

• 运动人体科学 •

## 不同高度脚背正面射门动作的生物力学特征

张庭然, 罗炯

(西南大学 体育学院, 重庆 400715)

**摘 要:** 为揭示不同高度脚背正面射门的生物力学机制。招募 12 名受试者对地面球、1/2 膝关节高、膝关节高 3 种位置进行脚背正面射门和空踢各 10 次。利用 2 台 JVC9800 摄像机、国产 JP6060 多维测力平台进行运动学及动力学同步测量。结果显示: 地面球、1/2 膝关节及全膝关节 3 种高度射门, 球速、足速经多因素方差分析均有显著差异, 其中地面球球速最快、1/2 膝关节高度次之、膝关节高最小; 实验组受试者摆动腿大腿前摆与后摆、小腿后摆等各运动学指标在不同高度位置射门间无显著性差异, 而小腿前摆运动学数据在不同高度射门间存在显著性差异; 支撑腿与球垂直距离跟各高度射门的球速、摆动腿足速度、触球即刻膝角、小腿前摆角速度、小腿前摆幅度、小腿前摆时间呈显著相关, 而 3 种高度位置的射门球速与支撑腿着地所受地面反作用力不存在线性关系。结果说明: 脚背正面射门击球点高度越低球速越快, 故脚背正面射门想要获取更快球速就应该在球高度处于较低位置时将球踢出; 通过控制支撑腿与球垂直距离可以控制脚背正面射门的球速、球路、动作时间; 支撑腿受到的地面反作用力与踢出球的球速无关, 故支撑腿在踢球过程中的主要作用是固定支撑、维持平衡, 从而使摆动腿发力更加充分。

**关 键 词:** 运动生物力学; 脚背正面射门; 不同高度; 射门; 球速; 支撑腿

**中图分类号:** G804.6 **文献标志码:** A **文章编号:** 1006-7116(2015)01-0123-07

### Biomechanical characteristics of goal shooting with instep front at different heights

ZHANG Ting-ran, LUO Jiong

(School of Physical Education, Southwest University, Chongqing 400715, China)

**Abstract:** In order to reveal the biomechanical mechanism of goal shooting with instep front at different heights, the authors recruited 12 testees to carry out goal shooting with instep front at ground height, 1/2 knee height and knee height, with and without the ball respectively for 10 times, carried out synchronized kinetic and dynamic measurement by using two JVC9800 cameras and a domestic JP6060 multidimensional force measurement platform, and revealed the following findings: multi-factor variance analysis showed that the ball speed and foot speed were significantly different during goal shooting at ground height, 1/2 knee height and knee height, the speed of the ball shot at ground height was the fastest, followed by the speed of the ball shot at 1/2 knee height, tailed by the speed of the ball shot at knee height; various kinetic indexes of the testees in the experiment group, such as forward and backward swinging of the thigh, backward swinging of the shank, had no significant difference during goal shooting at different heights, while forward swinging of the shank as a kinetic datum was significantly different during goal shooting at different heights; the vertical distance from the supporting leg to the ball was significantly correlative with the speed of the ball shot at various heights, the speed of the swinging leg, knee angle right at the moment the ball was kicked, angular speed of forward swinging of the shank, amplitude of forward swinging of the shank, and time of forward swinging of the shank, while there was no linear relation between the speed of the ball shot at 3 heights and the ground reacting force born by the supporting leg. The said findings indicate the followings: the lower the ball shooting height during goal shooting with instep front, the faster the ball speed; therefore, if a player

收稿日期: 2014-06-09

作者简介: 张庭然(1990-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 全民健身与运动技术诊断。E-mail: 2878041101@qq.com

wants to get a faster ball speed during goal shooting with instep front, he/she should kicked the ball when it is at a relatively low height; a player can control ball speed, ball flying path and action time during goal shooting with instep front by controlling the perpendicular distance from the supporting leg to the ball; the ground reacting force born by the supporting leg is irrelevant to the speed of the ball kicked, hence, the main function of the supporting leg during ball kicking is to fix the support and maintain balance, so that the swinging leg exerts its power more thoroughly.

**Key words:** sports biomechanics; goal shooting with instep front; different heights; goal shooting; ball speed; supporting leg

射门在足球比赛中是最直接的得分手段。射门能否取得成功,主要取决于射门球速、射门角度、射门时机等要素。球速较快的球,往往给守门员造成较大威胁。据人体解剖结构特征,脚背正面踢球时摆幅相对较大,加之其摆速快且与球接触面相对较大,因而踢球时力量大、球速快、准确性高。Isokawa 等<sup>[1]</sup>研究显示,技术熟练的足球运动员脚背正面踢球,球速可达 17~28 m/s。实际比赛中,脚背正面射门使用频率相当高,且射门形式多样,如定位球、正面凌空抽击、侧身凌空摆击、反弹球、倒钩等。

