

临床论著

Mazor 脊柱机器人辅助改良经皮椎体成形术治疗腰椎骨质疏松性骨折的疗效分析

郭松¹, 付强¹, 杭栋华¹, 李新华¹, 霍宁宁¹, 阮祺², 李克威¹

(1 上海交通大学附属第一人民医院骨科; 2 手术室 200080 上海市)

【摘要】目的:探讨 Mazor 脊柱机器人辅助改良经皮椎体成形术(percutaneous vertebroplasty, PVP)手术治疗腰椎骨质疏松性压缩骨折(osteoporotic vertebral compression fracture, OVCF)的疗效。**方法:**回顾性分析 2020 年 7 月~2020 年 12 月在本院接受 PVP 治疗的腰椎 OVCF 患者 50 例, 其中 A 组(Mazor 脊柱机器人辅助改良腰椎 PVP 手术组)23 例, B 组(徒手椎弓根入路 PVP 手术组)27 例; 记录两组手术时间、透视次数、辐射暴露剂量、住院时间、骨水泥弥散情况; 测量治疗前、治疗后 3d、3 个月时的椎体高度恢复值、腰痛 VAS 评分、生活质量 ODI 评分。**结果:**A 组平均手术时间为 40.61 ± 3.85 min, 明显大于 B 组(30.70 ± 3.26 min), 其中 A 组包含机器人配对与注册时间(TA1)为 23.43 ± 2.97 min, 穿刺至切口关闭时间(TA2)为 16.74 ± 5.13 min。A 组术中平均透视次数为 6.96 ± 1.80 次, 辐射暴露平均剂量为 0.55 ± 0.07 mSv, 其中配对与注册透视次数为 2.12 ± 0.35 次, 辐射暴露平均剂量为 0.15 ± 0.03 mSv; B 组术中平均透视次数为 17.70 ± 3.98 次, 辐射暴露平均剂量为 1.25 ± 0.12 mSv; A 组术中平均透视次数及辐射暴露平均剂量明显小于 B 组($P < 0.05$)。A 组骨水泥弥散形式全部属于 II 型, B 组骨水泥以单侧弥散为主, 仅有 14.87%(4/27)属于 II 型弥散, 两组间差异显著($P < 0.05$)。两组术后 3d、3 个月腰痛 VAS 评分均较术前明显降低, 差异均有显著性意义($P < 0.05$), 组间比较两组术后 VAS 评分无差异($P > 0.05$); 两组术后 3d、3 个月随访时 ODI 评分均较术前明显降低, 术后各时间点随访与术前相比差异均有显著性意义($P < 0.05$), 组间比较两组术后 ODI 评分无差异($P > 0.05$)。**结论:**Mazor 脊柱机器人辅助改良入路经皮椎体成形术治疗腰椎骨质疏松性骨折安全、有效, 并可缩短术中穿刺手术时间、减少术中透视次数。

【关键词】腰椎骨质疏松性压缩骨折; 经皮椎体成形术; 改良入路; 机器人辅助; 临床疗效

doi: 10.3969/j.issn.1004-406X.2021.09.06

中图分类号: R681.5, R683.2 文献标识码: A 文章编号: 1004-406X(2021)-09-0818-07

Effectiveness of Mazor spine robot-assisted percutaneous vertebroplasty with modified approach in treating lumbar osteoporotic vertebral compression fractures/GUO Song, FU Qiang, HANG Donghua, et al//Chinese Journal of Spine and Spinal Cord, 2021, 31(9): 818-824

【Abstract】Objectives: To explore the effectiveness of Mazor spine robot-assisted percutaneous vertebroplasty (PVP) with the modified approach to treat lumbar osteoporotic vertebral compression fractures (OVCF). **Methods:** A retrospective analysis on 50 patients with lumbar OVCF who underwent PVP surgery were performed in our hospital from July 2020 to December 2020. 23 cases were included in group A (Mazor spine robot-assisted lumbar modified PVP group), while 27 cases were included in group B (free-hand lumbar transpedicular PVP). In both groups, the operation time, number of fluoroscopy, radiation exposure dose, hospital stay time and bone cement diffusion were recorded. The preoperative, postoperative day 3, and postoperative month 3 vertebral body height recovery, low back pain visual analogue scale (VAS) scores, and quality of life ODI scores were also recorded. **Results:** The average operation time of group A was 40.61 ± 3.85 minutes, which was significantly longer than that of group B (30.70 ± 3.26 minutes). In group A, the time of robot matching and registration was TA1 (23.43 ± 2.97 minutes), and the time from puncture to incision closure was TA2 (16.74 ± 5.13 minutes). In group A, the average number of intraoperative fluoroscopy was $6.96 \pm$

