

O-arm 导航、3D 打印导板及 C 型臂 X 线机 辅助下寰枢椎螺钉置入的准确性比较

李玉伟,王海蛟,崔巍,周鹏,严晓云,效伟

(河南省漯河市中心医院脊柱科 462000)

【摘要】目的:对比分析 O-arm 导航、个体化 3D 打印导板、C 型臂 X 线机辅助下置入寰椎侧块螺钉和枢椎椎弓根螺钉的准确性和安全性。**方法:**回顾性分析 2015 年 1 月~2020 年 12 月在我院行寰枢椎内固定术患者的临床资料,根据纳入和排除标准,共纳入 47 例患者,男 28 例,女 19 例;年龄 15~59 岁(46.2±10.0 岁)。根据置入寰枢椎螺钉方式的不同,分为导航组(应用 O-arm 导航辅助下置钉,11 例)、导板组(应用 3D 打印导板指导下置钉,15 例)、透视组(依据解剖标志在 C 型臂 X 线机透视辅助下徒手置钉,21 例)。统计三组的手术时间、置钉时间、术中出血量、一次性置钉成功率、螺钉置入精准性及并发症。**结果:**导航组手术时间、置钉时间和出血量分别为 120.7±11.1min、20.0±1.1min 和 225.8±25.6ml;导板组分别为 97.5±9.0min、15.8±1.9min 和 162.7±18.5ml;透视组分别为 121.0±12.8min、19.4±2.1min 和 239.0±24.5ml,导板组手术时间、置钉时间、出血量少于其他两组($P<0.05$)。共置入寰枢椎螺钉 188 枚,导航组 44 枚、导板组 60 枚、透视组 84 枚。导航组一次性置钉成功率为 100%(44/44),导板组为 93.3%(56/60)、透视组为 80.9%(68/84),导航组一次性置钉成功率高于其他两组($P<0.05$)。导航组 0、1、2、3 级置钉分别 44、0、0、0 枚,置钉准确率为 100%;导板组分别为 59、1、0、0 枚,准确率为 98.3%;透视组分别为 72、6、3、3 枚,准确率为 85.7%,透视组置钉准确率低于其他两组($P<0.05$)。透视组有 3 枚螺钉进入椎动脉孔,但术后均无脑缺血等相关表现。透视组术后 2 例患者出现枕颈部疼痛,分析原因为术中刺激 C2 神经根,给予糖皮质激素及脱水剂治疗后症状缓解;导航组与导板组均未出现术后枕颈部疼痛。三组患者手术切口均一期愈合,无切口或深部感染。**结论:**O-arm 导航及个体化 3D 打印导板辅助下置入寰枢椎螺钉均能取得较高的准确率,优于传统的 C 型臂 X 线机辅助下徒手置钉技术;O-arm 导航技术在寰枢椎的一次性置钉成功率方面具有优势;个体化 3D 导板能够在精确置入寰枢椎螺钉的情况下,节省手术时间、减少出血量。

【关键词】寰枢椎;侧块螺钉;椎弓根螺钉;O-arm 导航;3D 打印导板;徒手置钉

doi:10.3969/j.issn.1004-406X.2023.01.02

中图分类号:R681.5,R687.3 文献标识码:A 文章编号:1004-406X(2023)-01-0009-10

Comparison of the accuracies of atlantoaxial screw placement assisted by O-arm navigation, 3D printed guide plate, and C-arm/LI Yuwei, WANG Haijiao, CUI Wei, et al//Chinese Journal of Spine and Spinal Cord, 2023, 33(1): 9-18

【Abstract】Objectives: To compare and analyze the accuracy and safety of O-arm navigation, individualized 3D printed guide plate, and C-arm X-ray machine assisted atlantal lateral mass screw placement and axial pedicle screw placement. **Methods:** The clinical data of patients who underwent atlantoaxial internal fixation in our hospital from January 2015 to December 2020 were analyzed retrospectively. According to the inclusion and exclusion criteria, a total of 47 patients were enrolled, including 28 males and 19 females. The age ranged from 15 to 59 years, with an average of 46.2±10.0 years. The patients were divided into navigation group(O-arm navigation assisted, 11 cases), guide plate group(3D printed guide plate assisted, 15 cases), fluoroscopy group (freehand under C-arm fluoroscopy combined with anatomical signs, 21 cases) according to different atlantoaxial screw placement methods. The operative time, screw placement time, intraoperative blood loss, one-time success rate, screw accuracy, and complications were collected and compared between the three groups. **Results:** The guide plate group was less in operative time(97.5±9.0min), screw placement time(15.8±

第一作者简介:男(1971-),主任医师、教授,研究方向:脊柱外科

电话:(0395)3356003 E-mail:71561yw@sina.com

通讯作者:王海蛟 E-mail:460910316@qq.com

1.9min), and the intraoperative blood loss(162.7 ± 18.5 ml) than those of the navigation group(120.7 ± 11.1 min, 20.0 ± 1.1 min, and 225.8 ± 25.6 ml) and the fluoroscopy group(121.0 ± 2.8 min, 19.4 ± 2.1 min, and 239.0 ± 24.5 ml)($P < 0.05$). A total of 188 atlantoaxial screws were inserted, and the one-time success rate of screw placement was 100%(44/44) in the navigation group, 93.3%(56/60) in the guide plate group, and 80.9%(68/84) in the fluoroscopy group, which was higher in the navigation group than the other two groups($P < 0.05$). According to the grades of screw placement of 0, 1, 2, and 3, the accuracy of screw placement was 100%(44/0/0/0) in the navigation group, 98.3%(59/1/0/0) in the guide plate group, and 85.7%(72/6/3/3) in the fluoroscopy group, which was lower in the fluoroscopy group than that in the other two groups($P < 0.05$). In the fluoroscopy group, three screws were inserted into the vertebral artery foramen, and no cerebral ischemia or other related manifestations were found. Two patients experienced postoperative occipitocervical pain in the fluoroscopy group due to stimulation of C2 nerve root during operation, which was relieved after treatment with glucocorticoid and dehydrating agent. No patients of the other two groups experienced postoperative occipitocervical pain. The incision of the three groups of patients all healed in one stage without incision or deep infection. **Conclusions:** Both O-arm navigation system and individualized 3D printed guide plate assisted atlantoaxial screw placement can achieve high accuracy, which are better than the traditional freehand screw placement technique under C-arm fluoroscopy; O-arm navigation technology superiors in the one-time success rate of atlantoaxial screw placement; Individualized 3D printed guide plate can save operative time and reduce bleeding while accurately placing atlantoaxial screws.

