

大众跑者跑步相关损伤危险因素的前瞻性研究

李瑞杰¹, 魏心怡^{1,2}, 戴剑松¹, 赵彦¹, 周志鹏³, 杨辰^{1*}

摘要:目的:通过前瞻性研究调查大众跑者跑步相关损伤(RRI)的危险因素,为RRI的预防和治疗提供理论依据。方法:采集95名健康大众跑者的生理和跑步训练等基本信息、人体测量学因素、身体能力因素和跑步生物力学因素,随后进行4个月的跟踪随访,依据观察期内的损伤情况将受试者分为损伤组和健康组。通过卡方检验或独立样本t检验确认两组间基线指标的差异,将有统计学意义($P < 0.05$)的变量纳入Logistic回归模型进行分析。结果:36名跑者在观察期内报告了46例RRI,损伤发生率为38%,其中膝关节损伤最为常见(26.7%);与健康组相比,损伤组存在较小的静态Q角(健康组 $7.42^\circ \pm 6.90^\circ$,损伤组 $11.03^\circ \pm 10.17^\circ$, $P=0.042$)、跑步着地时刻躯干前倾角(健康组 $94.24^\circ \pm 4.52^\circ$,损伤组 $91.89^\circ \pm 4.55^\circ$, $P=0.016$)和小腿地面夹角(健康组 $100.94^\circ \pm 3.44^\circ$,损伤组 $99.41^\circ \pm 3.33^\circ$, $P=0.037$),以及更大的跑步离地时刻小腿地面夹角(健康组 $53.23^\circ \pm 3.19^\circ$,损伤组 $54.70^\circ \pm 3.09^\circ$, $P=0.031$);Logistic回归分析显示跑步着地时刻小腿地面夹角减小($OR=0.853$, $P=0.039$)和离地时刻小腿地面夹角增大($OR=1.222$, $P=0.014$)可能增加RRI的损伤发生风险。结论:①在大众跑者中,RRI发生率较高,损伤部位以下肢膝、踝关节和足部为主。跑步着地时刻和离地时刻小腿更加垂直于地面可能是导致大众跑者RRI损伤风险增加的潜在因素;②静态Q角和跑步着地时刻躯干前倾角度在损伤组和健康组之间存在差异,但未发现其与损伤风险之间的关系,因此可能不是导致大众跑者RRI风险增加的潜在因素。

关键词: 跑步相关损伤;下肢关节;危险因素;预防

中图分类号:G804 文献标志码:A 文章编号:1006-1207(2024)02-0048-12

DOI:10.12064/ssr.2023102301

A Prospective Study on Risk Factors for Running-Related Injuries in Recreational Runners

LI Ruijie¹, WEI Xinyi^{1,2}, DAI Jiansong¹, ZHAO Yan¹, ZHOU Zhipeng³, YANG Chen^{1*}

(1. Nanjing Sport Institute, Nanjing 210014, China; 2. College of Physical Education and Health, East China Normal University, Shanghai 200062, China; 3. Shandong Sports University, Jinan 250102, China)

Abstract: Purpose: This prospective study aims to investigate the risk factors for Running-Related Injuries (RRI) in recreational runners, providing a theoretical basis for the prevention and treatment of RRI in this population. Methods: Baseline assessments, including questionnaire surveys, anthropometric evaluations, physical fitness tests, and running biomechanical assessments, were conducted on 95 healthy recreational runners. Subsequently, a 4-month observation period was implemented to collect injury information. At the end of the observation period, participants were categorized into injury and healthy groups based on their injury status. Independent sample t-test or chi-square test was used to confirm differences in baseline indicators between the two groups. Variables with statistical significance ($P < 0.05$) were included in a Logistic regression model for analysis. Results: 46 cases of RRI were reported by 36 runners during the observation period, resulting in an injury incidence rate of 38%. The highest incidence of injuries was observed in the knee joint (26.7%). In comparison to the healthy group, the injury group exhibits smaller static Q angle (healthy group: $7.42^\circ \pm 6.90^\circ$, injury group: $11.03^\circ \pm 10.17^\circ$, $P=0.042$), trunk forward lean angle at foot-strike (healthy group: $94.24^\circ \pm 4.52^\circ$, injury group: $91.89^\circ \pm 4.55^\circ$, $P=0.016$) and shin-ground angle at foot-strike (healthy group: $100.94^\circ \pm 3.44^\circ$, injury group: $99.41^\circ \pm 3.33^\circ$, $P=0.037$), and

收稿日期: 2023-10-23

基金项目: 国家重点研发计划(2020YFC2007002)。

第一作者简介: 李瑞杰,男,硕士研究生。主要研究方向:运动生物力学。E-mail:jerryeesimple@163.com。

* 通信作者简介: 杨辰,男,博士,副教授。主要研究方向:运动生物力学。E-mail:obayoung@foxmail.com。

作者单位: 1.南京体育学院,江苏 南京 210014;2.华东师范大学,上海 200062;3.山东体育学院,山东 济南 250102。



a larger shin-ground angle at toe-off (healthy group: $53.23^{\circ} \pm 3.19^{\circ}$, injury group: $54.70^{\circ} \pm 3.09^{\circ}$, $P=0.031$). Logistic regression analysis indicates that a decrease in the shin-ground angle at foot-strike ($OR=0.852$, $P=0.039$) and an increase in the shin-ground angle at toe-off ($OR=1.222$, $P=0.014$) may potentially elevate the risk of RRI. Conclusions: (1) In recreational runners, the incidence of RRI is higher, with the lower limbs, specifically the knees, ankles, and feet, being the primary sites of damage. The potential factor leading to an increased risk of RRI in recreational runners may be the moments of foot-strike and toe-off, with the shin-ground angle being more vertical to the ground during running; (2) Static Q-angle and trunk forward lean angle at the moment of foot strike differ between the injury and healthy groups, but no relationship with injury risk was found. Therefore, they may not be potential factors contributing to the increased risk of RRI in recreational runners.

Keywords: running-related injuries; lower limb joints; risk factors; prevention

跑步是最受欢迎的身体活动之一,但跑步相关损伤(Running-Related Injury, RRI)的发生率一直较高。由于跑步的健康效益、低成本和易实施性,跑者的数量在过去十年显著增长,成为国内民众参与度最高的运动项目,占比高达 61.0%^[1]。规律的跑步活动对心肺系统、下肢关节和心理健康都会有积极影响^[2],但 RRI 的高患病率一直是大众跑者不容忽视的运动风险^[3]。研究人员通常将 RRI 定义为由跑步相关训练或比赛引起的下肢骨骼肌肉疼痛^[4]。据统计,2022 年我国大众跑者中偶尔受伤和经常受伤的人数分别占总跑步人数的 56.9% 和 18.2%,超七成的跑者在长期运动中经历过不同程度的运动损伤^[1]。在不同类型 RRI 中,膝关节是常见的损伤部位,其次是踝关节和足底^[5-8]。RRI 的危害不仅影响跑者的健康状况,还可能导致跑者长期活动水平下降,甚至运动生涯终止^[1]。

