

乒乓球反手中远台拉冲技术核心环节的运动学特征分析

蒋津君, 姚家新

(天津体育学院, 天津 301617)

摘要:通过分析反手中远台拉冲技术核心环节的运动学特征,探索其技术动作结构变化的规律以及相应环节在击球过程中的主要作用。运用瑞典 Qualisys 三维运动捕捉系统对 11 名优秀男子乒乓球运动员的反手中远台拉冲技术动作进行测试与分析,结果表明,在该动作完成过程中腕、肘、肩、髋、膝、背等各环节都参与协同发力,腿、背、肩部的蹬转运动稍早于伸肘和甩腕;腕在肘后有加速,拍在腕后有加速,球拍顶点的加速结束最晚,击球前的甩腕是最后的加速发力环节;甩腕、伸肘、挥前臂这三个环节是反手拉冲技术中提高挥拍速度的关键环节;蹬腿、顶髋、伸背对于提升挥拍速度的直接作用较小,髋、膝、背部的主要作用在于依据来球的不同特征调节身体的空间位置以及为挥臂提供支撑反作用力;击球时前臂的挥动是向前为主、向上为辅,“快撞在先,快摩在后”;球拍顶点合速度的最大值出现在击球瞬间。研究认为:在实际训练中要注意加强腿、髋、背部依来球不同特征对身体空间位置进行调整的能力,并强调前臂的横向转动以及“伸肘”和“甩腕”对于提高击球质量的作用;另外,还需注意提高各环节间整体协调发力的能力,避免出现发力过早或过晚现象,使球拍挥动速度在击球瞬间达到最大值。

关键词: 乒乓球; 中远台; 反手拉球技术; 核心环节; 运动学特征

中图分类号: G846

文献标志码: A

文章编号: 1008-3596 (2018) 06-0066-10

反手中远台拉冲即站位于中远台(离台 70—100 cm)用反手进行拉冲(拉来球为上旋球的前冲弧圈球)。从当前乒乓球比赛技战术的发展和运用趋势来看,随着反手台内“拧”这项技术的不断成熟,乒乓球比赛中接发球“拧”起来后就基本进入了中远台上旋对峙的局面^[1]。虽然反手中远台拉冲和正手中远台拉冲同为中远台上旋对峙的核心技术,但从当前技术的整体发展程度来看,正手拉冲相对反手拉冲更有优势,比赛双方大多都会采取压至对方的反手位,在反手位

的相持中找机会侧身或反手突然发力调动到对手的正手位以争取主动。就以上技战术运用情况来看,反手连续拉冲的实力过弱必然会被对手盯住反手位,导致自己在实战中较为被动。尤其是在当前球体变大、球速下降、靠正手单面进攻来获取胜利已越来越难的情况下,反手连续拉冲的能力在比赛中的制胜作用也越来越重要。这在 2017 年世界杯比赛中奥恰洛夫的技战术运用上体现得尤其明显,其反手拉冲实力为其获得男单冠军提供了强大支撑。

收稿日期: 2018-05-19

基金项目: 天津市哲学社会科学规划项目(TJTY17-005)

作者简介: 蒋津君(1979—),男,湖北黄冈人,副教授,博士,研究方向为乒乓球教学与训练。

通讯作者: 姚家新(1956—),男,湖北宜昌人,教授,博士,博士生导师,研究方向为竞赛心理训练与调控。

文本信息: 蒋津君,姚家新.乒乓球反手中远台拉冲技术核心环节的运动学特征分析[J].河北体育学院学报,2018,32(6):66-75.

前期对乒乓球技术动作的研究以正手居多,反手很少;纯理论性的分析居多,结合技术动作实测数据进行分析的较少^[2-12]。虽然大多研究都指出了技术动作有哪些必要环节,但通过实测数据对各环节的作用及其对提高击球质量的贡献率的大小进行分析的几乎没有。实际上,对技术动作进行研究不只是找出其必要环节,更有指导意义的是发现相应环节对于提高击球稳定性和击球质量的作用及作用大小。现有的对乒乓球技术动作的实验研究主要是对角度和速度这两项指标进行分析,对于角速度这一指标却鲜有分析,而实际上体现动作各环节对于提升击球质量贡献率的主要指标恰恰是相关环节的角速度。

基于此,本研究拟综合角度、速度、角速度等指标进一步对反手中远台拉冲这一关键性技术进行研究,其不仅能对前期相关研究进行论证,也可进一步分析该项技术相应环节的作用及其作用的大小,找到提高击球质量的核心环节。研究将有利于加深对反手中远台拉冲技术的认识,可为今后的教学与训练提供指导和参考。

1 研究对象与方法

1.1 研究对象

受试者为11名获国家运动等级的乒乓球运动员,握拍法均为横握拍,正、反手均为反胶,基本信息见表1。

表1 受试对象基本信息

| 年龄 | 性别 | 身高/cm | 体重/kg | 运动等级 | 握拍法 | 打法类型 | 持拍手 | 总人数 |
|------|----|-------|-------|---------------|-----|------|---------------|-----|
| 22±3 | 男 | 182±9 | 75±10 | 健将1人 一级10人 | 横握 | 弧快 | 右手10人 左手1人 | 11人 |

1.2 实验方法

1.2.1 实验仪器简介及其定位与调试

运用瑞典产的Qualisys三维运动采集与分析系统(自带同步高速视频摄像机)对受试者的反手中远台拉冲技术动作进行信息采集。三维运动采集的频率为200 Hz,高速视频摄像机位于球台左侧上方,距运动中心3 m,高度为2 m,以保证能抓拍拍到球与拍接触瞬间。

1.2.2 测量部位及指标的设定与定义

红外三维摄像标志点的位置及其标号如表2所示。腕关节角度:∠ABC;肘关节角度:

