

文章编号: 1004-7220(2022)02-0361-08

护踝类型对落地时下肢运动学的影响： Meta分析和系统评价

张泽毅^{1a}, 李文彦^{1a}, 范婷^{1a}, 刘卉², 张美珍^{1a}, 武晓刚^{1b}, 陈维毅^{1b}

(1. 太原理工大学 a 体育学院, b 生物医学工程学院, 太原 030024; 2. 北京体育大学 中国运动与健康研究院, 北京 100084)

摘要:目的 系统评估护踝对运动员和普通大学生落地时踝关节运动生物力学的影响,为不同运动水平人群选择护踝提供理论依据。方法 以(“护踝”或“踝关节支撑”)和(“落地”或“起跳”)和(“生物力学”或“运动学”或“动力学”或“肌电”或“神经肌肉”)为主题在 CNKI、万方等数据库进行检索;以“(ankle brace OR ankle braces OR ankle bracing OR ankle support) AND (landing OR land OR jump OR hopped OR hopping) AND (biomechanics OR kinematics OR kinetics OR electromyography OR neuromuscular)”为英文检索策略,检索 Web of science、EBSCO、PubMed 等数据库,检索期限为 2000 年 1 月~2020 年 12 月。选用 Cochrane 偏倚风险评估工具对纳入文献进行质量评价,采用 Meta 分析中的亚组分析确定不同类型护踝对踝关节运动学的影响。结果 共 13 项研究、222 名受试者纳入 Meta 分析。对于运动员,两种护踝均可减少踝关节内翻(弹性护踝:26.7%, SMD = -1.647, $P=0.040$;半刚性护踝:25.8%, SMD = -0.562, $P<0.001$),但仅弹性护踝可减少踝关节跖屈 8.4% (SMD = -3.42, $P=0.021$)。对于普通大学生,两种护踝均可减小踝关节内翻(弹性护踝:35.4%, SMD = -1.000, $P=0.013$;半刚性护踝:31.1%, SMD = -0.881, $P<0.001$)、跖屈(弹性护踝:23.3%, SMD = -1.381, $P<0.001$;半刚性护踝:36.3%, SMD = -1.605, $P<0.001$)。结论 两种护踝对有 5 年以上训练史的业余篮球、排球、跑步运动员均有一定的预防作用,弹性护踝可以限制落地时踝关节内翻和跖屈,而半刚性护踝只能限制踝关节内翻,故弹性护踝的预防效果更好。对于无任何训练背景和普通大学生,两种护踝均可限制踝关节内翻和跖屈,其中弹性护踝对内翻限制更大,半刚性护踝对跖屈限制更明显。因此,若普通大学生有跟腓韧带损伤史,优先考虑选用弹性护踝;有距腓前韧带损伤史的普通大学生,则更适合半刚性护踝。

关键词: 运动生物力学; 踝关节外侧损伤; Meta 分析; 弹性护踝; 半刚性护踝; 落地

中图分类号: R 318.01 文献标志码: A

DOI: 10.16156/j.1004-7220.2022.02.027

The Effect of Ankle Brace on Biomechanics of the Lower Extremity During Landing: A Systematic Review and Meta Analysis

ZHANG Zeyi^{1a}, LI Wenyan^{1a}, FAN Ting^{1a}, LIU Hui², ZHANG Meizhen^{1a},
WU Xiaogang^{1b}, CHEN Weiyi^{1b}

(1a. College of Physical Education, 1b. College of Biomedical Engineering, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China; 2. Institute of China Sport and Health, Beijing Sport University, Beijing 100084, China)

收稿日期: 2021-04-29; 修回日期: 2021-06-02

基金项目: 国家自然科学基金项目(30870600, 11972242, 11632013), 山西省高等学校哲学社会科学研究项目(2017313, 201801015, 2019W025), 教育部人文社会科学研究规划基金项目(18YJA890034), 山西省研究生教育创新项目(2020SY501, 2020SY502), 山西省回国留学人员科研资助项目(2020-032), 太原理工大学学科建设经费

通信作者: 张美珍, 教授, 硕士生导师, E-mail: meizhen1116@163.com

Abstract: Objective To examine the effects of ankle brace on biomechanics of the lower extremity during landing, so as to provide a theoretic support to choose ankle brace for people with different sports levels. **Methods**

