

不同勁度及網線張力對軟式網球拍控球之影響

石翔至
通識中心

摘要

本研究之目的在探討不同勁度軟式網球拍與不同網線張力的組合對恢復係數以及選手控球的影響。本實驗共有二部份，實驗一是將網球拍握把固定於虎頭鉗鉗上，利用網球發球機以每秒 20 公尺的速度射出與網球拍的甜區做過正面垂直碰撞，並透過 KODAK Motion Corder Analyzer 攝影機(每秒 10000 張)之拍攝速度將整個碰撞過程拍攝下來，進行數位化分析，以取得碰撞的恢復係數。實驗二是以三名為受試選手，四種網線張力(20、25、30、35 磅)採用隨機方式與四種勁度(25、30、35、40)網球拍搭配組合，在網球發球區域劃上三個(左、中、右)的進球區域，來測試選手使用不同勁度網球拍與不同網線張力的組合，對控球的影響。資料處理分別以獨立樣本二因子變異數分析，不同勁度網球拍與不同的網線張力對恢復係數的影響及不同勁度網球拍與不同網線張力的組合對選手控球的影響。經統計之結果，獲得結論如下：

- 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少無損失力量狀況，在受碰撞後能有較高的恢復係數。
- 二、在網球拍勁度中，受不同網線張力的影響之下，穿上 50 磅的拍現有較高之恢復係數。
- 三、控球方面，選手在勁度 35 和 40 網球拍的進球百分比，優於勁度 25 和 30 網球百分比。而網線張力在 30 磅和 35 磅進球百分比，高於網線張力 20 磅和 25 磅的進球百分比。
- 四、球拍勁度和網線張力的關係，勁度高和磅數高的網球拍在控球上及球速上，會比勁度低和磅數低的網球拍，有助於控球的表現。

壹、緒論**一、研究動機**

網式網球起源於日本，是從硬式網球衍生而來。明治維新時期，一些西方的傳教士、商人將草地網球帶進日本，開始有了網球活動，由於當時日本還未具備製造網球及網球拍的條件，進口的球和球拍較為昂貴，為了省錢，用玩具的橡膠球代替網球進行活動，軟式網球就這樣誕生。(賴永察，民86)。誠如諺云：「工欲善其事，必先利其器」。在許多使用運動輔助器材之運動項目中，運動器材之設計為運動表現優劣之一大關鍵，尤其網球項目，不僅是選手之間技術、體能的比賽，更是運動器材設計者間的競賽。

軟式網球運動主要是透過網球拍，將人的力量適切地傳導到網球上，因此，網球拍的選擇在所有裝備中扮演重要的角色。球拍的材料從1960年代，由傳統木製一體成型的網球拍，演至1970年代的金屬球拍，再發展至今的碳纖維、玻璃纖維、高張力碳纖維等複合材料球拍，以符合現代高速度競爭之需求。從網球拍的構造及材質的演變可以瞭解，

網球拍的功能性及安全性隨著時代在求新求變，希望能使球拍變的更輕巧、更硬、更有反彈力。

Baker and Wilson (1978) 認為網球拍有三種性質會影響擊球的結果，這三種性質分別為網線材質的種類、網線的張力及網球拍框的彈性。Brody(1979)的研究結果顯示，勁度高的網球拍比易彎的網球拍產生較高的球速。Groppe et al. (1987) 研究認為高超網球技術需要最佳擊球速度和控球能力。網線材質的種類、網線的張力、及網球拍框的彈性，這三種因素會影響控球能力，而控球能力優劣又影響比賽成績。所以從網線材質、張力及球拍勁度去探討其對軟式網球拍彈性恢復係數和控球及球速之影響，是有其必要性及重要性。且以往之國內外研究偏重於硬式網球，對於軟網之研究一直未受到重視。如今我國男子及女子軟式網球代表隊，參加1999年國立體育學院舉辦第11屆世界軟式網球錦標賽，分別獲得男子團體金牌及女子團體金牌，成績輝煌戰果豐碩，日後軟網勢必成為國內發展重點項目。

基於以上的觀點，本研究希望透過這方面的探討，分析不同軟式網球拍的勁度對恢復係數(COR)、控球及球速的影響，依據實驗所得之結果，能提供這方面的訊息給優秀軟式網球選手、教練及軟式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

- (一) 探討不同勁度軟式網球拍及不同網線張力對碰撞後恢復係數的影響。
- (二) 探討不同勁度軟式網球拍及不同網線張力的組合對選手的控球的影響。

三、研究範圍

- (一) 本研究以 YONEX 牌軟式網球拍，其它廠牌球拍不在本研究範圍。
- (二) 本研究以德化牌式網球，其它廠牌不在本研究範圍。
- (三) 本研究以網球拍勁度和網線張力做為探討參數，其它參數不予探討。

四、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。
- (四) 控球：指球拍在各種球路及角度，落點控制的準確性。