∠BCD、∠KLM;肩关节角度:∠CDE、∠LMN;髋关节角度:∠DEF、∠MNO;膝关节角度:∠EFG、∠NOP;背部角度:∠ISO;两肩连线(线HQ)与端线(线DM)空间平移相交后的夹角:∠DXH或∠MXQ,X为HQ和DM平移后的相交点;前臂(线HQ)与端线(线BC)空间平移相交后的夹角:∠BXQ或∠CXH,X为HQ和BC平移后的相交点。研究主要分析击球动作过程中各环节的角度、速度、角速度等指标的变化。

表2 三维摄像标志点编号及其标定位置

| 持拍手(侧) | 标定位置 | 非持拍手(侧) | 标定位置 |
|--------|-------------|---------|-----------------|
| A | 球拍拍头顶点处 | K | 桡骨茎突外下缘 |
| B | 桡骨茎突外下缘 | L | 肱骨外上髁 |
| C | 肱骨外上髁 | M | 肩峰端 |
| D | 肩峰端 | N | 大转子 |
| E | 大转子 | O | 股骨外上髁 |
| F | 股骨外上髁 | P | 腓骨外髁顶点 |
| G | 腓骨外髁顶点 | Q | 球台端线与左边线夹角处 |
| H | 球台端线与右边线夹角处 | I、S、O | 第7颈椎、第12胸椎、第5腰椎 |

注:部分标志点因不是该文研究重点,并未在此表列出

1.2.3 运动方式及具体测试要求

陪练者连续发定点上旋球,要求受试者双脚分别站于测力台上以较大力量连续进行反手中远

台拉冲,击球线路为斜线,测试用球为红双喜三星40+。保证测试中至少有三个连续完整动作后结束测试并保存数据,确保各项数据的有效性

和完整性。

1.2.4 动作阶段的划分与定义

在结合乒乓球运动特征并分析反手中远台拉冲技术动作的三维图像实测数据后,把反手中远台拉冲技术动作的节点(时刻)定义如下:①引拍结束时刻:引拍至最后时刻(可通过红外三维

线路确定);②击球时刻:球撞拍的时刻(可通过高速视频摄像确定);③随挥结束时刻:随挥至最高处附近的第一拐点时刻(球拍标志点处于最高点附近,可通过红外三维线路确定);④还原时刻:球拍还原至腹前髌高位置附近。具体可见以下实测技术动作截图(图1)。

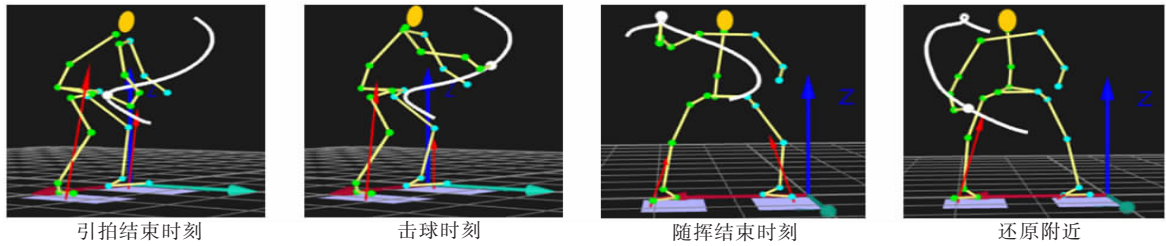


图1 反手中远台拉冲技术动作不同时刻定位示意图

击球过程中不同时刻的支撑结构图可从整体上直观地展示反手中远台拉冲技术动作支撑结构的动态变化特征,从同一角度(持拍手侧后上

方)截取击球过程中不同时刻的支撑结构如图2所示。

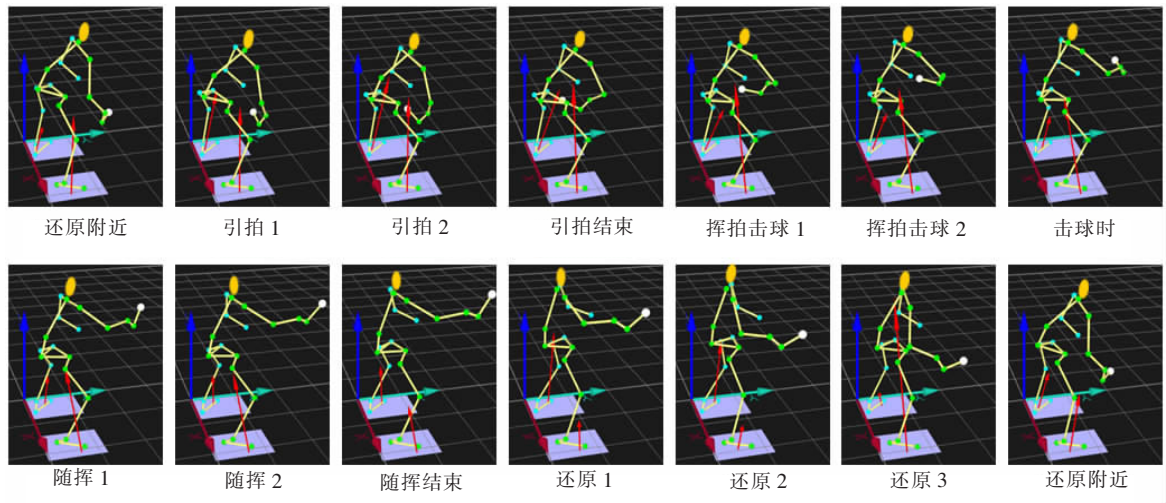


图2 反手中远台拉冲技术动作不同时刻身体支撑结构动态展示图

2 结果分析与讨论

2.1 反手中远台拉冲技术动作各部位角度变化特征

2.1.1 不同击球时刻各部位角度数据的“静态特征”分析

不同击球时刻身体各部位所构成的角度特征是反映身体支撑和发力结构特征的重要指标,表3为对11名受试者反手中远台拉冲技术动作的部分相关数据的统计结果。W、Z、J、CK、CX分别为持拍手侧腕关节角度(∠ABC)、肘关节角度(∠BCD)、肩关节角度(∠CDE)、髋关节

