

TENS联合柔性抗阻训练对慢性踝关节不稳患者姿势控制和本体感觉的影响

周鑫莹, 陈思柔, 严小芬, 张景皓, 邓树城, 郑豪, 葛星语, 于常晓

杭州医学院康复学院, 浙江 杭州

收稿日期: 2026年2月25日; 录用日期: 2026年3月19日; 发布日期: 2026年4月3日

摘要

慢性踝关节不稳(Chronic ankle instability, CAI)是一种进行性加重的功能障碍, 在竞技体育、军事训练以及日常生活中较为多见, 不仅严重影响患者日常生活能力, 还可能诱发骨关节炎等不可逆性损伤。其特征为踝关节反复扭伤、运动控制能力下降以及本体感觉功能受损。传统康复手段多聚焦于肌力训练或机械性稳定, 而忽视神经调控与生物力学适配的协同作用。本研究突破传统的临床康复手段, 探究创新性整合个体化经皮神经电刺激(Transcutaneous electrical nerve stimulation, TENS)联合人性化柔性抗阻训练, 系统探究其对CAI患者运动功能的影响及神经肌肉调控机制。本项目旨在基于现有研究, 系统梳理CAI的病理学特征及其对姿势控制和本体感觉的损害, 并围绕TENS联合柔性抗阻训练治疗CAI展开探讨, 重点分析该训练改善CAI患者姿势稳定性和本体感觉功能的内在机制与实效。文章最后总结当前研究的局限性, 为CAI的康复实践与临床干预提供理论支持和实证参考。

关键词

慢性踝关节不稳, 柔性抗阻训练, 经皮神经电刺激, 联合治疗, 个性化

Effects of TENS Combined with Variable Resistance Training on Postural Control and Proprioception in Patients with Chronic Ankle Instability

Xinying Zhou, Sirou Chen, Xiaofen Yan, Jinghao Zhang, Shucheng Deng, Hao Zheng, Xingyu Ge, Changxiao Yu

School of Rehabilitation, Hangzhou Medical College, Hangzhou Zhejiang

Received: February 25, 2026; accepted: March 19, 2026; published: April 3, 2026

文章引用: 周鑫莹, 陈思柔, 严小芬, 张景皓, 邓树城, 郑豪, 葛星语, 于常晓. TENS 联合柔性抗阻训练对慢性踝关节不稳患者姿势控制和本体感觉的影响[J]. 临床个性化医学, 2026, 5(2): 161-165. DOI: 10.12677/jcpm.2026.52114

Abstract

Chronic ankle instability (CAI) is a progressive functional impairment frequently observed in competitive sports, military training, and daily life. It not only significantly compromises patients' daily living abilities but may also predispose individuals to irreversible damage such as osteoarthritis. Its hallmark features include recurrent ankle sprains, diminished motor control, and impaired proprioceptive function. Traditional rehabilitation approaches have predominantly focused on muscular strength training or mechanical stabilization, often overlooking the synergistic role of neuromodulation and biomechanical adaptation. Moving beyond conventional clinical rehabilitation paradigms, this study investigates the innovative integration of personalized Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation (TENS) with individualized Variable Resistance Training. It aims to systematically examine the effects of this combined intervention on the motor function of CAI patients and the underlying neuromuscular regulatory mechanisms. This project is designed to synthesize existing research to systematically outline the pathological characteristics of CAI and its detrimental effects on postural control and proprioception. It will focus on exploring the combined application of TENS and Variable Resistance Training for CAI management, with a particular emphasis on analyzing the intrinsic mechanisms and practical efficacy through which this regimen improves postural stability and proprioceptive function in CAI patients. The article will conclude by summarizing the limitations of current research, thereby providing theoretical support and empirical references for rehabilitation practice and clinical intervention in CAI.

