

足底压力动态检测对慢性踝关节不稳患者的评估与临床应用

陆沈吉^{1a}, 吴智刚², 蔡萍^{1b}, 冀锐^{1b}, 范帅^{1a}, 蔡斌^{1a}

【摘要】 目的:使用上海交通大学电子信息与电气工程学院研发的足底压力动态检测装置,评估慢性踝关节不稳(CAI)患者足底压力中心(COP)分布。**方法:**收集健康受试者28例为对照组,CAI患者24例为观察组,其中机械性不稳(MAI)患者13例,功能性不稳(FAI)患者11例,分别进行足底压力动态检测,测量COP动摇轨迹长、前/后(A/P)动摇轨迹长、左/右(M/L)动摇轨迹长、A/P动摇范围及M/L动摇范围。**结果:**双足站立时,观察组COP动摇轨迹总长度,A/P和M/L动摇轨迹长,A/P和M/L动摇范围均明显大于对照组(均 $P<0.05$);单足站立时,观察组除了健侧足在A/P动摇轨迹长较对照组比较差异无统计学意义外,患侧足与健侧足的其余COP参数均明显大于对照组(均 $P<0.05$),且观察组患侧足的M/L动摇范围更明显大于健侧足($P<0.05$);观察组患侧足单足站立时,MAI患者COP动摇轨迹长、A/P和M/L动摇轨迹长、M/L动摇范围均明显大于FAI患者(均 $P<0.05$),但A/P动摇范围比较差异无统计学意义。**结论:**CAI患者M/L方向的COP参数变化更敏感,使用该设备进行COP参数评估有助于制定个性化康复治疗方案及随访,提高康复治疗的趣味性及患者依从性。

【关键词】 慢性踝关节不稳;足底压力;康复

【中图分类号】 R49;R681 **【DOI】** 10.3870/zgkf.2020.12.006

Evaluation of chronic ankle instability using dynamic foot pressure detection Lu Shenji, Wu Zhigang, Cai Ping, et al. Department of Rehabilitation Medicine, Shanghai Ninth People's Hospital, Shanghai JiaoTong University School of Medicine, Shanghai 200011, China

【Abstract】 Objective: To evaluate the parameters of center of pressure (COP) in patients with CAI by using a dynamic detection device developed by the School of Electronic Information and Electrical Engineering of Shanghai JiaoTong University. **Methods:** We recruited 28 healthy subjects as control group and 24 patients with CAI as treatment group including 13 patients with mechanical instability (MAI) and 11 patients with functional instability (FAI). The plantar pressure was dynamically detected, and the COP sway length, anterior/posterior(A/P) sway length, medial/lateral(M/L) sway length, A/P sway range and M/L sway range were measured. **Results:** When standing on both feet, the total length of COP sway, the sway of A/P and M/L in the treatment group were longer, and the sway range of A/P and M/L was significantly larger than those in the control group (all $P<0.05$). When standing on one foot, the COP parameters of the affected side foot and unaffected side foot were significantly larger than those of the control group (all $P<0.05$) except A/P sway length of unaffected leg, and the M/L sway range of the affected side foot in the treatment group was significantly larger than that of the unaffected side foot (all $P<0.05$). We observed differences between MAI and FAI patients regarding COP sway length, M/L sway length, A/P sway length and L/L sway range(all $P<0.05$), but there was no significant difference in A/P shaking range. **Conclusion:** It indicates that for CAI patients, the change of COP parameter in M/L direction is more sensitive. The device would be helpful for the personalized rehabilitation program and follow-up procedure, and increasing patients' interestingness and compliance.

【Key words】 chronic ankle instability; plantar pressure; rehabilitation

随着运动人群的增加,踝扭伤的发生率也同样增

加。每年女性踝关节扭伤发生率为13.6%,男性为6.9%,总患病率约为10.7%^[1]。踝关节扭伤的常见并发症为慢性踝关节不稳(chronic ankle instability, CAI)^[2]。CAI的发病机制主要包括韧带损伤和本体感受器受损^[3],导致平衡功能下降,反应时间延迟和强度降低^[4]。外侧韧带和关节囊松弛通常会导致机械性踝关节不稳(mechanical ankle instability, MAI);神经

基金项目:上海交通大学“医工交叉基金”(YG2015MS08)

