

足部评估及训练预防跑步损伤的研究进展

赵仙丽¹, 李心瑜², 吴绪波^{1,3*}, 单春雷^{1,4}, 张亦辉¹, 张彩¹

1 上海中医药大学, 上海 201203;

2 上海慈源康复医院, 上海 201800;

3 上海中医药大学附属上海市第七人民医院, 上海 200137;

4 上海中医药大学附属岳阳中西医结合医院, 上海 200437

* 通信作者: 吴绪波, E-mail: wuxubo320@163.com

收稿日期: 2022-04-25; 接受日期: 2022-07-19

基金项目: 上海市卫生计生委智慧医疗项目(2018ZHYL0216); 上海市浦东新区临床高原学科建设项目(NPWTgy2018-05);

上海中医药大学“卓越治疗师”计划(A4-Q200310808)

DOI: 10.3724/SP.J.1329.2022.05013

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



摘要 跑步是最受欢迎的休闲体育活动之一,也是临床康复治疗中常见的推荐运动项目。随着大众健身需求和健康意识的不断增强,跑步不当所致的运动损伤也随之俱增,提高跑者运动损伤风险评估及预防干预迫在眉睫。跑步损伤(RRI)是指在跑步练习过程中或因跑步而出现的影响跑步活动进行的各种下肢与下背部不适。跑步爱好者中RRI发病率高且容易复发,寻找能够有效预防RRI的评估工具和干预方法,有利于减少RRI的潜在人群。目前RRI预测方法多从既往损伤、错误动作和过劳性因素等角度出发,大多没有明确、直观的数值预测RRI的发生概率。从足部评估角度预测RRI较为常见,并不断出现与之相关的评估工具和方法,其中足姿指数(FPI-6)和足底压力评估目前应用较为广泛。跑步前通过评估跑者的足部结构和功能,同时针对足部进行跑前、跑中等相关训练,可预防和减少RRI的发生,为科学制定跑步训练计划提供依据。本文总结了常见RRI足部评估工具,并从足部肌力训练、足部落地模式训练和跑前适应性训练等角度对目前临床上常见的预防RRI的足部干预策略进行综述,提出跑者开始跑步训练计划前可根据中立位足FPI-6、足底压力分布和足弓形态等作为客观参考依据进行RRI风险评估,对足部薄弱部位加强锻炼;每次提升跑步强度前,可进行一段时间肌力训练,尤其注重足部核心肌群训练;对于踝部活动度和肌力不足的跑者,建议执行后足落地模式,对于有膝关节或小腿损伤的跑者,可选择前中足落地模式。

关键词 跑步损伤;足部训练;足姿指数;足底压力;预防

跑步是最受欢迎的体育运动活动之一,也是临床运动康复中常见的推荐运动项目。跑步损伤(running-related injury, RRI)是指在跑步练习过程中或由于跑步而出现的各种下肢与下背部不适,这类损伤延缓或阻碍跑步的进行至少1 d^[1]。2020年该定义得到拓展,即自我报告的由跑步引起的背部或下肢肌肉、关节、肌腱和/或骨骼的损伤,导致跑步距离、速度、时间或频率降低至少7 d^[2]。虽然RRI的定义得到了修改和完善,但有2个要点是共通的:

① 由跑步引起的背部或下肢的肌骨损伤;② 损伤延缓甚至阻碍患者进行跑步活动。对于跑步爱好者, RRI的年发病率为37%~56%,复发率为20%~70%^[3];约20%~70%的RRI患者需要接受治疗,约5%的患者无法正常外出工作^[1]。1项对照试验发现跑者2周内每周增加30%的跑步距离,出现RRI的比率平均增加59%^[4]。由于RRI在跑步人群中具有高发病率和高复发的特点,提高跑者RRI风险评估及预防干预迫在眉睫。足部是跑步活动中唯一

引用格式: 赵仙丽, 李心瑜, 吴绪波, 等. 足部评估及训练预防跑步损伤的研究进展[J]. 康复学报, 2022, 32(5): 471-476.

