



优秀青年男子运动员不同距离原地投篮命中率的出手参数影响因素分析

王新建,王 琨,郭 斌,鲍耀武,孙荣辉,郑 敏

摘 要: 定距离原地投篮的弧线轨迹主要取决于出手速度和出手角度。为了探究优秀青年男子运动员不同距离原地投篮命中率的各影响因素,采用平面定机高速摄影和运动技术解析法,采集 12 名 U16 中国国家男子篮球运动员罚篮、中投和三分投篮中篮过程投篮手臂的腕、肘、肩、膝等相关关节的线速度和角速度等参数,运用关联度和回归分析(Matlab2018a)探究规律。发现 8 项因素对原地投篮对命中率有不同程度的影响,其中,球初始高度、球离手高度、腕关节速度和膝关节速度 4 项因素,通过投篮角度和投篮速度对不同距离投篮命中率的影响最大。

关键词: U16; 男子篮球运动员; 不同距离原地投篮; 运动学参数; 影响因素

中图分类号: G804 文献标志码: A 文章编号: 1006-1207(2022)05-0091-09

DOI: 10.12064/ssr.2021102701

The Analysis of Factors Affecting Shooting Parameters on the Shooting Percentage at Different Distance Set Shots for Top Young Male Basketball Players of China

WANG Xinjian, WANG Kun, GUO Bin, BAO Yaowu, SUN Ronghui, ZHENG Min

(Xi'an Physical Education University, Xi'an 710068, China)

Abstract: The trajectory of fixed distance set shot mainly depends on shooting speed and shooting angle. The paper collects parameters of the linear velocity and angular velocity of the wrist, elbow, shoulder, knee and other related joints of the shooting arm among twelve U16 national male basketball players in the process of free throws, medium shots and three-point shots with plane high-speed photography and sports technique analysis to explore the factors affecting the shooting percentage in different distances through the shooting angle and shooting speed. It uses correlation and regression analysis (Matlab2018a) to obtain the factors affecting shooting parameters. The results show that eight factors have exerted different degrees of impacts on the shooting percentage in the standing shots, among which the initial height, off-hand height, wrist joint velocity and knee joint velocity have the great impacts on the shooting percentage in different distance shots through shooting angle and shooting speed.

Keywords: U16; male basketball players; set shot at different distances; kinematic parameters; affecting factors

投篮是篮球比赛中唯一的得分方式,原地投篮是最基础的投篮技术^[1]。依据物体斜抛运动的基本原理,投篮的弧线轨迹决定着篮球能否命中。定距离原地投篮的弧线轨迹主要取决于出手速度和出手角度^[2],且优秀运动员在选择合适的投篮控制参量方面更具稳定性^[3]。原地投篮是全身相关关节肢体有序参与,协同用力完成投球出手的技术动作^[2-3]。因

此,出手参数影响因素必然在用力过程技术环节的各参与关节肢体中,对技术效果施加作用。但是,由于目前资料尚难以识别引致出手参数差异的因素,难以确定因素主次关系以及相互作用规律。因此,研究出手速度和出手角度的影响因素,即可探究这些因素对投篮命中率的影响。

本研究围绕不同距离原地投篮出手参数指标变

收稿日期: 2021-10-27

基金项目: 国家体育总局重点领域研究课题(2012B039)。

第一作者简介: 王新建,男,硕士,讲师。主要研究方向: 体育教育训练学。E-mail: wxinjian@qq.com。

作者单位: 西安体育学院,陕西 西安 710068。



化,试图通过生物力学实验测试和运动技术影像解析,获取我国 U16 优秀运动员不同距离原地投篮出手运动学参数,采用关联度分析确定出手角度、出手速度的主要影响因素及其排序。采用多元线性回归分析探究原地投篮出手参数主要影响因素的变化规律,以此探索影响我国 U16 男子运动员投篮命中率的可控因素,为投篮技术训练和投篮技术分析诊断研究提供依据。

1 研究对象与方法

1.1 研究对象

以 U16 国家男子篮球队 12 名运动员为研究对象,身高(189.31 ± 6.11) cm,体重(77.83 ± 7.16) kg,年龄(14.92 ± 0.28)岁,训练年限(6.00 ± 0.91)年。

1.2 研究方法

1.2.1 文献资料法

通过检索中国知网、万方数据库、Sports Discuss 数据库等电子文献资料,查阅与投篮、原地投篮相关的期刊文献,为本研究提供理论参考和方法依据。

1.2.2 实验法

运用定机平面摄像方法,采用 1 台高速摄像机(JVC-PX100-BAC)拍摄 U16 国家男子篮球队 12 名运动员不同投篮影像。拍摄速度为 100 帧/秒,拍摄距离为 23 m,镜头高度为 2.46 m。测试前后对测试区域进行了平面标定,拍摄地点为国家体育总局训练局篮球馆;测试场地布置如图 1 所示。

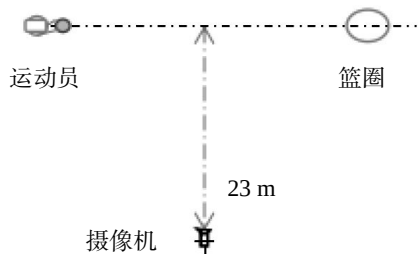


图 1 实验高速摄像机位示意图

Figure1 The high-speed camera bitmap in experiment

1.2.3 运动技术影像解析法

运用 Dartfish10.0 运动技术解析系统,通过视频转录,应用分析模块中目标追踪和形成球飞行轨迹,通过位移(距离)、时间以及平均速度等指标解析,采集原地投篮出手参数,为本研究提供第一手数据,解析结果示例如图 2、图 3 所示。

