

第貳章、文獻探討

第一節、影響鉛球推擲距離的因素

鉛球項目的成績評斷是以推出後的距離而定，鉛球選手在直徑 2.135 公尺的圓圈所做的任何推擲動作，其目的均是將鉛球推擲到最遠的距離。鉛球成績的距離由三段構成，一是出手點與抵趾板之水平距離；二是鉛球等高點之拋物線距離；三是鉛球等高點至鉛球落地之水平距離（Hay，1993）。第一段視鉛球選手的體型、推擲姿勢而定；第二、三段是指鉛球推擲出後以拋物線的路徑運行，因此，依照拋物線原理推論一拋射點高於落點的拋射運動公式：

$$d = d_1 + \frac{V_0 \cos \theta}{g} [V_0 \sin \theta + \sqrt{(V_0 \sin \theta)^2 + 2gh_1}]$$

d：出手距離

d_1 ：出手點與抵趾板之距離

V_0 ：出手速度

θ ：出手角度

h_1 ：出手高度

，得知推擲出手瞬間的速度、角度、高度是決定拋物線距離的要素（許樹淵，1997）。

Hay (1993) 亦指出推擲鉛球的距離受出手速度、出手角度、出手高度的影響，而根據上述公式，其中最重要的影響參數是出手速度，因為距離的增加與速度是平方關係。Maheras (1998) 亦指出“出手角度是影響鉛球推擲距離重要因素，然而它的重要性次於出手速度，出手高度是影響推擲距離最不重要的因素”。石慶賀、尉順華 (1991) 在“鉛球推擲初始條件生物力學分析”中，指出“投擲角度，由理論分析是以 42.5 度為最佳拋射角度，並且隨著離手高度不同，最佳拋射角度會略有變動，出手速度是決定能否擲遠的最大因素”。翁梓林、水心蓓 (1999) 探討鉛球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。由鉛球投擲運動生物力學模式圖 (見圖 2-1) 可知，鉛球推擲距離是由出手點與抵趾板之水平距離、出手後之水平距離而定；出手點與與抵趾板之水平距離，視體型、姿勢而定；出手後之水平距離由五大要素決定—推出速度、推出角度、推出時高度、重力、空氣阻力 (許樹淵, 1997)。

由 Yan,B. 和 Li,M. (2000) 所提出的鉛球投擲技術分析模型中 (見圖 2-2), 可知出手速度、出手角度、出手高度為影響投擲距離的三大因素，其中又以出手速度和投擲距離有高度相關。

