

## 2型糖尿病患者足底压力分析的研究进展

何 静, 樊 勇\*

新疆医科大学第一附属医院内分泌科, 新疆 乌鲁木齐

收稿日期: 2023年2月8日; 录用日期: 2023年3月6日; 发布日期: 2023年3月13日

### 摘 要

糖尿病足作为2型糖尿病严重的并发症, 截肢率即死亡率较非糖尿病足病人升高。及早识别糖尿病足前期风险对改善患者预后至关重要。足底压力检测作为一项无创、经济的检查手段, 可评估糖尿病足风险, 及时干预延缓病情进展。

### 关键词

2型糖尿病, 足底压力

## Research Progress of Plantar Pressure Analysis in Patients with Type 2 Diabetes Mellitus

Jing He, Yong Fan\*

Department of Endocrinology, First Affiliated Hospital of Xinjiang Medical University, Urumqi Xinjiang

Received: Feb. 8<sup>th</sup>, 2023; accepted: Mar. 6<sup>th</sup>, 2023; published: Mar. 13<sup>th</sup>, 2023

### Abstract

Diabetic foot is a serious complication of type 2 diabetes. The rate of amputation or death is higher in patients with than in those without. Early recognition to identify prediabetic foot risk is essential to improve patient outcomes. As a non-invasive and economical examination method, plantar pressure measurement can assess the risk of diabetic foot and intervene in time to delay the progress of the disease.

\*通讯作者。

## Keywords

### Type 2 Diabetes Mellitus, Plantar Pressure

Copyright © 2023 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

2型糖尿病(Type 2 diabetes meuitus, T2 DM)作为我国的常见病及多发病,主要表现为长期血糖偏高,高糖毒性及代谢紊乱的长时间积累会引起神经血管病变,导致糖尿病足。糖尿病足病情重、治疗难度大、医疗花费高,是造成非外伤性截肢的主要原因。糖尿病患者一生中发展为足部溃疡的风险约 19%~34%,且治愈后容易复发,一年内复发率为 40%,五年内为 65% [1]。使用足底压力技术早期识别糖尿病足溃疡风险并做好宣教及针对性处理,不仅能减轻糖尿病家庭及社会的经济负担,也能改善糖尿病患者长期预后[2]。

## 2. 足底压力概念

人由于自身重量的影响,在站立静止不动或在动态走路时,地面都从垂直方向向上给人足底一个反作用力,而这种作用力也就是足底压力[3]。人类足底压力的分布特征可以体现足部的构造、功能以及对全身姿态控制等的状况[4]。据分析足底压力的分布特征,可获得人类在各种运动状态下的力学和运动机能参数[5]。

美国足部医学会的研究报告表明正常人在走路时,足部所负担的地面反作用力可超过自身重量的 1.5 倍,而奔跑时则可超过重量的 3~4 倍[4]。在我国非糖尿病人患者行走时足底峰值压力为(2.96 ± 0.66) kg/cm<sup>2</sup>,各部位峰值压力从低到高一次是:第 3~5 趾 < 足中部 < 第 2 趾 < 大拇趾 < 第 3~5 跖骨 < 第 1 跖骨 < 足跟 < 第 2 跖骨。足底各部位承受的压力在性别和左右足之间无差异。如果足底压力过高,将会导致足底溃疡、应力性骨折等[6]。

## 3. 足底压力与糖尿病人足部溃疡相关性

糖尿病足溃疡患者生活质量显著降低,发病率和死亡率明显增加,给医疗资源带来巨大负担。造成糖尿病足溃疡最常见的原因是周围神经病变、外周动脉疾病,微血管病变、骨痂和足部畸形也参与其中。

当 2 型糖尿病合并周围神经病变时,感觉神经受累使皮肤及保护感逐渐减退,易使足部反复受到损伤;自主神经病变一方面引起血液循环不畅导致足部肿胀,另一方面因汗腺排汗减少,皮肤干燥、硬化形成胼胝体,从而进一步导致足底压力升高,甚至发展为足部溃疡[7];运动神经病变导致足部肌肉组织萎缩、关节畸形(爪状趾、锤状趾、踇外翻和跖骨头突出等)及关节灵活度降低,进而引发足弓塌陷,使足底局部区域压力升高[8]。以上问题将导致足底某区域压力异常升高甚至足溃疡发生。