收稿日期:2020-02-24

作者单位:1. 上海交通大学 a. 医学院附属第九人民医院康复医学科,上海 200011; b. 电子信息与电气工程学院,上海 200240; 2. 海南西部中心医院康复医学科,海南 儋州 571700

作者简介:陆沈吉(1987-),女,主治医师,主要从事肌肉骨骼系统的康复研究。

通讯作者:蔡斌, shrehab@163.com

肌肉控制系统的损伤会导致功能性踝关节不稳(functional ankle instability, FAI),患者常主诉“打软腿”、不稳症状等。CAI患者通常需要接受物理治疗,MAI患者可能需要手术干预^[5]。CAI的诊断包括扭伤史、距骨倾斜试验、前抽屉试验、X射线、磁共振成像、超声甚至关节镜检查^[6];此外,还经常使用疼痛评估、关节活动度、踝关节功能量表等^[7]。影像学诊断和侵入性关节镜检查对MAI高度敏感,但FAI通常需要功能性诊断,且临床上对FAI的评估更为主观,临床医生很难客观、定量地评估FAI患者^[8]。

目前,主要有两种类型的设备:压力垫和受力平台,分别可检测足底压力分布和压力中心(center of pressure, COP),然而研究显示结果有所区别^[9-10]。测量足底压力的设备空间分辨率高,收集COP参数的设备精度和时间分辨率高。因此,这两个系统是互补的,但是以前的研究大多使用单个设备。上海交通大学电子信息与电气工程学院蔡萍教授团队通过将压力垫放在受力平台上来组合这两种设备^[11-13]。这样可以同步测量垂直和水平切向力以及足底压力,并根据足底压力分布来计算COP参数,前期已对垂直地面反作用力进行了重复测量,具有良好的内部一致性(99.0%),且与Bertec测力平台具有外部一致性(99.6%)。因此,本研究的目的是使用该设备在CAI患者中进行临床应用评估,分析CAI患者的COP分布特点,为临床诊断及评估提供一定的协助,有助于制定个性化的方案,并为设备后续的进一步完善提供支持。

1 资料与方法

1.1 一般资料 选取2016年1月~2017年2月于我科就诊的24例CAI患者作为观察组,其中13例诊断为MAI,11例诊断为FAI,所有患者均通过核磁共振或超声检查。纳入标准:18~45岁;在过去的6个月中,单侧复发性踝关节扭伤,有“打软腿”的病史,伴有疼痛,不稳定和无力的症状^[14];无手术史或系统康复史;损伤后曾行肌骨超声或核磁共振检查(若结果有韧带损伤/撕裂即视为MAI)。排除标准:双侧踝关节损伤;近3个月内发生踝关节损伤;下肢骨折,血管疾病,头部受伤,严重的全身性疾病,感染、认知障碍、神经系统疾病或药物滥用的病史。将我科接受检查且年龄匹配但无踝关节症状的健康受试者28例作为对照组。2组一般资料比较差异无统计学意义,见表1。

1.2 方法 采用自行设计开发的多维测力台及配套软件(专利号:ZL2016 1 0105008.3),设备传感器分布为36行39列,分布密度4个/cm²,测试频率20sps。

表1 2组一般资料比较

组别	n	性别(例)		年龄 (岁, $\bar{x} \pm s$)	身高 (m, $\bar{x} \pm s$)	体重 (kg, $\bar{x} \pm s$)
		男	女			
观察组	24	11	13	34.50±7.51	1.68±0.08	66.35±16.31
对照组	28	12	16	25.80±4.42	1.69±0.06	61.10±9.64

根据足底压力分布,采集COP动摇轨迹长和范围,如前/后(anterior/posterior, A/P)动摇轨迹长、左/右(medial/lateral, M/L)动摇轨迹长、A/P动摇范围、M/L动摇范围。动摇轨迹长代表偏移距离的总和,代表重心偏移的速度,为时间层面的数据,数值越大,代表变化越快;动摇范围是指最大的偏移距离,为空间层面数据,偏移距离越大,代表偏移越严重。2组受试者站立于平台,双眼直视前方,两臂自然下垂。根据如下步骤进行:①双腿站立15s,休息1min,重复3次;②患侧腿站立15s,休息1min,健侧腿站立15s,重复3次。