貳、文獻探討

本研究將網球拍的相關文獻分四個部分加以探討：包括網球拍的發展、網球拍基本

結構、網線的發展以及網線張力與球拍勁度之相關文獻探討。

一、網球拍的發展

麥吉誠(民82)指出，早期網球拍是從藤製球拍發展到木製球拍，而木製球拍經歷了一段時期，之後發展出金屬球拍，金屬球拍易從剛直球拍演變為鋁合金材料的球拍。到了1980年代以後的球拍，大都是以石墨或玻璃纖維及陶瓷等原料混合鑄造而成的。陳新枝(民74)軟式網球拍拍面為76至85平方英吋，重量為220-240克(輕型)及245-260克(中型)261-275克(重型)等三種規格。賴永寮(民86)軟式網球拍的演進，由木製小拍面演變到木製大拍面，到最近碳纖維及硼纖維材質所製成軟式網球拍。Wilson公司(1994)在如何選擇網球拍手冊中指出，在1960年，木製網球拍幾乎佔了所有網球拍的市場。到了1970年代，金屬的球拍取代了木製球拍。今日，是複合材料的天下，如碳纖維及玻璃纖維及硼纖維等單獨使用或混合使用。因為這些材料比木或鋁更輕、更硬、更耐用、更能吸收震動。

二、網球拍的基本結構

梁禮宏(民82)指出，拍框是網球拍最基本的架構，也是網球拍功能的基礎。拍框的設計如它的形狀、重量及平衡，會影響網球拍的擊球特性。大拍面的網球拍拍框達37公厘厚度，比拍框較薄的傳統球拍，擊球更有力道。陳錫雄(民82)認為，後拍的理論根據在於因拍框變得後而窄，使揮拍時拍框變成可切風的機翼型，不但可加速揮拍的速度，而且柄部的支撐力加強，使球拍不會往後撓屈，即所謂的Flex 減小，也相對的減少能量的損失。Brody(1987):在Tennis Scienc for Tennis Players一書中指出，球拍中有三個甜點，每一個可分別判斷球拍不同的特性。當你將球擊在被定義成甜點的位置時，你會經驗到下列三件事：

甜點 I：傳到手上的最初衝擊力最小

甜點 II：手掌與手臂感覺到不舒服震動最小。

甜點 III：從網線反彈回去最大的速度或力量。

在工程和科學的語言上，這三個點有其特殊專有名詞。

甜點 I：是衝擊中心 (center of percussion or COP)。

甜點 II：第一振動模式節點 (the node of the first mode shape or the Node)。

甜點 III：最大的恢復係數(the maximum coefficient of restitution or COR)。

Brody(1987)、楊忠祥(民80)認為球拍的平衡點(質心)如果落在幾何元心上(geometric center)，便稱為平衡的(balanced)。要是平衡點落在形心偏向拍面那一側，這隻球拍便稱作重拍面(heavy head)，要是平衡點落在形心偏向握把那一側，這隻球拍便稱作輕拍面(light head) 要是平衡點落在形心偏向拍面那一側，這隻球拍便稱作重拍面(heavy head)。

三、網線的發展

相子元(民86)指出，網線主要的功能就是將球之動能以網線未能儲存，再將本身動能及此彈性未能以振動方式傳送給球，若是球停留在網線上之時間與網線振動半個週期相同，則可達完整之能量轉換，若球達到最高反彈速度，若是球停留在網線上之時間少於網線振動半個週期，則網線尚未反彈，球已離開網線，網線之彈性能就無法傳遞給球，造成能量的浪費，就如同網球碰撞牆壁依樣，將僅約50%之能量使球反彈。

M.P.Nosov(1990)研究指出，網線的重要表徵是網線的壽命，而其壽命的決定要素是由：延展下的斷線負荷、破壞應力、孔圈和打結的強度、重複彎曲和延展的抵抗及磨擦抵抗等。更高的彈性和更多迅速應力減弱發生時，則代表著網線具有更多的疲勞性質的存在；而疲勞的現象，可由外表破裂的情形得知。Wilson公司(1994)表示，較細的球線(直徑1.3mm以下)有較佳的球感與擊球性能；而較粗的球線(直徑1.4mm以上)耐用度較佳。網球報導(民85)指出，網線大致可以分為天然羊腸線和人造纖維線(尼龍線)，比較廣泛使用的是價格較便宜人造纖維線，其中又依內部結構的不同在分為單纖維線和多纖維線。強調細規格網線反彈力大所以擊出的球強有力，粗規格不易斷線因此經久耐用。林寶城(民85)研究不同網球拍拍線結面對擊球時所產生支動力響應，結果發現：不同結面網線碰撞之回復係數達到顯著差異，經事後比較結果也發現個組間達顯著差異。網球拍以較細網線擊球時在反彈球速度或振動響應有較佳的擊球反應。

