



高水平女子羽毛球运动员下肢力量特征研究

袁 鹏^{1,2}, 周建伟³

摘 要:通过对 13 名高水平女子羽毛球运动员进行下肢等速肌力测试,以及静态、行走、跑步、起跳、正反手跨弓步共 5 种运动状态的足底压力分析,发现:女子羽毛球运动员下肢肌群力量双侧较为均衡,髋部内收肌群、屈膝肌群、膝部内旋肌群、踝内旋肌群随运动速度加快而贡献程度不断增加;常速行走时左侧下肢用力自动化过程较敏感,双腿反向纵跳(CMJ)落地时右侧下肢承担了主要的缓冲负荷,单腿 CMJ 落地时左侧下肢离心负荷较右侧更大;反手区域步法受力高于正手区域,反手区域步法更多是足跟部受力,正手区域步法更多是足前部受力,限制下肢旋内运动的肌群均能影响常见步法的足内侧足底受力。

关键词:羽毛球;女子运动员;等速肌力;足底压力;步法

中图分类号:G804.6 文献标志码:A 文章编号:1006-1207(2015)02-0013-05

Study of the Lower Limb Strength Characteristics of the Elite Female Badminton Players

YUAN Peng, ZHOU Jianwei

(School of physical education and sports science, Soochow University, Suzhou 215021, China)

Abstract: Through the lower extremity isokinetic test for 13 elite female badminton players and the foot pressure analysis of the 5 movement patterns of static, walking, running, jumping and fore-backhand lunge, it is discovered that the lower limb muscle strength of both sides is balanced and the hip adductor muscles, knee flexor muscles, knee internal muscles and ankle internal muscles increase their contribution with the speedup of the movements. The left lower limb automated process is sensitive during constant speed walking. The right leg bears the buffer load in bilateral CMJ and the centrifugal load borne by the left leg is greater than that borne by the right leg in unilateral CMJ. The foot pressure in backhand area is greater than that in forehand area. The heels bear more pressure in backhand area and the front parts of feet bear more pressure in forehand area. Limiting the internal movement of lower limb muscles may affect plantar pressure in common footwork.

Key Words: badminton; female player; isokinetic strength; plantar pressure, footwork

1 研究目的

尽管羽毛球运动是一项非身体接触的项目,却是一项对抗性极强、强度极高的激烈运动。因此,当运动员的体能处于极限状态下,身体素质及心理素质稍有降低或技术动作变形,均可导致运动损伤发生。李擎(2009)等分析我国 76 名优秀羽毛球运动员的损伤状况发现,最易致伤的部位依次为下肢(40.24%)、腰部(31.64%)、上肢(13.68%)。Shariff(2009)分析马来西亚 469 名羽毛球运动员损伤流行病学特征时发现下肢损伤占到 63.1%。李鹤洲(2006)在调查长期进行羽毛球锻炼的健身人群时发现,业余爱好者的运动损伤也基本呈现下肢发生率较高(40.5%)的特点。

李擎(2009)等分析我国优秀羽毛球运动员膝关节损伤高发原因是由于专项步伐的多变性所致,下肢反复的爆发用力和持续的瞬间变向,这种剧烈负荷长期刺激关节稳

定装置而引起运动损伤。踝关节则因为力量偏低和柔韧性较差等因素,在反复启动和制动的动作过程中容易发生损伤。傅维杰(2007)从骨科生物力学角度分析了羽毛球运动员踝关节损伤的机理,认为不正确的动作技能和过度使用都能造成不同程度的损伤。Shariff(2009)分析马来西亚羽毛球运动员损伤特征时发现,绝大多数损伤发生在训练中,并认为过度训练或劳损是羽毛球运动损伤的主要原因。Peers(2005)则认为羽毛球运动员膝关节损伤发生率与髌韧带承受过大的负荷有关,因在各种屈曲/旋转角度下的离心—向心工作转换过于频繁和剧烈所致。Kimura(2010)调查研究羽毛球运动员前交叉韧带(ACL)损伤机制时发现,非持拍侧腿在反手区单腿落地容易发生 ACL 损伤,而持拍侧腿容易在侧向或后退移动中发生 ACL 损伤。Kimura(2012)分析发现,羽毛球运动员退步挥拍后单腿落地的力学指标在正手区和反手区是不同的,反手区内

