

## 男子網球兩種不同型態高壓球上肢關節之運動學分析

莊濱鴻<sup>1</sup>、莊宜達<sup>2</sup>、何采容<sup>3</sup>

正修科技大學<sup>1</sup>、高雄醫學大學<sup>2</sup>、銘傳大學<sup>3</sup>

### 摘 要

本研究目的為探討男子網球兩種不同型態高壓球上肢關節加速期在運動學之差異。本研究以二度空間一部每秒 500 張的高速攝影機拍攝三位男子網球運動員進行原地及後躍高壓球之過程，比較在原地及後躍高壓球的差異，獲得結論如下：

- 一、後躍高壓球擊球高度比原地高壓球高，原地及後躍高壓球擊球高度的結果，均比發球擊球點高度高。
- 二、在擊球後，高壓球的球拍速度比發球減速得更快。
- 三、高壓球擊球符合動力鏈及鞭打動作的原理。
- 四、為精準的控制球的方向與飛行落點，高壓球在擊球點前，球拍會稍微減速去擊球。

**關鍵詞：**網球、高壓球

---

主要聯絡者：莊宜達 高雄醫學大學 電話：07-3208108 傳真號碼：07-3208108

807高雄市三民區十全一路100號體育組

E-mail：[yida@kmu.edu.tw](mailto:yida@kmu.edu.tw)

## 壹、前言

網球運動是國內非常流行的運動之一，其受人喜愛的原因有：(一)運動強度適中；(二)參與網球運動的年齡層廣；(三)趣味性高；(四)可培養運動家的風度(莊宜達，2002)。網球的擊球技術有發球、落地擊球、截擊、高壓球、挑高球、吊小球等。在所有擊球技術中，得分率最高的就是高壓球。

國內有關網球運動生物力學的研究以發球居多(張清泉，1988；王苓華，1989；王同茂，1990；黃俊清，1993；莊宜達，1995；蔡虔祿，1999；林坤燃，2000；羅國城、王苓華，2003等)，截擊及落地擊球則較少學者發表(王苓華、羅國城，1996；王苓華，2003)，而高壓球的研究就無學者深入探討。本研究整理國內學者有關男子網球發球方面的研究結果如表一。

表一 國內男子網球發球相關研究結果表

研究者	王苓華 (1989)	黃俊清 (1993)	莊宜達 (1995)	蔡虔祿 (1999)	林坤燃 (2000)
擊球球速 m/s	29.38	46.59	50.44	57.24	
擊球點高度 m	2.73	2.77			2.76
擊球拍頭速度 m/s	34.16				33.20
腕關節角度	153.20			201.50	
肘關節角度	173.60			159.75	
肩關節角度	172.20			172.75	
腕關節角速度				-2697.00	
肘關節角速度				-275.75	
肩關節角速度				-349.00	
腕關節角加速度				104798.00	
肘關節角加速度				16044.00	
肩關節角加速度				5683.00	

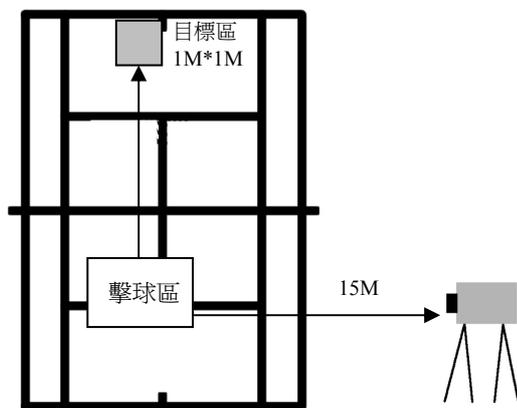
高壓球的擊球型態，因應對手挑高球的球路及本身所處的位置，可分為原地高壓球、前移高壓球、後移高壓球、後躍高壓球及落地高壓球等五項。發球與高壓球均屬肩上擊球的動作；但發球因其拋球為