国内外有关脚背正面踢球的生物力学文献不多,从查阅到的少数文献中,以运动学分析者居多。刘力生<sup>[2]</sup>研究发现:脚背正面踢球时,足的速度与球速高度相关( $r=0.872$ ),摆动腿的摆动遵循关节活动的顺序性原则。许树渊<sup>[3]</sup>认为,以人体踢球动作的下肢动力链视之,大腿的用力与大幅摆动均能倍增下肢末端即足的重心速度,使踢球时动量增加,球速提升。黄寿军<sup>[4]</sup>从事多年足球教学经历,在实践中发现:支撑腿过前,击球点在球的后上方,会经常出现“卡壳”或踢出去球无力现象;支撑腿过后,击球点易击在球的后下部,踢出的球偏高,多沿横轴回旋,出球力量小;支撑点与球的中心点在同一水平线上,则左右距离过大或过小,击球点不稳定,出球多呈内、外旋,这些属于教学经验,未能获得实验数据佐证。Asami 等<sup>[5]</sup>发现:地面反作用力峰值与球速表现无明显关系。Kell 等<sup>[6]</sup>研究了不同角度助跑对支撑腿膝关节生物力学的影响时发现:地面垂直反作用力不受助跑角度影响。本研究借助运动学和动力学同步测试方法对不同高度脚背正面踢球的球速及准确度进行探讨,为足球运动员在比赛、训练环境下,如何运用合理技术提供参考。

## 1 研究对象与方法

### 1.1 研究对象

选择西南大学足球队 12 名男生,为受试者,身高( $175.22 \pm 1.36$ ) cm、体重( $65.37 \pm 2.35$ ) kg、年龄( $21.32 \pm 1.03$ )岁、运动等级均为国家 2 级、训练年限均在 8

年以上且从未中断。

### 1.2 研究方法

#### 1) 运动学研究。

2 台 JVC9800 摄像机,拍摄频率为 100 帧/s。A 机、B 机及三维测力台中心 3 点近似构成等边三角形,边长约为 5 m,两机高约 0.75 m。对受试者从助跑到脚击球的整个过程进行拍摄。采用北京体育大学研发的视讯图像解析系统对运动图像进行插帧处理使拍摄频率达到 200 帧/s,后再进一步对图像解析以获取相关运动学参数。

#### 2) 动力学测试。

国产 JP6060 多维测力平台用于监测受试者踢球过程中踏在测力台的支撑腿对地面的三维力变化情况。测力台采用埋入式安装,其表面与地面基本保持在同一水平面上,数据采集频率为 800 Hz。同步装置是由连接多维测力平台的触发模块的无线同步器和发光的二极管组成。主试者触发同步遥控器,多维测力台启动采集数据,二极管发光使摄像机与多维测力台同步。

#### 3) 时相阶段划分。

##### (1) 技术动作定义。

地面球射门:以直线助跑方式(助跑路线与球门中心线夹角 $<15^\circ$ ),正面踢放置在地面上球的射门动作。

1/2 膝关节高度射门:以直线助跑方式,正面踢尚未落地、在 1/2 膝关节左右高度球的射门动作。

膝关节高度射门:以直线助跑方式,正面踢尚未落地,在膝关节左右高度球的射门动作。

空踢动作与有球射门动作要求一致,空踢完整动作以支撑腿踏上测力平台后,踢球脚尖离地瞬间为始,脚尖与标志杆平行为终。

##### (2) 角定义。

髌关节角:为髌、膝关节中心连线与躯干中点及髌关节中心点连线之间的夹角。膝关节角:为膝、踝关节中心连线与人体垂直轴之间的夹角。踝关节角:为踝关节中心与跖趾关节连线与水平轴之间夹角。脚背夹角:为脚背正面与地面间的夹角(见图 1)。

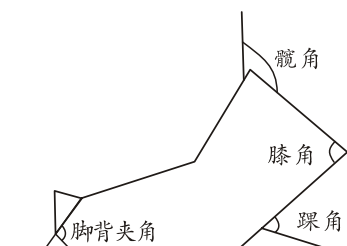


图 1 髌角、膝角、踝角、脚背夹角示意图

### (3)球门分区。

将球门上半部分为 A 区，下半部分为 B 区用以记录受试者射出的球落在球门内的具体位置。

### (4)时相划分。

踢球的一般过程包括助跑、支撑、摆腿、脚击球，随前动作。本研究主要探讨支撑腿踏上测力台瞬刻至摆动腿将球踢出瞬刻这一过程。据研究需要将这一过程分为 3 个阶段。第 1 阶段：从支撑腿踏上测力平台后，踢球脚足尖离地瞬刻至最大髌关节伸展角度瞬刻止；第 2 阶段：小腿向上摆动期，即踢球脚髌关节从最大伸展角瞬刻至膝关节屈角最小瞬刻；第 3 阶段：前摆期，即从膝关节处于屈角最小瞬刻至脚背正面触球瞬刻止(见图 2)。

