

Mimics软件模拟置钉在腰椎关节突重度退变椎弓根螺钉内固定中的应用

步国强, 毛仲轩(菏泽市立医院脊柱外科, 山东省菏泽市 274000)

文章亮点:

- 1 腰椎关节突重度退变患者行椎弓根螺钉内固定过程中螺钉置入较困难, 作者应用 Mimics 软件修复术前在 3D 重建的数字化模型上模拟置钉, 可直观显示进钉点的位置及进钉方向, 辅助置钉, 提高置钉准确性的同时能够缩短手术时间、减少出血、减少放射线暴露。
- 2 该技术所涉及到的设备如螺旋 CT、计算机在国内医院均已普及, 除此以外不需要增添其他的设备, 易于在基层医院推广。
- 3 该技术采用术前常规 CT 检查所保留的数据在计算机上进行再处理, 不因此增加患者的经济负担。
- 4 修复术前应用 Mimics 软件建立的数字化模型及模拟置钉的图像除用于术中辅助置钉外, 还可以用于术前医患沟通, 使患者更形象的了解治疗过程及可能出现的风险及并发症。

关键词:

植入物; 数字化骨科; 腰椎; 关节突重度退变; Mimics 软件; 模拟置钉; 椎弓根螺钉; 内固定; 并发症; 置钉准确性

主题词:

腰椎; 骨钉; 内固定器; 手术后并发症

摘要

背景: 目前腰椎椎弓根螺钉置入为脊柱外科非常成熟的一项技术, 临床上有多种术中确定进钉点、进钉方向的方法。但腰椎关节突重度退变患者由于手术区域骨赘增生严重, 顺利准确置钉有一定难度。

目的: 观察腰椎关节突重度退变患者修复术前应用 Mimics 软件模拟置钉对椎弓根螺钉置入内固定效果的影响。

方法: 将 78 例需要行腰椎椎弓根螺钉置入单节段内固定且治疗前 CT、MR 评估为腰椎关节突重度退变的患者纳入研究, 随机分为两组, 模拟置钉组 39 例, 对照组 39 例, 两组共置入 312 枚椎弓根螺钉。模拟置钉组术前对需要置钉的椎体使用 Mimics 软件行 3D 重建, 并在拟置钉椎体模拟椎弓根螺钉, 在 3D 影像上观察椎弓根螺钉进钉点与周围骨性标志的关系并测量进钉的角度和深度, 术中参考观察和测量的结果进行椎弓根螺钉置入。对照组采用传统方式置入椎弓根螺钉。治疗后均行 X 射线、CT 检查对椎弓根螺钉置入准确性进行评估。

结果与结论: 模拟置钉组置入椎弓根螺钉后均未发生相关并发症, 置钉后复查 156 枚螺钉中 153 枚位于椎弓根内, 置钉正确率显著高于对照组(98.1%, 88.5%, $\chi^2=11.49$, $P<0.05$)。且模拟置钉组手术时间、出血量及患者放射线暴露时间少于对照组, 差异均有显著性意义($P<0.05$)。提示需要行腰椎椎弓根螺钉置入内固定的患者中, 腰椎关节突退变占相当大的比例, 而关节突的退变使进钉点解剖标志难以辨别, 给螺钉置入带来很大的难度。Mimics 软件模拟置钉可辅助腰椎关节突重度退变患者修复术中椎弓根螺钉的正确置入, 降低相关并发症, 减少手术时间及出血量, 减少患者放射线暴露时间。

步国强, 毛仲轩. Mimics 软件模拟置钉在腰椎关节突重度退变椎弓根螺钉内固定中的应用[J]. 中国组织工程研究, 2015, 19(17):2745-2751.

doi:10.3969/j.issn.2095-4344.2015.17.022

Mimics simulation software for screw placement in pedicle screw fixation for treating severe lumbar facet joint degeneration

Bu Guo-qiang, Mao Zhong-xuan (Department of Spine Surgery, Heze Municipal Hospital, Heze 274000, Shandong Province, China)

Abstract

BACKGROUND: Lumbar pedicle screw placement technique is a very mature technology in spinal surgery. There are many methods for determining the screw entry points and direction in the clinic. However, for patients with severe lumbar facet degeneration, severe osteophytosis can be found in the surgical area. Smooth and accurate screw placement has some difficulties.

OBJECTIVE: To observe the effects of screw placement simulation using Mimics software on pedicle screw fixation before repair of severe lumbar facet joint degeneration.

METHODS: A total of 78 cases of severe lumbar zygapophysial degeneration evaluated by CT and MR, who received single-segment lumbar pedicle screw fixation, were enrolled in this study. They were randomly divided

步国强, 男, 1978 年生, 山东省成武县人, 汉族, 2004 年泰山医学院毕业, 硕士, 主治医师, 主要从事脊柱外科方面的研究。

中图分类号:R318

文献标识码:B

文章编号:2095-4344

(2015)17-02745-07

稿件接受: 2015-02-07

http://www.crter.org

Bu Guo-qiang, Master, Attending physician, Department of Spine Surgery, Heze Municipal Hospital, Heze 274000, Shandong Province, China

Accepted: 2015-02-07

into two groups, including simulation screw group ($n=39$) and control group ($n=39$). Totally 312 pedicle screws were implanted in the two groups. In the simulation screw group, Mimics software was used to perform 3D reconstruction before surgery and to simulate vertebral pedicle screw operation. In the 3D images, screw entry points and surrounding bony landmarks of pedicle screw were observed. The angle and depth of screw placement were measured. During the operation, pedicle screw placement was conducted in accordance with above results of observation and measurement. In the control group, pedicle screw was implanted according to the conventional method. After treatment, an X-ray CT examination was performed in the evaluation of the accuracy of pedicle screw placement.

