

# 踇外翻足底压力分析的研究进展

陈思,温建民,孙卫东,程程

(中国中医科学院望京医院,北京 100102)

**摘要** 踇外翻是最常见的足部畸形之一,足底压力的变化与踇外翻的发展密切相关。测量踇外翻足底压力,分析影响踇外翻足底压力的影响因素,有利于为患者制定个性化的预防和治疗措施,达到精准治疗的目的。为进一步了解踇外翻足底压力变化,为临床预防和治疗踇外翻提供参考,本文从踇外翻的足底压力变化和步态特征、踇外翻足底压力的测量及踇外翻足底压力的影响因素 3 个方面对踇外翻足底压力分析的研究进展进行了综述。

**关键词** 踇外翻;足底压力分析;步态;综述

踇外翻是指踇趾向外偏斜且超过了正常生理范围的一种足部畸形,临床主要表现为踇趾外翻畸形、疼痛<sup>[1-2]</sup>。生物力学因素在踇外翻的发生发展中起着重要作用,分析踇外翻的足底压力变化,对于踇外翻的预防和治疗有着重要意义<sup>[3]</sup>。足底压力分析揭示人体运动过程中足的动力性特征,为足部疾病的病因分析、病情评估、诊断、疗效评定、手术鉴定和功能康复等提供客观依据<sup>[4]</sup>,已在生物力学、矫形外科、康复医学等领域有广泛应用。为进一步了解踇外翻足底压力变化,为临床预防和治疗踇外翻提供参考,我们从踇外翻的足底压力变化和步态特征、踇外翻足底压力的测量及踇外翻足底压力的影响因素 3 个方面对踇外翻足底压力分析的研究进展进行综述。

## 1 踇外翻的足底压力变化和步态特征

正常人体站立位时,第 1 跖骨、第 5 跖骨及跟骨形成稳定的三角结构,起到维持足部稳定、缓冲足底压力的作用。前足横弓由跖骨及周围韧带组成,人体行走时,前足横弓可使足底所受的压力均匀分布于足底中间及双侧足弓,起到缓冲足底压力和保护足底结构的作用。前足横弓的稳定是维持正常步态的基础,前足横弓塌陷时足底压力分布不均会导致足底应力的集中及步态的异常<sup>[5]</sup>。González-martín 等<sup>[6]</sup>研究发现,踇外翻时第 1 跖骨内翻则第 2 跖骨相对延长,第 1 跖骨头背伸则跖趾关节活动受限,足弓塌陷则缓冲足底压力及足部负重的功能异常。踇外翻患者行

走时,第 2、第 3 跖骨头下压力增高,第 1 跖骨头下压力减小,足底的峰值压力和后足负重增加<sup>[7]</sup>。由于踇趾负荷的变化,行走时髌、膝、踝关节会出现代偿<sup>[8-10]</sup>。因此,踇外翻患者前足负荷增加,足蹬地功能降低,踝关节不稳,步态可表现为步速变缓、步幅变小,当行走加快、上下楼梯、改变运动方向时步态异常会更突出<sup>[11]</sup>。

## 2 踇外翻足底压力的测量

足底压力测试系统是通过收集受试者在具有独立压力传感器的平板上行走的数据分析人体足部的动态及静态力学指标,且研究者通过专用软件可选取需要测量的足底区域和数据进行精准分析。足底压力平板测试系统已广泛应用于足部疾病的临床及科研<sup>[12]</sup>。随着计算机和人工智能技术的不断发展,便携式可穿戴的三维足底压力测试系统已应用于踇外翻的足底压力测量中<sup>[13]</sup>。

