

·竞赛与训练·

乒乓球正手快攻和弧圈球技术中球拍的运动学特征

肖丹丹¹, 钟宇静², 苏丕仁²

(1.国家体育总局 科学研究所竞体中心, 北京 100061; 2.中国传媒大学 体育部, 北京 100024;
3.北京体育大学 小球教研室, 北京 100084)

摘 要: 对 10 名乒乓球运动员正手快攻、弧圈球技术(每种技术分中等力量和最大力量两种发力方式)进行测试与分析后发现, 重打和重拉的引拍结束时刻的球拍速度分别大于轻打和轻拉。在击球时刻, 轻打的速度小于重打, 轻拉的速度小于重拉, 重打的速度小于重拉; 正手弧圈球技术的总时间长于正手快攻技术; 拉的幅度大于打的幅度。

关键词: 运动学; 乒乓球; 正手快攻技术; 正手弧圈球技术; 球拍

中图分类号: G846 文献标识码: A 文章编号: 1006-7116(2008)04-0082-06

Kinetic characteristics of the racket in the right hand fast attack and fast rotating arc ball techniques used in table tennis

XIAO Dan-dan¹, ZHONG Yu-jing², SU Pi-ren²

(1.Competition Sports Centre, General Administration of Sport of China, Beijing 100061, China;
2.Department of Physical Education, Communication University of China, Beijing 100024, China;
3.Table Tennis Division, Beijing Sport University, Beijing 100084, China)

Abstract: The authors tested and analyzed the right hand fast attack and fast rotating arc ball techniques (each of which includes medium power and maximum power attacking modes) used by 10 table tennis players, and revealed the following findings: the speed of the racket at the moment the initial racket setup for a heavy strike or heavy pull-up is finished is respectively faster than the speed of the racket at the moment the initial racket setup for a gentle strike or gentle pull-up is finished; at the moment the ball is hit, the speed of the racket making a gentle strike is slower than the speed of the racket making a heavy strike, the speed of the racket making a gentle pull-up is slower than the speed of the racket making a heavy pull-up, and the speed of the racket making a heavy strike is slower than the speed of the racket making a heavy pull-up; the total time for applying the right hand fast rotating arc ball technique is longer than the total time for applying the right hand fast attack technique; the amplitude of pulling is greater than amplitude of striking.

Key words: kinetics; table tennis; right hand fast attack technique; right hand fast rotating arc ball technique; racket

乒乓球项目是我国的优势运动项目, 是我国奥运金牌的重点项目。乒乓球正手快攻和弧圈球技术是该项目的核心技术。作为环节链的末端, 球拍的运动轨迹是全身各关节配合的体现, 运动员通过球拍的运动达到对来球的控制。本文通过对两种不同用力方式的正手快攻和弧圈球技术中球拍的运动学特征进行了详细分析, 以揭示乒乓球运动员正手快攻、正手拉弧圈球时球拍的运动学特征, 并找出正手快攻、正手拉弧

圈, 以及两种不同用力正手快攻、拉弧圈球的异同, 为乒乓球技术的科学训练提供参考。

1 研究对象与方法

1) 研究对象。

测试者为北京体育大学运动系 10 名优秀乒乓球运动员: 年龄(20±2)岁, 训练年限(11±3)年, 右手执拍 8 人、左手执拍 2 人, 身高(1.77±0.06) m, 体重(67

± 12) kg, 一级运动员 8 人、二级运动员 2 人, 均为横握拍弧圈结合快攻打法, 胶皮为反胶。

2) 研究方法。

运用瑞典产 QUALISYS-MCU500 红外远射测试系统 (6 个镜头) 和 1 台 Panasonic M9500 录像机同步对乒乓球运动员正手快攻、弧圈球技术进行测试。QUALISYS-MCU500 红外远射测试系统的拍摄频率为 100 幅/s, 每次采集时间为 5 s。摄像机置于运动方向的右前方, 与实验对象运动区域中心的距离约为 3 m, 主光轴距地面 0.8 m, 拍摄频率为 50 幅/s。

被测试运动员依次完成 2 种技术 4 组动作的测试。2 种技术为正手近台快攻和正手弧圈球技术。每种技术用 2 种发力方式击球, 一为用最大力量, 二为中等力量, 要求运动员控制好击球力量。每组动作的测试方法为运动员一直进行多球练习, 当技术动作比较稳定时由实验员判断, 开始录相并采集数据, 各个测试系统同时摄录 5 s 后停止, 然后保存文件, 准备下一组动作的测试。测试应得到至少 3 次技术质量较高, 且两个测试系统数据都完整的动作。

