



## 国内外优秀男子职业高尔夫球员一号木挥杆技术三维对比分析

### Three-Dimensional Comparative Analysis on the Driver Swing Technique between Chinese and Foreign Elite Male Professional Golfers

毕志远<sup>1</sup>, 王泽峰<sup>2\*</sup>, 展更豪<sup>3</sup>, 徐华雨<sup>3</sup>, 赵紫龙<sup>4</sup>, 吴淑元<sup>3</sup>

BI Zhiyuan<sup>1</sup>, WANG Zefeng<sup>2\*</sup>, ZHAN Genghao<sup>3</sup>, XU Huayu<sup>3</sup>,  
ZHAO Zilong<sup>4</sup>, WU Shuyuan<sup>3</sup>

**摘要:**目的:探究中国男子职业高尔夫球员与国外PGA锦标赛优秀职业球员一号木挥杆技术差异和影响击球效果的运动控制变量。方法:采用三维录像解析方法对6名中国男子职业高尔夫球员和6名国外PGA锦标赛职业球员一号木挥杆技术动作进行分析。结果:1)国外球员的击球瞬间杆头线速度(CSI)和出球速度( $V_{\text{exit}}$ )显著大于国内球员( $P<0.05$ ),CSI和 $V_{\text{exit}}$ 呈正相关( $P<0.05$ ),杆头偏移位移(D4)与出球角度(AD)呈正相关( $P<0.05$ );2)国外球员与国内球员的过渡时间(T1)具有显著性差异( $P<0.05$ ),T1与CSI、 $V_{\text{exit}}$ 、峰值X-因子具有显著相关性( $P<0.05$ );3)国外球员与国内球员的上杆顶点X-因子、峰值X-因子、手腕运动开始时的前臂角度(A9)具有显著性差异( $P<0.05$ ),横向肩角变化量( $\Delta A2$ )与起飞角(AL)呈正相关( $P<0.05$ ),峰值X-因子与 $V_{\text{exit}}$ 呈正相关( $P<0.05$ ),A9与CSI和 $V_{\text{exit}}$ 呈正相关( $P<0.05$ )。结论:1)国外球员的挥杆速度与击球效果比国内球员更具优势,提高挥杆速度是提高出球速度和增加击球距离的有效途径,减少准备与击球时的杆头偏移位移是减小出球角度和提高击球精度的有效途径;2)国内球员与国外球员相比,上杆顶点附近的过渡时间较少,建议适当延长过渡时间,有利于增加峰值X-因子,从而提高CSI和 $V_{\text{exit}}$ ,以达到增加击球距离的目的;3)准备姿势横向躯干角、上杆顶点横向球杆角是影响出球角度的相关指标,准备与击球的横向肩角变化量是影响起飞角度的相关指标,增大上杆顶点时X-因子和峰值X-因子、延迟手腕释放的时间有利于提高出球速度。

**关键词:** 高尔夫球;一号木挥杆;击球效果;X-因子

**Abstract:** Objective: To explore the difference of full swing technique between Chinese elite male professional golfers and foreign PGA elite professional golfers and the motion control variables affecting the hitting effect. Methods: The three-dimensional motion analysis method is used to analyze the full swing technical movements of 6 national male professional golf players and 6 foreign PGA professional golf players. Results: 1) Club head linear speed at impact and ball exit speed of foreign players were significantly greater than domestic players ( $P<0.05$ ), the club head linear speed at impact was positively correlated with the ball exit speed ( $P<0.05$ ), and the club head migration displacement was positively correlated with ball exit angle ( $P<0.05$ ); 2) there was significant difference in transition time between the two groups ( $P<0.05$ ), the transition time had a significant correlation with the club head linear speed at impact, the ball exit speed and peak X-factor ( $P<0.05$ ); 3) there were significant differences in the top of backswing X-factor, peak X-factor and the angle of left forearm at wrist release between the two groups ( $P<0.05$ ), the change of lateral shoulder angle was positively correlated with take-off angle ( $P<0.05$ ), and the peak X-factor was positively correlated with the ball exit speed ( $P<0.05$ ), the left forearm angle was positively correlated with the club head linear speed at impact and the ball exit speed ( $P<0.05$ ). Conclusions: 1) The foreign players' swing power and hitting effect are better than the domestic players, improving the swing speed is an effective

#### 基金项目:

国家体育总局体育科学研究所基本科研业务费资助项目(基本22-37)

#### 第一作者简介:

毕志远(1988-),男,讲师,硕士,主要研究方向为体育教育训练学,E-mail:276186901@qq.com。

#### \*通信作者简介:

王泽峰(1966-),男,研究员,博士,硕士研究生导师,主要研究方向为运动生物力学技术诊断与优化,E-mail:w\_tennis@163.com。

#### 作者单位:

1. 太原师范学院,山西 晋中 030619;
  2. 国家体育总局体育科学研究所,北京 100061;
  3. 首都体育学院,北京 100191;
  4. 河北体育学院,河北 石家庄 050041
1. Taiyuan Normal University, Jinzhong 030619, China;
  2. China Institute of Sport Science, Beijing 100061, China;
  3. Capital University of Physical Education and Sports, Beijing 100191, China;
  4. Hebei Sport University, Shijiazhuang 050041, China.