收稿日期:2015-01-08

基金项目:江苏省体育局局管课题(ST12000102)。

第一作者简介:袁鹏,男,副研究员,在读博士生。主要研究方向:运动生物力学。

作者单位:1.苏州大学体育学院,苏州 215021; 2.江苏省体育科学研究所,南京 210033; 3.南阳理工学院,河南 南阳 473004



的膝关节外翻角度和力矩最大,进一步解释了羽毛球 ACL 损伤专项负荷机制。

国内外有关羽毛球损伤机制研究大多为调查统计和理论分析,至今未见到从肌肉功能角度分析专项运动的损伤机制。本研究采用动力学分析方法,分析羽毛球运动员的下肢肌肉功能状况,以期对羽毛球项目开展针对性的力量训练和损伤预防提供依据。

2 研究对象与方法

2.1 研究对象

江苏省羽毛球队女子运动员 13 人,平均身高 173.3 cm,平均体重 62.8 kg,平均训练年限 6.9 年。

2.2 研究方法

2.2.1 等速肌力测试

等速肌力测试法:运用 ISOMED2000 (German) 测量髋、膝和踝关节拮抗肌群力量,测试运动员均熟练掌握测试程序和要求,测试前对测试系统进行常规校正。髋、膝关节测试速度选取 $60^{\circ}/s$ 和 $300^{\circ}/s$,踝关节测试速度选取 $60^{\circ}/s$ 和 $180^{\circ}/s$,固定方式和测试流程严格遵守操作手册要求。分析指标为相对峰力矩(Nm/kg,单位体重的肌肉力矩),拮抗肌群峰力矩的比值(%),拮抗肌群间的力量比例),双侧差异(%),对侧环节的力量差异)。

2.2.2 足底压力测试

运用 Foot-scan (比利时) 平板式足底压力测试系统,规格为 $2\text{ m}\times 0.5\text{ m}$,采样频率 250 Hz。测试静态、行走、跑步、起跳、正反手跨弓步 5 种运动状态的足底压力,要求穿着比赛鞋、运动短裤,每种动作重复 3 次,间歇 1 s。静态测试选取双脚站立姿势,单脚(双手抱胸、5 s 稳定),矢状轴运动选取正常步速 2 m/s、慢跑、全力跑,垂直轴运动选取双脚反向纵跳 CMJ(起跳、落地)、单脚 CMJ(起跳、落地)。

测试指标选取大拇指(T1)、2~5 足趾(T2-T5)、第 1 跖骨头(M1)、第 2 跖骨头(M2)、第 3 跖骨头(M3)、第 4 跖骨头(M4)、第 5 跖骨头(M5)、中足(MF)、足跟内侧(HM)、足跟外侧(HL)10 个足底解剖区域进行站立姿势足底压力分析(见图 1),矢状轴和垂直轴运动姿态测试指标为压力峰值/体重(N/Kg)。