角度(∠DEF)和膝关节角度(∠EFG);B为背屈角度(∠ISO),K、X分别为非持拍手侧髋关节角度(∠MNO)和膝关节角度(∠NOP);JL(XZ)、JL(XY)分别为两肩连线与球台端线的夹角在额状面和水平面的投影角度;QB(XZ)、QB(XY)分别为前臂与球台端线的夹角在额状面和水平面的投影角度。当持拍手侧肘高于腕时将QB(XZ)定为正值,反之为负值;当持拍手侧肘在腕“前方”时将QB(XY)定为正值;当持拍手侧肩低于非持拍手侧肩时将JL(XZ)定为正值,反之为负值;当持拍手侧肩在非持拍手肩“前方”时将JL(XY)定为正值。

表 3 反手中远台拉冲技术动作
各环节部位角度数据统计表 (M±Sd) (°)

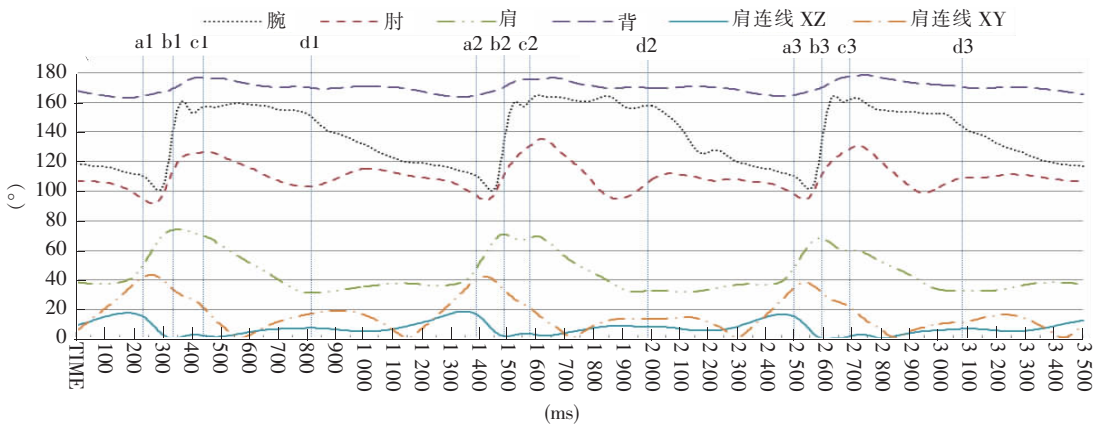
| 环节部位 | 引拍结束时刻 | 击球时刻 | 差值 |
|---------|--------|--------|-----|
| W | 114±11 | 130±6 | 16 |
| Z | 97±12 | 112±6 | 15 |
| J | 55±11 | 78±8 | 23 |
| B | 156±4 | 161±4 | 5 |
| JL (XZ) | 18±10 | 4±8 | -14 |
| JL (XY) | 33±6 | 30±7 | -3 |
| QB (XZ) | 34±10 | 14±8 | -20 |
| QB (XY) | 17±6 | -39±8 | -56 |
| CK | 115±7 | 126±5 | 11 |
| K | 112±9 | 124±8 | 12 |
| CX | 122±9 | 127±11 | 5 |
| X | 133±9 | 135±9 | 2 |

结合图 2 和表 3 的数据, 对反手中远台拉冲技术动作的结构变化可总结如下: ①引拍结束时, 屈肘屈腕并稍向前抬起大臂前送肘关节, 使肘在腕和拍的前方, 有利于用大臂带动前臂挥动; 击球时, 腕、肘、肩等关节的角度增大较为明显 (分别为 16°、15°、23°), 从引拍结束至击球过程中腕由屈到伸、肘由屈到伸、大臂外展。②肩连线向上转动 JL (XZ) 的幅度明显大于横

向的转动 JL (XY)。③持拍手侧膝关节角度稍有增大 (平均为 5°), 非持拍侧膝关节角度整体上变化不明显。④两侧髋关节的角度都稍有增加, 持拍手侧与非持拍手侧分别增加 11°和 12°。⑤背屈角度稍有增大, 平均增加 5°。⑥前臂的旋转角度变化最大, 引拍结束至击球时前臂在额状面的平均角度差值和水平面的平均角度差值分别为 20°和 56°。整体上来看, 反手中远台拉冲时甩腕、伸肘、挥大臂、顶髋、伸膝、伸背等各环节协同配合发力; 前臂的旋转角度变化最大, 其次为腕、肘、肩三个部位的角度变化较大。

2.1.2 击球过程中各部位角度变化的“动态特征”分析

击球过程中, 身体的支撑及其发力结构的外显性特征主要体现在各关节的角度变化上。虽然 11 名受试者在引拍结束和击球时腕、肘、肩、髋、膝、背等部位的角度值有所差异, 但其在各环节的动态变化趋势 (定性) 上却有诸多共同特征, 本文将结合 1 号健将的数据 (图 3、图 4) 对各项特征进行展示说明。



注:a1、b1、c1、d1 分别为第一个动作周期的引拍结束、击球瞬间、随挥结束、还原附近四个时刻点, 图中均列出 3 个连续动作周期, 下图同

图 3 反手中远台拉冲过程中相关部位角度动态变化图 (1)

