

·专题·儿童脊柱外科·

3D 打印技术辅助手术治疗儿童重度脊柱侧凸的应用研究

李 浩 张学军 祁新禹 范竞一 高荣轩 姚子明 陈亚军

【摘要】 目的 探讨 3D 打印技术辅助手术治疗儿童重度脊柱侧凸的疗效。**方法** 以 2013 年 9 月至 2017 年 9 月于本院接受手术治疗的重度脊柱侧凸患儿为研究对象,符合入选标准的病例根据术前是否定制 3D 打印模型,分为 3D 打印组和非 3D 打印组。记录患儿年龄、手术时间、术中透视次数、手术前后侧凸 Cobb 角、脊柱侧凸矫正率、脊髓损伤情况等资料,并进行统计分析。**结果** 3D 打印组共 19 例,男 8 例,女 11 例,平均年龄 146.7 个月;非 3D 打印组共 24 例,男 13 例,女 11 例,平均年龄 148.5 个月。3D 打印组手术用时显著少于非 3D 打印组($t=2.326, P<0.05$),3D 打印组术中透视次数显著少于非 3D 打印组($t=6.663, P<0.05$),两组患儿胸膜损伤、硬膜损伤、神经根、脊髓损伤的发生率及脊柱侧凸矫正率比较均无统计学意义($P>0.05$)。**结论** 应用 3D 打印技术辅助手术治疗儿童重度脊柱侧凸的优势在于术中透视次数更少、手术时间缩短;但在矫正效果和并发症控制方面则无明显优势。

【关键词】 3D 打印; 重度脊柱侧凸; 儿童

Application of 3D printing technology in surgical treatment of severe scoliosis in children. Li Hao, Zhang Xuejun, Qi Xinyu, Fan Jingyi, Gao Rongxuan, Yao Ziming, Chen Yajun. Affiliated Beijing Children's Hospital, Capital Medical University, Beijing 100045, China. Corresponding author: Qi Xinyu, Email: qixinyu99@126.com

【Abstract】 Objective To evaluate the efficacy of 3D printing technique for severe scoliosis in children. **Methods** The clinical and imaging data were retrospectively analyzed for hospitalized children with severe scoliosis treated from September 2013 to September 2017. Operations were performed by the same surgeon. And patient age (month), operative duration (min), frequency of intraoperative fluoroscopy, Cobb's angle (degree) before and after operation, correction rate of scoliosis and intraoperative injuries of pleural, dura, nerve root and spinal cord were recorded. They were divided into 3D printing ($n=19$) and non-3D printing ($n=24$) groups according to the preoperative 3D printing model. The 3D printing group had 8 boys and 11 girls with an average age of 146.7 (83–200) months while the non-3D printing group had 13 boys and 11 girls with an average age of 148.5 (94–187) months. **Results** The operative duration of 3D printing group was shorter than that of non-3D printing group ($P<0.05$). The number of intraoperative fluoroscopy was significantly lower in 3D printing group than that in non-3D printing group ($P<0.05$). No significant inter-group difference existed in correction rate of scoliosis ($P>0.05$) and pleural/dura injury ($P>0.05$). And there was no injury of nerve root or spinal cord. **Conclusion** No significant inter-group difference exists in correction effect or complications in children with severe scoliosis. However, intraoperative fluoroscopy is less frequent and operative duration shorter.

【Key words】 3D Printing; Severe Scoliosis; Child

随着 3D 矫形器械逐步应用于临床,小儿脊柱侧凸的矫形效果有了明显提高^[1]。但对于侧凸角

度大于 80°的重度脊柱侧凸而言,其手术难度、矫形失败及并发症出现的概率仍然较大^[2-3]。本院矫形骨科自 2015 年 5 月开始通过三维 CT 采集到的数据制备重度脊柱侧凸患儿个体化 3D 打印模型,并在此基础上完成手术,整体效果良好,现报道如下。

DOI:10.3969/j.issn.1671-6353.2018.09.004

基金项目:国家重点研发计划(编号:2016YFC1000806)

作者单位:首都医科大学附属北京儿童医院(北京市,100045)

