

## 3D打印技术在骨科康复中的应用

梁泽宇<sup>1</sup>, 邓羽平<sup>1</sup>, 黄文华<sup>1,2,3</sup>

1. 南方医科大学基础医学院人体解剖学国家重点学科/广东省医学生物力学重点实验室/广东省医学3D打印应用转化工程技术研究中心, 广东 广州 510515; 2. 南方医科大学第三附属医院/广东省医学3D打印应用转化创新平台, 广东 广州 510630; 3. 广东医科大学附属第一医院骨科, 广东 湛江 524001

**【摘要】**向康复医学、康复治疗学等专业人士介绍3D打印技术,运用此技术制作的矫形器可以达到提高患者日常生活活动能力、减轻功能障碍和减少术后并发症的目的。假肢、义肢可以个性化弥补肢体缺陷、提高器具使用率;辅助器具可以满足患者特定的功能需求,帮助其重新回归家庭和社会,提高器具的使用满意度。本文综述3D打印技术的基础以及在康复领域使用该技术的优势与现阶段存在的问题,并对未来在康复领域的应用进行展望。

**【关键词】**3D打印; 康复; 矫形器; 假体; 辅助技术; 增材制造; 综述

**【中图分类号】**R318;R49

**【文献标志码】**A

**【文章编号】**1005-202X(2021)07-0889-04

### Application of 3D printing technology in orthopedic rehabilitation

LIANG Zeyu<sup>1</sup>, DENG Yuping<sup>1</sup>, HUANG Wenhua<sup>1,2,3</sup>

1. Guangdong Engineering Research Center for Translation of Medical 3D Printing Application/ Guangdong Provincial Key Laboratory of Medical Biomechanics/National Key Discipline of Human Anatomy, School of Basic Medical Sciences, Southern Medical University, Guangzhou 510515, China; 2. Guangdong Medical Innovation Platform for Translation of 3D Printing Application/the Third Affiliated Hospital of Southern Medical University, Guangzhou 510630, China; 3. Department of Orthopaedics, Affiliated Hospital of Guangdong Medical University, Zhanjiang 524001, China

**Abstract:** The study aims to introduce 3D printing technology to professionals in rehabilitation medicine, rehabilitation therapy and others. The orthosis made by 3D printing technology can achieve the purpose of improving the patients' ability of daily life activities, alleviating dysfunctions and reducing postoperative complications. Artificial limbs can make up for limb defects and improve the utilization rate of apparatus; and assistive devices can meet the specific functional needs of patients and help them return to the family and society, and improve their satisfaction with the use of appliances. Herein the basis of 3D printing technology and its advantages and existing problems in the field of rehabilitation are summarized, and the future application of 3D printing technology in the field of rehabilitation is forecasted.

**Keywords:** 3D printing; rehabilitation; orthosis; prosthesis; assistive technology; additive manufacturing; review

### 前言

近年来,3D打印技术的兴起归因于其在技术和工艺方面的突破,以及低成本打印机的出现。目前3D打

印技术在医疗领域的应用包括牙科、解剖模型、医疗器械、组织工程支架和组织模型等<sup>[1-2]</sup>。研究工作也在生物合成打印和混合人体组织,包括皮肤、软骨和骨骼等方面进行。在康复医学领域,3D打印技术能为制造矫形器、假肢义肢和辅助器具过程中遇到的常见问题提供独特的解决方案。3D打印统称为增材制造(AM),其定义为:使用打印头、喷嘴或其他打印机技术通过沉积材料的物体来制造物体。该过程也被归类为计算机辅助制造(CAM)的一种,这是在制造过程中使用计算机软件控制机械的总称,所有3D技术都具有类似概念。计算机辅助设计(CAD)通常使用3D扫描创建对象的虚拟3D模型,然后将模型“切片”为离散的2D层,其中几何图形变为数字代码,打印机使用该数字代码逐层

**【收稿日期】**2021-01-24

**【基金项目】**国家重点研发计划(2017YFC1103400);广东省自然科学基金(2020A151501998);广东省科技计划项目(2016B090917001, 2017B090912006);深圳市医疗卫生“三名工程”高层次医学团队(SZSM201612019);佛山市深入推进创新驱动助力工程项目(2019012)