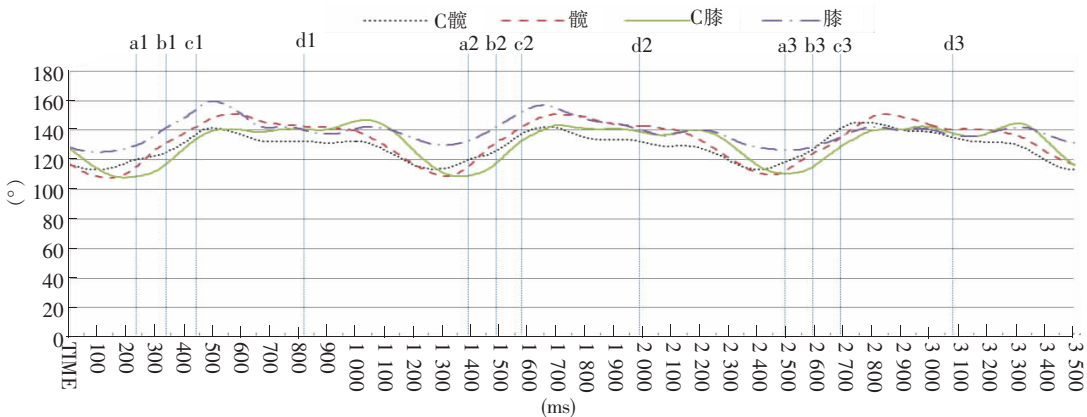


图 4 反手中远台拉冲过程中相关部位角度动态变化图 (2)

由以上相关部位角度的动态变化数据可以发现：①肘关节在引拍结束稍后达最小值附近，而腕部角度稍晚于肘关节达最小角度，即腕部在肘部开始向前挥动时还有短时的“屈”动作；击球前，肘关节和腕关节的角度都迅速增加。②肩关节角度在引拍结束稍前已开始增大（说明引拍结束稍前大臂已开始向前上挥动），直至击球稍后达最大值。③背屈角度在引拍结束稍前达最小值，在引拍结束至击球这一过程中角度持续增大。④肩连线（XZ）角度在引拍结束时处于最大值附近，而肩连线（XY）在引拍结束稍前达到最大值附近，说明肩部在引拍结束稍前先有向上的转动，随后在引拍结束时才开始横向向后的转动。⑤髌关节在引拍结束稍前已达最小角度，在引拍结束时呈增加趋势；引拍结束至击球这一过程中两髌的角度变化趋势基本相同，但持拍手侧的髌关节角度变化稍早于非持拍手侧（即持拍手侧髌角度稍早达最小值），说明持拍手侧的髌部发力（蹬腿顶髌）稍早于非持拍手侧。⑥膝关节角度在引拍结束附近达最小值，其达最小值时刻整体上稍晚于髌关节，说明髌关节在引拍结束附近的角度开始增大时刻要稍早于膝关节；膝关节角度在引拍结束至击球这一过程中角度值的整体变化较小。

整体上来看，在引拍结束附近身体成含胸、收腹、侧转沉肩、屈肘、屈腕、屈髌、屈膝等姿势，为协同快速挥拍蓄势；挥拍击球过程中，腕、肘、肩、背、髌各部位的角度都呈增大趋势，髌、背、肩部的角度几乎同步在引拍结束稍前开始有增大趋势（部分受试者肩部角度增加相对稍早），而肘关节的角度开始增大时刻相对稍晚，腕关节更晚。由此可见，挥拍击球过程中，

腿、背、肩部的蹬转运动稍早于伸肘和甩腕。

2.2 反手中远台拉冲技术动作各部位标志点的速度变化特征分析

击球过程中身体各部位的运动速度是反映其空间位置移动特征最为直接的指标。就同一种回球方式而言，挥拍速度越快的击球相对越有“力量”^[13]，挥拍速度是体现击球“力量”最为直接的指标。对于最终所要达到的较大挥拍速度的效果，可通过手臂各标志点的速度来反映。

2.2.1 击球时持拍手手臂各部位速度数据的“静态特征”分析

表4为对反手中远台拉冲技术动作手臂标志点的实测数据统计。结合表4的实测数据和图2的基本动作结构可知：①手臂端离躯干越远的部位速度越大（即在整体的速度值为 $P > W > Z > J$ ），且W、P与J、Z的速度差值比较大。结合腕部和球拍顶点的速度值的差距来看，虽然“前臂的长度”与“球拍顶点至腕标志点的距离”相差不多，但球拍顶点的速度明显在腕部速度的2倍以上，那么这个多出来的速度则主要为甩腕的贡献，由此可以判断甩腕对于提高挥拍速度的作用较大。②肘标志点（Z）是以肩为支点的转动，其速度较小，由此可以推断肩部的角速度会比较小。再结合其实际动作结构来看，肩、肘部的平动虽然对于最终的挥拍速度有一定的提升作用，但其连线（即大臂）在击球过程中的主要作用是作为前臂和手腕横向转动的“轴”以及作为“伸肘”弹出前臂的支撑点。③击球时球拍的挥动方向主要为向前（均值10.4 m/s），其次是向上（均值5.9 m/s），绝大多数受试者在左右方向上的挥动速度较小。从理论上讲，在左右方向上为负值的受试者一定程度上存在甩腕偏晚的倾向。

表4 反手中远台拉冲技术动作击球时持拍手手臂各部位速度数据统计表

m/s

| 受试(身高) | J | Z | W | P | P(X) | P(Y) | P(Z) |
|-------------|---------|---------|---------|----------|---------|----------|---------|
| 1号(174 cm) | 1.2 | 1.7 | 6.2 | 15.5 | 2.1 | 11.3 | 7.1 |
| 2号(173 cm) | 0.7 | 0.8 | 5.3 | 14.4 | 2.2 | 10.9 | 6.5 |
| 3号(174 cm) | 1.7 | 1.8 | 4.8 | 13.6 | 0.5 | 10.9 | 5.8 |
| | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 11号(191 cm) | 1.4 | 1.9 | 6.6 | 13.3 | -3.5 | 11.0 | 6.5 |
| M±Sd | 1.1±0.3 | 1.7±0.4 | 5.7±1.0 | 13.0±1.8 | 0.4±2.2 | 10.4±1.4 | 5.9±1.5 |

注：J、Z、W、P分别为肩、肘、腕、球拍标志点的速度，P(X)、P(Y)、P(Z)分别是以球拍标志点“向右”“向前”“向上”为正值的分速度。左手持拍的受试者取“向左”为正值