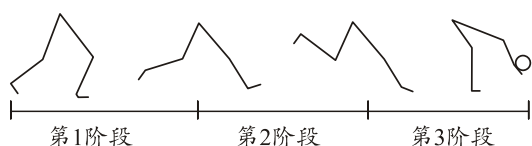


图 2 踢球时相划分示意图

### (5)垂直距离界定。

垂直距离是指由球或标志物中心投影(A)向支撑腿足部中心(B)与第 3 趾骨连接线段的延长线引垂线，足部中心(B)与垂足(C)的距离(见图 3)。

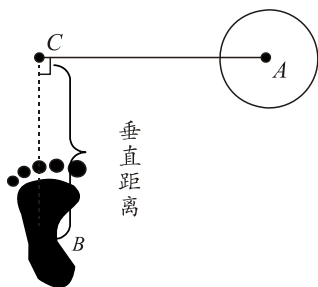


图 3 支撑脚与球垂直距离示意图

### 4)测试数据的可靠性分析。

将入选的受试者的脚背正面射门动作所获 3 次有

效数据进行重复性检验，采用相关系数及变异度进行评价，其相关系数均大于 0.74，变异系数在 5%以内，且均达到显著水平。因此可以认为用于分析脚背正面射门的各项参数均具有较高的可信度。

### 1.3 实验程序

采用自身对照方法，让 12 名受试者先完成“有球脚背正面踢”，本研究称之“实验组”，然后再让 12 名受试者完成“无球空踢”，本研究称之“对照组”。

#### (1)实验组。

采用脚背正面踢球的脚法，每位受试者每种高度位置的球均踢 10 次。球的高度为分 3 类：1)放置在地面上；2)球高等于 1/2 膝关节高度；3)球与膝关节等高。每次踢完后，记录球是否射进球门和射进球门的区域。

为了避免受试者受到疲劳因素的影响，实验中采用按编号循环实验法，每人每一踢球动作完成 1 次后，接着由下一名受试者完成动作，实现一个大循环，该方式可以保证每名受试者在一次踢球与下一次踢球的时间间隔在 2~3 min。

#### (2)对照组。

每名受试者以脚背正面踢球的脚法完成无球空踢：空踢的假想球的高度与实验组相同，在测力台边立有标志杆为假想球参照。同样每种高度均踢 10 次。其实验顺序与实验组相同。

#### (3)实验组与对照组的有效动作标准。

实验组有效动作标准为：①3 步助跑后支撑腿完全踏在多维测力台上，完成射门动作；②脚击球高度必须是实验次序中要求的击球位置高度；③脚击球部位必须是脚背正面；④踢出的球必须射入球门；⑤支撑腿在击球后没有滑动。

对照组有效实验标准：①3 步助跑后支撑腿完全踏在多维测力台上，完成射门动作；②脚空踢高度必须是实验中次序要求的击球位置高度；③空踢时脚击假想球部位必须是脚背正面。

对每位受试者在不同高度所踢 10 次中选取 3 次符合实验标准的进行数据分析，没有达到标准踢法的删除，最后实验组获得的有效样本来自 10 名受试者、对照组获得的有效样本来自 11 名受试者、对照组中有 1 名有效受试者，其实验组数据不符合有效实验标准，故舍去。实验组、对照组每名有效实验者的有效实验次数不同，为保证每名受试者在实验中所占权重一致，故从每名有效实验者的有效数据中选取 3 次技术动作最为标准流畅的实验进行数据分析。

### 1.4 统计学分析

利用 spss13.0 进行描述性分析、多因素方差分析、相关分析等，统计学显著水平定为  $\alpha=0.05$ 。

## 2 实验结果及分析

### 2.1 运动学测试结果

1)不同高度脚背正面射门速度特征。

表 1 显示:

(1)不同高度射门球速均大于足的速度(即比值均大于 1)。

(2)地面球、1/2 膝关节高度、膝关节高度射门球速分别为(14.33 ± 0.78)、(13.57 ± 0.34)、(13.26 ± 0.28) m/s, 足速度分别为(13.28 ± 0.53)、(12.67 ± 0.46)、(12.27 ± 0.46) m/s。经多因素方差分析, 3 种高度射门球速、足速度均有显著性差异, 地面球球速最快、1/2 膝关节高度次之、膝关节高度再次。对照组足速度分别为(13.52 ± 0.61)、(13.47 ± 0.31)、(13.43 ± 0.36) m/s, 经多因素方差分析, 3 种高度空踢足速度无显著性差异。对实验组与对照组足速度进行 T 检验, 实验组与对照

组在地面球速度不存在显著性差异( $P>0.05$ ), 1/2 膝关节高度、膝关节高度,  $P<0.05$ , 差异具有显著性。

(3)地面球、1/2 膝关节高度、膝关节高度射门动作中支撑腿与球垂直距离同实验组球速、摆动腿足速度均呈线性(正)相关关系。地面球、1/2 膝关节高度、膝关节高度射门支撑腿与球垂直距离分别为(17.8 ± 4.5)、(12.3 ± 3.6)、(10.3 ± 2.3) cm, 经多因素方差分析检验, 3 种高度射门支撑腿与球垂直距离差异有显著性; 空踢支撑腿与球垂直距离分别为(18.1 ± 3.6)、(17.7 ± 4.1)、(17.5 ± 2.8) cm, 经多因素方差分析, 3 种高度空踢支撑腿与球垂直距离差异无显著性。实验组与对照组射门支撑腿与球垂直距离(标志物)经 T 检验, 地面球速度差异不存在显著性( $P>0.05$ ), 1/2 膝关节高度、全膝关节高度, 差异具有显著性, ( $P<0.05$ )。

