

- Cooper, Phyllis Gorney (Ed.) (1988). Aerobics - Theory & Practices, HDL Publishing Comp., ISBN 0-937359-04-18-1.
- Katch, F. and McArdle, W. (1981) Nutrition, Weight Control, and Exercise, 2nd Ed. Philadelphia: Lea and Febiger Co.
- Koivisto, V. and Felig, P. (1984) Exercise in diabetes: Clinical Implications Cardiovascular Reviews and Reports, 5: 4: 399~404
- Martin, John E., Dubbert, Patricia M. (1985) Adherence to exercise: Exercise & sport sciences reviews, Vol. 13, pp.137~167.
- Mayhew, J. (1981) Body Composition. Journal of Physical Education, Recreation and Dance. September: 38~40.
- Pollock, M., et al. (1984). Exercise in Health and Disease. Philadelphia: Saunders.
- Strauss, R., Ed. (1984) Sports Medicine. Philadelphia: Saunders.
- Sharkey, B. (1984) Physiology of Fitness, 3rd Ed. Champaign, IL: Human Kinetics Publishers.
- Stone, M. et al. (1981) A Hypothetical Model for Strength Training. Journal of Sports Medicine and Physical Fitness. 21: 336, 342~351.
- Tortora, Gerard J. (1995) Principles of Human Anatomy, 7th Ed. Harper Collins Colledge Publishers.
- William, S. (1982) Essentials of Nutrition and Diet Therapy, 3rd Ed. St. Louis Mosby.

鏈球世界紀錄保持者 在風速影響下之最佳投擲成績推估

邱靖華

摘要

自1986年Yuriy締造鏈球世界紀錄以來，迄今一直未被刷新，有鑑於將世界紀錄再創新高，本研究乃推估世界紀錄保持人Yuriy，分別在無風及有風影響下的最佳投擲成績，以瞭解在締造世界紀錄的當時，是否有可能將紀錄提高？本研究乃參考學者拉爾夫(譯名)對Yuriy在另外一場實地比賽的3D運動學分析，引用其出手高度1.66m及投擲角 39.9° 資料(王倩譯，民82)，而運用數值方法進行推估。研究結果發現，無風時假如Yuriy出手高度維持在1.66m，而且將投擲角 39.9° 改成最佳投擲角 43.760° 進行投擲，其世界紀錄可提升0.704m。另一方面，如果Yuriy處於順風環境下投擲，應採用高於 43.760° 的投擲角，將有助成績的提高，當順風速率10m/s時，其最佳投擲成績可達到92.115m/s。反之，如果處於逆風環境下投擲，則投擲角應低於 43.760° ，以減少成績下降，當逆風速率10m/s時，最佳投擲成績為81.115m/s。

關鍵詞：最佳投擲角

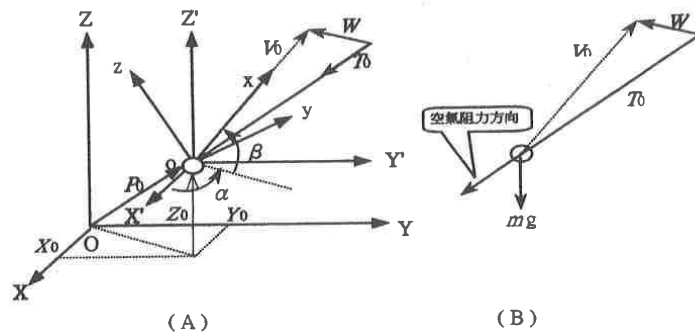
壹、前言

在田徑比賽中，鏈球是屬於一項高技術性的投擲運動，根據Depena(1984)指出，影響鏈球投擲距離的主要因素包括有：出手位置、出手速度、投擲角，以及出手後空氣阻力對鏈球的影響等四種因素。在過去的相關文獻中，大部份學者把焦點放在鏈球的投擲速度分析，以及投擲者旋轉動作技術的描述(Depena, 1984, 1986; Depena & McDonald, 1989; Depena & Feltner, 1989)，爾後Maronski(1991)