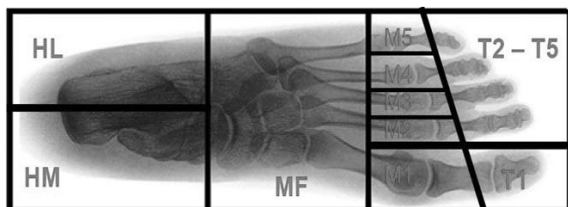


图 1 足底压力分析区域划分

Figure 1 Area Division for the Analysis of Plantar Pressure

2.3 统计学处理

描述性统计分析、独立样本 T 检验对数据进行分析,显著性为 $P<0.05(*)$ 。

3 结果与分析讨论

3.1 等速肌力特征

3.1.1 髋部肌力特征

在羽毛球项目中基本步法指跨步、蹬步、并步、垫步、跳步等,需要下肢多个肌群共同参与完成。从技能分析来看,这些基本步法均需要下肢的蹬伸和缓冲动作过程,而髋部肌群则是其中的主要动力肌群,表 1、2 为女子羽毛球运动员的髋关节周围肌群肌力情况。表 1 中女子运动员在矢状面的髋部屈伸肌群拮抗肌力量比例为 0.50~0.57 水平,且不存在随运动速度变化而显著波动。羽毛球运动员的髋部屈伸肌群比例与女子田径运动员比例接近,说明伸髋肌群在羽毛球运动中发挥着比较重要的作用,并且在不同运动速度状态下的作用率是一致的。表 1 中女子运动员在额状面内的内收外展肌群拮抗肌力量比例为 0.37~0.83 水平,且存在随运动速度变化而显著增大情况,差异具有显著性($P<0.05$)。羽毛球运动员的髋部内收外展肌群主要帮助运动员完成侧向的移动步法,正手或反手位置的击球动作,这也是羽毛球项目特有的重要工作肌群。在常速或一般运动过程中,内收肌群贡献的作用相对较小,但随运动速度的提高其作用逐渐增大,在侧向运动或蹬伸运动中的回位作用也逐渐增加。表 2 中髋关节肌群力量双侧差异比较分析表明,羽毛球运动员虽然是典型的单侧持拍运动,并且正反手运动多为持拍侧下肢为主的下肢运动,但其双侧力量差异很小,并且较为均衡地控制在 5% 左右,仅伸肌在慢速运动时有显著性的双侧差异,但速度增快时显著性消失。这种结果说明,作为羽毛球步法主要运用的髋部工作肌群而言,双侧力量均衡十分必要。

表 1 女子羽毛球运动员髋关节肌群拮抗肌力比例

Table I Antagonist Strength Ratio of the Hip Muscles of the Female Badminton Players

	屈/伸肌力拮抗比		内收 / 外展肌力拮抗比	
	左侧	右侧	左侧	右侧
$60^{\circ}/s$	0.57 ± 0.10	0.54 ± 0.07	0.37 ± 0.08	0.37 ± 0.05
$300^{\circ}/s$	0.54 ± 0.09	0.50 ± 0.06	$0.83\pm 0.14^{*}$	$0.83\pm 0.13^{*}$

注:* 为 $300^{\circ}/s$ 相对 $60^{\circ}/s$ 时,肌力拮抗比显著增加($P<0.05$)

表 2 女子羽毛球运动员髋关节肌群双侧差异

Table II Bilateral Difference of the Hip Muscles of the Female Badminton Players

	屈/伸肌群		内收 / 外展肌群	
	屈肌群	伸肌群	内收肌群	外展肌群
$60^{\circ}/s$	-0.02 ± 0.20	$-0.13\pm 0.51^{*}$	0.05 ± 0.55	0.00 ± 0.20
$300^{\circ}/s$	0.03 ± 0.17	-0.08 ± 0.27	0.00 ± 0.27	0.07 ± 0.18

注:* 为 $300^{\circ}/s$ 相对 $60^{\circ}/s$ 时,肌力拮抗比显著增加($P<0.05$)

3.1.2 膝部肌力特征

表 3、4 为女子运动员膝关节周围肌群的力量情况,反应膝关节在屈伸方向和内外旋方向的力量协调程度。表 3 中,屈伸肌群力量比例在慢速时为 0.58~0.67,与女子田径

运动员水平一致,但在快速运动时显著提高至 1.03~1.12,差异具有显著性($P<0.05$)。这种结果说明,随运动速度的加快或比赛激烈程度的增加,羽毛球技术动作要求屈膝的股后肌群贡献程度不断增加,以应对快速支撑和回复动作的要求。表 3 中,内外旋肌群力量比例在慢速时 0.58~0.62,在快速时为 0.67~0.77,呈现随运动速度加快而增大趋势,但变化差异没有显著性。内外旋肌力比例与临床损伤预防风险评估标准相比相对较低,表 3 中的这种变化趋势表明,膝关节内旋肌群在快速运动中的旋内不稳风险相对较高。表 4 中,膝关节周围肌群的双侧差异情况不显著,均在 10% 以内的良好水平,并且部分肌群在 5% 以内的优秀水平。说明羽毛球运动员在侧向方向运动中的力量差异影响因素较小,运动技术因素应起到更加关键的作用。

表 3 女子羽毛球运动员膝关节肌群拮抗肌力比例

Table III Antagonist Strength Ratio of the Knee Muscles of the Female Badminton Players

