

3D 打印导航模板在辅助寰枢椎椎弓根螺钉置入中的应用价值

王 飞, 刘志斌, 张建华, 李长红, 贺永进, 刘 军, 屈晓鹏, 刘延雄

(延安大学附属医院脊柱外科 716000 陕西省延安市)

【摘要】目的:探讨三维(3D)打印导航模板辅助寰枢椎椎弓根螺钉置钉的价值。**方法:**回顾性分析 2013 年 1 月~2015 年 10 月我院收治的 43 例寰枢椎骨折和/或脱位患者,均行后路寰枢椎切开复位内固定术。按手术方式不同分为 3D 打印导航模板组(19 例)和传统置钉组(24 例)。3D 打印导航模板组术前将患者的颈椎 CT 数据导入 Mimics 17.0 软件,行 3D 重建并设计带钉道的导航模板后打印、消毒;术中导航模板与置钉椎体贴合紧密后,通过定位孔钻孔、置钉。传统置钉组在 C 型臂 X 线机透视下徒手置钉。统计并对比两种置钉方法的准确率,通过测量并比较术前预设钉道角度与术后实际钉道角度差异评估进钉角度的精确性。比较两组的置钉时间、手术时间、透视次数、术中出血量及患者颈肩部疼痛视觉模拟评分(visual analogue scale, VAS)和日本骨科协会(Japanese Orthopaedic Association, JOA)颈椎神经功能评分的差异情况。**结果:**两组患者在性别、年龄、临床诊断、病变节段、合并症及术前是否牵引复位方面均无统计学差异($P>0.05$)。19 例 3D 打印导航模板辅助置入椎弓根螺钉 68 枚,置钉准确率 94.1%,置钉时间 2.2 ± 0.4 min/枚,透视次数 4.6 ± 1.1 次,手术时间 197 ± 41 min,术中出血量 395 ± 64 ml;传统徒手置钉组置入椎弓根螺钉 76 枚,置钉准确率 76.3%,置钉时间 3.4 ± 0.7 min/枚,透视次数 9.4 ± 2.7 次,手术时间 245 ± 67 min,术中出血量 552 ± 79 ml。两组置钉准确率、置钉时间、透视次数、手术时间及术中出血量均有统计学差异($P<0.05$)。3D 打印导航模板组的内倾角及头倾角与预设值无统计学差异($P>0.05$),置钉角度的精确性明显优于徒手置钉组($P<0.05$)。术后 3d、6 个月及 12 个月患者颈肩部 VAS 及颈椎 JOA 评分较术前明显好转($P<0.05$),而术后 6 个月及 12 个月两组间颈肩部 VAS 及颈椎 JOA 评分无统计学差异($P>0.05$)。**结论:**3D 打印导航模板辅助寰枢椎椎弓根螺钉可提高置钉准确率,同时还可缩短置钉时间、手术时间,减少透视次数和术中出血量。

【关键词】寰枢椎;椎弓根螺钉;3D 打印导航模板;计算机辅助设计;快速成型技术

doi: 10.3969/j.issn.1004-406X.2017.01.11

中图分类号:R681.5, R687.3 文献标识码:A 文章编号:1004-406X(2017)-01-0061-08

The applied value of 3D printed navigational guiding template in pedicle screw placement/WANG Fei, LIU Zhibin, ZHANG Jianhua, et al//Chinese Journal of Spine and Spinal Cord, 2017, 27(1): 61-68

【Abstract】 Objectives: To investigate the applied value of 3D printed navigational guiding template in pedicle screw placement. **Methods:** From June 2013 to October 2015, data from 43 cases who had undergone opening reduction and internal fixation of atlantoaxial vertebra with pedicle screw placement were retrospectively analyzed. All the patients were divided into 3D printed navigational guiding template assisting pedicle screw placement group and traditional pedicle screw placement group. The accuracy of screw channel was evaluated by comparing differences of preoperative and postoperative indexes in 2 groups. The comparisons of operation time, intraoperative blood loss, the number of intraoperative fluoroscopy, the accuracy and the time of screw placement were performed. Besides, cervical spine visual analogue score(VAS) and spinal function score of Japanese Orthopaedic Association(JOA) were also compared between the two groups. In addition, postoperative trajectories of pedicle screws were measured after the positions of preoperative and postoperative 3D atlantoaxial models in a redefining coordinate. Briefly, all the 19 patients in 3D printed navigational guiding

基金项目:延安市科技惠民项目(编号:2016HM-10-03)

