# 第肆章　結果與討論

經由實驗與結果分析後，本章節主要可分為三大部分：(一) 運動學部分：首先討論兩組選手出槍時槍體運動學參數，接著為上肢各關節運動學參數及下肢各關節運動學參數比較，此外也針對為周宜辰選手做個案分析。(二) 動力學部分：首先討論包含兩組選手投擲時槍體受力之各項力學參數，接著為支撐期地面反作用力參數，最後為支撐期下肢三維動力學逆過程參數等比較。(三) 計算槍體、身體及測力板之各運動學參數和動力學參數和成績的相關，觀察各參數對成績的影響。

## 第一節、出槍時之槍體運動學參數比較

### 一、 兩組選手出槍時之槍體運動學參數比較

**表 4-1** 兩組選手出槍時之槍體運動學參數比較

| | | 優秀選手 (N=4) | 一般選手 (N=5) | 顯著性 |
|---|---|---|---|---|
| 成績 | (m) | 63.52±5.04 | 47.00±2.65 | * |
| 出手速度 | (m/s) | 23.43±1.62 | 19.70±0.88 | * |
| 出手角度 | (deg) | 35.8±3.1 | 37.7±4.4 | |
| 槍體角 | (deg) | 35.9±2.6 | 38.3±5.3 | |
| 攻擊角 | (deg) | 0.0±4.4 | 0.6±1.5 | |
| 3D 攻擊角 | (deg) | 5.8±1.9 | 6.6±5.67 | |
| 體角速度 | (deg/s) | 16.59±9.32 | 2.64±9.25 | * |
| 旋轉角速度 | (deg/s) | 3250.7±851.0 | 4484.4±722.6 | * |
| 出手高度 | (m) | 1.84±0.01 | 1.96±0.19 | * |
| 出手高度 (倍身高) | | 0.99±0.01 | 1.12±0.03 | * |

註：旋轉角速度如為正表示槍頭朝上旋轉，如為負則表示槍頭朝下旋轉。

在投擲成績方面，本研究中的優秀選手成績最好為 71.06 m，最差為 60.35 m，平均 63.52 m；一般選手成績最好的有 50.36 m，最差的為 43.22 m，平均 47 m。優秀選手約比一般選手多約 17 m，整體而言兩組選手成績還算是集中。出手速度方面，優秀選手組的出槍速度有較大的趨勢，優秀選手平均比一般選手快約 3.73 m/s。

標槍質量較鉛球、鐵餅輕，且飛行時間及距離又較長，故飛行時深受流體阻力的影響，其飛行距離的並不容易以一般拋射體公式（公式一）來推估。例如某位優秀選手某次出手速度（$V$）為 24.83 m/s，出手角度（$\theta$）為 33.92 deg，出手高度（$h$）為 1.87 m 則以該拋射體公式計算可得飛行距離（$S$）為 60.86 m，但其標槍實際飛行距離為 67.57 m，由於槍體上升時流體會反方向產生一向上力，又當標槍達到最高點且開始下降時，其下降動做亦會使流體相對槍體產生一向上力；故藉由流體幫助，標槍多飛行了約 6~7 m，約為標槍（長約 2.615 m）的三倍長度。本研究參考國內外如 Mero, komi, Korjus, Navarro, and Gregor (1994)、古國宏、黃長福與蔡於儒（2006）、王良展與相子元（2001）等人的研究，加上本研究的實驗數據可發現以社會男子組 800 g 標槍來看，出手速度如果在 25~26 m/s 以上，較有機會達 70 m。而欲達 80 m 以上，則出手速度起碼要有 29 m/s 以上較有可能。

$$S = \frac{V\cos\theta}{g}(V\sin\theta + \sqrt{V^2\sin^2\theta + 2gh}) \quad \text{----------公式一}$$

Ps: S 為飛行距離，$V$ 為拋射速度，$\theta$ 為拋射角度，$h$ 為出槍時距地面高度。

然而在出手角度方面以平均值來看優秀選手有較低的數值，但考量標準差後卻無太大差異。以一般投擲運動來說，如出手速度慢，則出手角度會偏大，希望以增加垂直速度來爭取更多騰空時間，使物體的飛行距離增加。標槍也是一樣，如果出手速度越慢則出手角度一般來說也會越大，以巴塞隆納奧運前三名的選手其出手角度平均僅約 31 deg 左右，故可知出手速度越快出手角度理論上會較小，當然如果速度差越多其角度的差異也會越明顯。例外的是本研究中優秀選手組有一位選手成績約 55 ~ 60 m（成績已算不錯），但其出手角度卻較大，集中在 36 ~ 40 deg，且顯著的大於其他優秀選手（整體約在 31~35 deg）。而一般選手中亦有一位成績約在 42~42 m 之間，但其出手角度僅 28~30 deg 左右，甚至比大部分優秀選手組還低。推測可能是此兩特例造成結果差異並不顯著，否則理論上出手速度越慢，出手角度應該會越大。但綜合先前文獻探討之結果，兩組選手其出手角度仍在一般範圍內。

攻擊角及槍體角和流體阻力有關，一般而言過大的槍體角及攻擊角容易產生較大的流體阻力。故選手的出手角度如果越大，理論上其槍體角也會跟著加大，使其攻擊角不要過大。然而由於槍體角大容易造成壓槍，故選手在出槍時會施予標槍一個側向力矩，使槍體朝下旋轉，以使著地時槍頭能順利的先著地。另一種情況則相反，如出手角度小，則槍體角亦不會太大（避免攻擊角過大），但出手時則施予一使槍頭朝上的力矩，使槍體能

適當地藉用流體阻力來飛行。

在優秀選手組中，整體而言出手角度較一般選手低，故出槍時槍體角亦較一般選手組低。從攻擊角或 3D 攻擊角來看，優秀選手組的平均值皆較低，此一結果顯示出較低的攻擊角或 3D 攻擊角可能會有較佳的成績。另外，優秀選手組在出槍時由於槍體角較低加上攻擊角有一部份呈負值（即出手時槍體角小於出手角度），故在出槍時選手會略施予槍體朝上旋轉的力矩，使槍體朝上旋轉，避免槍頭過早朝下使飛行距離縮短。

為了更方便瞭解槍體角速度和攻擊角之間的關係，本部分分別針對這兩個參數製作了一個 X-Y 座標圖：X 軸表示攻擊角，攻擊角為槍體角減去出手角度，攻擊角為正表示槍體角比出手角度大，為負則表示出手角度大於槍體角。Y 軸表槍體角速度，正值表槍頭朝上旋轉，負值表槍頭朝下旋轉。圖 4-1 左為優秀選手的結果，圖 4-1 右為一般選手的結果。

整體而言，優秀選手幾乎全集中於第一及第二象限，而一般選手則較為不定，多分部在第一、第二及第三象限之間。故我們曉得優秀選手的投擲型態較為固定，不管攻擊角是正或負，即使是槍體角大於出手角度，其槍體角皆為朝上旋轉，且槍體角速度還較一般選手為大（表 4-1）。而一般選手則較為不定，即使是同一人，其每次投擲的型態亦很不固定（可參考附錄），但就圖 4-1 來看，分佈於第一及第三象限的似乎較多，其餘的則分佈於第二象限。故我們曉得一般選手在攻擊角為正時，會以槍頭

朝上旋轉方式投擲，此點類似優秀選手。較為不同的是在攻擊角為負時，即在出手角度較槍體角大的情況下，一般選手多半以槍頭朝下旋轉方式投擲（本部分跟優秀選手有點差異），少部分以槍頭朝上的方式投擲。

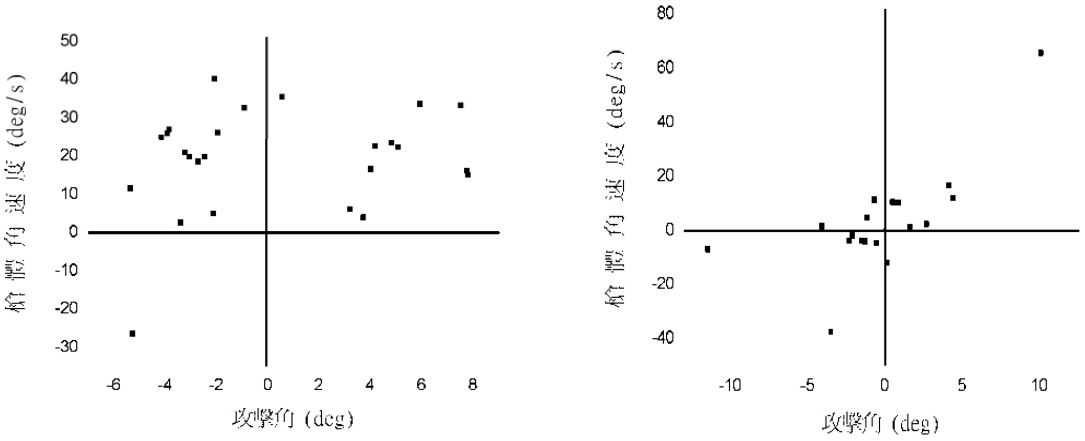


**圖 4-1 優秀選手（左）及一般選手（右）攻擊角及槍體角速度型態座標圖**

繞縱軸旋轉之角速度部分，由表 4-1 可看出優秀選手為 3250.7±851.0 deg/s，平均約 10 rps 左右；而一般選手為 4484.4±722.6 deg/s，平均約為 12.45 rps。標槍在出槍時由於手指的撥動，槍體會有一繞縱軸旋轉的運動出現，許樹淵（1988）表示一般選手投擲時約有 16~24 rps 的繞縱軸旋轉速度產生，而此一旋轉運動將有助於槍體在空氣中更穩定地飛行，其對此一參數的描述僅止於此並無更深入的分析。整體而言本研究之實驗數據比該篇文章的的描述小了許多。

然而由於該篇文章僅為論述性質，並無實際的實驗證實，加上預測出槍體繞縱軸旋轉的角速度並不容易，國內外相關文章並無此方面的實驗數據，故在文獻比較上較為困難。而本研究為了取得此一參數，特別在槍體上加裝了一小「翅膀」(見圖 3-2)，而測出來的結果發現優秀選手的旋轉角速度比一般選手慢，推測可能是對槍體的施力型態或是施力位置不同所造成，但由於目前只有槍體運動學結果並無法做太多推測，故這裡先只大概地做討論，更深入的探討將在槍體受力分析該節做探討。為了更清楚地瞭解此一參數，特別針對優秀選手及一般選手的變化結果分別作線性迴歸，結果如圖 4-2。

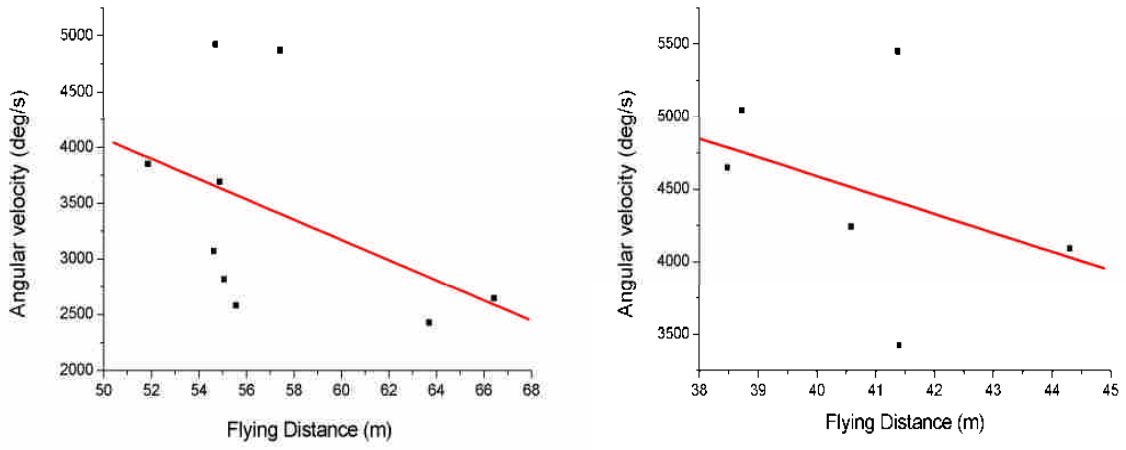


圖 4-2 優秀選手（左，N=8）及一般選手（右，N=6）之槍體繞縱軸旋轉速度及成績趨勢圖

由此圖 4-2 可看出不管是優秀選手或是一般選手，整體而言其繞縱軸旋轉速度皆隨著成績成反比，而此點也較以往觀點如『出槍速度越快，其繞縱軸旋轉速度一定越快』或是『越優秀選手其繞縱軸旋轉度也越快』，有所不同，此點值得教練、選手或是運科人員做更進一步或是更大樣本的研究與思考（圖 4-3）。

