

## 机器人辅助手术对胸腰段骨折患者置钉准确性、 创伤程度及预后的影响（附手术视频）



扫码观看视频

沈科<sup>1</sup>, 赵登<sup>2</sup>, 尹立<sup>3</sup>

(1. 成都市八一骨科医院骨科 四川 成都 610000; 2. 成都市第三人民医院骨科 四川 成都 610000;  
3. 攀枝花市中心医院骨科 四川 攀枝花 617000)

**摘要** **目的:** 探讨机器人辅助手术治疗胸腰段骨折患者的应用效果。**方法:** 前瞻性选取2021年2月至2023年2月医院收治的92例胸腰段骨折患者为研究对象, 采用电脑随机法分为徒手组和机器人组, 每组46例。徒手组行徒手置入椎弓根螺钉内固定术, 机器人组行机器人辅助置入椎弓根螺钉内固定术。比较两组手术相关指标、手术前后创伤程度、腰椎功能及疼痛程度。**结果:** 机器人组螺钉精准置入率优于徒手组, 术中出血量、术中辐射剂量、卧床时间、住院时间均低于徒手组 ( $P<0.05$ )。术后1 d 机器人组 hs-CRP、CK、IL-1 $\beta$  水平低于徒手组 ( $P<0.05$ )。术后3个月、6个月机器人组 ODI 评分、VAS 评分低于徒手组 ( $P<0.05$ )。**结论:** 机器人辅助手术治疗胸腰段骨折效果确切, 螺钉精准置入率高, 能减少术中出血量与术中辐射剂量, 缩短卧床时间与住院时间, 减少对机体的创伤, 改善患者预后。

**关键词** 胸腰段骨折; 机器人辅助手术; 椎弓根螺钉; 内固定; 创伤程度; 预后

**中图分类号** R683.2 **文献标识码** A **文章编号** 2096-7721 (2024) 05-0765-06

## Effect of robot-assisted surgery on screw placement accuracy, degree of trauma and prognosis in patients with thoracolumbar fractures (with surgical video)

SHEN Ke<sup>1</sup>, ZHAO Deng<sup>2</sup>, YIN Li<sup>3</sup>

(1. Department of Orthopaedics, Bayi Orthopedic Hospital, Chengdu 610000, China; 2. Department of Orthopaedics, Chengdu Third People's Hospital, Chengdu 610000, China; 3. Department of Orthopaedics, Panzhihua Central Hospital, Panzhihua 617000, China)

**Abstract** **Objective:** To explore the application effect of robot-assisted surgery in the treatment of patients with thoracolumbar fractures. **Methods:** A total of 92 patients with thoracolumbar fractures admitted to Bayi Orthopedic Hospital from February 2021 to February 2023 were prospectively selected. They were randomly divided into the free-hand group and robotic group using computer generated numbers, with 46 cases in each group. The free-hand group was treated with free-hand pedicle screw placement, and the robotic group was treated with robot-assisted pedicle screw placement. The surgical indicators, the degree of trauma before and after operation, lumbar function and pain degree were compared between the two groups of patients. **Results:** The accurate screw placement rate of the robotic group was better than that of the free-hand group. The intraoperative blood loss, intraoperative radiation dose, bed rest time, and hospitalization time of the robotic group were lower

收稿日期: 2024-01-04 录用日期: 2024-04-23

Received Date: 2024-01-04 Accepted Date: 2024-04-23

基金项目: 2019年度八一骨科医院内科研立项课题(201934)

Foundation Item: Scientific Research Project of Bayi Orthopedic Hospital in 2019(201934)

通讯作者: 沈科, Email: sk416@163.com

Corresponding Author: SHEN Ke, Email: sk416@163.com

引用格式: 沈科, 赵登, 尹立. 机器人辅助手术对胸腰段骨折患者置钉准确性、创伤程度及预后的影响 [J]. 机器人外科学杂志 (中英文), 2024, 5(5): 765-770.