通讯作者:祁新禹, qixinyu99@126.com;陈亚军, chenyajunmd@yahoo.com.cn

材料与方法

一、临床资料

以 2013 年 9 月至 2017 年 9 月于本院接受手术治疗的重度脊柱侧凸患儿为研究对象。纳入标准:①Cobb 角大于 80° ; ②由同一术者完成手术。排除标准:随访时间 <5 个月。患儿术前行站立位全脊柱正侧位 X 线片、MRI 平扫、CT 三维重建等检查,以明确脊柱畸形情况,并完善术前化验检查。为控制信息偏倚,选择由同一术者完成的手术病例,查询病历并记录患儿年龄、手术时间、术中透视次数、手术前后侧凸 Cobb 角、脊柱侧凸矫正率,同时记录术中胸膜、硬膜、神经根、脊髓损伤情况。

本研究共纳入符合标准的患儿 43 例,其中男 21 例,女 22 例;平均年龄 147.7 个月,术后平均随访时间 23.5 个月。根据术前是否制备个体化 3D 打印模型将所有患儿分为 3D 打印组和非 3D 打印组,其中 3D 打印组 19 例,男 8 例,女 11 例,平均年龄 146.7 个月;非 3D 打印组 24 例,男 13 例,女 11 例,平均年龄 148.5 个月。按病因分类,包括先天性脊柱侧凸 25 例,神经纤维瘤病性脊柱侧凸 8 例,特发性脊柱侧凸 6 例,麻痹性脊柱侧凸 1 例,马凡综合征伴脊柱侧凸 3 例(表 1)。神经纤维瘤病性脊柱侧凸中,2 例由于内固定断裂或畸形加重进行了生长棒固定术后翻修。所有患儿均存在不同程度的限制性呼吸功能受损,最大肺活量(VC)为正常值的 25%~75%。术前有 18 例进行了 2~8 周 Halo 头环重力牵引,以获得一定的软组织松解,并进行 1~2 周呼吸功能锻炼(吹气球、爬楼梯等)。

表 1 非 3D 打印组与 3D 打印组病例资料

Table 1 Comparison of patient profiles between non-3D printing and 3D printing groups

组别	非 3D 打印组 (n=24)	3D 打印组 (n=19)	总人数	构成比 (%)
先天性脊柱侧凸	13	12	25	58.14
神经纤维瘤病性脊柱侧凸	5	3	8	18.60
特发性脊柱侧凸	4	2	6	13.95
麻痹性脊柱侧凸	0	1	1	2.33
马凡综合征伴脊柱侧凸	2	1	3	6.98

二、个体化 3D 打印模型制作及模拟置钉

通过 CT 扫描(lightspeed VCT64, GE 公司)评估患儿脊柱畸形情况。仪器相关参数:120 KV、螺距

1.375:1, 转速 0.8 s, 自动管电流调节技术(automatic tube current modulation, ATCM)设置管电流,范围 10~350 mA。扫描过程中不控制呼吸,扫描范围由枕骨至骨盆。得到的图像信息传送至 GE 公司的 AW4.2 工作站进行观察,观察者可自行调整窗宽窗位至合适位置,同时进行三维重建及相关数据的采集。所得三维 CT 数据录入 Mimics 软件进行处理。

采用三维打印成型技术(3DP™)进行三维模型制作,3DP™技术使用液态连结体将铺有粉末的各层固化,以创建三维实体原型。从定义上讲,3DP™是一种应用范围广且处理速度快的过程,它适用于不同应用领域中各种复杂的几何学结构,并支持多种材料类型。将 Mimics 软件处理的数据输入三维打印机 ZPrint™软件后即可打印脊柱畸形个体化 1:1 的 3D 打印模型,模型上可进行模拟置钉操作,便于术者选择最佳螺钉直径、长度、进钉点及角度(图 1)。模型包装后采用环氧乙烷消毒,带入手术室,以便术中实时比对观察病变区域,作为术中操作的参考(图 2)。

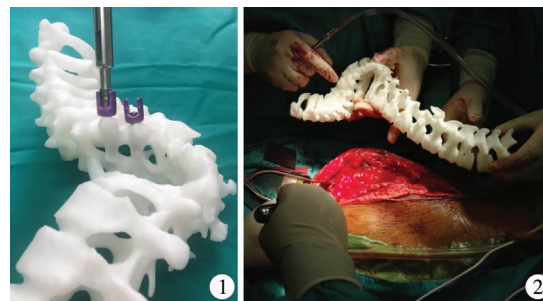


图 1 术前模拟置钉 图 2 术中实时比对观察

Fig.1 Preoperative simulated nailing Fig.2 Real-time intraoperative contrast observation

