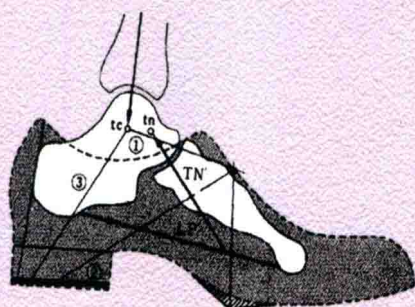


江苏高校优势学科建设工程资助项目

The Principles of
Footwear
Biomechanics and
Application



鞋类 生物力学原理与应用

■ 宋雅伟 王占星 苏杨 / 编著

 中国纺织出版社

江苏高校优势学科建设工程资助项目

鞋类生物力学原理与应用

宋雅伟 王占星 苏 杨 编 著

 中国纺织出版社

内 容 提 要

本书是国内第一本介绍鞋类生物力学专业著作,它从足部基础生物力学入手,详细介绍了足部解剖、步态、足底压力、下肢肌电等基础理论,并针对各专业运动鞋分门别类介绍了具体的设计与应用。它对运动鞋科研人员研发新产品提供了可靠的技术支持。此外,本书还首次对鞋楦、高跟鞋和医用矫形鞋的生物力学与应用展开了论述,这对广大从事鞋类科研的技术人员来说具有很重要的实用价值。我国制鞋产业现处于产业升级的关键阶段,本书从理论和实践两个环节入手解决了鞋类科研人员面临的理论成果难以落地的诸多矛盾。本书不仅可供鞋类科研人员研读、作为体育和鞋服类高等院校的教材,还可作为制鞋企业研发人员的专业工具书。

图书在版编目(CIP)数据

鞋类生物力学原理与应用/宋雅伟,王占星,苏杨编著. —北京:中国纺织出版社,2014. 1

江苏高校优势学科建设工程资助项目

ISBN 978 - 7 - 5180 - 0277 - 1

I. ①鞋… II. ①宋… ②王… ③苏… III. ①鞋—生物力学
IV. ①TS943. 1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 000894 号

策划编辑:张晓芳	责任编辑:王 璐 韩雪飞
责任校对:楼旭红	责任设计:何 建 责任印制:储志伟

中国纺织出版社出版发行

地址:北京市朝阳区百子湾东里 A407 号楼 邮政编码:100124

销售电话:010—87155894 传真:010—87155801

<http://www.c-textilep.com>

E-mail:faxing@c-textilep.com

官方微博 <http://weibo.com/2119887771>

北京佳信达欣艺术印刷有限公司印刷 各地新华书店经销

2014 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

开本:710×1000 1/16 印张:20.75

字数:226 千字 定价:48.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社图书营销中心调换

前言

从鞋诞生的那一刻起,就开始了不断改革和发展的历史。我国鞋的发展经历了漫长而复杂的过程,从古代的木屐草鞋到近代的手工鞋,再到现代种类繁多各式各样的鞋,可以说,鞋的发展也是社会历史发展的一个缩影。当今社会,随着各项运动的蓬勃发展和人们对健康生活要求的逐步提高,鞋的舒适性、安全性、耐久性越来越受到人们的重视。近年来,随着新技术和新方法日益广泛的应用,鞋的变革发生了至关重要的飞跃。与此相关的研究也逐渐受到各领域工作者的重视,它涵盖了人体工学、材料学、运动学和仿生学等多门学科。编者通过多年的生物力学研究,从生物力学的角度出发,探求各类鞋之间的差异与共性,并对鞋的设计和损伤提出了相应的解决方案。

本书总结和分析了之前生物力学的相关研究成果,系统总结了多年的经验,反映了生物力学在鞋类研究中的最新成果。首先,各章节循序渐进,不断深入,紧扣鞋与生物力学的关系。以第一章为例,通过对脚的结构与生理机能的介绍,逐步引入生物力学与脚部的关系,从而引出鞋各个部位的构成,进而进行足部生物力学的分析与研究,使读者更好地了解鞋与脚部生物力学之间至关重要的联系。其次,本书涉及面甚广,阐述了不同种类运动鞋的差异,包括常见的慢跑鞋、网球鞋、场地鞋、足球鞋、滑雪鞋等 10 多个不同种类鞋的生物力学研究以及不同硬度鞋底对人体功能的影响,在一定程度上反映了现阶段鞋的生物力学研究的主流方向。第三,本书注重理论性与实践性的兼顾。随着读者对理论知识掌握的逐渐加深,本书在相应章节中提供了很多实用性强的参考资料。

