

# 3D 打印辅助四级截骨术治疗创伤性脊柱后凸畸形 30 例

陈毅<sup>1</sup> 赵亮<sup>1△</sup> 王利民<sup>1</sup>

**[摘要]** **目的:**探讨 3D 打印辅助四级截骨术在治疗创伤性脊柱后凸畸形的术前规划及术中辅助操作中的应用价值。**方法:**回顾性分析 2019 年 1 月至 2019 年 12 月接受 3D 打印辅助四级截骨术治疗的 30 例创伤性脊柱后凸畸形患者的临床资料,测量患者术前、术后 2 周及末次随访时的影像学参数。使用疼痛视觉模拟(VAS)评分和 Oswestry 功能障碍指数(ODI)评估临床症状缓解情况。**结果:**本组患者均获得随访,随访时间为 12~20 个月,平均(15.7±3.1)个月,术口愈合良好,未出现感染、内固定松动、神经、血管损伤等并发症。Cobb 角及腰椎前凸角(LL)术后 2 周与术前比较,差异均有统计学意义( $P<0.05$ ),Cobb 角及 LL 术后 2 周与末次随访比较,差异均无统计学意义( $P>0.05$ )。术前与术后 2 周、术后 2 周与末次随访的矢状面平衡(SVA)、骨盆投射角(PI)、骨盆倾斜角(PT)、骶骨倾斜角(SS)比较,差异均无统计学意义( $P>0.05$ )。术后 2 周及末次随访 VAS 评分和 ODI 较术前均明显改善( $P<0.05$ )。**结论:**3D 打印模型可直观地显示创伤性脊柱后凸畸形椎体的形状、严重程度及其与邻近椎体、血管、神经的空间关系,术前预模拟置钉、截骨、内固定等,可为实际手术提供参考。3D 打印辅助四级截骨术治疗创伤性脊柱后凸畸形具有可行性,且临床效果满意。

**[关键词]** 3D 打印;脊柱后凸;畸形;截骨

**[中图分类号]** R682.3 **[文献标志码]** B **[文章编号]** 1005-0205(2021)02-0041-04

## Clinical Report of 30 Cases of 3D Printing Assisted SRS-Schwab IV Osteotomy in the Treatment of Traumatic Kyphosis

CHEN Yi<sup>1</sup> ZHAO Liang<sup>1△</sup> WANG Limin<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Orthopedics, the First Affiliated Hospital of Zhengzhou University, Zhengzhou 450000, China.

**Abstract Objective:** To explore the clinical effect of 3D printing assisted SRS-Schwab IV osteotomy in the treatment of traumatic kyphosis. **Methods:** A retrospective analysis of the clinical data of 30 patients with traumatic kyphosis who underwent 3D printing-assisted SRS-Schwab IV osteotomy from January 2019 to December 2019. The imaging parameters of the patients were measured before operation, 2 weeks after operation and at the last follow-up. The visual analogue scales (VAS) score and Oswestry disability index (ODI) were used to assess the relief of clinical symptoms. **Results:** There were statistically significant differences between postoperative 2 weeks and preoperative in Cobb angle and LL (lumbar lordosis) angle ( $P<0.05$ ). There was no statistically significant differences between postoperative 2 weeks and the last follow-up in Cobb angle and LL angle ( $P>0.05$ ). There was no statistically significant difference in SVA (sagittal vertical axis), PI (pelvic incidence), PT (pelvic tilt) and SS (sacral slope) between preoperative and postoperative 2 weeks, and between postoperative 2 weeks and the last follow-up ( $P>0.05$ ). VAS score and ODI index were significantly improved 2 weeks after operation and at the last follow-up ( $P<0.05$ ). **Conclusion:** The 3D printing model can visually show the shape and severity of the vertebral body of traumatic kyphosis and its spatial relationship with adjacent vertebral bodies, blood vessels and nerves. Pre-operative simulation of screw placement, osteotomy, internal fixation, etc, can provide reference for actual surgery. 3D printing assisted SRS-Schwab IV osteotomy is feasible for treatment of traumatic kyphosis, with better correction of kyphosis, and high intervertebral fusion rate.