RRI 的危险因素尚不明确,这限制了对其实行有效的预防和治疗。RRI 的来源较复杂^[9-10],一般认为其发生是由于重复应力施加于身体组织上,且没有足够休息时间进行组织重塑,导致组织退化^[11]。关于 RRI 危险因素的研究发现,跑者行为因素(训练史、损伤史等)^[12-13]、人体测量学特征(Q 角、足弓和腿长差等)^[14]、肌肉力量与柔韧性^[15-16]、跑步习惯(后跟、前掌或全掌着地)^[17] 和生物力学特征(跑姿时空参数、关节运动学、关节动力学、地面反作用力和足底压力等)^[18-20]均是 RRI 的潜在预测变量。但现有研究结论并不一致,且部分研究在实验设计上也存在一定的局限性^[21-23]。因此,当前无法对 RRI 危险因素进行系统性总结,并提供有效防护措施和干预手段。

本研究采集健康大众跑者的基本信息、人体测量学因素、身体能力因素和跑步生物力学因素作为 RRI 的潜在预测变量,依据 4 个月观察期内跑者出现 RRI 的情况将受试者分为损伤组和健康组,通过 Logistic 回归分析确定可能导致 RRI 风险增加的潜在因素,为大众跑者 RRI 的预防和治疗提供理论依据。

1 研究对象与方法

1.1 研究对象

招募大众跑者 150 人,观察期失访 55 人,95 人完成跟踪调查(表 1)。纳入标准:①至少 6 个月以上跑龄,月跑量达到 40 km 以上;②身体健康,且最近 6 个月内没有发生过躯干及下肢损伤。本研究经南京体育学院伦理委员会审批通过(RT-2023-15),所有受试者自愿参与实验,并签署知情同意书。

表 1 受试者基础信息($\bar{X} \pm SD$)
Table 1 Basic information of subjects($\bar{X} \pm SD$)

指标	男性(n=68)	女性(n=27)
年龄/岁	41.6±10.1	42.0±9.3
身高/cm	172.7±4.5	160.1±4.7
体重/kg	69.02±6.79	53.56±4.82
跑龄/月	39.9±27.1	34.0±21.3
月跑量/km	174.7±93.4	140.7±95.7

1.2 实验方案

基线测试采集受试者基本信息(生理信息、跑步训练信息、损伤史)、人体测量学因素(下肢长度、Q 角)、身体能力因素(Y 平衡、肌力、关节活动度)和跑步生物力学因素(运动学和动力学)。之后对 RRI 的发生情况进行跟踪随访,本研究参考前人^[19]研究将观察期设定为 4 个月,要求受试者每月提交 1 次调查问卷,报告损伤情况,调查内容包括:有无出现 RRI、损伤侧、损伤部位、损伤类型、疼痛持续时间和疼痛程度等相关信息。

通过观察期内有无报告出现 RRI 将所有受试者分为损伤组和健康组。参考以往研究人员对 RRI 的定义标准^[24-25],RRI 定义为满足以下条件之一:①跑步相关的下肢肌肉骨骼疼痛,导致跑步(距离、跑速或持续时间)至少 7 d 或连续 3 次预期的训练计划受到限制或中止;②需要医疗咨询。



1.3 数据采集与处理

1.3.1 基本信息收集

通过调查问卷采集所有受试者的基本信息,主要包括:①生理信息,性别、年龄、身高、体重和BMI;②跑步训练信息,跑龄以及最近一个月的跑量、周跑频和平均配速;③损伤史,6个月之前所发生的由跑步引起的下肢损伤。

1.3.2 人体测量学评估

下肢长度测试:要求受试者平躺于治疗床,利用皮卷尺测量髌前上棘至同侧下肢内踝尖的距离。两侧下肢各测量3次,每侧取3次测量的平均值作为

单侧下肢长度,并将两侧下肢长度相减后取均值得到两侧下肢长度差。

Q角测试:要求在受试者两侧髌骨中点、胫骨粗隆和髌前上棘粘贴反光标志球。在受试者正前方3m处架设相机(FDR-AX700, Sony, 日本),相机高度与受试者膝关节水平,主光轴垂直于人体冠状面,采集人体直立时的静态Q角(图1a)和单腿屈膝30°支撑时的动态Q角(图1b,图1c)^[26]。使用Kinovea软件进行影像解析,计算两侧下肢静态和动态Q角,即髌前上棘和髌骨中点连线与髌骨中点和胫骨粗隆连线的夹角(图1)。

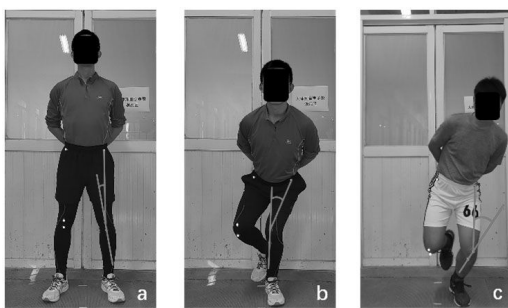


图1 Q角测试

Figure1 Q-angle test

1.3.3 身体能力测试

Y平衡测试:采用Y-Balance测试套件(YBT Pro, Perform Better, 美国)。要求受试者单足支撑于中心板,双手叉腰,非支撑腿向前、右后、左后尽量伸展,并推动相应测量板边缘前移。每次伸出后返回原位,并记录刻度尺对应数值。两侧下肢每个方向各进行3次测试,取平均值作为每侧下肢最长延伸距离。综合得分定义为非支撑腿最长延伸距离与受试者下肢长度的比值。

肌力测试:使用无线便携数字手持测力计(MicroFET2TM, Hoggan Scientific LLC, 美国)采集受试者下肢关节肌力。要求受试者分别在侧卧、坐立和俯卧3个姿势下测试双侧髌外展肌力、伸膝肌力和屈膝肌力^[27]。每个动作每侧下肢测试3次,中间间隔30s,取3次测试的平均值作为该关节的肌力。

关节活动度测试:采用双臂量角器对双侧屈髋活动度、屈膝活动度、踝跖屈活动度和踝背屈活动度进行测量^[28]。采集受试者各关节活动的最大范围,观察量角器刻度盘并记录数值,每侧下肢测量3次后取平均值。

1.3.4 跑步生物力学测试

运动学测试:采用摄像机(FDR-AX700, Sony, 日

本)对受试者跑姿进行二维拍摄,采集频率为50Hz。摄像机主光轴与跑道方向垂直,距离拍摄区域5m处,要求受试者在一条长15m的室内跑道上以自配速跑过。成功采集受试者每侧3次完整的步态周期(单侧脚着地至该侧脚再次着地),并通过Kinovea软件进行影像解析。

运动学指标参数及计算方法:①步频,单位时间(60s)除以一侧脚着地到对侧脚着地所花费的时间,单位记为步/min。②步长,一侧脚着地至对侧脚着地的距离,标准化身高,单位记为BH%。③步速,一个步态周期内人体(以肩关节与髌关节连线的中点代替)的水平位移除以所花费的时间,标准化身高,单位记为BH%/s。④3个特征时刻(着地时刻、膝关节屈曲最大时刻和离地时刻)的关节角度,两肩中点与两髌中点连线与地面水平线夹角为躯干前倾角(图2a);两肩中点与两髌中点连线的延长线和右髌与右膝连线中点的夹角为髌关节角(图2b),着地时髌为前屈、离地时髌为后伸;髌膝连线与膝踝连线的夹角为膝关节角(图2c);膝踝连线与踝足尖连线的夹角为踝关节角(图2d);膝踝连线与地面水平线的夹角为小腿地面夹角(图2e)。

