

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

運動績效與運動傷害之人體工學應用研究—以擊劍運動為例

計畫主持人：林房儼 國立台灣體院運動管理學系

共同主持人：張志凌 修平技術學院通識教育中心

執行期限：90年8月1日至91年7月31日

計畫編號：NSC 90-2218-E-028-001

摘要

擊劍選手持劍握把角度設計正如手工具握把設計一樣重要，較佳的握把角度不只能避免尺偏的累積性手腕傷害，對於運動績效的提昇包括刺擊動作的準確性和有效刺擊的命中率都會有很大影響。研究發現 19.5 ± 1.5 的劍身角度在準確度和有效刺擊的綜合表現為最佳。研究建議劍身角度的研發設計應結合人因工程與運動科學之理論，對於運動傷害的預防與運動績效的提昇將會有很大助益。

關鍵詞：擊劍、劍身角度、尺偏、握把

ABSTRACT

The designing of blade angle and tools handle are both important, because improperly design hand tools and devices have many undesired consequence, including accidents and injuries. An optimal designed blade angle not only could reduce ulna deviation to avoid wrist injury, but can also enhance sports performance of fencing. This study found that 19.5 ± 1.5 is the best angle on overall performance of fencing. For effectively reduce sports injury and enhance sports performance, this study suggests that the man-machine interface design and development of fencing should be considered with ergonomics and sports sciences.

Keyword: foil, blade angle, ulna deviation, handle

一、前言

擊劍的四種主要戰術為主動攻擊、撥擋刺、同時攻擊與時間差攻擊。選手的技術層次愈熟練、愈多變，戰術才會有多樣性的發展，戰略的成功便愈有保證。在分析擊劍比賽的戰術方面，根據張志凌與林房儼(2001)的研究發現，防禦性攻擊戰略主要包含撥擋刺與時間差攻擊兩種戰術；而撥擋刺為基礎防禦性戰術，勝部與敗部選手得點差異不大；重要的發現是獲勝者主要關鍵在時間差攻擊的戰術運用得當〔1〕。因此，為了達成戰術的成功，針對運動員的技術訓練是相當必要的。訓練主要包括肌力、速度、耐力、柔軟性、靈敏性等要求，特別是擊劍對手臂、腿、腰等部位的力量和反應速度以及靈敏度、協調性等〔2〕。

戰術既然為勝負之關鍵，基於技術為戰術實施的基礎，戰術之改變，教練訓練重點也會隨著戰術改變而改變。但是如果教練為了讓選手獲得勝利，忽略選手生理特質，或是求好心切的超負荷、過度訓練、不正確的訓練方式等違反了「人體工學」、「人因工程」的原理，在在都可能造成選手的運動傷害〔3〕。人體工學應用在擊劍運動訓練上即是尋求降低運動傷害及運動疲勞（即提高運動安全），與增加攻擊的有效性（即提昇運動績效）。

有關運動傷害的預防方面，根據 Fink (1993) 的研究指出，選手受傷的主要部位是踝關節、膝關節、髖關節等部位〔5〕。由於受傷時會嚴重影響訓練成效，因此選手常常因運動傷害而影響技術的進步。基於國內外的擊劍發展在歷史上、體型特質及訓練方法上略有不同，在技術運用及運動傷害的預防上或有差異之處，有必要加以深入探討。

另外，張志凌、林房儼〔6〕研究指出，劍身下壓角度對於鈍劍選手甩劍的有效刺擊、準確度和自覺滿意度都有顯著差異，對於手腕的運動傷害預防，也有相當程度的關係。張志凌〔7〕研究劍身下壓角度從 3° 到 15° 的實驗發現，以劍身角度 9° 的有效刺擊平均數最高，其次為 15° ，主觀滿意度評量方面則以 15° 為最高。對於劍身下壓角度而言，就如同手與工具的結合，競技的劍就等於手工具，手工具與手的關係，是最重要的人機介面之一。因此，比賽劍具的設計應該像手工具的設計一樣，考慮到人性化的設計，以人體工學的觀點來做為介面的設計。但依據 Bennett〔8〕研究理論中，一切工具與運動器材的握把彎曲成 $19^\circ \pm 5^\circ$ 為最佳角度這一理念， 14° 至 24° 應是最佳角度範圍。

