

· 临床研究 ·

正常人足底压力分布及其影响因素分析

袁刚 张木勋 王中琴 张建华

【摘要】目的 检测中国正常成人足底压力分布及其影响因素,为足底压力在各领域的应用提供基线数据。**方法** 使用自行研制的足底压力测量仪,检测 158 例正常人静态和动态足底峰值压力和各部位最大压力。**结果** 正常人平均动态和静态足底峰值压力分别为 $(2.96 \pm 0.66) \text{ kg/cm}^2$ 和 $(1.28 \pm 0.33) \text{ kg/cm}^2$; 除足弓区域静态最大压力右足 $[(0.38 \pm 0.17) \text{ kg/cm}^2]$ 略大于左足 $[(0.35 \pm 0.13) \text{ kg/cm}^2]$ 外,双足各部位动态和静态最大压力无明显差异;男性、女性动态 $[(2.87 \pm 0.58) \text{ kg/cm}^2]$ 和 $[(3.07 \pm 0.77) \text{ kg/cm}^2]$ 和静态 $[(1.27 \pm 0.34) \text{ kg/cm}^2]$ 和 $[(1.28 \pm 0.32) \text{ kg/cm}^2]$ 最大峰值足底压力无明显统计学差异;静态峰值足压与体重指数 (BMI) 弱正相关, $r = 0.185 (P = 0.03)$; 动态峰值足压与年龄、体重和 BMI 弱正相关,相关系数分别为 $0.175 (P = 0.03)$ 、 $0.21 (P = 0.009)$ 、 $0.245 (P = 0.002)$ 。**结论** 正常人静态和动态足底压力分布不同,双足压力分布对称,动态和静态峰值足压与年龄、性别、身高、体重相关性较弱。

【关键词】 足底压力; 足底压力测量仪

The distribution of foot pressure and its influence factors in Chinese people YUAN Gang*, ZHANG Mu-xun, WANG Zhong-qin, ZHANG Jian-hua. * Department of Internal Medicine, Tongji Hospital, Tongji Medical College, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430030, China

【Abstract】Objective To investigate the distribution of foot pressure and its influence factors in Chinese people and to provide the baseline data. **Methods** Using an foot-pressure measurement instrument developed by the authors, the static and dynamic foot-pressure including the maximum pressure (MP) in every region of foot and the peak foot pressure (PFP) were measured in 158 normal individuals. **Results** The average static and dynamic PFP of 158 subjects were $1.28 \pm 0.33 \text{ kg/cm}^2$ and $2.96 \pm 0.66 \text{ kg/cm}^2$, respectively. Static PFP presented on the heel in 82% of cases and dynamic PFP on the second metatarsal in 57% cases, but there were no significant differences between the male and the female (static PFP: $1.27 \pm 0.34 \text{ kg/cm}^2$ in male and $1.28 \pm 0.32 \text{ kg/cm}^2$ in female, $P = 0.86$. dynamic PFP: $2.87 \pm 0.58 \text{ kg/cm}^2$ in male and $3.07 \pm 0.77 \text{ kg/cm}^2$ in female, $P = 0.12$). No significant differences between left and right foot was found in the static and dynamic MP in every region with exception of the static MP in the midfoot (0.38 ± 0.17 in the right vs $0.35 \pm 0.13 \text{ kg/cm}^2$ in the left, $P = 0.047$). Static PFP was weakly correlated with the BMI ($r = 0.185$) and dynamic PFP with age ($r = 0.175$), weight ($r = 0.21$) and BMI ($r = 0.245$). **Conclusion** The pressure distributed equivalently on left and right foot in the healthy subjects, but there were differences between standing and walking. The static and dynamic foot pressure were not strongly correlated to age, sex, height, weight and BMI.

