



軟式網球線粗糙度對球拍特性影響-前導實驗

¹廖英宏 ²方同賢 ¹劉強

¹台北市立體育學院 運動器材科技研究所 ²台北市立體育學院 球類運動學系

投稿日:2010/11/18; 審查通過:2011/07/11

摘要

前言:本研究目的在於探討改變軟式網球線表面粗糙度對球線摩擦力、球撞擊球拍後震動響應、球速、轉數之影響。**方法:**實驗區分為材料及人體測試兩階段,第一階段先使用氧化鋁砂布 No150#摩擦球拍甜區,以改變表面粗糙度,再利用白光干涉儀器測試球線表面粗糙度差異,並在球拍裝置 Biopac 三軸加速規後固定於夾鉗鈗器,球體由 100 公分處以自由落體落下於拍面甜區,以測得震動響應;第二階段為實際揮拍擊球,受試對象為台北體院軟式網球隊 3 名優秀選手,分別以未改變及以改變表面粗糙度之球拍,揮擊上旋球、平擊球及下旋球,利用 Mega 高速攝影機(1000Hz)分析球速及轉速。統計方法因樣本數量較少而採用敘述性統計。**結果:**未改變與已改變球線表面粗糙度之球線數值分別為 3.12 ± 0.37 微米、 6.81 ± 2.50 微米,震動響應減少 14.59 伏特,上旋球球速減少 60%、平擊球減少 33%、下旋球減少 15%,上旋球轉數增加 50%、平擊球增加 34%,下旋球增加 34%。**結論:**改變球線表面粗糙度後,會使球線表面粗糙度增加、震動響應減少、球速減低,球轉數增加等現象,因此軟網選手可利用此方法達到運動生物力學優勢。

關鍵詞: 球線、摩擦、震動響應、揮拍運動

壹、緒論

軟式網球(Soft Tennis)是一種揮擊運動,主要是透過揮擊球拍使球線與球體撞擊,將球擊至目標處,若要使球體有不同角度變化,則是需要搭配不同發球方法。劉俊概(2006)指出,軟網常見發球方法有高壓式、輕削式、反轉式及低切式四種,這四種發球方式會因摩擦力作用、接觸時間及球體旋轉因素,而會影響碰撞地面後之反射角,其中更以低切式發球法反射角與偏移角最大。在各種發球方式可以發現,不外乎就是改變球拍面角度使球線與球體產生摩擦,讓球體有著不同方向的旋轉,如前旋轉、後旋轉及無旋轉等,翁梓林(1992)研究中,認為後旋轉球,球接觸地面時,摩擦力會使球的旋轉及速度改變,如果質心速度大於周邊速度時摩擦力的作用會使角速度增加。在無旋轉球接觸地面時,因摩擦力大於旋轉的角速度的增加量會越多,反彈速度會增加很多。影響擊

球因素不僅發球方式, Baker and Wilson(1978)研究指出,網球拍框彈性、網球線張力及網球線材質種類都會影響擊球結果。網球拍材料由於科技進步,從早期木製一體成形至今已發展為高張力碳纖維(石翔至、許天路、相子元,2002)。謝麗娟(2002)研究中使用兩種不同品牌、同材質球拍進行甜點碰撞實驗,發現 Yonex Ultimum Ti 50 鈦合金網球拍在振動響應上明顯小於 Head Ti Radical 鈦合金網球拍。揮擊過程中,是否擊中甜區對於球拍有著不同震動響應結果, Brody(1981)與楊忠祥(1990)指出,球拍有三個甜點分別為衝擊中心(center of percussion or COP)、第一諧震波節點(the node of first harmonic or the Node)、有最大的彈性回復率(the maximum coefficient of the restitution or COR),三個點出現在不同位置,而每個點並非真有確切位置,而是一個界定的小區域。對於選手而言,可藉由擊中甜區與否之振動響應回饋,用以判別擊球正確性。林育田、謝麗娟、賴茂盛、何國龍(2005)的研究中指出,撞擊球拍中心、3 點鐘、6 點鐘及 12 點鐘位置後,以時域方面發現,張力 50 磅球