RESULTS AND CONCLUSION: No postoperative complication occurred in the simulation screw group. 153 of 156 screws were located in vertebral pedicle in the postoperative examination. The correct rate of screw placement was significantly higher in the simulation screw group than in the control group (98.1%, 88.5%, $\chi^2=11.49$, $P < 0.05$). The operation time, amount of bleeding and radiation exposure time were significantly shorter in the simulation screw group than in the control group ($P < 0.05$). These findings indicate that the lumbar facet joint degeneration accounted for a large proportion in patients with lumbar pedicle screw fixation. Facet joint degeneration increases the difficulties on distinguishing anatomical landmarks of insertion point, which brings a great difficulty for screw placement. The simulation of Mimics software in screw placement can improve accuracy in pedicle screw fixation in patients with severe lumbar facet joint degeneration, reduce complications, operation time, amount of bleeding, and radiation exposure time.

Subject headings: Lumbar Vertebrae; Bone Nails; Internal Fixators; Postoperative Complications

Bu GQ, Mao ZX. Mimics simulation software for screw placement in pedicle screw fixation for treating severe lumbar facet joint degeneration. Zhongguo Zuzhi Gongcheng Yanjiu. 2015;19(17):2745-2751.

0 引言 Introduction

随着社会老龄化的发展, 腰椎管狭窄症、退变性腰椎滑脱等腰椎退变性疾病日益增多, 其中相当一部分需要行融合内固定手术。手术中椎弓根螺钉的正确置入非常重要, 关系着手术效果及并发症的出现, 错误的置入椎弓根螺钉甚至可能引起不可挽救的后果, 严重的影响预后^[1]。腰椎弓根螺钉置入技术作为一项非常成熟的技术, 自1959年Boucher^[2]首先将椎弓根螺钉应用于腰椎融合以来, 出现了多种置钉方法, 如Weinstein法、Roy-Camille法等^[3-4]。这些方法均需要术中置钉区骨性解剖标志相对清晰, 同时结合术中的X射线影像才能够确定进钉点。而腰椎退变增生严重, 尤其是关节突周围重度增生的患者, 其关节突内聚、骨赘形成、解剖结构紊乱^[5], 进钉点周围解剖结构往往在术中不易辨认, 给置钉带来难度。为了辨认进钉点, 常常需要更充分的显露手术野, 从而使得手术时间延长, 出血量增加。而且对于增生严重的病例仅凭经验进行徒手置钉, 很难做到一次性置钉成功, 反复的调整穿刺椎弓根增加了手术时间和术中失血的同时也使得钉道变大变松, 影响螺钉的把持力。而多次的透视定位, 则增加了患者及手术者的放射暴露时间。有时因置钉困难而采用先打开椎管探查至椎弓根后再直视下置钉的方法, 虽然也能够顺利的完成置钉, 但这种方法并不符合大多数脊柱外科医生的操作习惯且往往这种方法出血量较多。为提高椎弓根螺钉置入准确性, 出现了多种辅助置钉技术。其中术中导航技术在椎弓根螺钉内固定手术中有着较大的优势。但目前术中导航系统仍较昂贵, 在国内难以大范围普及, 基层医院鲜有配备。

随着医学技术的发展, 螺旋CT得到了广泛应用, 其扫描后可根据需要利用3D重建软件行多角度、多平面的三维图像的重建, 重建图像立体感强、清晰、逼真, 可以从任

何角度观察手术区域的骨性结构, 从而为手术操作提供解剖学依据, 也对制定正确的治疗方案或选择手术方法将有重要的参考价值^[6]。Mimics是一套高度整合而且易用的3D图像生成及编辑处理软件^[7], 它能充分利用螺旋CT获得的原始数据, 建立3D模型并进行编辑, 然后输出通用的计算机辅助设计、有限元分析、快速成型格式, 可以在计算机上进行大规模数据的转换处理。

文章通过应用Mimics三维重建软件利用术前常规的螺旋CT扫描数据在计算机上重建病变节段的3D模型图像, 并模拟椎弓根螺钉的置入, 辅助术中准确的找到椎弓根螺钉的进钉点并确定进钉角度, 从而达到缩短手术时间、减少出血量和术中放射暴露, 并尽可能避免相关并发症的出现。

1 对象和方法 Subjects and methods

设计: 随机对照试验。

时间及地点: 于2013年10月至2014年10月在菏泽市立医院脊柱外科完成。

对象:

纳入标准: ①腰椎管狭窄症或退变性腰椎滑脱症。②符合腰椎管减压融合内固定指征。③按照Fujiwara等^[8]标准关节突关节退变严重程度为3级。④实验室检查、心电图、胸片等辅助检查结果正常, 能耐受手术。⑤患者对治疗及试验方案知情同意, 且得到医院伦理委员会批准。

