

## ·专题·儿童骨科 3D 打印技术的应用·

## 3D 打印技术在儿童先天性脊柱半椎体手术治疗中的应用研究

蔡文全<sup>1</sup> 姚瑞翔<sup>2</sup> 宿玉玺<sup>1</sup> 南国新<sup>1</sup> 王忠良<sup>1</sup> 覃佳强<sup>1</sup>

**【摘要】 目的** 采用 3D 打印技术建立儿童先天性脊柱半椎体实体模型,探讨该模型在半椎体手术中的应用价值。 **方法** 回顾性分析 2012 年 9 月至 2016 年 5 月,诊断为先天性脊柱半椎体畸形并进行手术的患者 40 例,根据患者是否采用 3D 打印技术辅助治疗分为两组,22 例未采用 3D 打印技术辅助治疗组为对照组;18 例采用 3D 打印技术辅助治疗为实验组。对比分析两组患者手术置钉时间、置钉准确率、神经血管损伤发生率等情况。 **结果** 对照组共置入椎弓根螺钉 102 枚,平均置钉时间 10 ~ 15 min,置钉准确率 85.3% (87/102);实验组共置入椎弓根螺钉 94 枚,平均置钉时间 5 ~ 8 min,置钉准确率 94.7% (89/94);两组置钉时间和置钉准确率比较,差异有统计学意义 ( $P < 0.01$ )。所有患者术中及术后均未出现神经、血管损伤等并发症。 **结论** 与传统未使用 3D 打印技术的徒手置钉技术相比,术前利用患者 CT 数据通过 3D 打印技术制作脊柱半椎体模型可以缩短手术置钉时间,提高置钉准确率。

**【关键词】** 3D 打印; 脊柱半椎体畸形; 儿童

**Application of three-dimensional printing for congenital hemivertebra.** Cai Wenquan<sup>1</sup>, Yao ruixiang<sup>2</sup>, Qin Jiaqiang<sup>1</sup>, Nan Guoxin<sup>1</sup>, Wang Zhongliang<sup>1</sup>, Su Yuxi<sup>1</sup>. 1. Department of Orthopedic II, Affiliated Children's Hospital, Chongqing Medical University, China International Science & Technology Cooperation Base of Child Development & Critical Disorders, Key Laboratory of Pediatrics in Chongqing, China, 400014; 2. Wu Lumuqi Children's Hospital, Wu lumuqi; 830000, China.

**【Abstract】 Objective** To establish a solid model of congenital spinal hemivertebra body using three-dimensional (3D) printing technology and explore its application value of this model during hemivertebral surgery. **Methods** Retrospective analyses were performed for 40 surgical children diagnosed with congenital spinal hemivertebra deformity from September 2012 to May 2016. According to whether or not 3D printing technology was employed, they were divided into 2 groups of experimental ( $n = 18$ ) and control ( $n = 22$ ) groups. The duration of nailing operation, accuracy of placement and the incidence of neurovascular injury were compared between two groups. **Results** In control group, 102 pedicle screws were implanted with an average setting time of 10 to 15 min and an accuracy of placement of 85.3% (87/102); In experimental group, 94 pedicle screws were implanted with an average setting time of 5 to 8 min and an accuracy of placement of 94.7% (89/94). The duration of nailing operation and accuracy of placement were statistically significant between two groups ( $P < 0.01$ ). There was no perioperative occurrence of such complications as nervous or vascular injury. **Conclusion** Compared with traditional surgery without 3D printing, using preoperative patient CT data and producing spinal half-vertebral body model through 3D printing may guide operations so as to shorten the time setting nail and improving accuracy.

**【Key words】** 3D Printing; Hemivertebra; Child

DOI:10.3969/j.issn.1671-6353.2018.04.005

基金项目:重庆市卫计委项目(2016msxm043)

作者单位:1. 重庆医科大学附属儿童医院骨二科、儿童发育疾病研究教育部重点实验室,儿童发育重大疾病国家国际科技合作基地、儿科学重庆市重点实验室(重庆市,400014); 2. 乌鲁木齐儿童医院骨科(乌鲁木齐市,830000)