ZHAO X L, LI X Y, WU X B, et al. Progress on foot assessment and training to prevent running-related injuries [J]. Rehabilitation Medicine, 2022, 32(5): 471-476.

DOI: 10.3724/SP.J.1329.2022.05013

与地面接触的身体部分,直接提供跑步动力并初步缓冲地面冲击力。本文将从足部着手,总结常见的RRI预测评估工具,并从足部肌力训练、足部落地模式训练、跑前适应性训练等角度概述预防RRI的临床干预和康复方法。

1 RRI预测方法

目前,预测RRI的主要因素包括既往损伤、错误动作和过劳性因素三大类^[5]。基本都是通过估量的方法进行预测,大都没有明确直观的数值预测RRI的发生率。以下从足部评估角度概述其中研究较多的预测RRI方法。

1.1 足姿指数

足姿指数(foot posture index, FPI-6)通过评估足部的特定部位将足姿分为旋前、旋后和中立3种,包括距骨头触诊、外踝上下曲率、跟骨额平面位置、距骨关节区隆起、内侧纵弓高度和弧度以及足趾可见度6项,每项评分-2~2分,将6项评分相加,总分0~5之间为中立位, ≤ -1 为足旋后, ≥ 6 为足旋前^[6]。PÉREZ-MORCILLO等^[7]对600名跑者FPI-6与RRI之间的关系进行了分析研究,发现高度旋后足位的RRI发生率比中立足位高76.8倍($P < 0.001$);高度旋前足位的RRI发生率比中立足位高20倍($P < 0.001$)。预示着如果跑者的足部呈现旋前或旋后位,相较中立足位跑步后的RRI发生率高。

然而,BRAVO-AGUILAR等^[8]和ESCAMILLA-MARTÍNEZ等^[9]的研究团队对于跑步前后的足位变化有着不同的看法,前者观察到116名健康成人以12 km/h的速度跑步45 min后FPI-6评分下降,受试者足倾向于由旋前位向中立位变化;后者发现30名健康跑者以3.3 m/s(11.88 km/h)的速度跑步60 min后FPI-6平均提高了2分,受试者足呈中立向旋前变化趋势。尽管长距离跑步对足部结构形态的影响目前还存在争议,但均支持中立位足能减少RRI的发生概率这一观点,并认同FPI-6或可作为预测RRI的1项指标。

1.2 足底压力

足底局部压力会沿着下肢的运动链向上传导,容易造成足、踝、膝、髌甚至脊柱的慢性损伤。RIBEIRO等^[10]对45名患有足底筋膜炎和60名未患足底筋膜炎的休闲跑者进行了回溯性研究,发现跑步时2组足底压力、接触时间、接触面积、压力分布差异均无统计学意义。MANN等^[11]对44名有RRI史的跑者和46名健康跑者在跑步机上以其适应的

80%跑步速度递增至120%进行测试,参与者佩戴压力鞋垫设备,发现有RRI史的跑者相较于对照组,速度增加越多,跑步模式(步长、步速、步频等)越加混乱,但2组间的足底压力无论是同一速度下还是随着时间的变化,差异均无统计学意义。

但是,MANN等^[11]的研究表明,当时的研究均局限于某一特定损伤或宽泛的RRI定义,可能存在以偏概全,故需要后续大量的试验加以佐证。对于足底压力分布和对力的缓冲能力,不同的见解越来越多。BULDT等^[12]将92名健康成年人按舟骨定义的足弓高度分为低弓平足、正常足和高弓足,发现低弓平足受试者触地时的压力分布相较于另外2组集中于前掌。SZULC等^[13]和SUN等^[14]的研究均发现,足弓结构与力的分布间具有一定的关联,足前掌或足后掌的压力分布过大均会增加潜在发生RRI的风险,其机制来源于不断重复的应力导致的过劳性损伤。同时,BRAVO-AGUILAR等^[8]和ESCAMILLA-MARTÍNEZ等^[9]的研究均也证实,从中立位向旋前位的改变增加了足前掌和足后掌的压力,结合FPI-6的方法,通过足底压力分布预测RRI的信度进一步提高。可见,单用足底压力预测RRI尚存争议,足底压力与足弓状态具有一定联系,结合FPI-6综合考虑或可提升预测RRI的效度。