【Key words】 Atlantoaxial; Lateral mass screw; Pedicle screw; O-arm navigation; 3D printed guide plate; Freehand placement

【Author's address】 Department of Spine Surgery, Luohe Central Hospital, Luohe, 462000, China

后路寰枢椎内固定术是治疗上颈椎骨折、寰枢椎关节脱位等疾病的重要方法^[1-3]。但寰枢椎毗邻椎动脉及高位脊髓,置入寰枢椎螺钉的过程中存在损伤椎动脉和脊髓的风险^[4-6]。同时由于寰枢椎的解剖形态个体差异性大,进钉点和进钉角度难以掌握,首次置钉置入失败会增加再次置钉的难度^[7-9]、螺钉把持力下降,从而影响寰枢椎脱位复位能力和术后局部稳定的疗效。因此对寰枢椎螺钉置入的精确性及一次性置钉成功率要求较高。随着骨科数字化技术的发展,近年来出现了术中三维导航系统辅助下置钉技术、个体化 3D 打印导板辅助下置钉技术,为临床医生提供了辅助手段。已有学者报道了三维导航技术、个体化 3D 打印导板技术与术中徒手置钉的准确性比较^[1-6],均优于徒手置钉。但是,关于 O-arm 导航技术、3D 打印导板技术和徒手置钉技术在寰枢椎置钉中的安全性和准确性对比研究,目前尚无相关的报道。本研究回顾性分析 2015 年 1 月~2020 年 12 月在我院采用颈后路寰枢椎矫形内固定术治疗的 47 例寰枢椎骨折脱位患者,比较术中应用 O-arm 导航技术、3D 打印导板技术与 C 型臂 X 线机透视辅助下徒手置钉的效果,为临床治疗提供参考。

1 资料与方法

1.1 病例纳入与排除标准

纳入标准:(1)可复性寰枢椎脱位或不稳,行寰枢椎内固定术的患者;(2)无手术禁忌证,可耐受手术。排除标准:(1)影像学显示椎弓根细小或畸形,无法置入侧块/椎弓根螺钉的患者;(2)影像学显示椎动脉高跨、内挤等变异,影响寰枢椎螺钉置入者;(3)牵引不能复位,需要前路松解的寰枢椎脱位患者;(4)合并严重基础疾病患者;(5)影像学资料不全及失访的患者。本研究获医院伦理委员会批准(LH-KY-2020-002-118),所有患者均知情同意并签订知情同意书。

1.2 一般资料

2015 年 1 月~2020 年 12 月在我院行寰枢椎后路内固定手术的患者共有 47 例符合上述纳入与排除标准。其中男 28 例,女 19 例;年龄 15~59 岁(46.2 ± 10.0 岁)。齿状突发育畸形并寰枢椎脱位 19 例,外伤性骨折脱位 25 例,类风湿性关节炎并寰枢椎脱位 3 例。术前患者均有枕颈活动受限、枕后部疼痛,32 例存在脊髓损害症状或体征。根据置入寰枢椎螺钉方式的不同,分为:导航组,应用 O-arm 导航辅助下置钉,11 例;导板组,应用 3D

打印导板指导下置钉,15 例;透视组,依据解剖标志在 C 型臂 X 线机透视辅助下置钉,21 例。三组患者的年龄、性别和疾病种类见表 1,三组间比较均无统计学差异($P>0.05$)。

1.3 设备及导板制作

1.3.1 导航设备 使用美国 Medtronic 公司的 O-arm 导航 Stealth Station S8 系统。导航工具:导航探针,导航开口器,2.25mm 椎弓根开路器。

1.3.2 导板制作 术前行寰枢椎 CT 平扫,层厚 0.25~0.5mm,并行三维重建。扫描图像存为 Dicom 格式。应用 Mimics 软件将 CT 数据合成三维模型,然后设计螺钉的位置(图 1a、b)。枢椎螺钉居中穿过椎弓根,寰椎螺钉位于侧块的椎动脉孔与椎管内壁正中、指向寰椎前结节,螺钉直径为 3.5~4.0mm。进行布尔运算得到导向筒,保存成 STL 格式文件。将椎体模型和导向筒一起导入 Solidworks 软件,经过光滑处理后,再将设计好的导板基座及拱形支撑文件以 STL 格式文件导出保存,在 Mimics 软件中导入设计好的拱形支撑,将手术导板拱形支撑结构调整到既能稳定连接,又能够方便术者术中把持(注意导向筒位于导板的最外侧,拱形支撑必须稳定不能形变)。随后在拱门上方建立一个直径为 6mm、长度 50mm 的把持柱,在 Mimics 软件中进行相应的布尔组合运算,再进行布尔差值运算,最终设计成个体化手术导板(图 1c、d)。将设计好的导板文件导入 3D 打印机(大亚 3D 打印机 S130,中国)进行双份打印并进行后处理。一份用于术前已提前打印并处理好的 1:1 比例寰枢椎模型上模拟使用(图 1e),待模拟成功后,将另一份导板消毒备用。

