

骨科天玑机器人在手术治疗胸腰椎骨折的临床应用

张同同^{1,2}, 王增平², 王中华^{1,2}, 文杰^{1,2}, 迟飞^{1,2}, 薛文², 宋玉鑫², 刘林²

(1.甘肃中医药大学临床医学院,甘肃 兰州 730000; 2.甘肃省人民医院骨二科,甘肃 兰州 730000)

【摘要】 目的:探讨骨科天玑机器人在微创经皮椎弓根螺钉内固定治疗胸腰椎骨折的临床应用。方法:回顾性分析 2018 年 6 月至 2020 年 1 月甘肃省人民医院收治的 46 例胸腰椎骨折患者的临床资料。根据手术所应用的辅助设备不同,将其分为 C 形臂 X 线加机器人辅助置钉组(观察组)和单纯 C 形臂 X 辅助下置钉组(对照组)。其中观察组 22 例,男 12 例,女 10 例;年龄 24~61(40.23±12.19)岁;T₁₁ 3 例,T₁₂ 8 例,L₁ 9 例,L₂ 2 例。对照组 24 例,男 15 例,女 9 例;年龄 26~58(42.88±10.31)岁;T₁₁ 3 例,T₁₂ 10 例,L₁ 7 例,L₂ 4 例。分别记录并比较两组的手术时间、术中透视次数、术中出血量、住院天数及术后并发症,比较术前及术后 3 d,1 周及 3 个月的视觉模拟评分(visual analogue scale, VAS)评分,手术前后的伤椎矢状面 Cobb 角及椎体前缘高度百分比,并收集术后 CT 影像,依据 Gertzbein-Robbins 分类标准对置钉的准确性进行评估。结果:所有患者获得随访,时间 5~12(7.07±0.83)个月。两组患者术中出血量、手术时间、住院天数比较差异无统计学意义($P>0.05$)。术中透视次数观察组为(5.62±0.51)次,对照组为(12.54±0.52)次,两组差异有统计学意义($P<0.05$)。两组术后各时间点 VAS、伤椎前缘高度百分比及伤椎矢状面 Cobb 角较术前改善($P<0.05$),但两组比较差异无统计学意义($P>0.05$)。术后对照组出现 1 例切口感染,经积极换药后痊愈。两组患者均未出现螺钉松动、断裂等严重并发症,两组之间并发症的发生率比较差异无统计学意义($P>0.05$)。观察组和对照组术后置钉准确率分别为 98.4%(126/128)和 90.3%(121/134),两组比较差异有统计学意义($P<0.05$)。结论:在胸腰椎骨折的手术治疗中骨科天玑机器人辅助下椎弓根螺钉置入与单纯 C 形臂 X 线透视相比,前者克服了术者生理性震颤、疲劳及术中多次透视等缺点,提高了置钉准确率,是一种更加准确、安全的胸腰椎骨折椎弓根螺钉置入方式。

【关键词】 骨科天玑机器人; 胸腰椎骨折; 椎弓根螺钉

中图分类号:R681.5

DOI:10.12200/j.issn.1003-0034.2021.11.010

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Clinical application of Orthopedic Tianji Robot in surgical treatment of thoracolumbar fractures ZHANG Tong-tong, WANG Zeng-ping, WANG Zhong-hua, WENG Jie, CHI Fei, XUE Wen, SONG Yu-xin, and LIU Lin*. *The Second Department of Orthopaedics, Gansu Provincial People's Hospital, Lanzhou 730000, Gansu, China

ABSTRACT **Objective:** To explore the clinical application of Orthopedic Tianji Robot in the treatment of thoracolumbar fractures with minimally invasive percutaneous pedicle screw internal fixation. **Methods:** The clinical data of 46 patients with thoracolumbar fractures treated by minimally invasive percutaneous pedicle screw internal fixation from June 2018 to January 2020 in Gansu Provincial People's Hospital was retrospectively analyzed. According to the different aided equipments, the patients were divided into a C-arm X-ray plus robot-assisted nail placement group (observation group) and simple C-arm X-ray assisted nail placement group (control group). Twenty-two patients in observation group, including 12 males and 10 females, aged from 24 to 61 years old, with a mean of (40.23±12.19) years, 3 cases were T₁₁ vertebrae fracture, 8 cases were T₁₂, 9 cases were L₁, and 2 cases were L₂. And there were 24 cases in control group, including 15 males and 9 females, aged from 26 to 58 years old, with a mean of (42.88±10.31) years, 3 cases were T₁₁ vertebrae fracture, 10 cases were T₁₂, 7 cases were L₁, and 4 cases were L₂. The operation time, the number of intraoperative fluoroscopy, intraoperative blood loss, the days of hospitalization, and postoperative complications were recorded. Preoperative and postoperative VAS at 3 days, 1 week and 3 months were compared between two groups. The sagittal Cobb angle of the injured vertebral body and the percentage of the anterior edge height of the vertebral body were observed before and after operation, and evaluate the accuracy of nail placement according to the Gertzbein-Robbins classification criteria with collected postoperative CT images. **Results:** All patients were followed up for