四、網線張力與球拍勁度的發展

石世濱(民84)研究網球拍拍面之力學分析，結果顯示：軟式網球拍，穿上同一網線，同一張力時，大拍面的彈性恢復係數(COR)值高於小拍面。麥吉誠(民81)研究網球拍穿以不同張力拍線受撞擊時之振動響應，結果顯示：不論何種剛性球拍，穿以40磅拍線張力，反彈球速快，振動響應小，但不易控球，穿以60磅拍線張力，反彈球速減少，振動響應大，但易控球，穿以50磅拍線張力，反彈球速、振動響應、控球能力較為適宜。徐乾智(民85)研究網球拍力學特性之探討，結果得知：球線拉力的大小擊球框的勁度是影響甜區範圍大小的兩個重要因子。當球線拉力從60磅減至50磅時，甜區面積增加了4.09%。球線拉力從60增至7磅時，甜區面積減少了5.27%。Widing and Moeinzadeh(1990)研究：用有素研究法將網球拍模式分為拍骨模式與拍網模式。拍骨模式是以線性彎曲之有限元素(Linear Curved Elements)來模擬；拍網模式是以非線性之有限元素(Nonlinear Cable Elements)來模擬。這些模式允許球拍材質更換擊拍形更動，也允許拍網織形與網線張力個別更動。經過電腦靜態模擬分析得到拍子的參數，擊球過程與拍骨變形、拍弦扭曲、拍柄反振力間的關係。模擬結果顯示：以增加拍線張力來強固拍子一樣，而增加拍弦張力既可減少拍餅的反振力，也可避免拍網身曲變的傾向。蘇榮立、相子元(民84)研究球拍勁度與網線張力對選手控球及球速之影響，結果得知：網線張力40磅時，勁度70網球拍的恢復係數高於勁度50和勁度60的網球拍。在控球方面，網線張力在60磅進球百分比高於70磅、40磅、50磅的進球百分比。在球速方面，球拍網線磅數在60磅得球速百分比優於70磅、40磅、50磅的進球百分比。因此，磅數高的球拍在控球及球速上，會比磅數低的網球拍，有更

佳的表現。Baker and Wilson(1978)研究結果顯示：網球拍勁度和網線張力有顯著的交互作用，高勁度和低勁度的球拍再網線張力50磅時受碰撞反彈球速較高。在勁度較高的球拍並不會受不同的網線張力影響。

五、文獻探討結果

由上述文獻得知，對於硬式網球各方面研究相當完整，如各種網線張力及球拍勁度，所產生的反彈速度與球速之間的影響，及球拍勁度高低對於能量損失之間的關係，有多篇研究。關於這些方面研究在軟式網球就相當缺乏，因此本研究以探討軟式網球拍勁度及網線張力對及球速度與控球能力的影響，以提昇軟式網球技術中所扮演的角色?如能對這些方面有進一步認知，將有助於選手擊球技術的提昇。

參、研究方法

一、研究器材

表一 球拍的基本資料

測驗項目 球拍廠牌	球拍勁度	球拍重量 (公克)	球拍長度 (公分)	拍面寬度 (公分)
YONEX1	20	255	70	23.5
YONEX2	25	255	71	24.5
YONEX3	30	255	70	23.5
YONEX4	35	255	71	23.5

Babolat8200-RDC 球拍診斷系統和 Babolat502 穿線機，主要是測量網球拍的勁度及網線張力。網球彈性恢復係數(COR)是由 KODAK Motion Corder Analyzer 攝影機的系統拍攝經由軟體分析而得的數據。Decator Radar 牌測速槍，主要是測量網球選手所發出的球速。本研究是以 YONEX 牌的軟式網球為主，網線為 Slazenger 公司所製造的合成纖維網線，而每支網球拍皆是新的球拍，經 BABOLAT 牌網球拍測試機結果如表一所示：

二、研究對象

本實驗對象為台南縣高中軟式網球隊選手。受試者基本資料如表。

表二 選手基本資料

受試者	年齡	身高	體重	球齡
A	18	170	73	11
B	17	168	74	7
C	18	175	70	8

三、實驗器材

本實驗的器材包括:軟式網球、軟式網球拍、網球線、水平儀、比例尺、補光燈、網球發球機等。

四、實驗器材

本研究之實驗將依五個步驟進行，詳細說明如下：

步驟一：實驗流程說明

實驗流程說明及填寫相關資料為讓受試者了解整個實驗的過程，實驗進行前先向受試者介紹實驗程序、實驗時應注意的安全事項，然後請受試者填寫受試者同意書和受試者基本資料表，確認是否患有疾病或運動傷害，最後量取並記錄受試者身高、體重。