本书的出版与发行在一定限度上为鞋的设计提供了切实可行的生物力学依据,符合人体工程力学的要求,是一本有特色、有质量的教科书和参考书。全书

目 录

第一章	足部概论	001
第一节	脚的结构与生理机能 / 001	
第二节	脚型测量 / 007	
第三节	脚型规律与变化分析 / 013	
第二章	足部生物力学与步态研究	019
第一节	人类步行动作的一般生物力学原理 / 019	
第二节	步态的生物力学参数 / 021	
第三节	步态的运动学分析 / 029	
第四节	步态的动力学分析 / 031	
第五节	步态分析的测量方法 / 037	
第六节	步态中的肌电研究 / 043	
第七节	步态中能量代谢的研究 / 046	
第八节	足部运动力学数学模型 / 049	
第三章	鞋楦研究及其与脚型的关系	054
第一节	鞋楦的技术发展历程 / 054	
第二节	鞋楦生物力学研究的几个流派 / 058	
第三节	运动鞋楦技术的发展 / 063	

第一章 足部概论

第一节 脚的结构与生理机能

脚的结构与生理机能是研究鞋类生物力学的基础。脚的形态与测量对鞋楦的设计十分重要,也是鞋楦设计的依据。脚的生物力学是所有鞋类生物力学研究的基本参照,只有对这些基础的研究内容分析透彻以后,我们的研究工作才能拓展到各品类鞋子的生物力学分支上去。

一、脚的构成和发育

(一) 脚的构成

人的双脚是由骨骼、关节、肌肉、韧带、神经、血管、足弓以及皮肤所构成。骨骼由骨膜、骨密质、骨松质构成。骨内组织是骨骼构成的基础。骨骼的外层由骨密质构成,内部由骨松质构成,骨松质由骨小梁构成,骨松质中间分布着红骨髓。骨骼外部覆盖着骨膜,血管和神经经过骨膜深入到骨骼的内部。

人脚由 26 块骨骼(小籽骨一般忽略不计)、33 个关节、59 块肌肉、126 根韧带、109 根主干神经组成。脚分为脚趾部、跖掌部、舟跖部和跟踝部四大部分。跖骨周围分布着 12 块骨骼构成了足弓:它们分别是距骨、跟骨、骰骨、舟骨、3 块楔骨和 5 块跖骨(图 1-1)。

距骨是足部活动关联最广的一块骨骼,它位于小腿和跟骨之间。它的所有表面都与周围的骨骼相关联:在内踝区域它的上表面和内表面与胫骨相连接,在外踝区域它的外表面与腓骨相连接,在中心区域它的下表面与跟骨相连接。距

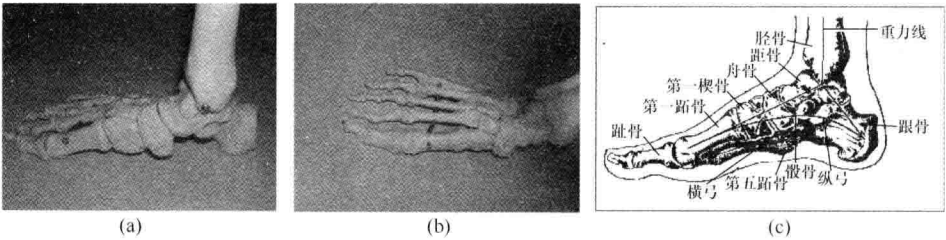


图 1-1 足部骨骼

(图片 C 来源: 百度图片)

骨的前端又与舟状骨相连接。可以用成语“八面玲珑”来比较形象地形容它。世界医学界至今有一个疑团难以解释,那就是——距骨是人体所有关节中受到冲力最大和碰撞最为频繁的骨骼,为什么它很难发生损伤病变?从刚体力学角度出发这一点很难解释。这一问题至今仍在困扰着医学家们,当然,这也是生物力学的魅力所在,它鼓励着人们不断地向人体奥秘深入探索。

