

文章编号:1004-7220(2020)06-0679-06

踝关节贴扎在优势侧落地动作中对膝关节生物力学特性的影响

王海妹^{1a}, 谢地^{1a}, 马旭², 陈卉芳^{1b}, 时潇^{1a}, 马彬^{1a}, 刘海斌^{1a}, 李晓铭^{1a}

(1. 山东第一医科大学(山东省医学科学院) a. 运动医学研究所, b. 护理学院, 山东泰安 271000;

2. 华南师范大学体育科学学院, 广州 510631)

摘要:目的 研究踝关节贴扎(限制踝关节内翻跖屈)在优势侧单腿落地动作中对膝关节生物力学特征的影响。方法 在踝关节未贴扎和贴扎两个条件下,18位业余运动员执行优势侧单腿落地动作,使用Vicon三维运动捕捉系统、Kistler测力台和Noraxon表面肌电系统共同采集运动学、动力学、表面肌电数据,进行统计学分析。结果 与未贴扎相比,贴扎后触地时刻的膝关节屈曲角度和接触地面过程中膝关节最大屈曲角度显著性增加,而膝关节最大外翻角度显著性减小。结论 限制踝关节内翻跖屈贴扎可能会降低前交叉韧带损伤的风险。踝关节贴扎的干预方式能够改变在落地动作中膝关节生物力学指标。限制踝关节内翻跖屈贴扎可以作为预防大学生运动员前交叉韧带损伤的有效措施。

关键词:贴扎; 膝关节; 踝关节; 生物力学

中图分类号: R 318.01 **文献标志码:** A

DOI: 10.16156/j.1004-7220.2020.06.005

Effects of Ankle Taping on Knee Biomechanics during Dominant-Legged Drop Landing

WANG Haimei^{1a}, XIE Di^{1a}, MA Xu², CHEN Huifang^{1b}, SHI Xiao^{1a}, MA Bin^{1a}, LIU Haibin^{1a}, LI Xiaoming^{1a}

(1. a. Institute of Sports Medicine; b. School of Nursing, Shandong First Medical University & Shandong Academy of Medical Sciences, Tai'an 271000, Shandong, China; 2. Institute of Sport Science, South China Normal University, Guangzhou 510631, China)

Abstract: Objective To study the effect of ankle taping (restriction of ankle varus and plantar flexion) on biomechanical characteristics of the knee during drop landing on the dominant leg. **Methods** Eighteen amateur athletes performed the dominant-legged drop landing under two different ankle conditions (with or without taping). Vicon three-dimensional (3D) motion capture system, Kistler force plate and Noraxon surface electromyography (sEMG) system were used to collect kinetic, kinematic and sEMG data for statistical analysis. **Results** Compared with control group, ankle taping significantly increased flexion angle at initial contact and maximum flexion angle, while significantly decreased the maximum valgus angle. **Conclusions** The restriction of varus and plantar flexion might reduce the risk of anterior cruciate ligament (ACL) injury. The intervention with ankle taping could modify biomechanical parameters of the knee during drop landing. The ankle taping by restriction of ankle varus and plantar flexion may be an effective measure to prevent ACL injury for collegiate athletes.

Key words: taping; knee joint; ankle joint; biomechanics

收稿日期:2019-10-01; 修回日期:2019-11-26

基金项目:国家自然科学基金项目(81472143),山东省医药卫生科技发展计划项目(2018WS132)

通信作者:谢地,副教授,E-mail: dxie@tsmc.edu.cn

前交叉韧带 (anterior cruciate ligament, ACL) 损伤是一种严重且常见的损伤,不仅会影响运动员的运动生涯,也会对生活的质量造成影响。ACL 损伤后 10~20 年,会进一步发展为膝关节骨性关节炎。70% ACL 损伤是由非接触引起,30% 由接触引起,而且非接触性损伤没有特定的防护措施能百分之百有效保护 ACL^[1]。近几年报道的 ACL 损伤率居高不下,可见如何预防 ACL 损伤显得尤为重要。

