第貳章　文獻探討

第一節、出槍時各項運動學參數對成績的影響

標槍和鉛球、鐵餅一樣，是屬於投擲運動項目，而標槍飛行距離也如同一般拋射體一樣，受到出手速度、出手角度、出手高度等參數的影響，所不同的是由於標槍重量比鐵餅、鉛球輕很多，加上騰空時間較長及飛行距離遠，其所受到的流體阻力影響是不小的。加上又有攻擊角的變化，故標槍飛行距離的推估或是最佳化出手條件並無法以一般忽略流體阻力的拋射體公式來求得（林建德、姬良文，1996）。故在標槍出手參數和成績之間的分析上會較鐵餅及鉛球來的複雜，而各出手參數和成績之間的關係到底為何，我們試著從相關文獻去瞭解。

國內王良展（2002）曾以兩台 JVC 高速攝影機（60 Hz）分析我國參加中華民國 2001 年北京世界大學運動會田徑決選賽暨菁英公開對抗賽進入標槍決賽之八名選手，觀察槍離手速度（即本文中之出槍速度）、飛行角（即本研究中之槍體角）、出手角（即本文中之出手角度）、攻擊角（飛行角減去出手角）和成績之相關。結果得到槍離手速度平均為 22.57±1.85 m/s，飛行角平均 39.3±4.1 deg，出手角平均 35.2±3.5 deg，攻擊角平均 4.0±4.4 deg，成績平均 58.63±6.48 m。其中槍離手速度和成績之相關值為 r = 0.802，達極顯著相關（P <.01），結果顯示出槍速度越快成績越佳。而其餘參數則和成績無顯著相關。

王建邦與洪德明（1992）以一台 Panasonic AG-450 攝影機（60 Hz）拍攝第二十三屆全國大專運動會男子甲組標槍前六名選手，結果得到成績平均為 66.62±2.05 m，出手速度平均為 24.06±2.14 m/s，出手角度為 38±2.5 deg，槍體角為 39±1.8 deg，攻擊角為 1±2.1 deg，出手高度平均 1.7±0.05 m。而其分析中僅有出手速度和成績之相關，r = 0.94 (P <.01)，達極顯著相關。從其結果可看出在其出手角度、槍體角的範圍下投擲，其速度是決定距離的最主要因素。然而由於標槍是一三維的運動，而該研究僅以一台攝影機作分析，故是否會對參數的正確性造成影響則是需要再進一步思考的。

Mero, komi, Korjus, Navarro, and Gregor (1994)曾經以兩台 NAC 高速攝影機（擷取頻率：100 Hz）來拍攝 1992 年巴塞隆納奧運（the 1992 Olympic Games in Barcelona）男子標槍決賽，其中前三名出手時之運動學參數詳見表 2-1。我們可以看出其出手速度幾乎都在 29 m/s 以上，出手速度和成績之間約有 r = 0.7 的相關。出手角度則主要集中在 30-33 deg 之間，握把高度則多集中在 1.81-1.88 m；而槍體角及攻擊角方面則變異較大。此外，從三者的比較方面顯示 Steve Backley 出手速度雖然最快（29.5 m/s）但其投擲距離並非最遠。進一步比較其他參數可發現，Steve Backley 雖然出手速度最快但是其攻擊角相當大（10 deg），以流體力學的角度而言，過大的攻擊角可能會造成不小的阻力，致使飛行表現下降。故由此可知，速度並不是唯一的影響因素，仍然需要其他條件來相輔相成才會有更好成績。

表 2-1 巴塞隆納奧運標槍決賽前三名選手出手時之一些運動學參數比較

	Jan Zelezny	Seppo Raty	Steve Backley
投擲距離 (m)	88.18	86.60	83.38
出手速度 (m/s)	29.2	28.9	29.5
出手角度 (deg)	30	31	33
槍體角 (deg)	33	24	43
攻擊角 (deg)	3	-7	10
握把高度 (m)	1.83	1.81	1.88

王良展與相子元（2001）曾經針對該時破全國紀錄者江萬興選手進行分析（時間：90 年度全國大專運動會；地點：國立東華大學田徑場）。使用兩部 JVC 9800 攝影機（60 Hz）及 APAS 動作分析軟體進行影像分析。結果得到在破紀錄該次其出手速度為 26.24 m/s，出手角度為 26.9 deg，槍體角為 44.9 deg，攻擊角為 17.9 deg，該次成績為 73.18 m。另外在比較其他次的投擲可發現出手速度越快成績也越佳，但並沒有相關值的計算。此外其提到除非是在順風的情況下，否則過大的槍體角會對成績造成阻礙，另外也提到其出手角度平均為 23.4±4.2 deg，在此範圍內出手角度越大成績也較佳。