基金项目: 国家自然科学基金(面上项目, 编号 81971154); 上海申康医院发展中心项目; 重大临床研究项目(编号 SHDC2020CR3072B)

第一作者简介: 男(1987-), 医学博士, 研究方向: 脊柱外科

电话: 15901836457 E-mail: guosongtj@163.com

通讯作者: 付强 E-mail: johson.f@163.com

1.80 times with 0.55 ± 0.07 mSv radiation exposure, among which robot matching and registration accounts for 2.12 ± 0.35 times with 0.15 ± 0.03 mSv radiation exposure. In group B, the average number of intraoperative fluoroscopy was 17.70 ± 3.98 times with 1.25 ± 0.12 mSv radiation exposure. The average number of intraoperative fluoroscopy and dose of radiation exposure in group A were significantly lower than those in group B ($P < 0.05$). In group A, bone cement was diffused into the center of the vertebral body (type II), while in group B bone cement was mainly unilaterally diffused except for 14.87% (4/27) towards into center (type II) ($P < 0.05$). The VAS scores of back pain on the third day and third month after surgery were significantly lower than those before surgery ($P < 0.05$). There was no difference in VAS scores between the two groups after surgery ($P > 0.05$). The ODI scores of the two groups on the third day and third month after surgery were significantly lower than those before surgery ($P < 0.05$). There was no difference in the postoperative ODI scores between the two groups ($P > 0.05$). **Conclusions:** Mazor spine robot assisted PVP with the lumbar modified approach for treating lumbar osteoporotic fractures is a safe and effective surgery to quickly relieve the pain caused by fractures with the reduced intraoperative radiation and surgeon workload.

[Key words] Lumbar osteoporotic vertebral compression fractures; Percutaneous vertebroplasty; Modified approach; Robot-assisted; Clinical effectiveness

[Author's address] Department of Orthopedics, the First People's Hospital Affiliated to Shanghai Jiaotong University, Shanghai, 200080, China

由于当今社会老年化问题严重,骨质疏松性骨折发病率逐年升高,据预测,至 2050 年,我国骨质疏松性骨折患病人数将达 599 万例,其中骨质疏松性椎体压缩骨折(osteoporotic vertebral compression fracture, OVCF)占比最大,严重影响患者生活质量,给患者及社会带来极大经济负担^[1]。近年来经皮椎体成形术(percutaneous vertebroplasty, PVP)能够明显缓解 OVCF 引起的疼痛,改善患者生活质量,成为目前治疗胸、腰椎 OVCF 的主要手术方法^[2]。虽然 PVP 手术具有创伤小、恢复快、疗效好等优点,但是仍然存在术中射线暴露多、术者工作负荷大、学习曲线陡峭等不足,长时间大量 X 线辐射会增加皮炎、白内障和癌症的风险^[3]。因此,在保证手术疗效的同时,如何减少医生与患者辐射剂量及外科医生工作负荷成为亟待解决的问题。机器辅助操作能够成功避免术者射线辐射,减轻术者工作负荷,近年来在脊柱手术中得到广泛重视。为分析 Mazor 脊柱机器人辅助改良 PVP 治疗腰椎 OVCF 患者的安全性及疗效,我们设计实施了此回顾性临床研究。

1 资料与方法

1.1 一般资料

回顾性分析 2020 年 7 月~2020 年 12 月在上海市第一人民医院接受 PVP 术治疗的腰椎 OVCF 患者。纳入标准如下:(1)符合骨质疏松症诊断标准;(2)年龄 ≥ 60 岁,有明显的腰背部疼痛、活动

受限症状;(3)单个椎体的腰椎压缩性骨折,压缩程度 $< 3/4$;(4)新鲜骨折, MRI T2 压脂像椎体显示为异常高信号;(5)CT 显示椎管内无骨折块压迫,或者有骨块侵犯椎管但患者无神经症状;(6)无其他骨折或重要脏器的功能障碍,能耐受手术;排除标准如下:(1)怀疑存在椎体原发或转移性病变、多发性骨髓瘤、代谢性骨病的患者;(2)合并严重心肺功能不全及严重凝血功能障碍性疾病者,有药物滥用史或正口服抗凝药;(3)昏迷或无行为能力者;(4)MRI 禁忌证(心脑血管等支架、心脏起搏器、生物刺激器等置入史);(5)严重感染未控制或高热者;(6)对骨水泥过敏者;(7)既往接受过椎体强化术及其他脊柱手术。本研究已经过本院伦理委员会审核通过,且入组病例签署患者知情同意书。

