球拍勁度與網線張力對網球拍恢復係數之影響

石翔至[1]　蘇榮立[2]　李秀華[3]

[1]南亞技術學院　[2]中原大學　[3]國立體育學院

摘要

本研究目的在探討不同勁度網球拍與不同網線張力對碰撞後恢復係數的影響。實驗是將將穿好線的不同勁度的網球拍，固定於鉗鋏中，由勁度低的開始依序進行測試，發球機之球速以每秒20m/s 射出，調整網球發球機所射出之球與網球拍做正面垂直碰撞，透過 Nac高速攝影機（每秒1000張）將整個實驗過程拍攝，影帶經過 Peak Performance 軟體系統進行數位化處理，將資料分析後，採獨立樣本二因子變異數分析及杜凱式法進行分析。獲得之結論為：

1. 勁度較高的網球拍，可獲得較高的恢復係數。
2. 穿上50磅的網線比其他網線張力有較高之恢復係數。

關鍵字：網球、球拍勁度、網線張力、恢復係數

主要聯絡者：石翔至，320 桃園縣中壢市中山東路三段 414 號　南亞技術學院體運組

聯絡電話：0939-189191　E-mail: stone123@nanya.edu.tw

Racket Stiffness and Various String Tension Affects the Coefficient of Restitution in Tennis Racket

Hsiang-Chih Shih[1] Jeon-Li Su[2] Hsiu-Hua Li[3]

Nanya Institute of Technology [1]

Chung Yung Christian University[2]

National College of Physical Education and Sport[3]

Abstract

The purpose of this study was to investigate the effects of racket stiffness and string tension on the coefficient of restitution (COR) in tennis rackets. In the experimental test, the tennis racket was fixed in a C-clamp and the tennis ball was controlled by the ball shooting machine to hit the racket with a vertical impact at certain speed (approximated as 20 m/sec). NAC high speed camera (1000 frame/sec) was used to record the impact phenomenon. The video tape was digitized using Perk Performance System to get COR, and the data were then analyzed with two-way ANOVA .The result of this study are as follows:

1. The higher stiffness of racket will acquire higher COR value.
2. The COR value of 50lb string tension racket is significantly higher than those of other string tension rackets.

Key word: tennis, racket stiffness, string tension, COR

壹、緒論

一、研究背景

網球拍是從事網球運動的主要器材，隨著網球運動的發展，網球器材也不斷的在進步，而網球拍的革新，也提昇了網球技術。(如球速的增加、抽球威力的增強等)。在網球的整個擊球過程中，球拍與球的互動關係是唇齒相依不可分的。Wilson 公司(1994)提出網球拍擊球時，球停留在拍面的時間只有千分之四到六秒。當網球拍擊球時，球拍會彎曲，而球拍尚未回到原來的位置之前，球就已離開拍面。所以愈容易彎曲的球拍就會浪費愈多的能量，回擊的球也會偏得愈厲害。陳錫雄(1993)指出因其球拍勁度夠，可以使球與球線接觸的時間減低至千分之四秒以下，而使球的撞擊及球拍的撞擊頻率幾乎一致，因而不會有震動的產生。根據 Brody (1979)的研究顯示，勁度高的網球拍比易彎的網球拍產生的球速較高。Elliott (1982)發現拍骨的大小、形狀及質料會影響擊球後之球速和球的旋轉。Groppel (1987)等人指出，採用不同張力、織型以及材質的拍線，其對擊球與拍骨有重大的影響。梁禮宏(1993)指出一支網球拍要有合適的網線及穿線磅數，才能使球員在打球時得到最大的助益。而網線鬆掉會影響網球拍的性能以及在場上的表現，使得控球能力減弱。

網球拍與網線是網球用品中的主要配備，隨著網球技術不斷的發展，亦推動了網線的不斷革新與改良。Groppel (1986)指出在過去幾年來，對網球拍的功能的研究是日趨增多，隨著各類材料激增(如石墨、硼、陶磁等)和不同尺寸的拍框(如 1970 年中葉的特大號網球拍)。根據 Groppel (1984)所述，許多業者已經開始關心和控球有關的網絃張力的概念。網線是整支網球拍能量之源，實際和球接觸的不是拍框而是網線。一支網球拍一定要有合適的網線，以及穿線的磅數才能使球員在擊球時，得到最大的助益。