基金项目:甘肃省人民医院内科科研基金项目(编号:20GSSY4-31);兰州市指导性科研项目(编号:2019-ZD-105)

Fund program: Scientific Research Fund Project of Gansu Provincial People's Hospital (No.20GSSY4-31)

通讯作者:刘林 E-mail: ztt20202@163.com

Corresponding author: LIU Lin E-mail: ztt20202@163.com

5 to 12 months with an average of (7.07±0.83) months. There was no significant differences in intraoperative blood loss, operation time and hospitalization days between two groups ($P>0.05$). The number of intraoperative fluoroscopy was (5.62±0.51) times in observation group and (12.54±0.52) in control group, the difference between two groups was statistically significant ($P<0.05$). The VAS, the percentage of the height of the injured vertebra anterior edge and the Cobb angle of the injured vertebral plane at each time point after operation were improved ($P<0.05$), but the difference between two groups was not statistically significant ($P>0.05$). One case of postoperative incision infection occurred in the control group, which was cured after active dressing changes. There were no serious complications such as screw loosening and breakage in all patients, and there was no statistically significant difference in the incidence of complications between two groups ($P>0.05$). The postoperative nail placement accuracy rates of the observation group and the control group were 98.4% (126/128) and 90.3% (121/134), respectively, and the difference was statistically significant ($P<0.05$). **Conclusion:** In the surgical treatment of thoracolumbar fractures, compared with simple C-arm fluoroscopy, the pedicle screw placement assisted by Orthopedic Tianji Robot overcomes the shortcomings of surgeon's physiological tremor, fatigue and multiple intraoperative fluoroscopy, improves the accuracy of screw placement, and is a more accurate and safer way of pedicle screw placement for thoracolumbar fractures.

KEYWORDS Orthopedic Tianji Robot; Thoracolumbar fractures; Pedicle screw

在全身骨折当中,脊柱骨折占 5%~6%,其中胸腰椎骨折占脊柱骨折的 50%左右^[1]。因 T₁₁-L₂ 水平是应力汇聚之处,故此节段容易发生骨折^[2]。近来经皮微创椎弓根螺钉内固定技术广泛地应用于胸腰椎骨折之中,该方法在恢复脊柱生物力学的过程中起着至关重要的作用。C 形臂 X 线辅助下椎弓根螺钉的置入,需要反复多次透视,不断调整进针点,极有可能出现螺钉穿透皮质损伤周围血管、神经导致严重的并发症。已有文献报道椎弓根螺钉内固定术的失败率为 4.9%~37.5%^[3]。近年来骨科天玑机器人逐渐被运用到骨科手术中,有效地降低了螺钉置入不良的风险^[4]。笔者回顾性分析了 2018 年 6 月至 2020 年 1 月甘肃省人民医院收治的需要行经皮微创椎弓根螺钉固定术的 46 例胸腰椎骨折患者的临床资料,现报告如下。

1 资料与方法

1.1 病例选择

纳入标准:单节段新鲜胸腰椎骨折;胸腰椎损伤分类和损伤程度评分(thoracolumbar injury classification and severity score, TLICS)≥4 分;骨密度正常。排除标准:病理性骨折;合并有严重心肺功能障碍无法手术者等。

1.2 一般资料

本次研究共纳入 46 例患者,按照不同的手术方

法分为 C 形臂 X 线加机器人辅助置钉组(观察组)和单纯 C 形臂 X 线辅助置钉组(对照组)。其中观察组 22 例,男 12 例,女 10 例;年龄 24~61 (40.23±12.19) 岁;T₁₁ 3 例,T₁₂ 8 例,L₁ 9 例,L₂ 2 例。对照组 24 例,男 15 例,女 9 例;年龄 26~58 (42.88±10.31) 岁;T₁₁ 3 例,T₁₂ 10 例,L₁ 7 例,L₂ 4 例。两组患者术前临床资料比较差异无统计学意义 ($P>0.05$)。见表 1。