【Key words】 Foot pressure; Foot-pressure measurement instrument

人体足底压力分布反映有关足的结构、功能及整个身体姿势控制等情况。测试、分析足底压力,可以获取人体在各体态和运动下的生理、病理力学参数和机能参数,这对临床医学诊断、疾患程度测定、术后疗效评价、生物力学及康复研究均有重要意义^[1]。

目前,国内对足底压力的研究较少,缺乏较大样本的足底压力资料。由于不同人种的足底压力明显不同^[2],因此,我们使用自行研制的动态足底压力测量仪,检测 158 例中国湖北正常人的静态和动态足底压力分布及其影响因素,为足底压力在各领域的应用研究提供基线数据。

资料和方法

一、研究对象

158 例正常人接受检测,无足部畸形、异常步态和足部外伤史,足踝关节活动正常。受试者中,男 97 例,平均年龄 44.4 岁 (18 ~ 69 岁),平均体重 71.3 kg (43 ~ 113 kg); 女 61 例,平均年龄 49.3 岁 (22 ~ 70 岁),平均体重 62.1 kg (48 ~ 86 kg),其一般情况见表 1。

表 1 受试者一般情况比较 ($\bar{x} \pm s$)

性别	例数	年龄(岁)	身高(cm)	体重(kg)	体重指数 (kg/m^2)
男	97	44.4 ± 10.9 *	169.0 ± 5.5 *	71.3 ± 11.4 *	24.9 ± 3.6
女	61	49.3 ± 11.4	157.8 ± 3.2	62.1 ± 8.6	24.9 ± 3.2

注: * 与女性相比, $P < 0.01$

作者单位: 430030 武汉, 华中科技大学同济医学院附属同济医院内分泌科 (袁刚、张木勋、张建华); 湖北省荆门市第一医院内科 (王中琴)

二、测试仪器

使用自行研制的动态足底压力测量仪(获国家专利,专利号:ZL 02228378.1)检测足底压力。测量仪包括测力板和控制系统,测力板由 200 个直径为 1.3 cm 的压力传感器组成,面积为 30 cm × 15 cm。以 100 Hz 频率采集足底压力,结果输入计算机,运用自行设计的软件分析,以颜色或数值 2 种方式显示足底各部位压力动态变化。每一个压力传感器的测量范围为 0 ~ 15 kg,最小分辨率为 25 g,一致性为 ±25 g。

三、检测方法

测试时,受试者脱鞋、穿袜,分别测试:(1)静态足压,受试者双足并立站在测力板上,由测量仪采集双足静态足底压力分布;(2)动态足压,受试者以正常步态和平常速度(95 ~ 117 步/min)行走,由测量仪采集双足各 3 次动态足底压力分布。

分析时将足底分为 8 个区域:足跟、足弓、第 1 跖骨头、第 2 跖骨头、第 3 ~ 5 跖骨头、第 1 趾、第 2 趾、第 3 ~ 5 趾。计算 3 次测量的平均足底最大峰值压力和各部位平均最大压力值。

四、统计学分析

所有数据处理均应用 SPSS 10.0 软件,用简单描述性统计,结果用($\bar{x} \pm s$)表示,并计算 95% 可信区间;组间比较采用 t 检验。足底最大峰值压力与体重、年龄、身高和体重指数的关系采用 Pearson 相关分析。

结 果

一、静态足底压力分布

平均静态足底最大峰值压力为(1.28 ± 0.33) kg/cm²,95% 可信区间为 1.22 ~ 1.33 kg/cm²,静态足底最大峰值压力分别出现于左足跟 72 例、右足跟 57 例、左第 1 跖骨头 2 例、左第 2 跖骨头 10 例、左第 3 ~ 5 跖骨头 3 例、右第 1 跖骨头 4 例、右第 2 跖骨头 9 例、右第 3 ~ 5 跖骨头 1 例。绝大多数位于足跟(129/158, 82%),提示站立位时大多数人足跟承受压力最大。

静态足底各部位最大压力分布见表 2。由表可见

除足弓区域最大压力右足略大于左足($P=0.047$)外,左、右足底各部位压力均无明显差异,提示正常人站立时双足承受压力相似。足底各部位承受压力从大至小依次为:足跟、第 2 跖骨头、第 1 跖骨头、第 3 ~ 5 跖骨头、足弓、第 1 趾、第 2 趾、第 3 ~ 5 趾。

