

非竞技马拉松女性跑者与普通人群足型分类及差异对比

孙园竹¹, 顾冰菲^{1,2}, 储照伟^{3,4}, 杨帆^{3,4}, 孙玥^{*1,2}

(1. 浙江理工大学 服装学院, 浙江 杭州 310018; 2. 浙江理工大学 丝绸文化传承与产品设计数字化技术文化和旅游部重点实验室, 浙江 杭州 310018; 3. 李宁运动科学研究中心, 北京 101111; 4. 李宁(中国)体育用品有限公司, 北京 101111)

摘要:通过收集 205 位女性非竞技马拉松跑者和 195 位普通女性的足型数据, 完成了两类女性人群的足型分类, 并比较分析其足型差异。借助三维扫描仪获取包括长度、宽度、高度、围长、角度在内的 23 项足型数据, 利用主成分分析降维, 采用 K-means 聚类算法将普通女性人群足型分为短尖足、长宽足、短矮足, 将非竞技马拉松女性跑者足型分为宽厚足、短窄足、窄平足, 以探究非竞技马拉松女性跑者的足型规律; 通过独立样本 T 检验分析, 发现两类人群的足型在跖跖宽度、围长方面存在显著差异, 非竞技马拉松女性跑者这两项指标的数值均大于普通女性人群。研究结论可以扩展非竞技马拉松女性跑者的足型数据库, 并且为设计研制非竞技马拉松跑者的鞋楦提供一定的数据参考。

关键词: 足型分类; 非竞技马拉松跑者; 足型差异; 足型规律; 三维足部扫描

中图分类号: TS 941.17 **文献标志码:** A **文章编号:** 2096-1928(2024)04-0309-07

Classification and Comparison of Foot Shape Between Non-Competitive Marathon Runners and General Population

SUN Yuanzhu¹, GU Bingfei^{1,2}, CHU Zhaowei^{3,4}, YANG Fan^{3,4}, SUN Yue^{*1,2}

(1. School of Fashion Design and Engineering, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China; 2. Key Laboratory of Silk Culture Heritage and Products Design Digital Technology, Ministry of Culture and Tourism, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China; 3. Li Ning Sports Science Research Center, Beijing 101111, China; 4. Li Ning(China) Sporting Goods Co., LTD., Beijing 101111, China)

Abstract: In this study, data on foot types were collected from 205 non-competitive female marathon runners and 195 ordinary women. The foot types of both groups were classified and compared, with 23 dimensions including length, width, height, girth, and angle obtained using a 3D scanner. Principal component analysis was employed for dimensionality reduction, followed by K-means clustering to classify the general population's foot types into short pointed foot, long wide foot, and short foot. Non-competitive marathon runners' foot types were categorized into broad and thick foot, short and narrow foot, and narrow flatfoot. This approach aimed to uncover the patterns of non-competitive marathon runners' feet. Independent sample T-test analysis revealed significant differences in toe and plantar width as well as girth length between the two groups. These indexes were found to be greater in non-competitive marathon runners than in the general population. The findings of this study contribute to expanding the database on non-competitive female marathon runners' foot types, and provide certain data reference for the design and development of shoe last of non-competitive marathon runners.

收稿日期: 2024-01-26; 修订日期 2024-07-12。

基金项目: 国家自然科学基金青年项目(61702461); “纺织之光”中国纺织工业联合会应用基础研究项目(J202007); 中国纺织工业联合会科技指导性项目(2018079); 浙江理工大学科研业务费专项资金项目(2020Q051); 浙江理工大学科研启动基金项目(20072324-Y)。

作者简介: 孙园竹(1999—), 女, 硕士研究生。

***通信作者:** 孙玥(1988—), 女, 讲师, 博士。主要研究方向为服装数字化仿真。Email: sunyue@zstu.edu.cn

Key words: foot type classification, non-competitive marathon runners, foot shape difference, foot pattern, three-dimensional foot scan

足部是人体的重要组成部分,它是一个复杂的系统,包括 28 块骨头、33 个关节,及 100 多条韧带、肌肉和肌腱^[1]。人在行走和运动时,足部的负荷大约是身体体质量的 1.5 ~ 3 倍^[2]。足部长期承受压力,可能会导致足部形态发生变化,甚至引起足部损伤^[3]。有研究表明,习惯赤足人群与习惯穿鞋人群的足型在前掌区域存在差异^[4],穿着合适的鞋子能在一定程度上缓解足部的压力,预防足部病变^[5],研究足型规律可以为鞋类设计提供参考,从而预防足部损伤。