*通訊作者:劉強 Email:chiangliu1974@yahoo.com.tw

地址:台北體育學院運動器材科技研究所,(111)臺北市士林區忠誠路二段 101 號

拍在偏心撞擊於 12 點鐘位置時，其震動響應優於撞擊於中心、3 點鐘及 6 點鐘位置。

球線為最直接與球體接觸之球具，Cross, Lindsey, 與 Andruczyk (2000) 對網球拍網線的實驗探討中指出，會影響擊球表現的網球線特性主要測定項目有五種，分別是線的延展性(extensibility)、勁度(stiffness)、重覆擊球後的退磅數、擊球後的能量減少及球與網線間所產生的摩擦。不同材質球線所表現之機械特性不盡相同，詹一民、張家銘、林秀貞(2007)研究指出，無心線在最大強度與勁度皆優於克維拉線、有心線及實心線，但其延展性則相對較差。球線截面積大小，對於擊球結果也有不同影響，林寶成(1996)指出，截面積較小之球線有較高回復係數(The Coefficient of Restitution) 及較低震動響應(The response of Vibration)。

由以上文獻研究可得知，摩擦力會使球體旋轉及速度改變、球拍與網球線會交互影響。因此，本研究目的為改變軟式網球拍球線表面粗糙度，對於球線表面摩擦力、震動響應及擊球後球速、轉數度差異。

貳、研究方法

一、研究對象

研究對象分為軟網選手以及軟網器材兩部分，軟網選手方面，以台北體院軟網隊三名選手為受試對象，平均年齡為 21.67 ± 0.58 歲，身高為 172.33 ± 3.79 公分，體重為 65.00 ± 5.00 公斤。本研究為避免不同球拍材質及重量因素影響實驗結果，統一使用相同正式比賽用全新軟式網球拍(n=2，型號: NEXTAGE 900，製造商:優乃克企業股份有限公司，地點:台灣)，全新球線(n=2，型號: SS411，製造商:GOSEN 株式會社，地點:日本) 為實驗器材，以穿線張力 30 磅、截面積 1.22 mm 網線穿於軟網拍上，使用中華軟式網球協會所認證之比賽用球(n=1，型號: TSOW-V，製造商:KENKO 株式會社，地點:日本)。

二、實驗設計

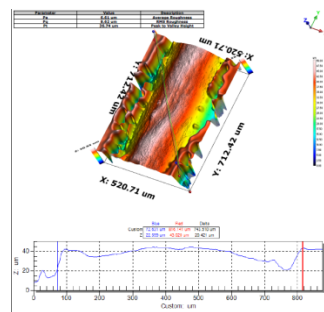
實驗分為器材與人體測試兩個階段，第一階段先對軟網球拍進行表面粗糙度有無改變之測試。首先進行摩擦力測試：利用氧化鋁紗布表面粗糙度不同之特性，改變球線原本粗糙度，進而增加表面摩擦力。首先將球線裁切為一段 25 公分，再將球線兩端固定於鉗鉗器，起始端至終端為 10 公分，再使用氧化鋁砂布 No150#型號以手動方式摩擦球線表面，統一將球線截面積各磨去 0.5mm，並以電子式游標卡尺檢測截

面積。

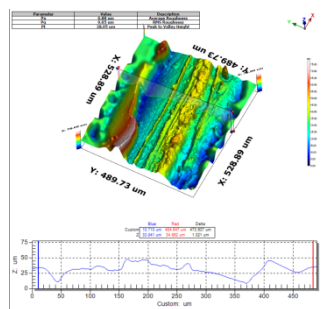
利用白光干涉儀(Optical Topography Measurement Instrument)檢測球線表面粗糙度(圖一)，此儀器搭配 10X、20X 及 50X 三種高倍數顯微鏡，(本實驗倍率為 50X)，使用時透過顯微鏡將白光投射至球線表面，利用光線折射觀看球線表面乾澀條紋，用以得知表面高低起伏，確定粗糙程度(圖二)，其儀器精度達至 μm 。檢測時，未改變與已改變表面粗糙度球線，每條球線檢測五個點，每點間距兩公分，共六條球線。



