·临床论著·

3D 打印与导航辅助椎弓钉矫正先天性脊柱畸形△

徐会法，李 超，刘峙辰，第五维龙，沙 佳，官哲轩，严亚波，赵晓蕾，漆 伟，黄鲁豫*

（空军军医大学第一附属医院骨科，陕西西安 710032）

摘要：［**目的**］比较 3D 打印导板与计算机导航辅助置钉矫正先天性脊柱畸形的临床效果。［**方法**］回顾性分析 2015 年 1 月—2018 年 12 月本院收治的 55 例先天性脊柱畸形患者的临床资料，根据术前医师与患儿家长沟通结果将患儿分为两组。其中，36 例采用 3D 打印导板辅助置钉（3D 组），19 例采用导航下置钉（导航组）。对比两组患者围手术期、随访及影像学资料。［**结果**］两组患者均顺利完成手术，3D 打印组手术时间、置钉时间、术中出血量显著少于导航组，差异具有统计学意义（P<0.05）。透视次数多于导航组，（P<0.05）。而两组间切口长度、精准置钉率、术后引流量以及住院时间差异无统计学意义（P>0.05）。平均随访（45.72±13.69）个月，随术后时间推移，两组患者 VAS、ODI、JOA 和 SRS-22 评分均显著改善（P<0.05）。3D 打印组 SRS-22 评分术后及末次随访均优于导航组（P<0.05）。影像学评估方面，置钉准确率 3D 打印组为（93.64±3.36）%，导航组为（95.08±2.97）%，差异无统计学意义（P>0.05）。与术前相比，术后两组患者冠状面 Cobb 角、局部后凸 Cobb 角、C_7-S_1 冠状面偏移（C_7PL-CSVL）、矢状面偏移（SVA）均显著改善（P<0.05）。相应时间点，两组间上述影像指标的异均无统计学意义（P>0.05）。［**结论**］两种技术均可达到精准置钉、良好矫形的目的，相比之下，3D 打印导板技术在手术时间、置钉时间、术中出血量及满意度方面更具优势。

关键词：先天性脊柱畸形，3D 打印，导板，计算机导航，椎弓钉固定

中图分类号：R687 **文献标志码**：A **文章编号**：1005-8478（2021）21-1921-06

3D printed guider versus computer navigation for pedicle screw placement in correction of congenital spinal deformities //

XU Hui-fa, LI Chao, LIU Zhi-chen, DIWU Wei-long, SHA Jia, GUAN Zhe-xuan, YAN Ya-bo, ZHAO Xiao-lei, QI Wei, HUANG Lu-yu. Department of Orthopedics, The First Affiliated Hospital, Air Force Military Medical University, Xi'an 710032, China

Abstract: [**Objective**] To compare the clinical outcomes of 3D printed guider versus computer navigation for pedicle screw placement in correction of congenital spinal deformities. [**Methods**] A retrospective study was conducted on 55 patients who underwent surgical correction for congenital spinal deformities in our hospital from January 2015 to December 2018. The patients were divided into two groups based on the consequences of preoperative doctor-patient communication. Among them, 36 patients had pedicle screw placed with the 3D printed guider plates, while the remaining 19 patients had the screw inserted by assistance of computer navigation. The perioperative period, follow-up and imaging data were compared between the two groups. [**Results**] The patients in both groups had operation completed successfully. The 3D printed group proved significantly superior to the navigation group in terms of operation time, screw placement time, and intraoperative blood loss (P<0.05) , despite of the fact that the former had more frequent fluoroscopy intraoperatively than the latter (P<0.05) . However, there were no significant differences in incision length, accuracy of screw placement, postoperative drainage volume, and hospital stay between the two groups (P>0.05) . As time went during follow up lasted for (45.72±13.69) months, the VAS, ODI, JOA and SRS-22 scores significantly improved in both groups (P<0.05) . The 3D printing group was better than the navigation group in SRS-22 scores after surgery and the last follow-up (P<0.05) . Regrading to imaging evaluation, the accuracy of screw placement was (93.64±3.36)% in the 3D printed group, whereas (95.08±2.97)% in the navigation group, which was not statistically significant (P>0.05) . Compared with those preoperatively, the scoliotic Cobb angle, local kyphotic Cobb angle, deviations in C_7PL-CSVL, and SVA were significantly improved in the two groups after surgery (P<0.05) . At any corresponding time point, there were no statistically significant difference in the above-mentioned radiographic items between the two groups (P>0.05) . [**Conclusion**] Both techniques do achieve the purpose of precise screw placement and proper correction of the deformities. In contrast, the 3D printed guider has advantages in terms of operation time, screw placement time, in-