梁禮宏（1993）指出，網球拍維修第一件工作就是更換網線，因大多數的網球打者，都是網線斷掉才換線。關於增加拍線張力之影響，Baker and Wilson (1978)以網線張力和網球拍勁度兩者之間的研究結果顯示，在網線張力 50 磅時，中勁度和低勁度的網球拍受碰撞後球速較高，而勁度較高的網球拍並沒有受不同網線張力有顯著影響。Elliott (1982)研究報告中指出網線張力從 55 磅增加到 65 磅及 75 磅時，勁度較硬的網球拍，在受碰撞後球的恢復係數並沒有顯著減少。而中勁度和低勁度的網球拍，網線張力 55 磅會比 65 磅或 75 磅，在受碰撞後產生較高的恢復係數。石世濱(1995)研究網球拍拍面之力學分析，結果顯示在硬式網球拍中，大拍面與棉線在張力 40 磅時恢復係數較高，以及在不同網線與不同的拍面之組合，在張力 40 磅，恢復係數亦顯著高於其它張力。Groppel 等人(1987)研究發現：網線張力改變，對球拍的表現沒有線性的影響。不同的網線張力會改變網球拍彈性的特性，此現象會產生網線與球接觸時間的改變，這些結果因網線材質的不同和

網球拍拍面大小而有不同的表現。洪明輝(1994)指出，選擇一條能適合網球拍型式的球線並給予適當的張力，能使球員的球技與球拍的功能發揮到極致。由上述文獻得知，網球拍與網線的組合，是網球器材中的最佳搭檔，故本文便針對球拍勁度與網線張力之間的關係來作研究。

基於以上的觀點，本研究希望透過這方面的探討，分析不同網球拍的勁度對恢復係數(COR)的影響，依據實驗所得之結果，能提供這方面的訊息給網球選手、教練及網球愛好者做為參考，以增加運動表現的自信心，並提昇運動表現之成績。

二、研究目的

探討不同勁度網球拍及不同網線張力對碰撞後恢復係數的影響。

三、名詞解釋

(一) 擊球面積：指網球拍面內弦線所覆的總面積，以平方英吋來表示。

(二) 彈性恢復係數(Coefficient of Restitution or COR)：球反彈與球入射的垂直速度之比值。

(三) 勁度(Stiffness)：指球拍框架受外力作用時彎曲難易程度。

貳、研究方法與步驟

一、實驗器材

本實驗以 SPALDING 牌及 HEAD 牌的中大拍面為主，而每支網球拍皆未經使用之球拍，經 BABOLAT 牌網球拍測試機結果如表一所示：

表一　網球拍的基本資料

測試項目 球拍廠牌	球拍勁度	球拍重量 (公克)	球拍長度 (公分)	球拍寬度 (公分)
SPALDING	50	318	69	26
HEAD　1	55	313	69	26
HEAD　2	60	328	69	26
HEAD　3	70	328	69	26

二、實驗儀器

1. Nac 高速攝影機一台。(每秒 1000 張)。
2. Babolat 廠牌網球拍測試機一台。
3. Babolat 廠牌網球拍穿線機一台。
4. Eagle 廠牌網球發球機一台。(每秒 20m/s)。
5. Peak Performance 軟體一套。

