

立定跳遠的力學分析

許志銘

摘要

本篇研究旨在探討一個改良的投射體研究方法 應用直角坐標藉助錄影來協助人體重心位置的測量；並使用每分鐘 60 轉馬達所製計器測量投射過程的時間，用以建立較精確的時間與位置的關係，研究人體投射運動的跳躍角度、跳躍初速度等諸項影響投射運動的因素。從而檢討人體投射運動的某些技術差異。

本篇以立定跳遠為實例，測驗體育系男生 20 人，結果顯示平均跳躍角度為 41.03° 對同樣的被測者而言，影響立定跳遠成績的最主要因素在着地技術的差異，而下肢的伸展程度具有決定性。

透過較嚴謹的時間與位置關係的建立，可以探求投射運動的許多性質，並檢討某些技術的差異。

第一章 緒論

體育學是研究人類行為之各科學領域中的一環，在其研究過程中，常須藉助其他人文科學或自然科學既已肯定的知識做為基礎或根據。因此體育學的發展與其他科學的日新月異息息相關。如何透過這些有關科學的不斷發展，來應用與設計更精密、更有效率的儀器設備以及研究方法，使體育學領域內所探討的課題，能得到深入的瞭解，是從事體育學術研究者所努力的目標。

人體運動學所研究的課題，乃藉着對人體運動性質的瞭解，以求取人類所期望的最高效率。然而人體的運動，在在皆受人體解剖構造，生理現象，以及經驗世界的一切物理法則所支配。於是，人體解剖學、人體生理學，與物理學等，遂成為人體運動學的基礎科學。人體運動學所探討的課題，常可循這些不同領域的科學基礎去尋求發展的途徑。例如，利用肌電圖描記術（Electromyography）分析各種運動動作，其參與作用之肌肉羣、引起運動的順序、收縮的頻度等（註一）。

註一：O'Connell, A. L., and Gardner, E. B.: The Use of Electromyography in Kinesiological Research. Research Quarterly, 34:166-184 1963.

自從天文學家 Janssen (1878) 利用連續攝影研究金星的活動之後，這種工具很快地被運用來研究人類的運動，使人體運動學開拓了新的領域。這種工具最大的貢獻在，它能同時記錄下物體運動現象的時與空的關係 (Spatial and temporal relations)，這是從事運動學研究不可或缺的元素。Muybridge (1877)，Marey (1904) 與 Braune, Fischer (1889) 等，都使用過這種工具研究人類的步法 (Human gait)。Edgerton (1939) 則使用靜止底片間歇多次曝光的技術，記錄人體連續運動的過程。運動過程的時間可由連續照片的張數或連續曝光的影像數目計算得知。(註二)

至於位置 (Spatial) 的探求，從早期的研究中可以發現，為精確地瞭解這具不均勻的非剛體 (人體) 運動所代表的質點 (重心) 之運動現象，曾經經過長期的探討與改進。(註三) Weber 兄弟 (1836) 使用下署尖楔的蹠蹠板，測量足底至重心的高度，以研究人類走、跑等重心的起伏現象。Braune 與 Fischer (1889) 則從肢解冰凍屍體的方法研究人體各分部重心點，並求得其立體的關係位置；這項工作在當時受到相當的阻撓，後來 Dempster (1955) 曾續加研究，得到許多統計值，為一般所應用。由於 Fisher 的方法不能在活體實施，後來一般常用的是，利用力矩 (torque) 的原理，讓人體置於板上測量；從個體在板面的關係位置與板下的磅稱所示重量，得知其重心點所在。Lovett, Reynolds (1909) 與秋田 (1929) 等均曾利用此法求得人體各分部重心的平均值。(註四)

這些技術與工具的運用，曾使人體運動學的研究，得到相當的進展。(註五) 尤其，因為人體運動學的許多課題，雖存在於三維空間，却可從二維平面的分析，同樣獲得正確的結果；因此使得攝影這項工具仍能繼續不斷地發展其應用價值。投射體的研究便是一例，我們可從與投射面垂直的部位將運動過程攝影，以分析該投射體運動的性質。本篇旨在探討一個改進的、投射運動研究法，期能合乎較精確的、嚴謹的要求。

註二：Rasch, P.J., Burke, R.K.: Kinesiology and Applied Anatomy. P. 7-9, Lea & Febiger Co. 1970.

註三：同註二 P. 2. - 17.

Braun, G.L.: Kinesiology; From Aristotle to the Twentieth Century. Research Quarterly 12:163 - 173. 1941.

註四：Arthur Steindler.: Kinesiology of the human body. Charles C Thomas Publisher. 1971. 宮田虎彥、猪飼道夫等：身體運動，科學，P. 148 - 151. 第五版，學藝出版社，1968.

註五：Hubbard, A.W.: Photography. Research Method in Health, Physical Education and Recreation; P. 145 AAHPER 1967.

