

机器人辅助下骨水泥强化椎弓根螺钉固定治疗 II-III 期 Kümmell 病

张建乔, 周晓, 陆惠根, 陈宝, 俞叶锋, 胡旭琪, 胡民结, 潘学康
(嘉兴市第二医院脊柱外科, 浙江 嘉兴 314000)

【摘要】 目的: 评估机器人辅助下经皮短节段骨水泥强化椎弓根螺钉固定治疗 II-III 期 Kümmell 病的早期临床疗效。方法: 回顾性分析 2017 年 6 月至 2021 年 1 月采用机器人辅助下经皮短节段骨水泥强化椎弓根螺钉固定治疗的 20 例 II-III 期 Kümmell 病的临床资料, 男 4 例, 女 16 例; 年龄 60~81 (69.1±8.3) 岁; II 期 9 例, III 期 11 例, 均为单椎体病变; T₁₁ 3 例, T₁₂ 5 例, L₁ 8 例, L₂ 3 例, L₃ 1 例; 均无脊髓神经损伤症状。记录手术时间、术中出血量、并发症, 根据术后 CT 二维重建观察椎弓根螺钉的位置及裂隙内骨水泥填充、渗漏情况。并对术前、术后 1 周、末次随访 3 个时间点的腰背痛视觉模拟评分 (visual analogue scale, VAS), Oswestry 功能障碍指数 (Oswestry disability index, ODI) 及侧位 X 线片的后凸 Cobb 角、病椎楔形角、椎体前后缘高度等数据进行统计分析。结果: 20 例患者均获随访, 时间 10~26 (16.0±5.1) 个月。所有手术顺利完成, 手术时间 98~160 (122±24) min, 术中出血量 25~95 (45±20) ml, 术中无血管神经损伤。共置入螺钉 120 枚, 按照 Gertzbein-Robbins 标准评定螺钉置入情况, A 级 111 枚, B 级 9 枚。术后 CT 提示椎体内裂隙骨水泥填充良好, 4 例患者椎体骨水泥渗漏。术前 VAS、ODI 分别为 (6.05±0.18) 分、(71.10±5.37)%, 术后 1 周为 (2.05±0.14) 分、(18.57±2.77)%, 末次随访为 (1.35±0.11) 分、(15.71±2.12)%, 术后 1 周与术前比较、末次随访与术后 1 周比较, 差异均有统计学意义 ($P<0.01$)。术前病椎椎体前后缘高度、后凸 Cobb 角、病椎楔形角分别为 (45.07±1.06)%、(82.02±2.11)%、(19.49±0.77)°、(17.56±0.94)°, 术后 1 周为 (77.00±0.99)%、(83.04±2.02)%、(7.34±0.56)°、(6.15±0.52)°, 末次随访为 (75.13±0.86)%、(82.39±0.45)%、(8.38±0.63)°、(7.09±0.59)°; 术后 1 周病椎椎体前缘高度、后凸 Cobb 角、病椎楔形角与术前比较, 差异有统计学意义 ($P<0.01$); 末次随访与术后 1 周比较, 差异均无统计学意义 ($P>0.05$); 椎体后缘高度术后 1 周与术前、末次随访比较, 差异均无统计学意义 ($P>0.05$)。4 例术后出现谵妄, 经对症处理后好转; 1 例术后 2 个月出现远端椎弓根螺钉断裂, 术后 8 个月病椎骨水泥团块碎裂移位, 后凸畸形加重, 行翻修手术治疗。结论: 采用机器人辅助下经皮短节段骨水泥强化椎弓根螺钉固定治疗 II-III 期 Kümmell 病早期疗效满意, 是一种可供选择的微创手术方式, 但手术时间较长, 需严格把握手术适应证, 远期疗效仍需进一步研究。

【关键词】 Kümmell 病; 骨质疏松; 机器人手术

中图分类号: R683.2

DOI: 10.12200/j.issn.1003-0034.2023.05.014

开放科学 (资源服务) 标识码 (OSID):



Treatment of stage II-III Kümmell disease with robot-assisted bone cement-augmented pedicle screw fixation

ZHANG Jian-qiao, ZHOU Xiao, LU Hui-gen, CHEN Bao, YU Ye-feng, HU Xu-qi, HU Min-jie, PAN Xue-kang (Department of Spinal Surgery, the Second Hospital of Jiaxing, Jiaxing 314000, Zhejiang, China)

ABSTRACT Objective To evaluate the early clinical efficacy of robot-assisted percutaneous short-segment bone cement-augmented pedicle screw fixation in the treatment of stage II-III Kümmell disease. **Methods** The clinical data of 20 patients with stage II-III Kümmell's disease who underwent robot-assisted percutaneous bone cement-augmented pedicle screw fixation between June 2017 and January 2021 were retrospectively analyzed. There were 4 males and 16 females, aged from 60 to 81 years old with an average age of (69.1±8.3) years. There were 9 cases of stage II and 11 cases of stage III, all of which were single vertebral lesions, including 3 cases of T₁₁, 5 cases of T₁₂, 8 cases of L₁, 3 cases of L₂ and 1 case of L₃. These patients did not exhibit symptoms of spinal cord injury. The operation time, intraoperative blood loss, and complications were recorded. The position of pedicle screws and the filling and leakage of bone cement in gaps were observed using postoperative CT 2D reconstruction. The data of the visual analogue scale (VAS), Oswestry disability index (ODI), kyphosis Cobb angle, wedge angle of the diseased vertebra, and anterior and posterior vertebral height on lateral radiographs were statistically analyzed preopera-

基金项目: 浙江省医药卫生科研项目 (编号: 2021KY1114)

Fund program: Medical and Health Science Platform Project of Zhejiang Province (No.2021KY1114)

