

计算机导航引导下脊柱后路椎弓根螺钉置入内固定: 准确性及安全性

陈晓明, 肖增明, 宗少晖, 陈前芬(广西医科大学第一附属医院脊柱骨病外科, 广西壮族自治区南宁市 530021)

文章亮点:

- 1 脊柱后路椎弓根螺钉内固定是治疗脊柱各种病变及稳定脊柱的重要手段, 计算机导航技术给术者提供实时的、多维的清晰图像, 利于术者准确地按照计算机设计的精确进钉路线进行椎弓根螺钉内固定, 使置钉准确性明显提高。
- 2 文章对计算机导航辅助颈、胸、腰骶椎弓根螺钉置入的准确性进行分析, 与文献所报道的徒手置钉准确率进行对比, 并统计了射线暴露时间。对术前 CT 三维重建导航技术在椎弓根螺钉置入前计划的准确性进行验证。对比分析术中 C 臂 X 射线透视二维导航模式和术前 CT 三维重建导航模式下引导腰骶椎弓根螺钉置入的准确性和置钉时间。
- 3 利用 Synergy Spine 1.5 三维重建软件, 进行个体化手术设计和生物力学分析, 使内置物按预定的理想路径获得精确固定。

关键词:

植入物; 脊柱植入物; 计算机导航; 脊柱; 三维重建; 椎弓根螺钉; 内固定; 准确率; 安全性

主题词:

骨钉; 治疗; 计算机辅助; 内固定器; 脊柱

基金资助:

广西科学研究与技术开发计划项目(桂科攻: 1298003-5-1, 2012-ky00-10)

摘要

背景: 脊柱后路椎弓根螺钉置入内固定是治疗脊柱各种病变及稳定脊柱的重要手段, 计算机导航技术可以完整、直观、真实地再现各种组织形态及其相对位置, 使术者实时获得三维图像信息, 最大限度地避开手术危险区, 直接引导内固定螺钉准确置入椎体。

目的: 评估计算机导航技术辅助脊柱后路椎弓根螺钉置入的准确性及安全性。

方法: 选择 2008 年 7 月至 2014 年 1 月在广西医科大学第一附属医院治疗的 307 例脊柱病变患者在计算机导航辅助下行脊柱后路椎弓根螺钉置入及椎板切除减压。术中行 C 臂透视检查螺钉位置的精确性, 记录每枚螺钉的平均置钉时间、射线暴露时间, 术后 3 d 复查 X 射线和置钉节段的三维 CT, 根据 Andrew 椎弓根螺钉 CT 位置分级标准对置钉位置进行评估。

结果与结论: 共置入螺钉 1 820 枚, 1 778 枚为 I 级螺钉(准确率 97.69%)。其中颈椎置入螺钉 92 枚, I 级螺钉 90 枚(准确率 97.82%), 胸椎置入螺钉 502 枚, I 级螺钉 492 枚, 准确率 98%, 腰椎置入螺钉 1 226 枚, I 级螺钉 1 196, 准确率 97.2%。每枚螺钉的平均置钉时间(7.0±1.5) min。215 例获随访, 随访时间(12±6)个月, 无内固定物移位、断裂等并发症以及神经血管损伤发生。提示计算机导航技术辅助脊柱椎弓根螺钉置入, 能立体、多视角实时显示骨性解剖结构, 保证了脊柱椎弓根螺钉置入的准确性及安全性, 明显减少放射线的暴露强度。

陈晓明, 肖增明, 宗少晖, 陈前芬. 计算机导航引导下脊柱后路椎弓根螺钉置入内固定: 准确性及安全性[J]. 中国组织工程研究, 2015, 19(13):2119-2124.

doi:10.3969/j.issn.2095-4344.2015.13.028

Computer navigation technique-assisted posterior spinal pedicle screw placement fixation: accuracy and safety

Chen Xiao-ming, Xiao Zeng-ming, Zong Shao-hui, Chen Qian-fen (Department of Spine & Osteopathy, the First Affiliated Hospital of Guangxi Medical University, Nanning 530021, Guangxi Zhuang Autonomous Region, China)

Abstract

BACKGROUND: Posterior pedicle screw fixation is an important method to treat various diseases of the spine and to stabilize the spine. Computer navigation system can completely, intuitively and truly reveal the morphology of various tissues and their positions so that the performer can obtain three-dimensional images in time and avoid the risk area of the operation to the utmost, and can directly introduce accurate placement of the screw in the vertebral body.

OBJECTIVE: To evaluate the accuracy and safety of computer navigation technique-assisted posterior spinal pedicle screw placement.

