

平衡训练对慢性踝关节不稳影响效果的 Meta 分析

王悦同¹, 彭亮², 苏玉莹^{2,3}, 刘嘉俊³

https://doi.org/10.12307/2024.094

投稿日期: 2023-05-30

采用日期: 2023-07-04

修回日期: 2023-08-08

在线日期: 2023-08-22

中图分类号:

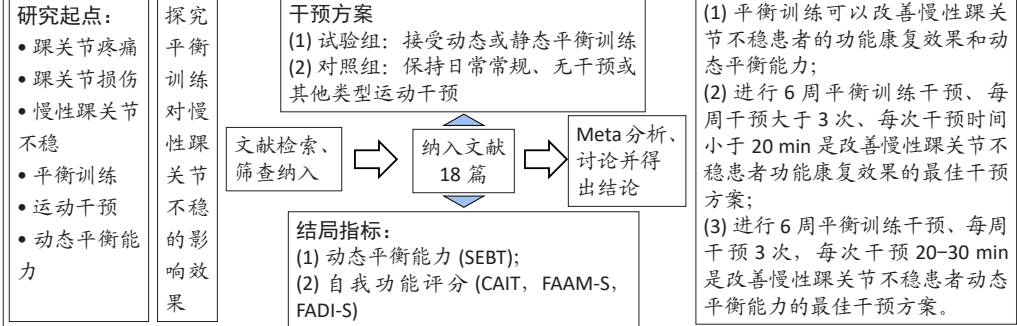
R452; R318; R605

文章编号:

2095-4344(2024)24-03930-07

文献标识码: A

文章快速阅读: 平衡训练对慢性踝关节不稳的影响



文题释义:

慢性踝关节不稳: 踝关节及关节组织周围发生结构性或功能性的改变, 踝关节出现不稳定感和活动限制, 并经常发生反复性扭伤。临床上主要表现为肌无力、韧带松弛、失控感、间断性疼痛、反复崴脚和功能下降等症状。

平衡能力: 指人体在受到外力作用施加时能够通过神经肌肉控制维持身体的正常姿态以保持稳定的状态, 包括动态平衡能力和静态平衡能力。

摘要

目的: 慢性踝关节不稳临床上主要表现为肌无力、间断性疼痛和反复崴脚等症状, 严重影响运动锻炼和日常生活。本体感觉缺失、腓骨反应时间延长和外翻力量减弱等可能是造成慢性踝关节不稳的主要原因, 因此通过运动干预可以有效改善踝关节不稳相关症状。通过Meta分析定量评价平衡训练对慢性踝关节不稳康复干预的效果, 为慢性踝关节不稳患者科学制定运动处方提供可靠的理论基础和实践依据。

方法: 检索中国知网、维普、Web of Science和PubMed数据库关于平衡训练对慢性踝关节不稳患者症状康复和动态平衡影响的随机对照试验文献, 文献发表时间为各数据库建库至2022-11-23。包括2名评审人员依据物理治疗证据量表对纳入文献进行文献质量评估, 主要结局指标为自我功能评分量表, 次要结局指标为星形偏移平衡测试, 均为连续性变量。采用RevMan 5.3和Stata-SE 15软件对纳入文献进行森林图绘制、Meta回归、亚组分析、敏感性分析和发表偏倚评价。

结果: ①共纳入18篇随机对照试验文献, 包括慢性踝关节不稳患者641例。整体上文献的方法学质量较高。②Meta分析结果显示, 平衡训练可以改善慢性踝关节不稳患者的功能康复效果($SMD=0.82$, 95%CI: 0.41-1.23, $P<0.0001$)。Meta回归显示干预时间可能是产生异质性的主要原因($P=0.008$)。③亚组分析结果显示, 干预6周($SMD=0.98$, 95%CI: 0.31-1.65, $P=0.03$)、每周干预大于3次($SMD=0.87$, 95%CI: 0.30-1.44, $P=0.003$)和每次干预时间小于20 min($SMD=0.89$, 95%CI: 0.61-1.66, $P<0.0001$)是改善慢性踝关节不稳患者功能康复效果的最佳康复方案。④Meta分析结果还显示, 平衡训练可以改善星形偏移平衡测试前侧($SMD=0.56$, 95%CI: 0.31-0.80, $P<0.05$)、后内侧($SMD=0.88$, 95%CI: 0.45-1.32, $P<0.05$)和后外侧($SMD=0.84$, 95%CI: 0.22-1.46, $P<0.05$)伸展程度。

结论: 当前临床证据表明, 平衡训练可以改善慢性踝关节不稳患者的踝关节不稳功能症状和提高动态平衡能力, 建议通过每周干预大于3次, 每次干预小于20 min的干预时间以获得更好的康复效果。

关键词: 慢性踝关节不稳; 平衡训练; 动态平衡能力; 功能康复; 星形偏移平衡测试; 自我功能评分量表; Meta分析; 踝关节损伤; 神经肌肉控制; 本体感觉

Effect of balance training on chronic ankle instability: a meta-analysis

Wang Yuetong¹, Peng Liang², Su Yuying^{2,3}, Liu Jiajun³

¹College of Education, Beijing Sport University, Beijing 100086, China; ²Physical Education College, Bohai University, Jinzhou 121013, Liaoning Province, China;

³School of Strength and Conditioning Training, Beijing Sport University, Beijing 100086, China

Wang Yuetong, Doctoral candidate, College of Education, Beijing Sport University, Beijing 100086, China

Corresponding author: Su Yuying, PhD, Physical Education College, Bohai University, Jinzhou 121013, Liaoning Province, China; School of Strength and Conditioning Training, Beijing Sport University, Beijing 100086, China

北京体育大学, ¹教育学院, ³体能训练学院, 北京市 100086; ²渤海大学体育学院, 辽宁省锦州市 121013

第一作者: 王悦同, 女, 1995年生, 汉族, 河南省人, 北京体育大学在读博士。

通讯作者: 苏玉莹, 北京体育大学博士, 北京体育大学体能训练学院, 北京市 100086; 渤海大学体育学院, 辽宁省锦州市 121013

https://orcid.org/0009-0009-6218-8428 (王悦同)

基金资助: 辽宁省教育厅2022年基本科研项目--青年项目(LJKQR20222558), 项目负责人: 苏玉莹

引用本文: 王悦同, 彭亮, 苏玉莹, 刘嘉俊. 平衡训练对慢性踝关节不稳影响效果的 Meta 分析 [J]. 中国组织工程研究, 2024, 28(24):3930-3936.



Abstract

OBJECTIVE: Chronic ankle instability is mainly characterized by symptoms such as muscle weakness, intermittent pain, and repeated sprains, which seriously affect exercise and daily life. Loss of proprioception, prolongation of fibular reaction time, and weakening of valgus force may be the main symptoms of chronic ankle instability, so exercise intervention can effectively improve the symptoms related to ankle instability. Meta-analysis was used to quantitatively evaluate the effect of balance training on the rehabilitation intervention of chronic ankle instability, providing a reliable theoretical basis and practical basis for chronic ankle instability patients to scientifically formulate exercise prescriptions.

METHODS: The randomized controlled trial of balance training on symptom rehabilitation and dynamic equilibrium of patients with chronic ankle instability was retrieved on CNKI, VIP, Web of Science, and PubMed. The literature was published from the inception to November 23, 2022. Two reviewers were included to evaluate the quality of the included literature based on the physical therapy evidence scale. The primary outcome measure is the Self Functional Rating Scale, and the secondary outcome measure is the Star Shift Balance Test, both of which are continuous variables. Forest mapping, meta-regression, subgroup analysis, sensitivity analysis, and publication bias evaluation were performed on the included literature using RevMan 5.3 and Stata-SE 15 software.