第二章 文獻的閱覽與檢討

Henry (1948) 以每秒 64 張的連續攝影照片 (每張 .015625 秒)，分析 16 位大學男生立定跳遠與垂直跳的初速度、加速度，與立定跳遠的起跳角度。並從瞬發力 (Power)，與作功 (Work) 探討兩者之間的關係。結果發現立定跳遠的平均跳躍角度為 41.3 度，着地角為 40.7 度，垂直跳與立定跳遠的瞬發力很接近。(註一)

Zimmerman (1956) 亦利用攝影的方法，來分析 22 位體育系女生立定跳遠時的身體軀幹、四肢各關節屈伸角度之變化，用以探討技術較好者，與較差者之間的技術差異。結果發現技術較差與較好者，起跳角度不同 (68.7° - 48.4°)，着地角度各異 (73.1° - 59.1°)；而技術較好者在膝、臀、踝等關節角度有較大的屈伸；關節屈伸所耗時間亦不一致，技術較好者膝關節伸展時間較短，臀關節 (軀幹與大腿角度) 屈縮時間較長。(註二)

Garrett 等 (1967) 依據 Dempster 的人體分部重心測量值，將影片中人體運動時各種姿勢，在背景座標紙所顯示的關係點，計算出立定跳遠人體重心拋射軌跡，與理論的軌跡相對照，結果發現人體投射運動與一般的投射體性質一致；而 Dempster 的統計值不適合於較幼的年齡階段。(註三)

筆者認為這種統計值的運用，亦不一定可以適合於體型各異的成人，這可從 Garrett 所求得的軌跡在理論軌跡附近上下波動的情形看出。可見拋射運動的研究有賴精確位置關係的探求，始可能得到較確實的結果。Henry 與 Zimmerman 在論文中均未明確指出所使用的重心測量法；Zimmerman 所指的起跳角度，係指起跳時身體重心點與足尖點、着地時身體重心點至足跟點與地面所成角度；Henry 所指的起跳角度係指投射角度而言，着地角度指稱並不明確。

為求得人體運動中的重心位置，Grover (1949) 曾使用一塊 6 呎方板，四角下各置以磅稱，選擇十三種花式跳水 (fancy diving) 的基本姿勢，讓選手以指定姿勢在板上測量，然後將磅稱所示重量書於板上，自正上方予以照相。從相片上算出重心點位置，標誌之，並予繪圖，以便從跳水的連續圖片中研究轉軸點、旋轉速度、旋轉角度等。這種直接測量可算是測量重心最精確的方法。(註四)

註一：Henry Charles; *Mechanical Analysis of the Initial Velocity in the Standing Broad Jump and in the Sargent Jump*. Master Thesis, University of Iowa, 1948.

註二：Zimmerman, Helen M.; *Characteristic Likeness and Differences Between Skilled and Non-Skilled Performance of Standing Broad Jump*. *Research Quarterly*. 27:352-362, 1956.

註三：Garrett, Richard E., Widule, Carol J., Garrett, Gladys E.; *Computer-Aided Analysis of Human Motion*. *Kinesiology Review*. P. 1-4, AAHPER 1968.

註四：Groves, W.H.; *Mechanical Analysis of Diving*. *Research Quarterly* 21:132-144 May 1950.

Walton (1969) 應用 Dempster 的人體分部重心測量值，製作許多三角形的模板 (template)，可便於從照片上標定身體各分部重心點，再依據 Dempster 的人體分部質量統計值，計算重心點位置。(註五) 可說是一項操作技術上的革新。但鑑於前述 Garrett 的發現，應用時當須考慮人種、體型等的個別差異。

至於時間測量方面，Sullivan (1953) 研究雙槓上的前空翻 (Forward somersault) 動作，為避免逐張計算影片換算時間之煩，將計時器置於動作現場旁邊，以便從照片上讀出計時器的記錄 (註六)。這可算是極方便的一項改進。

從上面各篇研究可以看出近代人體運動學課題的實驗設計趨勢，除了對時、空關係要求更精密的測量外，同時更力求實驗操作過程的効率。投射運動的研究，除了從連續照片上直接測量外，另可從測量飛程所耗時間、距離、投射瞬間與着地瞬間投射體高度的差值等三項量數來瞭解投射運動的許多特質。利用較精密的計時方法與錄影的設備，將可使投射運動的研究更精確，且較經濟。

註五：Walton, James S; A Template for Locating Segmental Centers of Gravity. Research Quarterly 41:4 615-618 1970.

註六：Hubbard, Alfred W.; Photography. Research Method in Physical Education and Recreation. P. 132-133, AAHPER 1967.