研究认为,ACL 损伤原因主要分为环境、解剖学、激素、生物力学相关的神经肌肉控制四大类因素^[2]。其中,生物力学因素常通过测试落地等动作来判断该实验方案对 ACL 损伤的影响。从高处位置开始跳跃到单腿落地着陆,胫骨会发生旋转或突然的停止运动,容易造成 ACL 损伤。在落地任务冲击阶段,膝关节的外翻角度以及外翻力矩已被公认为是影响 ACL 损伤的生物力学危险因素;而股四头肌、腘绳肌、腓肠内外侧肌的神经肌肉控制也是造成 ACL 损伤的重要因素,特别是腘绳肌的作用,由于其能够控制胫骨的前移,故能缓解 ACL 张力。

针对 ACL 损伤的预防措施有:① 通过神经肌肉控制的训练和本体感觉的训练。这些干预措施包括肌肉力量训练、平衡训练、快速伸缩复合训练、近端控制训练、增加运动专项的灵活性和改进技术的练习等^[3]。② 对运动员进行 ACL 损伤预防知识相关的教育。③ 膝关节护具和贴扎对 ACL 损伤预防的应用。但膝关节护具佩戴会影响运动的表现,限制了膝关节护具在赛场上的应用。起初,踝关节护具和贴扎的研究主要集中于踝关节的损伤预防方面,近年来逐渐开始探讨踝关节护具和贴扎对膝关节生物力学特性的影响。

根据相关的运动链理论,一个关节运动学和动力学的改变,会引起相邻关节生物力学的改变^[4]。例如,踝关节过度内翻会增加膝关节内翻的角度,踝关节过度跖屈可能会引起膝关节屈曲角度增大。因此,对踝关节内翻跖屈的限制,可能会引起膝关节的内翻、屈曲角度的减小。如果限制踝关节贴扎,由于运动链理论,对膝关节会产生怎样的影响?

众所周知,踝关节贴扎能降低踝关节的损伤率。最常见的传统贴扎类型为无弹性的白贴,使

用马镫、马蹄、数字八包裹和锁跟的贴扎方式。Frankeny 等^[5]的研究表明,贴扎效果在很大程度上取决于贴扎的方式,其中在预防踝关节扭伤贴扎中,以限制踝关节内翻跖屈贴扎方式为最佳,且大多数踝关节扭伤和足部的跖屈与内翻有关。然而,有关踝关节外部支撑对邻近关节的影响,目前尚无统一结论。Riemann 等^[6]研究发现,在落地动作中,踝关节进行编篮式贴扎(目的为限制踝关节内翻跖屈背伸)后,地面反作用力峰值时间缩短,表明在落地触地时下肢产生僵硬。Cordova 等^[7]通过对踝关节执行编篮式贴扎(目的为限制踝关节内翻跖屈背伸)后发现,膝关节矢状面的角位移减小,地面反作用力增大;Hopper 等^[8]通过贴扎(目的为限制踝关节内翻和跖屈)执行落地动作,结果表明,由于外部条件给予踝关节额外的稳定,减少了对周围肌群激活的需要,导致腓肠肌电活动水平降低。但是,Stitler 等^[9]研究表明,踝关节额外的稳定支撑不会增加膝关节的风险。然而,也有研究认为,踝关节贴扎对膝关节产生正性的影响。踝关节贴扎后,膝关节内旋力矩峰值降低^[10]。跑步运动中,膝关节最大屈曲速度增加^[11]。由此可见,有关踝关节贴扎对膝关节生物力学指标的影响,结论未达成一致。学者们分别从动力学、运动学进行相关验证,但鲜有关于表面肌电 (surface electromyogram, sEMG) 系统的研究报道。因此,想明确踝关节贴扎对膝关节影响,需要综合下肢三维运动学、动力学以及 sEMG,共同验证踝关节贴扎对膝关节的影响。该问题的解决对于踝关节贴扎技术在赛场上是否能广泛应用具有重要的意义。

Weinhandl 等^[12]研究认为,优势侧由于躯体的习惯性,会导致负荷增加以及关节会承受异常的力矩。因此,ACL 损伤常发生在优势侧。基于前人研究的基础,本文通过分析在优势侧限制踝关节内翻跖屈贴扎进行单腿落地动作测试,探讨踝关节贴扎对膝关节生物力学特性的影响。根据相关研究结果,本文初步假设:在限制优势侧的踝关节内翻跖屈贴扎后执行单腿落地动作,会减小膝关节屈曲角度和力矩,增大膝关节外翻角度和力矩,并且会增大膝关节股四头肌的 EMG 活动水平,减小腘绳肌和腓肠肌 EMG 活动水平。