表 1 不同高度脚背正面射门过程相关参数测试结果 ( $\bar{x} \pm s$ )

踢球高度	n/次	球速/(m·s <sup>-1</sup> ) (实验组)	足速/(m·s <sup>-1</sup> )		球速/足速 (实验组)	球距/(标志物 距)(实验组)	垂直距离/cm (对照组)
			实验组	对照组			
地面球	30	14.33±0.78 <sup>2)3)6)</sup>	13.28±0.53 <sup>2)3)5)</sup>	13.52±0.61	1.08±0.04 <sup>2)3)</sup>	17.8±4.5 <sup>2)3)</sup>	18.1±3.6
1/2 膝关节	30	13.57±0.34 <sup>2)4)5)</sup>	12.67±0.46 <sup>1)2)5)</sup>	13.47±0.31 <sup>1)</sup>	1.05±0.03 <sup>2)4)</sup>	12.3±3.6 <sup>1)2)4)</sup>	17.7±4.1 <sup>1)</sup>
膝关节	30	12.06±0.28 <sup>3)4)5)</sup>	12.27±0.46 <sup>1)3)4)5)</sup>	13.43±0.36 <sup>1)</sup>	1.06±0.03 <sup>3)4)</sup>	10.3±2.3 <sup>1)3)4)</sup>	17.5±2.8 <sup>1)</sup>

1)实验组与对照组比较,  $P<0.05$ ; 2)地面球与 1/2 膝关节高度比较,  $P<0.05$ ; 3)地面球与膝关节高度比较,  $P<0.05$ ; 4)1/2 膝关节高度与膝关节高度比较,  $P<0.05$ ; 5)与支撑腿距球(标志物)垂直距离存在显著相关关系

2)不同高度脚背正面射门摆动腿运动学特征。

结果见表 2。

不同高度脚背射门摆动过程运动学特征参数测量

表 2 不同高度脚背正面射门摆动腿运动学特征测试结果<sup>①</sup> ( $\bar{x} \pm s$ )

踢球高度	样本量 (人/次)	$\alpha_1(^{\circ})$		$\alpha_2(^{\circ})$		$\omega_1(\text{rad}\cdot\text{s}^{-1})$		$\omega_2(\text{rad}\cdot\text{s}^{-1})$	
		实验组	对照组	实验组	对照组	实验组	对照组	实验组	对照组
地面球	30	220.6±4.1	221.9±5.8	148.2±7.2	149.1±5.3	4.53±1.04	4.63±1.15	8.23±0.95	8.31±0.75
1/2 膝关节	30	221.9±3.3	220.7±4.7	149.1±10.8	149.7±7.6	4.49±0.99	4.59±0.76	8.33±0.92	8.29±0.62
膝关节	30	219.4±6.1	217.1±5.2	149.3±13.7	147.8±14.5	4.47±1.23	4.37±1.33	8.26±1.02	8.36±0.97
踢球高度	样本量 (人/次)	$d_1(^{\circ})$		$\beta_1(^{\circ})$		$\beta_2(^{\circ})$		$\omega_3(\text{rad}\cdot\text{s}^{-1})$	
		实验组	对照组	实验组	对照组	实验组	对照组	实验组	对照组
地面球	30	72.3±6.2	73.6±7.9	83.7±12.4	84.7±8.4	124.5±5.1 <sup>2)3)5)</sup>	127.3±7.9	10.13±1.73	10.43±1.68
1/2 膝关节	30	73.0±11.3	73.8±10.7	80.2±9.8	83.9±7.6	113.5±4.6 <sup>1)2)4)5)</sup>	125.5±7.6 <sup>1)</sup>	10.30±1.35	10.39±2.35
膝关节	30	71.9±7.2	72.9±9.2	81.2±13.3	82.2±11.9	101.7±8.9 <sup>1)3)4)5)</sup>	126.7±7.1 <sup>1)</sup>	10.07±1.98	10.47±1.67 <sup>1)</sup>
踢球高度	样本量 (人/次)	$\omega_4(\text{rad}\cdot\text{s}^{-1})$		$d_2(^{\circ})$		$t_1/\text{s}$		$t_2/\text{s}$	
		实验组	对照组	实验组	对照组	实验组	对照组	实验组	对照组
地面球	30	17.38±1.54 <sup>2)3)5)</sup>	17.46±1.98	30.1±11.5 <sup>2)3)5)</sup>	32.1±10.5	0.168±0.034 <sup>2)3)5)</sup>	0.159±0.048	0.106±0.028 <sup>2)3)5)</sup>	0.107±0.058
1/2 膝关节	30	15.22±1.65 <sup>1)2)4)5)</sup>	17.02±1.35 <sup>1)</sup>	21.6±7.2 <sup>1)2)4)5)</sup>	31.9±8.8 <sup>1)</sup>	0.176±0.067	0.160±0.097	0.083±0.053 <sup>1)2)4)5)</sup>	0.105±0.078 <sup>1)</sup>
膝关节	30	13.57±2.23 <sup>1)3)4)5)</sup>	17.57±2.60 <sup>1)</sup>	13.8±9.7 <sup>1)3)4)5)</sup>	32.8±11.7 <sup>1)</sup>	0.171±0.056	0.163±0.106	0.064±0.049 <sup>1)3)4)5)</sup>	0.109±0.057 <sup>1)</sup>