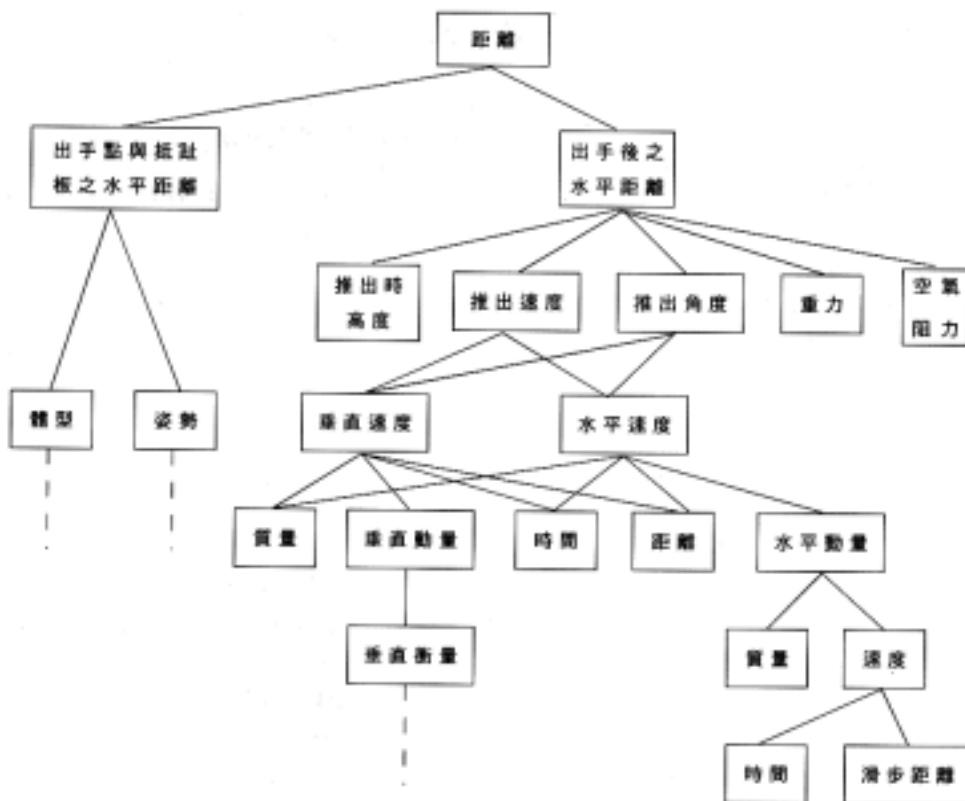


圖 2-1：鉛球投擲技術運動生物力學模式（許樹淵，1997）

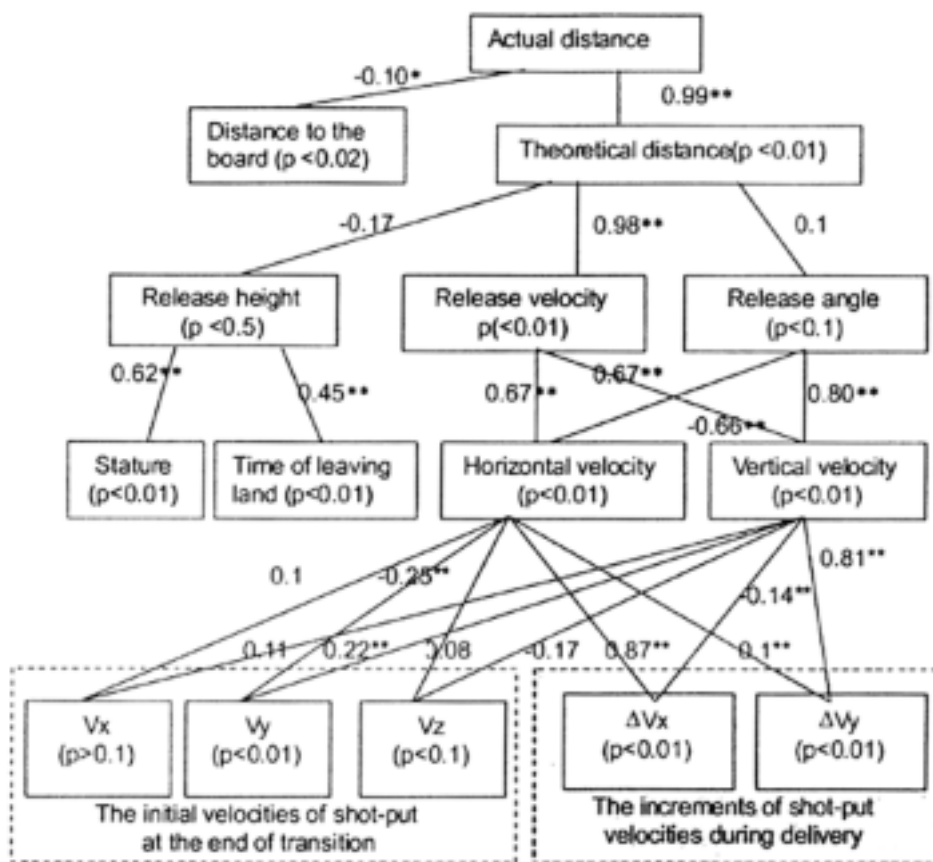


圖 2-2：鉛球投擲技術分析模型（Yan,B. 和 Li,M.，2000）

究竟鉛球的出手速度是多少呢？根據 McCoy 等人（1984）研究，投擲距離約 18 m 的鉛球選手，其出手速度約 12 m/s；投擲距離約 21 m 以上的鉛球選手，其出手速度約 13 m/s。Tsirakos 等人（1995）研究顯示，投擲距離平均 15.66 ± 0.45 m 的鉛球選手，其出手速度平均 11.6 ± 0.2 m/s；投擲距離平均 19.29 ± 0.83 m 的鉛球選手，其出手速度平均 13.0 ± 0.3 m/s。參加 1987 年在羅馬舉行的第 II 屆世界田徑錦標賽的前 4 名男鉛球選手，其平均出手速度為 13.92 m/s，投擲距離平均 21.81 m；第一名的出手速度為 14.19 m/s，投擲距離 22.23 m。張立羣、洪得明（1993）對我國鉛球選手陳信裕、呂景義的分析研究中，所得到的出手速度分別為 11.93 m/s、12.01 m/s，該次的投擲距離分別為 16.86 m、16.72 m。Luhtanen（1997）分析兩位旋轉式鉛球投擲選手，得到其平均出手速度分別為 13.21 ± 0.26 m/s、 13.19 ± 0.10 m/s，投擲距離平均 20.41 ± 0.39 m、 20.48 ± 0.22 m。Liu,W. 和 Wang,M（2000）研究中的兩位男性鉛球投擲選手，得到其平均出手速度分別為 11.32 ± 0.22 m/s、 11.44 ± 0.11 m/s，投擲距離平均 15.66 ± 0.19 m、 16.26 ± 0.15 m。

至於出手角度，根據 Zatsiosky 等人（1981）、Mc Coy 等人（1984）、等人的研究，分佈在 40~43 度。Tsirakos 等人（1995）研究顯示，投擲距離平均 15.66 ± 0.45 m 的鉛球選手，其出手角度平均 41.0 ± 1.4 度；投擲距離平均 19.29 ± 0.83 m 的鉛球選手，其出手角度平均 37.4 ± 2.9 度。

參加 1987 年在羅馬舉行的第 II 屆世界田徑錦標賽的前 4 名男鉛球選手，其平均出手角度為 37.2 度，第一名的出手角度為 35.5 度。張立羣、洪得明（1993）對我國鉛球選手陳信裕、呂景義的分析研究中，所得到的出手角度分別為 37.35 度、36.03 度。Luhtanen（1997）分析兩位旋轉式鉛球投擲選手，得到其平均出手角度分別為 35.88 ± 0.86 度、 37.69 ± 2.33 度。Liu,W. 和 Wang,M（2000）研究中的兩位男性鉛球投擲選手，得到其平均出手角度分別為 35.80 ± 1.70 度、 36.50 ± 1.20 度。

