

# 足底压力测量鞋垫系统设计与发展趋势

邓喜乐<sup>1</sup>, Kamen Ivanov<sup>2</sup>, 梅占勇<sup>3</sup>, 邓咏梅<sup>1,\*</sup>

(1. 西安工程大学 服装与艺术设计学院, 陕西 西安 710048;

2. 中国科学院 深圳先进技术研究院, 广东 深圳 518055;

3. 成都理工大学 网络安全学院, 四川 成都 610059)

**摘要:**运用足底压力分布测量系统分析了足底压力特性。对足底压力测量的研究现状进行了概述, 总结分析了各种足底压力测量系统的优缺点, 指出便携、易操作和对场地有较少要求的智能可穿戴压力鞋垫日益成为研究焦点。从系统架构、传感器要求及鞋垫材料等方面重点对足底压力测量鞋垫的系统设计进行了分析, 对足底压力测量鞋垫的研究方向与挑战, 以及进一步研究提出了建议。

**关键词:**足底压力; 压力测量; 智能鞋垫; 智能可穿戴; 柔性传感器

**中图分类号:** TS941.53

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1673-0356(2019)11-0005-05

随着我国人口老龄化的加剧, 足部疾病发病率在持续增加, 如糖尿病引起的足部溃疡、扁平足高弓足以及膝关节关节炎、中风引起的相关足部病症等步态康复问题一直得到人们的关注。监测足底压力的变化和分析足底力学分布特征能够揭示人体步态规律, 从而对足部健康做出预测和评价。足底压力指在静止或运动时人体在自身重力的作用下, 足底在垂直方向上受到支撑面的反作用力。足底压力分布有一定的规律, 人体衰老、下肢受伤或足部疾病都可能会破坏足底压力的正常分布, 因此足底压力可以作为早期慢病和未病等疾病预测的检查指标<sup>[1]</sup>。在疾病预防领域, 通过监测分析人体的足底压力和步态模式对一些疾病作出早期的预测; 在医疗保健、康复治疗 and 运动训练等领域, 足底压力和步态分析可以作为术后康复评估、诊断的重要指标; 同时足底压力分析也在鞋类设计中有较广泛的应用, 根据足底压力分布特征选择舒适性更好的功能性鞋垫材料能够在一定程度上提高穿着者的运动水平<sup>[2-4]</sup>。除此之外近几年在人体识别、监测姿势分配等领域也有了创新性应用, 因此开发研究足底压力测量系统具有重要的意义<sup>[5]</sup>。

## 1 足底压力测量技术的研究现状

有关足底压力的相关研究, 国外起步较早, 经历了

足印法、足底压力扫描技术、力板与测力台技术、压力鞋、鞋垫、智能袜品技术等。足印法, 1872年最早记载研究足一地作用力的一次尝试, 通过在鞋底放置充气袋, 人体行走时引起气压变化来反映足一地接触压力的近似值。虽然早期的研究人员明白作用地面的压力是矢量力, 只能根据变形物质的变形形态及深浅或者图像的变化做大致的判定。1940年, 光学测量法可视形象化技术出现, 美国 Elftman 在 1938 年设计的力板, 利用力-光转换原理实现测量地面作用力, 但这种通过光学压力扫描分析足底压力只是定性分析, 缺乏定量化。随着计算机图形技术的发展, 20 世纪 50 年代, 开始系统性足底压力测量与分析等临床实验。随着微电子技术和传感技术的推进, Darwin 利用压敏电阻传感器设计的一种测力平台, 采用电-力转换技术的压力板得到研究和应用, 实现对足部运动状态进行多点多方位的监测。英国 Srinivasan 团队将压敏电阻集成传感阵列, 开发的多模块压力测试板, 实现了精确足底压力测量, 但不利于动态研究。近年来为了实现动态足底压力分布的测量, 研究人员将柔性可穿戴能够执行电子功能的电子装置比如传感器、执行器等转换装置和电源嵌入鞋内、袜中或者鞋垫内, 通过肌电图技术、现代电子信息技术、微加工工艺、无线通信技术、柔性电子技术与智能纺织品等技术实现可穿戴测量。

目前市场上常用的测量足底压力分布系统主要有鞋内系统和平台系统<sup>[6]</sup>。平台系统主要有测力台和测力板, 瑞士 Kistler 公司和比利时 RSscan 公司对测力台、测力板进行的研究相对较为深入, 其测力台和测力