表 1 三组患者的一般资料

Table 1 General information of the three groups of patients

	导航组 (n=11) Navigation group	导板组 (n=15) Guide plate group	透视组 (n=21) Fluoroscopy group	P 值 P value
年龄(岁) Age (years)	44.45±11.80	46.40±9.96	47.04±9.32	0.789
性别(男/女) Gender(male/ female)	8/3	11/4	15/6	0.992
病因(发育/外 伤/类风湿) Cause (developmental/ traumaic/ rheumatoid)	4/6/1	7/8/0	8/11/2	0.803

1.4 手术方法

气管插管全麻后给予颅骨牵引,保持颈椎平直下翻身,俯卧位。后正中切口,显露寰椎寰后弓及枢椎椎板和侧块。

1.4.1 导航组 参考架固定于枢椎棘突,利用 O-arm 获取寰枢椎三维数据并传入导航系统。注册导航工具后,使用导航探针放置在寰椎后弓正中验证导航数据的准确性,根据导航提供的实时三维图像,在枢椎椎弓根及寰椎侧块开孔、扩大钉道深度(图 2a、b)。攻丝并拧入螺钉。

1.4.2 导板组 仔细将寰椎后弓正中及枢椎椎板棘突的软组织切除干净,将枢椎导板放置在枢椎棘突椎板上紧密贴附以降低误差。助手在开孔过程中保持一定压力将导板固定,用电钻将 1.0~1.5mm 的克氏针沿导板设定的方向开口进入约 20mm。将寰椎导板同样紧贴寰椎后弓,应用 1.0~1.5mm 的克氏针沿导板设定的方向开口进入约 20mm。放入不同直径的克氏针,C 型臂 X 线机侧位透视,如克氏针与预定方向不一致,则根据侧位透视调整上斜角度,使克氏针与预方向一致。确认和既定方向一致后,沿既定方向扩大钉道至预定深度,取出导板,球形探针探查无误后攻丝并置入螺钉。

1.4.3 透视组 剥离出枢椎侧块,显露出枢椎椎弓根内上缘后,在枢椎侧块中点偏外 2mm 开孔,直视枢椎椎弓根内上缘,沿枢椎椎弓根方向扩孔,每进入 5mm 即退出,观察有无出血并用球探探查四壁是否完整。在寰椎后弓中线旁开约 20mm 处应用小刮匙剥离后弓下缘,显露寰椎侧块,应用棉片挡开枕大神经后,在侧块正中开孔,沿头倾约 5°、内倾约 10°的方向扩孔,每进入 5mm 用探针探查四壁骨质是否完整。在钉道放置 4 根不同直径的克氏针,应用 C 型臂透视确认定位针的位置,如定位针位置不佳调整方向,直至钉道位置满意,攻丝后拧入螺钉。

三组在螺钉置入完成后,安装内固定装置。冲洗后应用磨钻将寰椎后弓及枢椎椎板皮质骨磨毛,在髂后棘取颗粒状松质骨,植入寰枢椎之间。放置引流管后逐层关闭切口。

1.5 观察指标

1.5.1 手术时间 切皮开始到缝合结束的时间。

1.5.2 置钉时间 以完成椎板剥离后为起始时间点,以置入最后 1 枚螺钉为结束时间点。

1.5.3 一次性置钉成功率 从皮质骨开口、扩开椎弓根钉道，到探子探明钉道四壁完整后置入螺钉，全过程均为一次性完成，则为一次性置钉成功。置钉过程中出现开孔调整、钉道方向调整、或置钉后螺钉松动重新置入螺钉，则定义为非一次性置钉成功。一次性置钉成功率=一次性置钉成功螺钉数目/置钉总数 $\times 100\%$ 。

1.5.4 置钉准确性评估 术后进行薄层（层厚 0.25mm~0.5mm）CT 扫描并重建，依据术后 CT 的三维图像评价置钉准确性^[9]：0 级，螺钉全部位于椎弓根内；I 级，螺钉穿破椎弓根的部分<螺钉直径的 25%；II 级，螺钉穿破椎弓根的部分为螺钉直径的 25%~50%；III 级，螺钉穿破椎弓根部分>螺钉直径的 50%，螺钉进入椎动脉孔或椎管内。置

钉准确率=(0 级螺钉数/总螺钉数) $\times 100\%$

1.6 统计学分析

采用 SPSS 19.0 统计软件进行分析。计量资料以均数 $\pm$ 标准差表示，多组间的比较采用单因素方差分析， $P<0.05$ 为差异有统计学意义。计数资料采用频数和百分比表示，组间比较采用卡方检验；检验水准 α 值取双侧 0.05。

2 结果

三组患者的手术时间、置钉时间、出血量及一次性置钉成功率见表 2，三组间比较有统计学差异，导板组手术时间、置钉时间、出血量少于其他两组（ $P<0.05$ ），导航组一次性置钉成功率高与其他两组（ $P<0.05$ ）。导板组调整的 4 枚均为寰椎钉

