



## 整合性神经肌肉训练对慢性踝关节不稳 康复与预防的研究进展

### Research Progress of Integrative Neuromuscular Training for the Rehabilitation and Prevention of Chronic Ankle Instability

苏玉莹<sup>1,2</sup>, 彭亮<sup>2</sup>, 李卫<sup>1\*</sup>, 李克强<sup>3</sup>, 张颖<sup>2</sup>, 李骏<sup>2</sup>

SU Yuying<sup>1,2</sup>, PENG Liang<sup>2</sup>, LI Wei<sup>1\*</sup>, LI Keqiang<sup>3</sup>, ZHANG Ying<sup>2</sup>, LI Jun<sup>2</sup>

**摘要:** 在分析整合性神经肌肉训练(integrative neuromuscular training, INT)预防损伤的作用机制和影响慢性踝关节不稳(chronic ankle instability, CAI)康复的神经肌肉危险因素基础上,综合分析INT对CAI的功能康复效果。研究发现,影响CAI康复的神经肌肉危险因素主要包括肌肉激活延迟、肌肉力量失衡、姿势控制障碍和前馈控制减弱。神经肌肉控制能力和本体感觉重建及平衡肌肉力量、加强核心稳定性是INT预防下肢损伤的主要作用机制。INT可以改善CAI患者踝关节功能症状、踝关节位置觉、外翻力量和姿势控制能力,降低踝关节反复扭伤风险。通过分析影响CAI康复的神经肌肉危险因素并制定合理的INT计划,对CAI康复和预防有显著效果。

**关键词:** 整合性神经肌肉训练;慢性踝关节不稳;神经肌肉控制;运动康复

**Abstract:** Based on the analysis of the mechanism of integrative neuromuscular training (INT) in preventing injury and the neuromuscular risk factors affecting the rehabilitation of chronic ankle instability (CAI), this study comprehensively analyzes the functional rehabilitation effect of INT on CAI. It is found that neuromuscular risk factors affecting CAI rehabilitation mainly include muscle activation delay, muscle strength imbalance, posture control deficits, and feedforward control weakening. Neuromuscular control ability, proprioceptive reconstruction, balancing muscle strength, and strengthening core stability are the main mechanisms of INT in preventing lower limb injury. INT improves ankle function scores, ankle position perception, valgus strength, and posture control ability, and reduces the risk of repeated ankle sprain of CAI patients. By analyzing the neuromuscular risk factors affecting the rehabilitation of CAI and formulating a reasonable INT plan, it has a significant effect on the rehabilitation and prevention of CAI.

**Keywords:** integrative neuromuscular training; chronic ankle instability; neuromuscular control; sports rehabilitation

**中图分类号:**G808.1 **文献标识码:**A

崴脚作为一种常见的运动损伤,多发于篮球、足球和灵敏多变等运动项目中。有研究指出,全球每天约有71万人发生不同程度的脚踝扭伤(Soboroff et al., 1984)。荷兰医疗保障管理局统计显示,每年登记的12万例踝关节损伤人群中,后期需要接受手术治疗的占比约为36%(4.3万人),年均治疗费用达到近4千万美元(Hupperets et al., 2008)。轻微程度的脚踝扭伤通过简单的治疗便可以恢复,而急性崴脚后由于治疗不当或重视程度不足,有70%的患者后期会出现踝关节不稳定感和复发性崴脚(Yeung et al., 1994),有20%~40%的急性踝关节扭伤发展为慢性踝关节不稳(chronic ankle instability, CAI)(Valderrabano et al., 2006)。CAI是指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(施晓剑等,2019)。

#### 基金项目:

辽宁省教育厅基本科研项目  
(LJKQR20222558)

#### 第一作者简介:

苏玉莹(1993-),男,在读博士研究生,主要研究方向为体能训练理论与方法, E-mail: suyuyingvip@126.com。

#### \*通信作者简介:

李卫(1971-),男,博士,教授,博士研究生导师,主要研究方向为运动训练理论与实践, E-mail: liweiwin@sina.com。

#### 作者单位:

1. 北京体育大学, 北京 100084;
  2. 渤海大学, 辽宁锦州 121013;
  3. 格但斯克体育大学, 波兰格但斯克 80-336
1. Beijing Sport University, Beijing 100084, China;
  2. Bohai University, Jinzhou 121013, China;
  3. Gdansk University of Physical Education and Sport, Gdańsk 80-336, Poland.