Keywords

Chronic Ankle Instability, Variable Resistance Training, Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation, Combination Therapy, Individualized

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

1.1. 研究现状

1.1.1. 慢性踝关节不稳流行病学及定义

踝关节扭伤是体育运动中最常见的下肢运动损伤类型之一。据 Fong 等人[1]系统综述的数据显示,踝关节扭伤在 70 种不同运动损伤模式中占比高达 76.7%。此外,Herzog 等人[2]的研究表明,踝关节扭伤不仅在普通人群中发生率较高,在运动活跃人群以及从事剧烈体力活动者中也呈现出显著的复发特性。

踝关节扭伤是在走、跑、跳等过程中后足过度内翻和内旋容易引起稳定踝关节的外侧相关韧带拉伤,其中距腓前韧带最容易被拉伤,其次是跟腓韧带[2][4]。一项流行病学调查报告指出,在遭遇踝关节扭伤的患者中又有超过 70%的人 would 存在持续的功能障碍并发展为 CAI [2]。

CAI 被定义为“外侧踝关节不稳导致的反复性踝关节扭伤的一种临床综合症”[3],其存在长期的功能障碍和日常生活活动受限。然而有高达约 50%的 CAI 患者未选择就医及系统治疗,这将存在大量潜在的 CAI 患者未纳入到实际的流行病学调查中,因此 CAI 的实际发病率可能更高[2]。由于 CAI 的高发病率和复发性,对社会经济和医疗体系造成了巨大负担[4]。

1.1.2. CAI 对运动能力的影响

CAI 会损害本体感觉和足底触压觉等躯体感觉信息处理, 踝关节作为运动末端环节, 其稳定性和灵活性对姿势调节至关重要[5], 而本体感觉又是维持姿势稳定的关键因素[6], 因此会导致运动能力减退。量化分析显示, CAI 患者在动态任务中的摆动速度增加 20%~30%, 功能性伸距缩短 15%~20%, 且稳定时间延长 30%~50%, 尤其在前后和中外侧方向[7]。而研究显示, CAI 患者的踝关节内翻和跖屈运动感觉、被动及主动 JPS (Joint position sense, JPS)均显著受损[7]。此外, Hou 等[8]发现 CAI 患者在跳跃着陆时负荷率更高且姿势稳定时间延长, 表明其减震能力和动态姿势控制能力下降。这些证据共同说明, CAI 通过损害本体感觉和足底触压觉等躯体感觉信息处理, 最终导致运动能力减退。

且研究已证实 CAI 患者会出现与机械性松弛相悖的足踝关节复合体运动受限甚至僵硬, 表现为胫骨固定距骨向前后方向滑动受限、距小腿关节背屈活动度受限[9] [10]。此外, CAI 在走、跑、着地、侧切等运动过程中运动模式也发生改变, 体现在下肢运动学、动力学以及足底压力的改变等[11], 例如 Schmidt 等[12]在研究跑步时的步态中发现, CAI 组的足外侧负荷明显增加, 足中段和外侧有较大的压力和冲量, 这也是增加姿势不稳和再扭伤的风险之一。同时, 由于 CAI 长期、反复的踝扭伤, 肌梭长期激活异常使得感觉、肌肉组织出现适应性变化, 可能导致双侧感觉运动功能减弱[11]。

1.1.3. 神经电刺激技术与柔性抗阻训练对 CAI 患者神经肌肉恢复的影响

CAI 是反复踝关节扭伤后常见的后遗症, 传统临床手段(如柔性抗阻训练、药物治疗、解剖重建术、肌腱固定术等)虽有一定效果, 但仍存在诸多不足。近年来, 随着现代康复医学、生物力学和再生医学的发展, 创新的临床康复方案不断涌现。如神经肌肉训练、功能性电刺激等, 这些创新的治疗手段可降低运动再损伤的风险, 提高训练精确度, 加速神经肌肉的控制恢复, 缩短治疗时程。

