

计算机辅助术前矫正模型设计结合3D打印技术在脊柱畸形治疗中的应用

周驰雨, 张莹, 初同伟

陆军军医大学第二附属医院(新桥医院)骨科, 重庆 400037

【摘要】目的:研究3D打印技术联合计算机辅助设计(CAD)在脊柱畸形疾病治疗中的应用方法和价值。**方法:**采用回顾性研究方法分析2016年1月~2018年3月在陆军军医大学第二附属医院(新桥医院)骨科治疗的脊柱畸形患者26例,依据影像学数据在计算机上使用Mimics软件制作矫正模型,并采取3D打印方式制作出实体模型用于术中指导手术。分析患者术前形态、术后即刻的矫正效果,以及末次随访结果与矫正设计模型之间的差异情况。**结果:**26例患者手术均获成功,术前设计模型的冠状位、矢状位Cobb角度、冠状位平衡、顶椎偏距以及脊柱矢状位轴数据与患者术后各个阶段实际测量值的差异无统计学意义($P>0.05$)。**结论:**合理的术前设计结合高精度3D打印技术制作的模型能很好的为脊柱外科医生提供术中指导,患者术后各次测量数据与术前设计模型一致性较好,可靠地反映了该技术的有效性,值得进一步深入研究。

【关键词】3D打印;计算机辅助设计;模型制作;脊柱畸形;矫正外科

【中图分类号】R318;R687

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2019)02-0185-05

Application of computer-assisted preoperative correction model design combined with 3D printing technology in the treatment of spinal deformities

ZHOU Chiyu, ZHANG Ying, CHU Tongwei

Department of Orthopedics, Xinqiao Hospital, the Army Medical University, Chongqing 400037, China

Abstract: Objective To investigate the application and value of three-dimensional (3D) printing technology combined with computer-assisted design in the treatment of spinal deformities. **Methods** A retrospective study was conducted to analyze the clinical data of 26 patients with spinal deformities who were treated in Xinqiao Hospital, the Army Medical University from January 2016 to March 2018. Based on the imaging data, Mimics software was used to establish a correction model on the computer, and then 3D printing technology was adopted to create a solid model for intraoperative guidance. The immediate result of surgical correction was compared with preoperative morphology, and the differences between follow-up results and the designed correction model were compared. **Results** The surgery was successful in all 26 patients. No significant differences were found in the coronal view, sagittal Cobb angle, C7 plumb line-center sacral vertical line, apical vertebra translation and sagittal vertebral axis between the preoperative design model and the actual measured values at various stages after surgery ($P>0.05$). **Conclusion** A reasonable preoperative design combined with model printed by high-precision 3D printing technology provides an excellent guidance for spine surgeons. The postoperative data of the patients included in the study were consistent with the preoperative design model, which reliably reflected the effectiveness of the technique which is worthy of further research.

Keywords: three-dimensional printing; computer-assisted design; model design; spinal deformity; orthopedics

前言

【收稿日期】2018-09-30

【基金项目】国家自然科学基金青年科学基金(81501853);陆军军医大学第二附属医院临床科研项目(2015YLC03)

【作者简介】周驰雨,硕士研究生在读,研究方向:数字医学与脊柱外科, E-mail: zhou2008@tmmu.edu.cn

【通信作者】初同伟,主任医师,博士生导师,研究方向:脊柱畸形与脊柱肿瘤的临床与基础, E-mail: chtw@sina.com

在复杂脊柱畸形的外科治疗中,由于畸形情况和手术方式的复杂与多变性,外科医生需要针对病变进行精确测定,因此术前制定针对不同脊柱畸形患者的精确化手术方案非常必要。脊柱严重侧凸、后凸可引起脊椎前后柱结构广泛僵硬,发生脊柱三维畸形,导致脊柱稳定性严重失衡,同时患者出现心肺发育异常,呼吸循环障碍,自卑心理等严重并发症,甚至出现迟发型瘫痪,严重影响生存、生活质