步驟二：伸展運動

為了避免受試者於實驗時受傷，先請受試者暖身十分鐘，尤其是上肢各主要肌群的伸展活動並練習發球。

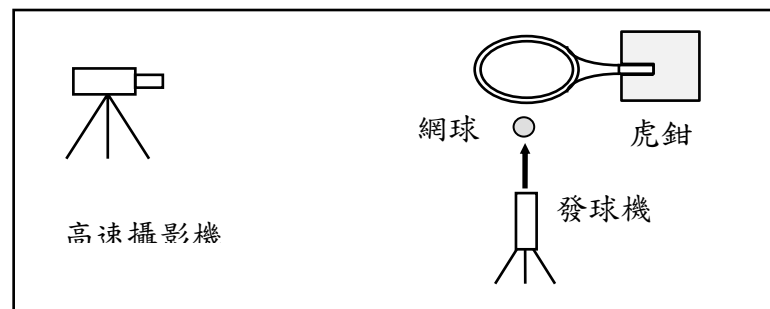
步驟三：實驗儀器校正

為使實驗進行順利並取得正確數據，實驗前先將Decator Radar牌測速槍系統，Babolat8200-RDC球拍診斷系統和Babolat1502穿線機、KODAK Motion Corder Analyzer 攝影機校正完成。

步驟四：不同勁度網球拍及恢復係數(COR)之測試(如圖一)

1. 將實驗場地佈置完成：以 KODAK Motion Corder Analyzer 攝影機(每秒 10000 張)，架設在網球拍碰撞區的左側，期距離為 4.8 公尺，而攝影機據地面高度為 77 公分。發球機高度為 50 公分，其位置垂直於球拍拍面的碰撞區域距離為 3.2 公尺。
2. 球拍進行穿線：採用 Babolat 公司製造之 1502 穿線機，從中央穿線方式來進行穿線。實驗用之球拍穿上不同磅數，之後用紅筆在拍面上畫碰撞區域。本研究所已使用這些磅數的原因是這些磅數經常為選受使用。
3. 實驗用球進行檢測：本次實驗球採用德化牌軟式網球比賽用球，依據中華民國軟式網球協會的競賽規則中規定。球為圓形且充滿空氣的白色橡膠製品，直徑 6.6 公分，重量 30 至 31 公克，反彈高度自球場地的 1.5 公尺高度落下，能彈起 65 至 85 公分為標準。因此，將當天實驗用球進行自由落體測試，以檢測是否符合規定。
4. 將穿好線的不同勁度的網球拍，用模擬人體手掌握拍固定器固定，由勁度低的網球拍開始依序進行測試。

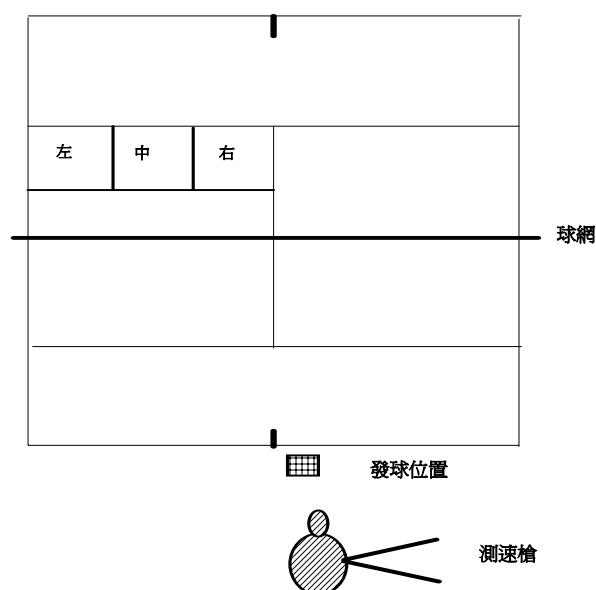
5. 發球機之球速以每秒 20m/s 射出，分別對每一支網球拍碰撞，每種勁度的網球拍個撞擊 5 次。



圖一：實驗場地配置圖

步驟五：發球控球能力的測試(如圖二)

1. 將實驗場地佈置完成：
 - (1) 在網球場後方六公尺處，放置 Decator Radar 牌測速槍並對準受事者擊球位置，並紀錄每支網球拍發球的球速。
 - (2) 將網球場左右接球區，畫成三等份。
2. 實驗前的測試：(1)受試者先測試本身慣用球拍的進球率以及球速。(2)受試者在正式測試之前，每支網球拍可先練習 6 次。
3. 發球位置：受試者於發球位置，由實驗者以隨機方式告知受試者之後，受試者以平擊式發球將球發至目標區，每支網球拍發 10 個球，並紀錄球速及落點。
4. 本實驗設計是使用不同勁度網球拍與不同網線張力的組合，網線張力是以隨機方式與網球拍搭配。



圖二：控球實驗場地配置圖

四、資料處理與統計分析

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 $\alpha=.05$ 為顯著水準。各參數資料處理方法如下：

