

基于生物力学的足部保健产品研究

孙云, 罗向东

(陕西科技大学, 西安 710021)

摘要: **目的** 在健康保健的社会背景下, 研究足浴盆的设计。**方法** 调查测量老年人和青年人脚型差异性, 并运用 Footscan 足底压力测试仪测试青年人群和老年人群正常行走状态下足底压力分布, 分析不同人群足底压力分布的差异性。**结论** 针对青年人群和老年人群的足部形态和最大足底压力的差异对足浴盆进行设计, 老年足浴盆足底按摩区域设置应大于青年人, 足弓按摩粒子高度大于青年; 老年足浴产品按摩粒子应重点分部位于第三至第五跖趾关节和中足区域, 青年人群足浴产品按摩粒子应重点分布在第二、第三跖趾部位、拇指区域和足跟区域; 按摩粒子结构依据足底反射区原理设置为外软内硬结构。

关键词: 足部脚型特征; 足浴盆; 足底压力测试; 人性化设计

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2019)10-0239-05

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2019.10.041

Foot Health Product Based on Biomechanical Characteristics

SUN Yun, LUO Xiang-dong

(Shanxi University of Science & Technology, Xi'an 710021, China)

ABSTRACT: The paper aims to study the design of foot health products under the social background of health care. By measuring elderly and youth of foot shape and their plantar pressure distribution in walking and standing with Footscan plantar pressure tester, the difference of pressure distribution of different groups was analyzed. The foot tub is designed according to the difference of foot shape and maximum plantar pressure between youth and elderly. The massage area of elderly is larger than that of youth and their height of arch massage is higher than that youth. The massaging particles for elderly should be located in the third to fifth metatarsophalangeal joint and the middle foot area. And that for youth should be distributed in the second and third toe areas, the thumb area and the heel area. According to the principle of the plantar reflex zone, the structure of the massage particle is set as an external soft and internal hard structure.

KEY WORDS: foot type; foot tub; plantar pressure test; humanized design

随着科技的发展和人类生活方式的改变, 人类自我保健意识逐渐增强。足部健康状况是人体运动能力的标志, 脚是人体重要的负重和运动器官, 承受人体绝大部分重量并完成一系列运动, 是人体使用频率最高、运动量最大的器官^[1], 足部按摩可以改善足部血液循环、促进新陈代谢。家用足部保健产品作为一种具有功能性的特殊产品在健康领域发挥着越来越重要的作用。

足浴疗法是通过水的温热作用, 外部机械的按摩作用及借助一些药物的浸泡和熏洗作用, 起到改善足部血液循环、疏通脉络、活血理气、增强免疫力等保

健效果^[2]。足浴产品的可用性和功能发挥程度使得足浴产品设计的焦点由物转向人, 使产品设计朝着良性方向发展^[3]。根据马斯洛的层次需求理论, 人机工学尺度是实现产品功能的基础, 合理的人机尺度可以满足用户生理需求。以人为本的足部保健产品既要考虑产品的外观、结构和功能, 还要考虑用户细分后不同人群足部形态特征和运动力学特征。

1 足部生物力学特征

足是人体众多器官中的一部分, 足器官由皮肤、

收稿日期: 2018-12-28

作者简介: 孙云 (1993—), 女, 山东人, 陕西科技大学硕士生, 主攻足部运动与产品。

通信作者: 罗向东 (1974—), 男, 博士, 教授, 主要从事鞋类结构与功能研究。

骨骼、肌肉和关节组成。皮肤是机体与外界交流的介质,主要感知传递外界刺激。皮肤将感知的外界刺激传递给大脑,大脑对刺激信息加工形成感觉。骨骼是人体的支架用于支撑人体。人体单足骨骼由跗骨、跖骨、和趾骨3部分构成,共计26块。

老年人群在长期行走过程中,足部形态和骨骼结构发生改变^[4]。相对于青年人群来说,老年足部功能发生衰退,腿部及足部肌肉老化,足弓韧带松弛下陷,出现一系列足部形态和力学的改变。针对老年人群和青年人群展开足部形态和力学研究,并将其与足部产品设计结合,有助于足部保健产品的开发。

足部保健产品直接作用于足部,足部形态直接影响足部保健产品设计和产品使用效果。足部形态特征主要指人的脚型,脚型的表征包括长度、宽度、高度和围度。足底是与产品直接接触的区域,足底常见的表征指标有脚长、脚宽、足弓高度、跖趾围长、前翘角、足踝高等^[4]。站立和行走过程,身体全部重量、结构和功能等方面的信息通过足底与支撑面之间的足底压力分布来体现^[1]。不同人群足底压力分布不同,研究不同人群足底压力特征对产品设计具有重要意义。