1)实验组与对照组比较、2)地面球与 1/2 膝关节高度比较、3)地面球与膝关节高度比较、4)1/2 膝关节高度与膝关节高度比较,  $P<0.05$ ; 5)支撑脚与球或标志物垂直距离存在相关关系; 6) $\alpha_1$ -后摆最大髋角、 $\alpha_2$ -触球即刻最大髋角、 $\beta_1$ -后摆最小膝角、 $\beta_2$ -触球即刻膝角、 $\omega_1$ -大腿后摆角速度、 $\omega_2$ -大腿前摆角速度、 $\omega_3$ -小腿后摆角速度、 $\omega_4$ -小腿前摆角速度、 $d_1$ -大腿前摆幅度、 $d_2$ -小腿前摆幅度、 $t_1$ -大腿前摆时间、 $t_2$ -小腿前摆时间。

表 2 显示: (1)实验组、对照组脚背正面射门不同高度间摆动腿后摆最大髋角、触球即刻最大髋角、大腿后摆角速度、大腿前摆角速度、大腿前摆幅度、后摆最小膝角、小腿后摆角速度、大腿前摆时间等指标,

差异无显著性( $P>0.05$ )。对实验组与对照组进行 T 检验, 3 种不同高度脚背正面射门摆动腿后摆最大髋角、触球即刻最大髋角、大腿后摆角速度、大腿前摆角速度、大腿前摆幅度、后摆最小膝角、小腿后摆角速度、

大腿前摆时间等指标差异亦无显著性( $P>0.05$ )。

(2)实验组脚背正面射门不同高度间摆动腿触球即刻膝角、小腿前摆角速度、小腿前摆幅度、小腿前摆时间等差异具有显著性( $P<0.05$ )。触球即刻膝角、小腿前摆角速度、小腿前摆幅度、小腿前摆时间,脚背正面踢地面球最大、1/2 膝关节高度次之、膝关节高度再次。对照组脚背正面射门不同高度间摆动腿触球即刻膝角、小腿前摆角速度、小腿前摆幅度、小腿前摆时间等差异无显著性( $P>0.05$ )。对实验组与对照组进行  $T$  检验,在地面球脚背正面射门摆动腿触球即刻膝角、小腿前摆角速度、小腿前摆幅度、小腿前摆时间等差异不存在显著性,  $P>0.05$ 。1/2 膝关节高度、膝关节高度,  $P<0.05$ , 差异具有显著性。

(3)支撑腿距球垂直距离距离与各高度射门触球即刻膝角、小腿前摆角速度、小腿前摆幅度、小腿前摆时间 4 项参数呈线性(正)相关关系。

3)球落入区域统计。

表 3 可见:

1)地面球、1/2 膝关节、膝关节高度脚背正面射门中,球速最快的 10 次射门落在 A 区的次数分别为 9、10、10 次,此现象表明球速较快的球落在球门上半区的概率明显大于落在球门下半区的概率;球速最慢的 10 次射门落在 B 区的次数分别是 10、8、9 次,此现象表明球速较慢的球落在球门下半区的概率明显大于落在球门上半区。

2)地面球、1/2 膝关节、膝关节高度脚背正面射门中,支撑脚与球垂直距离最远的 10 次射门落在 A 区的次数分别为 10、10、10 次,此现象表明支撑脚与球垂直距离较远的射出的球落在球门上半区的概率明显大于落在球门下半区;支撑脚与球垂直距离最近的 10 次射门落在 B 区的次数分别是 10、9、7 次,此现象

表明支撑脚与球垂直距离较近射出的球落在球门下半区的概率明显大于落在球门上半区。

表 3 球速最快、最慢、支撑脚与球垂直距离最远、最近 10 次射门落入球门区域次数统计

速度与距离	区域	地面球	1/2 膝关节高度	膝关节高度
最大球速	A 区	9	10	10
	B 区	1	0	0
最小球速	A 区	0	2	1
	B 区	10	8	9
最远距离	A 区	10	10	10
	B 区	0	0	0
最近距离	A 区	0	1	3
	B 区	10	9	7

2.2 动力学测试结果

不同高度脚背正面射门动力学参数测试结果见表 4。表 4 显示:

1)实验组、对照组脚背正面射门不同高度间前后、左右方向最大地面反作用力、垂直方向触球瞬间地面反作用力差异无显著性( $P>0.05$ )。实验组与对照组间差异亦无显著性( $P>0.05$ )。

2)实验组、对照组前后方向触球瞬间地面反作用力,脚背正面踢地面球时最大、1/2 膝关节高度次之、膝关节高度再次( $P<0.05$ )。实验组与对照组间差异无显著性( $P>0.05$ )。

3)实验组、对照组垂直方向最大地面反作用力方面,踢 1/2 膝关节高度、膝关节高度触球瞬间地面反作用力差异无显著性( $P>0.05$ ),踢地面球的触球瞬间地面反作用力明显小于踢 1/2 膝关节高度、膝关节高度触球瞬间地面反作用力( $P<0.05$ )。实验组与对照组间差异无显著性( $P>0.05$ )。

4)实验组、对照组任何高度位置射门的球速与支撑脚着地所受地面反作用力不存在线性相关关系。

表 4 不同高度脚背正面射门动力学参数测试结果 ( $\bar{x} \pm s$ )

N

反作用力	方向	组别	样本量 (人/次)	地面球	1/2 膝关节高度	全膝关节高度
最大地面反作用力	前后方向	实验组	30	-591.53±263.36	-604.53±78.90	598.67±97.58
		对照组	30	-604.90±344.56	-227.66±87.43	611.42±175.88
	左右方向	实验组	30	-214.32±135.89	-221.98±32.87	195.43±45.56
		对照组	30	223.55±110.82	277.41±71.97	214.73±91.77
	垂直方向	实验组	30	-1592.62±104.92 <sup>2)3)4)</sup>	1 872.88±97.15 <sup>2)3)4)</sup>	1 813.79±84.13 <sup>2)3)4)</sup>
		对照组	30	-1597.43±117.18 <sup>2)3)4)</sup>	1 859.86±91.14 <sup>2)3)4)</sup>	1 826.81±71.11 <sup>2)3)4)</sup>
触球瞬间地面反作用力	前后方向	实验组	30	-617.55±396.61 <sup>2)3)4)</sup>	487.65±32.05 <sup>2)3)4)</sup>	468.72±19.53 <sup>2)3)4)</sup>
		对照组	30	-598.97±461.96 <sup>2)3)4)</sup>	74.73±58.59 <sup>2)3)4)</sup>	455.37±23.86 <sup>2)3)4)</sup>
	左右方向	实验组	30	-175.27±26.04 <sup>3)4)</sup>	-117.18±29.15 <sup>3)4)</sup>	113.17±32.66 <sup>3)4)</sup>
		对照组	30	-183.51±35.79 <sup>3)4)</sup>	-130.20±32.06 <sup>3)4)</sup>	116.76±21.02 <sup>3)4)</sup>
	垂直方向	实验组	30	1 631.51±71.76	1 664.56±26.04	1 670.57±19.53
		对照组	30	1 618.49±66.23	1 983.76±35.57	16 77.43±13.02

1)实验组与对照组比较,  $P<0.05$ , 显著差异; 2)地面球与 1/2 膝关节高度比较,  $P<0.05$ , 显著差异; 3)地面球与全膝关节高度比较,  $P<0.05$ , 显著差异; 4)1/2 膝关节高度与膝关节高度比较,  $P<0.05$  显著差; 5)与支撑腿与球(标志物)垂直距离存在显著相关关系

### 3 讨论

#### 3.1 运动学特征

1)不同高度射门,球速均大于足的速度。球离足速度与足速度比值代表碰撞效率,比值大于 1,即是一个效果良好的踢球<sup>[7-8]</sup>。本实验踢球效果良好。

2)实验组射门球速、足速度,地面球最快、1/2 膝关节高度次之、全膝关节高度再次。该现象显示随着踢球位置高度的增高,足速度和球速度出现的递减趋势。说明脚背正面射门击球点高度越低球速越快。根据 Plagenhoef 等<sup>[9]</sup>对足球碰撞理论在足球运动的研究可知,足速度与球速度呈现正相关关系。可以推论,本研究中随着击球点位置的增高,球速出现下降趋势是因为随着击球点位置的增高,足速度出现下降趋势。

3)对照组地面球、1/2 膝关节高度、膝关节高度脚背正面空踢足速度、动腿脚触球即刻膝角、小腿前摆角速度、小腿前摆幅度、小腿前摆时间经多因素方差分析,无显著性差异。该现象说明 3 个高度位置,腿所能达到的摆速没有显著性差异,即人体解剖结构并不是造成脚背正面不同高度位置射门,随着踢球位置高度的增高,足速度递减趋势的主要原因。Kells 等<sup>[10]</sup>研究亦有相似结论。