本研究按照上述纳入标准共收 50 例患者,其中 A 组(Mazor 脊柱机器人辅助改良 PVP 组)23 例;B 组(徒手椎弓根入路 PVP 组)27 例。A 组患者中男性 6 例,女性 17 例;年龄 62~85 岁,平均 72.17 ± 7.02 岁;L1 骨折 10 例, L2 骨折 7 例, L3 骨折 5 例, L4 骨折 1 例。B 组患者中男性 8 例,女性 19 例;年龄 60~88 岁,平均 72.15 ± 7.36 岁;L1 骨折 12 例, L2 骨折 8 例, L3 骨折 5 例, L4 骨折 2 例。经统计学分析,两组患者在性别、年龄、骨折椎体等基线资料上差异无统计学意义($P > 0.05$)。

1.2 仪器与设备

Mazor 脊柱机器人 Renaissance 系统(美国美

敦力公司),骨科专用 C 型臂 X 线机(德国西门子公司)。

1.3 手术方法

A 组 (Mazor 脊柱机器人辅助改良 PVP 手术组):术前采用 Mazor 脊柱机器人规划软件,规划骨折椎体改良 PVP 入路(椎弓根外上入路)的入点与角度(图 1a~c)。麻醉成功后,患者俯卧于全碳素 Allen 脊柱手术床,C 型臂 X 线机透视确定病变节段,病变节段以上两节段置入棘突钉,并且透视确认。连接床边轨道、机器人轨道固定架(图 1d)。采用三维定位装置术中正斜位透视,完成术中匹配与注册,记录机器人匹配与注册时间为 TA1,同时记录机器人匹配与注册所需透视次数及辐射暴露平均剂量。根据术中机器人提示置入

外引导套筒,沿外引导套筒切开皮肤,动力钻穿刺开路,置入空心套筒(图 1e),透视确认位置良好,置入 PVP 工作通道,沿工作通道注入骨水泥(图 1f)。骨水泥注入过程采用 C 型臂 X 线机连续监测骨水泥弥散情况,至骨水泥充填满意时停止注射,缝合皮肤切口,并且记录从穿刺至切口关闭时间为 TA2。A 组病例手术时间记为 $TA=TA1+TA2$ 。术中注意监护患者生命体征。

B 组 (徒手椎弓根入路 PVP 组):麻醉成功后,将 Jamshid 穿刺针针尖置于骨折椎体投影 9 点钟或 3 点钟方向,并且予以局部切开,将 C 型臂 X 线机调至侧位,调整穿刺针角度,沿椎弓根路径穿刺至椎体后壁时,透视正位显示针尖位于椎弓根影的内侧缘。拔出内芯,置入导针,更换工

