

3D 打印导板辅助椎动脉高跨患者 C2 椎弓根螺钉置入的临床研究

田野^{1,2}, 张嘉男², 陈浩², 丁柯元², 刘团江², 黄大耿², 郝定均²

(1 西安医学院 710068 西安市; 2 西安交通大学附属红会医院脊柱外科 710054 西安市)

【摘要】目的:探讨在椎动脉高跨患者中 3D 打印导板辅助置入 C2 椎弓根螺钉的准确性和安全性。**方法:**回顾性分析 2018 年 1 月~2018 年 12 月在我院行上颈椎后路内固定术的 72 例 C2 椎动脉高跨患者。根据辅助 C2 椎弓根螺钉置入方式的不同分为导板组($n=36$ 例)和徒手组($n=36$ 例)。两组患者年龄、性别、体重指数(BMI)、疾病类型等一般资料比较差异均无统计学意义($P>0.05$)。记录并比较两组患者 C2 椎弓根螺钉置钉时间、手术时间、术中出血量、透视时间、术中出血量、置钉相关并发症、手术技术费用、住院时间以及术前、术后 3d、术后 6 个月 VAS 评分、JOA 评分。根据术后颈椎 CT 并按照 Kawaguchi 等提出的螺钉分级标准评估 C2 椎弓根螺钉置入准确率,并计算术前模拟置钉与术后实际置钉进钉角度在矢状面与横断面上的偏差。**结果:**导板组置钉时间、手术时间、透视时间明显优于徒手组($P<0.05$),手术技术费用徒手组明显低于导板组($P<0.05$)。两组术中出血量、住院时间无明显统计学差异($P>0.05$),两组术后 3d、术后 6 个月的 VAS 评分和 JOA 评分均较术前明显改善($P<0.05$),组间比较无统计学差异($P>0.05$)。导板组和徒手组分别置入 C2 椎弓根螺钉 42 枚、43 枚;置钉准确率(0 级+1 级)分别为 95.2%、72.1%。两组螺钉矢状面偏离角度分别为 $0.52^{\circ}\pm 0.42^{\circ}$ 、 $2.21^{\circ}\pm 0.69^{\circ}$,横断面偏离角度分别为 $0.51^{\circ}\pm 0.36^{\circ}$ 、 $2.16^{\circ}\pm 0.77^{\circ}$ 。导板组在置钉准确率、螺钉偏差角度均优于徒手组($P<0.05$)。并发症情况:两组患者中共发生椎动脉损伤 4 例,其中导板组 0 例,徒手组 4 例,差异有统计学意义($P<0.05$),所有患者术后均未发生螺钉松动、断钉断棒。**结论:**在椎动脉高跨患者中,3D 打印导板和徒手技术辅助置钉可达到相似的临床疗效,但在置钉准确性和安全性方面,导板技术更占优势,同时它能显著缩短置钉时间、透视时间,降低手术并发症。

【关键词】椎动脉高跨;3D 打印导板;徒手技术;C2 椎弓根螺钉;准确性

doi:10.3969/j.issn.1004-406X.2020.04.06

中图分类号:R543.4,R687.3 文献标识码:A 文章编号:1004-406X(2020)-04-0323-08

Clinical study of C2 pedicle screw placement in patients with high-riding vertebral artery assisted by 3D-printed navigation template/TIAN Ye, ZHANG Jia'nan, CHEN Hao, et al//Chinese Journal of Spine and Spinal Cord, 2020, 30(4): 323-330

【Abstract】 Objectives: To investigate the accuracy and safety of 3D-printed navigation template-assisted C2 pedicle screw(C2PS) placement in patients with high-riding vertebral artery. **Methods:** A retrospective study was performed on 72 patients with high-riding vertebral artery who underwent posterior internal fixation of upper cervical spine in our hospital from January 2018 to December 2018. According to the different placement methods of C2PS, they were divided into two groups: navigation template group($n=36$), and freehand group($n=36$). There were no significant difference in age, gender, body mass index(BMI) and disease type between the two groups ($P>0.05$). The single C2PS placement time, operation time, fluoroscopy time, intraoperative blood loss, operation-related complications, operation cost, hospitalization time, VAS scores and cervical JOA scores preoperatively and at 3 and 6 months postoperatively in the two groups were recorded and compared. The accuracy of C2PS placement was evaluated according to the screw classification standard

基金项目:国家自然科学基金重点项目(编号:81830077,81772357)

