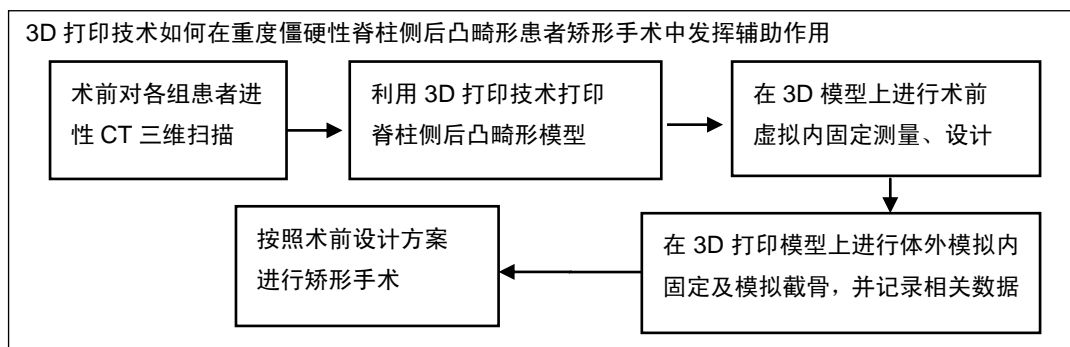


3D打印技术在重度僵硬性脊柱侧后凸畸形截骨矫形治疗中的辅助作用

杨阳¹, 刘林^{1,2}, 薛文², 王增平², 钱耀文², 高学民², 范立真², 文杰² (1甘肃中医药大学临床医学院, 甘肃省兰州市 730000; 2甘肃省人民医院骨二科, 甘肃省兰州市 730000)

DOI:10.3969/j.issn.2095-4344.0550 ORCID: 0000-0002-5879-9789(杨阳)

文章快速阅读:



杨阳, 男, 1991 年生, 甘肃省平凉市人, 甘肃中医药大学在读硕士, 主要从事脊柱外科方面的研究。

通讯作者: 刘林, 主任医师, 硕士生导师, 甘肃中医药大学临床医学院, 甘肃省兰州市 730000; 甘肃省人民医院骨二科, 甘肃省兰州市 730000

中图分类号:R318

文献标识码:B

稿件接受: 2018-07-06



文题释义:

3D 打印技术: 术前对患者进行全脊柱 CT 扫描, 把扫描的数据保存至 Mimics 软件中, 通过处理以 STL 格式导出, 对此文件在专用三维打印机下按 1:1 比例打印形成病变仿真椎体模型。术前结合相关影像学资料及 3D 打印模型进行术前虚拟内固定设计及截骨方案的设计, 根据之前的设计及测量数据在 3D 打印模型上对需要固定的节段进行体外模拟内固定和虚拟截骨, 并记录所有数据。3D 打印技术为临床医师提供了更加直观的、立体的解剖学信息, 并通过术前制定个体化的、更加精准的置钉及截骨矫形方案有效的提高手术安全性。

重度僵硬性脊柱侧后凸畸形: 常由先天性半椎体患者未及时就诊, 发展到后期侧屈 X 射线片柔韧性小于 30% 而形成, 该类患者往往由于胸腔畸形导致心肺功能障碍, 脊柱严重畸形导致不同程度的神经功能损害、截瘫等相应的症状, 且病情随年龄持续性的进展, 绝大多数患者需手术治疗, 但由于该类患者脊柱畸形、解剖不规则、周围组织粘连严重, 其截骨矫形手术风险极高。因此, 对重度僵硬性脊柱侧后凸患者术前制定个体化的、更加精准的置钉及截骨方案可以有效降低手术风险。

摘要

背景: 脊柱严重畸形, 解剖不规则, 截骨矫形手术风险极高, 重度僵硬性脊柱侧后凸患者需要术前制定个体化的、精准的置钉及截骨方案设计以降低手术风险。

目的: 探讨 3D 打印技术应用在重度僵硬性脊柱侧后凸畸形截骨矫形手术中的疗效。

方法: 将 2015 年 1 月至 2017 年 6 月 32 例重度僵硬性脊柱侧后凸畸形患者纳入研究, 其中 16 例在 3D 打印技术辅助下行截骨矫形手术的患者作为试验组, 即术前利用 3D 打印技术重建脊柱模型, 在此基础上精确设计合理的截骨方案。其余 16 例在 X 射线常规影像学检查指导下行截骨矫形的患者为对照组。记录所有患者围术期相关指标、术后侧后凸畸形矫正效果、椎弓根螺钉置钉准确率及手术并发症发生率等相关指标。