第一作者简介:男(1980-),医学硕士,研究方向:脊柱外科、数字骨科

电话:(0911)2881426 E-mail:ww_ff@sina.com

通讯作者:刘志斌 E-mail:liuzhibin1997@126.com

template group had preoperatively performed CT scanning and the data were imported into Mimics 17.0 software. Afterward, the 3D models of cervical vertebrae were reconstructed and the optimal trajectory of virtual navigational template with guiding hole was established. After navigational template was manufactured by 3D printing and sterilizing, it was used to assist with the placement of pedicle screw intraoperatively. **Results:** There were no significant differences in general data of the two groups which included age, sex, clinical diagnosis, lesion segment, complication and proportion of preoperative traction and reduction ($P>0.05$). All the 19 patients in 3D printed navigational guiding template group were totally placed 68 pedicle screws, with the accuracy of 94.1%, pedicle screw placement time was 2.2 ± 0.4 min, operation time was 197 ± 41 min, intraoperative blood loss was 395 ± 64 ml and intraoperative fluoroscopy number was 4.6 ± 1.1 times. All the 24 cases in traditional pedicle screw placement group were placed 76 pedicle screws, with the accuracy of 76.3%, pedicle screw placement time was 3.4 ± 0.7 min, operation time was 245 ± 67 min, intraoperative blood loss was 552 ± 79 ml and intraoperative fluoroscopy number was 9.4 ± 2.7 times. The differences between parameters mentioned above were all significant ($P<0.05$). The trajectories of pedicle screws in 3D printed navigational guiding template group had significant better results than those in traditional pedicle screw placement group ($P<0.05$). VAS and JOA scores of 3 days, 6 months and 12 months postoperatively were significantly improved compared with preoperative data ($P<0.05$), while VAS and JOA scores of postoperative 6 months and 12 months were of no significant differences between the two groups ($P>0.05$). **Conclusions:** The assistance of 3D printed navigational guiding template in guiding atlantoaxial pedicle screw placement can significantly increase the accuracy of atlantoaxial pedicle screw placement and reduce the time of screw placement, operation time, intraoperative blood loss and the number of intraoperative fluoroscopy.

[Key words] Atlantoaxial vertebrae; Pedicle screw; 3 dimensional printing model; Computer-assisted; Rapid prototyping technology

[Author's address] Department of Spine Surgery, Affiliated Hospital of Yan'an University, Yan'an, 716000, China

寰枢椎骨折脱位多由交通事故、高处坠落及重物砸伤等引起,进而导致高位颈脊髓损伤等严重后果^[1]。有效的椎弓根螺钉内固定被认为是治疗上颈椎损伤的可靠方法^[2]。然而,寰枢椎解剖结构复杂,椎弓根细小且又邻近椎动脉、颈髓及神经根等重要组织,徒手经寰枢椎椎弓根置钉难度大、风险高^[3]。3D 打印技术现已成功应用于骨折内固定、关节置换及脊柱椎弓根螺钉置钉等手术^[4-6],使其在骨科手术中的应用日渐成熟。通过医学数字化技术,利用计算机辅助设计及快速成型技术,设计一种个体化导航模板辅助椎弓根螺钉的精确置入,使手术操作更加安全、有效。2013 年 1 月~2015 年 10 月本院收治的 19 例寰枢椎骨折和/或脱位患者术中采用 3D 打印导航模板辅助寰枢椎椎弓根置钉,与同期采用传统置钉的 24 例患者比较,旨在验证其应用的价值,总结如下。

1 资料与方法

1.1 病例纳入与排除标准

病例纳入标准:①寰枢椎骨折或(半)脱位需行椎弓根螺钉内固定的患者;②颈部疼痛、活动受

限伴或不伴颈髓损伤;③无手术禁忌证。病例排除标准:①影像检查提示椎弓根细小不适合置入椎弓根螺钉的患者;②由于畸形、变异等使椎弓根螺钉无法置入的患者;③其他原因致寰枢椎不可复位的患者;④多系统疾病不能耐受手术的患者。

1.2 一般资料

共有 43 例患者纳入本研究,患者年龄 58.0 ± 13.7 岁,其中男 26 例,女 17 例,随访时间 23.4 ± 10.7 个月。均行后路寰枢椎切开复位椎弓根螺钉内固定术,其中 19 例术中采用 3D 打印导航模板辅助置入寰枢椎椎弓根螺钉 68 枚,24 例采用传统置钉法置入寰枢椎椎弓根螺钉 76 枚。3D 打印导航模板组 19 例,男 12 例,女 7 例,年龄 58 ± 13 岁,随访时间 24 ± 11 个月,其中寰枢椎脱位 5 例、寰枢椎骨折 5 例、寰枢椎骨折合并脱位 9 例,合并类风湿关节炎 1 例、骨质疏松 1 例,术前牵引 15 例,未牵引 4 例;传统置钉组 24 例,男 14 例,女 10 例,年龄 58 ± 14 岁,随访时间 23 ± 9 个月,其中寰枢椎脱位 7 例、寰枢椎骨折 8 例、寰枢椎骨折合并脱位 9 例,合并强直性脊柱炎 1 例、类风湿关节炎 2 例、骨质疏松 2 例,术前牵引 18 例,未牵引 6

例。所有患者术前均与本人及其家属进行详细沟通, 征得患者及家属同意并签署患者授权委托书和手术知情同意书。两组椎弓根螺钉来自同一厂家且两组病例均由同一组医生实施手术。

1.3 3D 打印导航模板的设计和制作

对 19 例患者术前行颈椎 CT 平扫, 层厚 0.5mm。将上述 CT 连续断层图像数据以 Dicom 格式保存并导入三维重建软件 Mimics 17.0 (Materialise company, Belgium) 行寰枢椎三维模型重建, 以 STL 格式导出模型, 将 STL 文件导入 3-Matic 软件后设计颈椎椎弓根最佳进钉通道, 同时提取寰椎后弓及枢椎棘突、椎板、侧块的形态解剖, 在软件中设计与上述解剖形态一致的反向模板并将其和螺钉的最佳进钉通道拟合为一体, 最终形成带有定位导向孔的导航模板。将该导航模板文件切片后输入光固化 3D 打印机, 应用光敏树脂材料打印出辅助寰枢椎椎弓根置钉的 3D 打印导航模板 (图 1), 并于术前在模型上反复模拟置钉, 以验证导航模板的准确性。