通讯作者: 周晓 E-mail: zhou_master@126.com

Corresponding author: ZHOU Xiao E-mail: zhou_master@126.com

tively, 1 week postoperatively, and at the final follow-up. **Results** Twenty patients were followed up for 10 to 26 months, with an average follow-up of (16.0±5.1) months. All operations were successfully completed. The surgical duration ranged from 98 to 160 minutes, with an average of (122±24) minutes. The intraoperative blood loss ranged from 25 to 95 ml, with an average of (45±20) ml. There were no intraoperative vascular nerve injuries. A total of 120 screws were inserted in this group, including 111 screws at grade A and 9 screws at grade B according to the Gertzbein and Robbins scales. Postoperative CT indicated that the bone cement was well-filled in the diseased vertebra, and cement leakage occurred in 4 cases. Preoperative VAS and ODI were (6.05±0.18) points and (71.10±5.37)%, respectively, (2.05±0.14) points and (18.57±2.77)% at 1 week after operation, and (1.35±0.11) points and (15.71±2.12)% at final follow-up. There were significant differences between postoperative 1 week and preoperative, and between final follow-up and postoperative 1 week ($P<0.01$). Anterior and posterior vertebral height, kyphosis Cobb angle, and wedge angle of the diseased vertebra were (45.07±1.06)%, (82.02±2.11)%, (19.49±0.77)°, and (17.56±0.94)° preoperatively, respectively, (77.00±0.99)%, (83.04±2.02)%, (7.34±0.56)°, and (6.15±0.52)° at 1 week postoperatively, and (75.13±0.86)%, (82.39±0.45)%, (8.38±0.63)°, and (7.09±0.59)° at the final follow-up. **Conclusion** Robot-assisted percutaneous short-segment bone cement-augmented pedicle screw fixation demonstrates satisfactory short-term efficacy in treating stage II-III Kümmell's disease as an effective minimally invasive alternative. However, longer operation times and strict patient selection criteria are necessary, and long-term follow-up is required to determine its lasting effectiveness.

KEYWORDS Kümmell disease; Osteoporosis; Surgery robot

由于 Kümmell 病多为老年患者,常合并多种内科疾病,开放截骨矫形等手术存在创伤大、对患者体质要求高等不足,微创技术显然更适合此类患者。目前常用的微创技术有经皮椎体后凸成形术(percutaneous kyphoplasty, PKP)和经皮椎体成形术(percutaneous vertebroplasty, PVP),但这类手术存在椎体高度恢复不满意、骨水泥渗漏、术后椎体高度及脊柱矫正度丢失^[1-2]、增加邻近椎体骨折风险^[3]、骨水泥不能很好地与宿主骨相融导致骨水泥移位甚至脱出^[4-5]等不足。因此,有学者^[6-8]采用 PVP/PKP 联合椎弓根螺钉固定、骨水泥强化螺钉固定等治疗方法,以增加其稳定性,但其多为开放手术置钉。随着人工智能的发展,骨科机器人逐渐应用于临床,特别是脊柱外科机器人辅助下经皮胸腰椎椎弓根螺钉置钉具有微创化、精准性等优势^[9-11],但在 Kümmell 病中的应用尚无相关报道。本院 2017 年 6 月至 2021 年 1 月采用机器人辅助下经皮短节段骨水泥强化椎弓根螺钉固定治疗 II-III 期 Kümmell 病^[12]20 例,回顾性分析 20 例资料,目的在于探讨经皮短节段骨水泥强化椎弓根螺钉固定治疗 II-III 期 Kümmell 病的早期临床疗效,评价机器人辅助下在 II-III 期 Kümmell 病患者中置钉的优势及不足。

1 资料与方法

1.1 病例选择

1.1.1 入选标准 (1)顽固性腰背痛,改变体位时疼痛加重,经抗骨质疏松及非甾体抗炎药物治疗 2 周无效。(2)脊柱胸腰段正侧位 X 线片示椎体前缘塌陷超过 20%,局部后凸畸形, MRI 检查和(或)CT 二维重建提示椎体内存在局限液体充填征或真空征,椎体内存在裂隙,椎体后壁破裂部分突入椎管,

符合 II-III 期 Kümmell 病^[12]的诊断标准。(3)压痛及叩击痛部位与影像学检查的病椎部位一致。

1.1.2 排除标准 有严重心肺功能及凝血功能障碍患者;伴有脊髓和(或)神经根受压症状而需椎管减压者;伴有其他椎体新鲜压缩性骨折;影像学或实验室检查提示存在恶性肿瘤或感染者。

1.2 一般资料

本组 20 例,男 4 例,女 16 例;年龄 60~81 (69.1±8.3)岁;符合 Kümmell 病^[12] II 期 9 例, III 期 11 例,均为单椎体病变; T₁₁ 3 例, T₁₂ 5 例, L₁ 8 例, L₂ 3 例, L₃ 1 例; 4 例有轻微外伤史, 16 例无明显外伤史; 均存在骨质疏松, 采用美国 Hologic 骨密度仪双能 X 线吸收法测定腰椎骨密度, T 值 < -3.1SD; 合并高血压病 18 例, II 型糖尿病 13 例, 慢性支气管炎 6 例, 类风湿性关节炎 2 例。病椎非相邻椎体陈旧性骨折 5 例, 伴有脊柱旋转侧弯 3 例。

1.3 治疗方法

1.3.1 手术方法 采用气管插管全身麻醉,患者俯卧于专用的机器人手术床上,胸部及骨盆垫高,腹部悬空,使脊柱胸腰段处于过伸位,术者用手掌按压患椎棘突区域,使患椎获得一定程度的复位。再用宽胶布固定患者于手术床上,然后常规消毒、铺巾。采用北京天智航医疗科技股份有限公司生产的天玑系统进行机器人辅助手术。将示踪器固定于病椎头侧第 3 节段棘突末端。用无菌保护套保护机器人机械臂,安装机器人示踪器和定位标尺。O 臂机扫描,获取病椎及上下各 1 个椎体的图像,并将图像传输至机器人工作平台。根据病椎及上下椎体的椎弓根形态、病椎裂隙的位置规划手术路径,确定椎弓根螺钉的直径、长短和方向。机器人机械臂根据实时导航自动定

位至椎弓根螺钉入点处。术者于皮肤入点位置做横行切口,切开深筋膜后钝性分离椎旁肌至骨面。插入导向套筒,确保套筒末端与骨面接触,沿套筒用高速电钻缓慢置入导针共计 6 枚。透视确认导针位置后,沿导针依次置入空心椎弓根螺钉(由三友医疗器械有限公司提供的骨水泥强化椎弓根螺钉),拔出导针后连接骨水泥推杆接口,调制并在 O 臂机监视下注入骨水泥,待骨水泥硬化后安装双侧连棒,拧紧螺母,冲洗并缝合伤口。本组手术均有同一医生团队完成。