1.3 足弓形态

足弓形态与大多数RRI的相关性已不断被证实。足内侧纵弓塌陷或称扁平足,反之增高则为高弓足。MOUSAVI等^[15]研究发现患足底筋膜炎的跑者中约有80%患有扁平足或高弓足。NEAL等^[16]认为扁平足是胫骨内侧应力综合征和髌骨疼痛综合征的危险因素。扁平足会影响下肢运动链的力学传导是公认的下肢损伤的诱因之一^[17]。结合FPI-6对于足旋位的评估,足弓形态与RRI的发生存在联系正不断得到认同。

由上述可见,目前预测RRI的相关研究主要是评估指标与RRI的相关性,尚存争议,一定程度上,足底压力、足弓形态联合FPI-6能够提高RRI预测的信度。

2 预防RRI的足部训练

2.1 足部肌力训练

TADDEI等^[18]在2019年进行了1项为期1年的单盲随机对照试验,受试健康跑者接受针对足踝的牵伸以及足核心肌群和关节肌肉的肌力训练,对照组仅进行相同时间的牵伸,发现RRI发生的时间与

足部姿势和足部训练强度显著相关,FPI-6分数越高,RRI的发生时间越晚,采用足部核心强化方案跑者RRI的发生率相较于对照组降低2.42倍。追溯向前,MATIAS等^[19]曾在2016年做过1项针对长跑爱好者的随机对照试验,据介绍是首次通过信息采集和形态学方法探讨足踝复合体肌力训练方案对RRI的直接影响,预测训练后第1次RRI的发生会延后、足功能将得到提升以及1年的足踝锻炼将对跑者产生有益的生物力学变化。

上述的研究提出一套完整的足部肌力训练计划,然而,针对足部核心肌群训练与RRI的关系,许多学者亦作出了解释。SULOWSKA等^[20]将具有一定运动知识的健康跑者按FPI-6分成旋前足组和中立足组,进行足底短肌训练,主动发力将跖骨头部移向足跟,足趾放松,然后在缩短的位置平衡足跟、第1跖骨头和第5跖骨头3个支撑点的负荷,测量发现中立足组膝关节部位力的传导更为顺畅,旋前足组在跑步速率的提高上有统计学意义,因此,研究人员建议在长跑爱好者日常训练中应加强足底短肌的训练以预防RRI。另1组研究者UNVER等^[21]定义扁平足为舟状骨下降超过10 mm且FPI分数介于6~12分,在扁平足更易导致RRI的理论前提条件下,对2组扁平足受试者进行对照试验,试验组在安慰剂训练基础上进行“短足训练”,患者坐位,膝关节和踝关节屈曲90°,使第1跖骨头向足跟靠近,不屈曲足趾,缩短足拇指至足跟内侧距离,前足和足跟不应离地以加强足内附肌群,该方法类似于SULOWSKA等^[20]的研究,维持内侧足弓缩短位,支撑平面难度渐增,通过FPI-6、足底压力、损伤自我报告等方法发现“短足训练”能够有效改善扁平足,增加足内侧力量,对RRI的发生可以起到降低作用。SÁNCHEZ-RODRÍGUEZ等^[22]同样使用“短足训练”进行对照研究,类似UNVER等^[21]的研究设计,只是将受试者改为了健康成人,且时间持续9周,发现“短足训练”可以使FPI-6分数趋向中等,平均降低1.66分,足姿势得到改善。

LEE和CHOI^[23]对患有慢性踝关节不稳的试验组进行了足内附肌训练,包括脚趾外展、第1趾伸展和第2~5趾伸展运动,对照组不做训练,结果发现,试验组在内附肌群的激活表现上优于对照组,动态平衡能力亦较之提高。虽然该试验在对照组的设计上存在缺陷,但提出了一种训练足内附肌的有效方法。