量^[1]。外科干预是治疗重度脊柱畸形的有效手段^[2],而由于脊柱畸形严重,解剖学结构复杂,因此,术前针对不同的畸形类别及程度制定精确化的手术方案显得尤为重要^[3]。以往脊柱外科手术只能采用二维图像资料如X线片、CT、MRI等进行手术设计,这些二维资料在反映脊柱病变严重程度、病变位置和畸形情况等信息不全面而且缺少直观性,往往需要临床医生术中探查、通过触摸感觉病变情况,凭借丰富的临床经验和手术技巧来完成手术,术中有可能对病变部位、病变情况等判断不准确甚至出现错误,影响手术的安全性和精确性^[4]。

随着影像技术的发展及快速成型技术(Rapid Prototyping, RP)的成熟,个体化设计及制造的生产效率有望显著提高,从而弥补传统个体化治疗效率上的不足。快速成型技术又叫3D打印技术,它是一种以数字模型文件为基础,运用粉末状金属或塑料等可粘合材料,通过逐层打印的方式来构造物体的技术。由于RP技术可以将计算机辅助设计(Computer Assisted Design, CAD)的模型快速、准确地转化为具有一定功能的实物模型并可对实物模型进行评价、试验,因而得到了迅速的发展和应用^[5-7]。

笔者计划利用3D打印技术对脊柱畸形患者进行三维重建,并根据计算机模型,制定手术计划及模拟术后效果,打印出实体模型用以指导手术。术后行CT三维重建,比较术前矫正模型设计效果与术后实际结果在冠状位、矢状位Cobb角恢复、顶椎偏距(Apical Vertebra Translation, AVT)、脊柱矢状位轴(Sagittal Vertebral Axis, SVA)以及冠状位平衡(C7 Plumb Line-Center Sacral Vertical Line, C7PL-CSVL)有无差异,以期3D打印技术在脊柱畸形的深入应用打下基础。

1 资料与方法

1.1 病例纳入及排除标准

纳入标准:①青少年先天性、特发性脊柱侧弯,经保守治疗无效,一般情况良好,能耐受手术者;②脊柱结核、强直性脊柱炎等后天获得性脊柱畸形(主弯Cobb角 $>50^{\circ}$);③退变性脊柱侧弯(胸椎侧凸角 $>50^{\circ}$ 、腰椎侧凸角 $>40^{\circ}$ 、SVA >4.5 cm)。

排除标准:①各种病因造成的轻度脊柱畸形(主弯Cobb角 $<40^{\circ}$,无结构性双弯、三弯等);②间质病变所致脊柱侧凸,如马方综合征、先天性多关节挛缩症;③由代谢性、营养性等原因造成的脊柱侧突;④有严重基础疾病、不能耐受麻醉及手术者。

1.2 病例资料

选自2016年1月~2018年3月符合上述条件的陆军军医大学第二附属医院(新桥医院)住院治疗患者。共纳入病例26例,男性5例,女性21例;年龄11~65岁,平均26岁;青少年特发性脊柱侧弯12例,退变性侧弯2例,脊柱侧后凸畸形7例,神经纤维瘤病伴脊柱畸形3例,脊柱半椎体2例。采集患者术前脊柱全长正侧位及左、右屈曲位片,以评估脊柱畸形情况、柔韧度以及椎体旋转情况;术后以及随访时行脊柱全长正侧位片以评估脊柱畸形改善情况。手术方式选择经后路脊柱畸形矫正截骨(必要时)融合内固定术,手术均由同一位主任医师主刀,由患者决定使用山东威高公司或者美国强生公司的内固定器械。

1.3 矫正模型制备

所有患者均行脊柱全长CT(美国通用电气公司64排双源CT)扫描,扫描厚度设置为0.64 mm。所得影像数据以DICOM格式导入Mimics19.0软件,重建出脊柱三维模型,由作者及主刀医生共同评估模型,立体观察脊柱畸形情况,并结合平片数据计算出的脊柱柔软度,合理设计术后能矫正到的最佳形态。将矫正后的模型数据保存为STL(Surface Tessellation Language)格式,再导入3D打印机中制造出来,清洁消毒后带入手术室中用以指导手术。