	屈/伸肌力拮抗比		内旋 / 外旋肌力拮抗比	
	左侧	右侧	左侧	右侧
60°/s	0.67±0.10	0.58±0.11	0.62±0.12	0.58±0.13
300°/s	1.03±0.36*	1.12±0.26*	0.77±0.35	0.67±0.10

注:* 为 300°/s 相对 60°/s 时,肌力拮抗比显著增加($P<0.05$)

表 4 女子羽毛球运动员膝关节肌群双侧差异

Table IV Bilateral Difference of the Knee Muscles of the Female Badminton Players

	屈/伸肌群		内旋 / 外旋肌群	
	屈肌群	伸肌群	内旋肌群	外旋肌群
60°/s	0.09±0.17	-0.04±0.14	0.06±0.14	-0.02±0.42
300°/s	0.04±0.18	0.10±0.16	0.05±0.19	-0.04±0.24

3.1.3 踝部肌力特征

表 5、6 为女子运动员踝关节周围肌群的力量情况,反应踝关节在屈伸方向和内外旋方向的力量协调程度。表 5 中,屈伸肌群力量比例在慢速时为 0.76~0.86,显著高于女子运动员水平,并且在快速运动时显著提高至 1.05,差异具有显著性($P<0.05$)。这种结果说明,羽毛球技术动作要求踝关节的发力调控更加重要,其中踝背屈肌群(如胫骨前肌等肌群)的作用更加重要,并且随运动速度的加快或比赛激烈程度的增加而贡献程度不断增加,以应对快速、精准变换动作的要求。表 5 中,内外旋肌群力量比例在慢速时 0.50~0.52,在快速时为 0.71~0.91,呈现随运动速度加快而增大趋势,变化差异具有显著性($P<0.05$)。内外旋肌力比例与临床损伤预防风险评估标准相比相对较低,表 5 中的这种变化趋势表明,踝关节内旋肌群在快速运动中的旋内不稳风险相对较高。此外,内外旋肌群拮抗比存在双侧差异,且差异具有显著性($P<0.05$)。本研究中大多数选手为右侧持拍运动员,即左侧踝关节为起脚,这说明左侧踝关节在动作响应速度和发力协调上具有用力优势。表 6 中,踝关节周围肌群的双侧差异情况不显著,均在 5% 以

内的优秀水平。说明羽毛球运动员在侧向方向运动中的力量差异影响因素较小,运动技术因素应起到更加关键的作用。

表 5 女子羽毛球运动员踝关节肌群拮抗肌力比例

Table V Antagonist Strength Ratio of the Ankle Muscles of the Female Badminton Players

	屈/伸肌力拮抗比		内旋 / 外旋肌力拮抗比	
	左侧	右侧	左侧	右侧
60°/s	0.86±0.16	0.77±0.07	0.50±0.07	0.52±0.10
300°/s	1.05±0.26*	0.73±0.18	0.91±0.25*#	0.71±0.10*

注:* 为 300°/s 相对 60°/s 时,肌力拮抗比显著增加($P<0.05$);

为左侧相对右侧时,肌力拮抗比显著增加($P<0.05$)

表 6 女子羽毛球运动员踝关节肌群双侧差异

Table VI Bilateral Difference of the Ankle Muscles of the Female Badminton Players

	屈/伸肌群		内旋 / 外旋肌群	
	屈肌群	伸肌群	内旋肌群	外旋肌群
60°/s	0.02±0.057	-0.00±0.07	0.03±0.04	-0.01±0.04
300°/s	0.04±0.05	0.02±0.07	-0.01±0.05	-0.00±0.19

3.2 足底压力特征

3.2.1 自然行走足底压力特征

在自然步速行走时,羽毛球运动员即反映出与普通人的不同地方。图 2 中可以看出左脚压力曲线较之右脚存在提前发力和较大用力蹬伸的情况,这说明自然行走过程左脚较右脚存在发力优势,即激活程度相对较高。这一结果结合前述下肢各主要关节的肌力分析情况,特别是踝关节拮抗肌群的双侧差异,表明左侧下肢运动技能的自动化反射过程较为敏感,且主要是左侧踝关节的用力所致。