因此，擊劍劍身與握把的理想角度研究範圍至少應涵蓋至 24° 以內，比較大的角度可以使用劍時的尺偏量減少。本研究以具有攻擊權要求的鈍劍為研究劍種，首先分析選手比賽戰術運用的差異，瞭解選手及教練在訓練或比賽過程的主要差異及分析獲勝主要關鍵戰術，再以目前仍參與比賽的選手為施測對象，調查分析造成運動傷害的主要部位，並透過因素分析的方法探討造成運動傷害的主要因素，再以人體工學的觀點，實驗研究提昇運動績效以及有效預防運動傷害。因此，本研究之主要目的可歸納如下：

1. 擊劍運動傷害的調查與因素分析。
2. 劍身角度影響擊劍運動績效之實驗研究。

二、研究方法

(一)運動傷害調查

透過問卷調查，第一階段以擊劍運動傷害現況調查描述統計(包含傷害部位、類型、成因)及傷害因素分析題項預試。預試題項以 SHELL Model 為架構，主要含軟體(包括系統、賽程安排)、硬體(大會設備場地、個人器材、安全防護裝備)、環境(空調、場地、光線)、選手個人(本身條件、認知、專業與運動常識)、相關人員(含教練、對手、觀眾)等有關可能造成運動傷害的因素，以瞭解擊劍選手對於可能造成運動傷害的因素分析。第二階段則以抽取的主要因素應用在「2002年中華民國大專院校擊劍錦標賽」的參賽選手，再以

多變量單變異數分析其差異性。

(二)劍身最適角度實驗

1. 受試者：皆為大專院校擊劍代表隊男子鈍劍現役選手共八名。其中四名選手在大專錦標賽曾獲前三名，另四名選手為全國運動會各縣代表隊選手。
2. 實驗設計
 - (1) 實驗變項：自變項為劍身下壓角度包含 9°、15°、18°、21°、24° 等五個設計角度。依變項為準確度及有效刺擊命中率。統計分析方法採單因子變異數分析(ANOVA)。
 - (2) 實驗器材
選用法國 France Lames 廠製國際比賽劍條八隻。自製刺靶一組。長寬約 20*16 公分銅質金屬感應電衣，黏貼於教練衣右肩線後有效區域(圖 3-1)。
 - (3) 實驗動作設計

A. 刺點的動作設計

擔任主導受試者刺擊實驗為擊劍資深教練，裝備如一般訓練裝備，教練衣肩背處有 20*16 公分之金屬感應片，以判定受試者有無擊中有效部位。以張志凌等(2001)下壓角度所採用的實驗動作，教練與選手保持距離，教練主動且採前進後退步法，選手保持距離，依教練信號做動作。受試者依據教練攻擊的分位，立即做出 6 或 4 分位捲撥擋(Counter parry)，沒有撥擋到劍時，馬上做出 6 分位或 2 分位撥擋甩劍刺擊。腳步以前進(Advance)、後退(Retreat)保持距離，甩劍時視距離用長刺(Lunge)或後退步法。甩劍刺擊動作 10 次，每次做完登記刺擊紀錄。實驗指導要求重點是注意受試者動作是否如個別課程(Lesson)時的速度。以上二個動作，交叉混合隨機出劍，每個動作各 5 次，由助理登錄並監督動作次數和正確性，在 10 次刺擊動作中，統計命中率。