曾建立鏈球旋轉動作之數學模式，探討如何獲得最大出手速度。但是關於空氣阻力對鏈球投擲距離的影響，在本人蒐集的文獻中卻未發現有學者曾做過這一方面的研究。因此有鑑於瞭解鏈球的最佳出手條件，本研究針對曾經獲得1976、1980年奧運冠軍，也是當前世界紀錄保持人Yuriy為例，引用他在1986年締造86.74m的世界紀錄成績，及學者對Yuriy在另一場實地比賽的最遠投擲資料(王倩譯，民82)，推估他分別在無風及有風影響下的最佳投擲成績。

貳、方法

鏈球在三維的空間投擲時，如圖一(A)所示，首先設直角座標系OXYZ為固定座標系，從固定座標系OXYZ平移鏈球的初始位置向量 P_0 之後，得到另外一個平移座標系O'X'Y'Z'，且設此平移座標系O'X'Y'Z'原點為投擲者的出手位置。從平移座標系O'X'Y'Z'旋轉 α 及 β 角度之後，得到一個新座標系oxyz，鏈球的初始速度向量 V_0 ，是沿著新座標系oxyz的x軸方向擲出(α 為控制鏈球的左右方向， β 為投擲角)。W代表風速向量，其吹拂的方向是平行於固定座標系OXYZ的XY平面。



圖一 鏈球出手時刻之模型圖

一、數值方法

本研究採用尤拉積分(Craig, 1989)，推估鏈球在飛行過程的位置、速度及加速度向量，其數值的運算是採用C++編寫電腦程式進行處理。

鏈球從出手到落地的飛行過程中，以 t_k ($k=0, 1, \dots, n$)代表連續時間中的時間點位置。因此在 t_k 時刻鏈球的質心位置向量 P_k (本研究假設鏈球質心在鏈球頭的質心點位置)可寫成：

$$P_k = [X_k, Y_k, Z_k]^T \quad (1)$$

當鏈球從出手 t_0 時刻至落地 t_n 時刻，它的位置向量是從初始位置向量 $P_0 = [X_0, Y_0, Z_0]^T$ 移動到落地位置向量 $P_n = [X_n, Y_n, Z_n]^T$ ，因此鏈球的水平投擲距離 d 可寫成：

$$d = [(X_n - X_0)^2 + (Y_n - Y_0)^2]^{1/2} \quad (2)$$

如圖一(A)所示，初始位置向量 P_0 的 X_0 、 Y_0 ，為在固定座標系OXYZ中的XY平面位置點， Z_0 為出手高度。假設鏈球在飛行過程中，任意取相鄰的時間點 t_k 及 t_{k+1} ，且令 t_{k+1} 十分的靠近 t_k ，因此兩點的時間間隔 $\Delta t = t_{k+1} - t_k$ 則十分微小，鏈球質心位置向量，從 t_k 移動到 t_{k+1} 可視為等加速度運動(Soong, 1982)，因此 t_{k+1} 時間點的質心位置 P_{k+1} 可寫成：

$$P_{k+1} = P_k + V_k \Delta t + A_k \Delta t^2 \quad (3)$$

$$V_{k+1} = V_k + A_k \Delta t \quad (4)$$

$$A_k = F_k / m \quad (5)$$

在方程式(3)(4)(5)中， V_k 及 A_k 為鏈球的質心速度及加速度向量， m 為鏈球質量， F_k 為鏈球飛行過程中所受的外力。另外從圖一得知，鏈球初始的出手速度向量 V_0 ，是沿著經旋轉 α 及 β 角度之後的新座標系oxyz的x軸方向擲出，所以 V_0 可寫成：

$$V_0 = A_z(\alpha)A_y(\beta) [1s, 0, 0]^T \quad (6)$$

$$A_z(\alpha) = \begin{bmatrix} \cos\alpha & -\sin\alpha & 0 \\ \sin\alpha & \cos\alpha & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$A_y(\beta) = \begin{bmatrix} \cos\beta & 0 & -\sin\beta \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin\beta & 0 & \cos\beta \end{bmatrix} \quad (8)$$

