

慢性踝关节不稳患者的步态动力学特征 及平衡训练研究进展

李其志, 雷宗恒, 姚东, 程政, 瞿玉兴

(南京中医药大学附属常州市中医医院, 江苏 常州 213003)

摘要 慢性踝关节不稳可导致踝关节反复扭伤, 病情严重时需行手术治疗。对慢性踝关节不稳患者的步态动力学特征进行研究, 可以为该病的治疗和疗效评价提供客观依据。本文对慢性踝关节不稳患者的步态动力学特征及平衡训练研究进展进行了综述。

关键词 踝关节; 关节不稳定性; 步态; 平衡训练

踝关节严重扭伤后, 若治疗不及时或治疗不当, 可使踝关节周围松弛或断裂的韧带无法得到良好修复, 随着病情发展, 可形成慢性踝关节不稳^[1]。多数慢性踝关节不稳继发于急性踝关节扭伤, 临床表现为踝关节疼痛、不稳定或反复扭伤, 病情严重时需行手术治疗^[2]。慢性踝关节不稳不仅可引起踝关节创伤性关节炎, 还可增加下肢韧带损伤的风险^[3]。由于慢性踝关节不稳患者存在步态动力学特征异常^[4]及踝关节动态平衡能力下降^[5-6]等问题, 以步态动力学特征为切入点, 深入研究并量化慢性踝关节不稳患者的运动能力, 可为该病的康复训练提供客观依据^[7]。慢性踝关节不稳的诊断与疗效评价方法, 主要包括影像学检查、体格检查及基于患者主观感受的问卷调查, 这些方法的准确性目前尚存在争议^[8]。步态分析对运动系统疾病的诊断和治疗具有重要意义, 但步态动力学分析在慢性踝关节不稳诊断及治疗中的作用尚未引起临床重视。本文就慢性踝关节不稳患者的步态动力学特征及平衡训练研究进展综述如下。

1 慢性踝关节不稳患者的步态动力学特征

步态动力学分析, 是对步行作用力和反作用力的强度、方向及时间等的分析, 主要内容包括地面反作用力、力矩及肌肉活动。

1.1 地面反作用力 步行状态下, 在支撑相早期, 足与地面接触产生地面反作用力, 主要包括垂直分力(反映垂直方向支撑下肢的负重和离地能力)、矢状分力(反映前后方向支撑下肢的驱动和制动能力)及冠状分力(反映内外方向支撑下肢的稳定能力)^[9]。地面反作用力可直观反映足与地面接触后踝关节的受

力情况, 有关慢性踝关节不稳患者支撑相地面反作用力峰值出现时间的研究较为多见, 但对三维空间内不同方向地面反作用力分力的研究则相对少见。在台式压力器上进行单脚落地试验是测量地面反作用力的常用方式, 但是无法准确测量慢性踝关节不稳患者的步态动力学数据, 不能反映自然行走状态下踝关节的运动能力^[9]。Delahunt 等^[10]研究发现, 步行状态下, 慢性踝关节不稳组患者足触地早期的踝关节前侧、外侧地面反作用力峰值出现时间均早于健康对照组; 认为地面反作用力峰值提前出现, 需要患者在更短时间内调整踝关节的平衡, 加之踝关节周围韧带和关节囊内的机械感受器受损, 延迟了中枢神经系统的前馈控制作用, 使踝关节周围韧带承受更大的冲量, 从而更易受到损伤。