B. 準確性的動作設計

為避免林房儂&張志凌[9]研究中三點得分法的實驗誤差，本實驗採五點得分靶，最高得點 5 分，脫靶及無效刺點得 0 分。刺擊的目標以圓形的皮質練習刺靶，刺中內圈三公分直徑的圓得 5 分，刺中圓心直徑 3-5 公分區域得 4 分，刺中圓心直徑 5-7 公分的區域得 3 分，刺中圓心直徑 7-9 公分的區域得 2 分，刺中圓心直徑 9-11 公分的區域得 1 分，刺中圓心直徑 11 公分以外的區域或無效刺擊得 0 分。受試者實驗起始距離的取得，先取得受試者持劍手伸直後，劍尖碰到刺靶的距離，再取兩個 Retreat 的步距，受試者先試做三次調整距離，並做記號，並測量其距離，做為其長刺(Lunge)劍靶的起始線。以上刺擊動作做 10 次，記錄每次得分，每做刺擊一次，雙腳退回起始線，再進行下一個動作。



圖 1 有效刺擊的金屬感應片示例

三、結果與討論

(一)運動傷害調查

本次問卷回收有效樣本 110 份，劍手平均年齡為 19.8±2.6 歲，平均劍齡為 4.06±4.48 年。受傷總次數高達 665 次(如表 1)，平均每人受傷約 6 次，每人每年平均約有 1.5 次之多。單一部位受傷次數最多為踝關節(90 次)、其次為腰部、膝部、大腿，手腕關節，其中手腕受傷比率約 8%。

在受傷類別方面，挫、扭、拉傷，合計 390 次，佔總發生率的 58.65%，這可能與擊劍運動講求速度有關。其次為累積性傷害 155 次佔總次數的 23.31%，肌腱(韌)炎 87 次佔 13.08%。肌腱炎處理不當或者沒有經過適當休息，可能會再次復發，甚至會變成累積性傷害，應予正視並適當預防。

分析擊劍選手運動傷害原因，超負荷的訓練或動作過大或太激烈共 276 次，高達 41.50%，訓練前或賽前熱身不足或完全沒有熱身共 143 次佔 21.50%，動作不正確、對手(或自己)技術欠佳所引起共 110 次，這三項受傷原因與教練的訓練有直接關係。教練專業知識的培養與選手正確觀念的養成都有很大的影響，尤其是訓練與比賽前的熱身，應嚴格要求。

表 1 受傷部位次數統計(單位:次數)

頭頸部	19	胸部	17	腹部	5	肩關節	30
上背	10	下背	21	腰部	87	上臂	16
肘	15	前臂	9	腕關節	53	手掌	13
大拇指	27	手指	29	大腿	60	膝部	71
小腿	24	踝關節	90	腳跟	48	腳掌	19
其它	2	總和次數					665

(二)運動傷害因素分析預試：

本問卷題目共有卅題，經過項目分析，110 份預試量表中，測驗總分前最高之 27%及後最低之 27%經過平均數差異的顯著性 t-test 考驗，決斷值(critical ratio; 簡稱 CR 值)都達顯著水準($\alpha < .05$)。

A1 至 A30 題項的 t 值均達顯著水準，表示預試問卷 30 題項均具有鑑別度，所有題項均能鑑別不同受試者的反應程度。為考驗量表的建構效度，隨即進行因素分析。第一次因素分析中，KMO 取樣適切性量數為 0.844，Bartlett's 球型檢定達顯著水準($p < .05$)，表示適合進行因素分析(如表 2)。

最後萃取特徵值大於 1 的主要因素共有三個，各因素解釋變異量分別為 31.52%、17.87%、12.79%，累積解釋變異量合計為 62.18% (參考表 3)，表 4 則為轉軸後的成份矩陣。

三個因素經過內容分析，因素一有四個題項，都與專業技術與運動科學有關，因此命名為「運動科學」。因素二有三個題項，其內容為劍身角度(也就是握把角度)和手套(都屬於人因工程中人機介面)，因此命名為「人機介面」。因素三有三個題項，命名為「賽程安排」，因為其內容皆與賽程安排有關。各因素內含如下：