足底压力增高是发生足溃疡的独立危险因素,约有 70%~90%的相关性[9]。足溃疡在发生之前可观测到足底压力异常增高及分布。在荷兰和埃及足底压力测量已作为评估糖尿病足溃疡风险的常规项目[10][11]。澳大利亚亦推荐糖尿病患者每年评估足底压力以预防足部并发症降低截肢率[12]。

## 4.2 型糖尿病患者足底压力研究进展

### 4.1. 足底压力

峰值压力是指所选定的步态周期内, 每一个足区在实验过程中受到的最大压力, 其部位和大小的对于足部疲劳的积累和损伤的发生具有重要影响[13]。发生足底溃疡的患者峰值压力显著高于无溃疡的糖尿病患者, 足底某一区域峰值压力的改变可成为足溃疡评估与防治的重要先兆指标[14]。国内外对此展开多项研究, 提出的观点各不相同。OWINGS 等[15]提出以足底峰值压力 200 Pa 作为临界点, 超过这个数值可提示发生足溃疡呈高风险。Fawzy 等则[11]建议将足峰值压力 355 Pa 作为预防溃疡的安全阈值。目前暂无统一参考范围, 有待继续研究填补空白。

随着糖尿病病程进展, 在各种因素共同作用下, 足底各区的压力峰值及分布也出现不同的改变。严励[16]等研究结果显示, 糖尿病患者足底压力峰值在足跟内侧和外侧、第 1~4 跖骨和大脚趾区域异常升高, 在足中部的峰值压力没有明显差异。但张建国等[17]则表明随着糖尿病病程的增长, 其足前部各区域的足底压力明显升高, 足底峰值压力显著地向前足跖骨部位偏移。多项研究发现[7] [18], 2 型糖尿病患者足底最大压力由第 2 跖骨转移到第 3 跖骨或第 4 跖骨, 可能是因为周围神经病变导致前足足底的纤维帽向远端迁移, 当足底脂肪垫变形产生异位时, 足底局部缓冲力降低, 压力增大[19]。王峥等人[20]发现糖尿病患者双足大脚趾压力最大。

对于足底峰值压力升高区域, 研究定论不同。如李世光等[21]对 2 型糖尿病神经病变人群的足底压力特点开展了深入研究, 结论表明 2 型糖尿病周围神经病变组在第 2、3、5 跖骨的顶峰压强显然大于正常对照组。而谢翠华等[22]的研究表明, 糖尿病患者的足后跟内侧及外侧、第 1~4 跖骨、大脚趾区域的足底压力峰值异常升高, 足中部峰值压力无明显差异。王爱红等[23]亦发现第 3、5 跖骨和大脚趾足底压力增高, 峰值时间延长。但多项研究结果表明 2 型糖尿病患者前足第 2~5 跖骨区域峰值压力增大, 前足承担负重较大。如果 2 型糖尿病患者前脚掌的足压增加或长时间积聚, 会造成患者脚部的感觉减退, 引起发炎和感染危险性上升, 从而引发溃疡[24]。

### 4.2. 峰值时间百分比

峰值时间百分比指在一个步态周期内, 每一个足区出现峰值压力的时间占整个步态的百分比, 可以反映某一足区峰值时间出现的时间多少[25]。峰值压力高且峰值时间百分比高的足区更容易出现问题, 甚至发展为足底溃疡[26]。糖尿病患者的足底受压时间较正常人延长[27], 在左右足有明显差异[28]。

### 4.3. 冲量

冲量也叫压力 - 时间积分, 是指作用于足底的反作用力与力作用时间的乘积, 是力的时间累积效应的量度。行走过程中足底的冲量越大, 说明足部受到的冲击越大, 足部受伤的几率越大。正常人在自然行走时, 在第 2、3 跖骨和足跟部着地冲量最大。有相关研究[29]表明, 在评价足底所承受压力负荷时, 冲量较单纯的峰值压力更有说服力。足底发生病变神经病变之前, 冲量可以作为早期提示。2 型糖尿病患者前足的冲量在第 2、3 跖骨区较非糖尿病人增大, 但当患者发展到糖尿病足以后, 足底压力向中足区转移[17]。

