

踝关节平衡装置训练对功能性踝关节不稳患者踝关节功能及姿势控制能力的影响

王回¹, 陈卉芳², 贾毓栋¹, 张甜甜¹, 杨丽竹¹, 谢地³

【摘要】 目的:拟探究新型踝关节平衡装置训练对功能性踝关节不稳(FAI)患者踝关节功能及姿势控制能力的影响。**方法:**将符合纳入条件的 FAI 患者 45 名随机分为常规组($n=21$)和平衡组($n=24$),2 组患者分别接受常规功能训练和新型踝关节平衡训练装置训练,8 周干预前后,使用 Noraxon 表面肌电测试系统和 Trap-door 踝关节内翻诱发装置进行踝周肌肉潜伏期的测试,使用 Biodex Systems IV 型等速肌力测试系统进行踝关节位置觉和踝内外翻等速肌力的测试,使用 Y 型平衡测试(YBT)系统进行姿势控制能力的测试,使用坎伯兰踝关节不稳定工具(CAIT)对 FAI 患者进行评分。**结果:**干预 8 周后,平衡组 FAI 患者的 CAIT 评分、踝周肌肉潜伏期(腓肠肌内侧头、腓肠肌外侧头、腓骨长肌、胫骨前肌)、峰值踝外翻力矩和姿势控制能力(内收、外展的最大距离)相比于干预前显著改善($P<0.05$),且明显优于对照组($P<0.05$)。**结论:**相比于常规功能训练,踝关节平衡装置训练可以更显著地提高 FAI 患者的姿势控制能力和踝关节的功能。

【关键词】 功能性踝关节不稳;姿势控制能力;平衡装置训练;常规功能训练;踝关节功能

【中图分类号】 R49;R684 **【DOI】** 10.3870/zgkf.2023.02.004

Effects of ankle balance device training on ankle function and postural control in patients with functional ankle instability Wang Hui, Chen Huifang, Jia Yudong, et al. Department of Sports Medicine and Rehabilitation, Shandong First Medical University (Shandong Academy of Medical Sciences), Taian 271000, China

【Abstract】 Objective: To investigate the effects of new ankle balance device training on ankle function and postural control ability in patients with functional ankle instability (FAI). **Methods:** A total of 45 eligible patients with FAI were included and randomized into two groups: conventional functional training ($n=21$) and balance device training ($n=24$). Before and after the 8-week intervention, tests of ankle muscle latency were performed using the Noraxon surface electromyography test system and Trap-door ankle inversion induction device, tests of ankle position perception and ankle inversion-eversion isokinetic strength using the Biodex Systems IV isokinetic strength test system, postural control ability using the Y-balance test system (YBT), and scoring patients with FAI using the Cumberland ankle instability tool (CAIT). **Results:** After the 8-week intervention, the CAIT score, ankle muscle latency (medial head of gastrocnemius muscle, lateral head of gastrocnemius muscle, peroneus longus muscle and tibialis anterior muscle), ankle eversion isokinetic strength peak torque and postural control ability (maximum distance of adduction and abduction) of patients with FAI in the balance device training group were significantly improved as compared with those before intervention ($P<0.05$), and those in the balance device training group were significantly better than those in the control group ($P<0.05$). **Conclusion:** Compared with conventional functional training, ankle balance device training can significantly improve the postural control ability and ankle function of FAI patients.

【Key words】 functional ankle instability; postural control ability; balance device training; conventional functional training; ankle function

踝关节扭伤是最常见的肌肉骨骼损伤之一^[1-3], 40%的扭伤会最终发展为功能性踝关节不稳(func-

tional ankle instability, FAI)^[4]。FAI 通常被归因于神经肌肉控制缺陷、踝周肌力不足、本体感觉障碍及姿势控制能力下降^[5-6],主要表现为反复自感不稳。较强的踝关节功能和姿势控制能力是预防踝关节反复扭伤的关键^[7]。不稳定平面平衡训练可针对性地改善踝关节功能性活动和应对复杂运动的姿势控制能力,是 FAI 患者保守治疗及神经肌肉功能恢复的重要手段^[7]。平衡训练可以改善 FAI 患者的神经肌肉控制能力、踝关节功能、平衡能力及踝周肌力^[8-11]等。然