通讯作者:覃佳强, Email: qinqjq@126.com

儿童由于先天性脊柱半椎体引起的脊柱侧弯畸形较多,且随着年龄的增加,有些侧弯会逐渐加重,手术是治疗先天性脊柱半椎体侧弯的有效方法<sup>[1-2]</sup>。但由于先天性脊柱半椎体引起的脊柱侧弯常伴有临近椎体的旋转、椎管及椎弓根发育不对称等,置钉难度大,术中出血较多,易损伤周围神经血

管等。虽然目前可以将数字模拟导航技术应用到脊柱手术中,但徒手置钉仍普遍应用,如何缩短手术时间、提升置钉准确度是手术操作中的难点。脊柱3D打印技术是利用重建的三维数字模型,通过3D打印机打印出将要手术的等比例脊柱模型,从而获得每个病变椎体、椎弓根的三维数据,不仅可以在术前仔细观察,模拟置钉,而且低温消毒后可以在手术台上反复查看,了解三维空间构造,以提升置钉准确度及缩短手术时间。本研究回顾性收集2012年9月至2016年5月经本院诊断为先天性脊柱半椎体畸形并进行手术治疗的患儿40例,根据是否采用3D打印技术辅助治疗分为实验组与对照组,对比两组手术置钉时间,置钉准确率、神经血管损伤发生率。

## 材料与方法

### 一、临床资料

收集本院2012年9月至2016年5月诊断为先天性脊柱半椎体畸形并进行手术治疗的患儿为研究对象,其纳入标准为:①年龄小于16岁的儿童患者;②X线检查确定为先天性脊柱半椎体畸形,且均为胸、腰段单一半椎体畸形;③所有患者数据均有完整的随访资料;④术前Cobb角 $>40^{\circ}$ 。其排除标准为:①先天性脊柱半椎体 $\geq 2$ 个;②合并脊髓疾病;③既往有脊柱手术史。

最终纳入符合条件的患者40例,其中男24例,女16例,年龄1.5~9岁,平均年龄5.5岁。所有病例均为胸、腰段单一半椎体畸形,术前Cobb角 $40^{\circ}\sim 67^{\circ}$ 。根据患者是否采用3D打印技术辅助治疗分为两组,未使用3D打印辅助技术组(对照组)22例,其中男12例,女10例;使用3D打印辅助技术组(实验组)18例,男10例,女8例。两组在性别、年龄、畸形分型上均无统计学意义,具有可比性。

### 二、术前准备

实验组患者术前行畸形节段三维CT扫描,根据CT数据及成像(图1),通过专业数据转化软件将CT数据转化成3D打印机所特有的数据,等比例打印出需要手术节段模型(图2)。术者在术前直接根据模型的形态,从各个角度进行观察,全面了解半椎体及临近椎体的发育情况,制定手术方案及置钉方案。还可将3D模型进行低温消毒,术中术者直接 $360^{\circ}$ 旋转模型,使其更加准确、有效、快捷及安全地完成手术。对照组按术前CT三维重建影像及术

中C臂机定位,结合解剖结构徒手置钉。

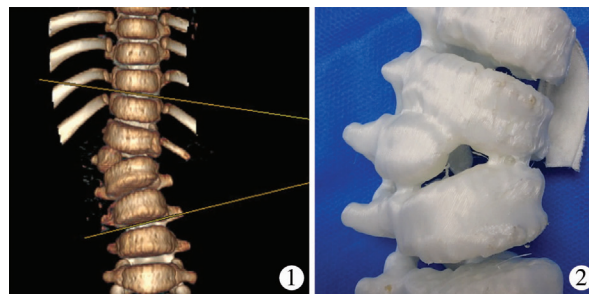


图1 脊柱三维CT重建 图2 椎体3D打印模型

Fig. 1 Three-dimensional CT spinal reconstruction Fig. 2 Vertebral 3D printing model

