

· 综述 ·

# 3D 打印矫形鞋垫在下肢畸形应用的现状<sup>△</sup>

黄隽霓, 张鸿悦, 章耀华, 杨华清\*

(首都医科大学附属北京康复医院骨科康复中心, 北京 100144)

**摘要:** 下肢畸形可分为短缩、旋转、成角以及复合畸形。畸形会造成下肢生物力线改变、足底压力分布异常, 引起运动功能的损害, 造成患者疼痛及活动受限。3D 打印矫形鞋垫通过重新分布足底压力, 纠正下肢生物力线, 有效治疗下肢畸形。本文通过查阅相关文献, 探讨了引起下肢畸形足底压力变化的相关因素, 阐述了 3D 矫形鞋垫在下肢畸形的相关应用及效果, 为 3D 矫形鞋垫在临床的进一步应用提供参考。

**关键词:** 3D 打印矫形鞋垫, 下肢畸形, 膝关节畸形, 足部畸形, 下肢不等长

**中图分类号:** R687 **文献标志码:** A **文章编号:** 1005-8478 (2024) 11-1013-05

**3D printed orthopedic insoles for lower limb deformity // HUANG Jun-ni, ZHANG Hong-yue, ZHANG Yao-hua, YANG Hua-qing. Department of Orthopedics, Beijing Rehabilitation Hospital, Capital Medical University, Beijing 100144, China**

**Abstract:** Lower limb deformity can be categorized into shortening, rotation, angulation and compound deformity, lead changes of lower limb alignment and abnormal distribution of plantar pressure, result in impairment of motor function, pain and activity limitation. 3D printed orthopedic insoles can effectively treat lower limb deformity by redistributing the plantar pressure. In this paper, through reviewing related literature, we discussed the changes of plantar pressure related to lower limb deformity, and the application and effect of 3D orthopedic insoles to provide references for further application in the treatment of lower limb deformity.

**Key words:** 3D printed orthopedic insoles, lower limb deformity, knee deformity, foot deformity, leg length discrepancy

下肢畸形分为先天性畸形和获得性畸形, 常见的病因包括生长过度或不足、创伤、感染、肿瘤、神经系统后遗症等<sup>[1]</sup>。对于下肢畸形的治疗需要先矫正下肢力线, 继而稳定关节、恢复关节活动度及肌力。严重影响患者生活质量的下肢畸形往往需要通过手术进行矫正, 但对于不需要或无法进行手术的下肢畸形患者, 3D 打印矫形鞋垫或可成为具有优势的治疗方式。3D 打印矫形鞋垫是依据不同的人体足部生物力学特征进行个性化定制制造, 提供固定、支持、矫正及保护功能, 能够减少患者疼痛、提高肢体功能, 进而改善运动能力。但 3D 矫形鞋垫相关的研究各自有不同的治疗对象、鞋垫设计方式及结局指标, 本文就其在下肢畸形的应用作一综述。

## 1 3D 打印矫形鞋垫的发展

矫形鞋垫以嵌入式治疗辅具的形式与脚直接接

触, 影响整个人体生物力学, 自 1909 年用于治疗跖骨痛开始<sup>[2]</sup>, 发展至今已广泛应用于下肢畸形疾病。矫形鞋垫通过重新分布足底压力, 重构人体正确的生物力线, 起到减少疼痛、增强活动能力、预防及改善畸形的作用。如今随着生物材料、制造技术、人体形态学采集方法的进步, 临床上将 3D 打印技术与矫形鞋垫相结合, 克服了传统生产过程耗时长、浪费大量材料的局限<sup>[3]</sup>, 实现定制化设计鞋垫形状、硬度、重量。3D 矫形通过足底扫描仪获得患者足底形状, 并测量压强分布, 制作出贴合度更高的矫形鞋垫, 给患者带来更好的舒适度。相较于传统鞋垫, 3D 打印矫形鞋垫具有更好的制造精度, 能更精准地参与医疗过程<sup>[4]</sup>。

3D 打印矫形鞋垫鉴于生产工艺的特殊性, 可以通过定制组合多种模块, 发展出更多功能性空间, 实现更广泛的可调节范围<sup>[5]</sup>, 随着鞋垫进一步的改良设计、改善工艺、材料改性, 鞋垫制备过程将被不断优

