

## 優秀男子網球選手原地與落地高壓球之運動學分析

莊宜達\* 許家得\*\* 張碧峰\*\*\* 曾銀助\*  
高雄醫學大學\* 黎明技術學院\*\* 國立台中教育大學\*\*\*

### 摘要

本研究目的為分析並比較原地及落地高壓球上肢關節加速期在運動學上之差異，並探討其與發球在運動學上的差異，以提供國內教練及選手在訓練比賽時之參考。研究方法是以前一部每秒 500 張的高速攝影機拍攝三位男子網球運動員進行原地高壓球及落地高壓球之加速期擊球過程，並以 SiliconCOACH Pro 動作分析軟體數位化擊球過程，擷取球心、拍頭、腕關節、肘關節及肩關節等 5 點，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，並以相依樣本 t 考驗來比較兩者間的差異。獲得結論如下：

- 一、落地高壓球在拍頭速度及腕、肘、肩關節速度均比原地高壓球快。
- 二、原地高壓球擊球瞬間的腕、肘關節角度均大於落地高壓球；而落地高壓球擊球瞬間肩關節角度則大於原地高壓球。
- 三、原地高壓球擊球瞬間的肘關節角速度大於落地高壓球；而落地高壓球擊球瞬間腕、肩關節角速度均大於原地高壓球。

關鍵詞：網球、高壓球、運動學分析

## 壹、問題背景

網球是一種世界化及職業化的運動。我國目前在國際職業網壇有盧彥勳、張凱貞、詹詠然、謝淑薇等男女選手展露頭角，他們的成績在亞洲選手為數一數二。由表一可看出我國男子網球選手近年世界排名的變化。男子選手以盧彥勳表現最佳（莊宜達等，2009）。

表一 我國男子網球選手近年世界單打排名

| 年份      | 盧彥勳 | 王宇佐 | 陳迪  | 楊宗樺  | 李欣翰 | 易楚寰  |
|---------|-----|-----|-----|------|-----|------|
| 2001    | 543 | 402 |     |      |     |      |
| 2002    | 192 | 205 |     |      |     |      |
| 2003    | 190 | 179 | 403 |      |     |      |
| 2004    | 87  | 184 | 300 |      |     |      |
| 2005    | 158 | 100 | 332 |      | 990 | 712  |
| 2006    | 89  | 148 | 316 | 1079 | 790 | 1011 |
| 2007    | 110 | 148 | 297 | 685  | 716 | 944  |
| 2008    | 64  | -   | 316 | 550  | 636 | 750  |
| 2009    | 61  | -   | 350 | 494  | 603 | 690  |
| 2010    | 103 | -   | 435 | 322  | 700 | 514  |
| 最佳排名    | 55  | 85  | 255 | 468  | 601 | 677  |
| 2010 雙打 | 140 | -   | 574 | 174  | 293 | 318  |

引用自莊宜達等，2009

網球的擊球有發球(serve)、落地擊球(stroke)、截擊(volley)、高壓球(smash)、挑高球(loop)、吊小球(drop-shot)等動作。在比賽中，除發球外，使用率最高的為落地擊球，使用率最低的則為吊小球。就擊球得分率來說，則以高壓球最高。

國內並無網球高壓球運動生物力學的研究，主要以發球的研究居多(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)，截擊及落地擊球則有一些學者發表(王苓華、羅國城，1996；王苓華，2003)。

高壓球又簡稱殺球或扣殺(許樹淵等，2000)。巫宏榮(2004)指出，高壓殺球的動作可以與平擊發球相較，無論握拍法、站姿和擊球動作都類似，只是你必須移到擊球位置，還有後擺則須縮短其動作。綜合前述，高壓球為因應對手擊出的挑高球而採用的肩上擊球動作。許樹淵等(2000)將高壓球分為正拍高壓球、反拍高壓球及落地高壓球等三種。本文提出，應視對手擊球的球路及自身與球的相對位置，將其高壓球擊球型態分為原地高壓球、前移高壓球、後移高壓球、後躍高壓球，落地高壓球等五種。反拍高手截擊或稱為反拍高壓球，因其擊球後球速及得分率無法與上述五種高壓球相比，故不將其列入高壓球之一。