正常步行时, 支撑相地面反作用力的垂直分力呈双峰型, 这与支撑下肢的承重能力、步行速度及蹬离地面的力量有关^[11]。垂直方向地面反作用力双峰曲线的变化, 可以反映慢性踝关节不稳患者的足部运动协调能力和加速推进能力^[12]。Delahunt 等^[10]研究发现, 慢性踝关节不稳组患者在足触地早期, 即足跟首次触地 35 ~ 60 ms, 垂直方向的地面反作用力第一峰值大于健康对照组、第二峰值小于健康对照组, 提示慢性踝关节不稳患者的足跖屈肌群蹬地加速能力降低; 足触地 75 ms, 矢状方向的地面反作用力峰值大于健康对照组, 可能是因为踝关节背伸角度减小, 重心移至足跟处, 踝关节后方韧带及关节负荷增加; 足触地 85 ms, 冠状方向的地面反作用力峰值大于健康对照组, 这也解释了慢性踝关节不稳患者的踝关节内侧软骨退化风险为何增高。张阳等^[13]研究发现, 慢性踝关节不稳组患者三维空间内不同方向地面反作用

力峰值的出现时间均早于健康对照组;足触地 30 ms,慢性踝关节不稳组患者的踝关节外侧负荷增加,可能是因为中枢神经系统的前馈控制出现异常,不能发出正确的姿势指令,容易增加踝关节外侧韧带损伤的风险。

上述有关步行状态下地面反作用力的研究,结果较为一致的是,慢性踝关节不稳患者支撑相三维空间内地面反作用力的峰值出现时间早于健康人、峰值大于健康人,这可能是因为踝关节周围本体感受器受损后踝关节的位置感知及力量输出能力下降,踝关节做出调整姿势反应的时间相对缩短,足触地时保持身体平衡的难度提高。

1.2 力 矩 力矩是力与力臂的乘积,关节力矩受肌肉力量、关节稳定性及运动方向等影响。Yildiz 等^[14]研究发现,踝关节跖屈 15°位时,慢性踝关节不稳组患者的踝关节外翻力矩小于健康对照组。步行状态下,在支撑相末期,足趾离开地面,踝关节处于跖屈位。由于距骨前宽后窄的解剖特点,踝关节处于跖屈位时距骨可向两侧移动而使踝关节不稳定,容易引起踝关节外侧肌群及韧带损伤。Cho 等^[15-16]研究发现,多数慢性踝关节不稳患者的踝关节外侧副韧带及肌群功能存在异常,并认为这是引起踝关节反复扭伤的重要原因。等速肌力测试是测定踝关节内翻和外翻力矩的常用方法^[17]。David 等^[18]通过等速肌力测试发现,不同角速度下慢性踝关节不稳患者的踝关节外翻力矩峰值均小于健康人;但 Sierra - Guzmán 等^[19]的研究结果与此相反,慢性踝关节不稳患者的踝关节外翻力矩并未明显小于健康人,由此认为踝关节外翻力矩减小不是引起踝关节反复扭伤的主要原因。Hubbard 等^[20]研究发现,不同角速度下慢性踝关节不稳患者的踝关节跖屈力矩峰值均小于健康人。

1.3 肌肉活动 肌肉活动是步行动力的基础,踝关节周围肌肉活动异常可影响踝关节的运动功能及姿势稳定性。传统观点认为,踝关节跖屈肌群功能紊乱,是导致慢性踝关节不稳患者支撑相末期(步行状态下)足离地向上及向前摆动时动力不足的主要原因。由于踝关节的跖屈肌群由多块肌肉组成(主要包括小腿三头肌、腓骨长短肌、胫骨后肌、趾长屈肌及踇长屈肌),导致踝关节跖屈功能降低的责任肌肉尚需通过进一步研究确定。

