

## 临床论著

## 传统寰枢椎后路椎弓根螺钉置钉技术和个性化导向模板辅助置钉技术的临床对比研究

袁振山, 胡 勇, 董伟鑫, 孙肖阳, 朱秉科, 赖欧杰

(宁波大学医学院附属宁波市第六医院脊柱外科 315040 宁波市)

**【摘要】目的:**比较传统置钉技术与个性化导向模板辅助置钉技术手术治疗寰枢椎不稳症的置钉准确性。**方法:**回顾性分析 2011 年 6 月~2017 年 7 月我科收治的寰枢椎不稳症患者 56 例(男 33 例,女 23 例),男性年龄  $56.8 \pm 8.9$  岁(36~71 岁),女性年龄  $54.5 \pm 10.8$  岁(33~72 岁),其中 30 例行传统寰枢椎后路椎弓根螺钉内固定植骨融合术(对照组),26 例行个性化定点-定向导向模板辅助寰枢椎椎弓根螺钉内固定植骨融合术(观察组)。寰椎和枢椎定点导板均有长条状扶手设计。术后 3d 复查 CT 评估寰椎和枢椎螺钉置入的安全性,并将螺钉位置分为 4 级:0 级,螺钉完全位于骨性钉道内;1 级,在横断面或矢状面上,螺钉直径穿破骨皮质  $\leq 50\%$ ;2 级,在横断面或矢状面上,螺钉直径穿破骨皮质  $> 50\%$ ;3 级,螺钉直径完全穿破骨皮质。比较两组螺钉安全率(0 级设为安全,1~3 级设为存在风险)、手术时间、术中透视次数以及术中出血量。**结果:**寰椎椎弓根螺钉对照组 0 级 48 枚、1 级 7 枚、2 级 2 枚、3 级 1 枚,观察组 0 级 49 枚、1 级 2 枚、2 级 1 枚、3 级 0 枚,各级组间比较均无明显差异。枢椎椎弓根螺钉对照组 0 级 53 枚、1 级 6 枚、2 级 1 枚、3 级 0 枚,观察组 0 级 48 枚、1 级 2 枚、2 级 0 枚、3 级 0 枚,各级组间比较均无明显差异( $P > 0.05$ )。螺钉安全率对照组及观察组组间比较存在差异( $P = 0.019$ );平均手术时间对照组  $109.2 \pm 17.1$  min,观察组  $115.2 \pm 16.6$  min,两组间比较存在差异( $P = 0.009$ );平均透视次数对照组  $12.50 \pm 1.95$  次,观察组  $6.85 \pm 2.44$  次,两组间比较存在差异( $P < 0.0001$ );平均术中出血对照组  $198.1 \pm 108.3$  ml,双导板组  $160.3 \pm 135.4$  ml,两组间比较无明显差异( $P = 0.216$ )。患者术后随访时间 14~26 个月( $19.4 \pm 4.1$  个月),所有病例行寰枢椎后路术后均获得融合。**结论:**改良个性化导向模板辅助寰枢椎椎弓根螺钉置钉技术比传统置钉技术更能有效减少术中 X 线透视次数并提高临床手术置钉的准确性。

**【关键词】** 个性化导向模板;3D 打印;寰枢椎;椎弓根螺钉

doi:10.3969/j.issn.1004-406X.2019.11.01

中图分类号:R687.3 文献标识码:A 文章编号:1004-406X(2019)-11-0961-08

**A comparative study on the safety of atlantoaxial pedicle screw placement between free-hand technique and personalized 3D template technique in patients with atlantoaxial instability/YUAN Zhenshan, HU Yong, DONG Weixin, et al/Chinese Journal of Spine and Spinal Cord, 2019, 29(11): 961-968**

**【Abstract】 Objectives:** To compare the accuracy of traditional screw placement technique and improved personalized template assisted screw placement technique in the treatment of atlantoaxial instability. **Methods:** From June 2011 to July 2017, 56 patients (male 33, female 23) with atlantoaxial instability were analyzed retrospectively. The average age was  $56.8 \pm 8.9$  years(36-71 years) for male and  $54.5 \pm 10.8$  years (33-72 years) for female. The follow-up time was 14-26 months( $19.4 \pm 4.1$  months). A total of 30 patients underwent traditional posterior atlantoaxial pedicle screw internal fixation and fusion (control group), while the other 26 patients underwent atlantoaxial pedicle screw internal fixation and bone fusion assisted by personalized pointing and drilling template(test group). The pointing template of atlas and axis are designed with handrails. Three days after operation, all patients underwent CT reexamination to evaluate the safety of screw placement in atlas and axis, and the screw position was categorized into four grades: grade 0, the screw was completely located in the pedicle; grade 1, in the cross section or sagittal plane, the screw penetrated the osseous cortex

基金项目:浙江省自然科学基金(编号:LY18H060006)