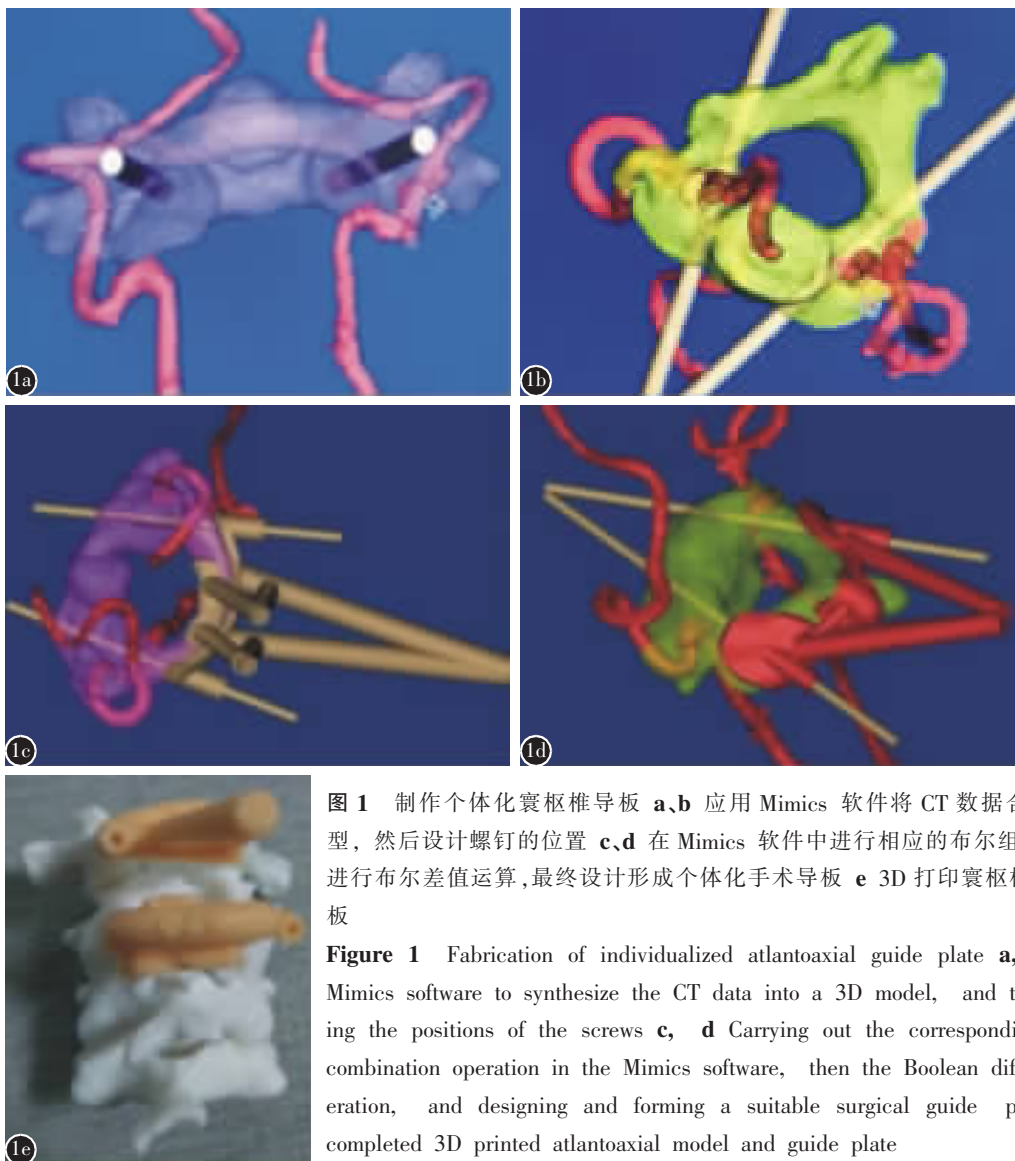


图 1 制作个体化寰枢椎导板 a、b 应用 Mimics 软件将 CT 数据合成三维模型，然后设计螺钉的位置 c、d 在 Mimics 软件中进行相应的布尔组合运算，再进行布尔差值运算，最终设计形成个体化手术导板 e 3D 打印寰枢椎模型及导板

Figure 1 Fabrication of individualized atlantoaxial guide plate a, b Using Mimics software to synthesize the CT data into a 3D model, and then designing the positions of the screws c, d Carrying out the corresponding Boolean combination operation in the Mimics software, then the Boolean difference operation, and designing and forming a suitable surgical guide plate e The completed 3D printed atlantoaxial model and guide plate

道,透视组调整的 16 枚中 9 枚为枢椎钉道、7 枚为寰椎钉道。

导航组 0 级置钉 44 枚,无 I、II、III 级置钉(图 3);导板组 0 级置钉 59 枚, I 级置钉 1 枚,无 II、III 级置钉(图 4);透视组 0 级置钉 72 枚, I 级置钉 6 枚, II 级置钉 3 枚, III 级置钉 3 枚。导航组置钉准确率为 100%、导板组为 98.3%、透视组为 85.7%,三组间有统计学差异($P=0.039$),透视组置钉准确率低于其他两组,且透视组有 3 枚螺钉进入椎动脉孔(图 5),但术后均无脑缺血相关表现。

术后透视组 2 例患者出现枕颈部疼痛,分析原因为术中刺激 C2 神经根,给予糖皮质激素及脱水剂治疗后症状缓解;导航组与导板组均未出现术后枕颈部疼痛。三组患者手术切口均一期愈合,无切口感染。

3 讨论

3.1 三种置钉方法一次置钉成功率和置钉准确率

对于寰枢椎脱位患者,牢固的寰枢椎内固定是矫形、融合的保证,而内固定的牢固性取决于螺钉的精准置入。置钉位置不佳会使内固定系统的牢固性和矫形能力变差,同时会带来多种并发症,如神经根损伤、脊髓损伤、血管损伤、骨折等^[10-13]。传统置入寰枢椎螺钉的方法是在 C 型臂 X 线机透视指导下,依靠解剖标志、临床经验、手感置入螺钉。但 C 型臂 X 线机透视在寰枢椎置钉中只能指导矢状面的置钉角度,不能指导螺钉内斜的角度,亦不能判断螺钉是否进入椎动脉孔和椎管,而寰枢椎解剖变异、体位变化、入钉点偏移等因素都会改变钉道的角度,应用传统技术凭借经验行寰枢椎螺钉置入时存在一定的失误率^[13-16]。透视后若螺钉位置不佳进行调整,则会降低螺钉的固定强度,增加螺钉松动、断裂的风险^[17-19]。随着置钉技术的成熟和医生经验的不断积累,C 型臂 X 线机透视辅助下徒手置入寰枢椎螺钉已取得可以接受的治疗结果,但仍有 14%~23%螺钉错位率,其中 2.7%~3.3%的患者在手术中损伤椎动脉甚至导

