

從投物線原理探討影響跳高之 Performance的要件

吳賢文 撰

壹、緒 論(研究動機與目的)

跳高方式之多次演變，由剪式(Eastern style)或正面跳(Front Jump)→側滾式或背滾式(Western Roll or Roll over or Halgdiver)→腹滾式(Belly Roll)→背向式(Fosbury Flop or Head First style)，而成績也一再之突進，男子由西元1864年英選手庫機所創之1.54公尺，進步至今的2.36公尺(註一：中2P166;3P56)，其間成績的演變，必然與運動科學的發達、選手條件的重視、訓練法(Training)及教練法(Coaching)的創新、環境因素之提升、比賽規則與方法之更新等因素有關(註二：中12L期70.1)，然最簡單的說法，即與跳高方式之改變有直接相關；諸如：世界跳高紀錄，男子由1914年美國比索，以背滾式跳過2.02公尺後，直至1940年，近30年中每年均由背滾式跳者保持這項之世界紀錄，到了1941年，才由美國史蒂雅士，以腹滾式跳過2.11公尺，創下當時之世界紀錄，其後幾乎是腹滾式跳者稱雄的時代，至1973年，才由美國史東斯，以獨特新奇之背向式跳過2.30公尺，並創下世界紀錄，此後，跳高界，引起了極大的激盪，尤其跳高方式之選擇，衆說紛紛(特別是腹滾式與背向式)(註三：外1P19)，因此引起筆者對跳高運動之探討發生了極大的興趣。

又因筆者從事田徑教學與訓練十數年，並有幸擔任運動力學一科之教學，前年感於所學、所用有限，申請赴日本中京大學進修體育二年，更有機會對田徑運動訓練與教學，以及運動力學方面予以作進一步的研修，當時即欲以切身而實際之若干問題着手予以研究，為此，首先想到的便是從力學之觀點為起點，來研究跳高運動之種種，但如是這樣，研究之範圍可能較廣泛而無從動手，且不能深入化，所以就想應該用一種最簡單又合理、有效之方式來研討它才是，經有關文獻之整理剖析，筆者認為跳高運動，在運動學(Kinematics)的立場來看，本來是一投物運動的結構，而其Performance之優劣，決定於跳高橫桿上之投物(人體)的高低，因此從投物線原理，予以探討跳高運動，將不失為一良法，鑑於此，就決定依「投物線原理探討影響跳高之Performance的要件」為方向，予以鑽研，如此，也許借

此研討結果，對田徑跳高運動之推展與進步有所助益。

其次，又感於國人對背向式的跳高方法特別有興趣，其原因所在？也欲於主題之研討中，作不離題的予以剖析，想給予學習背向式跳高之運動員，能不僅知其然，而且知其所以然。當然在背向式跳高之研討中，也對腹滾式跳高予以一併提出討論，使能對時下議論紛紛之兩種跳高方式（即腹滾式與背向式）有個更深之認識，進而供選擇適合個人之跳高方式的依據，並使創造佳績。

爲此，本研究的最終目的，乃祈經本研究之結果，有助於提高田徑跳高運動之水準。也更望能假以本研究之方法與態度，促使運動員、教練（教師）有一求「知」之堅強意念，以及求「行」之方法與趨力，而對各項運動之推展與進步有所幫助，亦爲己願也。

貳、相關文獻探討

一、與跳高助跑、起跳準備有關：

(一)東德女子腹滾式跳高選手艾克曼（1977年世界盃田徑賽，以1.98公尺獲冠軍），其助跑距離約6步，而背向式跳高則因須充分利用速度，需8~12步以上（註四：中1 P 45）。

(二)助跑速度，背向式採用急迫步及增加助跑距離，以求高速助跑，而利於起跳向上的需要，顯然係 P （動力）= V （速度）× F （肌力），以及 $f = \frac{mv^2}{r}$ 的力學應用，而腹滾式係採用彈躍步作中速助跑（僅最後一步稍快）……而增加功距（指起跳動作之三關節“踝、膝、髖”適切屈伸），以利產生向上垂直分力（註五：中1 P 46）。

(三)腹滾式助跑，逐漸加速跑7—9步，助跑方向爲35°~40°。起跳準備，最後幾步，身體重心下降，兩腿彎屈同時增大步幅，每一跨步，要明顯而且大，倒數第二步，腳要彎屈，致使起跳腳幾乎碰到地上而跨出最大的一步（註六：訊1 P 45）。

(四)背向式助跑，其步數7—9步或11步，快速度跑，通常開始跑直線，最後二、三步跑弧線。步幅比腹滾式短，腳跟着地動作不明顯。起跳準備，起跳腳沿跑的路線，接近與橫桿平行，兩臂自然地做準備起跳動作，身體稍爲向後傾（註七：訊1 P 50）。

(五)根據日本金原、三浦兩氏在1966年之實驗報告說：「助跑距離愈長，助跑速度愈快，則起跳腳之力量也愈大，起跳時間也愈短」，這一個事實和：

$$V \text{ (速度)} = \frac{2 \times h \text{ (起跳的垂直距離)}}{t \text{ (起跳時間)}} \quad \text{公式所表示的意思是不謀而合。兩氏也認爲「當$$

一位跳高選手助跑7步時，其起跳腳踢地的力量，平均起來約本身體重的4—5倍」（註八：中2 P 177—178）。

(六)背向式跳高助跑，如產生最後助跑數步過分大轉，或且是弧線太小等動作，而這些動作經常會產生下面結果：「太近橫木起跳」、「太遠橫木起跳」、「接近橫木之角度太小」

、「接近橫木角度太大」……等，至於圓弧之半徑之決定，半徑大小應視助跑快慢而決，通常助跑速度愈慢者半徑愈小，反之則反（註九：中 2 P 191 - 192）。

(b)助跑速度不能太快，依據蘇俄田徑教練戴阿吉可夫（Dyatchko）的理論，他提出直線速度增加 $0.1\text{m}/\text{sec}$ 時，起跳腿壓地面的力量增加 26 ~ 35 磅，能提高跳高高度約 3.5 公分。他訓練布魯梅爾（Valeriy Brumel）之助跑速度為每小時 15.65 公里（ km.p.h ）。若助跑速度太快，則發生下列缺點：

- 1 向前速度太大，身體重心向前移，上體傾斜度加大，重心超過支持點太多，起跳時之蹬足力量則被分散，而且各關節（起跳腳）在重心之後，不容易發揮力量。
- 2 向前速度太大，則蹬足予備起跳的動作無充分時間發揮其能力。
- 3 跳高助跑之向前速度增加，而向上速度不變，合力不會改變，對高度沒有幫助。（註十：中 4 P 123 - 124）。

(c) 每一位跳者都有一定的助跑速度，若超過個人的助跑速度，起跳效果會破壞，而破壞程度隨人而有很大差異，主要原因為肌力和內在肌肉速度之差異。……助跑最後一步，身體應下振，增加工作距離（註十一：中 4 P 124）。

二、與跳高起跳有關：

(一)腹滾式跳高起跳時，起跳腳儘量向前跨，並以後腳跟着地……。背向式跳高起跳時，起跳動作快，起跳腳之彎屈較腹滾式小，前導腿彎屈向上提……（註十二：譯 1 P 45 - 50）。

(二)背向式跳高起跳點約距橫木 60 - 100 公分之處（註十三：中 2 P 192）。

(三)起跳（註十四：中 4 P 127 - 130）：

1 獲得最大垂直速度：

- (1)跳高者起跳的動量，等於反方向地面施予的動量變化。
- (2)起跳腿穩固支撐，開始時起跳腿之腓腸肌、比目魚肌等伸肌張力產生最大有力之動量——離心收縮，因此起跳腿需要強大的肌力配合，否則會破壞擺腿和雙臂產生的加速度。
- (3)起跳愈直立，拋物線愈高。要使拋物線加高，擺腿和雙臂要加速度，幫助起跳腳之垂直起跳，所以起跳腿接近 90° 角起跳，尤須特別強調。
- (4)好的跳高選手，起跳時所用的速度已建立許多角動量，作為以後伸展過桿之用。
- (5)為了獲得整個擺腿在所希望的垂直方向上能有最大加速度，擺腿要伸直，並迅速用力的往前上方擺振。
- (6)當全身各部位之加速度在充分之運動範圍內發生時，才能建立最大垂直速度。同時，運動必須儘可能同時發生，不要中斷，否則起跳腿在離地前，擺腿和雙臂會失去速度。
- (7)跳者在身體重心達到最高點時起跳，才能獲得最大利益，離地的刹那，起跳腿和軀幹仍須完全垂直伸展。

(8)為求得最大之垂直速度，地面之蹬地向上力量，必須經過跳者重心。

(9)起跳地面必須堅硬。

2 獲得之旋轉。

四起跳的重心高度影響跳高成績很大，因此跳高應儘可能將它提高。依據柏摩爾 (Palmer) 的看法：「認為正常站立姿勢的重心高度在腳底上面 40-65 吋處。若起跳時，腳趾尖抬高，身體重心則可昇高 7 吋，擺腿及雙臂的擺動，又可提高 8 吋，所以起跳時之身體重心離地面 55-65 吋。」因此起跳的重心之抬高，無疑是桿子高度的降低，身體過桿便省力，獲得最佳成績 (註十五：中 4 P 130)。

(五)體重 160 磅之跳高者，起跳時給予地面之重量有增加 600 磅以上之可能，為此跳躍腳在幾分之 1 秒之中，沒有支持此 600 磅之強力之可能是不行 (註十六：外 6 P 101)。

(六)根據力學的公式： H (跳躍高度) = $\frac{V^2 \text{ (初速度}^2\text{)}}{2 \times g \text{ (重力加速度)}}$ ，可知：人體要跳得很高，是由起跳腳離地瞬間時，重心的速度大小，和跳躍方向，以及當時重心之高低而決定 (註十七：中 2 P 178)。

三、與跳高空中動作有關：

(一)運動員離地面 (例如跨欄、跳高、跳遠等) 浮於空中，有不同二種類之速度，加之於身體上，其一為「水平速度」，另其一「垂直速度」 (註十八：外 6 P 28)。

(二)跳高，不論何種跳躍方式，理想之方法，是跳躍之最高點時，身體某些部分在橫桿之下 (腹滾式和背向式之過桿時，都可能使重心儘量接近橫桿)……腹滾式運動員，跳 6 呎 (1.82 公尺)，只提高重心 6 呎 1 吋 (1.85 公尺) 即可，亦即重心接近橫桿也 (註十九：外 6 P 34、35)。

(三)投物線，運動員離地被投射出空中瞬間，已決定了運動員之重心在空中之軌道。這情況在跳躍運動、跨欄中最明顯。而就離地面時的往前上方的合成速度和重力，去依運動員之重心去追尋投射線。運動員離地面時，軌道的角度 (飛行曲線)，由水平方向和垂直方向二速度合成。跳躍途中，水平方向的速度成分 (風之抵抗不計)，是不受他力之影響，重力次第地將垂直方向之速度減少，直至零為止，接著之過程，作相反之進行，即運動員的身體是作與離地時完全相同角度和速度的着地，其結果，飛行曲線是完全的成為投物線 (註二十：外 6 P 36 ~ 37)。

(四)投物線之距離 (從起跳到着地之距)，是由助跑速度決定，高度是由起跳之跳躍力來決定。為此，跳高運動員是作高而淺 (從起跳到着地之距較短)，跨欄運動員和跳遠的運動員將成較低而深的投物線 (註二十一：外 6 P 37)。

(五)運動員被投出空中，身體欲作怎樣之動作去改變重心軌道將不可能，此乃物理學上之法則。然依體位變化而改變重心位置是能夠，因重心在身體之何部位，又作不同的程度之改

(表一之一)

