

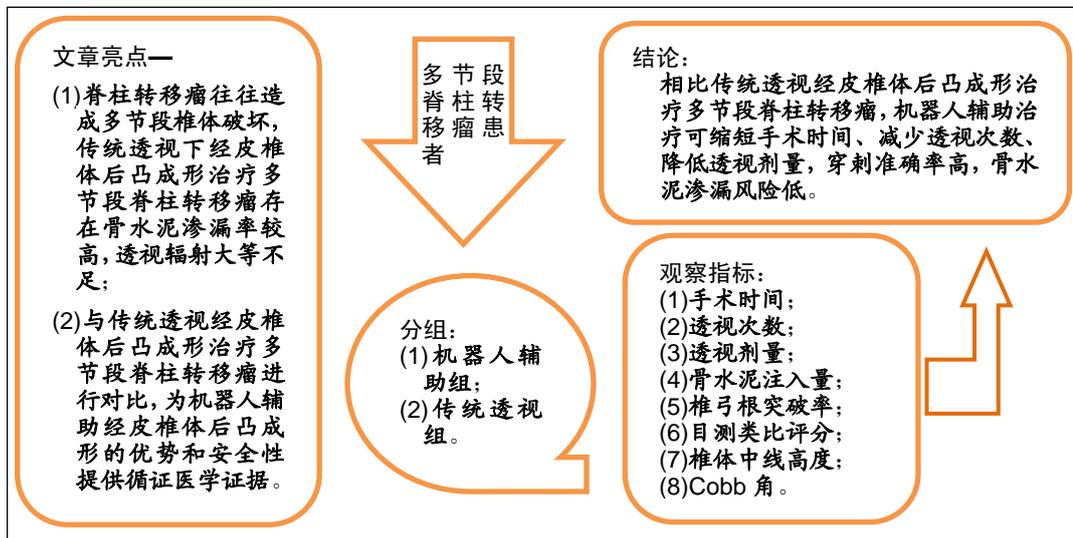
骨科机器人辅助经皮椎体后凸成形治疗多节段脊柱转移瘤

林书, 胡 虹, 万 仑, 唐六一, 王 跃, 俞 阳, 张 伟(四川省医学科学院·四川省人民医院骨科, 四川省成都市 610072)

DOI:10.3969/j.issn.2095-4344.2883

ORCID: 0000-0001-8185-9754(林书)

文章快速阅读:



林书, 男, 1987 年生, 四川省成都市人, 汉族, 2014 年四川大学毕业, 博士, 主治医师, 主要从事脊柱退变、脊柱骨折方面的研究。

通讯作者: 胡虹, 主任医师, 四川省医学科学院·四川省人民医院, 四川省成都市 610072

文献标识码:A
投稿日期: 2020-02-10
送审日期: 2020-02-17
采用日期: 2020-03-11
在线日期: 2020-05-25



文题释义:

椎体后凸成形: 是脊柱外科领域的一项微创技术, 通过小切口将特制的骨导向器末端放入病变椎体, 通过球囊撑开复位后注入骨水泥, 恢复脊柱稳定性。一般可用于治疗脊柱压缩性骨折、转移瘤、骨髓瘤和血管瘤等疾病。

骨科机器人: 通常由光学跟踪系统、导航系统、手术规划系统、机械臂等组成。由医生完成手术规划, 机械臂运动至规划位置辅助手术, 具有灵敏度高、定位准确等特点。

摘要

背景: 经皮椎体后凸成形治疗多节段脊柱转移瘤存在手术时间长、透视剂量大、骨水泥易渗漏等相关问题。机器人辅助下经皮椎体后凸成形治疗可优化手术, 减少并发症的发生。

目的: 评价机器人辅助下经皮椎体后凸成形治疗多节段脊柱转移瘤的安全性和优势所在。

方法: 回顾分析 2018 年 1 月至 2019 年 4 月收治的 43 例无神经损伤症状多节段脊柱转移瘤患者的临床资料, 根据手术方法分为机器人辅助组($n=22$)和传统透视组($n=21$)。2 组患者性别、年龄、病椎数量、原发肿瘤来源、术前目测类比分等一般资料比较差异均无显著性意义($P > 0.05$), 具有可比性。收集 2 组患者手术时间、透视次数、透视剂量、椎弓根突破率、穿刺内倾角及骨水泥渗漏情况; 对比 2 组术前、术后 2 d 及末次随访目测类比分、椎体中线高度、Cobb 角度。