3) 数据处理。

运用 QUALISYS 运动解析系统对采集数据进行运动学解析。选取从上一次身体还原时刻开始到下一次

还原时刻结束为一个击球动作周期进行分析。将技术动作分为 4 个动作阶段: 引拍阶段、击球阶段、随挥阶段和还原阶段。

为了更好地找出乒乓球技术动作各参数的规律, 本文中所有的图均是截取了比实际一个动作周期多了上一个周期的还原段和下一个周期的引拍段。文中的图是选用了具有代表性的一名运动员的球拍的运动学曲线。文中均值和标准差是对所有 10 名运动员球拍运动学参数计算的结果。

为了对比最大力量和中等力量两种用力方式动作的差异, 以及找出正手快攻和正手弧圈球的技术的不同, 对所有参数进行了独立样本 t 检验。分别做了 3 组检验, 一为两种力量快攻的对比、二为两种力量弧圈球技术的对比、三为两种技术之间的对比, 用的是最大力量快攻和最大力量弧圈球技术之间的比较。下文将 2 种技术 4 个动作 (中等力量正手快攻、最大力量正手快攻、中等力量正手弧圈球和最大力量正手弧圈球) 分别简称为轻打、重打、轻拉和重拉。

2 研究结果与讨论

2.1 球拍速度

1) 正手进攻技术球拍速度的主要特征 (见图 1)。

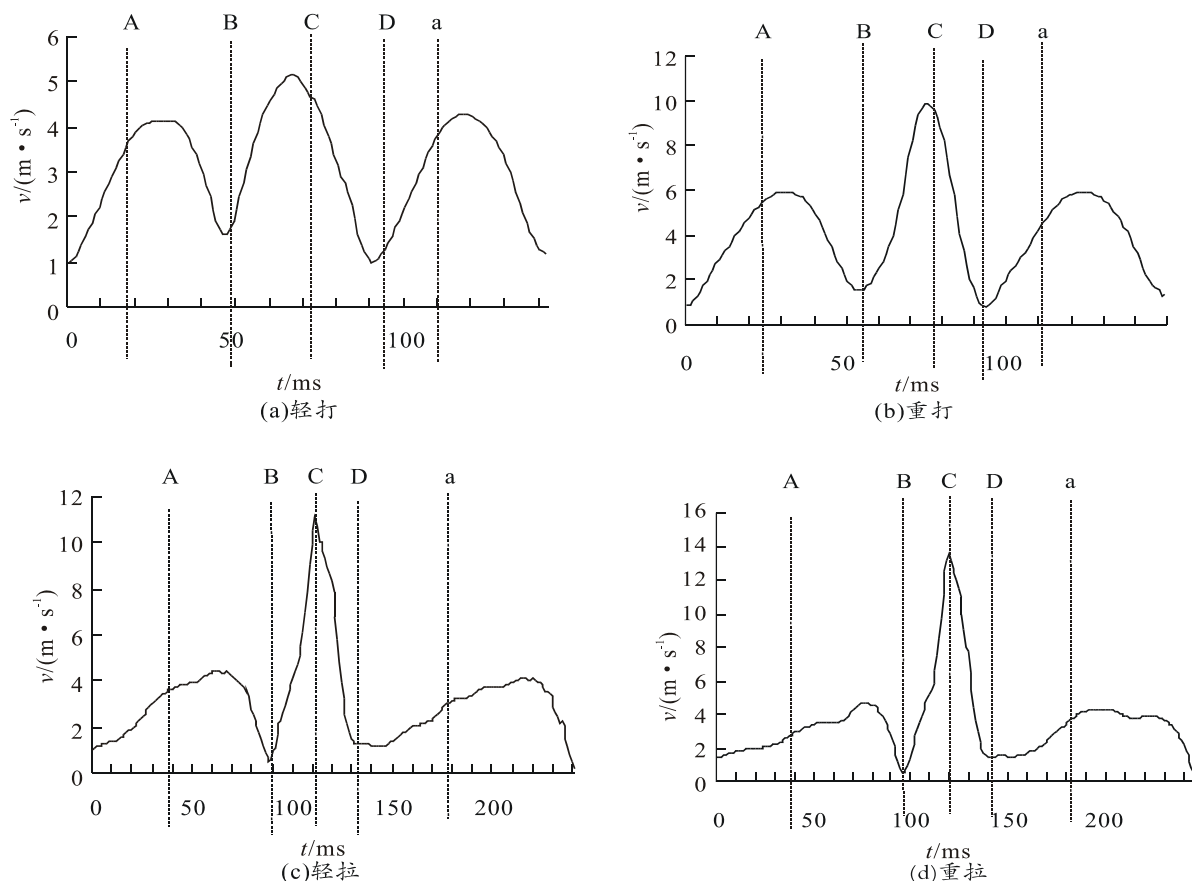


图 1 球拍速度特征

图 1 中所示的球拍速度为球拍在 3 个方向速度的合速度。在一个正手进攻技术周期 (A - a) 中, 球拍的速度经历两个波峰和一个波谷。在引拍阶段 (A - B), 球拍向右后下加速引拍, 到引拍最远端形成一个波谷, 速度为最小, 然后球拍向左前上加速迎球挥拍, 在速度最大值附近击球, 后又减速随势挥拍到达随挥最远端 D 点, 后又反向加速还原到 a 点。

引拍的第一个波峰值小于第二个击球前后的波峰值。在引拍最远端和随挥最远端时刻速度为两个波谷, 但合速度不为 0, 说明球拍在这两个时刻并未完全停下来。其速度是指左右、前后、上下方向上速度的合成, 应该说在引拍结束和随挥结束前后三个方向上的

速度不是同时为 0, 而是依次为 0, 从而达到既使球拍的方向发生了改变, 又保证了球拍速度的连贯性。

2) 两种技术、每种技术两种用力方式球拍的速度。

