

# 北體學報

第 11 卷 第 95 期

## TPEU PRESS



台北市立體育學院 運動科學中心 編印  
Taipei Physical Education College  
Center for Exercise & Sports Science

# 北體學報第十一期目錄

九十二年十二月三十日出刊

- 武術南拳鯉魚打挺動作運動生物力學分析..... 1  
劉俊偉 念裕祥 相子元
- 太極拳定步按發勁之地面反作用力分析..... 9  
念裕祥 張世博
- 42 公里馬拉松賽跑對初級細胞性免疫的抑制與恢復狀況之探討... 17  
邱亦涵 黃國欽 徐廣明 徐台閣
- 網線張力對網球拍品質指標之影響..... 29  
丁麗芬 林寶城 王柏村
- 耐力性運動誘發的氧化壓力對人體免疫細胞 DNA 之影響..... 41  
黃國欽 邱亦涵 李永祥 徐廣明 徐台閣
- 運用跨理論模式於大專學生運動行為改變計畫之研究..... 53  
蔡育佑
- 前十字韌帶受傷後的運動..... 67  
王進華 黃心怡 王人生
- 心血管疾病預測指標與運動時心跳率之關係..... 77  
林勁宏 沈義文 侯建文 賀心怡 詹迪光 柯天路 郭家驊
- 棒球投手球路與速度之分析-以 2001 年世界盃成棒賽為例..... 87  
廖文男 林啟川 高英傑 彭國平

數位高速攝影機最佳快門速度之探討.....	99
蘇振埴 郭沛鑫 蕭美珠	
桌球運動參與者生活型態之調查研究.....	109
蘭震輝 莊林貴	
台北市立體育學院職前教師學習策略與學習適應之研究.....	127
趙曉美 潘淑芬	
九十一年度全國大專桌球選手運動傷害調查分析.....	143
謝麗娟 劉妍秀 林育田	
籃球選手心理技能之研究.....	151
東方介德 鄧碧珍	
探討高中學生之學習環境和目標取向在學生體育課學習滿意度與 體適能認知的影響.....	159
蕭秋銘 周建智 李光武 陳嘉弘 林惠美	
學業成績好壞與體適能的表現比較-以台北市永春高中為例.....	173
邱慶瑞	
學生運動員生涯規劃之探討.....	181
黃高賢 呂佳霏 林惠美 周建智 黃美瑤	
國立體育學院職前體育教師教學關注之研究.....	193
何浚豪 蕭世原 廖文彥	

台北市青少年休閒動機與休閒參與之研究.....	203
王梅香 江澤群	
肥胖學童身體組成與體適能相關之研究.....	217
洪維振	
青少年桌球選手運動傷害調查 .....	225
白慧嬰 丁麗珍 杜美華	
世界盃優秀劍道選手運動技術策略之研究 .....	235
陳安寶	
大專游泳選手運動動機、目標取向與運動自信心來源之間的關係	253
許瓊云 黃崇儒 林惠美 許義章	
手部結構、力量與壘球投擲精確度之相關研究.....	269
林啟川 李信德 蔡文星 周麗卿 許義章	
中日兩國文人贈答唱和詩初探—以唐代開元為中心—.....	277
王秉泰 陳建華	
Photography and Qualitative Methodology: “Open, Sesame!”	291
高麗娟 謝承都	
【編輯部報告】 .....	305
【稿約】 .....	307

## 網線張力對網球拍品質指標之影響

丁麗芬

輔英科技大學

林寶城

台北市立體育學院

王柏村

屏東科技大學

### 摘要

本研究旨在探討網線張力對網球拍振動品質之影響，以網球拍「甜蜜區分布」及「握把振動能量」作為評估品質之指標，測試 Wilson 高碳纖維網球拍在無網線、穿 45 磅與 55 磅網線張力之三種狀態下之品質表現。應用有限元素分析軟體(ANSYS 5.5 版)之疊加功能探測「甜蜜區分布」情形，以 free-free 邊界設定，取得前四個模態疊加振型圖示加以比較；並透過實驗模態分析技巧，應用衝擊錘作為激振器，加速度計作為感應器，對球拍施以衝擊實驗，透過 ME'Scope 軟體取得握把節點位移大小，以此計算出握把「振動能量」之強弱。本研究比較不同網線張力球拍之品質指標後，獲得重要結論如下：