Hay（1993）和 Marhold（1973）指出，出手高度參數決定於鉛球選手的身材一身高、人體肢段參數、鉛球出手時的身體垂直位置和推擲臂的出手角度。Mc Coy 等人（1984）所研究的鉛球選手，其出手高度為 1.85 ~ 2.29 m。Tsirakos 等人（1995）研究顯示，投擲距離平均 15.66 ± 0.45 m 的鉛球選手，其出手高度平均 2.21 ± 0.09 m；投擲距離平均 19.29 ± 0.83 m 的鉛球選手，其出手高度平均 2.28 ± 0.05 m。參加 1987 年在羅馬舉行的第 II 屆世界田徑錦標賽的前 4 名男鉛球選手，其平均出手高度為 2.207 m；第一名的出手高度為 2.24 m。張立羣、洪得明（1993）對我國鉛球選手陳信裕、呂景義的分析研究中，所得到的出手高度分別為 2.199 m、2.022 m。Luhtanen（1997）分析兩位旋轉式鉛球投擲選手，得到其平均出手高度分別為 2.13 ± 0.03 m、 2.22 ± 0.04 m。Liu,W. 和 Wang,M（2000）研究中的

兩位男性鉛球投擲選手，得到其平均出手高度分別為 2.13 ± 0.03 m、 2.09 ± 0.03 m。

第二節、影響鉛球出手初速度的關鍵因素

根據牛頓第三運動定律之力學公式：

$$F=ma \text{ (作用力=質量} \times \text{加速度)}$$

，得知加速度與作用力成正比關係 (Mc Ginnis, 1999)，因此，為了提高鉛球出手的初速度，必須要求加大對鉛球的作用力，優良的投擲技術要求人體運用全身的力量，最後透過投擲臂將力量集中到鉛球上。

當力量一定時，由力學公式：

$$W=F \times s \text{ (作功=作用力} \times \text{力作用距離)}$$

，力作用到鉛球的距離越長，則作功越大，增加的功同時也是增加了能量 (動能+位能) (Mc Ginnis, 1999)，從而鉛球獲得的初速度也越大，這個力作用距離是指滑步或旋轉開始時鉛球所在的位置，到鉛球離手這一段鉛球運行的距離。目前世界上一些優秀的鉛球選手採用旋轉式鉛球投擲技術，主要目的就是透過增加力的作用距離，以有效提高出手的鉛球速度。

另一方面，爆發力亦是影響出手速度的關鍵之一，

$$\text{Power}=F \times s / t \text{ (爆發力=功率=作功/時間)}$$

，從公式中可看出，爆發力的大小與作用力 (F) 和力作用距離 (s) 成正比，與作用時間 (t) 成反比的關係。在 s 和 t 不變的情況下，提高 F 值；

在 F 和 t 不變的情況下，提高 s 值；在 F 和 s 不變的情況下，減小 t 值 (Mc Ginnis, 1999)，均可增加爆發力以提高鉛球出手初速度。

此外，鉛球選手在比賽時，他們的力量和動作速度都是有極限的，不可能無限制地縮短動作時間。在限定條件下，增加力作用距離的同時，動作時間也必然增加。因此，只有作用力一定的情况下，加長投擲工作距離、縮短投擲工作時間，是有效提高鉛球出手初速度的關鍵因素。

然而，在一定條件下，適當地增加鉛球運行時間，也可提高成績，因為根據根據牛頓第三運動定律之力學公式：

$$F=ma=m(v-v_0/t), \text{ 或 } F \times t=J=mv-mv_0$$

，由此關係式得知，鉛球在最後用力階段時間內動量的變化等於同一時間內所受外力的衝量，所以在最後用力階段的加速，推擲者全身的動量，集中於投擲臂，作用於鉛球，使鉛球做加速運動，為了增加其出手時的動量，應增加用力的衝量，而衝量 $J=F \times t$ ，因此，在力量已經充分發揮的情況下，力的作用時間越長，則獲得的出手速度越大 (Mc Ginnis, 1999)。

動能 $E_k=1/2 mv^2+1/2 I\omega^2$ 、位能 $E_p=mgh$ 的變化 (Mc Ginnis, 1999)，亦是影響出手速度的關鍵之一，鉛球的動能、位能變化主要是在最後用力這一階段發生的，在最後用力階段，從右腳支撐過渡到左腳支撐，身體迅速抬起到推臂撥指，鉛球出手的瞬間，位能迅速的增加而造成動能的減少，從而減小鉛球出手速度，怎樣才能在位能增加的同時，又能有效

的避免動能的損失，Hay（1993）及崔允龍、劉宗姝（1995）指出在傳遞階段（右腳支撐到左腳著地瞬間），作用力的距離和時間越短越好；在最後用力階段的加速（左腳著地瞬間到鉛球出手的瞬間），作用力的距離和時間越長越好，以增加動能。

第三節、關於鉛球投擲的最佳出手角度

$$d = d_1 + \frac{V_0 \cos \theta}{g} [V_0 \sin \theta + \sqrt{(V_0 \sin \theta)^2 + 2gh_1}]$$

人們根據拋射點高於落點的拋射運動公式：

$$\sin \theta = \frac{V_0}{\sqrt{2V_0^2 + 2gh_1}}$$

，經數理推導，已知出手速度（ V_0 ）和出手高度（ h_1 ），求得了理論上的最佳出手角度（許樹淵，1997）：

事實上，如果拋物體從地面以 45 度的角度拋射，能夠得到最遠的距離，此為最佳拋射角，然而鉛球投擲的拋射卻不是如此，Linthorne（2001）的研究指出四個影響因素解釋此拋射角的改變：