第三章 方法與步驟

欲從實驗上瞭解投射運動的某些性質，如投射角度、投射初速度、水平分速度、垂直分速度等，可從丈量投射體水平位移的距離、投射點與着地點高度之差、飛程所耗時間等，得到時間與位置的關係。投射體飛程時間既為投射體飛行高度所決定，垂直分速度 V_y 不難由時間與垂直位移的情形求出；水平分速度 V_x 可從水平位移距離與時間求得；投射角度 ϕ 與投射初速度 V_0 便可從 V_y 與 V_x 的比例、平方和的平方根值得悉。

立定跳遠是以人體本身為投射體的運動，從攝影觀察並不能確知起跳時與着地時人體代表質點——重心的實際位置。必須精確地瞭解起跳與着地時瞬間的重心所在，才能建立這種投射運動正確的時間與位置的關係。因此，本篇分實驗步驟為二：

1. 跳躍 (投射) 過程的記錄
2. 重心的測量

第一節 跳躍過程的記錄

一、距離的丈量與計時

在 35×60 (cm) 的起跳板與 60×60 (cm) 的着地板間設置電路，起跳板與着地板安置正常為接通之開關 (Normal ON Switch)，使於無負重狀態下自動連為電路 (circuit)，起跳板或着地板能在四公斤以上的負重自動斷路 (block)。每 60

分鐘圈的急轉急停馬達 (Hystorisis motor) 所製，錶面刻劃細密至 .001 秒的電動計時器，則安置於電路中。(參圖一)計時器並曾經計圈計、.01 秒計時錶校準，故其誤差當在千分位，應屬可用的器材。(註一)

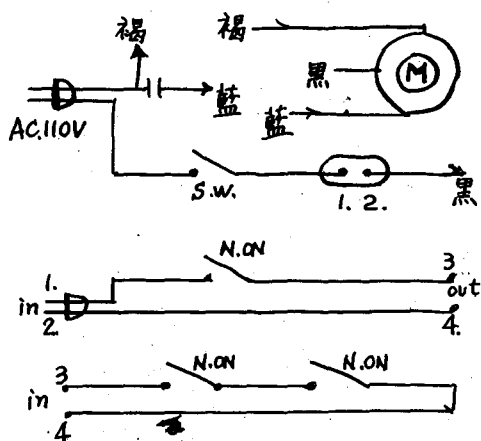
為增加板的摩擦係數，起跳板面塗以松脂 (resin)，起跳板下與着地板下與着地板上下均繃護橡皮。(見照片二、三、六)人體踏於起跳板時 (起跳板斷路) 打開電源 (圖一 S.W.)，躍離起跳板後即連成電路；計時器即刻計時。人體落至着地板時，着地板斷路，計時器自動停止，並迅速將電源開關 S.W. 關閉。計時器所示即為每次跳躍飛程所耗時間 (照片五)。

起跳板與着地板間舖設兩條平行的木製軌道 (見照片一)。上面標示着每隔 10 公分的距離；起跳板與着地板間距離，可視受測者的能力，在軌道上做前後調整。着地板上細密劃着每隔一公分的平行線 (見照片六)，可從受測者着地時足跡記錄每次試跳距離。着地板前後均佈置墊子，以增被測者安全感。(見照片四)

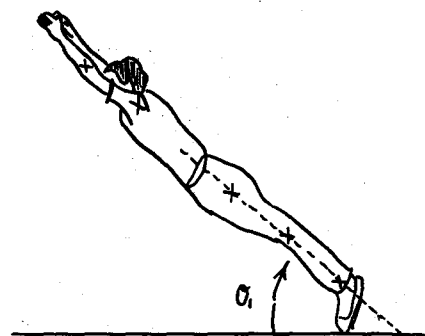
二、錄影與角度的測量

應用 SONY AV5000 A 錄影機 (Vidio Tape Recorder)，將每次試跳從側面距測驗現場 20 公尺處予以錄影。再利用閉路電視 (Closed Circuit TV) 以最慢鏡頭播放，在起跳將離地與着地瞬間的鏡頭則予固定。次用量角器在銀幕上測量起跳時之身體與地面角度 θ_1 ，以大轉子與腓骨外踝為參考點 (見圖二)；着地時量手臂與軀幹 θ_2 、軀幹與大腿 θ_3 、大腿與小腿 θ_4 、小腿與地面 θ_5 等各種角度 (見圖三)。各關節點在錄影之前，皆以白色膠帶予以標誌。起跳時之其他角度不量，因從這些被測者錄影上可觀察到各角度幾乎完全伸展為一直線。