CAI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,严重影响运动人群身体健康和生活质量水平(章丽莉等,2019)。动态平衡能力、本体感觉和腓骨反应时间及外翻力量缺失等可能是造成CAI症状的主要原因(Thompson et al., 2018)。因此,通过运动干预手段加强神经肌肉控制(张晓辉等,2014),提高肌肉力量和本体感觉可以有效预防踝关节损伤的发生。

整合性神经肌肉训练(integrative neuromuscular training, INT)是一种将一般的功能性训练动作和特定的力量、动态平衡、速度、灵敏性、快速伸缩复合训练和抗疲劳训练相结合的综合性训练方法,能够满足多元化运动能力,其目的在于提高运动表现状态和预防运动损伤(Fort-Vanmeerhaeghe et al., 2016)。有效的INT可以改善潜在的神经肌肉危险因素,提升CAI患者功能康复效果,降低运动损伤风险(彭勇,2020)。在国外,INT已经被广泛应用于运动损伤康复领域。目前,国内鲜见INT在CAI康复效果理论与实证应用的相关研究。因此,本研究在阐述INT的作用机制和神经肌肉危险因素的基础上,综合分析INT对CAI的功能康复效果和损伤预防的研究进展。

### 1 INT预防运动损伤的作用机制

INT可分为速度/灵敏性训练、力量训练、协调性训练、动态稳定性训练、快速伸缩复合训练和抗疲劳训练6个基础部分,通过基础部分练习提高身体运动水平,平衡肌肉力量及加强神经肌肉协调与控制能力,增强运动动力链,有效预防运动损伤(图1)。综合分析和总结前人研究发现,神经肌肉控制和本体感觉重建及平衡肌肉力量、加强核心稳定性可能是INT预防运动损伤的主要作用机制(彭勇,2020;Hopper et al., 2017)。

#### 1.1 神经肌肉控制能力和本体感觉重建

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。脚踝发生运动损伤时,踝关节肌肉肌腱和关节中的本体感受器受损,信息传入受到阻碍,原本完成动作的神经肌肉控制能力减弱,导致更容易发生反复扭伤和二次崴脚。因此,当踝关节扭伤时,恢复神经肌肉控制能力和重建本体感觉是有效康复的前提生理基础条件。INT中的动态稳定性训练和协调性练习可以提高稳定和 non-稳定状态下的姿势控制能力,强化神经肌肉控制能力,减少损伤风险(Hale et al., 2007; Tran et al., 2016);速度训练和快速伸缩复合训练可以加强肌肉力量和韧带-肌腱强度,韧带和肌腱的适应性改变对本体感觉恢复和重建具有至关重要的作用(何俊洁等,2022)。INT中6个基础部分的训练要点均各有侧重(表1),在提升运动表现能力的同时兼顾运动损伤的预防。INT相比于单一的训练模式,在加强神经肌肉控制和预防损伤方面效果更佳。

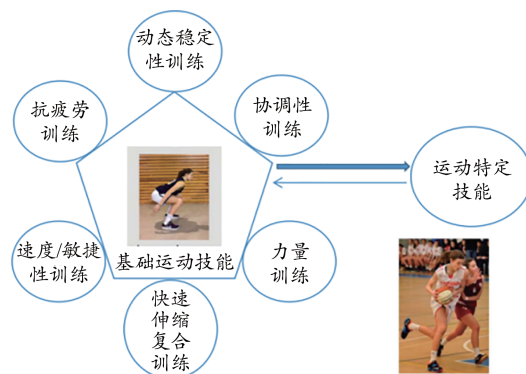


图1 INT组成部分(Fort-Vanmeerhaeghe et al., 2016)  
Figure 1. Components of INT (Fort-Vanmeerhaeghe et al., 2016)

表1 INT各组成部分的训练要点  
(何俊洁等,2022;Hewett et al., 2010)

Table 1 Training Points for Each Component of INT  
(何俊洁等,2022;Hewett et al., 2010)

INT组成部分	训练要点
动态稳定性训练	支撑地面稳定状态下的动态和静态练习 支撑地面非稳定状态下的动态和静态练习 核心稳定性训练(注重腹部、腰部和髋部肌群稳定性)
协调性训练	动作多变化任务练习 无预期的反应练习(强调前馈控制锻炼)
力量训练	发展基本动作技能所需要的力量练习 发展专项动作技能所需要的力量练习 功能性力量练习,注重小肌群的发展
快速伸缩复合训练	发展快速伸展-缩短周期,加强肌肉快速发力能力 发展离心肌肉训练,注重肌肉、肌腱更好适应能力 注重正确的动作机制(强调注重“失控感”和“踝外翻”)
速度/灵敏性训练	在最大速度下发展动作技能 发展多方向速度练习,增强加速和减速阶段控制身体能力 主要与协调性发展结合
抗疲劳训练	优化有氧、无氧代谢功能,促进抗疲劳能力