1.3.2 术后处理 术后使用抗生素 24 h,卧床休息 24 h 后胸腰椎支具保护下地活动,术后 3 周开始腰背肌锻炼,抗骨质疏松治疗。

1.4 观察项目与方法

1.4.1 一般情况观察 记录手术时间、术中出血量、并发症,术后每 2~3 个月门诊随访。

1.4.2 临床疗效评估 分别采用视觉模拟评分(visual analogue scale, VAS)^[13]和 Oswestry 功能障碍指数^[14](Oswestry disability index, ODI)对患者腰痛和腰椎功能进行评估,对术前、术后 1 周、末次随访 3 个时间点进行各项量表评分并建档。

1.4.3 影像学评价 术前均行胸腰椎正侧位 X 线、CT 二维重建、MRI 检查;术后 1 周复查胸腰椎正侧位 X 线及 CT 二维重建,每次门诊随访行胸腰椎正侧位 X 线检查。(1)骨水泥填充及椎弓根螺钉位置的观察:根据术后 1 周胸腰椎 CT 二维重建评估椎骨水泥填充及渗漏情况,并对骨水泥渗漏分型^[15]。按照 Gertzbein-Robbins 量表^[16]对椎弓根螺钉位置进行分级:A 级,螺钉完全位于椎弓根内;B 级,椎弓根皮质侵犯 $<2\text{ mm}$;C 级,椎弓根皮质侵犯 $<4\text{ mm}$;D 级,椎弓根皮质侵犯 $<6\text{ mm}$;E 级,椎弓根皮质侵犯 $\geq 6\text{ mm}$ 。A 级螺钉为置钉优秀;A+B 级螺钉位置是临床上可接受的螺钉位置,为置钉优良。根据末次随访与术后 1 周胸腰椎 X 线观察内固定与骨水泥团块的位置变化情况。(2)胸腰椎后凸畸形和病椎椎体高度观察:测量胸腰椎侧位 X 线片术前、术后 1 周及末次随访时病椎后凸 Cobb 角(病椎上位椎体上终板延长线与下位椎体下终板延长线的交角),病椎楔形角(病椎上终板延长线与病椎下终板延长线的交角)及椎体前后缘高度。为排除放大率的影响,所得椎体高度的结果除以邻近上下椎体相应高度的平均值进行标准化(对邻近椎体陈旧性骨折者,取病椎上下第 2 椎体高度的平均值),结果以百分数表示。所有的影像数据采用明天医网科技有限公司提供的临床影像服务系统进行实时测量。

1.5 统计学处理

采用 SPSS 21.0 软件包进行统计学处理,定量资

料均符合正态分布,采用均数 \pm 标准差($\bar{x}\pm s$)表示。病椎楔形角、椎体前后缘高度的比较采用重复测量的方差分析;定性资料比较采用卡方检验。以 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 一般情况观察结果

20 例均安全完成手术并获得随访,时间 10~26 (16.0 \pm 5.1)个月。手术时间 98~160(122 \pm 24) min,术中出血量 25~95(45 \pm 20) ml。手术切口均 I 期愈合,术中无脊髓神经根、血管损伤,术后 4 例出现谵妄,经对症处理后 3 d 内均恢复。

2.2 临床疗效评估结果

手术前后不同时间 VAS 及 ODI 评定结果见表 1,术后 1 周 VAS、ODI 较术前明显改善($P<0.01$),末次随访较术后 1 周获得进一步改善($P<0.01$)。

表 1 Kummell 病 20 例患者手术前后 VAS 和 ODI 比较 ($\bar{x}\pm s$)

Tab.1 Comparison of VAS and ODI of 20 patients with Kummell's disease before and after operation ($\bar{x}\pm s$)

时间	VAS/分	ODI/%
术前	6.05 \pm 0.18	71.10 \pm 5.37
术后 1 周	2.05 \pm 0.14 ^{a1}	18.57 \pm 2.77 ^{b1}
末次随访	1.35 \pm 0.11 ^{a2}	15.71 \pm 2.12 ^{b2}
F 值	78.263	152.275
P 值	<0.05	<0.05

注:与术前比较,^{a1} $t=17.48, P<0.05$; ^{b1} $t=38.91, P<0.05$ 。 ^{a1}与 ^{a2}比较, $t=4.204, P<0.05$; ^{b1}与 ^{b2}比较, $t=3.662, P<0.05$

2.3 影像学评价结果

所有病例病椎内裂隙骨水泥填充良好,病椎骨水泥渗漏 4 例(20.0%),其中 I 型椎体周围渗漏 3 例,随访期间未见临床症状;IV 型椎间盘内渗漏 1 例,术后 2 个月出现远端椎弓根螺钉断裂,术后 8 个月病椎骨水泥团块碎裂移位,腰背痛、后凸畸形加重,行后路翻修长节段骨水泥强化螺钉固定加前中柱重建术,其余 19 例随访期间未见骨水泥移位、内固定松动移位征象。病椎上下强化螺钉的骨水泥未见渗漏现象;共置入螺钉 120 枚,A 级 111 枚,B 级 9 枚,优秀率 92.5%。手术前后后凸 Cobb 角、病椎楔形角及椎体前后缘高度的变化见表 2,由表 2 可见术后 1 周后凸 Cobb 角、病椎楔形角、椎体前缘高度与术前比较差异均有统计学意义($P<0.01$),与末次随访比较差异均无统计学意义($P>0.05$);椎体后缘高度术后 1 周与术前及末次随访比较差异均无统计学意义($P>0.05$)。典型病例影像学资料见图 1。

表 2 Kümmell 病 20 例患者手术前后的影像学测量结果比较($\bar{x}\pm s$)

Tab.2 Comparison of imaging data of 20 patients with Kümmell's disease before and after operation($\bar{x}\pm s$)

时间	Cobb 角/ $^{\circ}$	楔形角/ $^{\circ}$	椎体前缘高度/%	椎体后缘高度/%
术前	19.49 \pm 0.77	17.56 \pm 0.94	45.07 \pm 1.06	82.02 \pm 2.11
术后 1 周	7.34 \pm 0.56 ^{a1}	6.15 \pm 0.52 ^{b1}	77.00 \pm 0.99 ^{c1}	83.04 \pm 2.02 ^{d1}
末次随访	8.38 \pm 0.63 ^{a2}	7.09 \pm 0.59 ^{b2}	75.13 \pm 0.86 ^{c2}	82.39 \pm 0.45 ^{d2}
F 值	54.536	42.759	67.964	1.451
P 值	<0.05	<0.05	<0.05	>0.05