1. 因素一「運動科學」，解釋變異量為 31.52%：教練與運動科學的結合，能避免選手的運動傷害。不正確的甩劍很容易造成手腕的肌腱傷害(發炎等)。

教練的運科及專業知識不足，易造成選手的運動傷害。專用的擊劍鞋應有助於足部運動傷害的預防。

- 因素二「人機介面」，解釋變異量為 17.87%：劍的角度調整有助於刺點及避免手腕的運動傷害。良好的手套應有助於運動傷害的預防。劍身角度的調整有助於減少手部的疲勞、減少受傷。
- 因素三「賽程安排」，解釋變異量為 12.79%：賽程安排太鬆散，容易引起運動傷害。賽程安排不當，會造成選手的運動傷害。賽程安排太緊湊，會引起運動傷害

表2 因素分析 KMO與Bartlett's 檢定

Kaiser-Meyer-Olkin取樣適切性量數		.844
Bartlett 球型檢定	近似卡方分配	2070.678
	自由度	435
	顯著性	.000*

表3 三個主要因素特徵值及解釋變異量表

成份	初始特徵值			轉軸平方和負荷量		
	總和	變異數%	累積%	總和	變異數%	累積%
1	3.15	31.51	31.51	2.22	22.26	22.26
2	1.78	17.87	49.38	2.09	20.94	43.20
3	1.27	12.78	62.17	1.89	18.96	62.17

表4 轉軸後的成份矩陣

成份					
題項	因素1	題項	因素2	題項	因素3
A29	.767	A12	.853	A13	.825
A25	.763	A10	.773	A15	.764
A21	.741	A9	.744	A18	.711
A11	.617				

(三)運動傷害因素分析

本研究以「2002年中華民國大專院校擊劍錦標賽」參加的選手為受測對象，回收有效樣本 72 份。以上述三個主要因素進行多變量變異數分析(MANOVA)。研究結果發現，劍齡、年齡、劍種、性別等在「運動科學」、「人機介面設計」、「賽程安排」等因素構面上皆未達顯著水準。但從整體變異數分析結果發現，上述三個因素的平均水準有顯著差異 ($p < .01$)。

參考表 5 可知選手大部分認同因素一「運動科學」的專業知識與技術是影響選手在訓練過程中導致運動傷害的主要因素之一，「運動科學」因素對於選手及教練在運動傷害的預防，可以從運動生理學和運動醫學等科學涵養的強化，這些都是選手和教練在訓練上不可輕忽的重要因素。而適當賽程的安排對於選手運動傷害的預防也有一定的幫助，賽程安排鬆散或緊湊對於選手在比賽中都有可能造成運動傷害，但是賽程安排屬於主辦單位的權責範圍，非教練及選手能掌握得到，但教練及選手應有建議賽程改善之權利。

在「人機介面」因素方面，人機介面在人因工程上扮演著很重要的角色，人機介面主要就是探討手套和握把兩個介面與手的關係。在「運動科學」、「人機介面」、「賽程安排」三個主要因素中，「人機介面」因素平均數的統計量為 4.03，高於「運動科學」和「賽程安排」的 3.89 和 3.66，在三個因素中平均數最高(參考表 5)。其中「人機介面」三個題項中就有兩個題項論及劍身角度的問題。擊劍運動的劍正如人機介面所討論的手工具，如何結合人因工程之專家投入擊劍運

動領域，對於人機介面的研究，有關於劍身最佳角度的實驗，為下一階段繼續深入探討研究的重點。

表5 主要因素的描素統計量

主要因素	平均數	標準差
運動科學	3.8938	.5635
人機介面	4.0320	.5448
賽程安排	3.6575	.5931

(四)劍身最適角度的實驗

1.不同劍身角度的有效刺點分析

首先檢測受試者的實驗效果是否會受體力疲乏之影響，受試者在所有有效刺擊和準確度的實驗記錄中，前後五次各分開登錄，再進行配對 t 檢定。結果發現有效刺擊達顯著水準 ($p < .05$)。前、後五劍的平均數各為 3.95 和 4.05 (如表 6)，其結果表示受試者在連續 10 次的長刺動中應不受體力之影響。但出現後五劍的平均數比前五劍稍高的情況，受試者可能受學習效果的效應，也就是在每一次甩劍動作累積經驗中調整或修正出最佳狀況，因此後五次有效刺擊的平均數就比前五次高。