DOI:10.3977/j.issn.1005-8478.2024.11.10

△基金项目:首都卫生发展科研专项项目(编号:2022-2-2253)

作者简介:黄隽霓, 硕士研究生, 研究方向:肌骨康复与肢体矫形, (电子信箱)hongyuezhang0211@163.com

\* 通信作者:杨华清, (电子信箱)yhq402@126.com

化, 鞋垫性能不断提升, 3D 打印矫形鞋垫将在下肢畸形疾病中发挥更重要的作用, 成为未来矫形鞋垫制作的主流发展方向。

## 2 在下肢畸形疾病中的应用

在下肢畸形疾病的发生与进展过程中, 常可以检测到患者的异常足底压力。3D 打印矫形鞋垫基于人体的生物力学性能, 通过改变踝关节的运动姿势来再分配足底压力, 促进下肢畸形的矫正, 并有效减轻下肢负荷<sup>[6]</sup>, 缓解疼痛。

### 2.1 在髌关节畸形中的应用

髌骨关节炎是一种以关节软骨和关节间隙丧失、骨赘形成, 伴有明显疼痛、活动受限及肌肉无力的致残性疾病<sup>[7, 8]</sup>, 常表现为末端髌关节伸展减少, 骨盆代偿倾斜、躯干位移代偿性增加<sup>[9]</sup>, 造成继发髌部畸形, 引起步态异常。虽然目前仍然缺乏有关应用 3D 打印矫形鞋垫治疗髌关节炎的研究性实验, 但在足底压力方面, Gimunová<sup>[10]</sup> 研究发现髌骨关节炎患者第 4 跖骨的峰值压力较正常人增大, 这为 3D 打印矫形鞋垫治疗髌骨关节炎的可能提供理论依据。Solomonow-Avnon 等<sup>[11]</sup> 也通过在鞋底配置可调节的生物力学设备, 改变地面反作用力 (ground reaction force, GRF) 的轨迹和方向, 重新调整足底压力分布, 改善下肢生物力线, 从而提高髌骨关节炎患者步行时的速度和步频等运动学参数, 减少疼痛产生。以上研究给未来通过 3D 打印矫形鞋垫重新分布患者足底压力治疗髌骨关节炎提供了理论依据, 为髌骨关节炎造成的髌部畸形的预防及治疗提供新的思路。

### 2.2 在膝关节畸形中的应用

膝骨性关节炎 (knee osteoarthritis, KOA) 是由膝关节软骨退化, 导致关节面不平, 膝关节单侧腔室负荷 (knee adduction moment, KAM) 增加<sup>[12]</sup>, 引起下肢生物力线改变, 导致膝关节代偿性内、外翻畸形<sup>[13]</sup>, 表现为关节疼痛、僵硬、肿胀和活动受限<sup>[14]</sup>。KOA 又以膝内翻为常见, 足部压力表现为前足内侧、足中部或足中央区域足底压力增高<sup>[15]</sup>。基于 KOA 患者异常下肢生物力线及足底压力的特点, 马秉贤<sup>[16]</sup> 通过足底扫描仪获取 KOA 患者足部特征后导入软件, 利用熔融沉积成型技术制作出 3D 打印矫形鞋垫进行穿戴, 通过鞋垫重新平衡膝关节应力负荷, 减少内翻压力, 降低 KAM, 外移下肢生物力线, 纠正异常的生物力学及步态, 并进行 1 年随访。结果表明对于中重度 KOA, 相较于口服药物, 3D 打

印矫形鞋垫能减少患者疼痛并改善运动功能, 有更好的疗效。除临床症状外, Lewinson<sup>[17]</sup> 招募 KOA 患者穿戴 3D 打印的内侧楔形鞋垫 3 个月, 结果表明, 相较于未穿戴鞋垫的 KOA 对照组, 试验组 KOA 患者膝关节内侧 KAM 显著下降。

不仅在治疗方面, 研究表明, 当一侧存在 KOA 时, 对侧膝关节有较高 KOA 风险。通过对受试者侧放置矫形鞋垫, 减少对侧膝关节内侧 KAM, 从而起到预防 KOA 的作用<sup>[18]</sup>, 但缺乏应用 3D 打印矫形鞋垫的相关研究。3D 打印矫形鞋垫在膝关节畸形疾病的应用已得到许多研究, 相关的生物力学原理及预期应用效果得到初步证实。