三、手术方法

根据患儿侧凸凸侧侧屈位片矫正率、椎体旋转程度、侧凸部位、肺功能情况以及是否合并脊髓畸形确定手术入路和方法。本组 43 例患儿中,37 例行后路矫形融合固定术(其中一期后路松解+矫形 30 例、前路松解+二期后路矫形 5 例、原生长棒断裂、畸形加重翻修 2 例),6 例行生长棒固定术;16 例行 VCR 脊柱截骨手术,其中 3D 打印组 7 例,非 3D 打印组 9 例。典型病例照片见图 3。

四、统计学处理

1. 统计指标:患儿年龄,手术时间,手术前后侧凸 Cobb 角,术中透视次数,脊柱侧凸矫正率,胸膜、硬膜、神经根、脊髓损伤情况。通过术中透视次数评价术中 X 射线暴露时间,通过脊柱侧凸矫正率评价矫形效果,通过胸膜、硬膜、神经根、脊髓损伤情

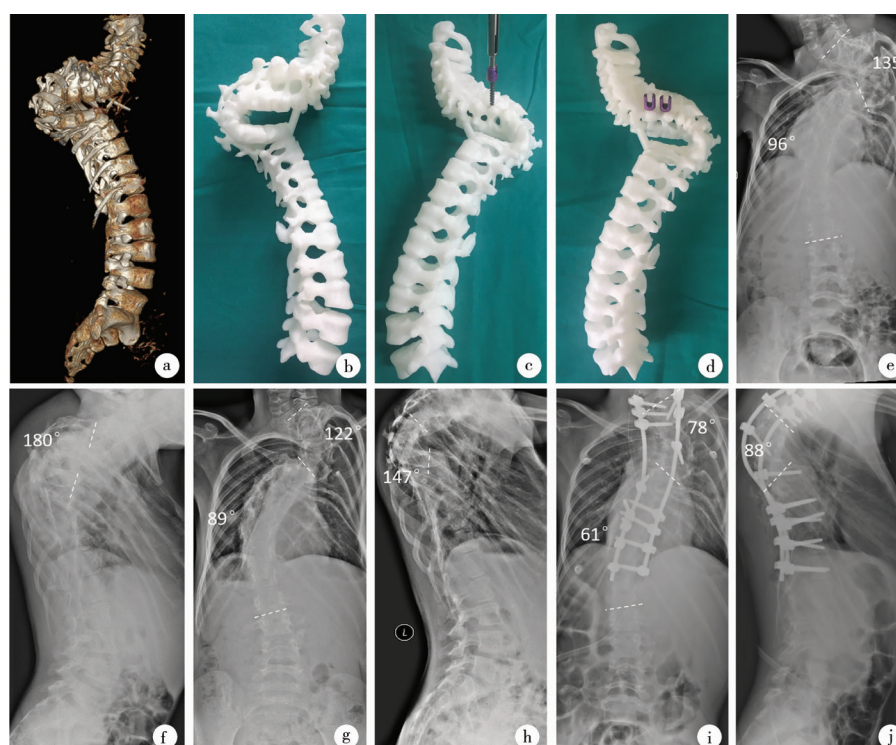


图3 神经纤维瘤病性脊柱侧凸:拆除原内固定、后路矫形融合术 注 a. 术前三维 CT 重建; b. 根据三维 CT 数据打印的 1:1 比例 3D 模型; c、d. 术前模拟置钉, 选择合适长度及直径的椎弓根螺钉备用; e. 拆除原内固定, 牵引前正位 X 线片, 上胸弯 Cobb 角 135°、下胸弯 Cobb 角 96°; f. 拆除原内固定, 牵引前侧位 X 线片, 后凸 Cobb 角 180°; g. Halo 头环重力牵引后 30 d 正位 X 线片, 上胸弯 Cobb 角 122°、下胸弯 Cobb 角 89°; h. Halo 头环重力牵引后 30 d 侧位 X 线片, 后凸 Cobb 角 147°; i. 后路矫形内固定后正位 X 线片, 上胸弯 Cobb 角 78°, 矫正率 42.22%, 下胸弯 Cobb 角 61°, 矫正率 36.46%; j. 后路矫形内固定后侧位 X 线片, 后凸 Cobb 角 88°, 矫正率 51.11%

