

“旋转式技术”神经肌肉活动的内在规律

——以冯杰为例

尹华跟¹, 张葆欣², 黄 艺³, 叶萃蓬⁴, 马 屹²

(1. 上饶师范学院体育学院, 江西 上饶 334001; 2. 西安体育学院健康科学系, 陕西 西安 710068;
3. 贵州健康职业学院人文基础部, 贵州 铜仁 554300; 4. 岭南师范学院体育科学学院, 广东 湛江 524048)

摘 要: 本文通过实验研究来揭示冯杰采用的三种不同重量铅球的完整投掷技术过程中神经肌肉活动的内在规律和机理。笔者运用无线遥感肌电测试系统和高速摄像机对旋转式推铅球技术动作进行同步测试, 结果显示: 双支撑起转阶段($R \uparrow$)准备时间充足更有利于投掷技术的稳定发挥; 右竖脊肌除了在投掷 7.26 kg 铅球的除最后用力阶段(δ)放电不足外, 在投掷 6 kg 和 8 kg 铅球的整个技术阶段中均表现出较好的放电水平; 投掷 6 kg 和 8 kg 铅球的肌肉激活效果要好于 7.26 kg 铅球, 其中投掷 8 kg 铅球的效果最为明显。结论: 左股二头肌和右股二头肌在整个动作过程中是主要用来肌肉; 右竖脊肌、右臀大肌、左股四头肌、右股二头肌作用较大, 值得深入研究。

关键词: 不同重量; 冯杰; 旋转式推铅球技术; 各技术阶段; 肌肉活动; sEMG

中图分类号: G804.2

文献标识码: A

文章编号: 1007-7413(2019)04-0042-09

The Inherent Law of Neuromuscular Activity When Pushing Different Weight Shots With “Rotary Technology” ——Taking Feng Jie as an Example

YIN Hua-gen¹, ZHANG Bao-xin², HUANG Yi³, YE Cui-peng⁴, MA Yi²

(1. The Sports School of Shangrao Normal University, Shangrao 334001, China;

2. Department of Human Movement Science, Xi'an Institute of Physical Education, Xi'an 710068, China;

3. Guizhou College of Health Professions, Tongren Guizhou 554300, China;

4. School of Physical Education, Lingnan Normal University, Zhanjiang 524048, China)

Abstract: Objective: The research revealed the inherent laws and mechanisms of neuromuscular activity during the complete throwing technique of Feng Jie's use of three different weight shots. Methods: The wireless telemetry myoelectric test system and the high-speed camera were used to test synchronously the rotary shot put technique. Results: The enough preparation time of the double support rotation stage ($R \uparrow$) is fully conducive to the stable development of throwing technology. The right erector rhinmus muscle showed a better discharge level during the entire technical stage of throwing 6kg and 8kg shots, except for the insufficient discharge during the final exertion phase (δ) of throwing the 7.26kg shot. The muscle activation effect of throwing the 6kg and 8kg shots was better than the 7.26kg shot, especially the 8kg shot. Conclusion: The left biceps femoris and right femoral biceps muscles are mainly used for muscle during the entire movement and right erector spinae, right gluteus maximus, left quadriceps, and right biceps muscles are more important, which is worth our in-depth study.

Key words: different weights; Feng Jie; rotary push shot technique; various technical stages; muscle activity; sEMG

旋转式推铅球技术自 1972 年首次出现在奥运赛场上, 至今已有 40 余年的发展史。当前, 该项目的世

收稿日期: 2019-03-06

基金项目: 陕西省体育科研攻关课题《备战第十三届全运会陕西省男子铅球重点运动员的科研攻关与科技服务》

作者简介: 尹华跟(1990—), 男, 江西泰和人, 助教, 硕士。研究方向: 运动技术诊断与分析。

张葆欣(1976—), 男, 陕西西安人, 教授, 硕士。研究方向: 运动与健康促进, 医务监督。

界记录是由美国著名旋转式推铅球运动员巴恩斯在1990年以23.12米的成绩创造并保持至今的^[1]。近几年,在世界田径赛场上采用旋转式推铅球技术的运动员不断增多且屡创佳绩。根据国外科学家推测,今后采用旋转式推铅球技术可将铅球记录在原有最高水平的基础上提高2~3米,这说明该技术具有巨大的发展潜力。反观我国,旋转式推铅球技术却没有像背向滑步技术那样在国内田径界产生较大的影响,很多教练员和运动员对此技术还将不太认可的态度。但随着科学技术的进步,业内人士开始逐步认识到旋转式推铅球技术具有其独特的优势并代表着今后推铅球技术的发展趋势,所以该技术逐渐被教练员和运动员所关注。尤其是在近期的第十三届全运会上,铅球运动员冯杰采用旋转式推铅球技术夺得铜牌,超额完成了赛前预定的目标,实现了陕西省在全运会中该项目奖牌的零突破,同时也让其他竞争对手及教练员眼前一亮。冯杰在2014年之前还是采用背向滑步推铅球技术,并在上届全运会中仅以一公分之差未能进入前八;之后由于考虑到个人年龄和伤病等问题,同时结合美国著名铅球教练员唐·巴比特对其身体形态的评估,冯杰三次赴美进行技术动作的更换(滑步改为旋转)。经过三年的技术沉淀后,冯杰在国内规格最高的赛事中获奖,这是我国铅球史上首例,所以具有重要的研究意义。