說明 數值	男子被檢者	記 錄	助跑速度 m/s	初 速 度 m/s	水 平 初 速 度 m/s	垂 直 初 速 度 m/s	跳 躍 角 度	起跳時間 sec	垂直初速度×100 助跑速度 %	後傾角度 度	提 振 角 度 度	起跳一步 前 步 幅 m
	1 MA (B)	200	6.44	4.59	3.00	3.48	49.10	0.22	54.0	51.4	91.7	2.38
	2 SA (F)	200	8.06	5.28	3.87	3.60	43.00	0.20	44.7	47.3	74.3	2.11
	3 MO (B)	200	6.30	4.60	2.91	3.56	50.40	0.18	56.5	49.3	109.9	2.01
	4 UC (F)	200	7.89	5.41	3.90	3.75	43.50	0.14	47.5	53.0	72.4	2.19
	5 MA (B)	205	6.30	4.96	3.32	3.69	48.00	0.22	58.6	55.4	80.4	2.32
	6 MO (B)	205	6.22	4.86	2.98	3.84	52.10	0.22	61.7	52.1	98.8	2.09
	7 MA (B)	210	6.14	4.83	3.07	3.73	50.30	0.20	60.8	58.5	78.8	2.42
	8 MO (B)	210	6.92	4.82	2.85	3.89	53.50	0.20	56.2	55.5	92.1	2.07
	9 MA (B)	215	6.23	4.78	2.96	3.76	51.50	0.22	60.4	54.7	82.4	2.44
	10 MA (B)	219	6.28	4.87	2.87	3.92	53.10	0.24	62.4	52.1	83.4	—
	平 均		6.68	4.90	3.18	3.72	49.37	0.20	56.3	52.9	86.4	2.23
	S D		0.68	0.25	0.38	0.13	3.52	0.03	5.71	3.09	11.1	0.16

※B代表腹滾式跳高；F代表背向式跳高。

※跳躍角：即起跳腳從地面離地瞬間，腰移動之方向和水平面所成之角度之謂。

說明 數值 女子被檢者	記 錄	助跑速度 m/s	初速度 m/s	水平初 速度 m/s	垂直初 速度 m/s	跳 躍 角 度	起跳時間 sec	垂直初速度 助跑速度 $\times 100$ %	後傾角度 度	提 振 脚 角 度	起跳一步 前步幅 m
1	SU (F)	6.57	4.76	3.51	3.22	42.30	0.20	49.0	57.0	83.5	1.81
2	SO (F)	6.27	4.71	3.44	3.22	43.10	0.16	51.4	58.9	72.3	2.29
3	AZ (F)	6.42	4.79	3.55	3.22	42.10	0.16	50.2	58.7	80.2	1.92
4	SU (F)	6.38	4.53	3.27	3.14	43.50	0.16	49.2	60.3	71.5	1.86
5	SO (F)	6.06	4.83	3.46	3.38	44.20	0.16	55.8	60.0	61.2	1.87
6	AZ (F)	6.25	4.71	3.31	3.36	45.30	0.16	53.8	56.4	75.5	2.02
7	HA (F)	6.37	4.86	3.57	3.31	42.50	0.20	52.0	60.6	75.4	1.67
8	YA (F)	6.82	4.95	3.57	3.44	44.00	0.18	50.4	52.8	72.1	1.99
9	SA (F)	6.72	4.81	3.44	3.37	44.20	0.18	50.1	54.6	67.4	1.75
10	SU (F)	6.44	4.85	3.41	3.46	45.20	0.18	53.7	60.1	68.6	1.58
11	SA (F)	6.85	5.06	3.74	3.42	42.30	0.18	49.9	52.4	79.2	--
12	IN (F)	6.35	4.97	3.49	3.54	45.20	0.18	55.8	52.3	77.1	1.93
13	HA (F)	0.58	4.94	3.43	3.55	46.00	0.20	54.0	52.2	70.2	1.77
平 均		6.47	4.82	3.47	3.36	43.58	0.18	51.9	56.6	73.4	1.87
S D		0.22	0.13	0.11	0.12	1.24	0.014	2.32	3.25	5.7	0.18

參、名詞解釋

一、Speed :

指快慢而言，即日文的速さ，乃指 scalar 量，只是大小之問題。

二、速度 (Velocity) :

簡稱 V，日文稱之速度，乃位置之時間的變化率（註二十九：外 4 P 206），指 Vector 量，不僅大小之問題，還有方向量的問題存在，亦即一速度之發生，並不只單純之一種速度，其實它有所謂之垂直分速與水平分速之伴隨作用，而此垂直分速或水平分速，即所指之 Vector 量。

三、加速 (Acceleration) :

簡稱 A（或 a），乃速度之時間的變化率（註三十：外 4 P 206），亦即：

$\frac{\text{速度的變化}}{\text{時間之變化}} = \text{加速度}$ ，公式代之，即 $a = \frac{V_x - V_o}{t_x - t_o}$ 。

四、水平速度 (Horizontal Velocity) :

水平方向（向前）的速度（註三十一：外 6 P 149）。

五、垂直速度 (Vertical Velocity) :

垂直方向（向上）的速度（註三十二：外 6 P 149）。

六、質量 (Mass) :

構成物體之物質質量（註三十三：外 6 P 148）。

七、地面之反作用力 (Ground Reaction) :

即加於地面一力，則從地面上起一等量之反動力（註三十四：外 6 P 148）。

八、力積 (Impulse) :

力積 = 力 (F) × 時間 (t)（註三十五：外 6 P 150），以跳高為例，乃指起跳時，起跳脚着地到起跳離地之時間為 t，起跳蹬地之力為 F（即 $F = m \cdot a$ ），而其起跳離地之方向力為力積之表現。

九、運動量 (Momentum)

簡稱 M ， $M = m$ (質量) $\times V$ (速度) (註三十六：外 6 P 147)。

十、功 (Work)：

即工作量，簡稱 W ，亦即 $W = F$ (變位所用之力) $\times S$ (變位之距離) (註三十七：外 3 P 15)。

十一、功率 (Power)：

簡稱 P ，即指在單位時間內，所作之工作量，乃即 $P = \frac{W}{t} = \frac{F \times S}{t} = F \times \frac{S}{t}$ ，亦即 $P =$

$F \times V = m \times a \times V$ ；以跳高為例，即指起跳脚着地開始至離地時，重心提高，單位時間所作之工作量，或身體重心在起跳開始至最高點之距，單位時間所作之工作量，公式為之，則

為 $P = \frac{F \text{ (體重)} \times S}{t}$ ，亦即時間愈短，所作單位工作量愈大，易言之，即身體提升至高點

之工作率而言 (註三十八：外 3 P 15)。

十二、慣性 (Inertia)：

對運動變化之抵抗 (阻力) (註三十九：外 6 P 148)。

十三、運動的軸 (Axis of Movement)：

在空中的身體的軸，此軸通過重心。在此軸作旋轉中，發生動作時，其重心之反對側，則產生等量之反對反向的動作 (註四十：外 6 P 147)。

十四、偶力：

運動的軸，在作旋轉運動中，會發生偶力，此偶力乃指一物體以 O 為圓心， A 與 B 為圓周上之二點 (兩點通過圓心成一直線)， A 向東南， B 向西北 (方向不同)，二力相等而平行，則此該物體在原地旋轉 (註四十一：中 6 及中 3 P 62)。

十五、運動量之軸 (Axis of Momentum)：

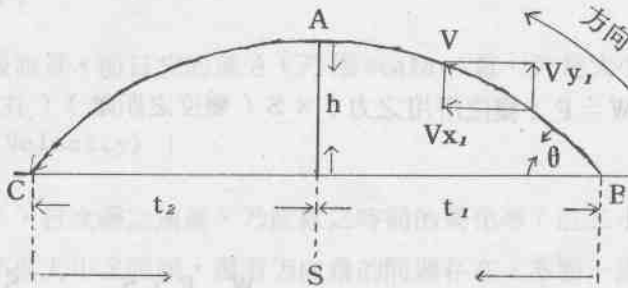
在空中的旋轉體之軸，此通過重心。旋轉體接觸地面為止，這軸的回轉時，所有部分作同一方向的旋轉 (註四十二：外 6 P 147)。

十六、離心力 (Centrifugal Force)：

又稱遠心力，簡稱 $C. f$ ，即作旋轉運動時，拉引向外之力 (註四十三：外 6 P 147)。

十七、投物運動：

(一)投物運動之結構：(註四十四：外5 P 75)



(二)投物運動有關名詞解釋：(註四十五：外8)

1. V 為運動初速，亦即 V_{y1} 與 V_{x1} 之合成初速，也即運動方向之初速。
2. V_{y1} 為 V 之垂直初速成分，但此 V_{y1} 到 A 點後，垂直速度 (V_y) 即成零，亦即 $V_y = V_{y1} - gt_1 = V \sin \theta - gt_1 = 0$ 。
3. V_{x1} 為 V 之水平初速成分。
4. t_1 為由 B 到 A 之所需之時間，即 $t_1 = \frac{V \sin \theta}{g} = \frac{V_{y1}}{g}$ ，因垂直初速成分喪失時，即下降之時，故 $t_1 = \frac{V_{y1}}{g}$ 。
5. t_2 為由 A 到 C 所需之時間，或由 A 點落下地平面所需時間，在投物線運動中， $t_2 = t_1$ ，也即 $h = \frac{g(t_2)^2}{2}$ ，換言之， $t_2 = \sqrt{\frac{2h}{g}}$ 。
6. t 為投物線之所需時間，亦即 $t = t_1 + t_2 = 2t_1$ ，換言之， $t = \frac{2 V \sin \theta}{g}$ 。
7. S 為投物線之水平距離 (B 至 C 之水平距離)， $S = \frac{V^2 2 \sin \theta \cdot \cos \theta}{g}$ 。
8. h 為投物線之最頂點到地平面之垂直距離，即 $h = \frac{g(t_2)^2}{2} = \frac{V^2 \sin^2 \theta}{2g}$ ，此乃因物體離地之動能 (KE)，等於 $1/2 \times m \times V^2$ ，而 V/g 秒後動能等於零，而位能 (PE) 等於 $m \times g \times h$ ，而在空氣阻力等不計之下， $PE = KE$ ，即 $1/2 \times m \times V^2 = m \times g \times h$ ，所以 $h = \frac{V^2}{2g}$ (此乃沒有偏角之情況)。
9. g 為重力加速度， $g = 9.8 \text{ m/sec}^2$ ，地球上之所有物體，不論運動時，或停止時，常向著地球中心，接受拉向地球之作用力，這力便是重力 (Force of gravitation)，由於只這重力，就能使物體產生加速度，而重力加速度 g 與物體之種類、形狀、大小無關

，在地球任一地方，其約一定（註四十六：外 3 P 13）。

10. θ 為投物之仰角。

十八、位能與動能(Potential energy and Kinetic energy)：

位能 (PE) 與動能 (KE)，統稱力學 energy (註四十七：外 9 P 129 - 130)。
位能只占有位置，表示能工作之能力之謂，其與位置之高低與重量之大小成正比，即 $PE = mgh$ 。動能 (KE) 則為一定的速度在作運動之物體，作工作之能力，即 F (變位之力) $\times S$ (變位之距) 之能力，也即 $KE = 1/2 mV^2$ (註四十八：外 3 P 16)，此乃因物體如移動時，摩擦力不考慮時， $F \times S$ 就等於 $1/2 mV^2$ ($\because F = ma, V^2 = 2as, as = \frac{V^2}{2}, \therefore F \times S = mas = 1/2 mV^2$) (註四十九：外 5 P 133)。