以上的實驗性研究大多是以攝影機分析法來做探討，而出手速度普遍被認為是影響成績的主要因素。且由國內外的文獻比較可得知，國內優秀選手出手速度多集中在 26 m/s 左右，甚少超過 27 m/s；然而國外優秀選手則可達 28-29 m/s，可見得出手速度部分仍是我們需加強的地方。至於出手角度整體而言多在 30-35 deg 左右，甚至達 38 deg 以上（翁梓林，1998）；然而巴塞隆納奧運會決賽前三名選手其出手角度則集中在 30-33 deg 之間，造成此種原因之一可能是我國選手出手速度較慢，故以較大的角度來投擲以爭取騰空時間。攻擊角部分則個體差異較大，且無固定結論；但整體而言，過大的攻擊角會產生較大風阻，不利於標槍飛行。

接下來要探討的為利用電腦飛行模擬來觀察槍體適當的出槍條件。Hubbard and Bergman (1989) 指出最早以電腦程式模擬標槍飛行的首推 Soong 於 1975 年所做的研究，接著陸續有 Red and Zogaib (1977)，Hubbard and Rust (1984)，Hubbard and Alaways (1987) 等人投入相關領域。

Soong (1975) 曾以導出標槍飛行時的方程式，並以電腦模擬在各種出手高度、槍體角、出手角度、壓力中心位置及各種風速下標槍的飛行狀況。在出手速度（initial velocity）為 30.45 m/s，風壓中心到質量中心距離（內文稱之為 moment arm）在飛行過程中不管攻擊角改變皆固定不變的前提下得到以下結論：1.出手角度對距離的影響力比槍體角來得大。2.當 moment arm 為 25 cm 時（NCAA official javelin），最佳出手角度為 43 deg，但是當

moment arm 為 8 cm 時則最佳出手角度降為 35 deg。3.改變風壓中心使 moment arm 只有 8 cm 的話則飛行距離會再提升約 16 m。由其結論可知以電腦模擬該時後的標槍來說，適當的出手角度約在 35-43 deg 左右，且認為縮短風壓中心到質量中心之間的距離會有助於標槍的飛行。

由於 Soong (1975) 並無實際的標槍實驗，僅以一些假設性的參數來模擬，Red and Zogaib (1977) 覺得並不能符合實際情況。故以三位受試者實際測量所得參數來做模擬，其主要結論為：1. 標槍選手應在 35-38 deg 的出手角度下盡力投擲。2.縮短 moment arm 可以提升成績，但同時也增加了壓槍（flat throw）的機會。 Hubbard and Rust (1984 a) 以電腦模擬標槍飛行，在其結論中提到以世界級標槍（如早期 IAAF 規格，型號：Held-90）來說，假設出手速度為 30 m/s，上下傾角速度為 0，則其最佳出手角度約在 35-37 deg，而最佳攻擊角為 15 deg。

中國大陸王倩（2001）曾以風洞實驗（航天部 701 所，FD-09 低速風洞）及計算機仿真的方法計算標槍在三維空間飛行的軌跡。其結論為速度是最主要的因素，和距離呈線性正相關。在出手角度方面，小於 40 deg 時，出手角度增加距離也增加。而最佳攻擊角會隨著出手角度不同而有所不同，在某一出手速度、出手角度下會有一最佳攻擊角，一旦偏離該最佳攻擊角則距離就會開始下降。整體而言當出手角度較大時其相對應之最佳攻擊角會越小（成負值，即槍體角小於出手角度）；而當出手角度減小時與之

相對應的最佳攻擊角會呈增大趨勢，在一定條件下形成兩者之間最佳的組合。而在出手高度方面，根據其計算在適當高度範圍內每增加 10 cm，距離增加量也大致相同；但是如果超過適當高度，則可能由於作用力量方向的改變，造成和距離呈負相關。

國內邱靖華（2000）以 Bartlett and Best (1988) 的出手參數資料以數值分析法進行標槍飛行模擬，結果得到在 31.90 m/s 出手速度下，以出手角度 35.25 deg，槍體角 34.5 deg，攻擊角-0.75 deg 時可得最遠距離 98.48 m。