Citation: SHEN K, ZHAO D, YIN L. Effect of robot-assisted surgery on screw placement accuracy, degree of trauma and prognosis in patients with thoracolumbar fractures (with surgical video) [J]. Chinese Journal of Robotic Surgery, 2024, 5(5): 765-770.

than those of the free-hand group ( $P < 0.05$ ). 1 day after surgery, the levels of hs-CRP, CK and IL-1 $\beta$  in the robotic group were lower than those in the free-hand group ( $P < 0.05$ ). The ODI and VAS scores in the robotic group were lower than those in the free-hand group at 3 months and 6 months after surgery. **Conclusion:** Robot-assisted surgery is effective in treating thoracolumbar fractures with high precise placement rate of screws. It can reduce intraoperative blood loss and intraoperative radiation dose, shorten bedridden time and hospitalization time, reduce trauma to the body, and improve the prognosis of patients.

**Key words** Thoracolumbar Fracture; Robot-assisted Surgery; Pedicle Screw; Internal Fixation; Trauma Degree; Prognosis

胸腰段骨折是较为常见的脊柱骨折类型，多由交通事故、高处坠落等高能损伤所致，治疗的关键在于重建脊柱稳定性<sup>[1]</sup>。椎弓根螺钉内固定是治疗胸腰段骨折的重要方案，可通过椎体固定使骨折节段复位并重获稳定，以实现骨折愈合，恢复腰椎功能<sup>[2]</sup>。在内固定治疗过程中，螺钉置入位置直接影响着手术效果与患者预后，这是由于脊柱解剖结构复杂，椎弓根旁周围分布着神经、动静脉与脊髓等，一旦螺钉置入存在偏差，轻者可导致固定效应降低，重者可引起严重并发症<sup>[3-4]</sup>。文献显示，徒手置入椎弓根螺钉失误率可达 39.8%，其准确率仍有较大提升空间<sup>[5]</sup>。如何提高螺钉置入精度一直是医学界研究热点。近年来利用机器人辅助技术提高置钉精度已被证实是安全可行的<sup>[6-7]</sup>。本研究拟从置钉准确性、创伤程度以及预后等方面探究机器人辅助手术治疗胸腰段骨折患者的应用效果。现报道如下。

## 1 资料与方法

**1.1 一般资料** 前瞻性选取 2021 年 2 月—2023 年 2 月八一骨科医院收治的 92 例胸腰段骨折患者为研究对象，采用电脑随机法将其分为徒手组和机器人组，每组 46 例。纳入标准：①体格检查及影像学检查确诊为单节段胸腰段骨折（T10~L2）者；②胸腰椎骨折分类及损伤程度评分（TLICS）<sup>[8]</sup>  $\geq 4$  分者；③均行椎弓根螺钉内固定术者；④无骨质疏松症者；⑤随访 6 个月者；⑥签署知情同意书者。排除标准：①非暴力导致的脊柱骨折者；②由结核、感染或脊柱肿瘤引起的病理性骨折者；③不具备椎弓根螺钉内固定手术指征者；④无法耐受麻醉及手术者；⑤拟行手术节段既往有手术史者；⑥合并恶性肿瘤、凝血功能障碍、心脑血管疾病、全身或局部活动性感染者。本研究经医院伦理委员会批准。

## 1.2 手术方法

**1.2.1 机器人组** 机器人组行机器人辅助置入椎弓根螺钉内固定术。患者取俯卧位，全麻，置于可透视线的手术台（如图 1A）。于棘突上经皮放置跟踪器，近手术节段皮肤上放置机械臂上的校准器（如图 1B）。以 C 形臂 X 线机行正、斜位透视获取手术部位 3D 图像。获取图像后发送至机器人手术系统（天玑<sup>®</sup>骨科手术机器人）进行椎弓根螺钉轨迹的规划与设计（如图 1C~D）。确定螺钉轨迹后，术者在机器人引导下确认螺钉最佳入点，确认皮肤切口后置入套筒，将套筒插至椎弓根进钉点骨面，依次打入导针和经皮置入椎弓根螺钉，置钉期间实施监测并调整螺钉位置。置钉后通过螺钉与复位器械对骨折进行复位。采用 C 形臂 X 线机确认螺钉位置（如图 1E），逐层缝合切口。

**1.2.2 徒手组** 徒手组行徒手置入椎弓根螺钉内固定术。体位、麻醉同机器人组。后正中切口显露手术视野，暴露横突、峡部与小关节，以此处为解剖标志徒手置入椎弓根螺钉。C 型臂 X 线机行正、斜位透视，确认螺钉位置，安装连接棒复位，缝合切口。