肆、研究方法與步驟

一、研究方法：

採用數理研究分析法。

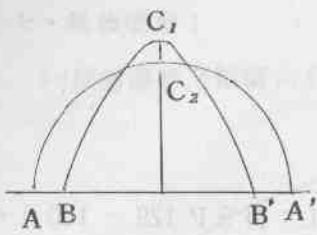
二、研究步驟：

- (一) 決定研究主題。
- (二) 擬訂研究計畫。
- (三) 搜集資料。
- (四) 共同討論。
- (五) 資料整理及分類。
- (六) 研究開始：
 1. 計算及統計。
 2. 討論、分析。
 3. 總結。

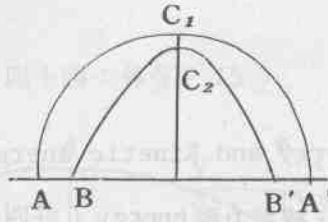
伍、討論與分析

一、跳高運動之動力型與速度型之投物線

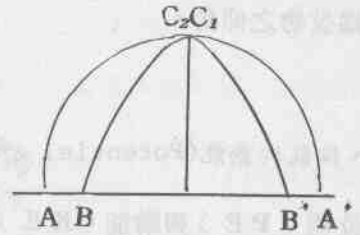
所謂動力型，即投物曲線成高而淺的情況；而速度型，則投物曲線成低而深之情況。在跳高之場合，於不同跳躍角與不同初速度（水平初速與垂直初速之合成）之下，則分別會產生動力型或速度型之不同的投物曲線（如圖一、二、三）。詳言之，即不同跳躍角與不同初速度（水平初速與垂直初速之合成），而不同跳高之 Performance 之情況，如圖一、二、



(圖一)



(圖二)



(圖三)

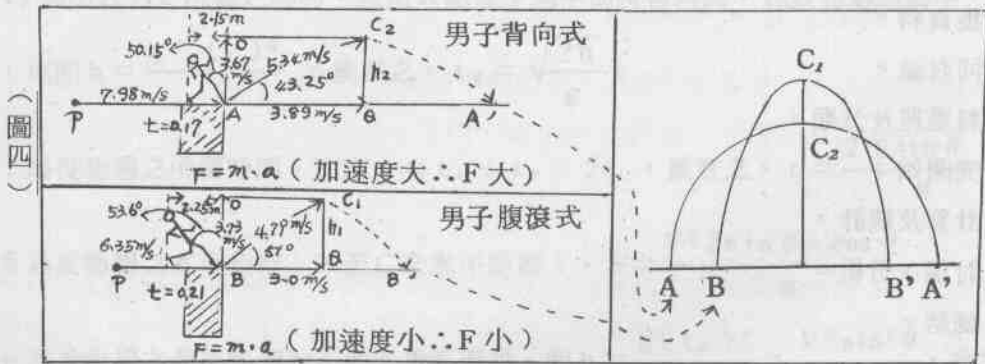
而不同跳躍角與不同初速度，其跳高之 Performance 相同的情況，如圖三。然筆者根據1974年國際室內跳部大賽名古屋大會之跳高分析，發現腹滾式跳高即為動力型之投物曲線的跳高方式，而背向式跳高則為速度型之投物曲線的跳高方式（註五十：外7 P 16 - 17）。為此今欲探討背向式與腹滾式跳高之種種，由此投物線之發生與過程及結果去逐一剖析，必然會有一個良好的答案，而且對同方式的跳高，依所產生的不同的投物曲線（如圖一至三），去做同樣的研析，也可找到其所以這樣的原因。基於此，以下對跳高所造成的圖一至圖三之投物曲線，予以解析如下：

(一)圖一之實例統計表列、圖解、計算（註五十一）：

1 表列：（如表二）

2 圖解：

(1)圖示（如圖四）：



(2)說明：PA、PB：助跑速度， $PA > PB$ 。

AO、BO：起跳後之垂直速度成分， $BO > AO$ 。

AQ、BQ：起跳後之水平速度成分， $AQ > BQ$ 。

AC_2 、 BC_1 ：起跳後之初速度， $AC_2 > BC_1$ 。

h：跳高高度， $h_2 < h_1$ 。

AC_2A' 、 BC_1B' ：投物線之軌道，A至A'之距 $>$ B至B'之距。

■：代表力積，力積 = t （起跳時間） $\times F$ ，為起跳後之方向力。

表二、1974年國際室內跳部大賽名古屋大會之跳高分析

跳高方式	記錄	助跑速度	初速度	水平速度	垂直初速	跳躍角	起跳時間	$\frac{\text{垂直初速}}{\text{助跑速度}} \times 100$	後傾角度	提腿角度	起跳一步前步幅	投物線
男子	M 2.0	m/s 7.98	m/s 5.345	m/s 3.885	m/s 3.675	度 43.25	秒 0.17	46.1	度 50.15	度 73.35	M 2.15	速度型
背向式												
男子	2.08	6.35	4.79	3.00	3.73	51.0	0.21	58.83	53.63	89.69	2.25	動力型
腹滾式		0.24	0.13	0.15	0.15	1.9	0.02	3.0	2.93	10.68	0.18	
女子	1.66	6.42	4.82	3.47	3.36	43.58	0.18	51.9	56.6	73.4	1.87	速度型
背向式		0.22	0.13	0.11	0.12	1.24	0.014	2.32	3.25	5.7	0.18	

3 計算：

(1) 速度型 (背向式)：

(A) 圖示 (如圖五)

(B) 算法：

(a) 起跳 A 點至跳躍最高點

C_2 之時間：

$$t_1 = \frac{V_{y1}}{g} = \frac{3.675}{9.8} = 0.375 \text{ (秒)}$$

(b) 起跳點 P，與橫桿垂直面

之最理想距離：

(圖五)

$$S_1 = \frac{V^2 2 \sin \theta \cos \theta}{g} = \frac{5.345^2 \times 2 \times \sin 43.25^\circ \times \cos 43.25^\circ}{9.8}$$

$$= \frac{5.345^2 \times 2 \times 0.6852 \times 0.7284}{9.8} = 2.91 \text{ (公尺)}$$

$$S_2 = 1.036 \times \cos 85^\circ = 0.09 \text{ (公尺)} \text{ (註五十二：外 6 P 20)}$$

$$\frac{S_1}{2} + S_2 = \frac{2.91}{2} + 0.09 = 1.55 \text{ (公尺)} \dots \text{即起跳點 P 與橫桿垂直面之最理想距離。}$$

(c) 空氣阻力與跳者空中姿勢調整等不計，所跳過之高度：

$$h_1 = \sin 85^\circ \times 1.036 = 1.032 \text{ (公尺)} \quad (\because \sin 85^\circ = 0.996)$$

$$h_2 = \frac{V^2 \sin^2 \theta}{2g} = \frac{5.345^2 \times (0.6852)^2}{2 \times 9.8} = 0.68 \quad (\because \sin 43.25^\circ = 0.6852)$$

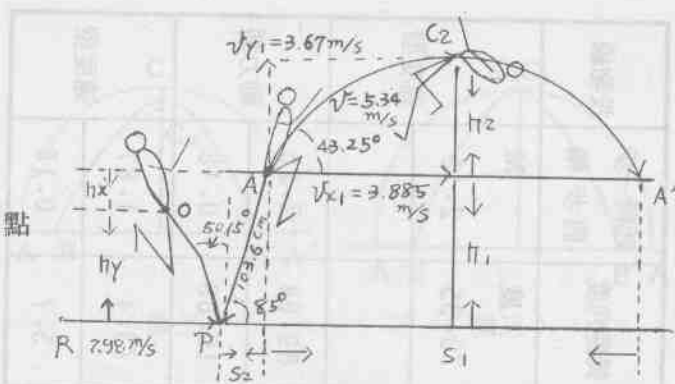
$$h_1 + h_2 = 1.032 + 0.68 = 1.712 \text{ (公尺)}$$

由以上計算的公式觀之，顯然在空中阻力與跳者空中姿勢調整等不計之下，跳高之 Performance 在同起跳後初速及同跳躍角之下，與起跳角及重心高成最大相關，而背向式一般之起跳角度為 85° (註五十三：外 6 P 70)，而世界優秀運動員之身高介於 190 公分左右 (註五十四：中 5 P 74)，換言之，重心為高 1.064 公尺，現如以此計之，則在同條件下，所跳過高度為 1.74 公尺，此亦即身高每增加 5 公分，餘同條件下，可增加 2.795 公分之跳躍高度。

(d) 所作之功 ($W = F \times S$) 及功率 ($P = \frac{W}{t}$)：

$$\text{① 起跳動作 (O 至 A) 0.17 秒中所作之功及功率：} \frac{hy}{1.04} = \sin (90^\circ - 50.15^\circ)$$

$$\therefore hy = 0.666 \text{ (公尺)}$$



假定：身高 185 公分、體重 75 公斤

重心高 $185 \text{ 公分} \times 0.56 = 103.6 \text{ 公分}$

$$h_1 + h_2 = 1.04 + 0.71 = 1.746 \text{ (公尺)}$$

同背向式之理由，將如身高提高 190 公分，則重心高為 1.064 公分，現如此計入，則在同條件下，所跳過高度為 1.774 公尺，此時即身高增加 5 公分，其餘同條件下，可增加跳高高度 2.8 公分。

(d)所作之功 ($W = F \times S$) 及功率 ($P = \frac{W}{t}$) :

①起跳動作 (O 至 B) 0.21 秒中所作之功及功率 :

$$\frac{hy}{1.04} = \sin(90^\circ - 53.63^\circ) \therefore hy = 0.617$$

$$h_1 - hy = 1.04 - 0.617 = 0.423$$

$$W = 75 \times 0.423 = 31.725 \text{ kg} \cdot \text{m}$$

$$P = \frac{31.725}{0.21} = 151.07 \text{ kg} \cdot \text{m} \cdot \text{sec}^{-1}$$

②起跳重心 B 至跳躍最高點 C₁ 之所作之功及功率 :

$$W = F \times S = \text{體重} \times h_2 = 75 \times 0.71 = 53.25 \text{ kg} \cdot \text{m}$$

$$P = \frac{W}{t} = \frac{53.25}{0.38} = 140.13 \text{ kg} \cdot \text{m}$$

4. 解析 :

(1)按助跑速度分析，以跑百公尺來計，男子背向式約 12.53 秒 (7.98 m/s)，跳高成績 2 公尺，腹滾式約 15.75 秒 (6.35 m/s)，跳高成績 2.08 公尺。然 1964 年 18 屆奧運跳高金牌得主布魯梅爾 (Valeriy Brumel)，採用腹滾式跳過 2.18 公尺，其助跑速度才 4.35 m/s (註五十七：中 4 P 123 ~ 124)，又依起跳後之水平初速 (背向式 3.885 m/s > 腹滾式 3.0 m/s)、垂直初速 (腹滾式 3.73 m/s > 背向式 3.675 m/s)、起跳時間 (腹滾式 0.21 秒 > 背向式 0.17 秒，而力積 = 力 × 時間，則起跳向上方向力，腹滾式 > 背向式)、跳躍角 (腹滾式 51 度 > 背向式 43.25 度)、起跳一步前之步幅 (腹滾式 2.25 m > 背向式 2.15 m)、以及 $\frac{\text{垂直初速}}{\text{助跑速度}} \times 100$ (腹滾式 58.85 > 背向式 46.1)……等和圖解之圖四來看，不難發見背向式屬速度型，而腹滾式為動力型。