二、动态足底压力分布

平均动态足底最大峰值压力为(2.96 ± 0.66) kg/cm²,95% 可信区间为($2.85 \sim 3.06$) kg/cm²,动态足底最大压力分别出现于左足跟 12 例、右足跟 13 例、左第 1 趾 2 例、右第 1 趾 8 例、左第 1 跖骨头 6 例、左第 2 跖骨头 49 例、左第 3 ~ 5 跖骨头 4 例、右第 1 跖骨头 10 例、右第 2 跖骨头 41 例、右第 3 ~ 5 跖骨头 12 例、右足弓 1 例。可见行走时足底最大压力主要位于第 2 跖骨头(90/158, 57%)和足跟(25/158, 16%)。

动态足底各部位最大压力分布见表 3。由表中可见正常人行走时双足底各部位压力无明显差异,说明正常人双足承受压力对称。行走时足底各部位承受压力从大至小依次为:第 2 跖骨头、足跟、第 1 跖骨头、第 3 ~ 5 跖骨头、第 1 趾、第 2 趾、足弓、第 3 ~ 5 趾。

三、足底压力影响因素

男性、女性动态最大峰值足底压力分别为(2.87 ± 0.58) kg/cm² 和 (3.07 ± 0.77) kg/cm² ($P=0.12$),静态最大峰值足底压力分别为(1.27 ± 0.34) kg/cm² 和 (1.28 ± 0.32) kg/cm² ($P=0.86$),差异均无显著性意义。但由于女性体重小于男性,将最大足底压力表示为体重的百分数,则站立和行走时女性均明显高于男性(静态:2.096% ± 0.563% vs 1.816% ± 0.557%, $P < 0.01$; 动态:4.989% ± 1.217% vs 4.120% ± 0.891%, $P < 0.001$)。

表 4 为动、静态峰值足压与年龄、身高、体重和体重指数的 Pearson 相关分析,显示静态峰值足压与体重指数弱正相关, $r=0.185$ ($P=0.03$);动态峰值足压与年龄、体重和体重指数弱正相关,相关系数分别为 0.175 ($P=0.03$)、0.21 ($P=0.009$)、0.245 ($P=0.002$)。

表 2 静态足底各部位最大压力分布(kg/cm²)

部 位	左 足		右 足	
	峰值压力	95% 可信区间	峰值压力	95% 可信区间
足跟	1.10 ± 0.34	1.04 ~ 1.16	1.06 ± 0.35	0.99 ~ 1.12
足弓	0.35 ± 0.13	0.32 ~ 0.37	0.38 ± 0.17*	0.35 ~ 0.41
第 1 趾	0.31 ± 0.16	0.28 ~ 0.34	0.33 ± 0.16	0.30 ~ 0.36
第 2 趾	0.21 ± 0.10	0.19 ~ 0.22	0.21 ± 0.10	0.19 ~ 0.23
第 3 ~ 5 趾	0.18 ± 0.08	0.16 ~ 0.19	0.16 ± 0.07	0.15 ~ 0.18
第 1 跖骨头	0.61 ± 0.22	0.57 ~ 0.65	0.59 ± 0.21	0.55 ~ 0.62
第 2 跖骨头	0.73 ± 0.27	0.69 ~ 0.78	0.68 ± 0.24	0.64 ~ 0.72
第 3 ~ 5 跖骨头	0.49 ± 0.23	0.45 ~ 0.53	0.51 ± 0.20	0.47 ~ 0.54
平均峰值足压	1.16 ± 0.32	1.11 ~ 1.22	1.11 ± 0.33	1.05 ~ 1.16

注: * 与左足相比, $P=0.047$

表 3 动态足底各部位最大压力分布 (kg/cm^2)