跟骨是足部的最大骨骼,它位于距骨下方。跟骨由跟骨体和凸出的大块粗糙的跟结节构成。跟骨体关节面与距骨相连接,而前关节面则与骰骨相连。骰骨位于脚的外侧缘,它在跟骨前面,其后部关节面与跟骨相连。它的前部关节面与第四、第五跖骨相连。舟状骨位于脚的内侧缘,其后关节面与距骨相连。楔骨位于舟状骨前面,第一楔骨与第一跖骨相连;第二楔骨与第二跖骨相连;第三楔骨与第三跖骨相连接。跖趾部位骨骼由五块跖骨构成。其顺序是由脚的内侧向外侧依次排开。跖骨的长度和粗细各不相同,第二跖骨最长,第一跖骨最短。第五跖骨后端的外侧有一外凸点,称为第五跖骨后粗隆。该点是测量跖围点的一个标志点。趾骨是脚指最前端的骨骼,每一脚指由三块趾骨(基底趾骨、中间趾骨和甲趾骨)构成,而脚拇指只有两块基底趾骨和甲趾骨构成。

足部各块骨骼的结合点形成了足部关节。骨骼间的关节部位由结实的结缔组织构成的关节囊包覆着。每一关节囊表面都覆有产生特殊润滑液体的薄层。骨与骨间的关节处还各自包围着一层光滑的软骨。软骨的周围有韧带将关节囊进行固定,这样可使两块骨之间的连接更加严密。人体足部

的关节分为五组,它们分别是踝关节、跗骨间关节、跗跖关节、跖趾关节和趾骨间关节。踝关节也叫距上关节,由小腿骨和距骨构成。踝骨分为内踝和外踝。内、外踝分别由胫骨和腓骨构成。踝关节有一个旋转轴,脚可沿此轴屈伸 65° 角。

跗骨间的各个主要关节能够同时运动,它可以使脚向各个方向转动。跗跖关节位于跗骨与跖骨之间,其活动很少,它是脚进行刚体运动的基础。跖趾关节由跖骨小头与基底趾骨形成,它们主要沿脚的横向轴作屈伸动作。趾间关节位于脚指的各个趾骨之间,它们属于单轴关节,只能作局部的屈伸动作。

在足部骨骼的表面附着的是肌肉。肌肉由肌肉组织构成,它属于运动器官的能动部分。肌肉通过肌腱固定在骨骼上。人体的下肢肌肉包括大腿肌、小腿肌和足肌等部分。其中特别重要的肌肉群是小腿三头肌,它借跟腱附着于跟骨上,由于有此肌群,人体才能完成站立、行走以及各种状态的运动。小腿三头肌包括腓肠肌和跟腱。另外参与足部运动的辅助肌群还有比目鱼肌、趾屈肌、腓骨长肌等。足部的肌肉运动与身体的其他部位一样都是靠神经系统来完成收缩运动的。这些神经依靠神经元发出的信号进行不同强度的脉冲作用,形成一次次的肌肉活动。

脚弓也称足弓,它的主要任务是减轻人体的震动,降低震动对身体造成的危害。脚弓是人类进化的产物,直立行走导致了足弓的发育完善。这是灵长类动物的独特特征。从脚的内侧看,足弓呈拱形连接着足的前后两个部分。如果从横向来看,足弓还有一个横弓来支撑着足部的左右平衡。足弓的顶端骨骼发育较为发达,它承受着楔骨与跖骨的巨大作用力。足弓的底面骨骼较为脆弱,这一部位集中了大量的血管与神经组织。如果足弓部位弓托过高或过硬不仅不会促进足弓的发育,相反还会因为长时间压迫血管与神经系统而造成脚前掌部位供血不足,严重的还会造成局部坏死。从结构力学角度来分析,足弓垫(托)的形状如果过高还会对跗跖关节产生一个由下至上的破坏力,这个力长久累积会导致该关节的病理性松弛。