结果与结论: 试验组患者的手术时间、术中出血量、术中透视次数、术后引流量、术后并发症发生率、术后侧凸及后凸 Cobb 角等 7 个指标均明显低于对照组, 置钉准确率及侧凸和后凸矫形率明显高于对照组 ($P < 0.05$)。说明 3D 打印技术, 为重度僵硬性脊柱侧后凸畸形患者截骨矫形术前制定了个体化的、更加精准的置钉及截骨矫形方案, 可提高手术安全性, 减小手术创伤, 临床效果满意。

关键词:

重度僵硬性脊柱畸形; 3D 打印技术; 截骨术; 侧后凸畸形; 术前设计; 安全性; 置钉; 螺钉固定

主题词:

成像, 三维; 脊柱侧凸; 截骨术; 组织工程

基金资助:

甘肃省人民医院内科科研项目(17GSSY3-3)

Yang Yang, Master candidate, Clinical Medical College of Gansu University of Chinese Medicine, Lanzhou 730000, Gansu Province, China

Corresponding author: Liu Lin, Chief physician, Master's supervisor, Clinical Medical College of Gansu University of Chinese Medicine, Lanzhou 730000, Gansu Province, China; Second Department of Orthopedics, Gansu Provincial Hospital, Lanzhou 730000, Gansu Province, China

Ancillary effect of three-dimensional printing technology applied in the orthopedic surgery of severe rigid kyphoscoliosis

Yang Yang¹, Liu Lin^{1,2}, Xue Wen², Wang Zeng-ping², Qian Yao-wen², Gao Xue-min², Fan Li-zhen², Wen Jie² (Clinical Medical College of Gansu University of Chinese Medicine, Lanzhou 730000, Gansu Province, China; ²Second Department of Orthopedics, Gansu Provincial Hospital, Lanzhou 730000, Gansu Province, China)

Abstract

BACKGROUND: For severe rigid kyphoscoliosis patients, due to severe spinal deformity, and high risk for orthopedic surgery, designing an individualized and precise placement and osteotomy scheme preoperatively is needed to reduce surgery risk.
OBJECTIVE: To evaluate the clinical effect of three-dimensional (3D) printing applied in the orthopedic surgery for severe rigid kyphoscoliosis.
METHODS: Thirty-two patients with severe rigid kyphoscoliosis from January 2015 to June 2017 were included. Sixteen cases underwent 3D-assisted osteotomy (preoperative spinal reconstruction by 3D printing, and designing rational osteotomy scheme, trial group), and other 16 cases received orthopedic surgery under X-ray (control group). The perioperative indexes, postoperative correction effect, accuracy of pedicle screw placement and incidence of complications were recorded.
RESULTS AND CONCLUSION: The operation time, intraoperative blood loss, intraoperative fluoroscopy time, postoperative drainage, postoperative incidence of complications, postoperative scoliosis and kyphosis Cobb angle in the trial group were significantly lower than those in the control group, but the accuracy of pedicle screw placement, scoliosis and kyphosis corrective rate were significantly higher than those in the control group ($P < 0.05$). To conclude, based on 3D printing, an individualized and precise placement and osteotomy scheme is designed for severe rigid kyphoscoliosis, can improve the operation safety, reduce the trauma, and obtain satisfactory clinical outcomes.
Subject headings: Imaging, Three-Dimensional; Scoliosis; Osteotomy; Tissue Engineering
Funding: the Scientific Research Project of Gansu Provincial Hospital, No. 17GSSY3-3

0 引言 Introduction

重度僵硬性脊柱侧后凸畸形是由于椎体形态严重失常, 存在分节不良、半椎体、畸形融合以及脊柱周围软组织挛缩等情况引起, 临床上常表现为严重的侧凸、后凸及旋转等多种复杂畸形^[1-2]。该类患者不及时就诊, 往往出现相应神经、脊髓压迫症状, 多数患者并存心肺功能严重障碍而危及生命^[3]。但由于存在严重的个体化脊柱畸形、脊柱柔韧性减小、周围组织结构层次不清等, 临床医师在手术过程中很难找到标准的解剖标志, 手术风险极大^[4-7]。因此, 对重度僵硬性脊柱侧后凸患者术前制定个体化的、更加精准的置钉及截骨手术方案设计可以有效降低手术风险, 减少并发症的发生。

近年来随着3D打印技术在各行各业的不断发展, 在医学众多领域中的应用也极为广泛^[8-16]。利用CT三维重建, 通过专业3D打印机打印出拟手术节段的脊柱模型, 术前可以更加直观、准确的分析脊柱畸形的结构特点, 并且术前精确测量后施行模拟手术, 以达到提高手术精确度, 减少手术并发症, 最终取得满意的临床疗效的目的^[17-18]。当前研究对32例重度僵硬性脊柱侧后凸患者分组治疗, 主要目的在于观察3D打印技术在重度僵硬性脊柱侧后凸畸形患者截骨矫形手术中的临床应用效果, 为3D打印技术在临床应用提供依据。

