

· 临床研究 ·

胸腰椎骨折机器人辅助短节段椎弓钉固定[△]

赵中廷, 李伟, 李德民, 张震*

(济南市第三人民医院, 山东济南 250100)

摘要: [目的] 探讨机器人辅助置钉结合经椎弓根伤椎植骨治疗胸腰椎骨折的临床疗效。[方法] 回顾性分析 2018 年 1 月—2022 年 9 月 31 例因胸腰椎骨折收治于本院行机器人辅助置钉结合伤椎植骨手术患者的临床资料, 评价临床及影像结果。[结果] 所有手术均顺利完成, 手术时间平均 (121.3±26.3) min, 术中出血量 (78.1±31.8) mL。随访时间平均 (7.5±2.6) 个月, 与术前相比, 术后 3 d 及末次随访时患者 VAS [(7.4±1.5), (4.2±1.2), (1.1±0.7), $P<0.001$]、ODI [(71.4±13.6), (47.4±9.7), (24.3±6.3), $P<0.001$] 均显著减少。影像方面, 与术前相比, 术后 3 d 及末次随访时伤椎前缘相对高度 [(63.2±16.0)%, (89.6±4.9)%, (88.7±5.5)%, $P<0.001$] 及局部后凸角 [(17.8±8.5)°, (4.3±2.7)°, (5.2±3.2)°, $P<0.001$] 均显著改善。[结论] 机器人辅助置钉结合经椎弓根伤椎植骨治疗胸腰椎骨折可有效改善临床症状, 恢复伤椎高度并防止椎体高度再丢失, 疗效满意。

关键词: 骨科机器人, 胸腰椎骨折, 伤椎植骨, 椎弓根螺钉内固定

中图分类号: R683.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1005-8478 (2025) 08-0765-04

Robot-assisted short-segment pedicle screw fixation with affected vertebral body bone grafting for thoracolumbar fractures // ZHAO Zhong-ting, LI Wei, LI De-min, ZHANG Zhen. The Third People's Hospital of Jinan City, Jinan, Shandong 250100, China

Abstract: [Objective] To investigate the clinical consequence of robot-assisted short-segment pedicle screw fixation combined with the involved vertebral body bone grafting for thoracolumbar fractures. [Methods] A retrospective research was conducted on 31 patients who received robot-assisted short-segment pedicle screw fixation combined with the involved vertebral body bone grafting for thoracolumbar fractures from January 2018 to September 2022. The clinical and imaging data were evaluated. [Results] All the patients had operations completed successfully with the average operation time of (121.3±26.3) min, and the intraoperative blood loss of (78.1±31.8) mL, were followed up for (7.5±2.6) months in a mean. As time elapsed from the point preoperatively, 3 days after operation to the latest follow-up, the VAS [(7.4±1.5), (4.2±1.2), (1.1±0.7), $P<0.001$], ODI [(71.4±13.6), (47.4±9.7), (24.3±6.3), $P<0.001$] significantly reduced. As for imaging, the relative vertebral height [(63.2±16.0)%, (89.6±4.9)%, (88.7±5.5)%, $P<0.001$] and local kyphotic angle [(17.8±8.5)°, (4.3±2.7)°, (5.2±3.2)°, $P<0.001$] significantly improved over time. [Conclusion] Robot-assisted short-segment pedicle screw fixation combined with the involved vertebral body bone grafting for thoracolumbar fractures does effectively improve clinical symptoms, restore the height of the injured vertebra and prevent the loss of vertebral height with satisfactory outcomes.

Key words: orthopedic robot, thoracolumbar fracture, bone grafting of injured vertebra, pedicle screw fixation

胸腰椎骨折是常见的脊柱损伤, 椎弓根螺钉内固定术作为应用较广的术式, 可有效恢复脊柱序列的稳定及椎体高度^[1]。传统术式无法避免肌肉损伤、松质骨压缩等情况, 存在形成“蛋壳椎”的可能, 且在椎体前柱愈合周期内存在内固定物断裂、椎体高度丢失等风险^[2, 3]。随着数字科技的发展, 骨科机器人因其精准、微创的优势逐渐被广大学者接受, 可有效减少椎旁肌肉损伤及骨性生理结构破坏^[4]。2018 年 1 月—2022 年 9 月济南市第三人民医院脊柱外科采用机

器人辅助后路短节段固定结合经椎弓根伤椎植骨治疗胸腰椎骨折取得了满意疗效, 现报道如下。

1 临床资料

1.1 一般资料

回顾性分析 2018 年 1 月—2022 年 9 月因外伤致胸腰椎骨折于本院行机器人辅助后路短节段固定结合经椎弓根伤椎植骨的 31 例患者的临床资料, 其中男

DOI:10.20184/j.cnki.Issn1005-8478.100764

△基金项目:济南市卫生健康委员会科技计划项目(编号:2022-1-21)