排除标准: ①为便于对照研究, 将需多节段固定的患者予以排除。②合并严重的骨质疏松。③存在有严重的全身性疾病或其他的手术禁忌症者。

按以上标准选择菏泽市立医院2013年10月至2014年10月收治的腰椎退变性疾病患者共78例纳入本研究, 按随机数字表法分为2组。

模拟置钉组39例, 其中腰椎管狭窄症24例, 退变性腰椎滑脱15例; 病变节段: L₃₋₄ 3例、L₄₋₅ 21例、L₅-S₁ 15例; 男23例, 女16例; 年龄(65.4±10.3)岁。对照组39例, 其中腰椎管狭窄症21例, 退变性腰椎滑脱18例; 病变节段: L₃₋₄ 2例、L₄₋₅ 20例、L₅-S₁ 17例; 男26例, 女13例; 年龄(67.5±8.6)岁。本研究所有患者手术均由同一手术团队完成。

材料: 椎弓根钉棒系统为常州华森医疗器械有限公司产品, 均为钛合金材质, 具有良好的组织相容性。

椎弓根螺钉模拟置钉试验用器械:

器械	来源
64 排 128 层螺旋 CT	美国 GE 公司
Lenovo G480 笔记本电脑 Intel(R) Core(TM)i5-3230M CPU @2.60 GHz 4G 内存 Windows8 操作系统	中国联想集团
MimiCS16.0	比利时, Materialise 公司
SPSS 12.0 软件	美国芝加哥市, SPSS 公司

方法:

腰椎3D数字模型的建立及椎弓根螺钉模拟置入: 所有患者修复术前均应用GE公司的64排螺旋CT行腰椎CT扫描。其中模拟置钉组术前进行腰椎3D数字模型的建立并在数字模型上模拟置入椎弓根螺钉。具体方法如下: 从医院PACS系统上将CT数据以DICOM格式保存到电脑磁盘中, 将DICOM格式的源文件导入Mimics 16.0软件; 通过设定骨窗阈值(CT: 2 261 385)进行阈值分割锁定骨骼为重建目标, 重建腰椎的3D数字模型; 应用软件提供的切割工具剔除肋骨、无关节段椎体及伪影, 仅保留手术节段2个椎体及上下相邻结构; 运用Mimics软件中的MedCAD模块, 在腰椎3D数字模型上设计绘制圆柱体进行模拟椎弓根螺钉, 调整螺钉的长度(可适当延长圆柱体穿破椎体前方, 便于观察螺钉方位)、直径(略小于椎弓根直径)、水平面置入角度及矢状面置入角度, 并在矢状位、冠状位及水平位窗口进行微调使模拟置入的螺钉与椎弓根轴线吻合位于最佳位置。同样的办法在数字化模型上模拟其他椎弓根螺钉的置入。

对建立的椎体数字模型及模拟置入的椎弓根螺钉进行观察和测量: 首先激活软件的“measurement 工具栏”, 选择长度测量工具测量螺钉的直径; 选择长度测量工具测量螺钉通道的长度(通常术中所选的椎弓根螺钉长度为螺钉通道长度减去5 mm); 选择角度测量工具测量螺钉的水平面置入角度、矢状面置入角度。然后为便于更精确的观察椎弓根螺钉进钉点的位置, 使用MedCAD模块在模拟螺钉进钉点处绘制一圆点, 并将模拟的螺钉隐藏, 以免模拟的螺钉遮挡进钉点处的解剖结构。观察精确的进钉点与周围结构的关系, 尤其是与横突上下缘、峡部峭等不易受退变影响解剖位置较恒定结构的关系, 以及进钉点与小关节

间隙以及周围有一定特征性的骨赘之间的关系, 从而较直观的构建出进钉点的“定位图”。为便于术中置钉时参考以上观察、测量的结果, 可以使用软件的“File”菜单中的“Save/Print Screenshot”将最佳视角保存为图片, 并进行打印。模拟置钉过程见图1。

修复方法: 所有患者均采用俯卧位, 腹部悬空。常规消毒, 铺无菌巾, 以手术节段为中心作后正中切口剥离椎旁肌显露相应节段的椎板、关节突及横突根部。模拟置钉组在显露充分后, 观察术中拟置钉区域的“地形地貌”, 对照术前模拟置钉进钉点位置, 尤其是要注意横突上下缘、峡部峭等不易受退变影响解剖位置较恒定的结构, 这些结构能够常常可作为进钉点定位的参照物, 从而确定进钉点。进钉点确定后, 按照术前模拟置钉的每枚螺钉的水平面置入角度和矢状面置入角度及进钉深度, 置入椎弓根螺钉, C型臂透视评估椎弓根螺钉的位置和深度。对照组采用传统的人字嵴顶点定位法结合Weinstein等定位法确定进钉点^[3-9], 对于因退变使得辨认进钉点非常困难的, 则先行椎管减压, 打开椎管探查椎弓根后直视下定位进钉点。定位椎弓根进钉点后, 按传统椎弓根置入方式在C型臂透视辅助下置入椎弓根螺钉。模拟置钉组和对照组在置入椎弓根螺钉后均根据需要进行椎间盘切除、椎管减压、椎间植骨, 连接内固定装置, 必要时行撑开、提拉复位等操作。冲洗伤口并清点器械后逐层关闭切口, 切口内常规放置引流管1根。并记录手术时间、术中出血量和放射线暴露时间。

治疗后处理: 治疗后检测患者生命体征, 给予抗生素预防感染, 应用脱水、营养神经药物。引流管于24-48 h后拔除。拔除引流管后如无明显腰痛时开始直腿抬高训练。治疗后1周在硬质腰围保护下进行床旁康复锻炼。治疗后患者均摄腰椎正侧位、腰椎CT平扫进一步评估椎弓根螺钉的位置、植骨和椎管减压情况。