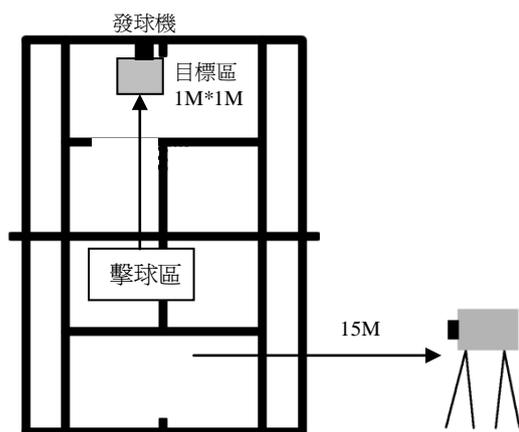
發球與高壓球均屬肩上擊球的動作。高壓球相似於發球，需要許多腳部工作來調整身體的姿勢，以便能迎合球的位置(許樹淵等，2000)。但發球因其拋球為自身的控制行為，所以為一閉鎖性的動作。而高壓球，因其所擊的球為對手回擊所產生，掌控權在對手，故其為一開放性動作(許樹淵，1997)。而在整個擊球過程中，在加速期的上肢關節主導了擊球的結果，故大部分研究均以探討此部分的細節。

原地高壓球及落地高壓球為基本的高壓球擊球技巧，目前並沒有學者探討兩者間

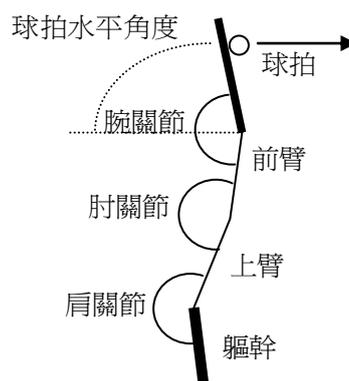
在運動學上有何差異。所以，本研究目的為分析並比較原地及落地高壓球上肢關節加速期在運動學上之差異，並探討其與發球在運動學上的差異，以提供國內教練及選手在訓練比賽時之參考。

## 貳、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落地高壓球之擊球過程。送球方式則以 WILSON 發球機發出平擊球，送球高度約為 9 公尺高，球飛行軌跡經具國家級教練者認定符合進行原地及落地高壓球擊球動作。各擷取一次進入目標區的成功擊球動作，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 SPSS 14.0 統計軟體進行分析，並以相依樣本 t 考驗來比較兩者間的差異。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

## 參、結果與討論

表二為原地及落地高壓球擊球前、後平均球速 t 考驗摘要表。原地高壓球擊球前的平均球速為 12.45m/s，擊球後的平均球速為 40.33m/s。而落地高壓球擊球前的平均球速為 5.02m/s，擊球後的球速為 44.47m/s。原地高壓球擊球前的球速比落地高壓球快，但經 t 考驗後，並未達顯著差異。落地高壓球擊球後的球速比原地高壓球快，經 t 考驗後，未達顯著差異。莊宜達(2002)的研究發現，發球在擊球前的平均球速為 4.52m/s。可見，原地及落地高壓球擊球前的球速均高於發球；而落地高壓球擊球前的球速，則因球經落地後減緩速度，故與發球較接近。在擊球後的球速方面，本研究，高於王苓華(1989)的發球球速 29.38m/s，但慢於黃俊清(1993)的 46.59 m/s、莊宜達(1995)的 50.44m/s 及蔡虔祿(1999)的 57.24m/s 等研究的發球球速。此差異可能是因發球的研究主要針對平擊式的第一發球，需要最快的擊球速度；而高壓球則較不需要 100% 最快的擊球速度，於實際比賽時，僅需 75% 至 90% 的速度，以增加球的方向與落點之準確性。

表二 原地及落地高壓球擊球前、後平均球速 t 考驗摘要表

| 項目  | 高壓球 | 平均數   | 標準差  | t 值   |
|-----|-----|-------|------|-------|
| 擊球前 | 原地  | 12.45 | 1.61 | 5.02  |
|     | 落地  | 5.02  | .98  |       |
| 擊球後 | 原地  | 40.33 | 5.32 | -1.34 |
|     | 落地  | 44.47 | 2.12 |       |

\*p<.05

表三為原地及落地高壓球擊球前、後拍頭平均速度 t 考驗摘要表。原地高壓球擊球前的拍頭速度為 35.43m/s，擊球後的拍頭速度為 16.29m/s；落地高壓球擊球前的拍頭速度為 40.83m/s，擊球後的拍頭速度為 25.84m/s。落地高壓球擊球前、後的拍頭速度均比原地高壓球快，但經 t 考驗後，均未達顯著差異。此結果與莊宜達(2002)的發球前、後拍頭速度為 34.98m/s、24.72m/s 做比較，落地高壓球擊球前、後的拍頭速度均比發球快；而原地高壓球擊球前的拍頭速度與發球相符，原地高壓球的擊球後拍頭速度比發球慢。