The key words (ankle brace OR ankle braces OR ankle bracing OR ankle support) AND (landing OR land OR jump OR hopped OR hopping) AND (biomechanics OR kinematics OR kinetics OR electromyography OR neuromuscular) in Chinese and English were searched from different electronic databases (CNKI, Web of Science, EBSCO, PubMed and other databases), for a period of Jan. 2000 to Dec. 2020. Cochrane was used to evaluate the quality of eligible studies. For meta analysis, subgroup analysis was used to assess the impact of ankle braces on ankle biomechanics. **Results** Thirteen studies with a total of 222 participants were included for meta analysis in this study. The semi-rigid ankle brace reduced the peak of ankle inversion by 25. 8% compared with the elastic ankle brace ($SMD = -0. 562, P < 0. 001$). Moreover, the elastic ankle brace reduced ankle plantar flexion during landing among athletes ($SMD = -3. 42, P = -0. 021$). As for collegiate students, both elastic ankle and semi-rigid ankle decreased the ankle inversion (elastic ankle brace: 35. 4%, $SMD = -1. 000, P = -0. 013$; semi-rigid ankle brace: 31. 11%, $SMD = -0. 881, P < 0. 001$) and ankle plantar flexion (elastic ankle brace: 23. 30%, $SMD = -1. 381, P < 0. 001$; semi-rigid ankle brace: 36. 33%, $SMD = -1. 605, P < 0. 001$). **Conclusions** Both ankle braces can prevent ankle sprain for athletes (basketball, volleyball, running) who experience training more than 5 years. The elastic ankle brace can limit the inversion and plantar flexion, while the semi-rigid ankle brace can merely decrease the ankle inversion. Therefore, athletes are more suitable for the elastic ankle brace. As for collegiate students without training history, both ankle brace can decrease the ankle inversion and plantar flexion. The elastic ankle brace has greater restriction on inversion, while the semi-rigid ankle brace has more restriction on plantar flexion. Therefore, the elastic ankle brace should be utilized if collegiate students have calcaneofibular ligament injury, while the semi-rigid ankle brace is more suitable for collegiate students who have a history of anterior talofibular ligament injury.

Key words: sports biomechanics; lateral ankle injury; Meta analysis; elastic ankle brace; semi-rigid ankle brace; landing

踝关节损伤是最常见的下肢损伤之一。运动员该损伤发生率为 15%，普通大学生为 36%^[1]。踝关节损伤以内、外侧损伤和骨关节病为主，其中踝关节外侧损伤的发病率尤为突出，达 85% 左右^[2]。踝关节外侧损伤后轻则导致疼痛，重则引起踝关节稳定性下降、腓骨神经受损、运动训练暂停或中断，同时也会降低生活质量^[2]。因此，如何预防踝关节外侧损伤成为当前研究热点。

明确踝关节外侧损伤的危险因素是预防损伤的前提。Dubin 等^[3]研究发现，着地时踝关节内翻达 30°~ 45°即可造成踝关节外侧韧带损伤。李玉莲等^[4]研究指出，踝关节跖屈时距骨后部与踝穴接触，由于距骨体前宽后窄，导致其两侧与踝穴间存在空隙，使踝关节处于一种相对不稳定状态，易发生损伤。Wright 等^[5]通过踝关节损伤模型得到类似结果。流行病学研究进一步发现，落地时过度踝关节内翻、跖屈引发的踝关节外侧损伤约为所有踝关节外侧损伤的 70%^[6]。由此得出，落地时过大的踝关节内翻、跖屈是踝关节外侧损伤的主要危险因素。

明确危险因素后，不少研究开始探讨踝关节外侧损伤的预防手段，并发现护踝和贴扎最为常用。Tamura 等^[7]进一步指出，护踝、贴扎均可以限制踝关节跖屈，但仅护踝可限制踝关节内翻。也有研究通过模拟踝关节扭伤考察不同预防手段（护踝、贴扎）对下肢生物力学的影响。结果发现，佩戴护踝后，踝关节内翻角峰值要比对照组和贴扎组小得多^[8]。一项流行病学研究结果显示，贴扎组每 1 000 次运动暴露会造成 14. 7 次踝关节扭伤，而护踝组只有 2. 56 次^[9]。由此可见，护踝、贴扎均有一定的干预效果，且相对而言，护踝的防护性似乎更高。然而，需要注意的是，不同类型护踝对踝关节运动的影响不同，且干预效果未达成共识^[10]。本文认为，可能是由于检测技术、样本量等原因，加上研究目标和使用的评价指标不一致，导致上述各研究结论存在诸多分歧。目前已有研究尝试通过 Meta 分析以期更精确地评估护踝类型在受试者中的平均效应，并定量合成具有足够相似的数据，减少上述原因对结果的影响^[11]。

遗憾的是,以往的 Meta 分析没有考虑受试人群^[11]。已有研究发现,不同人群落地时踝关节运动特征不同,导致护踝的预防效果存在差异。与踝关节不稳定者相比,健康人群落地时跖屈更大,可能超出护踝对其跖屈的限制,致使护踝只能限制前者的跖屈,而对健康人群的限制作用不大^[10]。基于此,有研究指出,运动水平也会改变踝关节运动特征^[5]。但目前尚不清楚运动水平是否会引起护踝保护效果的差异,该方面研究的缺失直接导致现有护踝选择方案的针对性不足。

本文采用 Meta 分析评估不同护踝类型对运动员、普通大学生落地时下肢运动生物力学特征的影响,探明护踝类型对不同运动水平人群的干预效果。研究结果可以为不同运动水平人群选择护踝提供理论依据。根据以往研究文献和本研究目的,设定以下研究假设:① 对于运动员,弹性护踝、半刚性护踝的预防效果不同;② 对于普通大学生,所有护踝均有一定的预防效果,但两者的预防机制可能存在差异。