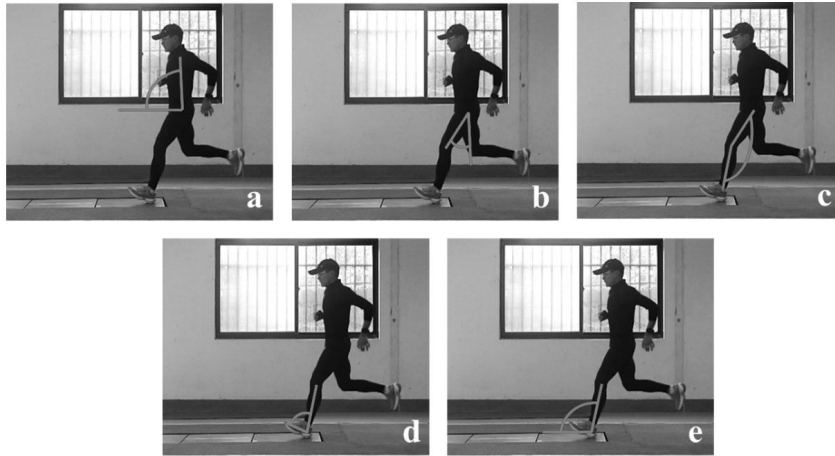


图2 特征时刻关节角度

Figure2 Joint angle at characteristic moments

动力学测试：通过三维测力台(9229A, Kistler, 瑞士)采集跑步支撑期受试者每侧3次地面反作用力数据(图3),采集频率为1 000 Hz,使用Excel进行数据处理和计算。

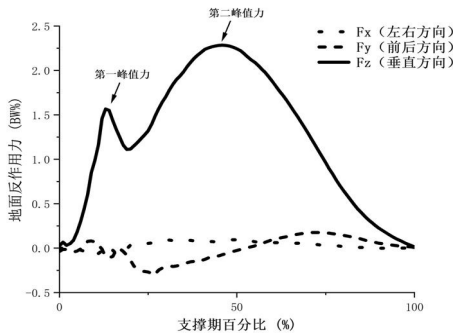


图3 地面反作用力示意图

Figure3 Ground reaction force

动力学指标参数及计算方法：①触地时间,单侧脚着地至离地的时间；②峰值力,垂直地面反作用力最大值,并进行体重标准化处理,单位记为BW%；③加载率,垂直方向峰值力与达到峰值力时间的比

值,并进行体重标准化处理,单位记为BW%/s；④冲量,支撑阶段地面反作用力与时间的积分,并进行体重标准化处理,单位记为BW%·s。

1.4 数据统计

使用SPSS26.0对实验结果进行统计学分析,数据采用平均值±标准差的形式表示。对损伤组患侧和健康组优势侧的基线数据使用卡方检验或独立样本t检验进行组间分析。多因素分析采用二分类Logistic回归分析,以是否发生RRI为因变量,t检验中具有统计学意义的指标为自变量,并将体重和标准化步速作为协变量纳入,一类误差概率设为α=0.05。

2 结果

为期4个月的观察期内,共有36位跑者报告出现46例RRI,损伤发生率为38%(表2)。损伤部位中,膝关节最常见(12例,26.1%),其次是踝关节(10例,21.7%)和足部(10例,21.7%)。损伤报告疼痛等级中,A级人数最多(24例,52.2%),B级次之(12例,26.1%)。

表2 4个月随访期损伤报告(n=46)

Table2 Injury report for the 4-month follow-up period(n=46)

损伤区域	疼痛等级(A)	疼痛等级(B)	疼痛等级(C)	疼痛等级(D)	合计
腰椎	1	-	-	-	1
髌关节	3	-	-	-	3
大腿	-	2	-	-	2
膝关节	7	3	1	1	12
小腿	4	3	1	-	8
踝关节	4	3	2	1	10
足部	5	1	3	1	10
合计	24	12	7	3	46

注:A表示轻微疼痛,可以坚持运动;B表示疼痛,适量降低跑量;C表示疼痛较剧烈,跑步暂停一周及以上;D表示疼痛剧烈,跑步暂停两周及以上。



2.1 基本信息

损伤史的各项指标中均无显著差异($P \geq 0.067$)(表3)。

损伤组和健康组在生理信息、跑步训练信息和

表3 损伤组与健康组的基本信息结果($\bar{X} \pm SD$)

Table3 Basic information of the injury group and the healthy group($\bar{X} \pm SD$)

指标	损伤组(n=36)	健康组(n=59)	P
性别(男性/女性)/人	26/10	42/17	0.915
年龄/岁	39.8±10.8	42.9±9.3	0.139
身高/cm	170.4±7.0	168.8±7.6	0.293
体重/kg	63.64±8.96	65.23±9.76	0.430
BMI/(kg·m ⁻²)	22.01±2.11	22.79±1.93	0.067
跑龄/月	40.6±27.4	44.8±23.6	0.437
月跑量/km	139.5±84.8	155.5±83.1	0.368
周跑频/(次·周 ⁻¹)	3.9±1.5	4.3±1.6	0.288
平均配速/(km·h ⁻¹)	7.36±1.01	7.21±0.86	0.579

2.2 人体测量学因素

双侧腿长差和动态Q角在两组之间均无显著差异($P \geq 0.316$)(表4)。

损伤组的静态Q角显著大于健康组($P=0.042$),

表4 损伤组与健康组的人体测量学结果($\bar{X} \pm SD$)

Table4 Anthropometric results of the injury group and the healthy group($\bar{X} \pm SD$)

指标	损伤组(n=36)	健康组(n=59)	P
双侧腿长差/cm	0.38±0.32	0.38±0.60	0.954
静态Q角/(°)	11.03±10.17	7.42±6.90	0.042*
动态Q角/(°)	7.98±11.46	5.71±10.11	0.316

注:*表示差异具有显著性, $P < 0.05$ 。

2.3 身体能力因素

的各项指标中均无显著差异($P \geq 0.287$)(表5)。

损伤组和健康组在Y平衡、关节活动度和肌力

表5 损伤组与健康组的身体能力结果($\bar{X} \pm SD$)

Table5 Physical capability results of the injury group and the healthy group($\bar{X} \pm SD$)

指标	损伤组(n=36)	健康组(n=59)	P
YBT综合得分/分	0.99±0.06	0.99±0.08	0.799
髋活动度/(°)	109.31±10.46	106.45±9.34	0.372
屈膝活动度/(°)	54.29±5.37	55.32±5.47	0.372
踝跖屈活动度/(°)	56.78±7.21	57.08±6.77	0.839
踝背屈活动度/(°)	15.40±2.41	15.42±3.12	0.973
髋外展肌力/N	146.50±34.13	152.20±32.43	0.871
伸膝肌力/N	300.69±58.54	300.15±64.02	0.287
屈膝肌力/N	143.25±43.83	138.66±48.71	0.788

2.4 跑步生物力学因素

组($P=0.031$),而其他各项跑步运动学指标均无显著差异($P \geq 0.090$)(表6)。损伤组和健康组各项跑步动力学指标均无显著差异($P \geq 0.163$)(表7)。

