

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15

論文題目：不同線徑網球線之機械特性探討

The physical properties of the tennis strings with different diameters

詹一民¹、張家銘²、林秀真²

Yi-Min Jan¹, Chia-Ming Chang², Hsiu-Chen Lin²

研究單位：¹中國醫藥大學 通識教育中心

¹Department of General Education, China Medical University

²中國醫藥大學 物理治療學系

²Department of Physical Therapy, China Medical University

欄外標題：不同線徑網球線之機械特性探討

通訊作者：林秀真

電子郵件：hclin@mail.cmu.edu.tw

地址：台中市 404 學士路 91 號 中國醫藥大學物理治療學系

電話：04-22053366 分機 7303 傳真號碼：04-22065051

摘要

目的：本研究的目的主要是要探討不同線徑大小之合成網球拍網線的材料特性。以市售網線線徑大小為 15 至 18 gauge 等四種的有心線，實心線，無心線等不同結構設計的網線，探討勁度及最大位移量等機械特性隨線徑大小改變的差異性。**方法：**實驗藉由萬能材料試驗機將各種網球線分別做拉力測試至拉斷網線，記錄其受力強度與延展性，並計算網線在一般建議穿網線的特定拉力下的勁度，進一步以統計分析加以比較。**結果：**延展性的表現上，有心線整體表現最佳，而大線徑之實心線最差。三種常見網線種類在不同線徑之強度-位移曲線的表現則十分相似，除了線徑最大的實心線表現與其他線徑相較下有較明顯的差異。在勁度表現上，隨著線徑增加，網線的勁度也隨之增加，並且在不同線徑大小之間有顯著差異。除了 1.20mm 的無心線在勁度表現上，趨近於 1.35mm 的無心線。**結論：**三種常用網線的機械特性測試顯示，當考慮擊球之控球與穩定性，有心線中等線徑（1.25mm 與 1.30mm）表現較理想。無心線的機械特性整體表現較佳，尤其是細線徑。然而細線徑的實心線擊球穩定性表現可能稍差，建議選用 1.30mm 線徑網線為佳。在選手或網球運動者選擇網球拍網線時，本研究之結果可做為參考或推薦，以維持擊球時的穩定性及增加操控性及運動表現。

關鍵詞：網球線、網線線徑、勁度、延展性

Abstract

Purpose: Monofilament, polyester, and multifilament are the common types of tennis string. In the current study, we intended to discuss the mechanical properties with different string diameters, 15L gauge (1.35mm), 16 gauge (1.30mm), 17 gauge (1.25mm), and 18 gauge (1.20mm), in those strings. **Method:** The experiments were performed in a laboratory with controlled temperature and humidity. We used the universal testing machine to obtain the tensile load-displacement curve for all strings. The stiffness at 22.7kg, 25kg, 27.3kg, and 29.6kg in the load-displacement curve were calculated, and the nonparametric test was used to compare the differences between different string diameters. **Result:** The monofilament showed the highest ductility, and the polyester with diameter of 1.30mm showed less ductility. For the same type of strings, different diameters would preserve similar characteristics of the load-displacement curve, except for the polyester. In general, as the diameter of the string increased, the stiffness would also increase. The statistically significant differences in stiffness were found among different diameters of the same type of the strings. One exception was found for the multifilament, the string with 1.20mm diameter showed similar stiffness with the diameter of 1.35mm. **Conclusion:** The results of this study can be a reference for the novice or expert players in choosing suitable string. And it also can provide the information about properties with different string diameter for optimal exercise performance.

Keywords : Tennis string, diameter, stiffness, ductility

壹、緒論

一、文獻探討

隨著科技的進步，網球運動也逐漸邁向科學化。除了網球專業技術訓練水準的提昇外，更重要的是網球運動工具的科學化。藉著上述網球科學化，強力網球也因此而生。過去網球運動器材的發展著重於網球拍的革新與研發，從早期的木板拍、木質拍、金屬拍到近期的合成纖維球拍，目的都是為了讓運動表現更好、更完美。過去因為木質或金屬製的網球拍剛性、彈性及恆定性都不如現在的合成纖維網球拍，因此能承受的網線拉力也相對較弱。由於現行強力網球發展及網球拍的整體力學性質提升，相對的網球線也必須承受較大的力量。過去許多研究都指出網線磅數的高低對於網球擊球的球速及操控性都有著相當大的影響 (Cross, 2000; 林寶城, 1993)。隨著科學進步，網球線的材料與其力學性質也有大幅的進展。而網線的材質與網線的張力，都是影響擊球的重要因素 (連玉輝等人, 2008)。也因此，隨著市面上的網球線種類增加，網球線選擇也愈加受到選手及網球運動者的重視。由於最直接與網球接觸的不是網球拍，而是球拍上的網線，因此如何選用操控性好、穩定性及強度佳的網球線就成為很重要的話題。