1.4 3D 打印导航模板的术中应用

术前将寰枢椎模型、3D 打印导航模板通过低温等离子消毒备用。常规后路手术切口, 充分剥离颈椎棘突、椎板和关节突背侧的软组织, 显露背侧的骨性结构, 将 3D 打印导航模板贴附于相应颈

椎的棘突、椎板和关节突, 观察其是否紧密贴合, 检查吻合良好后, 由助手固定并维持其在椎板上相应位置。术者应用电钻顺着导向孔方向打孔。如术者认为导航模板方向误差较大, 则通过 C 型臂 X 线机透视验证。若确实存在偏差, 则用圆规在模型上确认中线至最佳进针点的距离, 并将这个距离作为固定值。再以此判断术中患者椎体上的进针点是否偏内或偏外。在确定进针点的基础上, 去除导航模板保留克氏针, 依据术中经验徒手调整进针角度。钻开椎弓根通道后, 探针确认孔道四壁为光滑连续的骨质后, 结合术前测量每个椎弓根的螺钉通道长度及椎弓根宽度选择螺钉, 攻丝、拧入螺钉。行 C 型臂 X 线机侧位透视后, 检查置钉位置良好, 安装钉棒固定。大部分患者不融合, 对于难以复位的严重骨折或者寰枢关节脱位患者行后方椎板和棘突间植骨融合。

传统置钉组患者按文献报道的置钉技术^[7,8]进行置钉。

1.5 评估方法

记录两组患者每枚椎弓根螺钉置入的时间、手术时间、术中出血量及术中透视次数, 同时记录两组患者术前 1d 及术后 3d 的 VAS 及 JOA 评分情况。

术后常规行颈椎 CT 扫描, 根据 Kawaguchi 等

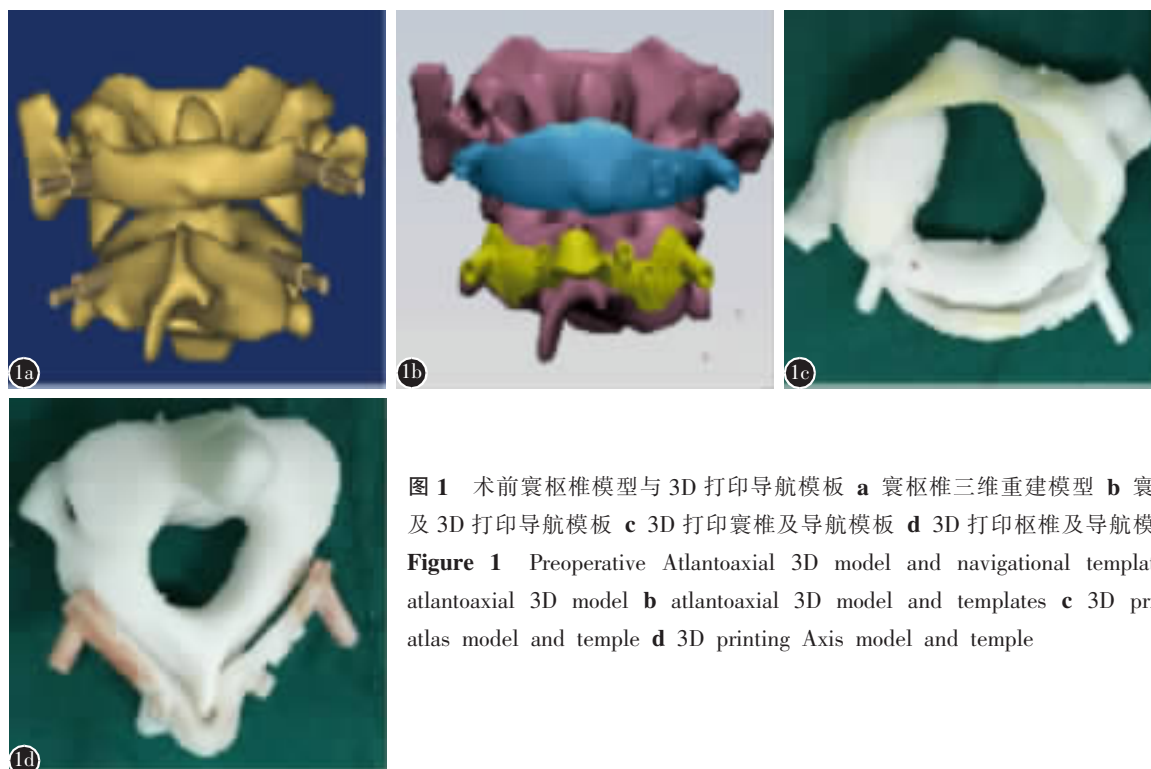


图 1 术前寰枢椎模型与 3D 打印导航模板 a 寰枢椎三维重建模型 b 寰枢椎及 3D 打印导航模板 c 3D 打印寰椎及导航模板 d 3D 打印枢椎及导航模板

