

不同水平射箭运动员撒放阶段动作特征的研究

——基于统计参数映射

A Comparative Study on the Movement Characteristics of Archery Athletes with Different Levels in the Releasing Phase

——Based on Statistical Parametric Mapping

邢睿, 张璟, 周兴龙, 曲峰*

XING Rui, ZHANG Jing, ZHOU Xinglong, QU Feng*

摘要:目的:基于统计参数映射法(statistical parametric mapping, SPM),探讨不同水平射箭运动员在撒放阶段的动作姿态特征和姿势控制能力差异。方法:20名男子射箭运动员按运动员技术等级分为健将组($n=10$)和一级组($n=10$),运用Qualisys红外光点运动捕捉系统采集成绩在10环区域以内的射箭运动学数据,采用统计参数映射法对比分析不同水平射箭运动员在撒放阶段的动作特征差异。结果:不同水平射箭运动员持弓侧与拉弓侧的姿态角向量场在整个撒放阶段均存在统计学差异,结合事后SPM两独立样本 t 检验发现,该差异主要来源于,与一级组相比,健将组:1)在撒放前,持弓侧肩关节屈曲角、水平屈曲角更大($P=0.001$),拉弓侧肘关节屈曲角、前臂旋转角更大($P=0.001$);2)撒放后,拉弓侧各肩关节姿态角变化速率更小($P=0.001$),且2组运动员肘关节屈伸角在撒放后立即表现出相反的变化趋势。此外,在撒放前,健将组的持弓侧肩点与腕点、拉弓侧肩点与肘点,以及弓点的晃动体积均显著小于一级组($P<0.05$)。结论:不同水平射箭运动员在撒放阶段的姿态特征以及姿势控制方面存在差异。姿态特征方面,在撒放前,健将级运动员身体与弓箭系统之间的距离相对较远,且拉弓侧前臂外旋更多;姿势控制方面,健将级运动员在撒放前对近端环节及弓的稳定控制能力更强,在撒放后立即对拉弓侧肩关节的姿势控制能力较高,能够有效减少惯性对其姿态的影响;此外,应注重撒放后立即对远端环节肢体的控制,降低撒放动作对箭支的影响。**关键词:**射箭;撒放阶段;统计参数映射

Abstract: Objective: To investigate the differences of postural characteristics and postural control ability of archers at different levels in the releasing phase based on the statistical parametric mapping (SPM). Methods: Twenty male archers were divided into the master group ($n=10$) and the national first-level group ($n=10$) according to the skill level of the athletes. The Qualisys infrared kinematics measurement system was used to collect the kinematic data of male professional archers with scores of more than ten rings. The SPM method was used to compare and analyze the differences of movement characteristics of archers with different levels in the releasing phase. Results: There were statistical differences in the posture angle vector fields between the bow side and string side of archers with different levels in the whole releasing phase. Combined with the post hoc t -test results of SPM, it was found that the differences of posture angle vector fields mainly due to the following factors: compared with the national first-level group, 1) the master group showed greater flexion angle and horizontal flexion angle of shoulder joint on the bow side ($P=0.001$), and greater flexion angle of elbow joint and forearm external rotation angle on the string side ($P=0.001$) in the pre-releasing phase; 2) in the post-releasing phase, the change rate of each shoulder joint angle on the string side in the master group was slower ($P=0.001$), and the change trend of elbow flexion and extension angle between the two

第一作者简介:

邢睿(1996-),女,在读博士研究生,主要研究方向为运动生物力学,E-mail:18392527344@163.com。

*通信作者简介:

曲峰(1962-),女,教授,博士,博士研究生导师,主要研究方向为运动生物力学,E-mail:qufeng929@163.com。

作者单位:

北京体育大学,北京100084
Beijing Sport University, Beijing 100084, China.

groups is significantly different at the beginning of the post-releasing phase. In addition, the shaking volumes of the shoulder points and wrist points on the bow side, shoulder points and elbow points on the string side and the bow points in the master group were significantly smaller than those in the national first-level group ($P < 0.05$). Conclusions: The postural characteristics and postural control ability of archers at different levels are different in the releasing phase. In the terms of postural characteristics, the distance between body and bow system, and the forearm on the string side is more external rotation in the pre-releasing phase; in the terms of postural control ability, the master archers have better control over the proximal link and bow stability before releasing, and have better control over the shoulder joint of on the string side in the post-releasing phase, which can effectively reduce the influence of inertia on their posture. In addition, attention should be paid to the control of the distal limb immediately after releasing, so as to reduce the influence of releasing action on archery quality.