第一作者简介:男(1993-),硕士研究生,住院医师,研究方向:脊柱外科

电话:(029)62818370 E-mail:554757886@qq.com

通讯作者:郝定均 E-mail:haodingjun@126.com

proposed by Kawaguchi et al. And the deviation angles of C2PS in sagittal plane and cross section were recorded. **Results:** The C2PS placement time, operation time and fluoroscopy time in navigation template group were significantly better than those in freehand group ($P < 0.05$), and the technical cost in freehand group was significantly lower than that in navigation template group ($P < 0.05$). There were no significant difference in intraoperative blood loss and hospitalization time between the two groups ($P > 0.05$), the VAS and JOA scores at 3 days and 6 months postoperatively were significantly improved compared with the preoperative scores ($P < 0.05$) but did not differ significantly between the 2 groups ($P > 0.05$). 42 and 43 C2 pedicle screws were placed in navigation template group and freehand group, respectively. The accuracy (grade 0+grade 1) was 95.2% and 72.1%, respectively. Deviation sagittal in the two groups were $0.52^\circ \pm 0.42^\circ$, $2.21^\circ \pm 0.69^\circ$, respectively. And deviation transversal were $0.51^\circ \pm 0.36^\circ$, $2.16^\circ \pm 0.77^\circ$, respectively. The accuracy, screw deviation angle of navigation template group were better than those of freehand group ($P < 0.05$). Complications: four vertebral artery injuries (0 in navigation template group, 4 in freehand group). There were no screw loosening, broken screw or broken rod in all patients after surgery. **Conclusions:** In patients with HRVA, 3D-printed navigation template and freehand technology-assisted C2PS placement can provide similar clinical efficacy, but in terms of the accuracy of screw placement, navigation template technology is more dominant, and it can significantly shorten the time of screw placement, fluoroscopy time and reduce the complications of operation.

[Key words] High-riding vertebral artery; 3D-printed navigation template; Freehand technology; C2 pedicle screw; Accuracy

[Author's address] Department of the Spine Surgery, Xi'an Honghui Hospital Affiliated to Medical College of Xi'an Jiaotong University, Xi'an, 710054, China

C2 内固定技术是脊柱外科领域一项极为重要的发明,促进了上颈椎手术的巨大发展,尤其 C2 椎弓根螺钉 (C2 pedicle screw, C2PS) 固定往往是上颈椎后路手术首选的内固定方式。生物力学研究^[1-3]显示, C2 椎弓根螺钉具有更大的把持力和抗拔出,由 C2 椎弓根螺钉构成的内固定系统具有理想的固定强度。然而 C2 结构复杂,毗邻重要的血管和神经,尤其以椎动脉解剖结构变异发生率较高。研究发现 C2 椎动脉高跨畸形发生率高达 14.5%~33.9%^[4-7], Bloch 等^[8]定义椎动脉高跨为峡部内部高度 (椎动脉孔顶部至上关节面) 小于 2mm,或峡部厚度 (寰枢关节中点测量) 小于 5mm,或两者兼有。当发生椎动脉高跨时 C2 峡部内部高度和厚度的变化导致椎弓根螺钉的置钉难度显著增加,要求临床医生要有较高的置钉准确性,以避免血管损伤的发生。目前临床医生普遍采用徒手置入 C2 椎弓根螺钉的方法^[9-11]。然而在椎动脉高跨患者中,即便是有经验的脊柱外科医生,徒手置钉依然面临着严峻的挑战。随着数字骨科技术的发展,3D 打印技术已逐步应用于上颈椎置钉以提高螺钉置入准确率。既往研究^[12-14]表明,3D 打印导板可显著增加颈椎椎弓根螺钉的置入准确性,大大提高上颈椎手术的安全性和有效性。本研究我们将 3D 打印导板辅助置钉和徒手技术置钉

应用于椎动脉高跨患者,对比分析两种方法置入 C2 椎弓根螺钉的准确性和安全性。

1 资料与方法

1.1 一般资料

纳入标准:(1)术前影像学检查确定所有患者均为一侧或双侧椎动脉高跨,诊断标准:峡部内部高度小于 2mm,或峡部厚度小于 5mm,或两者兼有;(2)用 3D 打印导板或徒手技术辅助置入 C2 椎动脉高跨侧椎弓根螺钉;(3)患者术前术后资料完整。排除标准:(1)术前 CT 重建及 CTA 显示椎动脉高跨程度严重或合并椎弓根狭窄不能置入 C2PS 的患者;(2)上颈椎肿瘤或者感染;(3)既往有上颈椎手术史;(4)严重骨质疏松患者。

本研究共纳入 2018 年 1 月~2018 年 12 月在我院行上颈椎后路内固定术病例 72 例,符合纳入及排除标准。徒手组 36 例 (左侧椎动脉高跨 15 例;右侧 14 例;双侧 7 例);导板组 36 例 (左侧 16 例;右侧 14 例;双侧 6 例)。所有患者术前均行颈椎 X 线、CT (0.5mm 厚度扫描并行矢状位、冠状位重建)、CTA、MRI 检查。两组患者的性别、年龄、体重指数 (body mass index, BMI)、疾病类型等一般资料比较无统计学差异 ($P > 0.05$, 表 1)。本研究两组患者手术分别由两名高年资脊柱外科医生完

表 1 两组患者术前一般资料比较

Table 1 Comparison of general data between the two groups before operation

	导板组 (n=36) Navigation template group	徒手组 (n=36) Freehand group
年龄(岁) Age	49.6±12.3	50.1±11.5
性别(男/女) Gender	25/11	23/13
体重指数(kg/m ²) BMI	23.98±3.95	24.34±3.52
疾病类型 Diagnosis		
枢椎骨折 AF	9	8
枢椎齿状突骨折 FOA	14	15
寰枢椎脱位 AD	7	8
颅底凹陷症 BI	4	4
脊髓型颈椎病 CSM	2	1

Note: AF, axis fracture; FOA, fracture of the odontoid process of the axis; AD, atlantoaxial dislocation; BI, basilar invagination; CSM, cervical spondylotic myelopathy