- 一、網線張力大小，對甜蜜區範圍與位置並未有顯著影響。
- 二、加上網線後，有降低球拍握把振動能量之功效，尤以 55 磅網線張力降低率優於 45 磅網線張力。

**關鍵詞：**網線張力、有限元素分析、振動模態、甜蜜區、握把振動能量。

## 壹、緒論

### 一、前言

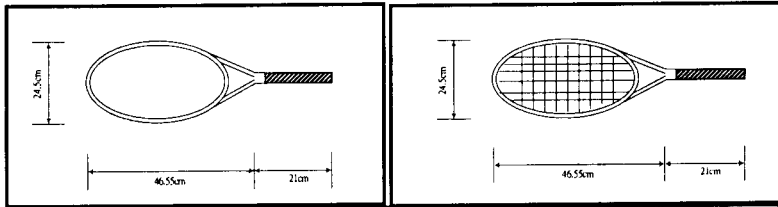
在網球運動逐漸趨向高速度競技的趨勢下，器材的功能及安全性更是受到矚目，為突顯球拍品質之優勢，廠商無不強調「超低振動」、「強力擊球」及「甜蜜區涵蓋面積大」作為促銷訴求。近年來，運動器材的設計上，對於提供舒適與保護、防止運動傷害及增加運動表現之功能日益提昇，而國內外多位學者對網球拍的研究重點，不管是材質、重心、慣量及張力等，所關心的參數都是關連到力及振動之表現，即針對防患網球肘或其他相關的傷害加以探究。Willson(1986)曾提出，65~125Hz 的振動會對手臂造成影響，故研發者都盡量朝向較低的振動能量設計，期望在保護選手之前提下，能將動能充分應用於球之反彈及威力上，此亦成為教練、學者積極研究探討之方向。

然球拍與球之碰撞過程中，所涉及之問題至為複雜，為降低擊球瞬間球拍所承受的振動及衝量，在甜蜜區面積與握把能量兩大要素的改良極為必要。Ho & Park(1987)曾提出大榔頭(Hammer)的重量系統改進理論，Wilson建議強化網球拍之邊框來使甜蜜區或無震盪點移升到打擊面的中心，多家製造商亦在球拍上內建了很多的減少振動的配件，如Prnice的sweet spot suspension、Wilson的power holes等均為消滅擊球對手臂的振動負荷，在林林總總的改革動作及新品研發中，似乎更需要的是提昇檢驗球拍品質之技巧。學者Elliott(1982)、周志柔(1994)以實驗模態設計驗證及探討甜蜜區之範圍與大小，林寶城(1998)、陳帝佑(1998)藉由振動波之趨穩時間作為驗證阻尼比之功效，在多篇研究報告中，對甜蜜區之界定大多僅止於球員之手感或藉由拍面彈性恢復係數作為參照，且研究方式均偏於實物結構之實驗操作，固然藉成品之檢視有其正確性之優勢，然若能將實驗配合電腦模擬，應用邊界條件之數值調整方式，將能有效對網球拍品質預作評鑑，提前對球拍之應變因素逐一探索，在兼顧物力、時間之下，使球拍之研發更具經濟效益。本研究亦期望能提供結果作為未來擴大球拍甜蜜區及減振設計之依據，且提供評估模式與技巧作為球拍設定參數及外力條件之參考。

### 二、研究範圍

本章旨在為不同張力之網球拍的品質指標作一評估模式，應用有限元素分析與實驗模態分析兩種技術，探討網線在不同張力下對球拍品質所造成之影響。為瞭解不同網線張力球拍的結構動態特性，以「甜蜜區位置」與「握把振動能量」作為評估品質之依據。本研究採 WILSON HYPER CARBON PROSTAFF 5.0 之大型拍面之網球拍作為實驗用拍，將球拍穿上 16 號(1.30mm)人造合成腸線(Synthetic Gut)網線，先後測試無網線拍框、45 磅及 55 磅之網線張力球拍，採用 free-free 邊界情況，以兩條彈性繩將球拍懸掛，其材料性質及結構楊氏係數、密度等請參閱表 1-1 所示。藉由有限元素分析界定甜蜜區之範圍及位置，並以實驗模態分析，計算三種球拍之握把所承受之振動能量大小，比較不同網線張力球拍之差異性，藉此評估球拍之振動品質。

表 1-1、網球拍結構示意及幾何材料性質列表



球拍性質	球拍部分	握把部分	網線部份
材料	碳纖維	木頭	尼龍線
楊氏係數(pa)	$24.02 \times 10^9$	$17.688 \times 10^9$	$26.603 \times 10^9$
密度(Kg/m <sup>3</sup> )	1124.1	697.67	2.9859