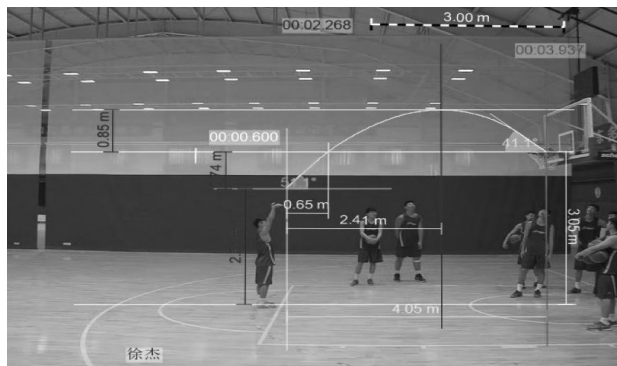


图 2 投篮参数解析图

Figure2 The basketball shooting parameter analytic diagram



图 3 投篮参数指标示意图

Figure3 The sketch map of shooting parameters

1.2.4 数理统计法

1.2.4.1 关联度分析

包括因素的识别、因素间相互关系以及因素影响程度大小等问题,拟采用关联度分析方法进行出手角度、出手速度的影响因素分析。基于灰色系统理论中的关联度分析量化关联程度,厘清因素的主次关系,从而展示该灰色系统的内在规律。

1.2.4.2 多元回归分析

根据自变量与因变量基本确定回归模型,利用自变量与因变量的样本数据拟合出回归数学模型的系数,通过模型的显著程度、拟合度等参数评价模型优劣。因变量为出手角度、出手速度。根据基于关联度分析的出手参数影响模型的计算结果,将影响因素作为多元回归分析的自变量,建立多元回归方程,分别记为 $X_1, X_2, \dots$ 。在此基础上建立的多元线性回归分析模型。借助多元回归模型,考察各因素的显著程度、作用方向及影响程度。

2 结果与分析

2.1 原地投篮出手动作结构及其运动学参数分析

2.1.1 原地投篮出手动作结构分析

动作结构指运动时所组成的各动作间相互联

系、相互作用的方式或顺序,动作结构的特征是区别不同动作和动作正误的依据,主要表现在运动学和动力学 2 个方面^[4]。本研究主要探讨投篮动作结构的运动学特征,包括完成动作时篮球和相关肢体时间、空间和时空方面表现出来的形式特征,其中主要观测了投篮手和同侧肢体结构特征参数。

2.1.1.1 篮球飞行轨迹运动学参数特征

投篮出手后球在空中飞行时因受重力影响而形成的一种弧形运动轨迹称为投篮抛物线^[3],投篮出手后篮球的飞行轨迹直接决定着投篮是否命中。出手后篮球运动符合牛顿第二定律,在重力作用下的曲线运动符合抛物线规律,属于斜抛运动^[2-3,5-6],其理论模型如图 4、图 5 所示。

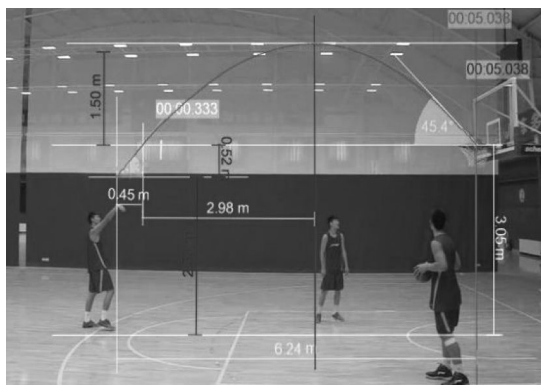


图 4 U16 运动员原地投篮球飞行轨迹图

Figure4 The U16 player's set shot trajectory diagram of flight

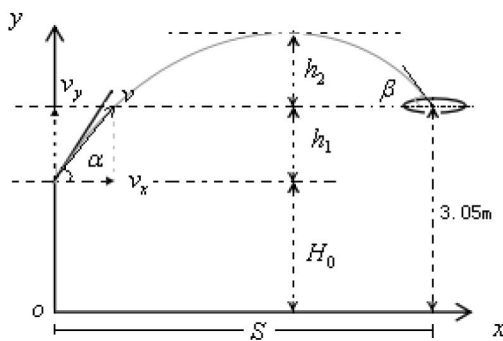


图 5 投篮球飞行理论模型示意图

Figure5 The theory model schematic diagram of set shot

图 5 中 H_0 指运动员原地投篮时出手高度, h_1 为篮下高度,即球出手到篮圈的垂直高度, h_2 为篮上高度,即篮球飞行最高时刻到篮圈的垂直高度,因此 $H_0+h_1=3.05\text{ m}$; v_x 为球出手时水平方向速度, v_y 为球出手时垂直方向速度, v 是球出手时刻速度, α 为出手角度,因此有 $v_x=v\times\sin\alpha$, $v_y=v\times\cos\alpha$; β 为入篮角; S 为投篮距离,即球出手时刻几何中心到篮圈中心的水平距离。