基金项目:国家自然科学基金项目(81472143);山东省重点研发计划项目(2019GSF108203);山东省医药卫生科技发展计划项目(202020010808)

收稿日期:2022-07-07

作者单位:1. 山东第一医科大学运动医学与康复学院,山东 泰安 271000;2. 广州医科大学护理学院,广州 510180;3. 广州体育学院运动与健康学院,广州 510500

作者简介:王回(1998-),女,硕士研究生,主要从事运动康复方面的研究。

通讯作者:谢地,dxie@sdfmu.edu.cn

而,现存的平衡训练方式如平衡板、平衡球^[9, 12]等虽然有一定的效果但并未完全针对 FAI 的障碍特点,无法自如应对复杂的运动环境;并且 Biodex 等大型平衡训练设备使用不便、价格昂贵、不易普及^[13]。因此,迫切需要一种实用、方便、针对 FAI 功能障碍的平衡训练设备。本研究研制了一种新型的踝关节平衡训练装置(专利号:ZL201410770491.8),可以高度仿真模拟踝关节扭伤的过程,可结合复杂环境,在多任务的条件下进行训练,本研究拟探究踝关节平衡装置训练对 FAI 患者的治疗效果,为 FAI 患者的康复提供更高效的训练方法和理论依据。

1 资料与方法

1.1 一般资料 收集 2021 年 3 月~2022 年 1 月山东第一医科大学的 FAI 患者 60 名,根据国际踝关节协会相关指南进行筛选,纳入标准:在筛选之前的 3 个月至一年内至少有一次急性踝关节扭伤史;受伤的踝关节出现“不稳定感”;在筛选前的 6 个月内,出现至少 2 次踝关节不稳定感,或在运动过程中出现再次扭伤的恐惧感;坎伯兰踝关节不稳定工具(Cumberland ankle instability tool, CAIT)得分 <24 分;距骨倾斜试验以及前抽屉试验阴性。排除标准:下肢手术史、骨折史、及其他疾病引起的肌肉骨骼损伤史;实验开始之前参加除本实验以外的系统性运动训练;多发性硬化、类风湿性关节炎、2 型糖尿病、心脏病等影响实验的其他临床疾病。本研究为单盲(受试者盲)随机对照研究,招募 60 名 FAI 患者并随机分为 2 组:常规组($n=30$)和踝关节平衡组($n=30$),15 名患者因个人原因中途退出无法完成,最终顺利完成研究的有效受试人数 45 名,患者基本情况如表 1 所示。受试者自愿参加本实验并签署知情同意书。本项研究已通过山东第一医科大学伦理委员会审查(批号:R202107080167)。

1.2 方法 研究前熟悉测试方案及具体研究过程。患者接受为期 8 周、每周 4 次、每次 30min 的运动干预。2 组患者分别接受常规功能训练和新型踝关节平衡训练装置训练。

1.2.1 踝关节平衡训练装置 自制一种新型踝关节平衡装置(图 1),其主要组成部分为 2cm 厚的木制底板、两个大小相同直径为 5cm 的木质半圆球和弹性固

定带。两个木质半圆球分别对应于足跟骨结节和第一跖骨头的位置,其中的一个半圆球是可移动的,可根据受试者足的尺寸适时调整并安装在相应的位置,它们的连线形成的旋转轴与距下关节旋转轴也就是踝关节内外翻运动的功能轴一致,与足的纵轴成 16° 夹角^[14],静止时会发生内翻,迫使穿戴者主动收缩踝关节外翻肌肉以使踝关节处于中立位。



图 1 踝关节平衡装置

A:基本结构 B:内翻位 C:中立位

1.2.2 平衡装置训练方案 患者先进行 10min 的热身,然后开始正式训练,训练时需要装配平衡装置,进行:①双足站立、左右交替的单足站立、闭眼双足站立练习、闭眼患侧腿站立练习,每个动作持续 3min,每两个动作之间休息 1min,循环进行;②踏步、行走训练,每个动作持续 5min,中间休息 2min,两个动作循环进行。根据每位患者的不同情况逐渐增加难度,如:模拟踢球动作、互相推动瑞士球、互相投掷网球等。