#### 1.2 平衡肌肉力量,加强核心稳定性

踝关节损伤康复与平衡下肢肌肉力量有较大的关联(翟海亭等,2022)。下肢肌群(如股四头肌、腓绳肌和臀部肌群)的发展有利于身体动力链力量的传输,加强身体的稳定性。下肢肌群肌肉力量较为薄弱时,膝、踝关节肌肉更容易发生肌肉代偿,增加损伤风险(Rodríguez et al., 2018)。因此,髋关节及其周围肌群强化对预防踝关节损伤尤为重要(Lee et al., 2014)。当人体在动态姿势平衡控制中,近端踝关节姿势控制需要远端臀部肌群启动来抵消身体的摆动,臀部的臀中肌和外旋肌发挥着重要的作用(Rios et al., 2015),加强髋关节周围肌群力量对维持平衡具有重要的作用。另外,INT中的快速伸缩复合

训练能够在肌肉拉长产生牵张反射的同时增加离心收缩力量(苏玉莹,2021),并且快速伸展-缩短周期有利于提高神经动员和募集肌肉能力,加强肌肉发力率(苏玉莹等,2022),在激活臀部和腘绳肌的同时增强股后肌群的协调能力。

## 2 影响CAI康复的神经肌肉危险因素

CAI康复与神经肌肉危险因素密切相关,因此了解影响CAI康复的神经肌肉危险因素对于制定INT训练计划方案具有重要的指导意义。研究发现,影响CAI康复的神经肌肉危险因素主要包含肌肉激活延迟、肌肉力量失衡、姿势控制障碍和前馈控制减弱(Cruz-Diaz et al., 2015; Thompson et al., 2018)。

踝关节损伤后,肌梭感受器敏感性降低,导致传入信息通路受损,引起肌肉激活延迟。有研究表明,功能性踝关节不稳和机械性踝关节不稳存在腓骨反应时间延长症状(Flevas et al., 2017)。腓骨反应时间延长与神经肌肉传导速度降低、本体感觉缺失和神经肌肉募集受损有关(尹彦等,2018),改善神经肌肉功能对于提高CAI康复效果和预防损伤有显著影响。

肌肉力量是维持身体动作姿势的基础。CAI患者多存在踝关节内外翻、肌力下降的情况(尹彦等,2018),长此以往会造成神经肌肉发展的不对称性。在运动中,肌肉力量不对称性容易导致肌肉发生过度代偿,增加运动损伤风险。

姿势控制障碍是CAI最具代表性的症状表现。临床上,肌肉力量、神经传导速度、本体感觉和关节活动程度是影响姿势控制的主要因素(Palmieri et al., 2002)。姿势控制可以分为静态和动态姿势控制,姿势控制障碍会增加踝关节损伤风险。因此,相关研究通常将姿势控制作为CAI康复和改善的重要参考指标。

前馈控制指人体运动中对突发情况的事先调整能力。当机体的前馈控制能力减弱后,运动中落地或脚踝外翻容易造成过度牵拉,从而引发运动损伤。因此,踝关节损伤康复需要通过运动任务加强前馈控制能力,提高对外界突发干扰的应变能力。

综上所述,诸多神经肌肉危险因素影响CAI的康复,应根据CAI患者的症状诊断有针对性地制定INT干预训练计划设计(表2)。如在星形偏移平衡测试(star excursion balance test, SEBT)中表现出较低的分值,则可能存在姿势控制障碍等潜在危险因素,需要在INT计划中重点练习稳态和非稳态下的平衡训练。

## 3 INT对CAI康复、预防效果的研究进展

### 3.1 INT降低踝关节反复扭伤风险

CAI患者在临床上经常表现出习惯性崴脚的反复扭

伤症状。研究认为,踝关节扭伤后韧带周围的感受器受损,本体感觉向中枢神经信息传递发生了阻滞(施晓剑等,2019),受损的韧带缺少足够的动态防御机制抵抗后足在运动中的过度旋后,增加反复扭伤风险(Lephart et al., 1998),这种本体感觉缺失引起神经肌肉控制能力下降可能是导致反复扭伤的重要原因之一(Sefton et al., 2009)。INT可以改善肌肉-韧带的结构,其中力量和平衡训练使肌肉、韧带等产生适应性改变,从而提升神经肌肉控制能力(Paterno et al., 2013)。Loudon等(2008)的元分析发现,包含平衡和神经肌肉控制训练等在内的运动方式可以有效预防踝关节反复扭伤。因此,制定INT计划应根据CAI患者需求合理安排锻炼方案。