可见,肌力训练尤其是针对核心肌群的“短足

训练”对于降低RRI的发生具有实际的临床价值。

2.2 足部落地模式训练

HAMILL和GRUBER^[24]在2012年做的队列研究被认为是最早将中前足落地模式与后足落地模式相比较的文献报道,统计显示跑者每10 000英里使用后足落地模式的RRI发生率高于中前足落地模式。对于这2种落地模式间的差异,之后研究者做了诸多试验加以论证。MOUSAVI等^[25]研究了以足不同部位触地跑步时对下肢生物力学的影响作用,发现与正常跑步相比,以足外侧或内侧为压力中心会降低或增加后足外翻峰值、距下旋前峰值和内侧纵弓角峰值,在足部训练时应应对受力中心加以重视。ROPER等^[26]研究了常见RRI损伤之一的髌股关节疼痛,将16名受试者分为2组,试验组在2周内进行8次步态再训练,将足底落地模式从后足转换为前足,对照组进行跑步训练,不做干预,发现试验组膝踝活动度及髌股关节疼痛的情况改善均优于对照组,故前足落地模式应被视为预防跑者髌股关节疼痛的可能策略。同样,MILLER等^[27]将9名患轻度RRI的美国军校学生的后足落地模式通过步态再训练改为前中足落地模式,发现他们在髌股关节疼痛和功能问卷的回答上都有显著的改善,非后足落地模式的改变可能使某些患轻度RRI的个体受益。然而,WARR等^[28]确认在损伤基线水平上没有差异后将招募到的美国现役士兵分为后足落地组和前中足落地组,由专业肌骨医师评估跑步2英里后RRI情况,发现2组间差异无统计学意义,且2组间的性能差异也无统计学意义,似乎不同的落地模式并不会对RRI的产生带来影响。

ALLEN等^[29]改变了40名后足落地模式跑者的跑步速率,发现速率提高10%以上可以在不干预的情况下调整受试者的足部落地模式,可以改善他们的足缓冲效能。但足部不同落地模式下RRI的发生率,不同研究团队得出了几乎相反的结论,原因可能是受试者的差异性以及所专注的RRI损伤不同。中国学者通过力学的方式进行研究,魏震与王琳^[30]招募了落地模式为后足与前中足的2组右侧惯用足健康跑者,通过鞋子内置的传感器对右足落地期间全足及足底9个分区的最大足底压力和足底压强进行比较研究,发现后足组的中后足底最大压力和最大压强均显著大于前中足组,前中足组在足内侧第1/2跖骨区域的最大压力显著大于后足组,然而在全足范围,2组压强差异无统计学意义。国外学者亦有研究证实不同落地模式对跑者足底压力分布

有着不同的影响。HAMZAVI和ESMAEILI^[31]分别让30名后足和前足落地跑者以3.3 m/s的速度在跑台上跑步诱导疲劳,发现跑步疲劳增加了后足落地组足跟内侧和外侧、第1跖骨和第5跖骨以及足大拇趾的负荷,而前足落地组则增加了第1~3跖骨的负荷,降低了第5跖骨的负荷。这些研究均提示不同足部落地模式的跑者具有不同的适应策略可能是产生不同RRI的原因。结合生物力学研究,后足触地时力的缓冲需要通过胫骨传递给膝关节^[32],易对髌骨面和胫骨面造成损伤^[33];而前足区域落地时的负荷增加约为体质量的1.3倍,需要踝关节有足够的活动度起到缓冲的作用^[32]。提示2种不同足部落地模式对身体各有利弊。