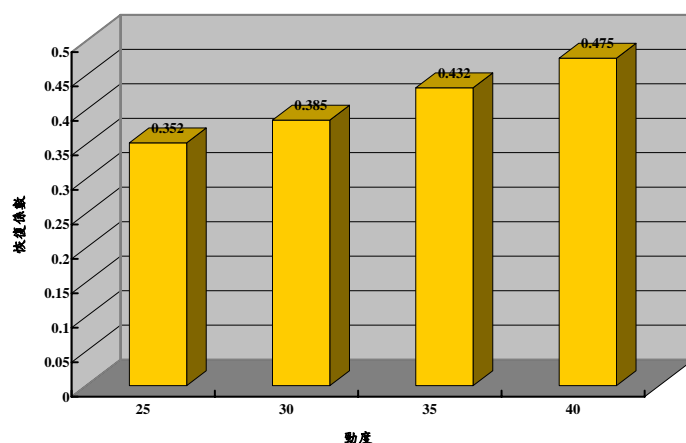
- (一) 本研究將所得的資料，透過 KODAK Motion Corder Analyzer 的系統對影帶進行數位化處理分析，取得每次碰後球速與碰前球速之比值後，而球出該次的恢復係數(COR)。
- (二) 採獨立樣本二因子變異數分析，考驗不同勁度的網球拍對於碰撞後與碰撞前球速比率是否有差異，若有顯著差異則以杜凱法進行事後比較。
- (三) 進球的成功率及球速以正規化方式來處理，是將選手慣用拍發球的成功率及球速，和測試球拍發球的成功率及球速的值相除之後，在成以百分之一百所得的商，來表示選手使用不同勁度軟式網球拍穿上不同磅數網線的變化情形。
- (四) 採二因子多變變異數分析，考驗不同勁度的軟式網球拍穿上不同磅數對選手在控球擊球速是否有差異，若有顯著差異則以杜凱式法進行事後比較。

肆、結果與討論

一、不同勁度軟式網球拍與不同磅數網線對碰撞時 COR 之影響

(一) 不同勁度軟式網球拍穿上 20 磅網線對碰撞時 COR 的影響

圖三是不同勁度網球拍穿上20磅網線時所求出的恢復係數。其中，25勁度網球拍的恢復係數值為 (0.352 ± 0.04) ；30勁度網球拍的恢復係數值為 (0.385 ± 0.01) ；35勁度網球拍的恢復係數值為 (0.432 ± 0.02) ；40勁度網球拍的恢復係數值為 (0.475 ± 0.01) 。



圖三 20磅網線碰撞時之恢復係數圖

以獨立樣本單因子變異數分析，考驗不同勁度網球拍在不同網線張力下，對恢復係數之差異性。首先顯示網線張力在40磅 ($F=18.667$) 的結果，從表三的事後比較摘要表

可看出：在40勁度網球拍恢復係數的平均值（0.472）皆顯著高於35勁度網球拍恢復係數的平均值（0.432）以及 30勁度和25勁度網球拍恢復係數的平均值（0.385）、（0.352）；而30和35及40勁度網球拍恢復係數的平均值亦顯著高於25勁度網球拍恢復係數的平均值。

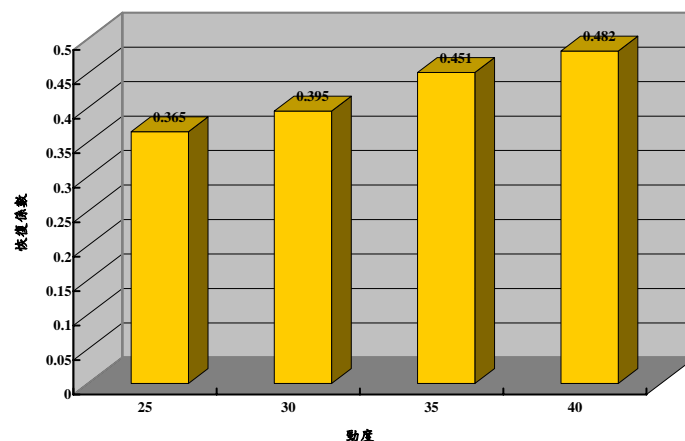
表三 20磅網線事後比較分析摘要表

勁度	20	25	30	35
25	—	*	*	*
30	—	—	—	*
35	—	—	—	*
40	—	—	—	—

$p < 0.05$

（二）不同勁度網球拍穿上 25 磅網線對碰撞時恢復係數的影響

25磅網線碰撞時恢復係數的結果，在25勁度網球拍的恢復係數值為（0.365±0.12）；30勁度網球拍的恢復係數值為（0.395±0.07）；35勁度網球拍的恢復係數值為（0.451±0.01）；40勁度網球拍的恢復係數值為（0.482±0.01）