因此,根据物理学斜抛运动原理可得出投篮距离(位移)、出手速度和出手角度的关系式,得出理论轨迹方程^[1-3]:

$$y=H_0+x\tan\alpha-\frac{gx^2}{2(v\cos\alpha)^2}, \text{ 即 } y=H_0+x\tan\alpha-\frac{gx^2}{2v_x^2}$$

由此可知,在不计空气阻力的情况下,定距离原地投篮的弧线轨迹主要取决于出手高度 H_0 , 出手速度 v 和出手角度 α 。而对于优秀运动员来说,原地投篮技术的稳定性可以保证出手高度基本不变,因此优秀运动员定距离原地投篮的弧线轨迹主要取决于出手速度的大小和出手角度的变化。

2.1.1.2 投篮出手相关肢体运动学参数特征

依据原地单手肩上投篮技术动作结构,投篮最后用力自准备姿势开始,到篮球离手结束。这个过程中,手指手腕、肘关节、肩关节、髋关节、膝关节和踝关节在相关肢体的技术链中有序参与,协调用力,最终使得篮球出手飞行入篮得分^[3]。

因此,技术参数解析自最后用力开始,至投篮离手结束,采集了水平位移、初始腕角、离手腕角、腕动水平位移、腕动垂直位移、初始肘角、离手肘角、初始肩角、离手肩角等相关肢体部位的运动学参数^[2-3]。

2.1.2 投篮出手篮球飞行轨迹运动学参数特征分析

本研究拍摄 U16 男子运动员不同距离原地投篮高速影像,运用运动技术解析软件解析获取时间、位移、角度等参数,依据斜抛运动基本原理及其公式,通过计算获取水平平均速度(忽略空气阻力),再通过计算获取垂直速度和出手速度等运动学参数,不同距离原地投篮出手时刻参数见表 1。

表 1 不同距离原地投篮出手时刻运动学参数结果 (n=12)

Table1 The analytical results of kinematics parameter in standing shots from different distances (n=12)

	投篮距离 /m	出手高度 /m	出手角度 /(°)	出手速度 /(m·s ⁻¹)	水平速度 /(m·s ⁻¹)	垂直速度 /(m·s ⁻¹)
罚篮	4.06±0.10	2.5±0.10	49.16±2.98	6.82±0.60	4.44±0.33	5.16±0.61
中投	5.72±0.16	2.56±0.10	47.67±5.41	7.58±0.33	5.21±0.33	5.48±0.57
远投	6.46±0.20	2.56±0.13	46.65±2.63	8.10±0.22	5.55±0.23	5.89±0.37



出手角指投篮时球离手瞬间,篮球中心飞行轨迹的切线与出手点水平面的夹角,出手角度与入篮角呈正相关关系,出手角越大,入篮角也随之增大^[1-2]。运动员原地投篮时,随着投篮距离的增加,出手高度略有增加,出手角度随之减小。罚篮时的出手球速应在6.0~7.2 m/s^[7-8]。这是因为距离越远,对投篮技术动作的准确性要求越高,增加出手高度则可用相对更小的出手角度,提高控制球的能力^[2]。优秀运动员在投篮情况允许下,出手速度越小,投篮命中率越高^[2,9],这是因为更低速度的出手技术动作更容易控制,减少动作变异,从而提高出手动作的稳定性^[2,10]。因而高水平运动员倾向于用接近最小出手速度的出手角度投篮^[2,3,7]。

2.1.3 投篮出手相关肢体运动学参数结果与分析

投篮过程中自最后用力至篮球离手瞬间,篮球在手中随着肢体支配而运动,为了探究人体通过各个肢体部位有序参与完成技术动作,对篮球离手时速度大小和出手角度影响规律,采集了上述完成投篮技术过程中各部位的运动学参数^[3-4]。

根据技术动作开始时刻、投篮离手时刻(技术动作结束时刻)和技术完成过程中的时间位移等3类参数,结果如表2~4所示。

表2 不同距离原地投篮开始时刻参数结果(n=12)

Table2 Analytical results of kinematics parameter at the starting moment in standing shots from different distances (n=12)

参数指标	罚篮	中投	三分
球初始高度/m	1.88±0.13	1.85±0.11	1.86±0.12
初始腕角/(°)	125.98±15.31	122.2±18.75	127.18±12.87
初始肘角/(°)	73.61±10.00	73.44±9.97	75.54±11.68
初始肩角/(°)	106.71±16.84	101.33±20.40	103.96±20.62
膝关节初始高度/m	0.45±0.07	0.44±0.04	0.44±0.06
膝关节初始角度/(°)	122.23±19.97	115.26±9.01	113.87±9.98

表3 不同距离原地投篮球离手时刻参数结果(n=12)

Table3 Analytical results of kinematics parameter at the ending moment in standing shots from different distances (n=12)

参数指标	罚篮	中投	三分
球离手高度/m	2.5±0.10	2.56±0.10	2.56±0.13
离手腕角/(°)	171.25±10.23	173.83±8.44	176.44±2.91
离手肘角/(°)	153.37±9.34	159.03±13.98	156.84±14.97
离手肩角/(°)	134.13±10.68	138.32±13.99	138.16±10.15
离手膝关节高度/m	0.62±0.10	0.68±0.05	0.66±0.10
离手膝关节角度/(°)	165.08±8.40	162.09±7.94	160.43±7.82

表4 不同距离原地投篮出手时间位移参数结果(n=12)