表 1 反映了轻打、重打、轻拉和重拉在各个特征时刻的速度。在引拍结束时刻, 打和拉技术, 以及不同用力方式的打和拉的速度存在差异。重打和重拉的引拍结束时刻的速度分别为 (1.58 ± 0.26) m/s、 (0.88 ± 0.58) m/s, 分别大于轻打的 (0.96 ± 0.42) m/s 和轻拉的 (0.81 ± 0.49) m/s, 差异显著, 说明以提高引拍的速度来增大击球的力量和速度, 为随后的击球积蓄了能量。打和拉在引拍结束时刻的速度差异也显著, 这一时刻拉的速度小于打的速度。

表 1 特征时刻球拍的速度 ($\bar{x} \pm s$)

特征时刻	m/s			
	轻打	重打	轻拉	重拉
还原结束 (A)	2.91±0.61	3.60±1.15	2.25±0.82	2.16±0.64
引拍最远端	3.98±0.72	4.60±1.09	3.78±0.57	3.96±0.83
引拍结束 (B)	0.96±0.42 ¹⁾	1.58±0.26 ²⁾	0.81±0.49 ³⁾	0.88±0.58
速度最大值时	5.24±0.25 ¹⁾	9.33±1.32 ²⁾	11.21±1.06 ³⁾	13.54±0.79
击球	5.14±0.33 ¹⁾	9.00±1.73 ²⁾	10.91±1.13 ³⁾	13.28±0.51
随挥结束 (D)	0.80±0.32	0.84±0.20	0.92±0.39	1.19±0.40
再次还原 (a)	2.98±0.44	3.09±1.00	1.91±0.79	2.13±1.01

1) 正手轻打与重打比较, $P < 0.05$; 2) 正手重打与重拉比较, $P < 0.05$; 3) 正手轻拉与重拉比较, $P < 0.05$

4 组动作击球速度分别为 (5.14 ± 0.25) m/s、 (9.00 ± 1.73) m/s、 (10.91 ± 1.13) m/s 和 (13.28 ± 0.51) m/s, 经过 t 检验, 得出轻打的速度小于重打, 轻拉的速度小于重拉, 重打的速度小于重拉, 差异显著。同一种技术不同力量击球的球拍速度的差异, 说明我们设计的实验是成功的, 达到了区分最大用力和中等用力的目的, 用力的不同最终体现在球拍速度的不同上。