陈晓明, 男, 1972 年生, 广西壮族自治区南宁市人, 汉族, 1995 年湖南医科大学毕业, 主治医师, 主要从事脊柱微创, 脊柱导航方面的研究。

通讯作者: 陈前芬, 博士, 主任医师, 广西医科大学第一附属医院脊柱骨病外科, 广西壮族自治区南宁市 530021

中图分类号:R318

文献标识码:B

文章编号:2095-4344

(2015)13-02119-06

稿件接受: 2015-02-16

http://www.crter.org

Chen Xiao-ming, Attending physician, Department of Spine & Osteopathy, the First Affiliated Hospital of Guangxi Medical University, Nanning 530021, Guangxi Zhuang Autonomous Region, China

Corresponding author: Chen Qian-fen, M.D., Chief physician, Department of Spine & Osteopathy, the First Affiliated Hospital of Guangxi Medical University, Nanning 530021, Guangxi Zhuang Autonomous Region, China

Accepted: 2015-02-16

METHODS: 307 patients with spine diseases, who were treated in the First Affiliated Hospital of Guangxi Medical University from July 2008 to January 2014, were enrolled in this study. They received computer navigation technique-assisted posterior spinal pedicle screw placement and laminectomy for decompression. C-arm fluoroscopy was applied to assess the precision of pedicle screw position during the operation. The mean implantation time per screw and the exposure time to radiation were recorded. 3-day postoperative radiographs and CT examination, which allowed measurements of screw position relative to pedicle position according to Andrew classification, were performed routinely.

RESULTS AND CONCLUSION: Of the 1 820 screws inserted by computer-assisted navigation, 1 778 were grade I (accuracy 97.69 %). A total of 92 screws were implanted in the cervical vertebrae, including 90 grade-I screws (accuracy 97.82%). 502 screws were implanted in the thoracic vertebrae, including 492 grade-I screws (accuracy 98%). 1 226 screws were implanted in the lumbar vertebrae, including 1 196 grade-I screws (accuracy 97.2%). The mean implantation time per screw was (7.0±1.5) minutes. 215 patients were followed up for (12±6) months. No complications such as fixator displacement or breakage or neurovascular injury occurred. Above findings suggested that computer navigation system-assisted spinal pedicle screw implantation provides real-time, multi-perspective, three-dimensional visualization of spinal anatomy, ensures the accuracy and safety of spinal pedicle screw implantation, and apparently reduces exposure time to radiation.

Subject headings: Bone Nails; Therapy, Computer-Assisted; Internal Fixators; Spine

Funding: the Science and Technology Development Plan Project of Guangxi Zhuang Autonomous Region, No. 1298003-5-1, 2012-ky00-10

Chen XM, Xiao ZM, Zong SH, Chen QF. Computer navigation technique-assisted posterior spinal pedicle screw placement fixation: accuracy and safety. Zhongguo Zuzhi Gongcheng Yanjiu. 2015;19(13):2119-2124.

0 引言 Introduction

脊柱椎弓根螺钉内固定是治疗脊柱各种病变的重要手段, 该技术能坚固脊柱稳定性, 有利于脊柱的骨性融合, 现已广泛应用于椎管狭窄、脊柱骨折、椎体滑脱、脊柱畸形、肿瘤等疾病的治疗^[1-5]。但由于椎弓根局部解剖变化多端, 神经血管分布复杂, 置入的椎弓根钉如果发生偏差则有可能导致严重的并发症^[6-9], 因此如何准确安全地置入椎弓根钉一直是业界关注的重点。计算机导航技术是在立体定位技术的基础上, 将医学影像技术、计算机科学与外科手术相结合的一种新型技术。利用计算机导航技术, 术者在可视化三维解剖信息的实时引导下手术, 置钉过程更加准确安全^[9-10]。对于颈椎、胸椎等既往认为是椎弓根螺钉置入的高难部位, 在导航系统的辅助下也能精确地完成置入^[11-13]。广西医科大学第一附属医院脊柱骨病外科2008年引进计算机导航系统和相关技术, 截止至2014年6月, 共307例脊柱病变患者在计算机导航辅助下行脊柱椎弓根螺钉内固定并取得良好的效果, 现将应用结果报告如下。

1 对象和方法 Subjects and methods

设计: 回顾性病例分析, 对比观察。

时间及地点: 试验于2008年7月至2014年6月在广西医科大学第一附属医院脊柱骨病外科完成。

对象: 选择2008年7月至2014年1月在广西医科大学第一附属医院脊柱骨病外科行脊柱椎弓根螺钉内固定患者。

诊断标准: ①有颈、胸、腰骶段脊柱的急、慢性疼痛病史或外伤史, 有或无上、下肢放射痛, 伴或不伴有肢体麻木、肌力下降、病理反射、间歇性跛行, 截瘫等相应体征。②影像学检查确诊为椎间盘突出、椎管狭窄、腰椎滑脱、颈、胸、腰椎压缩或爆裂性骨折伴或不伴有脱位, 椎