立定跳遠計時器電路圖

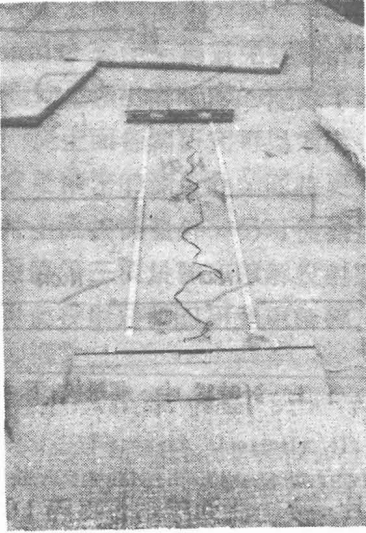


圖一：上、計時器；中、起跳板；下、着地板

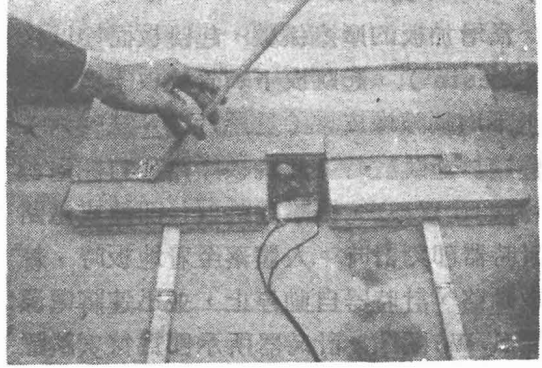


圖二

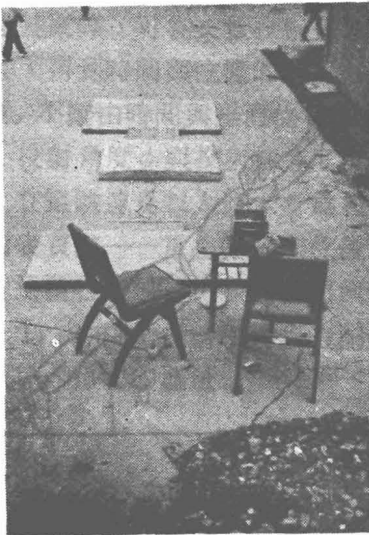
註一：Hubbard, A. W.: Photography: Timing., Research Method in Health, Physical Education. and Recreation P. 130-132. 1967.