圖四 25磅網線碰撞時之恢復係數圖

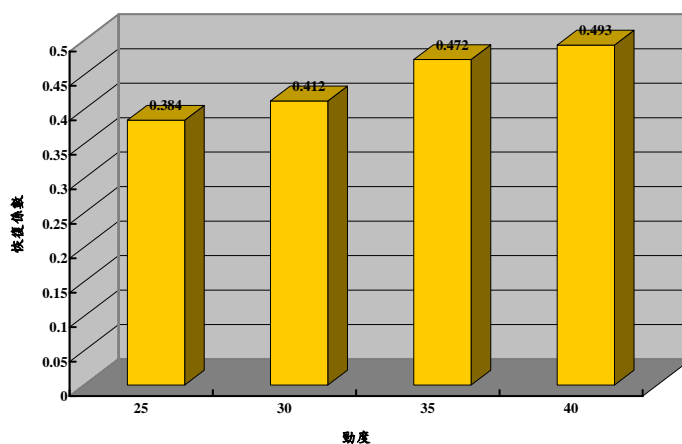
經統計顯示網線張力在25磅時的結果（ $F = 14.1936$ ）可從表四的事後比較摘要表看出：40勁度網球拍恢復係數的平均值（0.482）顯著高於25勁度和30勁度網球拍恢復係數的平均值（0.365）、（0.395）。在35勁度網球拍恢復係數的平均值亦顯著高於25勁度網球拍恢復係數的平均值。另一方面40勁度網球拍的恢復係數並沒有顯著高於35勁度的網球拍；而35勁度網球拍的恢復係數亦沒有顯著高於25勁度的網球拍。

表四 30磅網線事後比較分析摘要表

勁度	20	25	30	35
25	—	*	*	*
30		—		*
35			—	
40				—

p<0.05

(三) 不同勁度網球拍穿上 30 磅網線對碰撞時恢復係數的影響



圖五 30磅網線碰撞時之恢復係數圖

圖五是四種勁度網球拍在30磅網線碰撞時恢復係數的結果。25勁度網球拍的恢復係數值為 (0.384±0.15)；30勁度網球拍的恢復係數值為 (0.412±0.14)；35勁度網球拍的恢復係數值為 (0.472±0.06)；40勁度網球拍的恢復係數值為 (0.493±0.01)。

以單因子變異數分析，這四種勁度網球拍在網線張力35磅時的差異。結果 (F=122.6571) 如表五的事後比較摘要表所示：在40勁度網球拍恢復係數的平均值 (0.493) 皆顯著高於35勁度網球拍恢復係數的平均值 (0.472) 以及30勁度和25勁度網球拍恢復係數的平均值 (0.412)、(0.384)；另外35和30勁度網球拍恢復係數的平均值亦顯著高於25勁度網球拍恢復係數的平均值。只在35勁度網球拍的恢復係數沒有顯著高於30勁度的網球拍。

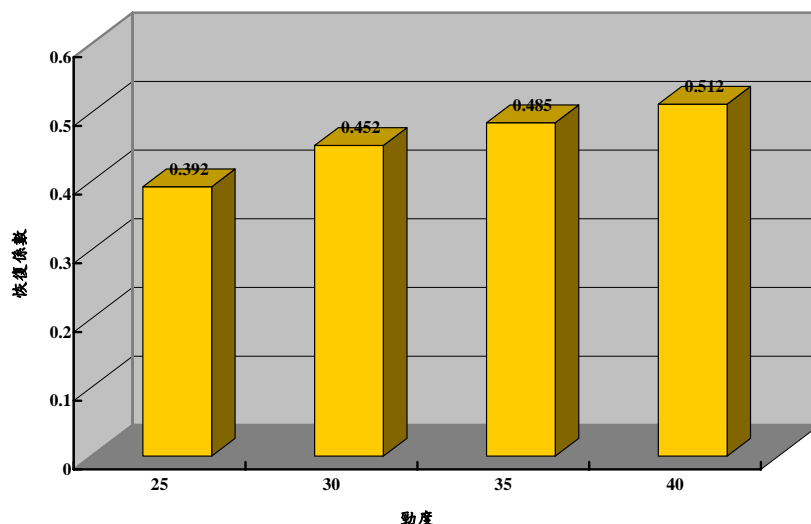
表五 30磅網線事後比較分析摘要表

勁度	20	25	30	35
25	—	*	*	*
30		—		*
35			—	*
40				—

p<0.05

(四) 不同勁度網球拍穿上 35 磅網線對碰撞時恢復係數的影響

圖六是網球拍在網線張力35磅時，受碰撞時恢復係數的結果。在25勁度網球拍的恢復係數值為 (0.392±0.01)；30勁度網球拍的恢復係數值為 (0.432±0.02)；35勁度網球拍的恢復係數值為 (0.485±0.02)；40勁度網球拍的恢復係數值為 (0.512±0.01)。