依照網球線的結構設計的不同，大致可以分為有心線、無心線、實心線、克維拉纖維線以及羊腸線等五種網球線。Dusek (2000) 在對於網球拍網線的研究中提出，網線除了有分結構材料的不同外還有線徑大小的差異性，而不同網球線線徑則會對於網球線強度有所影響，隨線徑變小其強度也會隨著之變小。一般市面上常被使用的線徑為 15 (1.35mm) gauge、16 (1.30mm) gauge 到 17 (1.25mm) gauge。此外，也有不少廠商為因應特殊需求而發展 18 gauge (1.20mm) 的網線。Dusek (1999) 在對於網球線的特性研究中提到，較細的網線比起較粗的網線在擊球時可以回擊出較大的旋轉，並有較佳的操控性及可以更有效率的擊球。而較高的網線網壓在擊球時網線的移動較少，因此所產生的彈簧床效應較低，回擊球的準確性也較高。現在網線設計主要著重於三個方向，操控性 (playability)、耐用性 (durability) 以及全面性 (overall) 的表現。許樹淵等人 (2000) 及 Brody (2002) 的研究中指出，較細的網球拍網線具有較大的擊球彈性，而網線的穿線方式也會影響網球拍網線的張力與網壓。網線的截面積大小影響網球擊球時的表現主要是由於網線線徑越小者，在擊球時可以產生較佳的反彈球速及振動效應。當然，不同材質及結構的網球線特性也有很大的關係 (林寶城, 1996)。

Brody (1987) 的研究指出，網球於固定高度落於地面的反彈高度為原高度的 55%，而落於球拍上的反彈高度則為原高度的 80%，顯示網球線的彈性表現對於網球擊球時所產生的回擊力量和速度是相當重要的。蘇榮立 (1995) 及 Baker 與 Wilson (1978) 在對於網球器材的研究中指出，球拍穿線的網壓大小、網線的結構種類以及球拍框的彈性等因素，會影響擊球的操控性。擊球過程中，球與網線接觸的時間約為千分之四到六秒，網線網壓愈低，球與拍面的接觸時間增加，而

1 擊球的誤差也隨之增大（石翔至等人，2006）。石世濱與相子元（1997）的研究
2 結果也顯示，不同材料及結構所製成的網線，網線的彈性恢復係數（coefficient of
3 restitution, COR）也不同。一般認為無心線的彈性優於有心線，因為無心線的材
4 質具有較好的延展性及較高的恢復係數，可產生較佳的彈性和彈簧床效應，因而
5 增加回擊球的速度（詹一民等人，2007）。網線網壓的大小對於擊球時的回擊球
6 速及控球性則也有很大的相關性。網線網壓越高者，其控球性也越佳；相對的網
7 線網壓較低者，控球性則較差，但卻有較大的回擊球速（Bower & Cross, 2003）。

8 Cross, Lindsey 與 Andruczyk (2000) 的實驗指出，網球線特性的測試中，網
9 線的退磅率、延展性、網線勁度、彈性退化及網球線的恢復係數為其主要測試參
10 數，因為網線的這五項參數對擊球品質有很大的影響。Cross 與 Bower (2001) 則
11 指出影響網線退磅的四個主要原因，包括網線受力後彈性疲乏、球拍拍框形變、
12 網線直線與橫線的摩擦及網球線與球拍線孔的摩擦。丁麗芬等人（2003）、林寶
13 城（1998）在探討網線張力特性時也提出，網線網壓高低會影響擊球時的穩定度。
14 回顧過去文獻發現球拍網壓對網球選手擊球有相當的重要性，網壓張力的改變會
15 直接或間接的影響擊球時的彈性，使擊球產生變化，進而影響控球能力和回擊速
16 度（Bower & Sinclair, 1999; Cross, 2000; Groppe, Shin, Thomas & Welk, 1987;
17 Knudson, 1997）。張思敏（1999）指出一般人選購網線時是以好控球為第一要件，
18 其次才考量退磅的情形。然而多數選手對於網線與網球拍的機械特性瞭解並不夠
19 充分，對網壓退磅的自覺也不夠敏感。美國穿線人協會（U.S. Racket Stringers
20 Association）的報告指出，有心線比無心線更能維持原有的磅數，但相對的，對
21 於擊球的感覺會較差，而實心線在穿完線後會產生很快的退磅情形。而球拍上網
22 線剛性的大小，也會影響回擊時的速度與穩定性，剛性大的網線回擊球能量被移
23 轉的較少，可有較大的回擊速度（Cross, 2000）。網線粗細會影響球之反彈性與擊
24 球靈敏度，截面較小之網線有較佳之彈性、敏感度與力道，截面較大之網線則較
25 不易斷線，且能承受較高之磅數（丁麗芬與周中明，2001）。連玉輝等人（2009）
26 針對全方位強勢網球模式之補強的研究中指出，發展強勢網球的外在因素中，網
27 球的器材設備是一個很重要的因素。目前運動科學一直在進步，特別是在運動材
28 料學上，因此網球線的選擇也相對增多。發展並了解新的網線，除了可以減少運
29 動傷害的產生外，更可以提升網球運動者的技術（蕭美珠 2005）。本研究希望利
30 用科學儀器測試分析不同線徑網線的差異性，提供給從事網球運動者使用網線之
31 建議及參考，讓使用者能夠了解不同網線之特性，藉由利用不同網線特性來增加
32 擊球時的穩定性、強度及變化並增進其運動表現。