RESULTS: (1) A total of 18 articles of randomized controlled trials were screened and 641 patients with chronic ankle instability were included in the study. Overall, the methodological quality of the literature was relatively high. (2) Meta-analysis results showed that balance training improved the functional rehabilitation effect of chronic ankle instability patients ($SMD=0.82$, $95\%CI:0.41-1.23$, $P < 0.0001$). Meta-regression exhibited that intervention time might be the main reason for heterogeneity ($P=0.008$). (3) The subgroup analysis results revealed that 6 weeks of intervention ($SMD=0.98$, $95\%CI:0.31-1.65$, $P=0.03$), more than 3 interventions per week ($SMD=0.87$, $95\%CI:0.30-1.44$, $P=0.003$), and each intervention time less than 20 minutes ($SMD=0.89$, $95\%CI:0.61-1.66$, $P < 0.0001$) were the best rehabilitation plans to improve the functional rehabilitation effect of chronic ankle instability patients. (4) Meta-analysis results also showed that balance training improved the stretching degree of the anterior side ($SMD=0.56$, $95\%CI:0.31-0.80$, $P < 0.05$), posterior inner side ($SMD=0.88$, $95\%CI:0.45-1.32$, $P < 0.05$), and posterior outer side ($SMD=0.84$, $95\%CI:0.22-1.46$, $P < 0.05$) of the star shift balance test.

CONCLUSION: Current clinical evidence shows that balance training can improve ankle instability symptoms and elevate dynamic equilibrium ability in chronic ankle instability patients. It is recommended to intervene more than 3 times a week, with each intervention lasting less than 20 minutes, to achieve better rehabilitation effects.

Key words: chronic ankle instability; balance training; dynamic balance ability; functional rehabilitation; star excursion balance test; self-reported function scale; meta-analysis; ankle injury; neuromuscular control; proprioception

Funding: 2022 Basic Scientific Research Project of Liaoning Provincial Department of Education-- Youth Project, No. LJKQR20222558 (to SYY)

How to cite this article: WANG YT, PENG L, SU YY, LIU JJ. Effect of balance training on chronic ankle instability: a meta-analysis. Zhongguo Zuzhi Gongcheng Yanjiu. 2024;28(24):3930-3936.

0 引言 Introduction

踝关节扭伤是最为常见的肌肉骨骼损伤之一，在急性发病期常出现疼痛、肿胀和瘀斑等，可能导致活动性和功能下降，但通过有限的治疗便可迅速消退^[1]。然而由于在脚踝扭伤的康复阶段重视程度不够或缺乏必要的运动康复手段等，多达70%的患者在后期会出现踝关节不稳定或习惯性崴脚^[2]。踝关节扭伤后残余症状有极高的发生率，这些症状包括反复扭伤、持续疼痛、肿胀、失控和功能下降等，被称为慢性踝关节不稳 (chronic ankle instability, CAI)^[3]。慢性踝关节不稳严重影响运动表现和日常生活质量，并且是继发引起下肢其他结构损伤的重要原因之一^[4]。

慢性踝关节不稳通常首先以保守治疗方式进行尝试，如物理康复治疗 and 运动疗法等，通过规范的踝关节肌肉及韧带训练，能有效恢复患者的正常生活和运动状态^[5]。平衡能力的减退是导致踝关节反复扭伤的主要原因之一^[6]，姿势稳定性训练在慢性踝关节不稳患者康复过程中提供了极大助力^[7]。临床上多采用不同形式如动态和不稳定平衡训练改善踝关节不稳症状和促进本体感觉恢复。MINOONEJAD等^[8]对患有慢性踝关节不稳的篮球运动员进行动态平衡训练发现其自我报告功能和神经肌肉控制能力得到改善。ANGUISH等^[9]对比渐进动态平衡训练和单腿平衡训练对慢性踝关节不稳康复的效果，研究发现两种平衡训练都可以改善自我报告功能和星形偏移平衡测试得分。

目前国内外已有关于平衡训练对慢性踝关节不稳患者踝关节功能和姿势稳定性的相关 Meta 分析研究，MOLLA-CASANOVA等^[10]和JIANG等^[11]研究表明平衡训练可以显著改善踝关节不稳症状和动态稳定性。但以往的 Meta 分析中尚无统一推荐的运动锻炼处方方案 (如锻炼频率、单次锻炼时长)，导致现有运动锻

炼的指导力度不足，基于循证的锻炼方案可以提高锻炼效率，减少无效锻炼，通过细化锻炼剂量以加强锻炼指导的明确性和操作性^[12]。

因此，文章通过 Meta 方法对平衡训练在慢性踝关节不稳干预治疗的效果进行对比，系统地分析不同剂量的平衡运动干预对慢性踝关节不稳的调节效果^[13]，为慢性踝关节不稳患者科学制定运动处方提供可靠的理论基础。

1 资料和方法 Data and methods

1.1 资料来源

1.1.1 检索人及检索时间 由第一、三作者通过独立双盲的方式进行检索，严格依据荟萃分析《PRISMA 声明》进行。

1.1.2 检索文献时限 从各数据库建立至 2022 年 11 月，最后一次检索时间为 2022 年 11 月 23 日。

1.1.3 检索数据库 包括中国知网、维普数据、Web of Science 和 PubMed 数据库。

1.1.4 检索词 中文检索词为 [“慢性踝关节不稳” OR “功能性踝关节不稳”] AND [“平衡训练” OR “本体感觉训练”]，英文检索词为 [“chronic ankle instability” OR “function ankle instability”] AND [“balance training” OR “neuromuscular control training”]。

1.1.5 检索文献类型 试验报告、随机对照试验、书籍文件和述评报告原文。

1.1.6 检索策略 以 PubMed 和中国知网数据库为例，检索策略见图 1。

1.1.7 检索文献数量 初步纳入 728 篇文献。

1.2 纳入与排除标准 文献的纳入与排除通过独立双盲的形式进行筛查，所有结果均有 2 名研究人员进行独立筛查，期间严格遵循 PRISMA 标准，从文献类型、纳入研究对象、干预措施和结局指标 4 个方面对纳入文献进行筛选与评估。

PubMed 数据库	中国知网数据库
#1 Chronic Ankle Instability [Title/Abstract]	#1 慢性踝关节不稳 [主题]
#2 Function Ankle Instability [Title/Abstract]	#2 功能性踝关节不稳 [主题]
#3 Ankle Instability [Title/Abstract]	#3 踝关节扭伤 [主题]
#4 Ankle Sprain [Title/Abstract]	#4 踝关节损伤 [主题]
#5 Ankle Injury [Title/Abstract]	#5 CAI
#6 CAI	#6 #1 OR #2 OR #3
#7 #1 OR #2 OR #3 OR #4 OR #5 OR #6	#7 平衡训练
#8 Balance Training [Title/Abstract]	#8 神经肌肉训练
#9 Neuromuscular Training [Title/Abstract]	#9 姿势控制训练
#10 Balance Exercise [Title/Abstract]	#10 #7 OR #8 OR #9
#11 Controlled Exercise [Title/Abstract]	#11 #6 AND #10
#12 Controlled Training [Title/Abstract]	
#13 #8 OR #9 OR #10 OR #11 OR #12	
#14 #7 AND #13	

