



软式网球线粗糙度对球拍特性影响-前导实验

¹廖英宏 ²方同贤 ¹刘 强

¹台北市立体育学院 运动器材科技研究所 ²台北市立体育学院 球类运动学系

投稿日:2010/11/18; 审查通过:2011/07/11

摘要

前言: 本研究目的在于探讨改变软式网球线表面粗糙度对球线摩擦力、球撞击球拍后震动响应、球速、转数之影响。**方法:** 实验区分为材料及人体测试两阶段, 第一阶段先使用氧化铝砂布 No150#摩擦球拍甜区, 以改变表面粗糙度, 再利用白光干涉仪器测试球线表面粗糙度差异, 并在球拍装置 Biopac 三轴加速规后固定于夹钳铁器, 球体由 100 公分处以自由落体落于拍面甜区, 以测得震动响应; 第二阶段为实际挥拍击球, 受试对象为台北体院软式网球队 3 名优秀选手, 分别以未改变及以改变表面粗糙度之球拍, 挥击上旋球、平击球及下旋球, 利用 Mega 高速摄影机(1000Hz)分析球速及转速。统计方法因样本数量较少而采用叙述性统计。**结果:** 未改变与已改变球线表面粗糙度之球线数值分别为 3.12 ± 0.37 微米、 6.81 ± 2.50 微米, 震动响应减少 14.59 伏特, 上旋球球速减少 60%、平击球减少 33%、下旋球减少 15%, 上旋球转数增加 50%、平击球增加 34%, 下旋球增加 34%。**结论:** 改变球线表面粗糙度后, 会使球线表面粗糙度增加、震动响应减少、球速减低, 球转数增加等现象, 因此软网选手可利用此方法达到运动生物力学优势。

关键词: 球线、摩擦、震动响应、挥拍运动

壹、绪论

软式网球(Soft Tennis)是一种挥击运动, 主要是透过挥击球拍使球线与球体撞击, 将球击至目标处, 若要使球体有不同角度变化, 则是需要搭配不同发球方法。刘俊概(2006)指出, 软网常见发球方法有高压式、轻削式、反转式及低切式四种, 这四种发球方式会因摩擦力作用、接触时间及球体旋转因素, 而会影响碰撞地面后之反射角, 其中更以低切式发球法反射角与偏移角最大。在各种发球方式可以发现, 不外乎就是改变球拍面角度使球线与球体产生摩擦, 让球体有着不同方向的旋转, 如前旋转、后旋转及无旋转等, 翁梓林(1992)研究中, 认为后旋转球, 球接触地面时, 摩擦力会使球的旋转及速度改变, 如果质心速度大于周边速度时摩擦力的作用会使角速度增加。在无旋转球接触地面时, 因摩擦力大于旋转的角速度的增加量会越多, 反弹速度会增加很多。影响击球因素不

仅发球方式, Baker and Wilson(1978)研究指出, 网球拍框弹性、网球线张力及网球线材质种类都会影响击球结果。网球拍材料由于科技进步, 从早期木制一体成形至今已发展为高张力碳纤维(石翔至、许天路、相子元, 2002)。谢丽娟(2002)研究中使用两种不同品牌、同材质球拍进行甜点碰撞实验, 发现 Yonex Ultimum Ti 50 钛合金网球拍在振动响应上明显小于 Head Ti Radical 钛合金网球拍。挥击过程中, 是否击中甜点对于球拍有着不同震动响应结果, Brody(1981)与杨忠祥(1990)指出, 球拍有三个甜点分别为冲击中心(center of percussion or COP)、第一谐震波节点(the node of first harmonic or the Node)、有最大的弹性回复率(the maximum coefficient of the restitution or COR), 三个点出现在不同位置, 而每个点并非真有确切位置, 而是一个界定的小区域。对于选手而言, 可藉由击中甜点与否之振动响应回馈, 用以判别击球正确性。林育田、谢丽娟、赖茂盛、何国龙(2005)的研究中指出, 撞击球拍中心、3点钟、6点钟及12点钟位置后, 以时域方面发现, 张力 50 磅球拍在偏心撞击