綜合上述飛行模擬文獻，可大致看出多數研究認為 35-40 deg 之間是一個適當的出手角度,但此一數值與國內外選手實際投擲結果略有出入(30-35 deg，特別是和外國選手)。而槍體角及攻擊角方面則亦似乎較無定論，它會隨著出手角度、高度不同而有不同結果；但一般而言攻擊角不宜過大，否則會引起過大阻力。

第二節、投擲過程中身體上肢各關節活動情形

想要有效地把身體的能量透過肢段傳達給遠端的物體，相信是投擲（throwing）或是踢（kicking）的動作都想要達成的目標。而投擲就如同踢一樣，在動作型態尚有某些相似程度。例如皆為開放式動力練（open-loop kinetic chain）或是皆有近而遠的順序（proximal-distal sequence，P-D sequence）存在。

投擲時上肢各關節的運動型態已有不少研究探討過，其中一個常探討的問題即是 P-D sequence（Mero, Komi, Korjus, Navarro, & Gregor, 1994. Marshall & Elliott, 2000. Hong, Cheung, & Roberts, 2001. Chowdhary & Challis, 2001. Enoka, 2001. Hirashima, Kadota, Sakurai, Kudo, & Ohtsuki, 2002. Fradet, Botcazou, Durocher, Cretual, Multon, Prioux, & Delamarche, 2004.）。所謂 P-D sequence 是指動作由大的、重的或是靠近身體中央的肢段開始，隨著能量的增加，使動作繼續朝向小的、輕的或是遠端的肢段；而此種現象可藉由觀察肢段末端的線性速度、關節角速度、肢段角速度或是關節的合力矩而得（Marshall & Elliott, 2000）。透過此種動作機制可使身體的能量有效的傳達到肢段末端，使得末端能產生最大速度，而標槍的投擲過程中就有此種現象的出現（Mero, Komi, Korjus, Navarro, & Gregor, 1994）。

另外一個常見到的現象是 stretch-shortening cycle（SSC），SSC 是指肌肉在收縮前如有一伸展狀況，則可儲存一些位能，等到要收縮時釋放出來，會比沒有伸展（如等長收縮）產生更大的力量，而標槍在投擲過程中會有

身體弓身、軀幹扭轉彎曲及手肘向外伸展牽引的動作出現，可視為是 SSC 的現象（Mero, Komi, Korjus, Navarro, & Gregor, 1994），以下就分別針對軀幹及手肘部分進行探討。

一、 軀體的轉動來帶動投擲：

在擲標槍時，不能只光靠手部力量，要能利用到軀幹的轉動才會有好成績。然軀幹的轉動大體上可分兩種，一種為前後傾（主要是屈伸髖），另一為左右扭轉。在制動腳著地時身體會繞著縱軸向左旋轉（以右手持槍者來說），其兩肩及兩髖之軸幾乎平行於地面，且朝著投擲的方向。因為透過有力的軀幹轉動，可以使標槍的作用半徑增加、產生更多的腹肌離心收縮的力量及儲存更多的彈性能（elastic energy）。Hirashima, Kadota, Sakurai, Kudo, and Ohtsuki (2002) 及 Mero, Komi, Korjus, Navarro, and Gregor (1994) 皆曾表示使用腹部肌肉的使用能提供投擲時上肢在做高速圓周運動時所需要的離心力，且軀幹部分的肌肉質量（mass of trunk）又大，產生的扭轉力量也較大。同時在制動時身體也會以髖關節為支點，造成上半身往前傾的現象，透過這些動作可使身體前進的動量傳達給上肢及標槍。

根據 Morriss and Bartlett（1996）的研究指出，1995 世界盃男子標槍選手其肩軸平均和投擲方向呈 140 deg，同時也指出軀幹旋轉的角速度平均為 315.2 deg/s，而在「1987 年世界田徑錦標賽優勝標槍運動員動力學分析」(許樹淵，1993）一文指出該次男子軀幹旋轉速度為 191.4 deg/s，而臂軸旋轉速