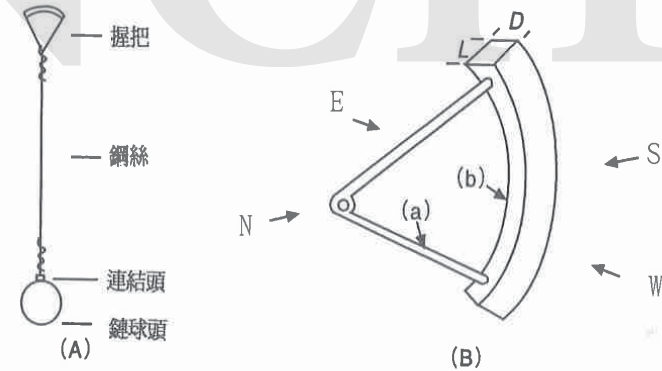
方程式(6)中 v_s 為鏈球的出手速率， $A_z(\alpha)$ 及 $A_y(\beta)$ 為從平移座標系 $0X'Y'Z'$ 轉換至新座標系 $0xyz$ 之座標變換矩陣(Danielson,1992)。

二、空氣阻力

如圖一(B)所示，方程式(5)中鏈球飛行過程中所受的外力，包括有空氣阻力(Munson等人，1994)及重力，因此在 t_k 時刻的 F_k 可寫成：

$$F_k = \frac{1}{2} \rho \left(\sum_{i=1}^5 A_{S_i} C_{D_i} \right) v_{r_k}^2 \mathbf{U}_{D_k} + mG \quad (9)$$

在上式中 ρ 為空氣密度， G 為重力加速度向量 $G = [0, 0, -g]^T$ ，其中 g 為重力加速度 9.81m/s^2 ， A_{S_1} 為鏈球頭之阻力面積(半徑 \times 半徑 $\times \pi$)， C_{D_1} 為鏈球頭之阻力係數，而 A_{S_2} ， A_{S_3} 如圖二(B)所示，分別為握把(a)部份及(b)部份的阻力面積，(a)部份為V字型細小圓柱體所構成，其阻力係數為 C_{D_2} ，(b)部份圓弧形近似矩形柱體所構成，其阻力係數為 C_{D_3} 。 A_{S_4} 及 A_{S_5} 分別為圖二(A)中鋼絲及連結頭的側面阻力面積，其阻力係數分別為 C_{D_4} 及 C_{D_5} 。鋼絲及連結頭其外形皆為圓柱體。本研究將握把、鋼絲及連結頭的運動速度向量，假設與鏈球頭質心速度向量一致。



圖二 (A)鏈球結構圖(取材：Dapena，1984)，(B)握把在飛行中的相對空氣速度的方向圖。

另外從圖一(A)中得知，鏈球的初始相對空氣速度向量 T_0 ，為風速向量 W 與初始出手速度向量 V_0 的向量差，因此 T_0 可寫成：

$$T_0 = W - V_0 \quad (10)$$

式中 $W = [\lambda \cos\alpha, \lambda \sin\alpha, 0]^T$ ， λ 為風的速率，順風時定義 λ 為正，逆風時定義為負。當在 t_k 時刻時則相對空氣速度向量 T_k 可寫成：

$$T_k = W - v_k \quad (11)$$

從方程式(11)式中，則可得到在 t_k 時刻，鏈球相對空氣的速率 v_{r_k} 值可寫成：

$$v_{r_k} = \| T_k \| \quad (12)$$

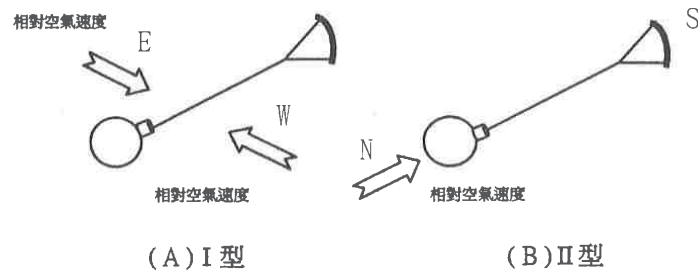
而方程式(9)式中空氣阻力方向的單位向量 \mathbf{U}_{D_k} 可寫為：