- （一）鉛球通常在太約 2 公尺的高度拋射出，這個高度差，減少最佳拋射角 45 度到 41 度。
- （二）拋射高度些許的增加，會增加最佳拋射角約 0.5 度。
- （三）當拋射角增加，會減低拋射速度，然而選手會為了增加拋射速度，減低拋射角，因此，最佳拋射角減少到 39 度。

(四) 人體的肌肉結構較適合水平方向的出力，因此，選手用力將鉛球推出，讓鉛球加速，而減低了拋射角，因此，最佳拋射角減少到 28—34 度。

每個選手都有其自己的最佳投擲角度，端看其推擲的力量，力量的增加會增加其最佳投擲角度。

理論上的最佳出手角度，在指導鉛球投擲的教學和訓練實踐中已經發現，以此方法推導出來的最佳出手角度與實際的最佳出手角度有所差距，對實際教學和運動訓練的指導是不正確的，形成此差距的主要原因是把選手鉛球投擲的出手初速度和出手高度均作為定值來考量。

鉛球的出手高度，主要取決於選手的身高、臂長及對專項技術的掌握程度，其具有穩定性，不會因出手角度大小的改變產生太大的變化，因此原理論把鉛球投擲的出手高度視為定值是正確的。

至於出手初速度，人們已發現到它會隨出手角度的改變而變化 (Tsirakos 等人, 1995)，因此，原理論將其視為定值是不妥當的，由此形成的理論上最佳出手角度則不是真正實際上有意義的最佳出手角度。

優秀的鉛球選手會選擇損失最少速度的出手角度，並且維持出手角度在最佳出手角度中“合理”的範圍內 (Maheras, 1998)。Mc Watt (1982) 指出理論上和實際上最佳出手角度的差異，部分應該歸因於鉛球選手解剖

學上和生理學上的特質，並指出兩項技術或許可幫助鉛球選手達到較佳的出手角度，第一是肩膀的轉動，第二是腳的推蹬。

第四節、出手角度對於出手速度影響

由上述對理論的分析，我們已經知道選手鉛球投擲的出手速度會隨出手角度的改變而變化，然而造成此變化形成的真正原因未有定論。周立、周清（2001）研究指出：出手初速度的改變，是選手滑步使鉛球獲得的水平速度與最後用力使鉛球增加的速度的方向差異而形成的。對於一個優秀的鉛球選手而言，其滑步使鉛球獲得的水平速度（ V_1 ），在到達某一訓練程度上是基本一定的值；其最後用力使鉛球產生的速度（ V_2 ），主要取決於選手本身身體素質的發展，特別是速度力量的發展及其掌握鉛球投擲技術的完善程度； V_1 與 V_2 的合速度即為出手初速度（ V_3 ）。根據向量合成的平行四邊形法，則 V_3 的大小和方向（出手角度）會隨 V_1 與 V_2 的夾角變化而變化。當 V_2 與 V_1 的夾角減小，合速度 V_3 增大， V_3 與水平方向的夾角即鉛球出手角度必然減小，此可說明，出手初速度隨出手角度而變化而變化。

另外，若出手角度增大，偏離了最有利於發揮肌肉收縮力量、收縮速度的角度，鉛球的出手速度必然會減小。根據拋射點高於落點的拋射運動公式，從出手速度與出手角度對投擲距離的影響程度來看，出手速度對投擲距離的影響遠大於出手角度，因此，最佳出手角度應主要考慮能否使鉛球獲得更大的出手速度，求得兩者之間的最佳配合。Maheras（1998）指

出成功的鉛球投擲，決定於適當的出手參數的組合，尤其是出手速度與出手角度之間的協調。

第五節、出手角度、出手高度與出手速度的相互影響

Maheras (1998) 指出如果鉛球選手試圖增加出手高度以獲得有利的出手位置，出手角度也將會增加，在此同時，出手速度也會減小，投擲的距離也會縮短；同樣地，鉛球選手試圖增加出手速度，會導致出手角度的減小，這會造成較低的出手高度，然而，可能會得到較遠的投擲距離；最後，鉛球選手如果試圖將出手點向前伸，這會減小出手角度和出手高度，相對地，會增加出手速度，得到較遠的投擲距離。

鉛球投擲的距離是決定於出手時，種種參數的適當組合，然而這些參數之間互相地影響，常常會顧此失彼，因此，鉛球投擲特別要注意出手角度與出手速度兩者之間的相互影響。

第六節、關於旋轉式鉛球投擲技術之探討

對於背向滑步式鉛球投擲技術，現在我們有相當清楚的指導準則，相對地，旋轉式鉛球投擲技術由於動作複雜許多，教練在給予選手指導準則方面需要更加的注意各個細節。旋轉式鉛球投擲技術不同於背向滑步式鉛球投擲技術，其差異的主要在於旋轉式鉛球投擲動作是以類似旋轉鏈球、

鐵餅的方式由曲線轉到直線為鉛球加速。旋轉式鉛球投擲技術與背向式鉛球投擲技術流程比較：

旋轉式投擲技術流程為：

1. 持球
2. 發動前的預備姿勢
3. 預擺動作
4. 旋轉
5. 推出的預備動作和傳遞動作

6. 推出動作

背向滑步式投擲技術流程為：

1. 持球
2. 發動前的預備姿勢
3. 擺腿動作
4. 滑步
5. 推出的預備動作和傳遞動作
6. 推出動作

一般來說，旋轉鉛球投擲動作分為七個階段（時期）：

- （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。
- （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。
- （三）左腳單支撐階段（left foot single support 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。
- （四）騰空階段（flight phase）－鉛球選手的雙腳皆離開地面。
- （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。
- （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。
- （七）投擲階段（release phase）－鉛球選手右腳先離地，接著左腳支撐蹬伸後離地，直到鉛球推出離手。