**1.3 术后处理** 根据患者情况给予抗生素 48~72 h，给予镇痛，维持电解质平衡，营养支持，预防褥疮等常规干预，并行下肢肌肉关节功能康复治疗。术后 2~3 d 可佩戴支具下床活动，嘱术后 6 个月内避免重力活动。

**1.4 观察指标** 本研究观察指标主要包括以下内容。①手术相关指标：螺钉精准置入率、手术时间、术中出血量、术中辐射剂量、卧床时间及住院时间。采用 Gertzbein-Robbins 标准<sup>[9]</sup>进行评估，未侵入皮质为 A 级；皮质穿透  $< 2$  mm 为 B 级； $2$  mm  $\leq$  皮质穿透  $< 4$  mm 为 C 级； $4$  mm  $\leq$  皮质穿透  $< 6$  mm 为 D 级；皮质穿透  $\geq 6$  mm 为 E 级。Gertzbein-Robbins A 级计为精准置入率。

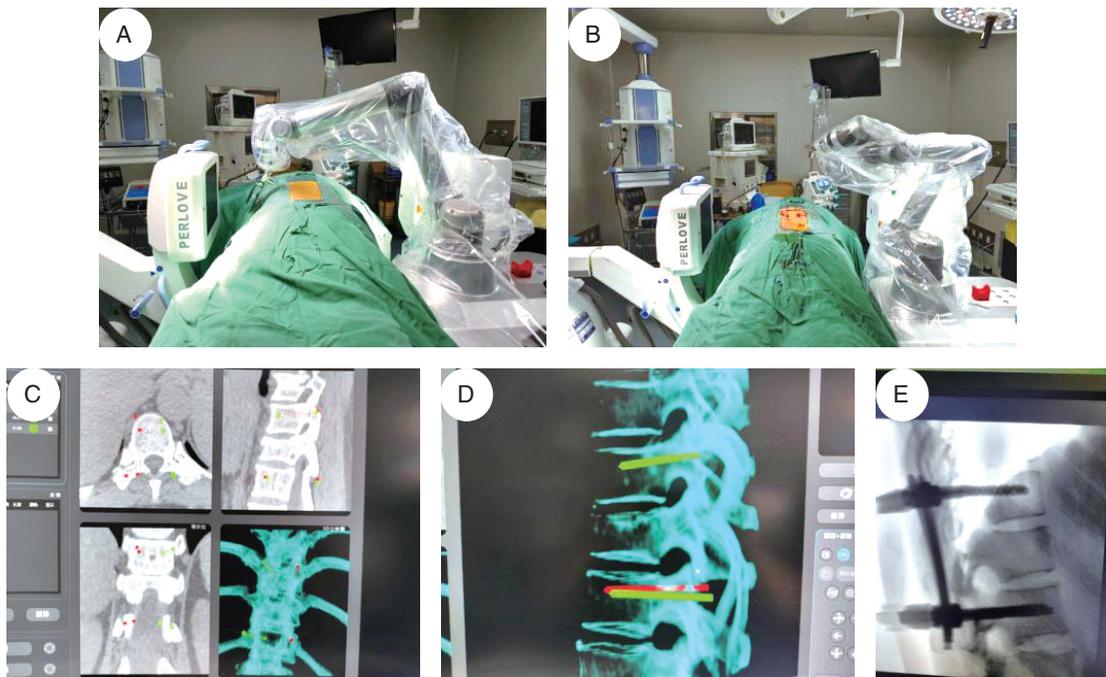


图1 机器人辅助置入椎弓根螺钉内固定术患者体位及螺钉位置规划

Figure 1 Patient position and screw position in robot-assisted pedicle screw placement

注：A. 患者体位；B. 安装定位器及失踪器；C~D. 规划手术路径；E. 透视监测螺钉位置

②创伤程度：术前及术后1 d以超敏C反应蛋白（hs-CRP）、肌酸激酶（CK）、白细胞介素（IL）-1 $\beta$ 评估创伤程度。空腹采集静脉血4 mL，离心分离血清低温保存，以酶联免疫吸附法检测。③预后：术前及术后3个月、6个月采用Oswesry功能障碍指数（ODI）<sup>[10]</sup>与疼痛视觉模拟量表（VAS）<sup>[11]</sup>评估患者预后。ODI共10个条目（赋值0~5分），分数越高表示功能障碍越严重；VAS共10分，分数越高说明疼痛越剧烈。

