

基于三维扫描的男大学生脚型参数提取与分类

薄泽明¹, 何一凡², 杨祥斌¹, 金维娟², 袁惠芬^{*1}

(1. 安徽工程大学 纺织服装学院, 安徽 芜湖 241000; 2. 安徽工程大学 设计学院, 安徽 芜湖 241000)

摘要:为了提高鞋子穿着的合体性和舒适性, 准确掌握青年男大学生脚型的三维特征, 采用三维激光脚型扫描仪对437名青年男大学生进行测试。分别对脚长、跖趾围长、足弓高度等19个原始测量指标进行统计学分析、因子分析, 并采用K-means聚类分析实现脚型细分。结果表明: 描述脚型高度维度的指标变异较大, 长度维度的变异较小; 通过因子分析提取出长度特征因子、宽度特征因子、高度特征因子、其他特征因子4个主成分, 并根据因子权重值, 提取脚长、跖趾围长、足弓高度3个变量作为脚型分类标准, 采用K-means聚类算法将青年男大学生的脚型细分为短瘦低足弓型、长中低足弓型、短瘦高足弓型、长胖低足弓型、短瘦中足弓型、长胖高足弓型、中胖高足弓型7种类型。实验结果可以为制鞋企业生产舒适合体的鞋子提供理论依据。

关键词: 男大学生脚型; 三维扫描; 因子分析; 聚类分析; 脚型分类

中图分类号: TS 941.17 **文献标志码:** A **文章编号:** 2096-1928(2024)02-0121-06

Foot Shape Parameter Extraction and Classification of Male College Students Based on Three-Dimensional Scanning

BO Zeming¹, HE Yifan², YANG Xiangbin¹, JIN WeiJuan², YUAN Huifen^{*1}

(1. School of Textiles and Clothing, Anhui Polytechnic University, Wuhu 241000, China; 2. School of Design, Anhui Polytechnic University, Wuhu 241000, China)

Abstract: The extraction and classification of foot features plays an important role in improving the fit and comfort of shoes. In order to accurately grasp the three-dimensional characteristics of young male college students' foot shapes, 437 young male college students were tested by 3D laser foot scanners, and 19 original measurement indicators such as foot length, metatarsophalange circumference and arch height were statistically analyzed and factored, and K-means cluster analysis was used to achieve foot subdivision. The experimental results show that the height dimension of the foot shape has a large variation and the length dimension has a small variation. Four principal components were extracted by factor analysis: length characteristic factor, width characteristic factor, height characteristic factor and other characteristic factor. According to the factor weight value, three variables of foot length, metatarsophalangeal circumference and arch height were extracted for K-means clustering analysis. The foot types of young male college students are divided into 7 categories, namely, short thin low arch type, long middle low arch type, short thin high arch type, long fat low arch type, short thin middle arch type, long fat high arch type, middle fat high arch type. The experimental results can provide a theoretical basis for shoemaking enterprises to produce comfortable shoes.

Key words: foot type of male college students, three-dimensional scanning, factor analysis, cluster analysis, foot type classification