治疗 CAI 的常用方法是对踝关节周围肌群进行柔性抗阻训练, 如弹力带抗阻训练。Kim 及其团队[13]对 26 名 CAI 患者进行了康复训练, 重点是训练踝关节周围肌肉的力量, 结果表明, 经过 12 周的康复训练后, CAI 患者踝关节背屈肌和跖屈肌的力量得到改善, 内翻肌和外展肌的力量也有明显提升。Hall 等人[14]对 13 名 CAI 患者的踝关节进行了柔性抗阻训练, 结果显示, 经过训练后, 患者的踝关节内收、外展肌力增强, CAI 患者的踝关节不稳定性评分明显下降。这表明, 抗阻训练可增加踝关节外周肌群的肌肉力量, 改善踝关节的稳定性, 降低踝关节不稳定性感知[15]。

而 TENS 作为 CAI 的辅助治疗手段, 在临床应用中展现出三大核心作用: 镇痛、改善神经肌肉控制和促进组织修复。其镇痛的作用机制是: TENS 激活中枢神经系统中的内源性抑制途径, 释放抑制性神经递质血清素、阿片类药物和 GABA (Gamma-Aminobutyric Acid, GABA)以减少中枢神经元的致敏[16], 当内源性抑制性神经递质被释放时, 效果最大。

且实验已证实, TENS 能安全有效地刺激神经, 激发肌肉收缩, 适用于临床。其修复肌肉组织的作用机制是: 电场影响神经再生微环境, 促进了雪旺氏细胞的爬行、生长发育及活性因子的分泌, 并对轴突中的结构蛋白有趋向作用, 从而加速肌肉组织的修复和生长[17] [18]。此外, 不论是直流电流或脉冲电流, 均能有效促进周围神经生长[17] [19]。而 Pachter 等[20]人的实验也证明, 鉴于 TENS 的特点, 在失神经肌肉的早期治疗中采用脉冲电流, 更利于防止肌肉萎缩。

虽然目前临床上主要将 TENS 用于急性期镇痛及康复训练前的神经肌肉激活, 其长期疗效仍需结合综合康复方案。但 TENS 因其无创、安全的优点, 正逐步成为 CAI 多模式治疗中的重要组成部分。

本项目在传统的康复策略基础上, 创新性地提出 TENS 联合柔性抗阻训练方法, 有望为 CAI 患者康复提供高循证等级的治疗方案, 提高治疗效果、缩短康复时长。

1.1.4. 国内外研究现状

目前 CAI 的康复方法大多是在其损伤机制基础上进行相关训练, 但在当前研究中, CAI 的模型分类

仍然不够清晰,机械性不稳与功能性不稳并非两种可以独立分开的病理机制[21]。因此虽然目前的康复方法大多在其损伤机制基础上进行相关训练,但由于对 CAI 的发病机制尚不明确,大多数机制类研究主要集中在关节周围的韧带完整性、本体感觉的缺失、神经肌肉控制以及姿势控制受损等诸多因素[22]。因此对慢性踝关节不稳的运动康复方法主要集中于防护再损伤和解决现有的功能障碍[23]。

此外,虽然在大多数国家或地区,TENS 设备和配件无需处方即可获得,对于多种临床疾病均有良好的临床疗效,值得临床进一步研究和推广。然而,目前也有不少研究报道对 TENS 镇痛效果存疑。例如, Lee 等[24]探究 TENS 在 Colles 骨折术后镇痛效果单盲试验时发现,与安慰剂组比较,治疗组患者 VAS 疼痛评分差异无统计学意义。Palmer 等[25]将 224 例膝关节疼痛患者分为 TENS 组、安慰剂-TENS 组和常规康复组,结果发现三组患者量表评分均有所提高,三组差异并无统计学意义,因此 TENS 治疗或许并不能作为一个有效的补充手段。

但 TENS 疗效与以下诸多因素有关:① 参数的设置,如不同的刺激部位、强度、频率等会产生不同的疗效;② 不同的受试人群、不同的疾病或阶段都有其独特的临床特点;③ 评估方法的选择,评估手段是否合理、评估时间是否恰当直接影响临床工作人员对其疗效的判断;④ 试验设计的严谨性,如是否遵循随机对照原则、是否严格筛选受试者、是否采用盲法等。因此,未来的研究需要进一步规范 TENS 的使用,相信 TENS 治疗技术作为一种经典且颇具潜力的康复治疗方法,在未来定能帮助更多患者[26]。