管内占位性病变。

纳入标准: ①保守治疗无效, 具备手术指征的患者。②手术方式均为脊柱后路椎管减压及导航引导下椎弓根钉置入。③所用椎弓根钉均为韩国BK公司产品。④患者对治疗方案均知情同意并签署导航手术同意书, 广西医科大学第一附属医院伦理道德委员予以批准。

排除标准: 不能配合完成影像学分析者。

最终选择脊柱椎弓根螺钉内固定患者307例, 其中男179例(58.3%), 女128例(41.7%), 年龄18-72岁, 平均44岁; 病例组成为椎管狭窄症138例、腰椎滑脱症52例、腰椎骨折37例、胸椎骨折61例、胸椎管内占位性病变11例、下颈椎骨折8例、寰枢关节脱位3例、齿状突骨折脱位8例。所有患者术前均行脊柱正侧位X射线片及CT检查。

其中227例腰骶椎病变患者按随机盲法分组原则, 134例患者分配至术中C臂X射线透视二维导航模式组, 93例患者分配至术前CT三维重建导航模式组, 两组患者均在导航下行腰骶椎弓螺钉置入、椎板切除减压及椎间融合。另80例颈、胸段脊椎病变患者则自动纳入术前CT三维重建导航模式组, 在导航引导下行后路颈、胸段椎弓根螺钉内固定及椎管减压。

仪器: 美国枢法模公司脊柱导航系统(Sofamar Danek stealthstation, USA), 硬件包括专业图像工作站, 参考架(使导航系统能实时跟踪患者和器械位置变化, 包括主动和被动两种), 红外光电侦测仪(可及时监测参考架位置变化并对主动和被动手术器械瞬时跟踪), 多种携带红外示踪器的手术器械; 软件为synergy Spine 1.5(Pocket Guide, Medtronic), 该软件能将CT数据重建成逼真的高分辨率虚拟图形, 界面简洁明了, 配合携带示踪器的手术器械, 便于随时建立手术路径, 实时显示置入螺钉的位置、角度和深度。

方法:

术中C臂X射线透视二维导航: 选用可透视的骨科手术床, 患者取俯卧位。常法切皮, 暴露患椎及相邻椎体的棘突、椎板及关节突。将参考架稳固在相邻椎体棘突上。术中用安装了靶罩的C臂X射线机拍摄手术节段椎体的正侧位片, 通过数据线将影像数据传至导航工作站, 在显示屏上显示出虚拟的正侧位片, 继续在工作站注册带示踪器的导航手术器械, 成功后就可在虚拟的二维X射线片上进行导航, 选择最佳的进钉点和角度, 实时引导椎弓根螺钉准确置入椎体(图1)。置入螺钉后再次用C臂X光机拍摄正侧位片, 检查椎弓根螺钉是否准确置入。

CT三维重建导航模式: 患者术前均按手术体位对手术节段进行三维CT扫描, 将所采集的数据以DICOM格式写入光盘。术前行CT数据导入影像工作站, 利用synergy Spine 1.5软件三维重建虚拟手术椎体并制定手术计划(图2)。根据其三维重建图像, 采用点注册方式, 在虚拟手术椎体后柱表面选取6-9个匹配点, 尽量选取术中易于暴露于视野的骨性标志, 留待术中点进行注册。将影像工作站置于患者的脚端, 调整影像工作站位置以确保工作站上的空间定位红外探头的探测范围覆盖术野。患者俯卧位, 选择后正中手术切口, 充分显露脊柱后柱棘突、椎板、上下关节突等后柱骨性结构, 在手术节段相邻棘突上安装参考架, 注册探针和其他导航器械。术者用探针在脊柱后柱骨性结构上点出术前所选定的匹配点并逐一进行匹配注册, 匹配精度在3.0范围内可被工作站程序通过, 导航工作站将所获得的位置数据与三维CT数据融合后, 形成一个与患者匹配的三维立体解剖图像并模拟出最佳进钉路线, 在多视角图像的实时引导下完成钉道准备, 随后置入椎弓根螺钉(图3)。术中行C臂透视确认置钉角度及位置准确。

术中指标的测量: 所有手术均由同一组有多年临床经验并熟悉导航操作的骨科医师完成。C臂机累计照射时间为射线暴露时间。每枚螺钉平均置钉时间为各病例的置钉总时间/置入螺钉数。置钉总时间从棘突上安装参考架开始计时, 至最后一个钉道准备完毕椎弓根钉置入后结束计时, 该时间排除了椎管减压、神经松解、椎间融合器置入、连接钉棒系统等时间消耗, 仅反映不同置钉技术的时间差异。