步行时的肌肉活动情况可通过动态肌电图测得,

因此肌电图检查是步态分析的重要部分。Fox 等^[21]研究发现,足触地前中枢神经系统的前馈控制作用对慢性踝关节不稳患者的踝关节肌群活动有决定性影响。Caulfield 等^[22]研究发现,步行状态下,慢性踝关节不稳患者的胫骨前肌、腓骨长肌、比目鱼肌和腓肠肌的肌电图均有异常;摆动相末期,慢性踝关节不稳组患者的腓肠肌表面肌电活动弱于健康对照组;支撑相中期,慢性踝关节不稳组患者的比目鱼肌表面肌电活动弱于健康对照组。Delahunt 等^[10]研究发现,步行状态下,足触地前慢性踝关节不稳组患者的腓骨长肌表面肌电活动弱于健康对照组,但 2 组的胫骨前肌及比目鱼肌表面肌电活动无明显差异。腓骨长肌具有维持踝关节内翻稳定性的作用,Caulfield 等^[22]认为,慢性踝关节不稳患者的腓骨长肌表面肌电信号滞后或减弱可增加足触地时踝关节内翻损伤的风险。Kim 等^[23]研究发现,足触地前(步行状态下),慢性踝关节不稳组患者的胫骨前肌和腓肠肌外侧头表面肌电活动均较健康对照组活跃,由此认为足触地前踝关节体位的控制主要依赖胫骨前肌和腓肠肌;此外,该研究还发现慢性踝关节不稳患者的股二头肌激活时间明显延迟,这可能是因为踝关节周围的神经肌肉控制能力下降,膝关节以上的肌肉活动也随之出现变化。Allet 等^[24]对踝关节反复扭伤患者与健康人的下肢肌肉活动情况进行了对比研究,发现无论是足触地前还是触地后,2 组的胫骨前肌、腓骨肌和腓肠肌表面肌电活动均无明显差异。Pietrosimone 等^[25]研究发现,慢性踝关节不稳组患者的腓骨长肌兴奋阈值高于健康对照组;认为慢性踝关节不稳患者可能存在腓骨长肌运动皮层兴奋性降低,从而影响了脊髓水平的运动控制能力。

慢性踝关节不稳患者的下肢肌电图出现异常,多提示中枢神经系统的运动调控功能及踝关节的本体感觉发生异常改变。中枢神经系统的前馈控制作用对维持踝关节的稳定性具有重要价值,在步行及跳落过程中,足触地前中枢神经系统的前馈控制已开始作用于下肢肌肉,决定了足触地时下肢关节的体位。踝关节本体感受器的形态及功能正常,是中枢神经系统发挥前馈控制作用的前提。若踝关节的本体感受器出现异常,则无法将完整的信息传递至中枢神经系统,中枢神经系统因此无法发出正确的运动调控指令,此时中枢神经系统的反馈机制会弥补之前运动调

控的不足,表现为足落地后足底压力中心向侧方偏移,导致踝关节不稳定,增加了踝关节扭伤的风险。

2 慢性踝关节不稳患者的平衡训练

姿势稳定性下降是慢性踝关节不稳患者踝关节反复扭伤的重要原因,对此类患者进行平衡训练有利于其早期康复。

Lee 等^[26]采用平衡盘对慢性踝关节不稳患者进行平衡训练,每日 30 min,连续训练 12 周后患者足底压力中心摆动轨迹的总长度较训练前缩短,且踝关节反复扭伤的发生率低于对照组。Mcguine 等^[27]对分别采用平衡训练和常规训练的高校运动员进行了相关研究,发现连续训练 7 周后,平衡训练组运动员的踝关节扭伤风险低于常规训练组。Anguish 等^[28]对慢性踝关节不稳患者分别采用静态和动态平衡训练进行干预,连续训练 4 周后,发现 2 种训练方法均可改善患者的踝关节姿势控制能力、提高踝关节的稳定性,且动态平衡训练组患者的踝关节位置觉优于静态平衡训练组。Youssef 等^[29]研究发现,慢性踝关节不稳患者连续进行 4 周以上的动态平衡训练,可以改善踝关节的稳定性;此外,研究还发现单侧慢性踝关节不稳患者进行动态平衡训练后,健侧踝关节的稳定性也有所提高,提示动态平衡训练可改善中枢神经系统的运动控制功能。

上述有关平衡训练的研究表明,连续进行 4 周以上的静态或动态平衡训练可降低踝关节扭伤的风险,这可能是因为平衡训练增强了踝关节深感觉中的关节位置觉,弥补了本体感受器异常引起的中枢神经系统运动控制功能下降。