张瑞全^[34]让30名健康受试者分别运用不同的着地方式进行跑步运动的试验恰好印证了以上观点,通过测量不同落地模式组的地面反作用力,发现后足落地组的膝关节负荷较髌关节和踝关节大,而前足落地或由后足落地转变为前足落地时,踝关节的负荷呈增加趋势。可见,一旦长时间跑步带来的重复性应力刺激累加,不同落地模式造成的损伤势必不同,也就是常称的“应力性损伤”,后足落地模式会好发膝关节相关的RRI,前足落地模式则会好发踝关节相关的RRI,然而因为缺少大范围的样本调查,还没有明确的文献支持这一观点。张燊等^[35]的研究从另一角度提供了一种思路,他们招募了无跑步习惯的普通人和有跑步习惯的后足落地模式跑者各12名,在足弓高度无显著差异的前提下测试跖趾关节力量和足趾拉力,发现跑步习惯组跖趾关节的相对力量具有下降趋势。这是否是因后足落地模式所致还有待进一步研究,但他们使用的评估方法值得借鉴。

上述研究大致可以得出前足落地模式趋向于更多使用踝关节,而后足落地模式趋向于更多使用膝关节。虽然对它的正确性仍然存在质疑,但越来越多的研究证实这一观点,在RRI的预防治疗中应予以考虑。

2.3 跑前适应性训练

对于跑前适应性训练是否有效,实验研究和大众普遍认识常发生冲突。BREDEWEG等^[36]对221名跑步初学者进行为期4周的训练,包括步行和跳跃练习,随后与相同数量的对照组一同开始为期9周的跑步,发现2组RRI发生率差异无统计学意义。TORESDAHL等^[37]对马拉松初学者进行了12周的躯干、下肢肌肉强化训练,与其他初学者比较,结果干

预组的RRI发生率并无显著下降。BUIST等^[38]采用了13周基于10%强度的递进式训练,对RRI的发生率差异无统计学意义。FREDETTE等^[39]在募集的107名军人跑者中观察到75.7%的跑者报告在RRI发生前的近期经历过跑步运动量、持续时间、强度和频率等相关参数的变化,指出跑步参数是很容易改变的因素,能够识别训练错误或变化在很大程度上有助于减少RRI,其中73.3%的军人采用后足落地模式,RRI以髌股关节疼痛最常见但并不局限于此,提出近期跑步参数的变化与具体的RRI临床诊断不具有相关性。这些干预性实验研究大多聚焦RRI的发生率差异,是否存在某种结合足部落地模式的适应性训练对预防RRI是有效的,有待更多的应用研究证实。

3 小 结

跑步是常见的有氧运动形式之一,在进行跑步训练前进行早期干预或许是预防RRI的重要研究方向之一。建议在跑步前可以进行一次系统步态分析,观察跑者的足部结构和功能;对于踝部活动度、肌力不足的跑者,建议执行后足落地模式;对于有膝关节或小腿损伤的跑者,建议执行前中足落地模式;跑步距离从低强度开始,每次提升跑步强度前,可先进行一段时间的肌力训练,尤其注重足部核心肌群训练。针对薄弱部位加强锻炼,可结合中立位足FPI-6和足底压力分布作为客观参考依据。未来仍需进一步完善各项足部改善策略,结合人体其他部位进行整体研究,从而有效预防RRI。同时,不同足部落地模式适应性训练与RRI发生之间的联系仍需进一步探讨。

参考文献

- [1] VAN M W. Running injuries. A review of the epidemiological literature [J]. Sports Med, 1992, 14(5): 320-335.
- [2] FOKKEMA T, DE VOS R J, VISSER E, et al. Enhanced injury prevention programme for recreational runners (the SPRINT study): design of a randomised controlled trial [J]. BMJ Open Sport Exerc Med, 2020, 6(1): e000780.
- [3] MALISOUX L, URHAUSEN A, THEISEN D. Impact of training characteristics on running-related injuries in recreational runners [J]. Br J Sports Med, 2014, 48(7): 631-632.
- [4] NIELSEN R Ø, PARNER E T, NOHR E A, et al. Excessive progression in weekly running distance and risk of running-related injuries: an association which varies according to type of injury [J]. J Orthop Sports Phys Ther, 2014, 44(10): 739-747.
- [5] SARAGIOTTO B T, YAMATO T P, HESPANHOL JUNIOR L C, et al. What are the main risk factors for running-related inju-