圖一、白光干涉儀



(A)未改變表面粗糙度



(B)已改變表面粗糙度

圖二、不同表面粗糙度圖

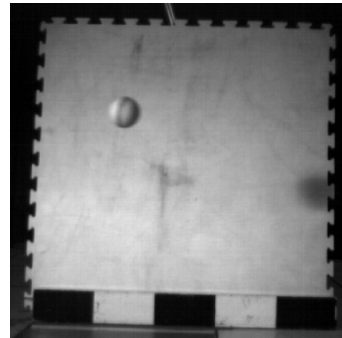


圖三、震動響應測試圖

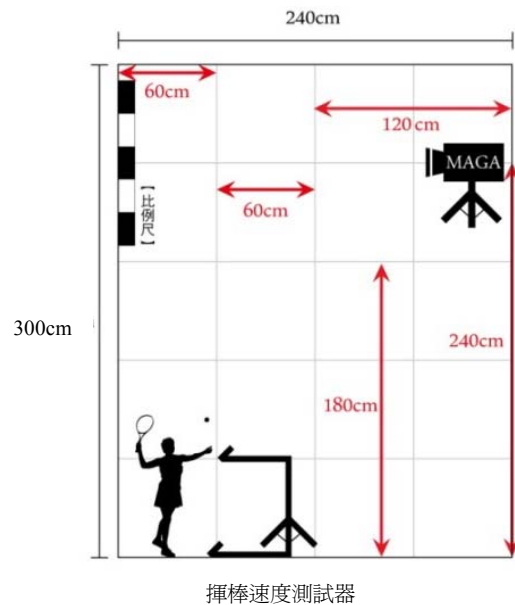
震動響應測試：測試完畢後在球拍拍框下緣(中桿與拍框連接處)安裝 Biopac 三軸加速規(three-dimensional accelerometer) (圖三)之後，在球拍上方 100 公分處以自由落體方式，將球落下於拍面甜區，利用 Biopac 訊號擷取系統(n=1, 型號:MP150, 製造商:BIOPAC, 地點:美國)等儀器，進行球體和球拍撞擊瞬間時震動訊號擷取，並以儀器所附之 Acqknowledge3.9.1 版分析軟體，計算 Z 軸(上下軸)變化，即為球拍震動時上下位移變化量，做為最大震動響應變化指標。分別測試球拍有無改變球線表面後對球拍震動響應特性之影響。每支球拍連續測試三次，共 6 次。

球速與轉數測試：受試者分別揮擊有無改變粗糙度之球拍，分別擊出上旋球、平擊球及下旋球三種球路，過去的研究針對網球在紅土球場與硬地球場表面碰撞之比較(翁梓林, 1992)，亦曾請受試者以此三種球路進行實驗。選手揮擊時，施測者於選手後方判斷是否擊中甜區，並詢問選手是否擊中甜區，因受試者皆長期訓練之優秀軟網選手，可依球感判斷是否擊中甜區；依揮擊方式定義球路，上旋球是由下往上揮擊，使球體向前轉動；平擊球是以球拍正面擊球，擊球時與球體平行；下旋球是由下往上揮擊，使球體反轉前進，並於高速攝影機畫面中同步監測球體旋轉方向，確認所擊出球路是否為實驗規定球路，符合上述條件才可成為有效數據。為使揮擊速度統一，使用揮棒速度測試器控制選手揮擊速度在 45 ± 5 (KPH) 範圍內，並規定揮擊後球飛行軌跡於寬度 60cm 內，符合兩條件才可成為有效數據。在揮擊實驗場地設置(圖五)100 公分比例尺及架設高速攝影機(型號:MS25K, 製造商:Mega Speed Corp, 地點:加拿大)，選手揮擊球後，

以每秒 1000 張擷取球通過攝影畫面之影像，球體上使用麥克筆標記 1 公分粗線圍繞球體表面中心處，使影像分析軟體(Silicon coach)，判別球體進入比例尺畫面至離開時所旋轉之圈數，以及球體移動距離及時間以得知球速(圖四)。每種球路各揮擊三次，共 9 次。



圖四、球速及轉速圖



揮棒速度測試器

圖五、揮擊實驗設置圖

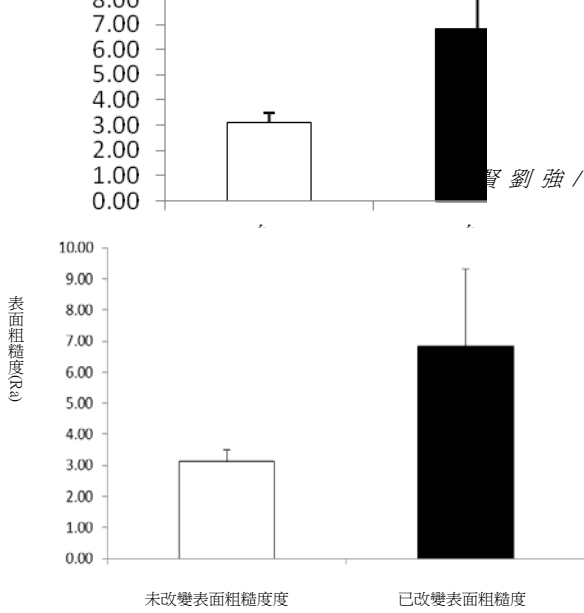
結果與討論

一、表面粗糙度:

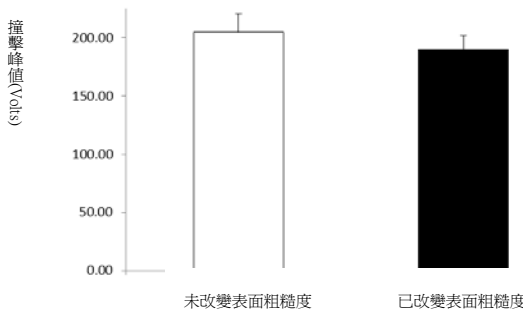
經儀器檢測後發現，未改變表面粗糙度之球線數值為 $3.12 \pm 0.37(\mu\text{m})$ ，已改變表面粗糙度之球線數值為 $6.81 \pm 2.50(\mu\text{m})$ ，如圖六所示。

二、震動響應:

結果顯示未改變表面粗糙度球拍 Z 軸(上下軸)峰值(peak value)為 204.77 ± 15.99 伏特，改變表面粗糙度球拍為 190.18 ± 11.72 伏特，改變表面粗糙度球拍震動



圖六、表面粗糙度結果表



圖七、改變球線表面粗糙度對震動響應之影響

響應彈性低於未改變球拍，如圖七所示。

三、球速與轉數:

結果顯示未改變表面粗糙度之上旋球、平擊球及下旋球之球速與轉速分別為 3.00 ± 0.14 (cm/ms)、 1.83 ± 0.58 (圈)， 2.64 ± 0.12 (cm/ms)、 1.66 ± 0.76 (圈)， 2.57 ± 0.09 (cm/ms)、 1.16 ± 0.29 (圈)，已改變表面粗糙度之上旋球、平擊球及下旋球之球速與轉速分別為 2.40 ± 0.13 (cm/ms)、 2.33 ± 0.76 (圈)， 2.31 ± 0.18 (cm/ms)、 2.00 ± 0.87 (圈)， 2.42 ± 0.07 (cm/ms)、 1.50 ± 0.82 (圈)，如表一和表二所示；因此，改變表面粗糙度球拍具球速慢、轉數高的特性。

本研究結果發現，使用氧化鋁紗布 No150#進行球拍表面摩擦，所測得的摩擦力數據顯示，未改變與已改變表面粗糙度之球線達顯著差異，已改變球線有較高數值。詹一民、張家銘、林秀真(2007)研究指出球線分成四大類，分別為無心線(sensation)、有心線(performance)、實心線(polyester)及克維拉線(kevlar)；分類中有心線

表一、改變球線表面粗糙度對球速與轉數之影響

球路	粗糙度	球速(cm/ms)	轉數(圈)	揮拍速(KPH)
上旋球	未改變	3.00 ± 0.14	1.83 ± 0.58	44.78 ± 2.37
	已改變	2.40 ± 0.13	2.33 ± 0.76	42.41 ± 2.02
平擊球	未改變	2.64 ± 0.12	1.66 ± 0.76	47.20 ± 1.27
	已改變	2.31 ± 0.18	2.00 ± 0.87	44.29 ± 1.76
下旋球	未改變	2.57 ± 0.09	1.16 ± 0.29	45.47 ± 1.87
	已改變	2.42 ± 0.07	1.50 ± 0.82	45.51 ± 2.00

表二、改變球線表面粗糙度對球速與轉數變化量之影響

	球速 cm/ms	轉數/圈
上旋球	-60%	50%
平擊球	-33%	34%
下旋球	-15%	34%

(performance)為本研究所使用之線材(SS441)，為目前最常被選用線材之一，其特性為一條截面積較大的中心線(core)為軸，外層再使用許多較細的纖維線包圍編織而成，在使用氧化鋁紗布 No150#摩擦後表面改變為中心線(core)，因此推論在磨擦後中心線(core)摩擦力略高於表層的纖維線；摩擦力實驗測試數值中更發現摩擦力略微提高，在此實驗中可看中表面粗糙度不同對摩擦力之影響。此為前導實驗，旨在於改變表面粗糙度是否會有增加摩擦力趨勢，實驗結果也初步驗證改變表面粗糙度會增加摩擦力，如未來研究增加不同方式或不同型號之氧化鋁紗布加劇球線表面粗糙度，應可找出摩擦力最大之測試方法，使球體轉數更為明顯增加。