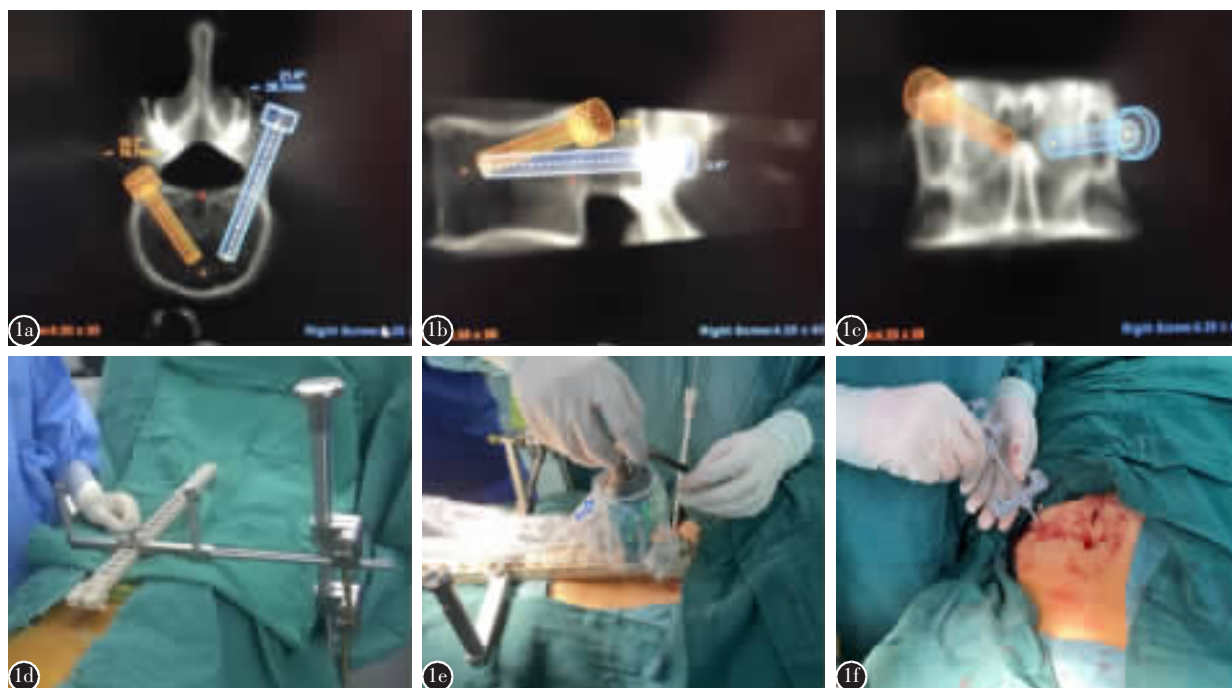


图 1 Mazor 脊柱机器人辅助改良 PVP 入路(椎弓根外上入路)术前规划及术中操作 **a** 轴位规划穿刺通道入点与角度;其中左侧为改良 PVP 入路,右侧为常规椎弓根入路 **b** 侧位规划穿刺通道入点与角度;其中左侧为改良 PVP 入路,右侧为常规椎弓根入路 **c** 冠状位规划穿刺通道入点与角度;其中左侧为改良 PVP 入路,右侧为常规椎弓根入路 **d** 术中连接 Mazor 脊柱机器人床边轨及固定架 **e** 术中根据 Mazor 脊柱机器人提示置入最佳位置与角度的外引导套筒 **f** 沿椎体成形术工作通道,推注骨水泥

Figure 1 Planning and intraoperative details of Mazor spine robot assisted vertebral augmentation with extrapedicular approach **a** The entry point and angle planning of puncture channel at axial direction. The left side was the modified PVP approach, and the right side was the conventional pedicle approach **b** The entry point and angle planning of puncture channel at lateral direction. The left side was the modified PVP approach, and the right side was the conventional pedicle approach **c** The entry point and angle planning of puncture channel at coronal direction. The left side was the modified PVP approach, and the right side was the conventional pedicle approach **d** Connection of bedside rail and fixed frame of Mazor spine robot during operation **e** Place the outer guide sleeve at the best position and angle during the operation according to the Mazor spine robot suggestion **f** Bone cement injection along the working channel

作通道。骨水泥注入过程与 A 组相同,记录从穿刺至切口关闭时间为 B 组病例手术时间,记为 TB。术中使用骨水泥为聚甲基丙烯酸甲酯(poly-methylmethacrylate, PMMA),穿刺及注射套装为常州康辉公司产品。

1.4 术后处理

术后所有患者均未出现脊髓压迫及胸痛、呼吸困难、咯血等肺栓塞症状。术后次日指导患者进行康复功能锻炼,术后 4 周内以卧床休息为主,建议使用支具保护下地,术后及出院后口服抗骨质疏松药物治疗。

1.5 主要观察指标

(1) 术中 A 组 TA1、TA2 及 A 组手术时间 TA,与 B 组手术时间 TB;(2)术中透视次数及辐射暴露平均剂量;(3)两组住院时间;(4)骨水泥弥散情况,根据文献^[4]对骨水泥弥散形式进行分型;(5)治疗前、治疗后 3d、3 个月椎体高度恢复值;(6)治疗前、治疗后 3d、3 个月腰痛 VAS 评分;(7)治疗前、治疗后 3d、3 个月 Oswestry 功能障碍指数(ODI);(8)骨水泥渗漏情况。VAS 评分将疼痛程度用 0~10 共 11 个数字表示,0 代表无痛,10 代表最痛,患者根据自身疼痛程度在 11 个数字中挑选一个数字代表疼痛程度。ODI 评估患者生活能力改善情况。ODI 问卷表包括疼痛程度、日常生活自理能力、提物、行走、坐、站立、睡眠、性生活、社会活动和旅行一共 10 项,每个问题有 6 个选项,分值 0~5 分,分值越高功能障碍越严重。按总分 50 分进行评价,ODI=实际得分/50×100%,得分越高表示功能障碍越严重。