表三 原地及落地高壓球擊球前、後拍頭平均速度 t 考驗摘要表

| 項目  | 高壓球 | 平均數   | 標準差  | t 值   |
|-----|-----|-------|------|-------|
| 擊球前 | 原地  | 35.43 | 4.35 | -1.29 |
|     | 落地  | 40.83 | 5.51 |       |
| 擊球後 | 原地  | 16.29 | 3.87 | -3.09 |
|     | 落地  | 25.84 | 2.10 |       |

\*p<.05

表四為原地及落地高壓球擊球前、後拍頭平均加速度 t 考驗摘要表。原地高壓球擊球前的拍頭加速度為 24.81m/s/s，擊球後的拍頭加速度為-63.87m/s/s；落地高壓球擊球前的拍頭加速度為 226.24m/s/s，擊球後的拍頭加速度為-392.22m/s/s。原地及落地高壓球擊球前的拍頭加速度均呈加速狀態，擊球後的拍頭加速度均呈減速現象。落地高壓球擊球前、後的拍頭加速度均比原地高壓球高，經 t 考驗後，均未達顯著差異。

表四 原地及落地高壓球擊球前、後拍頭平均加速度 t 考驗摘要表

| 項目  | 高壓球 | 平均數     | 標準差    | t 值  |
|-----|-----|---------|--------|------|
| 擊球前 | 原地  | 24.81   | 238.54 | .39  |
|     | 落地  | -63.87  | 512.24 |      |
| 擊球後 | 原地  | 226.24  | 341.28 | 1.60 |
|     | 落地  | -392.22 | 584.58 |      |

\*p<.05

表五為原地及落地高壓球擊球瞬間腕、肘、肩關節平均速度 t 考驗摘要表。原地高壓球在擊球瞬間的腕、肘、肩關節速度分別為 2.40m/s、2.03m/s、2.15m/s；落地高壓球在擊球瞬間的腕、肘、肩關節速度則分別為 4.88m/s、4.62m/s、4.56m/s。落地高壓球擊球瞬間的腕、肘、肩關節速度均比原地高壓球快，但經 t 考驗後，均未達顯著差異。此結果與落地高壓球擊球後的球速高於原地高壓球相符。

表五 原地及落地高壓球擊球瞬間腕、肘、肩關節平均速度 t 考驗摘要表

| 關節 | 高壓球 | 平均數  | 標準差  | t 值   |
|----|-----|------|------|-------|
| 腕  | 原地  | 2.40 | .74  | -3.15 |
|    | 落地  | 4.88 | .87  |       |
| 肘  | 原地  | 2.03 | .63  | -2.83 |
|    | 落地  | 4.62 | 1.02 |       |
| 肩  | 原地  | 2.15 | .60  | -3.00 |
|    | 落地  | 4.56 | 1.01 |       |

\*p&lt;.05

表六為原地及落地高壓球擊球瞬間腕、肘、肩關節平均角度 t 考驗摘要表。原地高壓球在擊球瞬間的腕、肘、肩關節角度分別為 166.67 度、172.67 度、182.33 度；而落地高壓球在擊球瞬間的腕、肘、肩關節角度則分別為 153.00 度、169.33 度、198.67 度。原地高壓球擊球瞬間的腕、肘關節角度均大於落地高壓球；而落地高壓球擊球瞬間肩關節角度則大於原地高壓球。兩種高壓球擊球瞬間的腕、肘、肩關節角度經 t 考驗後，均未達顯著差異。此結果不同於蔡虔祿(1999)的發球瞬間腕、肘、肩關節角度為 201.5 度、159.75 度、172.75 度的研究結果。

表六 原地及落地高壓球擊球瞬間腕、肘、肩關節角度 t 考驗摘要表

| 關節 | 高壓球 | 平均數    | 標準差   | t 值   |
|----|-----|--------|-------|-------|
| 腕  | 原地  | 166.67 | 13.58 | 2.36  |
|    | 落地  | 153.00 | 10.58 |       |
| 肘  | 原地  | 172.67 | 5.03  | 1.89  |
|    | 落地  | 169.33 | 2.31  |       |
| 肩  | 原地  | 182.33 | 8.74  | -2.29 |
|    | 落地  | 198.67 | 6.03  |       |