第一作者简介:男(1987-),硕士研究生,主治医师,研究方向:脊柱外科

电话:(0574)87996103 E-mail:yuanzhenshan2011@hotmail.com

通信作者:胡勇 E-mail:huyong610@163.com

$\leq 50\%$ ; grade 2, in the cross section or sagittal plane, the screw penetrated the osseous cortex  $>50\%$ ; grade 3, the screw completely penetrated the osseous cortex. Grade 0 was set as safety, and grade 1–3 was set as risk. The safety rate of screws, operation time, the times of intraoperative fluoroscopy and the amount of intraoperative hemorrhage were compared between the two groups. **Results:** As for C1 screw, there were 48 screws of grade 0, 7 screws of grade 1, 2 screws of grade 2 and 1 screw of grade 3 in the control group, while 49 screws of grade 0, 2 screws of grade 1, 1 screw of grade 2 and 0 screw of grade 3 in the test group. There was no statistically significant difference ( $P>0.05$ ) in each grade of screw classification between the two groups at C1 level. As for C2 screw, 53 screws of grade 0, 6 screws of grade 1, 1 screw of grade 2 and 0 screw of grade 3 in the control group, while 48 screws of grade 0, 2 screws of grade 1, 0 screw of grade 2 and 0 screw of grade 3 in the test group. There was no statistically significant difference in each grade of screw classification between the two groups at C2 level ( $P>0.05$ ). Significant statistical difference between the two groups was found in the safety rate of screws ( $P=0.019$ ). For the control group and the test group, the average operation time was  $109.2\pm 17.1\text{min}$  and  $115.2\pm 16.6\text{min}$  respectively, with significant differences ( $P=0.009$ ), and the average number of fluoroscopy was  $12.50\pm 1.95$  and  $6.85\pm 2.44$  respectively, with significant differences ( $P<0.0001$ ). The average intraoperative hemorrhage was  $198.1\pm 108.3\text{ml}$  in the control group and  $160.3\pm 135.4\text{ml}$  in the double guide plate group, with no significant difference between the two groups ( $P=0.216$ ). All cases obtained fusion after posterior atlantoaxial approach operation at the last follow up. **Conclusions:** Improved personalized template assisted screw placement technique can effectively reduce the times of X-ray fluoroscopy, and it can be more accurate than free-hand technique in atlantoaxial pedicle screw placement in clinics.

**[Key words]** Personalized; 3D printing; Atlanto-axial; Pedicle screws

**[Author's address]** Department of Spine Surgery, Ningbo No.6 Hospital Affiliated to Medical College of Ningbo University, Ningbo, 315040, China

寰枢椎后路椎弓根螺钉置钉技术最早由 Resnick 等提出<sup>[1,2]</sup>,因其具有良好的生物力学性能和较高的骨性融合率<sup>[3-5]</sup>,被逐渐应用于治疗寰枢椎不稳症。然而寰枢椎与下颈椎解剖结构差异较大,置钉过程中钉道容易发生偏差,存在较高的神经血管损伤的风险<sup>[6,7]</sup>。3D 打印导向模板寰枢椎后路椎弓根螺钉辅助置钉技术是一项用于提高螺钉置钉精确度的方法<sup>[8,9]</sup>。3D 打印双导板技术更加优化了其操作步骤,使得术者更加容易使用这项技术<sup>[10]</sup>,但该技术仍然存在影响其置钉准确性的因素<sup>[8,9]</sup>。上颈椎后路手术视野较窄,操作范围有限。在助手固定定点导板时,会影响术者磨钻的操作。本研究中寰椎和枢椎定点导板设计有长柄扶手,在使用时可减少对术者视野的影响。本研究主要目的是为了比较传统置钉技术与个性化“定点-定向”双导板辅助寰枢椎椎弓根螺钉技术在寰枢椎不稳症手术中应用的安全性。

## 1 资料与方法

### 1.1 一般资料

回顾性分析 2011 年 6 月~2017 年 7 月我院

收治的寰枢椎不稳症患者 56 例(男 33 例,女 23 例),均有明显外伤史,交通伤 29 例,高处坠落伤 15 例,摔伤 12 例。其中 2 例寰椎横韧带断裂(Dickman I 型),6 例寰椎粉碎性骨折合并寰椎侧块内侧骨性结构附着处横韧带撕裂(Dickman II 型),II 型齿状突骨折伴寰枢关节不稳 28 例,陈旧性齿状突骨折伴骨不愈合 14 例,游离齿状突伴寰枢关节脱位 5 例,齿状突缺如伴寰枢关节不稳症 1 例。患者均存在不同程度的感觉运动功能障碍。其中 30 例患者(18 例男性,12 例女性)采用传统寰枢椎椎弓根螺钉置钉技术置入 118 枚椎弓根螺钉(对照组),2 枚寰椎螺钉因置入困难改用寰椎侧块螺钉。26 例患者(15 例男性,11 例女性)采用 3D 打印双导板辅助寰枢椎椎弓根螺钉置钉技术置入 102 枚椎弓根螺钉(观察组),2 枚枢椎螺钉因椎弓根困难置钉术中改用枢椎椎板螺钉。对照组年龄  $57.1\pm 8.7$  岁(36~72 岁),观察组年龄  $54.5\pm 10.7$  岁(33~71 岁)。