**1.5 统计学方法** 所有数据均采用SPSS 25.0进行统计学分析，计数资料以例数（百分比） $[n(\%)]$ 描述，比较采用 $\chi^2$ 检验。计量资料均服从正态分布且具备方差齐性，以均数 $\pm$ 标准差（ $\bar{x}\pm s$ ）表示，采用 $t$ 检验。检测均为双侧检验，检验水准 $\alpha=0.05$ ，以 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

## 2 结果

**2.1 一般资料** 两组患者一般资料比较，差异无统计学意义（ $P>0.05$ ），具有可比性，见表1。

**2.2 两组患者手术相关指标** 两组患者共置入螺钉552枚，其中其机器人组置入283枚，徒手组置入269枚。机器人组螺钉精准置入率优于

徒手组，术中出血量、术中辐射剂量、卧床时间、住院时间均低于徒手组（ $P<0.05$ ）；两组患者手术时间差异无统计学意义（ $P>0.05$ ）。见表2。

**2.3 创伤程度** 两组患者术前hs-CRP、CK、IL-1 $\beta$ 水平比较，差异无统计学意义（ $P>0.05$ ）。术后1 d两组患者hs-CRP、CK、IL-1 $\beta$ 水平均升高，但机器人组升高幅度更小（ $P<0.05$ ），见表3。

**2.4 预后** 两组患者术前ODI、VAS评分比较，差异无统计学意义（ $P>0.05$ ）。两组术后3个月、6个月ODI、VAS评分均呈下降趋势，且机器人组下降幅度更明显（ $P<0.05$ ），见表4。

## 3 讨论

脊椎外科手术常需通过椎弓根螺钉置入进行固定与矫形，但传统徒手置钉方法对术者经验要求较高，置钉过程需反复透视与频繁调整螺钉位置，不仅会增加医患X线暴露时间，且易导致螺钉侵入骨皮质，大大降低螺钉精准置入率<sup>[12]</sup>。为了提高脊椎外科手术精准度，降低反复透视的危害，临床常采用CT下导航、3D打印、手术机器人进行辅助<sup>[13-14]</sup>。手术机器人

表 1 两组患者一般资料比较

Table 1 Comparison of general data between the two groups of patients

项目	机器人组 (n=46)	徒手组 (n=46)	P 值
年龄 (岁, $\bar{x} \pm s$ )	41.56 ± 6.25	40.39 ± 7.27	0.410
性别 [n (%)]			0.514
男	28 (60.87)	31 (67.39)	
女	18 (39.13)	15 (32.61)	
受伤至手术时间 (d, $\bar{x} \pm s$ )	3.18 ± 1.54	3.21 ± 1.47	0.924
骨折 AO 分型 [n (%)]			0.277
A3	27 (58.70)	32 (69.57)	
A4	19 (41.30)	14 (30.43)	
骨折节段 [n (%)]			0.177
T12	17 (36.96)	15 (32.61)	
L1	11 (23.91)	19 (41.30)	
L2	18 (39.13)	12 (26.09)	
致伤原因 [n (%)]			0.404
高处坠落伤	22 (47.83)	26 (56.52)	
交通伤	24 (52.17)	20 (43.48)	

表 2 两组患者手术相关指标差异比较 ( $\bar{x} \pm s$ )Table 2 Comparison of surgical related indicators between the two groups ( $\bar{x} \pm s$ )

项目	机器人组 (n=46)	徒手组 (n=46)	P 值
螺钉精准置入率 [n (%)]			0.012
A 级	279 (98.59)	255 (94.80)	
B 级	4 (1.41)	12 (4.46)	
C 级	0 (0.00)	2 (0.74)	
D 级	0 (0.00)	0 (0.00)	
E 级	0 (0.00)	0 (0.00)	
手术时间 (min)	115.31 ± 27.36	106.43 ± 25.22	0.109
术中出血量 (mL)	61.33 ± 15.39	82.53 ± 18.41	0.000
术中辐射剂量 ( $\mu\text{Sv}$ )	0.25 ± 0.07	0.30 ± 0.09	0.004
卧床时间 (d)	3.51 ± 1.11	5.52 ± 1.39	0.000
住院时间 (d)	7.22 ± 1.48	10.05 ± 2.04	0.000