1 研究方法

1.1 文献检索策略

以(“护踝”或“踝关节支撑”)和(“落地”或“起跳”)和(“生物力学”或“运动学”或“动力学”或“机电”或“神经肌肉”)为中文检索策略在中国知网(CNKI)、万方、维普数据库进行检索;以“(ankle brace OR ankle braces OR ankle bracing OR ankle support) AND (landing OR land OR jump OR hopped OR hopping) AND (biomechanics OR kinematics OR kinetics OR electromyography OR neuromuscular)”为英文检索策略在 Web of Science、Ebsco (academic complete)、Elsevier、CINAHL、CENTRAL、Embase、PubMed 数据库进行检索,检索期限为 2000 年 1 月~2020 年 12 月。为保证检索的全面性,本文还追溯纳入文献的参考文献,以补充相关研究。

1.2 纳入标准

1.2.1 研究类型及语种 采用自身对照实验。研究中需提供完整数据(样本量、均值、标准差),且至少包含下列指标中的 1 项:踝关节内翻、跖屈。文献语种为英文或中文。

1.2.2 研究对象 选用研究对象为运动员或普通

大学生的相关文献。运动员为经过训练的业余运动员(recreational athletes)。要求其训练年限在 5 年以上,且每周至少参与 3 次运动训练,有专业教练为其设计和实施训练项目。普通大学生则定义为非体育专业的高校学生(collegiate students)。要求未进行过任何运动训练。

1.2.3 护踝类型 纳入半刚性护踝、弹性护踝的相关研究。半刚性护踝为使用 EVA 复合型塑料夹板对踝关节两侧进行支撑的护踝类型^[12](T2 支撑)[见图 1(a)]。弹性护踝为使用八字绷带或其他弹性材料(尼龙材料等)对踝关节进行牵拉保护的护踝类型^[10](McDavid 195 型护踝)[见图 1(b)]。



图 1 不同护踝示意图

Fig.1 Schematic diagram of different ankle braces

(a) Semi-rigid ankle brace, (b) Soft ankle brace

1.3 排除标准

① 重复发表以及文献语种非中、英文的文献,综述类文献;② 动物实验或研究对象不属于运动员或普通大学生;③ 阅读全文后实验设计不合理的文献;④ 除护踝外,还有其他干预措施的文献;⑤ 数据不完整。

1.4 研究质量评价

使用 Cochrane 偏倚风险评估工具对纳入的文献进行质量评价。最终将纳入文献划分为高(5 分及以上)、中(3~4 分)和低(2 分及以下)3 个等级。

1.5 统计分析

使用 Stata 15.1 (STATA 公司,美国)软件进行统计分析。进行 Meta 分析前,先进行异质性检验。采用 Homogeneity test (Q 检验,检验水准为 $\alpha = 0.05$)。再结合 I^2 定量分析异质性的程度,若 $I^2 > 75%$,则认为异质性较高^[13]。之后,采用亚组分析确定护踝对不同人群的干预效果。

2 研究结果

2.1 文献筛选结果

本研究的报告项目严格按照 PRISMA (preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses) 声明进行^[14]。文献筛选和纳入过程如图 2 所示。共检索得到相关文献共 1 747 篇文献。经过逐层筛选,最终纳入 13 篇文章进行 Meta 分析^[15-27]。

2.2 纳入文献基本特征

表 1 为所有纳入文献的基本信息。本 Meta 分析纳入 13 篇相关文献。其中 6 篇受试者为运动员^[15-20],运动项目分别为篮球^[16-17,19]、排球^[18]、跑步^[15,20]。另外,还纳入了 7 篇受试者为普通大学生的相关研究^[21-27]。

表 1 纳入研究文献基本信息

Tab.1 Basic information of literatures included in this study

作者	年份	n/人	测试人群	运动项目	性别	损伤情况	年龄	身高/cm	体重/kg	护踝类型	落地高度/m
Dannemann	2015	17	A	跑步	男	健康	25.7±4.5	180±8.0	78.3±6.0	②	—
Dewar	2019	16	A	篮球	男、女	健康	26.9±5.3	172.0±0.1	74.0±13.7	②	—
DiStefano	2008	37	A	篮球、排球	男、女	健康	19.6±0.7	176.1±10.6	71.5±13.2	①	0.3
Hodgson	2005	12	A	排球	女	健康	19.8±1.7	180.4±7.3	76.9±10.4	②	0.61
Maeda	2019	15	CS	—	女	健康	21.8±0.6	156.5±5.2	47.9±4.0	①②	0.2
Niu	2011	16	CS	—	男	健康	24.5±4.2	170.9±2.8	56.1±23.5	②	0.32
Parsley	2013	24	CS	—	男	健康	20.9±2.7	180.9±6.4	80.2±8.0	①②	MJH
Smith	2016	20	A	篮球	男、女	健康	19.9	175.8	76.1	①	MJH
Zhang	2012	10	CS	—	男、女	健康、CAI	24.1±5.4	174.0±0.1	72.4±12.0	①②	0.6
Zhang	2009	11	CS	—	男、女	健康	24.6±3.5	170.0±0.1	65.6±14.9	①②	0.45
罗小强	2017	21	A	未报道	男	健康	23.2±3.7	176.3±3.6	75.6±8.5	①②	0.45
吴金龙	2017	12	CS	—	—	健康、CAI	24.3±1.5	176.3±5.7	68.9±5.2	①②	0.4
张松宁	2015	11	CS	—	男、女	健康	24.6±3.5	170.0±0.1	65.6±14.9	②	0.45