八位受試者在五個不同劍身角度的實驗中，每一個角度進行 10 次實驗，合計每人 50 次的長刺甩劍，各受試者平均得點如表 7 所示。劍身角度五個水準的平均數各為 5.88、7.63、7.75、9.38、8.50，組間效果考驗達顯著水準 ($p < .01$)，表示不同劍身角度會影響甩劍的有效刺擊，請參考表 8。Scheffe 事後比較結果，發現 18、21、24 在不同劍身角度有效刺擊 (表 9)。

表6 不同角度有效刺擊前後五劍的 t 檢定

刺擊分段	個數	相關	顯著性	備註
前、後五劍	40	.339	.032*	* $p < .05$

表7 受試者在不同角度的有效刺擊總表

受試者 劍身角度	受試者								平均 (單位：次)
	A	B	C	D	E	F	G	H	
9	5	7	7	4	6	5	9	4	5.88
15	8	7	8	7	8	8	7	8	7.63
18	8	7	8	7	10	7	9	6	7.75
21	10	8	10	9	9	10	10	9	9.38
24	9	8	9	9	9	8	8	8	8.50

表8 不同劍身角度與有效刺擊的變異數分析

		平方和	d.o.f	mse	F	P
有效刺點	組間	53.650	4	13.41	11.69	.000*
	組內	40.125	35	1.14		
	總和	93.775	39			註：(* $p < 0.05$)

表9 有效刺擊之Scheffe事後比較

下壓劍身角度	個數	alpha = .05 子集		
		子集1	子集2	子集3
9	8	5.88		
15	8		7.63	
18	8		7.75	7.75
24	8		8.50	8.50
21	8			9.38

2、不同劍身角度的準確度分析

在準確度的實驗方面，八位受試者在五個不同劍身

角度各做 10 次長刺步法的刺準，經過配對 t 檢定後，前五劍與後五劍的準確度未達顯著差異水準，這表示 10 次長刺步法實驗中之擊劍選手準確度不受體力或是腿部的肌力影響。

經由準確度的單因子變異數分析，結果發現不同劍身角度與準確度組間效果考驗達極顯著水準 ($p < .001$)，受試者所使用較大的劍身角度對於準確度影響較大(如表 11)。Scheffe 事後比較結果發現 15、18、21 在不同劍身角度中(表 12)。

表 10 準確度前後五劍的配對 t 檢定

劍身角度	個數	相關	顯著性
前、後五劍	40	.206	.202

表 11 不同劍身角度準確度的變異數分析

		平方和	Dof	Mse	F	p
有效刺點	組間	564.90	4	141.225	6.445	.001*
	組內	766.87	35	21.911		
	總和	1331.77	39			註：(* $p < .05$)

表 12 準確度之 Scheffe 事後比較

下壓劍身角度	個數	alpha = .05 子集		
		子集1	子集2	子集3
9	8	26.75		
24	8	28.00	28.00	
15	8	33.50	33.50	33.50
21	8		34.63	34.63
18	8			36.25

3. 小結

綜合本實驗重要結果是平均值為 19.5 ± 1.5 的劍身角度之總和運動績效最高。因為在不同劍身角度中擁有最高的有效刺擊角度為 18、21、24，擁有的準確度。若各以 0.5 權重綜合分析有效刺擊和準確度，各角度加權後得分之對應值分別是 9 得 0 分，15 得 0.5 分，18 得 1 分，21 得 1 分，24 得 0.5 分，因此可知 18、21 (平均 19.5 ± 1.5) 為具有最佳表現的兩個角度。