**Keywords:** 3D printing; kyphosis; deformity; osteotomy

基金项目:河南省医学科技攻关计划项目(2018020041)

<sup>1</sup> 郑州大学第一附属医院骨科(郑州, 450000)

<sup>△</sup>通信作者 E-mail:edwardzhao168@163.com

创伤性脊柱后凸保守治疗欠佳,患者往往需要手

术治疗<sup>[1-2]</sup>。近年来,四级截骨术被应用于治疗创伤性脊柱后凸,但由于脊柱解剖复杂,不同患者手术方案不一样,导致手术难度大、风险高<sup>[3-4]</sup>。目前,3D 打印在肿瘤切除、四肢及脊柱畸形矫正和骨折治疗方面都有很好地应用<sup>[5-8]</sup>。但采用 3D 打印辅助四级截骨术治疗创伤性脊柱后凸的研究报道尚少。因此,本研究通过对临床资料的回顾性分析,探讨 3D 打印辅助四级截骨术在创伤性脊柱后凸术前规划中的临床应用。

## 1 临床资料

### 1.1 一般资料

回顾性分析 2019 年 1 月至 2019 年 12 月于郑州大学第一附属医院接受 3D 打印辅助四级截骨术治疗的创伤性脊柱后凸畸形患者。共有 30 例创伤性脊柱后凸畸形患者(男 18 例,女 12 例)纳入本研究。手术时年龄 20~62 岁,平均 $(43.8 \pm 9.2)$ 岁。本研究获得本医院医学伦理委员会批准。

### 1.2 纳入标准

1)临床被诊断为创伤性脊柱后凸畸形;2)临床资料及影像学资料完整;3)符合创伤性脊柱后凸畸形手术适应证;4)术后随访时间 $\geq 12$ 个月。

### 1.3 排除标准

1)先天性、病理性骨折、强直性脊柱炎、脊柱结核等原因引起的脊柱后凸畸形;2)患者的冠状面存在脊柱侧凸畸形且侧凸 $>10^\circ$ ;3)患者有脊柱手术史。

## 2 方法

### 2.1 手术方法

对患者行脊柱 0.5 mm 薄层 CT(德国,西门子公司)扫描,将图像数据以 DICOM 格式保存并导入 Mimics 17.0(Materialise 公司,比利时),在软件内进行虚拟截骨操作,设计多种截骨方案,在电脑上模拟出不同方案的截骨效果,对比不同方案的矫形效果,确定最优手术方案,记录截骨的部位、角度、数量,测量截骨节段在椎板和椎体后缘的截骨宽度,同时记录椎弓根螺钉置入的位置、方向。将 Mimics 软件三维重建虚拟复位后的后凸模型用 3D 打印机实施打印。术前通过 3D 模型仔细观察病变部位及椎弓根,避免在狭窄处置钉,最后将模型消毒后供术中参考。在全麻下,患者取俯卧体位,锐性分离两侧椎旁肌至两侧关节突关节外侧,充分显露椎板及关节突关节,以术前体外模拟截骨的最优方案为指导,以 3D 打印模型为参考,在后凸畸形椎体上下两侧的邻近椎体打入合适的椎弓根螺钉,充分显露后凸顶椎椎弓根,然后用磨钻经椎弓根开凿洞口进入椎体,按照术前确定的最佳截骨矫形方案行四级截骨术。一侧截骨完成后,单侧置棒临时固定,然后进行对侧截骨。两侧截骨完成后,潜行修整上位

椎板下缘和下位椎板上缘,防止矫形复位时对神经根造成机械性压迫。将术中截骨获得的松质骨咬成碎骨粒植于顶椎上下椎间隙。放置预弯棒,连接椎弓根螺钉,逐步加压使截骨面闭合,C 臂机透视确定截骨面对合良好,用适量生理盐水冲洗切口,见无活动性出血,然后放置负压引流管。手术中所有操作都在体感诱发电位、运动诱发电位监护下进行。

### 2.2 疗效评价

测量指标:1)脊柱后凸 Cobb 角。2)腰椎前凸角(Lumbar Lordosis,LL): $T_{12}$ 椎体下终板与  $S_1$  椎体上终板之间的角度(LL 后凸记为正值,前凸为负值)。3)矢状面平衡(Sagittal Vertical Axis,SVA):经  $C_7$  椎体中心的铅垂线( $C_7$  PL)距  $S_1$  后上角之间的水平距离( $C_7$  PL 在骶骨后上角前方记为正值,后方为负值)。4)骨盆投射角(Pelvic Incidence,PI): $S_1$  上缘中点至股骨头中心点连线与  $S_1$  上缘中垂线的夹角(双侧股骨头不重合时,取两中心点连线的中点)。5)骨盆倾斜角(Pelvic Tilt,PT): $S_1$  上缘中点至股骨头中心点连线与铅垂线之间的夹角。6)骶骨倾斜角(Sacral Slope,SS): $S_1$  上缘与水平线的夹角。