照片一：起跳板（下方）與着地板（上方）



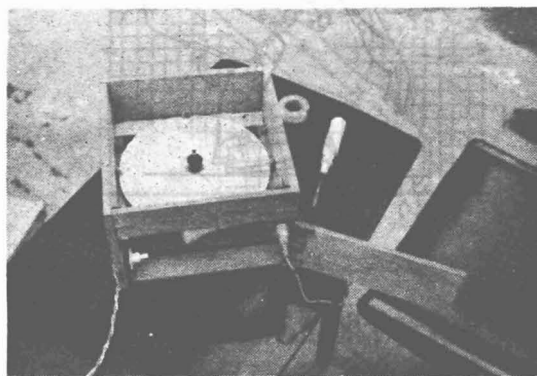
照片二：起跳板的Normal ON開關



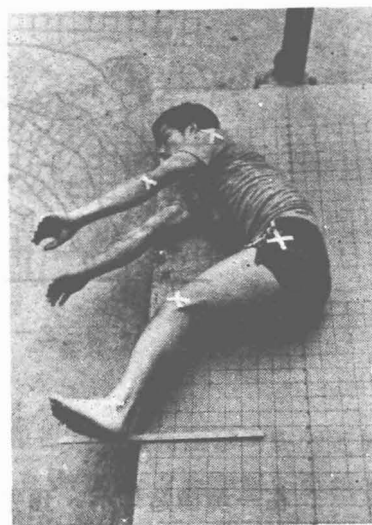
照片四：測驗場之佈置



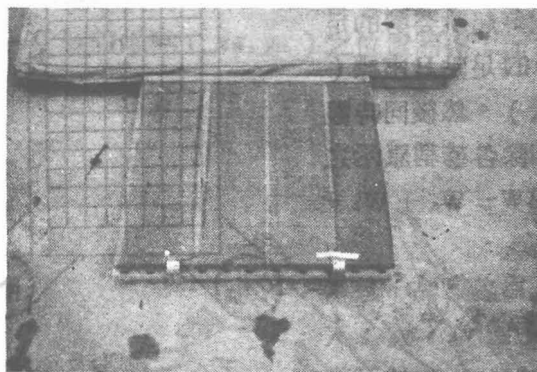
照片三：着地板下繃護的橡皮



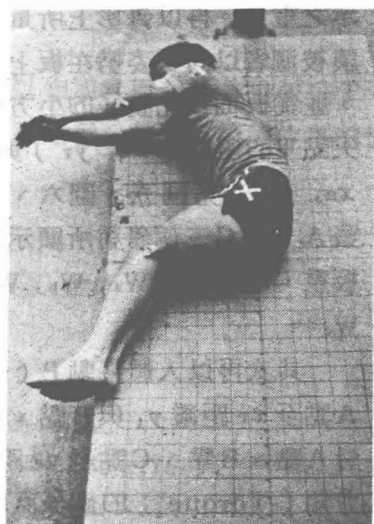
照片五：.001 秒自動計時器



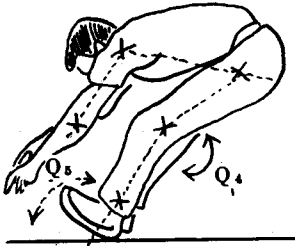
照片七：重心測量之一



照片六：着地板上繃護的橡皮與距離標示



照片八：重心測量之二



圖三之一



圖三之二

第二節 重心的測量

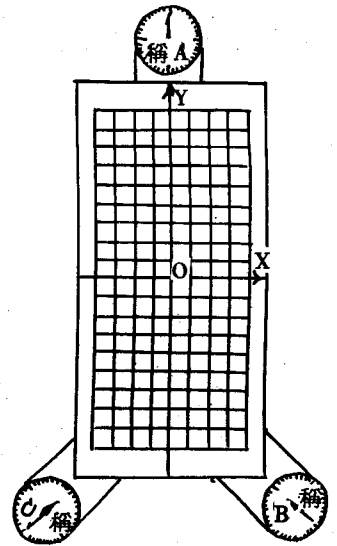
在一塊構造勻稱、預先劃好直角座標的長方形木板下（牢固的門板適用之），三個磅稱分別安置在板的一端中點A下（A稱），與板另一端的兩側B、C點下（B及C稱）。（見圖四）板與磅稱的接觸點A、B與C處釘以尖楔，使板在磅稱上的接觸點盡量減小。

測量時先記錄此板未負載人體時，在各磅稱上所顯示之重量。再以錄影上所量得的角度（見圖二、三），讓被測者以同樣姿勢在板上側臥，記錄各磅稱所示重量，並從板面預先劃好的小方格眼上，記錄起跳姿勢的足尖點T的座標（ x_T, y_T ）與着地姿勢的足點H座標（ x_H, y_H ）見圖五、圖六、照片七、八）。然後同時觀察A、B、C三個磅稱所顯示的重量，扣除各磅稱原示之板重，可得淨重 W_a, W_b, W_c 與體重 $BW = W_a + W_b + W_c$ 。

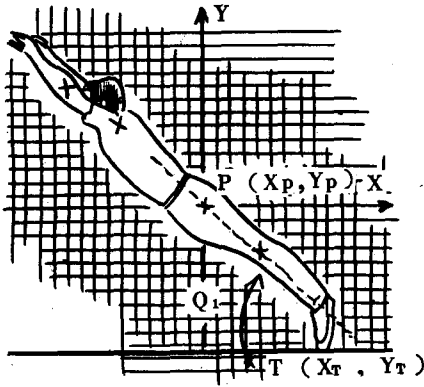
其次再以人體某點P（ x_P, y_P ）為參考點，量得A點至 x_P 距離 y_1 與B點、C點至 x_P 距離 y_2, y_3 ；次量A點、B點、C點至 y_P 距離 x_1, x_2, x_3 ；便可從力矩（Torque）的關係直接得悉該姿勢時的人體重心位置 $G(x_G, y_G)$ ：

$$x_G = \frac{x_1 W_a + x_2 W_b + x_3 W_c}{B W}$$

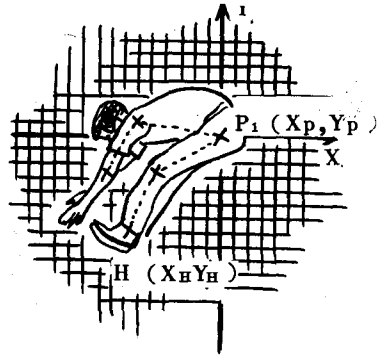
$$y_G = \frac{y_1 W_a + y_2 W_b + y_3 W_c}{B W}$$



圖四



圖五



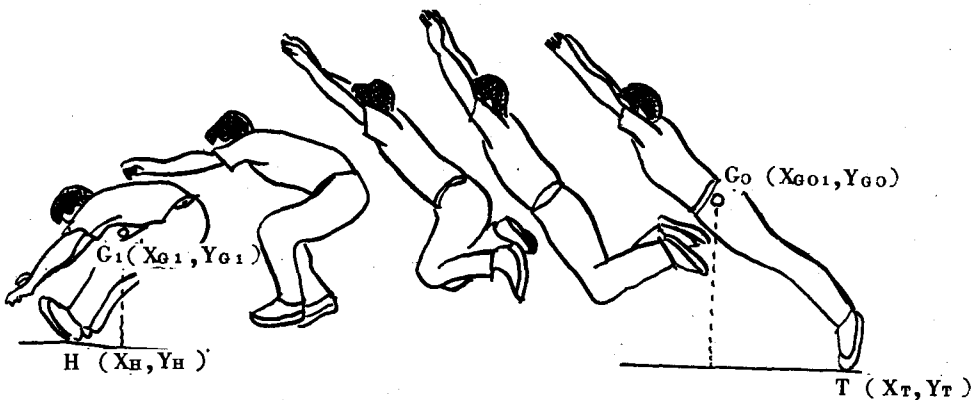
圖六

本篇為研究上方便計，統一將大轉子做為參考點，並在每次測量時讓參考點固定於座標 0 點 (0, 0) 上；並使 A 點於 Y 軸上， $x_1 = 0$ ；而使 B、C 點至 Y 軸絕對距離相等 $|x_2| = |x_3| = l_1$ ；再使 A 點至 X 軸與 B、C 點至 X 軸絕對距離相等，即 $|y_1| = |y_2| = |y_3| = l_2$ 。則上列二式便可簡化為：

$$x_G = \frac{l_1 (W_b - W_c)}{B W}$$

$$y_G = \frac{l_2 [W_a - (W_b + W_c)]}{B W}$$

從以上步驟所求得的重心點 G 的座標 (x_G, y_G)，可以知道其與起跳時足尖點 T (x_T, y_T)、着地點 (x_H, y_H) 之位置關係，而得知人體跳躍過程，重心點精確位移的情形。(圖七)