人体的双脚分布着丰富的血管与神经系统,具体详细的血管数量目前还没有确切答案。血管的作用是输送氧气与养分,它将足部运动必需的养料源

源不断输送到足部的每一个环节。足部的静脉与动脉一般并列分布,它们之间通过毛细血管将肌肉与皮肤贯穿起来。脚部的血管系统不能受到挤压,因为挤压血管,脚部的血液流动将会变缓,脚部的能量输送将会受阻。这时脚发育将会萎缩,如果在冬季则会被冻伤。所以鞋腔的容积以及鞋楦的肉体安排需要仔细斟酌方能更好地适应脚的发育与生长。脚上具有丰富的神经系统,股神经与坐骨神经系统分支分别经过脚的内怀和脚背,另一分支则位于脚的外怀和脚底。

(二)脚的发育

脚发育完全大约需要 18 年的时间。刚出生时,脚部共有 22 块部分发育完全的骨头,等宝宝长到 1 岁时,他的脚长度已经接近成人的 $1/2$ 。到了上学年龄,脚骨的数量会达到 45 块。在以后的 13 到 14 年后,儿童的许多骨头会连接在一起,形成成人脚中的 26 块骨头。当然除了 26 块骨骼之外,在第一和第五跖趾和跟骨下方还各有一块处于游离状态的小籽骨,这样人体足部骨骼的总量应当是 29 块。据俄罗斯学者钦佐娃的资料显示,儿童脚长,也像他们的身高一样,每年的变化不同。7 岁以下男童和女童,每年的脚长增长平均为 11mm。8 ~ 9 岁,脚的增长放慢,脚长每年增加只有 4mm。9 岁以后增长速度重新加快。到了 11 岁,每年的增长速度又会减慢。15 岁以后少女脚长每年只增加 1mm。不过也有不少例外情况,有时儿童脚在很短期间增长很快,或者恰恰相反,也有青少年在很长一段时间内脚型停止增长。除了按年龄分组的儿童平均脚长变化与年龄不成正比之外,儿童脚长与年龄的比例关系也不一样:12 ~ 13 岁以下的少年和少女,脚的发展速度几乎相同,在这期间少女脚长比同年龄男少年的脚长小 1 ~ 2mm。从 12 ~ 13 岁起,少年和少女脚的增长速度开始变化。男少年的脚继续增长,而少女脚的增长速度减慢。年龄 15 ~ 16 岁少女脚就停止增长,而男少年的脚到 18 ~ 20 岁才停止增长。这个结论只是俄罗斯儿童发育规律,对于我国儿童及青少年来说可能会有一些差异。这还需要做进一步的调查分析。

最近,日本解剖学家铃木端成提出,东亚人的足部骨骼比欧美人少一块,每只脚应为 25 块。他指出日本人和中国汉族人的第五跖骨只有 2 块,并不是传统

概念上的3块。欧美人大部分是3块。因为其统计样本量偏小(只选取了150人),这一结论目前还没有得到广泛认可,不过从其统计的150例样本来看结果确实如此。下图是中国皮革和制鞋工业研究院与广州天创鞋业统计的儿童足部发育过程图(图1-2)。

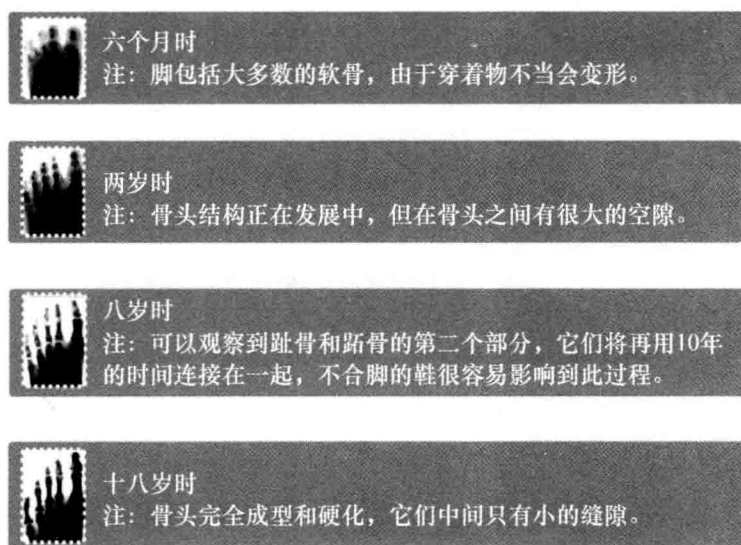


图1-2 儿童足部发育过程

(图片来源:广州天创鞋业)