Keywords: archery; releasing phase; statistical parametric mapping

中图分类号:G887 **文献标识码:**A

射箭项目撒放阶段要求运动员在固势阶段调整至一定稳定程度后,通过持续发力至信号片落下,完成撒放动作。撒放阶段是动静转换的关键阶段,是固势阶段静力性动作的收尾,也是箭支飞行的开端。撒放阶段运动员的姿态特征与姿势控制能力直接影响箭支飞行质量及其最终落点。撒放阶段动作特征相关研究中,张秀丽等(2008)通过分析撒放时刻的上肢姿态角与表面肌电特征发现,我国优秀射箭运动员撒放技术合理性较低,撒放技术是较难突破的关键环节;宋海明等(2012)通过个案研究发现,撒放动作过程中持弓手的晃动程度与射箭成绩之间存在显著负相关关系;Mohamed等(2012)、Spratford等(2017)探讨了撒放动作过程中姿势稳定性与射箭成绩之间的关系,认为提高姿势稳定控制能力并加强撒放后的动作控制,有利于射箭成绩提高;武文强等(2019)通过分析撒放动作时间发现,我国优秀射箭运动员撒放节奏相似,撒放动作已形成自动化;王骏昇等(2022)通过分析射箭各阶段的姿态角变化幅度发现,撒放动作过程中,仅拉弓臂的肘关节在垂直方向上出现高度变化。此外,有研究发现,优秀射箭运动员在撒放动作之前会提前触发预期姿势调整(Kuch et al., 2023),且撒放动作的神经-运动控制程序在响片落下前已经启动(Horsak et al., 2011),部分运动员的肌电活动在响片落下前出现明显变化(吴爽爽等,2006),而撒放动作之前运动员的姿势稳定性与射箭质量密切相关(Ogasawara et al., 2021; Sarro et al., 2021)。因此,撒放阶段是一系列连续性动作控制过程,以撒放瞬间为分隔点,既包括撒放前的姿势稳定、预期姿势调整与相应肌肉预激活,又包括撒放动作的产生以及打破相对静止状态后进行的一系列动作控制过程,该阶段姿态的连续特征以及姿势控制能力是影响射箭质量的重要因素。

相关研究中,撒放阶段大多被简化为撒放瞬间,作为固势阶段的结束时刻出现;或根据弦/手的位移变化划定撒放动作的时间窗口,通过特征参数在该时间窗口内的变化幅度描述撒放动作特征,采用传统统计检验方法会

产生以下统计学偏差(Mullineaux et al., 2011; Pataky et al., 2013):1)在某个特定时间点或时间窗口进行特征值提取,没有考虑整个测量范围,导致连续型数据过度简化,产生局部区域聚焦偏差(post hoc regional focus bias);2)向量分量(如地面反作用力在不同方向上的力分量)之间协变导致的协变量偏差(inter-component covariation bias)。统计参数映射法(statistical parametric mapping, SPM)是一种适用于随机连续型数据的检验方法,已被广泛应用于运动生物力学研究中一维连续变量的统计分析(梅齐昌等,2021;张马森等,2022;Kobayashi et al., 2022; Pataky et al., 2015),且已被证实能够对一维多元向量场数据进行客观且全面的统计分析,有效解决连续型数据统计检验方法存在的偏差;此外,SPM能够利用随机场理论,校正统计检验结果的显著性水平,有效降低I类错误的发生概率(Pataky et al., 2013)。

综上,本研究基于SPM一维多元向量场分析方法,分析不同水平射箭运动员在撒放阶段的整体姿态角特征差异,再通过事后检验识别造成该差异的具体场区域,并结合进一步结合上肢各环节稳定性,从生物力学角度探讨不同水平射箭运动员在撒放阶段持弓侧和拉弓侧的姿态特征与姿势控制能力。

1 研究对象与方法

1.1 研究对象

本研究受试者为20名现役男子射箭运动员,根据运动员技术等级分为健将组($n=10$)和一级组($n=10$)。健将组年龄为(21.50 ± 4.20)岁,身高为(1.81 ± 0.04)m,体重为(86.80 ± 9.72)kg,满弓磅数为(47.57 ± 2.58)磅^①;一级组年龄为(17.80 ± 1.55)岁,身高为(1.77 ± 0.04)m,体重为(76.10 ± 12.57)kg,满弓磅数为(46.00 ± 4.19)磅;均为左手持弓。

1.2 研究方法

1.2.1 测试方案

使用7台高速红外镜头Qualisys红外光点动作捕捉系

①1磅 $\approx 0.453 59$ kg。

统与视频采集镜头(Qualisys-Oqus700, Sweden, 200 Hz)及其配套软件 Qualisys Track Manager 2020.3 对射箭运动员的专项技术动作进行同步采集。

正式测试前,告知受试者测试目的、流程及注意事项,并采集基本信息,包括:姓名、身高、体重、年龄、满弓磅数等。受试者进行充分的热身、器械调试及撒放练习后,由同一专业实验人员进行反光标志点的粘贴,粘贴位置包括第七颈椎棘突、胸骨颈静脉切迹、肩峰、鹰嘴、尺骨茎突、桡骨茎突、第四与第五腰椎棘突中点。完成反光标志点粘贴后,要求运动员走入射箭区(距离箭靶 30 m),调整姿势,进行适应性射箭练习,当受试者状态感觉良好,即可开始正式测试。采集每名受试者 15 次射箭的运动学数据,从中选取命中 10 环区域以内的射箭数据进行统计分析,其中健将组共选取 111 次有效数据,一级组共选取 99 次有效数据。