33 二、 研究目的

34 本研究希望能透過對網線立即性機械特性的深入探討，以達了解不同線徑的
35 網線在擊球瞬間對於回擊球所造成不同的力量產生與操控性之目的。因此實驗設
36 計為相同的網線在相同的拉力狀況下，不同網線線徑的網線強度、勁度、其勁度
37 變化及最大位移量的差異性。

貳、方法

一、實驗儀器及材料

本研究為探討不同線徑網球線的特性，在溫度溼度條件相同下的實驗室內，利用萬能材料測試機進行網線拉力實驗。所使用的儀器與材料如下：

(一) 網線：本實驗針對市售常見之三種不同結構之網線：

1. 無心線：其結構設計為成百上千的微纖維所構成的多絲型 (multifilament) 網線，如 Wilson 之 Sensation 網球線。
2. 有心線：其結構設計是由一條較大的中心線 (core) 為軸，再用許多較細的纖維包覆編織而成之單絲型 (monofilament) 網線，如 Wilson 之 Performance 或 Stamina 網球線。
3. 實心線：其結構設計為單一條聚酯纖維 (polyester) 所構成，質地較硬，所以也常被稱為硬線，如 Zons Polymo tour 網球線。

上列網線再選用常被使用的四種線徑大小：1.20mm、1.25mm、1.30mm 及 1.35mm，分別進行不同網線之拉力測試。但由於實心線為單一聚酯纖維材料，性質較硬，過粗的網線會造成穿線上的困難及勁度過高的現象，所以並無 1.35mm 的設計，故只比較 1.20mm、1.25mm 及 1.30mm 線徑之實心線。

(二) 萬能材料測試機 (Shimadzu 廠牌 AG-1 型)：用以收取網線在不同力量拉力下所產生的強度-應變曲線 (load-strain curve) 及最大承受拉力強度。

(三) 網線專用量尺：精確度達 0.001mm，用以測量網線的直徑以確定網線線徑。

(四) 網線專用氣壓式夾線器：網球線是以化學纖維組成，為避免網線因受力產生滑動造成鬆脫或是因打結而形成斷裂點，因此採用特製的氣壓夾線器，用以將網線的兩端給固定住。

二、實驗過程

本實驗的過程是利用萬能材料測試機結合上述之專用氣壓夾具，在網線工廠專業實驗室的標準環境下 (室溫 23 度 C，溼度 65%)，分別測試不同線徑的三種網球線。本實驗所使用之網線來自於國內兩家通過標準檢驗的製造廠商，所有線材均於出廠一週內完成測試。測試開始前，先剪裁適合長度的網線，以專用量尺於測試網線上下各選一點確定其線徑大小符合 (容許誤差範圍為 $\pm 0.005\text{mm}$) 後放入氣壓夾具中以 100 公斤重的力量固定住 (圖 1)。以市售球拍為例，其支撐網球的區域 (stringbed) 的直線長度約為 25 ± 5 公分，因此本實驗設定起始氣壓夾具之兩端距離為 25 公分，測試時由萬能材料測試機以速度為 250 mm/min 的控制的方式，逐漸增加夾具間的距離直到網線被拉斷，過程中並以 6.67 點/秒的取樣速率記錄網線的應變與受力大小變化。每種網線均重複測試五次。