2.2.2 击球过程中持拍手手臂各部位速度变化的“动态特征”分析

击球动作过程中各部位速度数据的同步动态

变化特征图相对于某一固定时刻的数据能更全面地展示技术动作相关部位的整体变化特征，对手臂相关部位速度的动态变化数据处理结果如图

5、图 6 所示。

2.2.2.1 肩、肘、腕、拍标志点合速度变化的“动态特征”分析

从各部位标志点速度值的动态变化图(图 5)可以发现:在击球瞬间,球拍顶点的合速度正好处于最大值时刻(这一时刻也是理论上的最佳击球时刻),而腕、肘、肩的最大速度时刻都

稍早于球拍顶点的最大速度时刻,即在击球前它们的合速度有所下降;肘、腕、拍依次达最大速度,肩部的最大速度时刻稍晚于肘,与腕部达最大速度时刻相当。由以上变化规律可以看出,腕在肘后有加速,拍在腕后有加速,球拍顶点的加速结束最晚(即甩腕动作结束最晚),说明击球前的甩腕是最后的加速发力环节。

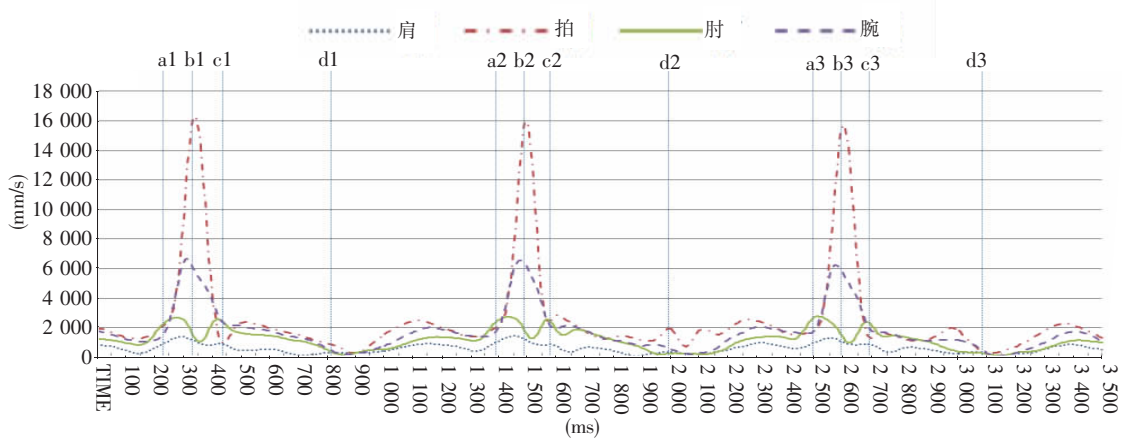
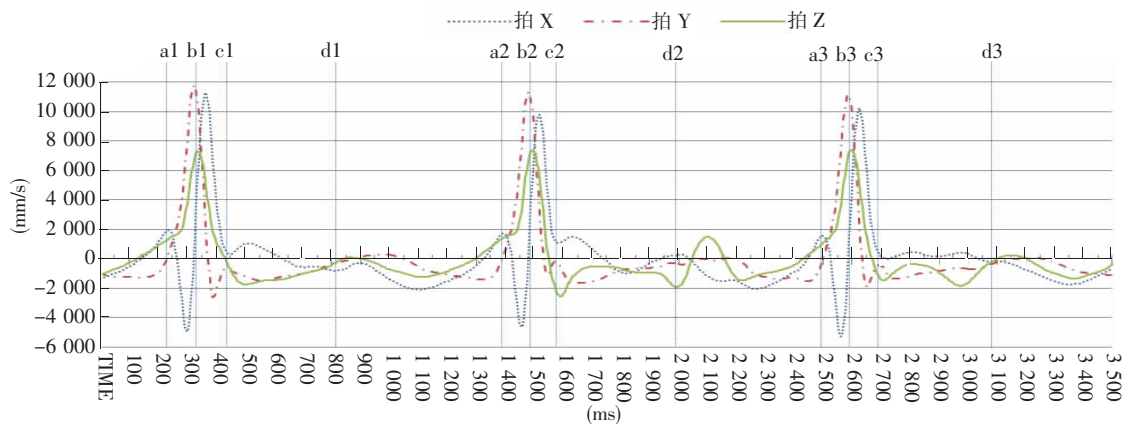


图 5 反手中远台拉冲过程中持拍手手臂各部位合速度动态变化图

2.2.2.2 球拍顶点在不同方向上速度变化的“动态特征”分析

球拍的挥动速度与挥动方向以及拍面的角度是决定击球效果的核心要素^[13]。拍面的角度及

球拍的挥动方向不单决定着击球时撞击和摩擦的比例,还很大程度上影响着球的初始运动方向。球拍顶点在三个基本轴向上的分速度的动态变化如图 6 所示。



注:拍 X、拍 Y、拍 Z 分别为球拍顶点在三个基本轴上的速度分量,右、前、上为“正”值

图 6 反手中远台拉冲过程中球拍顶点在不同方向上的速度动态变化图

从球拍顶点在三个方向上的分速度来看:引拍结束稍前,球拍已经开始有向上的挥动,此刻球拍向前的挥动在“零”附近(因为此时正好为定位的引拍结束时刻)。引拍结束时球拍稍有向右的速度,即引拍后还有一个稍屈腕的动作(幅度大小因人而异)。击球时,球拍顶点向前和向上的挥动速度在最大值附近,球拍向前的最大速度出现在击球时或击球稍前,而向上的最大速度

出现在击球稍后,即“快撞在先,快摩在后”,符合前期的“打摩结合”理论^[13]。

2.3 反手中远台拉冲技术动作相关部位角速度变化特征分析

击球过程中,身体相应关节的角度变化反映的是身体的发力支撑结构及其结构的变化,球拍顶点的速度反映的是各环节协同发力的最终结果,而相应环节的角速度指标则可较直观

地体现出不同环节对于提高挥拍速度的贡献率^[1]。

2.3.1 击球瞬间相关部位角速度数据的“静态特征”分析

表5为反手中远台拉冲技术动作相关部位在击球瞬间的角速度数据统计表。W为击球持拍手腕关节的角速度，Z为击球时持拍手肘关节的角速度，J为击球时持拍手侧肩关节的角速度，CK为击球时持拍手侧髌关节的角速度，K为击