### 三、手术方法

患者先仰卧位进行全身麻醉,行动、静脉置管,备自体血液回收机,麻醉起效后将患者体位改变为俯卧位,头、胸、腹部下均采用软垫,防止压伤皮肤。连接SEP神经检测,所有患者均在SEP神经监测下进行。麻醉满意后常规消毒,C臂机下定位各个椎体,并进行体表标记。以半椎体为中心,沿背部棘突取纵行切口6~10 cm,逐层暴露椎体棘突及临近解剖结构,对照组患者均由手术医师根据解剖标记、C臂机协助下寻找椎弓根并进行正常椎体的置钉。实验组由手术医师根据解剖标记、C臂、3D模型协助下进行正常椎体的置钉;置钉完毕后,预置短节断连接棒,切除对应半椎体及相应的肋骨头,充分止血后在椎弓根钉之间安置连接棒,凹侧撑开,凸侧加压固定,C臂机下确认脊柱半椎体完整切除,且脊柱侧凸畸形矫正满意后锁定螺钉,冲洗创面,将切除的椎弓根咬碎,混合人造骨后置入椎板周围,逐层缝合后留置皮下引流管1根,结束手术。所有患者均使用同一家公司提供的器械,主刀医师均由我科同一位主任医师完成。

### 四、观察指标

1. 置钉时间:以切开皮肤开始计时,至所有椎弓根钉置入完毕后结束计时,记录该时间段及椎弓根钉数量。最后以各组总时间除以各组置入椎弓根钉数量为相应组椎弓根钉置入时间。

2. 置钉准确率:根据术中C臂X线片,术者对置钉进行评估,评估螺钉是否在椎弓根、是否穿出椎体及椎弓根皮质,手术中是否进行了二次置钉,置钉准确率=一次性置入椎弓根内螺钉的数量/椎弓根螺钉总量 $\times\%$ 。

3. 神经血管损伤情况:所有患者均采用术中SEP神经检测,实时了解有无神经损伤。术者术中确定有无血管损伤,出血情况等进行比对。

## 五、统计学处理

采用 SPSS19.0 统计软件进行分析,计量资料采用  $\bar{x} \pm s$  表示,两组间置钉时间和 Cobb 角度的比较采用独立样本  $t$  检验,组间置钉准确率比较采用  $\chi^2$  检验。检验水准( $P$ )为 0.05。

## 结 果

### 一、两组椎弓根螺钉置钉时间

实验组患者的置钉时间为 5 ~ 8 min, 平均  $(6.12 \pm 1.25)$  min, 对照组患者置钉时间为 10 ~ 15 min, 平均  $(13.75 \pm 2.37)$  min。两组比较, 差异有统计学意义( $t=7.07, P<0.01$ )。

### 二、两组椎弓根置钉准确率

实验组 18 例, 共置入椎弓根螺钉 94 枚, 置钉准确率 94.7% (89/94); 对照组 22 例, 共置入椎弓根螺钉 102 枚置钉准确率 85.3% (87/102); 置钉准确率比较, 差异有统计学意义( $\chi^2=9.822, P<0.01$ )。

### 三、两组椎弓根旁神经血管损伤

所有患者术中行 SEP 神经电生理检测, 术中及术后临床观察均无神经血管损伤发生。

## 讨 论

儿童脊柱半椎体畸形是先天性脊柱侧弯最常见的原因, 占先天性脊柱侧弯畸形的 46%<sup>[2]</sup>。该类疾病为椎体形成障碍中的一种, 尽管支具可以阻止疾病的进展速度, 但效果甚微, 逐渐加重的侧弯畸形最终需要手术矫正。对于先天性脊柱半椎体引起的脊柱侧弯, 目前国内外均建议早期治疗, 并进行短节段的融合固定<sup>[1,3]</sup>。早期切除半椎体, 不仅能够有效矫正局部侧弯后凸畸形, 而且能防止畸形椎体上下代偿性弯曲进一步加重, 还可有效避免因脊柱侧凸加重引起的并发症, 如胸廓畸形导致的心肺功能障碍, 脊髓、神经损害以及骨盆倾斜, 双下肢不等长等; 同时, 一期切除半椎体并短节段的椎体融合对患者脊柱发育影响较小。切除半椎体的手术方式较多, 有单纯切除半椎体而不进行任何内固定, 也有前后联合入路进行半椎体切除。单纯切除半椎体因为术后椎体间不稳定而被逐渐淘汰; 前后联合入路因为创伤大, 且随着后路半椎体切除技术的不断成熟, 前路切开的必要性已经被逐渐否定。目前, 经后路一期切除半椎体并进行短节段固定已成为儿童半椎体切除的公认方法, 创伤小, 且后路