（Bakarynov 等人，1997；Ianesku，1992；Palm,1991；Taylor，1994）

在旋轉鉛球投擲過程中，當鉛球選手開始旋轉前，上半身向前傾，同時盡量向右轉動，接著以頭部帶動身體向左轉動，這樣可以保證左側肌群充分扭緊拉長便於進入旋轉。旋轉開始時，上半身在向左轉動中繼續前

傾，兩腿膝關節彎曲，身體重心逐漸下降，左腳以前掌為軸向外轉動，右腳蹬離地面後，膝關節彎曲、大腿用力，右膝內扣圍繞左腿轉動，右腿向投擲方向蹬出後，積極內轉下壓，離地後快速向右腿靠攏。正由於在旋轉中，鉛球選手採取重心逐漸下降，右腿積極內轉下壓及左腿快速靠攏等一系列的動作，使身體轉動慣量減小，並且更容易旋轉，以及增加旋轉角速度。

在左腿逐漸向右腿靠攏過程中，左 也積極向逆時針方向轉動以加快旋轉速度和促使左腿快速用前掌撐地，形成最後用力前的有利姿勢，此時鉛球選手的左腿彎曲程度較大，身體重心靠近右腿，上半身達到最大後傾，腹部肌肉充分拉長。在旋轉中，由於當進入以右腳支撐的轉動時，下肢和 部快速的轉動，使頭、左臂及左肩逐漸落在後面。 軸的轉動超過了肩軸的轉動，形成了 軸在前、肩軸在後的交叉，上半身成扭緊狀態。此扭緊狀態使體側、腹部、腰背等肌群充分拉長，從而增大旋轉的力偶矩，提高角速度、角動量和鉛球的速度，達到較好的成績。(陳克宗，2000；許樹淵，1992；lanesku，1992；Judge，1993；Rasmussen，1998；Lukens，1989)

旋轉式鉛球投擲技術技術，在預備階段之預擺動作，大部分的優秀選手（如：Oldfield、Laut、Doering、Toth、Barnes）均採取較低的姿勢，他們會彎曲他們的膝蓋約 90 度或者更大的角度，上身略前傾，軀幹與大

腿的角度約呈 $90\sim 120$ 度，一直到推出動作前均盡量保持較平直的運動路徑（見圖 2-3）。以及預擺時，上半身與下半身相對地的扭轉，使肌肉預先伸展，在接下來的旋轉可提供一反作用力給左腿，使右腿能瞬速地踩至圓圈中心處，增加右腿踩地的速度（此時右腳踝的速度可到達 8.8 m/s ），並且縮短預擺動作的時間（Bartonietz，1994）。

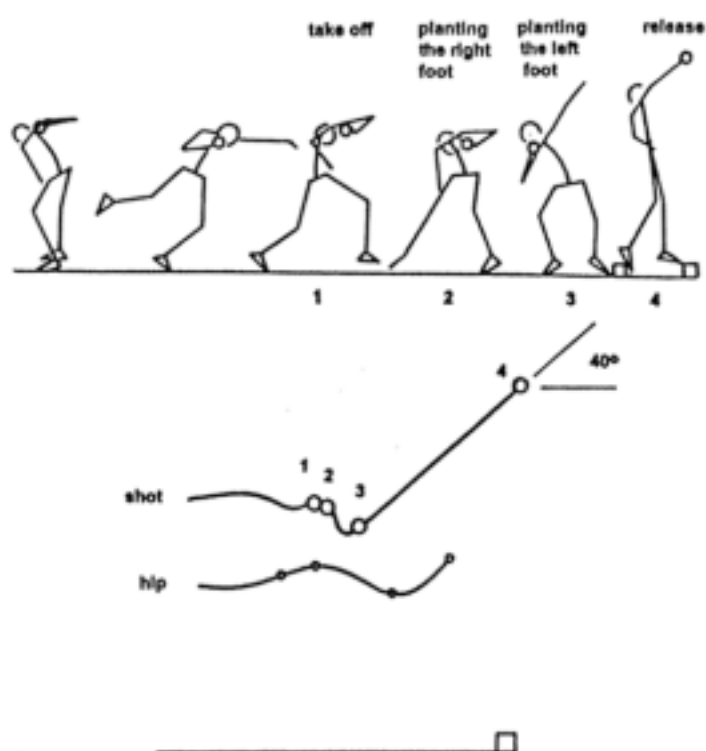


圖 2-3：旋轉式鉛球投擲身體位置圖與鉛球、髋部路徑（Oleg Solotuchin，18.88 m，1983）（Bartonietz，1994）

旋轉時，右腿抬起以左腿為軸旋轉，此時，髋部和肩膀之間的扭轉角度到達 20 度，並且在右腳著地前還在增加中（見圖 2-4），肩膀相對於髋部的肌肉伸展，在之後的推出傳遞動作時，左腿用力的方向可以提供一動