### 2.3 统计学方法

本研究数据结果采用 SPSS 26.0 统计软件进行分析,计量资料以  $\bar{x} \pm s$  表示,组内采用采用配对  $t$  检验,定性数据之间的比较采用  $\chi^2$  检验, $P < 0.05$  差异有统计学意义。

## 3 结果

### 3.1 一般资料

30 例患者的手术时间为 70~170 min,平均 $(123.2 \pm 47.9)$ min,术中出血量为 300~900 mL,平均 $(520.8 \pm 90.1)$  mL。所有患者均获得随访,随访时间为 12~20 个月,平均 $(15.7 \pm 3.1)$ 个月。术口愈合良好,未出现感染、内固定松动、内固定断裂、神经、血管损伤等并发症。末次随访时所有患者均获得良好的骨性融合。

### 3.2 术后结果评价

Cobb 角、LL 术后 2 周与术前比较,差异均有统计学意义( $P < 0.05$ ),Cobb 角、LL 术后 2 周与末次随访比较,差异均无统计学意义( $P > 0.05$ );此外,术前与术后 2 周、术后 2 周与末次随访的 SVA,PI,PT,SS 比较,差异均无统计学意义( $P > 0.05$ ),见表 1。典型病例资料见图 1-3。术后 2 周及末次随访 VAS 评分和 ODI 较术前均明显改善( $P < 0.05$ )。末次随访与术后 2 周 VAS 评分和 ODI 比较差异有统计学意义( $P < 0.05$ ),末次随访时 VAS 评分和 ODI 均小于术后 2 周(见表 2)。

表 1 患者术前、术后 2 周及末次随访影像学参数比较(±s)

项目	术前	术后 2 周	末次随访	<i>t</i>	<i>P</i> (术前对术后 2 周)	<i>t</i>	<i>P</i> (末次随访对术后 2 周)
Cobb 角/(°)	42.6±7.2	10.7±4.4	11.5±5.9	11.141	<0.05	1.904	>0.05
LL/(°)	-61.7±11.5	-47.8±8.7	-48.5±9.4	5.711	<0.05	1.763	>0.05
SVA/mm	-13.6±7.2	-12.1±6.9	-10.4±6.7	1.423	>0.05	1.565	>0.05
PI/(°)	44.1±7.6	44.0±7.1	44.2±7.5	0.044	>0.05	0.007	>0.05
PT/(°)	16.3±6.7	16.9±6.2	16.5±7.3	0.354	>0.05	0.109	>0.05
SS/(°)	28.6±7.3	27.7±6.5	28.1±6.7	0.430	>0.05	0.236	>0.05