*通讯作者:刘 强 Email:chiangliu1974@yahoo.com.tw

地址: 台北体育学院运动器材科技研究所, (111)台北市士林区
忠诚路二段 101 号

于 12 点钟位置时, 其震动响应优于撞击于中心、3 点钟及 6 点钟位置。

球线为最直接与球体接触之球具, Cross, Lindsey, 与 Andruczyk (2000) 对网球拍网线的实验探讨中指出, 会影响击球表现的网球线特性主要测定项目有五种, 分别是线的延展性(extensibility)、劲度(stiffness)、重复击球后的退磅数、击球后的能量减少及球与网线间所产生的摩擦。不同材质球线所表现之机械特性不尽相同, 詹一民、张家铭、林秀贞(2007)研究指出, 无心线在最大强度与劲度皆优于克维拉线、有心线及实心线, 但其延展性则相对较差。球线截面积大小, 对于击球结果也有不同影响, 林宝成(1996)指出, 截面积较小之球线有较高回复系数(The Coefficient of Restitution)及较低震动响应(The response of Vibration)。

由以上文献研究可得知, 摩擦力会使球体旋转及速度改变、球拍与网球线会交互影响。因此, 本研究目的为改变软式网球拍球线表面粗糙度, 对于球线表面摩擦力、震动响应及击球后球速、转数度差异。

贰、研究方法

一、研究对象

研究对象分为软网选手以及软网器材两部分, 软网选手方面, 以台北体院软网队三名选手为受试对象, 平均年龄为 21.67 ± 0.58 岁, 身高为 172.33 ± 3.79 公分, 体重为 65.00 ± 5.00 公斤。本研究为避免不同球拍材质及重量因素影响实验结果, 统一使用相同正式比赛用全新软式网球拍(n=2, 型号: NEXTAGE 900, 制造商:优乃克企业股份有限公司, 地点:台湾), 全新球线(n=2, 型号: SS411, 制造商:GOSEN 株式会社, 地点:日本) 为实验器材, 以穿线张力 30 磅、截面积 1.22 mm 网线穿于软网拍上, 使用中华软式网球协会所认证之比赛用球(n=1, 型号: TSOW-V, 制造商:KENKO 株式会社, 地点:日本)。

二、实验设计

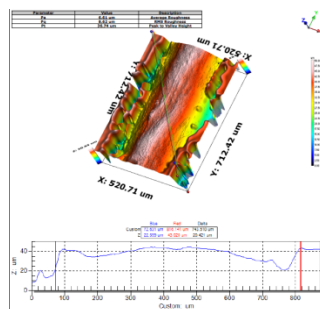
实验分为器材与人体测试两个阶段, 第一阶段先对软网球拍进行表面粗糙度有无改变之测试。首先进行摩擦力测试: 利用氧化铝纱布表面粗糙度不同之特性, 改变球线原本粗糙度, 进而增加表面摩擦力。首先将球线裁切为一段 25 公分, 再将球线两端固定于钳铗器, 起始端至终端为 10 公分, 再使用氧化铝砂布 No150#型号以手动方式摩擦球线表面, 统一将球线截面积各磨去 0.5mm, 并以电子式光标卡尺检测截

面积。

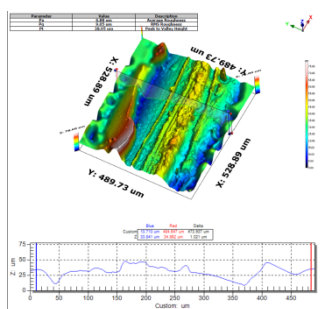
利用白光干涉仪(Optical Topography Measurement Instrument)检测球线表面粗糙度(图一), 此仪器搭配 10X、20X 及 50X 三种高倍数显微镜, (本实验倍率为 50X), 使用时透过显微镜将白光投射至球线表面, 利用光线折射观看球线表面干涩条纹, 用以得知表面高低起伏, 确定粗糙程度(图二), 其仪器精度达至 μm 。检测时, 未改变与已改变表面粗糙度球线, 每条球线检测五个点, 每点间距两公分, 共六条球线。