表面肌电(Surface Electromyogram, sEMG)信号是从皮肤表面通过电极引导记录下来的神经肌肉系统活动时的生物电信号,其与肌肉的活动状态和功能状态之间存在不同程度的关联性,能在一定程度上反

映神经肌肉的活动^[2,3]。目前,运用该测试系统进行的肌电学研究已广泛应用到各个研究领域,在跑跳类、球类、投掷类、武术等项目中均有应用^[4]。但对于铅球项目研究的应用则更多地局限于背向滑步推铅球技术。关于女子铅球运动员研究较多,但研究方式多为运动学原理。关于旋转式推铅球技术的研究少之又少,通过文献检索发现,只在孙有平^[5]、曹杰^[6]、孙威^[7]等研究人员近几年的研究中有所涉及,且他们的研究多是关于单个关节和单个技术动作而非完整的投掷技术环节。

基于此,本研究运用无线遥测肌电测试系统和高速摄像机对优秀旋转式推铅球运动员冯杰采用的三种不同重量铅球训练的整个技术环节进行同步测试,以获取(各技术阶段)同一时间标准和时序下的相关肌电学参数,进而揭示三种不同重量的铅球在完整投掷过程中对神经肌肉活动内在规律及机理变化特征的影响,为今后冯杰技术动作的改进和专项力量训练的合理安排提供一定的理论参考。

1 研究对象与方法

1.1 研究对象

笔者以西安体育学院竞技体校优秀铅球运动员冯杰为研究对象(表1),该运动员在2017年赛季中获得全国田径室内锦标赛(第三站)和全国田径投掷项群赛(第二站)亚军以及第十三届全运会季军等奖项。本研究选取的是2017年7月运动员赛前训练中实验测试的相关肌电学数据。

表1 研究对象基本情况一览表

年龄/y	身高/cm	体重/kg	训练年限/y	最好成绩/m	全运会名次	运动等级
31	180	112	旋转(3)	19.15	季军	运动健将

1.2 研究方法

1.2.1 文献资料法

笔者通过万方数据库、中国知网等网络资源平台检索了近10年有关投掷铁饼和旋转式推铅球技术的运动学及肌电学方面研究的文献资料,并对部分文献资料进行整理、归纳,为本论文的撰写提供了有力的理论参考依据。

1.2.2 专家访谈法

笔者在课题研究过程中,访问了国家队投掷组在

西安冬季集训期间的领队及部分铅球资深教练,进一步深化了对旋转式推铅球技术动作特点的理解。同时,对运动员主管教练马屹以及西安体院运动生物力学、田径等专业学科领域的专家就本次实验方案设计的可行性进行了咨询,同时也征求了运动员的意见。这为本研究实验测试方案的确定与完善提供了有力的指导和帮助。

1.2.3 实验法

(1)测试仪器与方法。本实验所使用的测试仪

器均源于西安体育学院国家体育总局重点实验室。本次实验运用芬兰生产的 (Megawin6000 - 16) 16 导无线遥测肌电仪,对运动员 (冯杰) 的 10 块肌肉进行测试,记录下运动员在投掷铅球过程中受试肌肉的表面肌电图 (sEMG)。同时,采用两台美国 PULNIX 高速摄像机从投掷圈的正后面和右侧面同步拍摄并记录下动作的视频。其表面肌电图 (sEMG) 的采样频率为 1 000 Hz,摄像机的拍摄频率为 50 Hz,每台摄像机距离投掷圈约 10 m 左右,镜头距离地面 1.1 m 左右。

(2)测试肌肉的选取与电极的粘贴。根据旋转式推铅球和掷铁饼技术动作结构特点以及运动生理学、运动解剖学知识,结合对以往学者在相关研究中选取肌肉的方法和教练员、运动员在运动实践中的认

识,选取了 10 块测试肌肉,分别为左侧 2 块 (左股二头肌、左股四头肌)、右侧 8 块 (右腓肠肌后段、右股二头肌、右股四头肌、右臀大肌、右竖脊肌、右腹外斜肌、右胸大肌、右腕关节屈肌)。本次实验的电极使用的是一次性心电电极片 (Ag/AgCl,上海申风医疗保健用品公司生产),在电极片安放前先用砂纸轻轻打磨皮肤,去掉角质皮和汗毛,再用医用酒精棉球清除皮肤表面的油脂等以提高电极的导电性。在贴放电极片时,顺着肌纤维的走向将两个记录电极平行贴在肌肉的肌腹处,两个电极相距 2 cm,零电极则贴在肌肉的末端,并通过 A/D 转换器与电脑连接。最后用弹力绷带固定好电极,以减少噪声对信号的干扰。具体见图 1 所示。

