

本文章已註冊DOI數位物件識別碼

▶ 在不同情境下網球截擊之運動學分析

Kinematic Analysis of Tennis Volley under Different Conditions

doi:10.6569/NTUJPE.200909_(15).0004

臺大體育學報, 15輯, 2009

作者/Author：趙曉雯(Hsiao-Wen Chao);吳建志(Chien-Chih Wu);黃長福(Chen-Fu Huang)

頁數/Page：63-80

出版日期/Publication Date：2009/09

引用本篇文獻時，請提供DOI資訊，並透過DOI永久網址取得最正確的書目資訊。

To cite this Article, please include the DOI name in your reference data.

請使用本篇文獻DOI永久網址進行連結:

To link to this Article:

[http://dx.doi.org/10.6569/NTUJPE.200909_\(15\).0004](http://dx.doi.org/10.6569/NTUJPE.200909_(15).0004)



DOI Enhanced

DOI是數位物件識別碼 (Digital Object Identifier, DOI) 的簡稱，是這篇文章在網路上的唯一識別碼，用於永久連結及引用該篇文章。

若想得知更多DOI使用資訊，

請參考 <http://doi.airiti.com>

For more information,

Please see: <http://doi.airiti.com>

請往下捲動至下一頁，開始閱讀本篇文獻

PLEASE SCROLL DOWN FOR ARTICLE



在不同情境下網球截擊之運動學分析

趙曉雯、吳建志、黃長福
國立臺灣師範大學

摘要

研究目的：本研究探討台灣優秀男子網球選手對於不同球速以及不同送球角度截擊動作的生物力學分析。研究方法：15 位優秀男子網球選手參與本實驗，一部 Prince TE38-11 發球機在底線送出快速球 (21.3 m/s) 及慢速球 (10.9 m/s) 以及五種不同角度 (右邊 2 m、右邊 1 m、中間 0 m、左邊 1 m、左邊 2 m)。兩部 Inline (250 Hz) 同步收集 3D 的運動學資料，Kown 3D 分析軟體用來分析計算運動學參數。單因子變異數分析用來考驗在快、慢速中五種不同角度的差異。結果：一、快速球回擊的成功率在各個不同位置小於慢速球的成功率，而快速球截擊左邊 2 公尺及慢速球是右邊 2 公尺成功率最低。二、不管球速快慢當球直接送往中間時，受試者選擇正拍截擊的機率高於反拍截擊。結論：對快速或慢速球截擊而言，在五個不同位置球速沒有顯著差異、慢速球截擊比快速球有較高的成功率、當球直接送到球員身上，球員會使用較多的正拍截擊。

關鍵字：網球截擊、生物力學

主要聯絡人：趙曉雯

國立臺灣師範大學體育系
804 高雄市鼓山三路 214 巷 11 號 5 樓

電話：0913-716996

E-mail: smallturtle716@yahoo.com.tw

壹、緒論

一、問題背景

現代競技網球選手趨向年輕化且逐漸走向國際的舞台發展，繼盧彥勳與李慧芝搭配組合之下在 2002 年釜山亞運為我國拿下首面混合雙打金牌之後，接續李婷與孫甜甜在 2004 年雅典奧運會也為中國大陸拿下首面女子網球雙打的金牌，緊接著我國選手陳迪與莊佳容也在 2006 年世界大學運動會上為我國奪得了一面混合雙打金牌，同時也創造了二連冠的佳績，沒想到大陸選手晏紫與鄭潔更是創紀錄奪下四大滿貫賽之一的 2006 年澳洲網球公開賽女雙冠軍，大陸網球女雙逐漸崛起，也成為臺灣選手的借鏡，藉此激勵選手挑戰更高層次的舞台。在網球雙打比賽中，除了兩個人之間配合的默契要好之外，網前截擊技術的好壞，將直接影響到競賽勝負的關鍵，常見發球方利用發球後，雙雙順勢向網前移動，此時他們如果擁有紮實的截擊和高壓球的技巧，雙上網陣容，能夠將勝球率提昇至 65% 以上 (Woods, Hoctor, & Desmond, 1995)。

網球運動的型態，以進行的時間而言，應可歸類於短時間高強度的間歇運動 (Richer, 1995)，在競爭激烈的網球競技運動場上，所有肢體的動作都必需透過不同形式的肌肉收縮之快速轉換，以便應付球場上突如其來的變化。若想要以網前截擊技術取得勝利的選手，必須先養成熟練的基本截擊技巧，敏銳的來球預測、迅速的步伐調整及快速的應變能力，因為網前截擊的反應速度，遠遠快於在底線的擊球時間，因此網前截擊，要求快速的反應和敏捷純熟的技術動作 (林俊宏、鐘志明，2005)。因此比賽進行的節奏與時間雖快而短，但可降低運動過程中能量的消耗並相對提昇贏球機率，由此可知網前截擊在激烈網球比賽中扮演重要的角色 (江勁彥、相子元，1999)。無論單打或雙打比賽中，截擊被認定是直接而