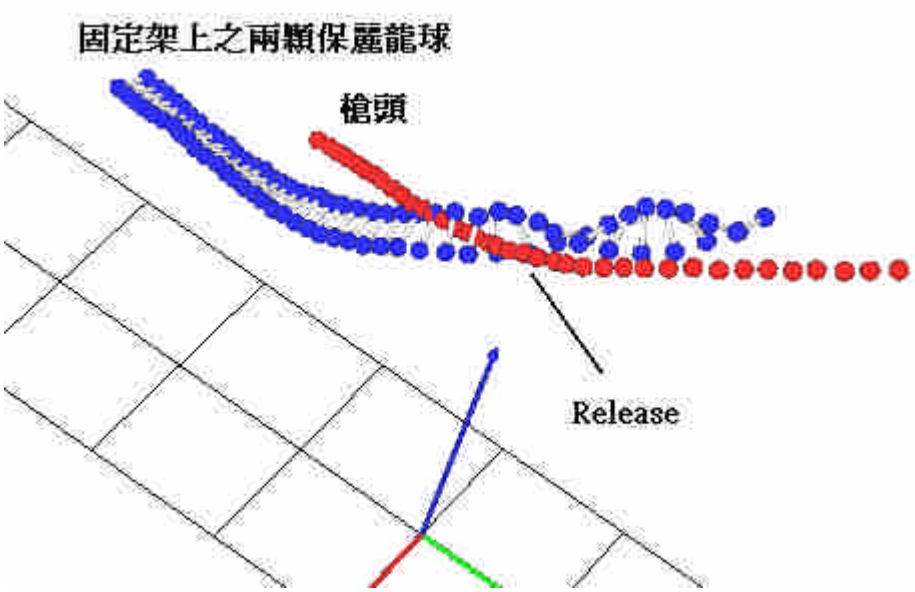


圖 4-3 標槍繞縱軸旋轉棒狀圖（出手時 10.6 rps，每 frame 間隔 0.004 sec）

出手高度方面，不論是絕對高度（m）或是倍身高皆是一般選手比優秀選手來得高。依一般拋射體公式來說，假設在出手角度、出手速度差不多的情況下，理論上出手高度越高飛行距離也越長。但人體是一個多關節動力鏈，各關節必須在適當的角度下才能產生最大力量，一味地追求出手高度，只會破壞關節力量的產生，使出手速度降低。Kunz and Kanfmann (1980) 亦有相同的論點，其解釋有二：(1)適當的關節彎曲可增加槍體加速半徑。(2)

方便調整適當的出手角度。另外從表 4-1 中可看出，優秀選手的倍身高平均為 0.99，故曉其出手高度略低於身高；相反的一般選手其倍身高為 1.12，故其出手高度遠高於其身高。到底出手高度應高於身高或低於身高可能沒有一定的定論，但如果出手高度過高致使關節無法使出全力或是有效地利用地面反作用力，則出手速度勢必降低，此時就算高度再高，成績勢必受到影響，畢竟出手速度的影響力是所有參數中最大的。

## 二、 周宜辰及一位優秀選手之個案探討

**表 4-2** 周宜辰及一位優秀選手出槍時之槍體運動學參數比較

| | | 周宜辰最佳 | 周宜辰普通 | 受試者二最佳 |
|---|---|---|---|---|
| 成績 | (m) | 71.06 | 60.04 | 60.35 |
| 出手速度 | (m/s) | 25.82 | 22.69 | 23.09 |
| 出手角度 | (deg) | 37.6 | 36.0 | 33.9 |
| 槍體角 | (deg) | 32.3 | 33.9 | 38.1 |
| 攻擊角 | (deg) | -5.3 | -2.1 | 4.2 |
| 3D 攻擊角 | (deg) | 7.8 | 8.0 | 6.3 |
| 體角速度 | (deg/s) | 11.5 | 4.9 | 22.4 |
| 旋轉角速度 | (deg/s) | 無 | 無 | 無 |
| 出手高度 | (m) | 1.85 | 1.87 | 1.86 |
| 出手高度 (倍身高) | | 0.98 | 0.99 | 1.02 |

周宜辰在本研究中最佳成績時擲出 25.82 m/s，然在其普通狀況時卻只有 22.69 m/s（表 4-2），顯示其狀況好壞時速度的起伏是需注意的地方。另外在角度方面，周宜辰不管在最佳或最差，其出手角度皆大於槍體角，且數值間變化差異不大，即出不管成績好壞其出槍時角度型態都頗為固定，這似乎顯示出出槍時角度型態似乎不是影響周宜辰成績的關鍵。槍體角速度方面雖然最佳時比普通時大，但比起二號受試者還算小且皆為向上旋轉，以旋轉型態上來看似乎亦不是影響成績的主要關鍵。出槍高度方面，周宜辰最佳成績僅比普通成績少了兩公分，變異不大。由上述討論可知周宜辰其出槍之型態頗為固定，較不會有太大的變異，而其中需注意的地方為其出手速度，狀況好時及狀況差時差距頗大。

**表 4-3** 本研究中周宜辰最佳成績和國內外優秀選手出手時之一些運動學參數比較

| | Jan Zelenzy | Seppo Raty | Steve Backley | 江萬興 | 周宜辰 |
|---|---|---|---|---|---|
| 距離 (m) | 88.18 | 86.60 | 83.38 | 73.18 | 71.06 |
| 出手速度(m/s) | 29.2 | 28.9 | 29.5 | 26.24 | 25.82 |
| 出手角度(deg) | 30 | 31 | 33 | 26.95 | 37.6 |
| 槍體角 (deg) | 33 | 24 | 43 | 44.93 | 32.3 |
| 攻擊角 (deg) | 3 | -7 | 10 | 17.98 | -5.3 |
| 出手高度 (m) | 1.83 | 1.81 | 1.88 | 缺 | 1.85 |

註：前三位是 1992 年巴塞隆納奧運標槍決賽前三名，資料來自於 Mero, komi, Korjus, Navarro, and Gregor (1994)。國內「江萬興」選手資料來自於王良展與相子元（2001），同時該次成績為其 2001 年 4 月 8 日全國大專運動會中破全國紀錄成績。

至於和其他國內外優秀選手相比，由表 4-3 可看出周宜辰出手速度較慢，而出手角度較大，而這似乎與前面速度與角度的關係不謀而合。至於槍體角、攻擊角及出手高度方面則介在範圍間，並無太大的差異。由 4-3 比較表可知欲達世界級水準，以出槍參數來說速度是其最需要加強的地方。

## 第二節、上肢關節各項運動學參數比較

### 一、 兩組選手出槍時之身體上肢段參數比較

**表 4-4** 出槍時之上肢各關節運動學參數比較

| | | 優秀選手 (N=4) | 一般選手 (N=5) | 顯著性 |
|---|---|---|---|---|
| 肩關節角度 | (deg) | 129.6±6.7 | 124.3±9.9 | |
| 肘關節角度 | (deg) | 141.5±2.5 | 137.35±11.6 | |
| 腕關節角度 | (deg) | 153.6±7.0 | 153.8±11.2 | |
| 肩關節角速度 | (deg/s) | 510.8±136.1 | 378.9±81.2 | * |
| 肘關節角速度 | (deg/s) | 1011.7±73.4 | 878.3±37.2 | * |
| 腕關節角速度 | (deg/s) | 214.7±148.4 | 310.7±149.0 | |
| 肩關節線速度 | (m/s) | 5.57±0.21 | 4.27±0.30 | |
| 肘關節線速度 | (m/s) | 9.29±0.44 | 8.20±0.60 | |
| 腕關節線速度 | (m/s) | 16.18±0.57 | 13.21±0.97 | |
| 最大肩關節角速度 | (deg/s) | 601.1±122.1 | 447.9±111.3 | * |
| 最大肘關節角速度 | (deg/s) | 1074.1±41.5 | 996.3±129.8 | * |
| 最大腕關節角速度 | (deg/s) | 214.7±148.4 | 313.1±145.9 | |

在上肢各關節角度部分，在出槍時肩關節、肘關節及腕關節角度差不多（表 4-4）。接著再觀察出槍時各關節的角速度及線速度，線速度方面各關節如同以往 Bartlett, Muller, Lindinger, Brunner and Morriss (1996)的實驗結果：皆為優秀選手上肢各關節線速度大於一般選手。但值得注意的是角速度，一般人可能也會認為「優秀選手之各關節角速度也會比一般選手快」，但實際上不然，由表 4-4 可發現除了肩關節及肘關節外，兩組選手在出槍時或出槍前最大的腕關節角速度是沒有顯著差異的，此結果可能帶給我們不一樣的思考方向。雖然考量標準差後兩組的差距並非很大，但由腕

關節角速度的比較可推測：優秀選手在投擲時其肩關節及肘關節著重於角運動及線性運動，而其腕關節可能較著重於線性運動，換句話說即出槍時腕關節僅為固定持槍用，並不特別使用角度變化來活動。

而在角速度峰值出現的時機（timing）方面，投擲過程中上肢各關節角速度變化圖如下圖 4-4，一般選手各關節的線速度變化圖如 4-5，由此兩圖可知不論是優秀選手或是一般選手，其角速度或是線速度皆有一明顯趨勢，即肩關節的峰值先出現，接著是肘關節，最後才是腕關節。故不論選手成績為何，在標槍投擲時皆有進而遠的順序（P-D sequence）出現。根據先前文獻探討的結果，此一動力鏈型態，能較為有效的把身體能量由身體近端傳遞給遠端肢段。