Figure 1 Preoperative Atlantoaxial 3D model and navigational templates a atlantoaxial 3D model b atlantoaxial 3D model and templates c 3D printing atlas model and temple d 3D printing Axis model and temple

方法评估置钉准确度^[9]:0 级,螺钉完全在椎弓根内;1 级,螺钉穿出椎弓根壁不超过 2mm,未出现并发症;2 级,螺钉穿出椎弓根壁超过 2mm,未出现并发症;3 级,出现临床并发症,如椎动脉、神经根损伤。

同时在 Mimics 软件中通过偏差分析方法测量并比较术前设计钉道与置钉后钉道的内倾角和头倾角^[10,11]。内倾角:俯视图 CT 重建示钉道与椎体正中矢状位的夹角;头倾角:左视图 CT 重建示钉道与椎体下终板的夹角。

出院后 3、6、12、24 个月门诊复查。主要观察指标包括 VAS 和 JOA 评分以及植骨融合情况和有无内固定物松动、断裂等并发症发生。采用 VAS 评分评估患者颈肩部疼痛,满分为 10 分,其中 0 分为无痛,10 分为难以忍受的剧痛。采用 JOA 评分判断患者颈髓神经功能(满分 17 分)^[4]。植骨融合判断标准:行颈椎正侧伸屈位 X 线片、CT 平扫加矢状位重建检查,X 线片显示内植物无松动、断裂或内陷迹象;CT 矢状位重建显示椎体间有连续性骨小梁通过。两种方法判断均为“融合”者最终判断为有融合迹象,否则判断为无融合迹象^[12]。

1.6 统计学分析

采用 SPSS 19.0 软件进行统计分析。计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示,其中年龄、随访时间和围手术期相关参数及术前、术后两组间比较采用 Mann-Whitney *U* 检验;两组间计数资料的比较采用 χ^2 检验;组内两两比较采用配对 *t* 检验。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 一般资料比较

两组均为外伤患者,随访时间无统计学差异($P > 0.05$)。两组在性别、年龄、临床诊断、病变节段、合并症及术前是否牵引复位方面均无统计学差异($P > 0.05$),两组患者具有可比性。

2.2 置钉准确度评价

所有患者术后行 CT 检查,3D 打印导航模板辅助置钉组共置钉 68 枚,其中 0 级 64 枚(94.1%,64/68),1 级 2 枚(2.94%,2/68),2 级 2 枚(2.94%,2/68),无 3 级螺钉。传统置钉组共置钉 76 枚,其中 0 级 58 枚(76.3%,58/76),1 级 12 枚(15.8%,12/76),2 级 6 枚(7.89%,6/76),无 3 级螺

钉。3D 打印导航模板辅助置钉组的置钉准确率(94.1%)高于传统置钉组(76.3%),差异有统计学意义($P < 0.05$)。通过偏差分析法进一步验证置钉的准确度,结果表明在 3D 打印导航模板组无论是寰椎还是枢椎,内倾角和头倾角对比预设置钉角度均无统计学差异($P > 0.05$),而传统置钉组的寰椎和枢椎的两种角度对比预设置钉角度均有统计学差异($P < 0.05$);两组间寰枢椎置钉角度的比较有统计学差异($P < 0.05$,表 1、2)。

2.3 围手术期相关参数

两组的置钉时间、透视次数、手术时间和术中出血量见表 3。3D 打印导航模板辅助置钉组的置钉时间、透视次数、手术时间、术中出血量均少于传统置钉组,差异均有统计学意义($P < 0.001$)。

2.4 临床功能

两组在术前 VAS 和 JOA 评分方面无统计学差异($P > 0.05$)。术后 3d 及 6、12 个月时两组颈肩部 VAS 评分与同组术前比较均明显降低($P < 0.05$,表 4)。而术后 3d 及 6、12 个月,3D 打印导航模板辅助置钉组与传统置钉组的颈肩部 VAS 评分无统计学差异($P > 0.05$,表 4)。在颈椎 JOA 评分方面,术后 3d 及术后 6、12 个月 3D 打印导航模板辅助置钉组与传统置钉组患者颈椎 JOA 评分相比术前均有明显改善($P < 0.05$),而两组术后 3d 及 6、12 个月的颈椎 JOA 评分均无统计学差异($P > 0.05$,表 4)。

2.5 并发症及植骨融合情况

常规组术中剥离过程中出现 1 例脑脊液漏,经积极对症治疗 2 周后愈合。两组均未发现置钉相关的椎动脉、神经根和颈髓损伤等并发症。至末次随访,两组患者骨折均获得愈合,行植骨者获骨性融合,无内固定物松动、断裂等内固定失败并发症发生(图 2)。

3 讨论

文献报道的椎弓根置钉失误率高达 20.0%~39.8%,尤其在上颈椎中一旦出现血管、颈髓、神经等损伤则会引起较严重的后果^[3]。此外,由椎弓根螺钉置入失误导致的螺钉松动、内固定力学稳定性降低严重影响手术效果。从置钉的技术层面来看,传统置钉方法主要依赖于术者经验,存在一定的盲目性和不易传承性。而近年出现的术中导航系统由于仪器设备费用昂贵、操作复杂及术中