1.2.2 撒放阶段划分

根据 Qualisys 红外动作捕捉系统与视频采集设备同步采集的数据,对撒放动作的开始位置进行观察对比,结合以往研究中阶段划分方法以及测试系统自身误差(张百发等, 2021; Topley et al., 2020),将撒放瞬间(T)定义为:自视频中弓弦开始松动所在帧数开始,向前寻找连续 5 帧以上拉弓侧手腕点位移变化超过 0.5 mm 的首帧;将撒放阶段定义为:基于撒放瞬间 T, T 前 0.5 s 为撒放前阶段, T 后 0.5 s 为撒放后阶段,两者共同构成撒放阶段。

1.2.3 运动学数据处理

将测试中采集到的 Qualisys 红外光点数据导入其配套软件 Qualisys Track Manager (Version 2020.3),进行标志点的识别与修正,并完成撒放阶段数据的截取,将 QTM 文件中所有标志点的三维坐标数据导出为 .tsv 文件。

后续计算采用 MATLAB R2020a 进行,首先对导出的 .tsv 文件中的三维坐标数据进行 13.3 Hz 的 4 阶 Butterworth 双

向零相位低通滤波(Yu et al., 1999),根据体表标志点计算获取上肢各关节中心(Rab et al., 2002),并计算上肢各关节角度(刘卉, 2004)以及撒放前各关键标志点晃动体积(Kutilek et al., 2015; Liland et al., 2018)。其中,为了更符合教练员与运动员的日常表述,结合持弓侧运动特点,将持弓侧上臂旋转角定义为前臂向量(肘点→腕点)和人体垂直轴(第四与第五腰椎棘突中点→第七颈椎棘突)分别在与其垂直平面上的投影之间的夹角;将持弓侧的肘关节角度定义为肘关节俯视角。

1.2.4 数理统计

统计分析过程均在 MATLAB R2020a 软件中完成。1)首先对各变量进行正态性检验,根据变量正态性检验结果,选择相应检验方法;2)采用 SPM1d/SnPM1d 进行两独立样本 Hotelling's T^2 检验,对撒放阶段不同水平射箭运动员拉弓侧与持弓侧各关节姿态角变量构成的一维多元向量场进行假设检验,如果拒绝原假设,则进一步对各关节角度变量进行 SPM 事后检验,即 SPM1d/SnPM1d 两独立样本 t 检验,分析造成差异的具体场区域;3)采用独立样本 t 检验/曼惠特尼 U 检验,分析不同水平射箭运动员各关键标志点晃动体积之间的差异,并使用 Benjamini and Hochberg 法进行多重假设检验校正。

2 结果

2.1 姿态角向量场的 SPM 检验

2.1.1 SPM 两独立样本 Hotelling's T^2 检验

经 SPM1d 正态性检验,2 组射箭运动员撒放阶段姿态角时间序列均不符合正态分布,因此选用 SnPM1d 两独立样本 Hotelling's T^2 检验对不同水平射箭运动员拉弓侧与持弓侧的一维多元姿态角向量场进行差异性检验,结果显示,2 组射箭运动员拉弓侧、持弓侧的姿态角在整个撒放阶段均存在统计学差异(图 1)。

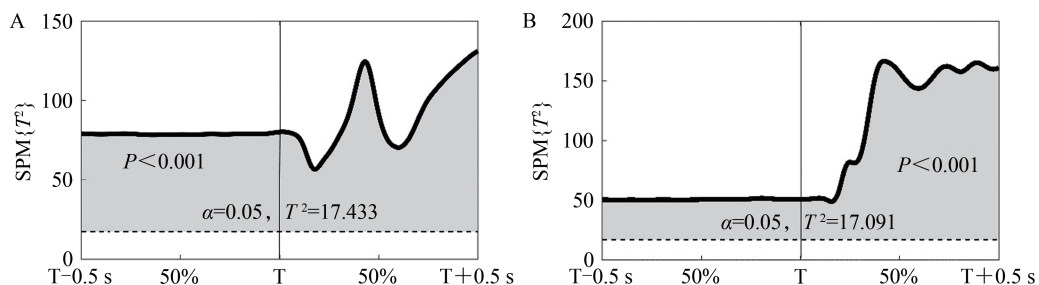


图1 不同组间拉弓侧、持弓侧姿态角向量场差异的 SPM 检验结果

Figure 1. SPM Test Results of Posture Angle Vector Fields Difference of Bow Side and String Side in Different Groups