量。如果在旋轉期間保持鉛球較平直的運動路徑，必須藉由右腿適時的支撐和施力，否則，旋轉時會出現明顯的跳躍運動，即右腿以較大的角度抬起和著地。而且右腿適當的著地，還能讓肩膀的運動得到較大的振幅，產生較大的轉矩 (Bartonietz, 1994)。旋轉期間，Laut 可使鉛球的速度到達最高 4 m/s (見圖 2-5)；Astrid 可使鉛球的速度到達最高 2.5 m/s (見圖 2-4)；Baryshnikov 可使鉛球(10 Kg)的速度到達最高 2.87 m/s(Palm, 1990)。

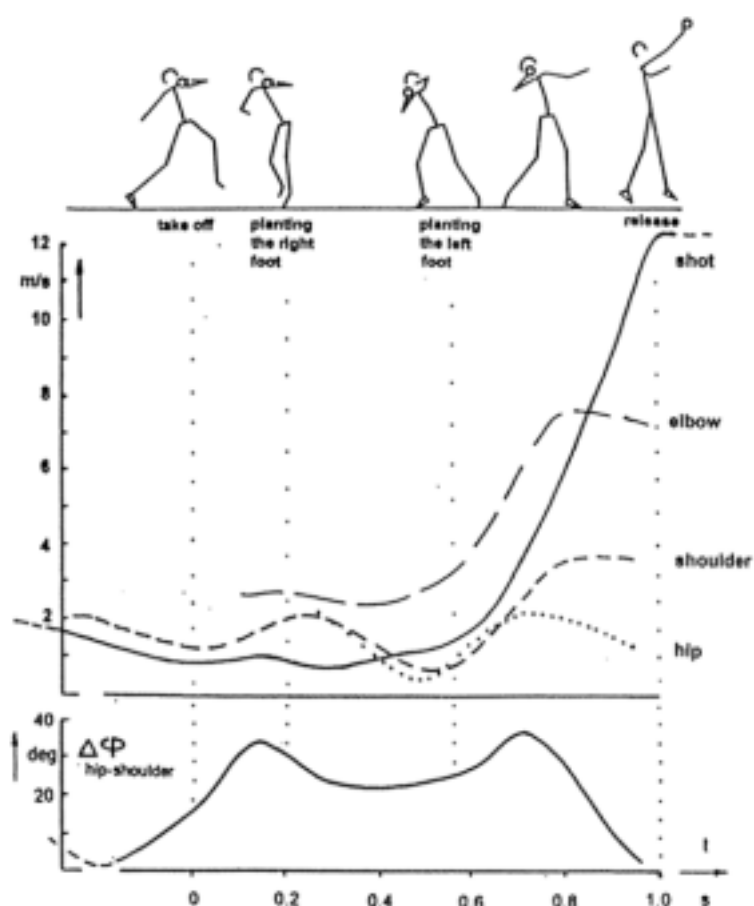


圖 2-4：鉛球、肘、肩、 之速度—時間與肩軸、 軸之間角度差異—時間 (Astrid Kumbernuss, 18.20 m, 1992) (Bartonietz, 1994)