1.3 骨科天玑机器人系统

骨科天玑手术机器人系统由机械臂主机、光学跟踪系统、主控台车构成。术者可依据三维影像在中控台车上通过手术规划程序对螺钉置入路径预先规划。机械臂科依据规划路径到达指定的空间位置。术者通过机械臂固定方向插入的套筒精确置入椎弓根螺钉。光学跟踪系统及示踪器时刻探测因呼吸等因素引起的体位变化,与机械臂实时配准,确保椎弓根螺钉安全地置入。

1.4 治疗方法

1.4.1 观察组 全身麻醉后取俯卧位,常规消毒铺单。将骨科天玑机器人系统与三维 C 形臂 X 线系统连接,用无菌塑料外罩覆盖机械臂,并将机器人放置于手术台侧面,要确保机械臂的活动范围能够覆盖手术区域。在需要手术节段相邻椎体的棘突处做一约 2 cm 的切口,逐层分离,暴露棘突,在棘突上安装

表 1 两组胸腰椎骨折患者术前一般资料比较

Tab.1 Comparison of general data of patients with thoracolumbar fractures before operation between two groups

组别	例数	性别(例)		年龄($\bar{x}\pm s$, 岁)	骨折椎体(例)		TLICS 评分($\bar{x}\pm s$, 分)	VAS($\bar{x}\pm s$, 分)
		男	女		胸椎	腰椎		
观察组	22	12	10	40.23±12.19	11	11	4.77±0.44	6.31±0.48
对照组	24	15	9	42.88±10.31	13	11	4.69±0.48	6.46±0.52
检验值		$\chi^2=0.300$		$t=-0.798$	$\chi^2=0.080$		$t=0.443$	$t=-0.765$
P 值		0.584		0.429	0.776		0.662	0.451

示踪器。将光跟踪相机置于患者头侧，朝向手术区域。三维 C 形臂 X 线扫描需手术的椎体节段，将获得的数据传输至机器人系统，完成患者的三维重建及机器人系统工作空间的自动配准。其中 18 例经伤椎固定，4 例因椎弓根不完整跨伤椎固定。依据图像规划椎弓根螺钉的置入点、方向及螺钉的大小，规划完毕后下达运行指令，机械臂运行至预先规划位置，在机械臂固定方向插入套筒，确定切口位置，做 1 cm 的小切口，钝性分离，置入导针，全部导针置入后，进行正侧位透视确认位置无误，之后沿着导针方向拧入椎弓根螺钉，C 形臂 X 线机透视确定椎弓根螺钉位置良好，选择合适长度的固定棒安装于置棒器上，通过皮下肌肉将固定棒置入上下椎弓根螺钉尾槽中，依次拧入固定螺帽并旋紧。撑开复位，C 形臂 X 线透视复位满意，锁紧螺钉并固定，冲洗并逐层缝合，术毕，患者返回病房。

1.4.2 对照组 C 形臂 X 线定位下行内固定椎体椎弓根体表投影，做标记后，切 1.5~2 cm 的纵行切口，置入导针。透视确认无误后依次导入扩张工作通道，用空心攻丝沿着导针攻入至椎体前约 2/3 的位置，依据透视选择大小合适的螺钉按照导针的方向置入椎体中。其中 19 例经伤椎固定，5 例因椎弓根不完整跨伤椎固定。用相同方法置入其余螺钉，C 形臂 X 线透视下确定置入的椎弓根螺钉位置良好，选择合适长度的钛棒，预弯，并将其安装于置棒器上，通过皮下肌肉将钛棒置入上下椎弓根螺钉尾槽中，依次拧入固定螺帽并旋紧。撑开复位，C 形臂 X 线透视下复位满意，锁紧螺钉并固定，冲洗并逐层缝合。

1.5 观察项目与方法

(1)一般情况观察：记录两组患者的术中出血，术中透视次数，手术时间，术后并发症，住院时间。(2)影像学观察：计算椎弓根螺钉置入的准确率，手术前后伤椎前缘高度百分比，伤椎矢状面 Cobb 角。术后两组患者均完成 CT 扫描，依据 Gertzbein-Robbins 分类标准^[5]，评估在外侧、内侧、头侧和尾侧 4 个方向上椎弓根螺钉是否存在穿透骨皮质的情况。具体评定标准：A 类，无皮质侵犯；B 类，皮质穿透 <