1 (A) (B)
2 圖 1：實驗儀器 (A) 萬能材料測試機；(B) 氣壓式夾線器。
3

4 三、資料分析

5 本實驗的測定器測試結果報告中，除特定力量點會有數值呈現外，其所測得
6 之測試資料並也被連續繪出成強度-應變曲線。為能有更完整的數據呈現，且使
7 各曲線間能夠相互比較及平均，原始應變資料先被轉換成位移量而形成強度-位
8 移曲線，再使用迴歸方程式來重現測試結果，並發現四次多項式最能呈現原始資
9 料特性，因此採用四次多項式對每條曲線分別進行迴歸。同一網線五次測試數據
10 經內插平均後得出該網線的特徵曲線，再將此特徵曲線進行一次微分，計算出其
11 勁度 (stiffness)，並擷取受力為 22.7kg、25kg、27.3kg 及 29.6kg (50 磅，55 磅，
12 60 磅，65 磅)時，也就是一般常用之穿線壓力下的網線勁度。統計分析部份，則
13 利用 SPSS 統計軟體 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA)進行Friedman 無母數分析法以
14 比較各網線不同線徑大小在特定受力下勁度之差異，顯著水準設在 $p < 0.05$ 。
15

16 參、結果

17 本實驗是針對不同線徑的三種網球線來做力學分析，以探討線徑大小對網球
18 線物理特性的影響，三種網線各種線徑測試結果經迴歸分析後所得之平均強度-
19 位移曲線分別繪於圖 2，而網線受力至網球拍穿線常用之四種網壓下的平均勁度
20 比較則如圖 3 所示，統計分析結果顯示各線徑之間均達顯著差異 ($p < 0.05$)。以下
21 分別就三種網線之材料機械特性做分析比較。
22

1 一、有心線：

2 從圖 2(A) 的強度-位移曲線圖可以發現，有心線四種不同線徑大小的網球線
3 在受力位移所呈現的曲線外型變化並不大，顯示出此種線的特性在不同線徑大小
4 下能維持一定的趨勢性。而在網線的最大強度，也就是斷裂點 (broken point)，
5 的表現上，線徑愈大者，其所能承受的力量也最大。在一般常被使用的穿線磅數
6 範圍內勁度表現 (圖 3(A)) 發現網線線徑越大，其勁度也越大。隨著受力增加，
7 線徑 1.25mm 及 1.30mm 的有心線呈現相似的上升比例。而線徑 1.35mm 的網線
8 則是有較大的增加趨勢，反之，線徑最小的 1.20mm 則呈現極小幅度的上升。
9