结果与结论: ①机器人辅助组和传统透视组治疗的病椎数量分别为 79 个和 70 个; ②机器人辅助组平均手术时间、透视次数明显少于传统透视组, 透视剂量低于传统透视组, 差异均有显著性意义($P < 0.001$); ③机器人辅助组椎弓根突破率为 6%, 传统透视组为 21%, 差异有显著性意义($\chi^2=6.040, P=0.014$); ④机器人辅助组穿刺内倾角大于传统透视组($P < 0.001$); ⑤机器人辅助组骨水泥渗漏率显著低于传统透视组(8%, 23%, $\chi^2=6.869, P=0.009$); ⑥术前、术后 2 d、末次随访 2 组间目测类比分、椎体中线高度、Cobb 角比较, 差异均无显著性意义($P > 0.05$); ⑦提示机器人辅助下经皮椎体后凸成形治疗多节段脊柱转移瘤可缩短手术时间, 减少透视次数, 降低透视剂量, 穿刺准确率高, 骨水泥渗漏风险低。

关键词:

骨; 机器人; 椎体; 后凸成形术; 脊柱; 转移瘤; 骨水泥; 影像

中图分类号: R459.9; R318; R687

基金资助:

四川省科技厅科技支撑项目(2019YFS0268), 项目负责人: 胡虹

缩略语:

经皮椎体后凸成形术: percutaneous kyphoplasty, PKP

Lin Shu, MD, Attending physician, Department of Orthopedics, Sichuan Academy of Medical Sciences·Sichuan Provincial People's Hospital, Chengdu 610072, Sichuan Province, China

Corresponding author: Hu Jiang, Chief physician, Department of Orthopedics, Sichuan Academy of Medical Sciences·Sichuan Provincial People's Hospital, Chengdu 610072, Sichuan Province, China

Robot-guided percutaneous kyphoplasty in treatment of multi-segmental spinal metastases

Lin Shu, Hu Jiang, Wan Lun, Tang Liuyi, Wang Yue, Yu Yang, Zhang Wei (Department of Orthopedics, Sichuan Academy of Medical Sciences•Sichuan Provincial People's Hospital, Chengdu 610072, Sichuan Province, China)

Abstract

BACKGROUND: Percutaneous kyphoplasty for multi-segmental spinal metastases has some problems, such as long operation time, high fluoroscopic dose, and easy leakage of bone cement. Robot-guided percutaneous kyphoplasty can optimize surgery and reduce the incidence of complications.

OBJECTIVE: To evaluate the safety and advantage of robot-guided percutaneous kyphoplasty in treatment of multi-segmental spinal metastases.

METHODS: The clinical data of 43 cases with multi-segmental spinal metastases with no signs of nerve injury from January 2018 to April 2019 were analyzed retrospectively. According to the different operation methods, the patients were divided into robot-guided group (22 cases) and traditional fluoroscopy group (21 cases). There was no significant difference in gender, age, number of diseased vertebrae, source of primary tumor and preoperative visual analogue scale score between the two groups ($P > 0.05$), with comparability. The data of operation time, fluoroscopy frequency, fluoroscopy dose, the incidence rate of pedicle wall breaking, angle of penetration, and leakage of bone cement were collected in both groups. Visual analogue scale score, the midline vertebral height and Cobb angle were compared preoperatively, 2 days postoperatively, and during the final follow-up between the two groups.

RESULTS AND CONCLUSION: (1) The number of diseased vertebrae in the robot-guided group and traditional fluoroscopy group was 79 and 70, respectively. (2) The average operation time, fluoroscopy frequency and fluoroscopy dose in the robot-guided group were significantly lower than those in the traditional fluoroscopy group, and the difference was statistically significant ($P < 0.001$). (3) The incidence rate of pedicle wall breaking was 6% in the robot-guided group and 21% in the traditional fluoroscopy group, and the difference was statistically significant ($\chi^2=6.040, P=0.014$). (4) The angle of penetration in the robot-guided group was larger than those in the traditional fluoroscopy group ($P < 0.001$). (5) The leakage rate of bone cement in the robot-guided group was lower than in the traditional fluoroscopy group (8%, 23%, $\chi^2=6.869, P=0.009$). (6) There was no significant difference in visual analogue scale score, the midline vertebral heights and Cobb angle between the two groups before and 2 days after operation and during the final follow-up ($P > 0.05$). (7) It is indicated that robot-guided percutaneous kyphoplasty in treatment of multi-segmental spinal metastases can reduce operation time, reduce fluoroscopy frequency, reduce fluoroscopy dose, have good accuracy of penetration and low leakage rate of bone cement.