2 mm；C 类，2 mm ≤ 皮质穿透 < 4 mm；D 类，4 mm ≤ 皮质穿透 6 mm；E 类，皮质穿透 ≥ 6 mm。椎弓根螺钉置入的准确率 = [(A 类螺钉数目 + B 类螺钉数目) / 组内所有置入螺钉数目] × 100%，对所置入的螺钉进行评价，并计算椎弓根螺钉置入点的准确率。椎体前缘高度百分比 = [伤椎前缘高度 / (伤椎上位椎体前缘高度 + 伤椎下位椎体前缘高度) / 2] × 100%；矢状面 Cobb 角：侧位 X 线片伤椎上终板线与伤椎下终板的垂线的夹角^[6]。(3)临床症状观察：采用 VAS 对患者术前及术后 3 d、1 周、3 个月的临床症状进行观察。

1.6 统计学处理

采用 SPSS 25.0 软件对所获得的数据进行统计学分析，定量资料采用均数 ± 标准差 ($\bar{x} \pm s$) 表示，两组患者术中出血量、术中透视次数、手术时间、住院天数等采用成组设计定量资料的 *t* 检验，手术前后的影像学数据采用配对设计定量资料的 *t* 检验，两组患者置钉准确率的比较采用 χ^2 检验。以 *P* < 0.05 为差异有统计学意义。

2 结果

所有患者获得随访，时间 5~12 (7.07 ± 0.83) 个月。两组患者术中出血量、手术时间、住院时间比较差异无统计学意义 (*P* > 0.05)，两组透视次数比较差异有统计学意义 (*P* < 0.01)，见表 2。对照组术后出现 1 例切口感染，经积极换药后痊愈。两组患者均未出现螺钉松动、断裂等严重并发症，两组间并发症的比较差异无统计学意义 ($\chi^2 = 0.937, P = 0.092$)。

观察组共置入 128 枚螺钉，其中 A 类 120 枚，B 类 6 枚，C 类 2 枚，D 类 0 枚，E 类 0 枚，置钉准确率为 98.4% (126/128)，典型病例见图 1。对照组共置入螺钉 134 枚，其中 A 类 107 枚，B 类 14 枚，C 类 11 枚，D 类 2 枚，E 类 0 枚，置钉准确率为 90.3% (121/134)，两组置钉准确率比较差异有统计学意义 (*P* < 0.05)，见表 3。

伤椎前缘高度百分比及伤椎矢状面 Cobb 角较术前明显改善 (*P* < 0.05)，两组间比较差异无统计学意义 (*P* > 0.05)，见表 4。两组术后 3 d、1 周、3 个月的 VAS 较术前明显改善 (*P* < 0.05)，两组间比较差异无统计学意义 (*P* > 0.05)，见表 5。

表 2 两组胸腰椎骨折患者一般情况比较 ($\bar{x} \pm s$)

Tab.2 Comparison of operation conditions of patients with thoracolumbar fractures between two groups ($\bar{x} \pm s$)

组别	例数	术中出血量 (ml)	手术时间 (min)	透视次数 (次)	住院时间 (d)
观察组	22	96.09 ± 5.18	117.31 ± 1.93	5.62 ± 0.51	6.15 ± 0.56
对照组	24	98.75 ± 5.28	116.46 ± 1.05	12.54 ± 0.52	6.54 ± 0.78
<i>t</i> 值		-1.722	1.388	-34.422	-1.474
<i>P</i> 值		0.092	0.178	0.000	0.153