四、結論與建議

造成擊劍選手的運動傷害原因很多，運動傷害的部位統計腰部以下部位的總和佔所有受傷總數的 60% 為最高。另外若從訓練時間分析，擊劍運動的啟蒙黃金年齡是十歲左右，以第 23 屆奧運擊劍金牌為例，金牌男女年齡各為 22、25 歲的情況下，要拿奧運金牌至少要經過十二年左右的努力耕耘。台灣擊劍選手平均 19 歲的練劍時間只有四年，如果訓練環境以及教練師資不列入選手成敗因素，則台灣劍手開始習劍年齡平均為十五歲，距離奧運奪牌年紀 25 歲，足足有十年的訓練培養期。但是台灣劍手平均練習四年期間內，110 名受測中就有 665 次的運動傷害，這是一個很大的警訊，值得研究者注意，運動科學觀念的加強與人機界面的改善是擊劍運動訓練與研究首要之急務。

本研究發現，平均 19.5 ± 1.5 的劍身角度和有效刺擊的綜合表現上，顯然都優於以往的研究 [1][6][7] 之最佳角度。這也符合 Bennett 研究手工

具的最佳角度為 $19^\circ \pm 5^\circ$ 之理論，但是由於擊劍運動是在高度動態中進行高精確度的刺擊，所以最佳角度的範圍 19.5 ± 1.5 顯然只有一般左右。

綜合本研究的調查分析與實驗結果，本研究建議藉由運動科學觀念之強化與加強專業技術之訓練，並研發高科技選手之訓練輔具、比賽裝備等，這些對於運動成績之提昇，運動傷害之預防將會有很大之幫助。主要可從以下兩個重點著手：

1. 加強教練及選手正確的運動科學觀念，在訓練或比賽期間應根據選手個人特質，調適正確的處方，爭取運動佳績避免運動傷害。
2. 結合人因工程專家投入擊劍運動領域研究，尤其在人機界面的研發、劍身角度的設計等，對於運動傷害的預防及運動績效的提昇將有很大的助益。

五、自我評估

擊劍劍身與手工具握把角度之設計主要取決於省力和避免運動傷害，但劍身角度卻要權衡甩劍刺擊的有效性和準確度，研究結論 19.5 ± 1.5 劍身理範圍最佳角度，對於運動傷害的預防和運動績效的提昇將會有很大的助益與實質貢獻。

參考文獻

- [1] 張志凌、林房儂(2001)：擊劍戰術對比賽勝負影響之統計分析，國立台灣體育學院學報，第八期，pp.239-251。
- [2] 擊劍 (1996)：中國大陸，北京體育學院成人教育部。
- [3] 張志凌、林房儂(2001)：擊劍運動之長刺動作傷害分析研究，修平學報，第三期，pp.239-250。
- [4] 許勝雄 (民 80)：人因工程與體育運動，文化體育，台北，pp.48-51。
- [5] Fink, P. (1993)：Force in the Forward Leg During a Fencing Lunge, the Thesis of Submitted to the Faculty of Purdue University.
- [6] 張志凌、林房儂(2001)：鈍劍劍身下壓角度對甩劍動作之影響，國立台灣體育學院學報，第九期，pp.591-607。
- [7] 張志凌 (民 89)：擊劍戰術與劍具改良對運動績效之影響，國立台灣體育學院體育研究所碩士論文。
- [8] Emanuel, J., Mills, S., and Benett, J. (1980). In search of a better handle, Proceedings of the Symposium: Human Factors and Industrial Design in Consumer Products. Medford, MA: Tufts University.
- [9] Lin, F. T., Chang, C. L.(2001), An application for research of human factors on foil blade angle, *The 6th Pan-Pacific Conference on Occupational Ergonomics*, pp.351-354.
- [10] Lin, F. T., Chang, C. L.(2001), Human Factors Design and Application of Foil Blade Angle, *Proceeding of 21st FISU Congress*, Beijing, pp.211-212.