成,他们分别根据各自偏好选择手术方式,所有患者术前均签署知情同意书。

1.2 手术方法

1.2.1 3D 打印导板组 导板的制作:所有患者术前行手术节段的颈椎 CT 平扫(层厚 0.5mm),将获取的 CT 图像资料以 DICOM 格式保存后导入三维重建软件 Mimics 17.0 (Materialise company, Belgium)进行 C2 三维模型重建,将重建的模型以

STL 格式导入 3-Matic 21.0 软件并模拟螺钉的位置、方向、直径,设计出 C2 椎弓根螺钉的最优钉道,提取 C2 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与 C2 椎弓根螺钉的最优钉道拟合为一体,最终形成带有 2 个定位导向孔的导板。将 C2 三维模型及导板文件以 STL 文件保存后输入 3DS Project 3600 型光敏树脂打印设备 (3DS company, The United States) 打印出 C2 三维模型及导航模板(图 1)。手术操作:术前将 C2 三维模型、3D 打印导板经等离子体灭菌器灭菌,于 3D 模型上进行模拟预置钉。术中充分显露 C2 棘突、椎板和侧块,将导板紧密贴附于 C2 后表面,助手协助固定(图 1),使用高速钻头沿着导向孔方向钻出螺钉轨迹,探针探查四壁安全后攻丝并置入合适长度 C2 椎弓根螺钉。

1.2.2 徒手组 术前根据 CT 及 CTA 测量 C2 椎弓根的宽度及螺钉置入的角度、方向。全身麻醉后,患者取俯卧位,充分剥离椎旁肌完成骨性显露,根据传统解剖学标志(C2 下关节突内上 1/4 象限)大致确定 C2 椎弓根螺钉进钉点,结合术前影像学测量数据及术者经验可对进钉点和螺钉方向进行适当调整并选取合适的头倾角和内倾角,使用高速磨钻完成钉道准备,探针探查四壁安全后攻丝并置入合适长度 C2 椎弓根螺钉。

1.3 评估方法

术前根据 CT 重建或 CTA 测量 C2 峡部厚度及峡部内部高度评估椎动脉高跨的严重程度,测

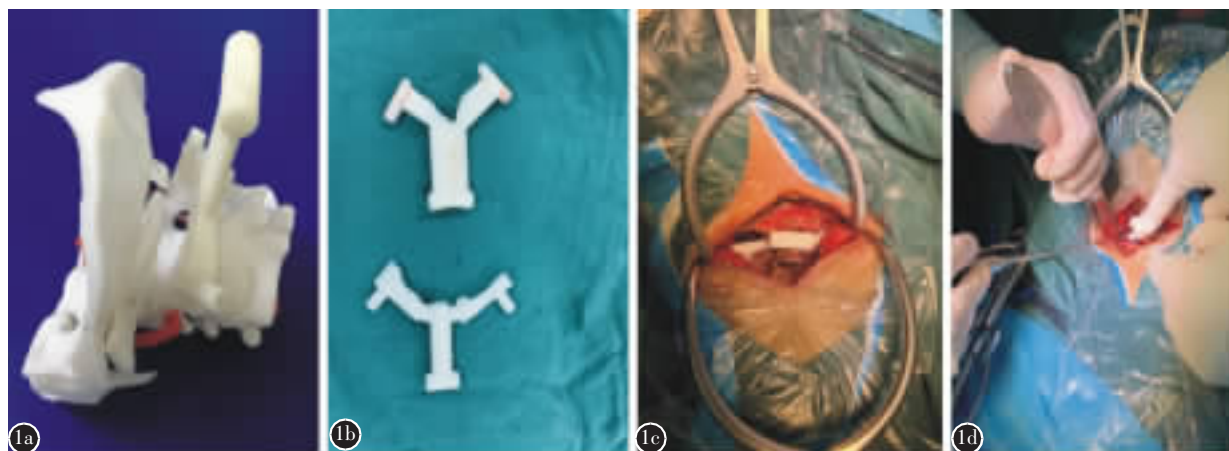


图 1 a、b C2 的 3D 打印模型和 3D 打印导板,用于术前模拟置钉 c、d 术中 3D 打印导板辅助置入 C2 椎弓根螺钉

Figure 1 a, b 3D model and 3D-PNT of C2 were used to simulate screw placement before operation c, d The 3D-PNT assisted placement of C2PS during the operation

量方法(图2)。同时在PACS系统上通过PacsClient软件测量椎动脉高跨侧的C2椎弓根宽度并模拟置钉。所有患者术后4~7d对固定节段行CT,扫描条件:层厚0.5mm。将术后CT数据以DICOM格式导入Mimics 17.0软件,重建椎体及螺钉。在PACS系统上对所有椎动脉高跨侧的C2椎弓根螺钉进行测量和分析,通过Mimics 17.0软件测量实际置钉的头倾角和内倾角,术前模拟置钉与术后实际置钉角度的差即为螺钉在矢状面与横断面上的偏差角度,同时按照Kawaguchi等提出的螺钉分级标准^[15]对所有螺钉进行分级并评估螺钉置入准确性。该分级如下:0级,螺钉完全位于椎弓根;1级,螺钉突破皮质 $\leq 2\text{mm}$;2级,螺钉突破皮质 $>2\text{mm}$;3级,有椎动脉、神经损伤。由一名脊柱外科医师和一名影像科医师共同评估两组患者术后CT结果。其中0级为精确置钉,0级+1级为临床可接受置钉并以此评估置钉准确率,其余为不良置钉。