1.2.3 常规功能训练方案^[15] 患者先进行 10min 的热身,然后进行:①左右交替单足站立、平衡垫患侧单足站立、闭眼双足站立练习、闭眼患侧腿站立练习,每个动作 3min,每两个动作之间休息 1min;②患侧踝关节最大静力性内翻、外翻、双侧提踵练习、患侧提踵练习,每个动作持续 10s,休息 10s,各进行 10 次;③患侧站立平衡垫上,在保证安全和个人允许范围内最大力向前、后方跳跃,每次落地保持 10s,各跳跃 10 次。

1.3 评定标准 干预前后进行以下测试。

1.3.1 踝关节功能 运用 CAIT 量表对 FAI 患者进行评分^[16]。

1.3.2 肌肉潜伏期 使用 Noraxon 表面肌电测试系统和 Trap-door 踝关节内翻诱发装置进行踝周肌肉潜伏期的测试,选取患侧腓肠肌内外侧头、腓骨长肌、胫骨前肌作为测试对象(图 2)。患者赤脚站立在 Trap-door 测试装置平板上,等患者自然站稳后记录肌电波形,连续记录 10s 后,在患者毫无察觉的情况下按下平板反转按钮,如图 3 所示,同时 Noraxon MR3.6 软件会

表 1 2 组患者一般资料比较

组别	<i>n</i>	性别 (男/女,例)	年龄 (岁, $\bar{x} \pm s$)	身高 (m, $\bar{x} \pm s$)	体重 (kg, $\bar{x} \pm s$)	BMI (kg/m ² , $\bar{x} \pm s$)	CAIT (分, $\bar{x} \pm s$)	病程 (月, $\bar{x} \pm s$)
平衡组	24	14/10	20.46 $\pm$ 1.02	1.68 $\pm$ 0.08	59.04 $\pm$ 8.12	20.90 $\pm$ 1.67	20.83 $\pm$ 0.87	6.75 $\pm$ 2.74
常规组	21	13/8	20.33 $\pm$ 0.86	1.71 $\pm$ 0.07	62.62 $\pm$ 4.70	21.50 $\pm$ 1.30	21.00 $\pm$ 0.95	7.03 $\pm$ 3.03

标记出平板落下起始时间,进行 3 次测试,每两次之间休息 5min。使用 MR3.6 软件进行肌电信号处理,采用带通滤波(低频 20Hz,高频 500Hz),四阶无相移全波整流,50ms 平滑过滤处理,并归一化为均方根(root mean square,RMS)。分别计算目标肌肉 10s 安静时肌电值的基线值和标准差,突发内翻时相对应肌肉激活的衡量标准为基线值±5 标准差,平板下落起始时间与踝周肌群肌肉激活时间之间的间隔作为肌肉潜伏期^[17]。取 3 次测试的平均值作为踝关节突发内翻时的肌肉潜伏期。

1.3.3 姿势控制能力 患者患侧赤脚站在 Y 型平衡测试(Y-balance test, YBT)装置的测试平面上,双手交叉放于胸前,健侧脚依次向前、后内和后外 3 个方向推动测试标杆至最远距离并维持 3s,每个方向成功完成 3 次,每两次之间休息 30s^[18]。每个方向距离的平均值用平均腿长进行标准化。

1.3.4 踝内外翻等速肌力 利用 Biodex Systems IV 型等速肌力测试系统分别测量踝关节做 60°/s 向心内外翻运动时所产生的峰力矩并进行体重标准化^[19],重复测量 3 次并取平均值。

1.3.5 踝关节位置觉 使用 Biodex Systems IV 型等速肌力测试系统测量踝关节主动内翻 30°的位置觉。动力轴移动速度为 1°/s,重复测量 3 次,用复位的绝对误差表示^[20]。