表2 潜在神经肌肉危险因素与相应的INT训练策略  
(何俊洁等,2022;彭勇,2020;Hewett et al., 2010)

Table 2 Potential Neuromuscular Risk Factors and Corresponding INT Training Strategies (何俊洁等,2022;彭勇等,2020;Hewett et al., 2010)

潜在神经肌肉危险因素	INT训练策略
肌肉激活延迟和本体感觉改变	稳定和非稳定状态下动/静态稳定性训练 快速伸缩复合训练、功能性灵活训练 本体感觉训练、基本动作技能练习
肌肉力量失衡	核心稳定性训练、腹横肌激活练习 快速伸缩复合训练、力量/爆发力训练 单侧/对称性动作练习 主动肌/对抗肌力量平衡训练、 协同肌力量训练
姿势控制障碍	稳定和非稳定状态下动/静态稳定性训练 核心稳定性训练、腹横肌激活练习 快速伸缩复合训练
前馈控制减弱	无预期性任务训练(如多方向速度类训练) 注重训练任务的变化性 灵敏性训练、协调性训练

INT也被认为是预防踝关节损伤的有效锻炼方法。患有CAI的运动员经过INT后,在垂直跳跃落地任务中,踝关节足底屈曲角度从初始接触点处减小,使踝关节在落地时处于不易受伤的位置(O'Driscoll et al., 2011a),位置觉的改变可以有效避免损伤的发生。Labella等(2011)招募1658名高中运动员随机分为在训练前进行20min INT热身的实验组和进行常规动作热身的对照组,实验组踝关节非接触损伤率显著低于对照组。同样,Owoeye等(2018)研究发现,INT可以有效预防青少年脚踝扭伤的发生。

### 3.2 INT对踝关节位置觉异常的影响

踝关节从腾空到落地产生负载姿势的过程中,最初接触地面时,足底屈曲增加会导致位置觉异常定位,从而加大损伤风险(Wright et al., 2000)。O'Driscoll等(2011b)发现,运动员进行6周INT后,跳跃着陆初次接触地面时的踝关节屈曲角度减小,表明特定的INT训练可以将前



馈神经控制和执行起跳落地基本动作要求结合起来,降低位置觉异常。Kim 等(2017a)对 CAI 运动员进行 6 周的 INT 后发现,跳跃着陆时足跟着地位置和重心前移至踝上方,支撑中期外翻幅度减小。因此,通过 INT 可以改善 CAI 患者着陆过程中的位置觉异常。但研究中发现,INT 对位置觉的有利改善效果持续时间较短,因此为防止踝关节再次复发性扭伤需要进行持续的 INT 干预(Akhbari et al., 2007)。

### 3.3 INT 对踝关节外翻肌力失衡的影响

踝关节外翻肌肉力量可以为踝外侧韧带提供支撑,从而抵抗内翻机制,外翻肌力缺失与 CAI 存在较高的相关性(Fox et al., 2008),因此外翻肌力在防止踝关节扭伤中起到重要的作用。Kim 等(2017b)对患有 CAI 的运动员进行为期 6 周的 INT 和常规干预训练,发现 INT 组踝关节外旋肌力显著提高,常规干预组外翻肌力有部分增加。Lee 等(2012)研究发现,短期 INT 康复训练计划显著增加踝关节外翻和足底外翻的等速肌力。INT 中的快速伸缩复合训练注重发展快速伸展-缩短周期和离心力,加强肌肉快速发力能力和肌腱的适应能力,在一定程度上有助于 CAI 患者外翻力量的改善。