自身的控制行為，所以為一閉鎖性的動作。而高壓球，因其所擊的球為對手回擊所產生，掌控權在對手，故其為一開放性動作(許樹淵，1997)。

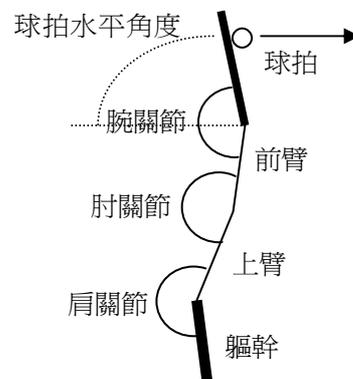
高壓球最基本的技巧為原地高壓球，而後躍高壓球因要在快速向後移動中跳躍作擊球，所以困難度最高。本研究目的為比較此兩種不同型態高壓球上肢關節加速期在運動學上之差異，並探討其與發球運動學上的差異，以提供國內選手在訓練時之參考。

#### 壹、研究方法

本研究以二度空間一部的 Mega Speed MS1000 高速攝影機拍攝(拍攝速度調整為每秒 500 張畫面)三位曾打進全國排名賽前四名的男子網球運動員進行原地及後躍高壓球之過程，各擷取一次進入目標區成功的擊球動作，以 SiliconCOACH Pro 動作分析軟體數位化持拍臂之上肢關節加速期的擊球過程，擷取球心、拍頭、腕關節、肘關節及肩關節等 5 點，及腕關節、肘關節、肩關節等 3 個角度，每張取樣畫面間隔時間為 0.05 秒，每 0.01 秒取樣一次，計算出速度、加速度、角度、角速度、角加速度等運動學資料，以進行分析。場地佈置如圖一，關節角度定義如圖二。



圖一 實驗場地佈置圖



圖二 關節角度定義如圖

## 貳、結果

表二為三位受試者原地及後躍高壓球擊球高度表。原地高壓球 A、B、C 受試者擊球高度分別為 2.98 公尺、2.71 公尺、2.79 公尺，平均為  $2.83\pm.14$  公尺；後躍高壓球 A、B、C 受試者擊球高度分別為 3.11 公尺、2.89 公尺、2.97 公尺，平均為  $2.99\pm.11$  公尺。可見，後躍高壓球因有向後上跳躍的動作，所以擊球高度明顯較原地高壓球高約 0.16 公尺。此原地及後躍高壓球擊球高度的結果，均比王苓華(1989)、黃俊清(1993)及林坤燃(2000)等的發球擊球點高度為 2.73 公尺、2.77 公尺及 2.76 公尺還高。可見，高壓球的擊球高度比發球還高。

表二 原地及後躍高壓球擊球高度表(m)

受試者	原地	後躍
A	2.98	3.11
B	2.71	2.89
C	2.79	2.97
平均	$2.83\pm.14$	$2.99\pm.11$

表三為原地及後躍高壓球擊球前後平均球速及拍頭速度表。在球速方面，原地高壓球擊球前後的平均球速分別為 12.66m/s 及 40.33m/s；後躍高壓球擊球前後的平均球速分別為 12.46m/s 及 40.62m/s。莊宜達(2002)指出發球擊球前的平均球速為 4.52m/s。可見，高壓球由於球下降的速度比發球快，若擊球前未及早掌握好擊球時機，較容易出現誤差。在拍頭速度方面，原地高壓球擊球前後的拍頭速度分別為 34.81m/s 及 18.24m/s；後躍高壓球擊球前後的拍頭速度分別為 34.96m/s 及 19.76m/s。莊宜達(2002)的發球研究結果為 34.98m/s 及 24.72m/s。可見在擊球後，高壓球的球拍減速度大於發球。另外在擊球後球速方面，本研究高於王苓華(1989)的 29.38m/s，但低於黃俊清(1993)、莊宜達(1995)及蔡虔祿(1999)的發球球速。王苓華(1989)的發球速度為 29.38m/s，可能是因由於 1990 年前與現今球拍科技的差異，且亦可能是因當時網球運動尚未興盛與技術水準尚待努力有關。

表三 原地及後躍高壓球擊球前後平均球速及拍頭速度表(m/s)

高壓球	原地		後躍	
	擊球前	擊球後	擊球前	擊球後
球速	12.66±.83	40.33±5.32	12.46±.59	40.62±6.14
拍頭	34.81±4.40	18.24±2.98	34.96±6.03	19.76±4.10