主要观察指标: 所有患者治疗后复查腰椎正侧位及腰椎CT平扫, 结合X射线片、CT评估椎弓根螺钉置入准确性。

根据Youkilis等^[10]的椎弓根螺钉位置分级标准评估椎弓根螺钉置入准确性: 椎弓螺钉完全在椎弓根内为0级; 椎弓螺钉涉及椎弓皮质为I级; 突破皮质, 小于2 mm为II级; 大于2 mm为III级(见图2)。

统计学分析: 采用SPSS 12.0软件进行统计学处理, 计量资料采用 $\bar{x}\pm s$ 表示, 均数比较采用t检验, 计数资料率的比较采用 χ^2 检验。 $P < 0.05$ 认为差异有显著性意义。

2 结果 Results

2.1 参与者数量分析 按意向性处理, 共纳入患者78例, 分为2组, 模拟置钉组39例, 对照组39例, 全部进入结果分析, 无脱落。两组患者分组流程图见图3。

2.2 基线资料比较 比较两组患者的一般资料, 发现两

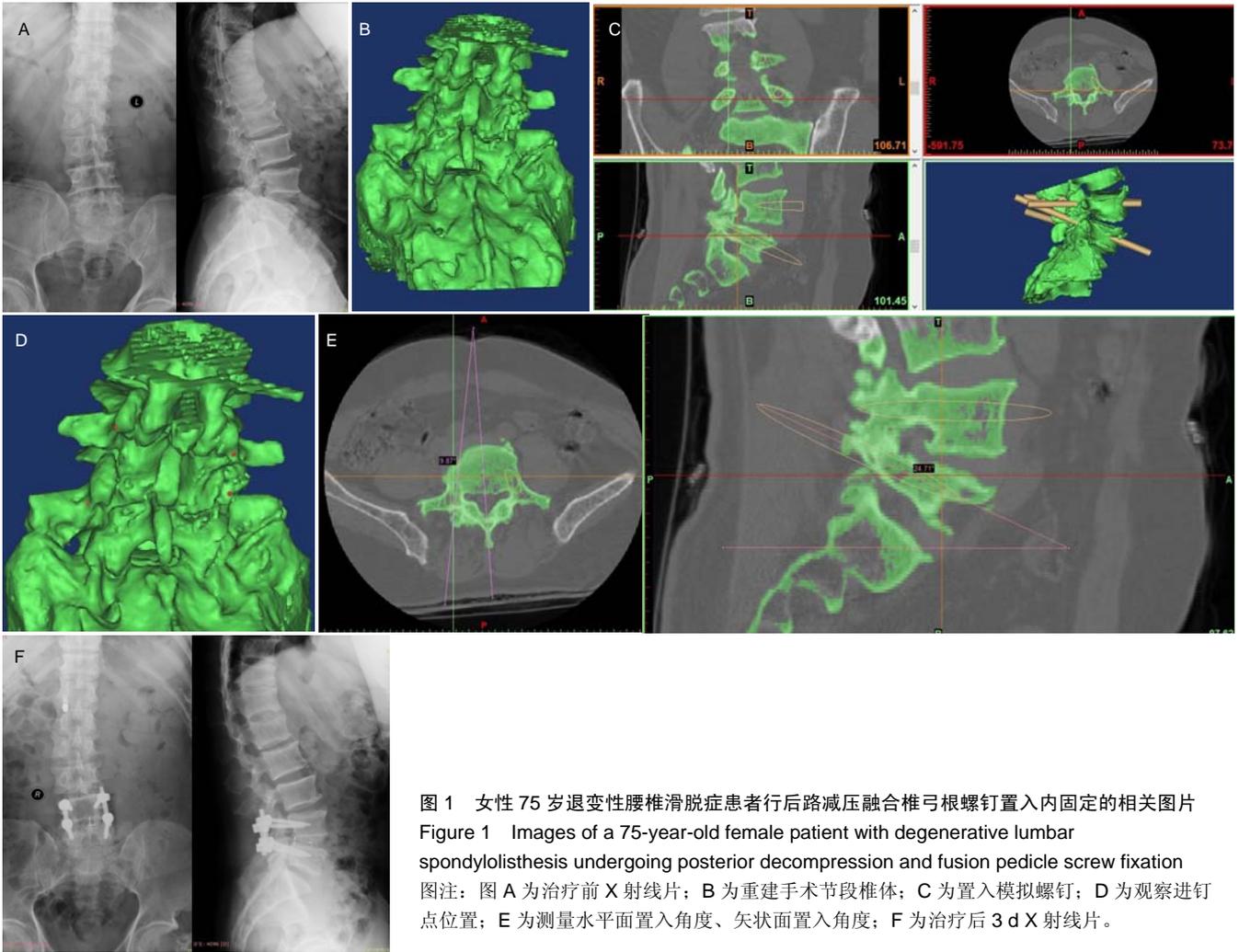


图 1 女性 75 岁退变性腰椎滑脱症患者行后路减压融合椎弓根螺钉置入内固定的相关图片
 Figure 1 Images of a 75-year-old female patient with degenerative lumbar spondylolisthesis undergoing posterior decompression and fusion pedicle screw fixation
 图注: 图 A 为治疗前 X 射线片; B 为重建手术节段椎体; C 为置入模拟螺钉; D 为观察进钉点位置; E 为测量水平面置入角度、矢状面置入角度; F 为治疗后 3 d X 射线片。