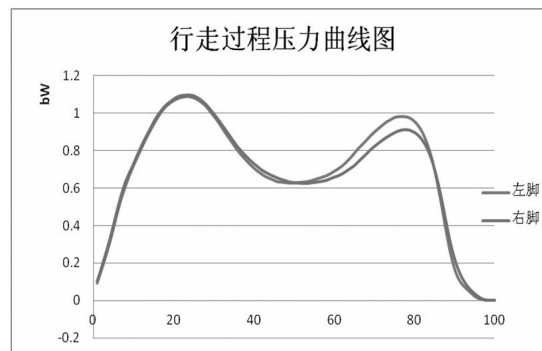


图 2 自然行走时足底压力分布曲线

Figure 2 Plantar Pressure Distribution Curve in Common Footwork

图 3 为自然行走时足底压力各区域足压分布情况,通过对左右脚的足底压力分布进行分析,可以看出左右脚压力分布没有显著的差异。这一结果与踝关节周围肌力分析结果是一致的,即双侧拮抗肌比例差异是用力方式差异所致,而非双侧肌力存在差异。

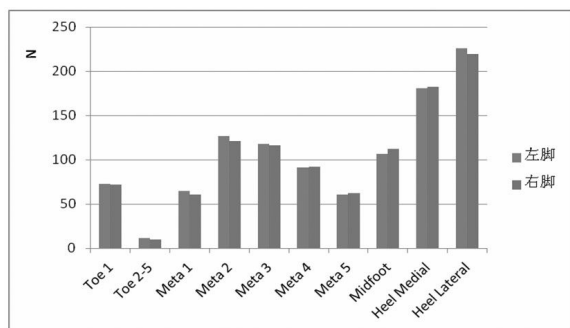


图3 自然行走时足底压力分布情况分析

Figure 3 Analysis of the Plantar Pressure Distribution in Common Footwork

3.2.2 CMJ 跳跃的足底压力特征

根据前面的分析结果,羽毛球比赛中的全部运动方式中,有30%左右的技术动作需要垂直方向的爆发用力。对于羽毛球运动员而言,对抗中起跳动作基本上为CMJ式爆发力用力,因此本研究对羽毛球运动员的CMJ跳跃的足底压力进行分析,以期找出用力方式上的明显特征。表7即为羽毛球运动员的CMJ跳跃时足底压力分析结果,从中可以看出双脚跳跃的腾空时间要显著多于单脚起跳的腾空时间,差异具有显著性($P < 0.05$)。说明双脚起跳在腾空效果上来看具有明显的优势,这种双侧用力的效果是显而易见的。表7中,峰值比值为落地缓冲时的峰值与蹬伸起跳时的峰值比率,用以反应下肢离心工作与向心工作时的下肢肌负荷比例。表7中峰值比结果均在1.5水平(1.35~1.65),说明运动中离心负荷是向心负荷的1.5倍水平。但在双脚CMJ中,左脚的峰值比则明显比右脚的小,差异具有显著性($P < 0.05$),说明右侧下肢的离心收缩能力显著高于左侧,即双脚落地时右侧持拍侧腿承担了主要的缓冲负荷。

表7 女子羽毛球运动员CMJ跳跃时足底压力分析

Table VII Analysis of the Plantar Pressure of the Female Badminton Players in CMJ

	CMJ 双脚跳		CMJ 单脚跳	
	左脚	右脚	左脚	右脚
腾空时间 (s)	0.51±0.04 [#]	0.50±0.03 [#]	0.36±0.02	0.37±0.03
峰值比值	1.35±0.42 [*]	1.65±0.54	1.53±0.49 [*]	1.40±0.27

注: * 为左脚相对右脚, 峰值比显著偏低 ($P < 0.05$); # 为双脚相对单脚, 腾空显著偏高 ($P < 0.05$)

Kimura Yuka 等在对羽毛球前交叉韧带损伤的机制进行了问卷调查研究发现, 约一半的损伤都出现在头顶扣杀球后的单腿落地, 并且绝大部分的伤者都是握拍手的对侧腿受伤。本研究中, 双脚CMJ跳跃落地时右侧下肢负荷较大, 提示要改善双脚起跳后的落地技术。此外单脚CMJ测试中, 左脚的峰值比明显高于右脚, 差异具有显著性($P < 0.05$), 说明单腿跳跃时左侧下肢的离心负荷更大, 对单腿落地时的技术动作有更高要求, 以降低损伤风险。