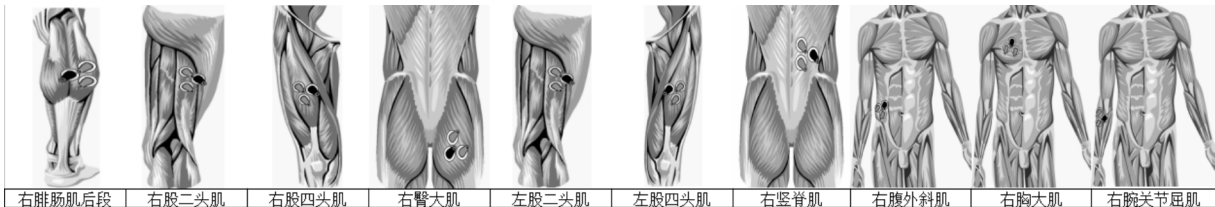


图 1 选取测试肌肉电极片安置示意图

(3)同步的设置。关于同步的问题,我们采用外同步方法使肌电仪和摄像机进行同步连接,在每个摄像机前面放置一个通过串联连接的闪光点。当开始信号在肌电仪里面发出时,在摄像机里可以记录到一个很亮的光源 (称作“mark 点”),从而完成技术动作在肌电和摄像中的同步工作。在数据解析的时候,根据 mark 点设置在采集段的两端,截取两个 mark 点间的肌电和影像数据进行同步处理。

(4)实验方案的操作。在实验方案确立之前,我们先咨询了运动员、教练员及相关专家的建议,以确保实验的准确性。在正式实验前,先让运动员做 10 ~ 15 min 的热身活动,以确保运动员身体各关节都活动开;然后对不同重量的铅球进行试投,以提高技术的稳定性;最后进入正式测试,运动员对不同重量的铅球均投 3 ~ 4 次左右,并为每一次成绩做记录 (具体操作见表 2)。

表 2 运动员投掷不同重量铅球实验操作情况一览表

运动员	练习类别	测试最好成绩	肌肉名称	备注
冯杰	6 kg	20.87 m	所测肌肉均是上述所统计的 10 块肌肉	每个不同重量的铅球均投掷 3 ~ 4 次,选择最好的一次投掷成绩,并对最好成绩的动作完整周期进行分析。
	7.26 kg	18.58 m		
	8 kg	16.79 m		

实验测试时间为 2017 年 7 月 8 日上午,实验测试地点为西安体育学院综合田径馆。

1.2.4 数理统计法

采用芬兰生产的 Megawin 肌电分析软件对选定的肌电仪中的原始数据进行计算、处理,以此获得运动过程中肌肉的放电时间顺序、RMS 值和 iEMG 值等

数据。运用 SPSS Statistics17.0 统计软件对实验数据进行常规统计学处理,对投掷三种不同重量铅球的动作中肌肉的放电值进行方差分析,并在 Excel 表格中制作图表运用到文中进行研究分析。

2 研究结果与分析

为了更好地认识和分析旋转式推铅球技术动作的特征,根据山东体育学院毛永^[8]教授的研究结果,笔者将完整的旋转式推铅球技术划分为五个技术阶段,即双支撑起转阶段(预摆开始—右脚离地 R↑)、单支撑阶段(右脚离地 R↑—左脚离地 L↑)、腾空阶段(左脚离地 L↑—右脚着地 R↓)、过渡阶段(右脚着地 R↓—左脚着地 L↓)、最后用力阶段(左脚着地 L↓—铅球出手 δ)。

2.1 冯杰投掷过程动作时间特征的分析

旋转式推铅球作为快速力量爆发型运动项目,其影响旋转速度的主要因素是加速的节奏,从其节奏变化可以判断运动员身体加速的合理性。通过表1可知,冯杰在投掷三个不同重量的铅球时,完成动作的时间分别为3.107 s、3.03 s和3.138 s。相比之下,投掷7.26 kg铅球完成动作时间相对较短,主要是因为双支撑起转阶段动作结束时间较早,所以后续动作阶段铅球越转越快。双支撑起转阶段是整个旋转动作的开始阶段,同时也是产生旋转动量的重要时刻,运动员应在该阶段使整个身体处于充分扭紧的准备状态,以储备足够的旋转动力。但通过数据并结合影像视频来看,7.26 kg铅球的投掷并非如此,冯杰双支撑起转阶段准备时间不充足,投掷结果不佳,这说明技术阶段完成动作时间短也并不能代表技术动作的娴熟、稳定以及肌肉间的发力协调。预摆开始的准备时间充足才更有利于投掷技术的稳定发挥,这在学者们对李厚林^[9]、董海军^[10]和王卓识^[11]的研究中都有所体现。在单支撑阶段,冯杰投掷7.26 kg铅球与其他两种不同重量的铅球相比用时较长,为0.528 s,占该投总时间的17.43%。这与学者董海军^[10]在对我国优秀旋转式铅球运动员张俊的研究结果存在一定的差异,在该研究中张俊的单支撑阶段完成时间为0.4 s。相比较,冯杰投掷三种不同重量的铅球在单支撑阶段均存在用时较长的现象,这表明冯杰在单支撑阶段存在右腿的摆扣及左腿的蹬转不够积极主动的问题。腾空阶段的时间是人体在无支撑状态下的运行时长,冯杰在相应的投次中完成腾空阶段的时间相对较短,但与张俊在该阶段技术的完成时间(0.08 s)相比则显得用时尤为为长。这说明冯杰在旋转中,外力矩消失的情况下,重心上下起伏较大,不利于右腿带动右髋快速扣转下压,这使之左腿离地后不