目前,已有很多关于足型的研究,不少学者对不同年龄段、性别、地区的足部形态进行了分类研究,得出相应的足型特征及分布规律^[6-10],为大众群体的鞋类设计提供了参考。另外也有学者针对运动员的足型进行研究,发现运动员的足型比非运动员的足型更平坦,脚趾接触地面的比例更高^[11]。但是,对于业余运动爱好者的足型,并没有太多研究成果。马拉松运动时,人体足部需要更长时间支撑身体与接触地面,长期锻炼很可能对足型产生一定的影响,了解马拉松跑者与普通人群足型的差异性可以更好地为马拉松跑者设计跑鞋,对预防马拉松跑者足部疾病也有重要意义。因此,文中针对非竞技马拉松女性跑者,利用扫描装置获得足部数据,探究其与普通人足型之间的差距,以期对非竞技马拉松女性跑者的鞋具设计提供帮助。

1 实验部分

1.1 实验对象

实验招募了 217 位非竞技马拉松女性跑者与 203 位在校女大学生(非体育专业),所有受试者足部无重大疾病或畸形。非竞技马拉松女性跑者纳入标准:跑龄大于 1 年,参加过马拉松赛事,月跑量大于 60 km^[12]。在进行异常值的剔除之后,最终得到 205 位非竞技马拉松女性跑者和 195 位女大学生的足部数据。参照相关研究^[13],样本量符合要求。

1.2 实验仪器

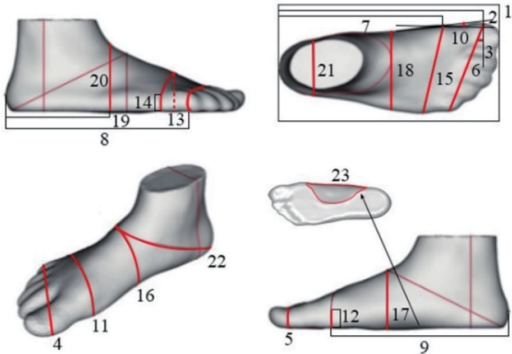
DOMESCAN 足型三维扫描仪,李宁(中国)体育用品有限公司制造。

1.3 实验方法

1.3.1 测量过程 在开始实验之前,对扫描仪进行标定。测试时,为避免遮挡足部,受试者需将裤脚挽至小腿中部以上,保持裸足站立状态,一脚

置于仪器内居中位置,另一脚置于地面上,保持身体直立且静止不动,双目平视前方,使身体体质量均匀分布于双足。左右足各扫一次。

1.3.2 测量项目 测量项目包括长度、高度、宽度、围长、角度等 23 项足部参数,涵盖足部关键部位,满足足型分析的需求。具体测量项目及部位如图 1 所示。



1—足长(F_L);2—趾位置(T_P);3—趾角度(T_A);4—趾围(T_C);5—趾高度(T_H);6—趾宽(T_W);7—第 1 跖骨头位置(M_P);8—第 5 跖骨头位置(F_{MP});9—球状骨位置(B_P);10—球状骨角度(B_A);11—球状骨处围长(B_C);12—球状骨高度(B_H);13—内侧球状骨高度(M_B);14—外侧球状骨高度(L_{BH});15—球状骨处宽度(B_W);16—足背周长(I_C);17—足背高度(I_H);18—足面宽度(I_W);19—舟状骨位置(N_P);20—舟状骨高度(N_H);21—足跟宽(H_W);22—足背到足跟周长(I_{HC});23—足弓面积(A_A)。

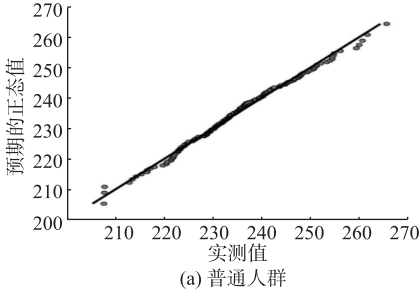
图 1 测量项目及部位

Fig. 1 Measurement items and locations

2 足型分类分析

2.1 数据处理

2.1.1 正态分布检验 采用 SPSS 数据分析软件,对 23 项足部数据进行正态分布检验,结果显示所有足部数据均满足正态分布,图 2 为足长的正态分析情况。为避免左右足差异对分类结果的影响,文中采用左右足各项指标的平均值进行分类分析,通过主成分分析降维,获得足部分类变量,选用 K-means 聚类对足型进行分类^[14]。