3.2.3 专项移动步法的足底压力特征分析

本研究选取正手向前跨弓步、正手向后跨弓步、反手向前跨弓步和反手向后跨弓步4种动作进行分析, 以区别在水平面内4个方向上的移动负荷方式, 从而分析在这4个方向上的专项动作足底压力特征区别, 见图4~6。

图4中, 落地阶段足底压力强弱顺序为: 反手前弓步 > 反手后弓步 > 正手后弓步 > 正手前弓步。结果表明, 反手区域落地步法的受力较大, 而正手区域落地步法的受力相对较小, 这是由于反手区域躯干沿垂直轴逆时针旋转后发力, 落地时由于旋转带来的惯性导致足底压力相对较大。

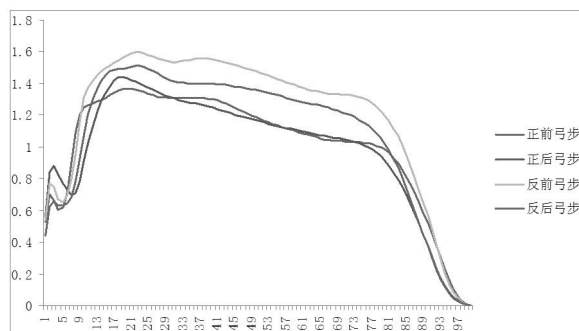


图4 4种专项步法的足底压力曲线分析

Figure 4 Plantar Pressure Curve Analysis of the 4 Specific Gaits

图5中, 4种步法的足底各区域冲量情况为: 正前弓步足前部受力负荷较大, 正后弓步受力较均匀, 但第一趾骨受力较大, 反前弓步足跟部负荷较大, 反后弓步足跟部负荷较大。结果表明, 正手区域步法足底受力更多是足前部部位, 反手区域步法足底压力受力更多是足跟部部位, 这是由于正手区域做顺时针旋转而反手区域做逆时针旋转的原因, 身体沿垂直轴旋转所致的落地负荷直接影响足底的受力部位。

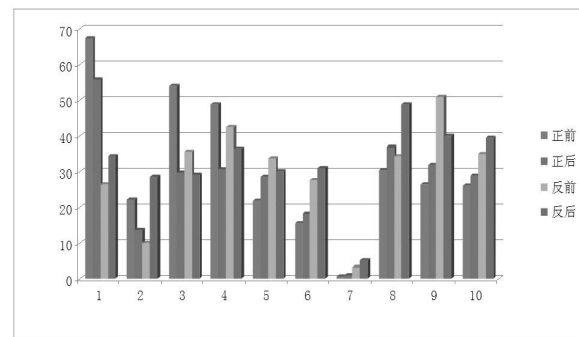


图5 4种专项步法的足底各区域冲量分析

Figure 5 Impulse Analysis of the Different Plantar Areas of the 4 Specific Gaits

图6中, 4种步法的足底各区域压力最大值情况为: 均集中在足内侧, 提示影响下肢旋内的肌群均能影响足内侧足底受力。影响下肢旋内的肌群主要有髋关节的内收肌群、膝关节的股内收和半腱半膜肌、踝关节腓肠肌内侧和胫骨后肌等, 这些肌群的肌力状况, 特别是快速运动时调整足内侧压力的能力将直接影响下肢运动损伤的发生。

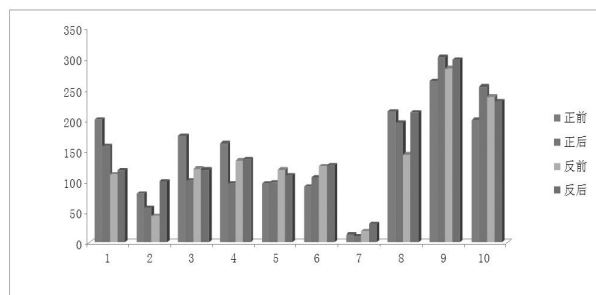


图 6 4 种专项步法的足底各区域压力最大值分析
Figure 6 Maximum Pressure Analysis of the Different Plantar Areas of the 4 Specific Gaits