损伤组跑步着地时刻躯干前倾角显著小于健康组($P=0.016$)、着地时刻小腿地面夹角显著小于健康组($P=0.037$)、离地时刻小腿地面夹角显著大于健康



表 6 损伤组与健康组的跑步运动学结果 ($\bar{X}\pm SD$)

Table6 Kinematic results of the injury group and the healthy group($\bar{X}\pm SD$)

指标	损伤组(n=36)	健康组(n=59)	P	
步频/(步·min ⁻¹)	170.38±10.25	170.13±10.66	0.910	
标准化步长/BH%	0.59±0.10	0.58±0.10	0.702	
标准化步速/(BH%·s ⁻¹)	2.88±0.55	2.79±0.50	0.442	
着地时刻	躯干前倾角/(°)	91.89±4.55	94.24±4.52	0.016*
	髋关节角/(°)	21.05±7.99	20.63±6.52	0.782
	膝关节角/(°)	165.66±6.79	166.06±5.76	0.758
	踝关节角/(°)	84.58±6.79	85.81±6.28	0.374
膝关节最大屈曲时刻	小腿地面夹角/(°)	99.41±3.33	100.94±3.44	0.037*
	躯干前倾角/(°)	87.25±3.59	87.94±4.64	0.449
	髋关节角/(°)	18.95±5.76	18.13±4.82	0.457
	膝关节角/(°)	140.93±6.14	141.04±5.08	0.923
离地时刻	踝关节角/(°)	75.93±4.47	77.36±3.31	0.102
	小腿地面夹角/(°)	66.95±4.01	67.12±3.57	0.830
	躯干前倾角/(°)	83.07±6.66	80.94±4.15	0.090
	髋关节角/(°)	-15.59±6.89	-14.00±4.70	0.227
	膝关节角/(°)	166.92±8.25	166.30±5.10	0.651
	踝关节角/(°)	117.74±6.36	116.17±5.42	0.202
	小腿地面夹角/(°)	54.70±3.09	53.23±3.19	0.031*

注:* 表示差异具有显著性, $P < 0.05$ 。

表 7 损伤组与健康组的跑步动力学结果 ($\bar{X}\pm SD$)

Table7 Kinetic results of the injury group and the healthy group($\bar{X}\pm SD$)

指标	损伤组(n=36)	健康组(n=59)	P
触地时间/s	0.248±0.036	0.245±0.030	0.644
第一峰值力/BW%	1.799±0.412	1.776±0.415	0.786
第二峰值力/BW%	2.519±0.301	2.444±0.223	0.169
第一峰值力加载率/(BW%·s ⁻¹)	56.664±17.049	59.799±26.219	0.524
第二峰值力加载率/(BW%·s ⁻¹)	56.765±17.226	60.237±26.954	0.491
合力冲量/(BW%·s)	0.360±0.082	0.344±0.027	0.171
垂直力冲量/(BW%·s)	0.355±0.080	0.340±0.027	0.163
水平力冲量/(BW%·s)	0.047±0.009	0.046±0.007	0.474

2.5 Logistic 回归分析

为进一步确定影响 RRI 发生的因素, 将上述有统计学意义的变量(静态 Q 角、着地时刻躯干前倾角、着地时刻小腿地面夹角和离地时刻小腿地面夹角), 及临床上一般有意义的体重和标准化步速放入 Logistic 回归模型中进行多因素分析, 将损伤与健康

分组作为因变量。结果显示跑步着地时刻小腿地面夹角 ($OR=0.853, P=0.039$) 与离地时刻小腿地面夹角 ($OR=1.222, P=0.014$) 可作为预测是否发生跑步损伤的敏感指标, 提示着地时刻小腿地面夹角越小 ($OR < 1$) 或离地时刻小腿地面夹角越大 ($OR > 1$), RRI 损伤发生的可能性增大(表 8)。

表 8 Logistic 回归分析结果 ($\bar{X}\pm SD$)

Table8 Results of logistic regression analysis($\bar{X}\pm SD$)

指标	β	P	OR(95%CI)
静态 Q 角/(°)	0.034	0.253	1.035(0.976~1.097)
着地时刻躯干前倾角/(°)	-0.109	0.059	0.897(0.801~1.004)
着地时刻小腿地面夹角/(°)	-0.160	0.039*	0.852(0.732~0.992)
离地时刻小腿地面夹角/(°)	0.201	0.014*	1.222(1.041~1.434)
体重/kg	-0.033	0.216	0.967(0.917~1.020)
标准化步速/(BH%·s ⁻¹)	0.530	0.307	1.698(0.615~4.686)

注:* 表示指标对 RRI 预测具有统计学意义, $P < 0.05$ 。



3 讨论

3.1 观察期损伤情况分析

本研究发现 RRI 的损伤发生率为 38%, 处于前人^[28]文献中 25%~65% 的区间内。而损伤率大小可能因观察期时长增加而上升, 本研究中损伤率低于一般 RRI 相关文献, 这可能与观察期较短仅持续 4 个月有关。一项对大众跑者为期 2 年的前瞻性观察实验发现, 252 人中 199 名有损伤报告, 损伤率高达 66%^[29], 而另一项对于 844 名大众跑者为期 13 周的前瞻性实验, 报告损伤率仅为 29.5%^[30], 这表明尽管样本量大小从 95 人至 844 人不等, 但由于观察期时长增加, 损伤率随之上升。

本研究发现 RRI 主要损伤部位集中在膝关节以下区域, 包括膝关节(26.1%)、踝关节(21.7%)、足部(21.7%)和小腿(17.4%), 约占 RRI 总数量的 87%, 剩下 13% 的损伤则发生在膝关节以上部位(大腿、髌关节和腰椎), 这与以往研究结果相似^[30-32]。哥伦比亚大学运动医学系对 5 992 例 RRI 病例回顾发现膝关节是最频繁发生损伤的部位(48%), 其次是腿部(20.4%)和足部(17.2%)^[33]。另一项弗朗西斯坎运动医学中心 860 例过度跑步损伤案例中, 髌股疼痛综合症的损伤报告出现频率最高^[34], 说明膝关节损伤是影响跑者运动健康的主要因素, 而对于踝关节和足底部位, 跟腱炎症和足底筋膜炎是发生频率较高的 RRI 类型^[33-34]。因此大众跑者需要格外重视膝关节、踝关节和足部的保护与损伤预防。

3.2 生理与跑步训练信息分析

本研究未发现性别因素在损伤组和健康组之间存在显著差异。Hollander 等^[28]总结了 38 项 RRI 相关的前瞻性研究数据, 涉及超过 35 689 名业余跑者和 518 000 名职业跑者, 发现女性和男性跑者的分布相似(女性占 40.8%~50.7%), 性别比例趋于平等。跑者个体生理结构和运动方式的差异可能是影响性别预测 RRI 危险因素准确性的原因之一。一项 Meta 分析发现, 在 10 km 以及更短的赛程中, 女性运动员损伤风险较高, 而在 10 km 以上的赛程中, 男性运动员损伤风险反而更高^[14]。多项研究数据发现, 男性跑者跟腱区域的发病率是女性跑者的两倍^[29], 而女性跑者发生骨应力性损伤的风险则是男性跑者的两倍^[35]。因此, 性别对 RRI 损伤发生率的影响有限, 但可能与某些特定类型的 RRI 有关。大众跑者应根据性别差异对日常跑量进行选择控制, 并针对跟腱损伤或骨质损伤进行提前预防和干预。