3 小 结

采用生物力学监测设备对慢性踝关节不稳患者的步态特征进行客观量化研究,可以为该病的治疗和疗效评价提供客观依据。此外,踝关节的生物力学检查具有操作简便和无创等优点,有利于临床推广应用。目前,有关慢性踝关节不稳患者步态动力学分析的研究相对少见,此类患者步行过程中的能量代谢情况和机械能参数尚不清楚,仍需进一步深入研究。

参考文献

- [1] MIKLOVIC T M, DONOVAN L, PROTZUK O A, et al. Acute lateral ankle sprain to chronic ankle instability: a pathway of dysfunction[J]. *Phys Sportsmed*, 2018, 46(1): 116 – 122.
- [2] 周云烽,陈娜,张正政,等. 踝关节镜下距腓前韧带联合跟腓韧带解剖重建治疗慢性踝关节不稳[J]. *中华创伤骨科杂志*, 2018, 20(2): 123 – 128.
- [3] YEN S C, CHUI K K, CORKERY M B, et al. Hip – ankle coordination during gait in individuals with chronic ankle instability[J]. *Gait Posture*, 2017, 53: 193 – 200.
- [4] TENENBAUM S, CHECHIK O, BARITEAU J, et al. Gait abnormalities in patients with chronic ankle instability can improve following a non – invasive biomechanical therapy: a retrospective analysis[J]. *J Phys Ther Sci*, 2017, 29(4): 677 – 684.
- [5] HOCH M C, STATON G S, MEDINA MCKEON J M, et al. Dorsiflexion and dynamic postural control deficits are present in those with chronic ankle instability[J]. *J Sci Med Sport*, 2012, 15(6): 574 – 579.
- [6] 刘辉,刘波,伍萨,等. 踝关节不稳患者踝关节等速肌力和动态平衡能力的临床研究[J]. *中医正骨*, 2015, 27(2): 7 – 11.
- [7] EAGLES A N, SAYERS M G, LOVELL D I. Factors that influence ground reaction force profiles during counter movement jumping[J]. *J Sports Med Phys Fitness*, 2017, 57(5): 514 – 520.
- [8] 张昊,解冰,薛海鹏,等. 慢性踝关节不稳诊断与治疗的研究进展[J]. *中国骨伤*, 2016, 29(12): 1160 – 1163.
- [9] HERB C C, GROSSMAN K, FEGER M A, et al. Lower extremity biomechanics during a drop – vertical jump in participants with or without chronic ankle instability[J]. *J Athl Train*, 2018, 53(4): 364 – 371.
- [10] DELAHUNT E, MONAGHAN K, CAULFIELD B. Changes in lower limb kinematics, kinetics, and muscle activity in subjects with functional instability of the ankle joint during a single leg drop jump[J]. *J Orthop Res*, 2006, 24(10): 1991 – 2000.
- [11] HRELJAC A. Impact and overuse injuries in runners[J]. *Med Sci Sports Exerc*, 2004, 36(5): 845 – 849.
- [12] FRANSZ D P, HUURNINK A, KINGMA I, et al. A systematic review and meta – analysis of dynamic tests and related force plate parameters used to evaluate neuromusculoskeletal function in foot and ankle pathology[J]. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*, 2013, 28(6): 591 – 601.
- [13] 张阳,张秋霞. 功能性踝关节不稳者在着地过程中相关生物力学特征研究[J]. *天津体育学院学报*, 2013, 28(4): 355 – 358.
- [14] YILDIZ Y, AYDIN T, SEKIR U, et al. Peak and end range eccentric evertor/concentric invertor muscle strength ratios in chronically unstable ankles: comparison with healthy individuals[J]. *J Sports Sci Med*, 2003, 2(3): 70 – 76.

(下转第 74 页)