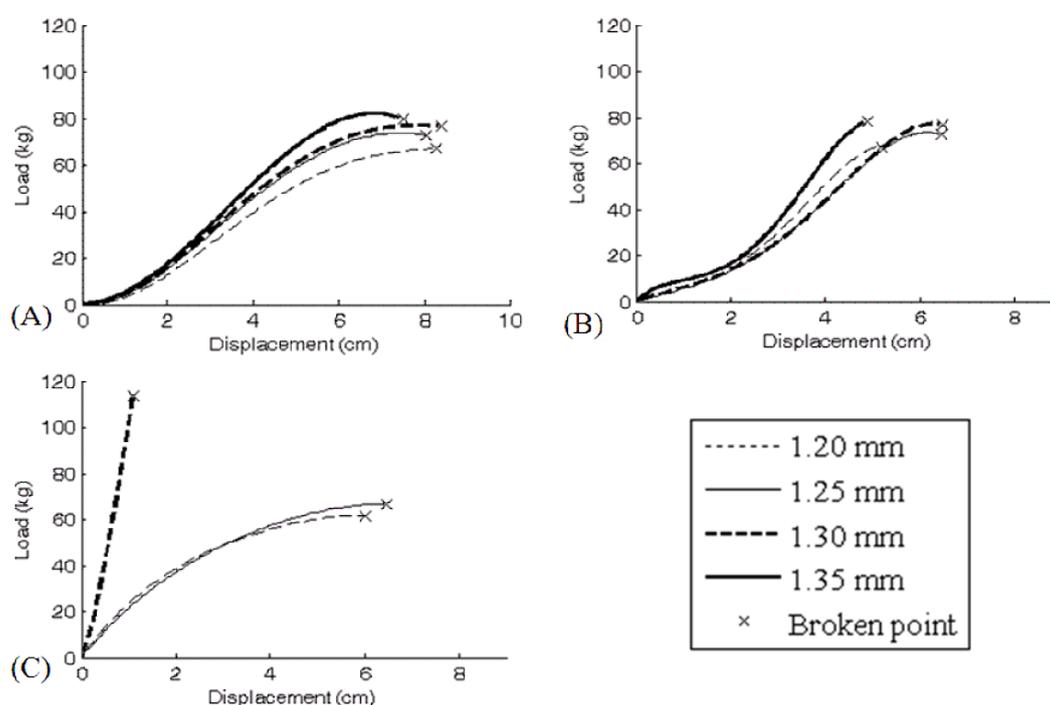


圖 2：強度-位移曲線 (A)有心線；(B)無心線；(C)實心線。

10

11 二、無心線：

12 無心線的強度-位移曲線呈現與有心線相似的曲線，但在最大位移量上明顯
13 較有心線小，如圖 2(B)。不同線徑的最大位移量方面，與有心線最大的不同點是，
14 有心線的最大線徑最大位移量最小，而無心線的最小線徑卻與最大線徑均有較小
15 的最大位移量。在特定網壓下的勁度比較上，見圖 3(B)，1.20mm 線徑之無心線
16 表現出較 1.25mm 及 1.30mm 線徑之無心線高的勁度。除此之外，除了線徑為
17 1.35mm 的無心線呈現出較快速上升之趨勢之外，其餘三種線徑均呈現相似的上升
18 趨勢。
19

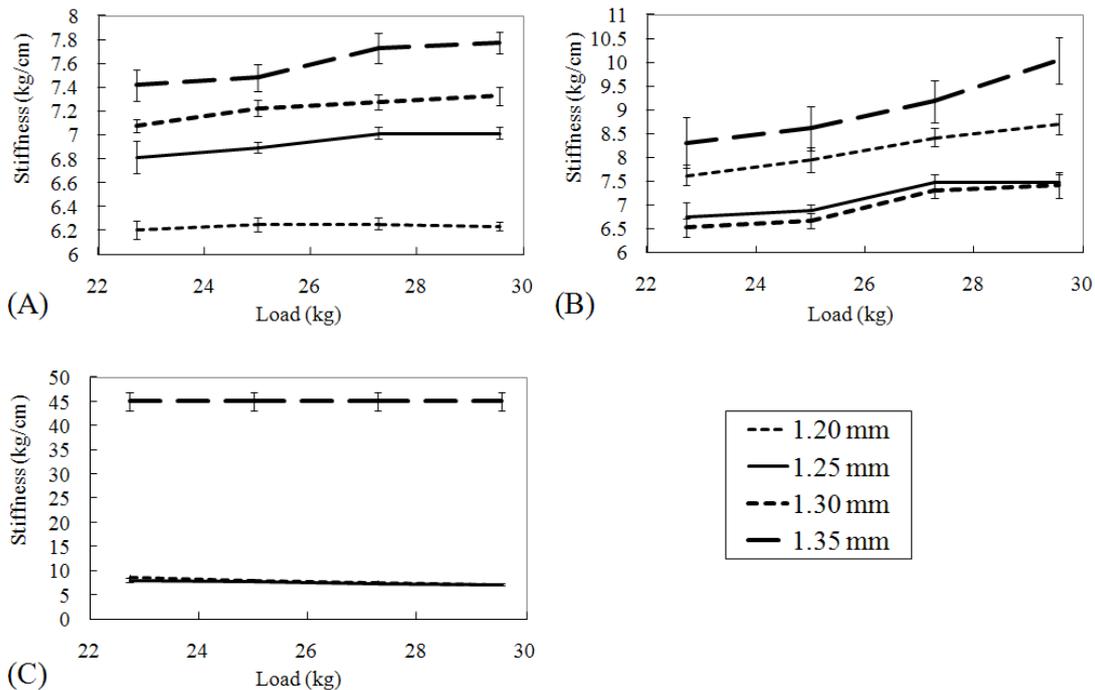


圖 3: 網線受力為網球拍穿線常用之四種網壓時的平均勁度表現 (A)有心線; (B)無心線; (C)實心線。

1

2 三、實心線：

3 聚酯樹脂 (polyester) 纖維屬熱塑型材料，材質剛性較強，從圖 2(C) 可以看
 4 出這種的網線在不同線徑時最大位移量上的差異性。1.30mm 線徑之實心線，表
 5 現出極低的延展性，僅有少於 1 公分的位移量（約 5% 應變），並伴隨有極高的
 6 最大斷裂強度，約為其他網線的 1.8 倍。而另外兩種較細線徑的實心線則具有與
 7 有心線相似的延展性，但卻呈現不同的強度-位移曲線特性。從特定網壓下的勁
 8 度比較（圖 3(C)）可以看到 1.30mm 線徑的實心線在勁度上與其它線徑有明顯差
 9 異，1.30mm 的實心線有極高的勁度，而 1.20mm 及 1.25mm 的勁度則與其他網
 10 線雷同。隨受力的上升，1.30mm 的實心線與有心線、無心線有著相同的趨勢，
 11 隨力量上升而勁度上升，而 1.20mm 及 1.25mm 的實心線則是隨力量上升，其勁
 12 度反而有下降趨勢。