二、脚的形状和尺寸

鞋的母体是鞋楦,而鞋楦的母体是脚。鞋要想舒适其鞋楦至关重要,而鞋楦设计的前提是对于脚型的了解。按照国际人类学分类标准,人类的脚型大致分为四种(图1-3):第一种是埃及脚型。第二种是希腊脚型。第三种是第一和第二趾等长脚型。第四种是方形脚。埃及脚型的特征是大脚趾最长,它约占国人脚型的60%。希腊脚型的特征是二脚趾最长,它约占国人脚型的30%。第一和第二趾等长型约占9%。方形脚最少,它只占1%。

除了上述正常四种常见脚型以外,还有六类非正常脚型。它们分别是:扁平足、高弓足、拇内翻、拇外翻、跟内旋、跟外旋(图1-4、图1-5)。



图 1-3 人类常见的四种脚型

(图片来源:广州天创鞋业)



图 1-4 六种常见的足部形态

(图片来源:广州天创鞋业)



图 1-5 六种足型的脚印图

(图片来源:《中国鞋楦鞋号设计》)

第二节 脚型测量

为了设计合脚舒适的鞋子,首先要对不同人群脚型规律进行统计分析。脚型规律的研究基础是脚型数据分析,脚型数据分析需要进行大量的脚型测量活动。脚型测量的手段有机器和手工两种,目前以手工测量为主。脚型测量之前先要确定样本抽样方法以及每一区域的样本数量。之后要对相关测量人员进行测量培训,每一位测量员的重测信度系数(克朗巴哈 α 系数)应当达到 0.65 以上方可从事测量工作。

脚型测量过程如下:先将脚型测量表发给被测者,填写如姓名、年龄、单位等栏目。被测者脱去脚上的鞋袜,并卷起两腿的裤角至小腿处,测量时自然站立,并使身体的重量平均分配在脚掌上,且两脚不得随便移动。之后描画脚印轮廓线(图 1-6)。描画轮廓线时用划笔的双齿垂直于垫板板面,沿脚型的边缘描画

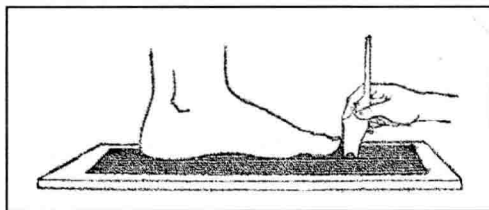


图 1-6 划脚印轮廓图作标志点

(图片来源:《中国鞋楦鞋号设计》)

出脚的轮廓线(为保证划笔的垂直,脚印轮廓应为双线条)。并标出三个标志点:第一跖趾关节突点、第五跖趾关节突点和前跗骨突点。

之后,被测者平稳地将右脚抬起,取出脚型测量表格,进行部位测量,并记录下列数据(图 1-7、图 1-8):跖趾围长、前跗骨围长、兜跟围长、前跗骨高度、外踝骨高度、第一跖趾高度、拇指厚度、自然前翘角。

在脚处于自然悬垂状态下,用特制角度尺的固定板与脚底面自然贴靠,角度尺的折线与第一跖趾关节标志对正,抬起活动板,与脚趾平面自然贴靠,活动板与固定板之间所夹的锐角,即为自然前翘角。

我国分别于 1968 和 2001 年进行过两次大规模的中国人群脚型规律研究,其最新的鞋楦标准也已经公布(GB/T3293—2007)。国内外许多学者和机构都进行过不同规模的脚型测量活动,耐克(NIKE)公司曾与上海体育学院和国家体育科学研究所胡水清等人专门展开过中国人群脚型调查。英国鞋类贸易研究协