表四為原地及後躍高壓球擊球瞬間上肢關節平均速度表。由表四得知，原地高壓球擊球瞬間拍頭、腕關節、肘關節及肩關節的平均速度分別為 25.52m/s、6.59m/s、2.03m/s 及 0.78m/s；後躍高壓球擊球瞬間拍頭、腕關節、肘關節及肩關節的平均速度分別為 25.62m/s、6.43m/s、1.90m/s 及 1.64m/s。兩者在各關節點的平均速度非常接近。

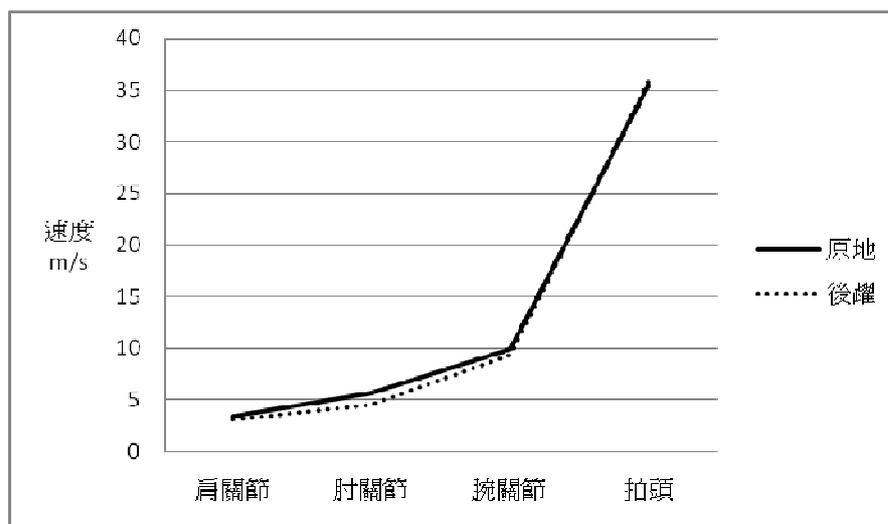
表四 原地及後躍高壓球擊球瞬間上肢關節點平均速度表(m/s)

	原地	後躍
拍頭	25.52±3.13	25.62±5.54
腕關節	6.59±1.93	6.43±.87
肘關節	2.03±.63	1.90±.75
肩關節	0.78±.71	1.64±1.03

表五為三位受試者原地及後躍高壓球各關節點平均最大速度表，圖三為原地及後躍高壓球各關節點平均最大速度變化圖。由表五及圖三可清楚發現，拍頭、腕關節、肘關節及肩關節平均最大速度分別為 35.42 m/s、9.94 m/s、5.74 m/s 及 3.48 m/s，最大速度由小而大為肩→肘→腕→拍頭。此結果符合 Groppe, J.L. (1984)提出的：「為了更有效率地發球，他建議力量宜自地面產生，再經由腿、腰(臀)、軀幹及上肢的身體連鎖系統轉換」動力鏈的觀念。並與「在克服阻力或自體移位過程中，上肢諸環節依次加速與制動，使末端環節產生極大速度或打擊力的動作形式稱鞭打動作。(李誠志，1994)」的原理符合。另外，由大關節帶動小關節活動的順序原理，亦與莊宜達(2002)及莊宜達、莊濱鴻、何采蓉(2003)的結果相符。

表五 三位受試者原地及後躍高壓球各關節點平均最大速度表(m/s)

	原地	後躍
拍頭	35.42±4.25	35.73±5.17
腕關節	9.94±1.96	9.36±1.77
肘關節	5.74±.99	4.61±1.01
肩關節	3.48±1.32	3.11±.11



圖三 原地及後躍高壓球各關節平均最大速度變化圖

表六為原地及後躍高壓球擊球瞬間上肢關節平均加速度表。由表六得知，原地高壓球擊球瞬間拍頭、腕關節、肘關節及肩關節的平均加速度分別為-2007.65m/s/s、-41.27m/s/s、-32.88m/s/s及-26.7 m/s/s；後躍高壓球擊球瞬間拍頭、腕關節、肘關節及肩關節的平均加速度分別為-1563.95 m/s/s、48.78m/s/s、9.17m/s/s及85.87m/s/s。