注:A.拉弓侧;B.持弓侧。

2.1.2 事后 SPM 检验

基于 SPM 一维多元向量场检验结果及变量正态性,进一步选择 SnPM1d 两独立样本 t 检验对不同水平射箭运

动员拉弓侧、持弓侧各关节姿态角进行事后检验,识别造成上述姿势差异的具体场区域。

2 组运动员持弓侧肩关节姿态角时间序列的事后

SPM 检验结果显示(图 2), 整个撒放阶段中, 健将组的持弓侧肩关节屈曲角、水平屈曲角均显著大于一级组($P=$

0.001); 在撒放后 50~350 ms (10%~70% 阶段), 健将组持弓侧上臂旋转角显著小于一级组($P=0.002$)。

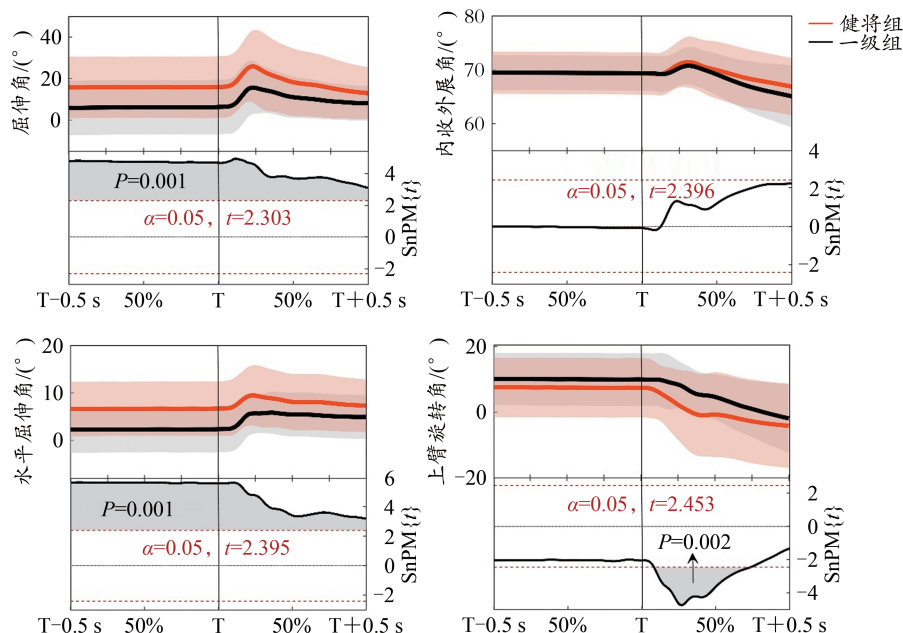


图 2 不同组间持弓侧肩关节姿态角时间序列与 SPM 检验结果

Figure 2. Time Series and SPM Test Results of Shoulder Joint Angle on Bow Side in Different Groups

2 组运动员持弓侧肘关节姿态角时间序列的事后 SPM 检验结果显示(图 3), 在撒放后 100~500 ms (20%~100% 阶段), 健将组持弓侧肘关节俯视角显著小于一级

组($P=0.001$), 且 2 组运动员的肘关节俯视角变化趋势相反, 健将组表现为肘关节屈曲, 一级组表现为肘关节伸展。

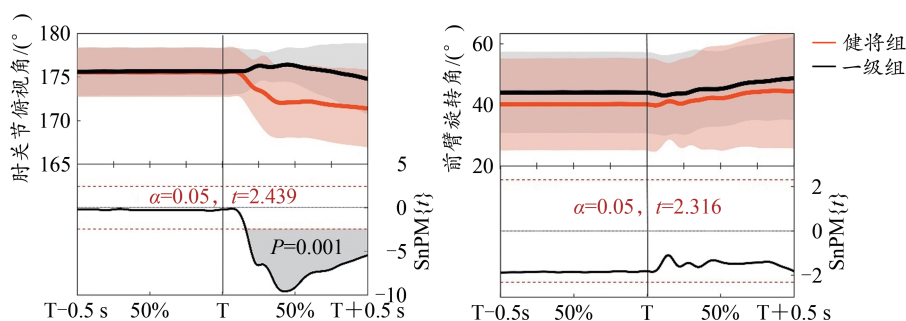


图 3 不同组间持弓侧肘关节姿态角时间序列与 SPM 检验结果

Figure 3. Time Series and SPM Test Results of Elbow Joint Angle on Bow Side in Different Groups

2 组运动员拉弓侧肩关节姿态角时间序列的事后 SPM 检验结果显示(图 4), 在撒放前以及撒放后 0~200 ms (0%~40% 阶段), 健将组拉弓侧肩关节屈曲角、外展角均显著小于一级组($P=0.001$); 在撒放后 150~500 ms (30%~100% 阶段), 健将组拉弓侧肩关节水平屈曲角显著大于一级组($P=0.004$); 在撒放前与撒放后 0~300 ms (0%~60% 阶段), 健将组拉弓侧上臂旋转角均显著小于一级组($P=0.001$)。

2 组运动员拉弓侧肘关节姿态角时间序列的事后 SPM 检验结果显示(图 5): 在撒放阶段, 健将组的拉弓侧肘关节屈曲角、前臂旋转角显著大于一级组($P=0.001$)。

2.2 标志点晃动体积

经 Kolmogorov-Smirnov 正态性检验, 2 组运动员各标志点晃动体积均不符合正态分布, 因此选用曼惠特尼 U 检验进行差异性检验, 使用 Benjamini and Hochberg 法进行校正, 研究结果显示, 在撒放前, 健将组持弓侧肩点、腕点, 拉弓侧肩点、肘点, 以及弓点的晃动体积显著小于一级组(表 1)。