**【作者简介】**梁泽宇,硕士,研究方向:青少年脊柱侧弯生物力学机制、3D打印,E-mail: lanng520@163.com

**【通信作者】**黄文华,教授,博士生导师,研究方向:临床应用解剖学、数字医学及3D打印,E-mail: 13822232749@139.com

“构建”对象<sup>[13]</sup>。根据技术不同,可能需要进行后处理以去除支撑材料,改善表面光洁度或固化未熔融的材料。如今,个人打印机正以低廉的价格得到越来越广泛的使用,从而使个性化设计和制造3D打印器具成为现实。本文探讨3D打印技术在当前骨科康复中的应用,为康复医学、康复治疗学等人员建立有关3D打印技术及其应用知识的基础,并且讨论3D打印技术在骨科康复中应用的潜在价值。

## 1 矫形器

### 1.1 上肢矫形器

Abreu de Souza等<sup>[4]</sup>为1例24岁男性左侧桡骨远端骨折患者设计了一个3D打印的定制矫形器,用于45 d左右的制动期康复。这个矫形器质量只有53 g,制造时间45 min。矫形器的优点包括低成本、方便的制造工艺、轻便的设计、易于清洗、个性化定制,并有良好的适配性。Yoo等<sup>[5]</sup>针对脊髓损伤患者设计了一种由肌电图信号控制的新型3D打印手部矫形器,大多数受试者在穿戴此设备后可以拿起和放下物体,使颈段脊髓损伤患者具备足够的握力从而恢复部分手部功能,提高了患者的日常生活活动能力。Mohammadi等<sup>[6]</sup>也开发了一种模块化、可定制、轻便的柔软外骨骼手套,适用于外伤导致的脊髓损伤患者和肌肉萎缩症导致的上肢瘫痪患者。此装置由3D打印的柔性手套和驱动、控制单元组成,可以完成对不同直径和形状的圆柱形物体、直径较小的球形物体的抓握,还可以拿起信用卡和钥匙。手套的握力和运动范围可以满足日常生活活动的要求,并且作为一个总质量为330 g的便携式设备,也适合患者在日常生活中佩戴。锤状指是指远端指间关节因伸肌腱机制中断而产生的屈曲畸形,包括远端指骨撕脱骨折的骨性锤状指和只涉及伸肌腱损伤的软组织锤状指<sup>[7]</sup>。Choi等<sup>[8]</sup>通过比较用于锤状指外固定的传统石膏和3D打印矫形器发现后者可以解决前者佩戴过程中产生的过度伸展和皮肤问题(水肿、感染和坏死),这是因为3D打印技术基于人体解剖结构个性化定制,其在适配性和舒适度上有着很大优势,可以避免传统石膏固定后的诸多并发症,提高器具的使用率和患者的满意度。

### 1.2 下肢矫形器

Chae等<sup>[9]</sup>为1例腰椎椎间融合术及脓肿清除术后的72岁女性患者制作了踝足矫形器,这个设计考虑到足部的压力中心在步态周期中的变化方向,研究证明患者在佩戴此设备后可以提高行走速度,使步态特征更接近于功能性步行,并提供足够的稳定性、动态支持和自由运动,接近正常功能。Xu等<sup>[10]</sup>将60例患有足底筋膜炎患者分为两组,其中对照组患者穿戴预先制作

的踝足矫形器,试验组患者穿戴3D打印的踝足矫形器,使用8周后VAS舒服度评分,试验组显著低于对照组,验证3D打印的踝足矫形器在减少与足底病变相关的损伤以及提高足底筋膜炎患者舒适度方面的有效性。Xu等<sup>[11]</sup>对80例双侧扁平足患者的研究发现,3D打印的定制鞋垫比预制鞋垫的舒适度更高,并且定制鞋垫减少跖骨间的负荷,将负荷分布到足中部,对有症状的平足患者足部病灶进行修复。Bulus等<sup>[12]</sup>设计了一款应用3D打印技术、可调节扭转刚度的膝关节矫形器,其中装配可以在各种运动中量化关节运动的磁性角度传感器,结果表明这个装置能够通过改变关节载荷大小、关节运动情况,以及根据患者在实际使用中的表现,选择性控制关节运动,如在进行力量练习或是康复锻炼时。