图 1-7 跖围测量

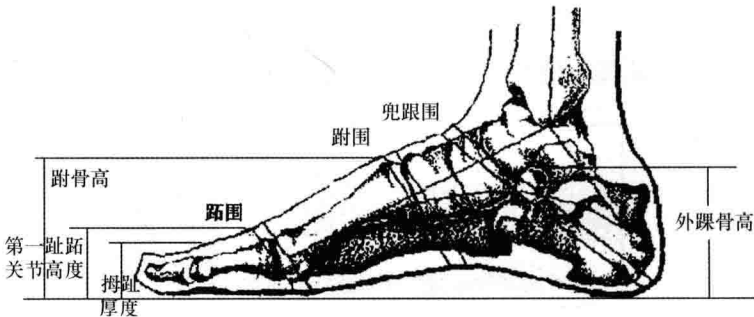


图 1-8 脚型测量部位图

(图片来源:《中国鞋楦鞋号设计》)

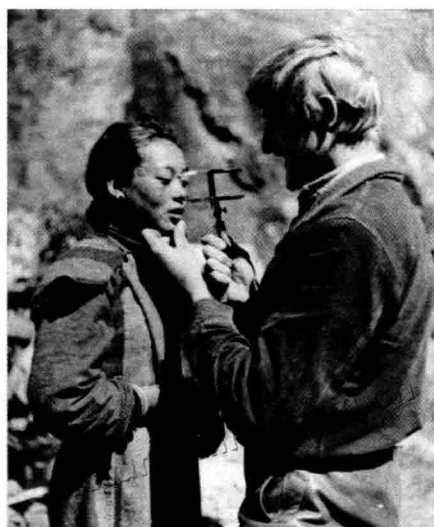


图 1-9 贝尔格等人在采集西藏人体数据

(图片来源:百度图片及 CCTV10《探索·发现》)

会(SATRA)曾于1993年委托德蒙福特大学陈建忠(Robert Chen)教授开展过台湾地区3万人的脚型调查。香港中文大学洪友廉教授曾做过2万人的中国人群脚型调查。肖辉、艾琼华曾对我国新疆哈萨克族人群展开过小样本脚型调查。何仲义等人曾对宁夏回族青少年进行过小样本脚型调查。李坤等人曾对广西壮族青少年进行过脚型调查。王京琼等人曾对我国湘西南侗族青少年脚型规律做过调查。目前关于我国少数民族人群脚型调查的测量方法均使用的是医学和人类学脚型测量方法,它与鞋类研究所用的方法存在差异,在实际应用中还须进一步换算改进。另外,这些调查样本量均偏小,测量数据也偏少(大部分只有脚长和脚宽两个数据),这些问题以后需引起重视。1938年和1941年德国纳粹组织派遣慕尼黑大学斯文·赫定学院人类学专家布鲁诺·贝尔格曾两次深入我国西藏地区进行藏族人群人体数据调查(图1-9)。它们共采集了376个当地人数据,这些数据至今没有解密。时隔70年后,我国藏族人群脚型调查才由中国皮革和制鞋工业研究院王占星、樊康杰、刘小林等人于2012年7月首次进行大规模测量采集(图1-10,该项目由安踏公司进行资助与委托,安踏人体科学实验室阮果清主任负责实施)。这是我国首次国人自己测量西藏地区的人群脚型规律,

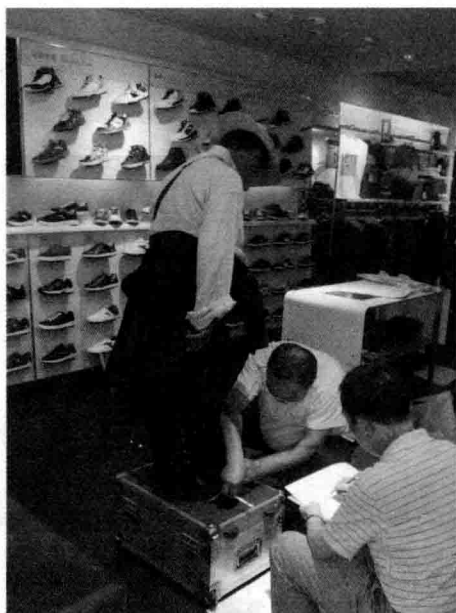


图1-10 在拉萨安踏专卖店进行的测量

也是国家级鞋类研究机构首次对高海拔少数民族地区人群的大面积脚型测量。我们期待贝尔格的数据在 2044 年解密后两者能有一个比较。日本学者大冢瑗等人做过小样本(156 人)的日本人群脚型调查。捷克托马斯·拔佳大学(Thomas Bata University)鞋类专业主任哈瓦契克教授等人对捷克人群脚型进行过大型缜密调查。英国、德国、法国、波兰、俄罗斯、罗马尼亚等国相关研究机构都做过大样本的脚型调查。另外,世界上还有许多非制鞋专家(如医学、人类学)也做过许多脚型测量调查。目前,各国专家脚型调查的方法和测量手段差异很大,测量点选取数量也不一样,这造成了数据无法共享的局面。