表 1 寰椎预设钉道和实际钉道的内倾角及头倾角比较

($\bar{x} \pm s, ^\circ$)

Table 1 Comparing the sagittal angle and transverse angle of atlas in pre-set screw track and actual screw track

置钉角度 Placing screw angle	3D 打印导航模板组 (n=19) 3D-printed group		传统置钉组 (n=24) Traditional group		预设角度 Pre-set angle	
	左侧(L)	右侧(R)	左侧(L)	右侧(R)	左侧(L)	右侧(R)
内倾角 Transverse angle	9.1±1.8 ^①	8.6±1.8 ^①	7.5±1.6 ^{②③}	7.3±1.2 ^{②③}	9.9±1.5	9.1±1.4
头倾角 Sagittal angle	9.2±1.1 ^①	9.2±1.1 ^①	10.3±2.2 ^②	10.6±1.3 ^{②③}	9.0±1.6	9.5±1.7

注:①与预设角度比较 $P>0.05$;②与预设角度比较 $P<0.05$;③与 3D 打印导航模板组比较 $P<0.05$ Note: ①Compared with Pre-set angle, $P>0.05$; ②Compared with Pre-set angle, $P<0.05$; ③Compared with 3D-printed group, $P<0.05$

表 2 枢椎预设钉道和实际钉道的内倾角及头倾角比较

($\bar{x} \pm s, ^\circ$)

Table 2 Comparing the sagittal angle and transverse angle of axis in pre-set screw track and actual screw track

置钉角度 Placing screw angle	3D 打印导航模板组 (n=19) 3D-printed group		传统置钉组 (n=24) Traditional group		预设角度 Pre-set angle	
	左侧(L)	右侧(R)	左侧(L)	右侧(R)	左侧(L)	右侧(R)
内倾角 Transverse angle	21.9±4.8 ^①	21.9±4.6 ^①	18.9±4.6 ^{②③}	19.1±4.1 ^{②③}	22.7±5.2	23.1±6.4
头倾角 Sagittal angle	23.4±4.1 ^①	22.5±5.1 ^①	20.4±5.2 ^{②③}	18.6±4.3 ^{②③}	24.9±5.6	23.5±6.8

注:①与预设角度比较 $P>0.05$;②与预设角度比较 $P<0.05$;③与 3D 打印导航模板组比较 $P<0.05$ Note: ①Compared with Pre-set angle, $P>0.05$; ②Compared with Pre-set angle, $P<0.05$; ③Compared with 3D-printed group, $P<0.05$

易受患者体位改变影响而限制了其推广应用。

3D 打印经过 20 多年的发展已成功应用于神经外科、心胸外科、颌面口腔等领域,在骨科方面亦显示出极强的应用前景^[14-16]。3D 打印导航模板技术主要包括数据采集、数据处理及 3D 打印 3 大步骤。该技术的核心流程是先通过 CT 扫描组织器官的结构,获得三维数据输入计算机后,通过 Mimics 等医学图像软件,构建出形态曲面并重建三维模型。在此基础上利用计算机设计手术方案,研制出个体化 3D 打印导航模板,再通过 3D 打印机采用分层实体制造的方式打印出实体模型作为手术模拟和术中参考。

与传统置钉方法相比,3D 打印导航模板辅助置钉可提高脊柱椎弓根螺钉的置钉准确率并有效减少术中置钉时间^[4]。另外,个体化 3D 打印导航模板不受患者体位变化的影响,由于导航模板只应用于单个椎体从而避免了因体位变化而产生的误差,在很大程度上降低了手术的难度^[13]。此外,术中透视次数明显减少,降低了医患双方的射线暴露时间。尤其值得指出的是,对一些脊柱解剖变异、畸形的患者,术中解剖标志点位不清、椎弓根置钉困难时导航模板应用价值明显增大^[17]。最后,3D 打印所使用的材料为生物降解材料,成本低、

安全性好而且消毒方法简单使其临床应用非常方便^[18]。

目前关于 3D 打印导航模板在寰枢椎骨折脱位中的应用报道不多且多处于探索阶段,急需更多的临床病例来验证其安全性、可行性及有效性。因此研究 3D 打印导航模板辅助寰枢椎椎弓根螺钉置入的临床应用具有重要临床意义。Lu 等^[19]设计椎弓根导航模板在颈椎标本上进行置钉实验,发现寰枢椎椎弓根螺钉均未穿破骨皮质,较好地验证了 3D 打印导航模板在寰枢椎椎弓根螺钉内固定应用的安全性。黄轩等^[20]也通过实验研究证实 3D 打印导航模板确实提供了一种新选择。随后有学者^[21,22]应用数字化 3D 打印导向模板辅助下置钉治疗寰枢椎不稳症患者并分析了相关干预因素,结果表明在控制人为因素后可显著提高置钉的准确性,增加手术安全性。在此基础上,有学者分别将该技术应用于临床实践,均取得满意临床疗效,此外还发现该法具有椎弓根螺钉置入准确性高、术中风险明显降低、手术安全性显著提高等优势^[23,24]。姜良海等^[4]改进设计出标杆型 3D 打印导航模板辅助颈椎椎弓根置钉,证实可提高术中操作性及置钉准确度。然而,分析目前的这类研究发现大多是探究 3D 打印导航模板辅助寰枢椎