### 1.3 躯干矫形器

张玉芳等<sup>[13]</sup>为1例14岁右胸弯、左腰弯的“S”型脊柱侧弯男性患者设计了3D打印矫形器,穿戴矫形器后患者的侧凸状况得到一定程度的矫正,胸、腰部侧弯的Cobb角分别减小至28°和19.7°,较初始侧弯角度分别减少了78%和82%,具有较好的矫形效果,且贴合度较高。该矫形器透气性良好且外形美观,侧弯矫正位置疼痛感较轻,可进行弯腰、蹲起等日常活动,且束带可微调松紧度,不影响日常生活,患者对其整体比较满意。蔡婧璇等<sup>[14]</sup>为1例8岁“S”型脊柱侧弯男性患者设计制作了矫形器,通过随访发现此矫形器与患者脊柱弯曲情况的匹配度良好,矫正效果精确,更换矫形器的次数明显减少。对于青少年特发性脊柱侧凸患者来说,矫形器的佩戴不仅从主观的疼痛感受上影响患者的学习状态,而且使患者在心理上承受异样的目光和生活不便带来的苦恼,阻碍身心健康发展。3D打印技术可以通过个性化定制矫形器给青少年患者贴上一个“个性的标签”,减轻患者的心理压力,从而达到提高器具使用率和治疗效果的目的。

## 2 假肢、义肢

3D打印技术可以为经历截肢手术的患者量身定制符合其人体解剖结构、高强度、耐用、轻便、经济实惠的假肢,尤其适用于正在生长发育的儿童及青少年<sup>[15]</sup>。Ten Kate等<sup>[16]</sup>概述了58种3D打印的上肢假肢,而且已经制造了大量不同类型的假肢,其中大多数用于儿童。报道称孩子们对他们的假肢很满意,但由于没有短期或长期使用的随访,所以还不清楚这些假肢是否可以满足孩子的功能需求。如果3D打印的假肢有更强大的功能和更真实的外观,那么它的应用程度将会有所增加。Zuniga等<sup>[17]</sup>为11位遭遇外伤后上肢截肢或先天性上肢缺失的儿童设计制作了低成本的3D打印手,此假肢明显提高了使用者的生活质量,并且提高了患儿在



日常生活中对其使用率,包括在家庭生活和学校学习的一些活动。Xu等<sup>[18]</sup>也为1位遭受搅碎机事故后惯用手(右手)严重损伤、随后截肢的8岁小男孩制作了3D打印假肢,耗时不到8 h,3个月后的随访中得知该男孩在使用假肢后,在饮食、写作、穿衣、骑自行车等日常生活活动和父母对其满意度中均表现良好,男孩和父母均未反馈有关佩戴此3D打印假肢的特殊并发症。

### 3 辅助器具

Thorsen等<sup>[19]</sup>为1例双手指骨处截肢的中年女性设计了辅助器具,在使用之后,之前困扰她的一些无法完成或完成困难的日常生活活动问题变得简单了,她开始在辅助器具的帮助下尝试使用日常用品,如衣架、厨房钳等,满足她的日常生活需求。Day等<sup>[20]</sup>为了让1例左手掌指关节处做了关节断离术的患者重新吹奏他的法国圆号(乐器),用3D打印技术制作了一种辅助器具,这种器具满足了患者的期望,安全性也很高,使他重新参与吹奏圆号这个休闲活动中,达到了回归生活的目的。通过计算发现,这些3D打印的器具比类似的层压设备平均便宜56%。Degerli等<sup>[21]</sup>等为1例C<sub>5/6</sub>椎骨骨折患者设计制作了一款辅助器具,患者由于惯用手手部肌肉无力而影响到日常工作,此器具旨在帮助他提高书写、签名这项工作所需能力,该装置的尺寸、质量、安全性、耐用性、使用简单性和舒适性均为患者所接受,患者称他第一次在车祸事故后毫无颤抖地完成书写和签名,他对这个辅助器具总体上非常满意。

## 4 3D打印技术在骨科康复中的优势与存在的问题

### 4.1 术前

术前应用3D打印技术建模不仅降低患者手术中的治疗风险,更重要的是更加精确的手术方案有利于减少术后并发症,提高手术质量<sup>[22-23]</sup>。如骨折后的手术治疗以骨折复位及内固定、恢复关节的解剖形态为目的,骨科医师更加注重骨折本身愈合,但是不少患者在骨科手术后面临运动功能障碍问题。许多学者通过实验发现关节软骨骨折损伤后,关节制动超过72~78 h,关节软骨为纤维组织修复;关节固定6~12周后,没有损伤的关节软骨也发生明显退形性改变。肌肉、肌腱等软组织在关节制动后3 d就可以出现粘连<sup>[24]</sup>。对于术后需要康复的患者来说,恢复正常的运动功能、回归日常生活是康复的最终目的,但对于应用3D打印技术的骨科手术是否会减轻对患者术后功能活动的影响,降低术后康复难度,使患者达到不仅是解剖学意义上的康复,而且是功能水平上的康复这一问题鲜有精确报道。