圖七

根據以上二節所述方法得位置關係以後，再依下列公式導出投射（跳躍）運動的諸項量數。

1. 從重心點在水平方面位移的變化 $x_{G_1} - x_{G_0}$ 與所耗時間 $t_1 - t_0$ ，可得水平分速度

$$V_x = \frac{x_{G_1} - x_{G_0}}{t_1 - t_0}$$

2. 從重心點在垂直方向位移的變化 $y_{G_1} - y_{G_0}$ 與所耗的時間，可得垂直分速度

$$V_y = \frac{y_{G_1} - y_{G_0} - \frac{1}{2} g (t_1 - t_0)^2}{t_1 - t_0} \quad g = -9.8 \text{ m/sec}^2$$

3. 由水平分速度 V_x 與垂直分速度 V_y 可得投射（跳躍）角度

$$\theta = \tan^{-1} \frac{V_y}{V_x}$$

4. 由 V_x 與 V_y 可得跳躍（投射）初速度

$$V_0 = \sqrt{V_x^2 + V_y^2}$$

從以上各項測量與所導出的各項量數，可使我們在研究人體投射運動上，得到許多瞭解。

第四章 資料整理與分析

本篇依照前述程序，曾分別於民國 61 年 11 月 21 日，12 月 19、26、28 日，62 年 1 月 9 日試測五次，使測驗人員充分熟悉操作程序；復於民國 62 年 3 月 22 日以師大體育系二年甲班男生 20 人為對象，實施立定跳遠測驗，各作三次（錄影或計時失敗時不算，重作），得到次列（表一 A）之結果。為比較成績較好之該次試跳的特性，乃將每個受測者三次試跳中最好之一次試跳所得的各項量數另行整理（表一 B）。理論上而言，投射體重心水平位移最遠之一次，當屬投射距離最遠之一次；然而在人體投射運動中究竟是否符合這個原則？有何種差異？實有賴分析比較才可得知，因此在將每位受測者重心點水平位移最遠之該次試跳，亦做同樣的處理（表一 C 組），以利比較。從這三組（表一 A, B, C）各變量的比較上，可以發現影響立定跳遠成績的可能因素。

表一 立定跳遠各項量數測量結果

(1) (2) (3) (4) (5) (6) (7) (8) (9) (10)

參數 試跳別	各項因素	立定跳	飛程所	$G_0 T, G_1 H$	重心水平	水平分	重心垂	重直分	跳躍角	跳躍初	
		遠距離	耗時間	投影之和	位移距離	速度	直位移距離	速度	度 ϕ	速度	着地角度
		$t_1 - t_0$		$x_1 - x_0 = (1) - (3)$	V_x	$y_1 - y_0$	V_y		V_0		
$A_{n=60}$	\bar{X}	2.5098	.5413	.9681	1.5417	2.8465	.1007	2.4689	41.03	3.7740	75.5283
三 次 試 跳	S. D	.1357	.0341	.1691	.1869	.2759	.0655	.1648	3.2220	.2401	11.4111
$B_{n=20}$	\bar{X}	2.5590	.5379	1.0311	1.5280	2.8437	.0894	2.4706	40.98	3.7720	71.4250
最佳之 一 跳	S. D	.1303	.0325	.0936	.1140	.1883	.0654	.1822	2.9643	.1720	6.7322
$C_{n=20}$	\bar{X}	2.5245	.5411	.8826	1.6420	3.0169	.1099	2.4512	39.23	3.8970	83.4450
重心位 移最遠 之一 跳	S. D	.1328	.0374	.2025	.2009	.2581	.0592	.1659	2.7972	.2492	6.1188

單位： 公尺 秒 公尺 公尺 公尺/秒 公尺 公尺/秒(度)° 公尺/秒 (度)°

註：第(3)項是起跳時重心點至腳尖點 $G_0 T$ 的投影與着地時重心點至腳跟點 $G_1 H$ 的投影之和

第(10)項着地角度係 $\tan^{-1} \frac{y_G - y_H}{x_G - x_H}$ (參圖七)