本研究未发现年龄在损伤组和健康组之间的显著差异。年龄被认为是 RRI 的主要危险因素之一, 但在不同研究中表现出相互矛盾的结果。Krabak 等^[36]对参加超级马拉松的 396 名跑者进行回顾性分析, 发现与 25 岁以下跑者相比, 40 岁以上跑者 RRI 风险显著降低。Taunton 等^[30]对 844 名大众跑者的长期调查发现, 年龄 50 岁以上是 RRI 的总体风险因素, 而 31 岁以下是新发伤害的保护因素。这可能与年龄增长对大众跑者的淘汰机制有关, 在运动损伤和疾病等原因造成运动终止后剩下的大龄跑者代表了最健康的跑者群体, RRI 发生率随之下降。然而, 具体年龄与跑步损伤的关系可能受到其他因素影响, 因此需要进一步的研究来全面了解这一关系。

本研究未发现损伤组和健康组在 BMI 上的显著差异, BMI 作为 RRI 危险因素的作用不明确。在前人研究中, BMI 与 RRI 的关系表现出不一致的结果。Buist 等^[37]和 Vitez 等^[38]的研究发现, 较高的 BMI 是男性跑者的危险因素, 提示因额外体重增加的关节应力是一种损伤机制。而其他研究表明 BMI 较低是女性发生应力性骨折的危险因素, 而高 BMI 是男性过劳性跑步损伤的保护因素之一^[28-29]。本研究所纳入受试者为业余跑者, 男性和女性 BMI 分别为 $(23.1 \pm 1.9) \text{ kg/m}^2$ 和 $(20.9 \pm 1.5) \text{ kg/m}^2$, 符合我国成人 BMI 的正常范围 18.5~23.9 kg/m^2 , 所纳入的跑者没有过度肥胖或者消瘦, 无法说明 BMI 增大或下降到一定量级对于 RRI 的影响, 后续研究可以纳入更大范围 BMI 的跑者来探究 BMI 对于 RRI 的影响。

本研究未发现跑步训练信息(跑龄、月跑量、周跑频和配速)在损伤组和健康组之间存在显著差异。前人研究中, 跑步训练因素是否可以预测 RRI 一直存在较大争议。40 年来, 运动医学临床医生和研究人员将周跑量过高作为 RRI 的预测因素之一^[39], 对 583 名良好跑步习惯跑者 12 个月的观察发现, 周跑量 40 英里(约 64 km)是 RRI 的显著预测因素^[13]。而相比回顾性研究, 发现损伤组和健康组之间跑量没有显著性差异^[40-41]。跑量对 RRI 的预测影响可能具有阀门效应(Valve Effect), 每个跑者或许存在一个周跑量的阈值, 超过阈值, 其他异常压力源就会出现并造成骨骼肌肉损伤。杨辰^[42]对髌股关节痛患者疼痛危险因素的实验设计中, 通过控制受试者日常跑量成功诱发髌股关节疼痛症状, 这从侧面反映了跑量与 RRI 之间存在阈值的潜在可能性。但是, 该阈值又可能与跑者个体骨骼肌肉组织的承载能力有关, 不能只对跑者训练中所承载的负荷量进行考量, RRI 的发生可能是组织承载能力与其载荷量二者共



同影响的结果。

3.3 人体测量学因素分析

本研究发现静态 Q 角在损伤组和健康组之间存在显著差异,但是通过 Logistic 回归分析未发现其与 RRI 之间的关系,因此静态 Q 角可能不是导致 RRI 损伤风险增加的潜在因素。理论上,较大的 Q 角增加了髌骨对股骨外侧髁的侧向拉力,会使跑者因异常机械应力而发生肌肉骨骼过度使用损伤。因此,Q 角常被作为髌股关节痛患者、精英跑者和大众跑者 RRI 的预测变量^[43]。本研究中,损伤组的静态 Q 角明显大于健康组,组间均值差达到 3.6°。Rauh 等^[44]对 393 名高中越野跑者的前瞻性观察也发现相似现象,相比于 Q 角为 10°~15°的跑者,Q 角为 20°的跑者中 RRI 的风险增加了 1.7 倍,且出现更频繁的膝关节损伤报告。但 Q 角测量位置和方案的变化可能会影响 Q 角的实测值,这限制了在不同研究之间的横向比较,所以在未来的实验设计中,Q 角的测试方案需标准化。

本研究未发现动态 Q 角在损伤组和健康组间存在显著差异,测试方法可能是影响测试结果的主要原因之一。在进行下肢活动时,因为骨盆、髌骨中心和胫骨粗隆的空间位置不断发生变化,Q 角也处于动态变化值^[45]。尤其在动态 Q 角测试中,运动模式、个体生物力学特征和病理学特征都会影响实测值^[45],这可能是研究动态 Q 角与各种病理关系时,研究结果相互矛盾的客观原因。在动态 Q 角测试程序中,应考虑投影角对测试结果的影响,在动态 Q 角测试时受试者被要求保持单腿屈膝 30°姿势,此时,姿势控制较差的受试者会因下肢力量不足而导致髌关节内收、内旋和膝关节外翻等代偿动作,额状面投影角会因动作幅度变大而增大,进而影响测试结果的准确性,出现动态 Q 角测量值增大的情况,从而引起动态 Q 角数据离散程度较大。

3.4 身体能力因素分析

本研究未发现 YBT 综合得分在损伤组和健康组间存在显著差异,可能与测试人群在年龄、性别和运动习惯等因素上存在差异有关。Plisky 等^[46]和 Powden 等^[47]对 YBT 的系统分析发现,YBT 测试存在运动习惯和性别差异,预测研究只能使用特定的人群切入点或检验特殊人群进行分析,预测结果在不同研究之间存在差异。本研究在招募受试者时,对年龄和性别等因素没有进行限制,这可能是 YBT 在损伤组与健康组之间没有表现出显著差异的客观因

素。在对智力障碍跑者和高中越野跑者的研究中,YBT 综合得分皆表现出与 RRI 的显著相关性^[27,48]。目前,YBT 与 RRI 之间的关系尚不明确,未来的研究应该利用人群特异性作为切入点来确定其在伤害预测中的有效性。

本研究未发现损伤组和健康组在髌关节屈曲、膝关节屈曲、踝关节跖屈和踝关节背屈活动度上的显著差异,下肢关节活动度对 RRI 影响的证据有限。对于膝关节屈曲活动度,两项针对患有跟腱病的混合人群大众跑者在不同观察实验中发现了相矛盾的结果。一项研究发现患病人群较于健康人群的膝关节屈曲峰值较小^[20],而另一项研究则表明膝关节屈曲峰值与 RRI 之间没有显著相关性^[31]。而在对混合人群跑者的前瞻性研究中发现,踝关节背屈活动度与 RRI 之间没有显著性差异,不是 RRI 的危险因素^[49-50]。系统综述认为下肢关节活动度可能不是 RRI 整体损伤的危险因素,但对于某些特定的 RRI 会有一定影响^[51]。对于髌膝踝关节活动度对 RRI 的影响还有待进一步研究论证。