### 2.3 在足踝畸形中的应用

足部存在 3 种类型的弓形结构, 包括内侧纵弓、外侧纵弓及前足横弓<sup>[19]</sup>, 起到支撑与缓冲震荡的作用。扁平足是一种常见的肌肉骨骼畸形, 主要表现为足内侧纵弓的塌陷畸形。其足底压力表现为第 1、2 跖骨及指骨区域压力增加<sup>[20]</sup>, 导致下肢生物力线异常, 出现包括跟骨外翻、跖屈, 后足外翻, 前足旋后和外展等代偿畸形<sup>[21]</sup>。针对扁平足的畸形特点, Hsu<sup>[22]</sup> 使用足部扫描结合患者足底压力分布数据, 设计出为患者提供足弓支持的 3D 打印楔形矫形鞋垫。鞋垫通过直接支撑内侧纵弓, 增加足内侧接触面积, 重新分布足底压力。通过采集患者行走过程中的步态和运动分析数据, 得出受试者在佩戴 3D 打印矫形鞋垫时, 增加了踝关节的背屈角度, 降低了踝关节的外翻角度, 从而纠正行走过程中的踝关节畸形。Cheng<sup>[23]</sup> 通过泡沫箱取得扁平足患者原始足部模型, 并扫描生成数字化模型, 经 CAD 设计程序修改后, 3D 打印纵弓支持的矫形鞋垫。要求扁平足患者穿戴并通过三维步态系统采集患者矫正后步态信息, 结果同样证明了踝关节背屈角度增加, 中足内侧的峰值压力显著增加。Xu 等<sup>[24]</sup> 将扁平足患者分组, 分别接受 3D 打印鞋垫与普通预鞋垫各治疗 8 周, 通过足底压力采集系统与视觉疼痛模拟量表 (visual analogue scale, VAS) 比较疗效。研究表明, 8 周后扁平足患者足底压力及疼痛均得到改善, 但穿戴 3D 打印矫形鞋垫的试验组更明显地改善了疼痛及更有效地减轻了足底跖骨的负荷。因此, 3D 打印矫形鞋垫可以更好地将足底负荷再分配, 增加患者内侧足底负荷, 表现出更好的舒适度。

高弓足与扁平足相反, 是一种由于足内在肌群萎缩, 跖骨头部失去背伸肌力下沉, 使纵弓前臂降低, 跖腱膜挛缩, 足弓顶部升高的异常畸形, 表现为足前

段的过度跖屈、内收以及后足内翻等关节角度的变化<sup>[25]</sup>。高弓足由于足部弹性下降，足底压力主要分布于足前部及后跟。高弓足患者足与地面的接触面积减少，足踝及足跟容易向外发生倾斜，导致其稳定性、缓冲性能差，而出现足底筋膜炎、跖骨疼痛等<sup>[26]</sup>。楚鹏飞<sup>[27]</sup>通过熔融沉积成型技术，制作能够辅助足弓支撑的全接触3D打印矫形鞋垫，并通过测试系统采集足底压力。结果表明，高弓足患者的足底峰值压力在静态及步行状态下都得到显著下降，足底接触面积显著提高，证实了3D打印鞋垫可以通过患者个体的足底形状及压力测试结果，实现更加准确的个性化设计鞋垫，使下肢恢复正常的生物力学特征，改善症状及延缓疾病进展。

踝外翻是指跖趾向外倾斜、第1跖骨向内倾斜的畸形疾病，常伴有第1跖骨头内侧疼痛<sup>[28, 29]</sup>。其异常足底压力表现为足底承受压力区域外移，导致足底外侧成为主要支撑方式，使人体下肢生物力学线发生改变<sup>[30]</sup>，增加潜在损伤风险。Cavalcanti等<sup>[31]</sup>通过定制矫形鞋垫重塑踝外翻患者足弓形态而改善跖趾受力，重塑生物力学位置。这项随机对照试验结果显示，经过4周矫形鞋垫的干预后，患者的疼痛及足踝功能得到改善，证明矫形鞋垫可以稳定病变小关节、重新分配足底应力、减少踝外翻患者疼痛的发生和延缓疾病进展。目前仍然缺乏应用3D打印矫形鞋垫治疗踝外翻患者的相关研究，需进一步开展研究确定其治疗效果。