Table4 Analytical results of time and displacement parameters in standing shots from different Distances (n=12)

参数指标	罚篮	中投	三分
时间/s	0.82±0.11	0.86±0.09	0.88±0.10
球水平位移/m	0.3±0.06	0.33±0.06	0.34±0.08
腕动水平位移/m	0.18±0.07	0.2±0.06	0.2±0.06
腕动垂直位移/m	0.49±0.14	0.58±0.09	0.57±0.07
膝关节垂直位移/m	0.17±0.09	0.24±0.06	0.22±0.07

有研究认为,球出手瞬间所对应的右肩关节角度为141.7°(右手为投篮手)^[5],肩关节的角度变化从90°~135°,肘关节在腕关节的正下方,并与篮筐在一条直线上^[11]。投篮出手角度越大,其肩关节的角度也就越大,投篮效果也就越好^[12]。随着投篮距离的增加,优秀运动员在投篮时肩关节运动幅度增大,而腕关节和肘关节的运动幅度并没有显著变化^[10]。在以右手为投篮手的单手肩上投篮技术的持球阶段,重心最低时左踝关节角度约为(75.2±2.5)°,右踝关节角度变化约为(77.71±2.5)°;而在出手瞬间左踝关节则变为115.71°,右踝关节变为(117.02±2.5)°^[6-8]。膝关节的屈膝和蹬伸过程,是球员获得垂直速度的主要力量来源,为球的飞行产生动力,再传至上肢协助投篮动作的完成。徐艳等^[5]通过三维图像解析得出球员左膝关节膝角变化幅度为34°~163°、右膝关节膝角变化幅度为77°~162°时,身体可以获得最佳发力状态。

2.1.4 不同距离原地单手投篮技术环节运动学参数计算结果与分析

依据各技术环节起止时间、位移变化和相关关节角度变化,计算出腕关节速度、膝关节速度、肘关节角速度、肩关节角速度、腕关节角速度、膝关节角速度等参数平均值(表5)。

表5 不同距离原地投篮技术环节参数结果(n=12)

Table5 Calculation results of speed parameters in technique links in standing shots from different distances (n=12)

参数指标	罚篮	中投	三分
腕关节角速度/(°·s ⁻¹)	3.85±1.47	4.23±1.79	3.98±1.15
肘关节角速度/(°·s ⁻¹)	6.84±1.42	6.98±1.56	6.55±1.62
肩关节角速度/(°·s ⁻¹)	2.34±1.57	3.00±1.75	2.75±1.74
膝关节角速度/(°·s ⁻¹)	3.64±1.75	3.83±1.05	3.76±0.97
腕关节速度/(m·s ⁻¹)	0.87±0.40	0.91±0.27	0.93±0.29
膝关节速度/(m·s ⁻¹)	0.82±0.43	1.13±0.26	1.05±0.36



有研究认为,在投篮时上肢各个关节的运动中,肩关节最早出现峰值角速度,然后是肘关节、腕关节,遵循了由近及远的发力顺序^[13-14]。

2.1.5 投篮出手相关运动学参数分析

依据投篮技术动作要领,技术动作完成过程中所参与的相关肢体部位,包括了腕关节、肘关节、肩关节、髋关节、膝关节和踝关节等^[3],在投篮时各关节的发力顺序基本遵循了近侧端→远侧端的原理^[1,13-16]。

根据各相关肢体参与完成投篮技术过程中所产生的时间、位移、关节角度等时空参数,按照时间位移或角度变化量的线性关系,可计算速度和角速度等参数结果。

罚球、中投、三分 3 种不同距离投篮时,出手角度、出手速度的 15 个影响因素分别标记为:F1 作用时间、F2 球初始高度、F3 球离手高度、F4 腕关节速度、F5 腕关节角速度、F6 肘关节速度、F7 肘关节角速度、F8 肩关节速度、F9 肩关节角速度、F10 髋关节速度、F11 髋关节角速度、F12 膝关节速度、F13 膝关节角速度、F14 踝关节速度和 F15 踝关节角速度。

2.2 基于关联度分析结果与讨论

2.2.1 关联度出手参数影响模型建立

关联度分析方法的一般性表述如下:

选取参考数列:

$$h_0 = \{h_0(k) | k=1, 2, \dots, n\} = (h_0(1), h_0(2), \dots, h_0(n)) \quad (1)$$

其中, k 表示时刻。

假设有 m 个比较数列 $h_i = \{h_i(k) | k=1, 2, \dots, n\} = (h_i(1), h_i(2), \dots, h_i(n))$, $i=1, 2, \dots, m$, 则称

$$\zeta_i(k) = \frac{\min_s \min_t |h_0(t) - h_i(t)| + \theta \max_s \max_t |h_0(t) - h_i(t)|}{|h_0(t) - h_i(t)| + \theta \max_s \max_t |h_0(t) - h_i(t)|} \quad (2)$$

为比较数列 h_i 对参考数列 h_0 在 k 时刻的关联系数。其中, $\theta \in [0, 1]$ 为分辨系数, θ 越大, 分辨率越大, θ 越小, 分辨率越小, $\min_s \min_t |h_0(t) - h_i(t)|$ 和 $\max_s \max_t |h_0(t) - h_i(t)|$ 分别为两级最小差和两级最大差。