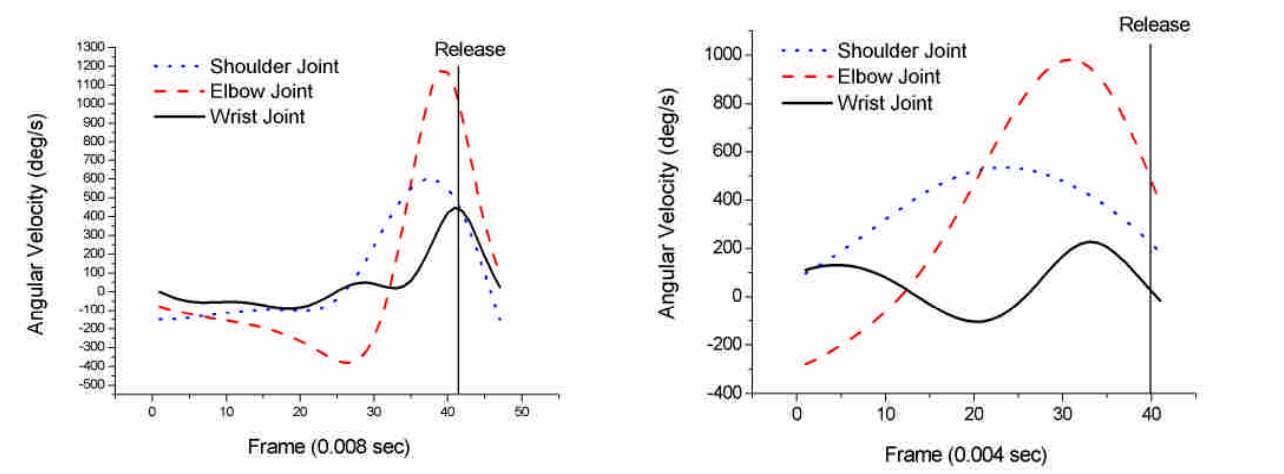


圖 4-4 某位優秀選手（左）與一般選手（右）之上肢關節角速度變化圖

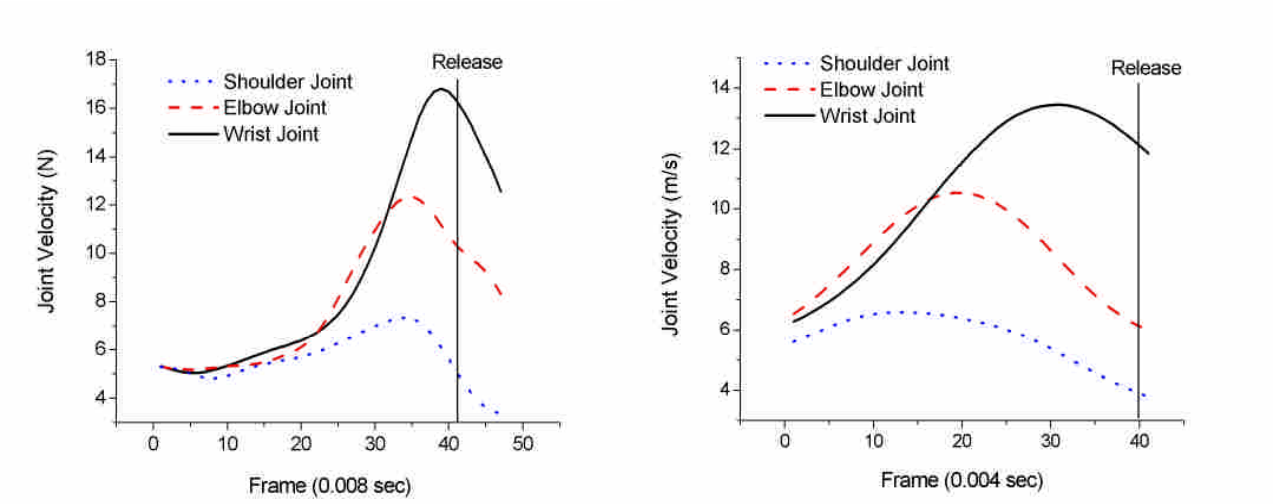


圖 4-5 某位優秀選手（左）與一般選手（右）之上肢關節線速度變化圖

## 二、 周宜辰及一位優秀選手之個案探討

**表 4-5** 周宜辰及一位優秀選手出槍時之上肢各關節參數比較

| | 周宜辰最佳 (71.06 m) | 周宜辰普通 (60.04 m) | 受試者二最佳 (60.35 m) |
|---|---|---|---|
| 肩關節角度 (deg) | 123.9 | 130.1 | 124.6 |
| 肘關節角度 (deg) | 138.2 | 130.3 | 141.6 |
| 腕關節角度 (deg) | 154.0 | 152.9 | 156.6 |
| 肩關節角速度 (deg/s) | 618.6 | 346.0 | 498.2 |
| 肘關節角速度 (deg/s) | 915.4 | 972.1 | 1034.5 |
| 腕關節角速度 (deg/s) | 172.1 | 129.4 | 429.4 |
| 肩關節線速度 (m/s) | 5.81 | 5.48 | 5.12 |
| 肘關節線速度 (m/s) | 8.57 | 8.34 | 10.23 |
| 腕關節線速度 (m/s) | 16.92 | 15.0 | 16.34 |
| 最大肩關節角速度(deg/s) | 686.3 | 505.2 | 592.4 |
| 最大肘關節角速度(deg/s) | 1034.4 | 972.1 | 1075.6 |
| 最大腕關節角速度(deg/s) | 172.1 | 129.4 | 429.4 |

在周宜辰上肢各關節運動學參數中，較值得注意的是其腕關節角速度，不管是出槍時或是出槍前最大角速度峰值，也不管是和其他優秀選手或是一般選手，周宜辰此項參數皆很小（約在 200 deg/s 以下，可參見表 4-5 或是後面附錄），這顯示出相較於其他選手，周宜辰選手在投擲時腕關節並無太強烈的屈伸活動，如同前面的解釋，其在做投擲時其腕關節可能多半僅用來固定，真正產生速度的主要來源可能是其肩關節及肘關節的活動，特別是肩關節的角運動，因為其肩關節角速度可達 650 deg/s 以上（特別是在成績較好的幾次），幾乎是所有選手中最高的。

## 第三節、下肢關節之運動學參數比較

### 一、 兩組選手出槍時之身體下肢段參數比較

**表 4-6** 兩組選手最後投擲階段之下肢運動學參數比較

| | | 優秀選手 (N=4) | 一般選手 (N=5) | 顯著性 |
|---|---|---|---|---|
| 出槍時左髖關節角度 | (deg) | 117.2±6.6 | 133.7±7.2 | * |
| 著地時左膝關節角度 | (deg) | 165.6±4.9 | 152.2±7.7 | * |
| 出槍時左膝關節角度 | (deg) | 160.1±14.3 | 159.9±7.6 | |
| 身體前後傾角度 | (deg) | 21.7±6.4 | 11.6±7.6 | * |
| 身體左右扭轉角度 | (deg) | 56.0±26.4 | 76.2±9.7 | |
| 推蹬腳著地時身體速度 | (m/s) | 5.80±1.08 | 4.07±0.59 | * |
| 支撐腳著地時身體速度 | (m/s) | 4.99±0.24 | 3.93±0.66 | * |
| 出槍時身體速度 | (m/s) | 2.57±0.49 | 1.81±0.32 | * |
| 步長 | (m) | 1.71±0.16 | 1.29±0.12 | * |
| 步長 | (倍身高) | 0.89±0.03 | 0.72±0.06 | * |

表 4-6 顯示出兩組選手下肢之出槍時參數，首先為出槍時左髖關節角度，優秀選手為平均為 117.2±6.6 deg，而一般選手為 133.7±7.2 deg，優秀選手出槍時左髖顯著地較為屈曲，而此點似乎也可以呼應前面優秀選手出手高度較一般選手低的原因（參見表 4-1）。

標槍要投擲的遠不能只光靠手臂各關節的運動，必須結合身體屈伸或扭轉才能夠發揮更大力量。由表 4-6 可看出，兩組選手在身體左右扭轉方面似乎差距不大，甚至如果單看平均值優秀選手的扭轉幅度甚至略小於一般選手。然而在身體前後傾角度方面，優秀選手可達 21.7±6.4 deg，而一般選手僅 11.6±7.6 deg，兩組選手間差距頗大。由此可知在軀幹動作方面，兩組

選手差異主要在前後傾而不在左右扭轉，優秀選手有較大的前後傾角度，而這也可以呼應優秀選手出槍時髖部較為屈曲的原因，這方面的技術及相關肌群可能一般選手較需花多一點時間注意。

在膝關節方面，制動腳著地時，優秀選手的左膝關節角度為 165.6±4.9 deg，一般選手為 152.2±7.7 deg（見表 4-6），可知在最後一步著地時優秀選手幾乎採取較為「直膝」方式來著地，而一般選手則大部分採取較為「屈膝」方式來著地；而在出槍時兩組選手左膝關節角度差距不大。這部分根據研究者實際比對兩組選手動作影片及實驗數據後可發現：在關節角度變化方面，整體而言優秀選手著地時多半採用較「直膝」的方式來著地，而在出槍時左膝會較為「屈膝」的方式來出槍（周宜辰例外，其出槍時膝蓋伸直，此點後面再討論），顯示兩組選手；一般選手則多半以較「屈膝」的方式來著地，在出槍時會以伸膝個約 10 度左右的方式出槍，故可知兩組選手在制動過程中左膝關節動作型態上是不一樣的，但最後出槍時的關節角度卻是差不多（約在 160 deg 上下）。以一般力學角度而言，膝蓋伸直除了可增加出手高度外，如果膝蓋過度彎曲，將會緩衝掉身體前進的力量且無法支撐、鎖定住左髖（如此會妨礙軀幹彎曲及扭轉，使動量難以傳達給上半身），且影響股四頭肌的向心收縮造成推蹬表現不佳，進而影響成績。故建議兩組選手制動時膝蓋不要過度彎曲。

此外在助跑的效應上，本研究以投擲各階段身體重心速度來觀察，由

表 4-6 可發現，不管是在推蹬腳著地、制動腳著地乃至於出槍時，優秀選手的身體速度皆明顯大於一般選手（考量標準差後亦如此），故可之優秀選手能充分利用助跑所產生的速度來增加槍體的動量，相較之下一般選手則幾乎是在「走路」的狀況下完成投擲，似乎沒有充分利用助跑所帶來的優勢。Bartlett（1996）的研究指出國外優秀選手其標槍助跑平均速度約在 5.2 ~ 7.0 m/s 之間，由本研究中優秀選手助跑水平仍在國外選手的範圍內，而一般選手則遠低於此水平。交叉步之後由於制動、煞車關係，造成前進速度急速下降，出槍時僅約 2 m/s 左右，優秀選手此時的速度仍是略高一些。

## 最後交叉步階段身體質心速度與加速度的變化

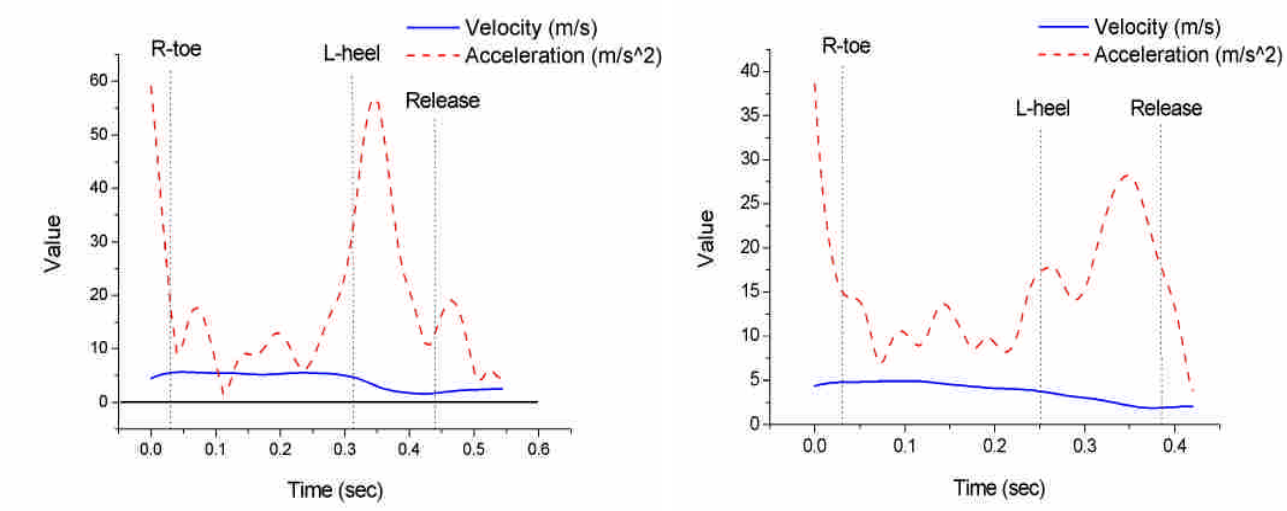


圖 4-6 優秀選手（左）與一般選手（右）助跑階段身體質心速度與加速度變化圖

圖 4-6 為兩組選手之助跑時身體質心速度與加速度變化曲線圖，在右腳著地後約 0.04 sec 身體質心加速度有一小幅度增加，推測可能為右腳推蹬所造成，但由圖 4-6 可知實際上此「推蹬」並無使身體前進之速度有太大的增加。而在制動腳著地後，身體速度因為制動腳煞車作用而顯著下降，一直到出槍時皆為下降趨勢，故可知最後一步交叉步基本上皆處於減速狀態，其目的主要在緩衝助跑速度。

在步伐方面，優秀選手為 1.71±0.16 m，約為體長之 0.89±0.03 倍；而一般選手則較短 1.29±0.12 m，約為其體長之 0.72±0.06 倍。以一般狀況來說，步伐太短或太長都不好，太短表示身體沒有充分地利用助跑所帶來的動量或是身體沒有做充分地伸展；又步伐跨得太遠則身體無法適當地鎖定左髖關節來使軀體做扭轉動作，又或是會造成投擲姿勢變形，一般投擲動作來說如棒球投擲，甚少跨步超過，超太遠則反而影響投擲成績。然而優秀選手為何跨步跨得遠又有良好表現呢？經實際影片觀察後可發現，優秀選手在最後一步交叉步時其身體仍具有相當大的動量，故在推蹬腳推蹬時其身體速度並未放得特別慢，而是利用右腳推蹬來使身體騰空飛行，在身體前移的同時右腳也被拖曳著走，故當制動腳著地時其軀體仍能充分地扭轉，且保持相當大的身體動量。然而一般選手在最後一步時則相反，其推蹬腳（右腳）多半「緊貼」在地面，直到快出槍時才離地，身體也沒有什麼明顯的跳躍動作，如同前面身體速度的解釋，幾乎是在慢速下完成投擲動作。