$$\mathbf{U}_{D_k} = T_k / \| T_k \| \quad (13)$$

參、結果與討論

一、阻力面積與阻力係數

本研究所採用的鏈球頭直徑及鏈球重量，均以田徑規則(IAAF, 1985/86)所允許的最小重量7.260kg及最小直徑11.0cm來進行模擬。其次關於握把、鋼絲及連結頭三部份，阻力面積是以一個合格的標準鏈球測量而得。鏈球在飛行過程中，握把、鋼絲及連結頭，會因在不同時刻的迎風面，形成不同的阻力面積，但基本上，鏈球的總阻力面積，是介於I型（最大阻力面積）及II型（最小阻力面積）之間。如圖三(A)所示，I型鏈球是處於側向的迎風面飛行，整個鏈球相對空氣速度方向，可能是來自於側面的E或W方向，鏈球頭、連結頭、鋼絲及握把(a)及(b)五個部份，其相對空氣速度方向皆為側面，此時形成的阻力面積最大，詳見於表一。而在II型時如圖二(B)及圖三(B)所示，是處於縱向的迎風面，當鏈球飛行時，鏈球頭在前，而握把尾隨在後，此時連結頭與鋼絲是近似平行於鏈球頭的運動方向，因此其阻力面積在本研究中將予以省略不計，而握把的相對空氣速度方向，迎風面是來自N方向，此時鏈球各部位的阻力面積，如表二所示。



圖三 鏈球飛行時之迎風面圖，(A)為I型迎風面方向來自左右E或W。
(B)為II型迎風面方向從N吹向S。

關於鏈球各部位阻力係數值，是根據各部位外型(雷諾數 $Re \approx 10^6$)，查對Munson等人(1994)的著作*Fundamentals of Fluid Mechanics*取得，資料詳見於表一、二。

根據圖二所示，當鏈球處在I型飛行時，迎風面是來自側面，鏈球頭外型為球體， C_{D_1} 等於0.47。握把(a)V字型部份及鋼絲皆為圓柱體，長度與直徑比視為無限大時， C_{D_2} 和 C_{D_4} 皆為1.2。握把(b)圓弧形部份，近似為矩形柱體 D/L 比為0.57， $C_{D_3}=2.7$ 。鏈結頭的外形亦為圓柱體，經測得長度與直徑比為1.36時，側向 $C_{D_5}=0.65$ 。

表一 I型鏈球阻力面積及阻力係數

i	$A_{S_i}(\text{m}^2)$	C_{D_i}
1	0.00950	0.47
2	0.00153	1.20
3	0.00178	2.70
4	0.00464	1.20
5	0.00017	0.65

C_{D_i} 值取自Munson等人(1994)。

當鏈球處在II型飛行時，迎風面是來自N方向，鏈球頭為球體，與第I型一樣， C_{D_1} 為0.47。握把(a)V部份亦為圓柱體，長度與直徑比同樣視為無限大， C_{D_2} 為1.2。握把(b)圓弧形部份之 D/L 比為1.76， $C_{D_3}=1.8$ 。第II型飛行時，連結頭 C_{D_4} 與鋼絲 C_{D_5} 給予省略，因連結頭與鋼絲尾隨在鏈球頭之後，不構成阻力面積。

表二 II型鏈球阻力面積及阻力係數

i	A_s (m ²)	C_{D_i}
1	0.00950	0.47
2	0.00054	1.20
3	0.00090	1.80
4	*	*
5	*	*

*表示省略， C_{D_i} 值取自Munson等人(1994)。

二、推估出手速率

在本研究中，空氣密度 ρ 在標準大氣壓下為 1.23kg/m^3 (Munson等人1994)。其次，出手位置向量 P_0 中的 X_0 及 Y_0 初始值皆設為零，左右方向角 α 亦設為零。學者拉爾夫(譯名) 在1986年，使用兩部攝影機，以每秒200張的頻率拍攝Yuriy比賽時的實地投擲，針對其最遠成績進行3D的運動學分析，經分析得知 Yuriy在該次投擲中，出手高度為1.66m，投擲角為 39.9° (王倩譯，民82；陳文良和林宗正，民85)。根據此出手條件資料，本研究亦假設Yuriy當初締造世界紀錄時的出手高度及投擲角，同樣為 $Z_0=1.66\text{m}$ 及 $\beta=39.9^\circ$ ，分別推估鏈球在I型及II型狀態飛行時，Yuriy締造世界紀錄成績所需要的出手速率，推估結果如表三所示。

表三 Yuriy締造世界紀錄的出手速率推估

型別	v_s (m/s)	H(m)	T(s)	d(m)
I	30.486	20.198	3.975	86.740
II	29.615	19.702	3.923	86.740

($\Delta t=0.0005$ ， $Z_0=1.66\text{m}$ ， $\beta=39.9^\circ$ ，表中T(s)為鏈球飛行時間，H(m)為鏈球飛行過程中最高點位置。