收稿日期: 2023-10-05; 修订日期: 2023-12-18。

基金项目: 安徽省重点研究与开发计划面上攻关项目(201904A05020067)。

作者简介: 薄泽明(1997—), 女, 硕士研究生。

* 通信作者: 袁惠芬(1972—), 女, 教授, 硕士生导师。主要研究方向为服装数字化。Email: 415624395@qq.com

随着经济的发展以及人们生活水平的提高,人们对鞋子穿着舒适性提出了更高的要求。对人体脚部数据进行统计学分析,是提取脚部特征进而实现脚型分类的常用手段。潘隽媛等^[1]运用统计学方法对东北女青年的 21 个脚部特征进行描述性统计分析,得出其脚型规律,并与全国女性脚型规律对比,发现拇趾外突点、腰窝等部位存在较大差异。万蓬勃等^[2]使用主成分分析法从陕西地区男性与女性的脚型数据中分别提取出长度因子、宽度因子、围度因子、高度因子 4 类特征因子,并通过聚类分析将该地区男青年脚型分为尖长足、短宽足和细窄足 3 类,女青年脚型分为短矮足、宽壮足和窄平足 3 类。周捷等^[3]通过三维脚型测量技术对比分析 84 名青年男大学生和 122 名青年女性非竞技运动员的脚型特点,采用 K-means 均值聚类法将脚型各细分为 3 类。研究结果表明,为保证非竞技运动员鞋类产品舒适性及合脚性,在设计时应重点考虑第 5 跖趾关节长、第 1 跖趾里宽、前跗骨围等测量变量。刘梦媛等^[4]对中国南北方 673 名正常体重儿童脚型数据进行统计分析,探究该群体脚型发育规律,分析得出北方儿童脚型在宽、高、围度方面与南方儿童有较大差异。杨亚丽等^[5]采用三维扫描仪提取出青年女性的 25 个脚型变量,通过主成分分析对 25 个变量进行降维得到围度、长度、厚度、脚后跟形态和脚趾形态 5 个主成分,选取脚宽、脚厚对应的特征指数作为分类变量,最终将脚型分为瘦型、胖型、中间型 3 类。

综上所述,目前对脚型参数分类数量较少,脚部形态的细分还需深入研究。因此,文中以 18~25 岁青年男大学生为研究对象,统计分析 19 个脚部测量部位数据,采用因子分析提取描述脚型的特征,结合 K-means 聚类分析对该群体的脚部形态进行细分,以期提高目标人群对鞋类产品的穿着匹配度,同时也为制鞋企业鞋子生产提供理论依据。

1 实验部分

1.1 实验仪器

LSF350 三维激光脚型扫描仪,深圳精易迅科技有限公司制造。

1.2 实验样本

采用随机抽样的方法收集安徽工程大学 437 名 18~25 岁青年男大学生脚型数据形成样本。其中脚型数据由脚长、脚宽、足弓高度等 19 个测量部位组成。根据测量项目的标准差和样本允许误差确

定样本容量 N 的大小^[5],计算公式为

$$N=\left(1.96\times\frac{S}{\Delta}\right)^2。$$

式中: N 为样本容量; S 为样本的标准差; Δ 为样本允许误差^[6]。

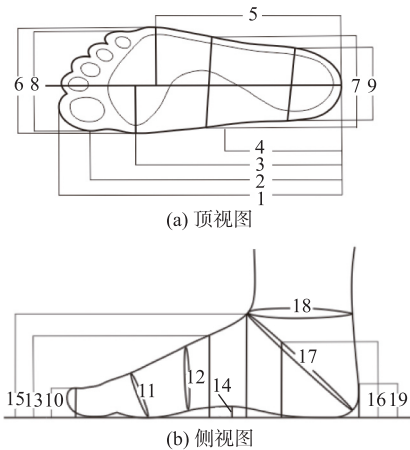
对 19 项测量指标进行计算,最低样本容量为 246,该实验样本容量为 437,满足样本容量要求。

1.3 测量项目

根据青年男大学生的脚型特点最终选定 19 个测量变量,具体变量名称及脚型特征参数说明见表 1。各变量对应的示意图如图 1 所示。

表 1 脚型特征参数说明

| Tab. 1 Foot type characteristic parameter description | | |
|---|------------|---------------------------------|
| 序号 | 变量名称 | 测量方法 |
| 1 [#] | 脚长 | 脚的最长脚趾中心点到后跟端点的距离 |
| 2 [#] | 拇指外凸点长度 | 沿轴线方向拇指外凸点长度到后跟凸点的距离 |
| 3 [#] | 第 1 跖趾部位长度 | 沿轴线方向第 1 跖趾关节凸点与后跟凸点距离 |
| 4 [#] | 腰窝部位长度 | 沿轴线方向上内腰窝点到后跟凸点的距离 |
| 5 [#] | 第 5 跖趾部位长度 | 沿轴线方向第 5 跖趾关节凸点与后跟凸点距离 |
| 6 [#] | 脚宽 | 第 1 跖趾里宽与第 5 跖趾外宽之和 |
| 7 [#] | 腰围宽度 | 腰围点集中最左边点和最右边点在脚底轮廓上的投影到轴线的距离之和 |
| 8 [#] | 脚趾宽度 | 拇指里段宽度与小趾外段宽度之和 |
| 9 [#] | 踵心宽度 | 后跟凸点受力中心位置的宽度线的长度 |
| 10 [#] | 拇指高度 | 拇指距测量面的高度 |
| 11 [#] | 跖趾围长 | 通过脚的第 1 跖趾关节凸点和第五跖趾关节凸点所测量的围长 |
| 12 [#] | 腰围 | 围绕跗骨中间部位一圈的长度,且其所在的平面与测量面垂直 |
| 13 [#] | 前跗骨高度 | 前跗骨突点距测量面的高度 |
| 14 [#] | 足弓高度 | 足弓高度是内纵弓和后横弓相交处的最高点到脚底平面的垂直距离 |
| 15 [#] | 舟上弯点高度 | 舟上弯点距测量面的高度 |
| 16 [#] | 外踝骨下缘点高度 | 外踝骨下缘点距测量面的高度 |
| 17 [#] | 兜跟围长 | 通过后跟着地点和舟上弯点所测量的围长 |
| 18 [#] | 踝围 | 通过围绕踝骨所测量的围长,平面方向为水平方向 |
| 19 [#] | 后跟突点高度 | 后脚跟凸点距测量底面的距离 |