第一節 影響立定跳遠成績的因素

本文由上述立意分組 (purposive selection) 的結果，以 F 比例分配 (Fratio

distribution) $F = \frac{SD_1^2}{SD_2^2}$ 做變因素分析。其主要意義在：從檢討分配情形中獲知投

射過程各因素的差異，以便瞭解影響立定跳遠成績的因素。不以不同成績的受測者做為取樣分組的對象；而以各人所表現不同成績的試跳次別做為分組的依據，在分析上可以避免混入各人能力的個別差異因素，使問題單純化。同樣的被測者，在多次的試跳中，各變因皆不可能全等，根據他們不同成績的試跳次別加以組合比較，可以探討羣體中成績差異的共通因素。將表一諸值做 F 比例檢定的結果，如次表所示：

表二 A. B. C三組之F檢定值

(1) (2) (3) (4) (5) (6) (7) (8) (9) (10)

各項因素 比較組別	立定跳 遠距離	飛程所 耗時間	G ₀ T G ₁ H 投影之 和	重心水 平位移 距離 (1)-(3)	水平分 速度 V _x	重心垂 直位移 距離 y ₁ -y ₀	垂直分 速度 V _y	跳躍角 度 φ	跳躍初 速度 V ₀	着地角 度
A-B	F = 1.08	1.10	*** 3.26	*** 2.68	** 2.15	1.00	1.22	1.18	1.95	* 2.87
B-C	1.04	1.32	*** 4.68	*** 3.10	* 1.88	1.22	1.20	1.12	2.10	* 1.21
C-A	1.04	1.20	1.43	1.15	1.14	1.22	1.01	1.33	1.08	*** 3.47

N_A = 60, N_B = 20, N_C = 20. 顯着水準 * .10 F_{15,19} = 1.86, F_{40,19} = 1.73.,
 ** .05 F_{50,19} = 2.00 *** .025 F_{15,19} = 2.62, F_{40,9} = 2.33., .01
 F_{16,19} = 3.12, F_{50,19} = 2.70., .005 F_{15,19} = 3.59, F_{40,19} = 3.11.

從表二的結果可以分析得下列幾點：

1. 表二(1)的結果顯示測驗條件的一致性，足徵本測驗的信度。
2. 此 20 人，60 次試跳，平均跳躍角度為 41.03°；而成績較好的一次試跳平均角度為 40.98°。若就單純的投射運動而言，其重心水平位移距離較遠的一次試跳，跳躍角度為 39.23°。
3. 立定跳遠在這三組中顯示：它們在(2)飛程耗時、(6)重心垂直位移距離、(7)垂直分速度、(8)跳躍角度等，均無分配上的顯着差異。
4. 在(5)水平分速度、(9)跳躍初速度方面有差異；而在(4)重心點水平位移距離、(3) G₀ T與 G₁ H 投影之和、(10)着地角度等三項，在分配上差異極其顯著。

在理論上，投射角度取決於作用力在垂直與水平方向分加速度比配的結果。假設投射的力量不變，增加水平方向的分加速度，可導致投射角度的減小，水平分速度的增加，投射速度增大；但飛程時間却因垂直分速度減小，飛躍高度減低而較短暫。換言之，若增加垂直方向的分加速度，可使飛躍高度增加，飛程時間延長，然而却使水平分速度減小。兩權利弊，欲得投射運動有較遠的投射距離，應有其最適之投射角度。

本研究經上列實驗，比較這 20 人最佳之一次試跳（表一B組），與重心水平位移最遠之一次試跳（C組），發現：水平分速度 V_x 的增大誠使跳躍角度 φ 減小〔見表一

(8) 〕、投射初速度 V_0 增加〔表一(9)〕；並發現重心水平位移的距離，C組確比B組為佳（經 t 檢定 $t = 4.2276 > t_{.001} = 3.591$ ），與理論符合。

然而較長的水平位移距離，在本實驗所獲的結果，並未使該次試跳有較佳成績〔見表一(1)〕。足證立定跳遠成績主要的影響因素，對於同樣的這些被測者而言，並非水平分速度所導致的這一連串的改变。

因此，根據前述分析（第4項）的結果再假設影響立定跳遠成績的因素，可能發生在：①起跳時重心點至足尖點 G_0T 的投影，或②着地時重心點至足跟點 G_1H 的投影，這兩段距離中。（參圖七）

不過， G_0T 的投影 $x_{G_0} - x_T$ 為被測者 G_0T 的長度與身體對地面傾斜角度 θ 的餘弦值 $(\cos\theta)$ 所決定， $x_{G_0} - x_T = |G_0T| \cos\theta$ 。在本實驗中，投射角度 ϕ 較小的C組，應有較小的身體傾斜角度 θ ；由於 G_0T 係常數，因此C組亦應有較大的投影值 $|G_0T| \cos\theta$ 。換言之，對於C組立定跳遠的成績應更有利。可是從表一(1)B、C兩組立定跳遠距離的比較，顯見與事實不合，①項的假設應予摒棄。從而再推定影響立定跳遠的成績，最主要因素在着地時 G_0H 的投影 $x_H - x_{G_1}$ 。