式(2)定义的关联系数是描述比较数列与参考数列在某时刻关联程度的一种指标, 由于各个时刻都有一个关联数, 因此信息显得过于分散, 不便于比较, 为此给出:

$$r_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \zeta_i(k) \quad (3)$$

称为数列 h_i 对参考数列 h_0 的关联度。

需要注意的是, 在计算关联度之前, 还需对数据表中各个数列作初始化处理。由于实际问题中不同

数列往往具有不同的量纲, 而关联度的计算要求量纲相同, 因此, 需要对各种数据进行无量纲化。此外, 为了便于比较, 要求所有数列有公共的焦点, 因此对给定数列进行变化。若给定数列 $h = h(1), h(2), \dots, h(n)$, 称

$$h = \left(1, \frac{h(2)}{h(1)}, \dots, \frac{h(n)}{h(1)}\right) \quad (4)$$

为原始数列 h 的初始化序列。

2.2.2 原地投篮出手角度、出手速度主要影响因素分析

上述 15 项由篮球运动学参数表现和肢体部位技术动作细节所产生的影响因素中, 为了探究哪些是主要影响因素, 将 3 种不同距离投篮的出手角度和出手速度 6 个维度的关联度进行求和, 对 15 个因素进行降序排列, 对于出手角度、出手速度的影响大小结果如表 6 所示。

表 6 不同距离原地投篮主要影响因素关联度分析结果

Table 6 Ranking results of correlation degree of major factors in standing shots from different distances

指标标号	指标名称	关联度排序
F2	球初始高度	1
F3	球离手高度	2
F4	腕关节速度	3
F6	肘关节速度	4
F9	肩关节角速度	5
F5	腕关节角速度	6
F12	膝关节速度	7
F13	膝关节角速度	8
F7	肘关节角速度	9
F8	肩关节速度	10
F14	踝关节速度	11
F15	踝关节角速度	12
F10	髋关节速度	13
F11	髋关节角速度	14
F1	作用时间	15

如表 6 所示, 15 项影响因素与 3 种不同距离投篮出手角度、出手速度关联度排序, 为了保证影响因素整体解释力, 研究取前 8 位作为主要影响因素深入探讨影响规律。8 个主要影响因素为球初始高度、球离手高度、腕关节速度、肘关节速度、肩关节角速度、腕关节角速度、膝关节速度、膝关节角速度, 分别标为 X1, X2, ..., X8。

2.2.3 不同距离出手角度影响因素关联度分析

通过上述关联度模型分析计算, 8 个主要影响因素与罚球、中投和三分不同距离原地投篮出手角度关联度和顺序结果如表 7 所示。



表 7 不同距离原地投篮出手角度影响因素的关联度排序结果

Table7 The ranking results of correlation degree on shooting angle and factors in set shots from different distances

罚篮			中投			三分		
因素	关联度	排序	因素	关联度	排序	因素	关联度	排序
X2	0.956 1	1	X2	0.892 1	1	X1	0.841 1	1
X1	0.954 9	2	X1	0.889 1	2	X2	0.820 3	2
X5	0.859 0	3	X5	0.795 2	3	X3	0.787 1	3
X3	0.790 4	4	X4	0.783 4	4	X4	0.737 4	4
X6	0.786 0	5	X3	0.761 3	5	X5	0.678 7	5
X4	0.784 6	6	X6	0.683 6	6	X6	0.592 8	6
X8	0.753 0	7	X8	0.642 1	7	X7	0.568 8	7
X7	0.688 3	8	X7	0.549 8	8	X8	0.554 1	8

由表 7 可见,罚篮时球离手高度和球初始高度为重要影响因素中排名前 2 位,说明球的离手高度、初始高度与罚篮出手角度高度相关;中距离投篮时球离手高度和球初始高度为重要影响因素中排名前 2 位,说明球的初始高度、离手高度与中距离投篮出手角度高度相关;三分投篮时球初始高度和离手高度为重要影响因素中排名最靠前 2 位,说明初始高度和离手高度与三分投篮出手角度高度相关。

由此证明,维持适宜出手高度和离手高度的稳定性,即可提高投篮命中率。其次,维持腕、肘、肩、膝等关节速度及其角速度的协调与稳定性也是影响稳定命中率的重要因素。

2.2.4 不同距离出手速度影响因素关联度分析

通过上述关联度模型分析计算,8 个主要影响因素与罚球、中投和三分不同距离原地投篮出手速度关联度和顺序结果如表 8 所示。

表 8 不同距离原地投篮出手速度及其影响因素的关联度排序结果表

Table8 Ranking results of correlation degree of shooting speed and its factors in standing shots from different distances

罚篮			中投			三分		
因素	关联度	排序	因素	关联度	排序	因素	关联度	排序
X2	0.974 2	1	X1	0.896 3	1	X4	0.686 2	1
X1	0.957 5	2	X2	0.890 2	2	X1	0.681 8	2
X5	0.840 9	3	X4	0.775 6	3	X2	0.668 3	3
X3	0.791 9	4	X5	0.753 5	4	X3	0.664 9	4
X6	0.773 4	5	X3	0.701 2	5	X7	0.646 9	5
X4	0.766 9	6	X6	0.661 9	6	X5	0.586 7	6
X8	0.734 7	7	X8	0.618 7	7	X6	0.531 7	7
X7	0.695 8	8	X7	0.513 7	8	X8	0.498 6	8