## 二、 投擲過程中制動腳各關節角度變化

另外還有一點是值得注意，雖然前面 3-1 小節表示優秀選手其出槍時髖關節較一般選手屈曲但並不表示優秀選手出槍時髖關節「正在」屈曲，由圖 4-7 可知出槍時不管是優秀選手或是一般選手其髖關節皆處於正在「伸展」的階段。

由圖 4-7 可看出，當制動腳腳跟著地時（L-heel），踝關節正處伸展狀態以便於腳尖往前下壓。而膝關節由於地面衝擊及身體的壓力關係，會迫使膝關節微彎，而髖關節在左腳著地之前就已逐漸在屈曲，制動腳著地時仍繼續於屈曲狀態。在快要出槍時基本上膝及髖關節皆是伸展狀態，當然有些選手伸展得多有些選手伸展的少。而在踝關節通常在出槍前則較為不固定，有些選手會先屈曲再伸展（如周宜辰），有些則一直保持某伸展角度（如圖 4-7 左），有些則從腳跟著地到出槍皆一直處於逐漸伸展狀態（如圖 4-7 右）。

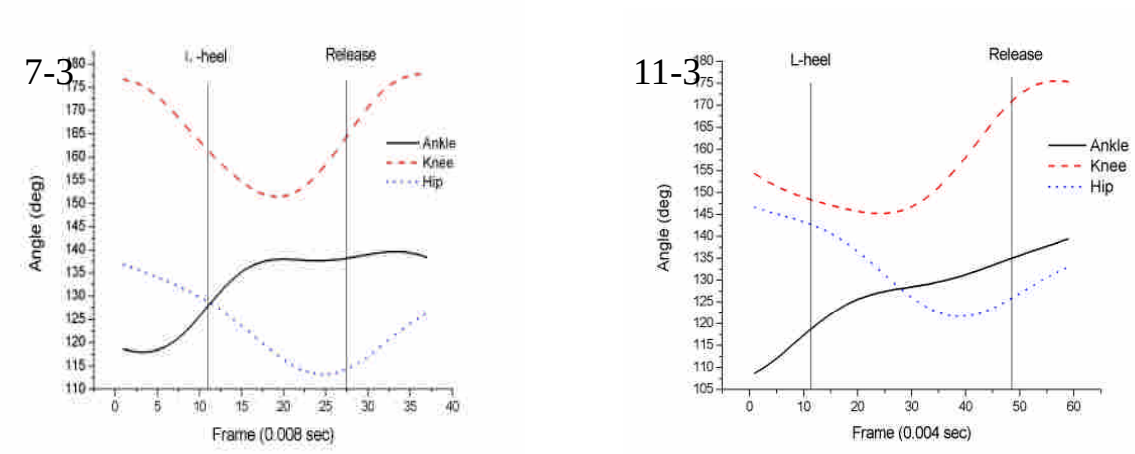


圖 4-7 優秀選手(60.86 m，左)及一般選手(47.11 m)下肢各關節角度變化

## 三、 周宜辰及一位優秀選手之個案探討

**表 4-7** 周宜辰及一位優秀選手出槍時下肢運動學參數比較

| | | 周宜辰最佳 | 周宜辰普通 | 受試者二最佳 |
|---|---|---|---|---|
| 左髖關節角度 | (deg) | 123.9 | 128.3 | 113.9 |
| 著地時左膝關節角度 | (deg) | 170.2 | 168.5 | 161.5 |
| 出槍時左膝關節角度 | (deg) | 173.1 | 167.1 | 163.1 |
| 身體前後傾角度 | (deg) | 20.5 | 11.2 | 14.8 |
| 身體左右扭轉角度 | (deg) | 60.6 | 62.1 | 71.1 |
| 推蹬腳著地時身體速度 | (m/s) | 沒測到 | 5.62 | 5.68 |
| 支撐腳著地時身體速度 | (m/s) | 5.35 | 4.85 | 4.81 |
| 出槍時身體速度 | (m/s) | 2.37 | 2.18 | 2.56 |
| 步長 | (m) | 沒測到 | 1.81 | 1.69 |
| 步長 | (倍身高) | 沒測到 | 0.96 | 0.92 |

比較後可發現，其中髖關節、身體左右扭轉等方面其最佳成績和普通成績及二號最佳時差不多（表 4-7），比較值得注意的是其出槍時膝蓋角度、前後傾角度及快出槍時的身體速度。

此外在最佳成績該次其左膝關節似乎都維持充分伸展（皆在 170 deg 以上），而在其普通狀況或是二號最佳時則可看到較明顯屈膝動作，特別是二號最佳在出槍時，其左膝屈曲較為嚴重，故可知同樣是優秀選手，出槍時的膝蓋彎曲度仍是差異頗大。

制動時到底膝蓋能否彎曲一直是個見仁見智的問題。Maximov（1979）的研究顯示膝關節彎曲幅度越小成績越佳，兩者間甚至達極顯著相關，其解釋為如果膝蓋彎曲、制動腳伸肌肌群（如股四頭肌）不能支撐住地面反

作用力的衝擊，則將緩衝掉不少能量給上半身。這是早期學者的看法，但實際上選手在著地時的衝擊力量是很大的，如果要膝蓋完全不能彎曲似乎是不太可能。且 Mero, Komi and Korjus（1994）曾指出，適當的彎曲將有助於股四頭肌的伸張→再收縮，形成一 SSC 狀況，如此可能更有助於彈跳及動量的傳遞。故考量肌肉的負荷及減少運動傷害，適當的膝關節彎曲應該是被允許的，且從 SSC 的角度來看，適當的彎曲可能更有助於後續的推蹬表現。

至於前後傾及左右扭轉方面亦有如同 3-1 小節的比較結果，在最佳成績時前後傾達 20.5 deg，遠比普通成績及二號最佳時來得大。左右扭轉則相反，最佳成績時僅 60.6 deg，比最差及二號最佳時小。故可知前傾幅度似乎也是造成周宜辰成績變化的關鍵之一。以往的觀念可能認為棒球投擲或是標槍投擲前腳著地時，身體或是髖部越向外展開（即左右扭轉幅度越大），對投擲越有幫助，此種觀念在以前或許是對的，但隨著新技術的改革，現在則有一些學者提出不同看法。

另外在身體速度方面，其最佳成績時身體速度皆比普通成績及二號最佳來的快，在維持助跑速度上亦需注意，盡可能在維持動作協調的情況下增加助跑速度。而步長方面，以國外平均投擲成績 80.46±1.01 m 的選手來說其步長平均 1.86±0.12 m，而除以身高後則是 0.97±0.079（倍身高），和表 4-7 比較後可知周宜辰的步伐幅度尚在合理範圍內。

## 第四節、兩組選手出槍時槍體動力學參數比較

**表 4-8** 兩組選手出槍時之槍體動力學參數比較

| | | 優秀選手 (N=4) | 一般選手 (N=5) | 顯著性 |
|---|---|---|---|---|
| 成績 | (m) | 57.10±4.35 | 41.39±2.71 | * |
| 軸向力 | (N) | 92.83±19.30 | 60.01±10.94 | * |
| 側向力 | (N) | 95.51±11.60 | 61.58±17.39 | * |
| 出槍前最大軸向力 | (N) | 194.63±19.64 | 147.81±18.54 | * |
| 出槍前最大側向力 | (N) | 124.44±22.24 | 88.15±16.40 | * |
| 軸向力矩 | (Nm) | 0.2±0.0 | 0.3±0.1 | |
| 側向力矩 | (Nm) | 12.1±3.4 | 7.1±4.7 | |
| 出槍前最大軸向力矩 | (Nm) | 0.2±0.1 | 0.3±0.1 | * |
| 出槍前最大側向力矩 | (Nm) | 16.2±2.7 | 13.7±4.9 | |

本部分是較少被人所探討的，由表 4-8 可知出槍時優秀選手之軸向力為 92.83±19.30 N，側向力為 95.51±11.60 N，而一般選手軸向力為 60.01±10.94 N，側向力為 61.58±17.39 N，由此可看出優秀選手在出槍時不管是軸向力或是側向力皆顯著地大於一般選手。軸向力可使槍體產生前進速度，側向力則可使手和握把間摩擦力加大，方便手指的施力，故兩者需維持適當比例，缺一不可。而在力量的分配比例上（軸向力 / 側向力），優秀選手約為 0.971 (92.83 / 95.51)，一般選手為 0.974（60.01 / 61.58），可見兩組選手力量分配的型態上差不多。而在出槍前最大力量方面則是軸向力峰值（如優秀選手 194.63±19.64 N）明顯大於側向力峰值（如優秀選手 124.44±22.24 N），兩組選手皆如此；至於在兩組選手比較方面則是優秀選手顯著大於一般選手，結果見上表 4-8。

而在力矩方面，優秀選手的軸向力矩略小於一般選手，而側向力矩則略大於一般選手，軸向力矩是造成標槍繞縱軸旋轉的力量主要來源，軸向力矩小則繞縱軸旋轉速度小，這或許可以解釋先前優秀選手其出槍時繞縱軸旋轉速度較小的原因。而側向力矩是造成槍體上下傾的力量（pitching moment）來源，側向力矩越大，槍體上下傾角速度也越大，故此也可呼應先前優秀選手槍體角速度較大的現象。

但是我們或許會問為何優秀選手可以施較大的軸向及側向力，但卻不造成過大的軸向力矩（特別是周宜辰，其在 63~65 m 成績時，最大軸向力矩只有 0.2~0.28 Nm 左右，比起其它選手來說算是小很多）？針對此點綜合前面槍體及上肢運動學結果推測可能原因有三：

(1) 施力型態不同：即可能主要施力在縱軸方向，而對槍體施軸向力矩較少，有一點類似「送槍」而非「撥槍」的型態，故優秀選手出槍速度較快，但繞縱軸旋轉角速度卻較慢。

(2) 施力的位置不同：雖然標槍有棉線纏繞，但棉線之厚度僅約 0.3 ~ 0.4 cm，要中指完全在棉線後方施力是不可能的，然而優秀選手有可能多偏握把棉線後端施力，較少在握把側方施力，以致於力量雖大但軸向力矩較小。

(3) 上肢投擲型態不同：出槍時上肢是向上伸展的狀態，此刻腕關節如果動作強烈，會造成一向下撥的力量，產生「撥槍」狀態，如此不但使槍體前進速度減慢，也會產生很大的繞縱軸旋轉速度。然在前面上肢各關節運動

學討論有提及優秀選手其腕關節動作幅度較小，故優秀選手可能以腕關節較為固定方式「送槍」，而非「撥槍」方式投擲。

而在施力的變化上，圖 4-8、圖 4-9 及圖 4-10 各列出周宜辰（63.35 m）、某位優秀選手（55.47 m）及某位一般選手（45.53 m）三維槍體受力情形。在數值（magnitude）方面，整體而言出槍前軸向力普遍大於側向力，但在出槍時除了因為隨著手指控制槍體的部分越來越少而導致力量下降外，在比例上軸向力卻有下降的趨勢，甚至變成側向力略大於軸向力，故可知在標槍最後投擲時，手部主要的施力方向並非一成不變。而力矩方面，除了可看出側向力矩明顯大於軸向力矩外，兩者變化趨勢亦類似力量，側向力矩在出槍前約 0.025~0.03 sec 左右達最大值；而軸向力矩則較晚約在出槍瞬間達最大值，顯示出最後手指的撥動是造成軸向力矩增加的主要來源。