#### 2.4 在下肢不等长畸形中的应用

下肢不等长 (leg length discrepancy, LLD) 是指单一或多个骨短缩或生长过度引起人体下肢长度不一致<sup>[32]</sup>，造成人体下肢生物力学线异常，LLD患者常通过脊柱侧弯、骨盆倾斜等进行功能代偿，导致髋、膝关节及腰椎活动节段的异常负荷<sup>[33, 34]</sup>，从而改变下肢髋膝关节角度，导致疼痛、下肢骨性关节炎，甚至下肢应力性骨折<sup>[35, 36]</sup>。LLD患者的下肢异常步态表现为左右双侧步长、步长时间、单支撑期时间明显不同；左右两侧脚跟着地时垂直方向GRF均大于正常步态<sup>[37]</sup>。Wang<sup>[38]</sup>对7例LLD患者进行足部扫描及数据采集，定制了TPU材料的通过补高短腿的3D打印矫形鞋垫，并要求LLD患者进行12周的佩戴。经过12周的佩戴后，LLD患者步频、步幅和步速等步态参数均较前提高，患者的腰痛、下肢关节疼痛均得到缓解。邓迁<sup>[39]</sup>通过足底压力测试仪及扫描仪获取患者足底压力数据及外观3D模型，并对鞋垫中后部进行拓扑结构优化定制3D打印矫形鞋垫，使鞋垫与

足部更加贴合。在对9例LLD患者穿戴补高鞋垫后，步频、支撑相和摆动相的双下肢差距缩小，双侧垂直GRF降低，证明3D打印矫形鞋垫可改善左右两侧步态的对称性，提高双下肢运动节律的协调性，缓冲了地面冲击力，改善足部功能，并较传统鞋垫有更高的舒适性。

### 3 总结

下肢畸形疾病破坏人体生物力学链，引发异常足底压力分布。异常压力分布导致下肢甚至脊柱的生物力学结构变化，形成恶性代偿循环，造成疼痛及功能障碍，极大影响患者生活质量。诸多研究已经证实3D打印矫形鞋垫相较于传统矫形鞋垫，同样在下肢畸形治疗过程中发挥作用，并弥补了传统矫形鞋垫的缺陷。

目前使用的3D打印矫形鞋垫在材质、形状及高度等设计上缺乏相对统一的标准方案，这些不同可能会导致治疗效果的差异。随着人工智能的不断进步，更完善的算法和数字化的工作流程将更加准确地调控人体运动生物模式。与此同时，医工交叉学科的不断创新发展，将为3D打印矫形鞋垫的设计和材料方面带来新的发展趋势和更为完善的功能，使得3D打印矫形鞋垫得到更广泛的应用。目前关于3D打印矫形鞋垫在下肢畸形疾病临床应用方面的研究仍主要集中在小样本上，需要更大规模的研究来进一步探讨其疗效。

#### 参考文献

- [1] 孙磊. 肢体畸形矫正理念的进化[J]. 中国矫形外科杂志, 2022, 30(20): 1825-1829. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2022.20.01.  
Sun L. Evolution of the concept of limb deformity correction [J]. Orthopedic Journal of China, 2022, 30(20): 1825-1829. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2022.20.01.
- [2] Barrios-Muriel J, Romero-Sánchez F, Alonso-Sánchez FJ, et al. Advances in orthotic and prosthetic manufacturing: a technology review [J]. Materials, 2020, 13(2): 295. DOI: 10.3390/ma13020295.
- [3] 郑坤, 宋艳, 邓迁, 等. 3D打印在矫形器领域的应用和研究进展[J]. 中国矫形外科杂志, 2021, 29(14): 1300-1303. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2021.14.12.  
Zheng K, Song Y, Deng Q, et al. Application and research progress of 3D printing in the field of orthotics [J]. Orthopedic Journal of China, 2021, 29(14): 1300-1303. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2021.14.12.
- [4] Dombroski CE, Balsdon MER, Froats A. The use of a low cost 3D