表七為原地及後躍高壓球擊球瞬間球拍水平角度及上肢關節平均角度表。原地高壓球擊球瞬間球拍水平角度、腕關節、肘關節及肩關節的平均角度分別為86.00度、170.33度、173.67度及177.67度；後躍高壓球擊球瞬間球拍水平角度、腕關節、肘關節及肩關節的平均角度分別為86.67度、176.67度、172.33度及176.00度。本研究的原地及後躍高壓球的擊球瞬間球拍水平角度(86.00度及86.67度)均小於Bruce Elliott. (1983)的發球球拍角度為90度。有可能是擊球時因球速較快，須藉由調整球拍角度來控制球的方向及落點所導致的。

另外，本研究的原地及後躍高壓球擊球瞬間的腕關節角度(170.33

度、176.67)，大於王苓華(1989)的 153.2 度，但小於蔡虔祿(1999)的 201.5 度。而在肘關節及肩關節的平均角度方面，則均與王苓華(1989)及蔡虔祿(1999)相近。

表六 原地及後躍高壓球擊球瞬間拍頭及上肢關節點平均加速度表(m/s/s)

	原地	後躍
拍頭	-2007.65±74.70	-1563.95±472.70
腕關節	-41.27±25.21	48.78±110.14
肘關節	-32.88±37.09	9.17±25.54
肩關節	-26.79±34.03	85.87±97.63

表七 原地及後躍高壓球擊球瞬間球拍水平角度及上肢關節平均角度表  
(度)

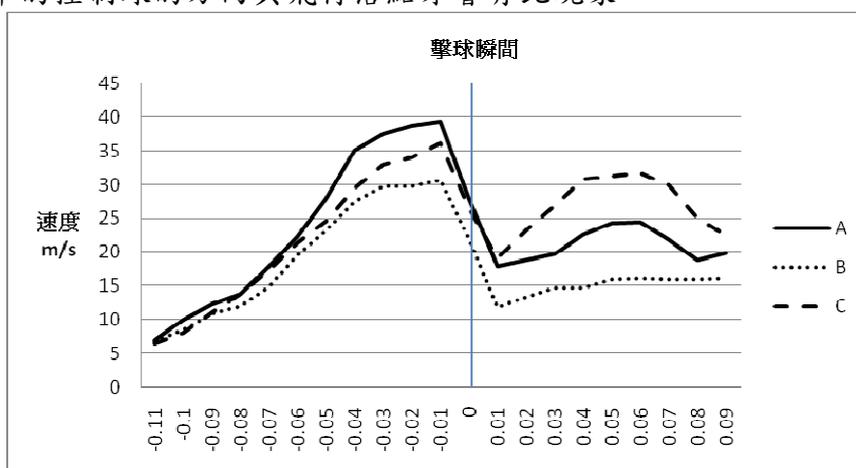
	原地	後躍
拍頭	86.00± 2.00	86.67± 4.51
腕關節	170.33±20.61	176.67±16.50
肘關節	173.67± 1.53	172.33±13.80
肩關節	177.67± 2.52	176.00±12.77

表八為原地及後躍高壓球擊球瞬間上肢關節平均角速度表。原地高壓球擊球瞬間腕關節、肘關節及肩關節平均角速度分別為 350.00 度/s、200.00 度/s 及 116.67 度/s；後躍高壓球擊球瞬間腕關節、肘關節及肩關節平均角速度分別為 308.33 度/s、316.67 度/s 及 183.33 度/s。此結果與蔡虔祿(1999)的-2697 度/s、-275.75 度/s 及-349 度/s 不同。此結果在可能因發球球下降的速度較慢，故腕關節需要比高壓球較大的角速度去擊球。