- ries? [J]. *Sports Med*, 2014, 44(8): 1153–1163.
- [6] 陈泽华, 叶翔凌, 陈伟健, 等. 足姿指数评价足部位置的信效度研究[J]. *中国康复理论与实践*, 2020, 26(10): 1193–1197.
- CHEN Z H, YE X L, CHEN W J, et al. Reliability and validity of foot position index for foot posture assessment [J]. *Chin J Rehabil Theory Pract*, 2020, 26(10): 1193–1197.
- [7] PÉREZ-MORCILLO A, GÓMEZ-BERNAL A, GIL-GUILLEN V F, et al. Association between the Foot Posture Index and running related injuries: a case-control study [J]. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*, 2019, 61: 217–221.
- [8] BRAVO-AGUILAR M, GIJÓN-NOGUERÓN G, LUQUE-SUAREZ A, et al. The influence of running on foot posture and in-shoe plantar pressures [J]. *J Am Podiatr Med Assoc*, 2016, 106(2): 109–115.
- [9] ESCAMILLA-MARTÍNEZ E, MARTÍNEZ-NOVA A, GÓMEZ-MARTÍN B, et al. The effect of moderate running on foot posture index and plantar pressure distribution in male recreational runners [J]. *J Am Podiatr Med Assoc*, 2013, 103(2): 121–125.
- [10] RIBEIRO A P, TROMBINI-SOUZA F, TESSUTTI V D, et al. The effects of plantar fasciitis and pain on plantar pressure distribution of recreational runners [J]. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*, 2011, 26(2): 194–199.
- [11] MANN R, MALISOX L, NÜHRENBÖRGER C, et al. Association of previous injury and speed with running style and stride-to-stride fluctuations [J]. *Scand J Med Sci Sports*, 2015, 25(6): e638–e645.
- [12] BULDT A K, FORGHANY S, LANDORF K B, et al. Foot posture is associated with plantar pressure during gait: a comparison of normal, planus and cavus feet [J]. *Gait Posture*, 2018, 62: 235–240.
- [13] SZULC P, WASZAK M, BARTKOWIAK M, et al. Distribution of plantar pressure during jogging barefoot or in minimalist shoes in people who used to run in cushioned shoes [J]. *J Sports Med Phys Fitness*, 2017, 57(5): 565–571.
- [14] SUN X L, YANG Y, WANG L, et al. Do strike patterns or shoe conditions have a predominant influence on foot loading? [J]. *J Hum Kinetics*, 2018, 64(1): 13–23.
- [15] MOUSAVI S H, HIJMANS J M, MINOONEJAD H, et al. Factors associated with lower limb injuries in recreational runners: a cross-sectional survey including mental aspects and sleep quality [J]. *J Sports Sci Med*, 2021, 20(2): 204–215.
- [16] NEAL B S, GRIFFITHS I B, DOWLING G J, et al. Foot posture as a risk factor for lower limb overuse injury: a systematic review and meta-analysis [J]. *J Foot Ankle Res*, 2014, 7(1): 55.
- [17] 张桑. 足部功能训练对足弓形态及跑步生物力学影响的研究[D]. 上海: 上海体育学院, 2020: 15–18.
- ZHANG S. The effects of the functional foot exercise on the arch shape and running biomechanics [D]. Shanghai: Shanghai University of Sport, 2020.
- [18] TADDEI U T, MATIAS A B, DUARTE M, et al. Foot core training to prevent running-related injuries: a survival analysis of a single-blind, randomized controlled trial [J]. *Am J Sports Med*, 2020, 48(14): 3610–3619.
- [19] MATIAS A B, TADDEI U T, DUARTE M, et al. Protocol for evaluating the effects of a therapeutic foot exercise program on injury incidence, foot functionality and biomechanics in long-distance runners: a randomized controlled trial [J]. *BMC Musculoskeletal Disord*, 2016, 17: 160.
- [20] SUŁOWSKA I, MIKA A, OLEKSY Ł, et al. The influence of plantar short foot muscle exercises on the lower extremity muscle strength and power in proximal segments of the kinematic chain in long-distance runners [J]. *Biomed Res Int*, 2019, 2019: 6947273.
- [21] UNVER B, ERDEM E U, AKBAS E. Effects of short-foot exercises on foot posture, pain, disability, and plantar pressure in pes planus [J]. *J Sport Rehabil*, 2020, 29(4): 436–440.
- [22] SÁNCHEZ-RODRÍGUEZ R, VALLE-ESTÉVEZ S, FRAILE-GARCÍA P A, et al. Modification of pronated foot posture after a program of therapeutic exercises [J]. *Int J Environ Res Public Health*, 2020, 17(22): 8406.
- [23] LEE D R, CHOI Y E. Effects of a 6-week intrinsic foot muscle exercise program on the functions of intrinsic foot muscle and dynamic balance in patients with chronic ankle instability [J]. *J Exerc Rehabil*, 2019, 15(5): 709–714.
- [24] HAMILL J, GRUBER A H. Is changing footstrike pattern beneficial to runners? [J]. *J Sport Health Sci*, 2017, 6(2): 146–153.
- [25] MOUSAVI S H, VAN KOUWENHOVE L, RAJABI R, et al. The effect of changing mediolateral center of pressure on rearfoot eversion during treadmill running [J]. *Gait Posture*, 2021, 83: 201–209.
- [26] ROPER J L, HARDING E M, DOERFLER D, et al. The effects of gait retraining in runners with patellofemoral pain: a randomized trial [J]. *Clin Biomech*, 2016, 35: 14–22.
- [27] MILLER E M, CROWELL M S, MORRIS J B, et al. Gait retraining improves running impact loading and function in previously injured US military cadets: a pilot study [J]. *Mil Med*, 2021, 186(11/12): e1077–e1087.
- [28] WARR B J, FELLIN R E, SAUER S G, et al. Characterization of foot-strike patterns: lack of an association with injuries or performance in soldiers [J]. *Mil Med*, 2015, 180(7): 830–834.
- [29] ALLEN D J, HEISLER H, MOONEY J, et al. The effect of step rate manipulation on foot strike pattern of long distance runners [J]. *Int J Sports Phys Ther*, 2016, 11(1): 54–63.
- [30] 魏震, 王琳. 不同落地模式对跑步者足底压力的影响[C]//中国体育科学学会. 第十一届全国体育科学大会论文集. 南京: 中国体育科学学会, 2019: 5030–5031.
- WEI Z, WANG L. Effects of different landing patterns on plantar pressure of runners [C]//China Sport Science Society. Proceedings of the 11th National Convention on Sport Science of China. Nanjing: China Sport Science Society, 2019: 5030–5031.
- [31] HAMZAVI B, ESMAEILI H. Effects of running-induced fatigue on plantar pressure distribution in runners with different strike types [J]. *Gait Posture*, 2021, 88: 132–137.
- [32] 姜嘉峰, 王琳. 跑步落地模式对运动损伤及下肢运动生物力学的影响研究进展[J]. *中国运动医学杂志*, 2018, 37(9): 801–806.
- JIANG J Y, WANG L. Research progress on impact of running landing pattern on sports injury and lower limb sports biomechanics [J]. *Chin J Sports Med*, 2018, 37(9): 801–806.