圖六 35磅網線碰撞時之恢復係數圖

表六是網線張力在35磅時事後比較，結果 (F=9.6203) 如表所示：在35勁度網球拍的恢復係數沒有顯著高於30勁度的網球拍；另外在30勁度網球拍的恢復係數亦沒有顯著高於25勁度的網球拍。至於顯著方面是以40勁度網球拍恢復係數的平均值 (0.512) 顯著高於30勁度和25勁度網球拍恢復係數的平均值 (0.432)、(0.392) 以及在35勁度網球拍恢復係數的平均值亦顯著高於25勁度網球拍恢復係數的平均值。

表六 35磅網線事後比較分析摘要表

勁度	20	25	30	35
25	—		*	*
30		—		*
35			—	
40				—

p<0.05

以上四種勁度與四種拍線張力的組合，經獨立樣本單因子變異數分析的考驗，顯示勁度較高的網球拍能有較佳之恢復係數。因此，進一步以二因子變異數來分析，那組勁度的網球拍穿上不同磅數有較佳的恢復係數。從表七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 (F=.25, p>0.05)。但在勁度因子 (F=56.35, p<0.05) 以及磅數因子 (F=16.14, p<0.05) 皆達顯著。經統計分析，得知網球拍勁度在20磅的網線張力，均高於其他三組網線張力的組合，而25磅的網線張力亦高於35磅及20磅的網線張力。

表七 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	56.35*
磅數	.01	3	.00	16.14*
勁度*磅數	.00	9	.00	.25
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。但網球拍勁度與網線張力的組合對恢復係數影響的研究並不多見。本研究以不同勁度網球拍穿上不同磅數，以便得知在碰撞過程中，網球拍勁度與磅數對恢復係數的影響。從研究結果顯示，這四種磅數在不同勁度的網球拍組合之下，在每組磅數中隨著勁度的增加，而所獲得恢復係數也不同。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（民79）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（民79）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稍耗能量，能回擊更強的球的理論是相同的。根據 Brody（1979）所述因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轉回球上，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的球速高。

經由上述的討論，顯示勁度愈高的網球拍能回饋較多的能量給球。歸納其原因在於勁度高的球拍與球碰撞時，拍框產生的彎曲度較小，能將能量直接傳到球上。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。因此勁度低的球拍，由於球拍彎曲性較大有損失能量之可能，而降低了反彈力，所以勁度高的網球拍會比易彎的網球拍擊出較高速的球。

二、不同勁度網球拍與不同磅數對選手控球的影響

（一）20 磅網線與球拍勁度組合對控球的影響

本研究的目的是二是要探討不同勁度網球拍與不同網線張力的組合，以發球型態（平擊式）來測驗選手使用以上的組合對選手控球及球速上的影響。首先討論網線張力在20磅的結果，從表八，得知 A選手在30勁度球拍進球百分比（93.75%）最佳。B選手在進球百分比方面是相同的而 C選手進球百分比以25（133.3%）及30（133.3%）勁度球拍表現較佳。

表八 20磅網線與不同勁度球拍的進球百分比

受試選手	A	B	C
球拍勁度	進球百分比	進球百分比	進球百分比
25	93.75%	133.3%	133.3%
30	87.5%	133.3%	133.3%
35	87.5%	133.3%	108.3%
40	62.5%	133.3%	108.3%

(二) 25 磅網線與球拍勁度組合對控球的影響

網線張力在25磅的結果，從表九可看出：A 選手在30勁度球拍進球百分比（75%）為最佳。B選手在進球百分比方面以30（211.1%）及40（211.1%）勁度球拍的表現最佳。在 C選手進球百分比以 25（125%）勁度球拍的表現較佳。

表九 25磅網線與不同勁度球拍的進球百分比

受試選手	A	B	C
球拍勁度	進球百分比	進球百分比	進球百分比
25	75%	133.3%	58.3%
30	43.7%	211.1%	66.7%
35	62.5%	122.2%	108.3%
40	50%	211.1%	125%

(三) 30 磅網線與球拍勁度組合對控球的影響

網線張力在30磅的結果，從表十可看出：A 選手在35勁度球拍進球百分比（104.3%）優於20磅及 25磅進球百分比。B選手在進球百分比以 30（186.1%）勁度球拍的表現最佳。在 C選手進球百分比以30（121%）勁度球拍的表現較佳。

表十 30磅網線與不同勁度球拍的進球百分比

受試選手	A	B	C
球拍勁度	進球百分比	進球百分比	進球百分比
25	68.8%	133.3%	121%
30	93.8%	186.1%	100%
35	104.3%	177.8%	100%
40	100%	166.7%	108%

(四) 35 磅網線球拍與勁度組合對控球及球速的影響

網線張力在35磅的結果，從表十一中得知：A 選手在35勁度球拍進球百分比（98%）方面優於 20磅及25磅。B選手在進球百分比方面以40（178.9%）勁度球拍的表現最佳。C選手進球百分比以 35（142.3%）勁度球拍的表現較佳。

