) 研究指出, 轉移時間比滑步時間重要, 因為當轉移時間一結束, 緊接著是推擲階段的開始, 身體需要處於有利的位置和正加速度的狀態, 較好的選手轉移時間 (0.08 ± 0.03 秒) 比滑步時間短 (0.14 ± 0.02 秒)。在三位受試者中, 受試者 B 轉移期時間最長, 其可能原因有二, 一是其雙腳支撐距離較大(1.15 公尺), 再者是左腳未能積極而迅速地著地所造成。任文君、張斌與張斌南(1998)指出, 左腳的快速下踏(轉移時間較短), 首先使雙支撐動作得以形成, 使重心在滑步時獲得的速度儘可能保持, 其次, 容易形成超越器械動作, 而有利於成績表現。從表四和表五滑步距離及轉移距離的資料顯示, 三位受試者總滑步距離分別為 1.71 公尺、1.81 公尺和 1.75 公尺, 由於總滑步距離太短(投擲圈直徑為 2.135 公尺), 以致於在滑步後左腳無法靠在抵趾板旁, 因此無法取得穩固的支撐點, 此結果將會影響到推擲階段動量向上向前的轉移, 同時也損失了部份的推擲距離。此外, 受試者 C 轉移階段雙腳距離過短, 僅達 0.89 公尺將不利於最後推擲階段的工作距離與力量的發揮。

推擲階段是推鉛球技術中最關鍵的部份。根據拋射運動的原理推論, 推擲離手瞬間的速度, 角度與高度是決定拋物線距離的要素, 許樹淵(1997)在鉛球技術模式分析中也提出離手速度、角度和高度為影響推擲距離的三大主要因素。從表六中顯示, 三位受試者的鉛球離手速度分別為 10.25 公尺/秒、10.50 公尺/秒和 10.26 公尺/秒, Liu and Wang (2000) 研究指出, 推擲距離平均 15.86 ± 0.22 公尺的女子鉛球選手, 其平均出手速度約 11.55 ± 0.15 公尺/秒, 可見我國女子鉛球成績和世界級的選手有很大的差距, 出手速度是主要的關鍵因素。在離手角度方面, 三位受試者分別為 37.90 度、34.30 度和 33.50 度, 根據 Tsirakos, Bartlett, and Killias (1995) 研究顯示, 不同成績表現的鉛球選手, 有其不同的離手角度, 成績較佳者有較小的離手角度。Maheras (1998) 指出成功的鉛球推擲動作, 應決定於適當離手參數的組合, 尤其是離手速度與離手角度之間的協調, 就本研究而言, 除受試者 A 外, 其餘兩位離手角度均偏低。Hay (1993) 和 Marhold (1974) 指出, 離手高度參數決定於鉛球選手身高、人體肢段參數、鉛球出手時的身體垂直位置和推擲臂的離手角度, 本研究三位受試者離手高度分別為 1.98 公尺、1.91 公尺和 1.93 公尺, 離

手高度經標準化後（除以身高），則分別為身高的 1.19、1.16 和 1.15 倍，此研究結果與范秦海（2000）針對大陸優秀女子鉛球選手之研究結果相當接近。鉛球推擲距離決定於鉛球離手時速度、角度、高度等參素，因此，應該針對運動員個別的生物力學及體能上的特性去尋求彼此間的適當組合，以提昇運動表現。