暴露硬脊膜及神经根较清楚, 操作安全性更高<sup>[3]</sup>。

儿童椎体发育非常小, 骨质疏松, 且常伴有需要置钉的椎体发育畸形, 手术中置钉操作难度非常大, 风险较高。Ranade 等对一组儿童椎弓根螺钉置入的准确率进行了术后 CT 评估, 结果误置率达 6.8%<sup>[4]</sup>。Ruf 等对 33 例行半椎体切除、椎弓根内固定融合的病例进行了术后 CT 扫描, 发现 2 例椎弓根爆裂, 3 例置钉错误<sup>[5]</sup>。术中螺钉误置, 存在潜在的神经及脏器损伤的风险, 也必然影响螺钉的固定效果, 特别是儿童, 一次置钉失败后, 再在同一椎弓根内再次置入的可能性较小, 同时延长不必要的固定节段。传统的椎弓根螺钉置入技术依赖于解剖标志的辨识和术者的经验。但是椎弓根的置钉失误率仍然存在, 怎么将这种失误率降到最低、提高置钉准确率及安全性是主刀医师术前、术中考虑的重点问题之一。目前应用于儿童脊柱侧弯手术的置钉技术有 Lenke 提出的徒手置钉技术<sup>[6]</sup>, X 线监视置钉技术、计算机导航辅助置钉技术以及机器人辅助置钉技术等。徒手置钉技术是传统置钉方法之一, 优点是不需要特殊的仪器设备, 术者根据解剖结构置入椎弓根螺钉, 方法简单易懂, 需要术者有非常丰富的经验, 脊柱外科医生在成长过程中发生置钉失误的几率较大<sup>[7]</sup>。术中 X 线监视技术提高了椎弓根螺钉置入的准确性<sup>[8]</sup>; 但对于儿童脊柱疾病, 常常伴有椎体的三维改变, X 线的二维透视无法达到术中想要的结果, 虽然理论上术中 CT 可以更好地了解置钉后的三维情况, 但是术中 CT 普及率不高, 在含有螺钉的情况下伪影较多影响成像效果, 我们还得考虑反复 CT 照射对术者和患者均是一种辐射, 使得这种方法的普及困难。计算机导航系统的应用为椎弓根钉置入提供实时多平面图像, 提高了椎弓根钉置入准确率, 减少了椎弓根钉置入失误的发生, 得到临床研究结果的证实<sup>[9-10]</sup>。但导航系统费用昂贵, 操作时间长、复杂, 相比徒手置钉, 无明显优势, 且在一定程度上使手术时间更长, 增加了术中出血量和发生术后感染的几率<sup>[9,11]</sup>。近年来, 在成人脊柱外科应用机器人置钉逐渐增多, 但是对于儿童脊柱疾病的应用很少, 且机器人辅助系统昂贵, 普及尚存困难。

3D 打印技术在各个行业的应用目前已经趋于成熟, 在医学领域主要用于教学、手术规划或练习, 生物材料、生物化学物质和细胞为基础制造的生物 3D 打印。3D 在脊柱外科中的应用也逐渐增多, 但都应用于成人<sup>[11]</sup>, 在儿童鲜有报道。本研究中实验

组病例术前根据畸形椎体及周围椎体的CT数据通过3D打印机打印出拟手术节段的脊柱模型,获得半椎体及上下相邻椎体每个椎弓根的三维形态,给术者提供术前及术中的手术“标本”,使术者明确该椎弓根的形态走形,了解三维形态,选择适合置钉的椎弓根及置入螺钉的直径、长度,直观显示病变椎弓根的部位、周围及局部解剖情况;术后X线随访显示,94枚螺钉长度合适,所有钉头刚好穿透椎体前方皮质骨,既保证了置钉椎体融合的效果,又保证了手术安全,与对照组相比,在手术置钉时间、置钉准确率上均效果显著。从而我们认为:3D打印技术在儿童先天性脊柱半椎体中的应用效果较为乐观,可以通过术前设计制定置钉方案,术中根据手术发现及时参考3D模型,能够更精确把握螺钉的位置、方向及角度,且操作简单,可以有效提高置钉成功率,缩短手术时间,特别是对于徒手置钉缺乏经验的脊柱外科医师提供了参考,是脊柱外科医师成长中的又一重要辅助工具。当然,我们对于3D打印在儿童脊柱手术中的应用尚处于探索阶段,需要进一步实践与应用。