1 对象和方法 Subjects and methods

1.1 设计 前瞻性、非随机临床研究。

1.2 时间及地点 于2015年1月至2017年6月在甘肃省人民医院脊柱骨科完成。

1.3 对象 选择2015年1月至2017年6月甘肃省人民医院收治的重度僵硬性脊柱侧后凸畸形患者作为研究对象。

纳入标准: ①行全脊柱X射线片、左右侧屈X射线片及CT检查, 符合重度僵硬性脊柱侧后凸畸形矫形手术指征者(即CT冠状面Cobb角 $>80^\circ$, 侧屈 X射线片柔韧性 $<30\%$ 的脊柱畸形患者); ②实验室检查及其他相关检查结果正常, 经心内科、呼吸科和麻醉科等相关科室综合会诊后能耐受手术者; ③有腰背部疼痛、心肺功能不全导致的活动受限、双下肢活动障碍及相应神经症状等, 且经过严格保守治疗3个月以上无效者; ④自愿接受手术风险者; ⑤对整个治疗方案知情同意者。

排除标准: ①患有脊柱恶性肿瘤; ②有明显的骨质疏松及严重的内科疾病; ③无症状或症状不明显者, 以及脊柱侧后凸畸形不重、手术意愿不强者; ④存在其他手术禁忌证者。

共纳入重度僵硬性脊柱侧后凸畸形患者32例, 依据治疗方法将其分为2组, 试验组16例, 对照组16例。手术方式均为同一种截骨矫形融合内固定术, 均使用同一品牌器械, 手术均由同一主任医师主刀完成, 评估方法均为盲法。

1.4 材料 手术器械均为富乐 II -6810-4矫形(骨科)外科用手术器械; 所采用的医学专用3D打印设备为麦递途医疗科技(上海)有限公司提供。

1.5 方法

1.5.1 试验组术前准备

术前利用3D打印技术重建脊柱模型: 对患者进行全脊柱0.5 mm薄层CT(西门子公司, 德国)扫描, 把扫描的数据以DICOM格式保存至Mimics软件中, 然后通过Mimics图像处理软件以STL文件格式将其导出, 导出的文件在专用三维打印机下采用选择性激光烧结技术按1:1比例打印形成病变仿真椎体模型。

术前虚拟内固定设计及截骨方案的设计: 首先, 在3D

打印模型上直观的测量、评估患者脊柱畸形的情况,包括测量半椎体的具体高度及宽度,观察相邻节段椎体的解剖空间关系、临近节段椎体后柱解剖形态等,寻找并标记术中指导置钉的骨性标志点,并精确设计椎弓根钉的最佳进钉位置和角度以及需要固定的节段,精确设计合理的截骨方案。根据之前的标记及测量数据在3D打印模型上对需要固定的节段进行体外模拟内固定,并依次记录每个螺钉的最佳置入方向、直径及长度和置入棒的长度与直径等相关数据。

设计多节段截骨方案:在3D模型病变节段上选择不同的截骨部位和截骨角度进行虚拟截骨,比较不同设计方案的矫正效果,最终确定一套理想的截骨方案,包括截骨范围、截骨部位和角度及度截骨的数量,并测量记录截骨节段在椎板和椎体后缘的截骨宽度以及相应钛网的大小,指导手术中的截骨。

1.5.2 试验组手术方式 患者气管插管全麻后,取俯卧位,调整脊柱手术床弯曲程度以适应个体化脊柱畸形,胸、髂部垫多块软垫使腹部悬空。术中参考3D打印模型,按照术前内固定规划,行相应长度后正中切口,依次剥离组织直至显露双侧横突,按术前虚拟内固定设计方案于相应畸形椎体两端暴露术前拟定的置钉骨性标志点,插入定位针后行C臂机透视辅助定位,定位针位置满意后,精确置入理想椎弓根螺钉。然后以顶椎为中心对相应节段切开椎板减压,暴露硬膜和椎弓根,术中直视参考3D打印模型指示找到后凸顶椎的椎弓根,保护硬膜及神经根后,使用磨钻经椎弓根向椎体内楔形截骨,按术前设计的截骨角度及基底宽度做闭合截骨,严格按照3D打印模型将畸形椎体前缘皮质截为合页状,保留椎体后方薄层皮质,应用反向刮匙从硬膜腹侧预留的薄层皮质骨压入截骨间隙内,通过对双侧交替加压闭合截骨间隙矫正畸形,置入合适大小的钛网,置连接棒锁紧,椎板表面植松质骨,放置伤口引流条,关闭切口。术中持续下肢神经监测,术后唤醒试验以确保无脊髓损伤的发生。术后常规给予抗生素预防感染、营养支持等对症治疗,术后24 h后给予低分子肝素钙预防血栓,随时记录术后引流量,观察切口恢复情况,待引流液少于100 mL后拔出引流管。术后患者在支具保护下进行康复锻炼3-6个月,术后常规拍摄X射线片观察螺钉内固定是否稳定,是否发生断裂。