1.4 手术过程

麻醉成功后患者取俯卧位,常规消毒、铺巾,取后正中切口,切开皮肤、皮下及深筋膜层,止血护皮。剥离两侧椎旁肌至显露相应椎体关节突,按术前计划在拟固定椎体双侧逐一放置椎弓根螺钉,去除相应节段椎体后方韧带及棘突,在凸侧区域行截骨(必要时),见脊柱松解良好后比照矫正模型的形态通过连接棒的提拉、加压及去旋转作用矫正脊柱形态。见矫正后脊柱外观形态与模型基本一致后,将术区椎体表面骨质用骨刀剃松,表面放置自体骨加部分异体骨行后路椎板间融合,如合并胸廓畸形则同时行胸廓成型术,切除部分突起的肋骨。常规放置引流管以及逐层关闭伤口。

1.5 观察指标以及治疗效果评价

观察指标:①患者术前、术后即刻、以及随访时的脊柱冠状位、矢状位Cobb角度数、AVT、C7PL-CSVL及SVA具体数值;②矫正设计模型的冠状位、矢状位Cobb角度数、AVT、C7PL-CSVL及SVA具体数值;③搜集患者可能出现的不良事件信息。

治疗效果评价:①计算术后各期指标较术前改善程度;②计算设计模型各指标与术后各期指标一致程度;③统计各种不良事件发生情况。

1.6 统计学方法

采用SPSS 19.0统计软件进行分析。比较术前状态,三维模型设计与术后结果及随访结果的差异性,病例计量资料用均数 \pm 标准差表示,当符合正态分布时采用配对 t 检验,不符合正态分布时采用两相关样本秩和检验。检验水准均为 $\alpha=0.05$ 。

2 结果

2.1 一般情况

所有病例全程随访,随访时间在3~24个月,平均随访9.5个月。26例患者平均手术时间220(135~330) min,平均出血量650(200~1 500) mL,平均术中透视次数3.7(2~6)次,平均住院日12.5(7~21)d。在26例纳入患者中,1例出现术后切口渗液,皮缘红肿情况,考虑皮下感染,予以二期清创后行真空封闭吸引(Vacuum Sealing Drainage, VSD),同时全身应用敏

感抗生素治疗,加强营养支持后切口逐渐好转愈合。1例患者术后第3天出现下肢肌力下降情况,左下肢各肌群平均肌力2级,右下肢各肌群平均肌力3级,行影像学检查未发现椎管内异常情况,考虑迟发型脊髓功能障碍。予以营养神经并行高压氧治疗,术后1月随访时,左下肢肌力恢复至4级,右下肢肌力恢复至5级,术后3月随访时,双下肢肌力已基本恢复正常。其余患者未见任何不良事件发生。

2.2 术前脊柱畸形情况与术后矫正情况

患者术前及术后脊柱冠状位、矢状位Cobb角度数、AVT、C7PL-CSVL及SVA统计结果如表1所示。患者术前脊柱冠状位、矢状位Cobb角度数、AVT及SVA测值与模型设计、术后测值的差异具有统计学意义。患者模型设计、术后及随访测值之间的差异未见统计学意义。

表1 26例患者各时期5项影像学参数比较($\bar{x}\pm s$)

Tab.1 Comparison of 5 radiographic parameters for 26 patients in each time period (Mean \pm SD)

时期	冠状位 Cobb 角/ $^{\circ}$		顶椎偏距/mm		冠状位平衡/mm		矢状位 Cobb 角/ $^{\circ}$		脊柱矢状位轴/mm	
	测量值	统计值	测量值	统计值	测量值	统计值	测量值	统计值	测量值	统计值
术前状态	61.7 \pm 18.1	$z=-4.372^a$ $P=0.000^{\Delta}$	68.5 \pm 22.5	$t=9.764$ $P=0.000^{\Delta}$	8.9 \pm 9.1	$z=-0.926^a$ $P=0.355^{\Delta}$	48.3 \pm 29.3	$t=4.412$ $P=0.000^{\Delta}$	37.7 \pm 25.8	$z=-4.153^a$ $P=0.000^{\Delta}$
模型设计	22.1 \pm 7.7	$z=-1.871^b$ $P=0.061^{\#}$	34.7 \pm 14.5	$z=-1.131^b$ $P=0.258^{\#}$	9.7 \pm 7.0	$z=-1.643^a$ $P=0.100^{\#}$	21.4 \pm 10.8	$t=-1.006$ $P=0.301^{\#}$	17.6 \pm 12.4	$z=-0.737^a$ $P=0.355^{\#}$
术后即刻	23.3 \pm 9.1	$z=-4.373^a$ $P=0.000^*$	36.1 \pm 17.3	$z=-4.373^a$ $P=0.000^*$	11.2 \pm 7.5	$z=-1.329^a$ $P=0.184^*$	22.0 \pm 12.3	$t=4.250$ $P=0.000^*$	17.1 \pm 13.0	$z=-4.051^a$ $P=0.000^*$
末次随访	23.5 \pm 8.8	$z=-1.857^b$ $P=0.063^{\#}$	36.2 \pm 16.8	$z=-1.319^b$ $P=0.187^{\#}$	11.4 \pm 7.3	$z=-1.915^a$ $P=0.055^{\#}$	22.1 \pm 11.9	$t=-1.722$ $P=0.101^{\#}$	17.4 \pm 12.5	$z=-0.025^a$ $P=0.980^{\#}$