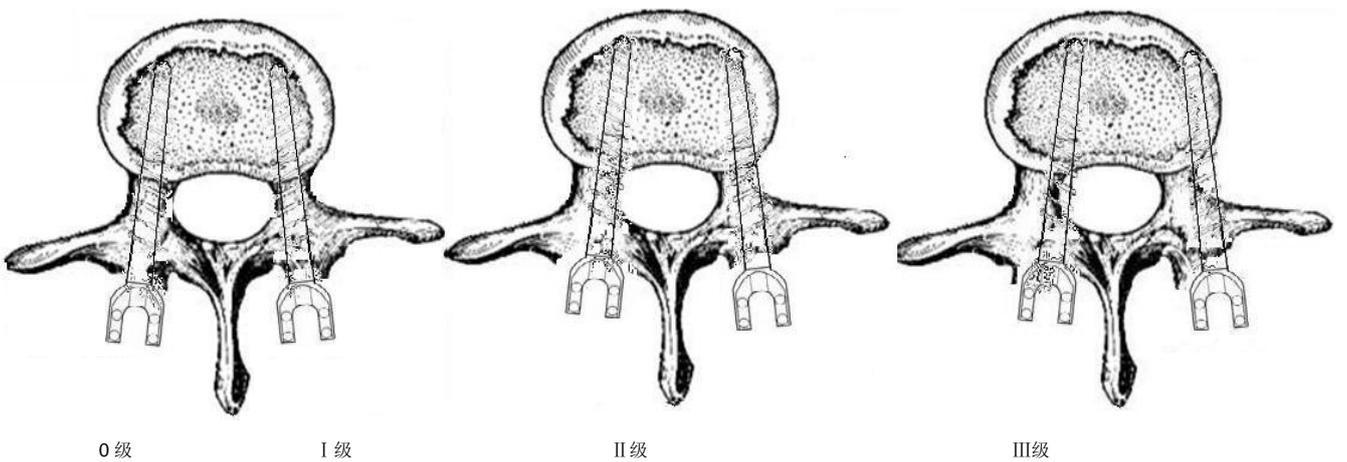


图 2 椎弓根螺钉位置分级标准
 Figure 2 Pedicle screw position classification standard

组患者的性别、年龄、诊断及手术节段等情况比较差异无显著性意义, 具有可比性, 见表 1。

2.3 椎弓根螺钉置入准确性比较 模拟置钉组 39 例患者, 共置入椎弓根螺钉 156 枚, 其中 0 级 128 枚, 1 级 25 例, 2 级 3 例, 3 级 0 例。对照组 39 例患者, 共置入椎弓根螺钉 156 枚, 其中 0 级 97 枚, 1 级 41 例, 2 级 15 例,

3 级 3 例。两组均无神经血管损伤等并发症。以螺钉置入位置 0 级、I 级为置钉准确、II 级、III 级为置钉不准确进行置钉准确率的统计。两组椎弓根螺钉置入准确性比较差异有显著性意义($P < 0.05$), 见表 2。

2.4 手术时间、术中出血量及放射线暴露时间比较 两组患者手术均顺利完成, 两组手术时间、术中出血量、放射

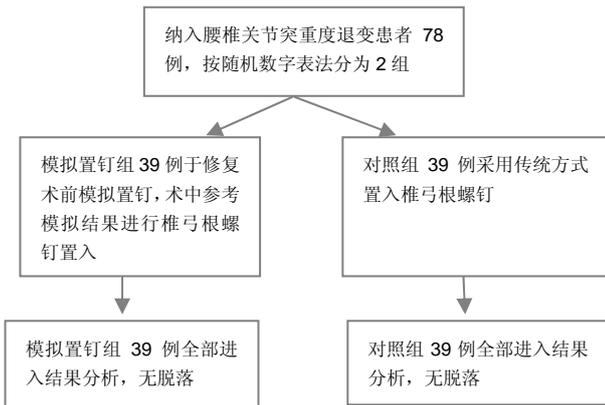


图3 两组患者分组流程图

Figure 3 Flowchart of experimental groups

表2 两组患者椎弓根螺钉置入准确性比较

Table 2 Comparison of the accuracy of pedicle screw placement in patients of both groups

组别	准确置钉数(枚)	不准确置钉数(枚)	置钉准确率
模拟置钉组	153(0级 128、I级 25)	3(II级 3、III级 0)	98.1%
对照组	138(0级 97、I级 41)	18(II级 15、III级 3)	88.5%

表注: 模拟置钉组置钉准确率显著高于对照组($\chi^2=11.49$ $P<0.05$)。

线暴露时间比较, 模拟置钉组优于对照组, 差异均有显著性意义($P<0.05$), 见表3。

2.5 典型病例 患者女性, 75岁, 退变性腰椎滑脱症, 行后路减压椎间融合椎弓根螺钉置入内固定治疗, 置钉后3d复查X射线片。模拟置钉过程及治疗前后X射线片见图1。

2.6 不良事件 模拟置钉组有1例出现脑脊液漏, 经切口换药、加压包扎术后9d改善; 对照组3例治疗后出现神经症状加重, 经脱水、营养神经、康复锻炼治疗后3个月时好转。