度為 245.9 deg/s，這些都可顯示標槍投擲時身體扭轉的重要性。

二、 開放式動力鏈 －－ 各關節之活動程度

先前多篇文獻已表示開放式動力鏈有 P-D sequence 及投擲過程中參與移動的肢段數目越多，其出手速度也越快（鍾祥賜，2004）的現象。但是投擲時除了發力的時機外，至於各關節的活動程度及使用情形又是如何？是否每個關節角速度越大就一定是最好？針對此點則似乎較少探討到。由於標槍投擲類似棒壘球投擲，故常有人把棒壘球投擲之上肢動作型態套用到標槍身上，在投擲棒壘球時，先是肩關節→肘關節活動最後在快出手時手腕會有一明顯下壓動作。依照定義「開放式動力鏈的某一端是不受拘束（free）」，此種型態在一般投擲較輕的物體下（如射飛鏢、棒壘投擲下）或許沒有問題，值得注意的是標槍重量（800 g）比棒壘球（148 g）及飛鏢（40 g）重得多，且又要盡全力投擲到最遠，在這兩種條件下是否還能歸類到開放式動力鏈是值得考量的？本研究除了針對發力順序外，也將針對各關節線速度及角速度做一番比較，觀察標槍投擲是否有異於其他開放式動力鏈的型態及各關節的活動程度。

第三節、槍體動力學的相關探討

以往槍體的動力學分析多集中在出槍後飛行過程中槍體受到流體阻力的影響（Soong, 1975., Hubbard, 1984. Red & Gogaib, 1977. Hubbard & Bergman, 1989., Hubbard & Rust, 1984. Hubbard & Rust, 1984., Maier, Wank, Bartonietz, & Blickhan, 2000），而少有在持槍時選手對槍體的受力分析。

日本學者 Maeda, Shamoto, and Moriwaki（1999）曾以力感應器（force sensor）裝置在標槍上來測量投擲時槍體受力情形（圖 2-1）。結果得到在投擲過程中所測得的軸向力 Fx 最大值為 192 N，側向力 Fyz 最大值為 233N，軸向力矩 Tx 最大值為 1.4 Nm，側向力矩 Tyz 最大值為 7.6 Nm。此一數值僅針是個案結果，但該文獻卻是國內外第一個以實驗實際測出標槍繞三維運動之各項力及力矩，其開啟此方面研究先端之意義遠大於實際數值上的意義，畢竟其受試者僅一人（成績 65 m），且無針對該數值對選手有何影響及應用作說明。故到底對成績有何影響仍須要更多實驗來證明。

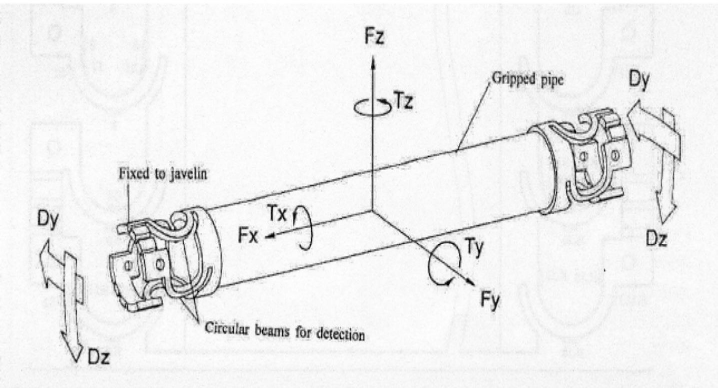

Figure 1 — Overview of developed sensor: Three components of force, three components of torque, and two components of deflection can be measured simultaneously with strain gauges attached to circular beams.

圖 2-1 力感應器裝置圖（Maeda, Shamoto, and Moriwaki, 1999）

第四節、出槍時下肢制動及推蹬的探討

標槍在最後推蹬時，其步伐型態和一般的跑步或是跳遠不太一樣。一般而言，現在的選手多半採用前交叉步伐（楊昌斌，2002）。在最後一步時，右腳以腳的外側著地，以協助身體向後斜傾，接著軀幹引弓拉槍，左腳伸長與地面成 45 度，此外左腳著地時亦需注意腳跟先著地，過渡到全腳掌，落地後腳間與投擲方向成 20 度左右等細節。由此我們可看出交叉步的步伐不但型態上明顯不同於一般跑步或是跳遠步伐，且交叉步需注意的事項更為繁雜。其中比較值得注意的地方有兩點：

1. 左腳支撐是產生垂直速度的主要來源：

在右腳推蹬時身體主要是產生水平方向的動量，但我們曉得一拋物體要得到最遠的距離，不能光看水平分速，適當的角度是必要的，故垂直分速也就變的很重要。而產生垂直分速所需的力量來源即是地面所給予的垂直方向反作用力。而左腳即扮演此種角色，故如果左腳制動支撐的好，就能夠在用力時提高身體重心，使左側支撐獲得動量迅速通過軀幹傳達到右側和投擲臂上，加快上體和標槍向前上方運動的速度，進而提高出手時標槍的高度，達到最佳出手角度。Mero, Komi, Korjus, Navarro, and Gregor (1994) 曾以兩台攝影機分析時世界紀錄保持人 Jan Zelezny 的下肢動作，結果發現最後左腳掌著地時之前半段其左膝蓋只彎曲 1 deg，之後漸漸伸展，而出槍時則完全伸直，而此一動作不但有助於腿部 SSC 作用，另外也可提