不依赖解剖标志与术中透视, 在 CT 数据基础上通过 3D 计划软件即可设计最佳的进钉点与螺钉置入轨迹<sup>[15]</sup>。我国自主研发的天玑®骨科手术机器人目前国际上首台可同时开展脊柱及创伤手术的手术机器人, 配备有最新智能手术规划系统, 兼容 2D 与 3D 模式, 并配有高精度光学跟踪系统、智能机械臂, 可进行实时追踪, 协助医师术中精准定位植入物或手术器械, 并辅

助完成各种复杂手术操作, 精度可达亚毫米级, 具有“精准、稳定、安全、微创”的特点, 可显著提升手术效率, 降低术中损伤, 缩短医生对手术的学习曲线, 有助于实现骨科精准治疗。近年来, 天玑®骨科手术机器人已被大量用于脊椎外科手术, 取得了显著效果。

茅剑平等<sup>[16]</sup>对 146 例胸腰椎骨折患者进行前瞻性研究, 结果表明机器人辅助椎弓根螺

表3 两组患者创伤程度指标比较 ( $\bar{x} \pm s$ )Table 3 Comparison of trauma degree between the two groups of patients ( $\bar{x} \pm s$ )

项目	时间	机器人组 (n=46)	徒手组 (n=46)	P值
hs-CRP (mg/L)	术前	89.54 ± 11.35	91.48 ± 12.11	0.430
	术后 1 d	129.85 ± 15.31 <sup>a</sup>	148.76 ± 16.28 <sup>a</sup>	0.000
CK (U/L)	术前	98.55 ± 27.85	97.46 ± 28.49	0.853
	术后 1 d	181.46 ± 35.21 <sup>a</sup>	215.49 ± 36.42 <sup>a</sup>	0.000
IL-1 $\beta$ (pg/mL)	术前	17.38 ± 2.37	18.25 ± 2.41	0.084
	术后 1 d	24.22 ± 3.51 <sup>a</sup>	32.75 ± 3.74 <sup>a</sup>	0.000

注：与术前比较，<sup>a</sup>P<0.05表4 两组患者 ODI、VAS 评分比较 ( $\bar{x} \pm s$ )Table 4 Comparison of ODI and VAS scores between the two groups of patients ( $\bar{x} \pm s$ )

项目	时间	机器人组 (n=46)	徒手组 (n=46)	P值
ODI 评分	术前	35.84 ± 3.51	36.12 ± 3.39	0.698
	术后 3 个月	8.51 ± 1.35 <sup>a</sup>	9.35 ± 1.47 <sup>a</sup>	0.005
	术后 6 个月	6.41 ± 1.05 <sup>a</sup>	7.13 ± 0.99 <sup>a</sup>	0.001
VAS 评分	术前	6.75 ± 1.24	7.11 ± 1.38	0.192
	术后 3 个月	4.18 ± 0.84 <sup>a</sup>	4.57 ± 0.79 <sup>a</sup>	0.024
	术后 6 个月	2.41 ± 0.39 <sup>a</sup>	3.05 ± 0.44 <sup>a</sup>	0.000

注：与术前比较，<sup>a</sup>P<0.05

钉内固定术的螺钉位置优秀率 (98.2%) 明显高于徒手螺钉位置 (89.0%)。冯硕等人<sup>[17]</sup>的前瞻性研究也证实机器人辅助下脊椎外科手术的准确性与安全性较传统手术更高。本研究中，机器人组螺钉精准置入率优于徒手组 ( $P<0.05$ )，与上述研究一致，进一步证实了机器人辅助手术治疗胸腰段骨折能获得更高的螺钉精准置入率，这对提高手术效果、改善患者预后具有重要意义。本研究还发现，机器人组术中出血量、术中辐射剂量、卧床时间、住院时间均低于徒手组 ( $P<0.05$ )，这与周纪平等人<sup>[18]</sup>研究结果相似，表明机器人辅助脊柱外科手术创伤小、精准度高，可减少术中辐射剂量与出血量，有利于患者康复。总结经验，本团队认为与徒手置钉相比，机器人辅助置钉具有以下优势：①置钉过程无须依靠解剖标志，靠机器臂经皮体表定位即可完成手术，过程更微创，不仅能减小切口，而且对肌肉组织的影响更小，因而术中出血量更少，更有助于患者术后早期康复；②可通过一次性采集扫描数据对螺钉轨迹进行规划与设