作者简介:赵中廷,主治医师,研究方向:脊柱外科,(电子信箱)1052280621@qq.com

*通信作者:张震,(电子信箱)507295823@qq.com

21例,女10例;年龄平均(49.7±9.8)岁。患者均为单节段胸腰椎骨折、无神经功能损伤且椎管占位<30%、骨折至手术时间<7d者。排除存在神经功能损伤或需要进行椎管减压、难以排除继发性骨质疏松或存在病理性骨折可能的患者。术前常规完善正侧位X线片、CT检查,并由MRI明确诊断。本研究经医院伦理委员会审批(编号:2022-KT-018),所有患者均知情同意。

1.2 手术方法

使用“天玑”骨科手术机器人辅助操作。全麻成功后,取俯卧位,透视定位伤椎,常规消毒铺巾,选于伤椎椎体向上2~3个椎体棘突投影处取长约2cm切口,于伤椎在背部皮肤投影处放置机器人示踪器并透视确定其位于伤椎椎体上方,使用3D-C形臂X线机完成伤椎及上下椎体的3D扫描,数据上传至机器人并规划置钉路径。沿规划路径分别于皮肤做6处长约2cm纵形切口,置入导针,丝攻构建钉道,分别于上下健椎及伤椎压缩较大一侧或对侧存在明显骨折线且本侧相对完整的一侧拧入适当型号的椎弓根螺钉共5枚,并于伤椎置钉一侧放置适当长度链接棒,撑开复位并固定。使用椎体成形穿刺针在导针引导下置入伤椎未置钉一侧,拔除导针后放置骨水泥推杆,侧位透视见穿刺针前缘位于椎体前1/3,推注混合好的同种异体骨修复材料1~2mL,再次放置导针,拧入适当长度的椎弓根螺钉,放置合适长度的连接棒,撑开复位,拧紧顶丝,C形臂X线机透视观察螺钉位置及伤椎复位情况,冲洗缝合切口,无菌敷料包扎。

术后应用抗生素预防感染。2~3d复查X线片及CT并佩戴支具下床活动,定期换药、适时拆线,按期返院复查,嘱患者约1年后拆除内固定装置。

1.3 评价指标

记录手术时间、术中出血量、并发症情况,采用疼痛视觉模拟评分(visual analogue scale, VAS)、Oswestry功能障碍指数(Oswestry disability index, ODI)评价临床效果。行影像学检查,记录伤椎前缘相对高度(伤椎前缘高度/伤椎上下位椎体前缘高度平均值×

100%)及局部后凸角(上、下健康椎体的上、下终板延长线所形成的夹角)。置钉准确率共分3级:0级,螺钉完全位于椎弓根内或螺钉于椎弓根两侧对称;1级,螺钉穿破皮质小于螺钉直径的50%;2级,螺钉穿破骨皮质大于螺钉直径的50%。

1.4 统计学方法

采用SPSS 27.0统计软件对数据进行统计分析。计量数据以 $\bar{x} \pm s$ 表示,资料呈正态分布时,3组数据比较采用单因素方差分析,两组数据比较采用独立样本 t 检验,资料不符合正态分布时,采用秩和检验。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 临床结果

31例患者手术均顺利完成,手术时间平均(121.3±26.3)min,术中出血量(78.1±31.8)mL。所有患者切口均甲级愈合。无围手术期并发症及“蛋壳椎”形成,术后5例患者背部酸胀不适,经对症治疗后缓解。随访时间至少3个月以上,平均(7.5±2.6)个月。临床结果见表1,随时间推移,患者VAS、ODI均显著减少($P < 0.05$)。

2.2 影像评估

所有影像学资料均由同一高年资医师评价,共置入186枚椎弓根螺钉,0级置钉178枚,1级置钉8枚,置钉精确率95.7%。影像资料见表1,与术前相比,术后3d及末次随访时伤椎前缘相对高度及局部后凸角均显著改善($P < 0.05$)。与术后3d相比,末次随访时伤椎前缘相对高度及局部后凸角无显著变化($P > 0.05$)。

3 讨论

中青年胸腰椎骨折大多由外伤引起,传统手术需剥离腰背部肌肉,造成软组织不可逆损伤,易引起术后肌肉萎缩、慢性腰痛等症状^[5,6]。

表1. 31例患者临床及影像资料($\bar{x} \pm s$)