本研究未发现损伤组和健康组在髌外展、伸膝和屈膝肌力上存在显著差异。下肢肌肉力量不足常被作为 RRI 危险因素,这可能归因于周围肌肉的吸收冲击能力降低^[51]。也许加强神经肌肉控制能力,提高跑者有效利用肌肉力量的效率,在预防损伤方面比单纯力量训练更重要。而系统综述认为在不同的前瞻性研究中,髌膝踝关节肌力在基线测试中的差异对研究结果表现出不同的影响,其中髌外展肌力薄弱可能与跑者的髌胫束综合征有关^[51]。

3.5 跑步生物力学因素分析

本研究发现跑步着地时刻躯干前倾角度在损伤组和健康组之间存在显著差异,但是通过 Logistic 回归分析未发现其与 RRI 之间的关系,因此跑步着地时刻躯干前倾角度可能不是导致 RRI 损伤风险增加的潜在因素。Folland 等^[52]在研究跑步技术对跑步表现的影响时指出,着地时躯干角度较大会导致较小的制动效应,减少了水平方向上的减速,从而使跑者能够更有效地保持速度和节省能量。此外,较小的制动效应也能减轻跑步时身体承受的冲击力,降低损伤风险。Haghighat 等^[53]对女性膝前痛患者进行跑步时的运动学分析发现,实验组相比对照组表现出较小的躯干前倾角度,这种异常的运动学表现可能会导致更大幅度的髌关节内旋和外展,从而增加膝关节内旋和外展的力矩峰值,导致膝前痛症状。

本研究还发现着地和离地时刻小腿地面夹角在



健康组和损伤组之间呈显著差异,且 Logistic 回归分析表明着地时刻较小的小腿地面夹角和离地时刻较大的小腿地面夹角增大了 RRI 发生的可能性,因此本研究认为着地和离地时刻更加垂直的小腿与地面夹角可能是导致 RRI 损伤风险增加的潜在因素。小腿地面夹角反映了足部和膝关节在跑步时的相对位置变化。在本研究中,损伤组在着地与离地时刻的小腿地面夹角相较于健康组更接近垂直状态,这或许是导致膝关节和足部高损伤率的潜在因素。Folland 等^[52]观察到更垂直的小腿地面夹角与跑步性能呈负相关,在跑步着地时刻较垂直的小腿地面夹角可能导致垂直方向的振荡增加以及水平方向的制动过多,进而导致速度和能量损耗的增加,长期情况下可能会增加下肢关节慢性损伤的风险。Folland 等^[52]研究发现,运动成绩较好的跑者在跑步支撑期小腿相对于地面有更大的摆动角度和更好的跑步性能,可以说明更快的步速与更大的小腿摆动角度有关联。Derrick 等^[54]和 Hamill 等^[55]研究证明,较为垂直的小腿地面夹角可能导致步幅缩短,增加支撑期摩擦和冲击力,增大对下肢关节和肌肉的压力,导致 RRI 风险上升。足着地模式的变化可能与小腿摆动角度有关,Xu 等^[56]研究发现,前足着地模式较于后足和中足着地模式,可能会减少膝关节屈曲活动度,并且前足着地模式与较高的踝关节力矩有关,而较高的踝关节力矩表明更大的跖屈肌力,这可能会增加跟腱的应力和应变,并增加踝关节 RRI 风险。本研究中,着地时刻和离地时刻的小腿地面夹角更加垂直可以作为初步证据,为之后的进一步研究提供方向。

本研究未发现损伤组和健康组在跑步支撑阶段地面反作用力峰值、加载率和冲量等动力学因素上存在显著差异。垂直力加载率和第一峰值力理论上被认为是预测 RRI 的重要危险因素,但研究设计、测试程序和受试者个体特征的差异增大了动力学参数的变异性,导致相关预测因素的准确性降低。前瞻性研究与回顾性研究在方法学上均存在局限性,与回顾性研究不同,前瞻性研究发现在患有胫骨应力性骨折^[28]和足底筋膜病史^[57]的跑者中表现出更高的垂直力加载率。这种差异可能是因为前瞻性研究广泛涵盖了多个人群的 RRI 案例分析,而回顾性研究则更专注于特定人群的 RRI。垂直力加载率的影响可能在性别和损伤定义方面存在差异,在男性大众跑者中,存在更高的垂直力加载率^[58],而在女性大众跑者^[30]和混合性别越野跑者^[59]中,并未观察到明显差异;对需要医疗辅助的跑者和从未受伤的跑者进行前瞻性观察实验,垂直力加载率呈现高度相关性^[52],

而在受伤跑者和未受伤跑者之间,垂直力加载率并无显著相关性。受试者个体特征的差异对垂直力加载率和峰值力有直接影响,个体特征包括跑鞋类型(高度缓冲、中度缓冲和弱缓冲跑鞋)和足着地模式(前足、中足和足跟着地)。本研究未对跑者的跑鞋类型和足着地模式进行限制或分类,研究发现,足跟着地跑者的垂直力峰值出现在着地后即刻,而足前掌和全掌着地跑者则滞后出现^[60],所以足跟着地跑者的峰值力加载率更高。

3.6 局限性与展望

本研究存在一定局限性。首先,本研究受限于人力和物力等因素,设定的 4 个月观察期相对较短,这可能会导致观察期之后的 RRI 未能纳入本研究而影响研究结果。其次,本研究最终纳入的 95 人样本量相对较小,这可能会增加研究结果的偏倚风险。另外,本研究仅采用调查问卷的形式来收集跑者的基本信息和损伤情况,这种方法可能会存在一定主观性,且跑步训练信息由跑者通过可穿戴设备监测并提供,未限制其使用的设备类别和型号,这也可能会对数据的准确性产生一定影响。

未来,建议对更大样本量跑者进行更长观察期的前瞻性研究,在观察期内通过运动医学专家对跑者观察期内的损伤情况进行评估和筛查,并在人力和物力允许的情况下对可能引起样本间差异的因素(如采集跑步训练信息时可穿戴设备的类别与型号等)进行统一,以便更为全面和准确地确定可能导致 RRI 的潜在危险因素。

4 结论与建议

4.1 结论

在大众跑者中,RRI 发生率较高,损伤部位以下肢膝、踝关节和足部为主。跑步着地时刻和离地时刻小腿更加垂直于地面可能是导致大众跑者 RRI 损伤风险增加的潜在因素。

静态 Q 角和跑步着地时刻躯干前倾角度在损伤组和健康组之间存在差异,但未发现其与损伤风险之间的关系,因此可能不是导致大众跑者 RRI 损伤风险增加的潜在因素。

4.2 建议

根据本研究得到的结论,大众跑者在跑步过程中应格外重视支撑阶段的跑步姿态,尤其是小腿与地面夹角在支撑阶段的变化,若在着地时刻与离地时刻的小腿地面角度有向垂直角偏移的趋势,应及