- [33] 张力文,马云茹,朱晓兰,等.跑鞋与着地方式对跑步损伤的影响[J].医用生物力学,2018,33(1):76-81.
ZHANG L W, MA Y R, ZHU X L, et al. The influence of running shoes and foot-strike patterns on running injuries [J]. J Med Biomech, 2018, 33(1): 76-81.
- [34] 张瑞全.不同着地方式对跑步支撑期下肢生物力学特征的影响[J].滁州职业技术学院学报,2019,18(3):52-55.
ZHANG R Q. The influence of different footstrike pattern on bio-mechanical characteristics of lower limbs during running support period [J]. J Chuzhou Vocat Tech Coll, 2019, 18(3): 52-55.
- [35] 张荣,崔科东,张希妮,等.后跟着地跑步技术对足弓肌肉力量的影响[J].中国运动医学杂志,2019,38(11):955-959.
ZHANG S, CUI K D, ZHANG X N, et al. The effect of rear-foot strike running on the muscle strength of the longitudinal arch [J]. Chin J Sports Med, 2019, 38(11): 955-959.
- [36] BREDEWEG S W, ZIJLSTRA S, BESSEM B, et al. The effectiveness of a preconditioning programme on preventing running-related injuries in novice runners: a randomised controlled trial [J]. Br J Sports Med, 2012, 46(12): 865-870.
- [37] TORESDAHL B G, MCELHENY K, METZL J, et al. A randomized study of a strength training program to prevent injuries in runners of the New York city marathon [J]. Sports Health, 2020, 12(1): 74-79.
- [38] BUIST I, BREDEWEG S W, VAN MECHELEN W, et al. No effect of a graded training program on the number of running-related injuries in novice runners: a randomized controlled trial [J]. Am J Sports Med, 2008, 36(1): 33-39.
- [39] FREDETTE M A, ROY J S, ESCULIER J F O, et al. Most military runners report recent changes in running parameters before lower limb injury onset [J]. Mil Med, 2021, 186(11/12): e1140-e1148.