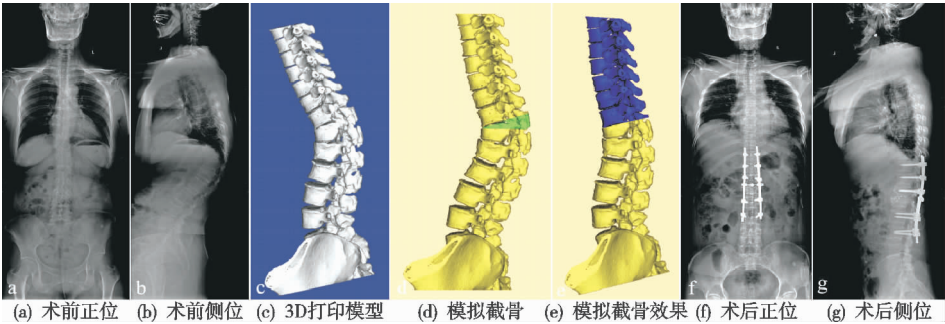


图 1 患者 1,女,43 岁,矫形效果良好

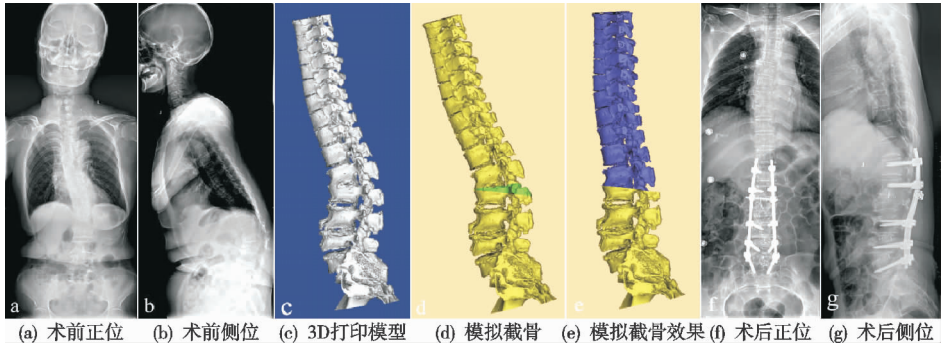


图 2 患者 2,女,60 岁,矫形效果良好

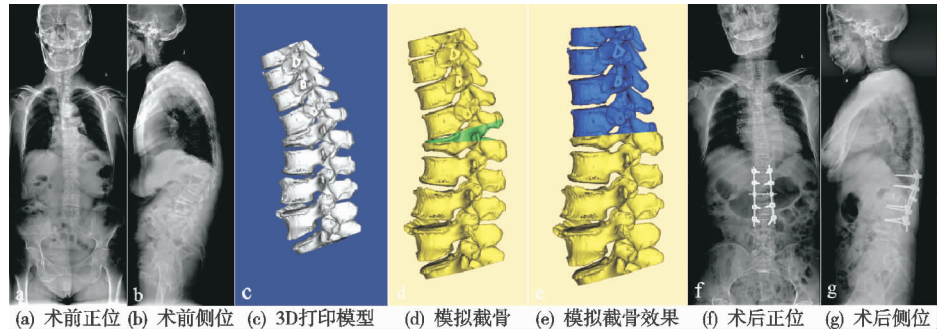


图 3 患者 3,女,52 岁,矫形效果良好

表 2 VAS 和 ODI 评分比较(±s)

指标	术前	术后 2 周	末次随访	<i>t</i>	<i>P</i> (术前对术后 2 周)	<i>t</i>	<i>P</i> (末次随访对术后 2 周)
VAS 评分	7.9±2.5	2.7±1.4	1.6±1.2	21.230	<0.05	2.790	<0.05
ODI 评分	57.9±12.6	31.2±12.3	27.7±12.8	19.842	<0.05	5.620	<0.05

4 讨论

当疼痛对患者的生活质量有严重影响时,或病情不断进展并出现神经功能损害,或脊柱后凸 Cobb 角>30°时,创伤性脊柱后凸畸形患者的首选治疗方案是手术治疗<sup>[9]</sup>。手术目的是重建矢状面平衡,防止后

凸畸形的进展,改善患者的临床症状,提高患者的生活质量。经椎弓根椎体截骨术(Pedicle Subtraction Osteotomy,PSO)是目前应用比较多的一种手术方式,Schwab 等<sup>[10]</sup>将脊柱截骨术分为六级,其中 PSO 属于三级截骨。创伤性后凸畸形患者的椎间盘在脊柱

骨折时容易被损伤,由于 PSO 截骨并没有切除截骨椎体的上位椎间盘,因此受损破坏的椎间盘可能进入截骨面内,无法保证骨与骨的直接接触,导致融合效果欠佳,此外还可引起椎间盘源性腰背部疼痛,甚至加速椎间盘退变,导致椎间隙进一步狭窄。相比三级截骨,四级截骨增加了截骨椎体上方椎间盘和软骨终板的切除。由于四级截骨术切除了被破坏的椎间盘,所以松质骨接触面积大,可以达到骨与骨直接接触闭合,融合率高,而且还降低了椎间盘源性腰背部疼痛的发生率。但是目前四级截骨术主要依靠术前影像学资料作为手术依据,存在手术时间过长、术中出血量多等情况,且手术医生在术前对脊柱后凸畸形缺乏直观性的认识,使得手术过程中容易出现神经、血管、脊髓损伤等现象<sup>[5]</sup>。目前,设计个体化手术方案、提高手术精准度、精简手术流程、缩短医护工作者术中的放射线暴露是我国脊柱外科领域需要解决的难题<sup>[11]</sup>。