1.5.3 对照组治疗方法 术前常规通过全脊柱X射线片等影像学检查进行脊柱侧后凸畸形的测量及评估,在影像片上大致设计固定截骨矫正方案,手术方式同试验组,只是在手术中无3D打印模型的参考及术前模拟内固定、截骨方案的设计,是根据切开后的椎体形态、术中多次透视实施内固定及截骨矫正。

1.6 主要观察指标

1.6.1 一般情况 记录患者手术时间、术中出血量、术中X射线暴露次数、术后引流量。

1.6.2 椎弓根螺钉置钉准确率 术后1周对固定椎体进行CT扫描,将椎弓根螺钉分为完全在椎弓根内和传出椎弓根皮质两种;椎弓根螺钉置钉准确率(%)=完全在椎弓根内螺钉数量/椎弓根螺钉总数量 \times 100%;

1.6.3 并发症发生情况 统计术后1周及术后1, 6, 12个月的并发症发生率,即内固定装置障碍、神经软组织等损伤、脑脊液漏、伤口感染等;

1.6.4 侧凸和后凸Cobb角 记录手术前及术后1周及1年侧凸和后凸Cobb角,计算畸形矫正率,矫正率(%)=(术后1年Cobb角-术前Cobb角)/术前Cobb角 \times 100%。

1.7 统计学分析 采用SPSS 22.0统计学软件进行数据分析,计量资料用 $\bar{x}\pm s$ 表示,其中计量资料组间比较采用 t 检验,计数资料组间率(%)比较采用 χ^2 检验,以 $P < 0.05$ 为差异有显著性意义。

2 结果 Results

2.1 受试者数量分析 所有患者获得1年的随访。32例患者均进入结果分析。试验流程见图1。

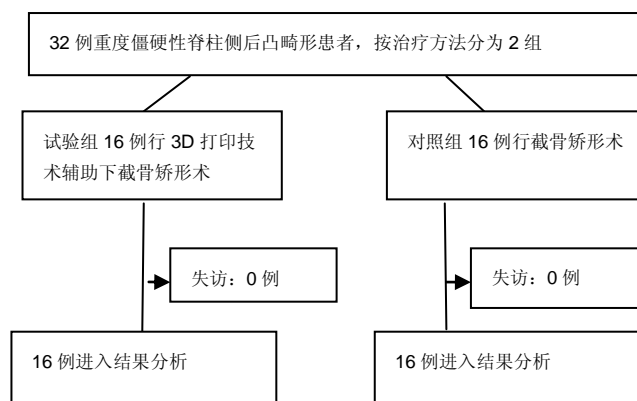


图1 试验流程图
Figure 1 Trial flow chart

2.2 基线资料分析 2组患者的性别、年龄、Cobb角、脊髓受压例数、病椎阶段分布差异均无显著性意义($P > 0.05$),具有可比性。见表1。

2.3 围术期指标比较 试验组手术时间、术中出血量、术中透视次数及术后引流量均明显低于对照组,差异有显著性意义($P < 0.05$)。见表2。

2.4 置钉准确率及并发症发生率 试验组患者椎弓根螺钉置钉准确率为100%(16/16),明显高于对照组的88%(14/16)。住院期间对照组出现1例脑脊液漏、1例血气胸,对症治疗后病情均恢复,试验组无并发症发生($P < 0.05$)。见表3。

2.5 侧后凸畸形矫正效果 两组患者术后1周、1年侧凸Cobb角及后凸Cobb角相较术前均明显减小,差异有显著性意义($P < 0.05$)。试验组术后不同时间点侧、后凸Cobb角均明显小于对照组,侧、后凸矫正率均明显高于对照组,差异有显著性意义($P < 0.05$)。见表4。

表 1 两组重度僵硬性脊柱侧后凸畸形患者基线资料比较

Table 1 Comparison of baseline data of patients with severe rigid kyphoscoliosis between two groups

项目	试验组	对照组	P 值
男/女(n)	10/6	9/7	> 0.05
年龄($\bar{x}\pm s$, 岁)	26.62±5.42	25.12±3.64	> 0.05
侧凸 Cobb 角(°)	85-150	80-135	> 0.05
后凸 Cobb 角(°)	40-145	40-145	> 0.05
脊髓受压(n)	8	11	> 0.05
病椎分布(n)			> 0.05
上胸段	5	5	
胸腰椎	10	9	
腰段	1	2	