為進一步探討本研究受試對象與國外優秀選手鉛球推擲過程動作之差異，以提供國內教練訓練計劃擬定之參考，將本研究結果與 Michael & Li (1988) 之研究相比較。對照表七發現，國外優秀選手從滑步期至轉移期之鉛球合速度均呈現出逐漸增加的上升趨勢，尤其是當左腳著地瞬時，鉛球合速度高達 3.05 公尺/秒，而本研究結果僅達 1.96 - 2.40 公尺/秒，同時由滑步期至過渡期鉛球之合速度，也並未呈現出增加的趨勢；此外，在滑步階段時間及轉移階段時間方面，國外選手也均快於本研究結果。由以上資料可以印證，滑步期至轉移期一連串動作表現之優劣，與推擲期最後出手速度的快慢息息相關，國外選手鉛球離手速度達 12.5 公尺/秒，推擲成績平均為 17.4 公尺，鉛球離手速度與本研究有 2 公尺/秒的落差。從以上資料分析可以明顯的看出本研究對象在整個推擲過程的技術與相關體能亟待加強。本研究結果經討論後得到以下結論：受試者 A 在滑步初期雖能取得較佳的鉛球速度，但是在轉移末期卻未能保持滑步初期的鉛球速度，應加強滑步階段重心的轉移技術，如減少由滑步階段至轉移階段髖關節角度增加的比例以及滑步腳跳動的情形，以減少鉛球速度降低的幅度；受試者 B 在滑步開始鉛球速度明顯不足，可見其滑步啟動技術亟待改進；而受試者 C 在轉移階段雙腳支撐距離太短，將不利於最後推擲階段的工作距離與力量的發揮，建議應增加雙腳支撐距離。此外，三位受試者總滑步距離皆太短，應強化相關的技術及體能訓練，以提昇總滑步距離，充分利用投擲圈的有限距離來獲得水平動量，本研究所得運動學參數，應針對運動員個別的生物力學參數及體能上的特性加以追蹤研究，才能發揮更有效的訓練效果。

伍、參考文獻

- 人民體育出版社 (1994)。 *田徑運動高級教程*。北京：作者。
- 久麥田 (1997)。 *論運動訓練計畫*。台北：中國文化大學。
- 任文君、張斌、張斌南 (1998)。對我國優秀女子鉛球運動員推鉛球技術速度節奏的研究。 *體育與科學*, 19 (2), 29-50。
- 范秦海 (2000)。女子鉛球運動員最後用力技術的三維運動學分析。 *河北師範大學學報*, 24(3), 140-143。
- 許樹淵 (1978)。 *田徑運動力學*。台北：協進圖書。
- 許樹淵 (1997)。 *運動生物力學*。台北：合記圖書。
- 彭賢德、黃長福 (2003)。 *優秀鉛球選手旋轉式與背向滑步式投擲技術之運動生物力學分析*。未出版的碩士論文，國立台灣師範大學體育研究所，台北市，台灣。
- 張立群、洪得明 (1993)。陳信義、呂景裕破全國男子鉛球紀錄之動作的運動學分析。 *體育與運動*, 87, 17-25。
- 葉憲清 (2003)。 *運動訓練法*。台北：師大書苑。
- 潘寶石 (1993)。 *男子推鉛球之生物力學分析*。未出版的碩士論文，國立體育學院，桃園縣，台灣。
- 謝茂松 (1994)。 *鉛球投擲技術與訓練的探討*。台北：一品。
- 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, 87-94。
- Bartonietz, K. E. (1994). The energy relationship in rotation and glide shot put technique. *Modern Athlete and Coach*, 32 (2), 7-10.
- Hay, J. G. (1993). *The biomechanics of sports technique (4th ed)*. Englewood Cliffs, NJ: The Paramount Communication.
- Kwon, Y.-H. (1993). *The effects of body segment parameter estimation on the experimental simulation of a complex airborne movement*. Doctoral Dissertation, Pennsylvania State University.
- Liu, W. M., & Wang, M. X.. (2000). Kinetic analysis of spot put in elite athletes---a case study.

- Proceedings of XVIII International symposium on biomechanics in sports*, (p.300-304) .
Hong Kong : The Chinese University of Hong Kong.
- Marhold, G. (1974). Biomechanics analysis of the shot put. In R. C. Nelson & C. A. Morehouse (Eds.) , *Biomechanics*, (pp.175-179). Champaign, IL : Human Kinetics
- Maheras, A. V. (1998). Shot put : optimum angle of release. *Track and Field Quarterly Review*. 94 (3), 24-26.
- Michael, Y., & Li, L. (1988). Determination of critical parameters among elite female shot putters. *Sports Biomechanics* (4) 2, 131-148.
- Luhtanen, P., B Lomqvist, M., & Vanttiene, T. (1997). A comparison of two elite shot putter using the rotational shot put technique. *New Studies in Athletics*, 129 (4), 25-33.
- Tsirakos, D. K., Bartlett, R. M., & Killias, I. A. (1995). A comparative study of the release and temporal characteristics of shot put. *Journal of Human Movement Studies*. 28 (5), 227-242.