1 材料和方法

1.1 实验设计

对实验对象的优势侧下肢进行限制踝关节内翻跖屈贴扎,分别在未贴扎和贴扎后从 35 cm 高平台执行单腿落地跳。

1.2 实验对象

选取 18 名在校篮球运动员作为受试者,男、女各 9 名,年龄(21.06 ± 1.72)岁,体质量(53.03 ± 7.64)kg,身高(170.06 ± 9.18)cm。受试者的纳入标准为:近 3 个月无踝关节急性损伤,两侧下肢均无肌肉骨骼疾病,对贴布没有过敏,无视觉和前庭觉功能障碍,身体机能及运动能力良好;排除标准为:下肢有过严重损伤或手术史,如踝关节扭伤、ACL 损伤、骨折或髌骨脱位等所有受试者的优势侧均为右侧,采用 10 m 单腿连跳法评定,用时最短一侧被定义为优势侧^[13]。本研究经山东第一医科大学伦理委员会批准(批件编号:201893)。在实验前,清楚告知受试者实验目的及测试过程,每位受试者进行 10 min 热身和单腿落地跳动作的练习,并签署知情同意书。

1.3 测量指标

① 运动学:膝关节最大屈曲角度和最大外翻角

度,膝关节触地屈曲角度和外翻角度;② 动力学:膝关节屈曲力矩,膝关节外翻力矩;③ sEMG:股外、股内侧肌,半腱肌,股二头肌长头,腓肠肌内、外侧头。

1.4 实验设备

使用 Vicon 光学动作捕捉系统(采集频率为 200 Hz, Oxford Metrics 公司,英国)和 1 块 60 cm × 40 cm 三维测力台(型号 9286BA, 采集频率为 1 kHz, Kistler 公司,瑞士)采集运动学、动力学数据。使用 16 通道 sEMG 测试系统(型号 Desktop DTS, 采集频率为 1 kHz, Noraxon 公司,美国)和一次性 Ag/AgCl 电极片(型号 YT55, 宁波康泽医疗器械有限公司)收集 12 块膝关节周围肌肉的最大随意收缩(maximum voluntary contraction, MVC)和落地动作过程中 EMG 信号。

1.5 踝关节贴扎

在测试过程中,由同一名有经验贴扎技术人员对受试者实施贴扎。所用贴布为美国 La Pointique 公司生产销售的欧比护具(LP SUPPORT)专业运动贴布(1 卷为 38 mm × 13 m),皮肤贴为美国 La Pointique 公司生产的人工泡膜,尺寸为 70 mm × 27 m。图 1 所示为限制踝关节内翻跖屈贴扎的方法。主要步骤包括:锚点固定、马蹬和固定马蹬、马蹄和两道 S 型、锁跟固定。

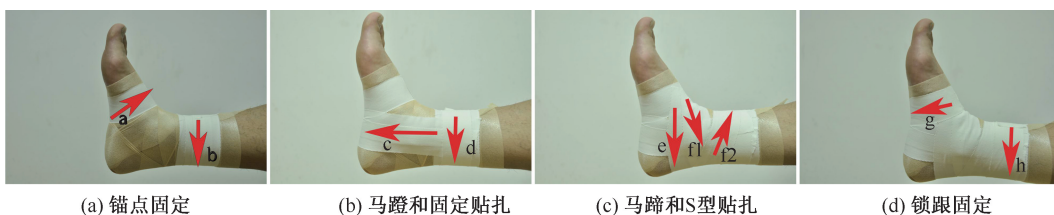


图 1 限制踝关节内翻跖屈贴扎

Fig.1 Taping for restricting ankle varus and plantar flexion (a) Overlaid anchor taping, (b) Stirrup fixation, (c) Horseshoe and S-type taping, (d) Two-heel lock fixation

1.6 测试过程

将采集到的每位受试者的基本数据(身高、体质量、腿长、膝宽、踝宽)输入 Vicon Nexus 软件中,用于计算落地动作中膝关节的运动学和动力学参数;受试者穿统一的鞋和紧身服,测试左右侧 6 块肌肉 MVC,用于落地动作中 sEMG 信号的最大值归一化处理。电极片放置为顺着各个肌肉肌纤维的走向贴于肌腹隆起处,相距距离为 2 cm, sEMG 传