$^{\Delta}$ 术前与模型比较; $^{\#}$ 模型与术后即刻比较; * 术后即刻与术前比较; $^{\#}$ 末次随访与模型比较, z 值是秩和检验的结果,其中 a 为正秩, b 为负秩

2.3 典型病例

中年女性患者,45岁,主要临床症状为下腰部区域疼痛(VAS 7分),术前腰椎平片显示胸腰段脊柱侧后凸畸形,选取上端椎为胸12,下端椎为腰4,冠状位Cobb角度为53.4 $^{\circ}$,AVT为66.2 mm,C7PL-CSVL为13.4 mm,矢状位后凸角度(T11-L3)为84.9 $^{\circ}$,SVA为77.2 mm;设计模型拟矫正数据为:冠状位Cobb角度为25 $^{\circ}$,AVT为45 mm,C7PL-CSVL为10 mm,T11-L3为40 $^{\circ}$,SVA为10 mm;术后即刻测量数据为:冠状位Cobb角度为26.1 $^{\circ}$,AVT为48.5 mm,C7PL-CSVL为11.2 mm,T11-L3为38.7 $^{\circ}$,SVA为3.5 mm;术后6月复查数据:冠状位Cobb角度为23.6 $^{\circ}$,AVT为43.3 mm,C7PL-CSVL为14.4 mm,T11-L3为34.9 $^{\circ}$,SVA为7.4 mm。见图1。

3 讨论

脊柱畸形疾病主要分为先天性脊柱发育畸形、特发性脊柱侧弯、综合征性脊柱侧弯等。先天性脊柱侧凸是指由脊柱发育异常形成引起的脊柱畸形,综合征性脊柱侧弯与神经肌肉、骨骼或者结缔组织的功能紊乱有关,而特发性侧弯则认为是有遗传易感性的多因素疾病^[8]。目前有观点^[9-10]认为脊柱侧弯Cobb角小于50 $^{\circ}$ 时可采用形体功能锻炼,佩戴矫形支具,定期物理牵引等方式予以保守治疗^[11]。当侧弯Cobb角大于50 $^{\circ}$ 时常考虑行脊柱内固定术矫正畸形,恢复脊柱正常曲度^[12-13]。当畸形角度超过90 $^{\circ}$ 时认为是重度脊柱畸形,这类脊柱疾病常常由于畸形严重,脊柱侧凸的同时伴有后凸和椎体的旋转,导致脊柱