2 实验

2.1 脚型测量

本研究基于对老年人群和青年人群的足部长度、宽度、高度等尺寸的测量,得到老年人群和青年人群的足部脚型规律。通过对青年人群和老年人群脚型规律对比分析,可以为足浴产品形态差异性设计提供理论指导。

选取60岁以上具有独立行走能力且具有良好认知能力的20名老年人作为老年组受试者,25~35岁的上班族20名作为青年组受试者,其中有膝骨性关节炎、类风湿性关节炎、肌肉和神经系统异常、拇指外翻及其他影响步态足部疾病者排除,受试者的身高体重指数(BMI)在正常的范围内($18.5 \leq \text{BMI} \leq 24 \text{ kg/m}^2$)^[5]为了确保测量结果的准确性,要求受试者测试前3h无长时间行走或剧烈足部运动。用脚型测量仪采集老年组合青年组受试者足部脚印图,见图1。通过平面脚印图量取足部长度、宽度、高度特征,见图2。

2.2 足底力学测试

选取6名老年女性和6名青年女性分别作为老年组和青年组的代表,受试者需具备以下要求:双足健康,无下肢疾病史,身高体重在标准(IBM)范围内。使用Foot-scan software7.0足底压力测试仪(比利时生产),受试者在行走时佩戴耳机,耳机内播放105次/min的节拍声,受试者被要求按耳机内节拍行走^[1],熟悉节拍后进行正式实验,行走经过平板式足底压力测试仪时,见图3,系统将会自动采集受试者步行状态下的足底压力分布,3次测量取平均值。



图1 足印采集图
Fig.1 Footprint collecting

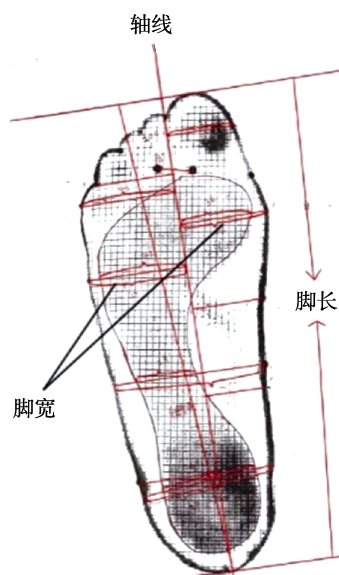


图2 足印测量图
Fig.2 Footprint measuring



图3 足底压力测试过程
Fig.3 Test of foot-scan pressure

Foot-scan 平板式足底压力测试系统配套的分析软件会自动将足底分为10个区域:第1趾骨、第2~5

趾骨、第 1 跖骨、第 2 跖骨、第 3 跖骨、第 4 跖骨、第 5 跖骨、足弓、足跟内侧、足跟外侧，见图 4。

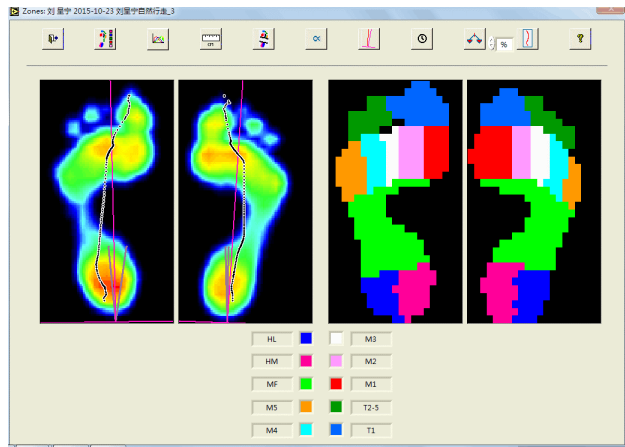


图 4 Foot-scan 分析系统界面
Fig.4 Interface of foot-scan analysis system

3 结果分析

3.1 脚型规律

脚型规律统计见表 1，和青年人群相比，老年人群足部的足宽变宽，足弓降低。足浴产品足底按摩粒子高度设计中要关注老年人群足弓部位按摩粒子的高度使其贴合足部腰窝部位，同时，根据老年人群足宽变宽这一事实，适当加宽足底按摩区域的宽度增大按摩区域面积。