就鏈球實際飛行而言，握把及鋼絲會造成大幅度擺動或繞著鏈球頭旋轉，在此種情況之下，鏈球在飛行過程中，大部分時間所形成的阻力面積，遠比II型縱向飛行的阻力面積大，因此本研究採用I型的鏈球阻力面積及阻力係數，推估出Yuriy締造世界紀錄的出手速率為 $v_s=30.486\text{m/s}$ 。

關於間隔時間 Δt 值的選用，則假設以Yuriy締造世界紀錄的出手參數($Z_0=1.66\text{m}$ ， $v_s=30.486\text{m/s}$ ， $\beta=39.9^\circ$)進行測試，如果以 Δt 作為變數，鏈球所飛行的時間及投擲距離，結果如表四所示，當取樣 $\Delta t=0.0005\text{s}$ 時， Δt 對映的T及d的軌跡位置很平滑，而且滿足數值方法，對 Δt 須十分微小的要求，因此本研究採用 $\Delta t=0.0005\text{s}$ 所推估的結果是可信賴的。

表四 Δt 與飛行時間T及投擲距d的關係

Δt (s)	T(s)	d(m)	$d(\Delta t)/d(\Delta t=0.00001)$
0.008	3.97600	86.75697	1.0002472
0.0008	3.97520	86.74393	1.0000968
0.0005	3.97500	86.73999	1.0000514
0.00002	3.97478	86.73572	1.0000022
0.00001	3.97477	86.73553	

本表是採用Soong(1982)研究鉛球的 Δt 值選用方式處理。

三、最佳投擲成績

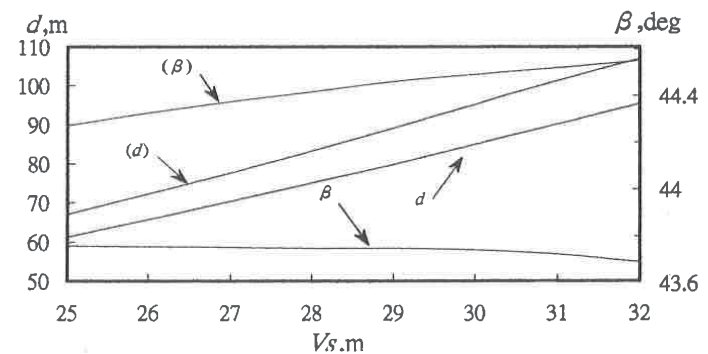
為了尋找Yuriy的最佳投擲條件，首先根據Yuriy締造世界紀錄的出手速率，探討在無空氣阻力下的最佳投擲角與最大投擲距離。Soong(1982)曾指出鋼體在無空氣阻力下的最佳投擲角與最大投擲距離，其方程式(12)(13)如下：

表五 Yuiiry在有空氣阻力及無空氣阻力下的最佳投擲成績

空氣阻力	$\beta(^{\circ})$	H(m)	T(s)	d(m)
有	43.760	23.151	4.268	87.444
無	44.507	*	*	98.061

($Z_0=1.66m$, $1s=30.486m/s$, $\Delta t=0.00005s$, T(s)為鏈球飛行時間, H(m)為鏈球飛行過程中最高點位置, *表示未推估)

進一步的分析發現,當出手速率介於25m/s 至32m/s之間,進行推估最佳投擲成績及最佳投擲角時,結果如圖五所示,不論有無空氣阻力,最佳投擲成績幾乎都隨著投擲速率增加。在沒有空氣阻力條件下,最佳投擲角曲線一直往45度推進,而在有空氣阻力條件下,最佳投擲角曲線有稍為下滑現象,但變化量並不大,投擲角僅介於43.6° 與43.8° 之間。