注:1 ~ 19 为测量参数。
图 1 脚型特征参数示意

Fig.1 Foot type characteristic parameter diagram

2 数据基本分析

2.1 数据筛选

测量过程中如因测量误差或受试者紧张造成姿势偏差,则会导致数据采集结果存在空值或异常值^[7]。为了获得较高质量的数据,通过计算每个数据间的距离进行异常值筛选。当一个数据对象与其他数据之间距离较远时,则判定该数据为异常值^[8]。

基于距离法筛选异常值数据团聚效果更佳。通过删除空值记录及剔除异常值,最终保留 415 条数据记录。

2.2 基本统计量分析

19 个变量的柯尔莫戈洛夫-斯米诺夫 a 正态检验(kolmogorov-smirnov test,K-S)表明各变量均符合正态分布。分别对各变量进行基本统计量分析,具体结果见表 2。通过对脚型各变量的统计分析,可以了解数据的波动范围以及离散程度。由表 2 可知,脚长的均值为 255.74 mm,其极差、标准差和变异系数分别为 58.20 mm,11.19 mm 和 0.04。跖趾围长的均值为 237.84 mm,其极差、标准差和变异系数分别为 53.60 mm,10.70 mm 和 0.04。足弓高度的均值为 17.36 mm,其极差、标准差和变异系数分别为 42.10 mm,7.13 mm 和 0.41。结合变异系数反映变量中变异系数最大的前 4 位依次为足弓高度 0.41、外踝骨下缘点高度 0.17、拇指高度 0.16、后跟突点高度 0.14。变量中变异最小的有 7 位分别为兜跟围长、腰窝部位长度、脚长、拇指外凸点长度第 1 跖趾部位长度、第 5 跖趾部位长度、跖趾围长,数值均为 0.04。所以青年男大学生脚型高度形态的变量离散程度较大,脚型长度形态的变量离散程度较小。