Table 1. Clinical and imaging data of the 31 patients ($\bar{x} \pm s$)

指标	术前	术后3d	末次随访	P值
VAS评分(分)	7.4±1.5	4.2±1.2	1.8±0.7	<0.001
ODI评分(%)	71.4±13.6	47.4±9.7	24.3±6.3	<0.001
伤椎前缘相对高度(%)	63.2±16.0	89.6±4.9	88.7±5.5	<0.001
局部后凸角(°)	17.8±8.5	4.3±2.7	5.2±3.2	<0.001

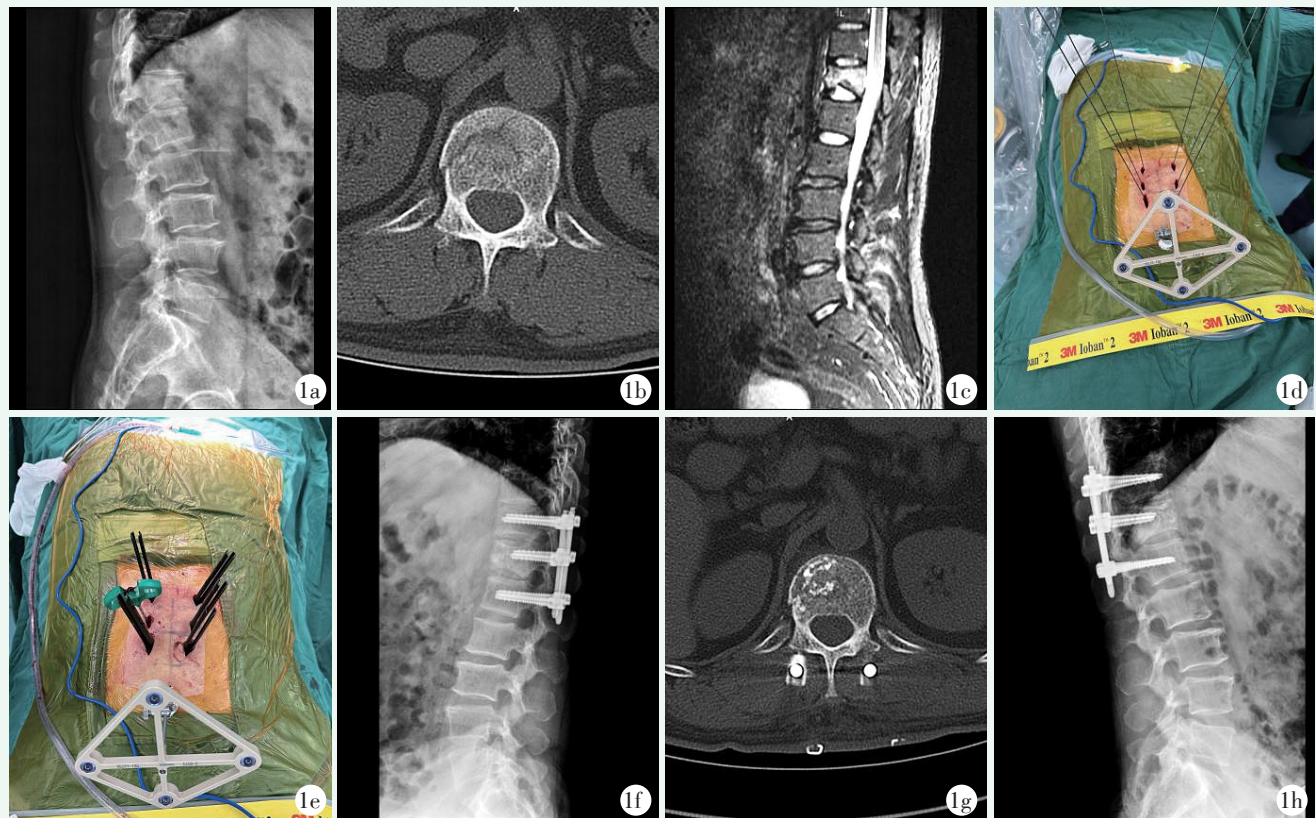


图 1. 患者男性, 50 岁。1a: 术前侧位 X 线片示 T₁₂骨折; 1b: 术前 CT 示椎体骨折, 椎体右侧骨折线清晰, 椎体后壁疑似损伤, 无明显椎管内占位; 1c: 术前 MRI 示伤椎骨髓水肿, 下终板塌陷明显; 1d: 术中经机器人规划并导航下置入导针; 1e: 术中沿导针置入椎弓根螺钉, 并于右侧放置穿刺针, 完成植骨; 1f: 术后 3 d X 线片示伤椎高度显著恢复, 伤椎前缘可见弥散性高密度影; 1g: 术后 3 d CT 示骨折处植骨精确; 1h: 末次随访时 X 线片示伤椎基本愈合, 伤椎高度较术后无明显丢失。