way to improve the ball exit speed and increase the hitting distance, reducing the club head migration displacement from preparation to hitting is an effective way to reduce the ball exit angle and improve the hitting accuracy; 2) compared with foreign players, domestic players have less transition time, it is suggested to prolong the transition time appropriately, which is conducive to increasing the peak X-factor, thereby improving the club head linear speed and the ball exit speed, so as to achieve the purpose of increasing the hitting distance; 3) trunk flexion angle in preparation posture and lateral club angle at the top of backswing are the relevant indicators that affect the ball exit angle, the change of lateral shoulder angle from preparation to hitting is the relevant indicators that affect the take-off angle, larger X-factor at the top of backswing and peak X-factor and delayed release of wrist movement are conducive to improving the ball exit speed.

**Keywords:** *golf; full swing; hitting effect; X-factor*

**中图分类号:**G849.3 **文献标识码:**A

高尔夫球运动是以挥杆技术为核心,以表现准确性为目标的竞技体育项目,距离和方向是判断高尔夫球击球效果的重要因素(Kwon et al., 2013; Tinmark et al., 2010),好的高尔夫挥杆技术包括较快的挥杆速度和精准的击球(Jiann et al., 2015),通过强有力的挥杆产生较高杆头速度并使球沿目标线获得较远击球距离的能力,一直被认为是高尔夫成功挥杆的关键(赵紫龙等, 2020; Chu et al., 2010; Sinclair et al., 2014)。击球瞬间的杆头速度通常被用作高尔夫球员技术表现的预测因子(Healy et al., 2011; Lephart et al., 2007; Myers et al., 2008)。为了有效指导高尔夫挥杆,现有研究从如何提高挥杆速度和击球准确性方面进行了探析(Jiann et al., 2015; Joyce et al., 2017; Yoo et al., 2020; Zhang et al., 2014)。有研究发现,上杆顶点时肩髋分离角X-因子与更高的杆头速度(Joyce et al., 2017)、更快的球速(Myers et al., 2008)、更远的击球距离(An et al., 2013)以及更低的差点指数相关(Fradkin et al., 2004),是评价不同水平球员技术差异的重要指标。球位置的变化会影响起飞角度,±6 mm 的球位置变化可以转换为超过±3°的起飞角度,上杆顶点时横向球杆角度的增加有助于增加挥杆力量,但会损害挥杆的准确性。上杆阶段与下杆阶段之间的过渡时间增加了峰值X-因子从而实现更有力的挥杆。下挥杆过程中更多的手腕外展和手腕运动的延迟释放与杆头速度增加有关(Chu et al., 2010; Springings et al., 2002; Suzuki et al., 2009)。

目前的研究多是在实验室条件下测试和评估高尔夫挥杆技术(李淑媛等, 2013; 夏正亮等, 2021; 周通等, 2020; Dale et al., 2016; Jiann et al., 2015; Meister et al., 2011),鲜见职业球员在比赛条件下一号木挥杆技术的研究(阮哲, 2010; 徐华雨等, 2020)。基于此,本研究对比分析我国职业高尔夫球员与国外PGA锦标赛优秀职业球员在比赛条件下一号木挥杆技术,量化击球效果,研究影响击球效果相关的运动控制变量和球员间的技术差异。

## 1 研究对象与方法

### 1.1 研究对象

本研究选取2019年世界高尔夫锦标赛-汇丰冠军赛中6名中国男子职业高尔夫球员和6名PGA锦标赛排名前列的国外男子职业高尔夫球员一号木挥杆技术进行研究,所有球员均为右手型(表1)。

表1 球员基本信息

Table 1 Basic Information of the Golfers

| 球员姓名     | 国籍   | 身高<br>/cm | 体质量<br>/kg | 年龄<br>/岁 | 世界最<br>佳排名 |
|----------|------|-----------|------------|----------|------------|
| 李昊桐      | 中国   | 185       | 75         | 26       | 32         |
| 白政恺      | 中国   | 180       | 77         | 24       | 325        |
| 梁文冲      | 中国   | 176       | 72         | 43       | 57         |
| 吴阿顺      | 中国   | 181       | 80         | 36       | 120        |
| 袁也淳      | 中国   | 177       | 90         | 24       | 274        |
| 张新军      | 中国   | 185       | 75         | 34       | 78         |
| 罗里·麦克罗伊  | 英国   | 178       | 73         | 32       | 1          |
| 保罗·卡西    | 英国   | 178       | 82         | 44       | 5          |
| 贾斯汀·罗斯   | 英国   | 191       | 88         | 41       | 1          |
| 汤米·弗利特伍德 | 英国   | 180       | 76         | 30       | 16         |
| 亚当·斯科特   | 澳大利亚 | 183       | 82         | 41       | 4          |
| 赞德·谢奥菲勒  | 美国   | 178       | 79         | 27       | 2          |