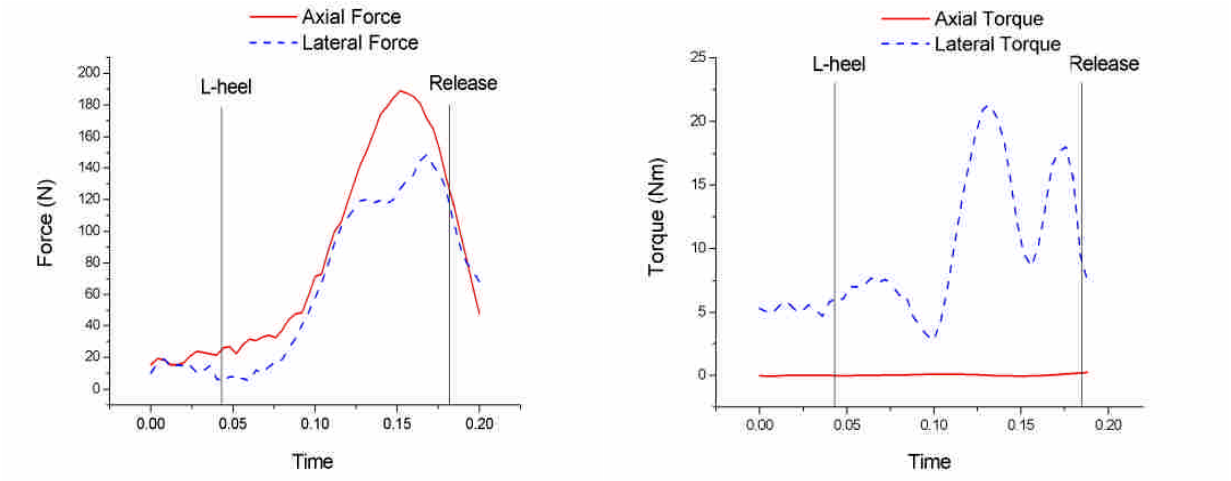


圖 4-8 周宜辰某次（63.35 m）投擲時槍體受力分析圖

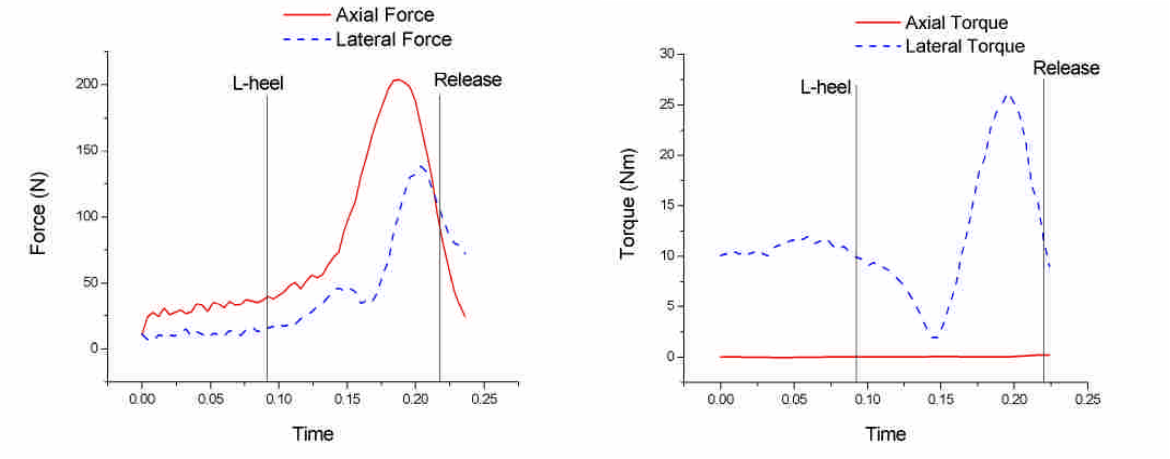


圖 4-9 三號優秀選手某次（55.47 m）投擲時槍體受力分析圖

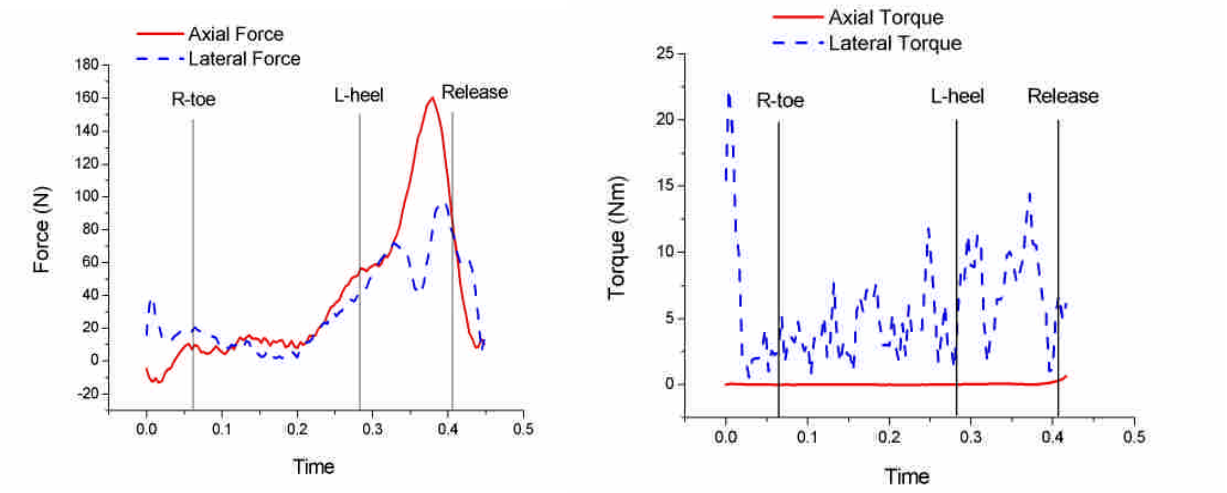


圖 4-10 十號一般選手某次（45.53 m）投擲時槍體受力分析圖

在型態（pattern）方面，較值得注意的是周宜辰在發力前有一短暫下降（約在 0.012~0.016 sec 時），顯示其在發力之前有先放鬆的現象，推測此短暫放鬆不但可以儲備加速期的能量更可以促進肌肉徵召的協調（improve coordination of muscle recruitment）。在發力的起始點方面基本上可分為次要發力階段及主要發力階段。在次要發力階段發面，由上面三圖似乎很難找到一個明確的起始點（當然這也有可能是拍攝範圍不夠大所致，如拍攝範

圍再大一點則可能可以找到)。但比較可以判斷的是三位選手皆在制動腳著地前槍體即有受力，但由於此時主要肩膀尚未開始內轉來帶動上肢，且手肘亦無屈伸，故推測此時的受力是來自於助跑或是推蹬腳推蹬的身體動量。之後進入主要發力階段（斜率開始大幅增加)，由上面三圖可看出主要發力階段的起始點皆在制動腳著地後約 0.03~0.05 sec，比對影片後可發現此時肩膀已開始內轉，手肘順勢提起且準備彎曲，故可知此階段的受力主要才是來自於上肢段。制動腳著地之後上半身繼續向前壓且在手肘「順勢」做出最大屈曲後逐漸伸展之際，達到最大峰值，之後隨著槍體逐漸離手而下降。而在力矩方面，值得注意的是一般選手側向力矩之起伏波動情形似乎較兩位優秀選手為大，側向力矩起伏變化越大代表槍頭的上下傾越劇烈，過大的起伏容易造成投擲時持槍的不穩定，且會多消耗一部份能量在控槍上，這點值得一般選手注意。

## 第五節、出槍時地面反作用力參數比較

### 一、 兩組選手出槍時地面反作用力參數比較

**表 4-9** 支撐期之各項地面反作用力參數比較

| | | 優秀選手 (N=2) | 一般選手 (N=2) |
|---|---|---|---|
| 成績 (m) | | 54.09±3.96 | 43.54±2.25 |
| 制動期 | 時間 (s) | 0.18±0.02 | 0.15±0.04 |
| | 最大 X 方向力量 (N) | 837.11±339.86 | 526.83±30.66 |
| | 最大 Y 方向力量 (N) | 1160.32±166.25 | 1089.03±326.51 |
| | 最大 Z 方向力量 (N) | 2222.72±699.60 | 1904.58±890.48 |
| | 最大 X 方向力量 (倍體重) | 0.98±0.35 | 0.66±0.11 |
| | 最大 Y 方向力量 (倍體重) | 1.37±0.21 | 1.32±0.21 |
| | 最大 Z 方向力量 (倍體重) | 2.63±0.85 | 2.29±0.82 |
| | Y 方向衝量 (Ns) | 121.49±34.32 | 101.78±16.85 |
| | Z 方向衝量 (Ns) | 230.17±50.52 | 182.99±52.00 |
| 推蹬期 | 時間 (s) | 0.30±0.10 | 0.64±0.08 |
| | 最大 X 方向力量 (N) | 312.66±57.45 | 143.38 |
| | 最大 Y 方向力量 (N) | 260.55.52±65.45 | 123.04±6.13 |
| | 最大 Z 方向力量 (N) | 526.60±163.97 | 714.84±273.26 |
| | 最大 X 方向力量 (倍體重) | 0.36±0.05 | 0.21±0 |
| | 最大 Y 方向力量 (倍體重) | 0.30±0.06 | 0.15±0.03 |
| | 最大 Z 方向力量 (倍體重) | 0.62±0.20 | 0.86±0.22 |
| | Y 方向衝量 (Ns) | 46.98±24.26 | 19.89±14.95 |
| | Z 方向衝量 (Ns) | 96.09±45.65 | 248.74±124.76 |

時間方面，優秀選手制動期時間較一般選手略長，推蹬期則相反一般選手顯著地多於優秀選手。經影片觀察發現，一般選手出槍後，制動腳多黏在地面上（以致於推蹬期較長），而優秀選手則多半會順勢跳起，這可能

是造成推蹬期時間差異的原因。至於在力量方面，如果只看平均數，則整體而言優秀選手在制動期或推蹬期皆大於一般選手，但如果考量標準差後則兩組選手間差距不大。

在衝量上，整體而言制動期時優秀選手在 Y 及 Z 方向上只能說是略大於一般選手，考量標準差後差距更小；而在推蹬期差距較為明顯，優秀選手 Y 方向衝量為 46.98±24.26 Ns，而一般選手 Y 方向衝量為 19.89±14.95 Ns，可看出在前後推蹬方向的衝量較大。由於衝量（*impulse*）是時間（$\triangle t$）與力量（$F$）的乘積，由於一般選手推蹬期時間較長理論上 Y 方向推蹬衝量應較大，但推測可能是優秀選手推蹬期 Y 方向施力遠大於一般選手（由倍體重亦可看出），故最後優秀選手的推蹬衝量反而較大。然而在推蹬期 Z 方向上衝量，一般選手顯著大於優秀選手，經觀察影片後發現可能是出槍時一般選手的推蹬腳始終踏在地板上所造成。

本部分未如預期經分析後發現可能是為了踩測力板的因素，本研究中使用 60 cm x 40 cm 見方的測力板，其表面積並不大，選手為了踩測力板有可能導致動作失真，不但踩到次數少且有採到測力板的成績普遍較差，故這部分未來仍有待更多實驗來研究。

稍微瞭解一下制動腳著地時之地面反作用力變化，由圖 4-11 可看出，制動腳腳跟剛著地時，垂直方向的力 Fz 很快的就上升，且此時由於制動腳是往左斜前方跨，故測力板予以一正向 X 及負向 Y 的力，接著腳尖往下壓

加上髖關節屈曲此時導致 Fz 值下降起伏，在腳跟著地後約 0.14~0.15 sec 是出槍階段，出槍後制動腳並未停止動作仍繼續伸踝、伸膝持續完成身體向前跳躍的動作，此時可看到由於腳彎曲準備離地，故 Fz 值急速下降。之後進入推蹬期，由於腳開始向後推蹬，故 Fy 漸漸呈正值，在推蹬離地前 Fz 有一小峰值。基本上兩組選手的變化趨勢皆相同比較有差異的是在力量數值及時間方面，而這方面前面已解釋過了。