有效的攻擊武器 (Chow, Carlton, Chae, Shim, Lim, & Kuenster, 1999a)。如今多位職業選手，以雙打比賽來提昇他們的網前截擊技巧及敏捷性，進而成為全面性的球員 (Fernandez, 2001)。

截擊動作的過程可以簡單地分為四個階段：預備期、反應期、向前揮拍期以及擊球期。向網前推進準備截擊的動作過程中，當對手揮拍準備回擊前的剎那間，正在向前移動中的雙腳，應立即運用一個原地開跳步 (split step) 為緩衝，並控制身體重心平衡，判斷來球的位後，做出精準決定並跨出擊球步伐去截擊來球 (Elliott, 1994)。然開跳步讓人感覺暫時中斷了雙腳正在衝向網前的動力，但此開跳步卻是判斷來球方向與增加防守範圍及使身體重心平衡最佳的步法與時機，在整個完整的截擊動作過程中有助於提昇球員的反應能力，一旦球員的反應時間變快，啟動移動的速度也會跟著變快，相對的球員能夠防守的範圍也會相對的提高許多 (林俊宏、鐘志明, 2005)。依據來球的方向、高度及速度等不同因素變化，決定截擊時所採取的角度、力量及距離的因應策略。

藉由以上有許多文獻所證實的資料中發現，且說明網球截擊在比賽中所扮演的角色與開跳步對截擊的重要性與關係，因此使開跳步對於提昇選手的反應時間、啟動移動速度和防守範圍等整體表現也是有確實的幫助，也就是說選手們截擊的好壞可能與之前的開跳步有關，而在不同層級的選手對於開跳步的運用可能有所差異，因而影響選手在網球截擊方面的表現能力有所不同。

在現今的網球動作中，雖然有為數不少的優秀網球選手在截擊的預備動作時做了開跳步的動作，但事實上以往並無相關研究針對開跳步對網球選手截擊表現此一議題進行探討，因此本研究希望藉由牽張反射收縮機制為基礎，進一步瞭解網球開跳步對選手的截擊表現之影響，並希望藉此研究能提供作為未來臺灣提昇網球選手在網球截擊表現上之參考。

二、研究目的

基於上述的問題背景，本研究的目的旨在探討台灣優秀男子網球選手對於不同球速以及不同送球角度截擊動作的生物力學分析。

三、名詞操作性定義

(一) 不同情境

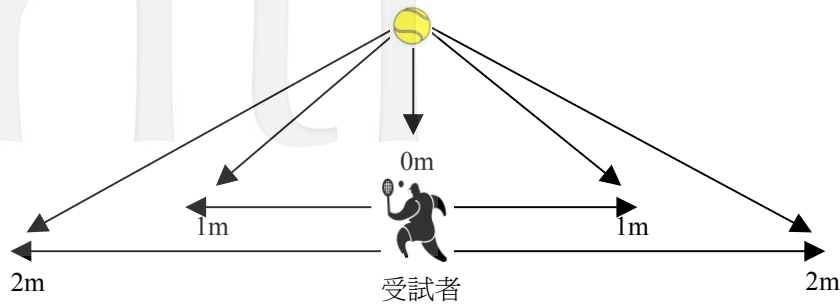
本研究所指的不同情境為在研究中操控了兩種球速（慢速及快速）及五種送球角度（右邊、右邊中間、中間、左邊中間及左邊）等，因此本研究中總共研究了十種不同的情境。

(二) 送球速度（慢速及快速）

- 1.慢速：發球機被調整到以刻度為 5 的慢速速度 10.9 m/s 射出球。
- 2.快速：發球機被調整到以刻度為 10 的最快速度 21.3 m/s 射出球。