椎弓根螺钉的初步探索, 关注核心为螺钉置入的安全性及准确性而缺乏结合临床疗效的研究。本研究采用 3D 打印导航模板辅助寰枢椎椎弓根置钉并与传统置钉技术相比较的方法, 在验证其安全性与可行性的同时更加关注其有效性与临床应用价值。

本研究中所有患者均手术顺利且未发现与置钉相关的椎动脉、神经根和颈髓损伤等症状, 说明应用椎弓根螺钉固定寰枢椎骨折脱位是安全可行的。与传统置钉组相比, 3D 打印导航模板辅助置钉组的置钉准确率为 94.1%, 远高于传统置钉组的 76.3%。同时, 通过偏差分析法表明 3D 打印导航模板辅助置钉组的内倾角及头倾角与预设值之间无统计学差异, 但置钉角度的精确性明显优于传统置钉组, 说明该方法可精确设定进针点和进针角度, 提高置钉的准确率, 手术安全性高。此外, 在围手术期相关参数如置钉时间、透视次数、手术

时间及术中出血量方面 3D 打印导航模板辅助置钉组均比传统置钉组更具优势。这可能是由于 3D 打印导航模板辅助置钉减少术中过度剥离, 简化操作, 从而缩短手术时间, 减少术中出血, 同时又能减少术中透视次数从而降低手术人员和患者放射线暴露的剂量。这一结论也与近期的一些文献报道^[13,18,25]相一致。经过平均 32 个月的随访, 两组患者术后的临床功能 (颈肩部 VAS 评分和颈椎 JOA 评分) 均较术前有明显改善而两组的术后 3d、6 个月、12 个月的上述指标无统计学差异, 表明 3D 打印导航模板辅助置钉可以获得和传统置钉相当的临床疗效。综上, 3D 打印导航模板在辅助寰枢椎椎弓根置钉方面显示了较好的安全性、可行性及有效性, 值得推广应用。

尽管如此, 3D 打印导航模板技术仍有一些使用注意事项: ①对于椎体后方骨性结构不规则的患者如严重骨质增生, 因导航模板的制作及安放均存在困难使得 3D 打印导航模板不适合应用^[4]。②务必充分显露椎体后方骨性结构。只有导航模板与椎体后方骨性结构紧密贴合时, 置钉通道位置最佳。笔者根据自身经验对术中防止位置发生移动有如下三种方法: 一种是用 1 个或 2 个 Allis 钳子夹持固定在棘突或者椎板; 另一种方法是在导航模板背侧另外设计两个小的空心凸起圆柱, 刚好能容纳止血钳尖端的两头, 从而能用止血钳来固定导航模板; 第三种是在导航模板背侧增加设计一个扶手可以用手固定的扶手来稳定导航模板。③3D 打印导航模板导向孔高度推荐 1.5~2.0cm 最佳, 过高则影响术中操作, 过低会降低置钉准确性。④3D 打印导航模板导向孔直径推荐 2.0mm, 这可以和常规钻头相匹配从而拥有较好的把持度防止钻头在导向孔中滑移。术中钻头可

表 3 3D 打印导航模板辅助置钉组与传统置钉组围手术期相关参数的比较

Table 3 Comparison of perioperative related parameters in 3D-printed group and traditional group

	3D 打印导航模板组 3D-printed group (n=19)	传统置钉组 Traditional group (n=24)	统计值 Statistical value	P 值 P value
置钉时间 (min/枚) Placing screw time	2.2±0.4	3.4±0.7	2.03	<0.001
透视次数 (次) Fluoroscopy number	4.6±1.1	9.4±2.7	2.04	<0.001
手术时间 (min) Operation time	197±41	245±67	2.02	0.006
术中出血量 (ml) Intraoperative blood loss	395±64	552±79	2.02	<0.001

表 4 3D 打印置钉组与传统置钉组颈肩部 VAS 评分及 JOA 评分的比较

($\bar{x} \pm s$, 分)

Table 4 Comparing VAS and JOA score in 3D-printed group and Traditional group

	VAS 评分 Visual analogue score				JOA 评分 Spinal function score of Japanese Orthopedic Association			
	术前 Pre-operation	术后 Post-operation			术前 Pre-operation	术后 Post-operation		
		3 天 3 days	6 个月 6 months	12 个月 12 months		3 天 3 days	6 个月 6 months	12 个月 12 months
3D 打印置钉组 (n=19) 3D-printed group	6.6±1.7	3.2±0.6 ^①	2.4±0.6 ^①	1.9±0.4 ^①	7.6±2.7	10.2±1.6 ^①	12.1±2.2 ^①	13.9±2.6 ^①
传统置钉组 (n=24) Traditional group	7.3±1.6	3.0±0.9 ^①	2.8±0.8 ^①	2.2±0.4 ^①	7.3±2.6	9.9±1.3 ^①	12.8±2.1 ^①	13.5±2.2 ^①