椎弓根螺钉置入准确性的判断: 术后第3天行双能CT扫描置钉节段以观察椎弓根螺钉置入的准确性, 根据Andrew椎弓根螺钉CT位置分级标准对置入椎弓根螺钉位置进行评价^[14-15]。I级: 椎弓根螺钉未突破椎弓根皮质, II级: 突破皮质且 $\leq 2\text{ mm}$, III级: 突破皮质且 $> 2\text{ mm}$ 。准确率为I级螺钉数量/椎弓根螺钉总数量(%)。

主要观察指标: 椎弓根螺钉置入的准确性。

统计学分析: 计量资料以 $\bar{x}\pm s$ 表示, 采用SPSS 17.0统计软件组间比较方差分析和t检验, $P < 0.05$ 为差异有显著性意义。

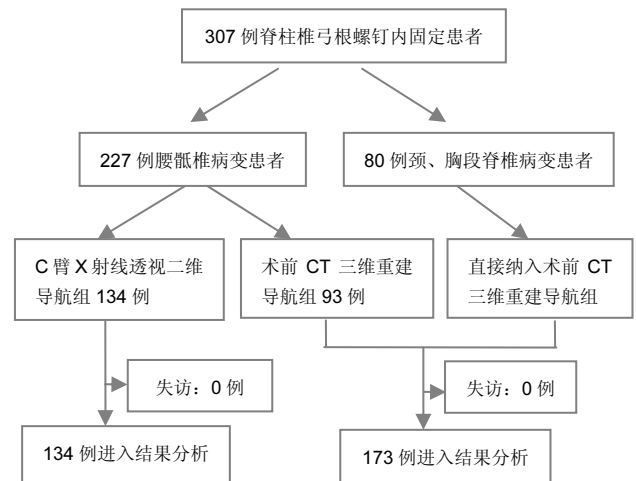


图4 脊柱病变患者在计算机导航辅助下行脊柱椎弓根螺钉内固定的试验流程图

Figure 4 Flow chart of spinal pedicle screw fixation in patients with spinal lesions under computer navigation

2 结果 Results

2.1 参与者数量分析 所有患者均在术后第3天复查X射线及双能CT, 以评估所置入椎弓根钉的准确率, 无一例失访。患者试验流程图见图4。

2.2 影像学结果 术后第3天行双能CT扫描置钉节段及X射线检查, 根据Andrew椎弓根螺钉CT位置分级标准对置入椎弓根螺钉位置进行评价。以一位34岁L₃₋₄腰椎管狭窄症男性患者为例, 术前CT三维重建导航下行腰椎后路减压钉棒系统内固定后3d影像学复查结果, 置入的螺钉均未突破椎弓根皮质, 位置分级评估为I级(图5)。

2.3 螺钉置入准确率

2.3.1 螺钉置入总准确率 总共置入螺钉1820枚, 其中1778枚为I级螺钉(准确率97.69%), 42枚为II级螺钉(2.31%), 无III级螺钉。

2.3.2 颈椎螺钉置入准确率 共置入螺钉92枚, I级螺钉90枚(准确率97.82%); II级螺钉2枚(2.17%), 无III级螺钉。

2.3.3 胸椎螺钉置入准确率 共置入螺钉502枚, I级螺钉492枚(准确率98.01%); II级螺钉10枚(1.99%), 无III级螺钉。

2.3.4 腰椎螺钉置入准确率 共置入螺钉1226枚, I级螺钉1196枚(准确率98.01%); II级螺钉30枚(2.44%), 无III级螺钉。其中, 在术中C臂X射线透视二维导航引导下共置入螺钉724枚, I级螺钉702枚(准确率96.96%), II级螺钉22枚(3.04%); 在术前CT三维重建导航下共置入螺钉502枚, I级螺钉494枚(准确率98.41%), II级螺钉8枚(1.59%)。两种导航模式下, 腰椎螺钉置入准确率差异无显著性意义($P > 0.05$)。