Fig. 3 Neurofibromatosis scoliosis; removal of original internal fixation and posterior orthopedic fusion

况评价术中并发症。

2. 数据处理:应用 SPSS22.0 进行统计分析。

两组间性别比例、胸膜损伤、硬膜损伤发生率的对比采用 χ^2 检验, 两组间年龄、手术时间、术中透视次数、术前及术后 Cobb 角、侧凸矫正率对比采用两独立样本 t 检验, 如无特殊说明, 以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

结果

3D 打印组手术时间显著少于非 3D 打印组 ($t = 2.326, P < 0.05$); 3D 打印组术中透视次数明显少于非 3D 打印组 ($t = 6.663, P < 0.05$); 两组胸膜损伤、硬膜损伤、神经根、脊髓损伤的发生率及脊柱侧凸矫正率差异均无统计学意义 (均有 $P > 0.05$)。详见表 2。

表 2 非 3D 打印组与 3D 打印组治疗相关资料对比

Table 2 Comparison of non-3D printing group and 3D printing group treatment

变量	非 3D 打印组 ($n = 24$)	3D 打印组 ($n = 19$)	χ^2/t 值	P 值
胸膜损伤			0.000	1.000
有	21	17		
无	3	2		
硬膜损伤			0.018	0.893
有	20	17		
无	4	2		
手术时间 (min)	238.96 \pm 30.75	222.00 \pm 16.16	2.326	0.026
术中透视 (次)	6.46 \pm 0.93	4.58 \pm 0.90	6.663	0.000
术前 Cobb 角 (°)	101.79 \pm 13.78	104.74 \pm 15.80	-0.652	0.518
术后 Cobb 角 (°)	32.04 \pm 10.45	30.11 \pm 14.41	0.511	0.612
侧凸矫正率 (%)	68.89 \pm 7.83	72.02 \pm 9.35	-1.192	0.240

讨 论

3D 打印 (three-dimensional printing, 3DP) 技术出现于 20 世纪 80 年代,是指通过 CT、MRI 扫描得到数据后,以物体的三维数字模型为基础,在计算机控制下通过塑料或金属粉末等可黏性材料分层加工、逐层叠加的方式制造物体。由于 3D 打印实物模型具有很好的直观视觉效果,因此已被广泛应用于医学领域^[4-7]。

一、3D 打印模型对儿童重度脊柱侧凸诊治的意义

脊柱解剖结构复杂,并且有神经、脊髓、大血管等重要组织结构毗邻,加之脱位、骨折、畸形、占位等病变因素,因此对手术医生的临床经验和空间想象能力都有较高的要求。临床医生在面对复杂的脊柱疾病(特别是儿童重度脊柱侧凸畸形)时,传统影像学检查难以直观、精确了解其解剖位置关系,这可能导致医者对患儿病情信息掌握不足,增加误诊和漏诊的发生率,从而影响治疗及预后。与 X 线片、CT、MRI 等传统医学影像学资料相比,3D 打印实体模型可以提供更加直观、详细的解剖学信息,帮助临床医生对手术部位毗邻组织和细节进行立体而全面的观察,进而做出更加精确的疾病诊断(如复杂脊柱骨折的分型、脊柱侧弯畸形的分型、脊柱肿瘤的鉴别等),提高疾病的诊疗质量,为后期制定合理的手术方案做准备^[8-11]。本研究 19 例重度脊柱侧弯患儿术前定制的个体化 3D 打印模型均准确展现了局部解剖学状态,为诊断的进一步精确化提供了临床依据。

个体化的 3D 打印实物模型可以重现脊柱外科相关疾病的重要解剖学特点,医生可借助患儿的解剖模型,向患儿及其家属形象地讲解手术过程,并指出关键的手术区域及其解剖特点,交代手术风险及术后可能出现的并发症,有利于患儿家属充分了解患儿的病情、治疗方案和手术过程。在手术难度较大的疾病(如儿童先天性脊柱畸形、侧弯后凸、脊柱不稳、脱位等)中,使用 3D 打印模型有助于复杂病情的判断和分析,提高手术的安全性和治疗效果。Guarino 等^[12]调查 13 家医疗机构的结果表明,3D 打印模型能较好地用于手术方案的规划,缩短手术时间,提高手术安全性。本研究纳入的 3D 打印组病例术前都针对 3D 打印模型及其相关手术问题(包括明确畸形类型、模拟手术进程、预判术中意外