DOI:10.3977/j.issn.1005-8478.2021.21.01

△**基金项目**：陕西省科技厅自然科学基础研究项目（编号：2017JC2-04）

作者简介：徐会法，副主任医师、博士，研究方向：儿童脊柱及四肢畸形，（电话）13649237991，029-84771012，（电子信箱）xuhuifa@126.com

* **通信作者**：黄鲁豫，（电话）13892862266，029-84771585，（电子信箱）huangly@fmmu.edu.cn

traoperative blood loss and satisfaction.

Key words: congenital spinal deformity, 3D printed guider, computer navigation, pedicle screw fixation

上世纪 90 年代韩国 Suk [1] 教授率先使用全节段椎弓根螺钉治疗脊柱侧凸。近几十年逐渐流行，并取得了良好的疗效 [2, 3]，但是也存在因椎弓根螺钉位置不佳导致的神经、血管损伤等多项并发症。为了提高置钉的准确性，增加椎弓根螺钉的把持力、提高矫形率以及降低因椎弓根螺钉位置不佳导致的神经、血管损伤，出现了多种辅助置钉技术，包括：二维/三维导航辅助置钉、便携式电子导航开路器置钉、导板辅助置钉、透视辅助置钉等。相关文献报道计算机导航技术辅助置钉安全性及有效性最高 [4-6]。但存在操作复杂、设备昂贵、手术时间长等缺点。近年来随着数字骨科的快速发展，3D-打印导板辅助置钉技术因其操作简单、无需特殊设备等优点在脊柱畸形矫形手术中使用越来越多 [7-9]。本院近 4 年来使用 3D-打印导板辅助置钉与计算机导航置钉共治疗先天性脊柱畸形患儿 55 例，取得较好的治疗效果，报告如下。

1 资料与方法

1.1 纳入与排除标准

纳入标准：（1）年龄≤14 岁；（2）术前 3D-CT 证实存在先天性的椎体发育畸形；（3）术前签署知情同意书，同意使用 3D 打印导板或者计算机导航。

排除标准：（1）年龄>14 岁；（2）合并脊髓病变、先天性心脏病者；（3）病例资料不全，随访不满 1 年或者随访不满 1 年失访者；

1.2 一般资料

回顾性分析 2015 年 1 月—2018 年 12 月本院儿童骨科手术治疗的先天性脊柱畸形患儿，共 55 例符合上述标准，纳入本研究。依据术前医师与患儿家长沟通结果将患儿分为两组，3D 打印组 36 例，导航组 19 例。两组患儿一般资料见表 1，两组患儿在年龄、性别、体质指数（body mass index, BMI）和主要畸形节段的差异均无统计学意义（P>0.05）。本研究经医院伦理委员会审批，所有患儿家属术前均了解导板的设计及导航的使用情况并签署知情同意书。