### 4.2 术后

骨折后对骨折部位进行外固定处理对于骨折的愈合非常重要,在急性损伤或手术后短时间(几天到几周)使用支架可控制受累关节的活动范围,并在康复期间提供保护。传统的外固定材料一般选用石膏、绷带或者夹板,而这些外固定材料透气性差、固定不牢靠、容易压迫血管造成血供减少,此外,由于人体形态有明显差异,为每个病人提供个性化设计的尺寸是一项复杂工作,所以在大多数情况下,传统矫形器是按照预先确定的模型制作的。利用3D打印技术打印出的康复器具,在这方面的应用则具有巨大优势<sup>[25]</sup>。廖政文等<sup>[26]</sup>设计的个性化康复器具矫形器优化率达10%~20%,并且生物力学影响小、节省材料、增加了透气性。低温热塑板材料制造矫形器时需反复调整、存在烫伤风险、制造效率低、外观难看、弃用率高;高温塑性矫形器制造流程繁琐,需经历取模、浇铸、倒模、填充、调整等,3D打印为解决这些问题提供了新思路 and 可行方案<sup>[27]</sup>。Lin等<sup>[28]</sup>在前臂骨折矫形器建模设计基础上,将此器具应用于10名年龄在5~78岁患者,包括4名男性和6名女性,最终降低了与此骨折相关的并发症风险,其中包括皮肤病、骨筋膜室综合症、压疮等,并且具有良好的透气性、自定义贴合度和患者使用满意度等优点<sup>[29]</sup>。然而目前实验数据仍存在着明显的不足。廖政文<sup>[30]</sup>在其前臂康复矫形器的数字化设计制作中招募到30名志愿者, Lin等<sup>[28]</sup>在其前臂骨折矫形器设计中选择的10名患者,对于具有庞大数量的骨科伤残患者来讲只是冰山一角,其生物力学特性是否会随着骨密度、营养状态、体脂率、穿戴矫形器以后的工作生活状态等因素发生改变从而产生统计学意义仍值得继续探讨。

### 4.3 其他

青少年处于生长发育的关键时期,尤其是青春期,以骨量累积为主,成人骨量约40%~60%在青少年时期达成,到18岁时峰值骨量的90%已累积完成<sup>[31]</sup>。在这一时期长时间佩戴骨科康复矫形器等器具是否会对青少年的生长发育造成影响也值得深入探讨。况且3D打印的零件成本在很大程度上取决于制造设备,廉价的台式3D打印机可以提供廉价的成本,但与商业制造的高质量标准相比,它们的质量管控较低<sup>[32]</sup>。对于不同产品的选择(价钱、质量因素)是否会对使用者造成影响也值得继续探讨。3D打印成品一旦制作成型,随着青少年生长发育会产生产品适配度降低甚至无法穿戴的问题,造成压疮等皮肤疾病,对于有经济负担的家庭,是否会继续选择比较昂贵的3D打印产品,是否会对满意度造成影响也值得深入讨论。未来,对新型3D打印针对特定群体(如儿童)的设计进行评估时,应探索舒适与适配性、疼痛与损伤程度、整体满意度和依附性以