3 讨论 Discussion

自1959年Boucher^[2]首先将椎弓根螺钉应用于腰椎融合以来, 因其具有优越的生物力学特性而被广泛的应用于脊柱外科内固定手术中。准确的置入椎弓根螺钉对于手术的成功至关重要。传统的椎弓根螺钉置入方法可归结为3大类: ①横突关节突定位法, 如Weinstein法、Roy-Camille法、Magerl法等^[3-4, 11]。②人字嵴顶点定位法^[9, 12]。③棘突定位法^[13-14]。这些方法均需要术中置钉区骨性解剖标志相对清晰, 同时结合术中的X射线影像才能够确定进钉点。但是对于腰椎退变的患者, 常常表现为关节突周围骨赘增生严重^[15-16], 其进钉点周围解剖结构往往在术中不易辨认, 给置钉带来难度。由于椎体、椎弓根周围毗邻许多重要结构, 错误的置钉, 有可能导致神经根、硬膜囊甚至椎体前方大血管的损伤^[17-18], 引发严重的并发症。而且螺钉位置不当使得复位固定作用减弱, 影响内固定的力学特性^[19]。

表1 两组患者基线资料比较

(n=39)

Table 1 Comparison of baseline data of patients in both groups

项目	模拟置钉组	对照组	P
男/女(n)	23/16	26/13	> 0.05
年龄($\bar{x}\pm s$, 岁)	65.4±10.3	67.5±8.6	> 0.05
诊断(n)			> 0.05
腰椎管狭窄症	24	21	
退变性腰椎滑脱症	15	18	
病变节段(n)			> 0.05
L _{3/4}	3	2	
L _{4/5}	21	20	
L _{5/S₁}	15	17	

表注: 两组患者基线资料比较差异无显著性意义($P>0.05$), 具有可比性。

表3 两组患者手术相关指标比较

($\bar{x}\pm s$)

Table 3 Comparison of operation-related indexes in patients of both groups

组别	手术时间(min)	术中出血量(mL)	放射线暴露时间(s)
模拟置钉组	136±42	336±105	9.6±3.2
对照组	167±74	457±212	12.7±5.8
t	-2.28	-3.19	-2.92
P	0.013	0.010	0.002

表注: 两组手术时间、术中出血量、放射线暴露时间比较, 模拟置钉组优于对照组($P<0.05$)。

另一方面解剖结构不清的情况下为了辨认进钉点, 常常需要更多的显露手术野, 从而使得手术时间延长, 出血量增加。而且对于增生严重的病例仅凭经验进行徒手置钉, 很难做到一次性置钉成功, 反复的定位拧钉增加了手术时间和术中失血的同时也使得钉道变大变松, 影响螺钉的把持力。而多次的透视定位, 则增加了患者的放射暴露时间。有时因置钉困难而采用先行减压打开椎管探查椎弓根后再直视下置钉的方法, 虽然也能够顺利的完成置钉, 但一方面这种方法并不符合大多数脊柱外科医生的操作习惯, 另一方面据作者观察先减压后置钉往往出血量较多, 本研究对照组几例出血量超过400 mL的病例均为这种情况。

为了更准确的完成椎弓根螺钉置入, 出现了多种辅助置钉技术。其中计算机导航技术自20世纪90年代就开始应用于椎弓根螺钉的辅助置入, 并随着该技术的发展完善, 定位精确性越来越高, 能够明显提高手术安全性并能够显著地减少术中术者的X射线辐射量, 受到越来越多脊柱外科医生的认可^[20-21]。田伟等^[22]的一项研究表明, 无影像学辅助下置钉优良率仅为62.5%, X射线透视辅助下置钉优良率为82.1%, 而CT三维导航或Iso-C术中三维导航的置钉优良率可达100%, 导航技术在椎弓根螺钉内固定手术中的优势是显而易见的。但目前术中导航系统仍较昂贵, 在国内难以大范围普及, 基层医院鲜有配备。而且, 患者的CT资料均为术前获取, 如术中体位和CT检查时体位相差较大, 则重建的三维图像不能反映术中真实的三维关系, 这时根

据导航指示置钉则有误导手术的可能^[22]。另外, 术中导航系统对患者有较大的射线损伤且其操作较繁琐, 初期使用需要接受严格的操作流程和系统的训练, 这也限制了导航系统的普及^[23]。

随着数字化医疗技术的发展, 利用螺旋CT数据通过3D重建软件行多角度、多平面的三维图像的重建, 重建图像立体感强、清晰、逼真, 可以从任何角度观察手术区域的骨性结构, 从而为手术操作提供解剖学依据, 也对制定正确的治疗方案或选择手术方法将有重要的参考价值^[24-26]。Mimics是一套高度整合而且易用的3D图像生成及编辑处理软件^[7], 它能充分利用螺旋CT获得的原始数据, 建立3D模型并进行编辑, 然后输出通用的计算机辅助设计、有限元分析、快速成型格式, 可以在计算机上进行大规模数据的转换处理。

严斌等^[27]利用Mimics三维重建软件并结合3D打印技术制作椎弓根螺钉置入的3D导航模板, 经过在打印腰椎标本上进行模拟置钉试验, 初步验证了这种方法的可行性。但考虑到术中周围软组织对导航模板的放置有一定的影响, 其可行性还需临床来验证^[28]。杨波等^[29]利用Mimics软件在术前对腰椎三维重建, 设计最佳钉道并模拟置钉, 预测椎弓根螺钉长、直径、水平面角及矢状面角度与通过术中导航系统等方式置钉后实际数据的差异无显著性意义($P > 0.05$)。说明通过Mimics软件对腰椎进行三维重建模拟置钉并制定置钉参数, 能比较精确的指导内固定中实际置钉, 提高椎弓根螺钉的置钉安全^[30]。