1.3 手术方法

安装脊髓监护装置，常规消毒铺巾后，按照术前手术设计，两组分别采用 3D-打印导板或计算机导航辅助进行脊柱椎弓根螺钉置入。

导板制作方法：患儿脊椎行薄层 CT 扫描，将 CT 扫描原始数据以 DICOM 格式导入三维重建软件 Mimics 10.01 中（比利时 Materialise 公司），首先运用阈值选取技术，获得相应节段脊椎原始蒙罩，其次运用填充技术，修补因数据转换所产生结构间隙漏洞，得到新蒙罩。随后在三维重建选项中获得所选取结构区域的三维重建图像。在 MedCAD 模块中，用 4 mIB 直径的圆柱体代替螺钉，设计椎弓根螺钉钉道轨迹，缓慢拖动滚轴，分别在三维界面、轴面、矢状面观察圆柱体通过椎弓根相应骨性结构位置关系，进而完成螺钉钉道的初步设计，将模型数据以 STL 格式保存。在 UG Imageware 软件（美国 EDS 公司）中打开保存的数据，从各个角度观察钉道是否穿破骨皮质，必要时可以微调，以确保螺钉钉道的安全性和准确性。按照设计轨迹轴心线重新设定钉道直径为 2.8 mm，并将导板钉道外径设为 5 mm，高度设为 30 mm，以完成导向模板定向管的设计。然后，提取椎板后方对应骨性表面解剖数据，并将其做反向增厚 2.5 mm 处理后，建立与之形态一致的反向基板，同时导入钉道数据，将两者组合重建成导板雏形（外置钉道未贯通），形成带有双侧定位管的椎弓根螺钉个体化导航模板。另外去除定向管道，仅留下基板部分和 2.8 mm 直径的定向孔完成定点导板的设计。利用光敏树脂材料，将个体化实物导板和脊椎三维实体模型打印出来。

导航操作：暴露结束后将参考架固定到手术相邻节段的棘突上，X 线机进行定位确认，以点匹配法在脊柱后表面骨性结构明确的部位进行选点匹配，选点至少 6 个。使用引导棒接触关节突，使其与腰椎正侧位三维图像上的椎弓根解剖点处于重叠状态。在导航系统的引导下，确定螺钉的进入位置、进入方向与进入深度。置钉结束后，咬除椎体棘突，密切关注脊髓监护情况，行相应的半椎体切除或者截骨矫形，根据具体情况，必要节段行 Ponte 截骨，弯棒矫形，相应节段植骨融合，逐层关闭切口。

表 1 两组患儿术前一般资料与比较

指标	3D 组（n=36）	导航组（n=19）	P 值
年龄（岁，$\bar{x}\pm s$）	10.42±2.19	9.61±2.78	0.241
性别（例，男/女）	14/22	7/12	0.882
BMI（kg/m^2，$\bar{x}\pm s$）	20.77±4.58	21.24±4.96	0.726
主要节段（例，胸椎/胸腰/腰椎）	7/19/10	4/11/4	0.929

1.4 评价指标

记录围手术期资料，包括手术时间、置钉时间、出血量、术中透射次数、切口长度、术后引流量、住院时间。采用恢复下床行走时间、疼痛视觉模拟评分（visual analogue scale, VAS）、Oswestry 功能障碍指数（Oswestry disability index, ODI）、日本骨科协会腰评分（Japanese Orthopaedic Association, JOA）、脊柱侧弯研究会（Scoliosis Research Society, SRS-22）评分评估临床结果。行影像检查，根据 Gertzbein~Robbins 分级标准，判别置钉准确性，A，B 级视为准确置钉。测量侧凸和局部后凸角、C_7-S_1 冠状面偏移（C_7PL-CSVL，C_7 铅垂线与骶骨中垂线之间的水平距离）、矢状面偏移（SVA，C_7 铅垂线与 S_1 椎体上终板后上角的水平距离）。

1.5 统计学方法

采用 SPSS 19.0 统计软件对数据进行统计分析。计量数据以 $\bar{x}\pm s$ 表示，资料呈正态分布时，两组间比较采用独立样本 t 检验，组内两时间点比较采用配对 T 检验；资料呈非正态分布时，采用秩和检验。计数资料采用 x^2 检验或 *Fisher* 精确检验。等级资料两组间比较采用 *Mann-whitney U* 检验。P<0.05 为差异有统计学意义。