表十一 不同勁度球拍與35磅網線的進球百分比

受試選手	A	B	C
球拍勁度	進球百分比	進球百分比	進球百分比
25	87.5%	133.3%	125%
30	75%	166.7%	150%
35	98%	166.7%	142.3%
40	75%	178.9%	133.3%

以網球發球的方式，來測驗選手使用不同勁度網球拍與不同磅數組合之下，對控球的準確性的影響。將研究結果加以討論分析後，就球拍勁度與網線張力對選手控球是以勁度高的網球拍和網線張力較高的磅數，所得進球率及球速的表現為最佳。控球方面以網線張力30磅和35磅進球的比率佔最高，但其中選手以勁度35的球拍和網線30磅的組合，在控球上表現較為優異。此現象與Elliott（1982）的結論有相同之處，球拍勁度明顯地影響著反擊球速，而勁度較高的球拍有較緊的網弦是有助於控球，而易彎的球拍則應降低張力，才能維持控球。據 Groppe（1984）所述，網線張力愈小，球撞擊瞬間球體的變形程度愈小，球體和網線的彈性較不易減弱，使球停留在網線的時間相對加長；反之，網線張力愈大，球撞擊瞬間球體的變形程度愈大，球體和網線的彈性能較易減弱，使球停留在網線的時間相對縮短。因此，據此推測，網線張力大的較易控球，與本研究中選手在磅數高的拍線有較佳之控球表現是相似的。另外 Brody（1987）對網線張力與時間的關係中，指出網線的張力增加，則擊球力量將減低，但控球能力較好，可使球滯留時間較低；相反的網線張力減少，則擊球力量增加，但控球能力較差，可是球滯留時間變長，而本研究中較高的磅數有較佳之進球率，與其他學者之報告具有相似的結果。

伍、結論

本研究在探討四種網球拍勁度與四種網線張力組合之下，對恢復係數，以及對選手控球和球速上的影響。經由討論後可得以下的結論：

1. 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少無損失力量狀況，能在受碰撞後能有較高的恢復係數。
2. 在網球拍勁度中，受不同網線張力的影響之下，穿上25磅的拍線有較高之恢復係數。
3. 控球方面，選手在勁度35和40軟式網球拍的進球百分比，優於勁度25和30網球拍的進球百分比。而網線張力在30磅和35磅進球百分比，高於網線張力20磅和25磅的進球百分比。
4. 球拍勁度和網線張力的關係，勁度高和磅數高的球拍在控球上，會比勁度低和磅數低的球拍，有助於控球及球速的表現。

參考文獻

一、中文文獻

- 石世濱 (民84): 網球拍拍面之力學分析。國立體育學院碩士論文。
- 李 誠 (民78): 你用對球拍嗎。 網球報導雜誌, 53期頁21-24。
- 李 誠 (民79): 如何讓你的球拍助你一臂之力。 網球報導雜誌, 頁39-41。
- 林寶城 (民79): 網球偏心撞擊不同角度緊握球拍時球拍振動之動力學響應。國立台灣師範大學體育研究所碩士論文。
- 梁禮宏 (民82): 如何選擇一隻適用的新網拍。 網球報導雜誌, 五月號, 頁51-55。
- 陳錫雄 (民78): 邁入厚拍時代。 網球報導雜誌, 44期, 頁7-9。
- 麥吉誠 (民81): 網球演進史。 網球報導雜誌, 二月號頁59-61。
- 麥吉誠 (民82): 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, 頁44-48。
- 彭鈺人 (民82): 體育測驗與測量。台北: 師大書苑。
- 黃立張 (民78): 球拍與線的互動關係。 網球報導雜誌, 53期, 頁19-20。
- 黃俊清 (民82): 網球平擊式發球之運動學分析。國立體育學院碩士論文。
- 羅國成譯 (民81): 網球球具之研究。 體育與運動, 頁127-130。
- Wilson公司 (1994): 如何購買網球拍指南。

二、英文文獻

- 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
- Baker, J., & Putnam, C. A. (1979) . Tennis racket and ball responses during impact under clamped and freestanding conditions. Research Quarterly, 50(2), 164-170.
- Brody, H. (1979) . Physics of the tennis racket. American Journal of physics, 47(6), 482-487.
- Elliott, B., Blanksby, B., & Ellis, R. (1980) . Vibrations and rebound velocity characteristics of conventional and oversized tennis rackets. Research Quarterly for Exercise and Sport, 51(4), 608-615.
- 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.

- Groppel, J. L. (1984) . Tennis for advanced players: And those who would like to be. Champaign, IL:Human Kinetics.
- Groppel, J. L. (1986) The Biomechanics of tennis: an overview. International Journal of Sport Biomechanics. 2,141-155.
- 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.
- Hatze, H. (1993) The relationship between the coefficient of restitution and energy losses in tennis rackets. Journal of Applied Biomechanics. 9,124-142.
- 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.
- 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.