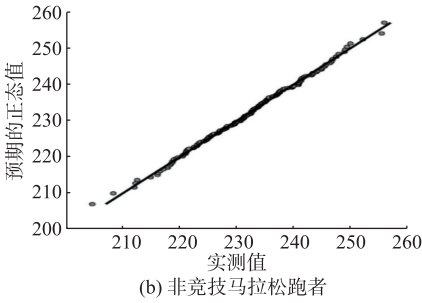


图 2 足长的正态分布

Fig.2 Normal distribution of foot length

2.1.2 KMO 与 Bartlett 检验 KMO 和 Bartlett 检验,是用于比较变量间简单相关系数和偏相关系数的指标,主要应用于多元统计的因子分析,检验变量是否适合进行因子分析。Kaiser 给出了常用的 KMO 度量标准:KMO 统计量取值在 0 ~ 1 之间,KMO \geq 0.9 表示非常适合,KMO \geq 0.8 表示适合,KMO \geq 0.7 表示一般适合,KMO \geq 0.6 表示不太适合,KMO \leq 0.5 表示极不适合^[15]。KMO 和 Bartlett 检验结果见表 1。由表 1 可知,非竞技马拉松跑者和普通人的 KMO 检验值均高于 0.7,且两者具有显

著性差异,适合进行因子分析。

表 1 KMO 和 Bartlett 检验结果

Tab.1 KMO and Bartlett test results

类别	KMO	Bartlett 的球形检验		
		大约卡方	自由度	显著性
普通人群	0.714	9114.084	190.000	0.000
非竞技马拉松跑者	0.710	9388.297	190.000	0.000

2.2 主成分分析

非竞技马拉松跑者与普通人群均只有前 4 个因子特征值大于 1,且普通人群与非竞技马拉松跑者的特征值分别累积占 85.301% 和 81.532%,表示前 4 个主成分可以解释原变量的大部分信息^[10]。普通人群和非竞技马拉松跑者的足型数据主成分见表 2。根据表 2 中每个主成分所包含的参数特征,将普通人群的 4 个因子命名为长度因子、跖跖因子、高度因子和角度因子,非竞技马拉松跑者的 4 个因子命名为长度因子、宽度因子、高度因子和角度因子,只提取前 4 个主成分进行分类。

表 2 普通人群和非竞技马拉松跑者的足型数据主成分

Tab.2 Foot type data principal component of the general population and non-competitive marathon runners

参数	普通人群				参数	非竞技马拉松跑者			
	1	2	3	4		1	2	3	4
趾位置	0.963	0.187	0.052	-0.108	趾位置	0.954	0.185	0.119	0.113
足长	0.953	0.245	0.048	-0.106	足长	0.939	0.268	0.087	0.112
球状骨位置	0.936	0.290	0.096	-0.051	球状骨位置	0.925	0.319	0.136	0.043
第 1 跖骨头位置	0.930	0.304	0.082	-0.053	舟状骨位置	0.911	0.025	0.205	0.008
第 5 跖骨头位置	0.929	0.283	0.088	-0.070	第 1 跖骨头位置	0.910	0.318	0.136	0.146
舟状骨位置	0.913	0.135	0.115	-0.028	第 5 跖骨头位置	0.906	0.336	0.112	-0.052
足弓面积	0.699	-0.206	0.246	0.393	足面宽度	0.161	0.921	-0.065	0.020
足跟宽	0.526	0.352	0.441	-0.076	足背周长	0.249	0.828	0.359	-0.084
足面宽度	0.102	0.886	0.188	-0.285	球状骨处围长	0.384	0.788	0.345	-0.115
球状骨处宽度	0.371	0.808	0.230	0.102	球状骨处宽度	0.406	0.774	0.138	-0.162
趾宽	0.255	0.803	0.098	0.391	趾围	0.307	0.697	0.320	-0.326
趾围	0.225	0.799	0.265	0.360	趾宽	0.345	0.670	0.197	-0.377
球状骨处围长	0.336	0.786	0.445	0.067	球状骨高度	0.084	0.235	0.864	0.015
足背周长	0.219	0.734	0.568	-0.119	足面高度	0.229	0.197	0.842	-0.220
球状骨处高度	0.083	0.251	0.860	0.019	舟状骨高度	0.265	-0.101	0.754	-0.223
足面高度	0.255	0.236	0.855	0.174	趾高度	-0.049	0.339	0.728	0.095
舟状骨高度	0.298	0.030	0.820	0.205	内侧球状骨高度	0.059	0.242	0.704	0.195
趾高度	-0.050	0.184	0.806	-0.016	足弓面积	0.317	-0.384	0.593	-0.297
内侧球状骨高度	-0.050	0.206	0.782	-0.028	趾角度	0.196	-0.081	-0.133	0.853
趾角度	0.376	-0.219	-0.121	-0.752	球状骨角度	0.104	-0.254	0.060	0.650

2.3 足型分类

根据得到的 4 个特征因子,使用 K-means 聚类分析方法,聚类数设定为 3^[16],分别将非竞技马拉松跑者与普通人群的足型分为 3 类^[17]。足型分类具体如图 3 所示,其中 Z 值代表特征对该聚类中心的贡献度,正值代表贡献度大,负值相反。根据普通人群特征因子的得分情况,将普通人群的足型命