2 结 果

2.1 围手术期情况

两组共置入椎弓根螺钉 736 枚，其中 3D 打印组 472 枚，导航组 264 枚。两组详细资料见表 2。3D 打印组手术时间、置钉时间、术中出血量方面显著少于导航组（P<0.05）。但是，3D 打印组透视次数显著多于导航组（P<0.05）。两组在切口长度、精准置钉率、术后引流量以及住院天数方面差异无统计学意义（P>0.05）。2 例出现胸膜破损，给予及时缝合。3 例出现脊髓监护运动诱发电位下降 80%，其中 2 例给予半椎体切除部位椎管探查减压，1 例适当恢复部分畸形后，运动诱发电位基本恢复正常。1 例术后 3 d 出现双下肢感觉、肌力消失，给予急诊探查、减压后术后 2 周恢复正常。切口愈合方面，3D 组 36 例中，甲级愈合 33 例，乙级愈合 3 例；导航组 19 例中，甲级愈合 17 例，乙级愈合 2 例；两组间差异无统计学意义（P=0.790）。5 例乙级愈合中有 2 例进行了局麻下再次伤口缝合。两组患者均未发生切口深部感染和症状性血栓等并发症。

2.2 随访结果

55 例患者均获得随访，平均随访时间（45.72±13.69）个月。3D 组 36 例患者均未出现内固定松动或断裂。导航组 19 例中，1 例于术后 2 年出现手术融合节段尾端椎弓根螺钉断裂，并形成交界性后凸畸形，给予翻修延长了固定节段后畸形矫正满意。其余 18 例无内固定松动或断裂。两组患者随访资料见表 3。两组患者恢复下床行走时间的差异无统计学意义（P>0.05）。随术后时间推移，两组患者 VAS、ODI、JOA 和 SRS-22 评分均显著改善（P<0.05），相应时间点，两组间 VAS 评分、ODI 评分、JOA 评分的差异均无统计学意义。术后及末次随访 SRS-22 评分 3D 打印组均优于导航组（P<0.05）。

表 2 两组患者围手术期资料（$\bar{x}\pm s$）与比较

指标	3D 组（n=36）	导航组（n=19）	P 值
手术时间（min）	281.67±92.96	458.95±124.09	**<0.001**
置钉时间（min）	52.42±30.19	137.63±37.91	**<0.001**
切口长度（cm）	17.23±5.20	16.14±5.69	0.477
术中出血量（ml）	775.00±208.11	1 122.63±463.41	**<0.001**
术后引流量（ml）	562.92±101.35	524.27±90.26	0.169
住院时间（d）	14.09±1.95	13.47±2.31	0.298
透视次数（次）	7.67±1.54	4.58±0.90	**<0.001**
置钉精准率（%）	93.64±3.36	95.08±2.97	0.122

2.3 影像学评估

术后 CT 三维重建显示，3D 打印组精准置钉率为（93.64±3.36）%；而导航组为（95.08±2.97）%，差异无统计学意义（P>0.05）。与术前相比，术后即刻两组患者冠状面 Cobb 角、局部后凸 Cobb 角、C_7-S_1 冠状面偏移（C_7PL-CSVL）、矢状面偏移（SVA）均显著改善（P<0.05）；与术后即刻相比，末次随访时两组侧弯 Cobb 角、局部后凸 Cobb 角、C_7PL-CSVL 和 SVA 的矫正均有丢失，但两时间点间各指标的差异均无统计学意义（P>0.05）。相应时间点，两组间侧弯 Cobb 角、局部后凸 Cobb 角、C_7PL-CSVL 和 SVA 的差异均无统计学意义（P>0.05）。

3 讨 论

在 1959 年 Boucher [10] 首先利用椎弓根结构打入螺钉。而 Roy-Camille [11] 在 60 年代初期对椎弓根螺钉进行了系列研究并于 1970 年做了相关报道。由此以后因椎弓根螺钉独特的三维矫正及固定功能，而被广泛使用于脊柱固定手术中 [12]，但是因为椎弓根螺

钉位置不佳而导致大量的并发症[13]，并且容易造成巨大的医疗及经济负担[14]。尤其在先天性脊柱畸形患者中存在椎体、椎弓根、椎板等结构的异常，导致椎弓根螺钉徒手置钉精准率远低于其他脊椎后路手术椎弓根置钉的精准率[15]。