图 1 | 中英文数据检索策略图

Figure 1 | Chinese and English data retrieval strategy

1.2.1 纳入标准 ①研究类型及语种：平衡训练干预慢性踝关节不稳康复效果的随机对照试验，语言限中文和英文；②研究对象：被诊断为慢性踝关节不稳的健康成年人，且近 6 个月无踝关节手术治疗且无其他相关精神或残疾疾病等；③干预措施：试验组施加包括动态、静态以及单腿等不同形式的平衡训练干预，对照组采取日常常规生活或不同于试验组的运动干预；④结局指标：主要结局指标为自我功能评分量表^[14]，次要结局指标为星形偏移平衡测试 (评价动态稳定性的重要指标)。

1.2.2 排除标准 ①重复发表、会议摘要及无法获取原文数据的文献；②试验组采取 2 种以上联合运动干预；③急性踝关节扭伤患者；④文献质量较低及重复性发表文献；⑤结局指标未用平均数 ± 标准差表述的文献。

1.3 文献筛选 对检索到的文献通过 NoteExpress 3.2.0 软件进行去重, 由 2 名研究员通过阅读标题摘要进行初筛, 阅读全文并根据纳入与排除标准进行最终筛选, 确定纳入文献。意见有所分歧时, 由第 3 名研究员介入讨论。

1.4 文献数据的提取 由 2 名研究员分别独立对纳入文献的基本特征进行提取, 并进行交叉比对。

提取指标包括文献基本信息 (作者和发表年份)、试验对象基本信息 (分组及性别比例)、试验组与对照组的干预设计 (干预措施、周期、时间和频率)、结局指标和不良反应。其中, 结局指标选取实验后测数据, 实验数据必须可以在文章中或通过通讯作者直接索取, 否则便排除该文章。

1.5 文献方法学质量评价 采取物理治疗证据量表 (PEDro) 对纳入文献的规范性进行评价。PEDro 量表共计 10 分 (满足相应指标记 1 分, 不满足记 0 分, 第一题不计入总分)。评价由 2 名评审人员通过独立双盲进行两轮独立评价。得分按照 9-10 分为高质量文献、6-8 分为较高质量文献、4-5 分为一般质量文献和低于 4 分为低质量文献进行评价^[15]。

1.6 结局指标 主要结局指标为自我功能评分量表, 包括坎伯兰踝关节不稳量表 (Cumberland Ankle Instability Tool, CAIT)/ 足踝功能障碍指数评分 - 运动量表 (Foot and Ankle dysfunction index-Sport, FADI-S) 和足踝功能量表 - 运动量表 (Foot and Ankle Ability Measure-Sport, FAAM-S)。

次要结局指标为星形偏移平衡测试前侧、后内侧和后外侧 3 个方向。

1.7 统计学分析 采用 Cochrane 协作网提供的 RevMan 5.3 软件以及 Stata-SE 15 软件进行数据的处理和分析, 包括合并效应量、发表偏倚、亚组分析、Meta 回归和敏感性分析。

研究纳入数据类型均为连续性变量资料, 效应指标单位和测量方式不不同时采取标准化均数差 (standardized mean difference, SMD) 表示, SMD 值消除了多个研究测量单位的影响, 适用于单位不同或采用不同量表的资料汇总分析^[16]。效应指标单位和测量方式相同时采取均数差来表示 (mean difference, MD), 并计算置信区间 (设置为 95% 置信区间, confidential interval, CI)。

合并效应量指标显著性意义检验采用 P 值表示, 当 $P \leq 0.05$ 时, 合并效应存在显著性意义, 小效应量指标 < 0.5 , $0.5 \leq$ 中等效应量指标为 < 0.8 , 大效应量指标 ≥ 0.8 。

采用 I^2 值来检验其统计学异质性, 低度异质性为 $I^2 < 50\%$, 中度异质性为 $50\% < I^2 < 75\%$, 高度异质性为 $I^2 \geq 75\%$ 。根据异质性大小采取固定效应模型或随机效应模型对纳入文献进行分析。固定效应模型为 $I^2 < 50\%$, 研究间具有同质性; 随机效应模型为 $I^2 > 50\%$, 研究间存在较高的异质性。 $I^2 \geq 50\%$ 时根据文献的特点进行 Meta 回归、敏感性分析和亚组分析来探讨异质性的来源。

采用 Egger 法运算和发表偏倚漏斗图对纳入文献的发表偏倚进行定量和定性分析。

2 结果 Results

2.1 文献检索结果 对初步检索到的 728 篇文献纳入 NoteExpress 3.2.0 软件去除重复文献 115 篇, 阅读标题和摘要去除不相关文献后, 对 45 篇文献进行全文阅读及筛选, 最终纳入文献 18 篇, 包括中文 3 篇、英文 15 篇。文献筛选具体流程图见图 2。

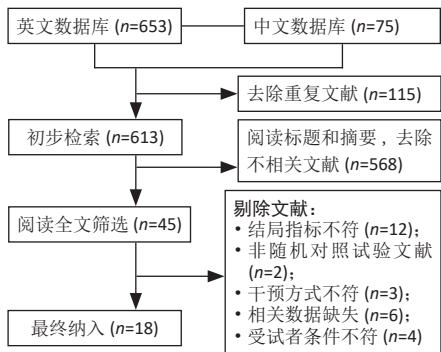


图 2 | 文献筛选流程图

Figure 2 | Flow chart of literature screening

2.2 纳入研究临床特征 最终纳入 18 项随机对照试验^[8,9, 17-32], 共包含受试者 641 例; 试验组干预方案包括动态或静态平衡训练; 对照组干预方案一般为保持日常常规生活、与试验组不同的其他运动干预; 干预周期为 4-8 周; 动态平衡的结局指标为星形偏移平衡测试 (Star Excursion Balance Test, SEBT) 结果; 自我功能评分指标包括 CAIT、FAAM-S 和 FADI-S。纳入文献的基本特征见表 1。

2.3 纳入文献的质量评价结果 采用物理治疗证据量表 (PEDro) 对纳入文献的规范性进行评价, 在纳入的 18 篇文献中, 大于 6 分以上的较高质量 15 篇, 一般质量文献 2 篇。其中文文献大多集中在 6-8 分之间, 仅有 1 篇高质量文献。文献中纳入被试的条件较为明确, 中文文献中较少使用分配隐藏和盲法。整体上纳入文献的方法学质量较高, 见表 2。

2.4 平衡训练对慢性踝关节不稳患者自我功能评分的 Meta 分析结果

2.4.1 干预效果的整体效应量检验结果 平衡训练对慢性踝关节不稳患者自我功能评分研究共纳入 14 个效应量指标, 包含慢性踝关节不稳患者 460 例。异质性检验 ($I^2=76\%$, $P < 0.000 01$) 为高度异质性, 故采用随机效应模型。该研究纳入量表单位不统一, 通过适用于不同量表的 SMD 值进行合并统计量分析。合并效应量检验结果为 $SMD=0.82$, $95\%CI: 0.41-1.23$, $P < 0.000 1$, $SMD \geq 0.8$ 即为大效应量, 见图 3。因此, 平衡可以改善慢性踝关节不稳患者的自我功能评分且改善效果显著。

2.4.2 Meta 回归分析和调节变量亚组检验结果 当异质性 $I^2 \geq 50$ 时其整体效果会受到某一干预效果的影响, 因此需要通过 Meta 回归的方法探讨产生异质性的原因以及进一步亚组检验^[16]。

根据文献设置干预周期、干预频次和干预时间 3 个调节变量。干预周期分为 4 周、6 周和 > 6 周; 干预频次分为 2 次、3 次和 > 3 次; 干

预时间分为 $20 \text{ min} < t \leq 30 \text{ min}$ 、 $t \leq 20 \text{ min}$ 。通过 Meta 回归哑变量分析表明, 干预时间 ($P=0.008$) 的 P 值均小于 0.05, 干预周期 ($P=0.218$) 和干预频次 ($P=0.358$) 的 P 值均大于 0.05, 见表 3。因此, 干预时间指标可能是产生异质性的主要原因。