名为:短尖足、长宽足、短矮足,每一类的足型特征为:①短尖足(共 79 人,占比40.51%),该类足型的长度因子为负值,角度因子最大,即足长较短,趾倾斜角度较大。②长宽足(共 41 人,占比 21.03%),该类足型的长度因子和跖跖因子很大,均大于 1,即足长很长,跖跖部位尺寸较大,较为宽厚;③短矮足(共 75 人,占比38.46%),该类足型的高度因子最

小,低于-1.25,长度因子也较小,为负值,即足的厚度很薄,足长较短。

同样,根据非竞技马拉松跑者每类足型特征因

子的得分情况,为各类足型命名,分别为宽厚足、短窄足、窄平足,分别占比 24. 88%, 28. 29%, 46. 83%, 每一类的足型特征情况如图 3(b) 所示。

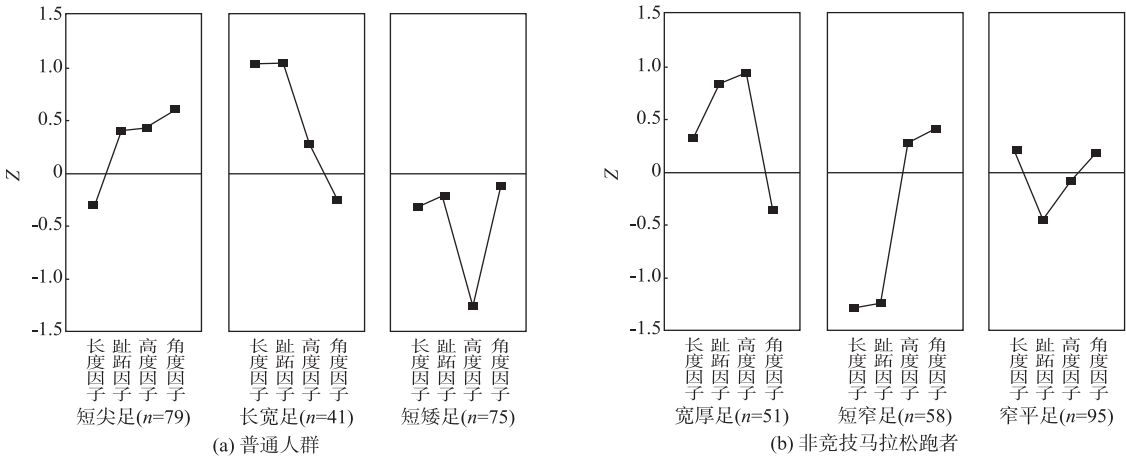


图 3 足型分类特征

Fig. 3 Foot type classification characteristics

3 足型差异分析

3.1 描述性分析

对 23 项参数进行描述性统计分析,普通人群与非竞技马拉松跑者的左、右足的平均值和标准差见表 3。由表 3 可知,球状骨角度指标的标准差最小,说明该指标的离散程度小,足弓面积的标准差最

大,说明该指标的离散程度最大^[18]。对比普通人群与非竞技马拉松跑者的足型数据可以看出,马拉松跑者的长度指标比普通人大,但宽度指标、围度指标比普通人大,另外足弓面积的平均值小于普通人。人体在跑步时足部要承受大约相当于自身体质量 3 倍的重力作用,因此推测由于长期跑步,受到重力影响,马拉松跑者的足型较普通人扁而宽。

表 3 普通人与马拉松跑者足型特征变量描述性分析

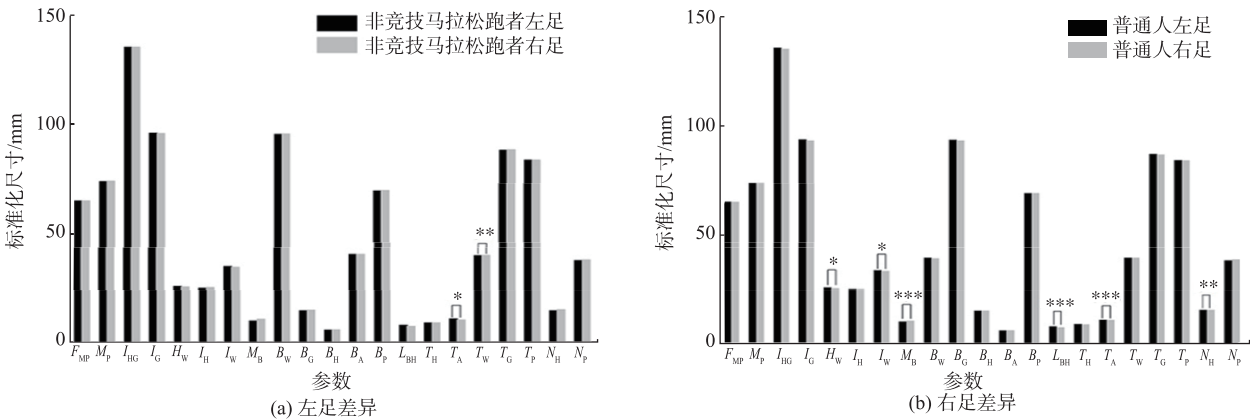
Tab. 3 Descriptive analysis of the foot shape characteristics of ordinary people and marathon runners