收稿日期: 2019-10-17

基金项目: 四川省科技计划重点研发项目(2017GZ0304)

作者简介: 邓喜乐(1994-), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为服装舒适性 with 功能性设计。

\* 通信作者: 邓咏梅(1969-), 女, 教授, 主要从事智能可穿戴服装的研究, E-mail: 454802955@qq.com。

板的足底压力数据采样精确度高,采集的性能可靠,但是繁重的设备和非自然的使用环境,会让受试者感到不舒适,测试时很难得到人体在自然状态下的步态数据,从而影响测量结果,且价格昂贵,测试范围存在局限性,所以常用于实验室或医院,而不能用于日常活动的连续监测。鞋内系统主要包括智能袜品和足底压力测量鞋垫,相较于固定的平台系统,鞋内系统将传感器放置在需要测量的部位,可以连续记录运动中的足部压力、时间等参数并可以稳定传输数据<sup>[7]</sup>,同时测量系统的柔韧和便携性强,不受地点限制,穿戴后可以像往常一样处于自然行走状态,测得结果更接近人体真实的运动状态。在鞋内系统中智能袜品相对于足底压力测量鞋垫来说虽然有弹性,但需要经常换洗,且对柔性传感器和鞋垫材料有更高的要求,所以研究内容和领域相对很窄。而足底压力测量鞋垫不需要经常换洗,可以用于多种鞋子的测试,成为了研究的焦点<sup>[8]</sup>。

## 2 足底压力测量鞋垫的系统设计

### 2.1 系统架构

足底压力测量鞋垫主要由4个部分组成:数据采集模块、信号传输模块、数据存储处理模块、终端显示模块,框架如图1所示。数据采集模块一般由传感器阵列、导电织物传感元件和鞋垫材料制成,将多种类型的微型传感器阵列通过导电线连接嵌入鞋垫的不同位置,构成人体足底压力信号的采集模块;信号传输模块在采集完运动数据后需要对数据进行处理包括压缩打包,针对某些传感器输出信号微弱的特点,应用信号加入调理电路对传感器信号进行增强,在对处理后的数据进行缓存后再发送出去<sup>[9-10]</sup>;在数据存储处理模块中,采用云计算、大数据等相关数据处理技术,对接收到的数据进行有效的系统分析;最后将信号传输到智能手机和电脑上的应用软件,用于数据存储处理和可视化分析,应用软件能够提供用户界面,实时显示和分析足底压力的时间和空间分布,实现数据的终端显示<sup>[11-12]</sup>。随着蓝牙、GPRS和Internet无线技术的发展,解决了设备间繁琐的连线,逐渐实现了足底压力远程实时监测与传输,突破了监测足底压力运动方式和运动范围的局限。

### 2.2 足底压力测量鞋垫的设计

#### 2.2.1 传感器

柔性压力传感器用柔性的高分子聚合物材料和纳

米导电材料代替刚性基板材料,具有可弯折性、延展性、轻便等属性,被广泛应用于人工智能领域。目前常用于足底压力数据采集的单点式薄膜柔性传感器类型主要有电容式、压电式和压阻式传感器<sup>[13]</sup>。

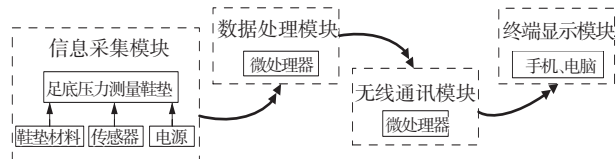


图1 便携式足底压力测量鞋垫结构

电容式柔性压力传感器由2个隔开的电极板组成,通过非接触式感应引起电容变化,从而获得相应的电信号。其优点是可用于静态或长时间负荷连续监测,但其灵敏度较低,信号标定和电路设计比较复杂。压电式柔性压力传感器基于压电效应实现压力和电信号转换,优点是灵敏度高,结构简单,大部分只适用于动态测量而不能用于静态测量,且温度效应敏感。压阻式传感器多采用半导体材料制成,当受到压力时,会产生与施加的力成比例的电信号,优点是灵敏度高、精度高,缺点是温度特性差,量程小工艺复杂<sup>[14]</sup>。