部 位	左 足		右 足	
	峰值压力	95% 可信区间	峰值压力	95% 可信区间
足跟	2.11 ± 0.47	$2.04 \sim 2.19$	2.02 ± 0.48	$1.94 \sim 2.09$
足弓	0.68 ± 0.31	$0.63 \sim 0.73$	0.73 ± 0.39	$0.68 \sim 0.80$
第 1 趾	1.57 ± 0.63	$1.47 \sim 1.67$	1.68 ± 0.71	$1.57 \sim 1.80$
第 2 趾	0.73 ± 0.33	$0.68 \sim 0.78$	0.79 ± 0.35	$0.73 \sim 0.84$
第 3~5 趾	0.46 ± 0.25	$0.42 \sim 0.50$	0.45 ± 0.22	$0.41 \sim 0.48$
第 1 跖骨头	1.82 ± 0.65	$1.72 \sim 1.93$	1.81 ± 1.03	$1.65 \sim 1.97$
第 2 跖骨头	2.53 ± 0.68	$2.42 \sim 2.63$	2.42 ± 0.67	$2.30 \sim 2.51$
第 3~5 跖骨头	1.65 ± 0.70	$1.54 \sim 1.76$	1.65 ± 0.63	$1.55 \sim 1.75$
平均峰值足压	2.74 ± 0.67	$2.63 \sim 2.85$	2.73 ± 0.60	$2.64 \sim 2.83$

表 4 动、静态最大峰值足压与年龄、身高、体重和体重指数的 Pearson 相关分析

峰值足压	年龄	身高	体重	体重指数
动态峰值足压	0.175 *	0.021	0.21 **	0.245 **
静态峰值足压	0.098	-0.007	0.16	0.185 *

注: * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$

讨 论

站立及步行是人类最常见的运动,而站立和步行时足底与支撑面之间的压力分布反映了下肢乃至全身的生理、结构和功能等方面的信息。测量分析足底压力分布有助于临床医疗诊断、疗效评估和体育训练等。目前主要应用于糖尿病周围神经病变和糖尿病足溃疡的早期预测和诊断^[3,4]、骨科和矫形外科对关节疾患程度和手术术后疗效的定量化评定^[5]、康复医学中指导患者术后的行走训练和设计智能化假肢等领域。

本研究显示,正常人无论在站立位还是行走时,左、右足底压力分布基本相同,仅站立位时足弓区域右足峰值压力略大于左足,说明正常人站立和行走时步态正常,双足承受压力对称,从而可以避免异常高足底压力出现。

正常人站立时足底压力以后足为主,大多数人(82%)静态峰值足压位于足跟部位,其次为跖骨头区域,足趾承受压力较小。步行时足底压力较站立时明显增加且压力分布改变,超过 50% 的正常人动态峰值足压位于第 2 跖骨头,而足跟区域出现动态峰值足压仅占 16%,表明步行时足底最大压力前移,以前足跖骨头区域受压最大,并且第 1 趾也成为主要受力部位。另外,与站立时相比,步行时各部位压力变化也不同。足趾区压力增加达 3~5 倍,跖骨头区约为 3 倍,而足跟和足弓仅接近 2 倍。

本研究中检测正常中国人动、静态足底压力分布,结果显示平均动态和静态峰值足压分别为 $(2.96 \pm 0.66) \text{ kg}/\text{cm}^2$ 和 $(1.28 \pm 0.33) \text{ kg}/\text{cm}^2$, 低于资料显示的其他人种足底压力^[6,7] [从 $(3.41 \pm 0.54) \text{ kg}/\text{cm}^2$ 至 $(7.23 \pm 2.59) \text{ kg}/\text{cm}^2$] , 并且足压分布也不完全相

同。在行走过程中的足着地期、足放平期和足离地期,足底压力分别主要位于足跟、第 2 跖骨头(白种人为第 3~5 跖骨头)和第 1 趾,各部位最大压力由大到小依次为第 2 跖骨头、足跟、第 1 跖骨头、第 1 趾、第 3~5 跖骨头、第 2 趾、足弓、第 3~5 趾。前足最大压力以第 2 跖骨头最高,而白种人各部位最大压力由大到小依次为足跟、第 3~5 跖骨头、第 1 跖骨头、第 2 跖骨头、第 1 趾、足弓、第 3~5 趾、第 2 趾,前足最大压力以第 3~5 跖骨头最高。表明不同人种足底压力不同,应用时不能照搬和使用国外已有的数据和正常值。