(三) 送球角度（右邊、右邊中間、中間、左邊中間及左邊）

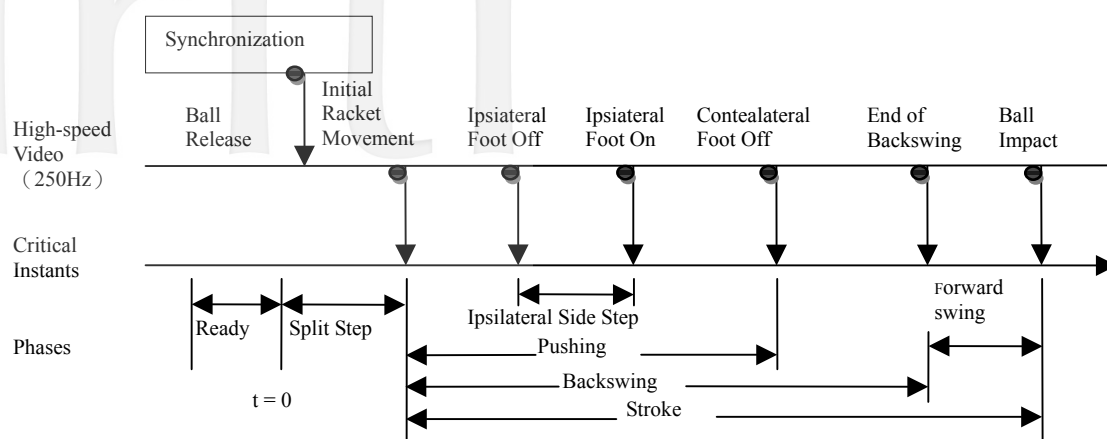
- 1.右邊（right, R）：將球送往實驗參與者必須向右移動 2 公尺距離的正拍擊球位置。
- 2.右邊中間（right-middle, Rm）：將球送往受試者必須向右移動 1 公尺距離的正拍擊球位置。
- 3.中間（middle, M）：將球直接送往受試者的正面位置，由參與者自行選擇使用正、反拍來回擊。
- 4.左邊中間（left -middle, Lm）：將球送往受試者必須向左移動 1 公尺距離的反拍擊球位置。
- 5.左邊（left, L）：將球送往受試者必須向左移動 2 公尺距離的反拍擊球位置。



圖一 送球角度圖

(四) 截擊動作時間特性

- 1.開跳步階段 (Split-step phase) —在截擊動作之前的一個小跳躍分開步伐，將它定義為腳趾離開地面直到腳趾與地面接觸的這段期間。
- 2.側向跨步階段 (Ipsilateral side step phase) —被定義為與動作方向同側腳的腳尖離地直到腳跟與地面接觸的這段期間。
- 3.後拉拍前段階段 (Pushing phase) —被定義為從球拍開始有拉拍動作直到與動作腳腳尖離開地面的這段期間。
- 4.球拍後拉拍階段 (Backswing phase) —被定義為從球拍開始有拉拍動作直到與球拍拉拍到擊球動作最後方準備轉折往前擊球的這段期間。
- 5.向前揮拍階段 (Forward swing phase) —被定義為從球拍拉拍到擊球動作最後方準備轉折往前擊球直到與球拍與球接觸的這段期間。
- 6.打擊階段 (Stroke phase) —被定義為從球拍開始有拉拍動作直到與球拍與球接觸的這段期間。
- 7.整個截擊階段 (All time phase) —被定義從在截擊動作之前的一個小跳躍分開步伐直到球拍與球接觸後和完成跟隨動作的這段期間。



圖二 從視頻圖像來辨認網球截擊階段在各瞬時的定義
(修改自Chow, J. W., et al. (1999a). Movement characteristics of the tennis volley.)

四、研究範疇

本實驗以國內甲組排名前 32 名的位男子網球選手，所得結果僅能運用於甲組選手。

五、研究限制

本研究因使用發球機做為送球工具，且以人工轉動發球機送球的方式來控制實驗中的送球方向，造成無法提供與比賽情境相似之動作前訊息線索，因此與正式比賽情境的回擊球較不一致。

貳、研究方法

一、研究對象

本研究之對象為 15 名自願參與本實驗之大專排名在前 32 強全面型的男子網球選手（年齡 21.3 ± 1.5 歲、身高 180.3 ± 5.5 公分、體重 73.1 ± 6.61 公斤），經招募後統計其中有 12 名的受試者為右手持拍，3 名為左手持拍的受試者。

二、資料蒐集與整理

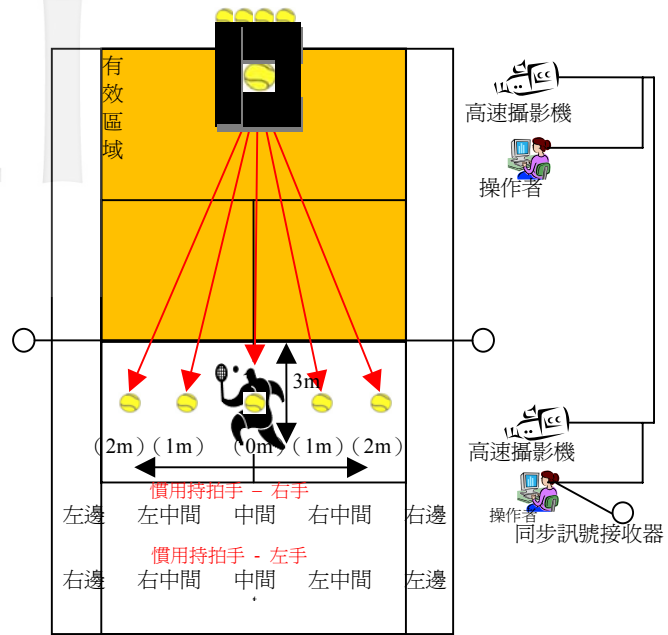
本實驗在室外的網球場地進行測驗，在受試者對面球場底線後面放置一台網球發球機（Prince TE38-11），發球機架好在離地面 59 cm 的四輪鐵板架上，研究員能經由轉動鐵板來控制球移動軌道的橫向位置，在靠近板子右後方角落的地面上安置了出球角度的標記，表示機器的側邊，本實驗中可允許側向出球位置的重複性，標記被安置在發球機器的後方，方便操控者能夠清楚看到。