采用足底压力测试系统进行足底压力测量尚无统一的方法和分析指标<sup>[14-16]</sup>。Minns 等<sup>[17]</sup>发现,静态测量时正常人和类风湿患者足底压力及分布没有区别,但动态测量时两者的足底压力分布有明显区别。因此,足底压力的测量方法应根据疾病的病因和生物力学机制进行选择。足底压力测量常用的指标包括足底峰值压力、压强、冲量及负荷率<sup>[18]</sup>。峰值压力是足底应力作用于地面时足底承受的最大压力数值,代表足底该区域受力的大小及疾病损伤的程度。峰值压力一般采用推进期足底测量区域的最大值进行测量和分析,用于评价足部疾病的压力大小、运动特征及临床疗效。峰值压强是在运动中足底单位面积所承受压力的大小,它是反映足底压力在测量区域

基金项目:中国中医科学院望京医院基础研究苗圃培育计划课题(WJYY-YJKT-2022-01)

通讯作者:程程 E-mail:wjyychengting@163.com

作用效果的指标,对于评估足部压力分布及判断疾病预后具有重要意义<sup>[19]</sup>。峰值冲量是反映足底压力作用于足底区域的最大时间积累效应,它与足底压力的大小及持续时间有关,是研究足底疾病积累效应的重要指标<sup>[20]</sup>。负荷率代表足底测量区域压力变化的数值,它的大小说明足底压力变化的程度。行走中足底负荷率越大,变化越快,说明足底承受的压力刺激越强<sup>[21]</sup>。周海波等<sup>[22]</sup>采用第 1 跖楔关节融合术治疗踇外翻,并在手术前后采用足底压力测试系统对患足第 1 跖骨头下峰值压力、压强、冲量进行了测量,认为足底压力分析可对手术疗效进行客观评价。

### 3 踇外翻足底压力的影响因素

#### 3.1 前足轴

踇外翻足底压力与步态周期中前足轴的运动密切相关。前足轴是人体在行走时跖骨头与趾骨形成的动力结构,人在行走中足跟部刚离地时,前足是人的主要支撑,前足轴使足和小腿向前运动<sup>[23]</sup>。踇外翻患者重心前移时,前足轴的稳定性会下降,胫骨前移和踝跖屈力量减弱导致膝关节屈曲和踝关节背伸增加,髌关节外展活动受限。前足轴稳定性的下降会影响足底压力的分布<sup>[24]</sup>。

#### 3.2 足偏角

足偏角是指足中心线与同侧步行直线之间的夹角,可反映行走中足部偏转的程度。足部的力学中心会随着足偏角的变化而改变,当足偏角减小时,人体的运动中心会从足内侧移向足外侧<sup>[25]</sup>。足偏角的变化直接影响到行走时足底压力的大小及分布<sup>[26]</sup>。足偏角是影响踇外翻足底压力分布的重要指标之一。

#### 3.3 年龄

随着年龄的改变,人体的解剖结构和生理学特征发生变化,不同年龄足底压力分布有所不同<sup>[27]</sup>。俞艳<sup>[28]</sup>研究发现,对于 3~12 岁的儿童,踇外翻会对步行效率及足部运动产生影响,儿童踇外翻的步态特征主要表现为步态周期中前足轴的稳定性下降,足底压力异常。随着儿童年龄的增长,踇外翻不仅会引起足部运动步态模式及应力异常,也会影响髌、膝、踝关节的负荷。老年踇外翻患者随着疾病进展,足底肌腱和脂肪层会发生退变,足弓形态会发生变化,形成足底痛性胼胝体、锤状趾及爪形趾,从而导致足底压力的变化。年龄越大的患者,行走时第 5 跖骨头所受的压力越大,这说明年龄与足底力学变化具有相关性<sup>[18]</sup>。

张蔚然<sup>[29]</sup>研究发现,踇外翻合并膝骨关节炎的老年患者,前足的内侧足弓和第 1 跖骨的负荷会随体质量指数的增加和年龄的增长而增加,而这两处负荷的增加会影响跖趾关节和膝关节的运动功能和负荷。因此,年龄也是影响踇外翻足底压力的重要因素之一。