球时非持拍手侧髌关节的角速度，CX为击球时持拍手侧膝关节的角速度，X为击球时非持拍手侧膝关节的角速度，B为击球时背部角速度，JL(XZ)为击球时两肩连线与球台端线的夹角在额状面上投影的角速度，JL(XY)为击球时两肩连线与球台端线的夹角在水平面上投影的角速度，QB(XZ)为击球时前臂与球台端线的夹角在额状面上投影的角速度，QB(XY)为击球时前臂与球台端线夹角在水平面上投影的角速度。

表5 反手中远台拉冲技术动作击球瞬间相关部位角速度数据统计表

| 受试(身高) | W | Z | J | CK | K | CX | X | B | JL(XZ) | JL(XY) | QB(XZ) | QB(XY) |
|-------------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--------|--------|--------|--------|
| 1号(174 cm) | 1 242 | 383 | 9 | 105 | 109 | 145 | 97 | 87 | -33 | -179 | -621 | 1 147 |
| 2号(173 cm) | 1 211 | 579 | -7 | 124 | 158 | 119 | 84 | 52 | -12 | -47 | -293 | 995 |
| 3号(174 cm) | 1 132 | 638 | 67 | 187 | 202 | 48 | -63 | 72 | -35 | -161 | -543 | 1 018 |
| | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 11号(191 cm) | 595 | 180 | 72 | 106 | 94 | 97 | 33 | 49 | -89 | -174 | -582 | 946 |
| 平均值 | 967 | 491 | 30 | 125 | 119 | 83 | 28 | 61 | -74 | -122 | -464 | 1 007 |
| 标准差 | 212 | 210 | 69 | 28 | 46 | 48 | 55 | 17 | 47 | 60 | 149 | 193 |

结合图2和表5数据，可作如下分析：①击球瞬间前臂向前转动的分角速度值(1 007 °/s)明显大于向上转动的分角速度值(464 °/s)，说明击球时前臂的挥动是以向前为主、向上为辅(这在球拍顶点的分速度值上也有所体现)。②击球瞬间，腕、肘、前臂这三个部位的角速度明显较大，由此可以看出伸肘、挥前臂(以大臂为横向轴转动前臂)、甩腕这三个环节是反手拉冲技术中提高挥拍速度的关键环节。③髌、膝、背等部位的角速度值在击球瞬间相对较小，且部位间相对速度的提升是以“直线支撑”为主，并不是“弧线甩动”，由此可知这些环节对于提升挥拍速度的直接作用较小，其主要作用在于依据来球的不同特征调节身体空间位置以及为挥臂提供支撑反作用力。

2.3.2 击球过程中相关部位角速度变化的“动态特征”分析

击球瞬间各部位的“静态”角速度数据反映的是拍触到球这一瞬间的角速度特征，对于各个部位角速度的整体变化特征则需以各部位角速度的动态变化图来呈现。

2.3.2.1 腕、肘、肩、髌、膝、背的角速度变化“动态特征”分析

图7、图8为反手中远台拉冲相关部位角速度动态变化图，结合图7、图8中相关部位角速度的动态变化及图2的基本结构可以做如下分析：①在击球时刻附近，肘关节伸和腕关节伸的

角速度基本处于最大值，而此时背伸和肩关节(大臂外展)的角速度已从最大值上有所下降。这说明“背伸”和“大臂外展”这两个环节的“发力”要早于“伸肘”和“甩腕”。②对比髌关节与腕、肘、肩三个部位角速度的变化时刻可以看出，两髌的角速度转为正值时刻明显要早于腕部和肘部，与肩相接近，说明两髌和肩部的“正向发力”明显要早于腕部和肘部。③腕、肘关节在击球时刻附近角速度达到最大值，而肩的角速度在引拍稍后即达到最大值(角速度峰值较大)，击球时肩部的角速度已降至较低，说明大臂较早开始做外展向前运动从而带动肘部向前运动(其不仅可以带动手臂向前挥动，还可为作为“伸肘”和转动前臂的有力支撑点)，随后腕肘部开始发力加速。

在整个击球过程中，“背伸”“膝伸”“髌伸”的角速度都相对较小(基本都在200 °/s以内)，而以大臂为轴的前臂的转动角速度值在1 000 °/s附近，且“腕伸”和“肘伸”的角速度也较大(基本都在500 °/s以上，且其最大值也正好出现在击球时刻附近)，结合各点的速度数据及以上各环节的角速度动态数据，可以进一步证实：以大臂为轴的前臂的转动以及“腕伸”(乒乓球运动中将其称为“甩腕”)和“肘伸”这几个环节是提高挥拍速度的核心环节，而髌、膝、背主要起到支撑和调整击球位置的作用，辅助提高挥拍速度。当然，我们也必须意识到击球过程中的