表 3 两组患者随访结果（$\bar{x}\pm s$）与比较

指标	时间点	3D 打印组（n=36）	导航组（n=19）	*P* 值
下床行走时间（d）		5.77±1.05	6.36±1.19	0.064
VAS 评分（分）	术后 1 个月	3.61±2.20	3.15±2.85	0.509
	术后 6 个月	0.74±0.38	0.82±0.35	0.449
	末次随访	1.23±0.95	1.15±1.03	0.774
	P 值	**<0.001**	**<0.001**	
ODI 评分 （%）	术后 1 个月	14.26±3.55	13.01±4.29	0.253
	术后 6 个月	3.88±1.16	3.42±1.20	0.173
	末次随访	4.24±1.57	4.63±1.77	0.406
	P 值	**<0.001**	**<0.001**	
JOA 评分（分）	术后 1 个月	15.18±3.38	15.84±2.78	0.469
	术后 6 个月	25.06±1.84	24.69±2.07	0.500
	末次随访	25.30±1.19	25.39±1.51	0.809
	P 值	**<0.001**	**<0.001**	
SRS-22 评分（分）	术后 1 个月	20.69±2.55	18.88±3.45	**0.030**
	术后 6 个月	22.46±1.29	20.81±1.89	**0.023**
	末次随访	22.12±1.33	21.21±1.47	**0.002**
	P 值	**<0.001**	**0.003**	

表 4 两组影像测量结果（$\bar{x}\pm s$）与比较

指标	时间点	3D 打印组（n=36）	导航组（n=19）	*P* 值
精准置钉率（%）	术后即刻	93.64±3.36	95.08±2.97	0.122
冠状面 Cobb 角（°）	术前	79.81±21.60	70.66±15.87	0.110
	术后即刻	27.06±10.04	24.26±7.99	0.298
	末次随访	30.81±11.21	28.23±8.88	0.389
	P 值	**<0.001**	**<0.001**	
局部后凸 Cobb 角（°）	术前	65.07±25.54	58.36±20.96	0.330
	术后即刻	22.04±8.81	21.20±10.17	0.751
	末次随访	19.55±7.92	18.89±8.36	0.774
	P 值	**<0.001**	**<0.001**	
｜C_7PL-CSVL｜（mm）	术前	35.28±9.14	33.67±9.33	0.540
	术后即刻	24.16±5.25	24.63±6.18	0.768
	末次随访	25.58±5.10	26.92±5.57	0.497
	P 值	**<0.001**	**<0.001**	
｜SVA｜（mm）	术前	20.05±11.56	21.45±13.81	0.691
	术后即刻	12.49±6.54	15.65±10.22	0.169
	末次随访	10.91±5.84	11.33±7.19	0.816
	P 值	**<0.001**	0.150	

｜C_7PL-CSVL｜：C_7 椎体中心铅垂线与骶骨中垂线之间的水平距离，用绝对值表示；｜SVA｜：C_7 椎体中心铅垂线与 S_1 椎体上终板后上角的水平距离，用绝对值表示