能迅速屈膝积极地向右腿靠拢,导致旋转速度降低,耗时较长。这些问题在冯杰投掷三种不同重量的铅球中均存在。在过渡阶段,用时长短一直是学者们争论的焦点,有的学者认为过渡阶段时间越短越好;但学者董海军^[10]对张俊的研究以及笔者自身对运动员技术动作解析的结果认为过渡阶段并不是越短越好,因为用时短虽有利于左脚快速着地,但不利于增加两脚之间的着地距离,这将会影响最后用力对器械的加速距离。从投掷三种不同重量铅球的效果来看,冯杰投掷8 kg铅球在过渡阶段的完成时间与张俊在该阶段的时间(0.24 s)更为吻合。但是投掷其他两种不同重量的铅球在过渡阶段的用时长短并不能由此判定该投掷技术的好坏,只有符合运动员自身发力的合理范围及满足肌肉间的协调合作才能发挥最大的输出功率。最后用力在推铅球技术的最后加速阶段,冯杰投掷三种不同重量铅球时的最后用力阶段用时大体一致,差异不显著,且与张俊在该技术阶段用时(0.24 s)相接近。这说明冯杰在投掷铅球时,整个下肢的蹬伸速度较快,对铅球出手速度及投掷角度的把控较好。

从整体上看,相比投掷6 kg和7.26 kg铅球,投掷8 kg铅球在开始的旋转阶段,耗时相对较短;但在腾空过渡阶段旋转速度降低,耗时增加明显。而在最后用力阶段,完成时间上则与投掷6 kg和7.26 kg铅球无差异。这体现了在旋转过程中人体动能向铅球充分的转移,使“人体—器械”于旋转中积蓄的“能量”在最后用力的动作中得到充分的“释放”^[12],从而在一定程度上弥补了腾空过渡阶段降速较多的不足。

2.2 冯杰投掷三种不同重量铅球肌肉活动的 sEMG 总体描述

图2—图4是冯杰在投掷三种不同重量的铅球动作过程的原始sEMG数据。笔者通过对原始sEMG中各技术阶段及动作的划分来对所测的10块肌肉活动的强弱进行定性描述。

2.2.1 投掷6 kg铅球

图2为冯杰投掷6 kg铅球的动作时相与肌肉的原始sEMG测试所对应的结果。根据图2显示,冯杰在该投掷过程中的旋转阶段(双支撑起转阶段,单支撑阶段、腾空阶段、过渡阶段)下肢肌群是主要参与活动的肌肉,躯干及上肢肌群在旋转阶段放电效果不明显,有的肌肉甚至未被激活,在整个过程中只有右竖脊肌保持一定的持续用力。肌肉的原始sEMG放电信号最强的阶段是最后用力阶段,该阶段是决定投

掷成绩的关键技术阶段。在这一技术环节中,除左股二头肌外,其他肌肉均表现出较强的肌肉活力,其中左、右股四头肌的振幅及棘波频率最为强烈,肌肉活动强度相对较弱的是右腹外斜肌、右胸大肌。左股二头肌是该阶段放电最弱的肌肉,这与李延军^[13]学者

对张俊在该技术阶段的研究结果相悖,其研究认为左股二头肌是最后用力阶段的主要发力肌肉。所以,冯杰今后应加强左股二头肌及相关联肌肉的专项训练,以弥补在该技术阶段主要发力肌肉的放电不足。

表 3 投掷三种不同重量铅球时各技术阶段完成动作时间分配统计表

单位:s

练习类别	R ↑	L ↑	R ↓	L ↓	δ	总时间
6 kg(20.87 m)	2.028	0.513	0.169	0.161	0.236	3.107
比例/%	65.27	16.51	5.44	5.18	7.6	
7.26 kg(18.58 m)	1.913	0.528	0.162	0.188	0.239	3.03
比例/%	63.13	17.43	5.35	6.2	7.89	
8kg(16.79 m)	2.073	0.485	0.145	0.205	0.230	3.138
比例/%	66.06	15.46	4.62	6.53	7.33	