3.2 足底压力分布

足底压力统计见表 2，老年组第三至第五跖趾关节（M3—M5）部位和中足（MF）区域压力大于青年组，青年组在脚趾部位、后跟内侧和外侧和第一至第三跖趾关节足底压力均大于老年组；此外，老年人群最大足底压力出现在 M2 第二跖趾关节，青年组最大足底压力出现在 M3 第三跖趾关节部位。

表 1 脚型规律统计表
Tab.1 Foot type of people

单位：mm

	脚长	脚宽	足弓高度	腿肚高度	脚踝高度
青年组	245.6±1.68	93.10±2.23	20.6±0.52	313.36±12.65	91.56±10.5
老年组	235±15.33	96.23±8.35	10.5±0.6)	316.15±15.33	85±6.86
全国成年人脚型	229.56	87	17.5	365	（无）

表 2 足底压力分布表
Tab.2 Distribution of plantar pressure

单位：mm

	T1	T2-5	HM	HL	MF	M1	M2	M3	M4	M5
青年组	9.41±3.96	3.02±2.76	15.42±3.21	14.61±3.39	3.66±1.53	6.65±3.24	18.82±5.28	16.86±6.75	10.47±4.55	4.66±4.88
老年组	7.18±4.71	2.46±1.26	11.90±4.71	12.24±3.45	4.77±2.80	5.35±4.65	17.41±5.53	18.54±6.99	12.87±6.45	8.06±6.09

4 设计指导

4.1 形态指导

人体特征是产品设计的重要依据，它决定着产品的形态、结构、材料、尺寸等^[6]。由于不同的脚型有不同的足部结构^[7]，所以足部保健产品设计要高度关注足部生物特征，根据青年人群和老年人群足部脚型特征和足部骨骼设置足浴盆的按摩区域。由老年人群脚型测量结果结合全国老年人脚部规律可以得出，老年人盆底区域应该设置为 95%，长度约为 250 mm，宽度约为 105 mm。与足底接触的按摩区域应在足部外轮廓基础上增加 25 mm 的放余量，长度设置为 275 mm，宽度设置为 130 mm 为宜；青年人盆底长度设置为 260 mm，宽度设置为 120 mm，老年人群按摩区域面积大于青年人群。

年龄增长和长期的足部运动使得老年人足部形

态和结构发生改变^[8]，老年人群足部骨骼韧性降低，加之长年累月的足部活动使得足弓部位明显低于青年人群。全国脚型普查发现，青年人群足弓约为老年足弓高度的 2 倍，所以两类人群足弓部位按摩粒子的高度要充分结合人群特征这一事实，产品设计上老年人群的足弓部位按摩粒子的高度要低于青年人群。

人足底是一个曲面，有一定的凹度，足底凹度与足部内纵弓高度有关^[9]。正常人足部凹度为 6~8 mm，为了使足部按摩区域与足底区域充分贴合，足底按摩相应的应设计一定的凸度与足底相贴合。此外，足浴产品有效深度还应考虑脚踝高度和腿肚高度。

4.2 力学指导

产品功能设计依据用户生物特征设计^[10]，足浴盆中的按摩结构是发挥保健效果的关键。因此，盆底按摩粒子的排布依据足底压力分布。足底是一个不规则的曲面形态，足浴盆底必须贴合足底形态才能更好地

发挥按摩效果。按摩不同的用户群体足底压力分布存在差异性,产品的设计要具有“人性化”设计思维。因此,产品设计要充分考虑用户群体的差异性^[11]。

足底压力大的足底区域易产生疲劳,老年人群压力集中部位点在第一至第五跖趾关节部位和足跟区域,出现压力集中现象导致老年人群足弓下陷,使得行走过程力学路径发生转移向外侧移动有关^[12]。这一定程度上解释了老年人群行走过程更易出现足部疲劳和足部疼痛这一现象;青年人足底压力较老年人呈现分散趋势。根据老年足底压力分布可知,按摩粒子应重点关注中足和跖趾部位点;年轻人脚趾和后跟部位足底压力大于老年人群,所以青年人群应注重脚趾和后跟部位的按摩。根据足底压力分布和足底压力转移情况规划按摩区域,对于不同的压力部位,选择不同的按摩材料和刺激方式消除足部疲劳,才能科学解决足部保健产品的有效性问题^[13]。