圖三 發球機的架設

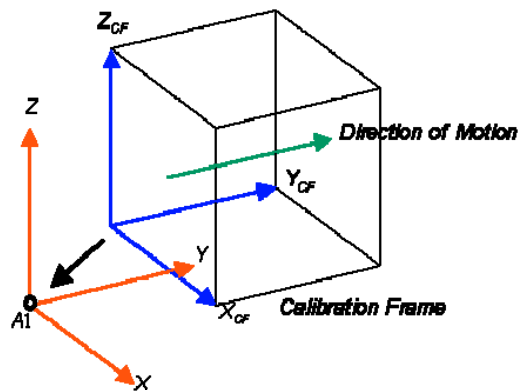
發球機被調整到以最快速的速度 21.3 m/s 及 10.9 m/s 慢速的球速將球發送出去，為防止受試者預測球的位置，研究員在發球機前放置了一塊高 170 cm、寬 60 cm 的黑色板子（如圖三）。由於發球機內壓力的累積有著明顯的噪音，所以受試者可以預測球的釋放。在測試時，受試者必須站位於以網中心後三公尺為預備位置，回擊從發球機所發出的不同出球速度和五種不同於身體側向位置的來球，並將球回擊至單打正式比賽場地有效區域內（如圖四）。在不同出球速度下，每位受試者須做五次試驗，每次試驗都 15 個截擊。在每次試驗中球從五個側向位置中隨機射出三個球。發球機以 2.26 秒間隔時間連續隨機發送三球。在每次試驗之間的時間是 1.5 分鐘，受試者在間隔時間等同於休息時間。

慣用左手的受試者的五個側向位置為左邊（從中心線離開 2 m）、左中間（1 m）、中部（0 m）、右邊中間（1 m）和右邊（從中心線離開 2 m），然而，左邊位置是在受試者的正手擊球邊，反之，慣用右手的受試者的五個側向位置則剛好相反，因此本研究不論慣用右或左手的受試者皆並不會影響到力學變數。



圖四 實驗場地佈置圖

本研究是透過二臺高速攝影機（擷取頻率為 250 Hz）Inline CAMARA 影像擷取軟體以同步信號拍攝截擊過程（圖四）得到影像資料，之後再由 Kwon3D 動作分析系統進行直間線性轉換（DLT）與各參數的運算，其中三度空間的絕對直角座標與場地的相對關係如圖五所示，網球截擊球方向定義為 Y 軸，垂直方向定義為 Z 軸，與回擊球方向垂直的方向定義為 X 軸。並且以 Butterworth 4th-order



圖五 三度空間絕對直角座標與場地座標的相對關係
（擷取自Kwon 3D網站）

Zero Lag Digital 程式（截斷頻率 6Hz），對原始資料進行修勻，最後得到所要的運動學參數資料。

本研究運動學資料數位化的過程是以兩台攝影機所拍攝之截擊動作，由 Kwon 3D 截取球拍 3 點（拍頂，左、右拍中點）及持拍手臂、肩、肘、腕和球拍握把及球共 8 點，以計算截擊時、球速和拍速及揮臂速度。在受試者身上有黏貼反光球，並在 Kwon 3D 中直接辨識光點及使用人為取點，作者親自點取每個動作的資料，背景方面在場地佈置時，已將背景障礙物全部清除並以相同深色面板整其排列在後，在資料處理的過程以一次處理一個動作為一個階段，每處理完一個階段就會進行眼睛的休息時間讓疲勞的眼力恢復後在進行下一個階段的資料處理，以利資料處理的準確性。資料的修勻是從影片轉換過來的座標數據稱為「原始數據」(Raw Data)，而原始數據中常常參雜有干擾（noise），這些干擾的來源包括攝影機的震動、數位化過程的人為判斷誤差或是轉換過程中的一些隨機誤差...等（Winter，1990），所以，利用數位平滑技術以降低誤差的方法就顯得相當重要。

本研究採用的平滑方法是 Kwon 3D 動作分析系統提供的零相位移數位濾波法（Butterworth Fourth-order Zero Lag Digital Filter）將數位化後的原始資料來進行資料的濾波與修勻，藉此減少隨機的誤差誤差值。數位濾波法中，選用的截止頻率（Cutoff Frequency）是 6 Hz；修勻的方代是以原始數據帶入公式（3）中從頭至尾過濾一次，是為二階低通濾波（Butterworth-type low-pass filter of second order），可是這將會在截止頻率處有 90 度的滯後相移（phase lag），而產生相失真（phase distortion），所以為了消除此滯後相移的情形，則再將修勻後的資料自尾至頭修勻一次，使相位前移 90 度，此即為零相位移數位濾波法（Winter, 1990）。