时通过跑姿纠正性训练进行调整,改善小腿地面角度,以预防 RRI 的发生并降低风险。

将不同类型 RRI 作为整体进行调查时,生理因素(性别、年龄、BMI)、跑步训练因素(跑龄、跑量、跑频和配速)、人体测量学因素(双侧腿长差和动态 Q 角)、身体能力因素(YBT 综合得分、下肢活动度和肌力等)和跑步生物力学因素(步频、步长和步速,下肢各关节矢状面角度,地面反作用力峰值、加载率和冲量等)等其他指标可能与大众跑者 RRI 无关,有待后续研究进一步调查这些指标与不同类型 RRI(髌股关节痛、跟腱炎、足底筋膜炎等)之间的关系。

参考文献:

- [1] 《2022 全民跑步运动健康报告》发布[EB/OL].(2022-12-15) [2023-09-01].https://health.gmw.cn/2022-12/15/content_36237123.htm.
- [2] HESPANHOL JUNIOR L C, VAN MECHELEN W, POSTUMA E, et al. Health and economic burden of running-related injuries in runners training for an event: A prospective cohort study[J]. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 2016, 26(9):1091-1099.
- [3] FIELDS K B. Running injuries-changing trends and demographics[J]. *Current Sports Medicine Reports*, 2011, 10(5):299-303.
- [4] YAMATO T P, SARAGIOTTO B T, HESPANHOL JUNIOR L C, et al. Descriptors used to define running-related musculoskeletal injury: A systematic review [J]. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 2015, 45(5):366-374.
- [5] FRANCIS P, WHATMAN C, SHEERIN K, et al. The proportion of lower limb running injuries by gender, anatomical location and specific pathology: A systematic review[J]. *Journal of Sports Science and Medicine*, 2019, 18(1):21-31.
- [6] BULDT A K, MURLEY G S, BUTTERWORTH P, et al. The relationship between foot posture and lower limb kinematics during walking: A systematic review[J]. *Gait Posture*, 2013, 38(3):363-372.
- [7] HADJ-MOUSSA F, NGAN C C, ANDRYSEK J. Biomechanical factors affecting individuals with lower limb amputations running using running-specific prostheses: A systematic review[J]. *Gait Posture*, 2022, 92:83-95.
- [8] VILJOEN C, JANSE VAN RENSBURG D C C, VAN MECHELEN W, et al. Trail running injury risk factors: A living systematic review[J]. *British Journal of Sports Medicine*, 2022, 56(10):577-587.
- [9] HRELJAC A. Etiology, prevention, and early intervention of overuse injuries in runners: A biomechanical perspective[J]. *Physical Medicine and Rehabilitation Clinics of North America*, 2005, 16(3):651-667,vi.
- [10] MALISOUX L, NIELSEN R O, URHAUSEN A, et al. A step towards understanding the mechanisms of running-related injuries[J]. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 2015, 18(5):523-528.
- [11] FRIEDL K E, LOONEY D P. With life there is motion. Activity biomarkers signal important health and performance outcomes[J]. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 2023, 26(Suppl 1):S3-S8.
- [12] KAKOURIS N, YENER N, FONG D T P. A systematic review of running-related musculoskeletal injuries in runners[J]. *Journal of Sport and Health Science*, 2021, 10(5):513-522.
- [13] VAN POPPEL D, VAN DER WORP M, SLABBEKOORN A, et al. Risk factors for overuse injuries in short-and long-distance running: A systematic review[J]. *Journal of Sport and Health Science*, 2021, 10(1):14-28.
- [14] VAN DER WORP M P, TEN HAAF D S, VAN CINGEL R, et al. Injuries in runners; a systematic review on risk factors and sex differences[J]. *PLoS One*, 2015, 10(2):e0114937.
- [15] MESSIER S P, LEGAULT C, SCHOENLANK C R, et al. Risk factors and mechanisms of knee injury in runners[J]. *Medicine & Science in Sports*, 2008, 40(11):1873-1879.
- [16] HRELJAC A, MARSHALL R N, HUME P A. Evaluation of lower extremity overuse injury potential in runners [J]. *Medicine & Science in Sports*, 2000, 32(9):1635-1641.
- [17] ALMEIDA M O, DAVIS I S, LOPES A D. Biomechanical differences of foot-strike patterns during running: A systematic review with meta-analysis[J]. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 2015, 45(10):738-755.
- [18] SCHUBERT A G, KEMPF J, HEIDERSCHEIT B C. Influence of stride frequency and length on running mechanics: A systematic review[J]. *Sports Health*, 2014, 6(3):210-217.
- [19] CEYSSSENS L, VANELDEREN R, BARTON C, et al. Biomechanical risk factors associated with running-related injuries: A systematic review[J]. *Sports Medicine*, 2019, 49(7):1095-1115.
- [20] VANNATTA C N, HEINERT B L, KERNOSZEK T W. Biomechanical risk factors for running-related injury differ by sample population: A systematic review and meta-analysis[J]. *Clinical Biomechanics (Bristol, Avon)*, 2020, 75:104991.
- [21] WILLWACHER S, KURZ M, ROBBIN J, et al. Run-