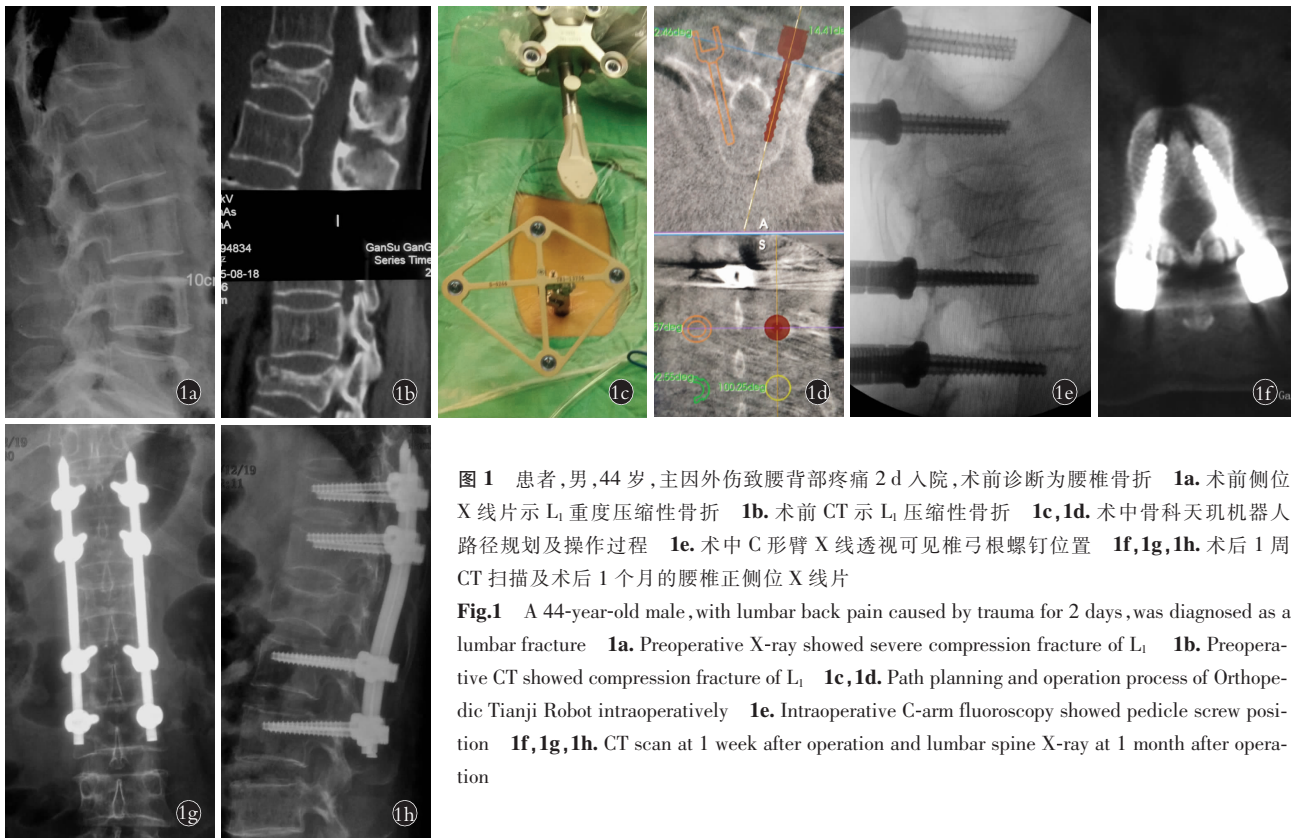


图 1 患者,男,44 岁,主因外伤致腰背部疼痛 2 d 入院,术前诊断为腰椎骨折 1a. 术前侧位 X 线片示 L₁ 重度压缩性骨折 1b. 术前 CT 示 L₁ 压缩性骨折 1c,1d. 术中骨科天玑机器人路径规划及操作过程 1e. 术中 C 形臂 X 线透视可见椎弓根螺钉位置 1f,1g,1h. 术后 1 周 CT 扫描及术后 1 个月的腰椎正侧位 X 线片

Fig.1 A 44-year-old male, with lumbar back pain caused by trauma for 2 days, was diagnosed as a lumbar fracture 1a. Preoperative X-ray showed severe compression fracture of L₁ 1b. Preoperative CT showed compression fracture of L₁ 1c,1d. Path planning and operation process of Orthopedic Tianji Robot intraoperatively 1e. Intraoperative C-arm fluoroscopy showed pedicle screw position 1f,1g,1h. CT scan at 1 week after operation and lumbar spine X-ray at 1 month after operation

表 3 两组胸腰椎骨折患者置钉准确率的比较

Tab.3 Comparison of the accuracy of screw placement of patients with thoracolumbar fractures between two groups

组别	置钉数 (枚)	Gertzbein-Robbins 分类(枚)				置钉准确率 (%)
		A 类	B 类	C 类	D 类	
观察组	128	120	6	2	0	98.4
对照组	134	107	14	11	2	90.3*

注:与观察组比较, $\chi^2=8.035, P=0.005$

Note: Compared with observation group, $\chi^2=8.035, P=0.005$

表 4 两组胸腰椎骨折患者手术前后的影像学数据比较

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

Tab.4 Comparison of pre- and post-operation imaging data of patients with thoracolumbar fractures between two groups

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

组别	例数	Cobb 角(°)		伤椎前缘恢复高度(%)	
		术前	术后 1 周	术前	术后 1 周
观察组	22	20.14±3.14	4.95±0.79*	62.32±3.15	82.32±5.56*
对照组	24	20.38±3.92	4.96±0.75*	63.50±2.83	83.46±6.52*
t 值		-0.227	-0.017	-1.340	-0.635
P 值		0.822	0.987	0.187	0.529

注:与术前比较: * $P<0.05$

Note: Compared with preoperative data, * $P<0.05$

表 5 两组胸腰椎骨折患者手术前后的 VAS 比较

($\bar{x} \pm s$, 分)

Tab.5 Comparison of pre- and post-operation VAS of patients with thoracolumbar fractures between two groups