图一、白光干涉仪



(A)未改变表面粗糙度



(B)已改变表面粗糙度

图二、不同表面粗糙度图

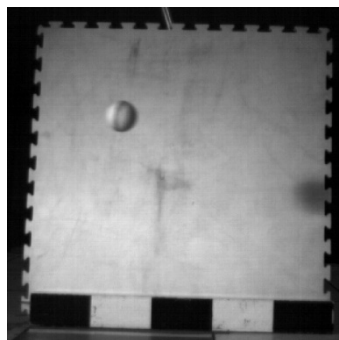


图三、震动响应测试图

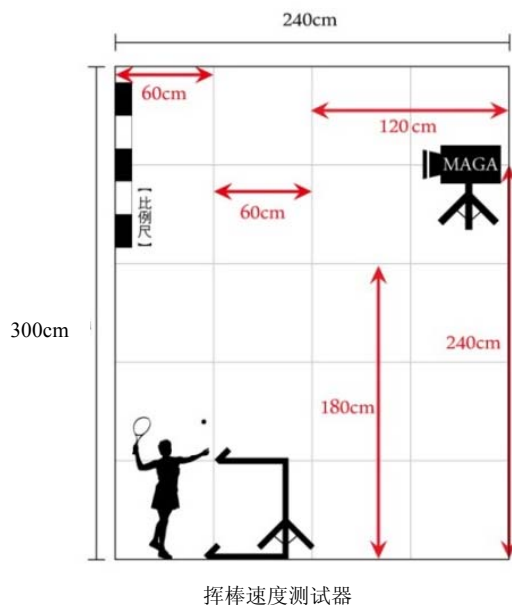
震动响应测试：测试完毕后在球拍拍框下缘(中杆与拍框连接处)安装 Biopac 三轴加速规(three-dimensional accelerometer) (图三)之后, 在球拍上方 100 公分处以自由落体方式, 将球落于拍面甜区, 利用 Biopac 讯号撷取系统(n=1, 型号:MP150, 制造商:BIOPAC, 地点:美国)等仪器, 进行球体和球拍撞击瞬间时震动讯号撷取, 并以仪器所附之 Acqknowledge3.9.1 版分析软件, 计算 Z 轴(上下轴)变化, 即为球拍震动时上下位移变化量, 做为最大震动响应变化指标。分别测试球拍有无改变球线表面后对球拍震动响应特性之影响。每支球拍连续测试三次, 共 6 次。

球速与转数测试：受试者分别挥击有无改变粗糙度之球拍, 分别击出上旋球、平击球及下旋球三种球路, 过去的研究针对网球在红土球场与硬地球场表面碰撞之比较(翁梓林, 1992), 亦曾请受试者以此三种球路进行实验。选手挥击时, 施测者于选手后方判断是否击中甜区, 并询问选手是否击中甜区, 因受试者皆长期训练之优秀软网选手, 可依球感判断是否击中甜区; 依挥击方式定义球路, 上旋球是由下往上挥击, 使球体向前转动; 平击球是以球拍正面击球, 击球时与球体平行; 下旋球是由下往上挥击, 使球体反转前进, 并于高速摄影机画面中同步监测球体旋转方向, 确认所击出球路是否为实验规定球路, 符合上述条件才可成为有效数据。为使挥击速度统一, 使用挥棒速度测试器控制选手挥击速度在 45 ± 5 (KPH) 范围内, 并规定挥击后球飞行轨迹于宽度 60cm 内, 符合两条件才可成为有效数据。在挥击实验场地设置(图五)100 公分比例尺及架设高速摄影机(型号:MS25K, 制造商:Mega Speed Corp, 地点:加拿大), 选手挥击球后,