2.4 置钉时间 307例患者的每枚螺钉平均置钉时间为(7.0±1.5) min。227例腰椎椎病病变患者中, 134例采用术

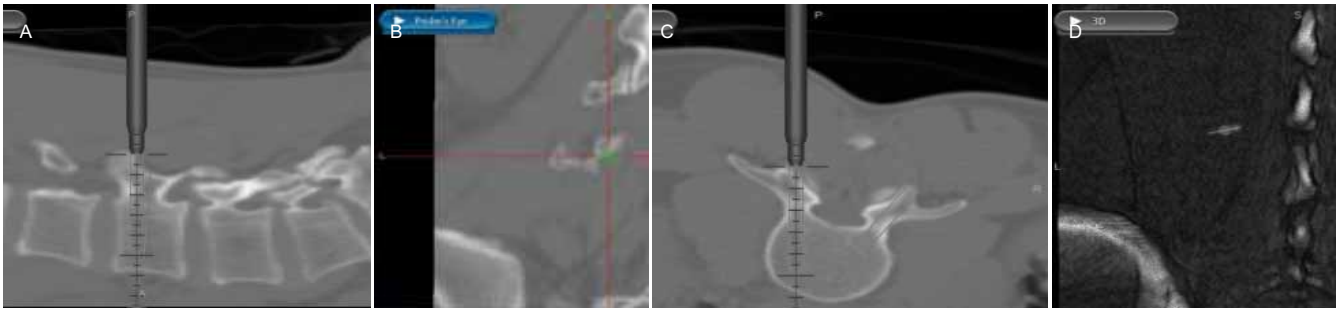


图2 术前CT三维重建导航显示虚拟手术椎体的进钉点、进钉角度和方向

Figure 2 Preoperative CT-based 3D reconstruction navigation of virtual entrance point, angel and direction of pedicle screw in the vertebral body
图注: 图中A为CT侧位; B为CT正位; C为CT横截面; D为三维CT重建图。



图3 术中在CT三维重建导航下按术前设计方案置入椎弓根螺钉

Figure 3 Intraoperative CT-based 3D reconstruction navigation of pedicle screw placement according to preoperative design proposal
图注: 图中A为CT侧位; B为CT正位; C为CT横截面; D为三维CT重建图。

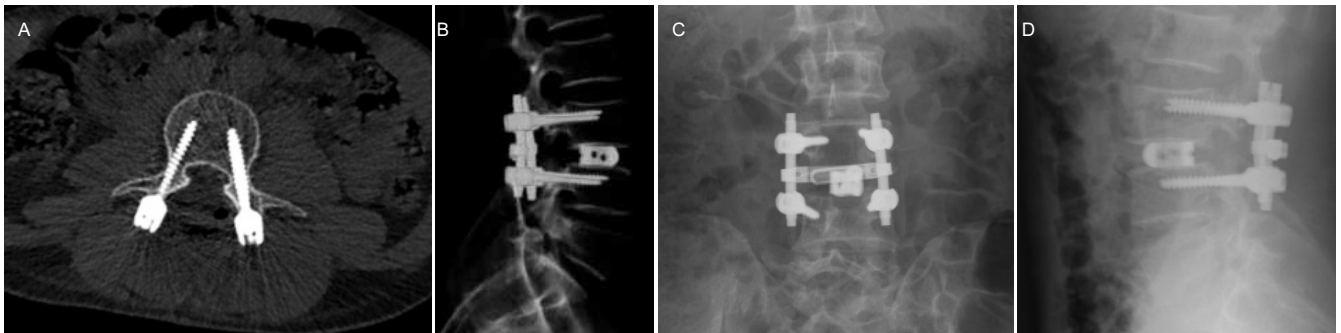


图5 术后复查双能CT和X光片评价螺钉置入准确率

Figure 5 Dual-energy CT and X-ray films of accuracy of screw placement during postoperative recheck

图注: 男性34岁患者, L₃₋₄腰椎管狭窄症, CT三维重建导航下行腰椎后路减压棒系统内固定后3d影像学复查结果, 置入的螺钉均未突破椎弓根皮质, 位置分级评估为I级。图中A为CT截面图; B为三维CT重建图; C为正位X射线片; D为侧位X射线片

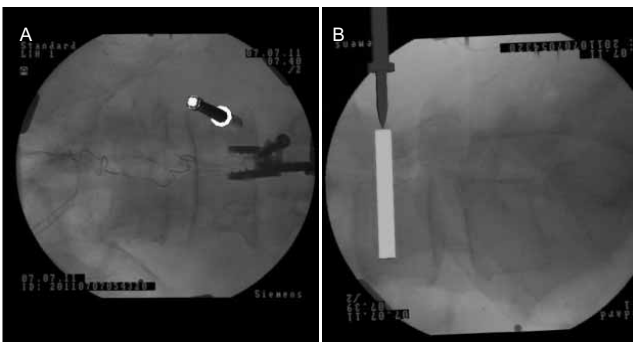


图1 术中C臂X射线透视二维导航实时显示虚拟进钉点、进钉角度和方向

Figure 1 Intraoperative C-arm fluoroscopy 2D navigation of virtual entrance point, angel and direction of pedicle screw placement
图注: 图中A为X射线透视正位; B为X射线透视侧位。

中C臂X射线透视二维导航, 每枚螺钉的平均置钉时间为(6.6±1.1) min, 93例采用置入前CT三维重建导航, 每枚螺钉的平均置钉时间为(6.3±1.0) min。两种导航模式下, 每枚螺钉的平均置钉时间差异无显著性意义($P > 0.05$)。

2.5 随访及不良事件 所有患者均未发生椎动脉、脊髓、神经组织损伤等手术并发症。215例获门诊随访, 随访时间(12±6)个月。患者随访复查X射线正、侧位片, 部分病例行CT复查, 所有置入的螺钉均未出现松动、断钉等异常情况。