注：与术前比较，^{a1} $t=12.74, P<0.05$ ；^{b1} $t=10.64, P<0.05$ ；^{c1} $t=22.08, P<0.05$ ；^{d1} $t=1.753, P>0.05$ 。^{a1}与^{a2}比较， $t=1.237, P>0.05$ ；^{b1}与^{b2}比较， $t=1.194, P>0.05$ ；^{c1}与^{c2}比较， $t=1.426, P>0.05$ ；^{d1}与^{d2}比较， $t=1.026, P>0.05$

3 讨论

3.1 II-III 期 Kümmell 病传统治疗方法的不足

Kümmell 病是一种发生于老年骨质疏松患者的特殊类型的胸腰椎压缩性骨折。LI 等^[12]根据临床表现、正侧位 X 线片及 MRI 表现将 Kümmell 病分为 I-III 期。近年来随着国内人口老龄化及影像技术的提高,其发病率呈逐年升高的趋势。由于 Kümmell 病保守治疗效果不佳,尤其是对于伴有椎体内动态不稳且椎体严重塌陷的 II-III 期患者更倾向于外科干预^[17]。手术目的是消除椎体内不稳,恢复椎体高度、纠正后凸畸形以解除疼痛、改善功能。目前主要的开放术式有前路、后路甚至前后联合入路行截骨矫形、植骨融合、椎管减压术等,但 II-III 期 Kümmell 病患者多为老年甚至高龄患者,多伴有心肺及内分泌等基础疾病,对这类创伤大的开放术式手术耐受性较差。因此一些学者采用经皮椎体强化(PVP、PKP)等微创术式^[18-19],但经皮椎体强化存在椎体高度复位不佳、骨水泥渗漏率高、病椎椎体再骨折^[1-2]、邻近椎体骨折^[3]、骨水泥团块移位甚至脱出^[4-5]等并发症。CHEN 等^[7]采用后路正中切口,在病椎上下椎体 4 枚椎弓根螺钉固定后再行病椎椎体强化术治疗 II-III 期 Kümmell 病 23 例,取得满意疗效。但这类联合手术需要在开放安装椎弓根螺钉的基础上再行椎体成形术,操作过程相对繁琐、创伤较大。HUANG 等^[20]采用经病椎骨水泥强化的 6 枚椎弓根螺钉固定治疗 Kümmell 病 18 例,疗效满意,安全性高,但其同样采用开放术式。

3.2 经皮短节段骨水泥强化螺钉固定治疗 II-III 期 Kümmell 病的优势

经皮微创置钉,仅需钝性分离椎旁肌,无须剥离

多裂肌的支点,可减少术中出血量,本组平均仅为 45 ml,并且可减少多裂肌的脂肪和及失神经作用,有利于老年患者快速康复,术后 24 h 后即可在支具保护下下地行走。全麻下手术,使椎旁肌松弛,再利用过伸体位及手法按压的力量,利用前纵韧带的张力恢复病椎前缘高度。本组病例的病椎前缘高度由术前的(45.07 \pm 1.06)%提高到术后的(77.00 \pm 0.99)%,说明病椎椎体前缘高度恢复较理想。而椎弓根螺钉系统仅起固定作用,术中未采用轴向撑开复位,因此本组病例椎体后缘高度在术前、术后 1 周末见明显变化,而后凸 Cobb 角由术前的(19.49 \pm 0.77) $^{\circ}$ 降低到术后的(7.34 \pm 0.56) $^{\circ}$,病椎楔形角由术前的(17.56 \pm 0.94) $^{\circ}$ 降低到术后的(6.15 \pm 0.52) $^{\circ}$,本术式利用恢复病椎椎体前缘高度,而椎体后缘高度变化不大的特点,很好地纠正了后凸畸形。生物力学及临床研究表明^[21-22],经病椎固定的 6 枚椎弓根螺钉固定较非经病椎固定的 4 枚椎弓根螺钉固定可增强悬臂梁效应,避免“平行四边形效应”,有助于椎体高度及矫形效果的维持。而且本组病例在病椎置入空心椎弓根螺钉固定的过程相当于建立了经皮椎体成形的推注骨水泥的通道,通过空心椎弓根螺钉直接灌注骨水泥,与椎体成形联合椎弓根螺钉固定相比简化了手术过程,并且螺钉远端 1 cm 处存在侧孔,因此凝固的骨水泥团块填充病椎裂隙,并且与螺钉及连接棒一体化固定,可避免骨水泥移位甚至脱出。裂隙内骨水泥团块支撑病椎上下终板,为前中柱结构提供有力的支撑,再通过 6 枚骨水泥强化螺钉固定可使复位的病椎达到即刻的三柱稳定,维持椎体高度。本组末次随访病椎前缘高度、后凸 Cobb 角及病椎楔形角与术后 1 周比较差异均无统计学意义($P<0.01$),说明骨水泥强化的经病椎固定的短节段椎弓根螺钉固定可获得较好的稳定性,从而减轻疼痛,改善脊柱功能。本组病例术后腰背痛 VAS、腰椎功能 ODI 分别由术前的(6.05 \pm 0.18)分、(71.10 \pm 5.37)%改善到术后 1 周的(2.05 \pm 0.14)分、(18.57 \pm 2.77)%,末次随访的(1.35 \pm 0.11)分、(15.71 \pm 2.12)%,说明本术式临床疗效满意。

3.3 机器人辅助置钉的优势

人工智能(artificial intelligence, AI)是一种用于模拟和延展人类智能的理论、方法、技术及应用的工程科学,随着大数据和云计算等技术的迅速发展, AI 技术迎来跨越式发展,已经深入到人类生活领域的各个方面。而脊柱外科机器人的应用,为脊柱手术的精细化、微创化提供了有力的帮助。传统的透视引导下经皮椎弓根螺钉置入术,仅能提供二维影像,而 Kümmell 病伴有严重的骨质疏松,术中部分椎弓根