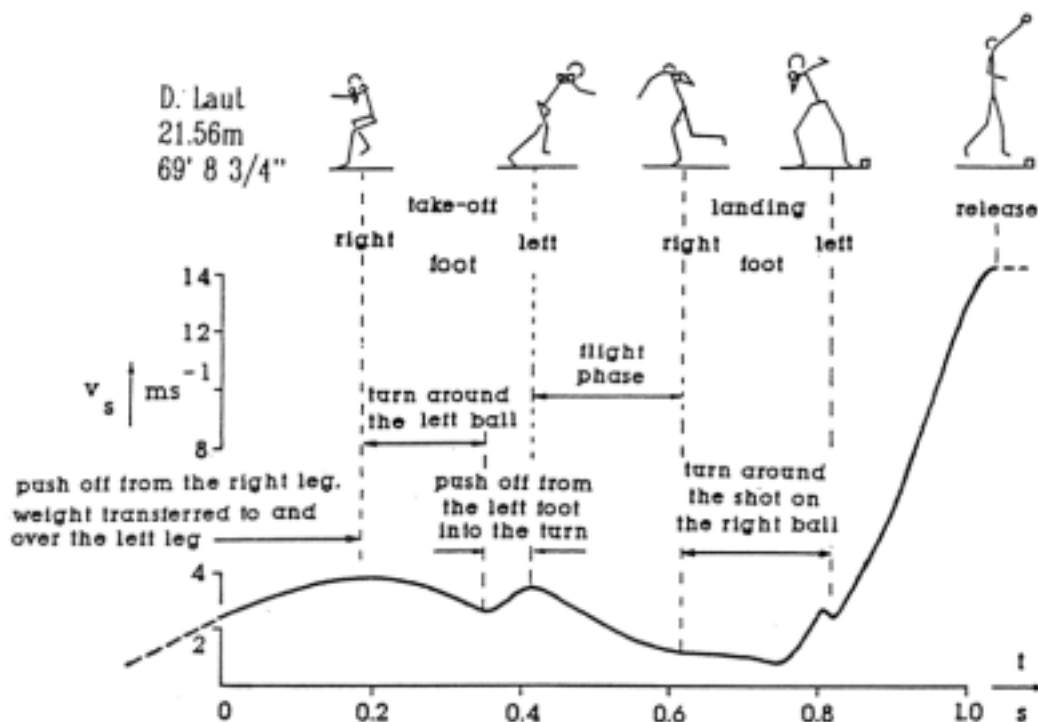


圖 2-5：鉛球速度—時間（Laut，21.56 m）（Bartonietz，1994）

在右腿著地前的傳遞動作，期間上半身所產生的轉矩，在推出傳遞動作是必需的，因為它可使 部向前推送，增加向前的動量。在此推出傳遞動作期間轉矩，主要是肩膀和 部軸線之間的角度差距所產生的，有研究指出此角度差距小於背向式投擲所得到的肩膀和 部軸線之間角度差距—Timmermann（22.62 m）和 Gunthoer（22.23 m）以背向滑步式投擲所得到的肩膀和 部軸線之間角度差距為 75 和 90 度；Oldfield、Laut、Barnes、Lisovskajya、Neimke、Storp 以旋轉式投擲所得到的肩膀和 部軸線之間角度差距約 50~60 度。但是肩膀和 部在此推出傳遞動作期間運動的角位移方面，旋轉式投擲的角位移（約 270 度）則大於背向式投擲的角位移（約 180 度）（Bartonietz，1994）。

在單腳支撐階段，旋轉動作使肩軸和髖軸互相抗衡扭轉，扭緊的程度使肌群快速拉長，在左腳未著地前，鉛球即已開始加速。旋轉式鉛球投擲技術與背向滑步式鉛球投擲技術相較之下，旋轉式鉛球投擲技術更能在最後加速鉛球的動作中，成功地發揮軀幹、肩部、髖部、投擲臂的肌群力量。Palm (1990) 指出“旋轉式鉛球投擲技術能夠使肌肉的作功得以充分發揮”。

Pyka 和 Otrando (1991) 比較旋轉式鉛球投擲技術與背向滑步式鉛球投擲技術，鉛球所運行的路徑，發現從身體開始旋轉到雙腳支撐前的期間內，旋轉式使鉛球運行 3.10 m、速度可達到 4.0 m/s；背向滑步式僅使鉛球運行 0.95~1.0 m、速度僅可達到 2.75 m/s。Bartonietz (1990) 即指出旋轉式鉛球投擲技術在開始時，就能夠獲得更大的動量，並且能在更大的距離為鉛球加速。(見圖 2-4)

大部分的鉛球選手在推出的預備動作中（雙腳支撐階段），左腳著地時，左膝的角度約呈 100~120 度，保持這個角度能使選手在推出動作的單腳支撐時，保持上半身的穩定 (Bartonietz, 1994)。

在推出動作中，左腳著地後，左腿充分的制動與積極的蹬伸，而且左腿的有力穩定支撐，保證了右腿蹬地向投擲方向推送 部，此時配合右腿蹬地將 部向前推送，身體重心移到左腿的瞬間，左腿爆發性地蹬地伸

膝，充分提高身體重心，使鉛球獲得較大的垂直分力，以達到適當的出手角度和出手速度。

季虎(2000)由牛頓第二運動定律說明旋轉式鉛球投擲技術的優勢—

牛頓第二運動定律：

$$F=ma \text{——— (1)}$$

$$V=at \text{——— (2)}$$

$$\text{由 (1)(2) 式可得 } V=Ft/m \text{——— (3)}$$

上式中—

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——力作用於的鉛球的時間

由(3)式可知，當人的力量達到極限時，F值是一定值，提高V的方法是增加t值，採用旋轉式鉛球投擲技術，可以利用旋轉來增加作用時間，以達到提高出手速度的目的。

就最後用力（雙腳支撐階段直到鉛球推出離手）而論，旋轉式鉛球投擲技術的最後用力時間要短於背向滑步式鉛球投擲技術（Bartonietz，1994）。

背向滑步式鉛球投擲技術的用力開始是從腿的滑步來獲初速度，同時靠轉腰獲得扭力；而旋轉式鉛球投擲技術的用力開始是從旋轉獲得初速度，同時獲得旋轉慣性。旋轉式鉛球投擲的旋轉過程中，雙腳多次有力快速的轉動，使腰部獲得更大的扭力，在最後用力階段靠的是雙腿蹬伸，同時向前上抬體發力，用力的連慣性更好，最後用力時間更短，動作更快。

第七節、鉛球投擲技術動作最後用力的角動量探討

鉛球投擲技術動作的最後階段，選手右腳落地後，身體重心依然向投擲方向移動，此時右腿彎曲，左腳前擺即將著地，、肩軸呈交叉身體處於扭緊狀態。左腳著地後，在腿部穩固的支撐狀態下，才能保證最後用力動作的順利完成。最後用力的過程中，軀幹動作是繞著額狀軸、縱軸及矢狀軸的轉動運動。

根據轉動定律之角動量公式：

$$M = I\omega \rightarrow \omega = M/I \text{——— (1)}$$

$$\alpha = d\omega/dt \text{——— (2)}$$

$$v = r\omega \text{——— (3)}$$

M —— 軀幹繞額狀軸、縱軸及矢狀軸的角動量

I —— 軀幹繞額狀軸、縱軸及矢狀軸的轉動慣量

α —— 軀幹繞額狀軸、縱軸及矢狀軸的角加速度

ω —— 軀幹繞額狀軸、縱軸及矢狀軸的角速度

v —— 肩關節的直線速度

r —— 肩關節到軀幹重心的距離

由公式 (1) 可知，當 I 一定時，增加軀幹的角動量 M ，可提高軀幹繞各軸的角速度 ω 。由公式 (2) 可知，角加速度 α 的提高，可增加軀幹繞各軸的角速度 ω 的變化量。由公式 (3) 可知，角速度 ω 的提高，可增加投擲臂肩關節的直線移動速度 v ，之後，通過槓桿連動的傳遞作用，以達到提高出手速度的目的（許樹淵，1997）。