通过亚组分析发现, 干预周期中, 4 周和 6 周的干预效果显著, 其中 6 周干预效果最佳; 干预频次中, 3 次和大于 3 次的干预频次效果显著, 其中大于 3 次干预效果最佳; 干预时间中, 小于 20 min 的干预效果最佳, 见表 4。综上, 干预 6 周、每周干预大于 3 次和每次干预时间小于 20 min 是改善慢性踝关节不稳患者功能康复效果的最佳康复方案。

2.4.3 敏感性分析结果 当研究合并效应量异质性高于 50% 时, 需要通过对整体研究进行逐一剔除的方式去探讨是否某一项研究会整体产生较大的影响。文章异质性 $I^2=76\%$, 通过敏感性分析发现, 见图 4, 剔除某一项研究对整体异质性影响不大, 表明 Meta 分析结果稳定可靠。

2.4.4 文献发表偏倚检验结果 发表偏倚是对系统评价中结果是否存在偏倚的一种检验, 该研究采用定性和定量分析结合的漏斗图与 Egger 法检验对研究中自我功能评分测试进行检验^[10]。Egger 法检验结果见表 5, 功能评分 ($P=0.771$) 的 P 值大于 0.05, 并且漏斗图左右分布较为平衡, 见图 5, 表明功能评分指标所纳入的文献不存在明显的发表偏倚, 纳入文献结果稳定。

2.5 平衡训练对动态平衡能力的 Meta 分析结果

2.5.1 干预效果的整体效应量检验结果 SEBT 是通过健侧踝关节在网格中心向前侧、后外侧和后内侧 3 个不同方向进行最大程度的伸展来检测患侧踝关节动态稳定性的评价方法。纳入文献中选取前、后内侧和后外侧 6 个方向可以较为精确地评价踝关节动态稳定性。通过采用随机效应模型对 3 个方向进行效应量合并, 见表 6, 前侧 $SMD=0.56$ 达到中等效应量, 后内侧 $SMD=0.88$ 和后外侧 $SMD=0.84$ 达到大效应量。因此, 平衡训练可以改善慢性踝关节不稳患者的动态平衡能力, 且 3 个方向均可以有效改善。

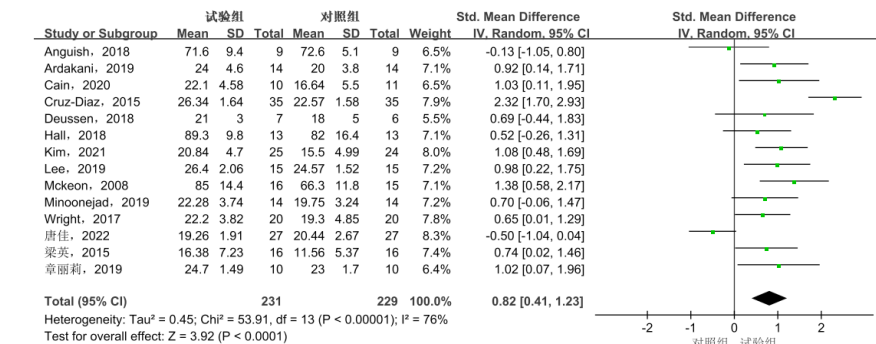
2.5.2 调节变量亚组检验结果 通过设置调节变量对 3 个方向的效应量进行亚组分析发现, 见表 7。在干预周期方面, 6 周干预对 3 个方向均有显著改善效果并且后外侧和后内侧方向达到了大效应量。4 周干预中后外侧方向无显著效果, 前侧和后内侧方向达到中等效应量。在干预时间方面, 小于 20 min 的干预时间对前侧方向有改善效果, 但对后外侧和后内侧方向无改善。20-30 min 的干预时间对后内侧和后外侧方向有改善效果且达到大效应量, 但对前侧方向无改善作用。在干预频次方面, 纳入的文献均为每周干预 3 次, 故不作亚组检验。综上所述, 通过平衡训练进行 6 周干预、每周干预 3 次, 每次干预 20-30 min 是改善慢性踝关节不稳患者动态平衡能力的最佳组合方案。该研究纳入 3 个方向的文献均低于 10 篇, 故不对其进行敏感性分析。

表 1 | 纳入文献的基本特征

Table 1 | Basic characteristics of the included studies

第一作者 / 发表年份	样本量 (E/C, n)	性别 (男/女, n)	干预措施		干预周期 / 时间 / 频率	结局 指标	不良 反应
			试验组	对照组			
梁英 ^[17] , 2015	16/16	19/13	踝泵运动基础上, 前 2 周 30%-50% 负重下静态平衡仪训练, 后 2 周 50%-70% 负重下动态平衡仪训练	保持日常常规生活, 自行进行踝泵运动	4 周 / 5 次, 15 min	CAIT	未报告
章丽莉 ^[18] , 2019	10/10	4/16	使用三维动态平衡训练仪训练, 选择踝关节训练模块, 第 1, 3 周动作相同, 2, 4 周动作相同; 1, 2 周采用标准速度、中等幅度; 3, 4 周采用中、较大速度、较大强度	二维平衡训练, 包括双足支撑训练、前后重心转移、多方向训练和单腿站立训练	4 周 / 4 次, 约 30 min	CAIT	未发生
唐佳 ^[19] , 2022	27/27	27/27	采用 POSTUROMED 平衡仪, 配合 BUSO 球上平衡训练动作进行, 并根据是否锁定控制阀及施加阻力划分为 4 个阶段	BUSO 球训练, 第一周为基础动作, 后续每周依次增加单腿下蹲、俯身触物等动作	6 周 / 3 次, 30 min	CAIT	未报告
ANGUIH ^[9] , 2018	9/9	2/16	渐进式动态平衡训练: 4 个不同难度级别中, 从不同距离单肢跳跃至稳定、使用 9 标记网格的跳跃至稳定、在危险平面上的睁、闭眼跳跃等	使用弹力带进行踝关节: 单肢站立、单肢站姿抛球、不同方向单腿蹬地、不同方向单腿踏步等。随着进度增加阻力或高度	4 周 / 3 次, 30 min	FAAM-S, SEBT	未发生
WRIGHT ^[20] , 2017	20/20	11/29	平衡摇摆板训练: 5 组 40 s 顺时针和逆时针旋转 (每 10 s 交替方向), 每组间歇 60 s。摇摆等级随干预进展 1-5 递增	在不同支撑表面上的单腿站立	4 周 / 3 次, 约 5 min	CAIT, SEBT	未报告
LEE ^[21] , 2019	15/15	15/15	在稳定性训练器上进行非稳定性训练	保持日常常规生活	8 周 / 3 次, 20-25 min	CAIT	未报告
MCKEON ^[22] , 2008	16/15	12/19	动态平衡训练: 包括跳跃至稳定、跳跃至稳定并伸展、跳跃至稳定箱、睁眼单肢站立、闭眼单肢站立 5 个动作, 并包含 7 个难度等级	保持日常常规生活	4 周 / 3 次, 20 min	FADI-S, SEBT	未报告
MINOONEJAD ^[8] , 2019	14/14	28/0	在不同平面上完成跳跃练习组合, 第 1 周需完成 80 次着陆, 后续每周增加 20 次; 练习组间歇 30 s, 不同练习间歇 1 min	保持日常常规生活	6 周 / 3 次, 第 1 周 15-20 min, 后 2 周 30-40 min	CAIT	未报告
CAIN ^[23] , 2017	11/11	11/11	在生物力学踝关节平台系统 (BAPS) 板上, 完成 5 组 40 s 顺时针和逆时针旋转 (每隔 10 s 改变 1 次方向), 中间休息 1 min; 练习难度等级从 1-5 递增	保持日常常规生活	4 周 / 3 次, 10-15 min	SEBT	未报告
SIERRA-GUZMÁN ^[24] , 2018	33/17	33/17	使用 BUSO 球进行训练, 训练计划包括 3 个系列 4 个 45 s 的练习, 练习间歇 45 s; 3 周后增加练习难度	保持原有体力活动水平	6 周 / 3 次, 15 min	SEBT	未报告
CRUZ-DIAZ ^[25] , 2015	35/35	35/35	在力量训练基础上增加平衡训练, 运用 BUSO 球、泡沫滚轴等工具进行单肢站立、单肢跳跃、单肢站立投接球等练习	常规力量训练	6 周 / 3 次, 20-25 min	CAIT, SEBT	未报告
CLOAK ^[26] , 2013	11/22	33/0	使用摇摆板和振动球, 完成单肢站立、单肢提踵站立、单脚踏步、单肢直腿硬拉等动作, 并随周数增加难度	保持日常常规生活	6 周 / 2 次, 15 min	SEBT	未报告
DEUSSEN ^[27] , 2018	6/14	6/14	在不同不稳定设备上的单腿和双腿站立。练习组数随时间增加	保持日常体育活动	6 周 / 2 次, 20-30 min	CAIT	未报告
HALL ^[28] , 2018	26/13	21/18	按照 MCKEON 等 ^[22] 设计的平衡训练进行	保持常规活动	6 周 / 3 次, 20 min	FAAM-S	未报告
CAIN ^[29] , 2020	32/11	20/23	使用阻力带和 BAPS 板进行平衡训练	保持日常常规生活	4-6 周 / 两三次 (共计 12 次), 15-20 min	CAIT, SEBT	未发生
LINENS ^[30] , 2016	17/17	6/28	使用摇摆板进行平衡训练	保持日常体力活动水平	4 周 / 3 次, 15 min	SEBT	未报告
KIM ^[31] , 2021	25/24	25/24	单肢站立、单肢站立抛接球、单腿硬拉、单腿跳跃至稳定等混合平衡训练, 有不同难度进展	保持日常常规生活	6 周 / 3 次, 20 min	CAIT, SEBT	未发生
ARDAKANI ^[32] , 2019	14/14	28/0	不同形式的跳跃稳定训练, 第 1 周完成 80 次着陆, 后续每周增加 20 次 (第 6 周 150 次), 动作要求难度递增	保持日常常规生活	6 周 / 3 次, 30 min	CAIT	未报告