表 2 各脚型变量的统计分析

Tab.2 Statistical analysis table of each foot type variable

| 变量名称 | 最小值/mm | 最大值/mm | 均值/mm | 标准差/mm | 极差/mm | 变异系数 |
|------------|--------|--------|--------|--------|-------|------|
| 脚长 | 227.40 | 285.60 | 255.74 | 11.19 | 58.20 | 0.04 |
| 拇指外凸点长度 | 204.60 | 256.60 | 229.64 | 10.03 | 52.00 | 0.04 |
| 第 1 跖趾部位长度 | 161.50 | 202.80 | 181.68 | 8.00 | 41.30 | 0.04 |
| 腰窝部位长度 | 93.30 | 117.10 | 104.85 | 4.59 | 23.80 | 0.04 |
| 第 5 跖趾部位长度 | 141.00 | 177.10 | 158.66 | 6.99 | 36.10 | 0.04 |
| 脚宽 | 85.40 | 107.70 | 96.35 | 4.69 | 22.30 | 0.05 |
| 腰围宽度 | 81.20 | 105.10 | 92.44 | 4.89 | 23.90 | 0.05 |
| 脚趾宽度 | 60.00 | 105.80 | 88.31 | 5.97 | 45.80 | 0.07 |
| 踵心宽度 | 38.60 | 100.80 | 78.67 | 6.40 | 62.20 | 0.08 |
| 拇指高度 | 7.00 | 22.90 | 11.39 | 1.86 | 15.90 | 0.16 |
| 跖趾围长 | 213.50 | 267.10 | 237.84 | 10.70 | 53.60 | 0.04 |
| 腰围 | 210.60 | 271.10 | 240.20 | 11.49 | 60.50 | 0.05 |
| 前跗骨高度 | 49.10 | 69.30 | 60.06 | 3.82 | 20.20 | 0.06 |
| 足弓高度 | 2.60 | 44.70 | 17.36 | 7.13 | 42.10 | 0.41 |
| 舟上弯点高度 | 70.30 | 93.70 | 82.70 | 4.67 | 23.40 | 0.06 |
| 外踝骨下缘点高度 | 17.50 | 81.50 | 51.84 | 8.97 | 64.00 | 0.17 |
| 兜跟围长 | 292.10 | 360.30 | 323.33 | 14.03 | 68.20 | 0.04 |
| 踝围 | 220.80 | 287.80 | 250.98 | 11.80 | 67.00 | 0.05 |
| 后跟突点高度 | 13.50 | 29.60 | 19.92 | 2.81 | 16.10 | 0.14 |

2.3 因子分析

对描述脚型的 19 个原始变量进行因子分析,根据变量之间的相关性大小提取少数的几个具有代表性的因子,从而简化脚型细分难度。通常因子分析之前需通过 KMO 检验和巴特利特球形度检验^[9],以验证变量间是否存在相关性,具体见表 3。

表 3 KMO 和巴特利特检验

Tab.3 KMO and Bartlett tests

| KMO 检验 | 巴特利特球形度检验 | | |
|--------|-----------|-----|-------|
| | 近似卡方 | 自由度 | 显著性 |
| 0.85 | 20 184.80 | 171 | 0.000 |

由表 3 可知,KMO 数值为 0.85,巴特利特球形度

检验显著性为 0.000,表明变量适合进行因子分析。因子分析的总方差解释见表 4。

表 4 总方差解释
Tab.4 Total variance explanation table

| 成分 | 初始特征值 | | | 提取载荷平方和 | | | 旋转载荷平方和 | | |
|----|-------|-------|--------|---------|-------|-------|---------|-------|-------|
| | 总计 | 方差/% | 累积/% | 总计 | 方差/% | 累积/% | 总计 | 方差/% | 累积/% |
| 1 | 8.87 | 46.67 | 46.67 | 8.87 | 46.67 | 46.67 | 5.91 | 31.11 | 31.11 |
| 2 | 3.18 | 16.71 | 63.38 | 3.18 | 16.71 | 63.38 | 5.27 | 27.76 | 58.87 |
| 3 | 2.22 | 11.68 | 75.06 | 2.22 | 11.68 | 75.06 | 2.58 | 13.58 | 72.45 |
| 4 | 1.21 | 6.35 | 81.41 | 1.21 | 6.35 | 81.41 | 1.70 | 8.96 | 81.41 |
| 5 | 0.97 | 5.11 | 86.52 | | | | | | |
| 6 | 0.68 | 3.56 | 90.07 | | | | | | |
| 7 | 0.60 | 3.14 | 93.21 | | | | | | |
| 8 | 0.45 | 2.37 | 95.58 | | | | | | |
| 9 | 0.35 | 1.82 | 97.39 | | | | | | |
| 10 | 0.22 | 1.15 | 98.54 | | | | | | |
| 11 | 0.11 | 0.56 | 99.10 | | | | | | |
| 12 | 0.07 | 0.38 | 99.48 | | | | | | |
| 13 | 0.06 | 0.32 | 99.80 | | | | | | |
| 14 | 0.02 | 0.12 | 99.92 | | | | | | |
| 15 | 0.01 | 0.05 | 99.96 | | | | | | |
| 16 | 0.01 | 0.03 | 99.99 | | | | | | |
| 17 | 0.00 | 0.01 | 100.00 | | | | | | |
| 18 | 0.00 | 0.00 | 100.00 | | | | | | |
| 19 | 0.00 | 0.00 | 100.00 | | | | | | |