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

组别	例数	术前	术后 3 d	术后 1 周	术后 3 个月
观察组	22	6.31±0.48	3.45±0.50*	2.55±0.51*	1.32±0.48*
对照组	24	6.46±0.52	3.50±0.51*	2.38±0.49*	1.46±0.51*
t 值		-0.765	-0.302	1.151	-0.961
P 值		0.451	0.764	0.256	0.342

注:与术前比较: * $P<0.05$

Note: Compared with preoperative data, * $P<0.05$

3 讨论

3.1 胸腰椎骨折的手术治疗

在脊柱骨折中胸腰椎骨折较常见,其所占比例为 1/2^[1]。重建脊柱生物力学的稳定性、提供必要的条件、恢复神经功能及提高患者生存质量是治疗胸腰椎骨折的目的。胸腰椎骨折治疗的主流术式就是后路椎弓根螺钉内固定术^[7]。传统后路开放椎弓根螺钉内固定术虽然简单有效,但是手术切口大,并且在术中软组织广泛的剥离,手术出血量大,耗时长,对肌肉、筋膜长时间的牵拉,容易造成肌肉坏死,术后患者易出现腰背酸痛,运动能力下降等情况,导致

患者生活质量下降^[8]。传统经皮椎弓根螺钉置入,需要 C 形臂 X 线辅助下透视多次,不断地调整进针点,因亚洲人椎弓根平均宽度仅约为 8 mm,有可能在置入螺钉的过程中螺钉穿破皮质损伤周围神经,造成严重的并发症^[9]。为降低手术并发症及提高手术的安全性,需要更加安全、准确的方式置入椎弓根螺钉,为此骨科天玑机器人应用而生。

3.2 骨科天玑机器人辅助经皮置钉的特点

骨科天玑机器人作为先进科学技术的成果,在经皮置钉中具有以下特点。(1)机器人具有“稳定手”,其定位准确、灵敏度高、运行平稳特点。这一特点能够有效地避免术者徒手置钉的过程中,因疲劳或者生理性震颤,而导致的置钉失败。(2)传统手术过程中透视辅助下椎弓根螺钉的置入对术者和手术室护士辐射较大,而机器人无惧辐射,这可以减少术者与辐射环境的接触。Roser 等^[10]研究发现,与 C 形臂 X 线透视辅助下椎弓根螺钉置入相比在机器人辅助下置钉,手术室相关工作人员在放射线下暴露的时间将近减少了 50%。但对患者而言,机器人辅助手术中需要对患者进行高分辨率 CT 扫描,与原来 C 形臂 X 线透视辅助相比,患者所受总辐射剂量是增加还是减少,目前尚无明确定论^[11-12]。(3)C 形臂 X 线透视辅助下术者可以看到骨质,但是缺少三维空间立体感。机器人具有“透视眼”,在手术时,用三维影像扫描到显示屏,然后通过导航系统帮助术者进行三维立体定位,不需要观察解剖结构,就可在机器人主控台进行螺钉最佳置入路径规划,确定螺钉的置入点、方向及大小。Devito 等^[13]发现在机器人辅助手术过程中不需要观察解剖特点,并且螺钉置入的准确性更高。

3.3 骨科天玑机器人在胸腰椎骨折治疗中的优势

机器人辅助脊柱外科手术技术的出现为胸腰椎骨折微创内固定术带来了重大突破,机器人辅助使得在胸腰椎骨折治疗中螺钉置入更加精准、安全。此次研究结果表明,在机器人的辅助下经皮椎弓根螺钉置入的准确率达到 98.4%,远高于 C 形臂 X 线辅助下的置钉准确率 90.3% ($P < 0.05$)。这与 Yu 等^[14]报道的机器人辅助下椎弓根螺钉置入准确率为 97%~99% 这一结果相似。C 形臂 X 线透视辅助下经皮置钉容易侵犯关节突、关节囊^[15-16]。在一项前瞻性队列研究中,以 100 例患者为研究对象,其中机器人组(50 例),徒手置钉组(50 例),研究结果表明在机器人辅助下螺钉置入的准确度显著高于徒手置钉,此外还有对关节突关节侵犯少这一优点^[17]。两组的手术时间比较差异无统计学意义 ($P > 0.05$),这可能是因为机器人辅助技术刚刚兴起,有一定的学习曲线,