注:A:运动员,CS:普通大学生;①:弹性护踝,②:半刚性护踝;CAI:慢性踝关节不稳;MJH:最大垂直起跳高度。

2.3 纳入文献的质量评价

本文 Meta 分析对纳入的 13 篇研究进行文献质量评估,最高分为 7 分,最低分为 4.5 分,平均分为 5.38 分,所纳入文献质量较高,具有一定代表性(见图 3)。

2.4 不同护踝类型对运动员、普通大学生落地时踝关节内翻的影响

弹性护踝(SMD=-1.647, $P=0.040$)、半刚性护踝(SMD=-0.562, $P<0.001$)可显著降低运动员踝关节内翻,其中弹性护踝限制了 26.7%的踝关节内翻,而半刚性护踝的限制程度为 25.8%。弹性护踝(SMD=-1.000, $P=0.013$)、半刚性护踝(SMD=

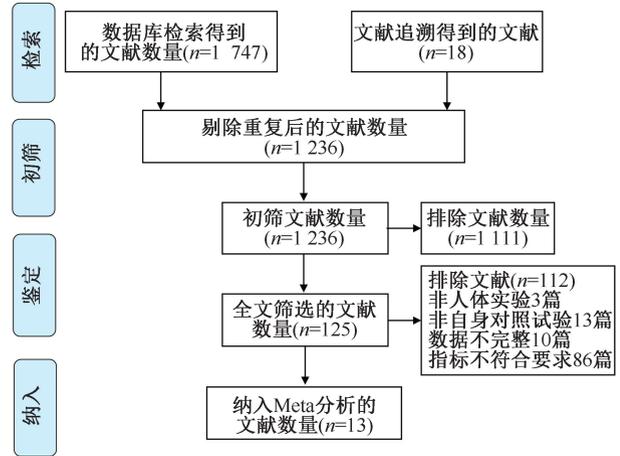


图 2 文献筛选纳入流程图

Fig.2 Flow diagram of literature selection

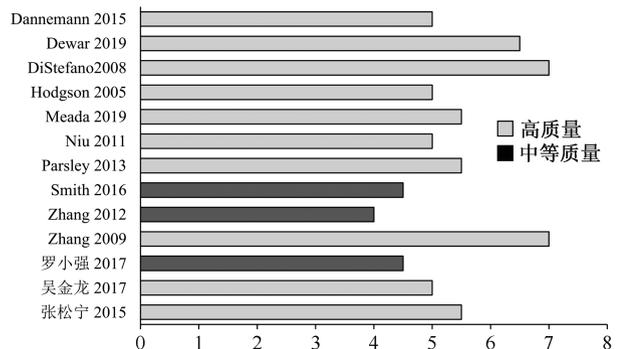


图 3 Cochrane 偏倚风险评估示意图

Fig.3 Schematic for the risk of bias in accordance with the cochrane collaboration guidelines

-0.881, $P < 0.001$) 亦均可减小普通大学生踝关节内翻角, 其中弹性护踝的限制程度为 35.4%, 半刚性护踝为 31.1% (见图 4)。

2.5 不同护踝类型对运动员、普通大学生落地时踝关节跖屈的影响

本文发现, 对于运动员, 与半刚性护踝 ($SMD =$

-0.590, $P = 0.181$) 相比, 弹性护踝可减少踝关节跖屈 ($SMD = -3.42$, $P = 0.021$), 限制程度为 8.4%。对于普通大学生, 弹性护踝 ($SMD = -1.381$, $P < 0.001$)、半刚性护踝 ($SMD = -1.605$, $P < 0.001$) 均可减小踝关节跖屈, 其中弹性护踝的限制程度为 23.3%, 而半刚性护踝为 36.3% (见图 5)。