### 3.4 INT 对姿势控制障碍的影响

姿势控制能力可以通过姿势稳定性来进行评价,当踝关节功能受损时,不稳定状态下身体的姿势稳定能力减弱(Plisky et al., 2006)。身体感觉外界信息后通过中枢神经协调肌肉完成人体的姿势控制,通过中枢神经肌肉控制协调得以完成(尹彦等, 2016)。因此,姿势缺陷可能继发于神经肌肉控制和本体感觉受损的组合。SEBT 是检验动态姿势稳定性可靠、有效的评价指标(Gribble et al., 2013)。Zech 等(2009)的元分析发现,经过 4 周以上神经肌肉训练后,患侧踝关节的 SEBT 改善效果显著高于无干预患侧对照组,逐渐趋于健侧得分。同样, O' Driscoll 等(2011a)的元分析表明,中等效应量证据支持 CAI 患者通过神经肌肉训练改善动态姿势稳定性。INT 训练后不同方向的 SEBT 伸展距离均得到提升(Hale et al., 2007)。

INT 能够使练习者在加速和减速状态下更好地控制动态姿态,保持身体稳定。究其原因,这可能与离心制动能力有关,在最短时间内进行最大力量输出需要身体控制更大的离心力制动。快速伸缩复合训练能够有效发展下肢股后肌群的离心力,股后肌群离心力量的强化有助于提高触地时髌伸肌扭矩,从而控制躯干的屈曲,并控制维持膝关节稳定性(Jones et al., 2017)。另外,动态稳定性部分中的核心稳定性训练可以为下肢运动提供支点。核心区在人体运动过程中承担肌肉力量衔接、传递和释放的作用。有研究发现,核心区肌群在运动过程中的激活时间领先于其他四肢肌肉(Hodges et al., 1997)。核心区肌群首先动员发力,使身体处于动态稳定状态后,再为四肢提供支点。

### 3.5 INT 对 CAI 功能症状康复效果的影响

在临床上,踝关节功能评分量表是专门为 CAI 患者设计的评价踝关节功能症状的量表,通过对患者疼痛、肿胀、失控等症状,以及涉及足、踝体育活动表现的相关跑跳等运动功能状态进行主观评价和描述,判断 CAI 康复效果(施晓剑等, 2019; 尹彦等, 2018)。Hale 等(2007)对 CAI 患者进行为期 4 周的 INT,干预后 INT 组的足踝残疾指数(foot and ankle disability index, FADI)和运动量表得分显著高于对照组。INT 降低了踝关节再次损伤风险,改善 CAI 患者的功能症状(Lee et al., 2012)。虽然 INT 可有效改善 CAI 的相关症状,但相较于其他运动干预形式效果是否具有优势尚不清楚。髋关节力量训练(骆丽等, 2017)、全身振动训练(Shamseddini Sofla et al., 2021)和其他组合形式训练(朱晓田, 2019)等也是近年来学者重点关注的对 CAI 康复具有较好效果的运动干预手段。因此,未来研究还需要进一步探讨 INT 与其他训练之间是否具有潜在的优势,为改善 CAI 患者功能症状提供可靠的运动方案。

### 3.6 INT 在 CAI 康复实践应用中的注意事项

INT 的目的是全面发展基本运动技能和特定运动技能所需要的综合素质。在制定训练计划时需要遵循全面、多样和循序渐进的原则。INT 实践中的注意事项包括:1)应综合分析导致运动损伤潜在的神经肌肉危险因素(表 2),根据不同的症状和神经肌肉危险因素合理安排训练内容。针对 CAI 患者时常出现的“失控”和“无力感”,可以安排一些协调性和灵敏性训练,以增强下肢前馈控制能力(Myer et al., 2006)。2)正确指导和监督特定训练项目的练习。INT 康复计划中的快速伸缩复合训练具有高冲击性,容易造成运动损伤,因此应针对缺乏运动经验的普通练习者进行正确的动作结构指导。3)科学、合理安排训练量。INT 是整合 6 个组成部分的高强度练习,因此需要根据参与者身体条件安排训练内容,合理穿插不同的练习方式,一般每周干预 2~3 次,每次干预 60 min,4 周以上会产生适应性效益(赵汝童等, 2021)。应考虑不同年龄、性别、神经肌肉危险因素和训练需求等因素,选择 6 个基本组成部分的训练形成最佳组合方式、调整训练顺序安排和控制负荷强度和时

## 4 小结与展望

INT 包含了力量、速度/灵敏、协调性、快速伸缩复合练习和动态稳定性 6 部分训练内容,规避了常规运动干预练习形式单一等不足,更符合发展不同的身体能力。INT 预防运动损伤的作用机制包括加强神经肌肉控制和本体感觉重建,促进平衡肌肉力量,加强核心稳定。造成 CAI 临床症状的主要原因如动态平衡能力、本体感觉和腓骨反应时间及外翻力量缺失均可通过 INT 得到改善。通过