(2)按助跑速度愈快，則起跳腳之力量也愈大之原理 (註五十八：中 2 P 177 - 178) 及直線速度每增加 0.1 m/sec，其起跳腿壓地面之力增加 26 ~ 35 磅 (註五十九：中 4 P 123)，則由背向式 (7.98 m/s) 比腹滾式 (6.35 m/s)，快 1.63 m/sec，今以 $\frac{26 + 35}{2} \times 16.3 = 497.2$ (磅) 計之，則起跳時，起跳腿壓地之力，背向式比腹滾式

多 497.15 磅，此也即背向式起跳易受傷之原因之一。

- (3) 發見跳者之起跳後之垂直初速、力積、跳者之重心高（身高）、起跳角等與跳高之 Performance 作絕對的正相關；像腹滾式跳高，僅以垂直初速 3.73 m/s 大於背向式之 3.675 m/s ，起跳時間 0.21 秒大於背向式之 0.17 秒（力積 = 時間 × 力量），則腹滾式實際跳過 2.08 公尺，背向式僅跳過 2.0 公尺，而當時水平初速，腹滾式 3.0 m/s ，小於背向式之 3.88 m/s 。又像跳者之身高（重心高），每增加 5 公分（重心高： $5\text{ 公分} \times 0.56 = 2.8\text{ 公分}$ ），同條件之下，跳高高度可增加 2.795 公分（起跳角 85° ），腹滾式則增加 2.8 公分（起跳角 90° ），此乃說明重心高（身高）與跳高之 Performance 成很大相關，另因起跳角之不同，重心高增加 2.8 公分，腹滾式就因起跳角 90° ，而比背向式（起跳角 85° ）增加 0.005 公分跳躍高度，所以不論那一種跳高方式，起跳腿起跳，以接近 90 度為最有利，也爭取有效之力積及垂直初速且儘量提高跳者重心高（註六十：中 4 P 127 - 130）；譬如選擇身高高者為跳高之成員，並要求跳者起跳時，將起跳腿伸直，起跳時二臂與擺腿上振等（註六十一：中 4 P 130）以提升重心。
- (4) 背向式起跳 A 點至 C_2 （腹滾式起跳 B 點至 C_1 ）所需時間，背向式 0.375 秒快於腹滾式 0.381 秒，此乃因腹滾式之垂直初速 3.73 m/s 大於背向式 3.675 m/s 所致，所以跳高垂直初速愈大，起跳後至最高點所需時間愈長，亦更能爭取有利之空中過桿之姿勢的調整，跳高之 Performance 更能提高。
- (5) 起跳點 P 與橫桿垂直面之最理想距離；在空氣阻力與跳者之空中姿勢不調整之下，背向式以 155 公分大於腹滾式之 114 公分，此也即背向式跳高成 $\widehat{AA'}$ 投物線（低而深），而腹滾式跳高成 $\widehat{BB'}$ 投物線（高而淺）之原因，也唯有這樣，才能便跳高投物線最高點 C_1 （ C_2 ）能位於橫桿上，而成理想的過桿動作。但由於跳高之 Performance，決定於高度之高低，而人之體位在空中可任意調整，而改變此投物曲線，使其儘量成為能提升跳高高度之高而淺之投物曲線（註六十二：外 6 P 37 - 38），如此也許起跳點 P，距橫桿垂直面之距離，可能縮短 55 公分以上（註六十三：中 2 P 192）。
- (6) 在世界頂尖之跳高競賽中，背向式跳高（跳者身高 190 公分，重心高為 $190\text{ 公分} \times 0.56 = 106.4$ 公分，起跳角 85° ，初速度 5.345 m/s ）（註六十四：外 6 P 70、中 5 P 74、外 7 P 16 - 17），在空氣阻力與空中姿勢之調整等不計下，可跳過 1.74 公尺高，而實際上跳過約 2 公尺，為此增加 0.26 公尺，增加比率為 $\frac{0.26}{1.74} = 14.9\%$ 。而腹滾式跳高（跳者身高 190 公分，重心高為 $190\text{ 公分} \times 0.56 = 106.4$ 公分，起跳角 90° ，初速度 4.79 m/s ）（註六十五：同 64），在空氣阻力與空中姿勢之調整等不計下，可跳過 1.774 公尺高，而實際上都跳過 2.08 公尺，為此也增加 0.306 公尺，增加比率為 $\frac{0.306}{1.774} = 17.2\%$ 。此可見跳者空中姿勢之調整（空中阻力等不計下）結果；腹滾式可增 17.2% 之高度，比背向式之 14.9% 多，此乃認明腹滾式更可利用過桿技巧增加跳

高高度，但技巧性之動作須作費力長時的磨鍊，此也即一般所言；腹滾式動作較背向式難學的原因之一。

(7)依所作功 (W) 與功率 ($P = \frac{W}{t}$) 來看；跳高起跳 B (或 A) 點到跳躍最高點 C_1 (或 C_2) 之所作功與功率，腹滾式以 $W = 53.25 \text{ kg} \cdot \text{m}$ ， $P = 140.13 \text{ kg} \cdot \text{m} \cdot \text{sec}^{-1}$ 大於背向式之 $W = 51 \text{ kg} \cdot \text{m}$ ， $P = 136 \text{ kg} \cdot \text{m} \cdot \text{sec}^{-1}$ ，此也即腹滾式跳高謂之動力型跳高方式原因之一。然從起跳動作 (O 至 B 與 O 至 A) 來看，腹滾式也以 $W = 31.725 \text{ kg} \cdot \text{m}$ 大於背向式之 $27.75 \text{ kg} \cdot \text{m}$ ，但因腹滾式起跳前一步成大步幅 (2.25 公尺)，起跳動作巧妙地運用三關節之適切屈伸 (增加功距) (註六十六：中 1 P. 46)，以利起跳縱昇之力，所以起跳時間增加為 0.21 秒 (背向式 0.17 秒)，因此在功率方面，却以 $P = 151.07 \text{ kg} \cdot \text{m} \cdot \text{sec}^{-1}$ 小於背向式之 $P = 163.23 \text{ kg} \cdot \text{m} \cdot \text{sec}^{-1}$ 。

(二)圖二之情況：

圖二，類似圖一之結構，僅 $\widehat{BB'}$ 型 (動力型) 之投物線之最頂點到地平面之垂直距離 (亦即跳躍高度) 較 $\widehat{AA'}$ 型 (速度型) 低，此如空中姿勢調整與空氣阻力不計，則顯係 $\widehat{BB'}$ 型之垂直初速減少所致，因垂直分速喪失之時，便是投物體向下落下之始 (註六十七：外 8)，然垂直初速減少之原因，不外乎：1. 起跳腳之作用肌之力量 (速度) 弱 (附作用肌圖如圖九)。2. 起跳腳突撐到起跳蹬直體之功距 (S) 小。3. 起跳時之二臂與擺腿等之上振動作未完成以致於減少反作用力，不利於縱跳向上之力。4. 起跳蹬地力量，未經過跳者重心 (例如助跑速度太快，或起跳的重心放低，便會造成此弊端)。5. 起跳地面不夠堅硬，以到減少反動力所致 (註六十八：中 4 P. 127 - 130)。6. 助跑速度慢或最後減慢 (起跳前減慢) 等六大原因。於下特列表說明 (如表三) 其關係，以助於如圖二之 $\widehat{BB'}$ 型之跳者了解其發生之原因，以及改善之道。然其中助跑速度問題，在此有必要再予闡明，即所謂跳高助跑速度，除受本身跑能力影響外，還與助跑步伐 (速度之集中與分散) 有關，亦即步伐之穩定性，以及是否造成分力等問題，同時也與助跑之路線的決定有關，於下申論之：

1. 助跑步伐之問題，現舉一例 (如圖七、八) 實際探討：

(1)圖解 (背向式跳高)：

(A)圖七：(即一般正常之助跑步伐)

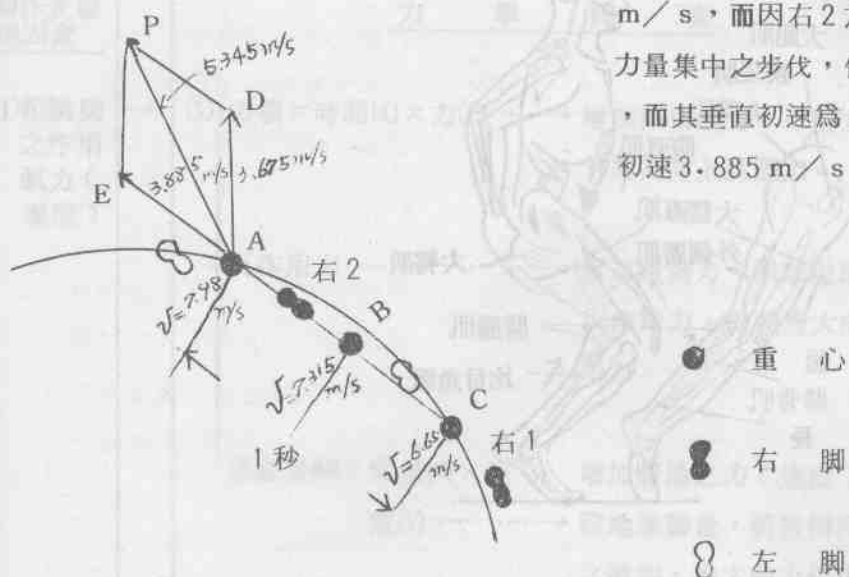
(B)圖八：(即錯誤之助跑步伐)

(2)分析：

(A)同樣的條件，僅因助跑步伐之錯誤即產生垂直初速的減弱，也因此影響跳高之 Performance。

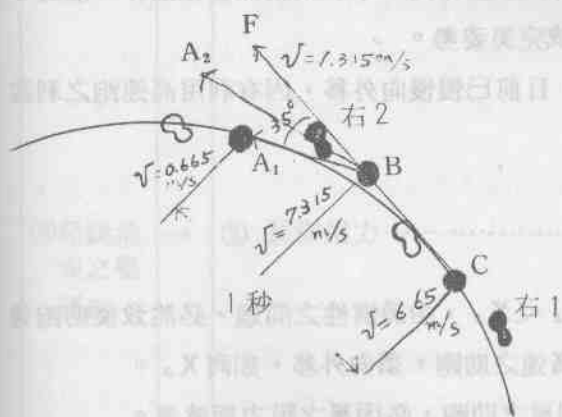
(B)也由於圖八之跳者未能將右之腳向內踏，以致因分力之結果，可造成跳者起跳後向橫桿傾倒之現象，因圖八之 A_2 之方向已有向橫桿傾倒之趨向，為此，一般背向式跳高，如果發現跳者躍起未有向上縱跳之動作，即已傾倒碰桿，應在起跳之步伐 (如圖七、八之右 2) 調整為宜。

(圖七)



本圖係依表二之背向式跳高之條件設計的(即一般正常之跳高助跑步伐之模式),亦即跳者最後之助跑速度為 7.98 m/s , 而因右2之腳的向內踏, 產生力量集中之步伐, 使其獲致有利之起跳, 而其垂直初速為 3.675 m/s , 水平初速 3.885 m/s 。

(圖八)



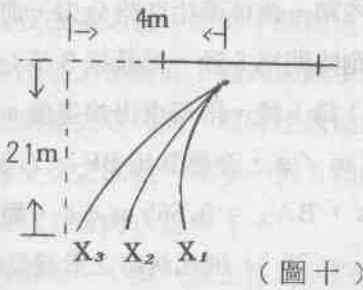
本圖同圖七之條件設計, 僅步伐不同, 即右2腳按右1之方向同作, 沒如同圖七向內踏, 致使產生助跑分力, 而今假定助跑時間為6秒, 但最後3步(即C至A₁)為1秒, 則可求出加速度 $a = 1.33 \text{ m/s}^2$, 今換算出 $BF = 7.315 \text{ m/s}$, $BA_1 = 0.665 \text{ m/s}$, 而因 $\angle FBA_1 = 35^\circ$, 則起跳時之最後助跑速度, 亦即 BA_2 之速度 $= \sqrt{0.665^2 + 7.315^2 + 2 \times 0.665 \times 7.315 \times \cos 35^\circ} = 7.87 \text{ m/s}$; 如再進一步依表二之背向式之同資料探討, 其可能產生之跳躍垂直初速, 則因: $\frac{\text{垂直初速}}{\text{助跑速度}} \times 100 = 46.1$, 則在同條件下, 7.87 m/s 助跑速度產生 3.628 m/s 之垂直初速, 比圖七之 3.675 m/s 小。