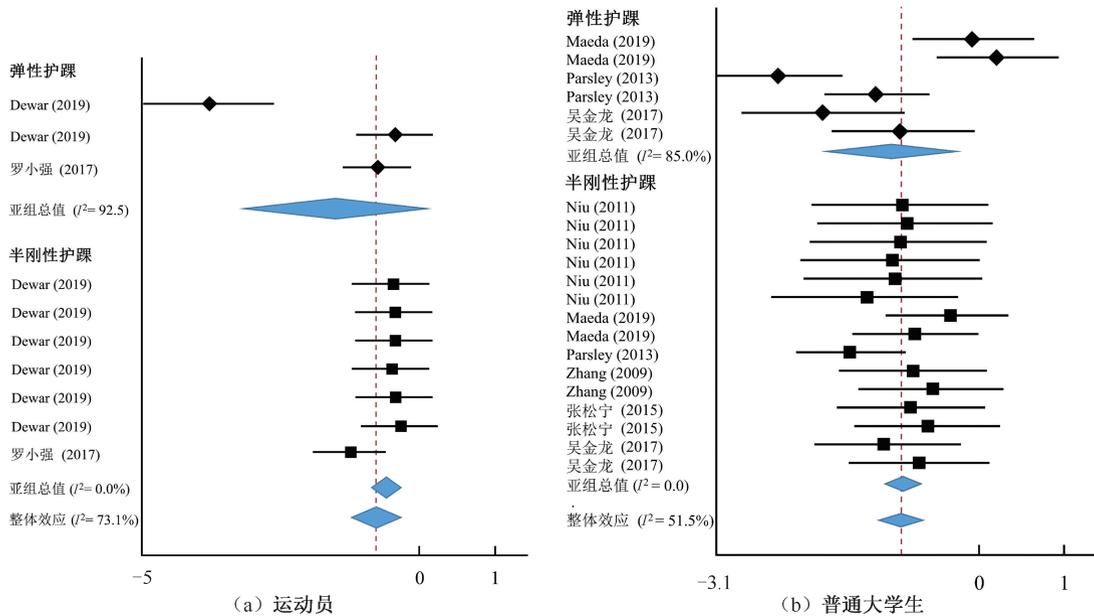


图 4 不同类型护踝对不同人群踝关节内翻的影响

Fig.4 Effects of different ankle braces on the inversion of different populations (a) Athletes, (b) Collegiate students

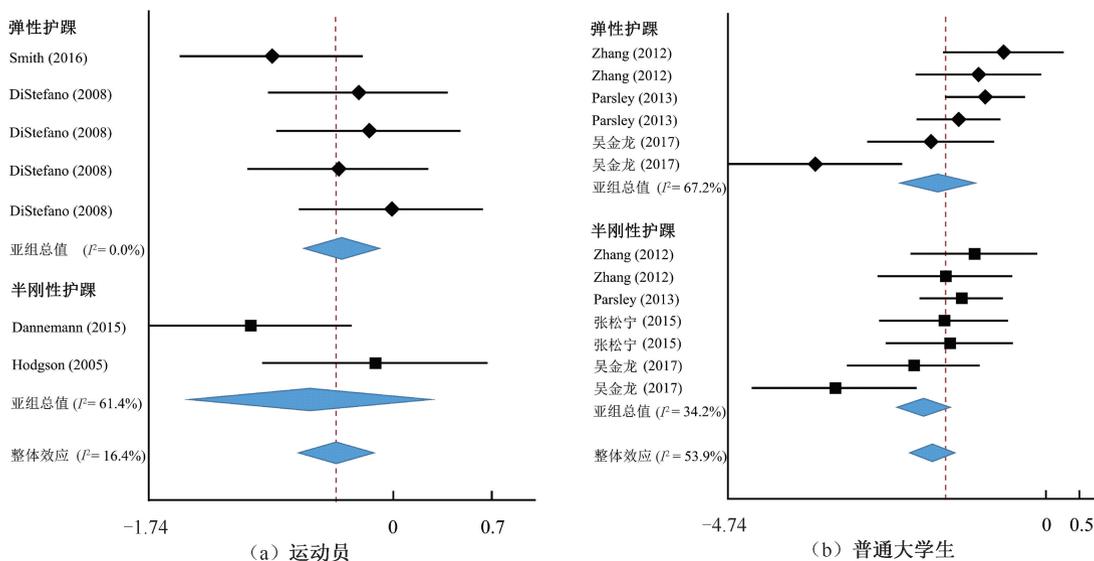


图 5 不同类型护踝对运动员和普通大学生踝关节跖屈的影响

Fig.5 Effects of different ankle brace on the plantar flexion of different populations (a) Athletes, (b) Collegiate students

3 分析与讨论

流行病学研究指出,踝关节损伤风险可能受运动水平的影响,且普通大学生更易损伤^[28]。究其原因,可能是与运动员相比,普通大学生的体能和技术水平低,且协调性差,导致危险因素发生更频繁^[29]。此外,普通大学生的下肢力量较弱,导致危险因素发生程度更大,损伤更为严重^[29]。护踝作为一种有效的损伤预防手段,其预防机制在不同运动水平中的差异仍不清楚。本文运用 Meta 分析系统评估护踝类型对不同人群落地时踝关节运动生物力学的影响,结果支持两个假设,即对于不同人群,弹性护踝和半刚性护踝的预防效果存在差异。