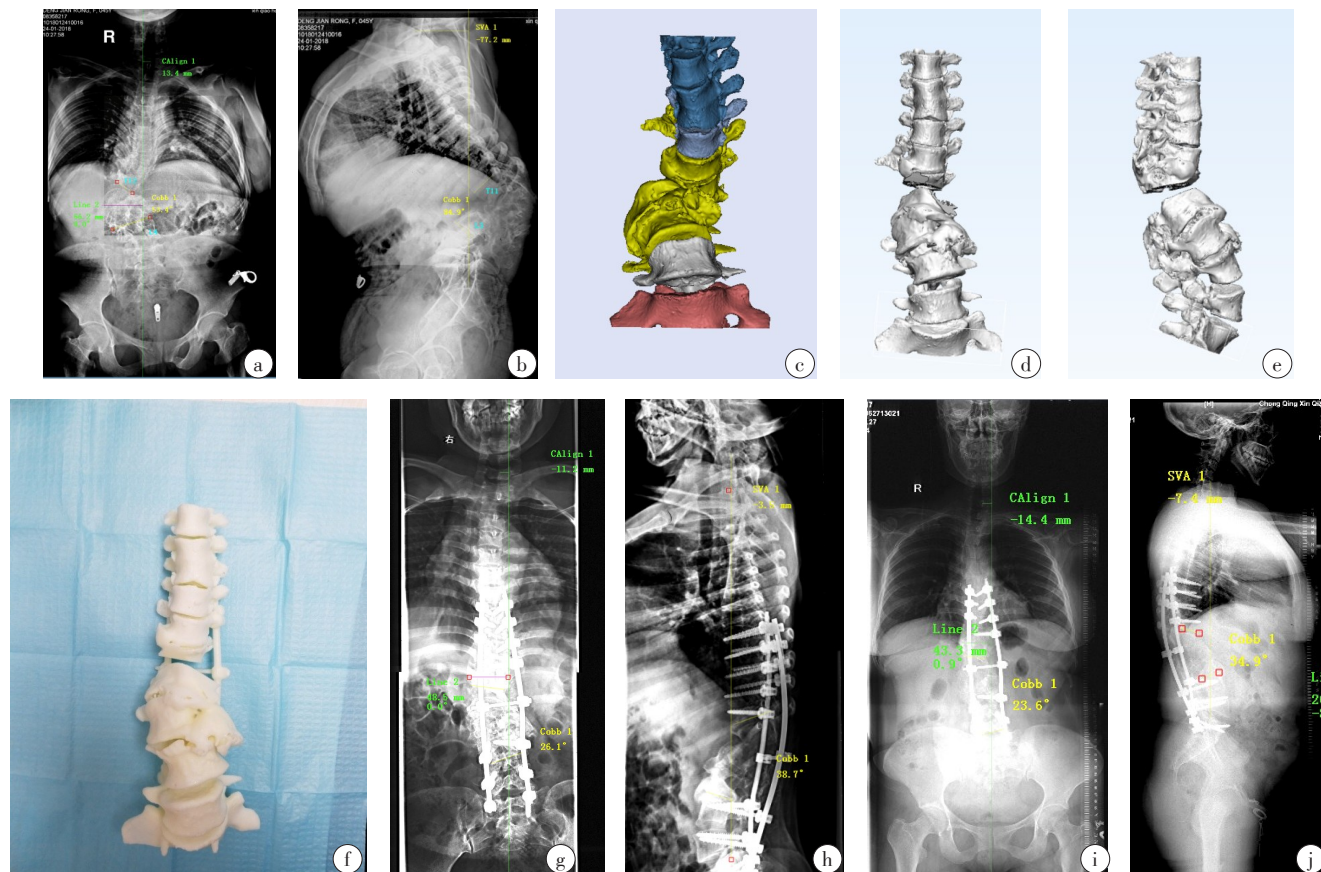


图1 脊柱畸形患者接受设计矫正模型辅助手术过程

Fig.1 The process of surgery assisted by designed correction model for patients with spinal deformities.

a: Preoperative anteroposterior radiograph; b: Preoperative lateral radiograph; c: Preoperative spinal deformity; d: Designed correction model (coronal view); e: Designed correction model (sagittal view); f: 3D printed model; g: Immediate result of surgical correction (anteroposterior radiograph); h: Immediate result of surgical correction (lateral radiograph); i: Anteroposterior radiograph at 6 months after surgery; j: Lateral radiograph at 6 months after surgery

在三维结构上皆有异常的曲率,而且脊柱僵硬严重,Bending 像柔韧度较低。而往往由于严重的脊柱畸形导致患者脊髓不同程度地受压,所以重度以上的脊柱畸形患者常常伴有脊髓神经功能的障碍,例如肌力下降,皮肤感觉异常以及大小便功能丧失等,同时也可能引起胸廓的发育不良,进而影响呼吸和肺功能^[14]。手术干预是治疗此类疾病的唯一选择。