及该设备的生物力学功能<sup>[33]</sup>。

### 5 3D打印技术在骨科康复中的应用展望

随着社会发展水平和人们日常生活活动多样化的不断提高,对经历骨科手术且术后造成功能障碍的患者来说,恢复其功能活动水平,使其能参与到丰富多彩的日常生活中和提供个性化的精准医疗服务这些需求日益增加。传统矫形器和假肢等适配度低、穿戴不适、外形不美观等问题造成产品弃用率高,无法达到预期的康复效果,3D打印技术的不断发展和研究应用为解决这个问题提供可行方案。相较于传统康复器具,3D打印技术可以个性化地为不同患者设计符合其身体解剖结构的产品,提高舒适性;可以个性化地为患者设计符合其外观需求的产品,提高使用率。3D打印技术在面向骨科康复矫形器、假肢和辅助器具的应用范围是广阔的,包括人体四肢、躯干和头部的矫形辅助都可以进行研究。3D打印技术在康复领域的研究进程方面,需要对CAD/CAM程序的可用性、材料可变性/可用性以及3D打印技术用于康复相关工作的成本进行更多研究。将来还可以将智能可穿戴传感器设备、工业互联网等应用于3D打印,提高产品质量,适应社会发展需要,不断促进和推动3D打印技术在骨科康复领域的应用和发展。