4.3 足底反射区指导按摩粒子结构

人体是一个统一的身体,各部位形态和生理功能又相互联系相互作用,足部反射区是指人体器官在足部有相对应的神经末梢终点并固定在一定的部位,足部反射区是足部“神经集结点”,与全身的器官经络联系密切,对足部反射区的按摩可以调节人体机能达到自我保健的功效^[14]。不同足部反射区对应不同的人体器官,以足部反射区为依据设置按摩结构还能达到治疗疾病的功效。有些生理病痛与足底反射区相关,因此可以对相应的病痛反射区集中整合,设计特定的按摩结构和刺激方式,形成专门的保健养生模块,足疗辅助保健成为糖尿病患者护理足部的有效手段^[14]。针对糖尿病人足部敏感的特征,见图 5。

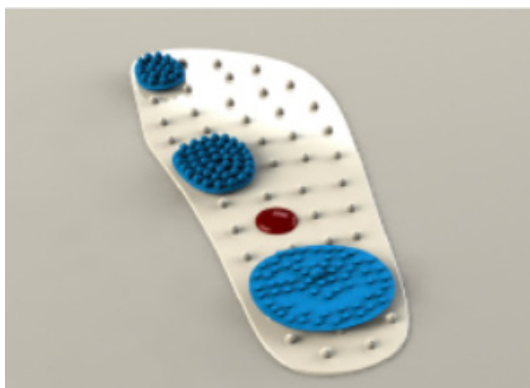


图 5 糖尿病人足底按摩粒子排布图
Fig.5 Foot massage particle distribution for diabetic

足浴盆中的按摩单元主要通过模拟中医推拿中的按摩手法,对足底不同的反射区和受压区进行刺激,达到舒适保健的效果,所以按摩单元的硬度会影响用户的舒适性。足够的压力刺激才会起到缓解压力放松身体的效果^[14]。为了保证按摩的舒适性,综合考

虑各种影响因素,设计内部硬度较大的材质,外部包裹柔软材质的双球形按摩单元,模拟按摩手部的骨骼与肉体设置。

4 结语

足浴盆作为足部家用保健最普遍的产品,其设计需要以足部运动生物力学为指导,遵循人机工程学的设计原则实现产品设计,这对于足部保健产品的功能性具有重要意义。在运动生物力学的指导下,足浴产品设计应遵循以下原则:(1)足部按摩单元分布要符合不同人群足底压力分布和足底反射区特征,老年人群的足部产品按摩面积应大于青年人群,足弓部位按摩粒子低于青年人群;(2)按摩粒子分布严格依据不同用户群体足底压力分布设置,老年足浴产品按摩粒子应重点分部位位于第三至第五跖趾关节和中足区域,青年人群足浴产品按摩粒子应重点分布在第二、第三跖趾部位、拇指区域和足跟区域;(3)按摩粒子结构应以足部反射区为指导设置为外软内硬的结构。

参考文献:

- [1] 王健. 鞋底类型和步行速度对行走相关肌群平均肌电活动的影响[J]. 体育科学, 2011, 31(5): 55—58.
WANG Jian. Effects of Different Type of Shoe Soles and Walking Speeds on AEMG of Walking-Related Muscles[J]. China Sport Science, 2011, 31(5): 55—58.
- [2] 任红云. 中药足浴疗法在临床护理中的应用[J]. 湖南中医杂志, 2014, 30(8): 130—131.
REN Hong-yun. Traditional Chinese Medicine Lavipeditum Therapy and Its Application in Clinical Care[J]. Hunan Journal of Traditional Chinese Medicine, 2014, 30(8): 130—131.
- [3] 蒋璐璐. 浅析以人为本的设计理念[J]. 智能制造, 2014(4): 41—42.
JIANG Lu-jun. Analysis of Human-Oriented Design Concept[J]. Intelligent Manufacturing, 2014(4): 41—42.
- [4] 李松竹. 我国中老年人群脚型规律分析[J]. 中国皮革, 2014, 43(10): 121—123.
LI Song-zhu. Analysis on Foot Patterns Rule of Middle and Old Age People in China[J]. China Leather, 2014, 43(10): 121—123.
- [5] KRAUSS I. Sex-related Differences in Foot Shape[J]. Ergonomics, 2008, 51(11): 1693—1709.
- [6] 杜鹤民. 基于用户需求的产品形态设计研究[J]. 包装工程, 2018, 39(4): 56—61.
DU He-min. Product Form Design Based On User Requirements[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(4): 56—61.
- [7] HILLSTROM H J. Foot Type Biomechanics Part 1: Structure and Function of the Asymptomatic Foot[J]. Gait & Posture, 2013, 37(3): 445—451.