图 2 测试肌肉粘贴部位

A. 胫骨前肌 B. 腓骨长肌 C. 腓肠肌外侧头 D. 腓肠肌内侧头

1.4 统计学方法 使用 SPSS 22.0 进行统计学分析,计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示,采用 Shapiro-Wilk 和 Levene 检验对数据进行正态分布和方差齐性检验。2 组均数组内干预前后比较采用配对 t 检验,组间均数比较采用独立样本 t 检验,以 $P < 0.05$ 表示差异具有统计学意义。

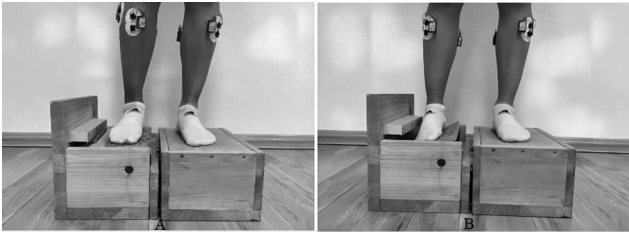


图 3 Trap-door 测试装置
A. 平板静止 B. 平板下落

2 结果

2.1 CAIT 评分及位置觉 与干预前比较,干预后常规组与平衡组的 CAIT 评分均显著提高($P < 0.05$),平衡组的 CAIT 评分显著高于对照组($P < 0.05$)。2 组踝关节位置觉干预前后及干预后组内组间差异均无统计学意义。见表 2。

表 2 2 组训练前后 CAIT 评分和位置觉比较 $\bar{x} \pm s$

组别	n	CAIT 评分(分)		位置觉(°)	
		干预前	干预后	干预前	干预后
平衡组	24	20.83±0.87	25.92±0.65 ^{ab}	4.29±2.47	3.31±1.48
常规组	21	21.00±0.95	24.81±1.12 ^a	4.31±2.48	3.98±2.69

与干预前比较,^a $P < 0.05$;与常规组比较,^b $P < 0.05$

2.2 肌肉潜伏期 相比于干预前及常规组干预后,干预后平衡组的腓肠肌内外侧头、腓骨长肌和胫骨前肌的潜伏期显著缩短($P < 0.05$),常规组各指标干预前后差异无统计学意义。见表 3。

2.3 姿势控制能力 相比于干预前,干预后常规组外展和内收的最大距离显著增大($P < 0.05$),平衡组前伸、外展和内收的最大距离均显著增大($P < 0.05$);相比于常规组,平衡组外展和内收的最大距离显著增大($P < 0.05$)。见表 4。

2.4 踝内外翻等速肌力 相比于干预前,干预后平衡组峰值踝内、外翻力矩显著增大($P < 0.05$);相比于常规组,平衡组峰值踝外翻力矩显著增大($P < 0.05$)。见表 5。

3 讨论

本研究的目的是明确踝关节平衡装置训练对踝关节功能及姿势控制能力的影响,结果表明:相比于常规功能训练,平衡装置训练后 FAI 患者的 CAIT 评分、

表 3 2 组训练前后肌肉潜伏期比较

ms, $\bar{x} \pm s$

组别	n	腓肠肌外侧头		腓肠肌内侧头		腓骨长肌		胫骨前肌	
		干预前	干预后	干预前	干预后	干预前	干预后	干预前	干预后
平衡组	24	92.83±7.09	83.48±6.40 ^{ab}	93.01±8.67	83.97±5.45 ^{ab}	90.08±6.32	81.17±6.38 ^{ab}	89.69±7.53	81.86±4.96 ^{ab}
常规组	21	95.89±7.96	94.88±9.68	95.36±6.83	94.37±8.58	90.83±6.09	90.01±6.82	94.02±7.06	93.31±8.28

与干预前比较,^a $P < 0.05$;与常规组比较,^b $P < 0.05$

表 4 2 组训练前后姿势控制能力比较

cm, $\bar{x} \pm s$

组别	n	前伸		外展		内收	
		干预前	干预后	干预前	干预后	干预前	干预后
平衡组	24	49.06±6.07	53.69±9.39 ^a	86.10±13.75	94.83±10.54 ^{ab}	83.30±14.86	92.17±11.59 ^{ab}
常规组	21	49.58±9.90	52.80±12.90	83.17±10.10	87.02±8.20 ^a	82.08±11.27	85.38±8.32 ^a