### 1.2 个性化导向模板的制作

颈椎 CT 扫描(Philips Brilliance 64 CT, 荷兰 Philips 公司,CT 扫描参数为:层厚 1mm,层间

距 0.5mm, 螺距 0.938, 球管电压 120kV, 电流 280mA, 窗宽 1000, 窗位 300)。术前行 CT 扫描(图 1a~c), 获取原始数据以 DICOM 格式导入三维重建软件 Mimics10.01 (比利时 Materialise 公司), 首先运用阈值选取技术, 获得寰枢椎原始蒙罩。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 Med CAD 模块中, 用 3.5~4mm 直径的圆柱体代替螺钉, 进行寰枢椎后路椎弓根螺钉钉道轨迹的设计(图 1d~g), 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寰枢椎相应骨性结构的位置关系, 进而完成寰枢椎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, 转动三维结构, 从各个角度观察钉道是否穿破骨皮质, 分别在寰枢椎椎弓根螺钉通过危险处做点云剖面图, 并根据剖面 and 三维结构观察结果对钉道做适当的微调, 以确保寰枢椎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 2.7mm, 并将导板钉道外径设为 5.7mm, 高度设为 15mm, 以完成导向模板定向管的设计。然后, 提取寰枢椎后方对应骨性表面解剖数据, 并将其做反向增厚 2.5mm 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寰枢椎椎弓根螺钉个体化导航模板。布尔运算后, 贯通导板钉道, 最后对边界进行修整, 完成定向导板的设计制作 (图 1h~j); 另外去除定向管道, 仅留下基板部分和 2.7mm 直径的定向孔, 并在导板后方设计高度为 10cm 左右的手柄完成定点导板的设计 (图 1k)。利用光敏树脂材料, 通过光固化成型技术 (stereo lithography apparatus, SLA) 将个体化实物模板和寰枢椎三维实体模型生产出来。通过寰枢椎实体模型验证快速成型导向模板和寰枢椎后部对应骨性结构表面贴合平稳。

### 1.3 手术操作

对照组置钉方法需要术前观察影像学资料, 观察各钉道解剖走向。其中寰枢椎椎弓根螺钉置钉方法参考 Tan 等<sup>[1]</sup>文章描述, 进钉点选在距寰枢椎后结节 18~20mm 的后弓处 (宽窄交界处), 枢椎椎弓根螺钉置钉方法参考 Resnick 等<sup>[2]</sup>的方法, 进钉

点位于枢椎侧块的中央垂直线的中点。置钉过程中通过探针判断钉道是否穿破骨皮质, 并用 C 型臂 X 线机评估螺钉的位置并作及时的调整。

观察组的寰枢椎椎弓根螺钉置钉方法参考对照组中使用的技术。寰枢椎椎弓根螺钉钉道最大安全深度: 寰枢椎椎弓根螺钉进钉点与钉道恰好穿破腹侧皮质骨点的距离; 最终进钉点需要根据钉道调整到最佳安全位置后确定。钉道方向以通过寰枢椎椎弓根最中心处为标准, 且不穿破骨皮质。在 UG Imageware 中测量进钉深度, 选取合适长度的螺钉。置入的螺钉直径均为 3.5~4mm 钛质皮质骨螺钉 (VERTEX, 美国枢法模公司)。手术均统一由同一位脊柱外科主任医师进行操作。导板辅助固定均由同一位脊柱外科主治医师进行操作。两位医师均在体外标本试验中进行配合训练。

全身麻醉, 术中颅骨牵引 2~3kg, 俯卧位、后正中入路, 充分显露拟手术节段后方结构至两侧预定范围。患者后方解剖结构显露清楚后, 先将定点导板贴附于相应的寰椎后弓、枢椎椎板棘突上, 助手把持模板并维持其在寰椎后弓、枢椎椎板和棘突上的稳定性, 术者手持磨钻 (钻头直径 2.6mm) 将进钉点骨皮质磨去, 更换成定向导板, 助手辅助固定导板, 术者手持低速电钻缓缓钻入一侧定向孔通道预定深度, 留置直径 2.6mm 的克氏针将导板和寰枢椎后表面固定, 沿对侧定向孔钻入预定深度。随后撤出钻头, 取下导板、攻丝后, 探针探测钉道四壁一底骨性结构, 确保安全后将适宜长度和直径的螺钉缓慢拧入两侧钉道。术中留置克氏针和拧入螺钉后利用 C 型臂 X 线机透视确认钉道的安全性 (图 2)。

### 1.4 螺钉准确性评估

所有患者术后 3d 均复查颈椎 CT+三维重建 (图 3)。将螺钉位置分为 4 级: 0 级, 螺钉完全位于骨性钉道内; 1 级, 在横断面或矢状面上, 螺钉直径穿破骨皮质  $\leq 50\%$ ; 2 级, 在横断面或矢状面上, 螺钉直径穿破骨皮质  $> 50\%$ ; 3 级, 螺钉直径完全穿破骨皮质。计算螺钉安全率, 0 级为安全, 1~3 级存在风险。

### 1.5 统计学分析

应用 SPSS 21.0 统计软件, 对照组和观察组两组螺钉各级比较用卡方检验, 不符合卡方检验使用条件的用矫正卡方和 Fisher 精确概率法计算,  $P < 0.05$  为差异有统计学意义。两组手术时间、