1.3 统计学方法 使用MATLAB 9.1通过足底压力分布和分布力计算得出COP参数。采用SPSS 19.0进行统计分析,使用Kolmogorov-Smirnov检验对连续数据进行正态分布检验,计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示,使用Student *t*检验进行分析,分类数据使用Fisher精确检验进行分析,以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 2组双足站立COP参数比较 双足站立时,观察组COP动摇轨迹总长度,A/P和M/L动摇轨迹长,A/P和M/L动摇范围均明显大于对照组(均 $P < 0.05$),见表2。

表2 2组双足站立COP参数比较 cm, $\bar{x} \pm s$

COP	观察组($n=24$)	对照组($n=28$)
COP动摇轨迹长	34.50±15.20 ^a	10.70±5.03
A/P动摇轨迹长	24.60±11.10 ^a	7.28±3.45
M/L动摇轨迹长	19.10±8.65 ^a	6.30±1.29
A/P动摇范围	1.78±0.71 ^a	0.85±0.47
M/L动摇范围	1.16±0.59 ^a	0.55±0.36

与对照组比较,^a $P < 0.05$

2.2 2组单足站立COP参数比较 单足站立时,观察组除了健侧足在A/P动摇轨迹长较对照组比较差异无统计学意义外,患侧足与健侧足的其余COP参数均明显大于对照组(均 $P < 0.05$),且观察组患侧足的M/L动摇范围更明显大于健侧足($P < 0.05$),其余参数比较健患侧足之间差异均无统计学意义,见表3。

2.3 观察组患侧足站立COP参数比较 观察组患侧足单足站立时,MAI患者COP动摇轨迹长、A/P和M/L动摇轨迹长、M/L动摇范围均明显大于FAI患者(均 $P < 0.05$),但A/P动摇范围比较差异无统计学

意义,见表4。

表3 2组单足站立 COP 参数比较

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

COP	观察组($n=24$)		对照组($n=28$)
	患侧足	健侧足	
COP 动摇轨迹长	28.30±11.10 ^a	28.00±8.20 ^a	23.10±8.00
A/P 动摇轨迹长	20.20±8.80 ^a	19.10±7.25	16.70±5.73
M/L 动摇轨迹长	15.40±4.58 ^a	14.00±6.38 ^a	12.90±4.95
A/P 动摇范围	2.65±1.07 ^a	2.49±0.95 ^a	1.93±0.56
M/L 动摇范围	2.04±1.92 ^{ab}	1.63±0.48 ^a	1.42±0.50

与对照组比较,^a $P<0.05$;与健侧足比较,^b $P<0.05$

表4 观察组患侧足站立 COP 参数比较

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

COP	MAI($n=13$)	FAI($n=11$)
COP 动摇轨迹长	31.50±9.33 ^a	24.00±12.60
A/P 动摇轨迹长	23.10±8.13 ^a	18.40±9.95
M/L 动摇轨迹长	16.30±5.93 ^a	12.40±7.08
A/P 动摇范围	3.05±1.11	2.70±1.39
M/L 动摇范围	3.15±1.58 ^a	2.47±1.88

与 FAI 比较,^a $P<0.05$

3 讨论

大多数踝关节损伤发生在跖屈和内旋时,导致距腓前韧带受损^[15],感觉传入受损,降低了本体感反馈和姿势控制的能力,中枢运动控制能力受累,导致患侧及健侧肢体的功能均受损^[16]。此外,疼痛,肿胀以及担心再次扭伤可能会导致下肢的负荷减小,从而导致向心及离心肌力均下降^[6]。

扭伤发生后,临床医师对 CAI 的评估通常是主观的,部分患者进行核磁共振或肌骨超声检查,此类检查不仅设备昂贵,且对医师有较高的要求,组织水肿等亦可影响检查结果。此外,影像学检查为平卧位、静态的检查,无法反应患者的功能,且复查、随访均有不便之处。因此,本研究旨在使用上海交通大学电子信息与电气工程学院开发的设备评估 CAI 患者足底压力分布及 COP 参数,简单、无创且快速便捷,在站立位进行检测,更能反应踝关节功能。

COP 是从压力板得出的动力学变量,用于评估平衡功能^[9]。正常情况下,单足站立时,足底压力主要集中在跖骨及足跟,而 CAI 患者的压力更多地集中在前外侧。有研究指出,足趾区域的剪切力与区域压力集中成正相关,第一足趾上压力的增加与高剪切力有关,这意味着身体不平衡^[11]。