Progress on Foot Assessment and Training to Prevent Running-related Injuries

ZHAO Xianli¹, LI Xinyu², WU Xubo^{1,3*}, SHAN Chunlei^{1,4}, ZHANG Yihui¹, ZHANG Cai¹

¹ Shanghai University of Traditional Chinese Medicine, Shanghai 201203, China;

² Shanghai Ciyuan Rehabilitation Hospital, Shanghai 201800, China;

³ Shanghai Seventh People's hospital, Shanghai University of Traditional Chinese Medicine, Shanghai 200137, China;

⁴ Yueyang Hospital of Integrated Traditional Chinese and Western Medicine, Shanghai University of Traditional Chinese Medicine, Shanghai 200437, China

*Correspondence: WU Xubo, E-mail: wuxubo320@163.com

ABSTRACT Running is one of the most popular recreational sports activities and a commonly recommended sport in clinical rehabilitation. With the increasing demand and awareness of public fitness, the sports injury caused by improper running is also increasing, and it is important to improve the risk assessment and preventive intervention of running-related injury (RRI). RRI refers to a variety of lower limb and lower back discomfort that occurs during running practice or as a result of running, and affects the running activity. Among runners, the incidence of RRI is high and it is easy to relapse, and thus, applying effective preventive assessment tools and interventions is beneficial to reducing the incidence of RRI in potential populations. The current RRI prediction is mostly based on the past injury, incorrect posture and overwork factors, and in most of the time, it does not have a clear, intuitive numerical prediction of the occurrence probability of RRI. Predicting RRI by foot assessment is common, and related assessment tools and methods continue to appear, among which foot posture index (FPI-6) and plantar pressure assessment are currently widely used. By evaluating the structure and function of the runners' feet before running, and carrying out relevant training for the feet before and during running, the occurrence of RRI can be prevented and reduced, and it provides a basis for the scientific development of running training plan. This paper summarizes the common RRI foot assessment tools and reviews the current common foot intervention strategies for preventing RRI in the aspects of foot muscle training, foot strike pattern and pre-run adaptive training etc. It puts forward that runners can take RRI risk assessment before starting the running training plan and strengthen the weak parts of foot with reference to the neutral position FPI-6, plantar pressure distribution and arch form; runners can take a period of muscle strength training before increasing the intensity of running each time, and pay special attention to foot core muscle group training. For runners lack of ankle mobility and strength, the rear foot strike pattern is recommended, and runners with knee or calf injuries can choose the fore and mid foot strike patterns.

KEY WORDS running-related injury; foot strike pattern; foot posture index; plantar pressure; prevention

DOI:10.3724/SP.J.1329.2022.05013