感器的放置与肌肉平行(股内侧肌、股外侧肌、半腱肌、股二头肌长头、腓肠肌内侧头、腓肠肌外侧头);实验对象粘贴的反光标识点为 16 个,分别放置于左右髌前上棘、左右髌后上棘、左右股骨外侧髁、左右外踝、左右跟骨、左右第 2 趾骨、左侧大转子与左膝关节连接线上 1/3 处、右侧大转子与右股骨外侧髁连接线下 1/3 处。测试动作规范:受试者非优势侧单腿站于 35 cm 高平台,优势侧腿

向正前踢,眼睛目视前方,双手放置于腰部,从平台上自由落地,如果优势侧下肢在落地接触地面由膝关节最大屈曲到伸膝直立过程中,没有躯干的前后左右的移动,且维持3 s以上的平衡,则视为1次落地动作的成功。4个时间点至少采集成功3次动作。为了消除疲劳,在下一次落地跳前受试者休息2 min。

1.7 数据分析

利用Vicon动作捕捉系统采集落地过程中,测力台读数超过10 N至膝关节最大屈曲角度这一阶段的运动学和动力学参数。首先原始EMG数据经过带通500 Hz高通滤波器和20 Hz低通滤波器处理,采用四阶无相移全波整流,再用50 ms平滑处理,将EMG信号归一化,单腿落地动作和最大等长收缩的数据进行均方根(root mean square, RMS)处理,并用肌肉MVC进行标准化(计算公式为 $\frac{\text{RMS}}{\text{MVC}} \times 100\%$)。股四头肌EMG活动以股外侧肌

和股内侧肌EMG活动的均值计算,腓绳肌EMG活动以股二头肌和半腱肌EMG活动的均值计算^[14]。

1.8 统计学分析

使用SPSS 22.0对贴扎前后不同参数进行统计学分析,Shapiro-Wilk检验数据是否为正态性分布,符合正态分布用配对样本 t 检验,非正态分布使用曼-惠特尼秩和检验(Mann-Whitney U test),统计显著性差异水平为0.05;一致性检验组内相关系数(intra-class correlation coefficient, ICC)范围为0.860~0.994。

2 结果

2.1 运动学分析

考察限制踝关节内翻跖屈贴扎对优势侧落地动作中膝关节运动学指标的影响。落地动作中,与未贴相比,限制踝关节内翻跖屈贴扎后,增大落地过程中优势侧膝关节最大屈曲角度($P=0.02$);增大落地过程中优势侧膝关节触地屈曲角度($P=0.04$);降低落地过程中优势侧膝关节最大外翻角度($P=0.01$)。膝关节触地时刻外翻角度未见显著差异(见表1)。

表1 未贴扎与贴扎后膝关节角度比较

Tab.1 Comparison of knee angles before and after taping

分组	膝关节角度/(°)			
	最大屈曲	最大外翻	触地屈曲	触地外翻
未贴扎	40.32(2.23)	-11.55(1.27)	8.50(4.81)	-1.13(4.14)
贴扎后	43.85(1.58)	-7.71(1.41)	11.50(1.29)	-0.98(1.41)
P	0.02	0.01	0.04	0.56

2.2 动力学分析

考察限制踝关节内翻跖屈贴扎对优势侧落地运动中膝关节动力学指标的影响(见表2)。配对 t 检验结果表明,膝关节屈曲力矩和外翻力矩均未见显著差异($P>0.05$)。

表2 未贴扎与贴扎后膝关节力矩比较

Tab.2 Comparison of knee moment before and after taping

分组	力矩/[N·m·(kg·m) ⁻¹]	
	屈曲	外翻
未贴扎	2.44(0.17)	-0.63(0.07)
贴扎后	2.31(0.18)	-0.55(0.09)
P	0.79	0.06

2.3 sEMG分析

考察限制踝关节内翻跖屈贴扎对优势侧落地运动中膝关节sEMG的影响(见表3)。配对 t 检验分析结果表明,限制踝关节内翻跖屈贴扎对落地动作中膝关节周围肌群的影响未见显著性差异($P>0.05$)。