计，做好术前定位后即可依次置入导针、螺钉，因而能减少透视次数与置钉时间，且能提高手术的精准度与安全性；③具有先进的仿生构造，兼具灵活性与稳定性，可帮助外科医生迅速掌握并提高手术技能，缩短学习曲线。从理论上讲，机器人辅助手术操作时间更具优势，但既往多数研究得出的结论则是机器人辅助手术操作时间更长<sup>[19]</sup>，少部分研究显示机器人辅助手术操作时间更短或与徒手手术时间相当<sup>[20]</sup>。本研究中机器人组与徒手组手术时间无明显差异，分析原因可能由于多数术者对徒手置钉的方法更熟练，且在器械使用上能够得到器械护士的充分协助，提高了手术效率，但机器人手术系统准备、配准与规划设计会增加一定的手术时间，且术者对机器人手术的熟练程度也会对研究结果造成不同程度的影响。

多项文献显示，骨折手术造成的刺激可加剧机体炎症反应，而炎症反应程度又与患者预后密切相关，通过监测炎症因子水平可评估手术对机体的创伤程度，并预测患者预后<sup>[21-22]</sup>。CK 是

人体参与能量代谢的酶类,大量存在于骨骼肌中,当肌肉损伤时会大量分泌CK以修复损伤的肌肉,其水平变化可反映肌肉剥离与牵拉程度;hs-CRP是一种急性反应蛋白,骨折、手术或创伤可诱导全身应激反应,加剧肝脏合成和释放hs-CRP,临床常将其作为评价组织损伤与机体炎症程度的重要指标;IL-1 $\beta$ 是一种趋化因子,具有促炎作用,参与机体免疫应答和组织修复。在本研究中,两组患者术后1d hs-CRP、CK、IL-1 $\beta$ 水平均有所升高,但机器人组升高幅度更小( $P<0.05$ ),说明机器人辅助手术与徒手手术对机体均会造成不同程度的创伤,诱导机体炎症反应,但机器人辅助创伤应激更小,对机体造成的炎症反应更轻。从本研究的随访结果看,两组患者术后3个月、6个月ODI、VAS评分均呈下降趋势,且机器人组下降幅度更明显( $P<0.05$ ),可见机器人辅助手术对椎旁肌的损伤较小,患者疼痛更轻,更有利于腰椎功能恢复,患者预后更佳。虽然机器人辅助脊柱外科手术具有明显优势,但也存在一些不足:①术前规划与套筒摆放位置不佳,跟踪器固定不稳均会导致置钉精准度不佳,因此需要有操作经验的医师进行操作;②机器人手术系统准备、配准与规划设计会在一定程度上增加手术时间;③机器人手术系统及配套设备价格昂贵,难以在基层医院普及。

综上所述,与徒手置入椎弓根螺钉内固定术相比,机器人辅助手术可提高螺钉精准置入率,减少术中出血量、术中辐射剂量与住院时间,对机体的创伤与炎症反应更轻,有利于缓解疼痛,促进腰椎功能恢复,提高患者预后。虽然机器人手术系统目前仍存在一定缺陷,但随着人工智能以及医疗技术的发展与进步,相信机器人辅助手术将会使更多胸腰段骨折患者获益。

**利益冲突声明:** 所有作者均声明本文不存在任何利益冲突。

**作者贡献说明:** 沈科负责文章撰写;赵登负责数据收集;尹立负责审核。

## 参考文献

[1] Rainone G J, Patel Y, Woodhouse C, et al. Nonoperative management in intact burst fracture patient with thoracolumbar injury classification and severity score of 5: a case report[J]. *Cureus*, 2022, 14(9): e29492.