记录并比较两组患者单枚C2椎弓根螺钉置入时间、手术时间、透视时间、术中出血量、手术技术费用、住院时间及置钉相关并发症。同时比较两组患者术前、术后3d及术后6个月的VAS评分及颈椎JOA评分。

1.4 统计学方法

使用SPSS 21.0软件进行统计学处理。计量资料采用均数 $\pm$ 标准差表示,两组间计量资料比较采用独立样本 t 检验,组内各时间点数据比较采用方差分析;两组间计数资料比较采用卡方检

验;等级资料比较采用秩和检验,检验水准 $\alpha=0.05$ 。

2 结果

2.1 影像学评估

导板组共置入C2椎弓根螺钉42枚,术后CT评估显示,0级螺钉23枚,1级螺钉(图3)17枚,2级螺钉2枚,3级螺钉0枚,置钉准确率为95.2%(40/42)。徒手组共置入C2椎弓根螺钉43枚,术后CT评估显示,0级螺钉14枚,1级螺钉17枚,2级螺钉(图4)8枚,3级螺钉4枚,置钉准确率为72.1%(31/43)。导板组及徒手组矢状面偏离角度分别为 $0.52^\circ\pm 0.42^\circ$ 、 $2.21^\circ\pm 0.69^\circ$,横断面偏离角度分别为 $0.51^\circ\pm 0.36^\circ$ 、 $2.16^\circ\pm 0.77^\circ$ 。统计学分析显示,两组螺钉等级资料比较差异有统计学意义($P<0.05$),导板组置钉准确率、矢状面及横断面偏离角度与徒手组比较差异有统计学意义($P<0.05$,表2)。

2.2 围手术期资料

导板组置钉时间、手术时间、透视次数明显优于徒手组($P<0.05$),手术技术费用徒手组明显低于导板组($P<0.05$),两组术中出血量、住院时间无明显统计学差异($P>0.05$)。并发症:徒手组术中置钉过程中发生椎动脉损伤4例(左侧2例、右侧2例),均采用骨蜡封闭通道止血。3例患者术后均有不同程度的头晕症状,但无神经症状产生,术后3d头晕症状明显缓解,另1例由于损伤的椎动脉为优势动脉,术后患者出现短暂意识障碍、眼球震



图2 a 在冠状位寰枢关节面中线(垂线X)定位该层面对应的矢状面图像 b 先确定椎动脉沟(星号)上缘顶点(黄点),测量该点到上关节面上缘外侧皮质处(红点)的距离,即为峡部内部高度(A),峡部厚度(B)即测量该矢状面峡部最窄部位的距离

Figure 2 a The sagittal image was taken as the midpoint(perpendicular line X) of the atlantoaxial joint on the coronary plane b First, determined the tip (yellow

dot) of the VA groove(asterisk), and the distance between this point and the tip of lateral margin of the superior facet (red dot) was the isthmus internal height(A), isthmus thickness(B) was the thickness of the isthmus at the narrowest part on the sagittal plane