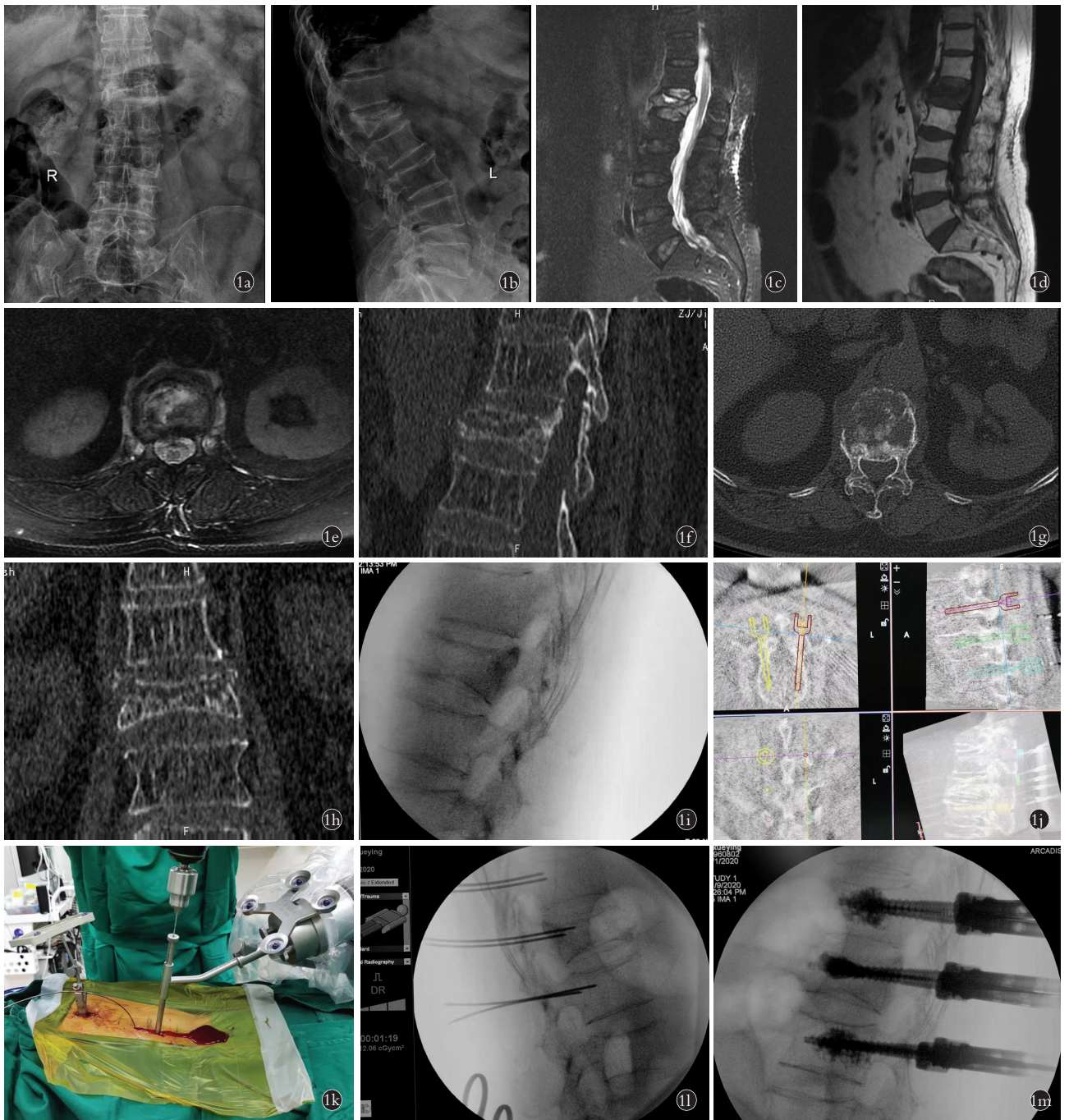


图 1 患者,女,73岁, L_1 椎体 Kümmell 病Ⅲ期,采用机器人辅助下经皮短节段骨水泥强化椎弓根螺钉固定术 **1a,1b**. 术前腰椎正侧位 X 线片示 L_1 椎体塌陷,后凸畸形 **1c,1d**. 术前 MRI 示 L_1 椎体塌陷,椎体内“裂隙征”形成,椎体后壁破裂,硬膜囊受压 **1e,1f,1g,1h**. 术前 CT 二维重建示 L_1 椎体骨质疏松性骨折,椎体内骨质吸收,椎体前后壁破裂,椎管后壁部分突入椎管内 **1i**. 术中 O 臂机透视侧位片示体位复位加手法复位后病椎椎体前缘高度明显恢复,后凸畸形纠正 **1j**. 术中 O 臂机扫描后机器人规划螺钉规格 **1k**. 术中机器人机械臂实时导航后置入导丝 **1l**. 术中 O 臂机透视侧位片示导丝位置良好 **1m**. 术中 O 臂机透视侧位片示椎弓根螺钉位置良好,骨水泥填充满意

Fig.1 A 73-year-old female patient with stage III Kümmell's disease on L_1 underwent robot-assisted percutaneous short-segment bone cement-augmented pedicle screw fixation **1a,1b**. Preoperative AP and lateral X-ray films showed L_1 vertebral collapse and kyphosis **1c,1d**. Preoperative MRI showed collapse of L_1 vertebral body, formation of intravertebral vacuum sign, rupture of posterior wall of vertebral body, compression of dural sac **1e,1f,1g,1h**. Preoperative 2D CT reconstruction showed an osteoporotic fracture of L_1 vertebral body, bone absorption in the vertebral body, rupture of anterior and posterior vertebral walls, and protrusion of the posterior wall of the spinal canal **1i**. Intraoperative, O-arm fluoroscopic lateral radiographs showed the height of anterior margin of the affected vertebra was significantly recovered after posture reduction and manual reduction, and the kyphosis was corrected **1j**. Intraoperative, screw size of robot planning after O-arm scanning **1k**. Intraoperative, the guide wire was inserted after real-time navigation by robot manipulator **1l**. Intraoperative O-arm fluoroscopic lateral radiographs showed that the guide wire was on good position **1m**. Intraoperative O-arm fluoroscopic lateral radiographs showed position of pedicle screw was good and distribution of bone cement was satisfactory