Figure 1. A 50-year-old male. 1a: Preoperative lateral radiographs showed that the T₁₂ vertebral body fractures; 1b: Preoperative CT showed clear fracture line on the right side of the vertebral body, suspected injury on the posterior wall of the vertebral body, and no obvious intravertebral canal space; 1c: Preoperative MRI showed bone marrow edema of the injured vertebra; 1d: Intraoperative guide pins were placed by robot planning and navigation; 1e: The pedicle screws was inserted along the guide pins, and bone grafting through the puncture needle was placed on the right side; 1f: X-ray 3 days after the operation showed that the height of the injured vertebra had significantly recovered, with diffuse high-density shadow in the affected vertebral body; 1g: CT 3 days after operation showed that the bone graft filled satisfactorily; 1h: X-ray at the last follow-up showed the injured vertebra basically healed, without remarkable height loss of the injured vertebra.

骨科机器人可在三维规划的基础上利用机械手臂协助置入椎弓根螺钉, 避免了腰背部肌肉过度损伤及解剖变异引起的置钉失败, 提高螺钉置入的精准性^[7]。本研究中, 机器人辅助椎弓根螺钉置入准确率达 95.7%, 精确率较高, 组织损伤小, 出血量少, 术后各时期 VAS 评分、DOI 评分均呈阶梯式下降, 可在更为安全的同时有效改善临床症状。同时, 机器人手术不依赖解剖结构的辨识, 减少学习曲线^[8], 在规划时操作者大多处于铅墙之外, 并不增加射线暴露的剂量^[9]。

脊柱骨折的治疗需要在获得稳定的同时, 恢复伤椎高度^[10]。传统内固定术难以完全避免术后中远期

伤椎高度丢失等问题^[11]。椎体骨折后, 松质骨压缩, 在骨折线周围形成密度高于正常松质骨的高密度带, 复位后伤椎内部松质骨无法完全复位, 易在骨折区域形成椎体“蛋壳样”改变, 降低椎体承重能力^[2]。而在骨折愈合周期内, 应力集中于后方内固定装置, 易致内固定变形及断裂, 引起伤椎高度丢失。骨修复材料可对伤椎裂隙区域进行填充, 避免“蛋壳椎”形成, 而其中的骨诱导成分将加速骨性愈合, 缓解中期内固定物的压力^[12, 13]。本研究 31 例患者术后 3 d 及末次随访时椎体前缘高度较术前明显恢复, 且未出现内固定物松动、断裂及伤椎高度丢失等情况。

机器人辅助可在规划时制定植骨路线, 利用导针

及椎体成形系统,准确置入靶点,获得有效植骨,避免了传统伤椎植骨的盲目性。本研究31例患者术后CT检查未发现骨修复材料的渗漏,考虑因机器人辅助植骨更加精准,避免无效植骨,同时植骨前对伤椎进行撑开复位,在骨修复材料置入时伤椎内处于低压状态,不易形成渗漏,保证手术安全性。

综上所述,机器人辅助后路短节段固定结合经椎弓根伤椎植骨,在有效改善临床症状的同时,具有创伤小、出血量少、精确度高等优点,且能有效恢复并维持椎体高度,疗效确切。

利益冲突声明 所有作者声明无利益冲突

作者贡献声明 赵中廷: 酝酿和设计实验、实施研究、数据采集及分析和解释、文章撰写、统计分析、获取研究经费;李伟、李德民: 实施研究、手术操作、文章审阅、技术及理论支持、指导;张震: 酝酿和设计实验、实施研究、文章审阅、技术及理论支持、指导、支持性贡献、数据质控