医师在术前通过阅片来了解患者脊柱畸形情况,难以获得立体的观感和实际触摸感。此外,严重畸形的脊椎不仅表面骨性结构标志不清,还有异常增生的骨质,同时椎弓根也可能存在着变异。这些因素叠加在一起,使得脊柱畸形矫正术是脊柱外科中风险程度最高的术式之一,且手术不良事件的发生率随着脊柱畸形程度的加深而加大。Berry 等^[15]报道慢性呼吸衰竭,膀胱功能障碍以及癫痫是重度青少年脊柱侧弯患者行脊柱固定术后最严重的并发症。所以医师在术前对脊柱畸形情况的掌握程度决定了手术的成功率,而传统影像技术平面图像的局

限使得医师,尤其是青年医师很难全面掌握畸形脊柱的三维立体结构;对于高年资医师而言,重度脊柱畸形的截骨区域设计,椎弓根钉道的确定,椎管的结构等信息也是极为重要的^[16]。

得益于3D打印技术的进步,使得快速精确地制作个体化物体成为可能。依据患者自身的高分辨率影像数据,可以在计算机上还原成三维结构,全方位观察脊柱形态,尤其椎管和椎弓根畸形情况,并对结构进行有目的的设计,确定钉道方位,设计截骨区域,模拟术后矫正效果等,再将最终数据导入3D打印机中制作出实体模型,带入手术室用于术中参照,实现精准手术^[17]。有研究认为该技术的应用可以减少手术时间、术中透视次数以及出血量,同时有利于增加患者对疾病的了解,以达到更好的医患沟通效果^[18-19]。Karlin 等^[20]采用回顾性分析研究17例儿童脊柱畸形的治疗,其中7例使用3D打印制作模型,10例使用传统二维影像学资料,研究结果显示打印组在术中透视次数、出血量以及畸形矫正率等方面均优于对照组。

根据笔者的结果:主弯 Cobb 角、AVT 和 SVA 这 3 项指标在术前和术后具有统计学差异,术前和模型具有统计学差异,而模型和术后差异无统计学意义,表明术前模型设计和术后结果之间的取得了较好的一致性,而反应构成冠状位平衡的 C7PL-CSVL 术前、术后以及模型均无统计学差异,考虑多数患者脊柱畸形后自发代偿构成了平衡,而术后依然追求的是平衡效果,故而差异不大。总而言之,笔者 3D 打印技术在脊柱畸形的外科治疗应用中有如下意义:(1)在效率上满足个体化设计、制造的要求。3D 打印技术能使计算机屏幕上的数字化模型在数小时内成为医生可以拿在手上作任意角度观察的实体模型,这有助于临床医师对复杂的三维解剖结构做出最真实、准确的评估;(2)便于手术团队之间的交流沟通,最大限度地减少分歧和失误,制定出个性化手术方案;(3)在计算机建模上进行模拟手术,能够发现手术设计不完善之处以及了解术中可能会碰到的一些困难,并及时对手术方案进行调整,能大大提高手术的准确性及安全性;(4)外科医生可以通过精确测量,选择手术中进钉点、螺钉直径和长度,从而减少组织的过度分离、降低术中出血量、节省手术时间;(5)通过应用脊柱实物模型有利于向患者解释、交流病情和治疗方案;(6)通过模型可以更好地评估外科手术预后;(7)模型上模拟手术可以为缺少经验的外科医师提供操作经验。

本研究的不足首先在于实验设计为患者自身前后对照试验,缺乏随机性和盲法,所以在询证医学证据水平分级里较低。其次,受制于打印机精度和患者客观条件,模拟效果和术后实际效果间仍有小幅差异;另外,打印模型也仅为术中参考,而主刀医生从中能获益多少,患者能获益多少等还缺乏具体评价指标;最后是 3D 打印所需费用平均每个模型在 1 000 元左右,对患者而言也是一笔额外支出。

4 结 论

通过合理的术前设计结合高精度 3D 打印技术制作的模型能很好的为脊柱外科医生提供术中指导,研究纳入的 26 例患者,术后的各期测量数据与术前设计模型一致性较好,可靠地反映了该技术的有效性,3D 打印技术在骨科中的应用值得进一步深入研究和应用推广。

【参考文献】

[1] BERRY J G, GLOTZBECKER M, RODEAN J, et al. Perioperative spending on spinal fusion for scoliosis for children with medical complexity[J]. *Pediatrics*, 2017, 140(4): e20171233.