- scanning and printing tool in the manufacture of custom-made foot orthoses: a preliminary study [J]. *BMC Res Notes*, 2014, 7 (1) : 1-4. DOI: 10.1186/1756-0500-7-443.
- [5] Jandova S, Mendricky R. Benefits of 3D printed and customized anatomical footwear insoles for plantar pressure distribution [J]. *3D Print Addit Manuf*, 2022, 9 (6) : 547-556. DOI: 10.1089/3dp.2021.0002.
- [6] Wang CS. An analysis and evaluation of fitness for shoe lasts and human feet [J]. *Comp Indust*, 2010, 61 (6) : 532-540. DOI: 10.1016/j.compind.2010.03.003.
- [7] Kim BI, Wixted CM, Wu CJ, et al. Inertial sensor gait analysis of trendelenburg gait in patients who have hip osteoarthritis [J/OL]. *J Arthroplasty*, 2024. Online ahead of print. DOI: 10.1016/j.arth.2024.01.036.
- [8] McNair PJ, Simmonds MA, Boocock MG, et al. Exercise therapy for the management of osteoarthritis of the hip joint: a systematic review [J]. *Arthritis Res Ther*, 2009, 11 (3) : 1-9. DOI: 10.1186/ar2743.
- [9] Perron M, Malouin F, Moffet H, et al. Three-dimensional gait analysis in women with a total hip arthroplasty [J]. *Clin Biomech*, 2000, 15 (7) : 504-515. DOI: 10.1016/s0268-0033(00)00002-4.
- [10] Gimunová M, Vodička T, Bozděch M, et al. Changes in plantar pressure, contact area and contact time symmetry during the gait 4 weeks before and 12 and 24 weeks after unilateral total hip arthroplasty [J]. *Clin Biomech*, 2021, 89: 105473. DOI: 10.1016/j.clinbiomech.2021.105473.
- [11] Solomonow-Avnon D, Herman A, Levin D, et al. Positive outcomes following gait therapy intervention for hip osteoarthritis: a longitudinal study [J]. *J Orthop Res*, 2017, 35 (10) : 2222-2232. DOI: 10.1002/jor.23511.
- [12] Reeves ND, Bowling FL. Conservative biomechanical strategies for knee osteoarthritis [J]. *Nat Rev Rheumatol*, 2011, 7 (2) : 113-122. DOI: 10.1038/nrrheum.2010.212.
- [13] Davis KR, Soti V. Effectiveness of kinematic alignment-total knee arthroplasty in treating preoperative varus and valgus deformities in patients with knee osteoarthritis [J]. *Cureus*, 2024, 16 (1) : e53230. DOI: 10.7759/cureus.53230.
- [14] Michael JWP, Schlüter-Brust KU, Eysel P. The epidemiology, etiology, diagnosis, and treatment of osteoarthritis of the knee [J]. *Deutsches Arzteblatt Int*, 2010, 107 (9) : 152. DOI: 10.3238/arztebl.2010.0152.
- [15] Panyarachun P, Angthong C, Jindasakchai P, et al. Abnormal foot pressure in older adults with knee osteoarthritis: a systematic review [J]. *Eur Rev Med Pharmacol Sci*, 2022, 26 (17) : 6236-6241. DOI: 10.26355/eurrev\_202209\_29646.
- [16] 马秉贤, 包呼日查, 王一帆, 等. 国产 3D 打印矫形鞋垫治疗膝关节骨性关节炎的临床应用及疗效评价 [J]. *科技导报*, 2023, 41 (16) : 136-144. DOI: 10.3981/j.issn.1000-7857.2023.16.012.
- Ma BX, Bao HRC, Wang YF, et al. Clinical application and efficacy evaluation of domestic 3D printing orthopedic insoles in the treatment of knee osteoarthritis [J]. *Science & Technology Review*, 2023, 41 (16) : 136-144. DOI: 10.3981/j.issn.1000-7857.2023.16.012.