“背伸”“膝伸”“髌伸”等都是提高击球质量的必要环节, 因为任何一个环节的脱力都会影响到身体整体“运动链”的力量传递效果。另外还

需注意, 这些环节的速度或角速度较小并不等于这些环节的发力小, 因为这些环节不仅“负重”较大, 还需要为转腰、挥臂等环节提供支撑反作用力。

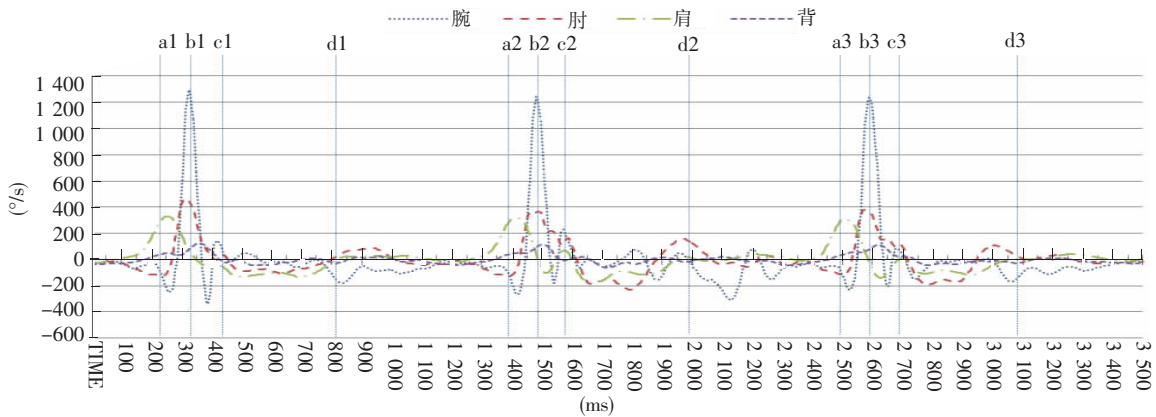


图 7 反手中远台拉冲技术相关部位角速度动态变化图 (1)

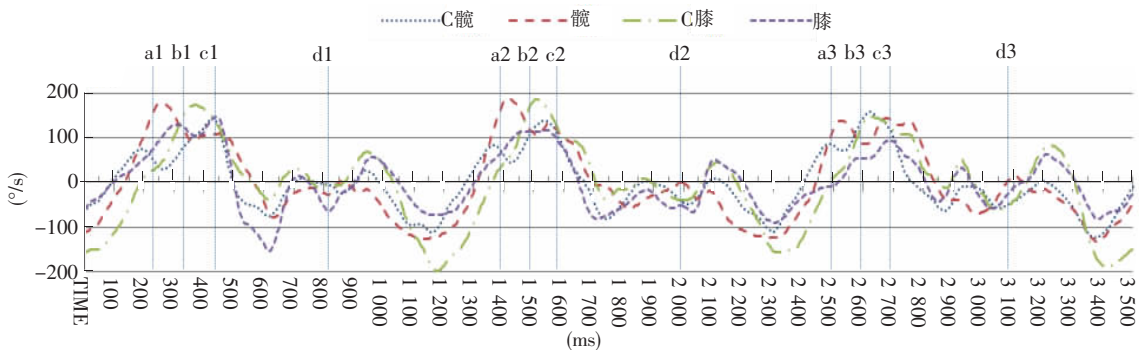


图 8 反手中远台拉冲技术相关部位角速度动态变化图 (2)

2.3.2.2 肩标志点连线在不同平面分角速度的“动态变化”特征分析

肩部的移动方向和肩连线的转动方向是影响手臂运动的重要因素之一, 也是躯干及其以下部位作用效果的整体体现。对肩标志点连线在不同

平面分角速度的动态变化进行分析有利于更全面展现出动作结构的变化特征。图 9 为反手中远台拉冲时肩标志点连线在水平面与额状面的分角速度动态变化图。

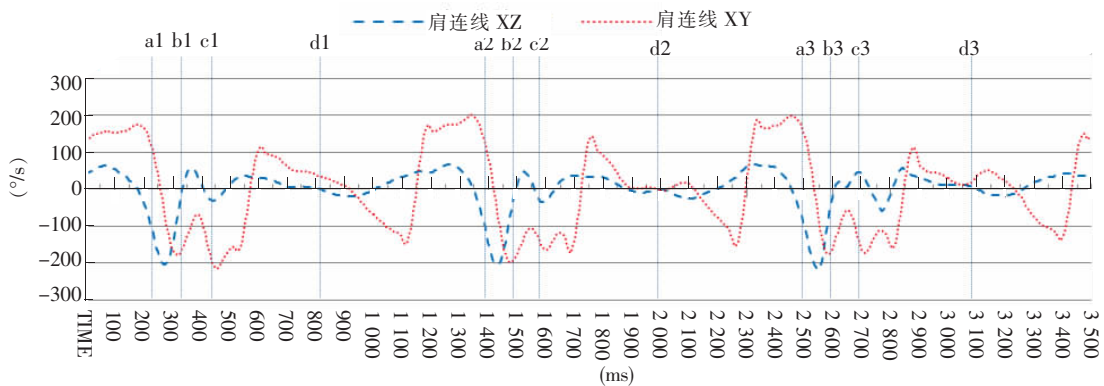


图 9 反手中远台拉冲肩连线在水平面与额状面的分角速度动态变化图

从图 9 中的肩连线在水平面与额状面上的分角速度动态变化特征可以看出: 引拍结束时, 两

肩连线在水平面上没有转动(肩连线XY角速度值为零附近),而此时两肩连线在额状面上已有转动(肩连线XZ角速度为负值,即持拍手侧肩相对非持拍手侧肩有向上的运动)。由此来看,肩连线的转动(以非持拍手侧肩为虚拟支点而言)是向上转动在先,横向转动在后(横向向后转动)。

3 结论与建议

3.1 结论

(1) 引拍结束附近身体成含胸、收腹、侧转沉肩、屈肘、屈腕、屈髋、屈膝姿势,为协同快速挥拍蓄势;挥拍击球过程中,腿、背、肩部的蹬转运动稍早于伸肘和甩腕。

(2) 大臂较早开始做外展向前运动从而带动肘部向前运动,其不仅可以带动手臂向前挥动,还作为“伸肘”和前臂转动的有力支撑点;击球时,前臂的挥动是向前为主、向上为辅。

(3) 挥拍击球过程中,腕在肘后有加速,拍在腕后有加速,球拍顶点的加速结束最晚(即甩腕动作结束最晚),击球前的甩腕是最后的加速发力环节。

(4) 球拍向前的最大速度出现在击球瞬间或击球稍前,而向上最大速度的出现稍晚于向前的最大速度,即“快撞在先,快摩在后”;击球瞬间,球拍顶点的合速度正好处于最大值时刻。