注:世界最佳排名统计信息截至2021年8月。

### 1.2 研究方法

#### 1.2.1 三维录像解析

2019年10月31日,在上海举办的世界高尔夫锦标赛-汇丰冠军赛的现场,使用2台索尼高速摄像机,按照三维定点摄像拍摄的要求(图1),在距离球员站位约10 m的正前方和正后侧分别架设摄像机,摄像机高度约为1.6 m,主光轴之间的夹角约为90°,采用PEAK三维标定框架对比赛场地进行三维空间标定,定标后保持摄像机位置和拍摄条件不变对球员一号木挥杆技术进行拍摄,拍摄频率为1 000 帧/s。采用德国SIMI°Motion 8.5.6 三维运动分析系统对一号木挥杆技术视频进行解析,解析频率为1 000 Hz,使用DLT方法计算三维运动的空间坐标。

#### 1.2.2 数据统计与分析

采用SPSS 17.0和Excle 2016软件对指标参数进行描

述性统计和K-S正态分布检验,参数呈正态分布。使用  $t$  检验和 Pearson 相关性分析,参数呈非正态分布。采用 Mann-Whitney  $U$  检验和 Spearman 相关性分析,数据以平均值 $\pm$ 标准差表示, $P < 0.05$  定义为具有显著性差异。

### 1.2.3 特征时相及阶段划分

根据研究需要将高尔夫球一号木挥杆过程定义为5个特征时相和4个阶段(图2)。

### 1.2.4 指标选取与概念界定

运动轴设定:球员前后方向设定为X轴,垂直X轴向旗杆方向做垂线方向为Y轴,垂直于X、Y轴构成平面的方向为Z轴(图3)。

出球角度(AD):球实际飞行方向与预期飞行方向(由准备姿势时左右脚趾标记连线定义)在水平面上形成

的夹角,即球飞行方向与目标线在水平方向上的夹角。

起飞角(AL):球实际飞行方向与水平面形成的夹角。

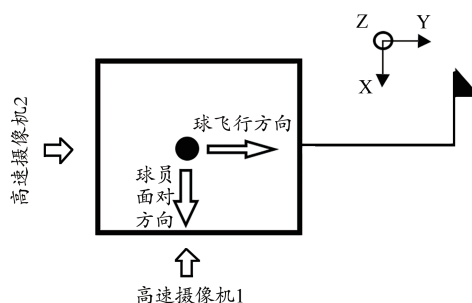


图1 实验场地布置图

Figure 1. Layout of Experimental Site

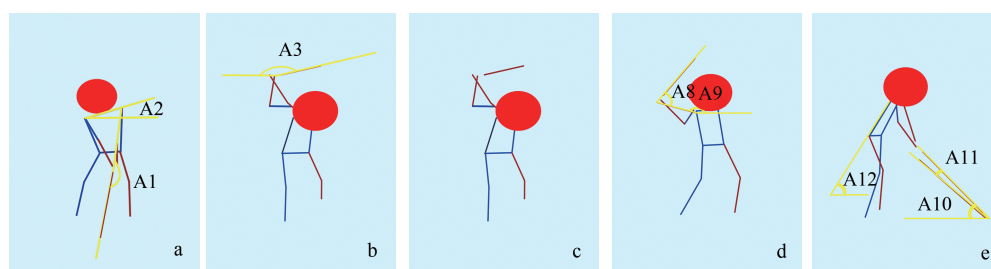


图2 挥杆特征时相画面

Figure 2. Phase Picture of Swing Characteristic

注:a.准备姿势:由准备姿势转为引杆的瞬间;b.上杆顶点:上杆杆头由运动转为静止的瞬间;c.下杆开始:杆头由静止转为逆向运动的瞬间;d.手腕释放:腕关节开始增大的瞬间;e.击球点:杆头与球接触的瞬间;a—b.上杆阶段(从准备姿势到上杆顶点);b—c.过渡阶段(从上杆顶点到下杆开始);c—d.手腕释放阶段(从下杆开始到手腕释放点);c—e.下杆阶段(从下杆开始到击球点)。

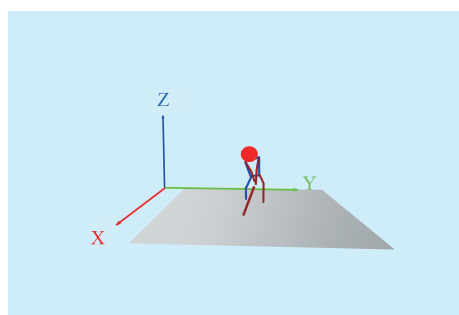


图3 挥杆动作平面示意图

Figure 3. Schematic Diagram of Swing Action

## 2 研究结果

### 2.1 击球效果指标

国内职业球员与国外职业球员的AD、AL、杆头偏移位移(D4)不具有显著差异( $P > 0.05$ ;表2)。国外职业球员的击球瞬间杆头线速度(CSI)、出球速度( $V_{\text{exit}}$ )显著大于国内职业球员( $t = -3.173, P < 0.05$ ;  $t = -2.931, P < 0.05$ ), CSI与 $V_{\text{exit}}$ 具有显著相关性( $r = 0.616, P < 0.05$ )。两组球员CSI、 $V_{\text{exit}}$ 组内具有高度一致性,变异系数(CV)分别为2.75%、2.95%和4.74%、0.94%。D4与AD呈显著正相关