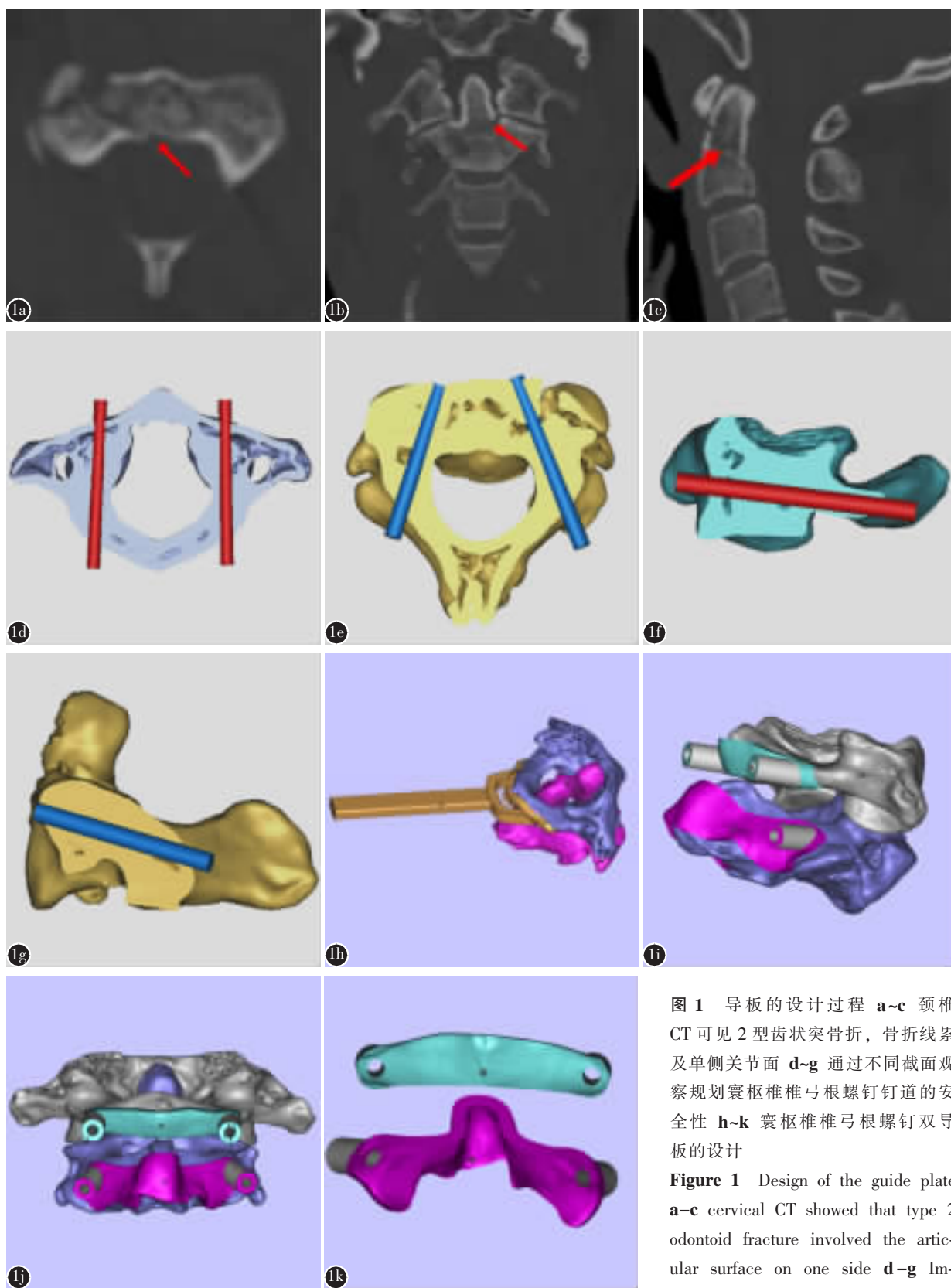


图 1 导板的设计过程 a~c 颈椎 CT 可见 2 型齿状突骨折，骨折线累及单侧关节面 d~g 通过不同截面观察规划寰枢椎椎弓根螺钉钉道的安全性 h~k 寰枢椎椎弓根螺钉双导板的设计

**Figure 1** Design of the guide plate a~c cervical CT showed that type 2 odontoid fracture involved the articular surface on one side d~g Images of consecutive sections were

used to ensure the safety of planned atlantoaxial pedicle screw channel h~k Double guide plate design of atlantoaxial pedicle screw

透视次数、术中出血均采用独立样本  $t$  检验,  $P < 0.05$  为差异有统计学意义。

## 2 结果

对照组共置入寰椎螺钉 60 枚, 其中 54 枚椎弓根螺钉顺利安全置入, 4 枚椎弓根螺钉通过调整后置入, 2 枚术中改用侧块螺钉; 共置入枢椎螺钉 60 枚, 其中 57 枚椎弓根螺钉顺利安全置入, 3 枚椎弓根螺钉通过调整后置入。观察组共置入寰椎螺钉 52 枚, 其中 48 枚椎弓根螺钉顺利安全置入, 4 枚椎弓根螺钉通过调整后置入; 共置入枢椎螺钉 52 枚, 其中 50 枚椎弓根螺钉顺利安全置入, 2 枚术中改用椎板螺钉。寰椎椎弓根螺钉位置分级对照组和观察组组间比较均无明显差异, Fisher 确切概率结果  $P=0.289$ 。枢椎椎弓根螺钉位置分级对照组、观察组各级组间比较均无明显差异, Fisher 确切概率结果  $P=0.366$  (表 1)。对照组及观