1.6 统计学分析

若计量资料符合正态分布,以 $\bar{x} \pm s$ 表示,所有参数多组间的比较采用单因素方差分析,组内两两比较用 LSD 检验,两组间比较采用 t 检验,并做方差齐性检验;两组间率的比较采用卡方检验,使用 SPSS 18.0 统计学软件进行分析, $P < 0.05$ 为差异有显著性意义。

2 结果

A 组平均手术时间明显大于 B 组($P < 0.05$,表 1),其中 A 组包含机器人配对与注册时间 TA1 (23.43±2.97min) 及穿刺至切口关闭时间 TA2 (16.74±5.13min)。A 组术中平均透视次数及辐射暴露平均剂量明显小于 B 组($P < 0.05$);两组平均

住院天数相比,无显著性差异($P > 0.05$)(表 1)。

A 组骨水泥弥散形式全部属于 II 型^[4](图 2),B 组骨水泥以单侧弥散为主,仅有 14.87%(4/27)属于 II 型。A 组与 B 组术后 3d、术后 3 个月椎体前缘与中线高度,与术前测量值相比均增加,但均无统计学意义(表 2)。

两组术后 3d、3 个月随访腰痛 VAS 评分均较术前明显降低,术后各时间点随访与术前相比差异均有显著性意义($P < 0.05$);组间比较显示两组术后腰痛 VAS 评分无差别($P > 0.05$)(表 3)。两组术后 3d、3 个月随访 ODI 均较术前明显降低,术后各时间点随访与术前相比差异均有显著性意义($P < 0.05$),组间比较两组术后 ODI 无差别($P > 0.05$)(表 3)。

50 例患者中 4 例出现骨水泥渗漏,其中 A 组渗漏 2 例,2 例均为椎间隙渗漏;B 组 2 例,2 例均为椎弓根外侧渗漏;采用卡方检验发现,两组骨水泥渗漏发生率无统计学差别。所有骨水泥渗漏病例,术后均无症状。

3 讨论

胸腰椎骨折后行 PVP,因其止痛效果明显、创伤小、手术时间短等优点,已经广泛应用于 OVCF 治疗^[5-8]。然而,术中需采用 X 线机反复透视,增加患者及医生辐射量^[3,9,10]。近年来随医学影像技术、人工智能及机械辅助操作的研究不断深入,脊柱手术机器人成为辅助椎体定位、穿刺及活检的关键技术设备。自 1992 年以来,Puma 260 机器人系统最早被用于椎弓根活检^[11],2004 年美国 FDA 批准以色列 Mazor 公司推出的 Spineassist 机器人进入临床应用,2011 年该公司推出 Renaissance 系

表 1 两组一般指标比较

Table 1 Comparison of general indicators between the two groups

	A组 Group A	B组 Group B
手术时间(min) Operation time	40.61±3.85 ^①	30.70±3.26
透视次数(次) Number of X-ray	6.96±1.80 ^①	17.70±3.98
辐射暴露平均剂量(mSv) Average dose of radiation exposure	0.55±0.07 ^①	1.25±0.12mSv
住院时间(d) Hospital stays	3.95±0.93	4.07±1.27