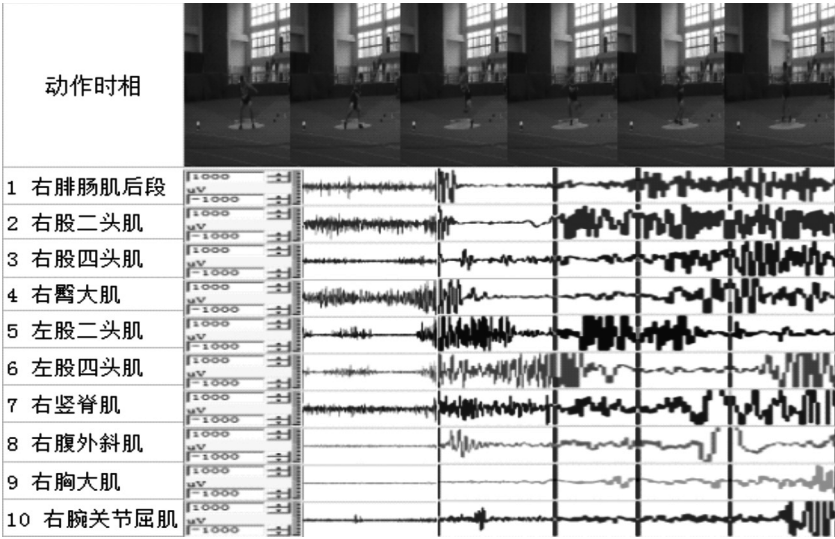


图 2 冯杰投掷 6 kg(20.87 m) 铅球原始 sEMG 图

2.2.2 投掷 7.26 kg 铅球

图 3 为冯杰投掷 7.26 kg 铅球时,相与肌肉的原始 sEMG 测试结果。根据图 3 所示,冯杰在该投掷练习中右竖脊肌在旋转阶段均一定的持续用力,但在最后用力阶段则出现放电不明显的迹象。这与上述冯杰投掷 6 kg 铅球的原始 sEMG 在该阶段存在显著差异,同时与王琨^[14]学者在其研究中认为右竖脊肌在整个投掷过程中应保持一定的持续收缩能力来固定竖直躯干以保证旋转的稳定性的结论不一致。从而进一步说明了冯杰在旋转过程中,右竖脊肌固定竖直躯干稳定性不足的问题。另外,左股二头肌、右腹外斜肌、右胸大肌在最后用力阶段肌肉活动强度较弱,

尤其是右胸大肌在整个技术环节中存在未被激活的问题。右腕关节屈肌则在最后用力铅球出手瞬间出现一次最大的放电信号,这说明冯杰在该阶段积极伸臂促使铅球急速有力地向前推出。

2.2.3 投掷 8 kg 铅球

图 4 为冯杰投掷 8 kg 铅球的动作时相与肌肉的原始 sEMG 测试结果。根据图 4 所示,冯杰在该投掷过程中右竖脊肌保持着一定的持续用力,其放电强度在最后用力阶段要明显好于 7.26 kg 铅球。左股二头肌在之前投掷 6 kg、7.26 kg 铅球的最后用力阶段,原始 sEMG 中存在未被激活的迹象,但在该投掷的技术环节中出现一次最强的放电。另外,右腹外斜肌和

右胸大肌在该阶段放电效果相对明显,其他肌肉也在该阶段出现了一种“爆发式”肌肉活动。从整体上看,该投掷阶段各块肌肉放电效果呈现出由下往上、

从右至左再右的传递过程,肌肉收缩与放松效果明显,富有节奏感,呈现出“一张一弛”的状态。

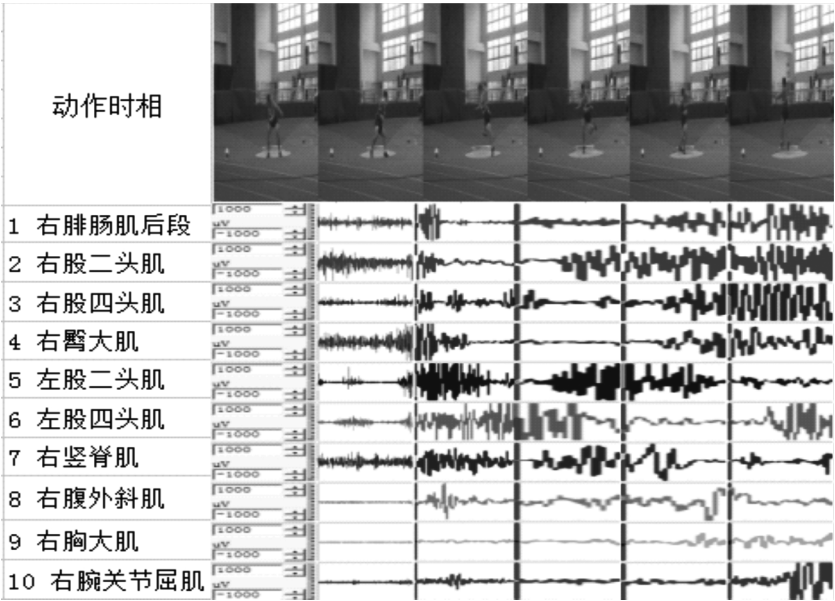


图 3 冯杰投掷 7.26 kg(18.58 m) 铅球原始 sEMG 图

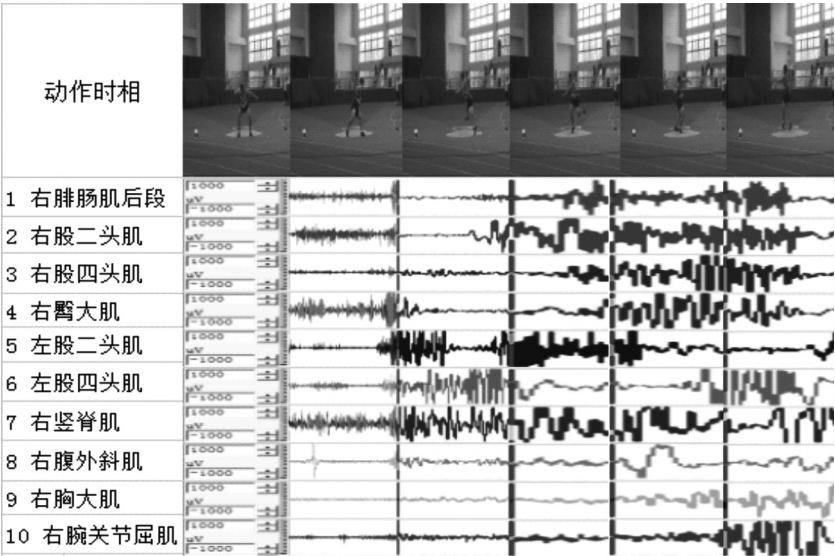


图 4 冯杰投掷 8 kg(16.79 m) 铅球原始 sEMG 图

2.3 冯杰投掷三种不同重量铅球肌肉活动的 RMS 特征分析

表 4 是对冯杰投掷三种不同重量铅球的原始 sEMG 中表现出一簇的棘波进行平方处理所得到肌电的均方根振幅(RMS)结果。RMS 是指肌肉放电的有效值,其大小决定于肌电幅值变化,一般认为其与运动单位募集和兴奋节律的同步化有关。RMS 常用