4)实验组与对照组相应高度间射门比较发现,大腿前摆、大腿后摆、小腿后摆各运动学指标在实验组与对照组相应高度位间、不同高度位置间均无显著性差异,而小腿前摆运动学数据在实验组与对照组 1/2 膝关节高度、膝关节高度间、实验组不同高度射门间差异存在显著性。Isokawa 等<sup>[11]</sup>研究认为膝关节角扩大,小腿以膝关节为支点向前更多延展,会使球速增大。因此推论脚背正面不同高度射门间摆动腿足速度差异是由于不同高度间小腿前摆差异造成的。根据图像分析发现,加速前摆期小腿前摆一直处于加速运动过程。Tsaousidis 等<sup>[12-13]</sup>研究证实,膝关节屈角最小瞬间开始直至球离开脚面,足部未发生减速运动。据此推论不同高度射门间小腿前摆角速度、足速度差异主要发生在摆动腿摆动幅度差异( $\Delta$ 幅度)间,即不同高度射门间小腿前摆角速度、足速度差异主要发生在摆动腿摆动时间差( $\Delta t$ )里。当加速度一定,由于前摆时间踢地面球时最长、1/2 膝关节高度次之、膝关节高度再次所以不同高度射门足速度出现差异。王世椿等<sup>[14-15]</sup>研究发现:膝伸肌和膝屈肌肌力均与踢球球速有显著相关,膝伸肌和膝屈肌肌力在快速收缩及中等速度收缩时,有利于球速增加。因此得出结论,摆动腿小腿状况是影响摆动腿足速度和射门球速的重要因素;小腿前摆时长、摆幅的差异是造成不同高度射门足速度差异的直接原因。

根据前文分析从人体解剖结构角度不同高度射门

所能达到摆腿速度和足速度并无显著差异。但在实际射门中却存在差异。蔡尚明<sup>[16]</sup>提出:支撑脚位置和支撑腿膝角大小可能会对球速产生影响,但目前没有相关研究证实。表 2 结果中支撑腿与球垂直距离跟各高度射门触球即刻膝角、小腿前摆角速度、小腿前摆幅度、小腿前摆时间呈正相关。前摆加速度没有差异的情况下,前摆幅度越大,前摆时长就越长,最终前摆角速度和足速度就越快。在一定范围内,支撑脚与球垂直距离越远,射门球速就越快。但具体范围有待进一步研究,且可能与人体下肢长度有关系,但目前无相关研究。表 1 结果显示 3 种不同高度射门其支撑脚与球垂直距离,具有显著性差异。因此推论,不同高度射门间支撑脚与球垂直距离差异,导致其间射门球速的差异。

5)根据地面球、1/2 膝关节高、膝关节高度脚背正面射门中,球速、支撑脚与球垂直距离与落入球门区域关系发现,球速较快和支撑腿距球较远的射门球主要落在球门上半部,球速较慢和支撑脚距球较近的射门球主要落在球门下半部。前文分析在一定范围内,摆动腿前摆加速度一定的情况下,支撑腿与球垂直距离越远,射门球速就越快。乔建平<sup>[17]</sup>认为,脚背正面射门支撑腿过于靠后,球易踢高。射门的球一定要控制在一定范围内,不能只追求球速。而对照组不需要考虑射门精准度的因素。脚背正面踢球技术动作中,摆动腿的摆动是前后方向,直线摆动,所以髋关节和膝关节不能左右摆动变化。踝关节和脚面必须保持紧绷,在整个射门动作中踝关节角基本保持不变,依靠髌、踝关节突然的位置变化控制出球高度是难以实现的。脚背正面射门只能通过控制膝关节角和脚背与地面夹角控制球的高度。根据图像分析观察到,脚触球即刻膝关节角、脚背与地面夹角越小踢出的球路就越低,反之亦然。前摆期摆动腿的摆动轨迹类似扇形,摆动腿与支撑腿平行的瞬间(后文简称平行时刻),脚趾尖的位置为整个轨迹的最低点。在前摆期开始至平行时刻,摆动腿运动轨迹是向下的,通过平行时刻后,摆动腿的运行轨迹开始向上。踝关节角一定,摆动腿运行轨迹越向上,膝关节角、脚背与地面的夹角越大,踢出就越容易高。为了把球射在门框范围内,就需要在触球时把膝关节角、脚背与地面的夹角控制在一定范围内。通过缩短前摆期时长,令脚更早触球是控制角度的有效途径。在摆动加速度一定的情况下,缩短摆幅可以使前摆期缩短。而摆动幅度是由支撑脚与球垂直距离决定的。所以脚背正面射门中支撑腿与球垂直距离可以决定射出的球的速度和高度。地面球、1/2 膝关节高度、膝关节高度 3 种位置的球,地面球摆放高度最低,同样球达到门内相比 1/2 膝关节高度、膝

关节高度的球, 踢地面球, 球飞行轨迹上升高度空间最大, 前摆期也可以最长。所以踢地面球摆腿前摆最充分, 击球瞬间足速度最快。其余两个高度位置踢球足速度差产生的原因与此相同。所以会出现随着踢球位置高度的增加, 足速度和球速度出现递减趋势。