### 4.4. 压强

压强是垂直作用于单位面积上的力, 用来比较力产生的效果, 压强峰值太大是对足部造成损伤的原因之一。足部结构和功能的异常均可导致足底产生异常的压强峰值。足底压强峰值反映足底压力分布情况, 大量关于神经性足部疾病、糖尿病足和矫形足的临床研究都以压强峰值作为重要的诊断指标[5] [30]

[31] [32]。Lavery 等[12]研究提示足底压强 87.5 kPa 为足溃疡发生的临界点, 若超过此数值发生足溃疡的风险将增加 2 倍。Arm-strong 的研究表明有足部溃疡的糖尿病患者比没有足部溃疡的糖尿病患者足底平均压强峰值更高, 足底溃疡主要发生在第 1~3 跖骨区和大脚趾处[33]。对于大脚趾压强峰值, Uccioli 等[34]研究表明糖尿病神经病变患者显著低于正常人, 但 Ko 等[35]研究结论提示大脚趾峰值压强增加, 这可能与是因周围神经病变产生的差异。

## 5. 预防足底压力升高

### 5.1. 足部护理知识宣教

糖尿病人应定期行足部检查, 保持足部清洁, 选择合适鞋袜, 定时修剪指甲等。对足部保护知识知晓率越高, 足底压力越低, 足溃疡的发生率就越小。

### 5.2. 选择合适鞋及鞋垫

预防和治疗糖尿病病人的足溃疡效果最显著的是使用不可拆卸的减压装置和减压鞋, 选择不同的鞋靴将影响足底压力及糖尿病患者的足部治疗。不合适的鞋靴会导致足部胼胝的产生, 其中运动鞋对足部的影响最小。长期穿着减压鞋垫能对足底压力的异常升高起到缓冲作用, 继而预防糖尿病患者发生足部溃疡。研究表明坚持且正确地穿着矫形鞋后足溃疡复发的风险可降低 46% [36]。

### 5.3. 去除胼胝

73.83%的 2 型糖尿病患者足底存在胼胝, 胼胝患者足底最大峰值压力和压力持续时间都显著升高, 建议胼胝患者及时规律去除胼胝, 可将足底峰值压力减轻一半以上。

### 5.4. 跟腱延长术及注射液体硅树胶

跟腱延长术通过改变足底跖屈力量而降低前足压力。跖骨下液体硅胶可使局部足底厚度增加, 足底压力降低, 骨痂形成减少。糖尿病患者注射硅胶后在 3、6 和 12 个月时足底压力峰值均显著降低[37]。

## 6. 总结

2 型糖尿病患者长期慢性高血糖导致神经病变, 引起足底压力升高并向前足转移, 甚至可引起足部溃疡。足底压力检测作为一项经济、安全、无创的检查手段, 可早期识别 2 型糖尿病足溃疡风险人群, 针对性给予足部保护知识宣教等, 防止发展为糖尿病足, 对临床具有指导意义。

## 参考文献

- [1] Reardon, R., Simring, D., Kim, B., *et al.* (2020) The Diabetic Foot Ulcer. *Australian Journal of General Practice*, **49**, 250-255. <https://doi.org/10.31128/AJGP-11-19-5161>
- [2] 卜月丽. 糖尿病足及前期病变人群足底压力分析与应用研究[D]: [硕士学位论文]. 天津: 天津科技大学, 2019.
- [3] 盛欣. 不同年龄阶段老年人足底压力变化特征的研究[D]: [硕士学位论文]. 秦皇岛: 燕山大学, 2018.
- [4] 马新颖, 满意. 不同年龄段人群行走足底压力特征分析[J]. 医用生物力学, 2020, 35(1): 108-113.
- [5] 宋礼文, 向长城, 邱达, 等. 基于足底压力分布的足部运动特征提取[J]. 医用生物力学, 2021, 36(3): 431-436.
- [6] Abbott, C.A., Chatwin, K.E., Rajbhandari, S.M., *et al.* (2022) Site-Specific, Critical Threshold Barefoot Peak Plantar Pressure Associated with Diabetic Foot Ulcer History: A Novel Approach to Determine DFU Risk in the Clinical Setting. *Medicina (Kaunas)*, **58**, 166. <https://doi.org/10.3390/medicina58020166>
- [7] 贾川, 瞿玉兴. 糖尿病足步态变化的研究进展[J]. 医学综述, 2018, 24(20): 4086-4091.
- [8] 沈雯琦, 刘芳. 步态分析在糖尿病周围神经病变患者中的研究进展[J]. 中华糖尿病杂志, 2019(8): 558-561.