## 貳、研究方法與步驟

### 一、品質指標之定義

本研究以「甜蜜區位置」與「握把振動能量」作為評估球拍品質之指標。

#### 1、甜蜜區之界定

網球拍的甜蜜區就是能夠提供使用者紮實的擊球，在擊球瞬間獲得足夠的威力，並承受較少的震盪與振動的擊球區域。就一般被認定的觀點上看來，拍面上能回饋 40% 以上的球速位置均屬於甜蜜區範圍內；1987 年 Ho & Park 加以整理，作概略性之詮釋，在科學及工程的語言上，給了拍面上三個特定點為：最大彈性恢復率(COR)、振動最小的區域(NODE)及衝擊中心(COP)等專有名稱。

本研究取用模態疊加(Mode surperposition)之方式，累加自然振動模式各節點所呈現之位移數據，藉由拍面等高線所呈現範圍及位置，做為評定甜蜜區之依據。其方程式如下式

$$\Phi_i^{N_n} = \sum_{r=1}^{N_n} \phi_{r,i} \text{ for } i=1,2,3,\dots,m \dots\dots\dots(2-1)$$

$$H_{ij} = \frac{X_i}{F_j} \dots\dots\dots(2-2)$$

$$\Rightarrow X_i = F_j \sum_{r=1}^{\infty} \frac{\phi_{r,i} \phi_{r,j}}{(\omega_r^2 - \omega^2) + i(2\xi\omega_r\omega)} \dots\dots\dots(2-3)$$

#### 2、握把能量之界定

擊球瞬間所承受之振動強弱，均來自於球拍握把施於手臂的能量，故能量值愈小，振動愈小，亦即傳遞給球員的能量亦更弱，擊球時將會較為舒適的感覺。本研究對握把手承受之振動大小，乃是觀察振型圖之握把節點之位移狀況，引用拍柄四個量測點位移量之絕對值相加，並以所得數值大小作為握把能量品質之判讀依據。其計算方程式如下式：

$$\phi_{r,i}, r=1,2,3,4 \text{ mode}, i=1,2,3,4 \text{ 節點(握把處)} \dots \dots \dots (2-4)$$

$$E_i = \sum_{r=1}^N \phi_{r,i} \dots \dots \dots (2-5)$$

$$E_r = \sum_{i=1}^{m_H} \phi_{r,i}, m_H : \text{握把處點數} \dots \dots \dots (2-6)$$

$$E = \sum_{i=1}^{m_H} E_i = \sum_{r=1}^N E_r \dots \dots \dots (2-7)$$

## 二、研究方法

### (一)實驗日期與地點

民國 92 年 1 月至 2 月於屏東科技大學機械工程研究所振動噪音實驗室執行。

### (二)實驗方法

#### 1、有限元素分析

應用 ANSYS 5.0 軟體進行球拍實際結構分析。其建構有限元素模型之原則：(1)元素類型：網球拍的元素模型架構視為樑元素 (beam4) 結構，選用三維

懸樑架構元素(beam4)架構有限元素模型。

(2)元素分割：以簡化之網球拍結構，以直接架構法定義，每兩個節點(node)連為一個元素，本實驗將握把處分割為 3 個元素，框架的部份分為 78 個元素，網線的部份則分為 652 個元素。

(3)位移限制：則無任何限制，皆為自由端(free-free)之自由邊界狀態方式。

(4)負荷條件：在進行簡諧分析時，所設定的外力為受單一簡諧外力 (f=1)。

#### 2、實驗模態分析

##### (1)實驗儀器設備架構

實驗儀器型號請參閱表2-1，架構情形如圖2-1所示。實驗過程中首先將衝擊錘用導線接於訊號分析儀之A輸入模組，加速度計用導線經過電荷放大器接於訊號分析儀之B輸入組模，再透過SCSI介面將訊號分析儀與個人電腦相連接。其實驗的動作原理為，利用衝擊錘作為驅動器(actuator)，對網球拍框加以激振，利用加速度計作感應器(sensor)，量取結構之響應訊號，經過電壓放大器將訊號傳入雙頻道訊號分析儀，由訊號分析儀對輸入之訊號作快速傅立葉轉換，求得球拍的頻率響應函數和關聯性函數，最後再將所得到的頻率響應函數傳入ME scope軟體作曲線嵌合 (curve fitting) 工作。實驗過程中，首先須完成BK3550訊號分析儀設定，頻寬設為2000Hz，解析條數為3201條。本實驗驅動器因使用衝擊錘，所以加transient加權函數，在感應器之加速度響應加exponential加權函數。