\*p&lt;.05

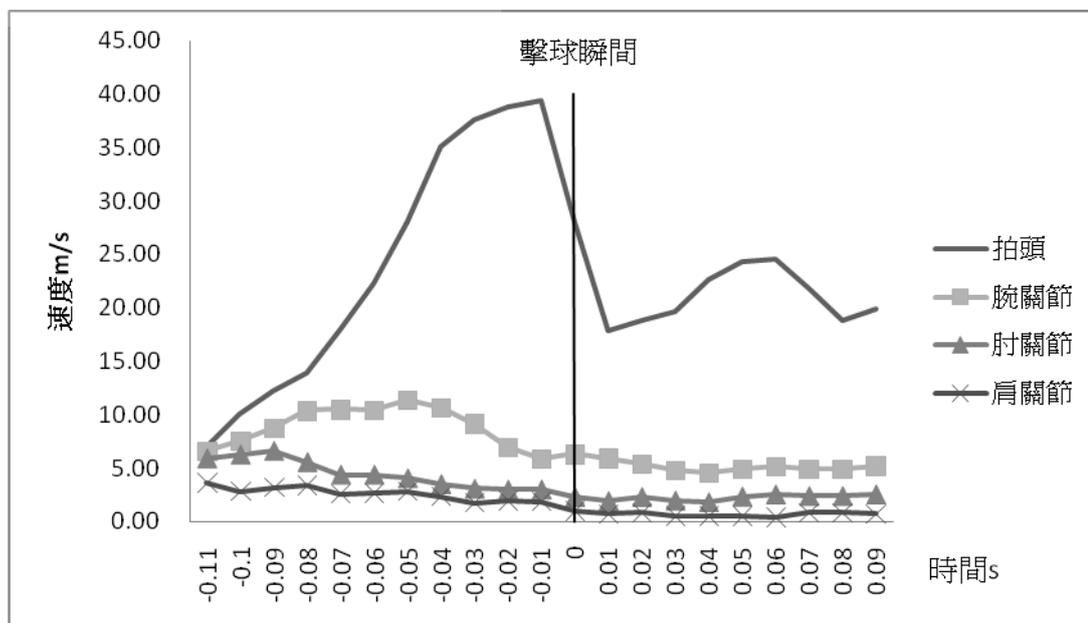
表七為原地及落地高壓球擊球瞬間腕、肘、肩關節平均角速度 t 考驗摘要表。原地高壓球在擊球瞬間的腕、肘、肩關節平均角速度分別為 700.00 度/s、400.00 度/s、233.33 度/s；而落地高壓球在擊球瞬間的腕、肘、肩關節平均角速度則分別為 933.33 度/s、316.67 度/s、516.67 度/s。原地高壓球擊球瞬間的肘關節角速度大於落地高壓球；而落地高壓球擊球瞬間腕、肩關節角速度均大於原地高壓球。兩種高壓球擊球瞬間的腕、肘、肩關節角速度經 t 考驗後，均未達顯著差異。