(下转第 258 页)

- [5] 吴雁. 浅谈包装中天然材料的运用[J]. 文艺生活旬刊, 2011(10): 193.
WU Yan. Discussion on the Application of Natural Materials in Packaging[J]. Journal of Literature and Art, 2011(10): 193.
- [6] 田梅. 浅析绿色包装设计中的生态美学[J]. 剑南文学: 经典阅读, 2013(9): 172.
TIAN Mei. Analysis of Ecological Aesthetics in Green Packaging Design[J]. Jiannan Literature: Classic Reading, 2013(9): 172.
- [7] 欧阳沐尧, 吴亚婷. 包装设计材料的绿色趋势[J]. 设计, 2017(17): 50—51.
OUYANG Mu-yao, WU Ya-ting. Green Trend of Packaging Design Materials[J]. Design, 2017(17): 50—51.
- [8] 闫莉. 在现代包装设计中应用绿色生态包装材料的作用研究[J]. 中国包装工业, 2015(11): 46—47.
YAN Li. Research on the Application of Green Ecological Packaging Materials in Modern Packaging Design[J]. China Packaging Industry, 2015(11): 46—47.
- [9] 郑富平. 寒地黑土农产品包装品牌化设计研究[J]. 艺海, 2012(4): 89—90.
ZHENG Fu-ping. The Application of Materials and the Expression of Beauty in Packaging Design[J]. Yihai, 2012(4): 89—90.
- [10] 陈沫. 蚕材料在包装设计中的创新应用[J]. 科技经济市场, 2013(6): 9—11.
CHEN Mo. Innovative Application of Silkworm Materials in Packaging Design[J]. Technology economic market, 2013(6): 9—11.
- [11] 江威. 环保材料在绿色包装设计中的应用[J]. 现代装饰(理论), 2014(3): 94.
JIANG Wei. Application of Environmental Protection Materials in Green Packaging Design[J]. Modern Decor (Theory), 2014(3): 94.
- [12] 韩玉龙. 浅析包装设计中结构与材料的运用[J]. 都市家教月刊, 2012(11): 211.
HAN Yu-long. Analysis of the Application of Structure and Materials in Packaging Design[J]. Metropolitan Education Monthly, 2012(11): 211.
- [13] 雷鸣. 天然材料营造空间的自然意境[J]. 科技创新导报, 2017(35): 139—140.
LEI Ming. The Natural Artistic Conception of Natural Materials Creating Space[J]. Science and Technology Innovation Review, 2017(35): 139—140.

(上接第 242 页)

- [8] ROMERO A. Accuracy of Body Mass Index in Diagnosing Obesity in the Adult General Population[J]. Obes, 2008, 32: 959—966.
- [9] 施凯. 足部运动受力分布与鞋楦优化分析研究[J]. 包装工程, 2009, 30(2): 148—150.
SHI Kai. Research on Pressure Distribution of Foot in Movement Condition and Shoe Tree Optimization[J]. Packaging Engineering, 2009, 30(2): 148—150.
- [10] 张明月. 基于人机工程学的油锯造型设计研究[J]. 装饰, 2015(3): 98—99.
ZHANG Ming-yue. Research on the Chain Saw Design Based on Ergonomics[J]. Zhuangshi, 2015(3): 98—99.
- [11] 杨先艺. 论产品设计的个性与差异性[J]. 装饰, 2007(1): 16—17.
YANG Xian-yi. Discussion of the Individuality and Diversity of Product[J]. Zhuangshi, 2007(1): 16—17.
- [12] NGUYEN U S. Factors Associated with Hallux Valgus in a Population Based Study of Older Women and Men: the MOBILIZE Boston Study[J]. Osteoarthritis & Cartilage, 2010, 18(1): 41—46.
- [13] 袁刚. 正常人足底压力分布及其影响因素分析[J]. 中华物理医学与康复杂志, 2004, 26(3): 156—159.
YUAN Gang. The Distribution of foot Pressure and Its Influence Factors in Chinese People[J]. Chinese Journal of Physical Medicine & Rehabilitation, 2004, 26(3): 156—159.
- [14] 张高峰. 足疗一号联合化瘀汤治疗糖尿病足临床研究[J]. 新中医, 2012(2): 45—46.
ZHANG Gao-feng. Observation on Effect of Foot number one to Treat Patients with Diabetic Foot Mortification[J]. Hubei Journal of Traditional Chinese Medicine, 2012(2): 45—46.