在随挥结束时刻, 球拍速度达到一个较小的值, 然后手臂加速还原, 从表 1 和图 1 中可以看到一个动作周期中的两个还原时刻的速度基本一样, 说明优秀

运动员在连续击球中动作的稳定性。

2.2 球拍的时间特征

实验结果表明 (见表 2), 用最大力量和一般力量完成同一动作技术时, 在时间上两者无差异。当比较正手快攻与正手拉弧圈球时, 可发现两个动作技术在时间上存在显著差异。优秀运动员完成一次正手快攻技术动作时, 总时间平均为 (0.95 ± 0.13) s, 引拍阶段、挥拍击球阶段、随挥阶段和还原阶段平均用时分别为 0.35 s、0.16 s、0.23 s、0.21 s, 4 个阶段分别占总时间的 35%、17%、25% 和 23%。

表 2 不同技术动作各阶段所用时间 ($\bar{x} \pm s$)

阶段	s (%)			
	正手快攻		正手拉弧圈	
	轻打	重打	轻拉	重拉
引拍	0.33±0.07(35.20±5.70)	0.53±0.09 ¹⁾ (36.35±4.91)	0.51±0.11(35.24±7.27)	0.55±0.01(37.54±5.52)
挥击	0.17±0.05(17.93±5.81)	0.16±0.05 ¹⁾ (17.21±5.40)	0.22±0.09(14.74±5.20)	0.20±0.07(13.62±4.34)
随挥	0.24±0.06(25.33±5.70)	0.23±0.05 ¹⁾ (24.03±4.91)	0.25±0.03(17.40±1.78)	0.25±0.03(16.78±1.73)
还原	0.20±0.06(21.54±7.08)	0.21±0.06 ¹⁾ (22.42±5.64)	0.47±0.06(32.63±2.30)	0.48±0.09(32.06±3.36)
引拍+还原	0.53±0.07(56.74±4.25)	0.56±0.12 ¹⁾ (58.77±5.61)	0.56±0.24(38.891±6.86)	0.89±0.24(66.221±2.70)
挥击+随挥	0.40±0.04(43.26±4.25)	0.39±0.04 ¹⁾ (41.24±5.61)	0.89±0.26(61.111±6.86)	0.49±0.18(33.781±2.70)
总时间	0.93±0.07	0.97±0.18 ¹⁾	1.45±0.13	1.49±0.23

1) 经 t 检验 $P < 0.01$

乒乓球运动员完成一次正手拉弧圈球技术动作时，总时间平均为 (1.47 ± 0.18) s，引拍阶段、挥拍击球阶段、随挥阶段和还原阶段平均用时分别为 0.55 s、0.20 s、0.25 s、0.48 s，4 个阶段分别占总时间的 37%、14%、17%和 32%。

经 t 检验，正手快攻技术和正手弧圈球技术在时间参数上的特征表现为，正手弧圈球技术的总时间长于正手快攻技术，在引拍和还原两个阶段所用时间比率明显大于正手快攻，而随挥阶段所用时间比率小于正手快攻。挥拍击球时间及时间百分比，两种技术基本相同。

2.3 球拍的空间特征

从图 2 中可以看出，正手快攻和正手拉弧圈球的运动轨迹不一样。同一技术不同力量击球的运动轨迹基本相同。在一个动作周期中，球拍在左右方向上的变化经历两次波峰和波谷，显示出双波峰的特点，引拍过程中出现一个小波谷，第一个波峰出现在引拍最远端时刻，波谷出现在击球时刻附近，在随挥最远端达到另外一个峰值；前后上下方向上打和拉的曲线不尽相同，拉比打多出一个小峰值，基本上都是向后引拍在结束时达到向后的最远距离，进而向前挥拍，到随挥最远端向前达到最大值；上下方向上都是先下降，在引拍结束左右达到最小值，后向上挥拍击球，然后随挥至最高点再向下还原成一个周期。