3 分析与讨论

3.1 持弓侧的动作特征分析

SPM 一维多元向量场检验结果显示, 不同水平射箭

运动员持弓侧上肢姿态角在整个撒放阶段均存在统计学差异,结合事后SPM独立样本*t*检验分析发现,持弓侧上肢姿态角差异主要来源于(与一级组相比):1)撒放前,健

将组肩关节屈曲角、水平屈曲角更大;2)撒放后,健将组上臂外旋出现更早且速率更高;3)撒放后10%~25%阶段,2组运动员肘关节俯视角的变化趋势相反。

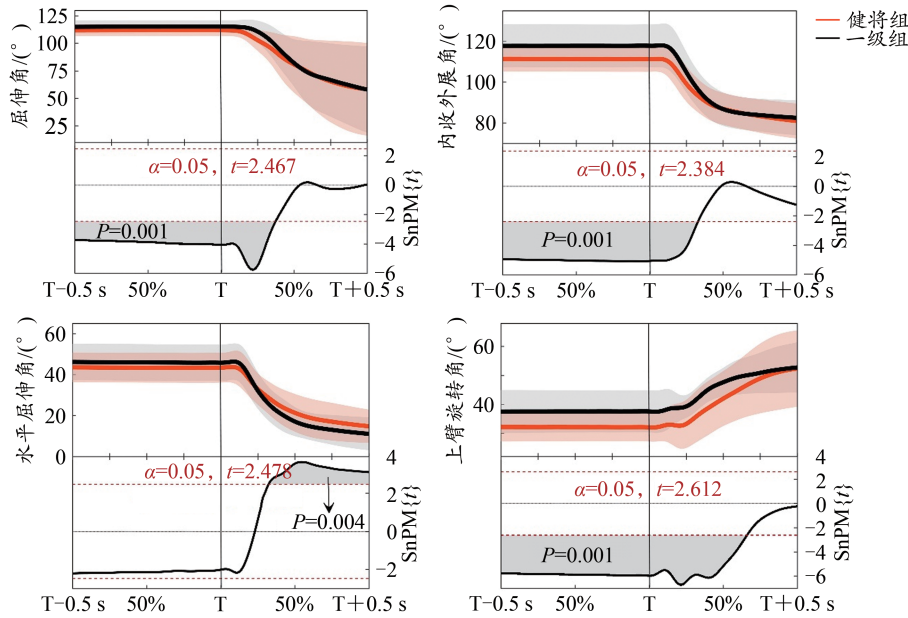


图4 不同组间拉弓侧肩关节姿态角时间序列与SPM检验结果

Figure 4. Time Series and SPM Test Results of Shoulder Joint Angle on String Side in Different Groups

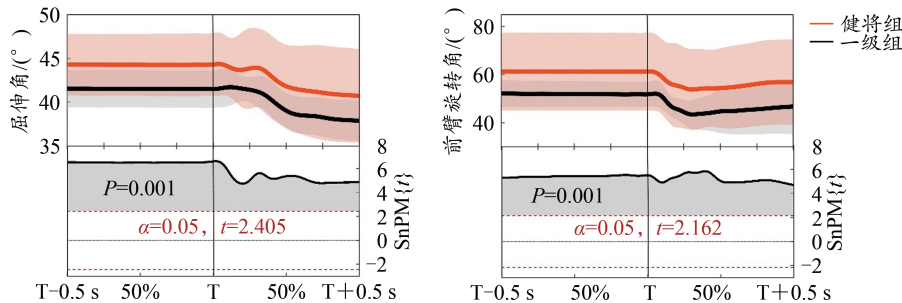


图5 不同组运动员拉弓侧肘关节角度时间序列与SPM检验结果

Figure 5. Time Series and SPM Test Results of Elbow Joint Angle on String Side of Athletes in Different Groups

表1 不同组运动员标志点晃动体积、差异性检验结果

Table 1 Shaking Volumes of Marker Points and Difference Test Results in Different Groups of Athletes					
标志点	健将组(n=10)	一级组(n=10)	Z	P	
拉弓侧	肩点	0.21±0.23	0.34±0.57	-2.518	0.016*
	肘点	1.82±2.49	2.40±3.87	-2.422	0.019*
	腕点	1.08±1.07	2.51±5.13	-1.947	0.109
持弓侧	肩点	0.27±0.48	0.47±0.93	-2.922	0.002*
	肘点	0.47±0.51	0.51±0.44	-1.365	0.171
	腕点	0.50±0.47	0.68±0.60	-2.781	0.014*
弓点	0.84±0.94	1.77±3.77	-2.192	0.021*	