由表 8 可见,原地罚篮时球离手高度和球初始高度为重要影响因素中排名前 2 位,说明球的离手高度、初始高度与罚篮出手角度高度相关;原地中距离投篮时球的球离手高度和球初始高度为重要影响因素中排名前 2 位,说明球的初始高度、离手高度与中距离投篮出手速度高度相关;三分投篮时球的初始高度和离手高度为出手速度重要影响因素中排名前 2 位,说明球的初始高度和离手高度与三分投篮出手速度高度相关。

综上所述,出手角度的差异由投篮距离和出手高度引起,不同研究结果表明出手角度范围在 $44^{\circ}\sim 65^{\circ}$ 之间,受个体的动作模式影响较大^[1]。因此,建议运

动员个体训练中,在一定范围内通过调整用力方向和伸直肘关节等动作细节,提高出手高度,进而改善出手角度和出手速度。同时,在定距离远投技术训练中,进一步改善腕、肘、膝等关节的协同或耦合关系^[17],也可以提高投篮出手角度的稳定性,进而提高命中率。

2.3 基于多元回归分析结果与讨论

为了探索投篮出手角度、出手速度与 X1 球初始高度、X2 球离手高度、X3 腕关节速度、X4 肘关节速度、X5 肩关节角速度、X6 腕关节角速度、X7 膝关节速度和 X8 膝关节角速度影响因素之间的变化规



律,以投篮出手角度、出手速度为因变量,以上述 8 个因素为自变量进行多元回归模型建立与分析。

2.3.1 多元回归模型建立

多元回归分析的基本步骤如下:(1)获取自变量与因变量的数据,作为样本数据;(2)根据自变量与因变量确定回归模型;(3)利用自变量与因变量的样本数据拟合出回归数学模型的系数;(4)通过模型的显著程度、拟合度等参数评价模型优劣。

本研究中多元线性回归模型的因变量为出手角度、出手速度。根据基于关联度分析的出手参数影响模型的计算结果,将 8 个影响因素作为多元回归分析的自变量,建立多元回归方程,共计 8 维,分别记为 $X_1, X_2, \dots, X_8$ 在此基础上建立的多元线性回归分析的模型为:

$$\begin{cases} y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_m x_m + \varepsilon \\ \varepsilon \sim N(0, \sigma^2) \end{cases} \quad (5)$$

公式中 $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_m, \sigma^2$ 都是与 $x_1, x_2, \dots, x_m$ 无关的未知参数,其中 $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_m$ 为回归系数,文中 $m=1, 2, \dots, 8$ 。与关联度分析方法不同的是,多元线性回归分析将三分远距离投篮、中距离投篮、罚球 3 种情况统筹考虑, y 为出手角度或者出手速度,计算出所有因素对于出手角度、出手速度的影响变化规律,进而探讨这些可控因素对投篮命中率的影响。

多元回归分析的一般性表述如下:

现有 n 个独立观测数据 $(y_i, x_{i1}, \dots, x_{im}), i=1, 2, \dots, n, n>m$, 文中选取国家队男子篮球运动员 12 名,分为三分远距离投篮、中距离投篮、罚球等 3 种情况,即 $n=36$ 。

由(5)得:

$$\begin{cases} y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \dots + \beta_m x_{im} + \varepsilon_i \\ \varepsilon_i \sim N(0, \sigma^2), i=1, \dots, n \end{cases} \quad (6)$$

即:

$$X = \begin{bmatrix} 1 & x_{11} & \dots & x_{1m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & x_{n1} & \dots & x_{nm} \end{bmatrix}, Y = \begin{bmatrix} y_1 \\ \dots \\ y_n \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$\varepsilon = [\varepsilon_1, \dots, \varepsilon_n]^T, \beta = [\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_m]^T \quad (8)$$

采用矢量矩阵,可表示为:

$$\begin{cases} Y = X\beta + \varepsilon \\ \varepsilon \sim N(0, \sigma^2 E_n) \end{cases} \quad (9)$$

其中 E_n 为 n 阶单位矩阵。

2.3.2 出手角度影响因素的回归分析

出手角度是不同距离原地投篮的重要参数之一,是影响投篮命中率的重要影响指标,上述因素对出手角度影响的回归结果如表 9 所示。

表 9 出手角度影响因素的回归分析结果

Table 9 The regression analysis results of factors on shooting angle

自变量	罚球	中投	三分
D(常数)	1.746	-0.335	44.119
X1	3.129	28.144	-45.139
X2	10.472	-11.97	33.421
X3	1.17	9.745	17.519
X4	0.882	-0.036	-3.003
X5	1.465	4.297	2.185
X6	0.057	-0.648	-2.929
X7	-9.432	-8.791	1.473
X8	2.711	4.621	2.83
F	0.826	1.611	1.997
P	0.633	0.379	0.308
R ²	0.688	0.811	0.842

表 9 为优秀男子运动员 3 种不同距离原地投篮技术出手角度参数的 8 个影响因素的回归分析,决定系数 R^2 分别为 0.688, 0.811 和 0.842, 说明回归模型对因变量 y 的解释力分别为 68.8%, 81.1% 和 84.2%, 回归模型的拟合度较好。