表注: 2 组患者基线资料差异无显著性意义($P > 0.05$), 具有可比性。

表 3 两组重度僵硬性脊柱侧后凸畸形患者并发症发生率的比较
[$n=16$, $n(\%)$]

Table 3 Comparison of the accuracy pedicle screw placement and incidence of complications of patients with severe rigid kyphoscoliosis between two groups

并发症	对照组	试验组
脑脊液漏	1(6)	0(0)
血气胸	1(6)	0(0)
损伤神经根	0(0)	0(0)
切口感染	0(0)	0(0)
内固定装置障碍	0(0)	0(0)
合计	2(12)	0(0) ^a

表注: 与对照组相比较, ^a $P < 0.05$ 。

表 2 两组重度僵硬性脊柱侧后凸畸形患者围术期指标的比较

($\bar{x}\pm s$, $n=16$)

Table 2 Comparison of perioperative indicators of patients with severe rigid kyphoscoliosis between two groups

组别	手术时间 (min)	术中出血 (mL)	术中透视次数	术后引流量 (mL)
试验组	235.19±35.75 ^a	330.31±30.25 ^a	6.00±1.10 ^a	294.38±50.33 ^a
对照组	322.19±41.15	495.63±75.80	13.31±3.98	534.36±61.53

表注: 与对照组相比, ^a $P < 0.05$ 。

表 4 两组重度僵硬性脊柱侧后凸畸形患者的畸形矫正效果

($\bar{x}\pm s$, $n=16$)

Table 4 Comparison of the orthopaedic effect of patients with severe rigid kyphoscoliosis between two groups

项目	试验组	对照组
侧凸 Cobb 角		
术前(°)	84.38±19.19	83.44±18.14
术后 1 周(°)	23.81±5.02 ^b	30.06±4.78 ^b
术后 1 年(°)	19.25±2.67 ^b	26.00±4.60 ^b
矫正率(%)	72.13±22.15 ^a	60.45±7.81
后凸 Cobb 角		
术前(°)	89.06±22.15	87.15±19.75
术后 1 周(°)	24.87±6.12 ^b	33.25±5.90 ^b
术后 1 年(°)	21.81±3.99 ^b	26.75±3.90 ^b
矫正率(%)	70.51±8.92 ^a	59.34±10.76

表注: 与对照组相比, ^a $P < 0.05$; 与术前相比, ^b $P < 0.05$ 。

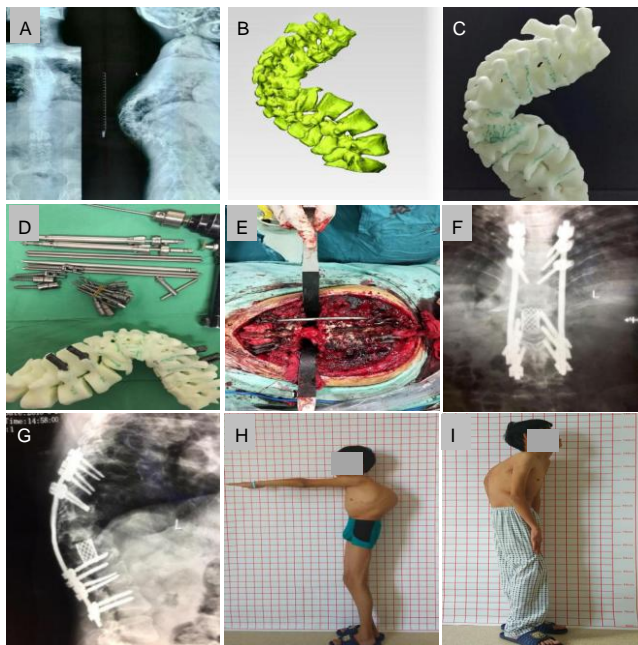


图 2 3D 打印模型辅助截骨矫形手术治疗重度僵硬性脊柱侧后凸畸形的典型病例

Figure 2 Typical case of severe rigid kyphoscoliosis treated with three-dimensional printing applied in the orthopedic surgery

图注: 图中 A 为术前脊柱正侧位 X 射线片; B 为畸形阶段 3D 模型图; C 为 3D 打印实体模型; D 为术前模拟内固定; E 为术中截骨; F 为术后 X 射线正位片; G 为术后 X 射线侧位片; H 为术前外观照; I 为术后外观照。

2.6 随访期间不良事件发生情况 随访过程中, 2 组患者均无不良事件发生。

2.7 典型病例 患者, 男性, 48 岁, 重度僵硬性脊柱侧后凸畸形, 在 3D 打印模型辅助下, 通过术前精准设计、模拟手术等对该患者进行上述截骨矫形手术, 矫形效果良好(图 2A-I)。