( $r = 0.638, P < 0.05$ ),即杆头在准备与击球时偏移位移越大,球飞行方向与目标线水平方向的角度越大。

### 2.2 挥杆节奏指标

两组球员上杆时间( $T_s$ )、下杆时间( $T_x$ )、手腕释放时间( $T_2$ )差异不显著( $P > 0.05$ )。 $T_s$ 与 $T_x$ 具有显著性差异( $P < 0.05$ ),上杆节奏较慢,下杆节奏较快, $T_x$ 约为 $T_s$ 的(31 $\pm$ 4)%,两组的 $T_x$ 具有较高的组内一致性,CV分别为7.27%和8.61%。两组球员的过渡时间( $T_1$ )具有显著性差异( $P < 0.05$ ;表3),国外球员平均比国内球员多用时10 ms。相关性分析显示, $T_1$ 与CSI、 $V_{\text{exit}}$ 、峰值X-因子(peak X-factor)具有显著相关性( $P < 0.05$ ),相关系数分别为0.793、0.578、0.601。

### 2.3 身体姿势参数指标

两组球员准备和击球时相左臂-球杆角度(A1)、横向肩角(A2)、横向躯干角(A12)角度变化( $\Delta A_1$ 、 $\Delta A_2$ 、 $\Delta A_{12}$ )差异不显著( $P > 0.05$ )。横向球杆角(A3)、左肘角(A4)、最小球杆-前臂角度(A8)、上杆平面角(A10)、摆动平面差异角(A11)两组间差异不显著( $P > 0.05$ )。上杆顶点X-因子(X-factor)、峰值X-因子、手腕运动开始时的前臂角度(A9)两组间具有显著性差异( $P < 0.05$ )。

表 2 国内球员与国外球员击球效果指标参数

Table 2 Hitting Effect Index Parameters of Domestic Players and Foreign Players

|                   | 国内球员        |       | 国外球员        |       | P     |
|-------------------|-------------|-------|-------------|-------|-------|
|                   | M±SD        | CV/%  | M±SD        | CV/%  |       |
| AD                | 2.28±2.26   | 99.14 | 3.00±1.81   | 60.43 | 0.553 |
| AL                | 11.15±1.65  | 14.83 | 10.56±1.37  | 12.96 | 0.515 |
| CSI               | 40.99±1.13* | 2.75  | 44.06±2.09* | 4.74  | 0.010 |
| V <sub>exit</sub> | 77.71±2.29* | 2.95  | 80.59±0.76* | 0.94  | 0.015 |
| D4                | 0.04±0.01   | 20.91 | 0.04±0.01   | 22.91 | 0.756 |

注: \*为 P<0.05, 下同。

表 3 国内球员与国外球员挥杆节奏指标参数

Table 3 Swing Rhythm Index Parameters of Domestic and Foreign Players

|    | 国内球员       |       | 国外球员       |       | P     |
|----|------------|-------|------------|-------|-------|
|    | M±SD       | CV/%  | M±SD       | CV/%  |       |
| Ts | 0.77±0.06  | 7.48  | 0.78±0.08  | 10.60 | 0.773 |
| Tx | 0.25±0.02  | 7.27  | 0.23±0.02  | 8.61  | 0.174 |
| T1 | 0.03±0.01* | 18.17 | 0.04±0.00* | 8.06  | 0.005 |
| T2 | 0.15±0.03  | 18.27 | 0.15±0.02  | 15.33 | 0.973 |

相关性分析显示, A12 (r=0.638) 和 A3 (r=-0.584) 与 AD 具有显著相关性 (P<0.05), 峰值 X-因子与出球速度 V<sub>exit</sub> 呈显著正相关 (r=0.627, P<0.05), 横向肩角变化量 (ΔA2) 与 AL 呈显著正相关 (r=0.781, P<0.05), A9 与 CSI (r=0.602) 和 V<sub>exit</sub> (0.702) 呈显著正相关 (P<0.05)。

### 3 分析与讨论

#### 3.1 击球效果的指标分析

高尔夫击球效率是决定击球距离的一个主要因素, 通常用击球瞬间的杆头速度和击球后的出球速度进行量化。精准挥杆包括击球准确性和球飞行轨迹与预期轨迹的一致性。击球准确性用准备与击球杆头位移量化, 球飞行轨迹与预期轨迹的一致性用出球角度和起飞角度量化。通过比较国内与国外球员击球效果指标发现, 国外球员 CSI、V<sub>exit</sub> 显著大于国内球员 (P<0.05), 两组球员 CSI 与 V<sub>exit</sub> 变异系数均低于 5%, 说明两组球员组内具有较高的击球效率一致性, 国外球员的挥杆速度与击球效果比国内球员更具优势。比较击球精度指标发现, 国内球员杆头准备与击球时 D4、AD、AL 与国外球员没有显著性差异 (P>0.05), 表明国内球员在击球准确性上与国外球员相近。相关性分析发现, CSI 与 V<sub>exit</sub> (r=0.616)、D4 (r=0.638) 与 AD 之间均呈正相关性 (P<0.05), 即 CSI 越大 V<sub>exit</sub> 越大, D4 越大 AD 越大, 提示, 运动员在训练过程中提高挥杆速度对提高出球速度、增加击球距离有利, 而减少准备与击球时杆头偏移位移对减小出球角度和提高击球精度有利。