表2-1、實驗模態使用之儀器型號一覽表

儀器名稱	型號
PCB加速規(accelerometers)	型號 352A(三顆)
衝擊鎚(dytran hammer kit)	PCB 056C03
頻譜分析儀 (dynamics spectrum analyzer)	SigLab Model 20-42多頻譜分析儀
實驗模態分析軟體	ME scope 3.0版

三、實驗步驟

採用同一隻網球拍進行網線之研究，過程中先以穿上網線之球拍進行實驗後，再將網線剪下進行空框之操作，以達到實驗系統之一致性。實驗方式則以固定衝擊錘敲擊位置，移動加速度計的方式，將加速度計(PCB 352A)以蜂蠟黏貼於平板分割點各個分割點上作為感應器，其分割點請參閱圖2-2-a.b所示。再以鋼質衝擊鎚於Z方向施加點力於自由邊界網球拍第8點上，激振網球拍劃分的量測點上，每一個點敲擊三次取其平均數，響應經由訊號放大器傳入訊號分析儀，即可得到34組頻率響應函數，再交由ME scope軟體作曲線嵌合，求取網球拍的模態參數自然頻率、阻尼比和振型等參數。過程中極力掌握訊號的正確性，剔除所有不良及錯誤的訊號，在完成三十四個座標點之測試後，儲存資料以供分析。實驗場地儀器之佈置如圖3-3所示。

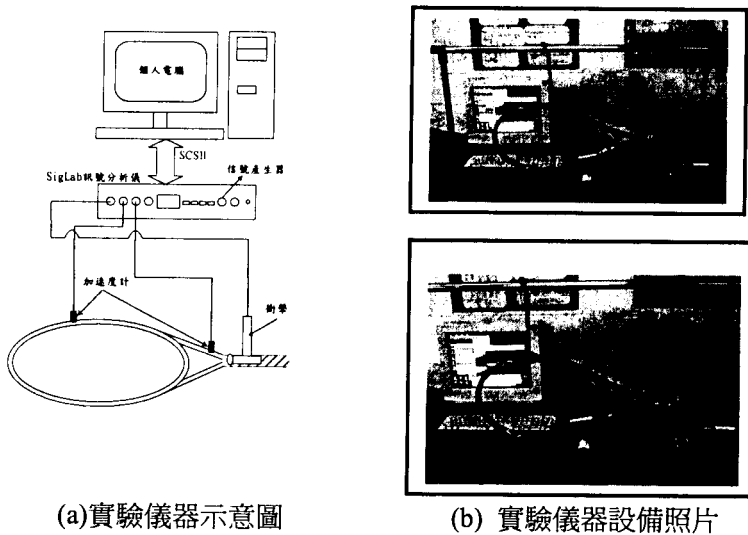


圖 2-1、實驗場地儀器設置圖示

參、結果與討論

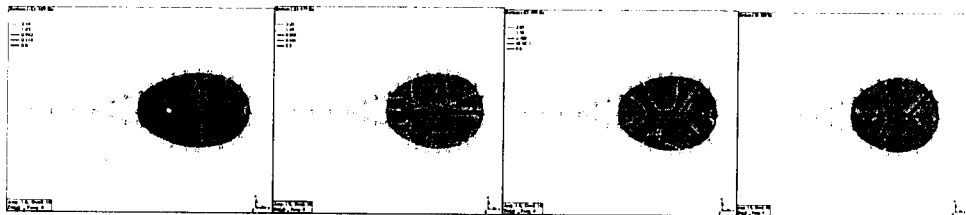
本文對無網線拍框、45 磅網線張力及 55 磅網線張力等三種球拍分別驗證有限分析的適用性及正確性後(丁麗芬等,2003)，先後擷取相關數據，評估球拍之振動品質。第一部分探討有限元素分析下各球拍所呈現甜蜜區之特性，第二部分比較不同網線張力下握把能量之差異性，就此對球拍品質指標進行評估。