三、實驗步驟

1. 首先將場地佈置完成（如圖 1），以隨機方式將網球拍穿上不同磅數的尼龍線，之後用紅筆在拍面上畫碰撞區域。
2. 將 NAC（每秒 1000 張）高速攝影機，架設在網球拍碰撞區域的左側，其距離為 4.8 公尺，而攝影機鏡頭距地面高度為 77 公分。發球機高度為 50 公分，其位置是垂直於球拍拍面的碰撞區域，而發球機距球拍拍面碰撞區域的距離為 3.2 公尺。
3. 將穿好線的不同勁度的網球拍，固定於鉗鋏中，由勁度低的開始依序進行測試。
4. 發球機之球速以每秒 20m/s 射出，分別對每一支網球拍，每種勁度的網球拍各撞擊五次。
5. 發球機之球速是以石世濱(1995)網球拍面拍面之力學分析中，所做發球機球速指標的測試得知，各球速指標的碰前速度與恢復係數的相關，經皮爾遜積差相關的考驗，結果未達顯著水準。為將球速的影響降至最低，因此本實驗之球速是依據石世濱所設定球速為主。

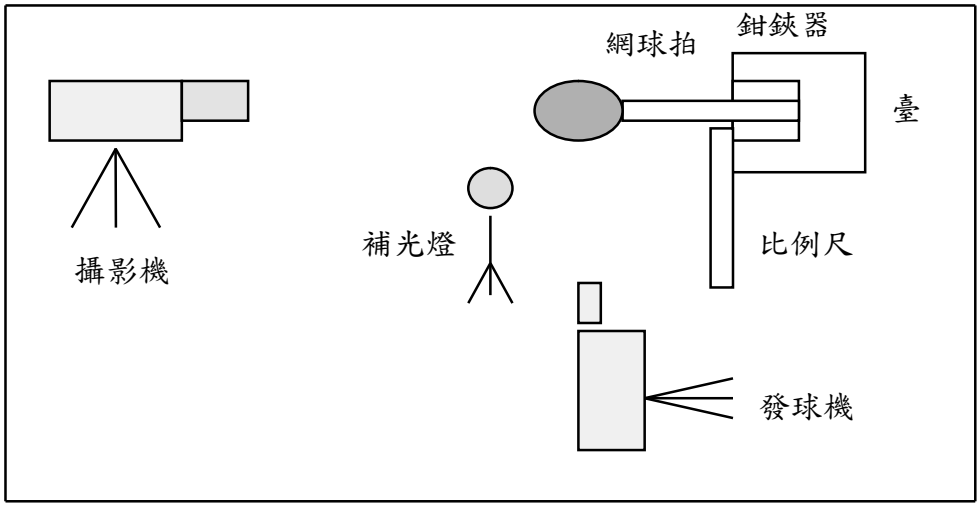

圖 1　網球拍恢復係數場地圖

四、資料處理與分析

本研究收集資料後以 SPSS for Windows 10.0 版統計套裝軟體處理。所有數值以平均數及標準差表示，統計數值的考驗均以 α=.05 為顯著水準。各參數資料處理方法如下：

(一) 本研究將所得的影帶資料，透過 Peak Performance 的系統對影帶進行數位化處理，取得每次碰後球速與碰前球速之比值後，而求出該次的恢復係數。

(二) 採獨立樣本二因子變異數分析，考驗不同勁度的網球拍對於碰撞後與碰撞前球速比率是否有顯著差異，若有顯著差異則以杜凱式法進行事後比較。

叁、結果與討論

實驗目的是要探討不同勁度網球拍穿上不同網線張力，在碰撞瞬間過程，對恢復係數（COR）的影響，以了解不同勁度網球拍的特性。從結果顯示，這四種網線張力在不同勁度的網球拍組合之下，在不同網線張力中隨著勁度的增加，而獲得的恢復係數也不同（如表二）。

表二　不同勁度網球拍穿上不同磅數之恢復係數

		網	線	張	力
		40	50	60	70
球	50	0.482	0.508	0.498	0.494
拍	55	0.502	0.538	0.52	0.522
勁	60	0.512	0.558	0.54	0.536
度	70	0.536	0.574	0.564	0.56

網球勁度隨著網線張力的增加，在這四種組合的情形之下，是否能顯示誰的恢復係數是較佳的？從表三變異數分析摘要表得知：勁度與磅數之間的交互作用則未達顯著差異水準（ F＝.28，P＞.05）。但在勁度因子（F＝58.35，P＜.05）以及磅數因子（F＝17.14，P＜0.05）皆達顯著顯著差異水準。經統計分析，將不同勁度網球拍與不同網線張力之恢復係數值列於圖 2，從圖中得知恢復系數之展現網球拍勁度在 50 磅的網線張力，均高於其他三組網線張力，而 60 磅的網線張力亦高於 70 磅及 40 磅的網線張力。