注:*表示差异在95%水平上有统计学意义。

撒放前,射箭运动员持弓侧、拉弓侧以及弓箭形成一个闭环系统,其中持弓侧与拉弓侧的姿态直接决定了人

体与弓箭的相互作用力在该系统内的传递方向。从力学角度分析,这个阶段内,弓箭系统作用于持弓侧的力可分解为沿持弓臂指向肩关节中心的加固分力以及与持弓臂垂直并指向前的转动分力,在持弓臂各关节周围肌肉收缩保持环节稳定的基础上,加固分力主要由持弓臂的骨性结构以及前锯肌收缩产生的肌力进行平衡,转动分力则主要由三角肌后束等持弓臂后部伸肌群进行平衡(刘学贞等,2007)。有研究表明,合理的射箭技术应表现出较小的持弓臂肩关节屈曲角度(李良标等,1982),肩关节屈曲程度越小,作用于持弓臂的转动分力越小,越有利于持弓臂肌肉的稳定控制。但在本研究中,与一级组相比,健将组运动员持弓臂表现出更大的肩关节屈曲角、水平屈曲角,而且持弓侧的肩关节、腕关节以及弓点的晃动体积也更小。这与人观点相悖,其原因可能是:一方

面,在满弓磅数无显著性差异的条件下,健将组持弓侧伸肌群及其维持肩关节稳定的肌群肌力和发力稳定性更强,足以平衡更大的转动分力并维持肩关节稳定;另一方面,结合人体解剖结构进行分析,适宜的肩关节屈曲角、水平屈曲角能够使加固分力的力线直接穿过盂肱关节中心传递至肩胛骨骨体,进一步加强骨性结构的支撑,有利于保持持弓侧肩关节稳定;若肩关节屈曲角度过小,则肩关节中心处加固分力力线与躯干背部肩胛肌的肌力线之间形成一定夹角,产生多余的肩关节转动分力,不利于肩关节稳定。

以往研究表明,在开始撒放动作之前,射箭运动员的姿势稳定性与射箭质量密切相关,运动员身体各环节的晃动以及环节晃动引起的弓晃动会直接影响最终的箭支落点准确性(宋海明等,2012;Ogasawara et al., 2021;Sarro et al., 2021)。本研究中,2组不同水平运动员持弓侧各标志点的晃动特征与前人研究中不同水平射箭运动员固势阶段的持弓侧晃动特征相似(徐昌橙,2021)。运动员持弓臂肌肉的工作形式为近固定收缩,肌肉近端附着点所在环节的稳定性直接影响远端环节的稳定。持弓侧肩关节作为持弓臂的近端关节,其产生的极其微小晃动均会随着各环节之间距离的增加而被放大传递,进而在一定程度上影响远端关节的晃动。徐昌橙(2021)研究发现,固势阶段内,持弓侧腕关节中心点的晃动与弓点晃动存在显著相关关系;Kontinen等(1998)研究发现,在步枪项目中,枪体稳定性与成绩、运动员技术水平之间密切相关。因此,与弓体直接相连的身体环节晃动,尤其是腕关节晃动,会对成绩产生一定影响,而腕关节作为持弓侧手臂的远端关节,受近端关节晃动的影响程度较大。需要注意的是,2组运动员均采取持弓侧上臂旋内的“旋臂”技术,通过形成稳固的骨性结构进行力的直线传递,有效提高了肘关节的稳定性。本研究中,健将组持弓侧在撒放前表现出更强的稳定性,尤其是对近端环节的稳定控制能力更强,在肩关节处能够保持晃动较小,进而降低远端腕关节及其对于弓的晃动影响,为撒放创造良好的环境,更好地保证瞄放的一致性。

撒放后,作用于持弓臂的外力突然消失,与其相平衡的肌群张力消失仍需一定时间,但不同于拉弓臂的顺惯性运动,持弓臂需动员更多三角前束等屈肌群来保持其稳定(张秀丽等,2007;Horsak et al., 2011),为箭支飞行前期提供良好的稳定条件。根据撒放后2组运动员的持弓侧上肢姿态特征分析发现,与一级组相比,健将组撒放后上臂外旋动作出现较早,且外旋速率更高。此外,撒放后10%~25%阶段,2组运动员肘关节在水平面上表现出不同的变化趋势,健将组表现为肘关节屈曲,一级组表现为肘关节伸展。从力学角度分析,撒放前健将组与弓箭系统之间的相对位置较远,即需要更大的伸展肌力矩维持平衡,当作用于持弓臂的外力突然消失,伸肌群张力消失仍需一定时间,三角肌后束作为伸肌肌群最主要原动

肌,其收缩产生伸展肌力的同时会产生外旋肌力,尤其是在上臂内旋姿态下,三角肌在肱骨上的止点转向前,增加三角肌后束收缩时外旋分力的同时减少了三角肌前束的内旋分力,当健将组运动员肩关节的外旋肌力矩显著高于内旋肌力矩时,表现出较早的上臂外旋以及较高的外旋速率。此外,理想状态下,撒放前肘关节应保持放松,其周围肌群只需进行固定工作,使肘部关节保持稳定的伸展姿势,撒放后积极动员屈肌群保持持弓侧稳定,但一级组在撒放后表现出肘关节伸展,可能是肱三头肌等肘关节伸展肌在撒放前参与了转动分力的平衡,肘关节过度紧绷,导致撒放后伸肘肌力矩大于屈肘肌力矩,肘关节表现出伸展。