三、資料處理與統計分析

以 Microsoft Excel 及 SPSS for Windows 12.0 中文視窗版軟體進行資料整理

及統計分析，顯著差異的接受水準設定為 $\alpha = .05$ ，統計方法如下：

以單因子變異數分析考驗選手兩種不同來球速度（快速和慢速）分別在五種不同來球角度上（right、right-middle、middle、left-middle 及 left）的時間特性、擊球速度、擊球高度、手腕速度、關節和球拍角度等變項之差異情形。

參、結果與討論

本研究經過資料處理及統計分析後統整出 一、快慢速球截擊不同階段的時期；二、在側向位置的擊球速度；三、在側向位置的擊球高度；四、在拉拍和擊球前手腕的線性速度；五、上肢關節和球拍在擊球瞬間的角度；六、正反拍擊球成功率；七、球來自於中間時較常使用的慣用動作等幾項結果如下：

表一 快速球截擊不同階段的時期 (s)

| Phase Time (s) | | | | | | | |
|------------------|------------------------|---------------------------------|--|------------------------|-------------------------|---|------------------------|
| Lateral Location | Split-Step 開跳步階段 | Ipsilateral Side Step 側向跨步階段 | Pushing 後拉拍前段階段 | Backswing 拍後拉拍階段 | Forward Swing 向前揮拍階段 | Stroke 打擊階段 | All Time 整個截擊階段 |
| Ball Velocity | F | F | F* ($\alpha=.002$) | F | F | F* ($\alpha=.006$) | F |
| R | 0.31 (0.09) [15] | 0.15 (0.09) [14] | 0.32* ⁴ (0.08) [15] | 0.39 (0.06) [15] | 0.13 (0.07) [15] | 0.52* ¹ (0.05) [15] | 1.09 (0.20) [15] |
| Rm | 0.36 (0.08) [14] | 0.15 (0.08) [9] | 0.36* ¹ (0.12) [15] | 0.39 (0.13) [15] | 0.13 (0.02) [15] | 0.52* ² (0.14) [15] | 1.10 (0.16) [14] |
| M | 0.33 (0.10) [14] | 0.12 (0.07) [3] | 0.24* ¹²³ (0.08) [15] | 0.34 (0.06) [15] | 0.12 (0.2) [15] | 0.46* ³ (0.06) [15] | 1.03 (0.25) [15] |
| Lm | 0.32 (0.08) [15] | 0.14 (0.09) [10] | 0.38* ² (0.13) [15] | 0.40 (0.09) [15] | 0.13 (0.02) [15] | 0.53* ⁴ (0.10) [15] | 1.03 (0.16) [15] |
| L | 0.33 (0.06) [14] | 0.27 (0.19) [12] | 0.41* ³⁴ (0.13) [13] | 0.45 (0.12) [13] | 0.16 (0.36) [12] | 0.62* ¹²³⁴ (0.11) [12] | 1.15 (0.24) [13] |

F：快速度；S：慢速度

R：右邊 2 公尺；Rm：右邊 1 公尺；M：中間；Lm：左邊 1 公尺；L：左邊 2 公尺

*：表示表明有達顯著差異。

*後面的同樣數字：表示表明了二個小組之間有達顯著差異並在二個小組之間進行試後比較。

表二 慢速球截擊不同階段的時期 (s)

| Lateral Location | Phase Time (s) | | | | | | All Time 整個截擊階段 |
|------------------|--|------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|--|------------------------|
| | Split-Step 開跳步階段 | Ipsilateral Side Step 側向跨步階段 | Pushing 後拉拍前段階段 | Backswing 拍後拉拍階段 | Forward Swing 向前揮拍階段 | Stroke 打擊階段 | |
| Ball Velocity | S*($\alpha=.003$) | S | S | S | S | S* ($\alpha=.017$) | S |
| R | 0.25* ¹²³⁴ (0.14) [8] | 0.27 (0.08) [9] | 0.46 (0.19) [10] | 0.43 (0.15) [10] | 0.20 (0.05) [10] | 0.63* ¹ (0.12) [10] | 1.41 (0.66) [10] |
| Rm | 0.12* ¹ (0.07) [14] | 0.20 (0.11) [9] | 0.35 (0.12) [14] | 0.34 (0.6) [14] | 0.18 (0.11) [14] | 0.53* ¹²³ (0.12) [14] | 0.26 (0.50) [14] |
| M | 0.10* ² (0.04) [12] | 0.14 (0.03) [3] | 0.30 (0.14) [13] | 0.35 (0.16) [14] | 0.20 (0.06) [14] | 0.56* ⁴⁵ (0.14) [14] | 1.17 (0.18) [14] |
| Lm | 0.16* ³ (0.08) [11] | 0.16 (0.03) [13] | 0.39 (0.11) [14] | 0.38 (0.13) [14] | 0.27 (0.10) [14] | 0.65* ²⁴ (0.08) [14] | 1.24 (.19) [14] |
| L | 0.11* ⁴ (0.06) [11] | 0.26 (0.18) [12] | 0.40 (0.16) [13] | 0.45 (0.11) [1] | 0.21 (0.07) [13] | 0.66* ³⁵ (0.12) [13] | 1.37 (0.90) [13] |