3 讨论 Discussion

重度僵硬性脊柱侧后凸畸形为冠状面 Cobb 角大于 80°, 侧屈 X 射线片柔韧性小于 30%, 常由先天性半椎体患者未及时治疗, 发展到后期脊柱的柔韧性减小而形成^[19-22]。当前研究入选病例均为符合上述定义的重度僵硬性侧后凸患者。该类患者往往由于胸腔畸形导致心肺功能障碍, 脊柱严重畸形导致不同程度的神经功能损害、截瘫等相应的症状, 且病情随年龄持续性的进展^[23-27]。手术治疗重度僵硬性脊柱侧后凸畸形患者的主要目的在于矫正畸形、椎间融合以恢复躯干的平衡性, 改善神经症状, 使心肺功能障碍不再加重^[28-29]。但由于该类患者脊柱畸形时间长, 解剖不规则, 周围组织相互粘连严重, 因此在截骨矫形手术过程中出现损伤脊髓、神经根导致瘫痪以及其他并发症的风险极高^[30-35]。如何有效降低手术风险, 同时矫正脊柱畸形是目前治疗重度僵硬性脊柱侧后凸畸形的重要课题^[36]。为

此, 试验通过术前3D打印模型, 提供更加直观的、立体的解剖学信息, 从而提高临床医师对脊柱畸形的理解, 制定更加精准的个性化矫形方案。

传统的重度僵硬性脊柱侧后凸畸形进行手术矫形主要根据术前X射线、CT及MRI等二维影像信息作出诊断并制定手术方案, 包括在术中椎弓根螺钉的置入、截骨的范围及钛网大小的选择均需进行反复的尝试才能取得较好的临床效果, 进而延长手术时间^[37-38]。3D打印技术的出现彻底转变了这种传统治疗理念, 为实现个体化和精准化治疗带来了曙光, 现已成为精准医疗领域最有效的手段之一。

3D打印的立体模型可以从不同角度更好地观察畸形节段的解剖特点, 制定更加精准的个体化手术方案。3D打印技术能为复杂的重度僵硬性脊柱侧后凸畸形患者提供仿真模型, 提高术者对不规则脊柱解剖结构的认知, 便于术前制定详细的手术方案, 关键还可以在模型上术前模拟演练手术操作, 测量记录椎弓根螺钉大小、进钉点、进置钉方向、截骨具体范围、钛网大小等。当前研究结果显示应用3D打印技术通过一系列精确的术前设计、模拟手术的重度僵硬性脊柱侧后凸畸形患者术中内固定置钉更加精确, 置钉时间更短、创伤更小、术中放射线暴露时间更短、术后并发症发生率更低。同时, 在3D打印技术辅助下经椎弓根椎体截骨的操作也更加直观, 根据术前规划及模拟手术, 在术中根据特殊骨性标志可以及时了解椎体截骨范围, 以确保截骨面对合良好, 放置合适钛网, 充分闭合松质骨床, 提高融合率, 并且成功避免了术中一些反复的、盲目的操作引起的风险, 减少了手术并发症。

该研究也具有一定的局限性, 如研究病例数较少, 随访时间不够长, 后期仍需大样本长期随访的随机对照研究, 很多潜在优势还需要大量的病例和足够的时间进行更深入的研究与验证。同时, 术中体位的改变, 会对脊柱侧后凸畸形在冠状面、矢状面及轴位旋转上有一定程度的影响, 增加了手术难度。术先在3D打印模型上进行理想状态下截骨矫形, 而手术中往往由于周围组织的粘连很难达到与术前设计的矫正度数一致, 这往往需要手术医师进一步提高手术技巧。此外, 3D打印技术相比普通的影像学检查, 增加了患者的诊疗费用。尽管存在一定的局限性, 但是3D打印技术在重度僵硬性脊柱侧后凸畸形患者矫形手术中优势明显, 为实现个体化精准治疗提供了巨大帮助, 具有广阔的应用前景。

综上所述, 在3D打印技术的辅助下, 对重度僵硬性脊柱侧后凸畸形患者截骨矫形术前制定个体化的、更加精准的置钉及截骨矫形方案有效的提高手术安全性, 缩短了手术时间, 减小了手术创伤, 临床效果满意。

作者贡献: 杨阳进行试验设计, 刘林、杨阳、薛文、王增平进行试验实施, 刘林进行试验评估, 杨阳收集资料并成文, 刘林审校, 其他作者参与试验讨论。

经费支持: 该文章接受了“甘肃省人民医院内科研课题(17GSSY3-3)”的资助。所有作者声明, 经费支持没有影响文章观点和对研究数据客观结果的统计分析及其报道。