- [17] Lewinson RT, Collins KH, Vallerand IA, et al. Reduced knee joint loading with lateral and medial wedge insoles for management of knee osteoarthritis: a protocol for a randomized controlled trial [J]. *BMC Musculoskelet Disord*, 2014, 15 (1) : 1-9. DOI: 10.1186/1471-2474-15-405.
- [18] Jones RK, Chapman GJ, Findlow AH, et al. A new approach to prevention of knee osteoarthritis: reducing medial load in the contralateral knee [J]. *J Rheumatol*, 2013, 40 (3) : 309-315. DOI: 10.3899/jrheum.120589.
- [19] Imaizumi K, Iwakami Y, Yamashita K. Analysis of foot pressure distribution data for the evaluation of foot arch type [J]. *Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc*, 2011, 2011: 7388-7392. DOI: 10.1109/IEMBS.2011.6091720.
- [20] 包贝西, 张建中. 扁平足足印的测量与临床研究现状 [J]. *中国矫形外科杂志*, 2012, 20 (1) : 56-58. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2012.01.14.
- Bao BX, Zhang JZ. Measurement and clinical research status of flat foot footprints [J]. *Orthopedic Journal of China*, 2012, 20 (1) : 56-58. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2012.01.14.
- [21] Bresnahan PJ, Juanto MA. Pediatric flatfeet—a disease entity that demands greater attention and treatment [J]. *Front Pediatr*, 2020, 2020: 19. DOI: 10.3389/fped.2020.00019.
- [22] Hsu CY, Wang CS, Lin KW, et al. Biomechanical analysis of the flatfoot with different 3D-printed insoles on the lower extremities [J]. *Bioengineering*, 2022, 9 (10) : 563. DOI: 10.3390/bioengineering9100563.
- [23] Cheng KW, Peng Y, Chen TLW, et al. A three-dimensional printed foot orthosis for flexible flatfoot: An exploratory biomechanical study on arch support reinforcement and undercut [J]. *Materials*, 2021, 14 (18) : 5297. DOI: 10.3390/ma14185297.
- [24] Xu R, Wang Z, Ren Z, et al. Comparative study of the effects of customized 3D printed insole and prefabricated insole on plantar pressure and comfort in patients with symptomatic flatfoot [J]. *Med Sci Monit*, 2019, 25: 3510. DOI: 10.12659/MSM.916975.
- [25] 马英君, 冯浩宇, 王丽芳, 等. 高弓足的功能性矫正术 [J]. *中国矫形外科杂志*, 1999, 6 (4) : 73-74.
- Ma YJ, Feng HY, Wang LF, et al. Functional correction of high arch foot [J]. *Orthopedic Journal of China*, 1999, 6 (4) : 73-74.
- [26] Choi JK, Cha EJ, Kim KA, et al. Effects of custom-made insoles on idiopathic pes cavus foot during walking [J]. *Bio-Med Mater Eng*, 2015, 26 (s1) : S705-S715. DOI: 10.3233/BME-151362.
- [27] 楚鹏飞, 谷彦颀, 王森, 等. 具有分区域梯度硬度结构的定制减压鞋垫设计 [J]. *医用生物力学*, 2021, 36 (5) : 679-683. DOI: 10.16156/j.1004-7220.2021.05.003.
- Chu PF, Gu YJ, Wang S, et al. Custom decompression insole design with sub-layer hardness structure [J]. *Journal of Medical Biomechanics*, 2021, 36 (5) : 679-683. DOI: 10.16156/j.1004-7220.2021.05.003.
- [28] Fraissler L, Konrads C, Hoberg M, et al. Treatment of hallux val-