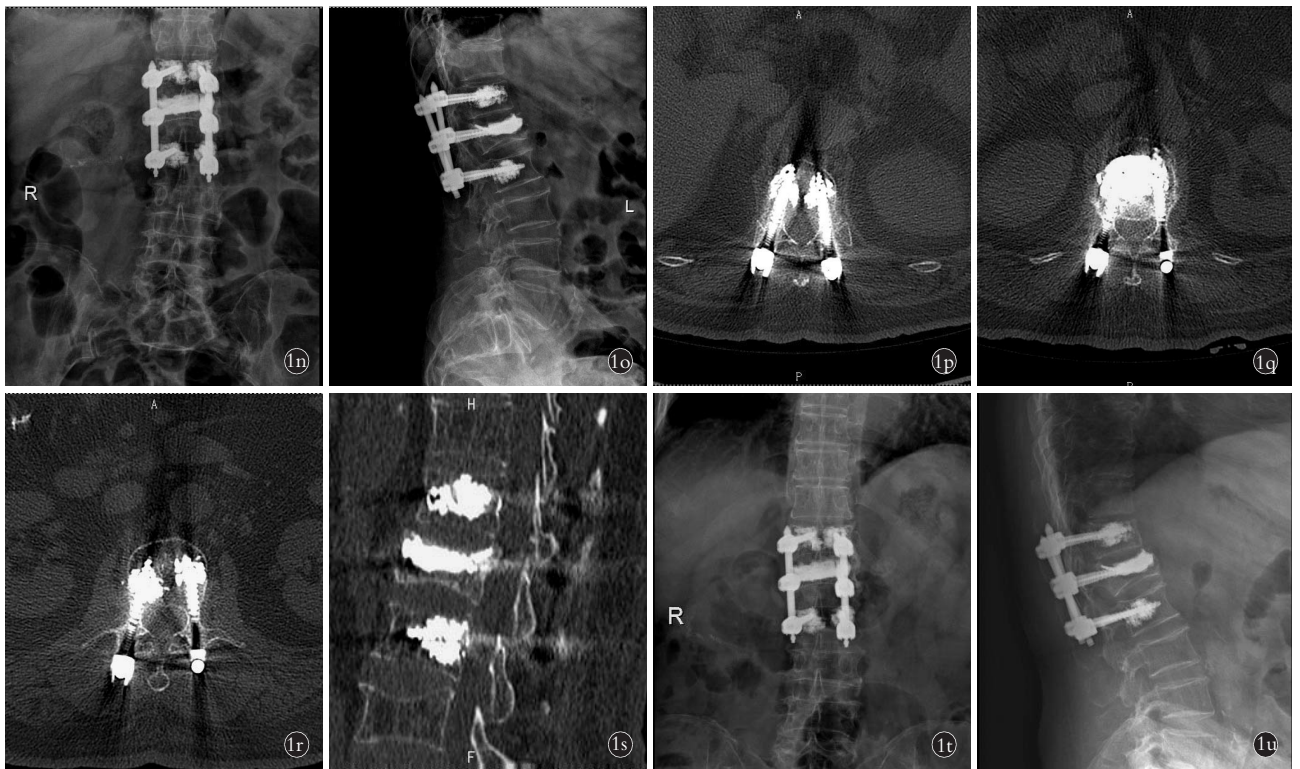


图 1 患者,女,73 岁, L_1 椎体 Kümmell 病 III 期,采用机器人辅助下经皮短节段骨水泥强化椎弓根螺钉固定术 **1n,1o**。术后 1 周腰椎正侧位 X 线片示椎体前缘高度明显恢复,后凸畸形纠正,骨水泥填充良好,内固定位置良好 **1p,1q,1r,1s**。术后 1 周 CT 二维重建示椎弓根螺钉位置均达 A 级, L_1 椎体前缘高度明显恢复,骨水泥填充良好,未见骨水泥渗漏 **1t,1u**。术后 12 个月腰椎正侧位 X 线片示内固定位置良好,未见骨水泥团块移位,椎体前缘高度及病椎楔形角较术后 1 周无明显丢失

Fig.1 A 73-year-old female patient with stage III Kümmell's disease on L_1 underwent robot-assisted percutaneous short-segment bone cement-augmented pedicle screw fixation **1n,1o**. One week after operation, AP and lateral X-ray films showed significant recovery of anterior edge height, correction of kyphosis, good bone cement filling, and good internal fixation position **1p,1q,1r,1s**. Postoperative 2D CT reconstruction showed all the pedicle screw positions were grade A, the anterior height of L_1 vertebral body was significantly recovered, and bone cement was well filled without bone cement leakage **1t,1u**. At 12 months after operation, AP and lateral X-ray films showed good internal fixation position, no displacement of bone cement mass, and no significant loss of anterior edge height and wedge angle of the affected vertebra compared with 1 week after surgery

影常常显示不清,特别是对于伴有椎体旋转侧弯的患者,传统透视下经皮精确置钉尤为困难,而对于需要骨水泥强化的椎弓根螺钉,若螺钉位置不佳,必然导致骨水泥推注过程中出现骨水泥渗漏现象,以致于达不到骨水泥强化的作用,甚至会导致骨水泥渗漏入椎管压迫脊髓神经等严重并发症。目前采用机器人辅助下经皮微创骨水泥强化椎弓根螺钉固定治疗 Kümmell 病的相关文献较少。我院采用的天玑骨科机器人是由北京积水潭医院和北京天智航医疗科技股份有限公司联合开发的通用型骨科机器人,已被应用于骨科各类手术,尤其在脊柱置钉的精准度处于国际领先地位。范明星等^[23]采用天玑机器人辅助(robot assisted, RA)经皮治疗 32 例胸腰椎骨折,术后 CT 显示螺钉置入位置均可接收(A+B 级),与术中规划设计位置偏差 0.4~2.1 mm,平均 1.16 mm,未出现术中、术后并发症。茅剑平等^[24]研究发现天玑 RA 胸腰椎骨折经皮椎弓根螺钉位置优秀(A 级)率达