球拍撞擊 Z 軸峰值(peak value)高低與球線截面積有關，未改變表面粗糙度時所測的平均數據為 204.77 ± 15.99 Volts，而改變表面粗糙度後減少為 190.18 ± 11.72 Volts，表示其衝擊力由球線吸收。在林寶成(1996)研究中顯示出，不同截面積球線經碰撞後會產生不同回復係數及震動響應，該實驗中使用三種不同截面積球線，分別為 16L 號線(1.22mm)、16 號線(1.30mm)及 15L 號線(1.38mm)，其結果顯示為 16L 號線回復係數優於其他兩種型號，而震動響應結果也為 16L 號球線優於其他兩種型號，該實驗更建議網球拍穿線應以較小截面積之球線為優先考量，因其反彈球速或震動響應優於大截面積球線。而本實驗中所使用之線材也同為 16L 號線(1.22mm)，再經氧化鋁紗布

No150# 摩擦後截面積變得更小，王奕霖、周智泰、黃紹仁(2007)截面積越小球線彈性越好，能儲存更多彈性位能，使得經表面摩擦處理之球拍 Z 軸(上下軸)峰值減少。

在軟式網球比賽中，球線的摩擦力對於揮擊後球路變化佔有重要因素，如在相同力道、角度下揮擊，球的球速、轉數能本原本球速快、轉數多，球的變化性就會增加，不論是上旋球、平擊球、下旋球...等，都能為對手帶來更大的變化性。球速與轉數(表一)中可看出上旋球轉數平均增加 0.5(圈)、平擊球增加 0.34(圈)及下旋球亦增加 0.34(圈)；因此，未改變表面粗糙度之球拍球速快轉數少，是因球與線在揮擊時，接觸瞬間摩擦力低以及截面積較大，儲存位能較低，因此造成球速較快；而球轉數較低則是因，摩擦力低之原因，在球與拍面接觸時，球線未能對球產生更大摩擦力，再加上截面積較大儲存未能低，兩種因素結合，造成球轉速低的結果。反之，改變表面粗糙度之球拍，與未改變粗糙度球拍有著相反的結果，皆是改變表面粗糙度所致，而改變表面會連帶影響摩擦力與截面積，是一體兩面的問題。

肆、結論與建議

為了探討改變球拍表面粗糙度是否能增進球速、轉速，比較同一款球拍、球線，在改變粗糙度後摩擦力、震動響應以及球體轉速、球速之差異。前導實驗初步發現，改變表面粗糙度之球線有較高數值、震動響應減少 14.59 伏特、上旋球球速減少 60%、平擊球減少 33%、下旋球減少 15%，上旋球轉數增加 50%、平擊球增加 34%，下旋球增加 34%。研究發現改變球線表面粗糙度後摩擦力、震動響應及轉數、球速之趨勢。結論可應用於兩個方面：一、實際應用於比賽場上，從軟式網球運動特性得知，其特殊之低手切發球方式，是為了增加碰撞場地表面後反射角度及偏移角度，增加對手接發球之難度。先前研究也指出，質心速度大於周邊速度時摩擦力作用會使角速度增加，而改變球線表面粗糙度時，球體旋轉則有此趨勢。二、可使提供廠商製作線材時參考，使廠商得知改變表面粗糙度可增加旋轉圈數等特性，也是選手所需之擊球表現。本研究只針對 YONEX 公司所出產的 NEXTAGE 900 型號球拍及 GOSEN 公司所製造之 SS411 型號球線做為測試，並不能代表所有球拍及球線皆有此現象存在；建議在往後相關實驗中可增加不同改變球線表面粗糙度之方法，以取得最佳摩擦方

式，以及增加不同改變表面粗糙度方式，用以取得最佳摩擦方法，並將實驗區分為材料及人體測試，以得知改變球線表面粗糙度後，球拍(震動響應)、球線(拉伸測試)特性為何，人體測試為實際打擊後球速、轉數是否有差異，以及碰撞至球場表面時入射角及反射角變化為何。研究結果可對球員在運動表現上有正面效應。