与干预前比较, ^a $P < 0.05$; 与常规组比较, ^b $P < 0.05$ 表 5 2 组训练前后踝内外翻力矩比较 Nm/kg, $\bar{x} \pm s$

组别	n	踝外翻力矩		踝内翻力矩	
		干预前	干预后	干预前	干预后
平衡组	24	36.11±9.34	46.06±13.97 ^{ab}	29.76±11.83	38.19±11.92 ^a
常规组	21	37.89±11.16	36.20±11.04	36.42±16.22	35.32±11.81

与干预前比较, ^a $P < 0.05$; 与常规组比较, ^b $P < 0.05$

踝外翻肌群力矩和姿势控制能力显著增强, 踝周肌肉潜伏期显著缩短。

FAI 患者最常见的症状是“打软腿”, 即姿势控制能力的下降。对 FAI 患者进行姿势控制训练可以改善踝关节的感觉运动功能, 预防反复扭伤^[21]。本研究的结果表明对 FAI 患者进行平衡装置训练能有效地恢复 FAI 患者横向的动态姿势控制能力。FAI 患者装配平衡装置是一个高度模拟崴脚的过程, 在这个过程中 FAI 患者的中枢神经系统重新适应躯体感觉信息传入的方式^[22], 即先适应受伤的韧带无法将信息传入, 加大来自周围肌肉、肌腱、关节囊和皮肤中受体的传入信息权重, 使得中枢神经系统重新适应受试者踝扭伤的事实, 并从这个过程中不断学习优化, 从而更好地控制肢体的动态稳定性^[23], 即神经肌肉控制能力得到了全面提高。前向姿势控制能力与常规训练没有差异的原因可能是我们的平衡装置主要训练内外翻的横向姿势控制能力而不是前后向。

踝周肌力增强是提高踝关节稳定性的关键^[24]。Docherty 等^[25]的研究表明, FAI 患者进行为期 6 周, 每周 3 次的弹力带抗阻训练后, 踝背屈、外翻肌力显著增加。Smith 等^[26]的实验研究也得出了同样的结论。这与我们的研究结果一致, 踝外翻肌在作向心运动时峰值力矩显著增大, 肌力的增强增加了踝周肌肉刚度, 使外翻肌在应对突发踝内翻时能及时使踝关节内翻减速从而提高踝关节的稳定性^[10]。

Méndez 等^[17]的研究显示伴有 FAI 的篮球运动员的腓骨长肌和胫骨前肌潜伏期较无 FAI 的篮球运动员和健康的非篮球运动员显著延后, 这从一定程度上反映了 FAI 患者的神经肌肉支配处于抑制状态。Clark 等^[27]的研究报道, 4 周的摇板运动后 FAI 患者面对快速的踝关节内翻时胫骨前肌和腓骨长肌的潜伏期显著缩短, 且踝关节自我稳定感得到了明显改善。与 Clark 等^[27]的研究结果一致, 本研究结果显示 FAI 患者的腓骨长肌、胫骨前肌、腓肠肌内外侧头的潜伏期

明显缩短。肌肉在较短时间内被激活, 有利于肌肉的快速收缩以适应踝关节不断变化的位置。刚度增大的肌肉由于激活的增加提高了负荷信息的传递效率即肌肉反应能力^[28]。总之, 肌肉募集的增多会使神经肌肉控制水平明显提高, 腓骨长肌潜伏期明显缩短, 肌肉激活水平也大大增加, 有利于保护性收缩肌力的增强从而形成良性循环, 进一步增强了踝关节的稳定性。