注:①与 B 组相比 $P < 0.05$

Note: ①Compared with group B, $P < 0.05$

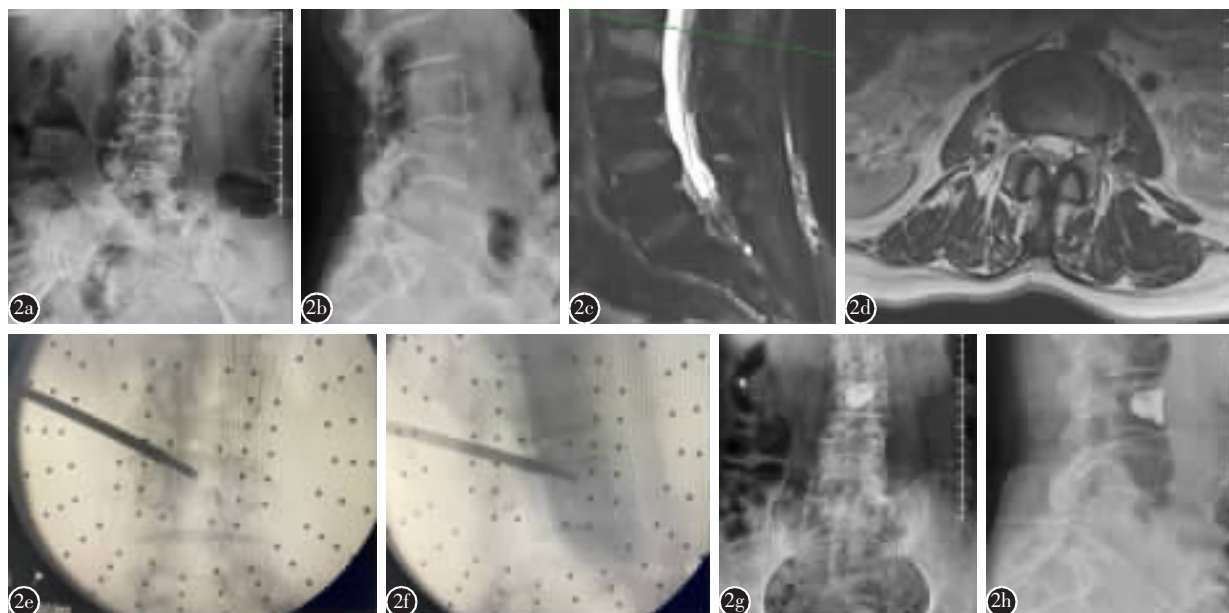


图 2 Mazor 脊柱机器人辅助改良腰椎椎体强化术治疗 OVCF 典型病例 **a、b** 术前 X 线片未见明显骨性异常 **c、d** 术前 MRI 示 L3 椎体 T2 加权像异常高信号影,提示 L3 椎体新鲜骨折 **e、f** 术中透视显示椎弓根外上入路椎体强化术空心导管及工作通道位置,正侧位均显示空心导管位于椎体中央 **g、h** 术后 X 线片示骨水泥弥散属于“II 型弥散”,无骨水泥渗漏

Figure 2 Typical cases with Mazor spine robot assisted vertebral augmentation in the treatment of OVCF **a, b** Pre-operation X-ray did not show obvious bone abnormalities **c, d** Pre-operation MRI, T2-weighted image showed L3 vertebral body with abnormal high signal intensity, suggesting a fresh fracture of L3 vertebral body **e, f** Intraoperative fluoroscopy showed the position of hollow catheter and working channel for vertebral augmentation with extrapedicular approach. Both AP and lateral view showed the hollow catheter was located in the center of the vertebral body **g, h** Post-operation X-ray showed the bone cement was evenly distributed in the center of the vertebral body, and there was no bone cement leakage

表 2 术前、术后 3d 和 3 个月椎体高度及恢复值

(mm)

Table 2 Vertebral body height recovery value before operation, third day and third month after operation

	伤椎前缘高度 Anterior height of injured vertebra		伤椎前缘高度恢复量 Restore quantity		伤椎中线高度 Midline height of injured vertebra		伤椎中线高度恢复量 Restore quantity	
	A组 Group A	B组 Group B	A组 Group A	B组 Group B	A组 Group A	B组 Group B	A组 Group A	B组 Group B
术前 Preoperation	17.30±5.32	17.86±4.78	—	—	19.11±4.05	18.99±4.34	—	—
术后 3d 3d postoperation	19.03±4.66	18.99±5.34	1.73±0.34	1.13±0.25	20.56±4.26	19.98±4.19	1.45±0.23	0.99±0.23
术后 3 个月 3 months post-op	19.07±5.04	18.99±5.04	1.77±0.36	1.13±0.04	20.34±3.99	20.12±3.67	1.23±0.18	1.13±0.19

表 3 两组手术前及术后各随访时间点腰痛 VAS 评分及 ODI 比较

Table 3 Comparison of back pain VAS scores of both groups at pre-operation and each follow-up

	VAS评分(分) VAS scores			ODI(%)		
	术前 Preoperation	术后 3d 3d postoperation	术后 3 个月 3 months post-op	术前 Preoperation	术后 3d 3d postoperation	术后 3 个月 3 months post-op
A组 Group A	6.39±1.23	2.65±1.15 ^①	2.34±0.83 ^①	62.70±8.65	13.91±2.25 ^①	13.70±1.55 ^①
B组 Group B	6.26±1.53	2.59±0.97 ^①	3.70±0.99 ^①	63.63±9.13	14.63±1.71 ^①	14.30±1.88 ^①