3.1 不同护踝类型对运动员落地时踝关节运动学的影响

踝关节损伤的主要机制是内翻和跖屈。研究发现,由过度内翻、跖屈引发的损伤约为所有踝关节外侧损伤 70%^[6]。而护踝的主要目的就是限制踝关节内翻、跖屈,减小外侧韧带应力,从而起到降低踝关节损伤风险的作用^[3]。本文结果显示,所有护踝类型均减小运动员踝关节内翻角,且弹性护踝的限制作用更显著,推测原因是半刚性护踝通过两侧夹板为踝关节提供机械支撑。这种支撑的覆盖面积较弹性护踝更小,且与皮肤的贴合程度较差,致使踝关节仍可以在小范围内进行内翻活动^[10,30]。考虑到本文纳入的相关研究多数是平面落地,踝关节内翻角范围为 $4.01^{\circ} \sim 6.57^{\circ}$ 。在如此小的活动范围内,半刚性护踝可能并不能很好地发挥其限制作用。然而 Cordova 等^[11]通过 Meta 分析发现,半刚性护踝对踝关节内翻的限制更大,与本研究结果不一致。不一致的原因可能在于本 Meta 分析纳入所有弹性护踝的相关研究,而 Cordova 等^[11]仅纳入弹性护踝中的系带护踝,故所得结果并不能反映弹性护踝的整体趋势。而且需要注意的是, Cordova 等^[11]未对纳入文献进行质量评价,纳入低质量研究可能会影响最终的合并效应结果。而本文对纳入文献进行严格的评价,保证了 Meta 分析结果的有效性。

本文发现,仅弹性护踝可限制运动员跖屈,这与文献^[31]结果较为相似,推测原因在于弹性护踝的 L 型设计增加了对踝关节矢状面活动的限制。同时, Wright 等^[5]指出,弹性护踝亦可改善踝关节

对跖屈位置的感知,使其以较小的跖屈落地。Gudibanda 等^[32]通过运动生物力学分析指出,在较小的跖屈程度下,需更大的内旋力矩才可致伤,这一定程度上说明小的踝关节跖屈是更安全的着地策略。Ozeki 等^[33]进一步通过有限元分析发现,限制踝关节跖屈可以减少外侧韧带张力,进而达到预防踝关节外侧损伤的目的。

3.2 不同护踝类型对普通大学生落地时踝关节运动学的影响

本文通过 Meta 分析发现,弹性护踝、半刚性护踝均减少了普通大学生的踝关节内翻,且弹性护踝的限制程度更大。研究显示,限制踝关节内翻主要减小跟腓韧带的张力^[3]。由此可以得出,弹性护踝预防跟腓韧带损伤的作用更大。然而,本文结果与 Verhagen 等^[34]的系统评价结果存在矛盾,后者认为半刚性护踝对内翻的限制程度更明显。本文认为,两个研究获得不一致结果的原因可能是 Verhagen 等^[34]重点分析了运动后护踝的保护效果。一方面,长时间运动可能产生疲劳效应,会严重影响下肢的运动特征,继而改变护踝的保护效果;另一方面,长时间运动后弹性护踝的绷带可能发生松动,从而导致弹性护踝对内翻的限制作用下降^[11]。

从本文 Meta 分析结果还可以看出,所有护踝均可限制普通大学生落地时的踝关节跖屈,但半刚性护踝的限制作用更大。推测原因是半刚性护踝的足跟限制系统产生触觉刺激,从而促进胫骨前肌活动。而胫骨前肌是腓肠肌的拮抗肌,前者激活程度更高会使腓肠肌活动受到抑制,进而导致跖屈减小^[35]。限制跖屈主要影响距腓前韧带张力^[33]。结合本 Meta 分析结果可以得出,半刚性护踝预防距腓前韧带损伤的效果更好。然而,本文结果与 Cordova 等^[11] Meta 分析报道的弹性护踝对跖屈的限制作用更大不一致,可能由于该研究未区分运动水平,其纳入的研究对象包括专业运动员、业余运动员、普通人群。另有研究发现,不同运动水平人群的下肢运动特征不一致,且普通大学生踝关节损伤危险因素的发生程度较运动员更大^[29]。这些结果提示,研究护踝的预防机制应从不同运动水平展开。Cordova 等^[11]并没有对不同运动水平进行亚组分析,可能会对研究结果造成影响。而本文对业余运动员和普通大学生进行了区分,避免先前 Meta 分

析中的一些问题,所获结论可能更为可靠。

总体看来,护踝对运动员内翻的限制较普通大学生更小,推测原因是运动员的姿势控制能力更好,致使踝关节以中立位着地,护踝的限制程度降低^[36]。本文还发现,半刚性护踝对普通大学生跖屈的限制更大,但对于运动员,半刚性护踝的限制作用不显著。推测造成这种现象的原因是半刚性护踝主要通过抑制腓肠肌活动来减小跖屈,而运动员的腓肠肌肌力明显强于普通大学生,可能超出半刚性护踝的抑制范围,从而导致其对跖屈的限制不明显^[35]。