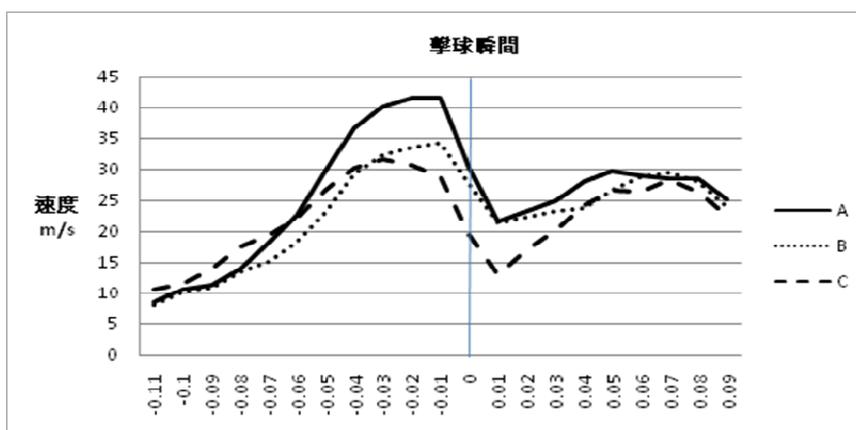
表八 原地及後躍高壓球擊球瞬間上肢關節平均角速度表(度/s)

	原地	後躍
腕關節	350.00±163.94	308.33±246.64
肘關節	200.00±175.00	316.67± 76.38
肩關節	116.67± 52.04	183.33±137.69

圖四為三位受試者原地高壓球拍頭速度變化圖，圖五為三位受試者後躍高壓球拍頭速度變化圖。由圖四及圖五可看出，在三位受試者的原地及後躍高壓球中，均以 A 受試者的拍頭速度最大。而三位受試者最大拍頭速度均出現在擊球前約 0.01 秒，之後稍微減速進行擊球。Bruce Elliott, Tony Marsh & Brian Blanksby.(1986)的研究指出，在發球時的擊球點前，球拍會稍微減速去擊球；Groppel, J. L.(1984)指出，發球時在擊球瞬間或擊球前的 500ms 到 200ms 間，肌肉活動有停頓的現象，這段時間平均持續了 300ms。此與本研究結果相符，其原因是為了精準的控制球的方向與飛行落點才会有此現象。



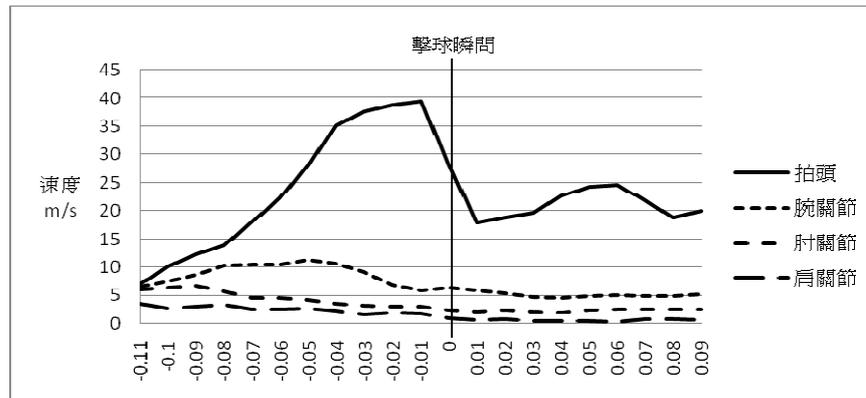
圖四 三位受試者原地高壓球拍頭速度變化圖



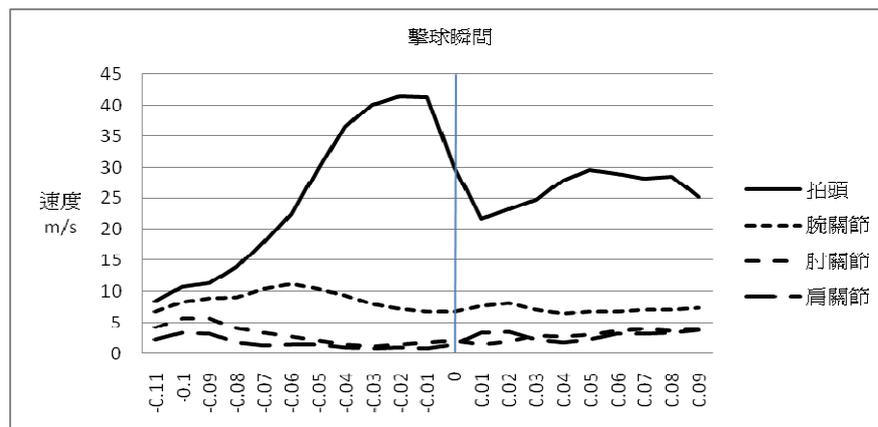
圖五 三位受試者後躍高壓球拍頭速度變化圖

由於本研究有三位受試者，其在原地及後躍高壓球上肢關節速度的變化圖其個別差異不大，故為免占用篇幅，僅以 A 受試者之資料來呈現各關節速度在時間上之變化。圖六及圖七分別為 A 受試者原地及