注:①与同组术前比较 $P<0.05$

Note: ①Compared with that preoperation in same group, $P<0.05$

统,整合应用术前精准规划技术、自动解剖识别技术、跨模态图像识别技术及患者随动平台技术,成功提高了机器辅助定位穿刺准确性及安全性。利用 Renaissance 系统术者仅需要正斜位 X 线机透视即可以完成术前 CT 影像与术中 X 线影像匹配,匹配成功后,机器人会提示最佳外引导套筒位置,术者仅需要沿外引导套筒切开穿刺,置入导丝,操作过程中不需 X 线机辅助置入导丝^[12-14]。尽管术中需要花费一段时间连接床边轨、机器人及匹配注册机器人,准备时间将延长;但是准备完成后,穿刺工作通道能够快速、精准、一次性完成,极大地避免了术中反复透视,尤其对于严重脊柱旋转畸形、椎弓根细小、压缩程度严重病例,穿刺成功率极大提高,术中射线辐射量极大降低,凸显机器人辅助椎体穿刺的优势。因而,采用 Mazor 脊柱机器人辅助 PVP 手术能够提高穿刺精确度、减少术中辐射量,具有明显应用价值。

本研究表明,Mazor 脊柱机器人辅助改良 PVP 手术组,骨水泥弥散更加均匀,能够充分填充骨折裂隙,咬合断裂的骨小梁,形成骨水泥与骨折线界面的嵌合,承担椎体轴向应力,更好恢复椎体刚度,平衡应力,减少椎体不对称负荷。另外,利用手术机器人自动匹配、精准操作的工作理念,可采用 Mazor 脊柱手术机器人辅助进行椎体强化术的椎弓根外上穿刺。术前采用精准规划软件,分析患者后腹膜、重要脏器及出口神经根位置,规划患者穿刺路径的安全范围,并且在安全范围之内,规划最佳穿刺路径,成功避免后腹膜、重要脏器及出口神经根损伤,实现工作通道精准、安全置入,大大降低患者创伤和手术风险,使患者更容易耐受手术。Mazor 脊柱机器人因其高度准确性及安全性,已经开始应用于脊柱的内固定置入中。Devito 等采用 Mazor 脊柱机器人辅助治疗 120 例青少年脊柱侧凸患者,总共置入 1815 枚螺钉,临床优良率高达 99.7%,同时采用该技术能够明显降低术中置钉时间及手术时间^[15]。Kantelhardt 等对比分析 Mazor 脊柱机器人辅助置钉与徒手置钉疗效,Mazor 脊柱机器人辅助组能够明显提高置入物精度,术中辐射减少 56%,并发症发生率减少 48%,重复手术减少 46%,平均住院时间减少 27%^[16]。Barzilay 等连续纳入 33 例 OVCF 患者,总共 60 处椎体压缩性骨折,采用 Mazor 脊柱机器人辅助椎体强化手术,能够明显减少术中射线辐射,与 X 射

线成像导航相比,Mazor 机器人技术可减少辐射暴露 74%;与导航技术相比,可减少 50%^[17]。本研究我们发现在 Mazor 脊柱机器人辅助椎体强化组,术中射线辐射量减少 60.68%,成功避免了术中反复透视,术者工作负荷减轻。近年来,脊柱机器人手术不断增加,其适应证也不断扩展,首先脊柱机器人主要功能是辅助定位及内置物置入,因此,机器人适用于胸腰椎骨折、胸腰椎退变性疾病、脊柱畸形、脊柱肿瘤穿刺活检、骨质疏松性骨折,尤其陈旧性骨质疏松性骨折;其次,所有涉及经椎弓根螺钉技术的外科手术方式均可适用机器人,机器人可以辅助目前常用的各种脊柱微创手术椎弓根螺钉内固定,比如:OLIF、DLIF、Mis-TLIF 及 Endo-LIF 等;另外,脊柱机器人可以辅助 CBT 螺钉固定,适用于邻近节段退变性疾病、骨质疏松、肿瘤等导致的骨质破坏,增加固定强度。

尽管 Mazor 机器人在脊柱穿刺内固定手术中得到广泛应用,并且取得了良好临床效果,但是该技术目前还存在各种不足:(1)目前 Mazor 脊柱机器人体积大、价格昂贵,机械臂操作及智能导航系统缺乏。(2)术中需要置入棘突钉,连接机器人轨道固定架,利用三维定位装置透视,完成术中影像资料与术前 CT 资料匹配与注册,使得术中操作复杂,增加手术时间。因此,在本研究中 Mazor 脊柱机器人辅助改良 PVP 组,总体手术时间高于徒手椎弓根入路 PVP 组;另外棘突钉的置入,增加了患者手术风险及手术切口数,可造成附加损伤。理论上,随手术者操作经验增加,棘突钉置入的风险与手术时间均会明显下降,这将在我们下一步的大样本病例中进一步研究。(3)术中机器人轨道固定架位置移动,使得术中匹配困难,易导致手术失败。(4)因胸椎椎弓根旁有肋骨、肋横突、肋椎关节及肺脏,在术前规划过程中,有时难以避开肋骨、肋横突、肋椎关节及肺脏阻断,术中外引导套筒无法置入,甚至造成肺部损伤,导致机器人辅助椎体强化术在胸椎骨折中应用受到限制。目前亟需开发新型脊柱手术机器人及研制相关微创器械,进一步提高手术效率及安全性,便于微创椎体成形术推广,改善 OVCF 治疗效果,减轻患者及社会负担。