正确分析造成CAI的相关神经肌肉危险因素并制定合理的INT计划,对CAI损伤康复和预防有显著效果。未来研究还需考虑INT各组合部分的潜在贡献以及运动频率、持续时间和强度的变化可能会对临床结果产生的影响,侧重于进一步确定CAI运动康复方案的最佳锻炼剂量,重点关注INT训练方案设计。

#### 参考文献:

- 何俊洁,陈道裕,李萍,2022.青少年损伤预防训练的新思路:整合性神经肌肉训练[J].浙江体育科学,44(3):98-106,112.
- 骆丽,孙武东,赵祥虎,等,2017.强化髌周肌群力量训练对功能性踝关节不稳的效果[J].中国康复理论与实践,23(10):1195-1199.
- 彭勇,2020.整合性神经肌肉训练改善人体运动表现和预防下肢损伤的作用与机制[J].南京体育学院学报,19(8):55-68.
- 施晓剑,韩甲,刘宇,等,2019.慢性踝关节不稳的病例机制和评估诊断研究进展[J].中国运动医学杂志,38(9):816-824.
- 苏玉莹,2021.飞轮等惯性训练对改善肌肉萎缩、预防运动损伤和康复治疗的研究进展[J].中国体育科技,57(4):50-55.
- 苏玉莹,尹洪满,2022.飞轮离心超负荷训练应用研究进展[J].中国体育科技,58(7):17-26.
- 尹彦,罗冬梅,刘卉,等,2018.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,24(6):671-677.
- 尹彦,罗冬梅,刘卉,等,2016.功能性踝关节不稳者姿势稳定性的研究进展[J].体育科学,36(4):61-67.
- 翟海亭,李成,夏吉祥,等,2022.整合性神经肌肉训练预防下肢运动损伤的元分析[J].中国组织工程研究,26(15):2454-2460.
- 章丽莉,杨玉珊,郑洁皎,2019.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,25(8):908-912.
- 张晓辉,刘书芳,廖八根,2014.不同训练方法对运动员功能性踝关节不稳康复的影响[J].中国运动医学杂志,33(6):514-518.
- 赵汝童,李笋男,赵梦楠,2021.整合性神经肌肉训练对儿童青少年运动能力及损伤预防干预效果综述[J].湖北体育科技,40(2):144-152.
- 朱晓田,2019.太极拳结合康复训练对功能性踝关节不稳的干预效果研究[D].西安:西安体育学院.
- AKHBARI B, TAKAMJANI I E, SALAVATI M, et al., 2007. A 4-week biodex stability exercise program improved ankle musculature onset, peak latency and balance measures in functionally unstable ankle[J]. Phys Ther Sport, 8(3): 117-129.
- CRUZ-DIAZ D, LOMAS-VEGA R, OSUNA-PÉREZ M C, et al., 2015. Effects of 6 weeks of balance training on chronic ankle instability in athletes: A randomized controlled trial [J]. Int J Sports Med, 36(9): 754-760.
- FLEVAS D A, BERNARD M, RISTANIS S, et al., 2017. Peroneal electromechanical delay and fatigue in patients with chronic ankle instability[J]. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 25(6): 1903-1907.
- FORT-VANMEERHAEGHE A, ROMERO-RODRIGUEZ D, LLOYD R S, et al., 2016. Integrative neuromuscular training in youth athletes. Part II: Strategies to prevent injuries and improve performance[J]. Strength Cond J, 38(4): 9-27.
- FOX J, DOCHERTY C L, SCHRADER J, et al., 2008. Eccentric plantar-flexor torque deficits in participants with functional ankle instability[J]. J Athl Train, 43(1): 51-54.
- GRIBBLE P A, KELLY S E, REFSHAUGE K M, et al., 2013. Interrater reliability of the star excursion balance test[J]. J Athl Train, 48(5): 621-626.
- HALE S A, HERTEL J, OLMSTED-KRAMER L C, 2007. The effect of a 4-week comprehensive rehabilitation program on postural control and lower extremity function in individuals with chronic ankle instability[J]. J Orthop Sports Phys Ther, 37(6): 303-311.
- HEWETT T E, FORD K R, HOOGENBOOM B J, et al., 2010. Understanding and prevention ACL injuries: Current biomechanical and epidemiologic considerations: Update 2010[J]. N Am J Sports Phys Ther, 5(4): 234-251.
- HODGES P W, RICHARDSON C A, 1997. Contraction of the abdominal muscles associated with movement of the lower limb[J]. Phys Ther, 77(2): 132-142.
- HOPPER A J, HAFF E E, JOYCE C, et al., 2017. Neuromuscular training improves lower extremity biomechanics associated with knee injury during landing in 11-13 year old female netball athletes: A randomized control study[J]. Front Physiol, doi: 10.3389/fphys.2017.00883.
- HUPPERETS M D W, VERHAGEN E A L M, VAN MECHELEN W, 2008. The 2Bfit study: Is unsupervised balance board training programme given in addition to usual care, effective in preventing ankle sprain recurrences? Design of a randomized controlled trial[J]. BMC Musculoskelet Disord, doi: 10.1186/1471-2474-9-71.
- JONES P A, THOMAS C, DOS'ISANTOS T, et al., 2017. The role of eccentric strength in 180° turns in female soccer players [J]. Sports (Basel), doi: 10.3390/sports5020042.
- KIM E, CHOI H, CHA J H, et al., 2017a. Effects of neuromuscular training on the rear-foot-angle kinematics in elite women field hockey players with chronic ankle instability [J]. J Sports Sci Med, 16(1): 137-146.
- KIM T, KIM E, CHOI H, 2017b. Effects of a 6-week neuromuscular rehabilitation program on ankle-evertor strength and postural stability in elite women field hockey players with chronic ankle instability[J]. J Sport Rehabil, 26(4): 269-280.
- LABELLA C R, HUXFORD M R, GRISSOM J, et al., 2011. Effect of neuromuscular warm-up on injuries in female soccer and basketball athletes in urban public high schools: Cluster randomized controlled trial[J]. Arch Pediatr Adolesc Med, 165(11): 1033-1040.
- LEE K Y, LEE H J, KIM S E, et al., 2012. Short term rehabilitation and ankle instability[J]. Int J Sports Med, 33(6): 485-496.
- LEE S P, POWERS C M, 2014. Individuals with diminished hip abductor muscle strength exhibit altered ankle biomechanics and neuromuscular activation during unipedal balance tasks[J]. Gait Posture, 39(3): 933-938.
- LEPHART S M, PINCIVERO D M, ROZZI S L, 1998. Proprioception of the ankle and knee[J]. Sports Med, 25(3): 149-155.
- LOUDON J K, SANTOS M J, FRANKS L, et al., 2008. The effectiveness of active exercise as an intervention for functional ankle instability: A systematic review[J]. Sports Med, 38(7): 553-563.
- MYER G D, FORD K R, MCLEAN S G, et al., 2006. The effects of plyometric versus dynamic stabilization and balance training on lower extremity biomechanics[J]. Am J Sports Med, 34(3): 445-455.