表注: E 为试验组; C 为对照组; CAIT 为坎伯兰踝关节不稳量表; SEBT 为星形偏移平衡测试; FADI-S 为足踝功能障碍指数评分 - 运动量表; FAAM-S 为足踝功能量表 - 运动量表; BOSU 球为一种半圆形平衡训练器材



图注: 试验组自我功能评分显著优于对照组

图 3 | 慢性踝关节不稳患者自我功能评分影响效果的 Meta 分析森林图

Figure 3 | Forest plot of meta-analysis of the influence of self functional score of chronic ankle instability patients

2.5.3 发表偏倚分析结果 此次星形偏倚平衡测试 3 个方向的发表偏倚采取定性和定量进行检验和评价。Egger 法检验结果见表 8, 前侧 (P=0.278)、后外侧 (P=0.104) 和后内侧 (P=0.683) 的 P 值均大于 0.05, 且漏斗图左右分布较为平衡, 见图 6, 表明星形偏倚平衡测试 3 个方向所纳入的文献不存在明显的发表偏倚, 纳入文献结果较为稳定。

3 讨论 Discussion

3.1 证据总结 自我功能评分是通过量表问卷的形式来了解慢性踝关节不稳患者的康复效果, 一般量表会包含疼痛、肿胀和失控等症状, 以及涉及相关跑跳、落地和下蹲的日常生活表现状态, 其优点是省时省力并且能够通过主观

表 2 | 纳入文献的 PEDro 得分评估结果

Table 2 | PEDro score of the included studies

第一作者	受试者 纳入条 件	随机 分配	基线 隐藏 相似	受试 者设 盲	干预 实施 者设 盲	结局 测量 者设 盲	测 对 85% 以上 的人 进行至少 一项主 要结果的 测量	意向 组间 治疗 分析	组间 统计 报告	结果的 点测 量值和 变异分	得 分	
梁英 ^[17]	1	1	0	1	0	0	0	1	1	0	1	5
章丽莉 ^[18]	1	1	0	1	0	0	0	1	1	0	1	5
唐佳 ^[19]	1	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	6
ANGUSH ^[9]	1	1	0	1	1	0	0	1	1	1	1	7
WRIGHT ^[20]	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	8
LEE ^[21]	1	1	0	1	1	0	0	1	1	1	1	7
MCKEON ^[22]	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	7
MINOONEJAD ^[8]	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	8
CAIN ^[23]	1	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	6
SIERRA-GUZMÁN ^[24]	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	7
CRUZ-DIAZ ^[25]	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	8
CLOAK ^[26]	1	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	6
DEUSSEN ^[27]	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	7
HALL ^[28]	1	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	6
CAIN ^[29]	1	1	0	1	1	0	0	1	1	1	1	7
LINENS ^[30]	1	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	6
KIM ^[31]	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	8
ARDAKANI ^[32]	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	9

表注：1 代表满足相应指标；0 代表不满足相应指标；5-9 代表相应指标得分总和

表 3 | 不同调节变量对慢性踝关节不稳患者功能评分的 Meta 回归分析结果

Table 3 | Meta-regression analysis results of different covariates on functional score of chronic ankle instability patients

调节变量	β 回归系数	标准误	t 值	P 值 > t 值	95%CI
干预周期	1.010 9	0.773 6	1.31	0.218	-3.405 6
干预频次	0.756 8	0.785 1	0.96	0.358	-3.498 7
干预时间	0.892 8	0.279 9	3.19	0.008 ^a	0.282 8-1.502 8

表注：a 代表 P 值小于 0.05 并具有显著性差异

表 4 | 不同调节变量对功能评分量表影响的亚组分析结果

Table 4 | Result of subgroup analysis on different covariates on functional score

调节变量	分层亚组	效应量数量 (n)	SMD 值 (95%CI)	P 值	I ² 值	P 值异质性
干预周期	4 周	6	0.81(0.42-1.20)	0.000 ^a	29%	0.218
	6 周	7	0.98(0.31-1.65)	0.030 ^a	87.60%	0.000 ^a
干预频次	> 6 周	1	0.85(-0.37-2.07)	0.009	不适用	不适用
	2 次	1	0.74(-0.39-1.88)	0.199	不适用	不适用
干预时间	3 次	11	0.84(0.33-1.35)	0.001 ^a	81.90%	0.000 ^a
	> 3 次	2	0.87(0.30-1.44)	0.003 ^a	0.00%	0.612
	t ≤ 20	7	0.89(0.61-1.66)	0.000 ^a	0.00%	0.693
	20 < t ≤ 30	7	0.78(-0.07-1.64)	0.071	88.30%	0.000 ^a

表注：^aP < 0.05；t 代表每次干预时间 (min)