Key words: bone; robot; vertebral body; kyphoplasty; spine; metastasis; bone cement; image

Funding: the Science and Technology Support Project of Science and Technology Department of Sichuan Province, No. 2019YFS0268 (to HJ)

0 引言 Introduction

随着现代医疗技术的进步, 脊柱转移瘤的生存期较过去显著延长, 患者对生存质量的要求也逐渐提高^[1]。经皮椎体后凸成形术(percutaneous kyphoplasty, PKP)因其创伤小、恢复快的特点, 是姑息治疗晚期脊柱转移瘤的主要方式之一^[2], 但也存在骨水泥渗漏、透视辐射大等相关问题^[3-5]。随着人工计算机技术及工业技术的发展, 各种机器人辅助手术系统已在脊柱手术中得到应用。自2017年9月开始, 国内自主研发的“天玑”第3代骨科机器人在四川省人民医院各种类型脊柱手术进行应用。现回顾分析2018年1月至2019年4月四川省人民医院采用机器人辅助下经皮椎体后凸成形治疗多节段脊柱转移瘤的病历资料, 报告如下。

1 对象和方法 Subjects and methods

1.1 设计 回顾性对照试验。

1.2 时间及地点 于2018年1月至2019年4月在四川省人民医院骨科完成。

1.3 材料 机器人辅助组应用“天玑”第3代骨科机器人辅助定位, 该机器人系统由机械臂系统、光学跟踪系统、手术规划系统及导航系统等构成。椎体成形器和椎体扩张球囊由上海凯利泰医疗科技有限公司提供。骨水泥材料由德国Heraeus Medical公司提供, 骨水泥材料学特征介绍见表1。

表1 植入物的材料学特征

Table 1 Material characteristics of implants

项目	骨水泥
生产厂家	德国贺利氏
型号	Osteopal V
批准号	国食药监械(进)字 2014 第 3655901 号
性能结构	由粉体和液体组成, 粉体由丙烯酸甲酯-甲基丙烯酸甲酯聚合物、二氧化锆、过氧化苯甲酰、叶绿素铜组成, 液体由甲基丙烯酸甲酯、N, N-二甲基-对甲苯胺、对苯二酚、叶绿素铜组成
材质	包含粉体容器和液体小瓶
适应证	缓解和消除椎体压缩骨折的疼痛, 缓解和消除椎体瘤(转移瘤或骨髓瘤)的疼痛, 症状性椎体血管瘤
生物相容性	生物相容性好, 对人体无毒性、无致敏性、无刺激性、无遗传毒性、无致癌性, 对人体组织、血液、免疫系统无不良反应
产品标注的不良反应	一过性低血压、肺栓塞、低氧血症、心律失常、心搏骤停、心肺功能障碍、感染等

1.4 对象 2018年1月至2019年4月共纳入43例符合选择标准的多节段脊柱转移瘤病例, 根据手术方式不同分为机器人辅助组($n=22$)和传统透视组($n=21$)。所有患者对治疗方案均知情同意, 且得到医院伦理委员会批准。

纳入标准: ①X射线片、CT、MRI、骨核素显像或全身核素扫描显像提示多发脊柱转移瘤, 病变节段T₅-S₁, 椎体数量2-6处; ②Tokuhashi评分 <12 分^[6], 椎体后缘完整, 无脊髓和神经根受压; ③存在腰背部疼痛症状。

排除标准: ①资料不全; ②难以配合手术治疗患者; ③成骨性转移性骨肿瘤。

机器人辅助组男12例,女10例;年龄34-69岁,平均52.6岁;病椎数量: T₅ 1例, T₆ 1例, T₇ 3例, T₈ 2例, T₉ 6例, T₁₀ 10例, T₁₁ 9例, T₁₂ 14例, L₁ 11例, L₂ 8例, L₃ 6例, L₄ 3例, L₅ 3例, S₁ 2例;原发肿瘤来源: 肺癌7例, 乳腺癌3例, 结直肠癌2例, 肝癌5例, 肾癌1例, 其他恶性肿瘤4例。