我们的结果表明该设备可用于初步评估踝关节功能,双足站立时,两组之间的差异显著,意味着 CAI 患者的动摇轨迹与范围均较对照组更大,即更加不稳定。单足站立时,CAI 患侧足的 COP 动摇轨迹长度和范围参数亦比对照组大,表明患者患侧足单足站立时功能更差;此外,CAI 患者的健侧足的 COP 动摇轨迹长、M/L 动摇轨迹长、A/P 和 M/L 动摇范围都比对照组

的数值大,这意味着健侧足的功能也可能受到了损伤。可能是由于踝关节扭伤限制了 CAI 患者的整体运动,从而导致肌肉力量下降;此外,患侧肢体的神经肌肉控制功能受损,神经冲动传入、中枢控制欠佳亦可能影响健侧肢体的稳定性^[17]。部分研究也显示相似的结果^[18-19];Evans 等^[20]发现踝关节扭伤仅 1d 后,患侧与健侧 COP 变化速度显著增加;Hale 等^[21]发现,对健侧肢体的训练可以帮助改善下肢的平衡功能;提示 CAI 患者的患侧与健侧足神经肌肉控制能力均下降,需同步进行训练。然而,本研究中观察到的许多差异比较接近,这可能是由于研究的样本量较小的原因。

单足站立时,CAI 患者的健侧足与对照组相比,M/L 动摇轨迹长、M/L 和 A/P 动摇范围具有统计学差异;CAI 患者的患侧足与健侧足相比,仅发现 M/L 动摇范围有差异;MAI 与 FAI 患侧足相比,M/L 动摇轨迹长、M/L 动摇范围及 A/P 动摇轨迹长具有统计学差异,这样的结果可能提示对于 CAI 患者而言,M/L 方向的 COP 参数变化更敏感。有研究显示,单腿站立时,CAI 患者的 M/L 平均 COP 偏移和 M/L 总 COP 偏移较长^[16]。距腓前韧带损伤后,韧带的修复过程将导致韧带纤维排列不规则,从而降低韧带的延展性。磁共振成像显示韧带明显增厚^[22],这可能导致距骨向前移位;此外,有研究观察到踝背屈的峰值扭矩小,意味着跖屈力量较大,亦跟腱缩短,距骨向前滑动;由于距骨的后部稍窄,距骨和胫骨之间可能形成骨块,以保持关节的稳定性,尤其是在 A/P 方向上,这可能解释为什么 M/L 方向上动摇轨迹的差异更加敏感。然而,与磁共振成像或超声检查相比,有必要进行进一步研究来确定这种差异的值。

COP 动摇轨迹和范围的增加意味着 CAI 患者的神经肌肉控制不佳,亦有研究显示 CAI 患者有髌部力量下降、髌策略欠佳等表现^[23]。定期康复治疗及随访有助于恢复动态姿势稳定性,减少踝关节再次受伤的风险,且康复治疗需考虑患者的整体平衡功能,使用该设备进行 COP 动摇轨迹评估,有助于对患者进行个性化评估及治疗方案的制定,且为患者的定期随访与评估提供了数据支持。此外,该设备设计了简单的小游戏,增加了康复治疗的趣味性与患者依从性。

然而,本研究依然存在一定的局限性,首先,作为概念验证的先导研究,样本量较小,需要进一步扩大。其次,我们仅比较双足站立与单足站立,且均为睁眼模式,结果可能受到视觉代偿的影响。然而,我们认为睁眼接受评估的受试者状态更加贴近日常生活。最后,我们没有进行动态评估,可能需要后续的进一步研究。

因此,本研究显示,使用上海交通大学电子信息与

电气工程学院蔡萍教授团队制造的设备对 CAI 患者及正常对照进行检测,CAI 患者的 COP 动摇轨迹长与范围均较对照组更大,且患侧足的 M/L 动摇范围较健侧足更大;MAI 的患侧足相对于 FAI 的患侧足的 M/L 动摇轨迹长及动摇范围更大;提示对于 CAI 患者而言,M/L 方向的 COP 参数变化更敏感。采用本设备可为康复医师与治疗师评估患者提供支持,有助于康复方案的个性化制定,设备具有的小游戏亦可增加康复治疗的趣味性 & 患者依从性。