2. 结论

CAI 是一种进行性加重的功能障碍,不仅严重影响患者日常生活能力,还可能诱发骨关节炎等不可逆性损伤。传统康复手段多聚焦于肌力训练或机械性稳定,大多在其损伤机制基础上进行相关训练,而忽视神经调控与生物力学适配的协同作用。本研究突破传统的临床康复手段,探究创新性整合个体化 TENS 联合人性化柔性抗阻训练,系统探究其对 CAI 患者运动功能的影响及神经肌肉调控机制。研究成果不仅可为 CAI 患者康复提供高循证等级的治疗方案,更将推动“神经-肌肉-生物力学”三位一体的精准康复理论体系构建,具有显著的临床转化价值与学科引领意义。

参考文献

- [1] Fong, D.T., Hong, Y., Chan, L., Yung, P.S. and Chan, K. (2007) A Systematic Review on Ankle Injury and Ankle Sprain in Sports. *Sports Medicine*, **37**, 73-94. <https://doi.org/10.2165/00007256-200737010-00006>
- [2] Herzog, M.M., Kerr, Z.Y., Marshall, S.W. and Wikstrom, E.A. (2019) Epidemiology of Ankle Sprains and Chronic Ankle Instability. *Journal of Athletic Training*, **54**, 603-610. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-447-17>
- [3] Hertel, J. (2002) Functional Anatomy, Pathomechanics, and Pathophysiology of Lateral Ankle Instability. *Journal of Athletic Training*, **37**, 364-375.
- [4] Gribble, P.A., Bleakley, C.M., Caulfield, B.M., Docherty, C.L., Fourchet, F., Fong, D.T., et al. (2016) Evidence Review for the 2016 International Ankle Consortium Consensus Statement on the Prevalence, Impact and Long-Term Consequences of Lateral Ankle Sprains. *British Journal of Sports Medicine*, **50**, 1496-1505. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2016-096189>
- [5] 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.
- [6] 刘俊华, 杨凌, 杨冬. 本体感觉与运动控制研究进展[J]. 生理科学进展, 2021, 52(4): 259-264.
- [7] Xue, X., Ma, T., Li, Q., Song, Y. and Hua, Y. (2021) Chronic Ankle Instability Is Associated with Proprioception Deficits: A Systematic Review and Meta-analysis. *Journal of Sport and Health Science*, **10**, 182-191. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2020.09.014>
- [8] Hou, Z., Fong, D.T.P. and Winter, S.L. (2024) Decreased Proprioception Is Associated with Inferior Postural Control during Unplanned Landing in Individuals with Chronic Ankle Instability. *Journal of Sports Sciences*, **42**, 1932-1938. <https://doi.org/10.1080/02640414.2024.2419217>
- [9] Fraser, J.J., Feger, M.A. and Hertel, J. (2016) Midfoot and Forefoot Involvement in Lateral Ankle Sprains and Chronic