来描述数据静态特征,反应的是一定时间内肌肉放电的平均水平^[2,15,16]。从 RMS 中所得到的数据可以更加客观地反映肌肉活动的强弱及判定肌肉活动的顺序。通过表 4 可知,在双支撑起转阶段,冯杰投掷三种不同重量的铅球时右臀大肌均出现最大的一次性肌肉活动,其值分别为 222 uV、195 uV、238 uV。这说明该块肌肉在双支撑起转阶段是主要发力肌肉,对带

动右腿的支撑反作用力和推动上体向投掷方向旋转具有重要的作用。另外,右腹外斜肌在双支撑起转阶段的肌肉活动微弱,只有投掷 8 kg 铅球时右腹外斜肌在该阶段的 RMS 值才达到 58 uV,虽然这明显好于投掷 6 kg 和 7.26 kg 铅球时该块肌肉的放电强度,但与同类项目的优秀运动员相比还是存在一定的差异。这说明在预摆结束瞬间,冯杰整个身体没有处在最大扭转状态,所以右腹外斜肌放电不足。在其他技术阶段中,尤其是在最后用力阶段与其他技术阶段相对应的肌肉比较发现,各块肌肉的活动强度几乎出现了最大的 RMS 峰值。但是左股二头肌在投掷三种不同重量的铅球时肌肉活动却较弱,尤其是投掷 7.26 kg 铅球时,其值为 72 uV,这与上述 EMG 定性描述的结果一致。另外,在投掷 6 kg 铅球时,右竖脊肌在该技术阶段出现了一次最大的放电强度,其值为 1000 uV;但是

投掷 7.26 kg 铅球时则出现放电较弱的现象,其值为 88 uV。两者之间分别与相对应的肌肉比较,存在非常显著的差异。显而易见,右竖脊肌放电积极对固定躯干保证旋转的稳定和促使铅球积极出手有重要的作用。由此也说明,冯杰右竖脊肌存在放电不稳定及技术动作不娴熟等问题,今后还需加强技术动作的改进。右胸大肌和右腕关节屈肌在投掷三种不同重量铅球的最后用力阶段中均出现最大的放电强度,可以看出随着旋转速度的加快,两块肌肉的 RMS 值不断增大,在铅球出手瞬间则达到最大的峰值。其中最为明显的是投掷 8 kg 铅球时两块肌肉在最后用力阶段的 RMS 值分别达到 269 uV 和 858 uV。从整个动作过程上看,冯杰在投掷三种不同重量的铅球时左股四头肌和右股二头肌的 RMS 平均值(\bar{X})要明显大于其他肌肉的对应结果,因此这两块肌肉在整个动作过程中起到主要作用。

表 4 投掷三种不同重量铅球时各技术阶段肌肉活动的 RMS 统计表

单位:uV

肌肉名称	6 kg(20.87 m)						7.26 kg(18.58 m)						8 kg(16.79 m)					
	R↑	L↑	R↓	L↓	δ	$\bar{X} \pm SD$	R↑	L↑	R↓	L↓	δ	$\bar{X} \pm SD$	R↑	L↑	R↓	L↓	δ	$\bar{X} \pm SD$
右腓肠肌后段	97	118	108	262	311	179.2±99.8	80	124	72	152	378	161.2±125.5	100	51	198	172	222	149.0±71.2
右股二头肌	146	86	376	412	392	282.4±153.9	154	113	218	401	389	255.0±133.2	125	110	420	269	255	236.0±126.0
右股四头肌	47	90	106	240	546	205.8±203.4	50	131	123	227	795	265.2±302.8	38	60	135	434	237	181.0±161.5
右臀大肌	222	187	79	320	400	241.6±123.5	195	226	35	174	281	182.2±91.62	238	74	131	500	226	234.0±163.6
左股二头肌	64	329	414	236	94	227.4±149.8	47	338	352	344	72	230.6±156.5	76	296	400	203	114	218.0±132.7
左股四头肌	73	376	474	83	661	333.4±254.7	59	392	582	125	458	323.2±223.0	72	433	181	317	581	317.0±201.0
右竖脊肌	93	203	185	501	1000	396.4±370.6	122	208	220	270	88	181.6±74.7	203	401	523	454	533	423.0±134.1
右腹外斜肌	18	122	108	439	222	181.8±161.0	18	128	115	261	140	132.4±86.6	58	82	80	318	184	144.0±108.6
右胸大肌	10	24	86	88	174	76.4±65.0	10	25	35	82	121	54.6±45.9	16	47	59	151	269	108.0±102.9
右腕关节屈肌	22	70	53	83	490	143.6±195.0	19	58	35	49	327	97.6±129.1	30	53	71	117	858	226.0±354.9