C 形臂 X 线透视辅助下置钉,学习曲线较长,需要长期的经验积累。根据手术时间的学习曲线形态,分析手术时间与病例数,结果表明在机器人辅助下手术开展之初手术时间长的问题不会一直存在,随着术者对仪器设备及手术方式方法的熟练,学习曲线趋于稳定状态^[18-19]。两组术中出血量,住院时间,术后 3 d、1 周、3 个月的 VAS 及术后并发症之间比较差异均无统计学意义 ($P > 0.05$),术后两组患者固定节段恢复高度及术后 Cobb 角与术前相比明显改善 ($P < 0.05$),但两组之间相比差异无统计学意义 ($P > 0.05$),这表明两种手术方式均可为胸腰椎骨折患者提供坚强的内固定,促进骨折愈合,减轻患者疼痛,取得理想的临床疗效。在机器人组中,有 1 例导丝置入不良,这是因为机器人示踪器松动导致。此外,由于套筒放置不当、术前规划不当及医师手术经验等因素,也会导致导丝置入不良^[20]。机器人的“稳定手”将进针套筒一次到位,不需要反复调整进针点;机器人的“透视眼”精准三维定位,让手术更加微创。

综上所述,在胸腰椎骨折的治疗中机器人辅助下椎弓根螺钉置入与 C 形臂 X 线透视辅助下相比,透视次数更少,提高了置钉准确率,是一种更加准确、更加安全的胸腰椎骨折椎弓根螺钉置入方式。

参考文献

- [1] 王翔,瞿东滨,蔡毅,等. 胸腰椎骨折内固定术后伤椎椎体中央高度恢复的影像学研究及临床意义[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2016,26(12):1087-1092.
WANG X, QU DB, CAI Y, et al. Imaging study and clinical significance of central height recovery of injured vertebrae after internal fixation of thoracolumbar fractures[J]. Zhongguo Ji Zhu Ji Sui Za Zhi, 2016, 26(12):1087-1092. Chinese.
- [2] Charles YP, Steib JP. Management of thoracolumbar spine fractures with neurologic disorder[J]. Orthop Traumatol Surg Res, 2015, 101(1 Suppl):S31-S40.
- [3] Tian W, Liu YJ, Zheng S, et al. Accuracy of lower cervical pedicle screw placement with assistance of distinct navigation systems: a human cadaveric study[J]. Euro Spine J, 2013, 22(1):148-155.
- [4] 李浩,方宣城,邱新建,等. 机器人辅助与 C 形臂 X 线机透视经皮微创椎弓根螺钉内固定治疗胸腰椎骨折疗效的比较[J]. 骨科临床与研究杂志, 2018, 3(4):200-204.
LI H, FANG XC, QIU XJ, et al. Comparison between robot assisted and "C" arm X-ray fluoroscopy in the treatment of thoracolumbar fractures with percutaneous minimally invasive pedicle screw fixation[J]. Gu Ke Lin Chuang Yu Yan Jiu Za Zhi, 2018, 3(4):200-204. Chinese.
- [5] Goz V, Weinreb JH, McCarthy I, et al. Perioperative complications and mortality after spinal fusions: analysis of trends and risk factors[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2013, 38(22):1970-1976.
- [6] 茅剑平,李祖昌,范明星,等. 机器人辅助与徒手椎弓根螺钉置入在胸腰椎骨折手术中的精度及手术即时效果的比较[J]. 中国微创外科杂志, 2020, 26(6):534-539.