理论上足底压力等于垂直压力与接触面积的商,故足底压力应该与体重明显相关,但本研究中,静态足底峰值压力与体重无明显相关,仅动态足底峰值压力与体重呈弱正相关,相关系数为 0.21。Cavanagh 等^[8]研究也显示白种人足底峰值压力与体重相关系数为 0.37,提示在足底压力的形成中,体重贡献仅为 13.8%。这一与直觉的结果不一致的原因可能由于体重和身高为正相关($r = 0.55, P = 0.00$),而身高与足的大小即足的接触面积呈正相关,因此体重较大者的足接触面积也较大,将高体重对足的压力分散从而不出现明显高足压。为同时增加身高的影响,我们将体重指数引入计算,发现体重指数与静态和动态足底压力相关性较体重好,显示明显正相关。另有研究显示^[7],虽然峰值足压与体重相关性不强,但足底各部位压力之和与体重明显正相关($r = 0.727, P < 0.001$),因为足底各部位压力之和主要反映体重以及身体前进动力之和。

本研究中成年人静态和动态足底峰值压力与年龄的相关系数分别为 0.098 和 0.175,提示足底峰值压力与年龄相关性较弱,并未发现老年人足底压力明显增加。但随着增龄的改变,人体足弓会发生退行性改变,可能影响足底压力分布。早期研究显示^[9],即使儿童和成年人相比,足底压力相差也很小,其原因同样是因为虽然儿童体重较轻,但同时身体尺寸也较小,故足底压力与成年人相差不大。Veves 等^[10]研究也显示年龄

和体重并不明显影响足底压力,并且正常人的足底压力并不随时间而变化。可能基于相同原因,虽然男性体重大于女性,但他们动态和静态足底峰值压力无明显差异。因此在本研究中并未依据年龄、性别、体重来分组计算,而是按照同一人群统一计算。

综上所述,我们检测 158 例正常中国成人足底压力,发现中国人足底压力大小和分布均与文献报道的其他种族人群不完全相同。正常人双足压力分布基本对称,男性和女性足底峰值压力无明显差异,年龄、身高、体重与足底峰值压力相关性不大。

参 考 文 献

- 1 王军,徐新智,刘亚平,等. 动态足底压应力测试分析及骨科临床应用. 医用生物力学,1997,12:170-174.
- 2 Frykberg RG, Lavery LA, Pham H, et al. Role of neuropathy and high foot pressures in diabetic foot ulceration. Diabetes Care,1998,21:1714-1719.
- 3 Pham H, Armstrong DG, Harvey C, et al. Screening techniques to identify people at high risk for diabetic foot ulceration. Diabetes Care,

2000,23:606-611.

- 4 袁刚,张木勋,张建华. 糖尿病患者足底压力研究. 中国糖尿病杂志,2002,5:262-264.
- 5 温建民,钟红刚,蒋科卫,等. 正常足与 外翻足的足底压力研究. 中华骨科杂志,1999,6:346-348.
- 6 Pitei DL, Lord M, Foster A, et al. Plantar pressures are elevated in the neuroischemic and the neuropathic diabetic foot. Diabetes Care, 1999, 22:1966-1970.
- 7 Sarnow MR, Veues A, Giurini JM, et al. In-shoe foot pressure measurements in diabetic patients with at-risk feet and in healthy subjects. Diabetes Care, 1994,9:1002-1006.
- 8 Cavanagh PR, Sims DS Jr, Sanders LJ. Body mass is a poor predictor of peak plantar pressure in diabetic men. Diabetes Care,1991,14:750-755.
- 9 Betts RP, Franks CI, Duckworth T, et al. Static and dynamic foot-pressure measurement in clinical orthopedics. Med Biol Eng Comput, 1980, 18:674-684.
- 10 Veves A, Fernando DJS, Walewski P, et al. A study of plantar pressures in a diabetic clinic population. Foot, 1991,1:89-91.