参数	平均值/mm				标准差			
	普通人(左/右)		马拉松跑者(左/右)		普通人(左/右)		马拉松跑者(左/右)	
足长	234.70/	234.59	232.12/	231.28	10.94/	11.27	9.79/	9.89
趾位置	196.69/	196.47	194.12/	193.49	9.61/	9.84	8.43/	8.48
球状骨位置	161.56/	161.54	160.60/	160.39	7.31/	7.37	6.81/	6.80
第 1 跖骨头位置	172.44/	172.51	171.42/	171.26	7.85/	7.94	7.23/	7.33
第 5 跖骨头位置	151.73/	151.46	150.95/	150.38	6.91/	6.93	6.65/	6.49
舟状骨位置	88.63/	89.55	86.95/	87.34	4.66/	4.79	4.59/	4.38
趾宽	91.12/	90.99	91.74/	901.67	4.65/	4.40	5.06/	4.48
球状骨处宽度	91.00/	90.45	93.04/	92.64	4.18/	4.08	4.79/	4.71
足面宽度	78.52/	77.61	80.80/	79.71	4.16/	4.05	4.57/	4.83
足跟宽	61.30/	60.14	61.11/	60.19	3.381/	3.19	3.71/	3.37
趾高	21.78/	21.47	22.06/	21.83	2.89/	2.80	2.64/	2.30
球状骨宽度	36.22/	36.14	34.95/	35.36	2.78/	2.72	2.78/	2.60
内侧球状骨高度	24.57/	25.30	24.25/	25.75	3.04/	3.15	2.73/	2.87
外侧球状骨高度	19.44/	18.49	19.67/	18.27	1.78/	1.73	1.85/	1.77
足面高度	59.45/	59.43	59.23/	59.62	4.09/	4.21	4.12/	3.99
舟状骨高度	36.90/	36.86	34.98/	35.83	3.50/	3.93	3.57/	3.67
趾围	202.91/	202.33	204.42/	204.18	10.06/	9.69	11.01/	10.54
球状骨处围长	218.18/	217.23	221.17/	220.81	9.72/	9.50	10.69/	10.59
跖骨处围长	218.60/	217.21	222.35/	221.09	10.58/	10.51	10.97/	11.44
足背到足跟周长	316.74/	315.29	313.46/	312.36	13.64/	13.87	13.21/	13.22
趾角度	26.40/	26.11	26.29/	25.01	2.02/	2.26	2.15/	2.08
球状骨角度	15.02/	15.25	14.53/	14.69	1.45/	1.47	1.91/	1.62
足弓面积	2 148.20/2	168.31	1 861.90/1	946.84	605.62/599.28		725.54/612.26	

3.2 左右足差异分析

为探究左右足是否存在差异,采用独立样本 T 检验分别对非竞技马拉松跑者和普通人群的左右足数据进行组间对比^[19],结果显示非竞技马拉松跑者仅在趾围、趾宽指标中存在显著性差异($p < 0.05$);而普通人群在趾角度、内侧球状骨高度、外侧球状骨高度、足面宽度、舟状骨高度、足跟宽指标均存在显著差异($p < 0.05$)^[20]。为进一步了解左右足之间存在何种差异,采用标准化公式对各项数据进行标准化处理^[21],标准化后左右足之间的差异如图 4 所示。由图 4 中可以看出左右足之间存在显著性差异,且普通人群中左右足差异的足部项目多于

非竞技马拉松跑者。查阅文献发现,业余马拉松爱好者日常训练中会进行稳定性和协调性训练以提高平衡能力,维持良好的动态姿势控制能力^[22]。有经验的跑者在步行时,前足中部负荷更小,足部平衡性更稳定^[23]。平衡性差会导致行走过程中双足受力情况不一致,长期不一致很可能造成左右足形态出现差异。因此,推测非竞技马拉松跑者的左右足差异与普通人群相比较小。在普通人群的鞋楦制作过程中,需关注趾角度、内侧球状骨高度、外侧球状骨高度、足面宽度、舟状骨高度、足跟宽等指标的左右足差异,而在为马拉松跑者设计跑鞋时只需要考虑趾围和趾宽的左右足差异。