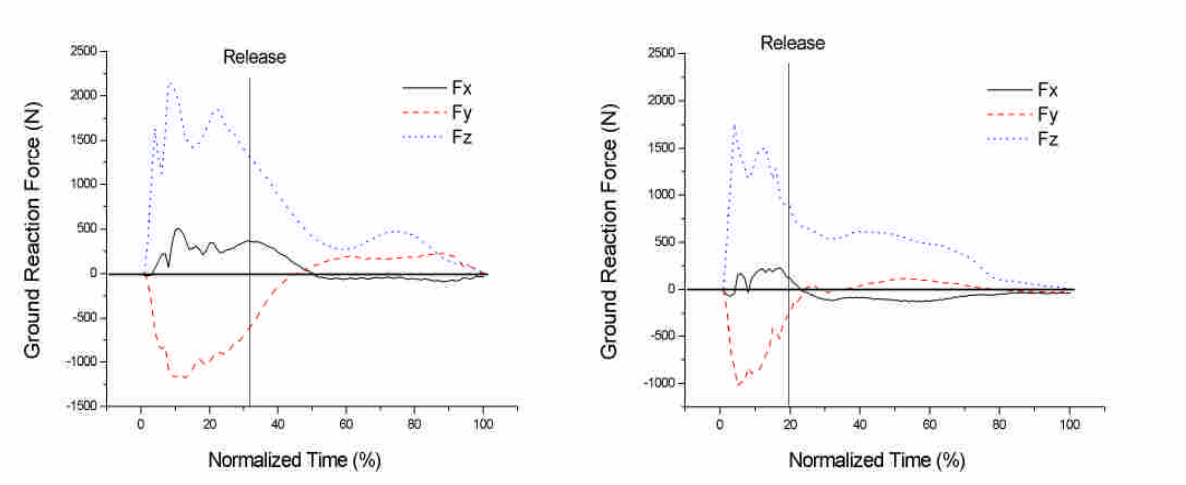


圖 4-11 優秀選手（左）及一般選手（右）平均支撐時地面反作用力變化

由上述圖 4-11 可知，出槍時是發生在制動期階段（兩組選手皆是），而非推蹬期階段，可見得制動期階段的動作會比推蹬期階段來得重要（但請注意，這麼說只是程度上比較而已，並非指推蹬期中的隨後動作不重要）。其平均出槍時機如表 4-10 所示，優秀選手的出槍時機 (%) 較晚，推測可能是優秀選手制動時腳煞車、身體前後傾等動作做得較完全，故較晚出槍；另外也可能是一般選手推蹬後腳都「黏」在地面，故造成推蹬期長，使得

出槍時間比例變小。

**表 4-10** 優秀選手（左）及一般選手（右）之出槍時機（timing）在整體支撐期中的比例

| | 優秀選手 | 一般選手 | 顯著性 |
|---|---|---|---|
| 出槍時機（%） | 32.68±2.75 | 19.7±4.91 | * |

## 二、 出槍期前地面反作用力與槍體受力之結合

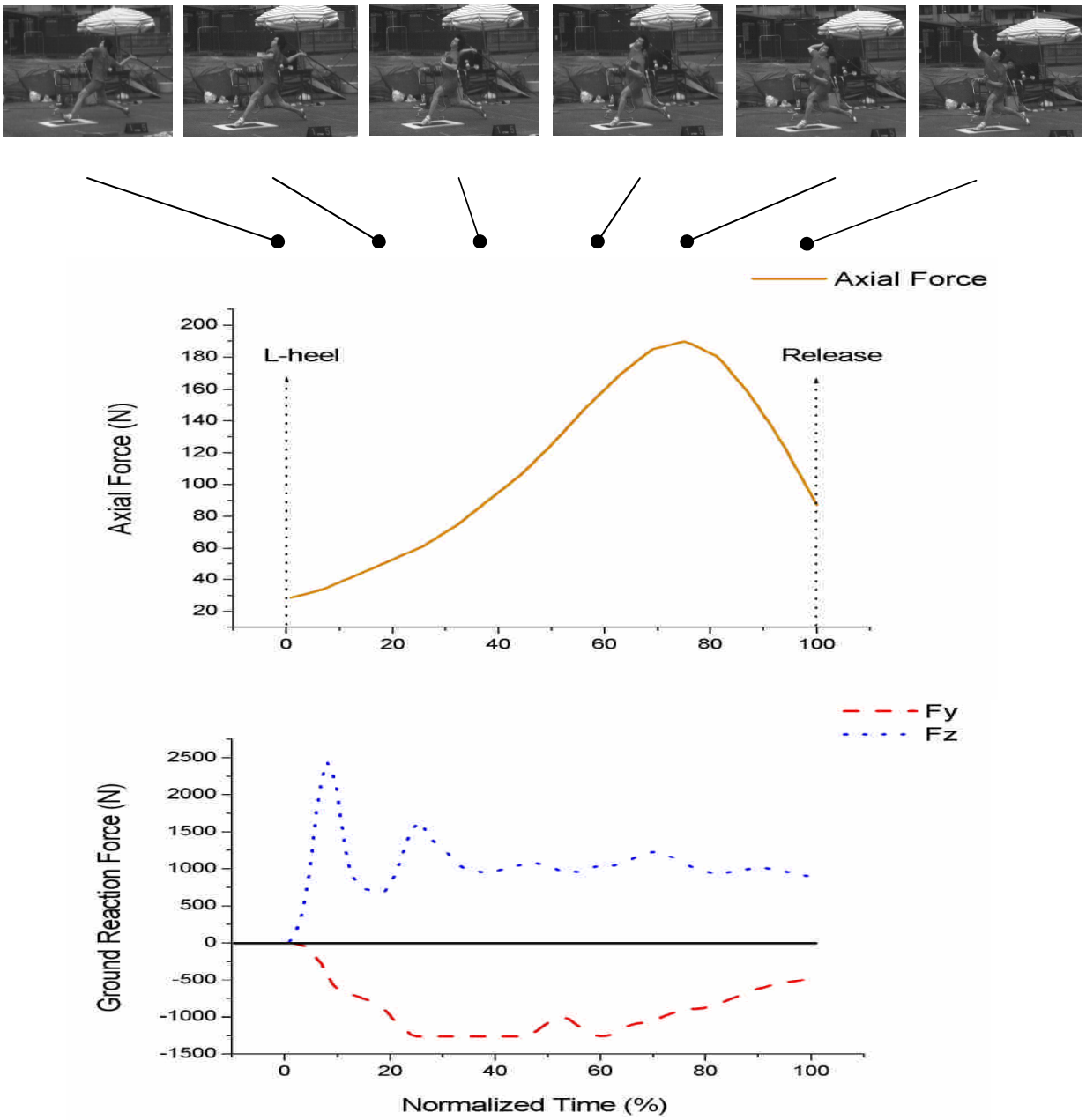


圖 4-12 槍體受力（上）及地面反作用力（下）結合圖

由圖 4-12 可知基本上槍體受力和地面反作用力之間似乎沒有什麼相關趨勢，有可能的解釋是在槍體加速時此時的制動腳只擔任制動及支撐固定左髖功能，故地面反作用力在槍體最大受力時並無顯著的變化及關聯。此

外最大發力時和出槍時皆在制動期，值得注意的是在最大發力時力板之 Fz 似乎變化不大；另外由 Fy 的趨勢可看出，在發力之前 Fy 以達最大煞車力量，在最大發力後，Fy 漸漸減小逐漸準備進入推蹬階段。

## 三、 運動傷害的預防

標槍在制動、煞車時其制動腳是腳跟（heel）先著地，又由於其制動期地面反作用力不小，故需小心腳跟或是踝關節的傷害。由於標槍之著地動作有點類似 100 m 快跑及跳遠（皆有制動、推蹬現象且皆有助跑動作），故研究者特別整理一些國內 100 m 跑（蔡於儒，2000）及跳遠（高崇壽，2006）之垂直地面反作用力資料來做比較（如下表 4-11），由此表可知雖然標槍之地面反作用力並不如跑步或是跳遠來得大，但我們要曉得 100 m 跑時是前腳掌著地，而跳遠雖是腳跟先著地但幾乎馬上隨之整個腳掌著地，而標槍制動時幾乎是靠後腳跟在急停、煞車，且腳跟的面積遠比腳掌及前腳掌小得多，故如果以壓力（力 / 面積）來看，標槍足跟所受的壓力可能並不會比其他運動來的小。加上選手們平時繁複的練習，故如果沒有適當地保護或是休息，即容易產生跟骨發炎、疲勞性骨折（fatigue fracture）是至是阿基里斯腱斷裂（較多因為推蹬動作，Kannus & Natri, 1997），這些是選手們應小心的地方。

**表 4-11 三種運動之地面反作用力**

| | **100 m 跑** | **跳遠** | **標槍** |
|---|---|---|---|
| **制動期最大垂直方向 GRF (N)** | **2500 左右** | **4500 N 左右** | **2200 左右** |

註：這些數值皆為國內優秀成年男子選手的數據

## 第六節、下肢逆動力學參數比較

### 一、出槍時下肢關節受力情形

**表 4-12** 出槍時各關節所受之淨力（F）、淨力矩（M）及功率（P）

| | | 優秀選手 (N=2) | 一般選手 (N=2) |
|---|---|---|---|
| 力 | 踝關節 Fax (N) | -118.33±121.70 | 74.43±80.8 |
| | 踝關節 Fay (N) | 220.0±177.58 | -139.22±205.26 |
| | 踝關節 Faz (N) | -1183.49±75.2 | -688.04±238.63 |
| | 踝關節 Far (N) | 1223.80±93.41 | 734.73±185.90 |
| | 膝關節 Fkx (N) | -113.35±71.48 | 39.27±81.51 |
| | 膝關節 Fky (N) | -414.38±102.70 | -29.44±220.91 |
| | 膝關節 Fkz (N) | -1088.37±124.45 | -665.41±218.19 |
| | 膝關節 Fkr (N) | 1178.56±92.47 | 699.97±189.45 |
| | 髖關節 Fhx (N) | -158.28±139.01 | -200.05±118.78 |
| | 髖關節 Fhy (N) | 728.79±176.81 | 440.44±273.63 |
| | 髖關節 Fhz (N) | -757.17±54.76 | -388.15±111.93 |
| | 髖關節 Fhr (N) | 1078.57±106.29 | 650.34±210.67 |
| 力矩 | 踝關節 Max (N m) | -120.7±11.5 | -116.4±40.3 |
| | 膝關節 Mkx (N m) | -22.9±51.5 | -38.9±185.4 |
| | 髖關節 Mhx (N m) | -154.9±118.4 | -165.6±135.2 |
| 功率 | 踝關節 Pa (W) | -119.49±61.60 | -164.48±155.49 |
| | 膝關節 Pk (W) | -301.25±160.72 | -319.24±205.44 |
| | 髖關節 Ph (W) | -956.28±329.77 | -484.57±49.17 |

由於踩到力板的人數少，故沒有比較佛里曼考驗。分力方面（表 4-12），不管是踝、膝或是髖關節其所受的 Fz 分量皆較 Fx 及 Fy 大，顯示出槍時下肢關節所受「近似 Global 垂直方向」的力量是最大的。在關節所受合力方面，不管是踝、膝或是髖關節皆為優秀選手大於一般選手且差異皆頗大。

而在關節力矩方面，首先觀察兩組間比較，由表 4-12 可看出兩組選手在三個關節方面皆無太大差異。至於各關節部分，首先是踝關節，踝關節部分呈現負的力矩顯示此時是屈蹠力矩（主要是腓腸肌、比目魚肌、阿基里斯腱）在作用，推論可能是要支撐身體，否則腳踝軟掉身體會向前倒。膝關節部分呈則變化較大，以平均值來說負值表示屈膝力矩（如股二頭肌）在作用，但如果考量標準差後有可能是正值，正值顯示是伸膝力矩（如股四頭肌）在作用，由此推測出槍時有人膝蓋逐漸伸展有人卻逐漸彎曲，但以彎曲的人數較多（因為平均值為負值）。值得注意的是在有採到的選手中成績最好的一次（60.77 m），其膝關節 Mkx 是呈正值，表示其出槍時是大腿前肌群收縮，顯示是以「直膝」方式在出槍或是支撐膝關節避免軟腳。髖關節力矩呈現負值狀態，顯示此時主要是伸髖力矩在作用（如股二頭肌），前面曾提及出槍時髖關節是處於剛要或是已逐漸伸展狀態，而由此一比對可知兩者結果似乎可以相呼應。