注: ①与同组术前比较 $P < 0.05$

Note: ①Compared with the same group preoperative, $P < 0.05$

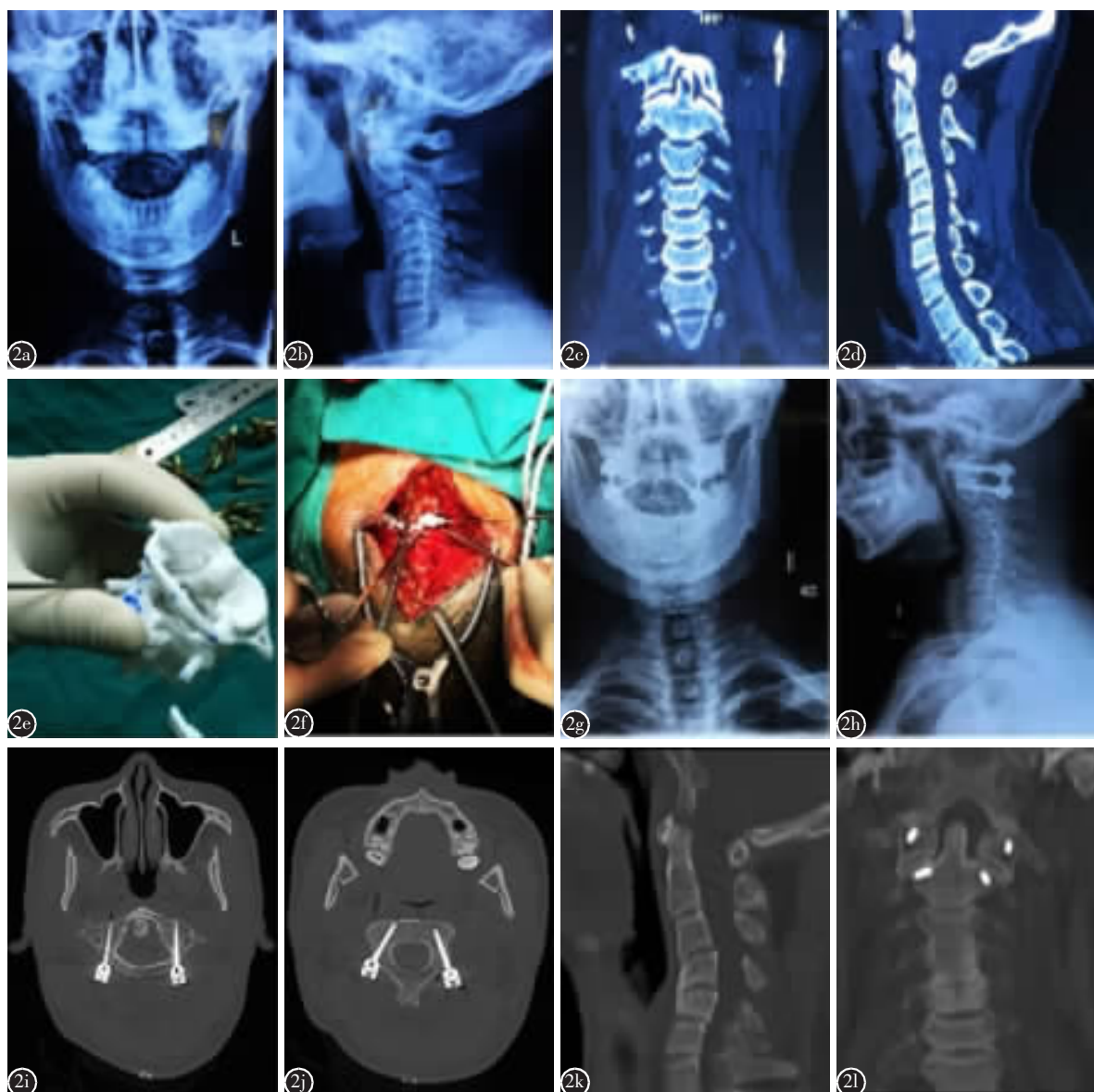


图 2 患者男, 45 岁, 车祸伤 **a, b** 术前颈椎正、侧位 X 线片示枢椎齿状突骨折 **c, d** 术前颈椎 CT 冠状位、矢状位图像均显示枢椎齿状突骨折 **e** 术前 3D 打印导航模板模拟置钉操作 **f** 术中 3D 打印导航模板放置及打孔 **g, h** 术后 1 周颈椎正、侧位 X 线片示椎弓根钉内固定位置良好 **i, j** 术后 1 周 CT 示寰枢椎椎弓根螺钉位置良好 **k, l** 术后 1 年 CT 显示齿状突骨折已愈合, 并已行内固定去除

Figure 2 A 45-year-old man suffered traffic accident injury **a, b** Preoperative anteroposterior and lateral X-ray view of cervical spine showed C2 odontoid fracture **c, d** Preoperative coronal position and sagittal position image of CT scans also showed C2 odontoid fracture **e** Simulation operation in the printing navigation model preoperatively **f** Placing the 3 dimension printing model intraoperatively **g, h** Postoperative cervical anteroposterior and lateral X-ray showed the internal fixation is well positioned **i, j** Postoperative CT scans confirmed the pedicle screws were safely inserted into the C1 and C2 pedicle **k, l** The CT show that the odontoid fracture had healed postoperative 12 months and the internal fixation has been removed

放置石蜡油润滑利于钻头顺利通过^[18]。此外, 3D 打印导航模板的使用也有一些限制因素: ①3D 打印导航模板的设计制作需要时间, 故其不适用急诊手术患者^[17]。②3D 打印导航模板的精确性对术