跳躍作用肌 (註六十九：外9 P 133)
(圖九)

2 助跑路線之決定：(舉背向式一例說明)

(1)圖解(註七十：訊2)(如圖十)



X_1 路線則可能使踝關節扭傷。

X_2 路線乃反丁型方向，不須太強烈修正動作，最近5年才成完美姿勢。

X_3 路線，目前已慢慢向外移，因有利用高速跑之利益。

(圖十)

(2)分析

(A)圖中，因助跑路線之半徑(r) $X_1 < X_2 < X_3$ ，由於慣性之問題，必然致使助跑速度 $X_3 > X_2 > X_1$ 之現象，為此，欲求高速之助跑，須向外移，如同 X_3 。

(B)助跑路線，也宜因風向之不同而調整，迎風之助跑，必因風之阻力而減速。

(C)助跑速度愈快者，則助跑應如同 X_3 ，越往外移，但反之，如速度小，則可縮短助跑路線之半徑，向內移，如圖 X_1 ，所以優秀跳高運動員(速度快)，則需將助跑路線向外移(如 X_3) (註七十一：中2 P 191 - 192)。

表三、垂直初速之有關因素表

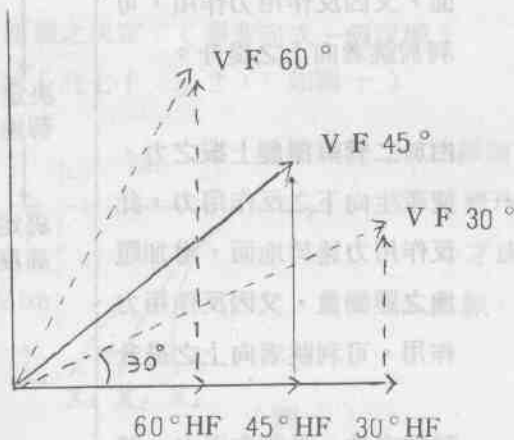
動作及環境因素	力 學 因 素	
①起跳脚之作用肌力(速度)	① 力積 = 時間(t) × 力(F).....	→ 增加作用肌力，可增大力積，提高向上跳躍力。
	反作用力.....	→ 增加蹬腿力，增加蹬地時之反作用力，促使增大向上作用力。
	運動量(M) = 質量(m) × 速度(V).....	→ 增加蹬地之力(速度)及蹬地運動量，將獲得反動力之增加，增大向上作用力。
②起跳時之二臂與擺腿之上振動作	② 反作用力.....	→ 二臂及擺腿向上振，產生向下之反作用力，此力達於地面，又因反作用力作用，可利於跳者向上之提升。
	運動量(M) = 質量(m) × 速度(V).....	→ 由於二臂與擺腿上振之力，使產生向下之反作用力，此反作用力達於地面，增加蹬地之運動量，又因反作用力作用，可利跳者向上之提升。
③起跳地面之堅硬度	③ 反作用力.....	→ 鬆軟之地，吸收作用力，將減少反作用力，不利於向上提升之力。
④起跳脚尖撐到起跳蹬直體之功距(S)	④ 力積 = 時間(t) × 力(F).....	→ 功距(S)增大，增加起跳時間(t)，可利於向上方向之作用



·亦即起跳脚突撐時體後傾度		力之增加。
⑤起跳蹬地之力，是否通過跳者之重心	→ ⑤ 力量集中（合力與分力）.....	蹬腿力量，通過跳者重心，可使力量集中，否則分散，造成許多分力減少向上縱跳之能力。
⑥助跑之最後速度	→ ⑥ 運動量(m)=質量(m)×速度(V)..... 反作用力.....	快速之助跑，產生快速向下度(V)..... 踩地速度，在起跳時，利於增加向下之運動量，進而增加反作用力，利於向上提升之力。

圖十一

HF：水平分速
VF：垂直分速



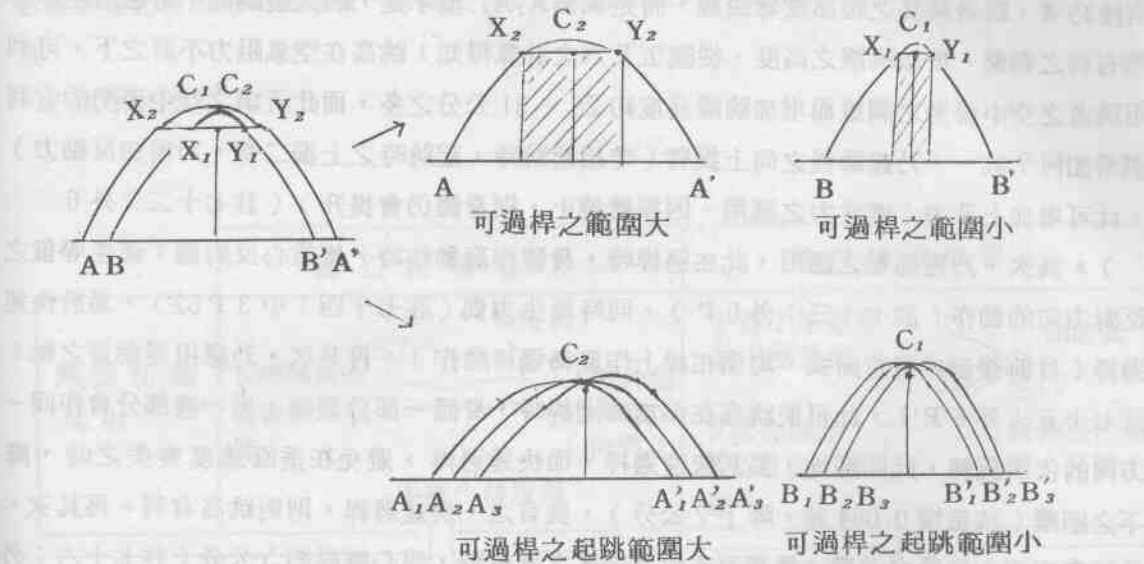
各種角度：加之力的水平及垂直分力的相對大小。

(註：參照外文書目8之P 79)

(二)圖三之情況：

圖三之結構正介於圖一與圖二之中，但稍有不同的，即AA'型（速度型）與BB'型（動力型）之躍高之Performance相同，亦即不同跳躍角、不同初速度（水平初速與垂直初速之合成），而同樣跳高之成績之情況。此圖中，任一型之跳躍成績要提升，在空中姿勢之調整與空氣阻力之不計下，同樣是唯有增加垂直初速着手，則正如表三之方法為之，於此不再贅述。然依此圖却能發見速度型（背向式）跳高之所以比動力型（腹滾式）跳高易學易跳之原因，於下分述之：

1 圖解 (圖十二) :



2 解析 :

- (1) $\widehat{AA'}$ 型，又稱為速度型 (也即背向式)，由於可過桿之高度 X_2 至 Y_2 之距大，因此可過桿之範圍較 $\widehat{BB'}$ 型 (又稱動力型，也即腹滾式) 為大，所以空中過桿之機會亦大。且 X_2 至 Y_2 之距大，其起跳點之選定範圍也隨之加大，可在 A_1 至 A_3 之範圍內起跳均可過桿，所以初學者廣為採用此式，此也即背向式跳高之所以易學易跳的原因之一。
- (2) $\widehat{BB'}$ 型，又稱動力型 (也即腹滾式)，因其顯然水平初速之成分小於 $\widehat{AA'}$ 型，以至於成 X_1 至 Y_1 之範圍小，過桿機會小，必須運用技巧、精準的過桿，同樣地，起跳點之選定範圍亦隨之而小，故起跳必須準確，因此可稱此式為技巧型。由於上述之理由，動力型 (腹滾式) 即成為不易學，更不易學好之原因。

二、跳高運動之同樣跳躍角及初速度 (水平初速與垂直初速之合成)，但不同跳高之 performance 之投物線

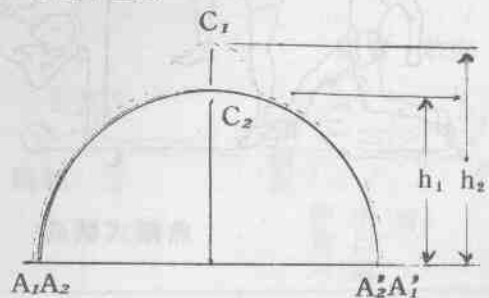
(圖十三)

(一) 圖解：(圖十三)

$\widehat{A_2A'_2}$ 即一般型之投物曲線 (腰部)

$\widehat{A_1A'_1}$ 即空中技巧型之投物曲線

(腰部)

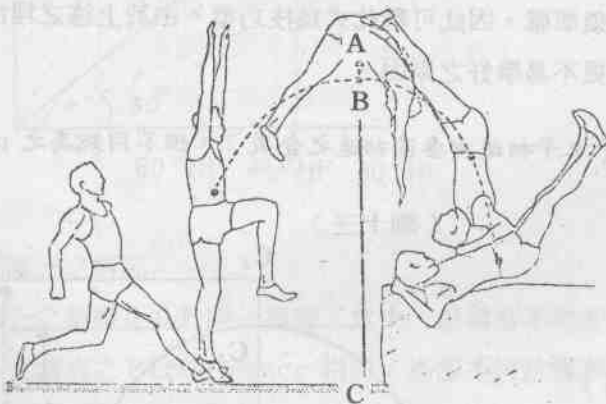


(二) 解析

一般投物曲線應是 $A_2A'_2$ 型，但其實人體之跳高運動，因可能作某程度之變位，而稍有技巧者，跳者跳高之腰部投物曲線，將是成爲 $A_1A'_1$ 型才是，因人體跳高，可應用空中姿勢有利之調整，增加跳躍之高度，從圖五及六之計算得知；跳高在空氣阻力不計之下，可利用跳者之空中姿勢之調整而增加跳躍高度約 26 - 31 公分之多，而此所謂之空中姿勢之有利調整如何？其一，乃起跳後之向上振臂（非指起跳時，起跳時之上振二臂，乃增加反動力），此可增加上升力（慣性力之應用，因振臂停止，則身體仍會提升）（註七十二：外 6

）。其次，乃運動軸之應用，此在過桿時，身體作旋動作時，使重心反對側；產生等量之反對方向的動作（註七十三：外 6 P），同時產生力偶（註七十四：中 3 P 62），易於快速過桿（目前腹滾式與背向式，均須在桿上作旋轉過桿動作）。再其次，乃應用運動量之軸（註七十五：外 6 P），此可使跳高在作旋轉過桿時，身體一部分旋轉，另一些部分會作同一方向的依次旋轉，此同樣地，易於快速過桿，而快速過桿，避免在垂直速度喪失之時，降下之距離（按每慢 0.064 秒，降下 2 公分），換言之，快速過桿，則對跳高有利。再其次，乃跳者之重心位置之改變，像腹滾式與背向式之過桿時，重心離桿約 5 公分（註七十六：外 6 P 34.35），然最新開發之一種跳高方式，名叫魚躍式跳高（反 V 字型方式），如採用綜合重心求法，則其重心低於橫桿（如圖十四），則此魚躍方式之跳高，將不失爲一種良好跳高方式（註七十七：外 15. P 7），因其與背向式及腹滾式所作工作量（W）相同，却能跳過更高之高度，爲此重心之有利改變，也將使跳高成績能提升。另再其次，即選定有利之特性的動作過桿，例如腹滾式採用人體最自然且習慣之動作（前彎動作）過桿，而背向式，則基於緊張性頸反射（姿勢反射）與伸展反射及相反性神經支配原理，而成之空中姿勢（如圖