一、不同網線張力之甜蜜區

(一)實驗結果

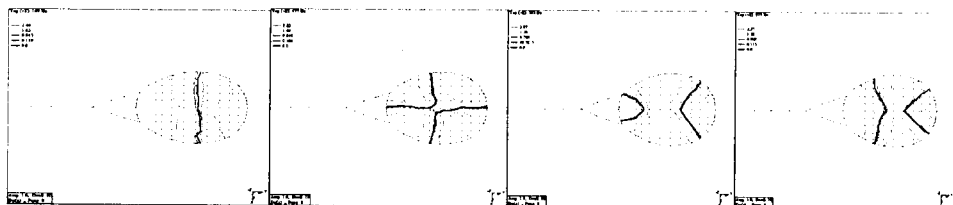
礙於實驗模態方式在應用功能上目前仍有其限制，一則因拍面上無法設定網線量測點，再則實驗模態軟體尚無疊加功能，因此本研究僅採用有限元素分析之模態振型疊加成果來探測不同張力之球拍所呈現的甜蜜區表現，以模態振型(mode shape)及節線(node line)之觀察作為評估依據。將實驗之模態參數，利用軟體連結相同位移數據的點以形成等高線振型圖，透過模態振型等高線與零點所圍成面積大小之比較，判定甜蜜區所在之範圍及位置。

自分析模擬過程，獲球拍前四個模態間的甜蜜區分佈圖，請參閱圖 3-1-a.b.c.d (45 磅網線張力) 及圖 3-2-a.b.c.d (55 磅網線張力)，觀察其振型，兩組間無論在節線型態、位置與等高線位移數值上均相當近似。以第一模態(a)彎曲自然振動模式的振型圖示，節線(node line)橫跨於拍面中段，約於量測點 12 及 24 之連結線上，意味拍面中間區段將呈現較小振幅，其等高線位移值介於 0~0.943 間；第二模態為扭曲自然振動模式，由圖(b)圖上看出，拍面上呈現有兩段節線，橫軸稍向握柄處下移至 11 及 25 量測點，另一縱線則出現於縱軸線上，節線附近之等高線位移值介於 0~0.549 間；第三模態(c)振型為兩次彎曲自然振動模式，其兩段節線分別落於拍面之上下兩端位置，而拍面中央區域大約落於等高線 0~0.785 之間，呈現較大振幅之位移；第四模態(d)振型為三次彎曲自然振動模式，拍面所呈現的兩段節線均稍移向橫軸線上，中央區域大約落於等高線位移值 0.00~0.219 之間，中間區段之振幅已極其微弱。



(a) Mode1 (b) Mode2 (c) Mode 3 (d) Mode 4

圖 3-1、45 磅網線張力之網球拍有限元素甜蜜區分佈圖



(a) Mode1 (b) Mode2 (c) Mode (d) Mode 4

圖 3-2、55 磅網線張力之網球拍有限元素甜蜜區分佈圖

## (二) 討論

在四個模態振型中可看出第一、二及第四個模態均為 Z 向之彎曲模態、第二個為 Y 向扭曲模態，設定所疊加之範圍即為有限元素法前四個模態產生的自然振動模式，觀察圖 3-3-(a)即為兩種張力球拍的第一次彎曲振型疊加第二次彎曲振型後所得甜蜜區呈現圖示，圖 3-3-(b)為第一次彎曲振型累加第二次彎曲振型後，再疊加第三次彎曲振型所得甜蜜區呈現圖示，圖 3-3-c 則為第一次彎曲振型、第二次彎曲振型及第三次彎曲振型後，再疊加第一次扭曲振型所得甜蜜區呈現圖示。

綜合四個自然振動模式疊加後之振型大小及範圍分布，見圖 3-3-a 第一次彎曲振型及第二次彎曲振型疊加後，振幅較低區域落於距拍頸約 15 公分及 35 公分等兩大區段，亦即拍面位移最小的位置是於拍面的中央上方及下方的兩大區塊，以節線附近亦形成較小的振幅原理下，可視兩節線上下內含之區域為球拍之甜蜜區適確範圍。再觀察圖 3-3-b，乃是繼續疊加第三次彎曲振型位移數據後所呈現之甜蜜區圖像，振幅較低之區塊面積呈現縮減之趨勢，亦提高位置落在距拍頸約 25 公分區段及 40 公分區段；繼續以第一、第三及第四模態所呈現之結果再疊加第二模態的單次扭曲(torsion)模式，可看見甜蜜區之低位移區域呈現凌亂散開、遍佈於全拍面之趨勢。對於球拍振動所引發的不舒適感係來自於球拍的彎曲模式，該因 Z 向之彎曲振動模式會造成握把上下之振動，導致握拍手臂之疲勞與傷害（相子元,1997），至於涉及扭曲(torsion)振動模式的(c)，將因振動形式僅造成拍面些許之轉動，其影響僅導致握拍手掌摩擦之不適，故本研究僅將其列為比較與參考，不深入探查。