压力传感器的结构形式繁多,研制和开发要符合可穿戴设备穿戴舒适性和监测数据可靠性的要求。舒适性体现在传感器间接接触人体足部时,嵌入鞋垫内的压力传感器和一些刚性微电子器件应该尽可能柔软、重量轻、体积小、便于携带,不影响人体正常行走为首要考虑的因素。柔性压力传感器的可靠性主要有压力测量范围、线性度、灵敏度、采样频率、耐用性等<sup>[15]</sup>。

传感器需要具有合适的压力范围,范围太小,超量程使用会降低传感器性能甚至破坏传感器。对于运动而言,压力范围应该更大,但范围过大导致信号不明显,足底压力测量系统最大压力高达3 MPa,因此最大压力的测量上限为3 MPa;再者需要良好的线性度,即当传感器承载时,实际特性曲线与拟合直线之间的最大偏差值与满量程输出值之比,比值越小表示传感器的线性特性越好。目前柔性压力传感器使用的高分子材料大多为非线性弹性材料,不具有良好的线性度,对于不具有严格线性度的压力传感器,当比值的绝对值 $>1 \text{ kPa}^{-1}$ 时,认为传感器灵敏度好。传感器还要有合适的采样频率,采样频率越高,单位时间得到的压力数据越多,计算速度越慢,这对存储空间也提出了要求,通常柔性传感器的采样频率要求在200 Hz以上就可以满足测量要求<sup>[16]</sup>。由于传感器是由不同的材料和

原理组成的,容易受到环境温度的干扰,受温度影响越小,传感器稳定性越好。根据人体的温度,在 $20\sim 37\text{ }^{\circ}\text{C}$ 范围内,低敏感的传感器是最优选<sup>[17]</sup>。最重要的一点是传感器在大量重复加载循环下还应具有足够的精度和可靠性,也就是耐用性好。

为了应对足底压力测量对压力传感器的需求,近年来,多种新型材料被用于研制新型柔性压力传感器。压电陶瓷材料、PVDF(聚偏二氟乙烯)、PDMS(聚二甲基硅氧烷)、TPU(热塑性聚氨酯)等因具有优良的物理性能或化学特性常用作制备传感器的材料<sup>[18-19]</sup>;金属纳米颗粒、金属纳米线、导电炭黑、石墨烯及碳纳米管等纳米导电材料也因其成本低、导电性优异被用于制作柔性传感器<sup>[20-21]</sup>。压电式陶瓷传感器具有较好的压电特性、线性特征和抗冲击力,实验证明陶瓷传感器的非线性度小于 $0.8\%\text{FS}$ <sup>[22]</sup>。PDMS涂敷在导电纤维表面制成的电容式的柔性压力传感器,在密集进行了10 000次试验后输出信号还很稳定,证明其具有优异的耐久性<sup>[23]</sup>。石墨烯薄膜制作的柔性压力传感器,灵敏度高达 $0.012\text{ kPa}^{-1}$ ,具有良好的稳定性和可重复性,这些都为足底压力测量鞋垫的研究奠定了基础<sup>[24]</sup>。新型柔性传感器具有成本低、柔韧性、延展性、灵敏度高,耐腐蚀,稳定性好,测量压力范围大,广泛适用于智能化领域。

### 2.2.2 连接方式

纺织品鞋垫与传感器等电子元件结合主要有3种技术:(1)基于模块化技术。将电子元件集成于一个或几个独立的“盒子”中,作为鞋垫的附件,电子元件和纺织品的功能各自独立,通过缝纫可将小型的电子元件和导线直接缝合到织物上,以实现所需的功能<sup>[25]</sup>。(2)基于纤维的技术。部分或全部的电子元件及传感器直接由纤维和织物构成,通过纺织电路连接电子元件。纺织电路是建立在纺织品基底上的电路,将高度集成的微电子器件置于纤维纱线中,把包含丰富功能的大量电子模块编织在一起,分布在给定纤维上,再通过传统的服装结构,如织造(针织、梭织)、刺绣、印花等方法制作纺织电路,来传输电信号;部分纤维本身含有金属丝或者经金属涂层能导电,可直接作为电子元件之间的导体传输电信号<sup>[26]</sup>。(3)基于嵌入式技术。电子元件是纺织品(鞋垫)的一部分,可通过将电子元件印刷、模压直接生产,通过织物上的导电纱线连接电路板、柔性传感器及其他微电子元件,此种方法成