表一及表二所顯示的是快、慢速截擊不同階段的時期，在整個網球截擊的動作期間當中，經相依樣本單因子變異數分析兩種出球速度（快與慢）在五個截擊位置的不同階段分期，結果發現在兩種送球速度下打擊階段（Stroke phase）是都有達顯著差異的，另外，快速度在拉拍前段階段（Pushing phase）和慢速度在開跳步階段（Split-step phase）時皆有達顯著差異，經使用 LSD 事後比較的結果發現在快速度送球的打擊階段反拍 2m 位置（0.62 s）的所花費的時間是顯著大於其他四個側向截擊位置（R：0.52s；Rm：0.52s；M：0.46s；Lm：0.53s， $P < .05$ ），在慢速度的時候也是反拍最遠位置在五個側向位置中所花費的時間最長，且在開跳步階段正拍最遠位置（0.25s）的時候所花費的時間顯著大於其他四個側向位置（R：0.12s；M：0.33s；Lm：0.32s；L：0.33s， $p < .05$ ）。本研究結果與 Chow（1998）

的結果相比，本研究結果當來球速度為快速度時正反拍在各階段所花費的時間都明顯的高於 Chow (1998) 的結果，但在來球速度為慢速度時正反拍在各階段所花費的時間則是明顯的低於 Chow (1998) 的結果。

表三 在側向位置的擊球速度 (m/s)

| | Right | | Right-middle | | Middle | | Left-middle | | Left | |
|---------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|-----------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|-----------------------|
| | F | S | F | S | F | S | F | S | F | S |
| Ball Velocity | 16.52 (6.04) [14] | 2.54 (0.94) [10] | 18.95 (3.98) [15] | 2.40 (1.24) [14] | 18.93 (3.32) [14] | 2.3 (0.84) [14] | 17.54 (2.81) [15] | 3.76 (4.83) [14] | 14.63 (4.78) [12] | 2.5 (1.27) [12] |

表三所顯示的是在側向位置的擊球速度，在擊球速度這部分是沒有達顯著差異，因此只能知道在快速度出球時擊球瞬間的速度介於在 14.63m/s~18.95m/s，而在慢速度出球的擊球瞬間速度則是介於在 2.3m/s~3.76m/s 之間。

本研究結果中回擊快的平均球速與王苓華 (2001) 中回擊重截擊的平均回球速度非常相似，重截擊的正拍為 15.82±5.00m/sec，反拍為 21.62±6.68m/sec，但在本研究中來球速度為慢速回時，比王苓華 (2001) 中回擊點截擊方面速度略低，點截擊的正拍為 7.27±3.56m/sec，反拍為 8.94±2.40m/sec。

表四 在側向位置的擊球高度 (cm)

| | Right | | Right-middle | | Middle | | Left-middle | | Left | |
|-------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|
| | F | S | F | S | F | S | F | S | F | S |
| Ball Height | 109.7 (42.5) [14] | 75.69 (33.16) [9] | 106.8 (32.1) [15] | 80.48 (27.66) [14] | 116.8 (39.1) [13] | 90.62 (51.7) [14] | 122.1 (18.6) [13] | 92.14 (20.92) [14] | 122.5 (34.7) [13] | 97.57 (34.47) [13] |

表四所顯示的是在側向位置的擊球高度，快速度時平均擊球高度在 115cm 則慢速度時的平均擊球高度只有 87.3cm。在擊球高度部分是和擊球速度一樣都沒有查顯著差異。本研究結果與過去劉鎮國 (2001)、林琨瀚 (2005) 及 Wrisberg, Hardy, 與 Beitel (2002) 的研究中所提出不同來球速度對於受試者的預期能力、準備時間、反應速度及判斷準確性等都會受到影響有一致性的結果，因此在本研究中來球速

度較快時，選手們也相同的採取較積極的態度來進行回擊，反之，遇到來球速度較慢時，選手有較多反應及準備的時間，導致選手們讓球掉低後才進行回擊的動作。

表五 在拉拍和擊球前手腕的線性速度 (m/s)

| | Right | | Right-middle | | Middle | | Left-middle | | Left | |
|---|---|-------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|--|--|---------------------------------------|
| | F | S | F | S | F | S | F | S | F | S |
| Backswing F*($\alpha=.000$) | 4.64 ^{*1235} (0.77) [13] | 4.94 (1.08) [15] | 3.73 ^{*1} (1.17) [15] | 3.85 (7.26) [14] | 3.22 ^{*4} (0.73) [14] | 3.51 (0.85) [14] | 4.94 ^{*2} (1.08) [15] | 5.45 (1.21) [14] | 5.45 ^{*345} (1.12) [14] | 4.76 (0.63) [13] |
| Forward swing S*($\alpha=.000$) | 4.81 (0.57) [13] | 4.59 ^{*1} (1.0) [15] | 4.29 (0.75) [15] | 3.34 ^{*1} (1.13) [14] | 4.45 (0.76) [14] | 3.9 ^{*234} (0.86) [14] | 4.58 (1.00) [15] | 5.07 ^{*245} (1.12) [14] | 5.07 (1.12) [14] | 4.22 ^{*35} (0.68) [13] |