#### 3.2 挥杆节奏对击球效果的影响

挥杆过程中各阶段所用时间及其比例构成了挥杆节奏, 挥杆节奏决定了球员能否把杆头以正确的角度和速度送到击球点, 并以最快速度通过击球区, 对挥杆效果会产生重要影响 (耿玉东, 2004; 李博文, 2018)。目前文献中主要将挥杆节奏分为上杆阶段和下杆阶段, Zhang 等 (2014) 研究发现, 优秀高尔夫球员在上杆结束和下杆开始之间有短暂的停顿, 并将这一时间间隔称为过渡阶段, 数据显示无过渡的挥杆 X-因子在后摆结束时最大化, 有过渡的挥杆使骨盆在肩部旋转之前提前旋转, 进一步将 X-因子在过渡时间的 30~50 ms 里继续增加, 使 X-因子在过渡结束时最大化。本研究所有球员在上杆结束和下杆开始之间均存在过渡阶段, 国外球员 T1 显著大于国内球员 (P<0.05), 国外球员平均比国内球员多用时 10 ms, 相关性分析显示, T1 与 CSI (r=0.793)、V<sub>exit</sub> (r=0.578)、峰值 X-因子 (r=0.601) 呈显著正相关 (P<0.05)。峰值 X-因子作为挥杆效率的相关因素已被广泛证实。本研究发现, 过渡时间对提高击球时的杆头速度和提高球速有帮助, 同时过渡时间可以增加峰值 X-因子从而产生更大效率的挥杆, 因此球员在上挥杆到达顶点后应当适当停顿进行过渡, 而不是直接进行下挥杆, 这是提高挥杆效果的有效策略, 过渡阶段时间也应当被纳入整体挥杆节奏的一部分进行考虑, 训练中应引起教练员和运动员的重视。

#### 3.3 身体姿势指标分析

##### 3.3.1 准备姿势对击球效果的影响

准备时球放置的位置是影响击球效果的重要因素 (Zhang et al., 2014)。本研究中, 中国球员前侧脚相对于球的水平距离与站姿宽度比值为 (27.9±5.01)%, 国外球员为 (33.17±3.73)%, 国内球员 AL 为 (11.15±1.65)°, 国外球员为 (10.56±1.37)°, 两组球员球的位置 (D2) 与 AL 指标不具有显著差异, 但是国外组表现出球与前脚水平距离更远, 球发射角度更小的运动学趋势, 而且准备姿势时前侧脚-球的距离会影响摆动平面角度 (A10) (r=-0.694)、上杆顶点时的 X-因子 (r=-0.626) 以及手腕运动开始时的前臂角度 (A9) (r=-0.612)。因此, 训练中要综合考虑球的位置对挥杆技术及击球效果的影响。准备姿势时横向躯干角 (A12) 也是影响挥杆效果的重要指标, 其与 AD 之间具有正相关关系 (r=0.638), 躯干是高尔夫球摆动挥杆的转动中心轴所在位置。转动轴的旋转稳定性控制着挥杆平面上击球的位置, 旋转中心点的最小位移量可以最小化杆头移动位移, 从而实现精确击球。Zhang 等 (2014) 研究也发现横向躯干角变化量 (ΔA12) 与 D4 (r=0.65) 和 AD (r=0.55) 均呈正相关, 因此准备及挥杆过程中保持正确的躯干位置有利于实现精准击球。

##### 3.3.2 上杆顶点时身体姿势对击球效果的影响

上杆顶点时的 X-因子以及峰值 X-因子是评价球员

挥杆技术水平的重要指标,优秀球员通常存在过渡技术,过渡阶段骨盆在躯干旋转之前开始向目标线方向旋转,这将进一步增大X-因子,使峰值X-因子大于上杆顶点时的X-因子,同时可以有效利用肌肉的拉长-缩短收缩工作模式,从而产生更大的肌肉功率。本研究表明(表4),我国球员上杆顶点时X-因子、峰值X-因子与国外球员存

在显著性差异( $P<0.05$ ),上杆顶点时X-因子比国外球员平均少 $10.41^\circ$ ,峰值X-因子比国外球员平均少 $8.51^\circ$ ,峰值X-因子与击球后的 $V_{\text{exit}}$ 呈显著正相关( $r=0.627, P<0.05$ ),因此提高我国球员上杆顶点时X-因子以及过渡结束时的峰值X-因子是提高挥杆功率及获得更长击球距离的有利策略。

表4 国内球员与国外球员身体姿势指标参数  
Table 4 Body Posture Index Parameters of Domestic Players and Foreign Players