（圖十四）



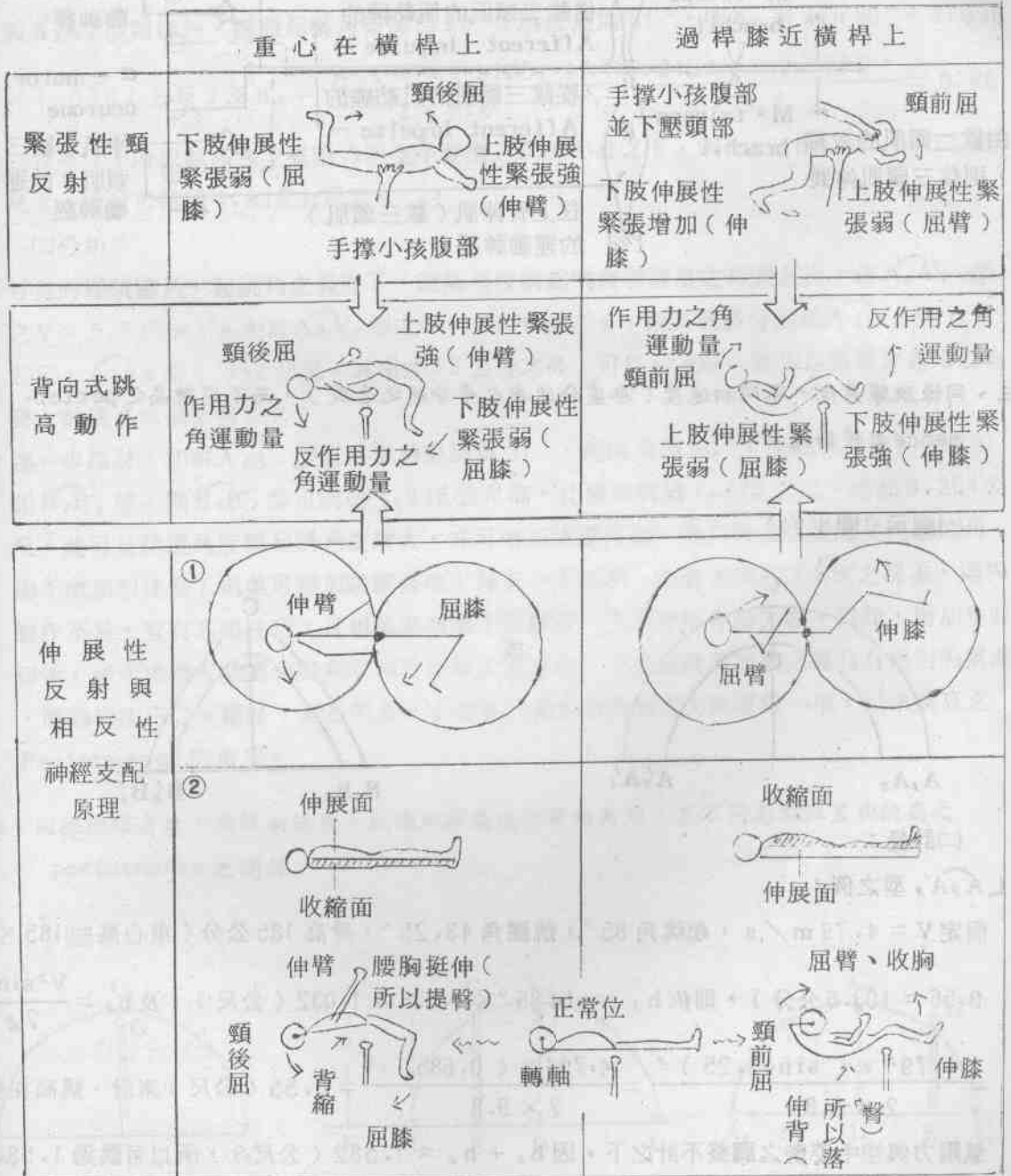
魚躍式跳高

說明：

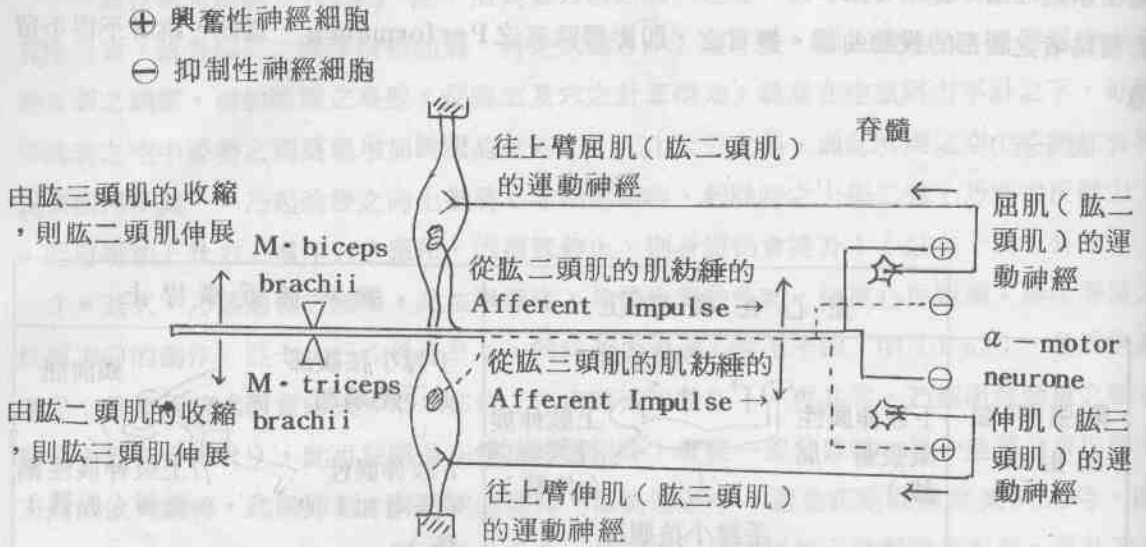
- B 爲魚躍跳高方式，在橫桿上人體動作之綜合重心。
- A 爲一般跳高方式，在橫桿上身體動作之重心位置。
- 依據 $W = F \times S$ 公式探討：則魚躍式之 $W = F$ （體重） $\times BC$ ，而其他跳高方式，則 $W = F$ （體重） $\times (BC + AB)$ ，所以跳同一高度，魚躍式比其他跳高方式所作之工作量（W）小，反之同一工作量（W）則魚躍式比其他方式之跳高，成績更好。

十五)，故背跳技術容易，也可獲致較高之投物高點，此也即背向式能在比較短時間中，創造佳績之理由（註七十八：外7 P 17 - 18）。總之，跳者之空中姿勢之調整（變位），將影響跳者之腰部的投物曲線，換言之，即影響跳高之Performance，為此，跳者不得留意。

(圖十五)



伸展反射及相反性神經支配的模式（註七十九：訊三）：（如表四）



三、同樣跳躍角度，不同初速度（垂直分速與水平分速之合成），而不同跳高之 performance 之投物線

(一)圖示（圖十六）



(二)計量：

1. $A_2A'_2$ 型之例：

假定 $V = 4.79 \text{ m/s}$ ，起跳角 85° ；跳躍角 43.25° ，身高 185 公分（重心高 = $185 \times$

$0.56 = 103.6$ 公分），則依 $h_1 = \sin 85^\circ \times 1.036 = 1.032$ （公尺），及 $h_2 = \frac{V^2 \sin^2 \theta}{2g}$

$$= \frac{4.79^2 \times (\sin 43.25) ^2}{2 \times 9.8} = \frac{4.79^2 \times (0.6852) ^2}{2 \times 9.8} = 0.55 \text{（公尺）}$$

來計，跳高在空氣阻力與空中姿勢之調整不計之下，因 $h_1 + h_2 = 1.582$ （公尺），所以可跳過 1.582 公尺高。

2 $\widehat{A_1A'_1}$ 型之例：

與 $\widehat{A_2A'_2}$ 型同條件，僅初速度增加為 5.345 m/s ，則依 $h_1 = \sin 85^\circ \times 1.036 =$

$$1.032 \text{ (公尺)}, \text{ 及 } h_2 = \frac{V^2 \sin^2 \theta}{2g} = \frac{5.345^2 \times (0.6852)^2}{2 \times 9.8} = 0.68 \text{ (公尺) 米}$$

計，跳高在空氣阻力與空中姿勢之調整不計之下，因 $h_1 + h_2 = 1.712 \text{ (公尺)}$ ，所以可跳過 1.712 公尺高 。

3 $\widehat{B_1B'_1}$ 型之例：

與 $\widehat{A_1A'_1}$ 型同條件，僅將起跳角提高為 90° ，跳躍角為 51° ，則 $h_1 = \sin 90^\circ \times 1.036 =$

$$1.036 \text{ (公尺) 及 } h_2 = \frac{5.345^2 \times (\sin 51^\circ)^2}{2 \times 9.8} = \frac{5.345^2 \times (0.777)^2}{2 \times 9.8} = 0.88$$

(公尺)，所以跳高在空氣阻力與空中姿勢之調整不計之下，因 $h_1 + h_2 = 1.916 \text{ (公尺)}$ ，所以可跳過 1.916 公尺高 。

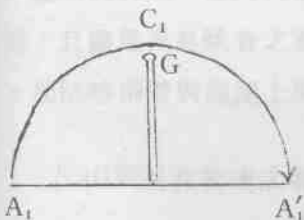
(三)分析：

1 可見同樣跳躍角、起跳角之條件下，跳高高度與起跳後初速度之相關甚大，像 $\widehat{A_1A'_1}$ 型之 $V = 5.345 \text{ m/s}$ 大於 $\widehat{A_2A'_2}$ 型之 $V = 4.79 \text{ m/s}$ ，則其成績分別為 $\widehat{A_1A'_1}$ 型 1.712 公尺 ， $\widehat{A_2A'_2}$ 型 1.582 公尺 ，其相差 13 公分 之高，可見初速度（當然以垂直分速為最重要）對跳高成績影響很大。

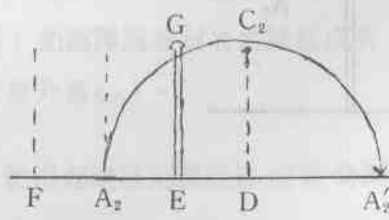
2 進一步探討，如將 $\widehat{A_1A'_1}$ 型之跳躍角提高為 51° ，起跳角為 90° ，餘均相同條件，也即如 $\widehat{B_1B'_1}$ 型，則 $\widehat{B_1B'_1}$ 型可跳過 1.916 公尺高 ，比原來跳過 1.712 公尺 ，增加 0.204 公尺 ，此可見跳躍角度與起跳角度增大，亦可增加跳躍高度。但只增加跳躍高度與起跳角，而不增加初速度，則雖可增加跳躍高度，却有一大缺點，即造成圖三之 $\widehat{BB'}$ 之現象，過桿動作不易，宜有高超技巧，且起跳點必須十分精確，否則會碰桿而失敗。為此，增加垂直初速（適切地增大跳躍角與起跳角及作最大初速度）才是對跳高成績之提高有絕對的幫助，而過桿技巧之反應達一定水準者，才能單只適切地調整增大跳躍角一項，以求跳高之 Performance 的增加。