而在功率方面，首先觀察正負號，由表 4-12 可知出槍時不論是踝、膝或是髖關節皆為負值，顯示其力矩施力方向和角速度運動方向相反，推測此時各關節受到外力如身體及槍體重量而被迫收縮，做的是負功即在儲存能量。可見得出槍時制動腳基本上只扮演一個固定、支撐的　角色，尚無推蹬、伸展等主動收縮。在功率數值大小方面，踝及膝關節的功率兩者差不多，如單以平均值來看甚至一般選手還略大於優秀選手；而在髖關

節方面，優秀選手卻是顯著地大於一般選手，且幅度幾乎達兩倍，可知優秀選手在出槍時制動腳基本上除了僅是扮演一被動支撐的角色另外踝及膝關節的活動度並不強烈，比較強烈的是髖關節，而這也可以呼應先前優秀選手軀幹前傾幅度較大的原因。

二、兩組選手制動期各關節受力矩及功率變化

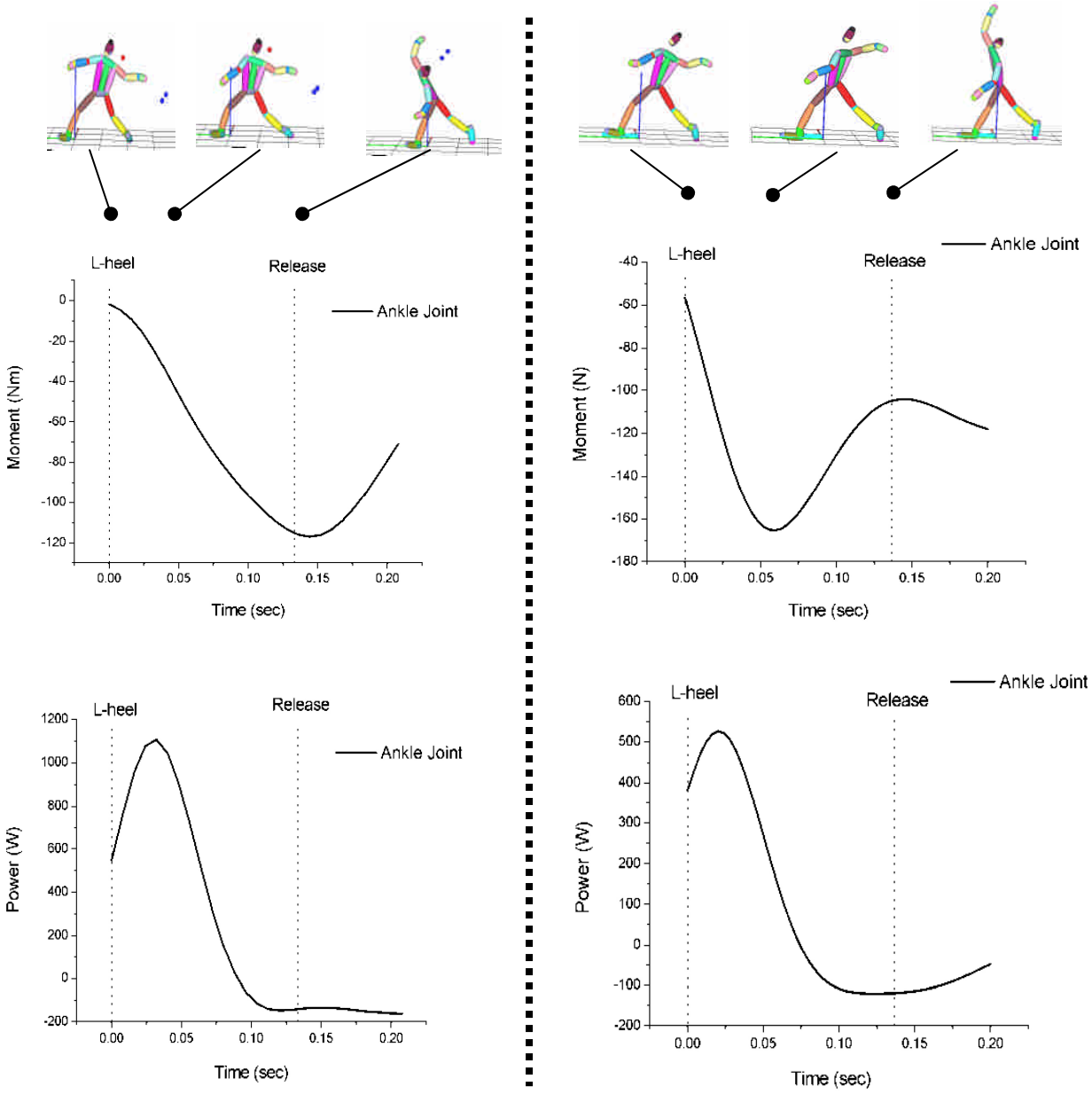


圖 4-13 優秀選手（左）與一般選手（右）踝關節受力矩及功率變化

由圖 4-12 可看出，兩組選手趨勢變化相似。制動腳剛著地時踝關節力矩為負值表屈蹠力矩在作用，又其功率為正值表示在做主動收縮（釋放能量），故可知在腳跟剛要著地時屈蹠肌群會主動收縮使得腳尖向下壓。在過程中（出槍前）力矩始終為負值表是皆為屈蹠力矩在作用，但功率卻由

正轉負表示原本主動收縮轉成被動伸張。使得出槍時屈蹠肌群可能是被動伸張狀態（釋放能量）。

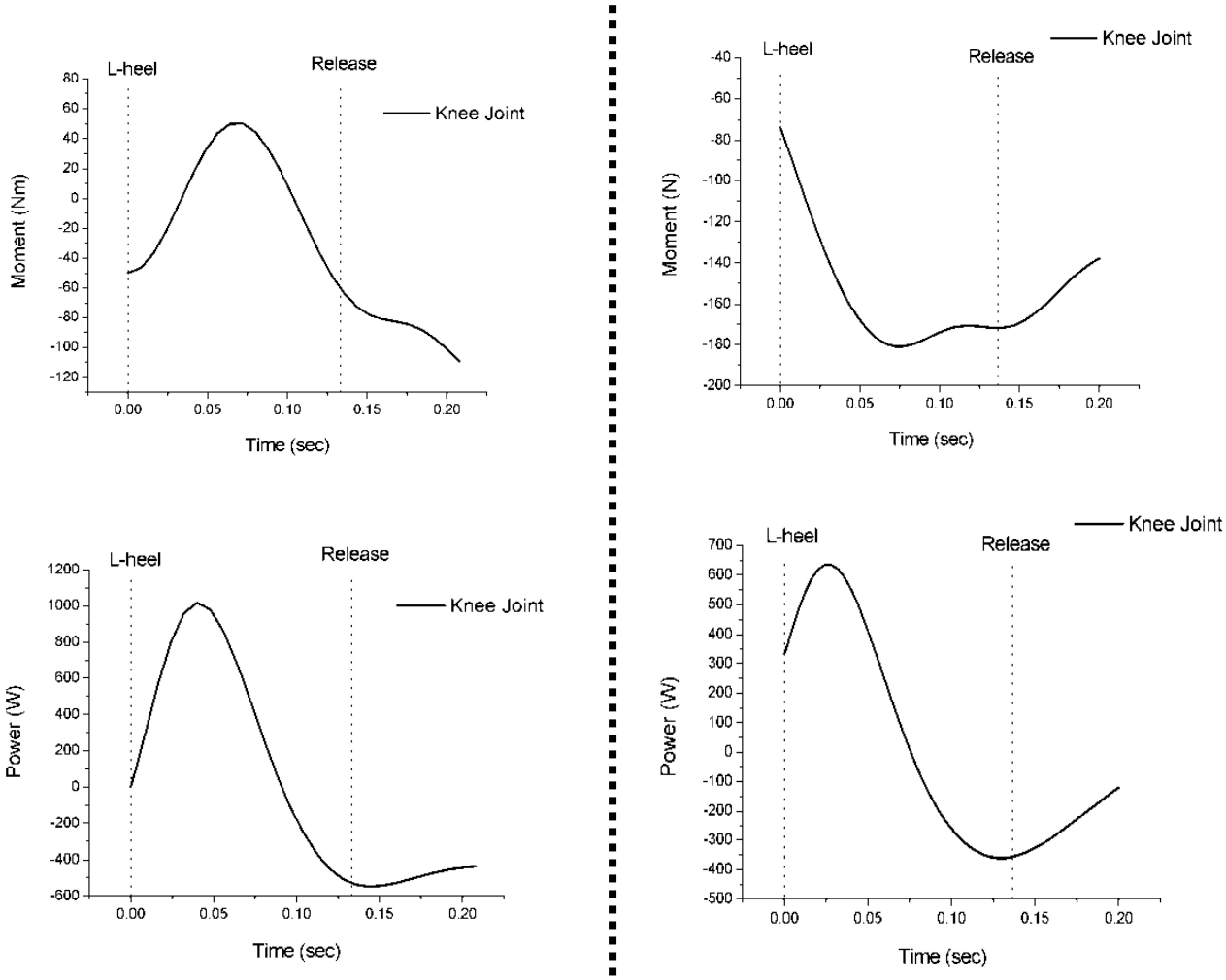


圖 4-14 優秀選手（左）與一般選手（右）膝關節受力矩及功率變化

由圖 4-13 可看出，兩組選手在膝關節受力矩有點差異。制動腳剛著地時兩組選手膝關節力矩皆為負值表屈膝力矩在作用，又其功率為正值表示在做主動收縮（釋放能量），故可知選手在腳跟要著地時膝蓋會主動彎曲來緩衝身體重量。然而在過程中（出槍前半段功率為正值時）優秀選手之力矩約在著地後 0.04 由負轉正，顯示此時由屈膝肌作用轉為伸膝力矩在主動收縮；而一般選手始力矩終為負值表是皆為屈膝力矩在作用。但功率卻在後半段由正轉負且力矩皆呈負值表示屈肌原本主動收縮轉成被動伸張，故