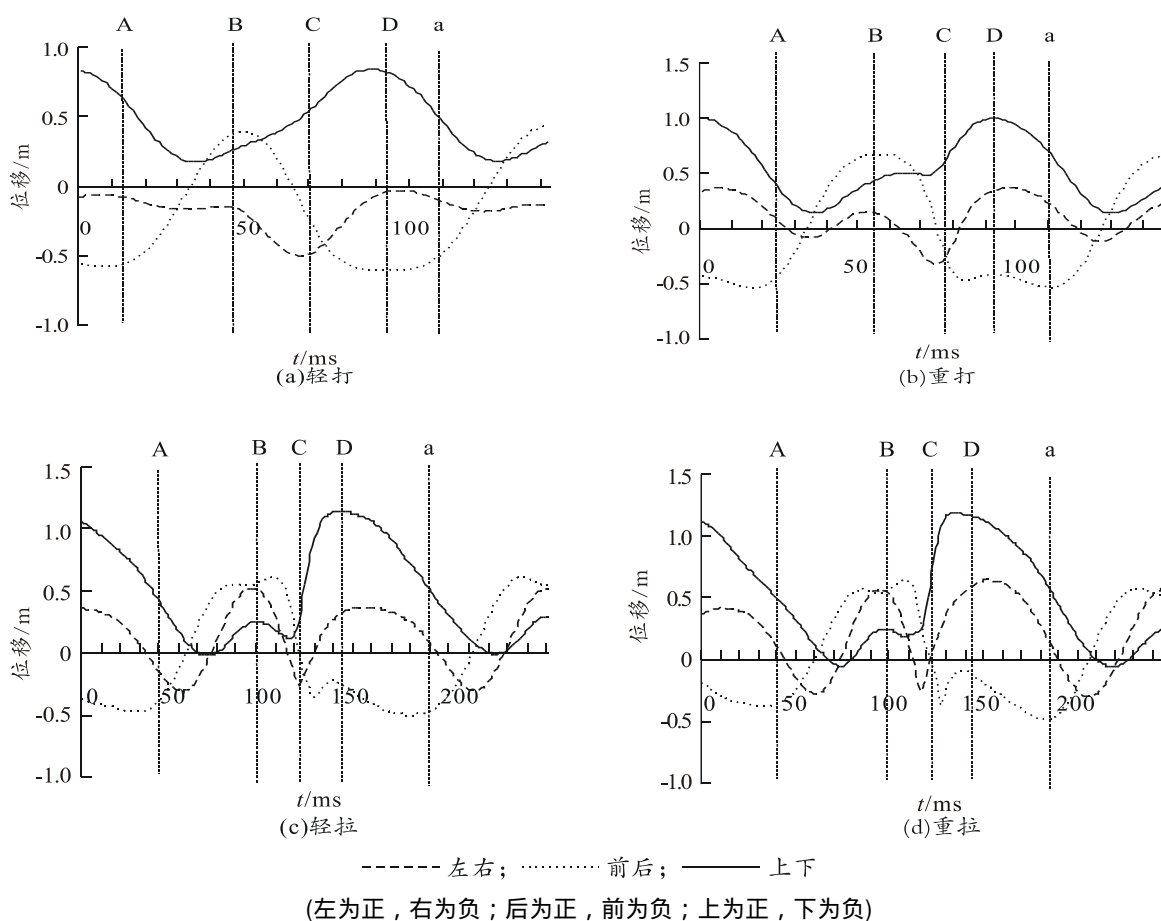


图 2 球拍在 3 个方向上移动的轨迹

1) 引拍阶段球拍的方向和幅度。

虽然运动员完成正手快攻和正手弧圈球技术时球拍的运动轨迹不太一样，但引拍过程中球拍是向下和向后运动的。如表 3 所示，经 t 检验，两种用力方式完成正手快攻技术，引拍的幅度没有差异；正手弧圈球技术和正手快攻技术之间差异显著，重拉幅度大于重打的幅度；当比较两种用力方式完成正手弧圈球技术发现，在左右方向上有差异。

向下的幅度，最大力量弧圈球技术为 (0.46 ± 0.21) m，快攻为 (0.19 ± 0.10) m；向后的幅度，正手弧圈球技术为 (0.95 ± 0.06) m，正手快攻是 (0.67 ± 0.12) m；向右的幅度最大力量弧圈球技术为 (0.52 ± 0.21) m，正手快攻为 (0.23 ± 0.13) m，差异显著。说明引拍阶段正手拉球在上下、前后、左右方向上球拍的运动幅度均大于正手快攻。

比较轻拉和重拉在引拍幅度时发现，重拉比轻拉

向右的幅度要大,而在前后、上下方向上没有差异。
当观察 QUALISIY 的三维动画时可以发现,引拍

过程的轨迹不是沿从还原时刻到引拍结束时刻连线的
直线运动,而是曲线,弧圈球技术曲线的弧度更大。

表3 不同动作技术球拍的空间参数¹⁾ ($\bar{x} \pm s$)