表七 原地及落地高壓球擊球瞬間腕、肘、肩關節平均角速度 t 考驗摘要表

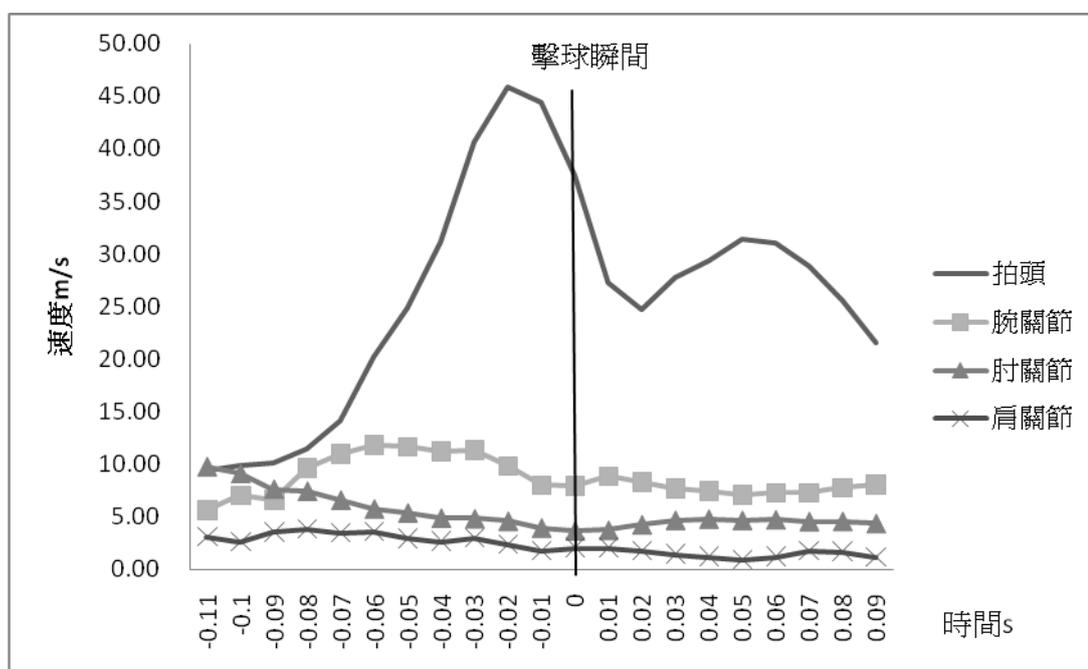
| 關節 | 高壓球 | 平均數    | 標準差    | t 值   |
|----|-----|--------|--------|-------|
| 腕  | 原地  | 700.00 | 327.87 | -.78  |
|    | 落地  | 933.33 | 503.32 |       |
| 肘  | 原地  | 400.00 | 350.00 | .38   |
|    | 落地  | 316.67 | 28.87  |       |
| 肩  | 原地  | 233.33 | 104.08 | -3.21 |
|    | 落地  | 516.67 | 76.37  |       |

\*p&lt;.05

圖三及圖四分別為 A 受試者之原地及落地高壓球各關節點速度變化圖。由圖中可發現，拍頭速度均在擊球前達到最快，之後稍減速去擊球，以調整拍面角度，增加準確性。Bruce Elliott, Tony Marsh & Brian Blanksby.(1986)指出，在發球時的擊球點前，球拍會稍微減速去擊球。此與本結果相符。綜合上述結果，進行落地高壓球時，由於擊球前球速較慢，因此球拍需要較大的動量去擊球，才能產生與原地高壓球相同或較快的球速。因此本結果落地高壓球在拍頭速度及腕、肘、肩關節速度均比原地高壓球快。



圖三 A 受試者原地高壓球各關節點速度變化圖



圖四 A 受試者落地高壓球各關節點速度變化圖

#### 肆、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落地高壓球之擊球過程，分析並比較原地及落地高壓球在運動學上之差異，獲得結論如下：

- 一、 落地高壓球在拍頭速度及腕、肘、肩關節速度均比原地高壓球快。
- 二、 原地高壓球擊球瞬間的腕、肘關節角度均大於落地高壓球；而落地高壓球擊球瞬間肩關節角度則大於原地高壓球。
- 三、 原地高壓球擊球瞬間的肘關節角速度大於落地高壓球；而落地高壓球擊球瞬間腕、肩關節角速度均大於原地高壓球。

## 引用文獻

- 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。
- 巫宏榮 (2004)。網球的第壹本書。台北市：益群書店。
- 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。
- 莊宜達、莊濱鴻、徐靜輝、洪國欽、杜俊良 (2009)。世界男子職業網球單打排名之分析。運動健康與休閒學刊，11 輯，55-64 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.

The kinematical analysis between static smash and rebounded smash  
in male elite tennis players

Chuang Yi-Ta\* Hsu Chia-Te\*\* Chang Bi-Fon \*\*\* Tseng Yin-Chu\*  
Kaoshiung Medical University\* Lee-Ming Institute of Technology\*\*  
National Taichung University\*\*\*

Abstract

The purpose of this study was to conduct kinematical analysis between the static smash and the rebounded smash in elite male tennis players. The study used 2-D Mega Speed high speed photography. And compare the difference between the static smash and rebounded smash. The conclusion was as follows:

1. The velocity of racket-head and wrist and elbow and shoulder by the rebounded smash were faster than the static smash.
2. The angle of wrist and elbow by the static smash was higher than the rebounded smash on impact. And the angle of shoulder by the rebounded smash was higher than the static smash on impact.
3. The angular velocity of elbow by the static smash was higher than the rebounded smash on impact. And the angular velocity of wrist and shoulder by the rebounded smash was higher than the static smash on impact.

Keywords : tennis 、 smash 、 kinematic