3 讨论 Discussion

自20世纪60年代Roy-Camille首次报告使用椎弓根螺钉治疗不稳定性胸腰椎骨折以来, 椎弓根螺钉因其独特的

三维矫正和内固定功能,而被广泛应用于各类脊柱后路手术中。传统置钉技术是在X射线辅助下依靠骨性解剖标志来确定进钉点,为了确保椎弓根螺钉置入的精确性,术中需反复使用C形臂X射线机不断变换方向及角度进行X射线透视,将手术人员及患者暴露于高辐射的危险中。由于椎弓根毗邻关系的复杂性以及个体化差异,徒手置钉的失误率可高达20%-40%^[16-18]。置钉失误可导致严重的并发症,如脊髓及神经损伤、大血管损伤、深部感染、硬膜撕裂及脑脊液漏等^[19-21]。虽然随着手术医生经验的积累,置钉准确率有所提高,但对于颈椎、上胸椎或者解剖结构畸变的病例,置钉失败率仍很高^[22-23]。计算机导航系统是近十几年发展起来的手术辅助工具,在骨科尤其是脊柱外科应用上已取得显著效果^[24]。在导航系统的辅助下,可以更完整、直观、真实地再现各种组织形态及其相对位置,使术者实时获得三维图像信息,最大限度地避开手术危险区,并可利用相关软件,在模型上进行个体化手术设计和生物力学分析,使内置入物按预定的理想路径获得精确固定,从而缩短手术时间,减少术中出血,提高手术疗效^[25-27]。由于导航是在虚拟图像上进行,在获得实时引导的同时无需承受全程透视带来的放射线伤害。本试验在计算机导航技术的辅助下,螺钉置入总准确率达97.69%,明显优于文献所报道的徒手置钉准确率^[28-29],累计射线暴露时间也较徒手置钉明显缩短^[30]。

在腰骶椎弓螺钉置入手术中,文章采用了两种导航模式,术中C臂X射线透视二维导航和术前CT三维重建导航。这2种导航方式各有利弊,前者置入前无需术前采集CT数据,术中不需要匹配参考点,实时获取患者术中影像,简单易用,但是此模式只能提供二维平面导航,无立体视角,导航成像质量有限,上胸椎手术时因肩胛骨和肩关节遮挡而无法获取导航影像,胸椎手术时由于胸廓呼吸运动影响参考架稳定而难以进行导航^[31]。对结构不恒定、置入方向多变,要求精度较高的颈椎内置入,该模式的效果也不理想。术前CT三维重建导航模式是以术前三维CT数据为参照再融合实时位置数据后,所形成的一种图像清晰,三维立体化强,可视程度高的导航模式。其优势在于它给术者提供了多个立体视角的手术导航图像,能将手术器械的相对位置,进钉点角度和深度的变化、置入物的长度及直径以虚拟的形式实时显示更新,并能模拟手术器械的前进和后退,引导内固定螺钉准确置入椎体。此种导航模式对脊柱侧弯畸形、椎弓根周径较小的颈、胸椎内置入手术具有明显的优越性^[32]。但患者术前CT检查时体位与手术时体位存在一定差异,差别较大会影响导航系统的精确性,特别是在寰枢椎半脱位的患者,术中椎体的相对位置与术前相比会发生明显变化。为了消除体位差异产生的误差,需对手术椎体进行单椎体匹配注册,分别重建数据模型。另外,随着手术的进行,受术野变化及一些人为因素的影响,置入前匹配和融合形成的数据在术中出现偏差,也需重建数据模型,从而导致手术时间延长。田伟等^[33]认为置入前CT三维重建导航精度高,适用于颈、胸段脊椎手术,

而精度要求相对低的腰椎导航手术可用快捷便利的C臂X射线透视导航。本研究中,所有颈、胸段脊椎病变患者均采用了术前CT三维重建导航模式,227例腰骶椎病变患者中,134例采用术中C臂X射线透视二维导航,置钉准确率为96.96%,每枚螺钉的平均置钉时间为(6.6±1.1) min。93例采用术前CT三维重建导航,置钉准确率为98.41%,每枚螺钉的平均置钉时间是(6.3±1.0) min。两种导航模式下,置钉准确率及每枚螺钉的平均置钉时间均无差异。作者认为在腰骶椎弓螺钉置入中,2种导航模式均可采用。