四、同樣跳躍角度，同樣初速度、同樣跳躍高度之投物曲線，其不同高點位置與跳高之 performance 之關係

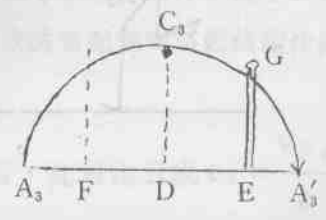
(一)圖示：



(圖十七)



(圖十八)

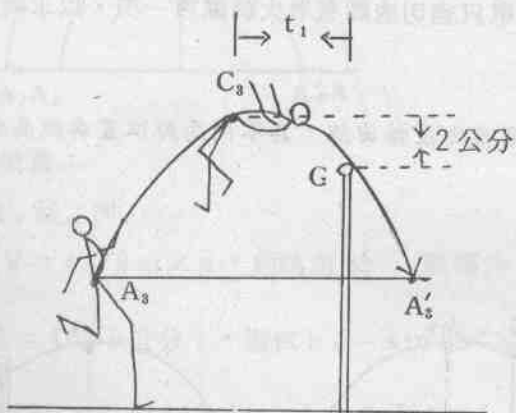


(圖十九)

(二)解析：

- 1 圖十七，投物曲線之高點（ C_1 ）位置，正在橫桿之上，在跳高之理論上，此為最理想的方式。因這樣，能使跳者所付出的工作量（ W ），獲得應得的跳高高度，是最經濟有效的。但欲使投物曲線之高點，位於橫桿之上，跳者必須正確選擇起跳點，同時在高速助跑中，有精確地踏準起跳點之能力。
- 2 圖十八，投物曲線之高點（ C_2 ）位置，在橫桿之後上，在跳高之理論上，是為不理想之方式。因這樣，使跳者付出的工作量（ W ）大，但却不能獲得應得之跳高高度。換言之，在此結構之跳高中，萬一能跳過橫桿，必付出更大之工作量（ W ）。欲改進之道，其一將起跳點移往 F 點，使 F 至 A_2 之距 = E 至 D 之距。其二，增加垂直初速（增加之方法，如表三）。其三，調整空中姿勢（方法參照24頁），以利人體投物曲線高點 G_2 應在橫竿 G 上。
- 3 圖十九，即投物曲線之高點（ C_3 ）位置在橫桿之前上方。如同圖十八一樣，亦為不理想的跳高方式，因它也使跳者付出大之工作量（ W ），但却不能獲得應得之跳高高度。改進之道，其一，按 $h = \frac{gt_1^2}{2}$ 公式，在橫桿上（即起跳後之最高點正下降之時）停留 0.064 秒，則跳者會落下 2 公分（如圖二十），而耽誤時間愈大，則落下之距更大，因此當跳者在投物曲線高點 C_3 位置後（即垂直分速喪失時），應調整空中姿勢，減少跳者由 C_3 到橫桿之時間，亦即由 C_3 至 G 維持快速之水平分速以利快速到達通過橫桿 G ，如時間愈少，落下之距愈小，易越過橫桿（ G ）。其二，將起跳點移往 F 點，使 A_3 至 F 之距等於 D 至 E 之距。其三，增加水平初速（助跑速度）。

$t_1 = 0.064$ 秒正好過橫桿(G)



$$\therefore h = \frac{gt_1^2}{2}$$

$$h = \frac{9.8 \times 0.064^2}{2}$$

$$= 0.02 \text{ (公尺)}$$

(圖二十)

陸、結論與建議

一、在不同跳躍角與不同初速度（水平初速與垂直初速之合成），而產生不同或相同的跳高之 performance:

跳高在上述條件下，可能產生二種投物曲線，其一為投物曲線顯得高而淺的，即所謂動力型，像腹滾式跳高。其二為投物曲線顯得低而深的，即所謂速度型，像背向式跳高。而在這兩種投物曲線之結構中，依世界優秀跳高運動員之實際資料去探討，會獲致許多結果，不僅可了解動力型（腹滾式）與速度型（背向式）之種種區別與優劣，而且也能對提高跳高之 Performance 之方法與趨向有所洞悉，以下列述之：

(一)助跑速度愈快，則起跳腳之力量也愈大（註八十：中 2 P 177 - 178），因直線速度每增加 0.1 m/s ，其起跳腿壓地之力增加 26.35 磅，依表二而背向式因速度比腹滾式快 1.63 m/s ，所以其壓地之力大了 497.15 磅（此也其易受傷之原因之一）。但在此前題下，也應注意跳高方式（種種條件）之配合，才能使這大的起跳力，產生向上之垂直初速，而有利於跳高之 Performance 之提高，諸如：腹滾式之助跑速度為 6.35 m/s ，而背向式為 7.98 m/s ，然因跳高之起跳至空中姿勢…等條件不同，而腹滾式跳過 2.08 公尺，但背向式僅跳過 2.00 公尺。另也不宜因助跑速度之強求，而造成起跳點之不準，而產生投物曲線之高點沒在橫桿上，因這是不利的。如果因快速助跑而發生起跳點不準而調整步伐及姿勢之改變，同樣的會有分力之現象，此也對跳高沒有好處，所以適切的助跑速度有必要（註八十一：中 4 P 124）。

(二)跳者之起跳後之垂直初速、力積、跳者之重心高（身高）、起跳角等與跳高之 Performance 作絕對的正相關；像腹滾式跳高，以垂直初速 3.73 m/s 大於背向式之 3.675 m/s ，起跳時間 0.21 秒大於背向式之 0.17 秒（力積 = 時間 × 力量），則腹滾式實際跳過 2.08 公尺，背向式僅 2.0 公尺，而當時水平初速；腹滾式 3.0 m/s ，小於背向式之 3.88 m/s 。另跳者之身高（重心高），每增加 5 公分（重心高 2.8 公分），同條件之下，跳高高度可增加 2.795 公分（起跳角 85° ），腹滾式則增加 2.8 公分（起跳角 90° ），此證明重心高（身高）與跳高之 Performance 成很大之相關。另起跳角之不同，重心高增加 2.8 公分，腹滾式因起跳角 90° ，而比背向式（起跳角 85° ）增加 0.005 公分跳躍高度。所以，任一種跳高方式，起跳腳起跳之角度以接近 90° 為最有利，同時也須爭取有效的力積及垂直初速，且儘量提高跳者之重心高（如選擇高身材者為跳高成員，要求跳者起跳時將起跳腿伸直，起跳時兩臂與擺腿上振，可提升重心）。

(三)由於垂直初速之增大，使得起跳後至最高點所需時間愈長，此可由公式 $t_1 = \frac{V_{y_1}}{g}$ 及圖五、六得知，腹滾式便是這樣，因此可以爭取調整空中姿勢，終於提高其跳高之 Performance。

(四)起跳點與橫桿垂直面之最理想距離；在空氣阻力不計與空中姿勢不調整之下，背向式（速度型）以 155 公分大於腹滾式（動力型）之 114 公分，換言之，其為助跑速度（註八十二：外 6 P 37）或初速度與跳躍角影響至大，但因人體在空中可變位，因此可使起跳點距橫桿垂直面之距離縮短 55 公分以上，如此，使跳高之投物曲線，將成為有利於跳高為 Performance 之高而淺之現象（註八十三：外 6 P 37）。

(四)從純物理學之探討，背向式跳高在跳者身高 190 公分、重心高 106.4 公分、起跳角 85° 、初速度 5.345 m/s 之條件下，空氣阻力與空中姿勢之調整等不計下，可跳高 1.74 公尺，而實際却跳過 2 公尺，增加 0.26 公尺（增加率 14.9%）。而腹滾式跳高；在跳者身高 190 公分、重心高 106.4 公分、起跳角 90° 、初速度 4.79 m/s 之條件下，在空氣阻力與空中姿勢之調整等不計下，可跳過 1.774 公尺高，而實際却跳過 2.08 公尺，增加 0.306 公尺（增加率為 17.2%）。此乃說明，腹滾式可更利用過桿技巧，增加跳高之高度，換言之，腹滾式較重技巧，練習當然也較費時費力，此也即腹滾式比背向式難學的原因之一。同時在此，也表明了人體動作欲作純物理之探討，並不易獲致正確的答案，宜對可能發生之變化予以留意才行。

(四)從起跳時（腰部）之高度到跳躍最高點（腰部）之所作之功與功率來看；腹滾式以 $W = 53.25 \text{ kg} \cdot \text{m}$ ， $P = 140.13 \text{ kg} \cdot \text{m} \cdot \text{sec}^{-1}$ 大於背向式之 $W = 51 \text{ kg} \cdot \text{m}$ ， $P = 136 \text{ kg} \cdot \text{m} \cdot \text{sec}^{-1}$ ，此也即腹滾式跳高謂之動力型跳高方式之原因之一。然從起跳動作（突撐到離地）來看，腹滾式也以 $W = 31.725 \text{ kg} \cdot \text{m}$ 大於於背向式之 $27.75 \text{ kg} \cdot \text{m}$ ，但因腹滾式起跳前一步成大步幅（2.25 公尺），起跳動作巧妙地運用三關節之適切屈伸（增加功距），利於向上縱跳之力，所以起跳時間增為 0.21 秒（背向式僅 0.17 秒），因此功率方面，却以 $P = 151.07 \text{ kg} \cdot \text{m} \cdot \text{sec}^{-1}$ 小於背向式之 $P = 163.2 \text{ kg} \cdot \text{m} \cdot \text{sec}^{-1}$ 。

(四)如垂直初速減少，則使投物曲線之高點降低如圖二，亦即跳高之 Performance 減低，此垂直初速減少之原因，乃起跳力減少所致，而起跳力又受以下因素影響：

1. 起跳腳之作用肌之力量（速度）小。
2. 起跳腳突撐到起跳蹬直體之功距（s）小。
3. 起跳時之二臂與擺腿等之上振動作未完成，以致於減少反作用力，不利於縱跳向上之力。
4. 起跳蹬地之力量，未經過跳者重心（例如助跑速度太快，或跳者起跳時之重心稍低，便會造成此弊端）。
5. 起跳地面不夠堅硬，以致減少反作用力。
6. 助跑速度慢或最後減速等（助跑速度，除與跳者之跑能力有關外，還與助跑步伐有關，亦即步伐之穩定性與是否造成分力等有關，同時也與助跑路線之決定有關，詳可參照註七十一。總之，以上六因素決定了起跳力，起跳力與跳躍角度配合，決定了垂直初速，垂直初速決定了跳躍高度（即跳高之 Performance）（詳參照表三）。

(四)從不同跳躍角與不同初速度而產生相同之跳高的 Performance 之情況（如圖三及其

圖十二之解析)，可發現速度型（背向式）之跳高，一般來分析，其可能過桿之高點範圍較動力型（腹滾式）為大。同理，可選定起跳位置的範圍也隨之為大，此乃速度型之跳高，往往樂為初學者採用之原因，此也即所以背向式跳高易學易跳的原因之一。反之，動力型（腹滾式）之跳高，由於上述之不利條件，則需在起跳之精度上及空中過桿之技巧下工夫，始能順利過桿，此也即其難學又學不好之原因之一。