参考文献

- [1] Roop S, Kumar RR, Kulbhushan K, et al. Outcome of pedicle screw fixation and monosegmental fusion in patients with fresh thoracolumbar fractures [J]. *Asian Spine J*, 2014, 8 (3) : 298–308. DOI: 10.4184/asj.2014.8.3.298.
- [2] 胡海刚, 谭伦, 林旭, 等. 胸腰椎骨折复位术后椎体“空壳现象”的相关因素分析 [J]. *中国脊柱脊髓杂志*, 2017, 27 (3) : 242–247. DOI: 10.3969/j.issn.1004-406X.2017.03.08.
Hu HG, Tan L, Lin X, et al. Analysis of related factors of vertebral body "shell phenomenon" after thoracolumbar vertebral fracture reduction surgery [J]. *Chinese Journal of Spine and Spinal Cord*, 2017, 27 (3) : 242–247. DOI: 10.3969/j.issn.1004-406X.2017.03.08.
- [3] 于国胜, 赵秀泉, 刘颜华, 等. 同种异体骨椎体内植骨治疗胸腰椎骨折吸收及空洞形成报告 [J]. *中华骨与关节外科杂志*, 2017, 10 (2) : 113–116. DOI: 10.3969/j.issn.2095-9958.2017.02-06.
Yu GS, Zhao XQ, Liu YH, et al. Report on the absorption and cavity formation of thoracolumbar vertebral fractures treated with allograft bone grafting in the vertebral body [J]. *Chinese Journal of Orthopedic and Joint Surgery*, 2017, 10 (2) : 113–116. DOI: 10.3969/j.issn.2095-9958.2017.02-06.
- [4] 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. DOI: 10.3969/j.issn.2095-252X.2017.10.003.
Chen L, Hai Y, Guan L, et al. A comparative study of robot assisted placement and manual placement of pedicle screws [J]. *Chinese Journal of Bone and Joint*, 2017, 6 (10) : 730–736. DOI: 10.3969/j.issn.2095-252X.2017.10.003.
- [5] Li V, Lodaya K, Zhang X, et al. EPH155 analysis of the risk factors for failed back surgery syndrome: real-world evidence [J]. *Value Health*, 2022, 27 (5) : S463–S463. DOI: 10.1016/J.JVAL.2022.04.906.
- [6] 陈宣煌, 许卫红, 胡建伟, 等. 小切口椎旁肌间隙入路和传统开放式入路腰椎后路融合术的比较 [J]. *脊柱外科杂志*, 2012, 10 (2) : 101–104. DOI: 10.3969/j.issn.1672-2957.2012.02.011.
Chen XH, Xu WH, Hu JW, et al. Comparison of small incision paravertebral interstitial approach and traditional open approach for lumbar posterior fusion surgery [J]. *Journal of Spinal Surgery*, 2012, 10 (2) : 101–104. DOI: 10.3969/j.issn.1672-2957.2012.02.011.
- [7] 姜树东, 郭函, 梁得华, 等. 机器人辅助 MIS-TLIF 手术治疗腰椎退行病的初步结果 [J]. *中国矫形外科杂志*, 2020, 28 (7) : 586–591. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2020.07.03.
Jiang SD, Guo H, Liang DH, et al. Preliminary results of robot assisted MIS-TLIF surgery for lumbar degenerative disease [J]. *Orthopedic Journal of China*, 2020, 28 (7) : 586–591. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2020.07.03.
- [8] Siddiqui MI, Wallace DJ, Salazar LM, et al. Robot-assisted pedicle screw placement: learning curve experience [J]. *World Neurosurg*, 2019, 130: 417–422. DOI: 10.1016/j.wneu.2019.06.107.
- [9] 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. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2021.10.01.
Zhou JP, Jiang ZW, Yang YJ, et al. Spinal robot assisted percutaneous fixation of thoracolumbar vertebral fractures with pedicle screws [J]. *Orthopedic Journal of China*, 2021, 29 (10) : 865–869. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2021.10.01.
- [10] Babu BT, Pratap RS. Functional and radiological outcome of short same segment instrumentation in thoracolumbar burst fracture [J]. *J Nepal Health Res Counc*, 2023, 21 (1) : 15–18. DOI: 10.33314/JNHRC.V21I1.4387.
- [11] Zongpo S, Chen Z, Boyao W, et al. Analysis of influencing factors of vertebral height loss after pedicle screw fixation of thoracolumbar fracture [J]. *Clin Spine Surg*, 2023, 36 (8) : E362–E368. DOI: 10.1097/BSD.0000000000001467.
- [12] Wen ZL, Jie WL, Lin BS, et al. Short-segment fixation and transpedicular bone grafting for the treatment of thoracolumbar spine fracture [J]. *Front Surg*, 2023, 9: 1039100. DOI: 10.3389/FSURG.2022.1039100.
- [13] Kaspiris A, Hadjimichael AC, Vasiliadis ES, et al. Therapeutic efficacy and safety of osteoinductive factors and cellular therapies for long bone fractures and non-unions: a meta-analysis and systematic review [J]. *J Clin Med*, 2022, 11 (13) : 3901–3901. DOI: 10.3390/JCM11133901.

(收稿:2023-10-27 修回:2024-06-27)

(同行评议专家: 武京国, 王德峰, 赵磊)

(本文编辑: 闫承杰)