由表 4 可以看出,第 1 个成分的初始特征值为 8.87,可解释原有 19 个变量总方差的 46.67%,累积方差贡献率为 46.67%;通常抽取初始特征值大于 1 的因子,文中抽取前 4 个因子,累积方差贡献率为 81.41%,表明前 4 个公因子可以解释约 81% 的总方差,结果较理想。

因子旋转使得脚型特征描述更清晰。描述同一脚部形态特征的特征变量具有较强的相关性,即旋转后的变量数值均大于 0.5,19 个变量全部满足。旋转后的成分矩阵见表 5。将表 5 变量整理命名,得到以下公因子:

1)第 1 公因子由脚长、腰窝部位长度、第 1 跖趾部位长度、拇指外凸点长度、第 5 跖趾部位长度、兜跟围长、踝围围长 7 个变量构成,构成因子的变量主要描述脚型的长度形态,定义为长度特征因子。

2)第 2 公因子由跖趾围长、脚宽、腰围宽度、腰围围度、脚趾宽度、踵心宽度 6 个变量构成,描述脚型宽度形态,定义为宽度特征因子。

3)第 3 公因子由足弓高度、舟上弯点高度、前跗骨高度、外踝骨下缘点高度 4 个变量构成,变量描述脚型高度形态,定义为高度特征因子。

4)第 4 公因子由后跟总宽度、拇指高度 2 个变量构成,变量描述脚部后跟和拇指形态,定义为其

他特征因子。

表 5 旋转后的成分矩阵
Tab.5 Rotated component matrix table

| 变量名称 | 成分 | | | |
|------------|-------|-------|-------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 脚长 | 0.98 | 0.20 | 0.01 | 0.02 |
| 腰窝部位长度 | 0.98 | 0.20 | 0.01 | 0.02 |
| 第 1 跖趾部位长度 | 0.98 | 0.19 | 0.01 | 0.01 |
| 拇指外凸点长度 | 0.98 | 0.20 | 0.02 | 0.02 |
| 第 5 跖趾部位长度 | 0.98 | 0.19 | 0.01 | 0.01 |
| 兜跟围长 | 0.67 | 0.58 | 0.19 | 0.17 |
| 踝围围长 | 0.55 | 0.52 | 0.13 | 0.38 |
| 跖趾围长 | 0.33 | 0.89 | 0.11 | 0.18 |
| 脚宽 | 0.31 | 0.89 | 0.02 | 0.09 |
| 腰围宽度 | 0.25 | 0.88 | -0.08 | 0.17 |
| 腰围围度 | 0.25 | 0.88 | 0.12 | 0.27 |
| 脚趾宽度 | 0.07 | 0.77 | 0.14 | -0.03 |
| 踵心宽度 | 0.08 | 0.65 | -0.02 | 0.04 |
| 足弓高度 | -0.14 | -0.05 | 0.83 | -0.07 |
| 舟上弯点高度 | 0.21 | 0.28 | 0.82 | 0.27 |
| 前跗骨高度 | 0.03 | 0.44 | 0.78 | 0.30 |
| 外踝骨下缘点高度 | 0.08 | -0.11 | 0.68 | -0.21 |
| 后跟总宽度 | 0.00 | 0.15 | 0.18 | 0.82 |
| 拇指高度 | 0.05 | 0.12 | -0.14 | 0.71 |

3 聚类分析

3.1 聚类变量的确定

通过计算权重值的方法确定脚型目标因子,参考旋转后成分矩阵并根据成分数值确定脚部特征指标,具体见表 6。由表 6 可知,长度特征因子、宽度特征因子、高度特征因子 3 个因子的权重数值之和为 0.92,表明这 3 个因子对脚型的影响最大。

长度特征因子描述脚长度特征形态。其公因子中前 5 个变量数值均为 0.98,购买鞋类产品时优先考虑脚长变量,而脚长变量在描述脚型长度形态时与其他描述长度的变量具有重叠性,故确定脚长为聚类变量。

宽度特征因子主要描述的是脚宽度特征形态。在表 5 中成分 2 数值最高的两个变量分别是跖趾围长和脚宽,跖趾围长是人脚肥瘦的主要标志,跖趾围长和脚宽在测量时都涉及第 1 跖趾关节凸点和第 5 跖趾关节凸点,且跖趾围长描述脚型形态时所包含的信息量更大,故确定跖趾围长为描述脚型宽度的特征变量。