本研究通过应用Mimics三维重建软件术前在计算机上重建病变节段的3D模型图像, 并模拟椎弓根螺钉的置入, 在3D影像上观察椎弓根螺钉进钉点与周围骨性标志的关系并测量进钉的角度和深度, 术中参考观察和测量的结果进行椎弓根螺钉置入。通过对比研究, 模拟置钉组通过术前的模拟操作, 对置钉区的解剖结构有着直观的认识, 能够指导术中顺利的找到准确的进钉点, 并根据术前测量的螺钉的长度、直径及置钉角度完成置钉, 避免了过多的术野显露、过多的透视、反复的定位穿刺, 从而明显的减少了手术时间、术中出血及放射线暴露时间。在置钉准确率方面, 明显优于采用传统置钉方法的对照组。术前模拟置钉技术不需要增加特殊的设备, 仅需要利用术前常规的螺旋CT扫描数据进行计算机辅助设计, 不因此增加患者的经济负担, 在基层医院有一定的应用前景。

另外, 术前应用Mimics软件建立的数字化模型及模拟置钉的图像除用于术中辅助置钉外, 还可以用于术前医患沟通。可以使患者更形象的了解手术的大体过程、置钉的方式、减压固定的节段、植骨的位置及每一步可能出现的风险及并发症等相关事宜^[31-37]。这样的术前沟通便于患者及其家属理解, 使其切实做到知情同意^[7, 31]。

术前模拟置钉技术也存在着一定的缺陷: 术中显露骨性解剖标志需要充分的剔除关节突周围软组织, 对非融合

节段关节突下半的关节囊有时会有一定的破坏; 虽然在确定进钉点、螺钉水平面置入角度有很大的优势, 但确定矢状面置入角度时受体位变化影响较大; 不能实时的监测术中置钉情况, 仅作为传统椎弓根螺钉置入技术的一个辅助手段。

致谢: 感谢菏泽市立医院脊柱外科全体职工在工作中的帮助, 特别感谢沙启乐主任、张善地主任在手术过程中的极大帮助。

作者贡献: 试验设计由第一作者进行, 手术实施由第一、二作者在沙启乐主任、张善地主任指导下完成, 第一、二作者收集资料并成文。第一作者审核并对文章负责。

利益冲突: 文章及内容不涉及相关利益冲突。

伦理要求: 参与试验的患病个体对治疗均知情同意, 试验干预及治疗方案获医院伦理委员会批准。第一、二作者均为高年资主治医师, 具备相关手术资质。

学术术语: 数字化模拟置钉辅助椎弓根螺钉置入-利用患者CT连续扫描数据集重建三维椎体数字解剖表面模型, 在此数字模型上模拟椎弓根螺钉的置入, 进而辅助手术中确定椎弓根螺钉最佳的进钉点及进钉方向。

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] 杨惠林, 唐天驷, 朱国良, 等. 胸腰椎骨折经椎弓根内固定治疗中的失误和并发症的分析[J]. 中华骨科杂志, 1996, 16(6): 356-358.
- [2] Boucher HH. A method of spinal fusion. J Bone Joint Surg Br. 1959;41-B:248-259.
- [3] Weinstein JN, Spratt KF, Spengler D, et al. Spinal pedicle fixation: reliability and validity of roentgenogram-based assessment and surgical factors on successful screw placement. Spine (Phila Pa 1976). 1988;13:1012-1018.
- [4] Roy-Camille R, Saillant G, Mazel C. Internal fixation of the lumbar spine with pedicle screw plating. Clin Orthop Relat Res. 1986;203:7-17.
- [5] Tischer T, Aktas T, Milz S, et al. Detailed pathological changes of human lumbar facet joints L1-L5 in elderly individuals. Eur Spine J. 2006;15:308-315.
- [6] 李响, 李春志, 唐光才, 等. 多层螺旋CT腰椎三维成像在椎弓根螺钉置入术中的应用[J]. 中国医学影像学杂志, 2011, 19(8): 580-584.
- [7] 于海龙, 刘军, 陈语, 等. 腰椎骨折椎弓根螺钉中椎弓根螺钉可视化技术的应用[J]. 中国组织工程研究, 2014, 18(4): 547-552.
- [8] Fujiwara A, Tamai K, Yamato M, et al. The relationship between facet joint osteoarthritis and disc degeneration of the lumbar spine: an MRI study. Eur Spine J. 1999;8:396-401.
- [9] 杜心如, 赵玲秀, 张一模, 等. 腰椎人字嵴顶点椎弓根螺钉进钉方法的解剖学研究[J]. 中国临床解剖学杂志, 2002, 20(2): 86-88.
- [10] Youkilis AS, Quint DJ, McGillicuddy JE, et al. Stereotactic navigation for placement of pedicle screws in the thoracic spine. Neurosurgery. 2001;48:771-778, 778-779.
- [11] Magerl FP. Stabilization of the lower thoracic and lumbar spine with external skeletal fixation. Clin Orthop Relat Res. 1984;189:125-141.