- ning-related biomechanical risk factors for overuse injuries in distance runners: A systematic review considering injury specificity and the potentials for future research[J]. *Sports Medicine*, 2022, 52(8):1863-1877.
- [22] WITVROUW E, LYSSENS R, BELLEMANS J, et al. Intrinsic risk factors for the development of anterior knee pain in an athletic population. A two-year prospective study[J]. *American Journal of Sports Medicine*, 2000, 28(4):480-489.
- [23] DE SOUZA JÚNIOR J R, GAUDETTE L W, TENFORDE A S. Comment on “running-related biomechanical risk factors for overuse injuries in distance runners: A systematic review considering injury specificity and the potentials for future research” [J]. *Sports Medicine*, 2023, 53(5):1103-1105.
- [24] YAMATO T P, SARAGIOTTO B T, HESPANHOL JUNIOR L C, et al. Descriptors used to define running-related musculoskeletal injury: A systematic review [J]. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 2015, 45(5):366-374.
- [25] YAMATO T P, SARAGIOTTO B T, LOPES A D. A consensus definition of running-related injury in recreational runners: A modified Delphi approach[J]. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 2015, 45(5): 375-380.
- [26] BACHASSON D, VILLIOT-DANGER E, VERGES S, et al. Mesure ambulatoire de la force maximale volontaire isométrique du quadriceps chez le patient BPCO[J]. *Revue des Maladies Respiratoires*, 2014, 31(8): 765-770.
- [27] RUFFE N J, SORCE S R, ROSENTHAL M D, et al. Lower quarter-and upper quarter y balance tests as predictors of running-related injuries in high school cross-country runners[J]. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 2019, 14(5):695-706.
- [28] HOLLANDER K, RAHLF A L, WILKE J, et al. Sex-specific differences in running injuries: A systematic review with meta-analysis and meta-regression[J]. *Sports Medicine*, 2021, 51(5):1011-1039.
- [29] LAGAS I F, FOKKEMA T, VERHAAR J A N, et al. Incidence of Achilles tendinopathy and associated risk factors in recreational runners: A large prospective cohort study[J]. *Journal of science and medicine in sport*, 2020, 23(5):448-452.
- [30] TAUNTON J E, RYAN M B, CLEMENT D B, et al. A prospective study of running injuries: The Vancouver Sun Run “In Training” clinics[J]. *British Journal of Sports Medicine*, 2003, 37(3):239-244.
- [31] DAVIS I S, BOWSER B J, MULLINEAUX D R. Greater vertical impact loading in female runners with medically diagnosed injuries: A prospective investigation[J]. *British Journal of Sports Medicine*, 2016, 50(14):887-892.
- [32] TAUNTON J E, RYAN M B, CLEMENT D B, et al. A retrospective case-control analysis of 2002 running injuries[J]. *British Journal of Sports Medicine*, 2002, 36(2):95-101.
- [33] MACINTYRE J G, TAUNTON J E, CLEMENT D B, et al. Running injuries: A clinical study of 4,173 cases [J]. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 1991, 1(2):81.
- [34] BALLAS M T, TYTKO J, COOKSON D. Common overuse running injuries: Diagnosis and management[J]. *American Family Physician*, 1997, 55(7):2473-2484.
- [35] LIN C Y, CASEY E, HERMAN D C, et al. Sex differences in common sports injuries[J]. *PM & R: the Journal of Injury, Function, and Rehabilitation*, 2018, 10(10): 1073-1082.
- [36] KRABAK B J, WAITE B, SCHIFF M A. Study of injury and illness rates in multiday ultramarathon runners [J]. *Medicine & Science in Sports*, 2011, 43(12):2314-2320.
- [37] BUIST I, BREDEWEG S W, LEMMINK K A, et al. Predictors of running-related injuries in novice runners enrolled in a systematic training program: A prospective cohort study[J]. *American Journal of Sports Medicine*, 2010, 38(2):273-280.
- [38] VITEZ L, ZUPET P, ZADNIK V, et al. Running injuries in the participants of Ljubljana marathon[J]. *Zdrav Varst*, 2017, 56(4):196-202.
- [39] VAN MECHELEN W. Running injuries. A review of the epidemiological literature[J]. *Sports Medicine*, 1992, 14(5):320-335.
- [40] MCCRORY J L, MARTIN D F, LOWERY R B, et al. Etiologic factors associated with Achilles tendinitis in runners[J]. *Medicine & Science in Sports*, 1999, 31(10): 1374-1381.
- [41] MESSIER S P, DAVIS S E, CURL W W, et al. Etiologic factors associated with patellofemoral pain in runners[J]. *Medicine & Science in Sports*, 1991, 23(9): 1008-1015.
- [42] 杨辰.基于下肢生物力学特征的髌股关节痛危险因素研究[D].北京:北京体育大学, 2018.
- [43] SKOURAS A Z, KANELLOPOULOS A K, STASI S, et al. Clinical significance of the static and dynamic Q-angle[J]. *Cureus*, 2022, 14(5): e24911.
- [44] RAUH M J, KOEPESELL T D, RIVARA F P, et al. Quadriceps angle and risk of injury among high school cross-country runners[J]. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 2007, 37(12):725-733.



- [45] PANTANO K J, WHITE S C, GILCHRIST L A, et al. Differences in peak knee valgus angles between individuals with high and low Q-angles during a single limb squat[J]. *Clinical Biomechanics* (Bristol, Avon), 2005, 20(9):966-972.
- [46] PLISKY P, SCHWARTKOPF-PHIFER K, HUEBNER B, et al. Systematic review and meta-analysis of the Y-balance test lower quarter: Reliability, discriminant validity, and predictive validity[J]. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 2021, 16(5):1190-1209.
- [47] POWDEN C J, DODDS T K, GABRIEL E H. The reliability of the star excursion balance test and lower quarter y-balance test in healthy adults: A systematic review [J]. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 2019, 14(5):683-694.
- [48] JOUIRA G, REBAI H, SAHLI S. Reliability of Y balance test in runners with intellectual disability[J]. *Journal of Sport Rehabilitation*, 2023, 32(1):91-95.
- [49] KUHMANN D J, PAQUETTE M R, PEEL S A, et al. Comparison of ankle kinematics and ground reaction forces between prospectively injured and uninjured collegiate cross country runners[J]. *Human Movement Science*, 2016, 47:9-15.
- [50] HEIN T, JANSSEN P, WAGNER-FRITZ U, et al. Prospective analysis of intrinsic and extrinsic risk factors on the development of Achilles tendon pain in runners[J]. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 2014, 24(3):e201-e212.
- [51] 杨辰,冯茹,万祥林,等.跑步相关损伤危险因素与干预手段研究进展[J].*中国运动医学杂志*,2022,41(6):484-493.
- [52] FOLLAND J P, ALLEN S J, BLACK M I, et al. Running technique is an important component of running economy and performance[J]. *Medicine & Science in Sports*, 2017, 49(7):1412-1423.
- [53] HAGHIGHAT F, EBRAHIMI S, REZAIIE M, et al. Trunk, pelvis, and knee kinematics during running in females with and without patellofemoral pain[J]. *Gait Posture*, 2021, 89:80-85.
- [54] DERRICK T R. The effects of knee contact angle on impact forces and accelerations[J]. *Medicine & Science in Sports*, 2004, 36(5):832-837.
- [55] HAMIL J, PALMER C, VAN EMMERIK R E. Coordinative variability and overuse injury[J]. *Journal of Sports Medicine, Arthroscopy, Rehabilitation and Technology*, 2012, 4(1):45.
- [56] XU Y, YUAN P, WANG R, et al. Effects of foot strike techniques on running biomechanics: A systematic review and meta-analysis[J]. *Sports Health*, 2021, 13(1):71-77.
- [57] POHL M B, HAMIL J, DAVIS I S. Biomechanical and anatomic factors associated with a history of plantar fasciitis in female runners[J]. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 2009, 19(5):372-376.
- [58] BREDEWEG S W, BUIST I, KLUITENBERG B. Differences in kinetic asymmetry between injured and non-injured novice runners: A prospective cohort study[J]. *Gait Posture*, 2013, 38(4):847-852.
- [59] DUDLEY R I, PAMUKOFF D N, LYNN S K, et al. A prospective comparison of lower extremity kinematics and kinetics between injured and non-injured collegiate cross country runners[J]. *Human Movement Science*, 2017, 52:197-202.
- [60] DAOUD A I, GEISSLER G J, WANG F, et al. Foot strike and injury rates in endurance runners: A retrospective study[J]. *Medicine & Science in Sports*, 2012, 44(7):1325-1334.

(责任编辑:刘畅)

(上接第47页)

- [9] 马宏俊.中国体育法治发展报告(1949—2019)[M].北京:北京大学出版社,2021:171.
- [10] 黄晖,张春良.国际体育仲裁专题研究[M].北京:中国社会科学出版社,2017:56-58.
- [11] 张笑世.体育纠纷解决机制的构建[J].*体育学刊*,2005(5):15-18.
- [12] 韩勇.体育纪律处罚争议解决中体育协会内部仲裁与外部体育仲裁关系研究[J].*仲裁研究*,2006(4):10.
- [13] 中国足球协会关于印发《中国足球协会章程》的通知[EB/OL].[2023-12-02].<https://www.thecfa.cn/xhzc/20191204/28392.html>.
- [14] 刘韵.体育强国建设背景下我国体育纠纷多元解决机制的建构:兼评新《体育法》“体育仲裁”章[J].*中国体育科技*,2022,58(9)88-95.

(责任编辑:晏慧)