二、同樣跳躍角及初速度，但卻產生不同跳高之 performance 之投物曲線：此現象在一般純物理性之探討中，空氣阻力等不計下，不易發現，但因跳高運動，其主體是人體，人體在空中有變位之能力，因此有可能因變位（俗稱空中姿勢之調整，或空中機械利益之應用），而獲致不同之跳高之投物曲線（或言得到不同之跳高的 Performance）。從圖五及六之計算中，約知跳者因空中姿勢之調整（空氣阻力不計）可增加跳躍高度約 26—31 公分。然所謂空中姿勢之有利調整法；其一；乃起跳之後的向上振臂提腿，此可應用慣性力而增加上升力。其二，乃運動軸之應用，即在過桿時，人體作旋轉動作時，使重心反對側，產生等量之反對方向的動作，同時產生力偶，易於快速過桿。其三，應用運動量之軸，此可使跳高在作旋轉過桿時，身體一部分旋轉，另一些部份會作同一方向的依次旋轉，如此也易於快速過桿，而快速過桿在垂直速度喪失時，可減少降下之距（按每慢 0.064 秒，將降下 2 公分）。其四，跳者之重心位置的改變，像腹滾式與背向式過桿時，重心離桿約 5 公分，然最新開發之魚躍跳法，則其過竿動作，使人體動作之綜合重心低於橫桿，此在工作量（W）之探討中，可得知作同一工作量（W）之條件下，魚躍式跳法將跳得最高。其五，選定有利之特性的動作過桿，例如腹滾式採用人體最自然又習慣之前彎動作過桿。而背向式跳高，基於緊張性頸反射（姿勢反射）與伸展反射及相反性神經支配原理而成之空中姿勢（詳參照圖十五及註七十八）過桿，此更有利於跳者獲致較高之投物高點，此也即背向式跳高能在比較短時間練習中，就能創造佳績的原因之一。

三、同樣跳躍角度，不同初速度，而不同跳高之 performance 之投物曲線：在此條件下，跳高之 Performance 與初速度之相關最大，然只初速度增加之結果，可能產生如圖二之 $\hat{A}\hat{A}$ 型（速度型）之現象。但如果將跳躍角度與起跳角適切增大，而初速度不變，則亦可增加跳躍之高度。不過只過分地增大跳躍角度與起跳角，即初速度不變，也會造成一缺點，即如同圖三之 $\hat{B}\hat{B}$ 型之現象，造成過桿動作不易，因它須有高超之過桿技巧與精確地在起跳定點起跳之技術，否則會碰桿而失敗。為此，增加垂直初速（亦即適切地增大跳躍角與起跳角及作最大的初速度）才是對跳高成績之提高有絕對的幫助，而過桿技巧、反應達一定水準者，始能單只適切地調整增大跳躍角一項，以求跳高之 Performance 的增加。

四、同樣跳躍角度、同樣初速，同樣跳躍高度之投物曲線，其不同高點位置與跳高之 performance 之關係，此由三種情況來探討並獲致以下結論：

(一)投物曲線之高點在橫桿上(如圖十七),此在跳高理論上說:最理想之方式,因其所付出之工作量(W),也能獲致應得之跳高Performance,但欲達到如此境界,則跳者必正確選擇起跳點,同時能在快速助跑中,準確地在起跳點作起跳。

(二)投物曲線之高點在橫桿後上(如圖十八),此因使跳者付出相當之工作量(W),却不能獲致應得之跳高的Performance,所以很不理想。然欲糾正這弊病之方法。第一、增加垂直初速(增加方法如表三)。第二、將起跳點往後移遠離橫桿。第三、調整空中姿勢(方法參照P24),以利人體之投物曲線高點能在橫桿上。

(三)投物曲線之高點在橫桿前上(如圖十九),也使跳者付出大之工作量(W),但却不能獲得應得之跳高的Performance,所以也不理想,改進之道,其一,按 $h = \frac{gt_i^2}{2}$ 公式,在橫桿上(起跳後之最高點正下降之時)停留0.064秒,則跳者會落下2公分(如圖二十);而就誤時間愈大則落下之距隨之愈大,所以跳者應調整空中姿勢,減少跳者由投物線高點到橫桿之距的時間,亦即快速過桿。其二、增加水平初速(助跑速度等)。其三、將調整起跳點,將起跳點移近橫桿。

五、本研究係源自於投物曲線原理之應用,以至依次擴展而來探討一個有關的運動項目—跳高,當然其缺失在所難免,這也是任何研究都會有的,但在權衡之下,本研究法仍不失為一可行的研究方法,因它能提供有系統、有方向、有步驟、多角度之研究,對其可能發生的種種現象,也能獲致一明確的結果。

六、但在對人體之運動力學分析時,不要忘了,人體是可因變位(姿勢的調整)而產生不同的結果,此在力學的研究中,不得不留意的,本研究也在這方面提供一個肯定的答案。

【 附 註 】

註 1：中文書目 2 之 P 166 及 3 之 P 56。

註 2：中文書目 1 之 P 21 期（1981 年 1 月）。

註 3：外文書目 1 之 P 19。

註 4：中文書目 1 之 P 45。

註 5：中文書目 1 之 P 46。

註 6：譯文書目 1 之 P 45。

註 7：譯文書目 1 之 P 50。

註 8：中文書目 2 之 P 177 - 178。

註 9：中文書目 2 之 P 191 - 192。

註 10：中文書目 4 之 P 123 - 124。

註 11：中文書目 4 之 P 124。

註 12：譯文書目 1 之 P 45 - 50。

註 13：中文書目 2 之 P 192。

註 14：中文書目 4 之 P 127 - 130。

註 15：中文書目 4 之 P 130。

註 16：外文書目 6 之 P 101。

註 17：中文書目 2 之 P 178。

註 18：外文書目 6 之 P 28。

註 19：外文書目 6 之 P 34 - 35。

註 20：外文書目 6 之 P 36 - 37。

註 21：外文書目 6 之 P 37。

註 22：外文書目 6 之 P 37 - 38。

註 23：外文書目 6 之 P 102 - 103。

註 24：外文書目 2 之 P 17。

註 25：外文書目 2 之 P 24。

註 26：外文書目 2 之 P 24。

註 27：外文書目 2 之 P 24。

註 28：外文書目 7 之 P 14 - 19。

註 29：外文書目 4 之 P 206。

註 30：外文書目 4 之 P 206。

註 31：外文書目 6 之 P 149。

註 32：外文書目 6 之 P 149。

- 註33：外文書目6之P 148。
- 註34：外文書目6之P 149。
- 註35：外文書目6之P 150。
- 註36：外文書目6之P 147。
- 註37：外文書目3之P 15。
- 註38：外文書目3之P 15。
- 註39：外文書目6之P 148。
- 註40：外文書目6之P 147。
- 註41：中文書目6及3之P 62。
- 註42：外文書目6之P 147。
- 註43：外文書目6之P 147。
- 註44：外文書目5之P 75。
- 註45：外文書目8。
- 註46：外文書目3之P 13。
- 註47：外文書目9之P 129 - 130。
- 註48：外文書目3之P 16。
- 註49：外文書目5之P 133。
- 註50：外文書目7之P 16 - 17。
- 註51：外文書目7之P 16 - 17。
- 註52：外文書目6之P 70。
- 註53：外文書目6之P 70。
- 註54：中文書目5之P 74。
- 註55：外文書目3之P 16。
- 註56：外文書目1之P 26。
- 註57：中文書目4之P 123 - 124。
- 註58：中文書目2之P 177 - 178。
- 註59：中文書目4之P 123。
- 註60：中文書目4之P 127 - 130。
- 註61：中文書目4之P 130。
- 註62：外文書目6之P 37 - 38。
- 註63：中文書目2之P 192。
- 註64：外文書目6之P 70及7之P 16 - 17，中文書目5之P 74。
- 註65：同註64。
- 註66：中文書目1之P 46。

- 註67：外文書目 8。
- 註68：中文書目 4 之 P 127 - 130。
- 註69：外文書目 9 之 P 133。
- 註70：譯文書目 2。
- 註71：中文書目 2 之 P 191 - 192。
- 註72：外文書目 6。
- 註73：外文書目 6。
- 註74：中文書目 3 之 P 62。
- 註75：外文書目 6。
- 註76：外文書目 6 之 P 34、35。
- 註77：外文書目 15 之 P 7。
- 註78：外文書目 7 之 P 17 - 18。
- 註79：譯文書目 3。
- 註80：中文書目 2 之 P 177 - 178。
- 註81：中文書目 4 之 P 124。
- 註82：外文書目 6 之 P 37。
- 註83：外文書目 6 之 P 37。

【 參 攷 書 目 】

一、中文：

- (一)中華田徑季刊 中華民國田徑協會印行 21期、15期 1981.1、1978.6。
- (二)田徑指導 啓華社 葉憲清著 1976.4再版。
- (三)田徑運動技術與競賽心理 三民書局 雷寅雄著 1976.9。
- (四)田徑運動力學 國立師範大學體育學會印行 許樹淵著 1973.6。
- (五)田徑混合運動的系統分析 大文出版社 梁素嬌撰 1977.7。
- (六)人體機動學 周鶴鳴講述 吳賢文撰 1976.7。

二、譯文：

- (一)田徑運動基本指導手冊(Track and Field Athletics abasic coaching manual) 蔡特龍、郭燦星共譯 中華民國田徑協會發行 1981.8.3。
- (二)田徑運動基本指導講授 澳洲教練B. Van ES及英國教練Ward主講 黃賢堅、陳定雄翻譯 中華民國田徑協會舉辦 吳賢文筆記 1981.8.11。
- (三)運動生理學 陳全壽主講 吳賢文譯 日本中京大學 1981.12.12。

三、外文：

- (一)陸上競技入門シリーズ4 走高跳 ベースボール・マガジン社 織田幹雄監修、大西曉志著 1978.3.31 1版2刷。
- (二)No.Ⅲ跳能力の向上一第2次調査報告—日本體育協會スポーツ科學委員會印行 1974。
- (三)基礎運動學 醫齒藥出版株式會社 齊藤宏、中村隆一共著 1976.4.25 1版2刷。
- (四)バイオメカニクス 生體力學とその應用 H. Lissner と M. Williams 共著 青池勇雄監修 大田仁史等共譯 醫齒藥出版株式會社 1974.3.1 1版1刷。
- (五)身體運動學入門—1—基礎篇 杏林書院 松井秀治著 1975.3.20 6版。
- (六)陸上競技ダイナミクス トム・エッカー著 佐佐木秀幸訳 織田幹雄監修 ベースボール・マガジン社 1974.4.10. 1版1刷。
- (七)走り高とびの踏み切りにおける速度變換 松井秀治、三浦望慶、小栗達也、袖山紘等共著 日本體育協會スポーツ科學委員會印行 1974。
- (八)身體運動の力學 Marion R. Broer 著 官畑虎彥訳 ベースボール・マガジン社。

- (九)スポーツ科學講義・8・スポーツ とキネシオロジー 大修館 官畑虎彦、高木公三郎、小林一敬共著 1978.7.1 24版。
- (十)體育の力學 原著M.G.スコット 訳者官畑虎彦 不昧堂 1958.3 2版。
- (十一)キネシオロジー身體運動の基礎原理 K.F.ウエルズ著 官畑虎彦譯 ベースボール・マガジ社 1977.7.31。
- (十二)體育運動力學理論篇 健文社 上林英太著 1943.7.25。
- (十三)Kinesiology 官畑虎彦、高木公三郎 熊本水頼共著 株式會社學芸出版社 1967.9.20 2版1刷。
- (十四)走高跳のフォーム と成績に對する基礎運動能力の貢獻 中込四郎 中村操一 關岡康雄 松田岩男共著 東京教大體育學部紀要 15卷別冊 1976.3。
- (十五)The Qualitative Analysis of sports Techniques The Republic of china Amateur Athletic Federation February, 1979 張志滿教授提供。
- (十六)走高跳における曲線助走の效果に關する研究 關岡康雄 栗原崇志共著 筑波大學體育科學系紀要 第1卷 別冊 1978.3。