

儿童足部动态特征对童鞋结构制作工艺优化的导向作用分析

李晓忠

浙江步一儿童用品有限公司 323900

【摘要】儿童足部处于生长发育阶段，其动态特征与成人存在显著差异。本文深入研究儿童足部动态特征，分析这些特征如何对童鞋结构设计及制作工艺产生影响，旨在为童鞋行业提供基于儿童生理特点的制作工艺优化方向，提升童鞋穿着的舒适性与功能性，促进儿童足部健康发育。通过文献研究、实验测量以及案例分析等方法，详细探讨了儿童行走、奔跑等活动中足部的运动规律，以及这些规律在鞋楦设计、鞋底结构、鞋面材质选择等制作工艺方面的导向作用。

【关键词】童鞋；足部动态特征；工艺优化；作用分析

Analysis of the guiding effect of dynamic characteristics of children's feet on the optimization
of structure making technology of children's shoes

Li Xiaozhong

Zhejiang Buyi Children's Products Co., LTD. 323900

【Abstract】 Children's feet are in the stage of growth and development, with dynamic characteristics that differ significantly from those of adults. This paper delves into the dynamic features of children's feet, analyzing how these features influence the design and manufacturing processes of children's shoes. The aim is to provide the footwear industry with optimization directions for production processes based on children's physiological characteristics, enhancing the comfort and functionality of children's shoes, and promoting healthy foot development in children. Through methods such as literature review, experimental measurement, and case analysis, this study thoroughly explores the movement patterns of children's feet during activities like walking and running, as well as the guiding role these patterns play in shoe last design, sole structure, and material selection for shoe uppers.

【Key words】 children's shoes; dynamic characteristics of feet; process optimization; function analysis

一、引言

儿童时期是足部发育的关键阶段，其足部骨骼、肌肉和关节尚在生长完善，结构较为脆弱且可塑性强。合适的童鞋对于儿童足部健康成长起着举足轻重的作用，不仅能提供必要的保护，防止外界伤害，还可助力足部正常发育。当下，随着儿童运动参与度的提升，其运动需求日益增加，这就要求童鞋不仅要满足基本的保护功能，更需适应儿童足部在行走、奔跑、跳跃等动态活动中的各种变化。然而，目前市场上部分童鞋在设计与制作工艺上未能充分考虑儿童足部动态特征，鞋型设计缺乏对儿童足部独特轮廓和运动规律的精准考量，材质选择未兼顾舒适性与功能性，导致穿着不舒适，严重时甚至会阻碍足部血液循环、影响骨骼正常发育。因此，深入研究儿童足部动态特征对童鞋结构制作工艺的导向作用，具有重要的现实意义，能为生产更贴合儿童需求的优质童鞋提供关键依据。

二、儿童足部动态特征研究

(一) 儿童行走时的足部动态

1. 步态周期分析：儿童在行走过程中，其步态周期展

现出鲜明的独特性。因儿童正处于生长发育阶段，腿部骨骼尚未完全长成，肌肉力量也相对薄弱，致使其步长显著短于成人。与此同时，为了维持身体平衡并达成高效前行，儿童需以更高的步频来配合。在完整的一个步态周期里，起始于脚跟触地环节，此时儿童脚跟触地角度往往比成人更为陡峭，这是由于儿童腿部力量不足以支撑平稳、舒缓的着地方式。并且，脚跟触地时力度分布极为集中，主要汇聚在脚跟区域，与成人相对分散的受力模式大相径庭。紧接着，脚掌逐步着地，身体重心随之平稳向前转移，进入支撑中期。在此关键阶段，因儿童足部骨骼发育尚不完善，足弓结构相对柔弱，肌肉力量也难以与成人比肩，故而足部稳定性大打折扣，相较于成人，儿童在支撑中期更易出现晃动、失衡等状况。随后，脚跟渐渐离地，直至脚趾离地，完成一个完整的步态周期，开启新一轮循环。