察组置钉安全率存在统计学差异 ( $P=0.019$ )。两组手术情况比较见表 2, 手术时间存在统计学差异 ( $P=0.009$ ), 透视次数存在统计学差异 ( $P < 0.0001$ ), 术中出血量无统计学差异 ( $P=0.216$ )。随访时间 14~26 个月 ( $19.4 \pm 4.1$  个月)。末次随访时, 所有患者行寰枢椎后路术后均获得融合。

## 3 讨论

寰枢椎后路椎弓根螺钉置钉难点主要在于其复杂的骨性解剖结构和周围重要的神经血管结构。传统寰枢椎后路椎弓根螺钉置钉方法依靠术前 CT 断面、三维重建图像和术中有限的骨性解剖标记来完成置钉, 在一定程度上可称为个体化置钉, 其螺钉穿破钉道骨皮质率 29%~47%<sup>[12,13]</sup>。近年来, 3D 打印技术在脊柱外科的应用越来越广泛, 方法和适应证也逐步得到完善<sup>[14-18]</sup>。改良个性化导向模板辅助寰枢椎椎弓根螺钉技术是一种基

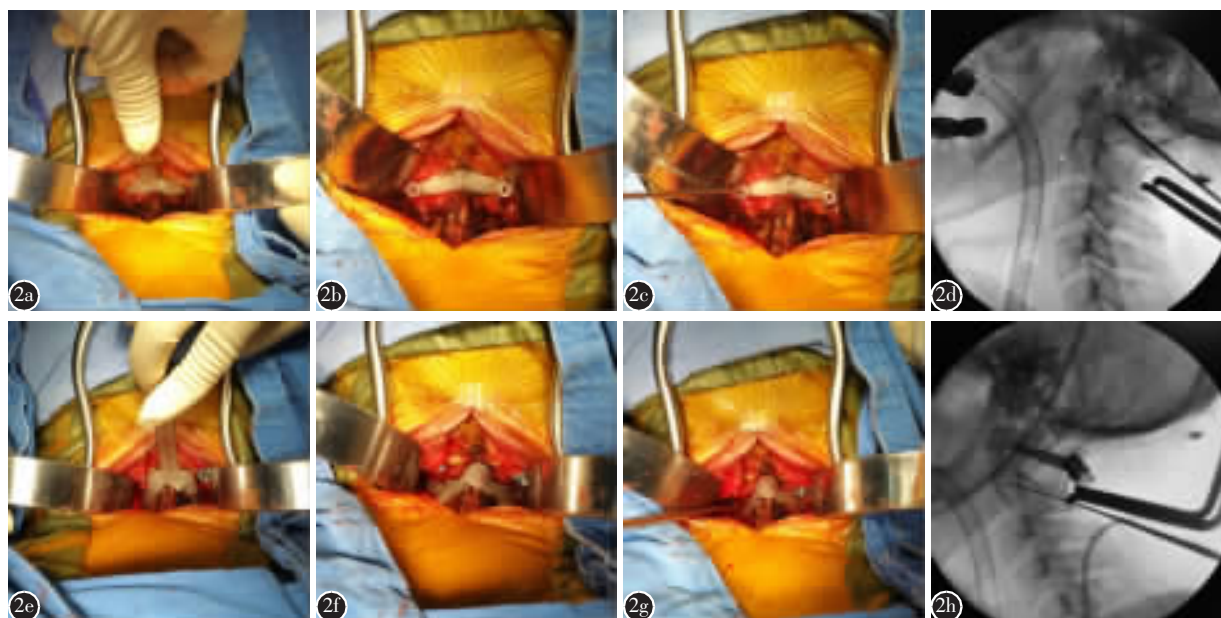


图 2 术中导板辅助操作具体步骤 a 寰椎定点导板敷贴于相应骨面上, 建立进钉点 b 寰椎定向导板敷贴于相应骨面上, 建立钉道 c 留置单侧克氏针固定寰椎导板 d 术中透视判断寰椎导板引导下克氏针的位置 e 枢椎定点导板敷贴于相应骨面上 f 枢椎定向导板敷贴于相应骨面上 g 留置单侧克氏针固定枢椎导板 h 术中透视判断枢椎导板引导下克氏针的位置

**Figure 2** The use of guide plate in surgery a Pointing guide plate of atlas is deployed on the corresponding bone surface to establish the entry point b Fix the drilling guide plate of atlas on the corresponding bone surface to establish the screw trajectory c Use a Kirschner wire to fix the guide plate of atlas on one side d Confirm position of K wire under the guidance of guide plate of atlas radiologically e Fixed-point guide plate of axis is deployed on the corresponding bone surface f Fixed-point guide plate of axis is deployed on the corresponding bone surface g The Kirschner wire was left to fix the guide plate of the axis on one side h The position of K wire guided by the guide plate of the axis was determined by fluoroscopy during operation

于三维重建、逆向工程、3D 打印多学科交叉辅助的新技术,能够从技术上实现个体化的精确置钉。基础研究表明导板辅助置钉能够提高置钉的准确性<sup>[8]</sup>。改良个性化导向模板辅助寰枢椎后路椎弓根螺钉置钉技术是在单导板辅助置钉技术的基础

之上,优化了置钉步骤,减少导板晃动,提高导板使用的稳定性。定点导板在磨钻的配合下在对应进钉点位置磨去骨皮质,并通过定向导板建立钉道。在保证导板稳定使用的同时,提高了置钉准确性<sup>[10]</sup>。