* 表示 $p < 0.05$; ** 表示 $p < 0.01$; *** 表示 $p < 0.001$ 。

图 4 非竞技马拉松跑者、普通人群的左右足差异

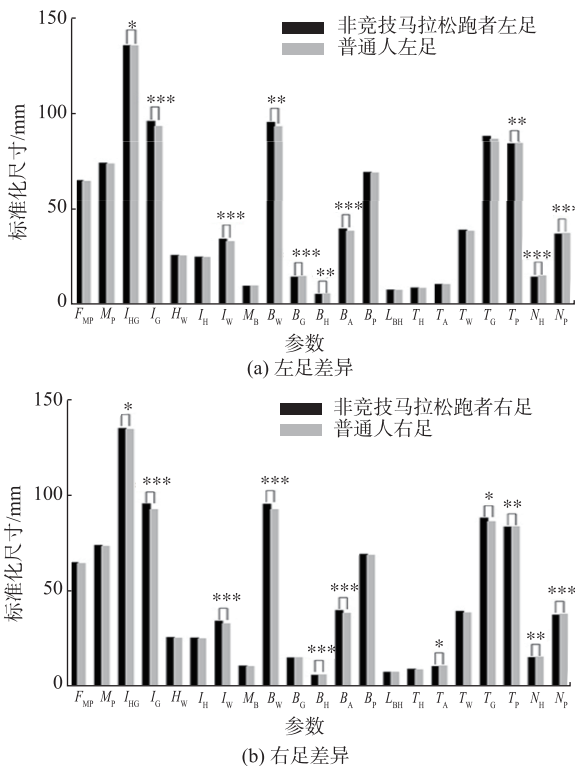
Fig. 4 Difference between the left and right feet of non-competitive marathon runners and the general population

3.3 非竞技马拉松跑者与普通人群差异

受长期运动的影响,非竞技马拉松跑者的足型与不经常运动的普通人群相比,会存在一定的差异,为探究两者之间差异性,对数据进行标准化处理,具体结果如图 5 所示。图 5 可以看出,非竞技马拉松跑者与普通人群的左右足均存在差异:在左足中,球状骨高度、球状骨处宽度、足背周长、足面宽度、舟状骨高度、舟状骨位置指标存在极其显著差异($p < 0.001$),球状骨角度、球状骨处围长、趾位置指标存在显著差异($p < 0.01$),足长、足背到足跟周长指标存在较为显著差异($p < 0.05$);在右足中,球状骨角度、球状骨处围长、球状骨处宽度、足背周长、足面宽度、舟状骨位置指标存在极其显著差异($p < 0.001$),足长、舟状骨高度、趾位置指标存在显著差异($p < 0.01$),足背到足跟周长、趾角度、趾围指标存在较为显著差异($p < 0.05$)。总体上,在球状骨处宽度、足背周长、足面宽度等指标中,马拉松跑者显著大于普通人群,马拉松运动时足部需要长时间受力承重,导致马拉松跑者足弓降低,并且较长

时间的跑步使得非竞技马拉松跑者的足部更为强壮,足宽度和围长方面较普通人群尺寸大。因此,在为马拉松跑者设计跑鞋时应当考虑这些部位的差异。

为进一步探究两类人群足弓和足宽度的差异情况,对两类人群的足宽情况和足弓高低进行统计分析,具体如图 6 所示。随着足长增加,足宽也会有所增长,为避免足长影响,使用足宽与足长之比表示足宽程度。两类人群中,足宽与足长之比的统计如图 6(a) 所示,从图 6(a) 中可以看出,非竞技马拉松跑者中以居中足和宽足居多,普通人群中以窄足居多,非竞技马拉松跑者的宽足显著多于普通人群,而窄足非常少。同时,利用足弓面积指标对足弓进行划分,将实验对象分为正常足弓、高足弓、低足弓,结果如图 6(b) 所示。从图 6(b) 可以看出,非竞技马拉松跑者的足弓类型较为平均,普通人群以高足弓居多,低足弓很少;但非竞技马拉松跑者中,低足弓明显多于普通人群,高足弓人数不及普通人群。这说明长期跑步可能会使足弓有所降低,足的宽度尺寸增加,足型趋向扁平。



* 表示 $p < 0.05$; ** 表示 $p < 0.01$; *** 表示 $p < 0.001$ 。

图 5 非竞技马拉松跑者与普通人群的足型差异
Fig. 5 Foot shape difference between non-competitive marathon runners and the general population