利益冲突: 文章的全部作者声明, 在课题研究和文章撰写过程中不存在利益冲突。

机构伦理问题: 该临床研究的实施符合《赫尔辛基宣言》和甘肃省人民医院对研究的相关伦理要求。实施手术的医生符合脊柱侧后凸畸形截骨的资质要求。

知情同意问题: 参与试验的患病个体及其家属为自愿参加, 在充分了解治疗方案的前提下签署了“知情同意书”。

写作指南: 该研究遵守《非随机对照临床试验研究报告指南》(TREND声明)。

文章查重: 文章出版前已经过专业反剽窃文献检测系统进行3次查重。

文章外审: 文章经小同行外审专家双盲外审, 同行评议认为文章符合期刊发稿宗旨。

生物统计学声明: 文章统计学方法已经甘肃中医药大学生物统计学专家审核。

文章版权: 文章出版前杂志已与全体作者授权人签署了版权相关协议。

开放获取声明: 这是一篇开放获取文章, 根据《知识共享许可协议》“署名-非商业性使用-相同方式共享4.0”条款, 在合理引用的情况下, 允许他人以非商业性目的基于原文内容编辑、调整和扩展, 同时允许任何用户阅读、下载、拷贝、传递、打印、检索、超级链接该文献, 并为之建立索引, 用作软件的输入数据或其它任何合法用途。

前瞻性临床研究数据开放获取声明: 文章作者同意: ①可以在一定范围内开放研究参与者去标识的个体数据; ②可以在一定范围内开放共享文章报告结果部分的去标识个体基础数据, 包括正文、表、图及附件; ③可以在一些情况下开放研究方案和知情同意书等相关文档; ④全文开放获取数据的时间是从文章出版后即刻, 并无终止日期。

4 参考文献 References

- [1] De Giorgi G, Stella G, Becchetti S, et al. Cotrel-Dubouset instrumentation for the treatment of severe scoliosis. *Eur Spine J*. 1999;8(1):8-15.
- [2] Tokunaga M, Minami S, Kitahara H, et al. Vertebral decancellation for severe scoliosis. *Spine*.2000;25(4):469-474.
- [3] O'Brien MF, Lenke LG, Bridwell KH, et al. Preoperative spinal canal investigation in adolescent idiopathic scoliosis curves > or =70 degrees. *Spine*.1994;19(14):1606-1610.
- [4] Rinella A, Lenke L, Whitaker C, et al. Perioperative halo-gravity traction in the treatment of severe scoliosis and kyphosis. *Spine*.2005;30(4):475-482.
- [5] Azmi H, Cagatay O, Mehmet A, et al. Posterior only pedicle screw in instrumentation with intraoperative halo-femoral traction in the surgical treatment of severe scoliosis(> 100°). *Spine*. 2008;33(9):979-983.
- [6] Li M, Ni J, Fang X, et al. Single-staged anterior and posterior spinal fusion: a safe and effective alternative for severe and rigid adolescent idiopathic scoliosis in China. *J Paediatr Child Health*. 2009;45(5):246-253.
- [7] Luhmann SJ, Lenke LG, Kim YJ, et al. Thoracic adolescent idiopathic scoliosis curves between 70 degrees and 100 degrees: Is anterior release necessary? *Spine*. 2005; 30(18):2061-2067.
- [8] 师继红, 陆声, 张元智, 等. 数字化脊柱椎弓根导航模板在胸腰椎骨折中的应用[J]. *中华创伤骨科杂志*, 2008, 10(2):138-141.