### 参考文献

- Ruf M, Harms J. Posterior hemivertebra resection with transpedicular instrumentation; early correction in children aged 1 to 6 years[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2003, 28(18): 2132-8. DOI: 10.1097/01.BRS.0000084627.57308.4A.
- Mladenov K, Kunkel P, Stuecker R. Hemivertebra resection in children, result after single posterior approach and after combined anterior and posterior approach: a comparative study[J]. Eur Spine J, 2012, 21(3): 506-13. DOI: 10.1007/s00586-011-2010-4.
- 宿玉玺, 谢燕, 覃佳强, 等. I期后入路楔形切除手术治疗低龄儿童半椎体畸形[J]. 临床小儿外科杂志, 2015, 14(3): 164-167. DOI: 10.3969/j.issn.1671-6353.2015.03.002.
- Su YX, Xie Y, Qing JQ, et al. Stage I posterior route wedge resection of hemivertebra in young children[J]. J Clin Ped Sur, 2015, 14(3): 164-167.
- Ranada A, Samdani AF, Williams R, et al. Feasibility and accuracy of pedicle screws in children younger than eight years of age[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2009, 34(26): 2907-2911. DOI: 10.1097/BRS.0b013e3181b77af3.
- Ruf M, Jensen R, Jeszenszky D, et al. Hemivertebra resection in congenital scoliosis-early correction in young children[J]. Z Orthop Ihre Grenzgeb, 2006, 144(1): 74-79. DOI: 10.1055/s-2006-921417.
- Kim YJ, Lenke LG. Thoracic pedicle screw placement; free hand technique[J]. Neurol India, 2005, 53: 512-519. DOI: 10.4103/0028-3886.22622.
- 陈克冰, 刘少喻, 李浩森, 等. 球形探针技术在椎弓根螺钉置钉术中的应用[J]. 中华骨科杂志, 2011, 31(12): 1314-1318. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0253-2352.2011.12.004.
- Chen KB, Liu SY, Li HS, et al. Application of spherical probe technique during pedicle screw fixation[J]. Chinese Journal of Orthopedics, 2011, 31(12): 1314-1318. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0253-2352.2011.12.004.
- Lee SH, Kim KT, Suk KS, et al. Assessment of pedicle perforation by the cervical pedicle screw placement using plain radiographs: a comparison with computed tomography[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2012, 37(4): 280-5. DOI: 10.1097/BRS.0b013e31822338ad.
- 叶斌, 梦祥龙, 刘玉增, 等. 徒手置钉技术在脊柱畸形矫正中的准确性与安全性研究[J]. 脊柱外科杂志, 2014, 12(1): 25-34. DOI: 10.3969/j.issn.1672-2957.2014.01.006.
- Ye B, Meng XL, Liu YZ, et al. Accuracy and safety of manual stapling technique in the correction of spinal deformity[J]. Journal of Spinal Surgery, 2014, 12(1): 25-34.
- 张啟维, 张耀南, 孙常太, 等. 计算机导航下椎弓根置钉与徒手置钉的对比[J]. 中国组织工程研究, 2013, 17(9): 1579-1585. DOI: 10.3969/j.issn.2095-4344.2013.09.009.
- Zhang QW, Zhang YN, Sun CT, et al. Comparison of pedicle screw placement with computer navigation versus manual handling[J]. Chinese Tissue Engineering Research, 2013, 17(9): 1579-1585.
- 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. DOI: 10.16781/j.0258-879x.2016.02.0231.
- Li YM, Li M, Zhang GY, et al. Application of 3D printing in correcting scoliosis[J]. Journal of Second Military Medical University, 2016, 37(2): 231-235. DOI: 10.16781/j.0258-879x.2016.02.0231.

(收稿日期:2017-08-22)

**本文引用格式:**蔡文全, 姚瑞翔, 覃佳强, 等. 3D打印技术在儿童先天性脊柱半椎体手术治疗中的应用研究[J]. 临床小儿外科杂志, 2018, 17(4): 259-262. DOI: 10.3969/j.issn.1671-6353.2018.04.005.

**Citing this article as:** Cai WQ, Yao RX, Qin JQ, et al. Application of three-dimensional printing for congenital hemivertebra[J]. J Clin Ped Sur, 2018, 17(4): 259-262. DOI: 10.3969/j.issn.1671-6353.2018.04.005.