逐一比對 45 磅及 55 磅網線張力所呈現之等高線範圍與位置圖示，就其位置分布與等高線含括面積大小，兩者間似乎並未有明顯之差異性存在。再嘗試藉由疊加方式深入比較不同張力之變項，顯現張力對強調擴大甜蜜區之設計並無特殊功能存在，亦未有促成提升甜蜜區位置至拍頭的功效，此結果與 Elliott(1982)及 Groppe & Hill (1987)探討甜蜜區之範圍時，提出改變網線拉力大小將會改變甜蜜區的範圍之論調有所差異。卻符合許乾智(民 85)強調改變拉力大小對甜蜜區範圍的影響並不如改變拍框勁度來的有效。

實驗得到之網球拍甜蜜區中心位置與一般認知相符，為振動模態探討甜蜜區之觀點提供科學驗證。深入探討本結果與各學者研究之異同點，除提供業者修正球拍其他要素來增加甜蜜區之範圍外，對後續研究上，亦建議以立體元素取代樑元素來建立模型，將更能精準呈現實際，對本有限元素分析之模型建構雖有其正確性及適用性，其誤差比亦為可接受之範圍內，然對有限元素分析之參數設定，以初始應變代表網線張力，是否將因框之參數未加重新評估而造成不同張力的球拍甜蜜區無太大差異性，將亦是後續研究可深入探查之處。

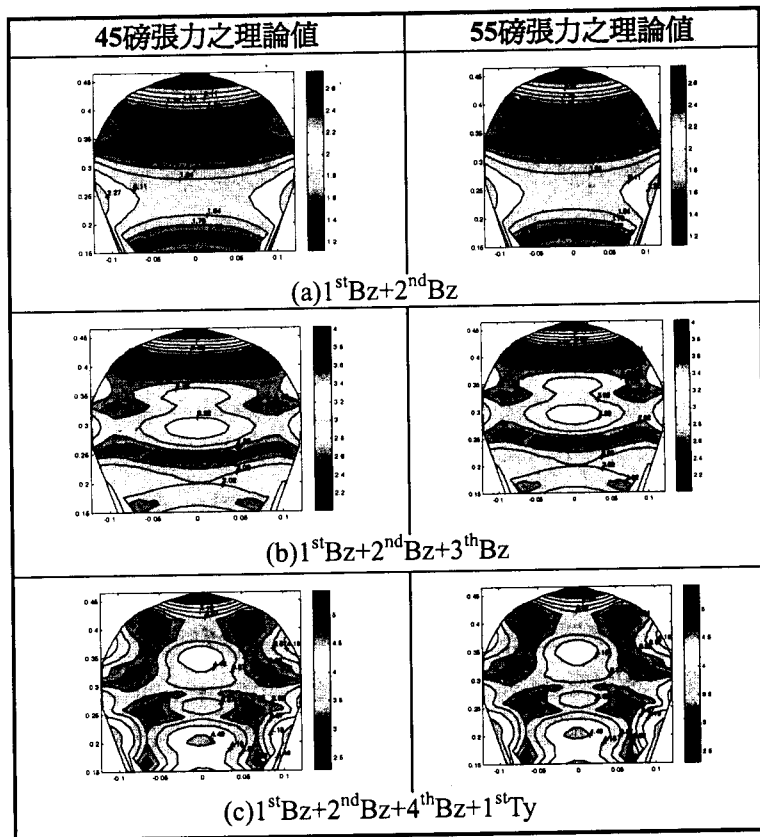


圖3-3、不同網線張力球拍甜蜜區模態疊加示意圖

## 二、不同網線張力之球拍握把能量

### (一) 實驗結果

透過實驗模態方式探討無網線拍框、45 磅網線張力球拍及 55 磅網線球拍之握把能量實驗值，所獲結果列於表 3-1。

分析表 3-1 實驗模態所得數據，無網線球框之握把能量為 4.812，握把末端第一節點所承受之能量最高，達能量總數百分比 38.820%，45 磅網線張力之球拍握把能量為 4.7746，於握把第一節點所承受之能量達能量總數百分比 37.141%，55 磅網線張力之球拍握把能量為 4.3725，於握把末端第一節點所承受之能量總數百分比 35.815%。

表3-1、網球拍實驗模態分析握把能量一覽表

(a) 無網線拍框握把能量實驗值

Mode	節點 1	節點 2	節點 3	節點 4	SUM	百分比
Mode 1(1 <sup>st</sup> Bz)	0.569	0.206	0.0444	0.341	1.1604	24.115
Mode 2(1 <sup>st</sup> Ty)	0.321	0.0236	0.346	0.198	0.8886	18.466
Mode 3(2 <sup>nd</sup> Bz)	0.294	0.113	0.366	0.187	0.96	19.950
Mode 4(3 <sup>th</sup> Bz)	0.684	0.212	0.357	0.55	1.803	37.469
SUM	1.868	0.5546	1.1134	1.276	4.812	100
百分比	38.820	11.525	23.138	26.517	100	