#### 3.4 步频和步速

步频是指人在单位时间内行走的步数,步速指人在单位时间内行走的距离,步速和步频、步长呈正相关。步频和步速与跖趾关节和踝关节的运动功能有关<sup>[30]</sup>。踇外翻跖趾关节力线异常会影响人体重心及前足的稳定,使步态周期中步长及步频发生变化<sup>[24,28]</sup>。胡琦<sup>[31]</sup>研究发现,一定范围内规律地增加行走速度对老年女性足底压力有影响,步速为  $4 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$  时双支撑相和单支撑相中脚跟内侧以及前脚掌外侧负荷增大,易出现足部损伤。

### 4 小结

踇外翻导致的前足畸形和疼痛,可严重影响患者的工作和生活<sup>[32]</sup>。测量、分析足底压力,可以获取人体在各种体态和运动状态下的力学参数和生理、病理机能参数,了解人体足底压力分布和步态特征<sup>[33]</sup>。测量踇外翻足底压力,分析影响踇外翻足底压力的影响因素,有利于为患者制定个性化的预防和治疗措施,达到精准治疗的目的。但目前的足底压力测试系统仍存在信号反应迟滞、材料使用寿命短及影响因素多等问题。随着人工智能与人体信息数字化技术的发展,足底压力测试系统在踇外翻治疗和康复中的应用将拥有更广阔的前景。

#### 参考文献

- [1] 陈兆军.《踇外翻诊疗专家共识》解读[J]. 足踝外科电子杂志,2021,8(3):1-4.
- [2] 马冬,王懿凝,徐楚江,等. Chevron 截骨术对踇外翻足关节接触特征影响的生物力学研究[J]. 中国临床解剖学杂志,2023,41(1):81-86.
- [3] 黄萍,钱念东,齐进,等. 拇外翻发病危险因素与足底压力特征[J]. 中国组织工程研究,2016,20(42):6351-6356.
- [4] 鄯淑燕,张庆民,张致媛,等. 拇外翻对前足底压力分布的改变[J]. 医用生物力学,2010,25(3):224-229.
- [5] 曹旭含. 微创治疗拇外翻在步态周期中截骨端位移与跖痛症量化关系的有限元研究[D]. 北京:中国中医科学院,2022.
- [6] GONZÁLEZ-MARTÍN C, ALONSO-TAJES F, PÉREZ-GARCÍA