- MAO JP, LI ZC, FAN MX, et al. Comparison of accuracy and immediate effect of robot assisted and unarmed pedicle screw placement in thoracolumbar fracture surgery[J]. Zhongguo Wei Chuang Wai Ke Za Zhi, 2020, 26(6):534-539. Chinese.
- [7] 徐强, 赵清华, 赵志慧, 等. 单双侧伤椎置钉与不置钉在治疗胸腰椎骨折上的病例对照研究[J]. 中国骨伤, 2018, 31(8):709-713.
- XU Q, ZHAO QH, ZHAO ZH, et al. A case-control study on the treatment of thoracolumbar fractures with and without screws in single and bilateral injured vertebrae[J]. Zhongguo Gu Shang/China J Orthop Trauma, 2018, 31(8):709-713. Chinese with abstract in English.
- [8] 杨彬, 王德成, 陈学谦, 等. 经皮微创置钉和开放椎弓根螺钉内固定术治疗无神经损伤胸腰椎骨折的疗效分析[J]. 颈腰痛杂志, 2019, 40(6):841-843.
- YANG B, WANG DC, CHEN XQ, et al. Analysis of the efficacy of percutaneous minimally invasive screw placement and open pedicle screw internal fixation in the treatment of thoracolumbar fractures without nerve injury[J]. Jing Yao Tong Za Zhi, 2019, 40(6):841-843. Chinese.
- [9] 田伟, 范明星, 韩晓光, 等. 机器人辅助与传统透视辅助脊柱椎弓根螺钉内固定的临床对比研究[J]. 骨科临床与研究杂志, 2016, 1(1):4-10.
- TIAN W, FAN MX, HAN XG, et al. A comparative study of robot assisted and traditional fluoroscopy assisted spinal pedicle screw fixation[J]. Gu Ke Lin Chuang Yu Yan Jiu Za Zhi, 2016, 1(1):4-10. Chinese.
- [10] Roser F, Tatagiba M, Maier G. Spinal robotics: current applications and future perspectives[J]. Neurosurgery, 2013, 72(Suppl):12-18.
- [11] 陈龙, 海涌, 关立, 等. 机器人辅助置入与徒手置入椎弓根螺钉的对比研究[J]. 中国骨与关节杂志, 2017, 6(10):730-736.
- CHEN L, HAI Y, GUAN L, et al. A comparative study of robot assisted placement and freehand placement of pedicle screws[J]. Zhongguo Gu Yu Guan Jie Za Zhi, 2017, 6(10):730-736. Chinese.
- [12] 林书, 胡珏, 万仑, 等. 机器人辅助下经皮微创椎弓根螺钉内固定与传统开放内固定治疗胸腰椎骨折的短期疗效比较[J]. 中国修复重建外科杂志, 2020, 34(1):76-82.
- LIN S, HU J, WAN L, et al. Short-term effectiveness comparison between robotic-guided percutaneous minimally invasive pedicle screw internal fixation and traditional open internal fixation in treatment of thoracolumbar fractures[J]. Zhongguo Xiu Fu Chong Jian Wai Ke Za Zhi, 2020, 34(1):76-82. Chinese.
- [13] Devito DP, Kaplan L, Dietl R, et al. Clinical acceptance and accuracy assessment of spinal implants guided with spine assist surgical robot: retrospective study[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2010, 35:2109-2015.
- [14] Yu LJ, Chen X, Margalit A, et al. Robot-assisted vs freehand pedicle screw fixation in spine surgery-a systematic review and a meta-analysis of comparative studies[J]. Int J Med Robot, 2018, 14:e1892.
- [15] Babu R, Park JG, Mehta AI, et al. Comparison of superior-level facet joint violations during open and percutaneous pedicle screw placement[J]. Neurosurgery, 2012, 71(5):962-970.
- [16] Jones-Quaidoo SM, Djurasovic M, Owens RK, et al. Superior articulating facet violation: percutaneous versus open techniques[J]. J Neurosurg Spine, 2013, 18(6):593-597.
- [17] Zhang Q, Xu YF, Tian W, et al. Comparison of superior-level facet joint violations between robot-assisted percutaneous pedicle screw placement and conventional open fluoroscopic-guided pedicle screw placement[J]. Orthop Surg, 2019, 11:850-856.
- [18] 范明星, 张琦, 赵经纬, 等. 机器人辅助经皮微创单节段胸腰椎骨折内固定术的学习曲线[J]. 中国微创外科杂志, 2019, 19(9):808-811.
- FAN MX, ZHANG Q, ZHAO JW, et al. Learning curve of robot assisted percutaneous minimally invasive single segment thoracolumbar fracture internal fixation[J]. Zhongguo Wei Chuang Wai Ke Za Zhi, 2019, 19(9):808-811. Chinese.
- [19] 田野, 张嘉男, 陈浩, 等. 脊柱机器人与传统透视辅助下微创经皮复位内固定术治疗单节段无神经症状胸腰椎骨折对比研究[J]. 中国修复重建外科杂志, 2020, 34(1):69-75.
- TIAN Y, ZHANG JN, CHEN H, et al. A comparative study of minimally invasive percutaneous reduction and internal fixation assisted by spine robot and traditional fluoroscopy in the treatment of single segment asymptomatic thoracolumbar fractures[J]. Zhongguo Xiu Fu Chong Jian Wai Ke Za Zhi, 2020, 34(1):69-75. Chinese.
- [20] 章仁杰, 申才良, 张华庆, 等. 骨科机器人辅助胸腰椎椎弓根螺钉内固定位置不良原因分析[J]. 颈腰痛杂志, 2019, 40(5):577-582.
- ZHANG RJ, SHEN CL, ZHANG HQ, et al. Analysis of the causes of poor position of pedicle screw fixation of thoracolumbar spine assisted by orthopedic robot[J]. Jing Yao Tong Za Zhi, 2019, 40(5):577-582. Chinese.

(收稿日期:2020-09-16 本文编辑:王宏)