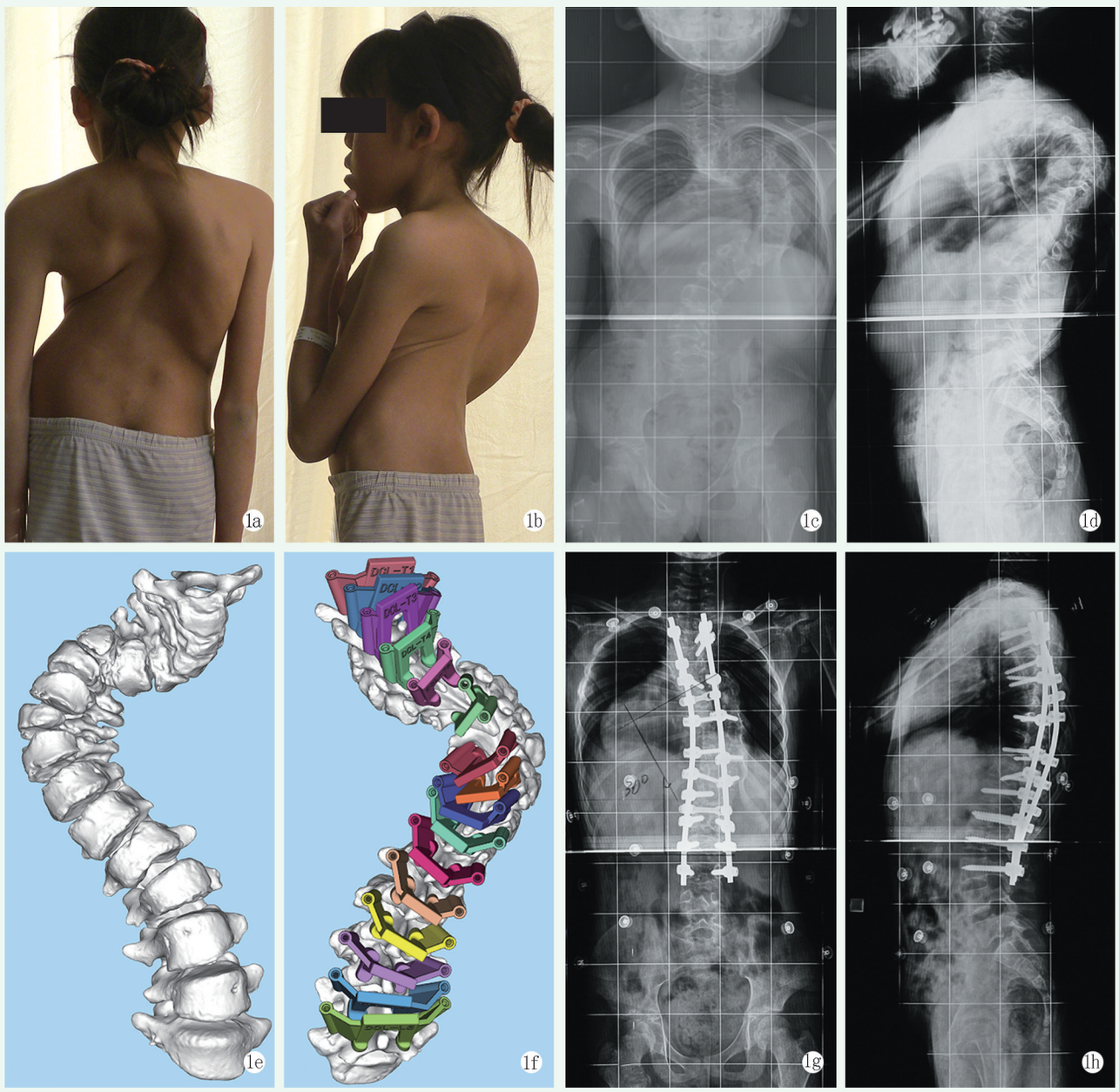


图 1　患儿，女，13 岁 10 个月，先天性脊柱侧弯，采用脊柱侧弯后路松解 $T_{6,9}$ PSO 截骨 T_2~L_3 植骨融合内固定术治疗　1a, 1b: 术前外观照，患儿身高 127 cm，体重 26 kg，BMI 指数为 16.1　1c: 术前正位 X 线片示主弯 Cobb 角 132°，C_7PL-CSVL: 10.7 mm　1d: 术前侧位 X 线片示局部后凸 Cobb 角 103°，SVA 为 32.6 mm　1e: 术前三维 CT 示多发的胸椎椎体发育畸形　1f: 3D 打印导板设计，根据 CT 扫描数据重建脊柱三维结构，并制作个体化的导板　1g: 术后正位 X 线片示主弯 Cobb 角 30°，主弯矫形率为 77.27%；C_7PL-CSVL 为 2.5 mm　1h. 术后侧位 X 线片示局部后凸 Cobb 角 42°，矫形率 59.22%；SVA 为 12.3 mm