3.2 拉弓侧的动作特征分析

SPM一维多元向量场检验结果显示,不同水平射箭运动员拉弓侧的上肢姿态角在整个撒放阶段均存在统计学差异,结合事后SPM独立样本 t 检验分析发现,拉弓侧上肢姿态角差异主要来源于(与一级组相比):1)撒放前,健将组肩关节屈曲角、内旋外展角、上臂旋转角更小,肘关节屈曲角、前臂旋转角更大;2)撒放后,健将组肩关节角度变化速率更小;3)撒放后0%~15%阶段,2组运动员肘关节变化趋势存在差异。

根据2组运动员拉弓侧上肢姿态特征分析发现,撒放前,与健将组相比,一级组运动员拉弓侧肘关节位置更高,且上臂表现出更多的外旋,即一级组需要动员更多三角肌中、后束等肌肉参与发力,且为了在合适的高度进行靠位,需要肘关节进行更大程度的屈曲;另外,结合持弓侧研究结果发现,一级组的弓箭系统与持弓侧肩关节之间垂直距离较短,拉弓侧需要与弓箭系统位置相匹配,这进一步解释了2组运动员肘关节屈曲角度的差异。结合受力分析,弓箭系统作用于人体拉弓臂的拉力可以分解为沿肱骨指向肩关节中心的加固分力以及垂直于肱骨并指向前的转动分力,肘关节角度越大,产生的转动分力越大,健将组运动员需要产生更大的伸展力矩与之保持平衡,即对其肩关节伸展肌群以及背肌的肌力及发力稳定性有更高的要求,结合拉弓侧各环节晃动体积研究结果发现,健将组运动员拉弓侧的肩关节、肘关节的晃动体积显著小于一级组,表现出更强的近端环节稳定控制能力。此外,健将组运动员前臂旋转角约比一级组大 10° ,2组运动员前臂旋转角的差异可能直接导致勾弦手指上力量分布差异,健将组运动员的前臂旋转角更大,手掌平面与地面更趋近垂直,有利于勾弦手3个手指平均用力(Simsek et al., 2014),而一级组则更多趋向食指和中指发力。

撒放后,在惯性作用下,2组运动员拉弓侧肩关节角度变化趋势一致,均表现为伸展、内收、水平伸展与上臂外旋,但健将组运动员各肩关节角度变化曲线更加平缓,表现出更小的变化速率(曲线斜率)。肩部三角肌是为拉弓臂撒放运动提供稳定的重要肌群(Hennessy et al., 1990),

表明健将组运动员肩部肌群控制能力更强,撒放动作的可控性较高,撒放后能够迅速调整,间接反映出良好的撒放动作质量。撒放后0%~15%阶段,健将组肘关节角度表现为极微小的伸展后迅速屈曲,而一级组则表现出更大幅度的伸展,这可能与2组运动员的撒放动作有关。一般认为,撒放后即刻的动作变化趋势是撒放动作的延续,最理想的撒放动作是,运动员随着背部发力增加,前臂指浅屈肌与指总伸肌保持放松,使弓弦滑脱进行释放(张秀丽等,2007),在这个过程中,随着撒放时拉力的突然消失,运动员肘关节顺惯性进行屈曲运动,但这种技术较难掌握,大多运动员表现为指浅屈肌与指总伸肌同时加强向心收缩,或是指浅屈肌保持原状,指总伸肌加强向心收缩,运动学表现为使手指伸展完成主动撒放(张秀丽等,2007; Ertan et al., 2003),一级组运动员撒放后即刻表现出的肘关节伸展可能是这种主动撒放动作的延续,即撒放时产生了额外的外扬动作。

4 结论与建议

不同水平射箭运动员在撒放阶段的姿态角特征以及姿势控制方面存在差异。撒放前,健将级运动员身体距离弓箭系统相对较远,适当的持弓侧肩关节屈曲、水平屈曲角度可能通过加强骨性结构支持,增强其对近端环节以及弓的稳定控制;撒放后即刻,健将级运动员对拉弓侧肩关节的姿势控制能力较高,能够有效降低惯性对其姿态的影响;此外,应注重撒放后即刻对远端环节肢体的控制,降低撒放动作对箭支的影响。建议以提高撒放前近端环节稳定性、加强撒放后即刻的姿势控制(尤其是对拉弓侧近端环节肢体、持弓侧远端环节肢体的控制)为突破口,改善撒放动作质量,提高运动表现。

参考文献:

- 李良标,赵墨臣,1982. 射箭技术的生物力学研究[J]. 体育科学, 2(4):79-84.
- 刘卉,2004. 三维摄影解析中人体关节角度的计算方法[J]. 北京体育大学学报,27(6):767-769.
- 刘学贞,刘卉,张秀丽,等,2007. 红外光点运动测试系统对射箭技术动作的生物力学研究[J]. 北京体育大学学报,30(5):629-632.
- 梅齐昌,相亮亮,李建设,等,2021. 基于一维统计参数映射分析跑者跑步地面反作用力差异[J]. 医用生物力学,36(5):684-691.
- 宋海明,王全会,于俊海,等,2012. 永富军射箭动作持弓手晃动情况运动学初步研究[J]. 南京体育学院学报(自然科学版),11(6):17-19.
- 王骏昇,吴昆,尹军,2022. 国家射箭队运动员不同技术环节的身体姿态特征研究[J]. 中国体育科技,58(11):3-6.
- 吴爽爽,邓兴国,杨永红,等,2006. 国家优秀射箭运动员个人撒放箭时间的研究[J]. 中国体育科技,42(3):134-136.
- 武文强,蔡勇,毛松华,等,2019. 优秀射箭运动员射箭动作节奏与成绩的关系研究[J]. 西安体育学院学报,36(2):241-245.
- 徐昌橙,2021. 不同水平射箭运动员固势阶段动作的生物力学特征的研究[D]. 北京:北京体育大学.
- 张百发,徐昌橙,周兴龙,等,2021. 肌肉协同理论在专项技术分析中的应用:以射箭运动为例[J]. 体育科学,41(8):70-78.

- 张马森,周兴龙,刘卉,2022. 基于统计参数映射分析跑鞋跟掌落差对下肢关节负荷的影响[J]. 医用生物力学,37(6):1158-1164.
- 张秀丽,刘卉,刘学贞,2007. 国家队射箭运动员动作技术的肌电特性[J]. 中国体育科技,43(6):71-74.
- 张秀丽,刘卉,刘学贞,2008. 射箭技术评价指标的综合研究[J]. 体育科学,28(12):21-38.
- ERTAN H, KENTEL B, TÜMER S T, et al., 2003. Activation patterns in forearm muscles during archery shooting[J]. Hum Mov Sci, 22(1):37-45.
- HENNESSY M P, PARKER A W, 1990. Electromyography of arrow release in archery[J]. Electromyogr Clin Neurophysiol, 30(1):7-17.
- HORSACK B, HELLER M, 2011. A three-dimensional analysis of finger and bow string movements during the release in archery[J]. J Appl Biomech, 27(2):151-160.
- KOBAYASHI K, UMEHARA J, PATAKY T C, et al., 2022. Application of statistical parametric mapping for comparison of scapular kinematics and EMG[J]. J Biomech, DOI: 10.1016/j.jbiomech.2022.111357.
- KONTTINEN N, LYYTINEN H, VIITASALO J, 1998. Preparatory heart rate patterns in competitive rifle shooting[J]. J Sports Sci, 16(3):235-242.
- KUCH A, TISSERAND R, DURAND F, et al., 2023. Postural adjustments preceding string release in trained archers[J]. J Sports Sci, 41(7):677-685.
- KUTILEK P, CAKRT O, SOCHA V, et al., 2015. Volume of confidence ellipsoid: A technique for quantifying trunk sway during stance[J]. Biomed Tech, 60(2):171-176.
- LILAND K H, SMILDE A K, MARINI F, et al., 2018. Confidence ellipsoids for ASCA models based on multivariate regression theory[J]. J Chemometr, 32: e2990.
- MOHAMED M N, AZHAR A H, 2012. Postural sway and shooting accuracy of skilled recurve archers[J]. Move Health Exerc, 1(1):49-60.
- MULLINEAUX D R, BARTLETT R M, BENNETT S, 2001. Research design and statistics in biomechanics and motor control[J]. J Sports Sci, 19(10):739-760.
- OGASAWARA T, FUKAMACHI H, AOYAGI K, et al., 2021. Archery skill assessment using an acceleration sensor[J]. IEEE Trans Hum Mach Syst, 51(3):221-228.
- PATAKY T C, ROBINSON M A, VANRENTERGHEM J, 2013. Vector field statistical analysis of kinematic and force trajectories[J]. J Biomech, 46(14):2394-2401.
- PATAKY T C, VANRENTERGHEM J, ROBINSON M A, 2015. Zero- vs. one-dimensional, parametric vs. non-parametric, and confidence interval vs. hypothesis testing procedures in one-dimensional biomechanical trajectory analysis[J]. J Biomech, 48(7):1277-1285.
- RAB G, PETUSKEY K, BAGLEY A, 2002. A method for determination of upper extremity kinematics[J]. Gait Posture, 15(2):113-119.
- SARRO K J, VIANA T C, BARROS R M L, 2021. Relationship between bow stability and postural control in recurve archery[J]. Eur J Sport Sci, 21(4):515-520.
- SIMSEK D, ERTAN H, 2014. The different release techniques in high level archery: A comparative case study[J]. Turkish J Sport Exerc, 16(3):20-25.
- TOPLEY M, RICHARDS J G, 2020. A comparison of currently available optoelectronic motion capture systems[J]. J Biomech, DOI: 10.1016/j.jbiomech.2020.109820.
- YU B, GABRIEL D, NOBLE L, et al., 1999. Estimate of the optimum cutoff frequency for the Butterworth low-pass digital filter[J]. J Appl Biomech, 15(3):318-329.

(收稿日期:2023-10-19; 修订日期:2024-01-07; 编辑:尹航)