- gus deformity [J]. EFORT Open Rev, 2016, 1 (8) : 295–302. DOI: 10.1302/2058–5241.1.000005.
- [29] Zirngibl B, Grifka J, Baier C, et al. Hallux valgus: Ätiologie, diagnostische und therapeutische Prinzipien (CME) [J]. Der Orthopäde, 2017, 46 (3) : 283–296. DOI: 10.1302/2058–5241.1.000005.
- [30] Hofmann UK, Götze M, Wiesenreiter K, et al. Transfer of plantar pressure from the medial to the central forefoot in patients with hallux valgus [J]. BMC Musculoskelet Disord, 2019, 20: 1–8. DOI: 10.1186/s12891–019–2531–2.
- [31] Cavalcanti RR, Mendes AAMT, Barbosa GM, et al. Protocol: Effects of custom insoles for symptomatic hallux valgus: protocol for a sham-controlled randomised trial [J]. BMJ Open, 2023, 13 (7) : e069872. DOI: 10.1136/bmjopen–2022–069872.
- [32] Mohamed-Saaïd F, Sulaiman AR, Munajat I, et al. The effects of different degrees of leg length discrepancy on vertical ground reaction force in children and adults: treatment implications [J]. Malays Orthop J, 2023, 17 (3) : 66–42. DOI: 10.5704/MOJ.2311.010.
- [33] Raczkowski JW, Daniszewska B, Zolynski K. Functional scoliosis caused by leg length discrepancy [J]. Arch Med Sci, 2010, 6 (3) : 393–398. DOI: 10.5114/aoms.2010.14262.
- [34] Sheha ED, Steinhaus ME, Kim HJ, et al. Leg-length discrepancy, functional scoliosis, and low back pain [J]. JBJS Rev, 2018, 6 (8) : e6. DOI: 10.2106/JBJS.RVW.17.00148.
- [35] Defrin R, Benyamin SB, Aldubi RD, et al. Conservative correction of leg-length discrepancies of 10 mm or less for the relief of chronic low back pain [J]. Arch Phy Med Rehabil, 2005, 86 (11) : 2075–2080. DOI: 10.1016/j.apmr.2005.06.012.
- [36] Harvey WF, Yang M, Cooke TDV, et al. Association of leg-length inequality with knee osteoarthritis: a cohort study [J]. Ann Int Med, 2010, 152 (5) : 287–295. DOI: 10.7326/0003–4819–152–5–201003020–00006.
- [37] 宋亮, 邢阳辉, 康婷, 等. 下肢不等长对步态影响的实验分析 [J]. 医用生物力学, 2016, 31 (6) : 501–505, 512. DOI: 10.3871/j.1004–7220.2016.06.501.
- Song L, Xin YH, Kang T, et al. Experimental analysis of the influence of unequal limb length on gait [J]. Journal of Medical Biomechanics, 2016, 31 (6) : 501–505, 512. DOI: 10.3871/j.1004–7220.2016.06.501.
- [38] Wang K, Lu C, Ye R, et al. Research and development of 3D printing orthotic insoles and preliminary treatment of leg length discrepancy patients [J]. Technol Health Care, 2020, 28 (6) : 615–624. DOI: 10.3233/THC–202170.
- [39] 邓迁, 许苑晶, 赵康, 等. 3D 打印下肢不等长补高鞋垫的拓扑结构和生物力学研究 [J]. 医用生物力学, 2022, 37 (1) : 45–51. DOI: 10.16156/j.1004–7220.2022.01.007.
- Deng Q, Xu YJ, Zhao K, et al. Study on topological structure and biomechanics of 3D printing insoles with unequal length and height for lower limbs [J]. Journal of Medical Biomechanics, 2022, 37 (1) : 45–51. DOI: 10.16156/j.1004–7220.2022.01.007.
- (收稿: 2024-01-25 修回: 2024-03-25)  
(同行评议专家: 舒衡生, 臧建成, 曲龙, 姚琦, 刘利民)  
(本文编辑: 宁桦)

## 读者 · 作者 · 编者

### 《中国矫形外科杂志》网站增设在线发表栏目的公告

为了更好地为广大作者服务, 自 2024 年 2 月下旬起, 《中国矫形外科杂志》网站将增设在线发表栏目。该栏目将经审定拟刊用的定稿稿件, 以 PDF 的形式在本刊网站在线发表 (由于技术原因, 目前只能发表文章首页), 比正式出版时间提前 1 个月左右, 以方便作者了解稿件的刊用情况, 后续我们将争取做到稿件全文在线发表, 此举可为作者提供更便捷的投稿体验, 以提升杂志为读者和作者服务的整体水平。

未来本刊网站将继续着力于为广大读者提供更多优质的内容和服务, 感谢您的关注和支持, 让我们一起为《中国矫形外科杂志》的不断发展贡献力量。

敬请关注《中国矫形外科杂志》网站, <http://jxwk.ijournal.cn>

《中国矫形外科杂志》编辑部

2024 年 2 月 22 日