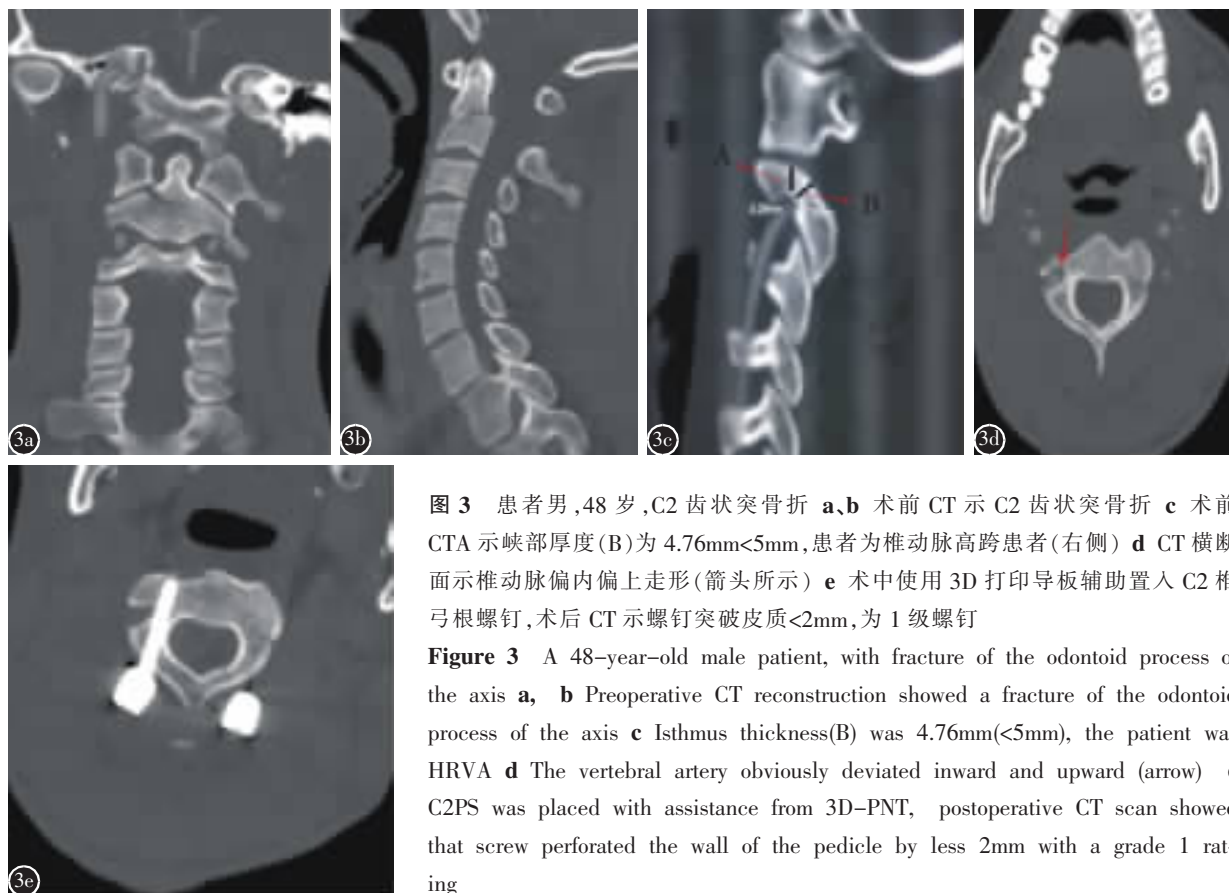


图3 患者男,48岁,C2齿状突骨折 a、b 术前CT示C2齿状突骨折 c 术前CTA示峡部厚度(B)为4.76mm<5mm,患者为椎动脉高跨患者(右侧) d CT横断面示椎动脉偏内偏上走形(箭头所示) e 术中使用3D打印导板辅助置入C2椎弓根螺钉,术后CT示螺钉突破皮质<2mm,为1级螺钉

Figure 3 A 48-year-old male patient, with fracture of the odontoid process of the axis a, b Preoperative CT reconstruction showed a fracture of the odontoid process of the axis c Isthmus thickness(B) was 4.76mm(<5mm), the patient was HRVA d The vertebral artery obviously deviated inward and upward (arrow) e C2PS was placed with assistance from 3D-PNT, postoperative CT scan showed that screw perforated the wall of the pedicle by less 2mm with a grade 1 rating

颤、面瘫,复查头颅CT示小脑梗死,给予对症治疗1个月后症状明显缓解;导板组无神经血管损伤。两组患者随访时间均为12个月,定期复查颈椎X线、CT均未发现螺钉松动及断钉断棒。两组患者围手术期资料见表3。两组术后3d、术后6个月的VAS评分和JOA评分均较术前明显改善($P<0.05$),组间比较无统计学差异($P>0.05$,表4)。

3 讨论

1994年Goel和Laheri^[16]首次报道了应用C2椎弓根螺钉治疗寰枢椎脱位。随着脊柱外科的巨大发展,C2椎弓根螺钉因为其良好的生物力学特性已经广泛应用于上颈椎手术,且临床效果满意。C2椎弓根螺钉的常规进钉点位于C2上下关节突中点,头倾 $20^{\circ}\sim 25^{\circ}$,内倾 $15^{\circ}\sim 30^{\circ}$ ^[16]。然而在椎动脉高跨患者中,由于椎动脉走行的变异,C2椎弓根螺钉的进钉点和角度均会发生变化, Lee等^[17]将轴位椎动脉(IAVA)分为9型,椎动脉高跨(HRVA)包括C-2型和部分B-2型,他们认为HRVA患者C2PS的入路点应尽量靠近C2侧块外侧,且内倾角和头倾角更大。Yeom等^[14]置入

78枚椎动脉高跨侧的C2椎弓根螺钉,其中38枚侵犯椎动脉沟,准确率仅为51%(40/78)。因此需要一种更为可靠的技术来提高椎动脉高跨患者中螺钉置入的准确性和安全性。近年来随着3D打印技术的发展,3D打印导板技术因其独特的优势已广泛应用于各种复杂的上颈椎手术。

本研究探讨了在椎动脉高跨患者中3D打印导板及徒手两种技术辅助置入C2椎弓根螺钉的准确性和安全性。我们的研究结果显示徒手组置钉准确率为72.1%,而既往两项研究^[11,18]显示,在解剖正常患者中徒手置入C2PS的准确率分别为82.7%和85%,明显高于我们的研究结果。因此我们认为在椎动脉高跨患者中,由于血管的变异和置钉难度的增加,即便对于有经验的脊柱外科医师,徒手置入C2PS的置钉准确率也相对较低。而导板组在置钉准确率、螺钉偏差角度方面明显优于徒手组($P<0.05$)。我们发现导板是基于C2后方骨性解剖结构逆向设计的,两个导向孔可提供最佳的进钉点和进钉方向,且使用导板不会受限于血管变异,只要在导向孔的引导下置钉,便可保证螺钉的准确性。Kaneyama等^[19]研究表明,导板系