| 阶段 | 参数            | 国内球员         |              | 国外球员         |             | P     |       |
|----|---------------|--------------|--------------|--------------|-------------|-------|-------|
|    |               | M±SD         | CV/%         | M±SD         | CV/%        |       |       |
| 准备 | A1            | 143.00±4.45  | 3.11         | 144.88±4.31  | 2.98        | 0.501 |       |
|    | 击球            | A1           | 151.05±4.09  | 2.71         | 151.17±6.16 | 4.08  | 0.970 |
| 击球 | ΔA1           | 7.93±6.76    | 85.24        | 6.28±6.69    | 106.42      | 0.680 |       |
|    | A2            | 15.02±2.14   | 14.28        | 16.12±3.09   | 19.15       | 0.490 |       |
|    | A2            | 36.80±4.38   | 11.90        | 36.45±3.94   | 10.82       | 0.887 |       |
|    | ΔA2           | 21.78±2.81   | 12.91        | 20.33±3.01   | 14.79       | 0.408 |       |
|    | 准备            | A10          | 44.70±3.09   | 6.90         | 45.63±0.88  | 1.94  | 0.493 |
|    | 顶点            | A3           | 178.37±10.01 | 5.61         | 177.35±5.03 | 2.84  | 0.829 |
| 下杆 | A4            | 150.35±9.63  | 6.41         | 154.39±10.27 | 6.65        | 0.498 |       |
|    | X-factor      | 67.95±8.56*  | 12.60        | 78.36±4.80*  | 6.13        | 0.027 |       |
|    | peak X-factor | 74.37±7.93*  | 10.66        | 82.88±3.22*  | 3.89        | 0.035 |       |
| 下杆 | A8            | 87.10±4.34   | 4.98         | 86.09±6.65   | 7.73        | 0.760 |       |
|    | A9            | 185.69±1.41* | 0.76         | 191.91±1.24* | 0.65        | 0.000 |       |
|    | A11           | 7.33±1.98    | 26.97        | 9.25±1.66    | 17.93       | 0.099 |       |
| 准备 | A12           | 54.75±2.40   | 4.39         | 56.98±1.74   | 3.05        | 0.095 |       |
|    | 击球            | A12          | 51.87±4.88   | 9.41         | 52.15±4.81  | 9.21  | 0.921 |
|    | ΔA12          | 2.88±4.95    | 171.67       | 4.83±4.19    | 86.62       | 0.478 |       |

A3对平衡矢状轴与额状轴方向的人体重心以及控制挥杆精度有关。本研究表明,A3与A12( $r=-0.655$ )、AD( $r=-0.584$ )呈显著负相关( $P<0.05$ ),即A3越大AD越小。因此上杆顶点时横向球杆角对击球精度的影响主要是通过平衡躯干的运动从而影响出球角度实现,高水平职业球员在上杆顶点横向球杆角较大的情况下仍可以保持稳定的躯干运动从而实现精确击球。

### 3.3.3 手腕释放时身体姿势对击球效果的影响

手腕是高尔夫挥杆鞭打动作中身体参与运动的最远端环节,手腕开始运动的时间与开始运动时的身体姿态对挥杆效果有至关重要的作用,好的手腕释放技术可以有效地传递角动量和叠加角速度,从而使挥杆速度最大化(刘卉,2002)。本研究表明,T2与CSI呈正相关( $r=0.599, P<0.05$ ),即下杆过程中较晚的手腕释放有利于提高CSI,同时手腕较晚释放增大了最小球杆-前臂角度(A8)( $r=0.623, P<0.05$ )和左臂与球杆角的变化量(ΔA1)( $r=0.692, P<0.05$ ),使手腕由外展到内收的幅度更大。本研究中两组球员下杆手腕释放时存在显著性差异的指标A9( $P<0.05$ ),A9被认为是影响挥杆功率的相关指标,较大的A9意味着更大的挥杆功率。有研究显示,业余球员的A9约为 $180^\circ$ ,这是手腕运动开始的最佳角度(Zhang

et al., 2014),而本研究两组球员手腕运动开始时的前臂角度A9均大于 $180^\circ$ ,国外球员A9更大,这可能是因为职业高尔夫球员在更短的时间内完成向下挥杆时躯干表现出更高的旋转速度,从而躯干角位移增加,手臂相对于躯干的旋转被延迟,使手腕的打开延缓,从而增大了击球时的杆头速度(Springings et al., 2000)。相关研究表明,手腕的延迟释放与杆头速度增加有关,手腕运动较晚的开始可以使由身体转动产生的动量矩有效地向球杆传递,同时可以更好地控制手腕运动,提高击球准确性(毕志远等, 2021; Springings et al., 2002)。因此适当控制手腕运动的延迟释放有助于我国球员提高挥杆效果。

### 3.3.4 击球时身体姿势对击球效果的影响

较为重要的击球时,身体姿势指标包括摆动平面差异角(A11)、横向肩角(A2)和横向躯干角(A12)(表5)。A11反映上杆平面与下杆平面之间的差异,为了执行更一致的挥杆,目前训练实践中教练员普遍要求运动员在上杆和下杆过程中遵循相同的挥杆平面。本研究发现,两组球员上杆平面与下杆平面存在一定角度的偏移,国内球员差异角度约为 $7.33^\circ$ ,国外球员约为 $9.25^\circ$ ,A11与准备到击球横向躯干角变化量(ΔA12)具有显著相关性( $r=-0.580, P<0.05$ ),提示,职业高尔夫球员上杆平面与下杆平面之

间普遍存在的差异可能是为了适应挥杆过程中身体姿势的变化(如躯干位置的变化)而采取的补偿策略。Shan 等(2012)发现,优秀选手可采取多种运动控制手段来实现期望的结果,因此补偿策略也就有利于高尔夫球员的运