情况等)进行了仔细研究,并利用 3D 打印模型向患儿家长详细讲解脊柱畸形情况、手术方案及可能出现的风险,患儿家长均明确表示理解。3D 打印组与非 3D 打印组相比手术时间明显缩短,可能与术中透视次数减少及椎弓根置钉效率提高有关。

二、3D 打印技术辅助儿童重度脊柱侧凸手术治疗的优势

脊柱 3D 打印模型可以清晰地显示脊柱的畸形情况,术者可以通过三维模型进行术前诊断、选择手术路径、精确手术部位、制订手术计划并评估术中风险,提高手术精准度和安全性。Guarino 等^[12]对 10 例小儿脊柱侧凸 3D 打印模型的辅助治疗效果进行分析,发现该技术可提高椎弓根螺钉置入的准确率,减少手术并发症,并缩短手术时间。本研究 3D 打印组手术时间较非 3D 打印组显著缩短,与上述研究结果一致;3D 打印组术中透视次数显著少于非 3D 打印组,可能与置钉准确率提高有关。

术前科学的手术方案可避免和减少术中透视,从而有效减少术中 X 射线暴露时间^[13]。Yang 等^[14]报道了脊柱实物模型在 Lenke I 型青少年特发性脊柱侧凸手术中的应用效果,结果表明,3D 模型组较传统透视手术组术中出血量及输血量更少,手术时间更短,术后血红蛋白(Hb)水平更高,而两组并发症的发生率、置钉准确率、平均住院天数则无显著差异;Li 等^[15]将 3D 打印的脊柱实物模型应用于腰椎间盘突出术中,结果证明 3D 打印组手术耗时短于普通组,且术中出血量更少。本研究 3D 打印组病例术中应用 3D 打印模型比对辅助置钉,术中透视次数及手术时长明显少于非 3D 打印组,缩短了术中 X 射线暴露时间,减少了伤口暴露时间和出血量,降低了感染风险。

总之,儿童脊柱畸形的治疗应强调个性化原则。个体化 3D 打印模型辅助儿童脊柱侧凸治疗的优势在于手术耗时更短及术中透视次数更少。随着社会经济的快速发展,3D 打印技术将不断进步,在儿童脊柱外科的应用也将越来越广泛^[16]。

参 考 文 献

- 1 邹德威,海涌,马华松,等. 脊柱侧凸矫形手术治疗的远期随访结果[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2002, 12(1):9-12. DOI:10.3969/j.issn.1004-406X.2002.01.003.
Zou DW, Hai Y, Ma HS, et al. Surgical treatment of scoliosis and results of long-term follow-up [J]. Chinese Journal of