後躍高壓球上肢關節速度變化圖。從此兩圖來看，線形非常相似，在拍頭最大速度原地高壓球稍大於後躍高壓球，最大速度出現時間亦相同。可見，A 受試者在高難度的後躍高壓球亦能控制的如原地高壓球一樣準確，國內只有頂尖的高水準選手才有如此表現。

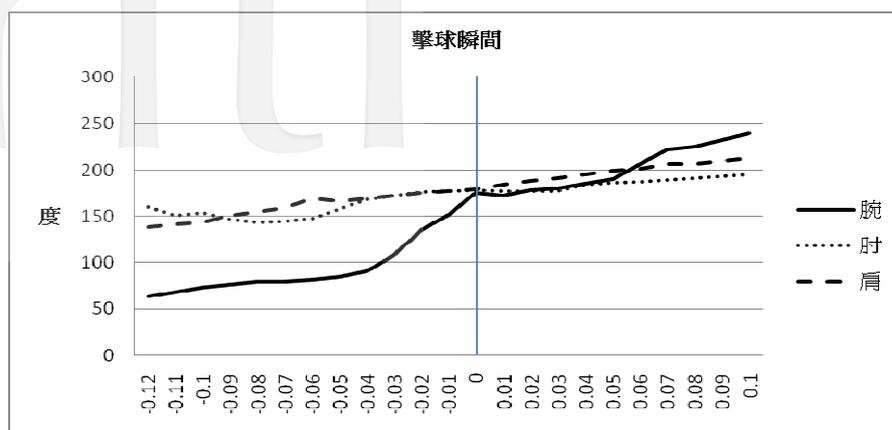


圖六 A 受試者原地高壓球上肢關節速度變化圖

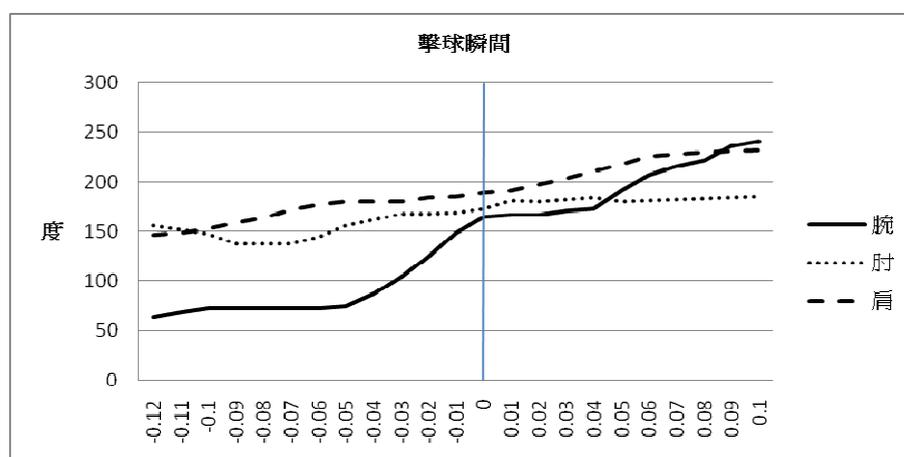


圖七 A 受試者後躍高壓球上肢關節速度變化圖

圖八及圖九分別為 A 受試者原地及後躍高壓球上肢關節角度變化圖。由此兩圖可看出，肘及肩兩關節在高壓球的加速期中，角度變化相當和緩。而腕關節則在擊球前 0.04 秒的 90 度(原地)及 86 度(後躍)，急速增加到擊球瞬間的 175 度(原地)及 165 度(後躍)。可見，高壓球擊球大部分還是依賴腕關節瞬間的加速，將速度傳導至球拍，製造出較快的擊球速度。