2. 足部关节运动：在儿童行走时，足部的踝关节、距下关节和前足关节协同发力，共同保障行走动作的顺畅进行。踝关节作为控制足部屈伸的核心关节，在行走全程发挥着关键作用。借助先进的运动捕捉技术精准测量后发现，在诸如脚跟离地、脚趾离地等特定阶段，儿童踝关节的活动范围明显大于成人，这充分彰显出儿童足部在动态过程中具备更为灵活的屈伸能力。距下关节则主要负责调节足部的内外翻，对维持行走时身体平衡意义重大。研究

显示,儿童距下关节的内外翻角度变化频次远超成人,这与儿童行走时重心不稳定、肢体摆动较为活跃紧密相关。前足关节在蹬地阶段至关重要,它为身体提供持续向前的推进力。由于儿童行走节奏较快,前足关节需更为频繁且有力地参与蹬地动作,以确保身体能够稳步前行。

(二) 儿童奔跑时的足部动态

1. 加速与减速阶段的足部变化:当儿童全力奔跑进入加速阶段,其身体需在短时间内快速提升速度,此时足部成为主要发力点,承受远超行走时的冲击力。为获得足够的推进力,儿童会本能地将力量集中于前足,脚趾用力蹬地,使得前足压力急剧攀升。研究表明,在这一阶段,前足所受压力相较于行走时可提升数倍,以满足快速前进的动力需求。而当进入减速阶段,儿童为平稳停下,脚跟率先触地,以减缓身体的前冲惯性。紧接着,脚掌迅速下压缓冲,此时脚跟与脚掌的受力分布与行走时大相径庭。行走时,受力相对均匀且平稳过渡;减速时,脚跟首当其冲承受较大冲击力,随后脚掌的缓冲力度也明显强于行走时,以实现安全、平稳的减速。

2. 足部肌肉的作用:在儿童奔跑过程中,足部的腓肠肌、比目鱼肌等多块肌肉协同发力。腓肠肌作为小腿后侧的重要肌肉,在蹬地瞬间强烈收缩,为足部提供强大的后蹬力,推动身体向前。比目鱼肌则辅助腓肠肌,稳定踝关节,确保力量的有效传递。与成人相比,儿童的足部肌肉虽在力量上相对逊色,但胜在收缩速度快且灵活性高。这种特性使儿童能更迅速地调整足部动作,适应奔跑过程中的节奏变化与方向调整,不过也意味着其耐力相对较弱,长时间奔跑后易疲劳。

三、基于儿童足部动态特征的童鞋结构设计需求

(一) 鞋楦设计

1. 贴合足部轮廓:儿童足部发育尚未成熟,行走与奔跑时易肿胀。研究表明,长时间运动后,脚趾周长增加约5% - 8%,脚掌最宽处也相应变宽。因此,鞋楦长度应在平均足长基础上预留8 - 10毫米,确保脚趾活动空间,预防骨骼发育受挤压。宽度上,针对脚掌最宽处放宽2 - 3毫米,避免束缚感。

儿童脚跟圆润小巧,脚跟骨柔软。鞋楦背部曲线需贴合其脚跟自然弧度,从脚跟底部延伸至脚踝,提供稳固支撑,防止脚跟晃动,减少行走和奔跑时的不稳定,助力形成正确行走姿势,促进足部健康发展。

2. 适应关节活动:儿童足部关节活动活跃,踝关节负责屈伸,距下关节调节内外翻。为适应这些动态,可采用柔韧性和弹性材料制作鞋楦,如热塑性弹性体(TPE),在保证鞋楦形状的同时,能随关节运动自然弯曲。在踝关节处优化材料厚度与结构,提供适当阻力,防止关节过度屈伸。也可在距下关节部位设置可活动的关节模块,由多个连接部件组成,模拟距下关节运动,减少对关节活动的限制,让儿童运动更自然顺畅。

(二) 鞋底结构

1. 缓冲与减震功能:儿童行走、奔跑时足部承受冲击力大,奔跑时脚跟触地冲击力可达体重2 - 3倍。长期积累易损伤足部骨骼、关节和肌肉。

鞋底采用多层结构,上层选柔软的EVA材料,密度 $25 - 35\text{kg/m}^3$,能有效吸收分散冲击力。下层用天然或合成橡胶,提供弹性和耐磨性,反弹部分能量助力行走。在脚跟和前足关键部位设置减震装置,如3 - 5厘米直径的气垫,或涂抹5 - 8毫米厚的减震胶,将冲击力转化或吸收,保护儿童足部。