2.4 冯杰投掷三种不同量铅球肌肉活动的 iEMG 特征分析

积分肌电(iEMG)是指在一定时间内肌肉参与活动的运动单位的放电总量,即在时间不变的前提下,其值大小在一定程度上反映了参加工作的运动单位的数量多少和运动单位的放电大小,这是评定肌纤维参与多少的重要指标^[2,15,16]。肌肉做功贡献率是指在完成某一工作时,在一定时间内某一块肌肉的积分肌电值占参与该动作全部肌肉积分肌电总值的百分比,这在一定程度上可以反映一块肌肉在完成一个动作中的比重或重要性^[17]。两者主要是通过对不同骨骼肌的积

分肌电值进行比较来评价不同骨骼肌的贡献程度,从而有针对性地设计专项力量训练手段,提高训练效果。

从表 5 和表 6 的统计结果可以看出,冯杰在投掷 6 kg 和 8 kg 铅球过程中,右竖脊肌在各块肌肉中的 iEMG 值表现最大,且肌肉做功贡献率分别占总比值的 16.58 % 和 20.36 %;但是该肌肉在投掷 7.26 kg 铅球的过程中,放电强度远不及与投掷 6 kg 和 8 kg 铅球的放电强度,这在上述的研究中有所阐述并且其结果一致。在投掷 7.26 kg 铅球的过程中,右臀大肌在各块肌肉中的 iEMG 值表现最大,其肌肉做功贡献率占总比值的 15.75 %。相比较而言,右臀大肌在三

种不同重量铅球的投掷过程中肌肉活动强度差异并不是很明显,与其他肌肉相比,右臀大肌在整个投掷过程中放电相对稳定。这说明右臀大肌在三种不同重量铅球的整个投掷过程中积极主动地进行着收缩与协调配合。另外,相对其他肌肉右腹外斜肌的肌肉活动程度相对较小。在其投掷过程中,尤其是在最后用力阶段躯干有较大幅度的快速转动过程中,右腹外斜肌本应具有较为强烈的肌肉活动,但结果却并非如此,这说明冯杰的右腹外斜肌快速力量可能有较大的不足。从投掷三种不同重量铅球时各块肌肉的 iEMG

值及贡献率大小来看,投掷 6 kg 和 8 kg 铅球时肌肉的激活效果要明显好于投掷 7.26 kg 铅球对肌肉的激活效果,其中投掷 8 kg 铅球的效果最为明显。结合图 5 的 iEMG 和贡献率平均值(\bar{X})来看,在整个投掷过程中肌肉活动与主动用力大小的顺序是:右竖脊肌、右臀大肌、左股四头肌、右股二头肌、左股二头肌、右腓肠肌后段、右股四头肌、右腹外斜肌、右腕关节屈肌、右胸大肌。由此笔者可以初步推断,在整个投掷过程中,右竖脊肌、右臀大肌、左股四头肌、右股二头肌的作用较大,应加强这些肌肉的锻炼。

表 5 投掷三种不同重量铅球时完整技术动作肌肉活动的 iEMG 统计表 单位:uV.s

练习类别	右腓肠肌后段	右股二头肌	右股四头肌	右臀大肌	左股二头肌	左股四头肌	右竖脊肌	右腹外斜肌	右胸大肌	右腕关节屈肌
6 kg	374	541	322	624	422	572	673	225	95	210
7.26 kg	345	542	405	583	404	541	447	198	78	159
8 kg	352	491	269	714	429	583	917	278	159	313
$\bar{X} \pm SD$	357.0 ± 15.1	524.7 ± 29.2	332.0 ± 68.5	640.3 ± 67.0	418.3 ± 12.9	565.3 ± 21.8	679.0 ± 237.4	233.7 ± 40.7	110.7 ± 42.7	227.3 ± 78.5

表 6 投掷三种不同重量铅球时完整技术动作肌肉做功贡献率(%)统计表

练习类别	右腓肠肌后段	右股二头肌	右股四头肌	右臀大肌	左股二头肌	左股四头肌	右竖脊肌	右腹外斜肌	右胸大肌	右腕关节屈肌
6 kg	9.22	13.33	7.94	15.38	10.40	14.10	16.58	5.54	2.34	5.17
7.26 kg	9.32	14.64	10.94	15.75	10.91	14.61	12.07	5.35	2.11	4.29
8 kg	7.81	10.90	5.97	15.85	9.52	12.94	20.36	6.17	3.53	6.95
$\bar{X} \pm SD$	8.78 ± 0.84	12.96 ± 1.90	8.28 ± 2.50	15.66 ± 0.45	10.28 ± 0.70	13.88 ± 0.86	16.34 ± 4.17	5.69 ± 0.43	2.66 ± 0.76	5.47 ± 1.36