13

14 肆、討論

15 本研究主要是為了了解三種常見網線在相同拉力的作用下，不同網線線徑大
 16 小的網線強度、勁度、其勁度變化及最大位移量的差異性，以作為網球選手及網
 17 球運動者在對於網球線選用的參考。

18 一、強度-位移曲線

19 根據強度-位移曲線及特定受力下之勁度比較的結果發現，有心線與無心線

1 呈現相似的力學特性表現，在受力 20 公斤之前有較小的勁度，而 20 公斤後其位
2 移量快速的上昇直到斷裂前（圖 2）。兩種線的差異主要在於最大位移量，有心
3 線有較大的最大位移量。但 1.20mm 的無心線在勁度與最大位移量的表現上，卻
4 與 1.35mm 的無心線十分類似。由於無心線的製造過程較其他網線複雜，而且成
5 本也較高。網線製造商為了讓小線徑的網線有更佳的使用表現，且必須讓網線的
6 使用壽命增長，所以會在設計上稍做變化。而廠商改變網線的設計，主要會在網
7 線的結構上或是製程上做些許的調整，例如在網線合成時溶劑濃度比例的改變，
8 以增加小線徑網線的強度等，特別是在材料成本較高的無心線。而在實心線方
9 面，可分為兩組來看，一為線徑 1.30mm，一為線徑 1.20mm 及 1.25mm。在較粗
10 線徑組，其勁度較有心線、無心線及較細之實心線高，且延展性較低。但在不同
11 受力情況下的勁度表現則與另外兩種網線趨勢一致，隨受力上升而勁度增加。然
12 而線徑較小的實心線則表現出完全不同的勁度趨勢，在低受力狀況下即有較高的
13 勁度，而隨著受力增加，其勁度也隨之下降。所有網線的勁度表現均顯示出極小
14 的標準差（變異性），顯示網線的力學特性表現相當穩定。因此有利於將本研究
15 的結果推廣應用於了解一般市售網線特性，並因應個人擊球特性選擇適合的網
16 線。過去選擇網球線的方式大都是經由球友或是網球用品店介紹而使用，但卻不
17 一定是最適合的網線，且每個人習慣的網壓以及球路上的差異，選擇適合自己的
18 網線是非常重要的（連玉輝等人，2008）。好打的網線卻使用壽命不長，若其單
19 價又過高時，對於一般從事網球的人來說，不是最佳的選擇。因此了解網球結構
20 及其特性對於經常從事網球運動的人來說，是很重要的。

21 二、特定張力下之勁度表現

22 目前最常被使用的網線線徑還是以 1.25mm、1.30mm 和 1.35mm 最普遍。在
23 比較有心線、無心線及實心線等三種網線，線徑較大的網線都具有較大的勁度。
24 從圖 3 中可以發現，有心線和無心線的勁度雖然相近，但無心線的勁度比有心線
25 稍高，尤其是在線徑較大的狀況下，這也就是代表著無心線在受力時所產生的位
26 移量是較小的，網線的穩定性也較好。在 1.30mm 實心線的勁度以及強度-位移
27 曲線上，極小的位移量與極強的勁度說明此一種線的硬度相當高，對於避免過多
28 的彈簧床效應以增加控球準確性有很正面的效果，但是同時其回擊時的龐大震動
29 則須由其他結構或擊球者的上肢吸收或提供緩衝。在 2009 年的世界職業網球排
30 名前 20 名的選手，男子選手有 70% 女子選手有 40% 是在使用實心線，因為實心
31 線的特性可以回擊出較紮實和強勁的球；但也有不少選手因為怕受傷或是曾經受
32 傷過，而擔心有心線在擊球時所產生的較硬及較大負荷特性造成手部的運動傷
33 害，所以也選擇使用擊球較舒適的無心線（Gray, 2010）。

34 本研究的結果發現不同線徑大小及不同種類的網球線在經過拉力測試所呈
35 現不同的特性。這些特性可以提供網球愛好者在選擇網線上的建議。在相同球拍
36 上穿上不同的線，線徑小的網線可以打出較多的旋轉與變化，但是容易斷裂；而
37 較粗的網線可以獲得較佳的控球，但卻不及較細網線的咬球與變化（Dusek,