随着 3D 打印技术在临床上的广泛应用,脊柱外科医生可以在术前通过软件重建出患者脊柱畸形附近各组织的解剖关系,获取 3D 打印脊柱模型,在电脑上预模拟并操作椎弓根螺钉的置入、截骨数量以及截骨部位、角度等情况,根据不同患者的脊柱畸形特点,制定个体化的手术方案<sup>[12-13]</sup>。本研究结果表明:患者术前 LL 为  $-61.7^{\circ} \pm 11.5^{\circ}$ ,SVA 为  $(95.9 \pm 41.3)^{\circ}$ mm,PI 为  $44.1^{\circ} \pm 7.6^{\circ}$ ,PT 为  $16.3^{\circ} \pm 6.7^{\circ}$ ,SS 为  $28.6^{\circ} \pm 7.3^{\circ}$ ,与既往文献报道中的正常人矢状面参数相比,存在 LL 增大的趋势,但未发生骨盆矢状面参数的代偿,也未发生矢状面躯干失衡<sup>[14]</sup>。笔者分析术前 LL 的改变可能是创伤性脊柱后凸畸形引起相邻的腰椎代偿的结果。另外,术前与术后 2 周、术后 2 周与末次随访的 SVA,PI,PT,SS 比较,差异均无统计学意义( $P > 0.05$ ),说明手术前后骨盆参数未发生代偿,矢状面未发生失衡,其原因可能与创伤性脊柱后凸畸形的受累节段较短、受伤程度较轻、脊柱的退变程度较轻有关。本研究结果显示:Cobb 角由术前平均  $42.6^{\circ} \pm 7.2^{\circ}$  矫正至  $10.7^{\circ} \pm 4.4^{\circ}$ ,随访中矫正无明显丢失( $P > 0.05$ );LL 由术前  $-61.7^{\circ} \pm 11.5^{\circ}$  矫正至  $-47.8^{\circ} \pm 8.7^{\circ}$ ,随访中矫正无明显丢失( $P > 0.05$ ),说明 3D 打印辅助四级截骨术可以很好地矫正创伤性脊柱后凸畸形。此外,患者术后 VAS 及 ODI 评分较术前均明显改善,差异有统计学意义( $P < 0.05$ ),说明 3D 打印辅助四级截骨术可以有效改善创伤性脊柱后凸畸形患者的临床症状。3D 打印技术使脊柱外科医生在术前就可以设计出个体化的 3D 打印模型,可以使手术医生术前在电脑上模拟不同的截骨部位和截骨方案,确定最佳的椎弓根螺钉的置入位置、方向以及截骨方案,并比较不同方案的矫形效果,详细评估各种手术方案的

优劣,最后选择最优的手术方案。本组采用 3D 打印辅助四级截骨术设计手术截骨矫形及内固定方案,并用来指导实际手术,提高了脊柱矢状位及冠状位的矫形效果,降低了并发症的发生率,具有临床推广应用价值。

综上所述,3D 打印模型可直观地显示创伤性脊柱后凸畸形椎体的形状、严重程度以及其与邻近椎体、血管、神经的空间关系,术前预模拟置钉、截骨、内固定等,可为实际手术提供参考。3D 打印辅助四级截骨术治疗创伤性脊柱后凸畸形具有可行性,且临床效果满意。

## 参考文献

- [1] SAR C, ERALP L. Three-stage surgery in the management of severe rigid angular kyphosis[J]. Eur Spine J, 2002,11(2):107-114.
- [2] 崔岩,刘志强,吴艳刚.应用两种骨水泥治疗骨质疏松性椎体压缩骨折的骨密度差异[J].中国中医骨伤科杂志,2020,28(1):28-34.
- [3] QIAN B P, QIU Y, WANG B, et al. Pedicle subtraction osteotomy through pseudarthrosis to correct thoracolumbar kyphotic deformity in advanced ankylosing spondylitis[J]. Eur Spine J, 2012,21(4):711-718.
- [4] TOOMBS C, BARON L, SHAH S, et al. Quality of life Improvement following surgery in adolescent spinal deformity patients: a comparison between scheuermann kyphosis and adolescent idiopathic scoliosis[J]. Spine Deformity, 2018,6(6):676-683.
- [5] 李政,李长树,王平,等.三维打印在复杂胫骨平台骨折术前规划中的临床应用[J].中国中医骨伤科杂志,2020,28(1):60-62.
- [6] 王春国,胡文浩,李静,等.治疗脊柱畸形常用后路截骨术式研究进展[J].脊柱外科杂志,2018,16(6):368-374.
- [7] RRAN LADOR, GILAD REGEV, KHALIL SALAME, et al. Use of 3-dimensional printing technology in complex spine surgeries[J]. World Neurosurgery, 2020,133:e327-e341.
- [8] RANDAZZO M, PISAPIA J M, SINGH N, et al. 3D printing in neuro-surgery: a systematic review[J]. Surg Neurol Int, 2016,7(33):S801-S809.
- [9] 刘青柏,王斌,姜磊,等.后路 Schwab IV 级截骨治疗创伤性脊柱后凸畸形[J].临床骨科杂志,2020,23(4):465-468.
- [10] SCHWAB F, BLONDEL B, CHAY E, et al. The comprehensive anatomical spinal osteotomy classification[J]. Neurosurgery, 2015,74(1):112-120.
- [11] 中华医学会骨科学分会.计算机导航辅助脊柱外科手术指南[J].中华骨科杂志,2016,36(13):817-825.