- O' DRISCOLL J, DELAHUNT E, 2011a. Neuromuscular training to enhance sensorimotor and functional deficits in subjects with chronic ankle instability: A systematic review and best evidence synthesis[J]. Sports Med Arthrosc Rehabil Ther Technol, doi: 10.1186/1758-2555-3-19.
- O' DRISCOLL J, KERIN F, DELAHUNT E, 2011b. Effect of a 6-week dynamic neuromuscular training programme on ankle joint function: A case report[J]. Sports Med Arthrosc Rehabil Ther Technol, doi: 10.1186/1758-2555-3-13.
- OWOYEYI O B A, PALACIOS-DERFLING L M, EMERY C A, 2018. Prevention of ankle sprain injuries in youth soccer and basketball: Effectiveness of a neuromuscular training program and examining risk factors[J]. Clin J Sport Med, 28(4):325-331.
- PALMIERI R M, INGERSOLL C D, STONE M B, et al., 2002. Center-of-pressure parameters used in the assessment of postural control[J]. J Sport Rehabil, 11(1): 51-66.
- PATERNO M V, TAYLOR-HAAS J A, MYER G D, et al., 2013. Prevention of overuse sports injuries in the young athlete[J]. Orthop Clin N Am, 44(4): 553-564.
- PLISKY P J, RAUH M J, KAMINSKI T W, et al., 2006. Star Excursion Balance Test as a predictor of lower extremity injury in high school basketball players[J]. J Orthop Sports Phys Ther, 36(12): 911-919.
- RIOS J L, GORGES A L, DOS SANTOS M J, 2015. Individuals with chronic ankle instability compensate for their ankle deficits using proximal musculature to maintain reduced postural sway while kicking a ball[J]. Hum Mov Sci, 43: 33-44.
- RODRÍGUEZ C, ECHEGOYEN S, AOYAMA T, 2018. The effects of "Prevent Injury and Enhance Performance Program" in a female soccer team[J]. J Sports Med Phys Fitness, 58(5): 659-663.
- SEFTON J M, HICKS-LITTLE C A, HUBBARD T J, et al., 2009. Sensorimotor function as a predictor of chronic ankle instability[J]. Clin Biomech, 24(5): 451-458.
- SHAMSEDDINI SOFLA F, HADADI M, REZAEI I, et al., 2021. The effect of the combination of whole body vibration and shoe with an unstable surface in chronic ankle instability treatment: A randomized clinical trial[J]. BMC Sports Sci Med Rehabil, doi: 10.1186/s13102-021-00256-6.
- SOBOROFF S H, PAPIUS E M, KOMAROFF A L, 1984. Benefits, risks, and costs of alternative approaches to the evaluation and treatment of severe ankle sprain[J]. Clin Orthop Relat Res, 183: 160-168.
- THOMPSON C, SCHABRUN S, ROMERO R, et al., 2018. Factors contributing to chronic ankle instability: A systematic review and Meta-analysis of systematic reviews [J]. Sports Med, 48 (1) : 189-205.
- TRAN S T, THOMAS S, DICESARE C, et al., 2016. A pilot study of biomechanical assessment before and after an integrative training program for adolescents with juvenile fibromyalgia [J]. Pediatr Rheumatol Online J, doi: 10.1186/s12969-016-0103-7.
- VALDERRABANO V, LEUMANN A, PAGENSTERT G, et al., 2006. Chronic ankle instability in sports: A review for sports physicians[J]. Sportverletz Sportschaden, 20(4): 177-183.
- WRIGHT I C, NEPTUNE R R, VAN DEN BOGERT A J, et al., 2000. The influence of foot positioning on ankle sprains[J]. J Biomech, 33(5): 513-519.
- YEUNG M S, CHAN K M, SO C H, et al., 1994. An epidemiological survey on ankle sprain[J]. Br J Sports Med, 28(2): 112-116.
- ZECH A, HÜBSCHER M, VOGT L, et al., 2009. Neuromuscular training for rehabilitation of sports injuries: A systematic review[J]. Med Sci Sports Exerc, 41(10): 1831-1841.