计算机导航技术要求术者同时具备丰富的手术经验和计算机知识,在使用过程中术者难免会遇到导航失败的病例,此时需术者凭借临床经验去判断导航是否精确可靠,及时调整手术方案,避免错误导航所引发的严重手术并发症。若置钉出现偏差,术者应及时检查导航系统,尽快找出原因,改进人机配合。诸如使用薄层扫描的CT数据重建三维模型,要求CT层厚在2 mm以下,以确保三维CT重建图像细节清晰,对比良好,无噪点,无干扰。在制定术前计划时,注册点应为醒目的解剖标志点,术中应充分暴露术野,尽量保留术前选定的解剖标记点,减少匹配误差,提高注册效率。匹配注册完成后,最好用导航探针点选术野中明显的解剖标记点,如棘突最高点,上、下关节突最高点,横突,人字棘顶点等,标记点若在虚拟模型上明显偏移,则需查找偏移产生原因,如椎体序列错误,解剖标志点松动游离等。注册点可选择6-9点,这些点应高低错落分布,呈非线性离散关系。如注册后导航系统提示精度误差超过允许范围时,选择误差最大点,在与其相对应的人体解剖点周边1.0-2.0 mm范围内,移动导航探针作精细调整,通常可显著提高匹配精度。

计算机导航技术给术者提供实时的、多维的清晰图像,利于术者准确地按照计算机设计的精确进钉路线进行椎弓根螺钉内固定术,使置钉准确性明显提高,有效减少患者和医护人员所受的X射线辐射,降低手术并发症风险。随着研究和临床探索的进一步深入,计算机导航系统必将在脊柱手术微创化,精确化,安全化方面发挥更大的作用。

作者贡献: 陈晓明、陈前芬及宗少晖收集、记录、统计临床资料,陈晓明成文,肖增明审核。

利益冲突: 文章及内容不涉及相关利益冲突。

伦理要求: 患者在充分了解治疗方案的前提下签署“知情同意书”及“手术同意书”,干预及治疗方案获医院伦理委员会批准。

学术术语: 椎弓根一是椎弓的一部分,起于椎体后上部,短而厚,与椎体方向垂直向后方突起,其外形呈弧形,与椎体、关节突和椎板融合在一起,椎弓根是组成椎间孔的组成部分,其上方有一较浅的切迹构成椎间孔的下壁,椎弓根下方有一较深的椎弓根下切迹构成椎间孔的上壁。