表五所顯示在拉拍和擊球前手腕的線性速度，經統計後發現在快速度與慢速度送球時手腕的線性速度有達顯著差異的動作階段是不同的。在快速度時有達顯著差異的是在向後拉拍階段 (Backswing phase) ($p<.05$) 而在慢速度時則是在向前揮拍階段 (Forward swing) ($p<.05$)，另外，經事後比較發現在快速度反拍最遠擊球位置的向後拉拍階段 (Backswing phase) 動作手腕速最快，直接送往中間時最慢；而在慢速度反邊較近位置截擊擊球前手腕速度也是最快的，其次才是正拍最遠、反拍最遠、中間而最慢速則是出現在正拍較近位置的時候。

與先前王苓華 (2001) 的研究中結果具有一致性，兩種截擊的線動量都是以前臂的線動量最高，表示截擊動作主要動量是由前臂而來。在上肢肢段的角動量，以正拍點截擊動作的手部主要在擊球瞬間加速，為了改變球體的動量與最後的速度，在此必須延長球拍與球接觸的時間，增加揮拍力量的衝量。

截擊時軀幹及肩關節會產生較大運動範圍，如此，可產生較多動量，而在腕關節的運動較少，其主要功能為維持腕關節穩定並將球肢動能反彈回去。腕關節會有較大的運動角度，主要是吸收球之動能使大部份能量藉由腕關節來吸收並控制球之反射方向。前臂和腕關節對截擊球的控制具有重要的功能。

表六 上肢關節和球拍在擊球瞬間的角度

| Lateral Location | Shoulder angle | | Elbow angle | | Wrist angle | | Racket angle | |
|------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------|---------|--------------|-------------------------|
| | F* ($\alpha=.000$) | S* ($\alpha=.000$) | F* ($\alpha=.004$) | S* ($\alpha=.000$) | F | S | F | S* ($\alpha=.040$) |
| Right | 100.7* ¹²⁴ | 82.94* ¹² | 152.1* ¹² | 149.07* ¹ | 163.5 | 166.58 | 134.9 | 138.46* ¹² |
| | (27.2) | (22.6) | (25.8) | (10.26) | (11.1) | (7.53) | (23.3) | (10.09) |
| Right-middle | 72.1* ¹³ | 51.0* ¹³⁴ | 142.5 | 143.22* ² | 158.48 | 147.08 | 120.9 | 120.22* ¹ |
| | (31.7) | (24.08) | (20.0) | (12.35) | (13.8) | (32.01) | (17.4) | (17.77) |
| Middle | 52.3* ³⁴⁵⁶ | 55.47* ²⁵ | 132.4* ²³ | 142.2* ³ | 156.9 | 152.28 | 115.7 | 117.85* ²³ |
| | (21.2) | (18.68) | (16.7) | (19.7) | (15.4) | (15.86) | (14.8) | (23.93) |
| Left-middle | 82.9* ⁵ | 97.48* ³⁵⁶ | 145.9* ⁴ | 150.55* ⁴ | 159.9 | 158.22 | 124.0 | 129.86 |
| | (22.6) | (17.07) | (16.2) | (19.14) | (13.2) | (13.04) | (20.7) | (17.48) |
| Left | 97.4* ²⁶ | 67.57* ⁴⁶ | 160.5* ¹³⁴ | 163.15* ¹²³⁴ | 161.7 | 156.28 | 124.9 | 133.69* ³ |
| | (17.0) | (23.13) | (11.9) | (9.26) | (10.7) | (13.6) | (19.3) | (16.8) |
| | [13] | [13] | [13] | [13] | [13] | [13] | [13] | [13] |

表六所顯示的是上肢關節和球拍在擊球瞬間的角度，經結果發現在快、慢兩種出球速度時肩關節與肘關節皆有達顯著差異，另外，在慢速度時則是在球拍的角度有達顯著差異。

除了以上經統計考驗後的結果發現之外，透過紀錄員所記錄的結果可以看到當出球速度為快速度時在左邊位置回擊進球率（43%）比起在右（59%）、右中（53%）、中（63%）和左中（67%）等位置時有最少的百分比；而在出球速度為慢速度時結果與快速度不同，成功率最高的位置是中間（95%），其次是右中（93%）、左中（81%）、右（74%），最低的則是在右邊（74%）位置的時候。目前研究懷疑快速度的這些結果（左邊位置的截擊成功率較低）可能由於選手以反拍回擊需較長的距離；慢速度的結果（右邊位置的截擊失誤率較高）與快速度有相同類似的結果產生，由於擊球位置距離選手較遠而導致選手產生失誤的機率就相對提高。