第二節 着地技術的檢討

為證實前節所推定的原因，本篇將B、C兩組着地時重心點至脚跟點 G_0H 的投影 $x_H - x_{G_1}$ 整理得：

組別 因素	B組、最佳之一次試跳	C組、重心水平位移最遠之一跳
G_0H 的	$\bar{X} = 22.8150$	9.22
投 影	SD = 7.5814	17.5811

這個結果經 t 檢定，得知有很顯着差異（ $t = 4.23 > t_{.001} = 3.591$ ），足證前節之推論正確。

為進一步檢討造成這個差異的原因，以做為着地技術的參考，本篇復將錄影所量得的身體角度整理如次表所示：

表三 着地時身體各部角度

		(1)	(2)	(3)	(4)
參數 組別	各項因素	軀幹與大腿角 度 θ_3	大腿與小腿 角度 θ_4	小腿與地 面角度 θ_5	軀幹與地面 角度 $\theta_3 - (\theta_4 - \theta_5)$
	B組	\bar{X} S.D	49.7500 14.2870	133.7000 15.1244	117.0250 11.6827
C組	\bar{X} S.D	49.6750 13.5824	117.0500 26.2247	98.0750 27.6016	28.7250 13.6550

註：角度測量參第三章第一節

第(4)項除了可參考軀幹前屈情形外，在重心測量時，可幫助軀幹在測量板上固定。

為瞭解羣體中分配上的差異，將表三B、C兩組的各項因素做F檢定得次列結果：

		(1)	(2)	(3)	(4)
F值 比較組別	各項因素	θ_3	θ_4	θ_5	$\theta_3 - (\theta_4 - \theta_5)$
	B-C		1.1000	3.0000 *	5.0300 **

由此可知，着地技術的主要差異在膝角度、小腿與地面角度，換言之，即腿部是否向前伸展。

從上列分析結果可知，着地時的技術對於立定跳遠成績而言，具有決定性。成績較好的試跳，確在着地時有較佳的技術，可另從這些被測者G₁H的投影值分佈的範圍(Range) 62.4公分(-21.2~41.2cm)得到參考。

為考驗本研究所採的抽樣(20人)是否具代表性，本實驗另從未做錄影測量的72位師大體育系男生實施測驗結果，(距離 $\bar{X} = 2.5170$ 飛程耗時 $\bar{t} = .5490$) 與 $SD_x = .1348$ $SD_t = .0386$

原來之樣本（20人）〔表一A(1)、(2)〕做比較，發現他們幾無差異，應屬同一母全體（Population）者。

日人小林（1962）曾以全國平均值（立定跳遠、垂直跳、身高、體重）推測得立定跳遠跳躍角度在 $35\sim 40^\circ$ 間。本篇根據原來樣本，20人60次試跳所得的①重心垂直位移差值 $y_1 - y_0$ ，②起跳與着地時 $G_0 T$ ， $G_1 H$ 投影值得二平均值，來考察未做重心測量的72人216次試跳的結果，得：

$$V_x = 2.8213 \text{ m/sec}, V_y = 2.5067 \text{ m/sec}, \theta = \tan^{-1} .8885 = 41.6^\circ$$

與小林氏所推測者不同。（註一）

第五章 結論與建議

從本篇研究可以發現，人體投射運動的研究，有賴精密的時間與位置關係的建立，才可得到精確的瞭解。本篇研究使用的方法與步驟，使所得結果與理論均無矛盾之處，足證為精密、可靠的方法。筆者深信，在操作效率與經濟性上，亦能為一般所接受，盼有助於研究其他的人體投射運動。

從本篇研究以立定跳遠實驗的結果，平均跳躍角度為 41.03° ，而較理想的跳躍角度應小於此值。對同樣的受測者而言，影響立定跳遠成績的主要因素，並非在於水平分速度的增減；水平位移最遠的該處試跳並未使該跳成績得到更佳的表现。由本篇研究顯示，着地技術在立定跳遠成績上具有決定性，且其主要差異在下肢的伸展程度。筆者深信這個結果可供田賽急行跳遠與三級跳遠着地技術的參考。

利用本篇的研究設備與方法，多次的反覆測驗，可以探討投射運動的理想角度，這也是時、空關係精密地建立下才可以達成的。本篇因時間上的不許可，故未嘗試。只從這20位受測者60次試跳中，得到一個概略的趨勢（見第四章第一節結果分析第2）。至於器械的投擲研究，因可免繁瑣的重心測量，可參考本篇方法另行設計較簡便的方式。

由本篇研究，筆者建議：應用座標系研究投射運動時，最好將投射方向設計在X軸右方，在量數的處理上較方便。採用本篇所敘方法研究人體投射運動，可用電源控制自動照相（快門越快越精確），只需拍攝起跳時與着地時各一張照片即可，做為實施身體重心點測量的根據，（參第三章第一節、第二）；另將動作現場背景佈置座標紙。這樣在實驗操作程序或經費上將更經濟。

註：小林一敏；高校體育理論「運動の力學」とキネシオロジー，體育の科學十二卷十二號，
P. 651 - 655, 1961