[2] SPENCER H T, GOLD M E, KARLIN L I, et al. Gain in spinal height from surgical correction of idiopathic scoliosis[J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2014, 96(1): 59-65.

[3] MAO K, WANG Y, XIAO S, et al. Clinical application of computer-designed polystyrene models in complex severe spinal deformities: a pilot study[J]. *Eur Spine J*, 2010, 19(5): 797-802.

[4] WANG Y T, YANG X J, YAN B, et al. Clinical application of three-dimensional printing in the personalized treatment of complex spinal disorders[J]. *Chin J Traumatol*, 2016, 19(1): 31-34.

[5] PROVAGGI E, LEONG J J, KALASKAR D M. Applications of 3D printing in the management of severe spinal conditions[J]. *Proc Inst Mech Eng H*, 2017, 231(6): 471-486.

[6] RAUX S, KOHLER R, GARIN C, et al. Tridimensional trunk surface acquisition for brace manufacturing in idiopathic scoliosis[J]. *Eur Spine J*, 2014, 23(Suppl 4): 419-423.

[7] BAGARIA V, DESHPANDE S, RASALKAR D D, et al. Use of rapid prototyping and three-dimensional reconstruction modeling in the management of complex fractures[J]. *Eur J Radiol*, 2011, 80(3): 814-820.

[8] ALTAF F, GIBSON A, DANNAWI Z, et al. Adolescent idiopathic scoliosis[J]. *BMJ*, 2013, 346: 2508.

[9] BETTANY-SALTIKOV J, WEISS H R, CHOCKALINGAM N, et al. Surgical versus non-surgical interventions in people with adolescent idiopathic scoliosis [J]. *Cochrane Database Syst Rev*, 2015(4): CD10663.

[10] NEGRINI S, MINOZZI S, BETTANY-SALTIKOV J, et al. Braces for idiopathic scoliosis in adolescents[J]. *Spine*, 2016, 41(23): 1813-1825.

[11] WEINSTEIN S L, DOLAN L A, WRIGHT J G, et al. Effects of bracing in adolescents with idiopathic scoliosis[J]. *N Engl J Med*, 2013, 369(16): 1512-1521.

[12] CARRAGEE E J, LEHMAN R J. Spinal bracing in adolescent idiopathic scoliosis[J]. *N Engl J Med*, 2013, 369(16): 1558-1560.

[13] HRESKO M T. Clinical practice. Idiopathic scoliosis in adolescents[J]. *N Engl J Med*, 2013, 368(9): 834-841.

[14] YANG S, ANDRAS L M, REDDING G J, et al. Early-onset scoliosis: a review of history, current treatment, and future directions [J]. *Pediatrics*, 2016, 137(1): Epub 2015 Dec 7.

[15] BERRY J G, GLOTZBECKER M, RODEAN J, et al. Comorbidities and complications of spinal fusion for scoliosis[J]. *Pediatrics*, 2017, 139(3): e20162574.

[16] 李彦明, 李明, 张国友, 等. 3D 打印在脊柱侧凸矫形中的应用初探[J]. *第二军医大学学报*, 2016, 37(2): 231-235.

LI Y M, LI M, ZHANG G Y, et al. Application of 3D printing in orthopedics of scoliosis[J]. *Academic Journal of Second Military Medical University*, 2016, 37(2): 231-235.

[17] LU S, ZHANG Y Z, WANG Z, et al. Accuracy and efficacy of thoracic pedicle screws in scoliosis with patient-specific drill template[J]. *Med Biol Eng Comput*, 2012, 50(7): 751-758.

[18] LIU K, ZHANG Q, LI X, et al. Preliminary application of a multi-level 3D printing drill guide template for pedicle screw placement in severe and rigid scoliosis[J]. *Eur Spine J*, 2017, 26(6): 1684-1689.

[19] WU Z X, HUANG L Y, SANG H X, et al. Accuracy and safety assessment of pedicle screw placement using the rapid prototyping technique in severe congenital scoliosis[J]. *J Spinal Disord Tech*, 2011, 24(7): 444-450.

[20] KARLIN L, WEINSTOCK P, HEDEQUIST D, et al. The surgical treatment of spinal deformity in children with myelomeningocele[J]. *J Pediatr Orthop B*, 2017, 26(4): 375-382.

(编辑:薛泽玲)