阶段	方位	正手快攻		正手拉弧圈球		m
		轻打	重打	轻拉	重拉	
引拍	左右	-0.18±0.11	-0.23±0.13 ³⁾	0.37±0.35 ⁴⁾	0.52±0.21	
	前后	0.62±0.51	0.67±0.12 ³⁾	0.91±0.10	0.95±0.06	
	上下	-0.09±0.41	-0.19±0.10 ³⁾	-0.45±0.16	-0.46±0.21	
挥击	左右	-0.09±0.15 ²⁾	-0.28±0.10 ³⁾	-0.45±0.19	-0.44±0.23	
	前后	-0.28±0.28	-0.31±0.26 ³⁾	-0.46±0.16	-0.43±0.07	
	上下	0.04±0.30	0.09±0.08 ³⁾	0.33±0.17	0.39±0.13	
随挥	左右	0.40±0.07 ²⁾	0.65±0.10 ³⁾	0.73±0.19	0.81±0.12	
	前后	-0.27±0.40	-0.45±0.20	-0.34±0.14	-0.43±0.04	
	上下	0.22±0.31	0.49±0.06	0.89±0.15	0.77±0.37	
还原	左右	-0.13±0.18	-0.12±0.08 ³⁾	-0.32±0.21	-0.39±0.19	
	前后	-0.02±0.08	-0.04±0.07	-0.10±0.11	-0.19±0.13	
	上下	-0.19±0.22	-0.38±0.11 ³⁾	-0.58±0.06	-0.58±0.11	
总路程	左右	0.86±0.17 ²⁾	1.28±0.24 ³⁾	1.76±0.34	1.82±0.38	
	前后	1.58±0.44	1.75±0.21 ³⁾	1.83±0.19	1.90±0.12	
	上下	1.17±0.26	1.20±0.19 ³⁾	2.07±0.30	2.00±0.57	

1)左为正、右为负,后为正、前为负;上为正、下为负;2)正手轻打和正手重打比较, $P<0.05$;3)正手重打和正手重拉比较, $P<0.05$;

4)正手轻拉和正手重拉比较, $P<0.05$

2)挥击阶段球拍的方向和幅度。

由于经过正手弧圈球技术大幅度的引拍后,在这一阶段,正手弧圈球技术在3个方向上运动幅度大于正手快攻的运动幅度,差异显著。

由动量定理可知,物体运动过程中,在某段时间内动量的改变等于所受合外力在这段时间内的冲量,即

$$\vec{F} \cdot \Delta t = m\vec{V}_t - m\vec{V}_0$$

其中, F 代表合外力, t 代表时间, m 代表质量, V_t 代表末速度, V_0 代表初速度。

在本研究中,为了增加末端环节的运动速度,即增加球拍的动量,应增加在最后用力阶段对球拍的冲量,这就要求在发挥最大力量的同时,延长力的作用时间。根据人体肌肉用力特点,如果有意识地放慢动作的速度来延长作用时间,会降低肌肉收缩力量,不利于肌肉的爆发收缩,也就不能达到增加冲量的目的。正确的作法是,在保证发挥肌肉最大用力的同时,通过延长力的作用距离来延长作用时间。

3)随挥阶段球拍的方向和幅度。

随势挥拍是整个发力过程的一个组成部分,是在保证击球动作最后阶段准确性前提下的一个制动过

程,向左上前方继续随势挥拍,球拍速度从最大降到最小。球拍在左右方向上移动的距离,重拉(0.81±0.12)m,大于重打(0.65±0.10)m;在上下方向上,重拉向上移动了(0.77±0.37)m,大于重打向上移动的(0.49±0.06)m;前后方向上移动的距离相似,在0.44m左右。

4)还原阶段球拍的方向和幅度。

迅速还原指的是击球动作完成后,球拍、身体重心和基本站位的还原,以便为下一次击球做好准备。由表3及图2可以看到,还原阶段的运动方向是以向下为主的,略有前移,左右方向上还原的距离两者有差异,正手最大力量快攻向右移动了(0.12±0.08)m,而正手最大力量弧圈球技术快攻的幅度,大于正手快攻,为(0.39±0.19)m。