- [9] 李文霞, 罗祥蓉, 曹瑛, 等. 糖尿病周围神经病变患者足底压力与步态的变化[J]. 广东医学, 2017, 38(6): 859-863.
- [10] Bennetts, C.J., Owings, T.M., Erdemir, A., *et al.* (2013) Clustering and Classification of Regional Peak Plantar Pressures of Diabetic Feet. *Journal of Biomechanics*, **46**, 19-25. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2012.09.007>
- [11] Fawzy, O.A., Arafa, A.I., El, W.M., *et al.* (2014) Plantar Pressure as a Risk Assessment Tool for Diabetic Foot Ulceration in Egyptian Patients with Diabetes. *Clinical Medicine Insights: Endocrinology and Diabetes*, **7**, 31-39. <https://doi.org/10.4137/CMED.S17088>
- [12] Lavery, L.A., Armstrong, D.G., Wunderlich, R.P., *et al.* (2003) Predictive Value of Foot Pressure Assessment as Part of a Population-Based Diabetes Disease Management Program. *Diabetes Care*, **26**, 1069-1073. <https://doi.org/10.2337/diacare.26.4.1069>
- [13] 章献忠. FootScan 足底压力步态分析技术在鞋类设计中的应用[J]. 西部皮革, 2012, 34(17): 35-38.
- [14] Garcia-Madrid, M., Garcia-Alvarez, Y., Sanz-Corbalan, I., *et al.* (2022) Predictive Value of Forefoot Plantar Pressure to Predict Reulceration in Patients at High Risk. *Diabetes Research and Clinical Practice*, **189**, Article ID: 109976. <https://doi.org/10.1016/j.diabres.2022.109976>
- [15] Owings, T.M., Apelqvist, J., Stenstrom, A., *et al.* (2009) Plantar Pressures in Diabetic Patients with Foot Ulcers Which Have Remained Healed. *Diabetic Medicine*, **26**, 1141-1146. <https://doi.org/10.1111/j.1464-5491.2009.02835.x>
- [16] 查盼盼, Bista Raju, 王椿. 足底压力与糖尿病[J]. 华西医学, 2018, 33(5): 593-597.
- [17] 张建国, 卜月丽, 王芳, 等. 糖尿病人群自然步态下足底压力分布研究[J]. 天津科技大学学报, 2020, 35(4): 53-57.
- [18] 万蓬勃, 赵旭梅, 弓太生, 等. 糖尿病患者足部异常状况和足底压力特征研究[J]. 中国皮革, 2019, 48(1): 34-42.
- [19] Bus, S.A., Akkerman, E.M. and Maas, M. (2021) Changes in Sub-Calcaneal Fat Pad Composition and Their Association with Dynamic Plantar Foot Pressure in People with Diabetic Neuropathy. *Clinical Biomechanics (Bristol, Avon)*, **88**, Article ID: 105441. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2021.105441>
- [20] 王峥, 白姣姣, 孙皎, 等. 社区 2 型糖尿病患者足底溃疡高风险区域分布的调查[J]. 老年医学与保健, 2014, 20(2): 114-116, 133.
- [21] 李世光, 贾红毅, 赵建波. 糖尿病患者与健康人足底压力分布特征的比较[J]. 中国糖尿病杂志, 2013, 21(5): 439-441.
- [22] Hastings, M.K., Gelber, J.R., Isaac, E.J., *et al.* (2010) Foot Progression Angle and Medial Loading in Individuals with Diabetes Mellitus, Peripheral Neuropathy, and a Foot Ulcer. *Gait & Posture*, **32**, 237-241. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2010.05.004>
- [23] 王爱红, 李家兰, 许樟荣, 等. 2 型糖尿病患者的足底压力研究[J]. 中华内分泌代谢杂志, 2005(6): 500-501.
- [24] Cao, Z., Wang, F., Li, X., *et al.* (2022) Characteristics of Plantar Pressure Distribution in Diabetes with or without Diabetic Peripheral Neuropathy and Peripheral Arterial Disease. *Journal of Healthcare Engineering*, **2022**, Article ID: 2437831. <https://doi.org/10.1155/2022/2437831>
- [25] 李晓林. 老年 II 型糖尿病患者自然行走时足底压力研究及应用[D]: [硕士学位论文]. 天津: 天津科技大学, 2019.
- [26] 卜月丽, 王芳, 张建国, 等. 老年糖尿病患者的足底压力及步态特征[J]. 中国组织工程研究, 2020, 24(5): 736-740.
- [27] Abboud, R.J., Rowley, D.I. and Newton, R.W. (2000) Lower Limb Muscle Dysfunction May Contribute to Foot Ulceration in Diabetic Patients. *Clinical Biomechanics (Bristol, Avon)*, **15**, 37-45. [https://doi.org/10.1016/S0268-0033\(99\)00038-8](https://doi.org/10.1016/S0268-0033(99)00038-8)
- [28] Perry, J.E., Hall, J.O. and Davis, B.L. (2002) Simultaneous Measurement of Plantar Pressure and Shear Forces in Diabetic Individuals. *Gait & Posture*, **15**, 101-107. [https://doi.org/10.1016/S0966-6362\(01\)00176-X](https://doi.org/10.1016/S0966-6362(01)00176-X)
- [29] Bacarin, T.A., Sacco, I.C. and Hennig, E.M. (2009) Plantar Pressure Distribution Patterns during Gait in Diabetic Neuropathy Patients with a History of Foot Ulcers. *Clinics (Sao Paulo)*, **64**, 113-120. <https://doi.org/10.1590/S1807-59322009000200008>
- [30] 章浩伟, 孙洋洋, 刘颖, 等. 基于三维膝-踝-足有限元模型的足跟痛足底压力生物力学分析[J]. 医用生物力学, 2017, 32(5): 436-441.
- [31] 高娟, 杜冬青. 针灸联合西医治疗对急性期脑梗死患者足底压力等生物力学参数变化的观察[J]. 针灸临床杂志, 2017, 33(9): 24-27.
- [32] 柏豪豪. 自然行走和负重对正常人体步态影响的研究[D]: [硕士学位论文]. 天津: 天津医科大学, 2017.
- [33] Kwon, O.Y. and Mueller, M.J. (2001) Walking Patterns Used to Reduce Forefoot Plantar Pressures in People with Diabetic Neuropathies. *Physical Therapy*, **81**, 828-835. <https://doi.org/10.1093/ptj/81.2.828>