动表现。因此教练员在训练过程中要充分考虑运动员的个体差异性,并了解运动补偿对运动表现的积极作用,通过调整运动员的身体姿势从而改善动态姿势平衡,以获得更好的运动表现和挥杆一致性。

表 5 参数名称及定义  
Table 5 Parameter Names and Definition

| 参数名称         | 参数符号                                    | 参数定义  |
|--------------|---|---|
| 准备与站位阶段      |   |   |
| 球的位置         | D2/%                                    | 左脚趾标记(在拇趾头上)和球之间的额状面距离,标准化为左脚趾和右脚趾标记之间的距离     |
| 启动阶段         |   |   |
| 左臂-球杆角度      | A1/(°)                                  | 左臂和高尔夫球杆之间的角度(图 2a)                           |
| 横向肩角         | A2/(°)                                  | 肩标志连线(在肩峰突上)和横向平面之间的角度(图 2a)                  |
| 摆动平面角度       | A10/(°)                                 | 摆动平面和横向平面之间的角度(图 2e)                          |
| 横向躯干角        | A12/(°)                                 | 躯干和横向平面之间的角度(图 2e),躯干由左右肩峰突标记和左右髂后上嵴标记的连线中点定义 |
| 上杆阶段         |   |   |
| 横向球杆角        | A3/(°)                                  | 上杆顶点时球杆和横向平面之间的角度(图 2b)                       |
| 左肘角          | A4/(°)                                  | 上杆顶点时的左肘角度                                    |
| X-因子         | A7/(°)                                  | 肩轴(左右肩峰突的连线)和髋轴(左右髂前上嵴的连线)之间的角度               |
| 过渡阶段         |   |   |
| 过渡时间         | T1/s                                    | 前侧手上杆减速结束和下杆加速开始之间的时间                         |
| 下杆阶段         |   |   |
| 最小球杆-前臂角度    | A8/(°)                                  | 球杆和左前臂之间的最小角度(图 2d)                           |
| 手腕运动开始时间     | T2/s                                    | 下杆开始时相和手腕开始增大时相之间的时间                          |
| 手腕运动开始时的前臂角度 | A9/(°)                                  | T2 左前臂与横向平面之间的角度(图 2d)                        |
| 击球阶段         |   |   |
| 摆动平面差异角      | A11/(°)                                 | 上杆平面和下杆平面之间的角度(图 2e)                          |
| 杆头偏移位移       | D4/m                                    | 杆头标记在准备姿势时相与击球时相之间的位移                         |
| 杆头线速度        | CSI/(m·s <sup>-1</sup> )                | 击球瞬间杆头与球接触时相杆头线速度                             |
| 出球速度         | V <sub>exit</sub> /(m·s <sup>-1</sup> ) | 击球后球在空中飞行的最大速度                                |

A2 击球身体姿势与准备身体姿势相比,国内球员增大 21.78°,国外球员增大 20.33°,横向肩角变化量(ΔA2)与 AL 呈显著正相关( $r=0.781, P<0.05$ ),即从准备到击球横向肩角变化越大,球 AL 越大,因此 A2 与球飞行弹道控制相关。击球时 A2 反映脊柱侧弯的程度,有研究表明,击球时较大侧弯角可以形成挤压式击球,从而对球飞行弹道控制及应对逆风情况有所帮助,但是过度的侧向移动会使高尔夫球员在下杆过程的重心超出支撑范围,导致摆动变得难以控制,腰椎承受过大的侧向压力(毕志远等, 2021; Baker et al., 2005)。Zhang 等(2014)研究发现, A12 从准备到击球平均增加 9.9°, ΔA12 与 D4( $r=0.65$ )和 AD( $r=0.55$ )均呈正相关,对挥杆准确性产生负面影响。本研究中,国内球员 A12 由伸到屈减小 2.88°,国外球员 A12 由伸到屈减小 4.83°,这与 Zhang 等(2014)的研究结果不同,本研究职业球员 ΔA12 与 D4 和 AD 未发现相关关系, ΔA12 表现为由伸到屈且变化角度较小,提示,职业高尔夫球员躯干变化对挥杆准确性未产生负面影响,相反,在一定范围内适量的变化是为了适应上杆平面与下杆平

面之间持续存在的差异(A11)而采取的有利补偿策略。

#### 4 结论

1) 国外球员的挥杆速度与击球效果比国内球员更具优势,提高挥杆速度是提高出球速度和增加击球距离的有效途径,减少准备与击球时杆头偏移位移是减小出球角度和提高击球精度的有效途径。

2) 国内球员与国外球员相比,上杆顶点附近的过渡时间较少,建议适当延长过渡时间,有利于增加峰值 X-因子,从而提高击球时的杆头速度和出球速度,以达到增加击球距离的目的。

3) 准备姿势横向躯干角、上杆顶点横向球杆角是影响出球角度的相关指标,准备到击球横向肩角变化量是影响起飞角度的相关指标,增大上杆顶点时 X-因子和峰值 X-因子、延迟手腕释放的时间有利于提高出球速度。