- S, et al. Hallux valgus in a random population in Spain and its impact on quality of life and functionality [J]. *Rheumatol Int*, 2017, 37(11): 1899 - 1907.
- [7] WEN J, DING Q, YU Z, et al. Adaptive changes of foot pressure in hallux valgus patients [J]. *Gait Posture*, 2012, 36(3): 344 - 349.
- [8] 颜晓霞, 俞艳, 姜淑云, 等. 儿童青少年拇外翻的评估和康复研究现状 [J]. *医学研究生学报*, 2022, 35(1): 103 - 108.
- [9] BUDDHADEV H H, BARBEE C E. Redistribution of joint moments and work in older women with and without hallux valgus at two walking speeds [J]. *Gait Posture*, 2020, 77: 112 - 117.
- [10] BARBEE C E, BUDDHADEV H H, CHALMERS G R, et al. The effects of hallux valgus and walking speed on dynamic balance in older adults [J]. *Gait Posture*, 2020, 80: 137 - 142.
- [11] KIM E J, SHIN H S, TAKATORI N, et al. Inter-segmental foot kinematics during gait in elderly females according to the severity of hallux valgus [J]. *J Orthop Res*, 2020, 38(11): 2409 - 2418.
- [12] 李建设, 王立平. 足底压力测量技术在生物力学研究中的应用与进展 [J]. *北京体育大学学报*, 2005, 28(2): 191 - 193.
- [13] 李攀, 蒋敏, 向超, 等. 基于多传感器的可穿戴式足底压力测试系统研发及临床应用 [J]. *中国医学装备*, 2019, 16(3): 1 - 5.
- [14] XIANG L, MEI Q, WANG A, et al. Gait biomechanics evaluation of the treatment effects for hallux valgus patients: a systematic review and meta-analysis [J]. *Gait Posture*, 2022, 94: 67 - 78.
- [15] MIRANDA M A M, MARTINS C, CORTEGANA I M, et al. Complications on percutaneous hallux valgus surgery: a systematic review [J]. *J Foot Ankle Surg*, 2021, 60(3): 548 - 554.
- [16] TRNKA H J. Percutaneous, MIS and open hallux valgus surgery [J]. *EFORT Open Rev*, 2021, 6(6): 432 - 438.
- [17] MINNS R J, CRAXFORD A D. Pressure under the forefoot in rheumatoid arthritis. A comparison of static and dynamic methods of assessment [J]. *Clin Orthop Relat Res*, 1984(187): 235 - 242.
- [18] 陈思, 林新晓, 孙卫东, 等. 微创截骨治疗小趾囊炎足底压力变化 [J]. *中国矫形外科杂志*, 2021, 29(5): 428 - 432.
- [19] YAN Y, OU J, SHI H, et al. Plantar pressure and falling risk in older individuals: a cross-sectional study [J]. *J Foot Ankle Res*, 2023, 16(1): 14.
- [20] AHMED S, BUTTERWORTH P, BARWICK A, et al. Footwear and insole design parameters to prevent occurrence and recurrence of neuropathic plantar forefoot ulcers in patients with diabetes: a series of N-of-1 trial study protocol [J]. *Trials*, 2022, 23(1): 1017.
- [21] TONOGAI I, SAIRYO K. Temporary Kirschner wire fixation of the first metatarsophalangeal joint before osteotomy for hallux valgus [J]. *Int J Surg Case Rep*, 2021, 84: 106104.
- [22] 周海波, 张超, 吴李闯, 等. 足底压力测试系统在第 1 跖楔关节融合术后的疗效评价 [J]. *中国骨伤*, 2017, 30(6): 552 - 556.
- [23] PERRY J, BURNFIELD J M. 步态分析: 正常和病理功能 [M]. 姜淑云, 译. 上海: 上海科学技术出版社, 2017: 41 - 94.
- [24] 俞艳, 姜淑云, 李阳, 等. 基于三维步态分析技术对拇外翻儿童步态变化的研究 [J]. *中国运动医学杂志*, 2021, 40(4): 259 - 264.
- [25] HOFMANN U K, GÖTZE M, WIESENREITER K, et al. Transfer of plantar pressure from the medial to the central forefoot in patients with hallux valgus [J]. *BMC Musculoskelet Disord*, 2019, 20(1): 149.
- [26] LAI Y C, LIN H S, PAN H F, et al. Impact of foot progression angle on the distribution of plantar pressure in normal children [J]. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*, 2014, 29(2): 196 - 200.
- [27] 王明鑫, 俞光荣. 正常人足底压力分析的研究进展 [J]. *中国矫形外科杂志*, 2006, 14(22): 1722 - 1724.
- [28] 俞艳. 儿童拇外翻对于步态模式的影响及干预效果研究 [D]. 上海: 上海中医药大学, 2020.
- [29] 张蔚然. 拇外翻对膝关节炎患者胫骨前肌和腓骨长肌弹性模量的影响观察 [D]. 济南: 山东大学, 2020.
- [30] CARAVAGGI P, LEARDINI A, CROMPTON R. Kinematic correlates of walking cadence in the foot [J]. *J Biomech*, 2010, 43(12): 2425 - 2433.
- [31] 胡琦. 不同步速下老年人双支撑相足底压力分析 [D]. 宁波: 宁波大学, 2020.
- [32] 程爱民, 单清洁, 郝光亮, 等. 微创治疗拇外翻联合桃红接骨胶的临床效果分析 [J]. *中华中医药学刊*, 2023, 41(11): 38 - 41.
- [33] 魏孟田, 及化娟, 李立. 足底压力测试技术在不同人群中的应用 [J]. *中国组织工程研究与临床康复*, 2010, 14(50): 9425 - 9428.