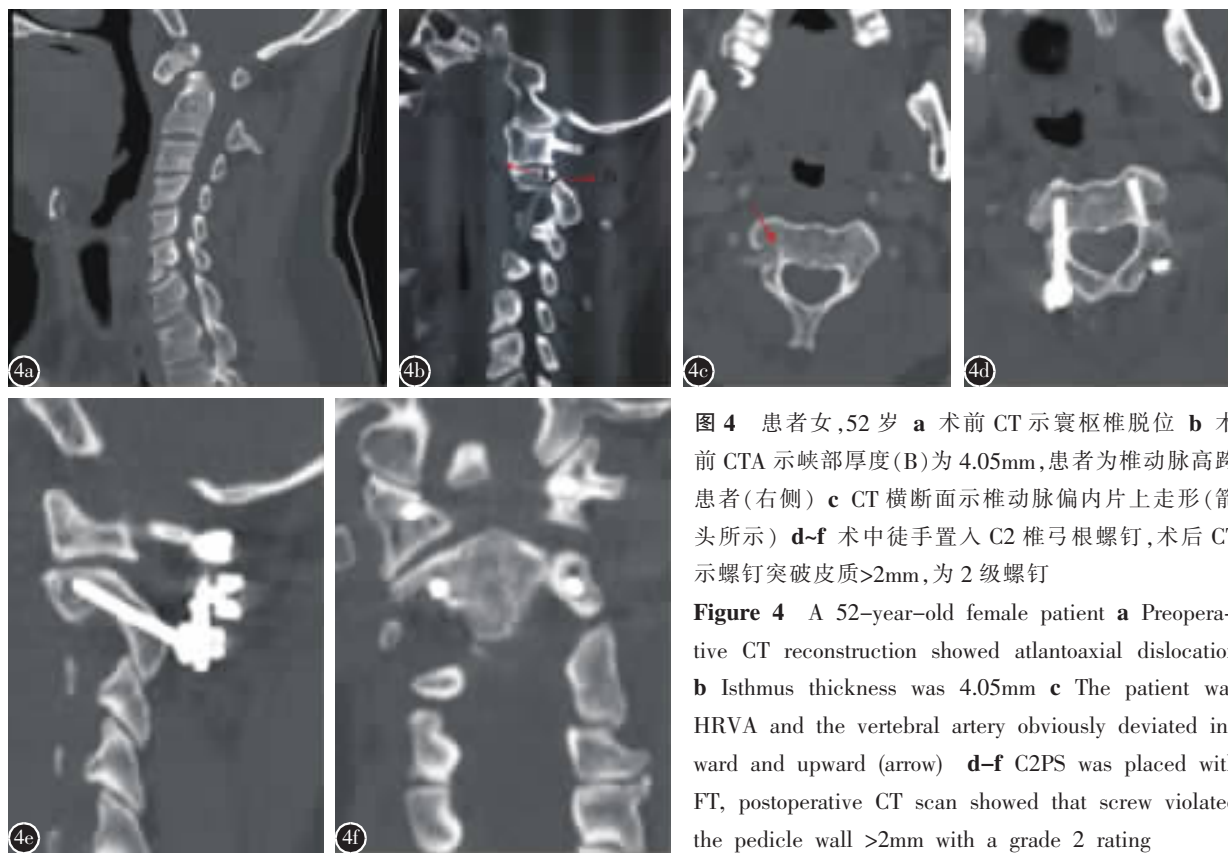


图4 患者女,52岁 a 术前CT示寰枢椎脱位 b 术前CTA示峡部厚度(B)为4.05mm,患者为椎动脉高跨患者(右侧) c CT横断面示椎动脉偏内片上走形(箭头所示) d~f 术中徒手置入C2椎弓根螺钉,术后CT示螺钉突破皮质>2mm,为2级螺钉

Figure 4 A 52-year-old female patient **a** Preoperative CT reconstruction showed atlantoaxial dislocation **b** Isthmus thickness was 4.05mm **c** The patient was HRVA and the vertebral artery obviously deviated inward and upward (arrow) **d-f** C2PS was placed with FT, postoperative CT scan showed that screw violated the pedicle wall >2mm with a grade 2 rating

统可显著提高C2螺钉的置入准确性,即使在严重畸形的C2椎体中导板系统也是可靠的。胡勇等^[20]通过尸体标本研究证实导板技术操作简易,可显著提高置钉精确性并减少螺钉偏差。此外我们的导板是对应于单个椎体,它可以与C2后方

骨性结构实现精准匹配,二者紧密贴附,不会因患者体位及C1-C2椎体序列改变而影响置钉准确率^[21]。既往研究^[22-24]认为骨表面软组织会影响导板与椎体后方的贴附,从而导致导板不稳定,影响置钉准确率。本研究导板组置钉准确率为95.2%

表2 两组置钉C2椎弓根螺钉置钉准确性比较

Table 2 Comparison of the accuracy of C2 pedicle screw between the two groups

	导板组(n=42) Navigation template group	徒手组(n=43) Freehand group
螺钉分级 Screw criteria		
0级/Grade 0	23	14
1级/Grade 1	17	17
0级+1级/Grade 0+1	40(95.2%)	31(72.1%)
2级/Grade 2	2	8
3级/Grade 3	0	4
矢状面角度(°) Deviation sagittal	0.52±0.42 ^①	2.21±0.69
横断面角度(°) Deviation transversal	0.51±0.36 ^①	2.16±0.77