- [9] 马立敏,张余,周焯,等.3D打印技术在股骨远端骨肿瘤的应用[J].中国数字医学2013,8(8):70-72.
- [10] 高方友,王曲,刘窗溪,等.个体化3D打印模型辅助后路螺钉内固定治疗颅颈交界区畸[J].中华神经外科杂志, 2013,29(9):896-901.
- [11] Wasinpongwanich K, Paholpak P, Tuamsuk P, et al. Morphological study of subaxial cervical pedicles by using three-dimensional computed tomography reconstruction image. *Neurol Med Chir (Tokyo)*. 2014;54(9):736-745.
- [12] Lee JY, Lee JW, Pang KM, et al. Biomechanical evaluation of magnesium-based resorbable metallic screw system in a bilateral sagittal split ramus osteotomy model using three-dimensional finite element analysis. *J Oral Maxillofac Surg*. 2014;72(2):402.e1-13.
- [13] Yang M, Zeng C, Guo S, et al. Digitalized design of extraforaminal lumbar interbody fusion: a computer-based simulation and cadaveric study. *PLoS One*. 2014;9(8):e105646.
- [14] Dankowski R, Baszko A, Sutherland M, et al. 3D heart model printing for preparation of percutaneous structural interventions: description of the technology and case report. *Kardiol Pol*. 2014;72(6):546-551.
- [15] 刘欣伟,于海龙,韩天宇,等.3D 打印技术在胫骨畸形矫形手术中的应用[J].解放军医药杂志,2015,27(11):26-28.
- [16] Wu AM, Lin JL, Kwan KYH, et al.3D-printing techniques in spine surgery: the future prospects and current challenges. *Expert Rev Med Devices*.2018;15(6):399-401.
- [17] Wu AM, Shao ZX, Wang JS, et al. The accuracy of a method for printing three-dimensional spinal models. *PLoS One*. 2015; 10(4):e0124291..
- [18] Chen H, Wu D, Yang H, et al. Clinical use of 3D printing guide plate in posterior lumbar pedicle screw fixation. *Med Sci Monit*. 2015;21:3948-3954.
- [19] 李明,刘洋,朱晓东,等.一期前路松解后路三维矫形治疗重度僵硬性脊柱侧凸[J].中华骨科杂志,2004,24(5): 271-275.
- [20] 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.
- [21] 董小通,解勇,蔡明,等.脊柱截骨矫形技术治疗成人复杂脊柱侧后凸畸形的安全性探讨[J].中国卫生标准管理,2016,7(14):5-12.
- [22] 司泽兵,吴继功,马华松,等.成人重度僵硬性脊柱侧后凸合并脊髓畸形的截骨手术治疗[J].颈腰痛杂志,2015,36(6):453-458.
- [23] Staff T, Eken T, Wik L, et al. Physiologic, demographic and mecha-nistic factors predicting New Injury Severity Score(NISS) in motor vehicle accident victims. *Injury Inter J Care Injured*.2014;45(1):9-15.
- [24] Kim YJ, Lenke LG, Bridwell KH, et al. Pulmonary function in adolescent idiopathic scoliosis relative to the surgical procedure. *J Bone Joint Surg Am*. 2005;87(7): 1534 -1541.
- [25] Koumbourlis AC. Scoliosis and the respiratory system. *Paediatric Resp*. 2006;7(2): 152-160.
- [26] Vedantam R, Crawford AH. The role of preoperative pulmonary function tests in patients with adolescent idiopathic scoliosis undergoing posterior spinal fusion. *Spine*, 1997, 22(23): 2731-2734.
- [27] Xie J, Lenke LG, Li T, et al. Preliminary investigation of high-dose Tranexamic Acid for controlling intraoperative blood loss in patients undergoing spine correction surgery. *Spine J*. 2015;15(4):647-654.
- [28] 曹云,羊东,彭五四,等.后路截骨联合椎弓根内固定矫形治疗僵硬性脊柱侧后凸畸形[J]. 临床骨科杂志,2016,19(4):391-394.
- [29] 宋林章,陈令斌,Song LZ,等.脊柱后路截骨术治疗局部严重后凸畸形的研究进展[J].脊柱外科杂志,2016,14(2):123-124.
- [30] Auerbach JD, Lenke LG, Bridwell KH, et al. Major complications and comparison between 3-column osteotomy techniques in 105 consecutive spinal deformity procedures. *Spine*.2012;37(14):1198-1210.
- [31] Carreon LY, Puno RM, Lenke LG, et al. Non-neurologic complications following surgery for adolescent idiopathic scoliosis. *J Bone Joint Surg Am*.2007;89 (11): 2427-2432.
- [32] Sansur CA, Smith JS, Coe JD, et al. Scoliosis research society morbidity and mortality of adult scoliosis surgery. *Spine*.2011;36(9):593-597.
- [33] Xie JM, Zhang Y, Wang YS, et al. The risk factors of neurologic deficits of one -stage posterior vertebral column resection for patients with severe and rigid spinal deformities. *Eur Spine J*. 2014;23(1):149-156.
- [34] Jeszenszky D, Haschtmann D, Kleinstück FS, et al. Posterior vertebral column resection in early onset spinal deformities. *Eur Spine J*. 2014;23(1):198-208.
- [35] Coe JD, Arlet V, Donaldson W, et al. Complications in spinal fusion for adolescent idiopathic scoliosis in the new millennium: a report of the Scoliosis Research Society Morbidity and Mortality Committee. *Spine*. 2006;31(3): 345-349.
- [36] Adogwa O, Martin JR, Huang K, et al. Preoperative serum albumin level as a predictor of postoperative complication after spine fusion. *Spine*.2014;39(18): 1513-1519.
- [37] 于斌,仇建国,邱贵兴,等.后路顶点经椎弓根截骨术治疗重度僵硬性脊柱侧后凸畸形[J].中华医学杂志,2009,89(35):2495-2499.
- [38] 马兆龙,邱勇,王斌,等.先天性脊柱侧凸患者中的脊髓畸形和脊椎畸形[J].中国脊柱脊髓杂志,2007,17(8):588-592.