高度特征因子描述的是脚高度方向的形态。由表 5 可知,足弓高度数值最大,故确定足弓高度为聚类变量。

表 6 因子权重值

Tab.6 Factor weight value table

| 公因子名称 | 权重系数 | 变量名称 | 载荷值 |
|--------|------|------------|------|
| 长度特征因子 | 0.57 | 脚长 | 0.98 |
| | | 腰窝部位长度 | 0.98 |
| | | 第 1 跖趾部位长度 | 0.98 |
| | | 拇指外凸点长度 | 0.98 |
| | | 第 5 跖趾部位长度 | 0.98 |
| | | 兜跟围长 | 0.67 |
| | | 踝围围长 | 0.55 |
| 宽度特征因子 | 0.21 | 跖趾围长 | 0.89 |
| | | 脚宽 | 0.89 |
| | | 腰围宽度 | 0.88 |
| | | 腰围围度 | 0.88 |
| | | 脚趾宽度 | 0.77 |
| | | 踵心宽度 | 0.65 |
| 高度特征因子 | 0.14 | 足弓高度 | 0.83 |
| | | 舟上弯点高度 | 0.82 |
| | | 前跗骨高度 | 0.78 |
| | | 外踝骨下缘点高度 | 0.68 |
| 其他特征因子 | 0.08 | 后跟总宽度 | 0.82 |
| | | 拇指高度 | 0.71 |

3.2 聚类结果分析

选取脚长、跖趾围长、足弓高度作为 K-means 聚类算法的变量,对 18 ~ 25 岁的青年男大学生脚型进行聚类。最终聚类中心见表 7。

表 7 最终聚类中心

Tab.7 Final clustering center

单位:mm

| 项目 | 聚类中心 | | | | | | |
|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 脚长 | 250.24 | 264.33 | 245.29 | 271.74 | 244.77 | 266.89 | 254.87 |
| 跖趾围长 | 235.36 | 236.30 | 230.53 | 252.43 | 222.59 | 247.82 | 249.05 |
| 足弓高度 | 14.93 | 13.96 | 28.55 | 11.94 | 15.31 | 25.13 | 16.90 |

碎石图如图 2 所示。由图 2 可知,碎石图的拐点出现在聚类数为 7 ~ 9 时,9 以后数据趋于平稳。考虑到企业的生产效率及经济效益,借助 K-means 聚类算法,以脚长、跖趾围长、足弓高度作为聚类算法的变量,将脚型分成短瘦低足弓型、长中低足弓型、短瘦高足弓型、长胖低足弓型、短瘦中足弓型、长胖高足弓型、中胖高足弓型 7 类,具体结果见表 8。由表 8 可知,短瘦低足弓型占比最高为 25.06%,样本量为 104 个;该脚型 3 个聚类变量的聚类中心分别在 250.24,235.36 和 14.93 mm,脚长偏短,跖趾围长偏短,足弓高度偏低,故将该脚型命名为短瘦低足弓型。同理可得其余脚型分析结果。

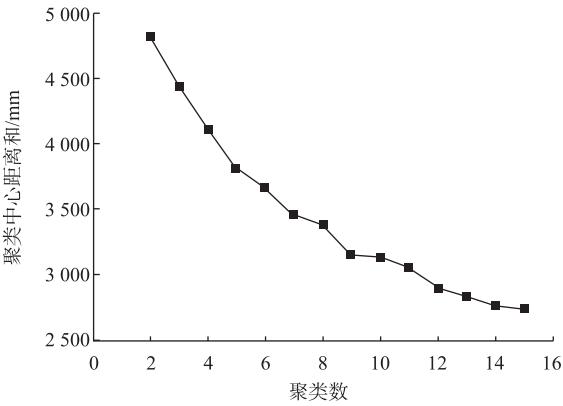


图 2 碎石图
Fig.2 Scree plot

表 8 聚类结果
Tab.8 Clustering result

| 脚型类别 | 样本量/个 | 占比/% |
|--------|-------|-------|
| 短瘦低足弓型 | 104 | 25.06 |
| 长中低足弓型 | 72 | 17.35 |
| 短瘦高足弓型 | 41 | 9.88 |
| 长胖低足弓型 | 33 | 7.95 |
| 短瘦中足弓型 | 56 | 13.49 |
| 长胖高足弓型 | 44 | 10.60 |
| 中胖高足弓型 | 65 | 15.66 |