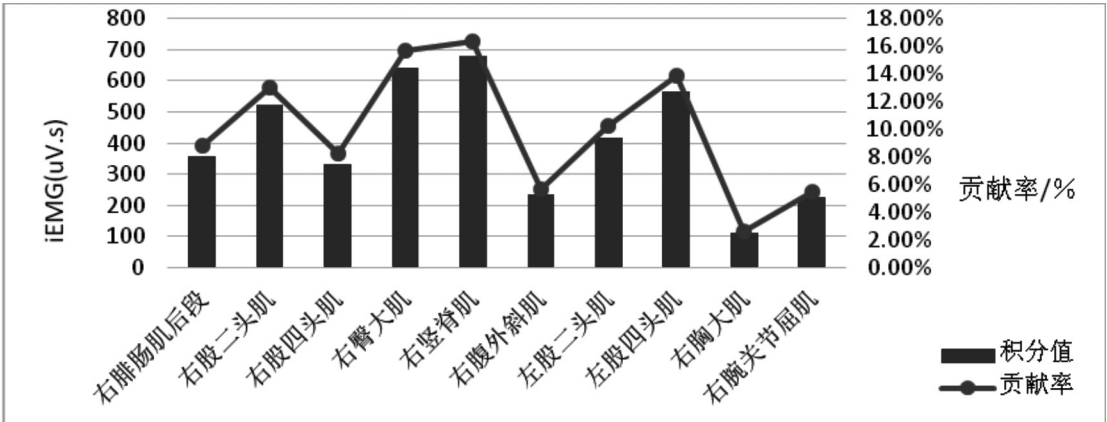


图 5 投掷三种不同重量铅球时肌肉活动的积分肌电、贡献率平均值(\bar{X})示意图

3 结论

(1) 双支撑起转阶段($R \uparrow$)准备时间充分,更有利于投掷技术的稳定。

(2) 左股四头肌和右股二头肌在整个动作过程中是主要用力肌肉,今后应该注意加强训练,特别是股后肌肉群的训练。

(3) 右竖脊肌除在投掷 7.26 kg 铅球的最后用力阶段(δ)放电不足外,但在投掷 6 kg 和 8 kg 铅球的整个技术阶段中均表现出较好的放电水平。

(4) 投掷 6 kg 和 8 kg 铅球的肌肉激活效果要优于 7.26 kg 铅球,尤其是投掷 8 kg 铅球效果最为明显。在今后的专项技术练习中可以多采用 6 kg 和 8 kg 铅球训练来巩固并提高投掷技术的稳定性。

(5) 肌肉活动与主动用力大小的顺序是右竖脊肌、右臀大肌、左股四头肌、右股二头肌、左股二头肌、右腓肠肌后段、右股四头肌、右腹外斜肌、右腕关节屈肌、右胸大肌。在整个投掷过程中右竖脊肌、右臀大肌、左股四头肌、右股二头肌作用较大,值得深入研究并加强锻炼。

参考文献

- [1] 张贵敏. 田径运动教程[M]. 北京:人民体育出版社,2007:244.
- [2] 王瑞元,苏全生. 运动生理学[M]. 北京:人民体育出版社,2010:58-62.
- [3] 王健. sEMG 信号分析及其应用研究进展[J]. 体育科学,2000,20(4):56-60.
- [4] 尹华跟. 我国运动员冯杰旋转式推铅球各技术阶段主要用力肌群 sEMG 分析[D]. 西安:西安体育学院硕士学位论文,2017:1-50.

- [5] 孙有平,隋新梅. 基于 sEMG 的男子旋转推铅球运动员单支撑阶段肌肉用力特征研究[J]. 体育科学,2010,30(1):44-50.
- [6] 曹杰. 旋转推铅球动作的肌电、足底受力及运动学特征分析[J]. 山东体育学院学报,2013,29(6):57-61.
- [7] 孙威,贾刚. 旋转推铅球最后用力阶段肌肉用力特征的 sEMG 分析[J]. 山东体育学院学报,2014,30(1):77-79.
- [8] 毛永. 推铅球技术的演变暨旋转式推铅球技术的要点和难点[J]. 山东体育科技,2002,24(3):34-40.
- [9] 李厚林,苏明理,许崇高,等. 女子铁饼运动员马雪君掷铁饼技术特点与未来突破点的研究[J]. 西安体育学院学报,2010,27(6):734-739.
- [10] 董海军. 我国优秀男子铅球运动员张俊旋转推铅球技术的研究[J]. 山东体育科技,2016,38(3):31-40.
- [11] 王卓识. 男子铅球运动员滑步阶段主要用力肌群的表面肌电图分析[D]. 北京:首都体育学院硕士学位论文,2014:11-36.
- [12] 张宝峰,李风雷. 旋转推铅球技术优势的生物力学分析[J]. 首都体育学院学报,2006,2(3):76-78.
- [13] 李延军. 优秀旋转推铅球运动员张峻主要技术阶段肌肉用力特征的 sEMG 分析[D]. 上海:华东师范大学硕士学位论文,2010:2-40.
- [14] 王琨,张俊峰,周静,等. 我国高水平女子铁饼运动员掷铁饼肌肉用力特征的分析[J]. 中国体育科技,2010,46(5):8-11.
- [15] 王琨,李小生,宋娟,等. 肌电图(EMG)在运动生物力学研究中的应用[J]. 体育科研,2014,35(1):31-33.
- [16] 罗炯,金季春. 表面肌电的处理方法及在体育科研中的应用前景[J]. 山东体育学院学报,2005,21(2):56-58.
- [17] 苏杨,任涛. 鞍马全旋动作上肢肌肉表面肌电特征的分析[J]. 武汉体育学院学报,2014,48(12):71-78.

[责任编辑 魏 宁]