(收稿日期:2022-08-02; 修订日期:2023-03-20; 编辑:尹航)

(上转第 38 页)

- MORRISON M, MARTIN D T, TALPEY S, et al., 2022. A systematic review on fitness testing in adult male basketball players: Tests adopted, characteristics reported and recommendations for practice[J]. Sports Med, 52(7): 1491-1532.
- PHILIPP N M, CRAWFORD D A, FRY A C, 2022. A total score of athleticism to estimate the amount of variance explained in on-field performance within collegiate American football players[J]. Int J Strength Cond, 2: 1-9.
- TURNER A N, 2014. Total score of athleticism: A strategy for assessing an athlete's athleticism[J]. Pro Strength Cond, 33: 13-17.
- TURNER A N, JONES B, STEWART P, et al., 2019. Total score of athleticism: Holistic athlete profiling to enhance decision-making[J]. Strength Cond J, 41(6): 91-101.
- TERAMOTO M, CROSS C L, RIEGER R H, et al., 2018. Predictive validity of National Basketball Association draft combine on future performance[J]. J Strength Cond Res, 32(2): 396-408.
- SCANLAN A T, TUCKER P S, DALBO V J, 2014. A comparison of linear speed, closed-skill agility, and open-skill agility qualities between backcourt and frontcourt adult semiprofessional male basketball players[J]. J Strength Cond Res, 28(5): 1319-1327.
- STOJANOVIĆ E, AKSOVIĆ N, STOJILJKOVIĆ N, et al., 2019. Reliability, usefulness, and factorial validity of change-of-direction speed tests in adolescent basketball players[J]. J Strength Cond Res, 33(11): 3162-3173.
- STOJANOVIĆ E, STOJILJKOVIĆ N, SCANLAN A T, et al., 2018. The activity demands and physiological responses encountered during basketball match-play: A systematic review[J]. Sports Med, 48 (1): 111-135.
- ZIV G, LIDOR R, 2009. Physical attributes, physiological characteristics, on-court performances and nutritional strategies of female and male basketball players[J]. Sports Med, 39(7): 547-568.

(收稿日期:2022-11-05; 修订日期:2023-02-20; 编辑:尹航)