作者声明: 文章为原创作品,无抄袭剽窃,无泄密及署名和专利争议,内容及数据真实,文责自负。

4 参考文献 References

- [1] Botolin S, Merritt C, Erickson M. Aseptic loosening of pedicle screw as a result of metal wear debris in a pediatric patient. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2013;38(1):E38-42.
- [2] Gelalis ID, Paschos NK, Pakos EE, et al. Accuracy of pedicle screw placement: a systematic review of prospective in vivo studies comparing free hand, fluoroscopy guidance and navigation techniques. *Eur Spine J*. 2012;21(2):247-255.
- [3] Suk SI, Kim JH, Kim SS, et al. Pedicle screw instrumentation in adolescent idiopathic scoliosis (AIS). *Eur Spine J*. 2012; 21(1):13-22.
- [4] Verlaan JJ, Dhert WJ, Oner FC. Intervertebral disc viability after burst fractures of the thoracic and lumbar spine treated with pedicle screw fixation and direct end-plate restoration. *Spine J*. 2013;13(3):217-221.
- [5] Min K, Sdzuy C, Farshad M. Posterior correction of thoracic adolescent idiopathic scoliosis with pedicle screw instrumentation: results of 48 patients with minimal 10-year follow-up. *Eur Spine J*. 2013;22(2):345-354.
- [6] Yoshihara H, Passias PG, Errico TJ. Screw-related complications in the subaxial cervical spine with the use of lateral mass versus cervical pedicle screws: a systematic review. *J Neurosurg Spine*. 2013;19(5):614-623.
- [7] Nakashima H, Yukawa Y, Imagama S, et al. Complications of cervical pedicle screw fixation for nontraumatic lesions: a multicenter study of 84 patients. *J Neurosurg Spine*. 2012; 16(3):238-247.
- [8] 杨明坤, 刘川, 张旭, 等. 上胸椎椎弓根螺钉固定并发症的探讨[J]. *实用骨科杂志*, 2014, 20(6):500-503.
- [9] Larson AN, Polly DW Jr, Guidera KJ, et al. The accuracy of navigation and 3D image-guided placement for the placement of pedicle screws in congenital spine deformity. *J Pediatr Orthop*. 2012;32(6):e23-29.
- [10] Zwingmann J, Hauschild O, Bode G, et al. Malposition and revision rates of different imaging modalities for percutaneous iliosacral screw fixation following pelvic fractures: a systematic review and meta-analysis. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2013;133(9):1257-1265.
- [11] Nolte LP, Zamorano LJ, Jiang Z, et al. Image-guided insertion of transpedicular screws. A laboratory set-up. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1995;20(4):497-500.
- [12] Lehman RA Jr, Kang DG, Lenke LG, et al. Return to sports after surgery to correct adolescent idiopathic scoliosis: a survey of the Spinal Deformity Study Group. *Spine J*. 2013. in press.
- [13] Luo TD, Polly DW Jr, Ledonio C, et al. Accuracy of Pedicle Screw Placement in Children ≤ 10 Years Using Navigation and Intraoperative CT. *J Spinal Disord Tech*. 2014. in press.
- [14] Youkilis AS, Quint DJ, McGillicuddy JE, et al. Stereotactic navigation for placement of pedicle screws in the thoracic spine. *Neurosurgery*. 2001;48(4):771-778; discussion 778-779.
- [15] Foley KT, Simon DA, Rampersaud YR. Virtual fluoroscopy: computer-assisted fluoroscopic navigation. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2001;26(4):347-351.
- [16] Smith HE, Welsch MD, Sasso RC, et al. Comparison of radiation exposure in lumbar pedicle screw placement with fluoroscopy vs computer-assisted image guidance with intraoperative three-dimensional imaging. *J Spinal Cord Med*. 2008;31(5):532-537.
- [17] 叶斌, 孟祥龙, 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.
- [18] Kim YJ, Lenke LG, Bridwell KH, et al. Free hand pedicle screw placement in the thoracic spine: is it safe? *Spine (Phila Pa 1976)*. 2004;29(3):333-342; discussion 342.
- [19] Hicks JM, Singla A, Shen FH, et al. Complications of pedicle screw fixation in scoliosis surgery: a systematic review. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2010;35(11):E465-470.
- [20] 张余, 尹庆水, 徐国洲, 等. 胸腰椎椎弓根钉内固定术并发症的分析[J]. *中国矫形外科杂志*, 2001, 8(4):334-336.
- [21] Luther N, Iorgulescu JB, Geannette C, et al. Comparison of Navigated Versus Non-Navigated Pedicle Screw Placement in 260 Patients and 1434 Screws: Screw Accuracy, Screw Size, and the Complexity of Surgery. *J Spinal Disord Tech*. 2013. in press.
- [22] Uehara M, Takahashi J, Hirabayashi H, et al. Perforation rates of cervical pedicle screw insertion by disease and vertebral level. *Open Orthop J*. 2010;4:142-146.
- [23] Hyun SJ, Kim YJ, Cheh G, et al. Free Hand Pedicle Screw Placement in the Thoracic Spine without Any Radiographic Guidance : Technical Note, a Cadaveric Study. *J Korean Neurosurg Soc*. 2012;51(1):66-70.
- [24] Faizan A, Kiapour A, Kiapour AM, et al. Biomechanical analysis of various footprints of transforaminal lumbar interbody fusion devices. *J Spinal Disord Tech*. 2014;27(4): E118-127.
- [25] Zang L, DU P, Hai Y, et al. Device related complications of the Coflex interspinous process implant for the lumbar spine. *Chin Med J (Engl)*. 2013;126(13):2517-2522.
- [26] Paik H, Kang DG, Lehman RA Jr, et al. The biomechanical consequences of rod reduction on pedicle screws: should it be avoided? *Spine J*. 2013;13(11):1617-1626.
- [27] Joglekar SB, Mehdod AA. Surgeon's view of pedicle screw implantation for the monitoring neurophysiologist. *J Clin Neurophysiol*. 2012;29(6):482-488.
- [28] 池永龙, 徐华梓, 林焱, 等. 微创经皮椎弓根螺钉内固定治疗胸腰椎骨折的初步探讨[J]. *中华外科杂志*, 2004, 42(21):1307-1311.
- [29] Zhang QS, Lü GH, Wang XB, et al. The significance of removing ruptured intervertebral discs for interbody fusion in treating thoracic or lumbar type B and C spinal injuries through a one-stage posterior approach. *PLoS One*. 2014; 9(5):e97275.
- [30] 吴静, 茅金宝, 孔祥云, 等. 导航与普通透视对手术室医务人员放射量的对比分析[J]. *医学影像学杂志*, 2013, 23(10):1631-1634.
- [31] Van de Kelft E, Costa F, Van der Planken D, et al. A prospective multicenter registry on the accuracy of pedicle screw placement in the thoracic, lumbar, and sacral levels with the use of the O-arm imaging system and StealthStation Navigation. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2012;37(25):E1580-1587.
- [32] Lee MH, Lin MH, Weng HH, et al. Feasibility of Intra-operative Computed Tomography Navigation System for Pedicle Screw Insertion of the Thoraco-lumbar Spine. *J Spinal Disord Tech*. 2012. in press.
- [33] 田伟, 刘亚军, 刘波, 等. 计算机导航在脊柱外科手术应用实验和临床研究[J]. *中华骨科杂志*, 2006, 26(10):671-675.