4 结论

4.1 女子羽毛球运动员下肢肌群力量双侧较为均衡,无明显差异。

4.2 髋部内收肌群、屈膝肌群、膝部内旋肌群、踝内旋肌群贡献程度随运动速度加快而提高,左侧踝背屈肌群在动作速度和发力协调上有优势。

4.3 女子羽毛球运动员在常速行走时左侧下肢有用力优势,表明左侧下肢运动技能的自动化过程较为敏感。

4.4 双腿 CMJ 落地时右侧持拍侧腿承担了主要的缓冲离心负荷,单脚 CMJ 落地时左侧峰值力值比显著高于右侧,即单腿跳跃缓冲时左侧下肢的离心负荷更大。

4.5 反手区域落地步法的足底受力高于正手区域,正手区域步法足底受力更多是足前部区域,反手区域步法足底受力更多是足跟部区域,限制下肢旋内运动的肌群均能影响常见步法的足内侧足底受力。

参考文献:

- [1] 毛秋明,黎加林. 羽毛球[M]. 长沙:湖南大学出版社,2004.
- [2] 魏勇.运动鞋对羽毛球典型步法中跖趾关节和后足稳定性的影响[J].体育科学,2009,29(10):89-97.
- [3] 余晓,徐国强.广州地区羽毛球运动员损伤调查分析[J].解放军体育学院学报,2005,24(2):100-102.
- [4] MORIOCKM, NIGGBM. (1991). Theoretical Considerations

- and Practical Results on the Influence of the Representation of the Foot for the Estimation of Internal Forces with Models[J]. *Clin Biomech*, 6(1):3-13.
- [5] 张勤良,倪朝民.鞋靴对足底压力分布影响及其舒适度研究进展[J].中国康复医学杂志,2012,27(2):180-183.
- [6] 洪友廉,王琳,周继和,等.有鞋带跑鞋和松紧鞋舌跑鞋跑步主观舒适度底压力和后足运动参数比较[J].中国运动医学杂志,2011,30(7):613-617.
- [7] 齐春燕,王来东,李成梁.篮球运动员跳投机电及足底压力的同步研究[J].天津体育学院学报,2010,25(5):422-424.
- [8] 高军艳,李树屏.糖尿病患者足底压力研究进展[J].中国康复医学杂志,2009,24(9):861-864.
- [9] 栾天峰.11~12岁肥胖儿童不同步速时足底压力分布特征及步态研究[J].天津体育学院学报,2010,25(6):533-536.
- [10] 魏勇,刘宇,傅维杰.羽毛球运动步法分类及使用频率[J].上海体育学院学报,2008,32(5):54-60.
- [11] BONTRAGER E L, BOYD L A, HEINO J G, et al. (1997). Determination of Novel Pedar Masks using Haris Mat Imprints [J]. *Gait & Posture*, 5(2):167-168.
- [12] 冯秋明.羽毛球教学中的步法移动技术[J].体育成人教育,2003,19(4):90-91.
- [13] GRUNDY M S, TOSH P A, MCLEISH R D, et al. (1975). An Investigation of the Centers of Pressure under the Foot while Walking [J]. *Bone Joint Surg*, 57(1):98-103.
- [14] HENNIGEM, MILANITL. (1995). In- Shoe Pressure Distribution for Running in Various Types of Footwear [J]. *J Appl Biomech*, 11(3):299-310.
- [15] MARK D G. (2002). The Role of Footwear on Kinematics and Plantar Foot Pressure in Fencing [J]. *J Appl Biomech*, 18(2):155-162.
- [16] FUGL- MEYER A R, SJ!STR" M M, W#HLBY L. (1979). Human Plantar Flexion Strength and Structure [J]. *Acta Physiol Scand*, 107(1):47-56.
- [17] 汤志强.羽毛球运动员的下肢力量和步法训练方法[J].南京体育学院学报(自然科学版),2004,3(3):46-47.
- [18] 傅维杰.羽毛球运动员踝关节损伤的生物力学分析[J].浙江体育科学,2007,29(1):126-128.
- [19] 傅维杰,刘宇,李路.基于足底压力的羽毛球运动足部受力特征研究.天津体育学院学报,2012,7(6):511-514

(责任编辑:何聪)