传统透视组男13例,女8例;年龄36-70岁,平均53.1岁;病椎数量: T₆ 1例, T₇ 2例, T₈ 4例, T₉ 4例, T₁₀ 8例, T₁₁ 8例, T₁₂ 11例, L₁ 12例, L₂ 7例, L₃ 7例, L₄ 3例, L₅ 2例, S₁ 1例;原发肿瘤来源: 肺癌6例, 乳腺癌3例, 结直肠癌2例, 肝癌7例, 其他恶性肿瘤3例。

2组患者性别、年龄、病椎数量、原发肿瘤来源、术前目测类比评分等一般资料比较差异均无显著性意义($P > 0.05$),具有可比性。

1.5 方法 每例手术均由四川省人民医院骨科脊柱专业的3位高年资主任医师操作完成,3位主任医师在此次研究之前均已独立完成200例以上的经皮椎体成形或PKP手术,完成骨科机器人操作培训并独立完成相关骨科机器人手术20例以上。所有患者采取全麻,机器人辅助组患者俯卧位于机器人专用碳纤维手术床。

1.5.1 传统透视组手术方法 在C型臂X射线机透视下定位病椎并体表标记。铺消毒巾后,在C型臂X射线机反复透视下将工作套管穿刺,自椎根弓外上方钻入病变椎体,工作套管的前端插入病椎后缘皮质的前方2.0-3.0 cm处,取出内芯,置入活检针取出病灶组织送检。工作套管置入骨钻,钻出一条至椎体前缘1/3处的骨性隧道,然后取出骨钻,将含有对比剂的球囊置入病椎,进行球囊扩张,直至球囊内压力约2 020 kPa。高度恢复满意后取出球囊,将拉丝期的骨水泥通过推杆推入病椎,反复透视下至填充满意。其他病椎处同样操作,骨水泥硬化后结束手术。

1.5.2 机器人辅助组手术方法 C臂定位病椎,在病椎的上位二至三椎棘突处切开2 cm皮肤及筋膜安装示踪器。机械臂安装定位标尺,定位标尺放置于病椎背部皮肤表面上方,C臂扫描采集图像。将数据传输到机器人工作站后进行穿刺路径规划,下达指令后机械臂运行至指定位置。在机械臂定位下皮肤作0.5 cm小切口,安装二级套筒,插入皮肤直至关节突表面,使用电钻沿二级套筒置入导针。依次对所有病椎同样方式置入导针,C臂透视,调整导针置入深度到达椎体前缘1/2处,依次沿导针放入工作套管至椎体前缘1/2处,分别取出活检组织。依次置入骨钻钻出一条至椎体前缘1/3处的骨性隧道,依次将含有对比剂的球囊置入病椎进行球囊扩张,球囊内压力约2 020 kPa,高度恢复满意。同时将拉丝期的骨水泥通过骨水泥推杆慢慢推入病椎,反复透视至填充满意。骨水泥硬化后结束手术。

1.5.3 术后处理 术后根据患者病情给予镇痛、补液等对症治疗,术后指导小燕飞功能锻炼等治疗,术后24 h可佩带支具下床活动,术后2 d出院。

1.6 主要观察指标 由于术中使用机器人,所以观察指标未采用盲法分析。记录2组手术时间、透视次数及透视剂量、骨水泥注入量。

术后1 d复查CT观察椎弓根突破率,穿刺通路突破椎弓根壁的距离 >2 mm视为有意义^[7],观察穿刺内倾角度,观察并记录骨水泥渗漏情况。

术前、术后2 d及末次随访采用疼痛目测类比评分评价疼痛程度,0分无痛,10分剧痛。

术前、术后2 d及末次随访在侧位X射线片上测量椎体中线高度、Cobb角度。

1.7 统计学分析 通过SPSS 22.0统计软件进行分析。计量资料均以 $\bar{x} \pm s$ 表示,2组间比较采用独立样本 t 检验;计数资料组间比较采用 χ^2 检验,检验水准 $\alpha=0.05$ 。