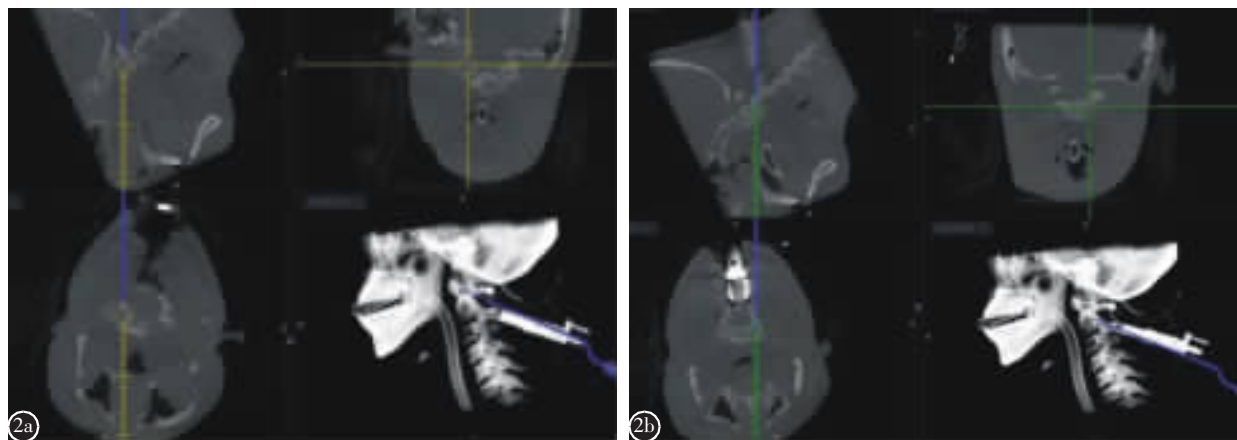


图 2 在三维图像引导下制作钉道 a 制作寰椎钉道 b 制作枢椎钉道

Figure 2 Fabrication of screw tracks guided by 3D navigational images a Atlas screw track b Axis screw track

表 2 三组患者手术时间、置钉时间、出血量及一次性置钉成功率的对比

Table 2 Comparisons of operative time, the time of screw placement, the volume of blood loss, and one-time success rate of screw placement between the three groups

	导航组 Navigation group	导板组 Guide plate group	透视组 Fluoroscopy group	P 值 P value
手术时间(min) Operative time	120.7±11.1	97.5±9.0	121.0±12.8	0.000
置钉时间(min) The time of screw placement	20.0±1.1	15.8±1.9	19.4±2.1	0.000
出血量(ml) The volume of blood loss	225.8±25.6	162.7±18.5	239.0±24.5	0.000
一次性置钉成功率 One-time success rate of screw placement	100%(44/44)	93.3%(56/60)	80.9%(68/84)	0.002

致死亡^[11,20]。在本研究中,导航组一次性置钉成功率为 100%、导板组为 93.3%、透视组为 80.9%,导航组一次性置钉成功率高于导板组及透视组。在螺钉置入准确性方面,导航组准确性为 100%、导板组为 98.3%、透视组为 85.7%,透视组 12 枚螺钉突破枢椎椎弓根皮质骨或寰椎后弓内侧皮质骨,其中 3 枚螺钉进入椎动脉孔。

3.2 O-arm 导航的优缺点及使用注意事项

计算机辅助导航技术起源于 20 世纪初,早期的计算机辅助导航操作因较为复杂、耗时且精确性不高,影响了其临床应用^[1,10]。近年来随着计算机技术和成像技术的快速发展,三维导航技术逐渐成熟,越来越多地应用于脊柱领域^[16-17]。大量研究证实导航系统辅助置钉可以有效提高椎弓根螺钉的置钉准确率^[1,3,10,16,17]。依据影像资料的成像方式不同,导航系统可分为基于 CT 的导航系统及



图 3 导航组,患者男,15 岁,发育性齿状突不连,寰枢椎不稳。在 O-arm 导航下行寰枢椎内固定术 a、b 术前动力位 X 线片示寰枢椎不稳 c 术前矢状位 CT 重建片示齿状突不连 d、e 在横断位、矢状位、冠状位上实时显示操作工具位置 f、g 术后寰枢椎正侧位 X 线片示寰枢椎螺钉位置良好 h-k 术后 CT 的横断位及矢状位片显示寰枢椎螺钉位置良好,未进入椎动脉孔及椎管

Figure 3 Navigation group, a male patient, 15 years old, developmental odontoid nonunion and atlantoaxial instability, underwent atlantoaxial internal fixation under O-arm navigation a, b Preoperative dynamic X-rays showed atlantoaxial instability c Preoperative sagittal reconstruction CT image showed odontoid nonunion d, e Real-time displays of operating tool positions in transverse, sagittal, and coronal views f, g Postoperative atlantoaxial frontal and lateral radiographs showed that the atlantoaxial screws were in good positions h-k Postoperative transverse and sagittal CT images showed that the atlantoaxial screws were in good positions and did not enter the vertebral foramen and spinal canal