本组病例导航置钉 19 例，在使用过程中有以下不足：（1）计算机导航操作复杂，学习曲线长；（2）导航设备昂贵，并且需要与术中 CT 及特殊的手术床进行配合使用，需要很大的经济投入；（3）术中每次扫描长度相对较短，大约 4~6 个节段，如果扫描范围较大需要 2 次或者多次扫描；（4）术中复杂的导航操作、CT 扫描、数据重建等，延长了手术时间，增加了出血及感染的风险；（5）术中 CT 扫描放射线剂量相对较大，对患者及术者易造成一定的放射损伤。[17, 18]。

3D 打印导板置钉极大的克服了计算机导航置钉的缺点，其优点在于：（1）操作简单，即使经验较少的医生也能准确置钉；（2）可以简化置钉程序，节约手术时间，减少出血；（3）个体化设计，置钉准确率高；（4）成本较低，不需要其他辅助设备。

作者认为 3D 打印组操作简单，术者术中可以把更多的精力用于畸形的矫正。而文献报道脊柱侧弯单纯后路手术矫正率一般在 40%~70% [19~22]。而 Karlin 等 [23] 使用个体化的 3D 打印模型及导板治疗了 7 例严重的脊柱畸形患儿，其矫正率达到了惊人的 83%。本组病例之所以能够达到较好的矫正率，最主

要的原因是良好的椎弓根螺钉位置提供了更好的把持力和矫形能力。其次良好的螺钉位置可以有效避免其导致的神经、血管损伤等并发症，术者可以更加安心的进行矫形。

导板辅助置钉使用体会：（1）根据术者的置钉习惯及解剖结构，导板制作前要和工程技术人员充分沟通，这样术中使用导板才能更加得心应手；（2）进行完善的术前设计，包括截骨位置、截骨方式、截骨后的脊柱形态、固定棒形态的预判以及每一枚螺钉的具体型号。尤其是术前选择好每一枚螺钉，术中可以直接选择使用，能有效缩短手术时间，减少出血；（3）适当延长切口，尤其是切口尾端。肌肉墙的阻挡需要适当延长切口，以保证导板与椎板、关节突等之间的充分贴合；（4）导板和模型要结合使用，术中操作过程中导板应在模型上比对好大体位置，然后再置于体内使用，能更好的确定导板放置的位置；（5）术中操作时一般使用直径 2.5 mm 的克氏针进针，而导板孔的直径设计为 2.8 mm，此种结合使用操作简单。

总之，两组均可达到精准置钉、良好矫形的目的。而 3D 打印组在手术时间、置钉时间、术中出血量及 SRS-22 评分方面更具优势，且无需特殊设备，适合推广使用。

参考文献

[1] Suk SI, Lee CK, Kim WJ, et al. Segmental pedicle screw fixation in the treatment of thoracic idiopathic scoliosis [J] . Spine (Phila Pa 1976) , 1995, 20 (12) : 1399-1405.

[2] Fu G, Kawakami N, Goto M, et al. Comparison of vertebral rotation corrected by different techniques and anchors in surgical treatment of adolescent thoracic idiopathic scoliosis [J] . J Spinal Disord Tech, 2009, 22 (3) : 182-189.

[3] 仉建国, 张延斌, 王升儒, 等 . 椎弓根螺钉系统固定对椎体生长发育的影响 [J] . 中国脊柱脊髓杂志, 2018, 28 (12) : 1060-1066.

[4] Gelalis ID, Paschos NK, Pakos EE, et al. Accuracy of pedicle screw placement: a systematic review of prospective in vivo studies comparing free hand, fluoroscopy guidance and navigation techniques [J] . Eur Spine J, 2012, 21 (2) : 247-255.

[5] Lieberman IH, Kisinde S, Hesselbacher S. Robotic-assisted pedicle screw placement during spine surgery [J] . JBJS Essent Surg Tech, 2020, 10 (2) : e20.

[6] 王峰, 杜伟, 杨刚, 等 . O-arm 导航辅助下后路半椎体切除治疗先天性脊柱侧后凸畸形 [J] . 中华解剖与临床杂志, 2016, 21 (4) : 331-336.

[7] Garg B, Gupta M, Singh M, et al. Outcome and safety analysis of 3D-printed patient-specific pedicle screw jigs for complex spinal deformities: a comparative study [J] . Spine J, 2019, 19 (1) : 56-64.