- [2] 陈干,钟华璋,陈磊,等.后路经伤椎短节段椎弓根螺钉内固定术治疗A3型胸腰椎骨折的临床疗效[J]. *颈腰痛杂志*, 2021, 42(5): 746-748.
- [3] Aigner R, Bichlmaier C, Oberkircher L, et al. Pedicle screw accuracy in thoracolumbar fractures-is routine postoperative CT scan necessary[J]. *BMC Musculoskelet Disord*, 2021, 22(1): 986.
- [4] 赵经纬,张琦,韦祎,等.基于5G的远程机器人辅助胸腰椎骨折内固定术的临床应用研究[J]. *中国数字医学*, 2022, 17(6): 10-14.
- [5] 何流,方宣城,申才良,等.机器人辅助置入胸腰椎椎弓根螺钉的临床研究[J]. *中华全科医学*, 2021, 19(1): 42-45.
- [6] 杜盛阳,戴俊,周震涛,等.机器人辅助经皮置钉与徒手Wiltse入路开放置钉治疗脊柱胸腰段骨折的疗效比较[J]. *中华创伤杂志*, 2022, 38(2): 109-115.
- [7] Villeneuve L M, Lee B, Cornwell B, et al. Robot-assisted thoracolumbar fixation after acute spinal trauma: a case series[J]. *Cureus*, 2022, 14(11): e31832.
- [8] 付忠泉,禚天航,霍智铭,等.胸腰椎损伤分类及损伤程度评分在胸腰椎椎体骨折微创手术预后评价中的应用[J]. *广东医学*, 2019, 40(18): 2682-2685.
- [9] Gertzbein S D, Robbins S E. Accuracy of pedicular screw placement in vivo[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 1990, 15(1): 11-14.
- [10] Fairbank J C, Couper J, Davies J B, et al. The Oswestry low back pain disability questionnaire[J]. *Physiotherapy*, 1980, 66(8): 271-273.
- [11] Chiarotto A, Maxwell L J, Ostelo R W, et al. Measurement properties of visual analogue scale, numeric rating scale, and pain severity subscale of the brief pain inventory in patients with low back pain: a systematic review[J]. *J Pain*, 2019, 20(3): 245-263.
- [12] 胡靖,向阳,叶川,等.3D打印辅助与徒手置钉经皮椎弓根螺钉内固定治疗胸腰椎骨折的1年随访[J]. *中国组织工程研究*, 2021, 25(24): 3804-3809.
- [13] 陈剑,李建生,施炎,等.3D重建技术辅助改良Wiltse入路置钉术治疗胸腰椎骨折的研究[J]. *检验医学与临床*, 2023, 20(19): 2850-2854.
- [14] 刘刚,刘斌,田乐,等.机器人辅助下微创经皮椎弓根螺钉固定治疗多节段胸腰椎骨折的疗效分析[J]. *中华创伤骨科杂志*, 2021, 23(10): 877-883.
- [15] Volk V L, Steele K A, Cinello-smith M, et al. Pedicle screw placement accuracy in robot-assisted spinal fusion in a multicenter study[J]. *Ann Biomed Eng*, 2023, 51(11): 2518-2527.
- [16] 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.
- [17] 冯硕,何达,郑山,等.机器人辅助经肌间隙置入椎弓根螺钉在胸腰段骨折手术治疗的临床研究[J]. *中国骨与关节杂志*, 2022, 11(8): 611-616.
- [18] 周纪平,姜泽威,杨永军,等.脊柱机器人辅助椎弓根钉经皮固定胸腰椎骨折[J]. *中国矫形外科杂志*, 2021, 29(10): 865-869.
- [19] 林书,胡虹,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.
- [20] 于笑笙,陈修远,陈皓,等.骨科机器人辅助微创精准手术治疗胸腰段骨折的初步经验[J]. *脊柱外科杂志*, 2020, 18(6): 369-375.
- [21] Pham T M, Kristiansen E B, Frich L H, et al. Association of acute inflammatory cytokines, fracture malreduction, and functional outcome 12 months after intra-articular ankle fracture-a prospective cohort study of 46 patients with ankle fractures[J]. *J Orthop Surg Res*, 2021, 16(1): 338.
- [22] 张成川,梁建,盛雷,等.3D打印联合急诊外侧入路手术治疗创伤性跟骨骨折的有效性及对应激、炎症因子的影响[J]. *临床和实验医学杂志*, 2023, 22(1): 42-47.

编辑:刘静凯