基于 C 型臂 X 线机的导航系统, 其中基于 CT 的导航系统具有成像清晰、精准度高的特点^[3,17], 尤其是对于 X 线成像困难的特殊部分 (如寰枢椎) 能够进行清晰成像。本组中所应用的是最新一代基于术中 O-arm 成像的 S8 导航系统, 可以在置钉过程中实时显示, 并在清晰的三维图像引导下进行置钉操作, 误差在 2mm 以内。本研究中导航组的全部螺钉均为一次性置入, 置钉后螺钉固定牢固、无松动, 证明应用 O-arm 导航 S8 系统可提高寰枢椎螺钉的一次性置钉成功率, 降低并发症出现的风险。但是 O-arm 导航亦存在缺点, 如在

使用导航过程中不能移动参考架, 否则会产生错误定位图像, 同时寰枢椎之间如果产生相对位移, 则可产生图像漂移现象。使用 O-arm 导航的注意事项和技巧: (1) 将定位参考架放置在枢椎宽大的棘突上, 牢固固定, 以减少相对位移所产生的图像漂移现象。(2) O-arm 扫描前, 确认参考架的反射球、O-arm 的底盘反射点在双目红外摄像机接收范围。(3) 采集参数自动设置为 100mA 电流强度、10ms 脉宽、100kV 曝光, O-arm 采集数据后自动重建生成三维影像, 并传至 S8 导航工作站, 工作站显示屏同时显示轴向、冠状、矢状位的虚拟影

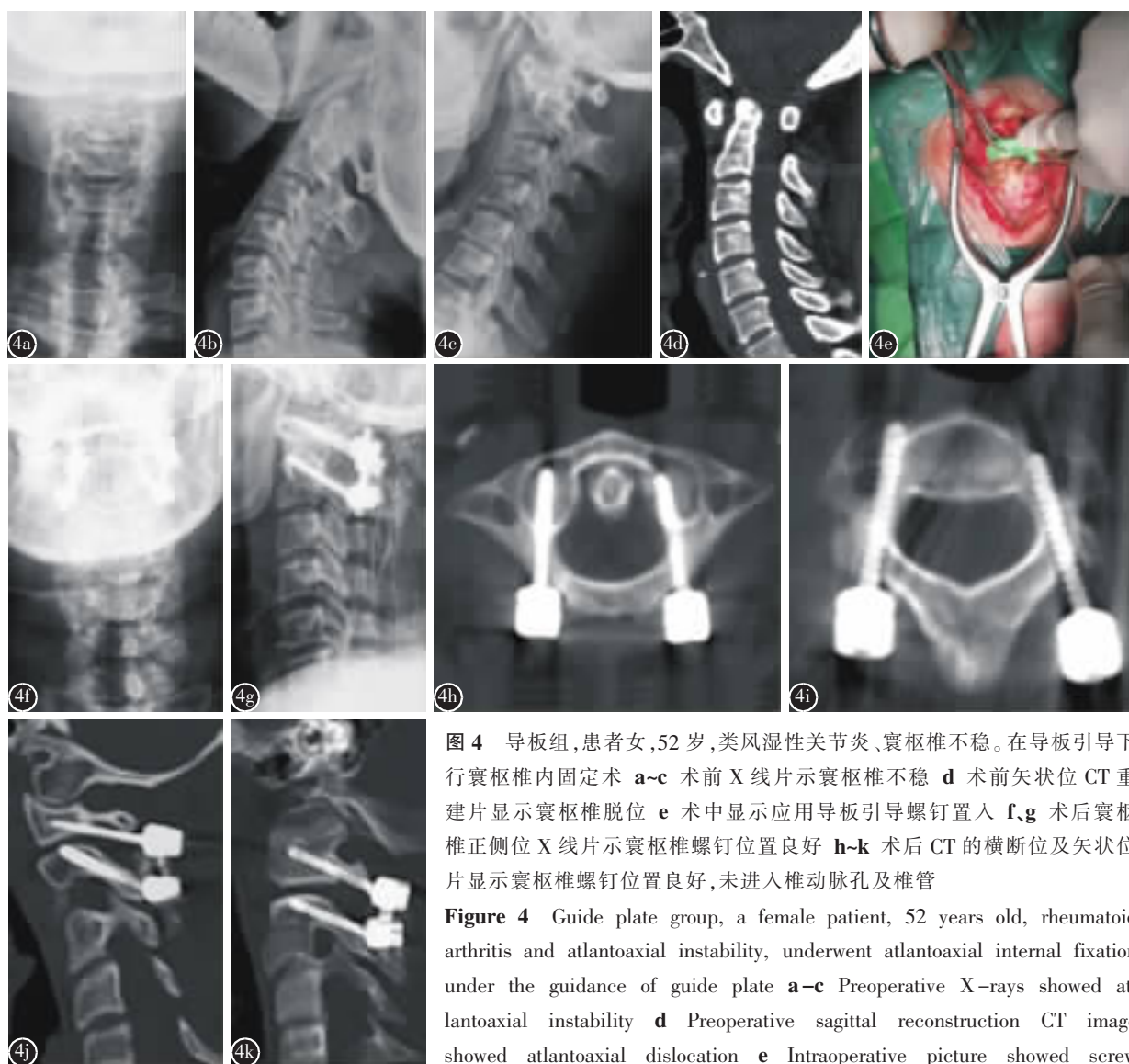


图 4 导板组, 患者女, 52 岁, 类风湿性关节炎、寰枢椎不稳。在导板引导下进行寰枢椎内固定术 a~c 术前 X 线片示寰枢椎不稳 d 术前矢状位 CT 重建片显示寰枢椎脱位 e 术中显示应用导板引导螺钉置入 f, g 术后寰枢椎正侧位 X 线片示寰枢椎螺钉位置良好 h~k 术后 CT 的横断位及矢状位片显示寰枢椎螺钉位置良好, 未进入椎动脉孔及椎管