2 结果 Results

2.1 参与者数量分析 按意向性处理,纳入多节段脊柱转移瘤43例,分为2组,所有患者全部进入结果分析,无脱落。

2.2 试验流程图 见图1。

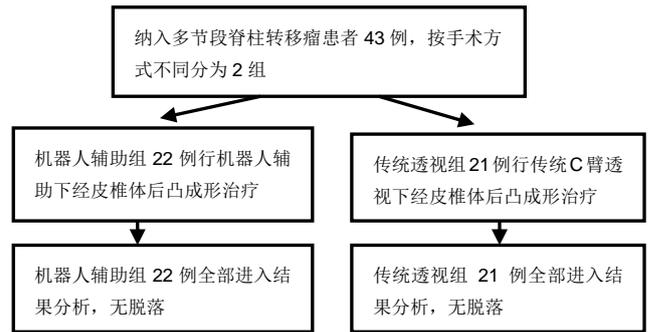


图1 试验流程图

Figure 1 Trial flow chart

2.3 基线资料比较 2组年龄、性别比例、病椎数量、原发肿瘤来源比较差异均无显著性意义($P > 0.05$),见表2。

表2 两组患者术前一般资料比较

Table 2 Comparison of preoperative general information between the two groups

项目	机器人辅助组	传统透视组	统计值	P值
男/女(n)	12/10	13/8	$\chi^2=0.239$	0.625
年龄($\bar{x} \pm s$, 岁)	52.65 \pm 15.70	53.15 \pm 14.30	$t=-0.390$	0.699
病椎数量(T ₅ /T ₆ /T ₇ /T ₈ /T ₉ /T ₁₀ /T ₁₁ /T ₁₂ /L ₁ /L ₂ /L ₃ /L ₄ /L ₅ /S ₁ , n)	1/1/3/2/6/10/9/14/11/8/6/3/3/2	0/1/2/4/4/8/8/11/12/7/7/3/2/1	$\chi^2=3.497$	0.998
原发肿瘤来源(肺癌/乳腺癌/结直肠癌/肝癌/肾癌/其他恶性肿瘤, n)	7/3/2/5/1/4	6/3/2/7/0/3	$\chi^2=1.918$	0.860

2.4 透视剂量、透视次数、手术时间比较 机器人辅助组治疗22例患者,共79个病椎;传统透视组治疗21例患者,共70个病椎。机器人辅助组平均手术时间显著少于传统透视组,差异有显著性意义($P < 0.001$),见表3。

表3 两组患者透视剂量、透视次数、手术时间比较 ($\bar{x}\pm s$)
Table 3 Comparison of fluoroscopy dose, fluoroscopy frequency and operation time between two groups

指标	机器人辅助组 (n=22)	传统透视组 (n=21)	t 值	P 值
透视剂量(cGy/cm ²)	228.80±41.33	653.70±117.42	-15.264	< 0.001
透视次数(次)	21.50±4.14	58.75±12.12	-13.030	< 0.001
手术时间(min)	75.00±19.04	106.05±26.75	-4.227	< 0.001

机器人辅助组术中透视次数明显小于传统透视组, 透视剂量明显低于传统透视组, 差异均有显著性意义($P < 0.001$)。机器人辅助组的透视剂量为机器人采集数据时连续扫描的剂量(1次或2次)与单次C臂透视剂量之和, 其中1次连续扫描注册的平均透视剂量为65.3 cGy/cm²。每例透视剂量的数据直接采集于C臂主屏上显示的数值(C臂机采用德国西门子公司公司的ARCADIS Orbic 3D系统), 见表3。

2.5 穿刺内倾角、骨水泥注入情况比较 观察椎弓根上、下、内、外4个壁的突破情况, 机器人辅助组椎弓根突破率6%(5/79), 传统透视组突破率21%(15/70), 差异有显著性意义($\chi^2=6.040$, $P=0.014$)。机器人辅助组穿刺内倾角大于传统透视组, 差异有显著性意义($P < 0.001$), 见表4。

表4 两组患者穿刺内倾角、骨水泥注入量比较 ($\bar{x}\pm s$)
Table 4 Comparison of angle of penetration and cement injection volume between two groups

指标	机器人辅助组 (椎体数=79)	传统透视组 (椎体数=70)	t 值	P 值
穿刺内倾角(°)	20.73±2.46	17.74±2.20	5.761	< 0.001
骨水泥注入量(mL)	4.41±1.52	4.30±1.49	0.474	0.636