本体感觉的改善是神经肌肉控制能力提高的基础。平衡训练能显著提高下肢本体感觉^[29]。Eils 等^[30]的研究表明, FAI 患者利用平衡板、平衡盘等装置, 进行 6 周增强训练后, 踝关节位置觉有显著改善。然而, 本研究并未发现位置觉改善, 主要的原因可能是受测试方法的影响。本体感受器发挥作用与解剖位置有关, 肌肉中的感受器主要作用在正常的关节活动范围内^[25], 而关节的感受器则是在高度负重、关节活动度末端及速度较大的动态运动时才会有较大的活化作用^[31]。本研究中位置觉测试和平衡装置训练均是在 0~30° 的范围内进行的, 可能不足以激活关节中的感受器而引起位置觉的改善, 但踝周肌群潜伏期的缩短足以客观地证明 FAI 患者肌肉中的感受器得到了更大程度的激活, 本体感觉功能得到了进一步的改善, FAI 患者主要是通过激活、募集肌肉来增强神经肌肉控制的。

本研究也存在局限性, 第一是受试者的选择主要是在校学生, 不能排除不同年龄阶段、不同地区及人种会对实验结果产生影响, 这可能会限制本研究的外部效度; 本研究的另一局限是未能对前馈机制的实验数据进行明确的测量评估, 未来的研究可以用量化指标明确前馈机制的调节程度。

综上所述, 相比常规训练, 踝关节平衡装置训练可更显著改善 FAI 患者的动态姿势控制能力和踝关节的功能。这在一定程度上丰富了 FAI 康复方案, 为 FAI 患者的康复提供了理论依据和更高效的训练方式, 为促进全民健身及竞技体育蓬勃发展提供了切实保障。

【参考文献】

- [1] Herzog MM, Kerr ZY, Marshall SW, et al. Epidemiology of ankle sprains and chronic ankle instability[J]. J Athl Train, 2019,