在还原阶段,可以看到无论是正手快攻还是正手拉弧圈球,球拍走的是弧线,路线是从远离身体的位置,到靠近身体的还原位置。这种方式一是为了便于预判,二是为了利于引拍。虽然本文是连续击球的实验研究,但优秀运动员的动作结构合理,打完一板球后,使身体快速恢复到还原状态,并使球拍靠近自己的身体。因为在每次击完球,运动员对下一次击球的方向和落点是处于未知的高度警惕状态,于是体现在

还原技术上,就是使球拍靠近自己的身体。这样便于下一个击球技术时无论向正手和反手都能快速引拍,而且当以球拍靠近身体小半径引拍时,会减小身体的转动惯量,从而增大了引拍时的转动速度,更利于快速引拍。

3 结论

1)球拍的速度特征:在引拍结束时刻,打和拉技术,以及不同用力方式之间的打和拉之间的速度存在差异。重打和重拉引拍结束时刻的速度分别大于轻打和轻拉。在击球时刻,轻打的速度小于重打,轻拉的速度小于重拉,重打的速度小于重拉。

2)球拍的时间特征:正手快攻技术和正手弧圈球技术在时间特征上表现为,正手弧圈球技术的总时间长于正手快攻技术,在引拍和还原两个阶段所用时间百分比明显长于正手快攻,而随挥阶段所用的时间比率小于正手快攻。挥拍击球所用时间及用时比率,两种技术基本上相同。

3)球拍的空间特征:第1,在引拍阶段,用两种用力方式完成正手快攻技术,引拍的幅度没有差异;正手弧圈球技术和正手快攻技术差异显著,重拉幅度大于重打的幅度;重拉比轻拉向右的幅度要大,而在前后、上下方向上没有差异。第2,在击球阶段,正手弧圈球技术在3个方向上运动幅度大于正手快攻的运动幅度。第3,在随势挥拍阶段,球拍在左右、上下方向上移动的距离,重拉大于重打;前后方向上移动的距离相似。第4,在还原阶段,还原阶段的运动方向是以向下为主的,略有前移,左右方向上还原的距离两者有差异,正手最大力量弧圈球技术幅度大于正手快攻。

参考文献:

- [1] 张惠钦.乒乓球的旋转[M].北京:人民体育出版社,1986.
- [2] 张惠钦.论乒乓球的快攻[M].北京:人民体育出版社,1987.
- [3] 董树英.加大击球力量生物力学原理的初步探讨[J].

西安体育学院学报,1985,2(3):39-42.

- [4] 国家体育总局《乒乓长盛考》研究课题组.乒乓长盛的训练学探索[M].北京:北京体育出版社,2002.
- [5] 苏丕仁.现代乒乓球运动教学与训练[M].北京:人民体育出版社,2003.
- [6] 苏丕仁.乒乓球教学与训练[M].北京:人民体育出版社,1995.
- [7] 邱钟惠.现代乒乓球[M].北京:人民体育出版社,1995.
- [8] 中国运动生物力学学会.运动生物力学论文选[M].北京:人民体育出版社,1990.
- [9] 金季春,李诚志.冠军的技术[M].北京:人民体育出版社,1990.
- [10] 郑秀媛.运动生物力学进展[M].北京:国防工业出版社,1998.
- [11] 卢德明.运动生物力学测量方法[M].北京:北京体育大学出版社,2001.
- [12] 程存德.我国近台快攻直拍横打、拉技术动作的浅析[J].西安体育学院学报,1997,14(2):44-46.
- [13] 许绍发.直拍反面进攻技术的可行性研究[J].体育科学,1987,7(2):20-22,51.
- [14] 张辉.对我国部分男子优秀乒乓球直拍运动员反面拉弧圈球技术的研究[D].北京:北京体育大学,1995.
- [15] 柳天扬.我国男子优秀乒乓球运动员正手近台攻打、反冲前冲弧圈球技术的三维运动学分析[D].北京:北京体育大学,1995.
- [16] 陈洁.直拍四面攻打法的可行及其技术特点的研究[J].北京体育大学学报,2001,24(2):224-227.
- [17] 黄诚.直拍横打和横拍反手位攻弧圈球动作特征对比分析[D].上海:上海体育学院,2000.
- [18] 杨斌.优秀女子青少年乒乓球运动员弧圈技术分析[D].北京:北京体育大学,2004.
- [19] 孟杰.乒乓球比赛中王皓与唐鹏的正反手弧圈球技术动作技术的生物力学分析[D].北京:北京体育大学,2005.

[编辑:周威]