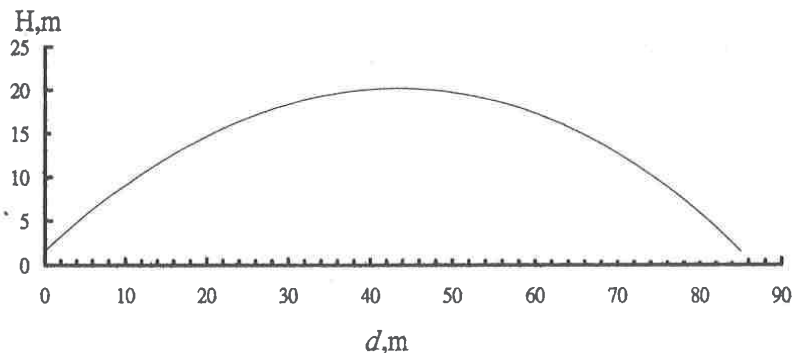


圖五 鏈球不同投擲速率之最佳投擲成績與投擲角關係圖, (d)及(β)曲線為無空氣阻力時之最佳投擲成績及投擲角,而d及 β 曲線表示在有空氣阻力時之最佳投擲成績及投擲角($Z_0=1.66m$)。

$$(\beta)_{\text{optimum}} = \text{Cot}^{-1} \left(1 + \frac{Z_0}{1s^2/2g} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (12)$$

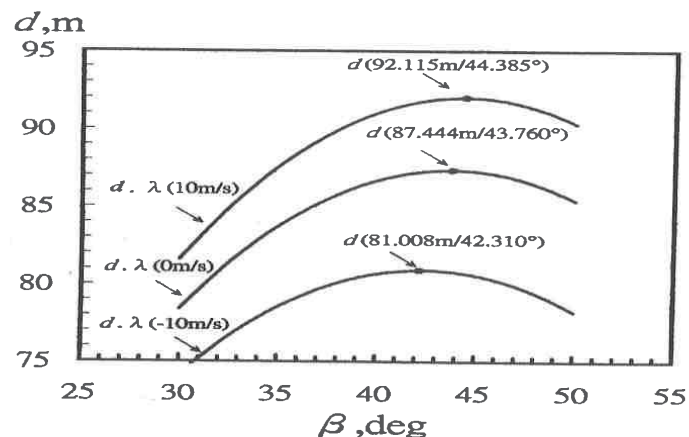
$$(d)_{\text{optimum}} = \frac{1s^2}{g} \left(1 + \frac{Z_0}{1s^2/2g} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (13)$$

式中(β)_{optimum} 及(d)_{optimum}分別表示最佳投擲角及最佳投擲成績函數。從表五得知,若Yuiiry以 $1s=30.486m/s$ 及 $Z_0=1.66m$ 進行投擲,在不考慮空氣阻力的情況下,運用方程式(12)(13)演算,最佳投擲角為44.507°,最佳投擲距離可達98.061m。如果在有空氣阻力的情況下,根據本研究的演算方法,最佳投擲角為43.760°,如果Yuiiry能以此投擲角擲出,則他所保持的世界紀錄將可提升至87.444m,比原紀錄增加了0.704m,此最佳投擲角與成績,與邱靖華、王金成(民88)的推估值一致,根據電腦模擬的鏈球飛行軌跡如圖四所示。



圖四 鏈球之最佳投擲軌跡圖, H表高度。

同樣地，如果 Yuriy 以 $Z_0 = 1.66\text{m}$ ， $V_s = 30.48\text{m/s}$ 在不同風速條件下進行投擲，從圖四顯示出，在順風 10m/s 情況下投擲，最佳擲角為 44.385° ，將比無風時高出稍許，最大投擲距離可提升 92.115m ，比無風時多了 4.671m ，如此可看出順風是有助於投擲成績的提升。而逆風 -10m/s 時，最佳投擲角 42.310° ，比無風時略小，最大投擲距離將下降到 81.008m ，比無風時少了 6.436m 。



圖六 不同風速影響下投擲角與投擲距離的關係， $d, \lambda(\lambda)$ 括號中 λ 表風速， $d_{max}(d/\beta)$ 括號中表最大投擲距離及最佳投擲角。

肆、結論

Yuriy 在 1986 年締造世界紀錄 86.740m 的當時，假設其出手高度 1.66m ，投擲角為 39.9° (王倩譯，民 82) 進行投擲，經由推估得知，當其出手速率為 30.486m/s 時，則可達到他自己保持的世界紀錄成績。假如 Yuriy 將投擲角從 39.9° 調整為最佳投擲角 43.760° 進行投擲，其投擲距離將會打破原來的世界紀錄，比原紀錄增加了 0.704m 。此外研究結果也發現，如果 Yuriy 處於順風環境下投擲，應