到 98.2%,远高于徒手(free hand, FH)的 89.0%。林书等^[25]研究发现,天玑 RA 较透视辅助下置钉具有更高的精准度,更少的手术时间、透视时间、辐射量。HAN 等^[26]前瞻性对照研究 RA 与传统 C 形臂 X 线机透视下(fluoroscopy-assisted, FA)胸腰椎置钉,发现 RA 组的优秀率达到 95.3%,明显优于 FA 组的 86.1%,而且 FA 组的 2 枚螺钉(2/119)需要翻修手术,12 枚螺钉破坏关节突关节,而 RA 组无返修螺钉,也无关节突关节破坏。本组患者术后置钉优秀率达到 92.5%,无小关节破坏和螺钉翻修病例,优秀率略低于相关的文献报道^[23-26],可能与笔者手术病例相对较少,与手术的学习曲线有关,随着病例数增多,必然会进一步提高其置钉优秀率。笔者分析认为,单纯的 PVP 或 PKP 为了骨水泥团块与病椎吻合,需尽可能在骨小梁间隙达到良好的弥散^[27],甚至人为造成椎弓根内的骨水泥“拖尾征”^[28],必然会增加骨水泥的渗漏率。而机器人辅助下由于置钉更为

精准,在规划置钉的过程中,将空心钉前端到达裂隙的中心部位,在灌注骨水泥过程中可使骨水泥自裂隙中央开始逐步到裂隙周围,而且由于有椎弓根螺钉固定大大提高了其稳定性,骨水泥只要填充裂隙即可。因此,在 O 臂机透视监视下灌注骨水泥过程中当骨水泥到达椎体边缘时及时停止灌注。

3.4 本术式的不足及注意事项

(1)本组 1 例患者(1/20)术后 2 个月出现病椎远端 1 组螺钉断裂,术后 8 个月出现骨水泥团块碎裂移位,腰背痛及后凸畸形加重而需翻修手术。笔者分析认为可能与以下原因有关:①术前患者病椎椎体塌陷且呈矢状面劈裂,上下终板破裂且部分缺失,椎体内裂隙与下位椎间盘内真空裂隙相通,术中灌注骨水泥时通过破裂的终板渗漏至上下椎间隙,因此凝固后的骨水泥团块并非支撑于病椎的上下终板之间,而是直接位于上下椎间盘之间,对前中柱的支撑力不足,导致后方椎弓根螺钉的应力增加。②此例应用的螺钉直径为 5.5 mm,螺钉强度不足。③骨水泥团块位于病椎前后劈裂的骨折线处(裂隙),可能阻碍了骨折的愈合,导致后方螺钉的疲劳断裂。④随着椎弓根螺钉系统的失败,病椎稳定性进一步下降,前方骨水泥团块的应力增加,后凸畸形进一步加重,形成恶性循环,最终导致骨水泥碎裂移位。因此,对于病椎矢状面劈裂,上下终板破裂甚至部分缺损,术前评估骨水泥团块不能很好地支撑于病椎上下终板之间的病例,并非本术式的适应证,而且椎弓根螺钉尽量采用直径较大的型号,保证螺钉的强度。(2)机器人辅助手术是一种新颖的手术方式,但在手术操作前需要扫描、数据传输、规划等操作,其操作过程需要占用一定的时间,增加总的手术时间,本术式平均手术时间 122 min,与开放短节段置钉联合椎体强化用时接近^[7]。本组病例尽管创伤小、出血少,但术后仍有 4 例出现谵妄,除与患者本身的年龄大、基础疾病较多等因素有关外,可能与总的手术时间、全麻时间较长有关。因此,医疗组需要系统的培训,熟练掌握相关机器人操作程序,以减少总手术时间。(3)尽管椎弓根螺钉系统利用钉棒角及纵向撑开可使病椎获得更好的复位,但本组病例全部采用体位复位后的原位固定。主要考虑 2 个因素:①病椎推注骨水泥之前撑开复位,必然增加病椎破裂的椎体壁裂隙,增加骨水泥灌注过程中骨水泥渗漏的概率,在推注骨水泥时需交替取出连接棒,增加手术步骤及手术时间,并且增加椎弓根螺钉对椎体的切割和拔出应力。②若骨水泥强化后再撑开复位必然使病椎内裂隙与骨水泥团块分离,使前中柱支撑不足。(4)胸腰椎椎弓根进针点存在斜坡,容易使

导针打滑,因此在机器人手臂引导下使用动力装置钻骨通道时应在高转速下先轻柔接触骨面,待锚定后再继续钻入避免导针漂移。(5)由于 Kümmell 病患者伴有严重的骨质疏松症,手术只能处理局部病灶,远期疗效需要正规的抗骨质疏松治疗。本组病例末次随访的 ODI 较术后 1 周明显改善,可能与术后 1 周限制患者运动,切口未完全愈合及术后正规的抗骨质疏松治疗有关。

总之,机器人辅助下经皮短节段骨水泥强化椎弓根螺钉固定治疗 II-III 期 Kümmell 病早期疗效满意,是一种可选择的微创手术方式,但需严格把握手术适应证,手术时间较长,而且本研究存在样本量少、随访时间较短、缺乏对照组等不足。因此,需要开展多中心研究、增加样本量,设立对照组,以进一步评价远期疗效。