### 【参考文献】

- [1] VENTOLA C L. Medical applications for 3D printing: current and projected uses[J]. P & T, 2014, 39(10): 704-711.
- [2] SCHWEIGER J, BEUER F, STIMMELMAYR M, et al. Histomorphologic 3D printing of dental structures[J]. Br Dent J, 2016, 221(9): 555-560.
- [3] TRENFIELD S J, AWAD A, GOYANES A, et al. 3D printing pharmaceuticals: drug development to frontline care[J]. Trends Pharmacol Sci, 2018, 39(5): 440-451.
- [4] ABREU DE SOUZA M, SCHMITZ C, MAREGA PINHEL M, et al. Proposal of custom made wrist orthoses based on 3D modelling and 3D printing[C]. Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, 2017. DOI:10.1109/EMBC.2017.8037682.
- [5] YOO H J, LEE S, KIM J, et al. Development of 3D-printed myoelectric hand orthosis for patients with spinal cord injury[J]. J Neuroeng Rehabil, 2019, 16(1): 162.
- [6] MOHAMMADI A, LAVRANOS J, CHOONG P, et al. Flexo-glove: a 3D printed soft exoskeleton robotic glove for impaired hand rehabilitation and assistance[C]. Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, 2018. DOI: 10.1109/EMBC.2018.8512617.
- [7] JACOBS B C, LEE J A. Durable medical equipment: types and indications[J]. Med Clin North Am, 2014, 98(4): 881-893.
- [8] CHOI H, SEO A, LEE J. Mallet finger lattice casts using 3D printing[J]. J Healthc Eng, 2019, 2019: 4765043.
- [9] CHAE D S, KIM D H, KANG K Y, et al. The functional effect of 3D-printing individualized orthosis for patients with peripheral nerve injuries: three case reports[J]. Medicine (Baltimore), 2020, 99(16): e19791.
- [10] XU R, WANG Z, MA T, et al. Effect of 3D printing individualized ankle-foot orthosis on plantar biomechanics and pain in patients with plantar fasciitis: a randomized controlled trial[J]. Med Sci Monit, 2019, 25: 1392-1400.
- [11] 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: 3510-3519.
- [12] BOLUS N B, GANTI V G, INAN O T. A 3D-printed, adjustable-stiffness knee brace with embedded magnetic angle sensor[C]. Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, 2018. DOI:10.1109/EMBC.2018.8512600.
- [13] 张玉芳, 关天民, 郭侨阁, 等. 基于3D打印技术的个性化脊柱侧弯矫形支具数字化设计[J]. 中国组织工程研究, 2019, 23(36): 5824-5829.
- [14] ZHANG Y F, GUAN T M, GUO Q G, et al. Digital design of personalized scoliosis braces based on 3D printing technology[J]. Journal of Clinical Rehabilitative Tissue Engineering Research, 2019, 23(36): 5824-5829.
- [15] 蔡婧璇, 古凯, 陈宇, 等. 基于3D打印技术的定制脊柱侧弯矫形器数字模块化设计研究[J]. 生物医学工程研究, 2020, 39(2): 203-207.
- [16] CAI J X, GU K, CHEN Y, et al. Research on digital modularization design of customized scoliosis orthosis based on 3D printing technology[J]. Journal of Biomedical Engineering Research, 2020, 39(2): 203-207.
- [17] LAL H, PATRALEKH M K. 3D printing and its applications in orthopaedic trauma: A technological marvel[J]. J Clin Orthop Trauma, 2018, 9(3): 260-268.
- [18] TEN KATE J, SMIT G, BREEDVELD P. 3D-printed upper limb prostheses: a review[J]. Disabil Rehabil Assist Technol, 2017, 12(3): 300-314.
- [19] ZUNIGA J, KATSAVELIS D, PECK J, et al. Cyborg beast: a low-cost 3D-printed prosthetic hand for children with upper-limb differences[J]. BMC Res Notes, 2015, 8(1): 10.
- [20] XU G, GAO L, TAO K, et al. Three-dimensional printed upper limb prosthesis for a child with traumatic amputation of right wrist: a case report[J]. Medicine, 2017, 96(52): e9426.
- [21] THORSEN R, BORTOT F, CARACCILO A. From patient to maker: a case study of co-designing an assistive device using 3D printing[J]. Assist Technol, 2019: 1-7. doi: 10.1080/10400435.2019.1634660.
- [22] DAY S J, RILEY S P. Utilising three-dimensional printing techniques when providing unique assistive devices: a case report[J]. Prosthet Orthot Int, 2018, 42(1): 45-49.
- [23] DEGERLI Y I, DOGU F, OKSUZ C. Manufacturing an assistive device with 3D printing technology: a case report[J]. Assist Technol, 2020: 1-5.
- [24] GREENSTEIN A S, GORCZYCA J T. Orthopedic surgery and the geriatric patient[J]. Clin Geriatr Med, 2019, 35(1): 65-92.
- [25] ZAMBORSKY R, KILIAN M, JACKO P, et al. Perspectives of 3D printing technology in orthopaedic surgery[J]. Bratisl Lek Listy, 2019, 120(7): 498-504.
- [26] 贾凤荣, 周谋望. 肘关节骨折术后康复的研究[J]. 中国康复医学杂志, 2005, 20(10): 744-746.
- [27] JIA F R, ZHOU M W. Study on postoperative rehabilitation of elbow fracture[J]. Chinese Journal of Rehabilitation Medicine, 2005, 20(10): 744-746.
- [28] 苏炜炜, 谢普生, 谭晋川, 等. 3D打印技术在骨科的应用研究[J]. 中国医学物理学杂志, 2019, 36(2): 245-248.
- [29] SU W W, XIE P S, TAN J C, et al. Application of 3D printing technology in orthopedics[J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2019, 36(2): 245-248.
- [30] 廖政文, 莫治向, 张国栋, 等. 3D打印个性化康复矫形器的设计制作[J]. 中国医学物理学杂志, 2018, 35(4): 470-477.
- [31] LIAO Z W, MO Y X, ZHANG G D, et al. Design and production of 3D Printed personalized rehabilitation orthotics[J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2008, 35(4): 470-477.
- [32] 黄楚红, 黄文华, 黄国志. 3D打印技术在康复医学中的应用与研究进展[J]. 中国康复医学杂志, 2020, 35(1): 95-99.
- [33] HUANG C H, HUANG W H, HUANG G Z. Application and research progress of 3D printing technology in rehabilitation medicine[J]. Chinese Journal of Rehabilitation Medicine, 2020, 35(1): 95-99.
- [34] LIN H, SHI L, WANG D. A rapid and intelligent designing technique for patient-specific and 3D-printed orthopedic cast[J]. 3D Print Med, 2015, 2(1): 4.
- [35] CHEN Y J, LIN H, ZHANG X, et al. Application of 3D-printed and patient-specific cast for the treatment of distal radius fractures: initial experience[J]. 3D Print Med, 2017, 3(1): 11.
- [36] 廖政文. 基于解剖形态学的3D打印四肢康复矫形器的数字化设计制作[D]. 南宁: 广西医科大学, 2018.
- [37] LIAO Z W. Digital design and production of 3D printed limb rehabilitation orthotics based on anatomical morphology[D]. Nanning: Guangxi Medical University, 2018.
- [38] GOLDEN N H, ABRAMS S A. Optimizing bone health in children and adolescents[J]. Pediatrics, 2014, 134(4): 1229-1243.
- [39] TACK P, VICTOR J, GEMMEL P, et al. 3D-printing techniques in a medical setting: a systematic literature review[J]. Biomed Eng Online, 2016, 15(1): 115.
- [40] WOJCIECHOWSKI E, CHANG A Y, BALASSONE D, et al. Feasibility of designing, manufacturing and delivering 3D printed ankle-foot orthoses: a systematic review[J]. J Foot Ankle Res, 2019, 12(1): 11.

(编辑:黄开颜)