表 5 | Meta 分析 Egger 法检验结果

Table 5 | Meta-analysis of Egger test result

结局指标	Std_Eff	Coef.	Std. Err	t 值	P 值	95%CI
功能评分	Slope	0.492 3	1.132 8	0.43		-4.936 3
	Bias	0.895 4	3.009 9	0.30	0.771	-13.116

表注：^aP < 0.05；Std_Eff 代表斜率；Slope 代表截距；Bias 代表偏倚；Coef. 代表回归系数；Std. Err 代表标准误

表 6 | 平衡训练对慢性踝关节不稳患者动态平衡影响效果

Table 6 | Influence of balance training on dynamic balance of chronic ankle instability patients

方向	效应 数量	样本 数量	异质性 P 值	异质性 I ² 值	SMD 值 (95%CI)
前侧 (A)	9	300	0.000 ^a	86.40%	0.56(0.31-0.80)
后外侧 (PL)	8	266	0.000 ^a	81.30%	0.84(0.22-1.46)
后内侧 (PM)	9	318	0.001 ^a	68.60%	0.88(0.45-1.32)

表注：^aP < 0.05；A 代表星形偏倚平衡测试前侧；PL 代表星形偏倚平衡测试后外侧；PM 代表星形偏倚平衡测试后内侧

表 7 | 不同调节变量对动态平衡能力影响的亚组分析结果

Table 7 | Result of subgroup analysis on different covariates on dynamic balance

调节变量	分层亚组	A- 效应量及 95% 置信区 间	PL- 效应量 及 95% 置信 区间	PM- 效应量 及 95% 置信 区间
干预周期	4 周	0.57 (0.20-0.94) ^a	0.56 (-0.07-1.19)	0.79 (0.31-1.27) ^a
	6 周	0.55 (0.22-0.87) ^a	1.10 (0.10-2.19) ^a	1.03 (0.13-1.93) ^a
干预时间	t ≤ 20	0.71 (0.41-1.01) ^a	0.86 (-1.25-2.97)	0.84 (-0.21-1.88)
	20 < t ≤ 30	0.25 (-0.17-0.68)	0.81 (0.18-1.45) ^a	0.90 (0.37-1.42) ^a

表注：^aP < 0.05；A 代表星形偏倚平衡测试前侧；PL 代表星形偏倚平衡测试后外侧；PM 代表星形偏倚平衡测试后内侧；t 代表每次运动干预时间 (min)

表 8 | Meta 分析 Egger 法检验结果

Table 8 | Meta-analysis of Egger test results

结局指标	Std_	Coef.	Std. Err	t 值	P 值	95%CI
A	Slope	-1.055 2	1.410 3	-0.75		-4.390 1- 2.279 6
	Bias	4.445 1	3.776 6	1.18	0.278	-4.485 0- 13.375
PL	Slope	3.995 4	1.598 8	2.5		0.083 2- 7.907 6
	Bias	-8.008 1	4.182 8	-1.91	0.104	-18.243- 2.226 9
PM	Slope	1.401 4	1.170 2	1.2		-1.365 8- 4.168 6
	Bias	-1.375 1	3.230 9	-0.43	0.683	-9.014 9- 6.264 7

表注：A 为星形偏倚平衡测试前侧；PL 为星形偏倚平衡测试后外侧；PM 为星形偏倚平衡测试后内侧；Std_Eff 代表斜率；Slope 代表截距；Bias 代表偏倚；Coef. 代表回归系数；Std. Err 代表标准误

图注：此图为平衡训练与对照组自我功能评分敏感性分析，各组研究均在可信区间范围内，表明各组间的研究结果较为稳健

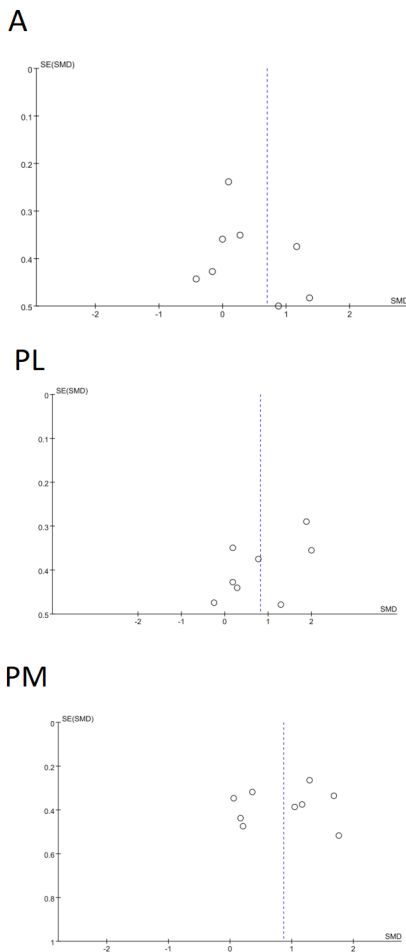
图 4 | 运动干预对功能评分影响的敏感性分析结果图

Figure 4 | Sensitivity analysis results of exercise intervention on functional score

图注：漏斗图两侧分布较为均匀和对称，研究存在发表偏倚的可能性较小

图 5 | 纳入研究中自我功能评分指标的发表偏倚漏斗图

Figure 5 | Funnel plot of publication bias of Self Functional Rating Scale of the included studies



图注：图中 A 为星形偏倚平衡测试前侧；PL 为星形偏倚平衡测试后外侧；PM 为星形偏倚平衡测试后内侧。A 图和 PL 图漏斗图两侧分布对称性欠佳，可能存在一定的发表偏倚；PM 图漏斗图两侧分布较为对称，研究存在发表偏倚的可能性较小

图 6 | 纳入研究的星形偏倚平衡测试结果或指标的发表偏倚漏斗图

Figure 6 | Funnel plots of publication bias of Star Shift Balance Test results or indexes of the included studies

判断去快速了解康复效果，临床上通过功能分量表评价慢性踝关节不稳康复效果已被证实具有较高的检验效能^[4, 33]。国内外学者探索了平衡训练对预防踝关节损伤的效果，研究证实平衡训练可以有效降低踝关节的损伤发生率。LOUDON 等^[34]的元分析发现，通过在运动中添加平衡训练可以有效预防踝关节的反复扭伤、提高平衡稳定性和改善功能症状。该研究共纳入 14 个研究的效应量，包含慢性踝关节不稳患者 460 例，整体合并效应量为 $SMD=0.82$ 达到大效应量。进一步亚组分析显示，干预 6 周、每周干预大于 3 次和每次干预时间小于 20 min 是改善慢性踝关节不稳患者功能康复效果的最佳康复方案。通过平衡训练进行踝关节的日常康复要保证肌肉处于较高兴奋状态下，因为平衡训练需要神经肌肉精细控制和募集更多的肌肉参与运动，当身体运动时间过长时会导致肌肉和大脑神经系统处于疲劳状态，此时的练习效率会降低。该研究发现干预时间小于 20 min

是基于循证的最佳锻炼方案。这也与以往的 Meta 分析结果相吻合^[35]，身体平衡和姿势控制练习保持在约 20 min 是神经系统处于最佳兴奋性的时长。因此通过平衡训练进行踝关节的康复练习需要控制每次的练习时间和增加每周的练习频率。探究平衡训练改善慢性踝关节不稳症状的机制包括本体感觉的缺少和生物力学特征的改变^[36]。