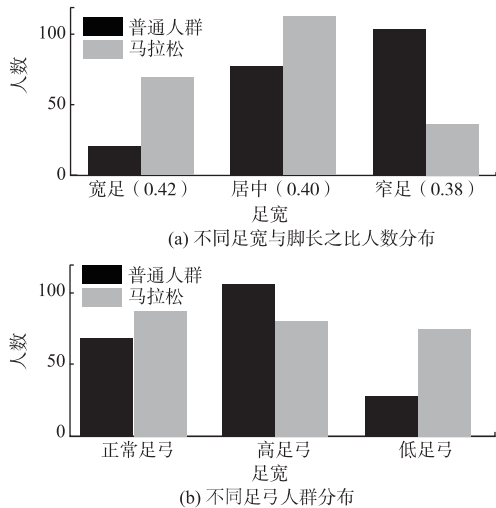


图 6 足宽和足弓实验对象数量分布
Fig. 6 Map of the number distribution of foot width and arch

综上所述,非竞技马拉松跑者的足型与普通人群之间存在显著差异,在同一人群类型中,左右足之间也存在一定的差异。因此在设计制作鞋楦时,需考虑这些差异,以避免在运动过程中因鞋子不合适造成足部损伤^[24]。在后续的研究中,还应进一步扩大样本量,增加结论的可信度;或是针对非竞技马拉松跑者进行较长时间的跟踪调查^[25],更加深入探究非竞技马拉松跑者的足型特征。

4 结 语

文中收集了 205 位女性非竞技马拉松跑者与 195 位在校女大学生的足型数据,包括长度、宽度、高度、围长、角度等共 23 项,以此为基础进行了两类人群的足型分类,并对两类人群的足型差异以及左右足的差异进行分析,得出结论:

1) 以长度因子、趾距因子、高度因子、角度因子描述普通人群的足型特征,将普通人群的足型分为短尖足(40.51%)、长宽足(21.03%)、短矮足(38.46%)3类;以长度因子、宽度因子、高度因子、角度因子描述非竞技马拉松跑者的足型特征,将非竞技马拉松跑者的足型分为宽厚足(24.88%)、短窄足(28.29%)、窄平足(46.83%)。

2) 非竞技马拉松跑者与普通人群左右足之间均存在差异,且普通人群左右足之间的差距大于非竞技马拉松跑者左右足之间的差距。

3) 非竞技马拉松跑者与普通人群的足型之间也存在差异,主要在球状骨宽度、足背周长、足面宽度等指标中,马拉松跑者显著大于普通人群,并且足弓面积的平均值较普通人小,分析认为长期运动可能使马拉松跑者足部的宽度、围度增大,足弓降低。

参考文献:

[1] 王姣. 基于足压与步态分析的运动鞋减震设计研究[D]. 西安:西安理工大学,2022.

[2] LIEBERMAN D E, VENKADESAN M, WERBEL W A, et al. Foot strike patterns and collision forces in habitually barefoot versus shod runners[J]. Nature, 2010, 463(7280): 531-535.

[3] 王兰美, 郭业民, 潘志国. 人体足底压力分布研究与应用[J]. 机械制造与自动化, 2005, 34(1): 35-38. WANG Lanmei, GUO Yemin, PAN Zhiguo. The study on plantar pressure distribution and its application[J]. Machine Building and Automation, 2005, 34(1): 35-38. (in Chinese)

[4] LIANG Z Q, MENG Y, POPIK S, et al. Analysis of foot morphology in habitually barefoot group[J]. Journal of Biomimetics, Biomaterials and Biomedical Engineering, 2019, 41: 1-9.

[5] 宋杨, 孙冬, 岑炫震, 等. 个体化足——鞋耦合有限元建模及在跖骨应力研究中的应用[J]. 应用力学学报, 2023, 40(5): 1204-1212. SONG Yang, SUN Dong, CEN Xuazhen, et al. Subject-specific finite element modelling of the foot-shoe complex and its application in metatarsal stress research[J]. Chinese Journal of Applied Mechanics, 2023, 40(5):

1204-1212. (in Chinese)

[6] 吕双勇,李艳,罗向东,等.老年人脚型规律及足部形态变化特征[J].中国皮革,2017,46(2):44-44,45-48.

LYU Shuangyong, LI Yan, LUO Xiangdong, et al. Foot type and morphologic changing characteristics of aged people[J]. China Leather, 2017, 46(2): 44-44, 45-48. (in Chinese)

[7] 白啸天,霍洪峰.基于运动生物力学的运动鞋功能研究进展[J].皮革科学与工程,2023,33(5):73-78.

BAI Xiaotian, HUO Hongfeng. Research progress on the function of sports shoes based on sports biomechanics[J]. Leather Science and Engineering, 2023, 33(5): 73-78. (in Chinese)

[8] 丘理.中国人群脚型规律的研究(之一)中国成人脚型基本规律[J].中国皮革,2005,34(18):135-139.