表3 未贴扎与贴扎后膝关节周围肌肉sEMG比较

Tab.3 Comparison of knee joint sEMG before and after tapping

肌群	未贴扎	贴扎后	% MVC
			P
股外侧肌	288.10(34.50)	260.80(40.20)	0.91
股内侧肌	304.10(40.50)	224.40(36.60)	0.30
半腱肌	332.00(13.20)	177.80(55.00)	0.23
股二头肌长头	376.00(19.10)	105.40(24.12)	0.25
腓肠肌内侧头	138.40(21.50)	116.40(24.90)	0.81
腓肠肌外侧头	154.10(28.51)	123.81(20.10)	0.66
股四头肌	310.10(38.80)	294.40(50.80)	0.95
腓绳肌	269.00(86.10)	118.10(21.11)	0.81

3 讨论

本文对优势侧限制踝关节内翻跖屈贴扎后进行单腿落地动作,分析运动学、动力学和sEMG指标。结果表明,贴扎后膝关节触地时刻屈曲角度和膝关节最大屈曲角度增加,膝关节最大外翻角度减小,但对膝关节周围sEMG没有影响;限制踝关节内翻跖屈贴扎法对膝关节具有保护作用,该结果未支

持本文先前提出的假设,推测是样本量不够、业余运动员等原因,使踝关节贴扎对膝关节产生正性的影响。与 Stoffel 等^[10] 研究结果一致,本文研究表明,贴扎后关节稳定性有所增加,因为与未贴扎相比,在运动过程中踝关节贴扎后膝关节内旋力矩、内翻力矩降低,对膝关节保护有积极的结果。然而 Riemann 等^[6] 和 Cordova 等^[7] 的结论均表明,贴扎增大了膝关节的损伤风险。本文认为,出现结果不一致性的主要原因是,不同研究所采用的贴扎方式不一致,虽然均为闭锁编篮式贴扎,但贴扎方式不同,导致了不一样的限制效果。本文采用马蹬、马蹄及两道 S 型贴扎,以起到限制踝关节内翻跖屈的作用。与本研究结果一致采用的贴扎方式为:马蹬和数字 6 相结合,起到限制踝关节内翻背伸的作用;与本文结果不一致采用的贴扎方式为:传统闭锁编篮式贴扎,其目的为限制踝关节的内翻跖屈背伸作用。本文结果表明,增加膝关节触地时刻的屈曲角度和膝关节最大屈曲角度,减小膝关节最大外翻角度,能有效预防膝关节损伤。由于膝关节的特殊解剖学结构,胫骨近端前剪切力和膝关节屈曲角度影响 ACL 负荷,而前者是影响 ACL 负荷的主要机制。研究表明,随着膝关节屈曲角度增加,ACL 负荷有所减小;膝关节屈曲角度对 ACL 负荷影响的另一个主要机制是膝关节屈曲角度与髌腱胫骨角、ACL 与胫骨平台夹角的关系。随着膝关节屈曲角度减小,髌腱胫骨角增大,ACL 负荷随着 ACL 倾斜角度的减小而增大^[15]。单腿落地动作时,外翻力矩峰值增加,使 ACL 的风险率呈现非线性增大^[16]。

肌肉激活是肌肉收缩力的主要决定因素,如股四头肌激活增加会导致股四头肌肌力增加。与未贴扎相比,在优势侧贴扎后,股内侧肌、股外侧肌、股二头肌长头、半腱肌、腓肠肌内侧头、腓肠肌外侧头 EMG 均无显著性差异,该结果与 Henderson 等^[17] 研究结果一致,但与本文提出的假设不一致。虽然股内、股外侧肌没有显著性差异,但股直肌、股中间肌的深层肌群有可能被激活,需要进一步验证。在落地过程中,随着膝关节最大屈曲角度增加,腓绳肌的 EMG 活动水平也在增加,虽然差异没有统计学意义。而腓肠肌和比目鱼肌一起作用于足踝部,使踝关节做跖屈活动,背屈没有增大,腓肠肌、离心收缩未增加。因此,在优势侧进行落地动

作中,贴扎后腓肠肌 EMG 活动未见显著性差异。

本实验的局限性如下:① 仅招募 18 位受试者,数量较少,后续可通过进一步扩大样本量开展研究。② 仅采用一种限制踝关节活动度方法,应用也仅限于该种方式,未来研究可探讨其他种类贴扎的限制作用。③ 仅对落地动作进行实验,ACL 损伤运动还有侧切、突然加速、突然减速等动作,后续可对其他危险动作进行探讨。④ 非优势侧没有进行相关研究,是否也有一致的结果,需要进一步分析。