4 参考文献

1. Si L, Winzenberg TM, Jiang Q, et al. Projection of osteoporosis

- sis-related fractures and costs in China: 2010–2050[J]. *Osteoporos Int*, 2015, 26(7): 1929–1937.
2. Klazen CA, Lohle PN, de Vries J, et al. Vertebroplasty versus conservative treatment in acute osteoporotic vertebral compression fractures (Vertos II): an open-label randomised trial[J]. *Lancet*, 2010, 376(9746): 1085–1092.
3. Harrison Farber S, Nayar G, Desai R, et al. Radiation exposure to the surgeon during minimally invasive spine procedures is directly estimated by patient dose [J]. *Eur Spine J*, 2018, 27(8): 1911–1917.
4. 谢辉, 陈浩鹏, 王本杰, 等. 骨水泥弥散分布类型对不同部位骨质疏松性椎体压缩骨折治疗效果的影响[J]. *中国组织工程研究*, 2020, 24(28): 4505–4510.
5. Edidin AA, Ong KL, Lau E, et al. Morbidity and mortality after vertebral fractures: comparison of vertebral augmentation and nonoperative management in the medicare population [J]. *Spine*, 2015, 40(15): 1228–1241.
6. Mattie R, Laimi K, Yu S, et al. Comparing percutaneous vertebroplasty and conservative therapy for treating osteoporotic compression fractures in the thoracic and lumbar spine: a systematic review and Meta-analysis[J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2016, 98(12): 1041–1051.
7. Yang H, Liu H, Wang S, et al. Review of percutaneous kyphoplasty in China[J]. *Spine*, 2016, 41(Suppl 19): B52–B58.
8. Garfin SR, Yuan HA, Reiley MA. New technologies in spine: kyphoplasty and vertebroplasty for the treatment of painful osteoporotic compression fractures[J]. *Spine*, 2001, 26(14): 1511–1515.
9. Loisel F, Menu G, Boyer E, et al. Radiation exposure and the orthopedic surgeon's hand: measurement of the equivalent dose over 13 months[J]. *Hand Surg Rehabil*, 2017, 36(2): 97–101.
10. Mroz TE, Abdullah KG, Steinmetz MP, et al. Radiation exposure to the surgeon during percutaneous pedicle screw placement[J]. *J Spinal Disord Tech*, 2011, 24(4): 264–267.
11. Lavallée S, Sautot P, Troccaz J, et al. Computer-assisted spine surgery: a technique for accurate transpedicular screw fixation using CT data and a 3-D optical localizer[J]. *J Image Guid Surg*, 1995, 1(1): 65–73.
12. Shoham M, Lieberman IH, Benzel EC, et al. Robotic assisted spinal surgery—from concept to clinical practice [J]. *Computer Aided Surgery*, 2007, 12(2): 105–115.
13. Ringel F, Stürer C, Reinke A, et al. Accuracy of Robot-assisted placement of lumbar and sacral pedicle screws [J]. *Spine*, 2012, 37(8): 496–501.
14. Hu X, Ohnmeiss DD, Lieberman IH. Robotic-assisted pedicle screw placement: lessons learned from the first 102 patients[J]. *Eur Spine J*, 2013, 22(3): 661–666.
15. Devito DP, Gaskill T, Erikson M, et al. Robotic based guidance for pedicle screw instrumentation of the scoliotic spine [M]. *Pediatric Society of North America (POSNA)*. Montreal: 2011.
16. Kantelhardt SR, Martinez R, Baerwinkel S, et al. Perioperative course and accuracy of screw positioning in conventional, open robotic-guided and percutaneous robotic-guided, pedicle screw placement[J]. *Eur Spine J*, 2011, 20(6): 860–868.
17. Barzilay Y, Schroeder JE, Hiller N, et al. Robot-assisted vertebral body augmentation: a radiation reduction tool [J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2014, 39(2): 153–157.
- (收稿日期:2021-03-13 末次修回日期:2021-08-05)
(英文编审 谭 啸)
(本文编辑 彭向峰)