以每秒 1000 张撷取球通过摄影画面之影像, 球体上使用麦克笔标记 1 公分粗线围绕球体表面中心处, 使影像分析软件(Silicon coach), 判别球体进入比例尺画面至离开时所旋转之圈数, 以及球体移动距离及时间以得知球速(图四)。每种球路各挥击三次, 共 9 次。



图四、球速及转速图



挥棒速度测试器

图五、挥击实验设置图

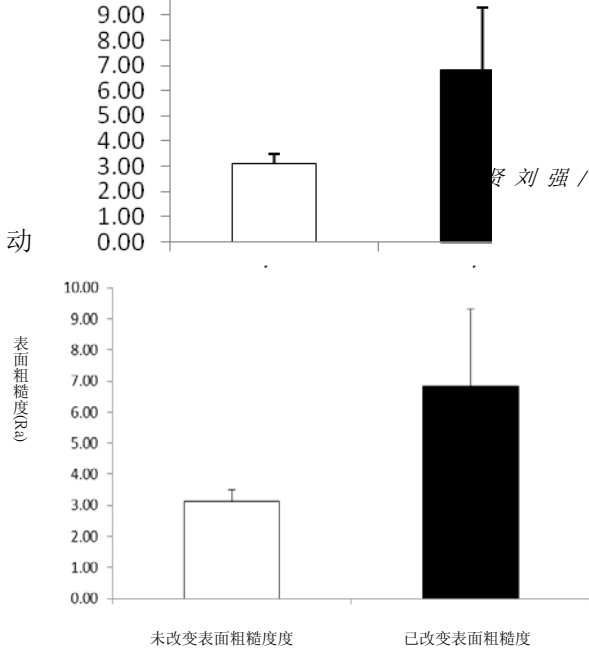
结果与讨论

一、表面粗糙度:

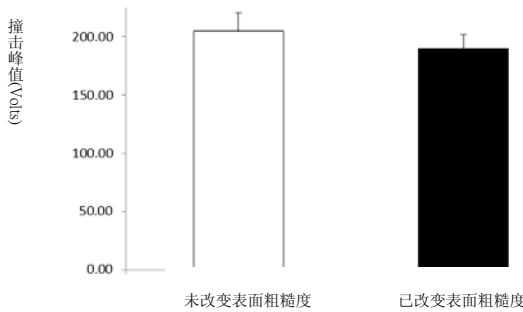
经仪器检测后发现, 未改变表面粗糙度之球线数值为 $3.12 \pm 0.37(\mu\text{m})$, 已改变表面粗糙度之球线数值为 $6.81 \pm 2.50(\mu\text{m})$, 如图六所示。

二、震动响应:

结果显示未改变表面粗糙度球拍 Z 轴(上下轴)峰值(peak value)为 204.77 ± 15.99 伏特, 改变表面粗糙度球拍为 190.18 ± 11.72 伏特, 改变表面粗糙度球拍震



图六、表面粗糙度结果表



图七、改变球线表面粗糙度对震动响应之影响

响应弹性低于未改变球拍，如图七所示。

三、球速与转数:

结果显示未改变表面粗糙度之上旋球、平击球及下旋球之球速与转速分别为 $3.00 \pm 0.14(\text{cm/ms})$ 、 $1.83 \pm 0.58(\text{圈})$ ， $2.64 \pm 0.12(\text{cm/ms})$ 、 $1.66 \pm 0.76(\text{圈})$ ， $2.57 \pm 0.09(\text{cm/ms})$ 、 $1.16 \pm 0.29(\text{圈})$ ，已改变表面粗糙度之上旋球、平击球及下旋球之球速与转速分别为 $2.40 \pm 0.13(\text{cm/ms})$ 、 $2.33 \pm 0.76(\text{圈})$ ， $2.31 \pm 0.18(\text{cm/ms})$ 、 $2.00 \pm 0.87(\text{圈})$ ， $2.42 \pm 0.07(\text{cm/ms})$ 、 $1.50 \pm 0.82(\text{圈})$ ，如表一和表二所示；因此，改变表面粗糙度球拍具球速慢、转数高的特性。