- Ankle In-Stability. Part 1: Anatomy and Biomechanics. *International Journal of Sports Physical Therapy*, **11**, 992-1005.
- [10] van der Wees, P.J., Lenssen, A.F., Hendriks, E.J.M., Stomp, D.J., Dekker, J. and de Bie, R.A. (2006) Effectiveness of Exercise Therapy and Manual Mobilisation in Acute Ankle Sprain and Functional Instability: A Systematic Review. *Australian Journal of Physiotherapy*, **52**, 27-37. [https://doi.org/10.1016/s0004-9514\(06\)70059-9](https://doi.org/10.1016/s0004-9514(06)70059-9)
- [11] Hertel, J. and Corbett, R.O. (2019) An Updated Model of Chronic Ankle Instability. *Journal of Athletic Training*, **54**, 572-588. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-344-18>
- [12] Schmidt, H., Drewes, L. and Lee, S. (2009) Increased Plantar Pressures on the Lateral Aspect of the Foot with Chronic Ankle Instability. *Journal of Athletic Training*, **44**, 13-14.
- [13] Kim, K. and Jeon, K. (2016) Development of an Efficient Rehabilitation Exercise Program for Functional Recovery in Chronic Ankle Instability. *Journal of Physical Therapy Science*, **28**, 1443-1447. <https://doi.org/10.1589/jpts.28.1443>
- [14] Hall, E.A., Docherty, C.L., Simon, J., Kingma, J.J. and Klossner, J.C. (2015) Strength-Training Protocols to Improve Deficits in Participants with Chronic Ankle Instability: A Randomized Controlled Trial. *Journal of Athletic Training*, **50**, 36-44. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-49.3.71>
- [15] 于歌, 王璐, 陈亚平. 平衡训练对慢性踝关节不稳患者静态平衡稳定性影响的 Meta 分析[J]. 足踝外科电子杂志, 2019, 6(4): 8-11, 17.
- [16] Vance, C.G., Dailey, D.L., Rakel, B.A. and Sluka, K.A. (2014) Using Tens for Pain Control: The State of the Evidence. *Pain Management*, **4**, 197-209. <https://doi.org/10.2217/pmt.14.13>
- [17] Pomeranz, B., Mullen, M. and Markus, H. (1984) Effect of Applied Electrical Fields on Sprouting of Intact Saphenous Nerve in Adult Rat. *Brain Research*, **303**, 331-336. [https://doi.org/10.1016/0006-8993\(84\)91219-8](https://doi.org/10.1016/0006-8993(84)91219-8)
- [18] Zanakis, M.F. (1990) Differential Effects of Various Electrical Parameters on Peripheral and Central Nerve Regeneration. *Acupuncture & Electro-Therapeutics Research*, **15**, 185-191. <https://doi.org/10.3727/036012990816358199>
- [19] Zanakis, M.F. (1988) Regeneration in the Mammalian Nervous System Using Applied Electric Fields: A Literature Review. *Acupuncture & Electro-Therapeutics Research*, **13**, 47-57. <https://doi.org/10.3727/036012988816358741>
- [20] Nemeth, P.M. (1982) Electrical Stimulation of Denervated Muscle Prevents Decreases in Oxidative Enzymes. *Muscle & Nerve*, **5**, 134-139. <https://doi.org/10.1002/mus.880050210>
- [21] 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.
- [22] Calatayud, J., Borreani, S., Colado, J.C., Flandez, J., Page, P. and Andersen, L.L. (2014) Exercise and Ankle Sprain Injuries: A Comprehensive Review. *The Physician and Sportsmedicine*, **42**, 88-93. <https://doi.org/10.3810/psm.2014.02.2051>
- [23] 覃华生, 潘玮敏, 李然, 等. 慢性踝关节不稳的运动康复: 研究现状与特点[J]. 中国组织工程研究, 2018, 22(36): 5865-5871.
- [24] Lee, C., Lee, T., Her, J., Liao, W. and Hsieh, C. (2015) Single-Blinded, Randomized Preliminary Study Evaluating the Effect of Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation on Postoperative Pain in Patients with Colles' Fracture. *The Journal of Alternative and Complementary Medicine*, **21**, 754-758. <https://doi.org/10.1089/acm.2015.0119>
- [25] Palmer, S., Domaille, M., Cramp, F., Walsh, N., Pollock, J., Kirwan, J., *et al.* (2014) Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation as an Adjunct to Education and Exercise for Knee Osteoarthritis: A Randomized Controlled Trial. *Arthritis Care & Research*, **66**, 387-394. <https://doi.org/10.1002/acr.22147>
- [26] NICE (2009) Nice Clinical Guideline 79 Rheumatoid Arthritis: The Management of Rheumatoid Arthritis in Adults. 1-35.