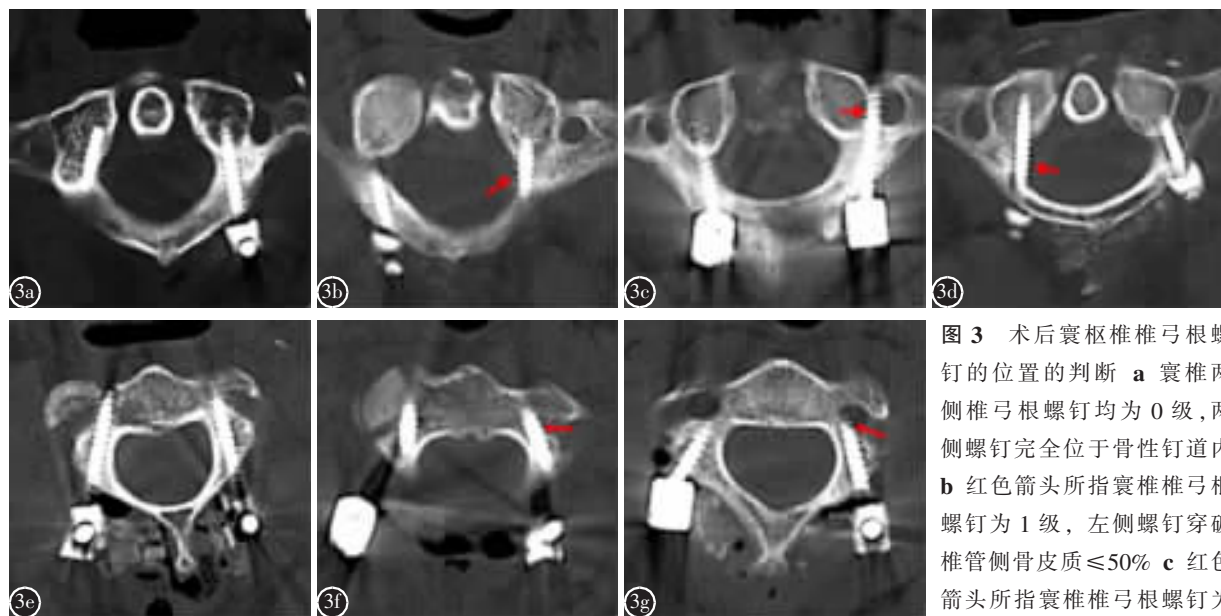


图 3 术后寰枢椎椎弓根螺钉的位置的判断 a 寰椎两侧椎弓根螺钉均为 0 级,两侧螺钉完全位于骨性钉道内 b 红色箭头所指寰椎椎弓根螺钉为 1 级,左侧螺钉穿破椎管侧骨皮质 $\leq 50\%$  c 红色箭头所指寰椎椎弓根螺钉为 2 级,左侧螺钉穿破椎动脉孔

侧骨皮质 $>50\%$  d 红色箭头所指寰椎椎弓根螺钉为 3 级,右侧螺钉完全穿破椎管侧骨皮质 e 枢椎两侧椎弓根螺钉均为 0 级,两侧螺钉完全位于骨性钉道内 f 红色箭头所指枢椎椎弓根螺钉为 1 级,左侧螺钉穿破椎动脉孔侧骨皮质 $\leq 50\%$  g 红色箭头所指枢椎椎弓根螺钉为 2 级,左侧螺钉穿破椎动脉孔侧骨皮质 $>50\%$

**Figure 3** CT+3D reconstruction of the cervical spine to determine the position of atlantoaxial pedicle screw **a** The pedicle screws on both sides of the atlas are grade 0, the screws on both sides were completely positioned in the osseous nailway **b** The red arrow refers to grade 1, less than 50% of the left screw penetrated the cortex near the spinal canal **c** The red arrow refers to grade 2, more than 50% of the left screw penetrated the cortex near the vertebral artery **d** The red arrow refers to grade 3, The right screw completely penetrated the cortex into the vertebral canal **e** The two sides of the axis were grade 0, the screws on both sides are completely positioned in the osseous nailway **f** The red arrow refers to grade 1, less than 50% of the left screw penetrated the cortex near the vertebral artery **g** The red arrow refers to grade 2, more than 50% of the left screw penetrated the cortex near the vertebral artery

表 1 两组寰枢椎后路椎弓根螺钉的偏差情况

Table 1 Comparison of atlantoaxial posterior pedicle screw deviation between the two groups

|            | 寰椎<br>Atlas                 |                   |                          |                   | 枢椎<br>Axis                  |                   |                          |                   |
|------------|-----------------------------|-------------------|--------------------------|-------------------|-----------------------------|-------------------|--------------------------|-------------------|
|            | 对照组 (n=58)<br>Control group |                   | 观察组 (n=52)<br>Test group |                   | 对照组 (n=60)<br>Control group |                   | 观察组 (n=50)<br>Test group |                   |
|            | 数量(n)<br>Number             | 百分比(%)<br>Percent | 数量(n)<br>Number          | 百分比(%)<br>Percent | 数量(n)<br>Number             | 百分比(%)<br>Percent | 数量(n)<br>Number          | 百分比(%)<br>Percent |
| 0级 Grade 0 | 48                          | 82.8              | 49 <sup>①</sup>          | 94.3              | 53                          | 88.3              | 48 <sup>①</sup>          | 96                |
| 1级 Grade 1 | 7                           | 12.1              | 2 <sup>①</sup>           | 3.8               | 6                           | 10                | 2 <sup>①</sup>           | 4                 |
| 2级 Grade 2 | 2                           | 3.4               | 1 <sup>①</sup>           | 1.9               | 1                           | 1.7               | 0 <sup>①</sup>           | 0                 |
| 3级 Grade 3 | 1                           | 1.7               | 0 <sup>①</sup>           | 0                 | 0                           | 0                 | 0                        | 0                 |