(收稿日期:2003-09-24)

(本文编辑:郭正成)

物理疗法治疗骨质疏松症患者的临床研究

张德清 王刚 林元平 罗盛飞 刘经星 段晓文

骨质疏松症(Osteoporosis,OP)是机体自然衰退、老化过程的组成部分,是系统性骨骼疾病。更是一种因骨量降低骨组织显微结构发生变化,导致骨力学强度下降,骨折危险性增加的疾病。随着人口老年化,OP 发病率不断增加,据 2000 年资料美国约有 1 400~2 500 万人患 OP,其中 OP 骨折者超过 800 万,随着我国人口的老龄化,OP 已成为一种危害公共健康的疾病之一^[1]。因此积极地预防和探讨治疗 OP 的方法和疗效,对 OP 患者的康复有着重要的意义。

资料与方法

一、一般资料

本文收集自 1998 年~2002 年的门诊和住院的 OP 患者 100 例。诊断标准依据 1996 年国际骨质疏松会议制订的诊断标准^[2]。100 例患者被随机分为治疗组和对照组。治疗组 60 例,其中男 22 例,女 38 例;年龄 35~70 岁;病程 30 d~12 年。对照组 40 例,其中男 20 例,女 20 例;年龄 35~76 岁;病程 30 d~10 年。2 组患者性别、年龄比较,差异无显著性意义。100 例 OP 患者的临床症状发生在颈椎、胸椎、腰椎、骶尾部、髋部、膝关节、踝关节部位或几处合并发生。

二、治疗方法

治疗组以运动疗法为主,加用物理因子治疗;对照组以中、西药物治疗为主,加针灸和拔火罐治疗。2 周为 1 个疗程,疗程

间休息 3 d,2 个疗程后进行评估。

(一)治疗组

1. 运动疗法:主要进行有氧运动和肌力练习,运动方式包括慢跑、快走、踏车和登台阶等,可直接起到刺激骨形成和抑制骨吸收的作用。①背部伸肌肌力练习:由坐位到俯卧位,每周 3~5 次,每次 5~10 min;②腹肌等长肌力练习:仰卧位、单膝屈曲,另一腿伸直,举起伸直腿 10 cm 高,维持 10 s,重复 15 次,每周 3~5 次。坐或站位收缩腹部和骨盆肌肉,每周 3~5 次,每次 3~5 min;③上肢肌力练习:主要为轻到中度抗阻运动,或行肩背和上肢黄色治疗带(yellow theraband)肌力练习,每周 3~5 次,每次 5~10 min;④负重下肢肌力练习:每周步行 3~5 次,每次 15~20 min;肌四头肌等长肌力练习,每周 3~5 次,每次 5~10 min;⑤渐进性抗阻练习法:在肢体远端增加阻力,然后活动关节。先测定连续重复 10 次运动所承受的最大负荷值称 10 RM(resisted movement)。练习时运动分 3 组进行各 10 次,依次用 10 RM 值的 1/4、1/2 及全值的阻力负荷,前 2 组为准备活动,每周 3~5 次,10~15 min 完成;⑥等长练习法:主要为四肢屈伸肌,即收缩 10 s,休息 10 s,重复 5 次为 1 组练习,每次进行 5 组练习,共做 25 次。渐进抗阻训练与等长收缩交替进行,每次运动强度以次日不感疲劳为度,每次训练前、后应有准备活动和整理运动,各持续 5 min 左右,每周 3~5 次,2 周为 1 个疗程,疗程间休息 3 d,2 个疗程后评估。

2. 物理因子治疗:①超短波或微波治疗时电极对置于疼痛部位,温热量,20 min/次,隔日 1 次,2 周为 1 个疗程;②离子导入