- [12] 杜心如,赵玲秀,张一模,等.腰椎人字嵴顶点毗邻结构的观察及其临床意义[J].中国脊柱脊髓杂志,2001,11(2):89-91.
- [13] 崔新刚,丁自海,蔡锦方.胸腰椎棘突上缘根部与椎弓根关系的放射解剖学研究及意义[J].中国矫形外科杂志,2004,12(2):95-97.
- [14] 刘金龙,毛广平,李洋,等.以关节突关节面及棘突为参照定位腰椎椎弓根的解剖学研究[J].颈腰痛杂志,2013,34(4):277-281.
- [15] 覃柳生.腰椎关节突关节退变的影像学表现及意义[J].实用医学影像杂志,2014,15(5):357-359.
- [16] 金胡日查,崔志明.腰椎关节突关节退变的影像学研究进展[J].中华临床医师杂志(电子版),2013,7(8):3577-3579.
- [17] Vaccaro AR, Kepler CK, Rihn JA, et al. Anatomical relationships of the anterior blood vessels to the lower lumbar intervertebral discs: analysis based on magnetic resonance imaging of patients in the prone position. *J Bone Joint Surg Am.* 2012;94:1088-1094.
- [18] 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:E465-470.
- [19] 韩今华,马德春,白淼,等.腰椎椎弓根螺钉进钉点的个体化定位[J].中国组织工程研究与临床康复,2011,15(48):9066-9069.
- [20] Tian NF, Huang QS, Zhou P, et al. Pedicle screw insertion accuracy with different assisted methods: a systematic review and meta-analysis of comparative studies. *Eur Spine J.* 2011; 20:846-859.
- [21] Verma R, Krishan S, Haendlmayer K, et al. Functional outcome of computer-assisted spinal pedicle screw placement: a systematic review and meta-analysis of 23 studies including 5,992 pedicle screws. *Eur Spine J.* 2010; 19:370-375.
- [22] 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.
- [23] Arand M, Hartwig E, Hebold D, et al. [Precision analysis of navigation-assisted implanted thoracic and lumbar pedicled screws. A prospective clinical study]. *Unfallchirurg.* 2001; 104: 1076-1081.
- [24] 柯雨洪,尹东,昌耘冰,等.CT三维重建在脊柱半椎体畸形矫正手术中的价值[J].中国临床解剖学杂志,2012,30(1):52-55.
- [25] Cui G, Watanabe K, Hosogane N, et al. Morphologic evaluation of the thoracic vertebrae for safe free-hand pedicle screw placement in adolescent idiopathic scoliosis: a CT-based anatomical study. *Surg Radiol Anat.* 2012;34: 209-216.
- [26] 于海龙,项良碧,刘军,等.CT三维重建技术在手术治疗胸腰段椎体骨折中应用[J].中国矫形外科杂志,2010,18(2):157-159.
- [27] 严斌,张国栋,吴章林,等.3D打印导航模块辅助腰椎椎弓根螺钉精确植入的实验研究[J].中国临床解剖学杂志,2014,32(3): 252-255.
- [28] 张强,赵昌松,袁征,等.导航在复杂腰椎椎弓根螺钉置入手术中的初步应用[J].中华临床医师杂志(电子版),2013,7(24): 11574-11577.
- [29] 杨波,方世兵,尹飏,等.三维重建腰椎椎弓根螺钉置入的精确性[J].中国组织工程研究,2013,17(13):2333-2338.
- [30] 陈昆,刘爱刚,蔡惠民,等.腰椎椎弓根螺钉置入内固定前三维测量的临床应用[J].中国组织工程研究,2013,17(39):6914-6919.
- [31] 肖进,尹庆水,张美超,等. Mimics软件重建脊柱三维骨骼数据基础上快速成型的脊柱畸形模型[J].中国组织工程研究与临床康复,2008,12(35):6835-6838.
- [32] Yang M, Zeng C, Guo S, et al. Digitalized design of extraforaminal lumbar interbody fusion: a computer-based simulation and cadaveric study. *PLoS One.* 2014;9(8): e105646.
- [33] Marulanda GA, Nayak A, Murtagh R, et al. A cadaveric radiographic analysis on the effect of extreme lateral interbody fusion cage placement with supplementary internal fixation on indirect spine decompression. *J Spinal Disord Tech.* 2014; 27(5):263-270.
- [34] Wang MY, Vasudevan R, Mindea SA. Minimally invasive lateral interbody fusion for the treatment of rostral adjacent-segment lumbar degenerative stenosis without supplemental pedicle screw fixation. *J Neurosurg Spine.* 2014;21(6):861-866.
- [35] Nayak AN, Gutierrez S, Billys JB, et al. Biomechanics of lateral plate and pedicle screw constructs in lumbar spines instrumented at two levels with laterally placed interbody cages. *Spine J.* 2013;13(10):1331-1338.
- [36] Wasinpongwanich K, Paholpak P, Tuamsuk P, et al. Morphological study of subaxial cervical pedicles by using three-dimensional computed tomography reconstruction image. *Neurol Med Chir (Tokyo).* 2014;54(9):736-745.
- [37] Lee JY, Lee JW, Pang KM, et al. Biomechanical evaluation of magnesium-based resorbable metallic screw system in a bilateral sagittal split ramus osteotomy model using three-dimensional finite element analysis. *J Oral Maxillofac Surg.* 2014;72(2):402.