最後出槍時屈膝肌群是被動伸張狀態（釋放能量）。

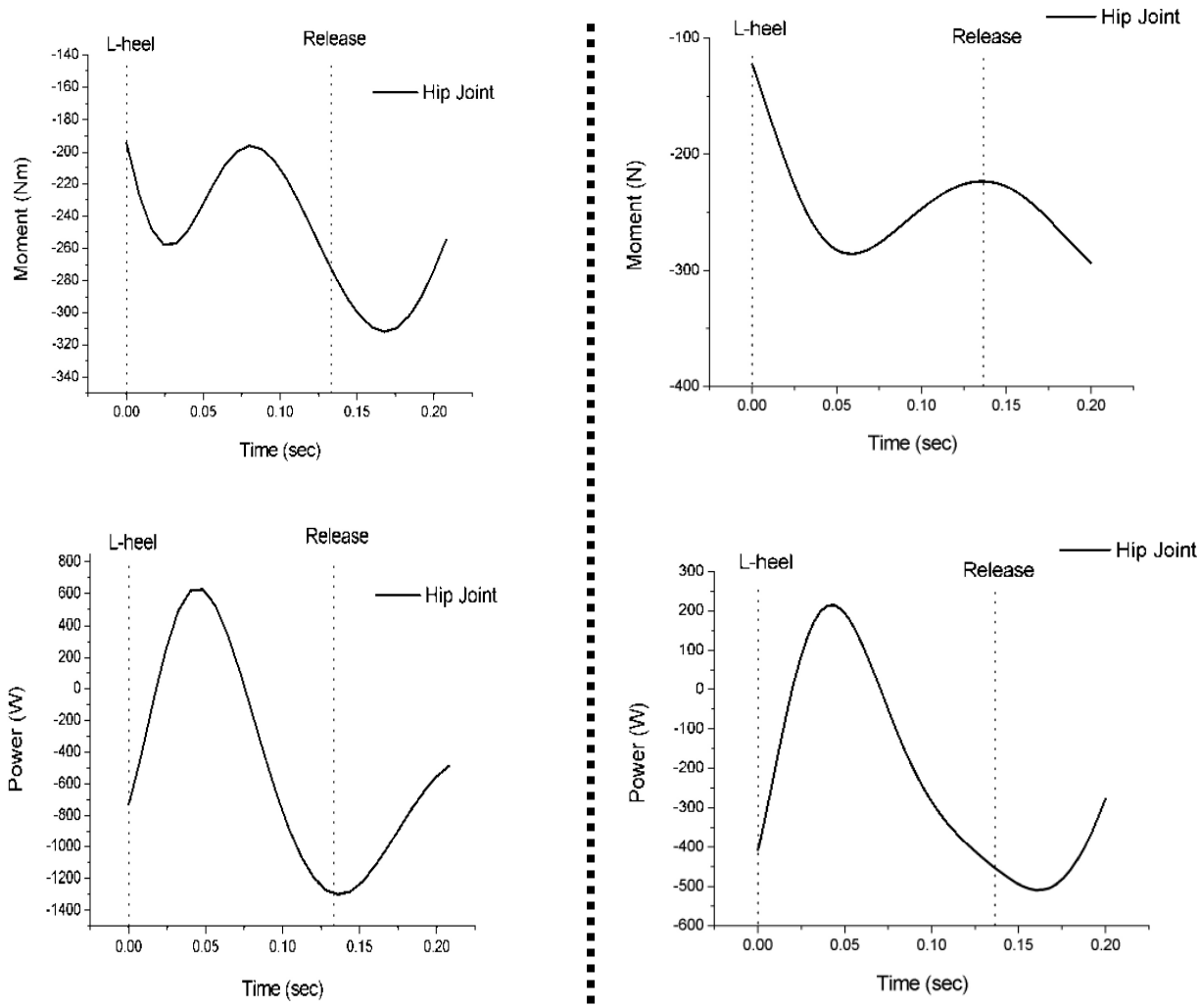


圖 4-15 優秀選手（左）與一般選手（右）髖關節受力矩及功率變化

由圖 4-15 可看出，兩組選手趨勢變化相似。制動腳剛著地時膝關節力矩為負值表伸髖力矩在作用，又其功率為負值表示在做被動伸展（儲存能量），故可知選手在腳跟著地時伸髖肌會被動的伸展。在過程中（出槍前）力矩始終為負值表是皆為伸髖力矩在作用，但功率卻由負轉正在由正轉負，表示原本著地時是屈髖被動伸展之後轉主動收縮，使髖關節角度變小，之後再轉成被動伸張（身體漸漸上仰）。最後造成出槍時屈髖肌群是被動伸

張狀態（儲存能量）。

## 第七節、各項運動學及動力學參數和出手速度及成績的相關

為了檢驗各參數對成績及速度的影響，我們將兩者做相關，由於本相關是所有樣本下去跑，總計 N = 44，故 r = .3 ~ .4 以上即有 P< .05 即達顯著，但如果相關值（r 值）太小，即使有達顯著解釋上又不太有效度，故這部分統一以達 r = .6 來做顯著標準。

### 一、 出手時槍體運動學和出手速度及成績的相關

**表 4-13** 出手時槍體運動學和出手速度及成績的相關

| | 出手速度 | 出手角度 | 槍體角 | 攻擊角 | 3D 攻擊角 | 體角速度 | 繞縱軸旋轉速度 | 出手高度 | 倍身高 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 成績 | 0.94* | -0.30 | -0.32 | -0.05 | -0.28 | 0.44 | -0.74* | -0.74* | -0.86* |
| 出手速度 | 1* | -0.48 | -0.35 | 0.07 | -0.27 | 0.55 | -0.73* | -0.68* | -0.83* |

如同先前研究結果，出手速度之相關是所有參數中最高的（r = 0.94），顯示其對成績仍是最具有影響力的因素。接著是繞縱軸旋轉參數、出手高度（或是倍身高），此兩參數皆呈顯著負相關，其解釋如同前面，而軸向力矩僅扮演一輔助角色，其決定性並不如軸向力大，現在不管是在兩組比較或是整體相關比較上皆可發現繞縱軸旋轉速度越快，成績反而越差，但由於本研究中人數並非很多，故是否一定如此則有待未來更多研究驗證。而出手高度的解釋亦如同前面一樣，身體過度伸展不利於關節的施力。

## 二、 上肢各關節運動參數和成績及出手速度之間的關係

**表 4-14 上肢各關節運動參數和成績及出手速度之間的關係**

| | 肩關節角度 | 肘關節角度 | 腕關節角度 | 肩關節角速度 | 肘關節角速度 | 腕關節角速度 | 腕關節線速度 | 最大肩關節角速度 | 最大肘關節角速度 | 最大腕關節角速度 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 成績 | 0.25 | -0.21 | -0.23 | 0.70* | 0.39 | -0.29 | 0.90* | 0.62* | 0.41 | -0.33 |
| 出手速度 | 0.23 | -0.10 | -0.22 | 0.66* | 0.30 | -0.30 | 0.89* | 0.60* | 0.34 | -0.35 |

由表 6-2 可以發現一個現象,在標槍投擲中肩關節角速度越快成績越佳（r=.7，和成績達顯著相關），最大肩關節角速度亦是；接著為肘關節角速度，其 r=.39 值較小，故肘關節的影響力似乎小了許多。最後是腕關節相關值竟是負值（r= -.29），可是沒有達顯著相關。至於腕關節線速度是身體前移及肩、軸關節運動所造成，故仍有顯著相關。由上述結果顯示標槍在做投擲時並不能簡單地只光靠手腕、手肘來做甩動，必須充分地利用軀幹的扭轉由進而遠帶動肩關節及肘關節作用，畢竟近端的有效質量（effective mass）還是比遠端大。針對這部分，Hunter, Marshall and McNair (2004)曾計算優秀短跑選手跑步時下肢各關節之動力學，結果發現地面反作用力最大出現時間恰為髖關節及膝關節的蹬伸角速度最快時間，且由逆過程結果發現大腿（thigh）是推蹬時地面反作用力的主要來源，而這跟本研究結論有點類似。

## 三、 下肢關節運動參數和成績及出手速度之間的關係

**表 4-15 下肢關節運動參數和成績及出手速度之間的關係**

| | 左髖關節角度 | 著地時左膝關節角度 | 出槍時左膝關節角度 | 身體前後傾角度 | 身體左右扭轉角度 | 推蹬腳著地時身體速度 | 支撐腳著地時身體速度 | 出槍時身體速度 | 步長 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 成績 | -0.59 | 0.56 | 0.06 | 0.46 | -0.28 | 0.54 | 0.64* | 0.53 | 0.82* |
| 出手速度 | -0.61* | 0.56 | -0.03 | 0.55 | -0.15 | 0.60* | 0.65* | 0.56 | 0.80* |

關節角度方面，左髖關節似乎頗有影響力，相關值為 r = -.59（中高度相關），可看出成績越佳軀幹向前傾的幅度似乎也越大，顯示充分地利用軀幹帶動仍是很重要。而著地時左膝關節角度 r=.56 中高度相關，可略看出著地時直膝可能較佳。左膝關節角度則呈現低相關值，根據影片觀察除了周宜辰及一位優秀選手是採用較為直膝式出槍，另兩位優秀選手則採較為屈膝方式出槍，而非優秀選手中亦有一位採用較為直膝式來出槍，故整體而言看不太出來膝關節角度和成績之間的關係。

身體前後傾及左右扭轉角度方面，身體前後傾的相關比左右扭轉來得大，而左右扭轉的相關甚至呈負值，這顯示在做投擲時選手在前後屈曲的功夫上似乎更需要注意。

身體速度方面，推蹬腳著地及支撐腳著地時的相關皆有一部份達顯著，顯示維持一定的助跑速度仍是需要的，其中特別以支撐腳著地時的相關值最大，顯示選手在推蹬後身體向前跳躍及著地的技術是特別地重要，

應特別加強以避免速度過度流失。

## 四、 出槍時之槍體動力學參數和成績及出手速度之間的關係

**表 4-16 出槍時之槍體動力學參數和成績及出手速度之間的關係**

| | 軸向力 | 側向力 | 軸向力矩 | 側向力矩 | 出槍前最大軸向力 | 出槍前最大側向力 | 出槍前最大軸向力矩 | 出槍前最大側向力矩 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 成績 | 0.92* | 0.83* | -0.55 | 0.57 | 0.81* | 0.78* | -0.46 | 0.34 |
| 出手速度 | 0.85* | 0.88* | -0.61* | 0.48 | 0.79* | 0.87* | -0.52 | 0.37 |

由表 4-16 可看出，長軸方向的施力仍是最重要的，其相關值呈顯著相關，其次為側向力。至於力矩部分，軸向力矩的相關值呈負 r=-.55，而側向力矩呈中高度相關，顯示槍體上下傾似乎比繞縱軸旋轉來得有影響力。由於出槍時槍體角是上揚的，故如欲使槍體繞縱軸旋轉是必須施予一斜下方的力量，然而槍體是向上飛行，推測此力如果太大將不利於槍提向前飛行速度，故選手在做力量分配時必須格外小心。而這似乎也反映出前面腕關節角度的結果，腕關節角度之相關值亦呈負值，如果出槍時腕關節活動過渡強烈，則出槍時應該會有一下撥力量使槍體繞縱軸旋轉速度增加，由此可知優秀選手可能主要以『送槍』方式來投擲，而非只靠腕關節轉動來投擲。

## 五、 制動期之各項測力板參數和成績及出手速度之間的關係

**表 4-17 制動期之各項測力板參數和成績及出手速度之間的關係**

| | 時間 | 最大X方向力量 | 最大Y方向力量 | 最大Z方向力量 | 最大X方向力量(倍體重) | 最大Y方向力量(倍體重) | 最大Z方向力量(倍體重) | Y方向衝量 | Z方向衝量 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 成績 | 0.69* | 0.12 | 0.17 | 0.24 | 0.17 | 0.29 | 0.30 | 0.57 | 0.64* |
| 出手速度 | 0.61* | 0.68* | 0.44 | 0.16 | 0.54 | 0.64* | 0.18 | 0.70* | 0.56 |

本研究中，制動期之各方向最大力量，不論是絕對值或是倍體重和成績間皆無顯著相關。值得進一步解釋的為 Y 方向倍體重和衝量和出手速度間有顯著相關。這是否表示制動時如果腳能伸直不要太過彎曲（彎曲會使得前進力量被緩衝掉），使得 Y 方向地面反作用力大進而支持住左髖關節，進而帶動下盤及身體扭轉。而時間方面則呈顯著正相關，故顯示制動期越長成績越好，此一結果與跑步相反（蔡於儒，2000），然兩者制動目的不同，跑步縮短制動期是因為想增加步頻及縮短向後推蹬的力量，然標槍方面由於出槍是發生在制動期，故制動腳伸直煞車、彎曲、推蹬、下盤扭轉、軀幹扭轉到最後的上肢擺動皆需要時間，故每個環節如都能做好自然成績也可能越佳，如此所花的時間相對的也較多。

## 六、 推蹬期之各項測力板參數和成績及出手速度之間的關係

**表 4-18 推蹬期之各項測力板參數和成績及出手速度之間的關係**

| | 時間 | 最大X方向力量 | 最大Y方向力量 | 最大Z方向力量 | 最大X方向力量(倍體重) | 最大Y方向力量(倍體重) | 最大Z方向力量(倍體重) | Y方向衝量 | Z方向衝量 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 成績 | -0.93* | 0.26 | 0.45 | -0.49 | 0.35 | 0.52 | -0.49 | 0.08 | -0.78* |
| 出手速度 | -0.97* | 0.99* | 0.76* | -0.66* | 0.98* | 0.73* | -0.78* | 0.55 | -0.82* |

時間方面呈負顯著相關（P< .05），這部分的解釋可能是一般選手及少部分優秀選手其推蹬時腳有「黏」在板上過久的情況，如此似乎無法發揮推蹬的功能。而在力量方面，最大X、Y、Z方向力量皆有顯著相關，值得注意的是其中Y方向呈顯著正相關，而Z方向呈顯著負相關，這似乎顯示推蹬時跳躍方向應該往前而不要太過往上跳。而Y、Z方向衝量亦有類似變化。