因此,不同距离原地投篮出手角度与 8 项因素的回归方程即为

$$y_{\text{罚球}} = 3.129x_1 + 10.472x_2 + 1.17x_3 + 0.882x_4 + 1.465x_5 + 0.057x_6 - 9.432x_7 + 2.711x_8 + 1.746$$

$$y_{\text{中投}} = 28.144x_1 - 11.97x_2 + 9.745x_3 - 0.036x_4 + 4.297x_5 - 0.649x_6 - 8.791x_7 + 4.621x_8 - 0.335$$

$$y_{\text{三分}} = -45.139x_1 + 33.421x_2 + 17.519x_3 - 3.003x_4 + 2.185x_5 - 2.929x_6 + 1.473x_7 + 2.83x_8 + 44.119$$

上述 3 组回归方程分别表达了罚球、中投和三分 3 种不同距离原地投篮出手角度的 8 个影响因素的线性回归关系,表现了各因素对出手角度的影响及其影响程度关系。其中,方程中系数的正负值代表了影响的方向,负值表示随着自变量的增加因变量会相应减小,正值表示自变量的增加会使因变量相应增加。回归系数排序如表 10 所示。

回归方程系数表达了各项因素的回归系数在不同距离原地投篮时,通过出手角度影响命中率的程度。其中罚球时,通过出手角度对命中率的影响最大的 3 个因素分别为球离手高度(X_2 : 10.472)、膝关节速度(X_7 : -9.432)和球初始高度(X_1 : 3.129);中投时,通过出手角度对命中率的影响最大的 3 个因素分别为球初始高度(X_1 : 28.144)、球离手高度(X_2 : -11.97)和腕关节速度(X_3 : 9.745);三分投篮时,通过出手角度对命中率的影响最大的 3 个因素分别为球初始高度(X_1 : -45.139)、球离手高度(X_2 : 33.421)和腕关节速度(X_3 : 17.519)。



表 10 不同距离原地投篮出手角度与 8 项自变量(因素)回归系数排序结果

Table10 Ranking results of standing shooting angle at different distances and regression coefficients of 8 independent variables (factors)

罚球			中投			三分		
自变量	回归系数	排序	自变量	回归系数	排序	自变量	回归系数	排序
X2	10.472	1	X1	28.144	1	X1	-45.139	1
X7	-9.432	2	X2	-11.97	2	X2	33.421	2
X1	3.129	3	X3	9.745	3	X3	17.519	3
X8	2.711	4	X7	-8.791	4	X4	-3.003	4
X5	1.465	5	X8	4.621	5	X6	-2.929	5
X3	1.17	6	X5	4.297	6	X8	2.83	6
X4	0.882	7	X6	-0.648	7	X5	2.185	7
X6	0.057	8	X4	-0.036	8	X7	1.473	8

2.3.3 出手速度影响因素的回归分析

出手速度是另一个影响命中率的重要参数,上述 8 个影响因素对其的回归分析结果如表 11 所示。

表 11 出手速度影响因素的回归分析

Table11 The regression analysis results of factors of shooting speed in standing shots from different distances

自变量	罚球	中投	三分
(常数)	8.645	7.417	5.674
X1	-1.024	-1.939	-7.469
X2	-0.076	2.224	5.825
X3	-0.403	-0.661	4.976
X4	0.027	0.123	-1.027
X5	-0.242	0.2	0.93
X6	0.01	-0.353	-0.954
X7	0.583	-2.509	0.16
X8	-0.211	0.395	0.862
F	2.808	1.115	13.015
P	0.214	0.516	0.029*
R ²	0.882	0.748	0.972

注:*表示 $P < 0.05$,具有统计学意义。

表 11 为不同距离出手速度与 8 个因素的回归结果,决定系数 R^2 分别为 0.882,0.748 和 0.972,说明回归模型对因变量 y 解释力分别为 88.2%,74.8%和 97.2%,回归模型的拟合度很好。其中三分回归模型 $P=0.029$,有统计学意义。

因此,不同距离原地投篮出手速度与 8 项因素的回归方程即为

$$y_{\text{罚球}} = -1.024x_1 - 0.076x_2 - 0.403x_3 + 0.027x_4 - 0.242x_5 + 0.010x_6 + 0.583x_7 - 2.110x_8 + 8.645$$

$$y_{\text{中投}} = -1.939x_1 + 2.224x_2 - 0.661x_3 + 0.123x_4 + 0.200x_5 - 0.353x_6 - 2.509x_7 + 0.395x_8 + 7.417$$

$$y_{\text{三分}} = -7.469x_1 + 5.825x_2 + 4.976x_3 - 1.027x_4 + 0.930x_5 - 0.954x_6 + 0.160x_7 + 0.862x_8 + 5.674$$

上述 2 组回归方程分别表达了不同距离原地投篮出手角度和出手速度的 8 个影响因素的线性回归关系,表现了各因素对出手角度的影响及其影响程度关系。系数排序结果如表 12 所示。

表 12 不同距离原地投篮出手速度与 8 项自变量(因素)回归系数排序结果

Table12 Ranking results of standing shooting speed at different distances and regression coefficients of 8 independent variables (factors)

罚球			中投			三分		
自变量	回归系数	排序	自变量	回归系数	排序	自变量	回归系数	排序
X1	-1.024	1	X7	-2.509	1	X1	-7.469	1
X7	0.583	2	X2	2.224	2	X2	5.825	2
X3	-0.403	3	X1	-1.939	3	X3	4.976	3
X5	-0.242	4	X3	-0.661	4	X4	-1.027	4
X8	-0.211	5	X8	0.395	5	X6	-0.954	5
X2	-0.076	6	X6	-0.353	6	X5	0.93	6
X4	0.027	7	X5	0.2	7	X8	0.862	7
X6	0.01	8	X4	0.123	8	X7	0.16	8