注:①与对照组比较  $P>0.05$

Note: ①Compared with control group,  $P>0.05$

参考 Miyamoto 等<sup>[19]</sup>、Yukawa 等<sup>[20]</sup>提出的颈椎螺钉分级评估系统,通过观察螺钉在 CT 横断面和矢状面的位置来评估螺钉的安全性,本研究传统置钉的安全率是 85.6%,术中调整 4 枚螺钉,出现 1 枚严重偏内的螺钉,但该患者并未出现明显的神经损伤的并发症,术后 5 年我们将其螺钉取出。本研究中对对照组并没有出现明显的神经血管并发症。观察组螺钉安全率为 95.1%。5 枚非 0 级螺钉存在偏差,且术中有 4 枚螺钉因导板位置欠佳引起偏差,最后通过调整导板重新将螺钉置入。手术时间两者存在统计学差异,在术前的准备上,观察组所需要的时间多于对照组。因此双导板技术并不适用于急诊手术。为了更好地将导板稳定敷贴于对应骨性结构表面,术者需要将骨表面软组织尽可能地暴露,相应的出血量将会比对照组要多,而对照组中置钉难度相对较大,需要增加透视次数来进一步确定钉道位置,增加了术中置钉过程中的出血时间,因此两者总的出血量没有统计学差异。切除技术术中需要通过 X 线透视仪器反复确认钉道的安全性,透视次数明显高于观察组,两者存在统计学差异。比较两组各级组间螺钉的数据并没有统计学差异,但比较两组 0 级和非 0 级螺钉的数据存在统计学差异。

3D 打印导向模板辅助置钉技术临床应用的争论点:(1)CT 检查时患者体位和术中体位的不同是否会影响螺钉通道的吻合率。目前临床上应用较多的是单节段式设计,即根据每个对应节段的解剖标记设计导板,体位的改变并不会影响到单独椎体的解剖结构,因此单节段导板设计不会因为体位的不同而受到影响;而覃炜等<sup>[21]</sup>将寰枢椎后路椎弓根螺钉导板设计成双节段一体式,不同的体位导致寰椎和枢椎相对位置变化,进而影响双节段一体式导板在临床应用时的准确性,其

精度易受影响。(2)如何能保证导板与骨性标志的敷贴率。理论上通过逆向工程原理,可以制作出完全服帖的导板,目前导板实体化的误差较小,但在实际应用中还需要考虑非骨性组织的充分剔除和导板骨面接触部分设计的合理性。部分病例枢椎可能会出现复杂的椎板棘突结构,影响导板的使用。Hu 等<sup>[15]</sup>提出将棘突接触部分做部分抬高处理,使导板能够顺利地固定在预定位置。另外术中也需要充分地剔除预定骨性标志表面的软组织,这样才能保证导板的敷贴程度,减少钉道的偏移。(3)对于不同体型的患者,寰椎骨质结构不同,有的寰椎椎弓根非常细小,甚至无法置钉,这种情况下导板的使用是否仍具有优势。相较于脊柱其他节段,导板技术在寰椎的应用是比较困难的。即使是寰椎后弓导板贴合面相对较大的病例。假如遇到寰椎椎弓根非常细小甚至无法置钉,只能将椎弓根螺钉,改为半椎弓根螺钉或者侧块螺钉,相应导板的设计与传统的导板设计不同,基板部分仍以贴合细小狭长的寰椎后弓为主,而导向管需要设计在基板的下方瞄准侧块或半椎弓根螺钉的钉道方向。此类设计导板稳定性在术中相对不稳定,但是对于帮助术者初步判断进钉点和钉道方向有一定的优势。

综上所述,传统寰枢椎后路椎弓根螺钉技术是一项成熟准确的置钉技术。而改良个性化导向模板辅助寰枢椎后路椎弓根螺钉技术能够在一定条件下表现出更好的准确性和安全性。

#### 4 参考文献

1. Resnick DK, Benzel EC. C1-C2 pedicle screw fixation with rigid cantilever beam construct: case report and technical note [J]. Neurosurgery, 2002, 20(2): 426-428.
2. Resnick DK, Lapsiwala S, Trost GR. Anatomy suitability of the C1-C2 complex for pedicle screw fixation[J]. Spine(Phila Pa 1976), 2002, 27(14): 1494-1498.
3. Cacciola F, Phalke U, Goel A. Vertebral artery in relationship to C1-C2 vertebrae: an anatomical study[J]. Neurology India, 2004, 52(2): 178-184.
4. Gebauer M, Barvencik F, Briem D, et al. Evaluation of anatomic landmarks and safe zones for screw placement in the atlas via the posterior arch[J]. Eur Spine J, 2010, 19(1): 85-90.
5. Lapsiwala SB, Anderson PA, Oza A, et al. Biomechanical comparison of four C1 to C2 rigid fixative techniques: anterior transarticular, posterior transarticular, C1 to C2 pedicle, and C1 to C2 intralaminar screws[J]. Neurosurgery, 2006, 58