本高,过程复杂,制成的鞋垫耐磨。

为了使传感器在使用中不受温湿度等外界环境影响,减少因电子器件辐射给人体带来的负面影响,还需要根据传感器和鞋垫材料结合方式,对传感器进行封装处理,确保穿戴者的舒适性和安全性。

### 2.2.3 足底压力鞋垫的材料

制作鞋垫的材料、结构不同,人们穿着的舒适性不同,对于足部健康的矫治也不同。太软的材料对脚底没有支撑力,容易疲劳;材料太硬,运动中脚和地面产生的作用力对足部关节、膝关节造成伤害。人们在不断探索和改进鞋垫的材料和制作工艺。

常用的鞋垫材料分为天然材料、高分子材料和3D打印材料。天然材料制成的鞋垫富有弹性,吸湿透气性好,但耐用性差<sup>[20]</sup>,因此天然材料不适用智能鞋垫的制作。高分子材料如乙烯醋酸乙烯聚合物(EVA)、聚乙烯(PE)、聚氨酯(PU)、乳胶及多层复合材料,具有质轻、柔软、防潮隔热、抗菌弹性好等优点,被广泛应用于制作各类功能性鞋垫。3D打印鞋垫具有可设计性强、灵活度高、效率高、加工精度高等优点,但其耗材成本和设备成本较高,在研究功能性鞋垫材料时也多有应用<sup>[27]</sup>。3D打印的间隔织物鞋垫对足底压力有缓冲作用,通过在转弯过程中监测人体足部压力峰值,减少了趾骨1~3的12%的峰值压力<sup>[28]</sup>。近年来智能鞋垫开发新型材料,如智能纤维、碳纤维材料、有机硅人体仿生材料,利用混纺交织等方法改进鞋垫材料,具有穿着舒适、吸汗、杀菌、除臭等特点。

鞋垫材料的选择是足一鞋环境系统舒适性的重要因素,鞋垫材料的硬度、厚度和结构是影响鞋垫舒适性的主要因素。较硬的鞋垫能较大程度地分散足底主要受力区域承受的压力,人在行走时穿着不同厚度和硬度的EVA鞋垫,厚度在 $1.5\sim 4.68\text{ mm}$ 、硬度在 $23.7^{\circ}\sim 33.7^{\circ}$ 之间穿着舒适性较好,其中硬度 $33^{\circ}$ 、厚度 $4.5\text{ mm}$ 鞋垫的舒适性最佳<sup>[29-30]</sup>,鞋垫的腰窝高度到达足部腰窝整体高度的一半时舒适性最佳<sup>[31]</sup>。在设计鞋垫的结构时应根据足部的力学特性,通过在足底压力较大区域,插入复合型材料,或者使用多种材料组合来调节穿着舒适性<sup>[32]</sup>。

## 3 发展趋势与挑战

### 3.1 挑战

尽管现在国内外足底压力测量鞋垫已经有了一定

的研究基础,但其发展还是存在一些问题:

(1)目前最佳穿着舒适性的鞋垫材料硬度和厚度的研究,尚未达成统一的量化数据<sup>[30]</sup>。对鞋垫材料舒适性的研究多数停留在对足底压力进行客观测量的同时,再结合主观评价的方法获得最佳的材料数据,由于主观评价受个体偏好、身高、体重和生活习惯差异等多方面因素的制约,评价精度不高,因此鞋垫舒适性还有待进一步研究,提出足部的舒适性评价指标尤为重要<sup>[33]</sup>。

(2)安全性需加强。足底压力测量鞋垫与人体接触,要控制、规范辐射或者防止漏电,降低可能对人体造成过敏等伤害,保护人身安全。

(3)提高鞋垫的实用性。目前的智能鞋垫都不能洗涤,尽管电子元件已被封装,但不能保证湿气和灰尘影响其精确性。因此,多次使用后应保证鞋垫具有的测量精度和稳定的尺寸,提高鞋垫的耐洗涤性、耐磨性等服用性能。

(4)电池续航能力有待提高。轻便是对可穿戴的基本要求,这也是可穿戴电池续航时间的弊端<sup>[34]</sup>。传统符合要求的是锂电池纽扣电池,随着可穿戴产品的发展,续航能力难以跟上可穿戴设备的步伐。