用高於 43.760° 的投擲角，將有助成績的提高，當順風速率 10m/s 時，其最佳投擲成績可達到 92.115m 。反之，如果處於逆風環境，則投擲角應低 43.760° ，以減少成績下降，當逆風速率 -10m/s 時，最佳投擲成績為 81.115m 。如果鏈球投擲者的出手速率是介在於 25m/s 至 32m/s 之間，應採用 43.6° 與 43.8° 之間的投擲角，將可以獲較佳的投擲成績。

參考文獻

【中文部份】

- 王倩譯。(民 82)。鏈球的生物力學分析。中國田徑學會雙月刊，第 4 期，頁 30~33。
- 陳文良、林宗正。(民 85)。鏈球投擲動作之定性分析。中華體育季刊，第 38 期，頁 65~73。
- 邱靖華、王金成。(民 88)。1986 年世界鏈球紀錄保持者之最佳投擲角分析。一九九國國際身心障礙體育運動學術研討會，頁 52~53。

【英文部份】

- Bartlett, R. M. (1992). The biomechanics of the discus throw: A review. Journal of Sport Sciences, 10, 467-510.
- Craig, J. J. (1989). Introduction to Robotics Mechanics and Control (2nd ed.). U.S.A.: Addison-Wesley Publishing Company, Inc.
- Danielson, D.A. (1989). Vectors and Tensors in Engineering and Physics. U.S.A.: Addison-Wesley Publishing Company, Inc.
- Dapena, J. (1984). The pattern of hammer speed during a hammer throw and influence of gravity on its fluctuations. J. Biomechanics, 17, 533-559.

- Depena, J. (1986). Akinematic study of center of mass motions in the hammer throw. J. Biomechanics, 19, 147-158.
- Depena, J. (1989). Influence of the direction of the cable force and of the radius of the hammer path on speed fluctuations during hammer throwing. J. Biomechanics, 22, 206-220.
- Dapena, J., & McDonald, C. (1989). A three-dimensional analysis of angular momentum in the hammer throw. Med. Sci. Sports Exerc. 21, 206-220.
- Maronski, R. (1991). Optimal distance from the implement to the axis of rotation in Hammer and discus throws. J. Biomechanics, 24, 999-1005.
- Munson, B. R., Young, D. F., & Okiishi, T. H. (1994). Fundamentals of Fluid Mechanics (2nd ed.) (pp.594-614). Canada: Lehigh Press.
- IAAF.(1986). Official Handbook 1985/86. London:International Amateur Athletic Federation.
- Soong, T. C. (1982). Biomechanical analyses and applications of shot put, discus and javelin throws. In D. N. Ghista (Eds.). Human Body Dynamics: Impact, Occupational, and Athletic Aspect (pp.462-497). Oxford: Clarendon Press.



八十八年度陽光健身計劃 青少年寒假育樂營學員體能分析

莊淑蘭

摘 要

本研究旨在瞭解青少年體能狀況，以參加陽光健身計畫122名學員為測驗對象，經資料統計與分析，得到下列結論：身高方面，10歲女生低於常模，9~14歲之男女生皆在常模之上。體重方面，11、14歲之女生及12歲男生理想，其餘各組皆超重。身體指數方面，11及13歲之男女生屬理想，12歲男生稍瘦，其餘各組皆稍胖。肌耐力方面，13歲女生理想，11歲及12歲男女生普通，其餘各組皆好。柔軟度方面，11、12歲女生及9歲男生較差，11、12、13歲男生屬不好，10歲男女生、13歲女生及14歲男生為普通，14歲女生較好。瞬發力方面，男女生各組均好。心肺功能方面，12歲男生很差，13歲男生不好，10、11、13、14歲女生及9、14歲男生屬於普通，其餘各組皆屬好。

關鍵詞：陽光健身計劃、育樂營學員、體能、常模

壹、緒 論

一、研究動機

隨著資訊進步、社會型態之轉變，現代人愈來愈重視物質生活享受，坐式生活型態的產生，則在年輕一代身上呈現物質生活不虞饋乏之產物—肥胖。再加上電視節目之多樣化及電腦文化之衝擊下，國內外學童都有此共同現象，即花在觀看電視及使用電腦之時間比運動時間更多，再則速食文化使學童攝取過量高熱量之食物，因此放眼觀之現今之校園隨處皆可見肥胖學生，大專寒暑訓資料中顯