高身體重心高度產生垂直方向的能量。

2. 適當地推蹬、制動及出槍時機配合：

Morriss, Bartlett, and Navarro (2001) 曾分析 11 位 1994 年歐洲盃田徑冠軍賽中的選手，計算他們投擲時全身、上半身、下半身及標槍的動能（kinetic energy）。結果發現，在最後下肢動能在最後一步時開始下降，而此時標槍的動能則逐漸增加的趨勢。而全身及上半身則是在此時上升到最大值之後逐漸下降，故作者認為透過適當地最後一步制動有助於身體的能量傳遞給標槍，特別是上半身部分。

Mero, Komi, Korjus, Navarro, and Gregor (1994) 在其文章中提到，Korjus (1988) 曾針對優秀芬蘭男女標槍選手進行地面反作用力的測量，結果得到制動期（braking phase）腳的最大垂直推蹬力量為 5860 N，最大推蹬合力為 7280 N；兩個力量皆和出手速度呈顯著正相關。另外垂直衝量及離地時的推蹬力量也和成績有顯著正相關。

Morris and Bartlett（1996）在其文中引述到 Deporte and Van Gheluwe (1988) 的資料，其推蹬腿所施之力約為體重的 6.6 倍，但並無進一步的作探討及驗證。而 Bartlett et al（1995）以足底壓力計（EMED, insole system）對兩組不同水準的選手做測試，結果發現，在較高水平的選手中（club group），在最後一步右腳蹬地時，有較低階選手高的足底壓力，而接著左腳著地時，高階選手亦有較低階選手有較高的足底壓力，這似乎可以看出，

較高水準的選手其足底壓力較大，故其推蹬力量應該也較大；但他們之間是否和投擲速度、角度有關，及對投擲成績有無影響，則需更多的實驗來證明。

3. 下肢段相關受力探討：

外在的運動現象容易用肉眼或是影像分析法來分析，但如果要觀察內在肌肉關節的用力情形，則無法使用上述方式，必須使用其他方式，動力學逆過程（inverse dynamics）即是一例。劉宇（2001）曾表示透過動力學逆過程的計算，將有助於瞭解人體運動時肢體的運用與控制。

Hunter, Marshall, and McNair (2004)曾以八台 Falcon 攝影機（240 Hz）、一塊 Bertec 測力板（960 Hz）結合動力學逆過程計算四位田徑短跑選手（百公尺成績平均 10.60~10.97 sec）衝刺時支撐期下肢關節之作用力情形。結果發現，在地面推蹬時大腿的伸肌作用是產生大腿角速度運動及地面反作用力的來源；同時地面反作用力最大峰值出現的時間大約為髖關節及膝關節伸展速度最快的時候。

制動期由於左腳是與地面接觸的，故依照一般定義，此時的下肢段是屬於閉鎖式動力鏈（closed kinetic chain），閉鎖式動力鏈多半在解釋肢體穩定與作用力或阻力之間的運作關係（鍾祥賜，2004）。閉鎖式動力鏈在運動過程中肢段末端往往會承受不小外力，故瞭解各關節所受之力也將有助於運動員或教練加強或調整該動作的技巧及相關的肌力。

第五節、文獻總結

雖然速度是影響槍體飛行的最主要因素，但是由於受限於體型、肌力等先天因素，出手速度不可能無限制的增加且由於 IAAF 對於標槍長度、重量等規格有嚴格的限制，故也不太可能從改變標槍結構下手，而技術層面即是我們尚可加強的地方。由上述文獻可知速度是影響成績的主要因素，但是該如何提升速度則未見更進一步地說明。本研究除了觀察身體肢段動作，藉以瞭解優秀選手與一般選手投擲動作上之差異。另外亦特別以三維動力學逆過程計算槍體受力情形，來觀察各施力分配對出槍速度的影響。

而在最後一步交叉步部分，以往文獻雖有探討到推蹬時足底壓力大小，但對於適當地推蹬、制動及出槍配合則較無進一步說明，如果動作之間的協調不恰當，則不但使出槍速度變慢，更有可能產生臀坐或跌倒的情況。而這也是本研究將以測力板及攝影機來對其交叉步做更深入的探討。