从本体感觉缺失方面，慢性踝关节不稳症状产生的主要原因是本体感觉减弱和腓骨反应时间延长等使慢性踝关节不稳患者出现神经信息传入受阻、肌肉敏感性减弱以及无力失控感等^[7]，常造成踝关节感知外界变化能力减弱，当意外受到过度外力施加后便会造成损伤。虽然当踝关节急性损伤后采取休息、冰敷、加压和抬高患肢等处理方式可以有效缓解疼痛和促进部分结构功能的恢复，但本体感觉的缺失需要通过平衡训练才可以有效改善。平衡训练可以改善踝关节周围中断的传入通路和神经肌肉传导速度^[37]，从而促进本体感觉的恢复，改善踝关节的功能症状^[38]。从生物力学特征方面，平衡训练可以促进肌肉力量的恢复从而改善踝关节冠状面的力学特征，当踝关节着地时对地面的垂直冲量减弱，从而减少踝关节外翻的发生^[39]。这些生物力学特征的改变在预防踝关节反复扭伤方面起着积极的作用。综上所述，平衡训练是慢性踝关节不稳运动康复的重要部分，运动方案的选择是提高锻炼效率的关键，文章可以为平衡训练方案提供强有力的证据支持。建议今后可以采用文章提供的干预方案进行慢性踝关节不稳康复训练。

SEBT 是一种可靠的动态平衡评价方法，测试只需要 8 根皮尺即可完成，操作简单成本低且无需昂贵的测试仪器或测量工具。纳入量化的 SEBT 指标为简化版本，共分为 3 个方向，包含了前侧 (A)、后外侧 (PL) 和后内侧 (PM)。简化版 SEBT 与下肢姿势控制和动态平衡能力具有显著的相关性，测试效率高，可以减轻测试者因繁琐动作产生疲劳从而对测试的准确性^[40]。该研究发现平衡训练可以改善包括前侧、后内侧和后外侧 3 个方向的动态稳定性。动态平衡能力是身体各部位处于运动状态时，身体重心在支撑平面上保持姿势稳定和方位的能力。人体要满足日常生活及各种活动的需求，必定要处于支撑平面不断变化，身体姿势不断调整之中。

人体运动中的动作与控制依赖于感觉运动系统，其将神经系统与感觉系统相结合形成复杂的整合过程。当踝关节受损后肌梭感受器敏感性降低，导致传入信息通路受损、腓骨反应时间延长以及神经肌肉传导速度降低^[33]，由于姿势稳定性控制受视觉、前庭感觉、位置觉和本体感觉等信息传入的影响，因此，姿势控制缺陷很可能继发于神经肌肉控制和本体感觉受损的组合。研究显示，采用稳定或不稳定表面的平衡训练均可以改善慢性踝关节不稳患者的 SEBT 得分^[30, 41]。有研究分析表明，中等效应量证据支持慢性踝关节不稳患者通过平衡训练和神经肌肉控制改善动态姿势稳定性^[42]。平衡训练可以改善姿势控制障碍和加强神经肌肉控

制从而改善动态稳定性。此外，人体运动中的整体动力链也会对改善动态稳定性起着积极的作用。当脚部落地处于非稳定状态时，身体通过躯干核心部位肌群、髋部肌群以及下肢肌群共同作用从而控制身体的稳定性。日常平衡训练中的单腿练习、不稳定表面练习和动态稳定性练习等会加强躯干肌群以及髋部肌群整体的协调作用，有利于身体形成闭环的动力链，肌肉力量和神经控制通过动力链条传递到脚踝，从而更好的起到姿势控制效果^[43]。此类平衡训练在加强动力链的同时保障动作模式的稳定，以足球等快速多变的项目为例，身体在快速多变运动中，脚踝极易处于不稳定状态下，此时身体整体动力输出和动作模式处于稳定状态可以有效预防运动损伤的发生。因此，未来应重点关注平衡训练在运动表现中的作用。

3.2 文章局限性 ①文章纳入文献中部分研究未表明分配隐藏、盲法的实施等情况，可能会降低研究结果的可靠性或造成主观偏差；②平衡训练干预方案中包含了单腿平衡训练、不稳定平衡训练和其他平衡干预等，文章没有对其进行更细致的亚组分析以确定不同形式平衡干预的效果；③研究纳入干预措施的负荷参数和自评量表测量评价方式有所不同，可能会导致结果出现偏差。

3.3 适用性及对未来研究的启示 文章通过 Meta 分析发现平衡训练可以有效改善慢性踝关节不稳患者的功能症状和动态平衡能力。研究结果得出的运动干预方案可以为日常康复提供指导性建议。未来应重点从不同形式的平衡训练如动态和静态平衡训练等入手考虑对慢性踝关节不稳的康复效果，以期慢性踝关节不稳患者提供更加全面和准确的平衡训练干预理论与依据。

3.4 研究结论 ①平衡训练可以改善慢性踝关节不稳患者的功能康复效果和动态平衡能力。②通过平衡训练进行 6 周干预、每周干预大于 3 次和每次干预时间小于 20 min 是改善慢性踝关节不稳患者功能康复效果的最佳干预方案。③通过平衡训练进行 6 周干预、每周干预 3 次，每次干预 20-30 min 是改善慢性踝关节不稳患者动态平衡能力的最佳干预方案。

作者贡献：文章设计者为苏玉莹。资料收集者为全体作者。数据分析者为彭亮、刘嘉俊。王悦同、苏玉莹撰写与修改论文，并由苏玉莹进行审核。

利益冲突：文章的全部作者声明，在课题研究和文章撰写过程中不存在利益冲突。

开放获取声明：这是一篇开放获取文章，根据《知识共享许可协议》“署名-非商业性使用-相同方式共享 4.0”条款，在合理引用的情况下，允许他人以非商业性目的基于原文内容编辑、调整和扩展，同时允许任何用户阅读、下载、拷贝、传递、打印、检索、超级链接该文献，并为之建立索引，用作软件的输入数据或其它任何合法用途。

版权转让：文章出版前全体作者与编辑部签署了文章版权转让协议。

出版规范：文章撰写遵守了《系统综述和荟萃分析报告规范》(PRISMA 声明)；出版前经过专业反剽窃文献检测系统进行 3 次文字和图表查重；经小同行外审专家双盲审稿，同行评议认为符合期刊发表宗旨。

4 参考文献 References

[1] DOHERTY C, DELAHUNT E, CAULFIELD B, et al. The incidence and prevalence of ankle sprain injury: a systematic review and meta-analysis of prospective epidemiological studies. *Sports Med.* 2014;44(1):123-140.

[2] YEUNG MS, CHAN KM, SO CH, et al. An epidemiological survey on ankle sprain. *Br J Sports Med.* 1994;28(2):112-116.

[3] DELAHUNT E, COUGHLAN GF, CAULFIELD B, et al. Inclusion criteria when investigating insufficiencies in chronic ankle instability. *Med Sci Sports Exerc.* 2010;42(11):2106-2121.

[4] 施晓剑, 韩甲, 刘宇, 等. 慢性踝关节不稳的病理机制和评估诊断研究进展 [J]. *中国运动医学杂志*, 2019,38(9):816-824.

[5] 苏应军, 董新延, 胡力. 以踝关节解剖结构及生物力学特征分析慢性踝关节不稳 [J]. *中国组织工程研究*, 2015,19(15):2415-2419.

[6] 章丽莉, 杨玉珊, 郑洁皎. 慢性踝关节不稳姿势稳定性的研究进展 [J]. *中国康复理论与实践*, 2019,25(8):908-912.

[7] TAUBE W, GRUBER M, GOLLHOFER A. Spinal and supraspinal adaptations associated with balance training and their functional relevance. *Acta Physiol (Oxf).* 2008;193(2):101-116.