Figure 4 Guide plate group, a female patient, 52 years old, rheumatoid arthritis and atlantoaxial instability, underwent atlantoaxial internal fixation under the guidance of guide plate a~c Preoperative X-rays showed atlantoaxial instability d Preoperative sagittal reconstruction CT image showed atlantoaxial dislocation e Intraoperative picture showed screw placement using guide plate f, g Postoperative atlantoaxial frontal and lateral radiographs showed that the atlantoaxial screws were in good positions h~k Postoperative traverse and sagittal CT images showed that the atlantoaxial screws were in good positions and did not enter the vertebral foramen and spinal canal

像,在三维影像指导下制作钉道。(4)O-arm 采集数据后,需要在扫描结束 10s 以上再离开隔离挡板,以减少 X 线辐射,使用导航过程中无 X 线辐

射。(5)在置钉过程中,避免遮挡、触碰参考架,以避免发生图像漂移。(6)在开孔之前、置钉过程中,每次均需要将探针放置在寰椎后弓正中点,校对



图 5 透视组,患者女,57 岁,类风湿性关节炎、寰枢椎不稳。在 C 型臂 X 线机透视辅助下徒手置钉行寰枢椎内固定术 **a~c** 术前动力位 X 线片示寰枢椎不稳 **d** 术前 MRI 示寰枢椎脱位、脊髓受压 **e** 术前矢状位 CT 重建片示寰枢椎脱位 **f** 术中透视示已经将定位针至于寰枢椎钉道中 **g、h** 术后寰枢椎正侧位 X 线片示寰椎螺钉位置可,枢椎螺钉与枢椎椎弓根不平行 **i~l** 术后 CT 的横断位及矢状位片示右侧枢椎螺钉进入椎动脉孔

Figure 5 Fluoroscopy group, a female patient, 57 years old, rheumatoid arthritis and atlantoaxial instability, underwent atlantoaxial internal fixation with free-hand screw placement under the aid of C-arm fluoroscopy **a~c** Preoperative dynamic X-rays showed atlantoaxial instability **d** Preoperative MRI showed atlantoaxial dislocation and spinal cord compression **e** Preoperative sagittal reconstruction CT showed atlantoaxial dislocation **f** Intraoperative fluoroscopy showed that the positioning needle had been placed in the atlantoaxial screw canal **g, h** Postoperative anteroposterior and lateral images showed that the atlas pedicle screws were well positioned and the axis screw was not parallel to the axis pedicle **i~l** The traverse and sagittal CT images showed that the right axial screw entered the foramen of vertebral artery

置钉工具位置的精准度,以及时发现是否存在图像漂移,确保导航的精准性。(7)导航下开孔过程中,用力开孔时椎体会随着推挤而移位,从而影响导航的准确性,建议开孔时应用磨钻进行开孔,同时钉道每进入 2~4mm,就停止对椎体的推挤,放入探针测试位置及方向是否正确。

3.3 个体化 3D 打印导板的优缺点及使用注意事项

近年来数字骨科技术飞速发展,在 3D 打印导板辅助下置钉使得手术方式个体化、操作精准化^[4,7,12]。术前 3D 打印模型真实地还原了寰枢椎的形态,按照既定方向及角度设定个体化的 3D 打印导板,在术中提供较佳的进钉点和螺钉轨迹,而且手术过程中使用导板不会因为体位变化影响螺钉的置入,可提高螺钉置入的准确性、降低脊髓神经和血管损伤的风险^[8,18,19]。Chen 等^[12]应用个体化 3D 打印导板对 12 例寰枢椎标本进行置钉实验,48 枚寰枢椎螺钉中仅有 1 枚螺钉穿破椎弓根骨皮质,置钉准确率 97.92%。综合文献报道个体化 3D 打印导板辅助置钉与徒手置钉相比,可减少手术时间和出血量^[4,7,8,12,14,15,18,19]。本研究结果显示,导板组手术时间、置钉时间及出血量均少于透视组和导航组。

虽然导板组置钉精确度高,但 3D 打印导板亦可产生误差,本组一次性置钉成功率为 93.3% (56/60),其中 4 枚螺钉(均为寰椎螺钉)进行了头倾角度的校正。出现误差的原因及预防方法:(1)寰椎后弓细小成圆形,骨性结构较枢椎的椎板、棘突相对简单,导板在实际操作中不可能像模型贴附紧密,可能会出现头尾倾角度的改变,从而影响头尾倾斜角度的准确性。而枢椎由于棘突椎板宽大,3D 打印导板术中贴合紧密,不容易出现头尾倾角度的误差。(2)安放导板后开孔过程中,寰枢椎由于受力会出现微动,影响置钉的准确度。克服的方法是,助手牢固固定导板使之紧密贴附,开孔时使用动力钻头。(3)3D 打印模型的精细程度及导板的贴服程度。如果 CT 扫描层厚为 1mm,将 CT 数据在 Mimics 软件合成三维模型,3D 模型与真实椎体之间存在微小的差异,导板及钉道也有微小的误差。克服的方法是 CT 扫描层厚设定为 0.25~0.5mm。(4)为预防 3D 打印导板在术中发生形变,需要设计为宽基底的拱桥结构,使用硬质材料。(5)为减少术中对寰枢椎后部结构的剥离范