圖八 A 受試者原地高壓球上肢關節角度變化圖



圖九 A 受試者後躍高壓球上肢關節角度變化圖

## 參、結論

本研究以一部每秒 500 張的高速攝影機拍攝三位男子網球運動員進行原地及後躍高壓球之過程，分析並比較在兩種不同型態高壓球在運動學上之差異，獲得結論如下：

- 一、後躍高壓球擊球高度比原地高壓球高。原地及後躍高壓球擊球高度的結果，均比發球擊球點高度高。
- 二、在擊球後，高壓球的球拍速度比發球減速得更快。
- 三、高壓球擊球符合動力鏈及鞭打動作的原理。
- 四、為精準的控制球的方向與飛行落點，高壓球在擊球點前，球拍會稍微減速去擊球。

## 肆、參考資料

- 王同茂(1990)。不同不法的網球發球在三度空間的運動學分析。台北市：國立台灣大學體育學術研究會。
- 王苓華(1989)。網球平擊式發球之運動學分析。成大體育，23期，32-37。
- 王苓華(1989)。網球平擊式發球之運動學分析。台南市：崇正出版社。
- 王苓華、羅國城(1996)。網球正手拍擊球地面反作用力之探討。體育與運動，98期，75-84頁。
- 王苓華(2003)。網球反拍節擊動作之上肢肌肉活化與動量傳遞之研究。體育學報，35輯，59-68頁。
- 李誠志(1994)。教練訓練指南。台北市：文史哲出版社。
- 林坤燃(2000)。網球平擊式發球之生物力學分析。台北市：中國文化大學運動教練研究所碩士論文。
- 黃俊清(1993)。網球平擊式發球之運動學分析。國立體育學院運動科學研究所碩士論文。
- 莊宜達(1995)。網球平擊式發球上肢關節之力學分析。國立體育學院運動科學研究所碩士論文。
- 莊宜達(2002)。我國優秀女子網球選手平擊式發球之力學分析。台北市，德育書局。
- 莊宜達、莊濱鴻、何采蓉(2003)。比較女子網球冠軍選手與青少年網球選手平擊式發球運動學之差異。九十二年全國大專院校運動會體育學術研討會專刊，229-238頁。
- 許樹淵(1997)。運動生物力學。台北市：合記圖書出版社。
- 許樹淵、張思敏、張清泉、田文政(2000)。網球技術理論與實際。台北市：中華民國網球協會。
- 蔡虔祿(1999)。網球平擊式發球上肢肢段關節之動力學分析。台北市：國立台灣師範大學體育學系博士論文。
- 張清泉(1988)。網球發球理論與技術研究。台北市：體育出版社。
- 羅國城、王苓華(2003)。網球發球軀幹及下肢運動學與重心力矩之分析。大專體育學刊，五卷，1期，205-215頁。
- Bruce Elliott. (1983). Spin and The Power Serve in Tennis. *Journal of Human Movement Studies*, 9(2), 97-104.

Bruce Elliott, Tony Marsh & Brian Blanksby. (1986). A Three-Dimensional Cinematographic Analysis of the Tennis Serve. *International Journal of Sport Biomechanics*, 2(4), 260-271.

Groppel, J. L. (1984). The Biomechanics of Tennis: An Overview. *International Journal of Sport Biomechanics*, 2, 141-155.

## **The upper extremity kinematical analysis of different smash in male tennis players**

Chuang, Pin-Hung<sup>1</sup>、Chuang, Yi-Ta<sup>2</sup>、Ho, Tsai-Jung<sup>3</sup>  
Cheng Shiu University<sup>1</sup>、Kaohsiung Medical University<sup>2</sup>  
Ming Chuan University<sup>3</sup>

### **Abstract**

The purpose of this study was to conduct kinematical analysis of different smash in male tennis players. The study used 2-D Mega Speed high speed photography(500frames/sec). And compare the difference between the static smash and the backward-jumping smash. The results were concluded as follows:

1. The height of impact by the backward-jumping smash is higher than the static smash. The height of impact by the backward-jumping smash and the static smash are higher than serve.
2. The racquet velocity of smash decelerated fast than serve.
3. The smash strokes were to fit in with the principle of Kinetic chain.
4. The racquet would decelerate on pre-impact of smash to impact due to accuracy.

**Keywords : tennis 、 smash**