表 2 手术一般情况比较 ( $\bar{x} \pm s$ )

Table 2 Comparison of general conditions

|                                  | 对照组 (n=30)<br>Control group | 观察组 (n=26)<br>Test group |
|----------------------------------|-----------------------------|--------------------------|
| 手术时间 (min)<br>Operation time     | 109.2±17.1                  | 115.2±16.6 <sup>①</sup>  |
| 透视次数 (次)<br>Times of fluoroscopy | 12.50±1.95                  | 6.85±2.44 <sup>①</sup>   |
| 术中出血 (ml)<br>Blood loss          | 198.1±108.3                 | 160.3±135.4 <sup>②</sup> |

注:①与对照组比较  $P<0.05$ ;②与对照组比较  $P>0.05$

Note: ①Compared with control group,  $P<0.05$ ; ②Compared with control group,  $P>0.05$

- (3): 516–521.
6. Yeom JS, Kafle D, Nguyen NQ, et al. Routine insertion of the lateral mass screw via the posterior arch for C1 fixation: feasibility and related complication[J]. *Spine J*, 2012, 12(6): 476–483.
7. Lee SH, Kim ES, Sung JK, et al. Clinical and radiological comparison of treatment of atlantoaxial instability by posterior C1–C2 transarticular screw fixation or C1 lateral mass–C2 pedicle screw fixation[J]. *J Clin Neurosci*, 2010, 17(7): 886–892.
8. 胡勇, 袁振山, 谢辉, 等. 快速成型导向模板辅助下寰枢椎椎弓根螺钉置钉的偏差因素分析[J]. *中华医学杂志*, 2013, 93(33): 2659–2663.
9. 胡勇, 袁振山, 董伟鑫, 等. 数字化导向模板技术辅助置钉治疗寰枢椎不稳的临床应用[J]. *中华创伤杂志*, 2014, 30(8): 768–773.
10. 胡勇, 袁振山, 董伟鑫, 等. 个性化 3D 打印“定点-定向”双导板辅助寰枢椎后路椎弓根螺钉置钉技术的安全性和准确性[J]. *中华创伤杂志*, 2016, 32(1): 27–34.
11. Tan M, Wang H, Wang Y, et al. Morphometric evaluation of screw fixation in atlas via posterior arch and lateral mass[J]. *Spine*, 2003, 28(9): 888–895.
12. Li XC, Zhong CF, Deng GB, et al. Efficacy and safety of bone marrow-derived cell transplantation for spinal cord injury: a systematic review and meta-analysis of clinical trials [J]. *Clin Transplant*, 2015, 29(9): 786–795.
13. Vukicevic M, Puperi DS, Jane Grande-Allen K, et al. 3D printed modeling of the mitral valve for catheter-based structural interventions[J]. *Ann Biomed Eng*, 2017, 45(2): 508–519.
14. Hu Y, Yuan ZS, Kepler CK, et al. Deviation analysis of C1–C2 transarticular screw placement assisted by a novel rapid prototyping drill template: a cadaveric study [J]. *J Spinal Disord Tech*, 2014, 27(5): E181–E186.
15. Hu Y, Yuan ZS, Spiker WR, et al. Deviation analysis of C2 translaminar screw placement assisted by a novel rapid prototyping drill template: a cadaveric study [J]. *Eur Spine J*, 2013, 22(12): 2770–2776.
16. Hu Y, Yuan ZS, Kepler CK, et al. Deviation analysis of atlantoaxial pedicle screws assisted by a drill template[J]. *Orthopedics*, 2014, 37(5): e420–e427.
17. Hu Y, Yuan ZS, Spiker WR, et al. A comparative study on the accuracy of pedicle screw placement assisted by personalized rapid prototyping template between pre- and post-operation in patients with relatively normal mid-upper thoracic spine[J]. *Eur Spine J*, 2016, 25(6): 1706–1715.
18. Pu X, Yin M, Ma J, et al. Design and application of a novel patient-specific three-dimensional printed drill navigational guiding in atlantoaxial pedicle screw placement [J]. *World Neurosurg*, 2018, 114: e1–e10.
19. Miyamoto H, Uno K. Cervical pedicle screw insertion using a computed tomography cutout technique [J]. *J Neurosurg Spine*, 2009, 11(6): 681–687.
20. Yukawa Y, Kato F, Ito K, et al. Placement and complications of cervical pedicle screws in 144 cervical trauma patients using pedicle axis view techniques by fluoroscope [J]. *Eur Spine J*, 2009, 18(9): 1293–1299.
21. 覃炜, 权正学, 刘洋, 等. 寰枢椎椎弓根螺钉个体化导向模板的研制与实验研究[J]. *中国修复重建外科杂志*, 2010, 24(10): 1168–1173.
- (收稿日期:2019-08-23 末次修回日期:2019-11-07)  
(英文编审 庄乾宇/谭 啸)  
(本文编辑 姜雅浩)