1 1999)。因此，有些高單價的網球線在較細的設計時，會利用網線溶劑合成濃度
2 的變化來改變網線的強度，特別是恢復係數較高的無心線，1.20mm 的無心線，
3 因線徑較小很容易造成斷裂，所以為了增加其使用壽命，會利用溶劑合成濃度來
4 增加其網線的強度。在有心線的網線測試中，四種不同線徑網線的強度是依大小
5 而呈現規律變化，線徑越大者強度愈高；反之線徑越細者強度愈差。但這種線是
6 屬於成本最低的線，在使用的經濟效益上還算可以接受。

7 在選擇網球拍網線時，還必須要考量到使用者的肌力與肌耐力，正確的選用
8 適合的網線可以增加運動表現，若選用不適合的網線除了會造成無法充分發揮
9 外，也可能會因而造成運動傷害的發生。特別是職業型的網球選手，在比賽前都
10 會重穿網線並確認網球拍上的網壓是否相同，以避免影響表現 (Cross 與
11 Bower, 2001)。林寶城 (1996) 的研究結果指出網球拍的拍線數設計也是選用
12 網球線時很重要的因素之一，因為網線密度較高的網球拍應可以選用較細的網
13 線，過粗的網線穿著於密度高的網拍上時會因線與線的孔徑變小而影響成擊球時
14 的咬球及控球性，這些都是選用網線必須考量的重要因素。連玉輝 (2009) 對全
15 方位強勢網球 (Complete Power Tennis) 模式之補強的研究提出，許多選手為維
16 持擊球需求並節省購線成本，會選擇不易斷控球性佳的網線來維持擊球水準。
17 Cross (2001) 指出網拍網壓的變化對於選手來說，是很敏感的也很重要的，穩定
18 性佳的網線可以讓選手保持較佳的表現水平。林寶城 (1996) 也提出在不考慮經
19 濟層面時，較細的網線會有較佳的擊球反應，但使用壽命及強度較差。這些研究
20 都提到網線的重要性，在不考慮價格的情況下，多數國內網球運動員選擇網線的
21 順序是以控制性、旋轉 (咬球) 及反彈速度，而多方面的了解與嘗試方能找到最
22 適合個人使用的網球線 (張思敏 1999)。近年來實心線也被職業及專業網球運
23 動員高度的使用，而國內不少網球運動員也隨著這股潮流使用實心線。本研究利
24 用科學儀器來分析不同線徑大小網線的特性，研究結果將可提供專業或是進階的
25 網球運動員參考，讓網球運動者可以更了解自己目前使用的網線特性，或是可以
26 依照不同的打法與需求來選擇更適合自己的網線或網壓，以增加更好的運動表現
27 及避免運動傷害的發生。

28 三、建議

29 本研究利用專業的儀器及科學的方法分析不同線徑網線的機械特性，讓參與
30 網球運動者可以更容易瞭解那一種網線最適合自己使用，是否須要更改使用不同
31 線徑大小的網線來增加運動表現，或是在更換不同結構網線時考慮調整網線之線
32 徑。實驗結果與討論提出下列網球線選擇之建議：

33 (一) 使用有心線時，由於最粗的網線最大位移量較小，勁度較高不易咬球來打出
34 更多的變化，而最細的 1.20mm 網線在勁度較差容易影響控球，因此 1.25mm
35 與 1.30mm 是較好的選擇。這種有心線製造成本及售價較低，也是一般愛好
36 網球運動者最經濟實惠的選擇。

37 (二) 使用無心線時，細的無心線應是好打的第一選擇，因為 1.20mm 的網線不僅

1 具有細網線好的擊球彈性及咬球，其勁度也高於 1.25mm 及 1.30mm，所以是
2 最佳的選擇，但唯一的缺點是因為線徑較細，很容易因網線表面磨損而斷線，
3 而且其單價高於其他兩種網線，對於網球愛好者有較高的經濟負擔，所以在
4 使用細線徑的無心線時，所承受的經濟成本會較高。

5 (三) 在使用實心線上，由於實心線的聚脂樹脂纖維材質塑型較佳的特性，在
6 1.30mm 的實心線特性比較細的線穩定，較細的 1.20mm 及 1.25mm 的實心線
7 其斷裂強度低，且勁度隨受力上升而降低，使得在擊球時容易產生不穩定的
8 現象，而影響擊球的穩定性與表現。隨著強力網球的發展，近年來使用實心
9 線的選手有增加的趨勢，但不建議初學者或是肌力不佳的網球運動者使用較
10 粗的實心線，因為其特性在擊球時會產生較大的負荷而造成運動傷害的發生。