QIU Li. Study on the law of foot shape of China population (I) basic law of adult foot shape in China[J]. China Leather, 2005, 34(18): 135-139. (in Chinese)

[9] 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.

[10] 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)

[11] KULTHANAN T, TECHAKAMPUCH S, BED N D. A study of footprints in athletes and non-athletic people[J]. Journal of the Medical Association of Thailand Chotmaihet Thangphaet, 2004, 87(7): 788-793.

[12] 杨林仁.长跑爱好者足弓类型对其跑步时足底压力的影响研究[D].宁波:宁波大学,2021.

[13] 钟泽君,张贝贝,徐凯忆,等.基于特征参数的青年女性乳房形态分析[J].纺织学报,2022,43(10):148-154.

ZHONG Zejun, ZHANG Beibei, XU Kaiyi, et al. Research on breast shape of young females using characteristic parameters[J]. Journal of Textile Research, 2022, 43(10): 148-154. (in Chinese)

[14] PEI J, PARK H, ASHDOWN S P. Female breast shape categorization based on analysis of CAESAR 3D body scan data[J]. Textile Research Journal, 2019, 89(4): 590-611.

[15] 王虹.基于三维测量数据的青年男性局部体型特征提取及细分[D].合肥:安徽工程大学,2022.

[16] 方方,王子英.K-means聚类分析在人体体型分类中的应用[J].东华大学学报(自然科学版),2014,40(5):593-598.

FANG Fang, WANG Ziyang. Application of K-means clustering analysis in the body shape classification[J]. Journal of Donghua University (Natural Science), 2014, 40(5): 593-598. (in Chinese)

[17] 刘咏梅,刘思忆,于晓坤,等.中国东部地区中老年女性体型特征与分类[J].纺织学报,2023,44(7):184-191.

LIU Yongmei, LIU Siyi, YU Xiaokun, et al. Body shape characteristics and classification of middle-aged and elderly women in Eastern China[J]. Journal of Textile Research, 2023, 44(7): 184-191. (in Chinese)

[18] 李佳祺,郑义.足弓支撑鞋垫对扁平足女性行走时下肢肌电特征影响[J].皮革科学与工程,2022,32(6):69-72.

LI Jiaqi, ZHENG Yi. Effects of arch support insoles on electromyographic of lower limbs in female during walking with flatfeet[J]. Leather Science and Engineering, 2022, 32(6): 69-72. (in Chinese)

[19] 余佳佳,李健.基于不同人体测量方法的数据一致性和可替换性研究[J].纺织学报,2019,40(9):167-172.

YU Jiajia, LI Jian. Data consistency and replaceability based on different human measurement methods[J]. Journal of Textile Research, 2019, 40(9): 167-172. (in Chinese)

[20] 潘美丽,龚帅.基于问卷调查的大学生脚部健康及影响因素研究[J].皮革科学与工程,2024,34(3):114-118.

PAN Meili, GONG Shuai. Research on the foot health and influencing factors of college students based on questionnaire survey[J]. Leather Science and Engineering, 2024, 34(3): 114-118. (in Chinese)

[21] CHEN L H, CHANG C C, WANG M J, et al. Comparison of foot shape between recreational sprinters and non-habitual exercisers using 3D scanning data[J]. International Journal of Industrial Ergonomics, 2018, 68: 337-343.

[22] 陈浩.业余马拉松爱好者训练方法探析[J].当代体育科技,2023,13(27):26-29,34.

CHEN Hao, Analysis of training methods for marathon amateurs[J]. Contemporary Sports Technology, 2023, 13(27): 26-9, 34. (in Chinese)

[23] 高自翔,梅齐昌,顾耀东.有经验和新手长跑运动员步行时足底负荷的差异[C]//中国体育科学学会运动生物力学分会.第二十一届全国运动生物力学学术交流大会论文摘要汇编.宁波:宁波大学体育学院,2021:2.

[24] 崔同占,孙天赦.不合脚鞋类对青年女性足底压力分布的影响[J].皮革科学与工程,2024,34(4):101-105.

CUI Tongzhan, SUN Tianshe. Effect of ill-fitting footwear on plantar pressure distribution of young women[J]. Leather Science and Engineering, 2024, 34(4): 101-105. (in Chinese)

[25] 井兰香.长期穿高跟鞋对女性足底构筑及压力的影响[J].皮革科学与工程,2022,32(6):73-78,95.

JING Lanxiang. Effects of long-term wearing high heels on women's plantar architecture and pressure[J]. Leather Science and Engineering, 2022, 32(06): 73-78, 95. (in Chinese)