另外，當球送出中間位置（直接往選手），在快速度時受試者選擇使用正拍截擊（55%）的比例高於反拍截擊（45%）；慢速度時受試者也是選擇使用正拍截擊（55%）的比例高於反拍截擊（45%），由此數據發現不論在來球速度快或慢時選

手們都是比較偏愛於使用正拍來回擊的機率偏高，因此，這結果可能可以建議選手在類似的情境下掌握正拍。

肆、結論

- 一、對快速或慢速球截擊而言，在五個不同位置球速沒有顯著差異。
- 二、慢速球截擊比快速球有較高的成功率，慢速球成功率最高為中間位置，快速球成功率最高為左中位置。
- 三、當球直接送到球員身上球員會使用較多的正拍截擊。

參考文獻

- 王荅華（2001）。網球截擊之三維運動與動量分析（碩士論文，國立台灣體育學院，2001）。*全國碩博士論文網*，090NTCPE567027。
- 林俊宏、鍾志明（2005）。網球截擊技術與戰略應用分析。*體育學報*，77，32-27。
- 林琨瀚（2005）。不同水準棒球選手打擊反應時間與手眼協調反應之研究。未出版碩士論文，中國文化大學，臺北市。
- 江勁彥、相子元（1999）。國內優秀男子網球選手專項技術測驗之研究。中華民國大專院校八十八年度體育學術研討會專刊（頁337-340）。
- 劉鎮國（2001）。應用虛擬實境探討我國大專足球運動員反應時間。*大專體育學刊*，3（2），35-46。
- Chow, J. W., Carlton, L. G., Chae, W. S., Shim, J. H., Lim, Y. T., & Kuenster, A. F. (1999a). *Movement characteristics of the tennis volley. Medicine & Science in Sports & Exercise*, 31(6), 855-863.
- Chow, J. W., Carton, L.G., Lim, Y. T., Shim, J. H., Chae, W. S., & Kuenster, A. F.

- (1999). Muscle activation during the tennis volley. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 31(6), 846-854.
- Chow, J. W., Carlton, L. G., Chae, W. S., Shim, J. H., Lim, Y. T., & Kuenster, A. F. (1999). Movement characteristics of the tennis volley. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 31(6), 855-863.
- Elliott, B., Overheu, P., & Marsh, A. (1988). The service line and net volley in tennis: A cinematographic analysis. *Australian Journal of Science and Medicine in Sport*, 20, 10-18.
- Fernandez, M. J. (2001). *Doubles Impact. Tennis*, Dec 2002/Jan 2001, p. 42-44.
- Richer, T. A. (1995). Time motion analysis of the energy systems in elite and competitive singles tennis. *Journal of Human Movement Studies*, 28, 73-86.
- Wood, R., Hocror, M., & Desmond, R. (1995). *Coaching tennis successfully* (pp. 125-135). Champaign, IL: Human Kinetic.
- Wrisberg, C. A., Hardy, C. J., & Beitel, P. A. (2002). Stimulus velocity and movement distance as determiners of movement velocity and coincident accuracy. *Human Factor*, 24, 599-608.

Kinematic Analysis of Tennis Volley Under Different Conditions

Hsiao-Wen Chao, Chien-Chih Wu, Chen-Fu Huang
National Taiwan Normal University

Abstract

Purpose: The purpose of this study was to examine selected kinematic variables of the elite Taiwanese male tennis players when they performed the volley under different ball velocities and release angles. **Methods:** Fifteen elite male players (age 21.3 ± 1.5 yr, height 180.3 ± 5.5 cm, mass 73.1 ± 6.61 kg) participated in the study. One Prince TE38-11 ball machine was positioned at baseline and projected the fast (21.3 m/s) and slow (10.9 m/s) ball from five different angles (2 m Right, 1 m Right, 0 m Center, 1 m Left, 2 m Left) into the court. Two Inline high-speed cameras (250 Hz) were genlocked to collect 3D kinematic data. Kwon 3D software was used to analyze the data. One way ANOVA was used to test the differences between fast and slow ball velocity on five positions. **Results:** The fast ball volley has a lower successful rate than the slow ball volley. For the fast ball volley, the 2 m Left position has the lowest successful return rate, and for the slow ball volley, the 2 m Right position has the lowest successful return rate. When the fast or slow ball was project into the subject (0 m), the subjects use more forehand volley than the backhand volley. The fast ball volley has a higher return ball velocity than the slow ball volley. **Conclusion:** No difference was found on return ball velocities for five positions (both fast and slow ball). The slow ball volley has a greater successful rate than the fast ball volley. The player chose more forehand volley than backhand

臺大體育學報第十五輯

volley when the ball was projected into the body.

Key words: tennis volley, biomechanics