从我国大规模的两次脚型规律调查测量结果来看,脚型尺寸的分布及其个别尺寸特征间的相互比例关系服从一定的规律(图 1-11)。其中最重要规律之一就是同组人脚尺寸的分布呈正态分布规律。这说明只要生产一定数量形状、尺寸规格的鞋子(约占脚型正态分布规律 85%),就能满足我国大多数人民的消费需求。另外,在脚的长度向和宽度向之间存在正比例关系。长度向和宽度向的各标志部位之间也存在正比例关系。通常来说,脚的长度与宽度符合正比例关系分布。脚长的人其脚宽也跟着变大。但是也有三分之一的人并不符合这个规律。比如有的人脚很长但并不宽,有的人脚很短却很宽。前苏联和东欧一些国家将同一脚长的鞋分成三个宽度(宽型、标准型和窄型)。在上述三种宽度中,标准型的鞋型所占比例最大(约占 75%)。根据我国第二次脚型规律测量结果可以看出我国人群脚型基本特征,如下表所示。

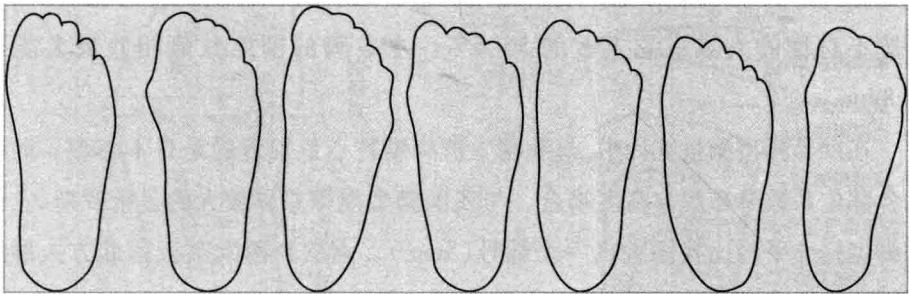


图 1-11 我国六大区域城市女性脚型轮廓特征图

(图片来源:广州天创鞋业)

中国人群脚型关键部位规律

单位:mm

项 目	规律	男	女
脚型长度	100% 脚长	255	235
拇趾外突点	90% 脚长	229.5	211.5
小趾外突点	78% 脚长	198.9	183.3
第一跖跖关节	72.5% 脚长	184.9	170.4
第五跖跖关节	63.5% 脚长	161.9	149.2
腰窝部位	41% 脚长	104.6	96.4
踵心部位	18% 脚长	45.9	42.3
跖趾围长	100% 跖围	246.5	229
前跖骨围长	100% 跖围	246.5	229
兜跟围长	131% 跖围	322.9	300
基本宽度	40.3% 跖围	99.3	92.3
腰窝外段宽	46.7% 基宽	46.4	41.7
踵心全宽	67.7% 基宽	67.2	60.5

(表格来源:《中国人群脚型规律研究报告》,2004)

英国鞋类贸易研究协会(SATRA)经过调查测量发现。中国大陆有半数以上人口的左右脚是不对称的。其中 28.5% 的人左脚比右脚长,13.5% 的人右脚比左脚长。脚长相差大者能够达到 5mm。在脚的围度方面,左右脚也存在很大差异。其中 31.6% 的人右脚跖围比左脚大。而 25% 的人左脚比右脚大。两脚不对称的人数占总人数的 56.6%。左右脚的围度数值相差最大能达到 8mm。

在世界脚型测量统计中,与我国人群脚型特点最接近的是日本脚型。两者的各部位系数分布规律高度吻合。与我国脚型规律差异较大的是俄罗斯,它们的脚型尺寸平均比我国大出一个鞋号(5mm)。南欧和西欧与我国北方人群脚型规律接近。