4 结论

本文通过对 18 名身体健康业余运动员受试者在限制踝关节内翻跖屈贴扎后执行优势侧落地动作,分析膝关节运动学、动力学、sEMG 差异,揭示踝关节贴扎对 ACL 损伤风险因素的影响。本文的研究结果提示,限制踝关节内翻跖屈贴扎方法可能会降低 ACL 损伤的风险,并可应用于 ACL 损伤的预防。赛场上运动员、教练只有更好地了解踝关节贴扎在优势侧执行落地动作中的机制,才能减少踝关节受伤的风险率。

致谢: 由于生物力学采集数据的庞大,感谢团队中参与数据讨论及处理的老师和同学们。

参考文献:

- [1] SUTTON KM, BULLOCK JM. Anterior cruciate ligament rupture: Differences between males and females [J]. *J Am Acad Orthop Surg*, 2013, 21(1): 41-50.
- [2] LAIBLE C, AHERMAN OH. Risk factors and prevention strategies of non-contact anterior cruciate ligament injuries [J]. *Bull Hosp Jt Dis*, 2013, 72(1): 70-75.
- [3] 孔令华, 李令岭. 神经肌肉训练对运动员 ACL 损伤康复与预防的研究综述 [J]. *中国体育科技*, 2019, 55(1): 1-5.
- [4] TANG M. 胶原、骨骼与骨关节 [J]. *明胶科学与技术*, 2012, 32(2): 80-85.
- [5] FRANKENY IJR, TEWETT DL, HANKS GA, et al. A comparison of ankle-taping methods [J]. *Med Sci Sports Exerc*, 1987, 19(2): 143-147.
- [6] RIEMANN BL, SCHMITZ RJ, GALE M, et al. Effect of ankle taping and bracing on vertical ground reaction forces during drop landings before and after treadmill jogging [J]. *J Orthop Sports Phys Ther*, 2002, 32(12): 628-635.
- [7] CORDOVA ML, TAKAHASHI Y, KRESS GM, et al. Influence of external ankle support on lower extremity joint mechanics during drop landings [J]. *J Sport Rehabil*,

- 2010, 19(2): 136-148.
- [8] HOPPER DM, MCNAIR P, ELLIOTT BC. Landing in netball: Effects of taping and bracing the ankle [J]. Br J Sports Med, 1999, 33(6): 409-413.
- [9] SITLER MR, HORODYSKI M. Effectiveness of prophylactic ankle stabilisers for prevention of ankle injuries [J]. Sports Med, 1995, 20(1): 53-57.
- [10] STOFFEL KK, NICHOLLS RL, WINATA AR, *et al.* Effect of ankle taping on knee and ankle joint biomechanics in sporting tasks [J]. Med Sci Sports Exerc, 2010, 42(11): 2089-2097.
- [11] 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: 108-114.
- [12] WEINHANDL JT, IRMISCHER BS, SIEVERT ZA, *et al.* Influence of sex and limb dominance on lower extremity joint mechanics during unilateral land-and-cut manoeuvres [J]. J Sports Sci, 2017, 35(2): 166-174.
- [13] 马继政, 王增刚, 叶强, 等. 相同强度不同运动量下肢优势侧和非优势侧负重往返跑对下肢爆发力产生的影响 [J]. 辽宁体育科技, 2018, 40(1): 40-44.
- [14] XIE D, YRABE Y, OCHIAI J. *et al.* Sidestep cutting maneuvers in female basketball players: Stop phase poses greater risk for anterior cruciate ligament injury [J]. Knee, 2013, 20(2): 85-89.
- [15] CHAPPELL JD, CREIGHTON RA, GIULIANI C, *et al.* Kinematics and electromyography of landing preparation in vertical stop-jump: Risks for noncontact anterior cruciate ligament injury [J]. Am J Sports Med, 2007, 35(2): 235-241.
- [16] SHIN CS, CHAUDHARI AM, ANDRIACCHI TP. The effect of isolated valgus moments on ACL strain during single-leg landing: A simulation study [J]. J Biomech, 2009, 42(3): 280-285.
- [17] HENDERSON ZJ, SANZO P, ZERPA C. *et al.* The effects of ankle braces on lower extremity electromyography and performance during vertical jumping: A pilot study [J]. Int J Exerc Sci, 2019, 12(1): 15-23.