前 CT 的分辨率要求较高, 对部分医院有一定难度。③导航模板术前设计较复杂, 需要熟练掌握相关软件及打印设备的人员才能完成^[17]。④3D 打印技术在一定程度上会增加患者的医疗费用。

总之,本研究结果显示,采用 3D 打印导航模板辅助寰枢椎椎弓根置钉是安全的、可行的,与传统置钉方法相比两组临床疗效相当,但置钉准确度高、置钉时间短、透视次数少、手术时间短及术中出血量少。但由于本研究样本量较少,且为回顾性研究,在一定程度上影响结论的可信度,需要更多大样本、多中心的前瞻性临床研究来进一步支持。

4 参考文献

1. 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.
2. 谭明生. 寰枢椎脱位外科治疗的现状与思考[J]. 中华骨科杂志, 2015, 35(5): 463-464.
3. 姜良海, 谭明生, 董亮, 等. 标杆型 3D 打印导板辅助寰枢椎椎弓根置钉准确度分析[J]. 脊柱外科杂志, 2016, 14(4): 205-210.
4. 姜良海, 谭明生, 杨峰, 等. 标杆型 3D 打印导板辅助颈椎椎弓根置钉的临床应用[J]. 中华骨科杂志, 2016, 36(5): 257-264.
5. 张元智, 裴国献, 陆声, 等. 计算机辅助确定下肢机械轴线在全膝关节置换术中的应用[J]. 中华骨科杂志, 2013, 33(12): 1196-1203.
6. 陈鸿奋, 赵辉, 王富明, 等. 髌白后部骨折顺行拉力螺钉固定进钉导航模板的可行性研究[J]. 中华骨科杂志, 2013, 33(5): 514-519.
7. 谭明生, 移平, 王文军, 等. 经寰椎-椎弓根-螺钉内固定技术的临床应用[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2006, 16(5): 336-340.
8. 马向阳, 尹庆水, 吴增晖, 等. 枢椎椎弓根螺钉进钉点的解剖定位研究[J]. 中华外科杂志, 2006, 44(8): 562-564.
9. Kawaguchi Y, Nakano M, Yasuda T, et al. Development of a new technique for pedicle screw and Magerl screw insertion using a 3-dimensional image guide[J]. Spine(Phila Pa 1976), 2012, 37(23): 1983-1988.
10. Jiang L, Dong L, Tan M, et al. Accuracy assessment of atlantoaxial pedicle screws assisted by a novel drill guide template[J]. Arch Orthop Trauma Surg, 2016, 136(11): 1483-1490.
11. 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.
12. 周非非, 孙宇, 张凤山, 等. 颈椎前路椎间盘切除、植骨融合内固定术治疗脊髓型颈椎病术后轴性症状的前瞻性研究 [J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2014, 24(6): 505-509.
13. 李彦明, 李明, 张国友, 等. 3D 打印在脊柱侧凸畸形中的应用初探[J]. 第二军医大学学报, 2016, 37(2): 231-235.
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[J]. Kardiologia Pol, 2014, 72(6): 546-551.
15. 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, 2016, 44(11): 3432.
16. Yang M, Li C, Li Y, et al. Application of 3D rapid prototyping technology in posterior corrective surgery for Lenke 1 adolescent idiopathic scoliosis patients [J]. Medicine(Baltimore), 2015, 94(8): e582.
17. 陈宣煌, 徐卫红, 黄文华, 等. 基于 3D 打印的腰椎椎弓根螺钉数字化置入及临床应用[J]. 中国组织工程研究, 2015, 19(17): 2752-2757.
18. 谭海涛, 谢兆林, 江建中, 等. 数字化导航模板在颈椎椎弓根螺钉置入中的应用[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2015, 25(6): 497-502.
19. Lu S, Xu YQ, Lu WW, et al. A novel patient-specific navigational template for cervical pedicle screw placement [J]. Spine(Phila Pa 1976), 2009, 34(26): E959-966.
20. 黄轩, 李凤宁, 张帆, 等. 三维打印成型导航模板辅助枢椎椎板螺钉置入的实验研究[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2014, 24(4): 366-371.
21. Hu Y, Yuan ZS, Kepler CK, et al. Deviation analysis of atlantoaxial pedicle screws assisted by a drill template[J]. Orthopedics, 2014, 37(5): e420-427.
22. 胡勇, 袁振山, 董伟鑫, 等. 个性化 3D 打印“定点一定向”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.
23. 樊勇, 杨超, 杨红军, 等. 3D 打印和术中导航技术在寰枢椎脱位术中的应用[J]. 中华创伤骨科杂志, 2016, 18(1): 29-34.
24. Kaneyama S, Sugawara T, Sumi M, et al. A novel screw guiding method with a screw guide template system for posterior C-2 fixation: clinical article [J]. J Neurosurg Spine, 2014, 21(2): 231-238.
25. 庞骄阳, 赵岩, 肖宇龙, 等. 3D 打印技术在脊柱外科的应用[J]. 中国组织工程研究, 2016, 20(4): 577-582.

(收稿日期:2016-11-15 末次修回日期:2017-01-09)

(英文编审 蒋欣/贾丹彤)

(本文编辑 李伟霞)