(b) 45磅網線張力握把能量實驗值

Mode	節點 1	節點 2	節點 3	節點 4	SUM	百分比
Mode 1(1 <sup>st</sup> Bz)	0.581	0.19	0.058	0.294	1.123	23.038
Mode 2(1 <sup>st</sup> Ty)	0.0192	0.115	0.089	0.0291	0.2523	5.176
Mode 3(2 <sup>nd</sup> Bz)	0.26	0.0363	0.28	0.402	0.8783	20.069
Mode 4(3 <sup>th</sup> Bz)	0.999	0.238	0.884	0.4	2.521	51.717
SUM	1.7592	0.5793	1.311	1.1251	4.7746	100
百分比	37.141	11.884	26.895	23.081	100	

(c) 55磅網線張力握把能量實驗值

Mode	節點 1	節點 2	節點 3	節點 4	SUM	百分比
Mode 1(1 <sup>st</sup> Bz)	0.573	0.238	0.0554	0.31	1.1764	26.905
Mode 2(1 <sup>st</sup> Ty)	0.047	0.0399	0.207	0.053	0.3469	7.934
Mode 3(2 <sup>nd</sup> Bz)	0.286	0.0392	0.263	0.158	0.7462	17.066
Mode 4(3 <sup>th</sup> Bz)	0.66	0.275	0.584	0.584	2.103	48.096
SUM	1.566	0.5921	1.1094	1.105	4.3725	100
百分比	35.815	13.541	25.372	25.272	100	

(二) 討論

透過有限元素分析及實驗模態分析操作，將球拍拍柄四個節點所獲得之能量製表於表 3-1，自表 3-1 的實驗模態間無網線拍框穿上 45 磅張力時，握把能量自 4.8120 降至 4.7746，降幅為 0.008%，然在穿以 55 磅張力時，握把能量則降低至 4.3725，降幅為 9.133%，較之於 45 磅網線張力降低幅度達 9.125%。相較下，以評估球拍握把處所承受之能量上，55 磅張力之球拍顯然優於 45 磅網線張力之球拍，於握把能量之數據顯現，最高之模態量均為第四模態，並均以握把第一節點所承受之能量最高，就降低握把振動能量之功能，張力大時優於較低之張力。

學者 Baker(1978)、麥吉誠(民 80)研究網線張力對碰撞後球速之影響時，均提出 50 磅網線張力能獲得碰撞後的最大球速之結論；Warren Boswerth (1989)探討職業選手最適之網線張力以 55 磅最受青睞；網球報導雜誌(1991)探討一流男女選手使用網線張力約平均在 60 磅左右。本研究對握拍振動能量之實驗結果，以 55 磅能降低空拍框 9.1% 之效應，顯然解釋了選手選用相近張力之球拍之結果，學者林寶城(1997)對網線張力之研究中亦有相同之論點，在逐漸增加網線張力之下，不僅能有效避免網線自身的曲變傾向，更可使拍框向內擠壓，形同強化球拍之勁度一般，使擊球時減少拍框之反振力，削減更多的振動，亦使傳遞至握把的振動能量隨之降低。

表 3-2、不同張力之球拍握把能量實驗值比較一覽表

模態序	無網線	45 磅		55 磅		
	能量	能量	與無網線 差異比	能量	與無網線 差異比	與 45 磅張力 差異比
Mode1(1 <sup>st</sup> Bz)	1.1604	1.123	-3.223	1.1764	1.379	4.755
Mode2(1 <sup>st</sup> Ty)	0.8886	0.2523	-71.607	0.3469	-60.961	3.330
Mode3(2 <sup>nd</sup> Bz)	0.96	0.9783	1.906	0.7462	-22.271	-23.725
Mode4(3 <sup>th</sup> Bz)	1.803	2.521	39.823	2.103	16.639	-16.581
總 量	4.812	4.7746	0.008	4.3725	-9.133	-9.125

## 肆、結論與建議

### 一、結論

本文透過實驗模態及有限元素等分析方式，對不同張力之球拍進行探討，獲得球拍甜蜜區之範圍位置振型圖及握把能量等數據，以此作為評估球拍品質之依據。本篇將所獲得之結論陳述如下