- 54(6):603-610.
- [2] Waterman BR, Owens BD, Davey S, et al. The epidemiology of ankle sprains in the united states[J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2010,92(13):2279-2284.
 - [3] Gribble PA, Bleakley CM, Caulfield BM, et al. Evidence review for the 2016 international ankle consortium consensus statement on the prevalence, impact and long-term consequences of lateral ankle sprains[J]. *Br J Sports Med*, 2016,50(24):1496-1505.
 - [4] Doherty C, Bleakley C, Hertel J, et al. Recovery from a first-time lateral ankle sprain and the predictors of chronic ankle instability: A prospective cohort analysis[J]. *Am J Sports Med*, 2016, 44(4):995-1003.
 - [5] Thompson C, Schabrun S, Romero R, et al. Factors contributing to chronic ankle instability: A systematic review and meta-analysis of systematic reviews[J]. *Sports Med*, 2018,48(1):189-205.
 - [6] 周莉, 张丽萍, 吴家宝, 等. 功能性踝关节不稳患者踝部运动功能特征研究[J]. *中国康复*, 2021,36(6):356-359.
 - [7] Ajis A, Maffulli N. Conservative management of chronic ankle instability[J]. *Foot Ankle Clin*, 2006,11(3):531-537.
 - [8] Ardakani MK, Wikstrom EA, Minoonejad H, et al. Hop-stabilization training and landing biomechanics in athletes with chronic ankle instability: A randomized controlled trial[J]. *J Athl Train*, 2019,54(12):1296-1303.
 - [9] Wright CJ, Linens SW. Patient-reported efficacy 6 months after a 4-week rehabilitation intervention in individuals with chronic ankle instability[J]. *J Sport Rehabil*, 2017,26(4):250-256.
 - [10] Hall EA, Chomistek AK, Kingma JJ, et al. Balance- and strength-training protocols to improve chronic ankle instability deficits, part i: Assessing clinical outcome measures[J]. *J Athl Train*, 2018,53(6):568-577.
 - [11] Youssef NM, Abdelmohsen AM, Ashour AA, et al. Effect of different balance training programs on postural control in chronic ankle instability: A randomized controlled trial[J]. *Acta Bioeng Biomech*, 2018,20(2):159-169.
 - [12] Sefton JM, Yarar C, Hicks-Little CA, et al. Six weeks of balance training improves sensorimotor function in individuals with chronic ankle instability[J]. *J Orthop Sports Phys Ther*, 2011,41(2):81-89.
 - [13] Akhbari B, Ebrahimi Takamjani I, Salavati M, et al. A 4-week biodex stability exercise program improved ankle musculature onset, peak latency and balance measures in functionally unstable ankles[J]. *Physical Therapy in Sport*, 2007,8(3):117-129.
 - [14] Manter JT. Movements of the subtalar and transverse tarsal joints[J]. *The Anatomical Record*, 1941,80(4):397-410.
 - [15] 彭春政, 李红琴. 多模态功能训练对女大学生功能性踝关节不稳患者下肢肌力、本体感觉和动态平衡能力的影响[J]. *山东体育学院学报*, 2020,36(1):66-72.
 - [16] Hiller CE, Refshauge KM, Bundy AC, et al. The cumberland ankle instability tool: A report of validity and reliability testing[J]. *Arch Phys Med Rehabil*, 2006,87(9):1235-1241.
 - [17] Méndez-Rebolledo G, Guzmán-Muñoz E, Gatica-Rojas V, et al. Longer reaction time of the fibularis longus muscle and reduced postural control in basketball players with functional ankle instability: A pilot study[J]. *Phys Ther Sport*, 2015,16(3):242-247.
 - [18] Powden CJ, Dodds TK, Gabriel EH. The reliability of the star excursion balance test and lower quarter y-balance test in healthy adults: A systematic review[J]. *Int J Sports Phys Ther*, 2019,14(5):683-694.
 - [19] Munn J, Beard DJ, Refshauge KM, et al. Eccentric muscle strength in functional ankle instability[J]. *Med Sci Sports Exerc*, 2003,35(2):245-250.
 - [20] 张秋霞, 花秀琴, 施永健. 踝关节本体感觉的测量方法研究与应用[J]. *中国组织工程研究与临床康复*, 2011,15(35):6619-6623.
 - [21] McKeon PO, Wikstrom EA. Sensory-targeted ankle rehabilitation strategies for chronic ankle instability[J]. *Med Sci Sports Exerc*, 2016,48(5):776-784.
 - [22] Taube W, Gruber M, Gollhofer A. Spinal and supraspinal adaptations associated with balance training and their functional relevance[J]. *Acta Physiol (Oxf)*, 2008,193(2):101-116.
 - [23] Khin Myo H, Ishii T, Sakane M, et al. Effect of anesthesia of the sinus tarsi on peroneal reaction time in patients with functional instability of the ankle[J]. *Foot Ankle Int*, 1999,20(9):554-559.
 - [24] 郑绍敏, 黄墩兵, 姜财, 等. 功能性踝关节不稳患者踝关节背伸/跖屈和外翻/内翻峰值力矩比值与姿势控制能力的相关性研究[J]. *中国康复*, 2021,36(7):392-395.
 - [25] Docherty CL, Moore JH, Arnold BL. Effects of strength training on strength development and joint position sense in functionally unstable ankles[J]. *J Athl Train*, 1998,33(4):310-314.
 - [26] Smith BI, Docherty CL, Simon J, et al. Ankle strength and force sense after a progressive, 6-week strength-training program in people with functional ankle instability[J]. *J Athl Train*, 2012,47(3):282-288.
 - [27] Clark VM, Burden AM. A 4-week wobble board exercise programme improved muscle onset latency and perceived stability in individuals with a functionally unstable ankle[J]. *Physical Therapy in Sport*, 2005,6(4):181-187.
 - [28] Fellows SJ, Thilmann AF. The role of joint biomechanics in determining stretch reflex latency at the normal human ankle[J]. *Exp Brain Res*, 1989,77(1):135-139.
 - [29] Lee AJ, Lin WH. Twelve-week biomechanical ankle platform system training on postural stability and ankle proprioception in subjects with unilateral functional ankle instability[J]. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*, 2008,23(8):1065-1072.
 - [30] Eils E, Schröter R, Schröder M, et al. Multistation proprioceptive exercise program prevents ankle injuries in basketball[J]. *Med Sci Sports Exerc*, 2010,42(11):2098-2105.
 - [31] Freeman MA. Instability of the foot after injuries to the lateral ligament of the ankle[J]. *J Bone Joint Surg Br*, 1965,47(4):669-677.