- 
- [34] Uccioli, L., Caselli, A., Giacomozzi, C., *et al.* (2001) Pattern of Abnormal Tangential Forces in the Diabetic Neuropathic Foot. *Clinical Biomechanics (Bristol, Avon)*, **16**, 446-454. [https://doi.org/10.1016/S0268-0033\(01\)00015-8](https://doi.org/10.1016/S0268-0033(01)00015-8)
- [35] Ko, M., Hughes, L. and Lewis, H. (2012) Walking Speed and Peak Plantar Pressure Distribution during Barefoot Walking in Persons with Diabetes. *Physiotherapy Research International*, **17**, 29-35. <https://doi.org/10.1002/pri.509>
- [36] Merriwether, E.N., Hastings, M.K., Bohnert, K.L., *et al.* (2016) Impact of Foot Progression Angle Modification on Plantar Loading in Individuals with Diabetes Mellitus and Peripheral Neuropathy. *Edorium™ Journal of Disability and Rehabilitation*, **2**, 15-23. <https://doi.org/10.5348/D05-2016-7-OA-3>
- [37] van Schie, C.H., Whalley, A., Vileikyte, L., *et al.* (2000) Efficacy of Injected Liquid Silicone in the Diabetic Foot to Reduce Risk Factors for Ulceration: A Randomized Double-Blind Placebo-Controlled Trial. *Diabetes Care*, **23**, 634-638. <https://doi.org/10.2337/diacare.23.5.634>