注:①与徒手组比较 $P<0.05$

Note: ①Compared with freehand group, $P<0.05$

表3 两组围手术期资料比较

Table 3 Comparison of perioperative data between the two groups

	导板组(n=36) Navigation template group	徒手组(n=36) Freehand group
置钉时间(min/枚) Screw placement time	2.07±0.23 ^①	3.21±0.37
手术时间(min) Operation time	114.67±18.96 ^①	136.83±19.06
透视时间(s) Fluoroscopy time	5.21±0.76 ^①	8.83±0.97
术中出血量(ml) Blood loss	210.72±40.15	208.67±37.42
手术并发症(n) Complication	0 ^①	4(11.10%)
手术技术费用(¥) Technical cost	500	0
住院时间(d) Hospitalization time	6.94±0.73	7.06±0.87

注:①与徒手组比较 $P<0.05$

Note: ①Compared with freehand group, $P<0.05$

表 4 两组 VAS 评分和 JOA 评分比较

Table 4 Comparison of VAS score and JOA score between the two groups

	VAS评分 VAS score			JOA评分 JOA score		
	术前 Preoperative	术后 3d 3 days after operation	术后 6 个月 6 months after operation	术前 Preoperative	术后 3d 3 days after operation	术后 6 个月 6 months after operation
导板组 Navigation template group	7.13±0.73	3.27±0.59 ^①	2.21±0.46 ^{①②}	7.71±1.02	10.58±1.31 ^①	11.97±1.24 ^{①②}
徒手组 Freehand group	7.25±0.96	3.12±0.69 ^①	2.19±0.58 ^{①②}	7.80±0.87	10.67±1.24 ^①	12.11±0.96 ^{①②}
<i>t</i> 值 <i>t</i> value	-0.409	0.701	0.094	-0.280	-0.196	-0.375
<i>P</i> 值 <i>P</i> value	0.685	0.488	0.925	0.781	0.846	0.710

注:①与同组术前比较 $P<0.05$;②与术后 3d 比较 $P<0.05$ Note: ①Compared with the same group preoperative, $P<0.05$; ②Compared with 3 days after operation, $P<0.05$

(40/42),其中有 2 枚 2 级螺钉,我们考虑是术中软组织剥离不充分所致的,因此在使用导板时要彻底显露骨表面软组织,使导板与 C2 后方达到完美贴附,从而避免软组织对置钉准确率的影响。此外需要注意的是在置钉过程中需由助手在一旁协助固定导板,以保证导板的稳定性。

本研究中徒手组置钉过程中发生 4 例椎动脉损伤,导板组无血管损伤。传统徒手置钉过程中主要依靠的是正常的解剖标志和医生的临床经验,而在椎动脉高跨患者中,由于血管的变异,椎动脉在经过 C2 横突孔时明显偏内偏上走形,占据了部分峡部骨质,导致 C2 峡部厚度或峡部内部高度变小。C2 的这种解剖变结构使得常规的进钉点和进钉角度发生改变,甚至部分 HRVA 患者可能有且只有一条最优钉道,一旦术中调整钉道,则导致置钉难度、螺钉穿破皮质风险显著增加。因此对于 HRVA 患者,徒手置钉不仅对操作者的要求较高,同时椎动脉损伤风险也较大。既往研究^[4,25]发现在椎动脉高跨患者中,由于椎动脉的解剖变异,C2 椎弓根螺钉的置入会显著增加椎动脉损伤风险。相反导板技术正好可弥补徒手置钉的缺陷,由于置钉前已经规划好了最佳的进钉点和进钉角度,且导向孔可精确引导置钉,从而使相对复杂的手术操作变得简单,使 C2 置钉准确性和安全性大大提高。

我们发现两组患者术后 VAS 评分和 JOA 评分均较术前明显改善($P<0.05$),且组间比较无统计学差异($P<0.05$),术后临床疗效均较为满意。徒手组由于置钉难度的增加,术中需反复透视以确定螺钉的位置,而导板组一般只需透视术前和术

后 2 次,且导板上的导向孔可引导置钉,操作简单,所以它在置钉时间、手术时间、透视时间方面明显优于徒手组($P<0.05$)。既往研究^[26,27]也证实 3D 打印导板辅助置钉可明显缩短手术时间,降低患者及术者的辐射暴露。

本研究的局限性:(1)本研究样本量较小,且为回顾性研究,以后需要更多大样本、多中心的前瞻性研究进一步验证结果。(2)导板的设计和打印一般需要 1~2d 时间,因此不能用于急诊手术。

综上所述,在椎动脉高跨患者中,3D 打印导板技术辅助置入 C2 椎弓根螺钉相比于徒手置钉能提供较高的准确性和安全性,可降低手术操作难度、减少置钉时间及透视时间,值得在椎动脉高跨患者中推广使用。