【参考文献】

- [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[J]. *Sports Med*, 2014,44(1):123-140.
- [2] Cao Y, Hong Y, Xu Y, et al. Surgical management of chronic lateral ankle instability: a meta-analysis[J]. *J Orthop Surg Res*, 2018,13(1):159-159.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] Wikstrom E A, McKeon P O. Predicting balance improvements following STARS treatments in chronic ankle instability participants[J]. *J Sci Med Sport*, 2017,20(4):356-361.
- [6] Hiller C E, Nightingale E J, Lin C W, et al. Characteristics of people with recurrent ankle sprains: a systematic review with meta-analysis[J]. *Br J Sports Med*, 2011,45(8):660-672.
- [7] Lee S H, Yun S J. The feasibility of point-of-care ankle ultrasound examination in patients with recurrent ankle sprain and chronic ankle instability: Comparison with magnetic resonance imaging[J]. *Injury*, 2017,48(10):2323-2328.
- [8] Laessoe U, Svendsen A W, Christensen M N, et al. Evaluation of functional ankle instability assessed by an instrumented wobble board[J]. *Phys Ther Sport*, 2019,35:133-138.
- [9] McKeon P O, Wikstrom E A. The effect of sensory-targeted ankle rehabilitation strategies on single-leg center of pressure elements in those with chronic ankle instability: A randomized clinical trial[J]. *J Sci Med Sport*, 2019,22(3):288-293.
- [10] Buldt A K, Allan J J, Landorf K B, et al. The relationship between foot posture and plantar pressure during walking in adults: A systematic review[J]. *Gait Posture*, 2018,62:56-67.
- [11] Mao Z, Cai P, Wang D, et al. Approach for decoupling the non-linear cross-talk in a six-dimensional force platform[J]. *Int. J. Precis. Eng. Manuf.*, 2016,3(17):303-308.
- [12] Wang D, Cai P, Mao Z. The configuration of plantar pressure sensing cells for wearable measurement of COP coordinates[J]. *Biomed Eng Online*, 2016,15(1):116-116.
- [13] 王典, 毛志勇, 沙长源, 等. 基于压力垫系统的人体压力中心估计方法研究[J]. *传感技术学报*, 2014(12):1596-1600.
- [14] Gribble P A, Delahunt E, Bleakley C, et al. Selection criteria for patients with chronic ankle instability in controlled research: a position statement of the International Ankle Consortium[J]. *Br J Sports Med*, 2014,48(13):1014-1018.
- [15] Czajka C M, Tran E, Cai A N, et al. Ankle sprains and instability[J]. *Med Clin North Am*, 2014,98(2):313-329.
- [16] Simpson J D, Rendos N K, Stewart E M, et al. Bilateral spatiotemporal postural control impairments are present in participants with chronic ankle instability[J]. *Phys Ther Sport*, 2019,39:1-7.
- [17] Kosik K B, Johnson N F, Terada M, et al. Decreased dynamic balance and dorsiflexion range of motion in young and middle-aged adults with chronic ankle instability[J]. *J Sci Med Sport*, 2019,22(9):976-980.
- [18] Hadadi M, Abbasi F. Comparison of the Effect of the Combined Mechanism Ankle Support on Static and Dynamic Postural Control of Chronic Ankle Instability Patients[J]. *Foot Ankle Int*, 2019,40(6):702-709.
- [19] Kosik K B, Johnson N F, Terada M, et al. Decreased dynamic balance and dorsiflexion range of motion in young and middle-aged adults with chronic ankle instability[J]. *J Sci Med Sport*, 2019,22(9):976-980.
- [20] Evans T, Hertel J, Sebastianelli W. Bilateral deficits in postural control following lateral ankle sprain[J]. *Foot Ankle Int*, 2004,25(11):833-839.
- [21] Hale S A, Fergus A, Axmacher R, et al. Bilateral improvements in lower extremity function after unilateral balance training in individuals with chronic ankle instability[J]. *J Athl Train*, 2014,49(2):181-191.
- [22] Al-Mohrej O A, Al-Kenani N S. Chronic ankle instability: Current perspectives[J]. *Avicenna J Med*, 2016,6(4):103-108.
- [23] 鲁君兰, 蔡斌, 范帅. 慢性踝关节不稳患者的髌关节功能研究进展[J]. *中国康复*, 2019,34(6):328-332.