围,导板上的导向套筒应设计在导板的最外侧。(6)在扩大钉孔的过程中,开路器需要限深,长度为螺钉的长度加上导向套筒的长度,这样可避免在扩孔过程中穿破椎体前缘。(7)导板的导向套筒长度至少 25mm、管壁至少要有 2mm 厚,才能较为精准的指导方向、避免钉道错位。(8)导板的导向套筒内径大于钻头直径 0.2mm,同时需要进行光滑处理,以减少碰撞、摩擦及产生碎屑。(9)为避免消毒和灭菌导致导板变形,建议采用环氧乙烷灭菌或低温等离子消毒。个体化的 3D 打印导板辅助寰枢椎螺钉置入具有准确率高、操作简单、成本低的优点,但是术前制作模型和个体化导板需 1~3 天的时间,因此不适合急诊手术。

综上所述,O-arm 导航及个体化 3D 打印导板辅助下置入寰枢椎螺钉均能取得较高的准确率,优于传统的透视下徒手置钉技术;O-arm 导航技术在寰枢椎的一次性置钉成功率方面具有优势,高于导板组和透视组;个体化 3D 打印导板结合侧位透视技术能够在精确置入寰枢椎螺钉的情况下,节省手术时间、减少出血量。但本研究为回顾性研究,样本量较小,观察时间短,今后仍需前瞻性随机对照研究,开展大样本、多中心的观察;O-arm 导航系统使用时间较短,存在使用熟练程度的差异。

4 参考文献

1. Jannelli G, Moiraghi A, Paun L, et al. Atlantoaxial posterior screw fixation using intra-operative spinal navigation with three-dimensional isocentric C-arm fluoroscopy[J]. Int Orthop, 2022, 46(2): 321-329.
2. Chen ZD, Wu J, Lu CW, et al. C1-C2 pedicle screw fixation for pediatric atlantoaxial dislocation: initial results and long-term follow-up[J]. J Pediatr Orthop, 2020, 40(2): 65-70.
3. 赵若宇, 高显达, 孙家元, 等. O-arm 导航辅助与徒手后路椎弓根螺钉复位内固定治疗寰枢椎骨折的疗效比较[J]. 中华创伤杂志, 2021, 37(1): 30-36.
4. Li Y, Lin J, Wang Y, et al. Comparative study of 3D printed navigation template-assisted atlantoaxial pedicle screws versus free-hand screws for type II odontoid fractures[J]. Eur Spine J, 2021, 30(2): 498-506.
5. Lee JS, Son DW, Lee SH, et al. Comparative analysis of surgical outcomes of C1-2 fusion spine surgery between intraoperative computed tomography image based navigation-guided operation and fluoroscopy-guided operation[J]. J Korean Neurosurg Soc, 2020, 63(2): 237-247.
6. 王华栋, 何达, 刘波, 等. 术中即时三维导航辅助寰枢椎经关

- 节螺钉固定治疗寰枢椎不稳定[J]. 中华骨科杂志, 2019, 39(21): 1311-1319.
7. 程嘉伟, 牛国旗, 李超, 等. 个体化 3D 打印导航模板辅助寰枢椎骨折置钉中的准确性研究[J]. 实用医学杂志, 2021, 37(18): 2380-2385.
8. Yang MY, Zhang NN, Shi HD, et al. Three-dimensional printed model-assisted screw installation in treating posterior atlantoaxial internal fixation[J]. Sci Rep, 2018, 8(1): 11026.
9. Meyer M, Farah K, Graillon T, et al. Minimally invasive percutaneous C1-C2 fixation using an intraoperative three-dimensional imaging-based navigation system for management of odontoid fractures[J]. World Neurosurg, 2020, 137(5): 266-271.
10. Wada K, Tamaki R, Inoue T, et al. Comparison of atlantoaxial fusion with transarticular screws and C1 lateral mass-C2 screws using intraoperative O-arm navigation[J]. World Neurosurg, 2020, 141(9): e1005-e1009.
11. Zhang YH, Zhou FC, Zhang J, et al. Efficacy and safety of atlantoaxial fluoroscopy-guided pedicle screw fixation in patients younger than 12 years: a radiographic and clinical assessment[J]. Spine, 2019, 44(20): 1412-1417.
12. Chen XL, Xie YF, Li JX, Wu Wu, et al. Design and basic research on accuracy of a novel individualized three-dimensional printed navigation template in atlantoaxial pedicle screw placement[J]. PLoS One, 2019, 14(4): e0214460.
13. 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.
14. 王玉强, 牛慧霞, 赵耀, 等. 改良数字化导航模板在寰枢椎个体化置钉中的临床应用[J]. 中华实验外科杂志, 2020, 37(4): 627-631.
15. 欧阳鹏荣, 贺西京, 王栋, 等. 3D 打印导航模板在寰枢椎椎弓根螺钉置钉中的应用[J]. 中华创伤骨科杂志, 2020, 22(10): 862-866.
16. 董骥源, 曾岩, 陈仲强, 等. 脊柱侧凸手术中徒手置钉. 3D 打印导板和导航技术辅助置钉的准确性对比[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2021, 31(8): 683-692.
17. 凌宸, 刘臻, 毛赛虎, 等. O 型臂联合 CT 三维导航系统辅助颈椎椎弓根螺钉置入的准确性研究[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2022, 32(3): 207-213.
18. Tian Y, Zhang J, Liu T, et al. A comparative study of C2 pedicle or pars screw placement with assistance from a 3-dimensional (3D)-printed navigation template versus c-arm based navigation[J]. Med Sci Monit, 2019, 25(12): 9981-9990.
19. 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(6): e1-e10.
20. Pham MH, Bakhsheshian J, Reid PC, et al. Evaluation of C2 pedicle screw placement via the freehand technique by neurosurgical trainees[J]. J Neurosurg Spine, 2018, 29(3): 235-240.
- (收稿日期:2022-07-05 末次修回日期:2022-09-16)
- (英文编审 谭 啸)
- (本文编辑 卢庆霞)