4 参考文献

1. Lehman RA, Dmitriev AE, Helgeson MD, et al. Salvage of C2 pedicle and pars screws using the intralaminar technique [J]. Spine, 2008, 33(9): 960-965.
2. Dmitriev AE, Jr LR, Helgeson MD, et al. Acute and long-term stability of atlantoaxial fixation methods: a biomechanical comparison of pars, pedicle, and intralaminar fixation in an intact and odontoid fracture model [J]. Spine, 2009, 34(4): 365-370.
3. Su BW, Shimer AL, Chinthakunta S, et al. Comparison of fatigue strength of C2 pedicle screws, C2 pars screws and a hybrid construct in C1-C2 fixation [J]. Spine, 2014, 39 (1): 12-19.
4. Yeom JS, Buchowski JM, Kim HJ, et al. Risk of vertebral artery injury: comparison between C1-C2 transarticular and C2 pedicle screws [J]. Spine J, 2013, 13(7): 775-785.
5. Kothari MK, Dalvie SS, Gupta S, et al. The C2 pedicle

- width, pars length, and laminar thickness in concurrent ipsilateral ponticulus posticus and high-riding vertebral artery: a radiological computed tomography scan-based study[J]. Asian Spine J, 2019, 13(2): 290-295.
6. Elgafy H, Pompo F, Vela R, et al. Ipsilateral arcuate foramen and high-riding vertebral artery: implication on C1-C2 instrumentation[J]. Spine J, 2014, 14(7): 1351-1355.
7. 黄学良, 朱双芳, 林雨聪, 等. 三维重建 CT 血管造影在 C1-2 水平椎动脉变异诊断中的价值[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2018, 28(4): 315-319.
8. Bloch O, Holly LT, Park J, et al. Effect of frameless stereotaxy on the accuracy of C1-2 transarticular screw placement [J]. J Neurosurg Spine, 2001, 95(1): 74-79.
9. Punyarat P, Buchowski JM, Klawson BT, et al. Freehand technique for C2 pedicle and pars screw placement: is it safe?[J]. Spine J, 2018, 18(7): 1197-1203.
10. Savastano DM, Tanofskykrav M, Han JC, et al. Radiographic and clinical evaluation of free-hand placement of C-2 pedicle screws[J]. J Neurosurg Spine, 2009, 11(1): 15-22.
11. Bydon M, Mathios D, Macki M, et al. Accuracy of C2 pedicle screw placement using the anatomic freehand technique [J]. Clin Neurol Neurosurg, 2014, 125: 24-27.
12. Lu T, Liu C, Dong J, et al. Cervical screw placement using rapid prototyping drill templates for navigation: a literature review[J]. Int J Comput Assist Radiol Surg, 2016, 11(12): 2231-2240.
13. Yu Z, Zhang G, Chen X, et al. Application of a novel 3D drill template for cervical pedicle screw tunnel design: a cadaveric study[J]. Eur Spine J, 2017, 26(9): 2348-2356.
14. 毛克政, 王庆德, 梅伟, 等. 3D 打印个体化导板辅助颈椎椎弓根螺钉置钉的可行性研究[J]. 中华创伤杂志, 2016, 32(1): 47-50.
15. 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, 2012, 37(23): 1983-1988.
16. Goel A, Laheri V. Plate and screw fixation for atlanto-axial subluxation[J]. Acta Neurochir, 1994, 129(1-2): 47-53.
17. Lee SH, Park DH, Kim SD, et al. Analysis of 3-dimensional course of the intra-axial vertebral artery for C2 pedicle screw trajectory[J]. Spine, 2014, 39(17): E1010-E1014.
18. Sciubba DM, Noggle JC, Vellimana AK, et al. Radiographic and clinical evaluation of free-hand placement of C-2 pedicle screws[J]. J Neurosurg Spine, 2009, 11(1): 15-22.
19. Kaneyama S, Sugawara T, Sumi M, et al. A novel screw guiding method with a screw guide template system for posterior C-2 fixation[J]. J Neurosurg Spine, 2014, 21(2): 231-238.
20. 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.
21. Zhang G, Yu Z, Chen X, et al. Accurate placement of cervical pedicle screws using 3D-printed navigational templates: an improved technique with continuous image registration[J]. Orthopade, 2018, 47(5): 428-436.
22. 蒲兴魏, 罗春山, 邱冰, 等. 改良 3D 打印导航模板辅助寰枢椎椎弓根螺钉置钉的准确性分析 [J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2017, 27(8): 686-691.
23. 吴超, 邓佳燕, 谭伦, 等. 复合型 3D 打印导航模板辅助枢椎椎弓根或椎板置钉的临床研究[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2018, 28(11): 982-988.
24. 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.
25. Bransford RJ, Russo AJ, Freeborn M, et al. Posterior C2 instrumentation: accuracy and complications associated with four techniques[J]. Spine, 2011, 36(14): 936-943.
26. Shuai G, Teng L, Qiaolong H, et al. Accuracy assessment of using rapid prototyping drill templates for atlantoaxial screw placement: a cadaver study[J]. Biomed Res Int, 2016, 2016: 1-9.
27. 中华医学会医学工程学分会数字骨科学组, 国际矫形与创伤外科学会(SICOT)中国部数字骨科学组. 3D 打印骨科手术导板技术标准专家共识[J]. 中华创伤骨科杂志, 2019, 21(1): 6-9.

(收稿日期:2019-12-30 修回日期:2020-03-19)

(英文编审 谭 啸)

(本文编辑 彭向峰)