### 3.2 发展趋势

(1)舒适性更加显著。在柔性织造物体上进行基板的设计,能够拥有柔性电路设计,实现良好的缓冲性能和舒适性,朝着更轻便、更舒适的方向转变,更趋于家用和日常化。

(2)满足人们的多元需求。人们越来越追求“个性化”和“时尚化”,智能鞋垫的生产将从规模批量个性定制的方向发展,针对部分人群的足部状况和个人爱好实现量身定制,生产出满足不同人群特殊需求的产品。

(3)功能更加多元化,实用性更强。从测量足底压力和运动表现,包括步速、距离、步幅和节奏,到跟踪健康和评估健康指标,比如卡路里、体重等,智能鞋垫可以为用户提供个性化的反馈。

(4)无线鞋垫的续航时间更长,电池体积在最小化的前提下,具有较长的使用时间。就传感器的能量供给而言,目前最可能的解决方案是具有高能量密度的可充电的电化学电池。考虑到生活环境周围存在大量电磁辐射,因此无线充电有希望成为下一个可靠的能量来源。如今新能源应用也成为理想的能源,太阳能电池和体能发电可再生,且分布广泛,不污染环境,研

究开发可持续和具有能量收集装置也是智能可穿戴的一个发展趋势。

### 参考文献:

- [1] 金曼,丁辛,甘以明,等. 足底压力分布测量鞋垫的研制[J]. 纺织学报, 2010, (9):114-117.
- [2] CASALE P, PUJOL O, RADEVA P. Personalization and user verification in wearable systems using biometric walking patterns [J]. Personal and Ubiquitous Computing, 2012, 16(5):563-580.
- [3] CONG Y, ZHANG M. Measurement of in-shoe plantar triaxial stresses in high-heeled shoes[C]// International Conference on Biomedical Engineering & Informatics, 2010.
- [4] 徐洪璋,陈超,黄波,等. 跟痛症动态足底压力分布特征[J]. 中国医药导报, 2017, (13):54-57.
- [5] 强家辉,张为公,王东. 基于足底压力的人体姿态检测和行为分析方法[J]. 测控技术, 2018, (1):1-4.
- [6] SHU L, HUA T, WANG Y Y, *et al.* In-shoe plantar pressure measurement and analysis system based on fabric pressure sensing array[J]. IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine, 2010, 14(3):767-775.
- [7] BENOCCI M, ROCCHI L, FARELLA E, *et al.* A wireless system for gait and posture analysis based on pressure insoles and inertial measurement units[C]// 3rd International Conference on Pervasive Computing Technologies for Healthcare, PervasiveHealth, 2009.
- [8] LAVERY L A, VELA S A, FLEISCHLI J G, *et al.* Reducing plantar pressure in the neuropathic foot: a comparison of footwear[J]. Diabetes Care, 1997, 20(11):1706.
- [9] SAZONOV E S, FULK G, HILL J, *et al.* Monitoring of posture allocations and activities by a shoe-based wearable sensor[J]. IEEE Transactions on Biomedical Engineering, 2011, 58(4):983-990.
- [10] TAN A M, FUSS F K, YEHUDA W Z, *et al.* Design of low cost smart insole for real time measurement of plantar pressure[J]. Procedia Technology, 2015, 20:117-122.
- [11] 马云鹏. 足底压力检测人体疾病的预警系统设计[J]. 电子测试, 2018, (Z1):12-15.
- [12] CREA S, DONATI M, ROSSI S, *et al.* A wireless flexible sensorized insole for gait analysis[J]. Sensors, 2014, 14(1):1073-1093.
- [13] 杨海艳,李延斌,熊继军,等. 柔性压力传感器研究进展[J]. 应用化工, 2018, (12):2701-2704.
- [14] 阎文静,张鉴,高香梅. 压阻式压力传感器性能的研究