伍、參考文獻

- 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，第九期，219-234 頁。
- 王奕霖、周智泰、黃紹仁(2007)。網球拍不同線材擊球之比較。運動生物力學研究彙刊，76-77 頁。
- 石翔至、許天路、相子元(2002)。網線張力對軟式網球拍彈性恢復係數之影響。運動生物力學研究彙刊(一)，58-60 頁。
- 林育田、謝麗娟、賴茂盛、何國龍(2005)。網球拍偏心撞擊之運動力學分析。北體學報，第 13 期，123-138 頁。
- 林裕益(2006)。網球拍線退磅與疲勞特性之分析。出版之碩士論文，台北市:台北市立體育學院運動科學研究所。
- 林寶城(1996)。不同網球拍拍線截面對擊球時所產生之動力響應。體育學報，第 21 輯，137-150 頁。
- 江少鈞(2009)。軟式網球正手擊球之運動學與逆動力學分析。出版之碩士論文，台北市:台北市立體育學院運動科學研究所。
- 楊忠祥(1990)。網球拍面的甜點。中華體育季刊，3 卷 4 期，67-74 頁。
- 翁梓林(1992)。網球在紅土球場與硬地球場表面碰撞之比較。出版之碩士論文，台北市:國立臺灣師範大學體育研究所。
- 謝麗娟(2002)。鈦合金網球拍振動響應及回復係數分析。北體學報，第十期，21-35 頁。
- 詹一民、林秀真(2005)。不同結構網球線自然退磅之探討。體育學報，第 38 卷第 2 期 頁 41-55。
- 陳秀如(2005)。軟網不同發球對不同場地表面碰撞之影響。出版之碩士論文，桃園縣:國立體育學院教練研究所。
- 劉俊概(2006)。軟式網球不同發球型態與球場表面碰撞分析。未出版之碩士文，屏東縣:國立屏東教育大學體育研究所。
- 詹一民、張家銘、林秀真(2007)。市售不同結構網球

線之機械特性探討。體育學報 40 卷第 4 期，頁 23-36。

- Baker, J. A., 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.
- Brody, H. (1981). Physics of the tennis racket II: The sweet spot. *American Journal of Physics*. Volume 49, Issue 9, P. 816
- Brody, H. (1979). Physics of the tennis racket. *American Journal of physics*, 47(6),482-487.
- Brody, H. (1987). Models of Tennis Racket Impact. *International journal of Sport Biomechanics*, 3(3) : 293-296.

- Brody, H. & Knudson, D. (1993) A model of tennis stroke accuracy relative to string Tension. *International Sports Journal*, 4(1) : 38-45.
- Cross, R., Lindsey, C., & Andruczyk, D. (2000). Laboratory testing of tennis strings. *Sports*
- 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.
- 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.
- John, A. W. Baker. & Barry, D. Wilson.(1978). The Effect of Tennis Racket Stiffness and String Tension on Ball Velocity After Impact. *The Research Quarterly*,49(3) : 255-259



Influence of soft tennis string roughness on the racket performance-preliminary study

¹Ying-Hung Liao ²Tung-Hsien Fang ¹Chiang Liu*

¹Graduate Institute of Sports Equipment Technology, Taipei Physical Education College

²Department of Ball Sports, Taipei Physical Education College

Accepted :2011/07/11

ABSTRACT

Purpose: The aim of this study was to exam effects of surface roughness changes of soft tennis string on friction of string, vibration response, ball velocity and number of revolutions. **Method:** Material and hitting measurements were conducted, respectively. In first measurement, one emery cloth, No150#, was used to rub the sweet spot of the racket for changing its roughness. Friction of tennis string was measured by using a friction tester (ALGOL-HF-100). Vibration response of racket was measured by using a tri-axial accelerometer when the bounce response after a soft tennis ball, fall down from 100 cm height, hits against on the sweet spot of racket. In second measurement, 3 elite players hit top-spin, flat strike and back-spin by using the string with and without roughness changes. Mega high-speed camera at 1000Hz was collected batted ball for analyzing ball velocity and number of revolutions. **Result:** After surface roughness changes of soft tennis string, the friction of string increased about 0.02 kg, vibration response decreased about 14.59 v, ball velocity decreased (60% for topspin, 33% for flat strike and 15% for backspin), and number of revolutions increased (50% for topspin, 34% for flat strike and 34% for backspin). **Conclusion:** Increased string roughness resulted in higher friction, lower vibration response, lower ball velocity and higher ball spin. Therefore, soft tennis player could get biomechanical benefit after adopting this method.

Key words : string, friction, vibration response, racket sport.

*Corresponding author: Chiang Liu, Taipei Physical Education College, Graduate Institute of Sports Equipment Technology (111) No.101, Sec. 2, Zhongcheng Rd., Shilin Dist., Taipei, Taiwan
E-mail address: chiangliu1974@yahoo.com.tw