(5) 以大臂为轴的前臂的横向转动以及“腕伸”和“肘伸”这几个环节是提高挥拍速度的核心环节;蹬腿、顶髋、伸背对于提升挥拍速度的直接作用相对较小,髋、膝、背部的主要作用在于调节身体空间位置以及为挥臂提供支撑反作用力。

3.2 建议

(1) 挥拍击球过程中,要注意避免发力过早和过晚现象,保证球拍的最大挥动速度出现在击球瞬间;击球瞬间的挥拍是向前为主、向上为辅,先撞后摩。

(2) 前臂的横向转动以及“腕伸”和“肘伸”这几个环节是提高挥拍速度的核心环节,训练中要注意强调这几个环节对于提高击球质量的作用,并依照各环节发力顺序的不同来加强各环节间协调发力的训练。

(3) 蹬腿、顶髋、伸背对于提升挥拍速度的直接作用虽然较小,但也必须意识到击球过程中

的“膝伸”“髋伸”“背伸”等动作都是提高击球质量的必要环节,腿、髋、背部依据来球的不同来调节身体空间位置的能力很大程度上影响着挥臂击球效果,任何一个环节的脱力都会一定程度上影响到身体“运动链”中的力量传递。训练中,要注意依据来球长短快慢的不同来加强腿、髋、背部的协调配合能力,提高身体的空间位置调节能力,从而保证击球技术动作的稳定性以及挥臂和甩腕的发力效果。

参考文献:

- [1] 蒋津君,姚家新. 乒乓球单打比赛技战术实力评估体系及其诊断方法的重构与应用[J]. 天津体育学院学报, 2015, 30(5): 432.
- [2] 김혜영, 문계현, 변경석. The Effects of Control over the Non-Playing Arm on the Weight Shift and the Rotation of the Pelvic, Trunk, Upper Arm, and the Racket and at the Forehand Drive of Table Tennis [J]. The Korean Society of Sports Science, 2014, 23(2): 1495.
- [3] Iino Y. Hip joint kinetics in the table tennis topspin forehand: relationship to racket velocity[J]. Journal of Sports Sciences, 2018, 36(7): 834.
- [4] Iino Y, Kojima T. Kinematics of table tennis topspin forehands: effects of performance level and ball spin [J]. Journal of Sports Sciences, 2009, 27(12): 1311.
- [5] 肖丹丹,吴敬平. 乒乓球直板正手撇拉技术的实验研究[J]. 北京体育大学学报, 2017, 40(1): 100.
- [6] Lee Y S, Lee C H. Kinematic Analysis of the Backhand Power Drive in Table Tennis [J]. The Korean Society of Sports Science, 2011, 20(4): 1247.
- [7] Lee Y S, Lee C H. Kinematic and Ground Reaction Force Analyses of the Forehand Counter Drive in Table Tennis [J]. Korean Journal of Sport Biomechanics, 2010, 20(2): 155.
- [8] Iino Y, Kojima T. Mechanical energy generation and transfer in the racket arm during table tennis topspin backhands [J]. Sports Biomechanics, 2016, 15(2): 180.
- [9] Iino Y, Kojima T. Kinetics of the upper limb during table tennis topspin forehands in advanced and intermediate players [J]. Sports Biomechanics, 2011, 10(4): 361.
- [10] 肖丹丹,钟宇静,苏丕仁. 乒乓球正手快攻和弧圈球技术中球拍的运动学特征[J]. 体育学刊, 2008, 15(4): 82.

- [11] 肖丹丹, 王振, 唐建军, 等. 乒乓球正手快攻、弧圈球技术中运动员下肢的运动学特征分析[J]. 沈阳体育学院学报, 2013, 32(5):9.
- [12] 肖丹丹, 苏丕仁, 胡宗祥. 运动生物力学在乒乓球运动中的应用与展望[J]. 北京体育大学学报, 2007(10):1381.
- [13] 苏丕仁. 乒乓球运动教程[M]. 北京: 高等教育出版社, 2004.

Analysis of Kinematic Characteristics of the Core Parts of Backhand Loop-Drive Technique in Middle Court of Table Tennis

JIANG Jin-jun, YAO Jia-xin

(Tianjin University of Sport, Tianjin 301617, China)

Abstract: This paper aims to explore the changing rule of the technical movement structure and the main function of the corresponding link by analyzing the kinematic characteristics of the core parts of backhand loop-drive technique in middle court. This research uses Swedish Qualisys 3D motion capture system to test the backhand loop-drive techniques of 11 excellent male table tennis players and analyzes its' kinematic characteristic, the results show that during the process of movement: The wrist, elbow, shoulder, hip, knee and back are involved in collaboration to work and the roll movement of the leg, back and shoulder is earlier than extending elbow and shaking wrist; The wrist movement is accelerated after the elbow and the racket movement is accelerated after the wrist; The acceleration of the peak of the racket is the latest, and the swing of the wrist before the stroke is the final acceleration link; Shaking wrist, Stretching elbow, wielding forearm are the key links to increase racquet speed; The direct effect of kicking leg, stretching hip and stretching back on the swing speed is relatively small, and the main function of the hip, knee and back is to adjust the position of the body space and provide support for the swing arm according to the different characteristics of the coming ball; The swing of the forearm is mainly to go forward and go upward slightly when hit the ball, "crash first and rub later"; the maximum value of the racquet apex speed appears at the moment of hitting. The study believes that in the actual training, we should pay attention to strengthening the ability of the legs, hips and back to adjust the position of the body space, and emphasize the lateral rotation of the forearm and the stretching elbow and shaking wrist for improving the quality of the shot. In addition, it is necessary to pay attention to improving the overall coordination ability between the links, to avoiding the phenomenon of premature or late force, so that the racquet waving speed reaches the maximum at the moment of hitting.

Key words: table tennis; middle court; back-hand loop-drive technique; core link; kinematic characteristics