2. 防滑与抓地力:儿童好动,鞋底防滑与抓地力关乎安全。行走时脚跟、前足受力相对均匀,奔跑时加速前足受力大,减速脚跟受力突出。

因此,在脚跟和前足主要受力区,设计4 - 6毫米深的波浪形或锯齿形花纹,选用高摩擦系数橡胶并进行表面处理,增大摩擦力防滑。足弓部位受力小,设计2 - 3毫米浅花纹,采用柔软弹性材料,保证柔韧性,让儿童运动时足部伸展自如,减少疲劳。

(三) 鞋面材质选择

1. 透气性与舒适性:儿童足部汗腺发达,运动易出汗。鞋面材质不透气会导致足部闷热潮湿,滋生细菌,引发异味和皮肤问题。

网眼布有众多细密网孔,每平方米50 - 80个,直径0.5 - 1毫米,能快速排出湿气,且不影响强度和耐用性。透气皮革经特殊鞣制有微小透气孔,本身柔软舒适,选择质地柔软、厚度适中的头层牛皮或羊皮,可贴合足部,提升舒适度。

2. 灵活性与支撑性:儿童足部动态活动要求鞋面灵活,同时关键部位需支撑保护。

主体采用氨纶与聚酯纤维混纺的弹性织物,能随足部运动自由伸缩。在脚踝周围和足背处,用加强型织物(如尼龙或碳纤维制成)或轻质工程塑料(如聚丙烯、聚碳酸酯)支撑片。脚踝处设3 - 5厘米宽塑料支撑片,限制脚踝过度内外翻,降低扭伤风险;足背用加强型织物,兼顾支撑与灵活性,使儿童运动时既有舒适贴合感,又能得到可靠保护。

四、儿童足部动态特征导向的制作工艺优化

(一) 鞋楦制作工艺优化

1. 数字化建模技术应用:借助高精度三维扫描技术,能快速获取儿童足部的精准数据,精准还原足部轮廓,精度可达亚毫米级。通过对大量不同年龄段儿童足部数据的统计分析,可发现3 - 6岁儿童足弓较扁平,6 - 12岁儿童足弓逐渐发育。利用这些数据,结合计算机辅助设计(CAD)软件,能构建出符合不同年龄段儿童足部动态特征的通用鞋楦模型。设计师可依据各年龄段特点,灵活调整鞋楦尺寸、形状及关键部位曲率,如针对幼儿足部短宽的特点,加宽鞋头、缩短长度,确保模型满足多数儿童需求。

2. 个性化定制鞋楦:对于扁平足、高弓足等特殊足部

需求儿童,先通过三维扫描获取详细数据,结合医学影像分析了解骨骼肌肉情况。再运用3D打印技术制作鞋楦,打印时可根据特殊需求调整材料分布与密度。如为扁平足儿童在足弓处增加材料厚度提供支撑,与足部贴合度误差精确到毫米内,极大提升穿着舒适度与功能性。

(二)鞋底制作工艺优化

1.材料成型工艺改进:注塑工艺中,以热塑性聚氨酯(TPU)材料为例,注塑温度控制在200-230℃,压力维持在80-120MPa,注塑时间约5-15秒,确保材料均匀填充模具,形成稳定结构。采用二次成型工艺,在脚跟和前足等关键部位添加硅胶减震垫、聚氨酯减震胶等缓冲材料,增强鞋底的缓冲减震性能,为儿童足部提供可靠保护。

2.花纹制作工艺创新:激光雕刻技术可通过控制激光功率、扫描速度等,雕刻出深度0.5-5毫米、宽度精度0.1毫米的精细花纹,像户外运动儿童鞋底的3-5毫米深锯齿状花纹,能显著增大摩擦力。模具蚀刻技术通过化学或电化学腐蚀在模具表面形成复杂立体花纹,结合双色注塑或多色注塑工艺,可在脚跟、前足用耐磨橡胶制作花纹,足弓处用柔软缓冲材料,兼顾防滑与舒适。