[8] Cool J, Schuppen JV, Boer MD, et al. Accuracy assessment of pedicle screw insertion with patient specific 3D printed guides through superimpose CT-analysis in thoracolumbar spinal deformity surgery [J/OL] . Eur Spine J, 2021. Epub ahead of print. doi: 10.1007/s00586-021-06951-9. PMID: 34355276.

[9] 卢志军, 陈荣春, 郭朝阳, 等 . 3D 打印定向截骨导板治疗脊柱畸形的临床效果 [J] . 中国矫形外科杂志, 2018, 26 (17) : 1574-1579.

[10] Boucher HH. A method of spinal fusion [J] . J Bone Joint Surg Br, 1959, 41-B (2) : 248-259.

[11] Roy-Camille R, Roy-Camille M, Demeulenaere C. Osteosynthesis of dorsal, lumbar, and lumbosacral spine with metallic plates screwed into vertebral pedicles and articular apophyses [J] . Presse Med, 1970, 78 (32) : 1447-1448.

[12] Rose PS, Lenke LG, Bridwell KH, et al. Pedicle screw instrumentation for adult idiopathic scoliosis: an improvement over hook/hybrid fixation [J] . Spine (Phila Pa 1976) , 2009, 34 (8) : 852-857, 858.

[13] Di Silvestre M, Parisini P, Lolli F, et al. Complications of thoracic pedicle screws in scoliosis treatment [J] . Spine (Phila Pa 1976) , 2007, 32 (15) : 1655-1661.

[14] Lee YC, Lee R. Image-guided pedicle screws using intraoperative cone-beam CT and navigation. A cost-effectiveness study [J] . J Clin Neurosci, 2020, 72 (1) : 68-71.

[15] Kotani Y, Abumi K, Ito M, et al. Accuracy analysis of pedicle screw placement in posterior scoliosis surgery: comparison between conventional fluoroscopic and computer-assisted technique [J] . Spine (Phila Pa 1976) , 2007, 32 (14) : 1543-1550.

[16] Vissarionov SV, Kokushin DN, Khusainov NO, et al. Comparing the treatment of congenital spine deformity using freehand techniques in vivo and 3D-printed templates in vitro (prospective-retrospective single-center analytical single-cohort study) [J] . Adv Ther, 2020, 37 (1) : 402-419.

[17] 姜良海, 谭明生, 董亮 . 3D 打印导板在脊柱置钉中的应用研究进展 [J] . 中国矫形外科杂志, 2015, 23 (10) : 908-911.

[18] Lu S, Xu YQ, Chen GP, et al. Efficacy and accuracy of a novel rapid prototyping drill template for cervical pedicle screw placement [J] . Comput Aided Surg, 2011, 16 (5) : 240-248.

[19] Parsch D, Geiger F, Brocai DR, et al. Surgical management of paralytic scoliosis in myelomeningocele [J] . J Pediatr Orthop B, 2001, 10 (1) : 10-17.

[20] Basobas L, Mardjetko S, Hammerberg K, et al. Selective anterior fusion and instrumentation for the treatment of neuromuscular scoliosis [J] . Spine (Phila Pa 1976) , 2003, 28 (20) : S245-S248.

[21] Yazici M, Asher MA, Hardacker JW. The safety and efficacy of Isola-Galveston instrumentation and arthrodesis in the treatment of neuromuscular spinal deformities [J] . J Bone Joint Surg Am, 2000, 82 (4) : 524-543.

[22] 黄紫房, 杨军林, 李佛保, 等 . 后路全椎体截骨治疗重度脊柱畸形的疗效分析 [J] . 中国矫形外科杂志, 2016, 24 (11) : 967-971.

[23] Karlin L, Weinstock P, Hedequist D, et al. The surgical treatment of spinal deformity in children with myelomeningocele: the role of personalized three-dimensional printed models [J] . J Pediatr Orthop B, 2017, 26 (4) : 375-382.

（收稿：2020-12-01 修回：2021-05-20）
（本文编辑：郭秀婷）