- Spine and Spinal Cord, 2002, 12(1): 9-12. DOI: 10. 3969/j. issn. 1004-406X. 2002. 01. 003.
- 2 Janus GJ, Finidori G, Engelbert RH, et al. Operative treatment of severe scoliosis in osteogenesis imperfect: results of 20 patients after halo traction and posterior spondylodesis with instrumentation [J]. Eur Spine J, 2000, 9(6): 486-491.
 - 3 王以朋, 徐宏光, 邱贵兴, 等. 前路松解术在重度青少年特发性脊柱侧凸治疗中的价值[J]. 中华外科杂志, 2004, 42(2): 77-80. DOI: 10. 3760/j. issn: 0529-5815. 2004. 02. 005.
Wang YP, Xu HG, Qiu GX, et al. Effect of anterior spinal release on severe adolescent idiopathic scoliosis [J]. Chin J Surg, 2004, 42(2): 77-80. DOI: 10. 3760/j. issn: 0529-5815. 2004. 02. 005.
 - 4 付军, 郭征, 王臻, 等. 多种 3D 打印手术导板在骨肿瘤切除重建手术中的应用[J]. 中国修复重建外科杂志, 2014, 28(3): 304-308. DOI: 10. 7507/1002-1892. 20140069.
Fu J, Guo Z, Wang Z, et al. Use of four kinds of three-dimensional printing guide plate in bone tumor resection and reconstruction [J]. Chin J Repair Reconst Surg, 2014, 28(3): 304-308. DOI: 10. 7507/1002-1892. 20140069.
 - 5 Shu DL, Liu Z, Guo B, et al. Accuracy of using computer-aided rapid prototyping templates for mandible reconstruction with an iliac crest graft [J]. World Journal of Surgical Oncology, 2014, 12(1): 1-9. DOI: 10. 1186/1477-7819-12-190.
 - 6 Tricot M, Duy KT, Docquier PL. 3D-corrective osteotomy using surgical guides for posttraumatic distal humeral deformity [J]. Acta Orthop Belg, 2012, 78(4): 538-542.
 - 7 Pang L, Hao W, Jiang M, et al. Bony defect repair in rabbit using hybrid rapid prototyping polylactic-co-glycolic acid/beta-tricalciumphosphate collagen I/apatite scaffold and bone marrow mesenchymal stem cells [J]. Indian J Orthop, 2013, 47(4): 388-394. DOI: 10. 4103/0019-5413. 114927.
 - 8 Singh H, Shimojima M, Shiratori T, et al. Application of 3D printing technology in increasing the diagnostic performance of enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA) for infectious diseases [J]. Sensors, 2015, 15(7): 16503-16515. DOI: 10. 3390/s150716503.
 - 9 D'Urso PS, Barker TM, Earwaker WJ, et al. Stereolithographic biomodelling in cranio-maxillofacial surgery: a prospective trial [J]. J Craniomaxillofac Surg, 1999, 27(1): 30-37. DOI: 10. 1016/S1010-5182(99)80007-9
 - 10 Cartiaux O, Paul L, Francq BG, et al. Improved accuracy with 3D planning and patient-specific instruments during simulated pelvic bone tumor surgery [J]. Ann Biomed Eng, 2014, 42(1): 205-213. DOI: 10. 1007/s10439-013-0890-7.
 - 11 Faur C, Crainic N, Sticlaru C, et al. Rapid prototyping technique in the preoperative planning for total hip arthroplasty with custom femoral components [J]. Wien Klin Wochenschr, 2013, 125(5-6): 144-149. DOI: 10. 1007/s00508-013-0335-1.
 - 12 Guarino J, Tennyson S, McCain G, et al. Rapid prototyping technology for surgeries of the pediatric spine and pelvis [J]. J Pediatr Orthop, 2007, 27(8): 955-960. DOI: 10. 1097/bpo. 0b013e3181594ced.
 - 13 Fu M, Lin L, Kong X, et al. Construction and accuracy assessment of patient-specific biocompatible drill template for cervical anterior transpedicular screw (ATPS) insertion: an in vitro study [J]. PloS One, 2013, 8(1): e53580. DOI: 10. 1371/journal. pone. 0053580.
 - 14 Yang M, Li C, Li Y, et al. Application of 3D rapid prototyping technology in posterior corrective surgery for Lenke I adolescent idiopathic scoliosis patients [J]. Medicine, 2015, 94(8): e582. DOI: 10. 1097/MD. 0000000000000582.
 - 15 Li C, Yang M, Xie Y, et al. Application of the polystyrene model made by 3-D printing rapid prototyping technology for operation planning in revision lumbar discectomy [J]. J Orthop Sci, 2015, 20(3): 475-480. DOI: 10. 1007/s00776-015-0706-8.
 - 16 张学军. 3D 打印技术在儿童脊柱外科的应用与展望 [J]. 临床小儿外科杂志, 2018, 17(4): 241-244. DOI: 10. 3969/j. issn. 1671-6353. 2018. 04. 001.
Zhang XJ. Applications and prospects of 3D printing technology in pediatric spinal surgery [J]. J Clin Ped Sur, 2018, 17(4): 241-244. DOI: 10. 3969/j. issn. 1671-6353. 2018. 04. 001.

(收稿日期: 2018-05-17)

本文引用格式:李浩, 张学军, 祁新禹, 等. 3D 打印技术辅助手术治疗儿童重度脊柱侧凸的应用研究 [J]. 临床小儿外科杂志, 2018, 17(9): 654-658. DOI: 10. 3969/j. issn. 1671-6353. 2018. 09. 004.

Citing this article as: Li H, Zhang XJ, Qi XY, et al. Application of 3D printing technology in surgical treatment of severe scoliosis in children [J]. J Clin Ped Sur, 2018, 17(9): 654-658. DOI: 10. 3969/j. issn. 1671-6353. 2018. 09. 004.