表三　不同勁度網球拍穿上不同磅數之變異數分析摘要表

變異來源	離均差平方和 (SS)	自由度 (df)	均方 (MS)	F
勁度	.04	3	.01	58.35*
磅數	.01	3	.00	17.14*
勁度＊磅數	.00	9	.00	.28
誤差	.02	64	.00	
總和	.07	79		

由於網球拍的造型結構、材質的改良以及網線的鬆緊等因素，都有可能影響到網球拍的擊球特性。從結果中發現在相同的網線張力與不同勁度網球拍組合之下，因為勁度高的網球拍受碰撞時在拍框位移較小的作用下，使得碰撞後有較好的恢復係數，此結果與網球報導中（1990）有相似之處；因為勁度的增加使來球衝擊時，網球拍不致於撓屈

而損失大量的能量，即能瞬間以高速反彈回去。這與李誠（1990）指出擊球時，拍框彎得愈多，則能量愈會被吸收，使得你的力量消失；如果擊球時，拍框完全不會彎曲，那麼你用多少力量就會回擊多少力量於球上。這與勁度高的網球拍較不會消耗能量，能回擊更強的球之理論是相同的。根據 Brody（1979）認為勁度較高的網球拍在拍框變形之際，球的能量損失較小，故自硬柄拍反彈回來的速度便會較高。拍柄若是易彎，彎曲的拍柄便會耗去許多能量，而這些能量也將不再傳回球上，從這項研究亦發現勁度高的網球拍比勁度低的網球拍產生較高的球速。

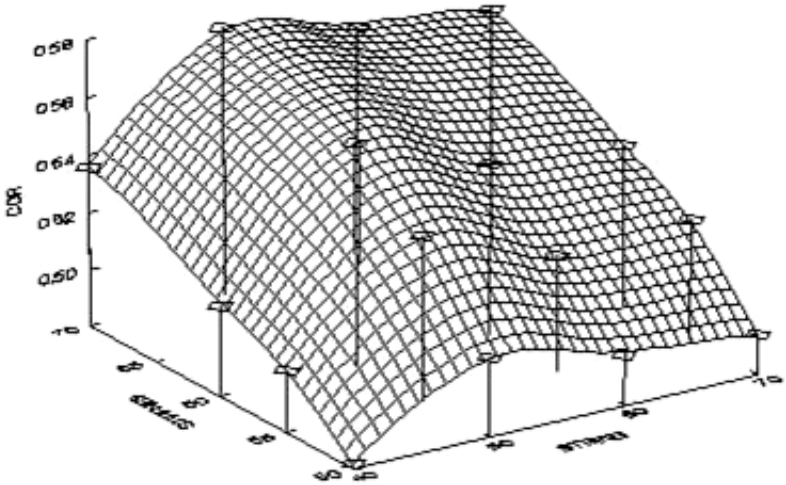

圖2　不同勁度網球拍穿上不同磅數之COR圖

依據Baker and Wilson（1978）以球拍勁度及拍線張力對擊球後球速之影響的研究，也發現網球拍勁度和網線張力之間有顯著交互作用。在中勁度及低勁度的網球拍，網線張力在50磅時受碰撞後反彈球速較高。而勁度高的網球拍受不同張力的影響並不明顯。因為球拍拍框位移較小者比球拍位移較大者，具有較高的反彈球速。此外，網線張力超過50磅時，球與球拍碰撞後的反彈球速的差異並不顯著，要獲得球與球拍碰撞後的最大球速，穿50磅的網線張力較適合，此結果與本研究中的現象是相同的。而 Elliott（1982）的研究顯示，網球拍勁度明顯影響著反擊球速，在勁度高的網球拍，網線張力從55磅增加至65磅以及75磅時，球的彈性係數並沒有顯著減少。而中勁度及低勁度的網球拍，在網線張力55磅會比65磅以及75磅，會產生較高恢復係數，此現象和本研究的結果是類似的。