本研究结果发现，使用氧化铝纱布 No150#进行球拍表面摩擦，所测得的摩擦力数据显示，未改变与已改变表面粗糙度之球线达显著差异，已改变球线有较高数值。詹一民、张家铭、林秀真(2007)研究指出球线分成四大类，分别为无心线(sensation)、有心线(performance)、实心线(polyester)及克维拉线(kevlar)；分类中有心线

表一、改变球线表面粗糙度对球速与转数之影响

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

表二、改变球线表面粗糙度对球速与转数变化量之影响

	球速 cm/ms	转数/圈
上旋球	-60%	50%
平击球	-33%	34%
下旋球	-15%	34%

(performance)为本研究所使用之线材(SS441)，为目前最常被选用线材之一，其特性为一条截面积较大的中心线(core)为轴，外层再使用许多较细的纤维线包覆编织而成，在使用氧化铝纱布 No150#摩擦后表面改变为中心线(core)，因此推论在磨擦后中心线(core)摩擦力略高于表层的纤维线；摩擦力实验测试数值中更发现摩擦力略微提高，在此实验中可看中表面粗糙度不同对摩擦力之影响。此为前导实验，意旨在于改变表面粗糙度是否会有增加摩擦力趋势，实验结果也初步验证改变表面粗糙度会增加摩擦力，如未来研究增加不同方式或不同型号之氧化铝纱布加剧球线表面粗糙度，应可找出摩擦力最大之测试方法，使球体转数更为明显增加。

球拍撞击 Z 轴峰值(peak value)高低与球线截面积有关，未改变表面粗糙度时所测的平均数据为 204.77 ± 15.99 Volts，而改变表面粗糙度后减少为 190.18 ± 11.72 Volts，表示其冲击力由球线吸收。在林宝成(1996)研究中显示出，不同截面积球线经碰撞后会产生不同回复系数及震动响应，该实验中使用三种不同截面积球线，分别为 16L 号线(1.22mm)、16 号线(1.30mm)及 15L 号线(1.38mm)，其结果显示为 16L 号线回复系数优于其它两种型号，而震动响应结果也为 16L 号球线优于其它两种型号，该实验更建议网球拍穿线应以较小截面积之球线为优先考虑，因其反弹球速或震动响应优于大截面积球线。而本实验中所使用

之线材也同为 16L 号线(1.22mm), 再经氧化铝纱布 No150#摩擦后截面积变得更小, 王奕霖、周智泰、黄绍仁(2007)截面积越小球线弹性越好, 能储存更多弹性能, 使得经表面摩擦处理之球拍 Z 轴(上下轴)峰值减少。

在软式网球比赛中, 球线的摩擦力对于挥击后球路变化占有重要因素, 如在相同力道、角度下挥击, 球的球速、转数能本原本球速快、转数多, 球的变化性就会增加, 不论是上旋球、平击球、下旋球...等, 都能为对手带来更大的变化性。球速与转数(表一)中可看出上旋球转数平均增加 0.5(圈)、平击球增加 0.34(圈)及下旋球亦增加 0.34(圈); 因此, 未改变表面粗糙度之球拍球速快转数少, 是因球与线在挥击时, 接触瞬间摩擦力低以及截面积较大, 储存位能较低, 因此造成球速较快; 而球转数较低则是因, 摩擦力低之原因, 在球与拍面接触时, 球线未能对球产生更大摩擦力, 再加上截面积较大储存未能低, 两种因素结合, 造成球转速低的结果。反之, 改变表面粗糙度之球拍, 与未改变粗糙度球拍有着相反的结果, 皆是改变表面粗糙度所致, 而改变表面会连带影响摩擦力与截面积, 是一体两面的问题。