3.3 研究局限性及展望

由于实验设计和高异质性,本文一些指标的证质量偏低。而且由于研究数量不足,本文并未能进一步细分护踝类型。本文还排除了非英语、中文的研究,可能会遗漏潜在的相关数据。因此,建议未来研究应对护踝类型进行细分,使结果更具针对性。其次,本文 Meta 分析中,纳入研究的落地高度并不统一,但目前还不清楚落地高度是否与护踝有交互作用,提示未来研究可以考虑分析护踝在不同落地高度下的预防机制,以期对各类护踝的保护效果有更全面的认识。

4 结论与建议

对于有 5 年以上训练史篮球、排球、跑步运动员,弹性护踝、半刚性护踝的预防效果不同,特别是弹性护踝能同时限制落地时踝关节内翻、跖屈,而半刚性护踝只能限制踝关节内翻。因此,本文认为弹性护踝的预防效果更好。对于无任何训练背景的普通大学生,两种护踝均可限制踝关节内翻、跖屈,表明所有护踝均有一定的预防效果。但两者预防机制不同,其中弹性护踝对内翻限制更大,半刚性护踝限制跖屈更明显。

因此,建议运动员在运动中选择弹性护踝,减少踝关节外侧韧带损伤的可能性。对于普通大学生,建议若有跟腓韧带损伤史,优先考虑选用弹性护踝;若有距腓前韧带损伤史,则更适合半刚性护踝。

参考文献:

[1] HENRY T, EVANS K, SNODGRASS SJ, et al. Risk

factors for noncontact ankle injuries in amateur male soccer players: A prospective cohort study [J]. Clin J Sport Med, 2016, 26(3): 251-258.

[2] 美国平, 孟强, 牛文鑫, 等. 踝关节扭伤防护及其康复研究进展[J]. 医用生物力学, 2016, 31(1): 78-82.

GUAN GP, MENG Q, NIU WX, et al. Research progress of ankle sprains, protection and rehabilitation [J]. J Med Biomech, 2016, 31(1): 78-82.

[3] DUBIN JC, COMEAU D, MCCLELLAND RI, et al. Lateral and syndesmotic ankle sprain injuries: A narrative literature review [J]. J Chiropr Med, 2011, 10(3): 204-219.

[4] 李玉莲, 王守彪, 丁士海. 距骨滑车关节面的形态对踝关节稳定性的影响[J]. 中国临床解剖学杂志, 1999, 17(3): 57-58.

[5] WRIGHT IC, NEPTUNE RR, BOGERT AJ, et al. The influence of foot positioning on ankle sprains [J]. J Biomech, 2000, 33(5): 513-519.

[6] MELANSON SW, SHUMAN VL. Acute ankle sprain [M]. StatPearls: StatPearls Publishing, 2020.

[7] TAMURA K, RADZAK KN, VOGELPOHL RE, et al. The effects of ankle braces and taping on lower extremity running kinematics and energy expenditure in healthy, non-injured adults [J]. Gait Posture, 2017, 58(7): 108-114.

[8] HALL EA, SIMON JE, DOCHERTY CL. Using ankle bracing and taping to decrease range of motion and velocity during inversion perturbation while walking [J]. J Athl Train, 2016, 51(4): 283-290.

[9] VERHAGEN EA, VAN MECHELEN W, DE VENDE W. The effect of preventive measures on the incidence of ankle sprains [J]. Clin J Sport Med, 2000, 10(4): 291-296.

[10] KLEM NR, WILD CY, WILLIAMS SA, et al. Effect of external ankle support on ankle and knee biomechanics during the cutting maneuver in basketball players [J]. Am J Sports Med, 2017, 45(3): 685-691.

[11] CORDOVA ML, INGERSOLL CD, LEBLANC MJ. Influence of ankle support on joint range of motion before and after exercise: A meta-analysis [J]. J Orthop Sports Phys Ther, 2000, 30(4): 170-177.

[12] 孟强, 美国平, 牛文鑫, 等. 踝关节内翻防护型半刚性踝护具的力学特征[J]. 医用生物力学, 2016, 31(6): 483-489.

MENG Q, GUAO GP, NIU WX, et al. Mechanical characteristics of a semi-rigid ankle brace for protecting ankle varus [J]. J Med Biomech, 2016, 31(6): 483-489.

[13] KHALAJ N, VICENZINO B, HEALES LJ, et al. Is chronic ankle instability associated with impaired muscle strength? Ankle, knee and hip muscle strength in individuals with chronic ankle instability: A systematic review with meta-analysis [J]. Br J Sports Med, 2020, 54(14): 839-847.