回归方程系数表达了各项因素的回归系数在不同距离原地投篮时,通过出手速度影响命中率的程

度。其中罚球时,通过出手速度对命中率的影响最大的 3 个因素分别为球初始高度(X_1 :-1.024)、膝关节



速度($X7:0.583$)和腕关节速度($X3:-0.403$);中投时,通过出手速度对命中率的影响最大的3个因素分别为膝关节速度($X7:-2.509$)、球离手高度($X2:2.224$)和初始高度($X1:-1.939$);三分投篮时,通过出手速度对命中率的影响最大的3个因素分别为球初始高度($X1:-7.469$)、球离手高度($X2:5.825$)和腕关节速度($X3:4.976$)。

3 结论与建议

3.1 结论

8项因素在原地投篮中对命中率有不同程度的影响,其中,球初始高度、球离手高度、腕关节速度和膝关节速度4项因素,在不同距离投篮中通过投篮角度和投篮速度对命中率的影响程度最大。

罚篮时,通过出手角度对命中率的影响程度最大的3个因素,分别为球离手高度、膝关节速度和球初始高度;通过出手速度对命中率的影响程度最大的3个因素,分别为球初始高度、膝关节速度和腕关节速度。中投时,通过出手角度对命中率的影响程度最大的3个因素分别为球初始高度、球离手高度和腕关节速度;通过出手速度对命中率的影响程度最大的3个因素,分别为膝关节速度、球离手高度和初始高度。三分投篮时,通过出手角度和出手速度对命中率的影响程度最大的3个因素均为球初始高度、球离手高度和腕关节速度。

3.2 建议

原地投篮训练中,调整出手方向和伸展肘部等技术动作细节方式,改善出手高度,进而提高命中率。同时,建议在训练中维持腕、肘、肩、膝等关节协调或耦合关系的稳定性,以提高投篮命中率。建议运动员在定距离投篮训练中,尽可能保证出手高度和出手角度的稳定性,可维持投篮命中率。建议定距离投篮训练中,采用恰当训练手段,达到投篮出手动作和动作节奏稳定的效果,以维持球初始高度、球离手高度、腕关节速度和膝关节速度参数的稳定性,可对提高命中率和维持高命中率有所帮助。

参考文献:

- [1] 杨宗青,米靖,刘卉.篮球投篮的运动特征研究进展[J].体育科学,2016,36(1):79-90.
- [2] 王新建.中国U16优秀女子运动员原地投篮出手运动学参数特征研究[J].西安体育学院学报,2020,37(6):763-768.

- [3] 孙民治.篮球运动高级教程[M].北京:人民体育出版社,2000:80.
- [4] 陆爱云.运动生物力学[M].北京:人民体育出版社,2010.
- [5] 徐艳,袁同春,柴业宏.基于三维图像解析的篮球投篮技术生物力学分析[J].合肥工业大学学报(自然科学版),2012,35(10):1428-1432.
- [6] 李宁,马潇曼,周亚辉.单手肩上投篮技术特征研究现状与评述[J].广州体育学院学报,2019,39(03):94-100.
- [7] OKAZAKI V H, RODACKI A L, SATERN M N. A review on the basketball jump shot[J]. Sports Biomechanics, 2015, 14(2):190.
- [8] DUANE K. Biomechanics of the basketball jump shot-six key teaching points[J]. Journal of Physical Education, Recreation & Dance, 2013, 64(2):67-73.
- [9] 俞立平.科技评价中关键指标的测度方法研究:以学术期刊评价为例[J].图书情报工作,2017,61(18):93-97.
- [10] ROBINS M, DAVIDS K, BARTLETT R, et al. Changes in compensatory variability as a function of task expertise and distance during basketball shooting[C]// ISBS Conference Proceedings Archive, 2008:473-476.
- [11] JACKIE L H. Prediction of basketball skill using biomechanical variables[J]. Research Quarterly for Exercise and Sport, 2013, 56(2):115-121.
- [12] 邱冬冬,米靖,张承毅.投球后随球动作与投篮效果研究[J].中国体育科技,2016,52(4):76-83.
- [13] 洪远,沈倬,李旭龙,等.新规则下三分投篮技术动作的运动学与肌电分析[C]//第十六届全国运动生物力学学术交流会(CABS 2013)论文集,2013:131-132.
- [14] BUTTON C, MACLEOD M, SANDERS R, et al. Examining movement variability in the basketball free-throw action at different skill levels[J]. Research Quarterly for Exercise and Sport, 2003, 74(3):257-269.
- [15] CHIANG H Y, LIU Y T. Coordination of basketball shooting movement of different skill level players[C]// 24Int Symposium Biomechanics Sports, Salzburg: [s.n.], 2006.
- [16] ROBINS M, DAVIDS K, BARTLETT R, et al. Changes in compensatory variability as a function of task expertise and distance during basketball shooting[C]//26Int Symposium on Biomechanics in Sports, Seoul:[s.n.], 2008:473-476.
- [17] MULLINEAUX D R, UHL T L. Coordination-variability and kinematics of misses versus swishes of basketball free throws[J]. Journal of Sports Sciences, 2010, 28(9):1017-1024.

(责任编辑:刘畅)