- [J]. 传感器世界, 2012, (2):14-17.
- [15] LIN F, WANG A, ZHUANG Y, *et al.* Smart insole : a wearable sensor device for unobtrusive gait monitoring in daily life[J]. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 2017, 12(6):2 281-2 291.
- [16] URRY S. Plantar pressure-measurement sensors [J]. Measurement Science & Technology, 1999,10: 16-32.
- [17] LEE N K S, GOONETILLEKE R S, CHEUNG Y S, *et al.* A flexible encapsulated MEMS pressure sensor system for biomechanical applications[J]. Microsystem Technologies, 2001, (2):55-62.
- [18] LEE, HONG W, SEUNG-HYEON O. Characterization of elastic polymer-based smart insole and a simple foot plantar pressure visualization method using 16 electrodes [J]. Sensors, 2018,19(1).
- [19] RAZAK A H, ZAYEGH A, BEGG R K, *et al.* Foot plantar pressure measurement system: a review[J]. Sensors, 2012, 12(7):9 884-9 912.
- [20] 朱平. 功能纤维及功能纺织品[M]. 2版. 北京: 中国纺织出版社, 2016.
- [21] 朱险峰, 赵自雷, 许东浩, 等. 足底压力分布监测系统设计与初步临床应用[J]. 生物医学工程学杂志, 2014, (2):439-444.
- [22] DENG C R, TANG W, LIU L, *et al.* Self-powered insole plantar pressure mapping system[J]. Advanced Functional Materials, 2018,28(29).
- [23] LOU C G, WANG S, LIANG T, *et al.* A graphene-based flexible pressure sensor with applications to plantar pressure measurement and gait analysis[J]. Materials, 2017, 10(9):1 068.
- [24] ZHANG Z L, POSLAD S. Improved use of foot force sensors and mobile phone GPS for mobility activity recognition[J]. IEEE Sensors Journal, 2014, 14(2):4 340-4 347.
- [25] 罗向东, 刘丽, 张晔磊, 等. EVA鞋垫硬度与厚度对脚舒适度影响的研究[J]. 中国皮革, 2014, (16):124-127.
- [26] CARLOS G, ALEXANDRE F D S. Wearable E-textile technologies: A review on sensors, actuators and control Elements[J]. Inventions, 2018, 3(1):14.
- [27] 顾振亚, 陈丽. 智能纺织品设计与应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2006.
- [28] 曹萍, 吴小高. 3D打印技术在矫形鞋垫中的应用进展[J]. 中国康复理论与实践, 2015, (7):753-756.
- [29] LO W T, WONG D P, YICK K L. Effects of custom-made textile insoles on plantar pressure distribution and lower limb EMG activity during turning [J]. Journal of Foot and Ankle Research, 2016, 9(1):22.
- [30] 汤运启, 秦蕾, 万蓬勃, 等. 运动鞋鞋垫厚度、硬度对青年女性足底压力舒适性的影响[J]. 皮革科学与工程, 2012, (4): 38-40.
- [31] 喻伟才, 李鑫, 冉美玲, 等. 鞋垫腰窝高度对足底压力舒适性的影响研究[J]. 中国皮革, 2012, (16):119-121.
- [32] 李鑫, 徐波. 鞋垫腰窝高度对足底压力舒适性的影响[J]. 中国皮革, 2013, 42(10):122-124.
- [33] MANDOLINI M, BRUNZINI A, MANISRI S, *et al.* Foot plantar pressure offloading: how to select the right material for a custom made insole[J]. International Conference on Engineering Design, 2017, 8:469-478.
- [34] 赵碎浪, 杨峰, 傅陆军, 等. 鞋垫对足底压力舒适性影响研究进展[J]. 中国皮革, 2018, (9):57-61.
- [35] 严妮妮, 张辉, 邓咏梅. 可穿戴医疗监护服装研究现状与发展趋势[J]. 纺织学报, 2015, (6):162-168.

## Design and Exploration of Wearable Device for Plantar Pressure Measurement

DENG Xi-le<sup>1</sup>, Kamen Ivanov<sup>2</sup>, MEI Zhan-yong<sup>3</sup>, DENG Yong-mei<sup>1,\*</sup>

(1. School of Clothing and Art Design, Xi'an Polytechnic University, Xi'an 710048, China;

2. Shenzhen Institutes of Advanced Technology, Chinese Academy of Sciences, Shenzhen 518055, China;

3. School of Network Security, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China)

**Abstract:** Plantar pressure distribution measurement system was used to analyze plantar pressure characteristics. Through summarizing the research status of plantar pressure measurement, the advantages and disadvantages of several plantar pressure measurement systems were summarized and analyzed. It was pointed out that intelligent wearable pressure insoles, which were portable, easy to operate and had less space require, were increasingly becoming the research focus. The system design of plantar pressure measuring insole was analyzed from the aspects of system architecture, sensor requirements and insole materials. The research direction and challenges of plantar pressure measurement insoles were summarized, and suggestions for further research were put forward.

**Key words:** plantar pressure; pressure measurement; smart insoles; wearable device; flexible sensor