11 (四) 在未來網線的發展及設計上，應該利用更先進的運動科學與材料技術，研究
12 開發讓網球線的穩定性、操控性、耐用性更佳，讓網球運動者可以增加運動
13 表現。特別是線徑較小網線的耐用性，是未來運動材料科學發展的重要目標，
14 讓網球運動員的發揮及表現可以更加完美。

15 致 謝

16 本研究感謝彰晟工業股份有限公司及耀蒂企業有限公司提供測試器材，以及中國
17 醫藥大學專題研究計劃之經費補助（計劃編號：CMU 96-170）。

19 引用文獻

20 丁麗芬、周中明（2001）。新型網球對球拍碰撞之動力學分析。北體學報，9，
21 219-234。

22 丁麗芬、林寶城、王柏村（2003）。網線張力對網球拍品質指標之影響。北體
23 學報，11，29-40。

24 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係數之
25 影響。體育學報，22，189-200。

26 石翔至、蘇榮立、李秀華（2006）。球拍勁度與網線張力對網球拍恢復係數之
27 影響。南亞學報，26，295-303。

28 林寶城（1993）。網球拍勁度對擊球時所產生的動力學振動響應。國立政治大
29 學學報，66，145-202。

30 林寶城（1996）。不同網球拍拍線截面對擊球時所產生之動力效應。體育學報，
31 21，137-150。

32 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。

33 張思敏（1999）。大專男子網球選手對球拍線之認知與使用變化之自覺量表分
34 析之研究。大專體育，46，57-64。

35 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：
36 中華民國網球協會。

- 1 連玉輝、黃國恩、郭繼華、康正男、王傑賢 (2008)。網球拍及網線的結構特
2 性之分析。 *中華體育季刊*, 22(3), 106-113。
- 3 連玉輝 (2009)。全方位強勢網球(Complete Power Tennis)模式之補強。 *運動教
4 練科學*, 13, 1-31。
- 5 詹一民、張家銘、林秀真 (2007)。市售不同結構網線受力機械特性之探討。
6 *體育學報*, 40(4), 23-36。
- 7 蘇榮立 (1995)。不同勁度網球拍對恢復係數之影響。 *體育學報*, 11, 261-267。
- 8 蕭美珠 (2005)。不同張力網球拍擊球之動力響應分析。 *北體學報*, 13, 139-149。
- 9 Baker, J., & Wilson, B. (1978). The effect of tennis racket stiffness and string
10 tension on ball velocity after impact. *Research Quarterly for Exercise & Sport*,
11 49(3), 255-259.
- 12 Bower, R., & Cross, R. (2003). Player sensitivity to changes in string tension in a
13 tennis racket. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 6(1), 120-131.
- 14 Bower, R., & Sinclair, P. (1999). Tennis racket stiffness and string tension effect
15 on rebound velocity and angle for an oblique impact. *Journal of Human
16 Movement Studies*, 37, 271-286.
- 17 Brody, H. (1987). Model of tennis racket impact. *International Journal of Sport
18 Biomechanics*, 5(4), 451-456.
- 19 Brody, H. (2002). The tennis racquets. In P. Renstrom (Ed.), *Tennis: Olympic
20 Handbook of Sports Medicine* (pp. 29-38): Wiley-Blackwell.
- 21 Cross, R. (2000). Flexible beam analysis of the effects of string tension and frame
22 stiffness on racket performance. *Sports Engineering*, 3, 111-122.
- 23 Cross, R., & Bower, R. (2001). Measurement of string tension in tennis racket.
24 *Sports Engineering*, 4, 165-175.
- 25 Cross, R., Lindsey, C., & Andruczyk, D. (2000). Laboratory testing of tennis
26 strings. *Sports Engineering*, 3, 219-230.
- 27 Dusek, D. (1999). Strings fever. *Tennis Magazine*, Apr, 64-66.
- 28 Dusek, D. (2000). Strings attached. *Tennis Magazine*, Apr, 53-55.
- 29 Gray, B. (2010). The pros' biggest secret. *Tennis Magazine*, Jan/Feb, 44-45.
- 30 Groppe, J. L., Shin, I. S., Thomas, J. A., & Welk, G. J. (1987). The effect of string
31 type and tension on impact in mid-sized and oversized tennis racket.
32 *International Journal of Sports Biomechanics*, 3, 40-46.
- 33 Knudson, D. (1997). The effect of string tension on rebound accuracy in tennis
34 impacts. *International Sports Journal*, 1, 108-112.