4 结 语

基于三维脚型测量仪对男大学生进行脚部变量数据采集及数理统计分析,得出以下结论:

1)描述性分析表明,415 名青年男大学生脚型高度形态的变量离散程度较大,脚型长度形态的变量离散程度较小。

2)采用因子分析的方法将 19 个测量变量形成 4 个主成分,分别是长度特征因子、宽度特征因子、高度特征因子和其他特征因子。

3)将脚长、跖趾围长、足弓高度作为 K-means 聚类算法的变量,最终将 18~25 岁青年男大学生脚型划分为短瘦低足弓型、长中低足弓型、短瘦高足弓型、长胖低足弓型、短瘦中足弓型、长胖高足弓型、中胖高足弓型 7 类。分类结果体现该群体各脚型的特征。

脚型数据采集对象为安徽工程大学男大学生,细分结果可能存在一定局限性。实际条件允许的情况下,可扩大采集范围,进一步探讨该群体的脚型细分。

参考文献:

[1] 潘隽媛,王军. 基于三维扫描的东北女青年脚型研究[J]. 中国皮革, 2022, 51(1): 76-80.
PAN Junyuan, WANG Jun. Foot shape of northeast young women based on three-dimensional measurement [J]. China Leather, 2022, 51(1): 76-80. (in Chinese)
[2] 万蓬勃,田雪,弓太生. 陕西地区青年群体脚型分类及特征数据分析[J]. 中国皮革, 2022, 51(2):

94-102.
WAN Pengbo, TIAN Xue, GONG Taisheng. Classification and characteristic data analysis of foot type in Shaanxi youth group[J]. China Leather, 2022, 51(2): 94-102. (in Chinese)
[3] 周捷,李健,马秋瑞. 青年非竞技运动员脚型研究[J]. 丝绸, 2021, 58(2): 59-65.
ZHOU Jie, LI Jian, MA Qiurui. Research on the foot shapes of young non-competitive athletes[J]. Journal of Silk, 2021, 58(2): 59-65. (in Chinese)
[4] 刘梦媛,郭梦圆,刘浩,等. 南北方正常体重儿童脚型差异研究[J]. 中国皮革, 2021, 50(6): 1-7.
LIU Mengyuan, GUO Mengyuan, LIU Hao, et al. A study on foot anthropometry of normal-weighted children in the south and north China[J]. China Leather, 2021, 50(6): 1-7. (in Chinese)
[5] 张小妞,王军,张春媛. 东北女青年下身体型分类及数学模型建立[J]. 服装学报, 2020, 5(6): 482-487.
ZHANG Xiaoniu, WANG Jun, ZHANG Chunyuan. Classification of lower somatotype and mathematical models of young women in northeast China[J]. Journal of Clothing Research, 2020, 5(6): 482-487. (in Chinese)
[6] 杨亚丽. 基于足部三维扫描的青年女性脚型细分研究[D]. 上海: 东华大学, 2020.
[7] 阮婷. 基于三维人体测量的青年男性肩部形态研究及应用[D]. 芜湖: 安徽工程大学, 2021.
[8] 武煜昊,王永生,徐昊,等. 风电输出功率预测技术研究综述[J]. 计算机科学与探索, 2022, 16(12): 2653-2677.
WU Yuhao, WANG Yongsheng, XU Hao, et al. Survey of wind power output power forecasting technology [J]. Journal of Frontiers of Computer Science and Technology, 2022, 16(12): 2653-2677. (in Chinese)
[9] 王虹,孙坤,程益先,等. 江南地区成年男性体型特征及下半身体型分类研究[J]. 武汉纺织大学学报, 2021, 34(1): 44-49.
WANG Hong, SUN Kun, CHENG Yixian, et al. Research on body type characteristics and lower body type classification of adult men in Jiangnan area[J]. Journal of Wuhan Textile University, 2021, 34(1): 44-49. (in Chinese)

(责任编辑:张 雪)