[8] MINOONEJAD H, KARIMIZADEH ARDAKANI M, RAJABI R, et al. Hop stabilization training improves neuromuscular control in college basketball players with chronic ankle instability: a randomized controlled trial. *J Sport Rehabil.* 2019;28(6):576-583.

[9] ANGUISH B, SANDREY MA. Two 4-week balance-training programs for chronic ankle instability. *J Athl Train.* 2018;53(7):662-671.

[10] MOLLÀ-CASANOVA S, INGLÉS M, SERRA-AÑÓ P. Effects of balance training on functionality, ankle instability, and dynamic balance outcomes in people with chronic ankle instability: systematic review and meta-analysis. *Clin Rehabil.* 2021;35(12):1694-1709.

[11] JIANG C, HUANG DB, LI XM, et al. Effects of balance training on dynamic postural stability in patients with chronic ankle instability: systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *J Sports Med Phys Fitness.* 2022;62(12):1707-1715.

[12] 高淑青, 王晓晨, 张连成. 循证锻炼在大众锻炼实践领域的应用思考 [J]. *体育学刊*, 2022,29(3):139-144.

[13] 苏玉莹, 尹洪满, 石旅畅, 等. 飞轮离心超负荷训练对预防模拟失重人群废用性肌萎缩效果的 meta 分析 [J]. *中国康复医学杂志*, 2022,37(2):224-230.

[14] DE VRIES JS, KRIPS R, SIEREVELT IN, et al. Interventions for treating chronic ankle instability. *Cochrane Database Syst Rev.* 2011; (8):CD004124.

[15] MAHER CG, SHERRINGTON C, HERBERT RD, et al. Reliability of the PEDro scale for rating quality of randomized controlled trials. *Phys Ther.* 2003;83(8):713-721.

[16] 刘鸣. 系统评价、Meta- 分析设计与实施方法 [M]. 北京: 人民卫生出版社, 2011:158-164.

[17] 梁英, 高敏, 王萍芝, 等. 动静平衡训练治疗慢性踝关节不稳的疗效研究 [J]. *中华老年骨科与康复电子杂志*, 2015,1(2):23-28.

[18] 章丽莉. 三维和二维动态平衡训练对功能性踝关节不稳者姿势控制的影响 [D]. 上海: 上海体育学院, 2019.

[19] 唐佳. 两种平衡训练对功能性踝关节不稳患者稳定性影响的研究 [D]. 天津: 天津体育学院, 2022.

[20] WRIGHT CJ, LINENS SW, CAIN MS. A randomized controlled trial comparing rehabilitation efficacy in chronic ankle instability. *J Sport Rehabil.* 2017;26(4):238-249.

[21] LEE E, CHO J, LEE S. Short-foot exercise promotes quantitative somatosensory function in ankle instability: a randomized controlled trial. *Med Sci Monit.* 2019;25: 618-626.

[22] MCKEON PO, INGERSOLL CD, KERRIGAN DC, et al. Balance training improves function and postural control in those with chronic ankle instability. *Med Sci Sports Exerc.* 2008; 40(10):1810-1819.

[23] CAIN MS, GARCEAU SW, LINENS SW. Effects of a 4-week biomechanical ankle platform system protocol on balance in high school athletes with chronic ankle instability. *J Sport Rehabil.* 2017;26(1):1-7.

[24] SIERRA-GUZMÁN R, JIMÉNEZ-DÍAZ F, RAMÍREZ C, et al. Whole-body-vibration training and balance in recreational athletes with chronic ankle instability. *J Athl Train.* 2018;53(4): 355-363.

[25] CRUZ-DÍAZ D, LOMAS-VEGA R, OSUNA-PÉREZ MC, et al. Effects of 6 weeks of balance training on chronic ankle instability in athletes: a randomized controlled trial. *Int J Sports Med.* 2015;36(9):754-760.

[26] CLOAK R, NEVILL A, DAY S, et al. Six-week combined vibration and wobble board training on balance and stability in footballers with functional ankle instability. *Clin J Sport Med.* 2013;23(5):384-391.

[27] DEUSSEN S, ALFUTH M. The influence of sensorimotor training modalities on balance, strength, joint function, and plantar foot sensitivity in recreational athletes with a history of ankle sprain: a randomized controlled pilot study. *Int J Sports Phys Ther.* 2018;13(6):993-1007.

[28] HALL EA, CHOMISTEK AK, KINGMA JJ, et al. Balance- and strength-training protocols to improve chronic ankle instability deficits, part II: assessing patient-reported outcome measures. *J Athl Train.* 2018;53(6):578-583.

[29] CAIN MS, BAN RJ, CHEN YP, et al. Four-week ankle-rehabilitation programs in adolescent athletes with chronic ankle instability. *J Athl Train.* 2020;55(8):801-810.

[30] LINENS SW, ROSS SE, ARNOLD BL. Wobble board rehabilitation for improving balance in ankles with chronic instability. *Clin J Sport Med.* 2016;26(1):76-82.

[31] KIM KM, ESTUDILLO-MARTÍNEZ MD, CASTELLOTE-CABALLERO Y, et al. Short-term effects of balance training with stroboscopic vision for patients with chronic ankle instability: a single-blinded randomized controlled trial. *Int J Environ Res Public Health.* 2021;18(10):5364.

[32] 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 athl train.* 2019;54(12):1296-1303.

[33] 尹彦, 罗冬梅, 刘卉, 等. 功能性踝关节不稳的机制与自评量表的研究进展 [J]. *中国康复理论与实践*, 2018,24(6):671-677.

[34] LOUDON JK, SANTOS MJ, FRANKS L, et al. The effectiveness of active exercise as an intervention for functional ankle instability: a systematic review. *Sports Med.* 2008;38(7): 553-563.

[35] 尹金玲, 王松, 熊禄全, 等. 整合性神经肌肉训练对运动员运动表现影响的 Meta 分析 [J]. *武汉体育学院学报*, 2021,55(10):77-85.

[36] 魏智丰, 王子朴, 杜承润, 等. 平衡能力训练在下肢运动损伤预防及康复中的应用研究 [J]. *中国体育科技*, 2022,58(10):9-13.

[37] ERGEN E, ULKAR B. Proprioception and ankle injuries in soccer. *Clin Sports Med.* 2008; 27(1):195-217.

[38] DE VASCONCELOS GS, CINI A, SBRUZZI G, et al. Effects of proprioceptive training on the incidence of ankle sprain in athletes: systematic review and meta-analysis. *Clin Rehabil.* 2018;32(12):1581-1590.

[39] NAGANO Y, IDA H, AKAI M, et al. Effects of jump and balance training on knee kinematics and electromyography of female basketball athletes during a single limb drop landing: pre-post intervention study. *Sports Med Arthrosc Rehabil Ther Technol.* 2011;3(1):14.

[40] SHAMSEDDINI SOFLA F, HADADI M, REZAEI I, et al. The effect of the combination of whole body vibration and shoe with an unstable surface in chronic ankle instability treatment: a randomized clinical trial. *BMC Sports Sci Med Rehabil.* 2021;13(1):28.

[41] 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. *Acta Bioeng Biomech.* 2018;20(2):159-169.

[42] O'DRISCOLL J, DELAHUNT E. Neuromuscular training to enhance sensorimotor and functional deficits in subjects with chronic ankle instability: a systematic review and best evidence synthesis. *Sports Med Arthrosc Rehabil Ther Technol.* 2011;3:19.

[43] 刘展. 人体动作模式和运动链的理念在运动损伤防护和康复中的应用 [J]. *成都体育学院学报*, 2016,42(6):1-11.

(责任编辑: ZLJ, WJ, ZN, QY)