- (一)透有限元素分析，顯示不同網線張力對網球拍的甜蜜區並未有明顯之影響。
- (二)由實驗模態顯示結果，穿以網線後球拍握把能量將隨之降低，55 磅張力之降低百分比優於 45 磅之張力，證實張力越大時，有降低握把能量之功效。

### 二、建議

網線材質、網線張力及拍框的彈性是影響網球拍擊球效應最大之因素，其不同的組合交互之結果亦將成為影響球拍物理特性之關鍵，因此為探討球拍品質，對各因素都有必要加以研究分析。提出以下幾點建議，供未來後續研究做參考：

- (一)球拍品質定義除本文所提到的甜蜜區之位置與分佈及握把處能量外，對節線位置所代表之意涵應可再深入探討。
- (二)拍面之材質、造型、大小、重心及平衡點均將影響網球拍之擊球效應，應加以分析研究。
- (三)本文均在實驗室進行球拍振動測試，對於實際人體之擊球效應是否有別於實驗結果，應加以後續探討比較。
- (四)對有限元素之模型建構，建議後續研究可應用繪圖軟體(Pro-E)繪出實際尺寸，再轉入有限元素軟體分析，並以立體元素取代樑元素，在條件設定更符合實際結構下，觀察模態角度更為多元下，能獲得更精確之結果，將有助於分析之信度。

## 參考文獻

- 丁麗芬等(2003)：網球拍之模態特性驗證。教練科學，2，29-40。
- 王柏村(1996)：振動學。台北：全華科技圖書公司。
- 王柏村(2002)：實驗模態分析之實務與應用。金頓科技股份有限公司教育訓練教材。
- 石世濱、相子元(1997)：網線材質張力及拍面大小對網球拍彈性恢復數之影響。中華民國體育學報，22，189-200。
- 林寶城(1998)：不同網線張力對網球拍振動模態之影響。第十三屆亞洲運動會運動科學研討會。
- 林寶城(1998)：網球拍面振動特性分析。臺灣師大體育研究，5，67-86。
- 周志柔(1994)：網球拍之力學特性分析。國立成功大學航空太空工程研究所碩士論文。
- 相子元(1997)：網球拍振動之有限元素分析。國立體育學院論叢，7(2)，29-38。
- 相子元(1997)：振動分析—ANSYS在網球拍振動分析上的應用。輔訊最新技術資訊，66-72。
- 徐乾智(1996)：網球拍力學特性之探討。國立台灣大學造船及海洋工程學研究所碩士論文。
- Brody,H (1987) " The sweet spot of tennis racket." Tennis science for tennis .
- Elliott, B (1982). " Influence of tennis racket flexibility and string tension on rebound velocity following a dynamic impact. " The Research Quarterly For Exercise and Sport,53(4) : 277-281.
- Groppe, J.; Shin, I.; Thomas, J & Welk,G (1987) " The effects of string type and tension of impact in midsize and oversized tennis racquets " International Journal of Sport biomechanics, 3(1) : 40- 46.
- Oh,J.E.; Park, H; Lee.Y.Y. & Yum, S.H.(1987)."The Estimation of Modal Parameters Due to the Change of the Change of the Sweet Spot by the Structural Modification of a Tennis Racket " JSME. 30(265), 1121-1128.

# The Influences of String Tension towards Index to Tennis Racket Quality

Li-Fen Ting

Fooyin University

Peo-Cheng Lin

Taipei Physical Education College

Bor-Tsuen Wang

National Pingtung University of Science and Technology

## ABSTRACT

The Purpose of this study was to investigate the influences of string tension of tennis racket on the vibration quality. With the evaluation index of sweet-spot-area distribution and grip vibration energy, to test the quality of Wilson high-fiber racket in the conditions of non-string, 45-pound, and 55 pound.

The Mode surperposition of Finite element method (FEM) software (ANSYS 5.5) was used for the sweet-spot-area distribution. The free-free border was set to obtain modal shape. Furthermore, with experiment model analysis, hammer as actuator, and accelerometers as sensor, the attack experiment was treated. By ME'Scope to obtain the move of grip node, the vibration energy would be calculated. After evaluating on racket's vibration quality, the study comes to the following conclusions:

1. The size of string tension is not directly related to the range and position of sweet-spot-area
2. 45-pound & 55-pound string could decrease the vibration energy of grip; especially 55-pound was superior to 45-pound.

**Key words: String Tension, Finite Element Method (FEM), Experimental Model Analysis, Sweet Spot Area, Grip Position Vibration Energy**