(三)鞋面制作工艺优化

1.无缝拼接技术应用:传统鞋面缝线易磨损儿童足部皮肤且影响美观。采用热熔贴合或超声波焊接等无缝拼接技术,可减少缝线。如热熔贴合技术,通过加热使鞋面材料边缘融化后贴合,制作出的鞋面无缝且平整,提升穿着舒适度与美观度。

2.智能材料应用:引入形状记忆材料,它能根据儿童足部温度和湿度变化自动调整鞋面形状与透气性。当足部温度升高、湿度增大时,材料自动扩张,增加空气流通;反之则收缩。透气调节材料可依据足部出汗情况,自动调节透气量,始终保持足部干爽,大幅提升穿着舒适度。

五、案例分析

(一)某品牌儿童运动鞋的设计优化

某知名品牌的儿童运动鞋,在设计上深度聚焦于儿童足部的动态特征。品牌通过详尽的儿童足部运动研究与实验,对鞋楦进行了科学优化,确保每一双鞋都能完美贴合儿童足部的自然轮廓,无论是行走、奔跑还是跳跃,都能给予最恰当的支持。

鞋底结构是该品牌另一大亮点,多层缓冲材料与特殊

减震装置的巧妙结合,极大地提升了鞋子的缓冲与减震效果,有效缓解了儿童运动时的足部冲击。

鞋面材料的选择同样考究,透气性能优异的网眼布与支撑性强的合成材料相得益彰,通过无缝拼接技术,既保证了鞋子的轻盈透气,又增强了耐用性,让孩子在享受运动的同时,也能保持足部的舒适与干爽。

凭借这些精心设计,该品牌的儿童运动鞋在市场上赢得了广泛赞誉,消费者对其舒适性与功能性给予了高度评价,成为了众多家长为孩子选购运动鞋的首选品牌。

(二)个性化定制童鞋的制作案例

某定制童鞋品牌专注于为有特殊足部需求的儿童提供个性化服务,通过前沿技术实现精准定制。该品牌利用三维扫描技术,精确获取儿童足部数据,为每位儿童量身打造专属鞋楦。在制作过程中,先进的3D打印技术被广泛应用,确保鞋楦与儿童足部轮廓完美贴合,实现个性化定制的第一步。

不仅如此,品牌还根据儿童的运动需求和足部特点,精心挑选鞋底材料和鞋面材质。从耐磨防滑的橡胶底到透气舒适的网眼布,每一种材料都经过严格筛选,以确保最佳穿着体验。

定制化制作工艺更是品牌的另一大亮点。特殊的花纹设计不仅增添了鞋子的美观性,还提升了辨识度。智能材料的应用,如温度感应鞋垫,进一步增强了鞋子的舒适度和功能性。这些定制化的童鞋不仅满足了儿童的特殊需求,更在穿着舒适度和运动性能上实现了显著提升,赢得了家长和孩子们的一致好评。

六、结论

儿童足部动态特征对童鞋结构制作工艺具有重要的导向作用。通过深入研究儿童行走、奔跑等活动中的足部运动规律,能够为童鞋的结构设计和制作工艺优化提供科学依据。在鞋楦设计、鞋底结构、鞋面材质选择等方面,充分考虑儿童足部动态特征,采用先进的制作工艺和技术,能够提升童鞋的穿着舒适性、功能性和安全性,促进儿童足部的健康发育。未来,随着科技的不断进步和对儿童足部生理特征研究的深入,童鞋制作工艺将不断创新和优化,为儿童提供更加优质的产品。同时,童鞋行业应加强对儿童足部动态特征的研究和应用,推动整个行业的发展。

参考文献

- [1]石文奇,程凡,王斌,等.基于层次分析法和感性工学的智能童鞋款式设计[J].皮革科学与工程.2023,33(1).
- [2]佚名.让童鞋真正有助于儿童健康成长[J].西部皮革.2022,44(21).11-12.
- [3]刘钦华,赵功赫,曲峰,等.儿童步态发展及童鞋设计的生物力学研究进展[C].2021.
- [4]顾耀东,孙冬,Gusztáv Fekete,等."裸足"运动方式对下肢生物力学功能调整的研究进展[J].中国体育科技.2019,(1).
- [5]李蜀东,顾耀东.足前掌在不同着地角度下跖骨应力状态的有限元研究[J].体育科学.2018,(3).67-72.