#### 参考文献:

毕志远,王泽峰,何文捷,等,2021. 国家女子高尔夫球队选手全挥杆

- 技术生物力学分析[J].中国体育科技,57(11):20-29.
- 耿玉东,2004.高尔夫挥杆原理[M].北京:北京体育大学出版社:72-76.
- 李博文,2018.高尔夫运动中三种球位挥杆击球技术动作运动学特征的研究分析[D].上海:上海体育学院.
- 李淑媛,罗冬梅,周兴龙,2013.高尔夫球员全挥杆一号木杆技术动作运动学分析[J].北京体育大学学报,36(6):131-135.
- 刘卉,2002.上肢鞭打动作技术原理的生物力学研究[D].北京:北京体育大学.
- 阮哲,2010.世界高水平高尔夫运动员挥杆动作中肩髋关节生物力学分析[J].北京体育大学学报,33(11):60-62.
- 夏正亮,YOO K,庄薇,等,2021.声音反馈对高尔夫挥杆训练效果的生物力学影响[J].中国体育科技,57(3):45-51.
- 徐华雨,王泽峰,朱鹏岳,等,2020.世界优秀女子高尔夫球员准备姿势对挥杆技术的影响研究[J].河北体育学院学报,34(4):19-23.
- 赵紫龙,王泽峰,展更豪,2020.我国高尔夫球奥运选手与世界优秀选手一号木数据对比分析[J].河北体育学院学报,34(6):85-90.
- 周通,刘生杰,2020.优秀高尔夫球运动员挥杆技术的三维运动学研究[J].体育研究与教育,35(2):83-88.
- AN J, WULF G, KIM S, 2013. Increased carry distance and X-factor stretch in golf through an external focus of attention [J]. JMLD, 1(1):2-11.
- BAKER D, NEWTON R U, 2005. Acute effect on power output of alternating an agonist and antagonist muscle exercise during complex training[J]. J Strength Cond Res, 19(1):202-205.
- CHU Y C, SELL T C, LEPHART S M, et al., 2010. The relationship between biomechanical variables and driving performance during the golf swing[J]. J Sport Sci, 28(11):1251-1259.
- DALE R B, BRUMITT J, 2016. Spine biomechanics associated with the shortened, modern one-plane golf swing [J]. Sports Biomech, 15(2):198-206.
- FRADKIN A J, SHERMAN C A, FINCH C F, 2004. How well does club head speed correlate with golf handicaps[J]. J Sci Med Sport, 7(4):465-472.
- HEALY A, MORAN K A, DICKSON J, et al., 2011. Analysis of the 5 iron golf swing when hitting for maximum distance [J]. J Sport Sci, 29(10):1079-1088.
- JOYCE C, 2017. The most important “factor” in producing clubhead speed in golf [J]. Hum Mov Sci, 55: 138-144.
- KWON Y H, HAN K H, COMO C, et al., 2013. Validity of the X-factor computation methods and relationship between the X-factor parameters and clubhead velocity in skilled golfer [J]. Sports Biomech, 12(3):231-246.
- LEPHART S M, SMOLIGA J M, MYERS J B, et al., 2007. An eight-week golf-specific exercise program improves physical characteristics, swing mechanics, and golf performance in recreational golfers [J]. J Strength Cond Res, 21(3):860-869.
- MEISTER D W, LADD A L, BUTLER E E, et al., 2011. Rotational biomechanics of the elite golf swing: Benchmarks for amateurs [J]. J Appl Biomech, 27(3):242-251.
- MYERS J, LEPHART S, TSAI Y S, et al., 2008. The role of upper torso and pelvis rotation in driving performance during the golf swing [J]. J Sport Sci, 26(2):181-188.
- SHAN G, YUAN J, HAO W, et al., 2012. Regression equations related to the quality evaluation of soccer maximal instep kick for males and females [J]. Kinesiol, 44(2): 143-163.
- SPRIGINGS E J, MACKENZIE S J, 2002. Examining the delayed release in the golf swing using computer simulation [J]. Sports Eng, 5(1):23-32.
- SPRIGINGS E J, NEAL R J, 2000. An insight into the importance of wrist torque in driving the golfball: A simulation study [J]. J Appl Biomech, 16(4):356-366.
- SINCLAIR J, CURRIGAN G, FEWTRELL D J, et al., 2014. Biomechanical correlates of club-head velocity during the golf swing [J]. Int J Perf Anal Spor, 14(1):54-63.
- SUZUKI S, HOSHINO Y, KOBAYASHI Y, 2009. Skill analysis of the wrist release in the golf swings utilizing shaft elasticity [J]. J Syst Design Dyn, 3(1):47-58.
- TINMARK F, HELLSTROM J, HALVORSEN K, et al., 2010. Elite golfers' kinematic sequence in full-swing and partial-swing shots [J]. Sports Biomech, 9(4):236-244.
- WANG J J, YANG P F, HO W H, et al., 2015. Determine an effective golf swing by swing speed and impact precision tests [J]. JSHS, 3(4): 244-249.
- YOO K, WU X, ZHUANG W, et al., 2020. The effects of audible feedback as a coaching strategy on golf skill learning for novice players [J]. Int J Perf Anal Spor, 20(4):596-609.
- ZHANG X, SHAN G, 2014. Where do golf driver swings go wrong? Factors influencing driver swing consistency [J]. Scand J Med Sci Sports, 24(5):749-757.

(收稿日期:2021-09-17; 修订日期:2022-10-04; 编辑:尹航)