由上述的討論，顯示勁度愈高的網球拍能回饋較多的能量給球，當球拍擊到球時，球拍會彎曲，而球拍尚未回到原來位置前，球就已離開拍面了。因此愈容易彎曲的球拍就會浪費愈多的能量，回擊的球也會偏的愈厲害。所以勁度高的網球拍會比易彎的網球拍產生較高的球速。

肆、結論與建議

一、結論

本研究在探討網球拍勁度與網線張力組合之下，對恢復係數的影響，經由討論後可得到以下之結論：

(一) 勁度較高的網球拍，可獲得較高的恢復係數，因勁度愈高的球拍彎曲性較少，而在損失力量的較少的狀況之下，能在受碰撞後能較高的恢復係數。

(二) 在網球拍勁度中，受不同網線張力的影響之下，穿上50磅的拍線有較高之恢復係數。

二、建議

往後的研究可針對球拍的平衡、重量以及球線的材質與粗細，對恢復係數的影響，作進一步的探討。

伍、參考文獻

1. 石世濱(1995)。網球拍拍面之力學分析。國立體育學院碩士論文。
2. 李　誠(1990) 。如何讓你的球拍助你一臂之力。網球報導雜誌，39-41。
3. 洪明輝(1994) 。換球線的時機。網球報導雜誌，一月號，19-20。
4. 梁禮宏（1993）。如何選擇一隻適用的新網拍。網球報導雜誌，五月號，51-55。
5. 陳錫雄（1989）。邁入厚拍時代。網球報導雜誌，44，7-9。
6. 麥吉誠（1992）。網球演進史。網球報導雜誌，二月號，59-61。
7. 麥吉誠（1993）。網球拍穿以不同張力拍線受撞擊時之振動響應。網球報導雜誌，九月號，44-48。
8. 黃立張（1989）：球拍與線的互動關係。網球報導雜誌，53期，19-20。
   Wilson公司（1994）：如何購買網球拍指南。
9. Baker, John A. W., & Wilson, B. D. (1978). The effect of tennis racket stiffness and string tension on ball velocity after impact. Research Quarterly, 49(3), 255-259
10. Baker, J., & Putnam, C. A. (1979). Tennis racket and ball responses during impact under clamped and freestanding conditions. Research Quarterly, 50(2), 164-170.

11. Brody, H. (1979). Physics of the tennis racket. American Journal of physics, 47(6), 482-487.
12. Elliott, B., Blanksby, B.,& Ellis, R.(1980). Vibrations and rebound velocity character-istics of conventional and oversized tennis rackets. Research Quarterly for Exercise and Sport, 51(4), 608-615.
13. Elliott, B.(1982). The influence of tennis racket flexibility and string tension on rebound velocity following a dynamic impact. Research Quarterly for Exercise and Sport, 53(4), 277-281.
14. Groppel, J. L. (1984). Tennis for advanced players: And those who would like to be. Champaign, IL: Human Kinetics.
15. Groppel, J. L. (1986) The Biomechanics of tennis: an overview. International Journal of Sport Biomechanics, 2, 141-155.
16. Groppel, J. L., Shin, I. S., Thomas, J. A. & Welk, G. J. (1987). The effects of string type and tension on impact in midsized and oversize tennis racket. International Journal of Sport Biomechanics, 3, 40-46.
17. Hatze, H.(1993) The relationship between the coefficient of restitution and energy losses in tennis rackets. Journal of Applied Biomechanics, 9, 124-142.
18. Missavage, R., Baker, J.,& Putnam, C. (1984).Theoretical modeling of grip firmness during ball-racket impact. Research Quarterly for Exercise and Sport, 55(3), 254-260.
19. Widing, M.,& Moeinzadeh, M. (1990). Finite element modeling of a tennis racket with variable string patterns and tenstion. International Journal of Sport Biomechanics 6, 78-91.