综上所述, 通过控制支撑腿与球垂直距离可以控制脚背正面射门的球速、球路、动作时间。

### 3.2 动力学特征

脚背正面射门动作 3 种不同高度踢球, 前后方向触球瞬间地面的反作用力, 呈现出随着踢球高度的增加力值减少的趋势; 左右方向踢地面球的触球瞬间地面反作用力明显大于踢 1/2 膝关节高度、膝关节高度。任何高度位置射门的球速与支撑脚着地所受地面反作用力不存在线性相关关系, 可以认为在脚背正面射门时支撑脚所受地面反作用力对射出球的球速可能没有直接影响, 人体关节具有伸缩、固定、支持等功能<sup>[18-19]</sup>。据此判断, 足球踢球支撑脚主要扮演一个固定支持的功能, 可能是为了方便髋部的扭转及动力链在击球腿的执行。Adrian 认为, 当支撑脚接触地面, 其作用就像扎根于地面, 对抗髋关节向前的运动<sup>[20]</sup>。Barfield 提出, 支撑效果取决于支撑腿膝关节的用力及屈伸程度。着地支撑时, 人体需要保持身体的动力, 以控制平稳, 因此膝、踝关节要以离心收缩的方式适度弯曲。在前摆球阶段, 人体是以稳固支撑, 为了增加踢摆的力量, 支撑脚膝、踝关节作蹬伸动作, 使摆动腿充分发出击球的力量<sup>[21]</sup>。

综上所述, 任何支撑脚受到的地面反作用力与踢出球的球速无关, 支撑腿在踢球过程中主要负责固定支撑、维持平衡使摆动腿充分发力击球。

### 参考文献:

- [1] Isokawa M, Lees A. A biomechanical analysis of the instep kick motion in soccer[M]. New York: E&FN Spon, 1988: 449-455.
- [2] 刘力生. 关于脚背正面踢定位球影响出球速度的若干问题讨论[J]. 四川体育科技, 1988(3): 22-28.
- [3] 许树渊. 脚背正面踢球躯干及下肢运动学与重心力矩之分析[J]. 大专体育学刊, 2003, 5(1): 205-215.
- [4] 黄寿军. 脚背正面踢定位球易犯错误及纠正[J]. 中国学校体育, 2005(4): 36-37.
- [5] Asami T, Nottle V. Analysis of powerful ball kicking[M]. New York: E&FN Spon, 1983: 695-700.
- [6] Kells E, Katis A. Knee biomechanics of the support leg in soccer kicks from three angles of approach[J]. Medicine and Science in Sport and Exercise, 2004, 8(36): 1017-1028.
- [7] Asami T, Dapena J. Comparison of the kinematics

of the full-instep and kicks in soccer[J]. Medicine and Science in Sport and Exercise, 1998, 7(30): 917-927.

- [8] Cabri J, De Proft E, Dufour J. The relation between muscular strength and kick performance[M]. New York: E & FN Spon, 1988: 186-193.
- [9] Plagenhoef S. Patterns of human motion: a cinematographic analysis[M]. New Jersey: Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1971: 678-699.
- [10] Kells E, Katis A. Three-dimensional analysis of kick in professional soccer player[J]. Science and Football, 1993(17): 357-361.
- [11] Isokawa M, Lees A. A biomechanical analysis of the instep kick motion in soccer[M]. New York: E&FN Spon, 1988: 449-455.
- [12] Tsaousidis J, Zatsiorsky V. Two types of ball-effect or interaction and their relative contribution to soccer kicking[J]. Human Movement Science, 1996(15): 861-876.
- [13] Hsu T Y, Tseng L Y, Yu J X, et al. Modulating inhibitory control with direct current stimulation of the superior medial frontal cortex[J]. Neuroimage, 2011, 56(4): 2249-2257.
- [14] 王世椿, 颜士凯. 增强式或等张式肌力训练对女子足球队员脚背踢球球速之影响[J]. 体育学报, 2002(28): 399-407.
- [15] 张贻琪, 郭静如, 陈龙官, 等. 肌电、测力、录像同步测试正足背推击踢球技术研究[J]. 天津体育学院学报, 1996, 11(2): 50-53.
- [16] 蔡尚明. 足球脚背踢球动作技术分析[J]. 华夏学报, 2002(5): 15729-15741.
- [17] 乔建平. 对脚背正面射门易高的探讨[J]. 阴山学刊, 2001(6): 99-101.
- [18] Hung T M, Hung C L, Fong D Y, et al. The effects of uncertainty on attention in table-tennis players and nonathletes[J]. Bulletin of Sport and Exercise Psychology of Taiwan, 2003, 26(3): 97-110.
- [19] 许树渊. 脚背正面踢球躯干及下肢运动学与重心力矩之分析[J]. 大专体育学刊, 2003, 5(1): 205-215.
- [20] Band G P H, van der Molen M W, Logan G D. Horse-race model simulations of the stop-signal procedure[J]. Acta Psychologica, 2003, 112(2): 105-142.
- [21] Hsu T Y, Tseng L Y, Yu J X, et al. Modulating inhibitory control with direct current stimulation of the superior medial frontal cortex[J]. Neuroimage, 2011, 56(4): 2249-2257.