- [14] MOHER D, LIBERATI A, TETZLAFF J, *et al.* Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement [J]. *PLoS Med*, 2009, 6(7): e1000097.
- [15] DANNEMANN A, MAIWALD C, HEIDENFELDER J. Consistency of subjective comfort ratings of running footwear [J]. *Footwear Sci*, 2015, 7(sup1): S1-S2.
- [16] DEWAR RA, ARNOLD GP, WANG W, *et al.* The effects of wearing an Ankle Stabilizing Orthosis (ASO) ankle brace on ankle joints kinetics and kinematics during a basketball rebounding task [J]. *Foot*, 2019, 40(5): 34-38.
- [17] DISTEFANO LJ, PADUA DA, BROWN CN, *et al.* Lower extremity kinematics and ground reaction forces after prophylactic lace-up ankle bracing [J]. *J Athl Train*, 2008, 43(3): 234-241.
- [18] HODGSON B, TIS LL, COBB SC, *et al.* The effect of external ankle support on vertical ground-reaction force and lower body kinematics [J]. *J Sport Rehabil*, 2005, 14(4): 301-312.
- [19] SMITH B, CLAIBORNE T, LIBERI V. Ankle Bracing decreases vertical jump height and alters lower extremity kinematics [J]. *Int J Athl Ther Trai*, 2016, 21(2): 39-46.
- [20] 罗小强, 潘慧. 不同类型护具对斜面垂直着地时踝关节运动学和地面反作用力的影响[J]. *中国校医*, 2017, 31(9): 648-649.
- [21] MAEDA N, URABE Y, SASADAI J, *et al.* Effect of soft and semi-rigid ankle braces on kinematic and kinetic changes of the knee and ankle joints after forward and lateral drop landing in healthy young women [J]. *Isokinet Exerc Sci*, 2019, 27(5): 1-7.
- [22] NIU W, WANG Y, YAO J, *et al.* Consideration of gender differences in ankle stabilizer selection for half-squat parachute landing [J]. *Aviat Space Environ Med*, 2011, 82(12): 1118-1124.
- [23] PARSLEY A, CHINN L, LEE SY, *et al.* Effect of 3 different ankle braces on functional performance and ankle range of motion [J]. *Athl Train Sports Health Care*, 2013, 5(2): 69-75.
- [24] ZHANG S, WORTLEY M, CHEN Q, *et al.* Efficacy of an ankle brace with a subtalar locking system in inversion control in dynamic movements [J]. *J Orthop Sports Phys Ther*, 2009, 39(12): 875-883.
- [25] ZHANG S, WORTLEY M, SILVERNAIL JF, *et al.* Do ankle braces provide similar effects on ankle biomechanical variables in subjects with and without chronic ankle instability during landing? [J]. *J Sport Health Sci*, 2012, 1(2): 114-120.
- [26] 吴金龙. 不同类型踝关节护具对功能性踝关节不稳者下落着地的生物力学影响[D]. 苏州: 苏州大学, 2017.
- [27] 张松宁, CHEN Q, WORTLEY M, 等. 地表面倾斜度与踝关节护具对垂直着地运动中地面反作用力、踝关节运动学和动力学的效应[J]. *体育科研*, 2015, 36(1): 1-10.
- [28] MAUNTEL TC, WIKSTROM EA, ROOS KG, *et al.* The epidemiology of high ankle sprains in National Collegiate Athletic Association sports [J]. *Am J Sports Med*, 2017, 45(9): 2156-2163.
- [29] SAITO AK, NAVARRO M, SILVA MF, *et al.* Oscillation of plantar pressure center in athletes and non-athletes with and without ankle sprains [J]. *Rev Bras Ortop*, 2016, 51(4): 437-443.
- [30] 赵承坤, 曲峰. 使用不同踝关节保护措施对足球运动员侧切时支撑腿生物力学特征的影响[J]. *西安体育学院学报*, 2015, 32(2): 212-218.
- [31] MASON-MACKAY AR, WHATMAN C, REID D. The effect of ankle bracing on lower extremity biomechanics during landing: A systematic review [J]. *J Sci Med Sport*, 2016, 19(7): 531-540.
- [32] GUDIBANDA A, WANG Y. Effect of the ankle stabilizing orthosis on foot and ankle kinematics during cutting maneuvers [J]. *Res Sports Med*, 2005, 13(2): 111-126.
- [33] OZEKI S, YASUDA K, KANEDA K, *et al.* Simultaneous strain measurement with determination of a zero strain reference for the medial and lateral ligaments of the ankle [J]. *Foot Ankle Int*, 2002, 23(9): 825-832.
- [34] VERHAGEN EA, BEEK AJ, MECHELEN W. The effect of tape, braces and shoes on ankle range of motion [J]. *Sports Med*, 2001, 31(9): 667-677.
- [35] HENDERSON ZJ, SANZO P, ZERPA C, *et al.* Ankle bracing's effects on lower extremity iEMG activity, force production, and jump height during a vertical jump test: An exploratory study [J]. *Phys Ther Sport*, 2019, 37(4): 171-178.
- [36] YOKOYAMA S, MATSUSAKA N, GAMADA K, *et al.* Position-specific deficit of joint position sense in ankles with chronic functional instability [J]. *J Sports Sci Med*, 2008, 7(4): 480-485.