参考文献

- [1] 张建乔,曾忠友,宋永兴,等.经皮椎体后凸成形和椎体成形术治疗老年人无神经损伤 III 期 Kümmell's 病的临床观察[J].中华老年医学杂志,2018,37(3):301-305.
ZHANG J Q,ZENG Z Y,SONG Y X,et al. The preliminary clinical effectiveness of percutaneous kyphoplasty/percutaneous vertebroplasty in the treatment of stage III of Kummell's disease without nerve injury[J]. Chin J Geriatr,2018(3):301-305. Chinese.
- [2] LIN W C,LEE Y C,LEE C H,et al. Refractures in cemented vertebrae after percutaneous vertebroplasty:a retrospective analysis [J]. Eur Spine J,2008,17(4):592-599.
- [3] KIM P,KIM S W. Balloon kyphoplasty:an effective treatment for Kümmell's disease[J]. Korean J Spine,2016,13(3):102-106.
- [4] WANG H S,KIM H S,JU C I,et al. Delayed bone cement displacement following balloon kyphoplasty[J]. J Korean Neurosurg Soc,2008,43(4):212-214.
- [5] KIM J E,CHOI S S,LEE M K,et al. Failed percutaneous vertebroplasty due to insufficient correction of intravertebral instability in Kümmell's disease:a case report[J]. Pain Pract,2017,17(8):1109-1114.
- [6] MO G Y,ZHOU T P,GUO H Z,et al. Long-term efficacy and safety of bone cement-augmented pedicle screw fixation for stage III Kümmell disease[J]. Sci Rep,2021,11(1):13647.
- [7] CHEN L,DONG R B,GU Y,et al. Comparison between balloon kyphoplasty and short segmental fixation combined with vertebroplasty in the treatment of Kümmell's disease[J]. Pain Physician,2015,18(4):373-381.
- [8] HUANG Y S,HAO D J,WANG X D,et al. Long-segment or bone cement-augmented short-segment fixation for kummell disease with neurologic deficits? A comparative cohort study[J]. World Neurosurg,2018,116:e1079-e1086.
- [9] MOLLIQAJ G,SCHATLO B,ALAI D A,et al. Accuracy of robot-guided versus freehand fluoroscopy-assisted pedicle screw insertion in thoracolumbar spinal surgery[J]. Neurosurg Focus,2017,42(5):E14.
- [10] YU L J,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(3):e1892.
- [11] 方国芳, 吴子祥, 樊勇, 等. Renaissance 脊柱机器人辅助手术系统在脊柱疾病中的应用[J]. *中华创伤骨科杂志*, 2017, 19(4): 299-303.
FANG G F, WU Z X, FAN Y, et al. Clinical application of Renaissance spine robot assisted system in spinal disease[J]. *Chin J Orthop Trauma*, 2017, 19(4): 299-303. Chinese.
- [12] LI K C, WONG T U, KUNG F C, et al. Staging of Kümmell's disease[J]. *J Musculoskel Res*, 2004, 8(1): 43-55.
- [13] 孙兵, 车晓明. 视觉模拟评分法(VAS)[J]. *中华神经外科杂志*, 2012, 28(6): 645.
SUN B, CHE X M. Visual analogue scale[J]. *J Chin Exp Med*, 2012, 28(6): 645. Chinese.
- [14] FAIRBANK J C, PYNSENT P B. The Oswestry disability index[J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2000, 25(22): 2940-2952. discussion 2952.
- [15] 倪文飞, 池永龙, 林焱, 等. 经皮椎体强化术并发骨水泥渗漏的类型及其临床意义[J]. *中华外科杂志*, 2006, 44(4): 231-234.
NI W F, CHI Y L, LIN Y, et al. The classification and its clinical value for extravertebral cement leakage complicated by percutaneous vertebral augmentation[J]. *Chin J Surg*, 2006, 44(4): 231-234. Chinese.
- [16] GERTZBEIN S D, ROBBINS S E. Accuracy of pedicular screw placement in vivo[J]. *Spine*, 1990, 15(1): 11-14.
- [17] PATIL S, RAWALL S, SINGH D, et al. Surgical patterns in osteoporotic vertebral compression fractures[J]. *Eur Spine J*, 2013, 22(4): 883-891.
- [18] XIA Y H, CHEN F, ZHANG L, et al. Percutaneous kyphoplasty treatment evaluation for patients with Kümmell disease based on a two-year follow-up[J]. *Exp Ther Med*, 2018, 16(4): 3617-3622.
- [19] PARK J W, PARK J H, JEON H J, et al. Kümmell's disease treated with percutaneous vertebroplasty: minimum 1 year follow-up[J]. *Korean J Neurotrauma*, 2017, 13(2): 119-123.
- [20] HUANG Y S, GE C Y, FENG H, et al. Bone cement-augmented short-segment pedicle screw fixation for Kümmell disease with spinal canal Stenosis[J]. *Med Sci Monit*, 2018, 24: 928-935.
- [21] MAHAR A, KIM C, WEDEMEYER M, et al. Short-segment fixation of lumbar burst fractures using pedicle fixation at the level of the fracture[J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2007, 32(14): 1503-1507.
- [22] 曾忠友, 张建乔, 金才益, 等. 经伤椎置钉椎弓根螺钉系统固定治疗胸腰椎骨折 2 年以上随访结果[J]. *中国骨伤*, 2012, 25(2): 128-132.
ZENG Z Y, ZHANG J Q, JIN C Y, et al. Surgical treatment of thoracolumbar fractures using pedicle screws fixation at the level of the fracture: results for following up more than 2 years[J]. *China J Orthop Traumatol*, 2012, 25(2): 128-132. Chinese.
- [23] 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 M X, ZHANG Q, ZHAO J W, et al. Learning curve for robotic-assisted percutaneous pedicle screw fixation for single-segment thoracolumbar fracture[J]. *Chin J Minim Invasive Surg*, 2019, 19(9): 808-811. Chinese.
- [24] 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 J P, LI Z C, FAN M X, et al. Comparison of surgical accuracy and immediate effect of robot-assisted versus free-hand pedicle screw insertion in thoracolumbar fracture spinal surgery[J]. *Chin J Minim Invasive Surg*, 2020, 26(6): 534-539. Chinese.
- [25] 林书, 胡珏, 万仑, 等. 机器人与透视辅助经皮椎弓根螺钉置入的比较[J]. *中国矫形外科杂志*, 2020, 28(20): 1830-1834.
LIN S, HU J, WAN L, et al. Robotic-guided and fluoroscopy-guided percutaneous pedicle screw placement for thoracolumbar fractures[J]. *Orthop J China*, 2020, 28(20): 1830-1834. Chinese.
- [26] HAN X G, TIAN W, LIU Y J, et al. Safety and accuracy of robot-assisted versus fluoroscopy-assisted pedicle screw insertion in thoracolumbar spinal surgery: a prospective randomized controlled trial[J]. *J Neurosurg Spine*, 2019: 1-8.
- [27] QIN R Q, ZHANG X, LIU H P, et al. Application of anchoring technique in unilateral percutaneous vertebroplasty for neurologically intact Kümmell's disease[J]. *Pain Res Manag*, 2020, 2020: 4145096.
- [28] 李永军, 梁永辉, 韦兴, 等. “拖尾征”锚定骨水泥椎体后凸成形术对 Kümmell's 病的治疗效果[J]. *中华老年多器官疾病杂志*, 2020, 19(7): 494-498.
LI Y J, LIANG Y H, WEI X, et al. "Trailing sign" anchored cement kyphoplasty for Kümmell's disease[J]. *Chin J Mult Organ Dis Elder*, 2020, 19(7): 494-498. Chinese.

(收稿日期: 2022-04-13 本文编辑: 王宏)