第八節、鉛球投擲技術動作步幅長度分配與時間節奏

鉛球投擲技術動作步幅節奏是指—右腳離地到右腳著地是第一步幅；右腳著地到左腳著地是第二步幅。這兩個步幅的長度會影響整體動作的下肢作功效率，兩者必需分配得當，而且視鉛球投擲技術的不同而有差異。背向式鉛球投擲技術的動作步幅長度分配是“短—長”（見圖 2-6）；旋轉式鉛球投擲技術的動作步幅長度分配是“長—短”（見圖 2-7）。（Bartonietz，1994）

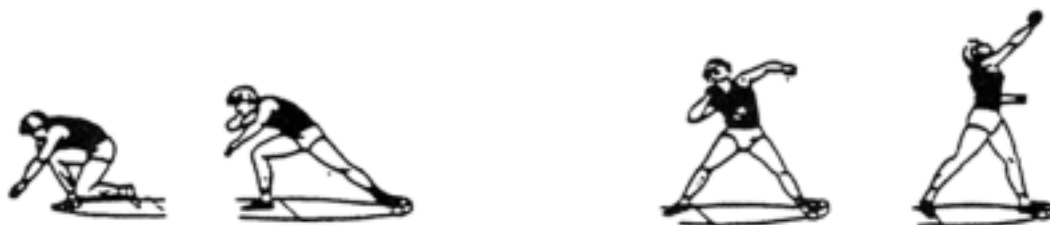


圖 2-6：背向滑步式鉛球投擲動作步幅長度分配“短—長”



圖 2-7：旋轉式鉛球投擲動作步幅長度分配“長—短”

鉛球投擲技術動作時間節奏是指一鉛球選手在投擲圈內，從預備動作到最後鉛球離手的過程中，完成各動作階段時，所用時間長短的規律。Hay (1993) 將滑步鉛球投擲技術動作分為四個階段—開始 (Initial) → 滑步 (Glide) → 傳遞 (Delivery) → 翻轉 (Reverse)。Tsirakos 等人 (1995) 將滑步鉛球投擲技術動作分為六個階段—準備 (Preparation) → 滑步 (Gliding) → 過渡 (Transition) → 雙腳支撐用力推 (Thrusting with double support) → 單腳支撐用力推 (Thrusting with single support) → 鉛球離手前無支撐騰空 (No support prior to release) (見圖 2-8)。

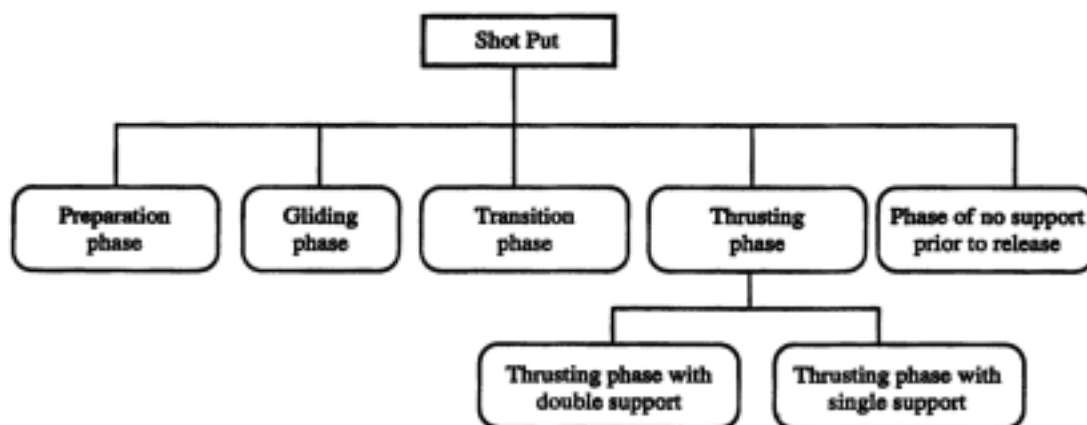


圖 2-8：背向滑步式鉛球投擲動作分期 (Tsirakos 等人，1995)

另外，旋轉鉛球投擲技術動作分為七個階段—預備階段 (preparation phase) → 過渡階段 (transition phase) → 左腳單支撐階段 (left foot single support phase) → 騰空階段 (flight phase) → 右腳單支撐階段 (right single support phase) → 雙腳支撐階段 (double support phase) → 投擲階段 (release phase)

Tsirakos 等人 (1995) 研究指出傳遞時間比滑步時間來得重要，因為傳遞時間一結束，左腳著地，最後用力推的階段開始時，身體需要有利的位置和正的加速度，較好的選手傳遞時間 (0.08 ± 0.03 s) 比滑步時間 (0.14 ± 0.02 s) 短。較好的選手有較大的雙腳支撐用力推時間 (0.20 ± 0.03 s)，可以幫助他們透過雙腳的支撐聚集較大的推動力，而且雙腳支撐用力推時間和出手速度有密切的關係，較大的雙腳支撐用力推時間得到較大的出手速度。另外，較小的單腳支撐用力推時間 (0.04 ± 0.02 s) 和鉛球離手前無支撐騰空時間 (0.05 ± 0.02 s) 也得到較大的出手速度。