肆、结论与建议

为了探讨改变球拍表面粗糙度是否能增进球速、转速, 比较同一款球拍、球线, 在改变粗糙度后摩擦力、震动响应以及球体转速、球速之差异。前导实验初步发现, 改变表面粗糙度之球线有较高数值、震动响应减少 14.59 伏特、上旋球球速减少 60%、平击球减少 33%、下旋球减少 15%, 上旋球转数增加 50%、平击球增加 34%, 下旋球增加 34%。研究发现改变球线表面粗糙度后摩擦力、震动响应及转数、球速之趋势。结论可应用于两个方面: 一、实际应用于比赛场上, 从软式网球运动特性得知, 其特殊之低手切发球方式, 是为了增加碰撞场地表面后反射角度及偏移角度, 增加对手接发球之难度。先前研究也指出, 质心速度大于周边速度时摩擦力作用会使角速度增加, 而改变球线表面粗糙度时, 球体旋转则有此趋势。二、可使提供厂商制作线材时参考, 使厂商得知改变表面粗糙度可增加旋转圈数等特性, 也是选手所需之击球表现。本研究只针对 YONEX 公司所出产的 NEXTAGE 900 型号球拍及 GOSEN 公司所制造之 SS411 型号球线做为测试, 并不能代表所有球拍及球线皆有此现象存在; 建议在往后相关实验中可增加不

同改变球线表面粗糙度之方法, 以取得最佳摩擦方式, 以及增加不同改变表面粗糙度方式, 用以取得最佳摩擦方法, 并将实验区分为材料及人体测试, 以得知改变球线表面粗糙度后, 球拍(震动响应)、球线(拉伸测试)特性为何, 人体测试为实际打击后球速、转数是否有差异, 以及碰撞至球场表面时入射角及反射角变化为何。研究结果可对球员在运动表现上有正面效应。

伍、参考文献

- 丁丽芬、周中明(2001)。新型网球对球拍碰撞之动力学分析。北体学报, 第九期, 219-234 页。
- 王奕霖、周智泰、黄绍仁(2007)。网球拍不同线材击球之比较。运动生物力学研究汇刊, 76-77 页。
- 石翔至、许天路、相子元(2002)。网线张力对软式网球拍弹性恢复系数之影响。运动生物力学研究汇刊(一), 58-60 页。
- 林育田、谢丽娟、赖茂盛、何国龙(2005)。网球拍偏心撞击之运动力学分析。北体学报, 第 13 期, 123-138 页。
- 林裕益(2006)。网球拍线退磅与疲劳特性之分析。出版之硕士论文, 台北市: 台北市立体育学院运动科学研究所。
- 林宝城(1996)。不同网球拍拍线截面对击球时所产生的动力响应。体育学报, 第 21 辑, 137-150 页。
- 江少钧(2009)。软式网球正手击球之运动学与逆动力学分析。出版之硕士论文, 台北市: 台北市立体育学院运动科学研究所。
- 杨忠祥(1990)。网球拍面的甜点。中华体育季刊, 3 卷 4 期, 67-74 页。
- 翁梓林(1992)。网球在红土球场与硬地球场表面碰撞之比较。出版之硕士论文, 台北市: 国立台湾师范大学体育研究所。
- 谢丽娟(2002)。钛合金网球拍振动响应及回复系数分析。北体学报, 第十期, 21-35 页。
- 詹一民、林秀真(2005)。不同结构网球线自然退磅之探讨。体育学报, 第 38 卷第 2 期 页 41-55。
- 陈秀如(2005)。软网不同发球对不同场地表面碰撞之影响。出版之硕士论文, 桃园县: 国立体育学院教练研究所。
- 刘俊概(2006)。软式网球不同发球型态与球场表面碰撞分析。未出版之硕士文, 屏东县: 国立屏东教育大学体育研究所。

- 詹一民、张家铭、林秀真(2007)。市售不同结构网球线之机械特性探讨。体育学报 40 卷第 4 期, 页 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