表4可见, 2组患者骨水泥注入量差异无显著性意义。机器人辅助组骨水泥渗漏6处(8%, 6/79), 其中2处为椎间隙渗漏, 2处为椎旁软组织渗漏, 1处为椎体前方渗漏, 1处为静脉丛渗漏, 无椎管内渗漏。传统透视组骨水泥渗漏16处(23%, 16/70), 其中10处为椎间隙渗漏, 2处为椎旁软组织渗漏, 2处为椎体前方渗漏, 1处椎管内渗漏, 1处静脉丛渗漏。2组骨水泥渗漏发生率比较差异有显著性意义($\chi^2=6.869$, $P=0.009$)。

2.6 目测类比评分、椎体中线高度、Cobb角比较 2组患者术前、术后2 d及末次随访的目测类比评分、椎体中线高度、Cobb角相比, 差异均无显著性意义($P > 0.05$), 见表5-7。

表5 两组患者术前、术后目测类比评分比较 ($\bar{x}\pm s$, 分)
Table 5 Comparison of visual analogue scale score between two groups before and after surgery

组别	n	术前	术后 2 d	末次随访
机器人辅助组	22	6.52±1.11	2.90±0.64	2.83±0.69
传统透视组	21	6.56±0.92	2.85±0.66	2.86±0.71
t 值		-0.156	0.282	-0.175
P 值		0.876	0.778	0.861

表6 两组患者术前、术后椎体中线高度比较 ($\bar{x}\pm s$, mm)
Table 6 Comparison of the midline vertebral height between two groups before and after surgery

组别	椎体数	术前	术后 2 d	末次随访
机器人辅助组	79	18.03±4.86	26.84±3.95	26.81±3.70
传统透视组	70	17.57±3.31	27.06±3.89	26.75±2.54
t 值		0.444	-0.220	0.077
P 值		0.659	0.827	0.939

表7 两组患者术前、术后 Cobb 角比较 ($\bar{x}\pm s$, °)
Table 7 Comparison of Cobb angle between two groups before and after surgery

组别	椎体数	术前	术后 2 d	末次随访
机器人辅助组	79	39.33±8.13	13.63±3.35	12.69±3.57
传统透视组	70	38.96±8.09	14.39±2.79	12.54±3.53
t 值		0.182	-0.997	0.173
P 值		0.856	0.322	0.863

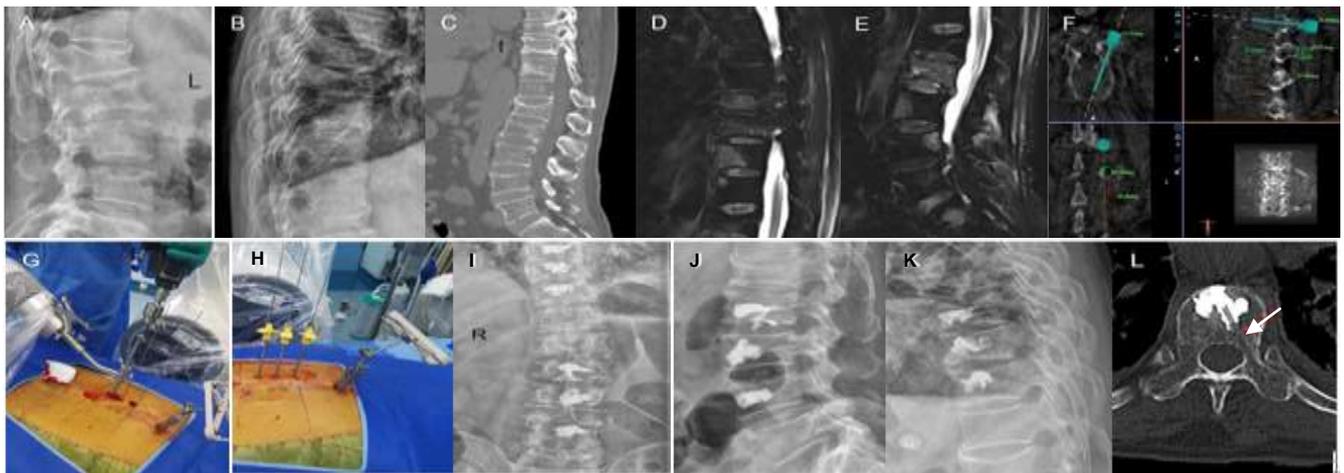
2.7 典型病例 见图2。

3 讨论 Discussion

3.1 经皮椎体成形术及PKP在脊柱转移瘤治疗中的相关问题 脊柱转移瘤在被确诊时往往已是肿瘤晚期, 多为溶骨性破坏, 为了提高患者的生活质量, 经皮椎体成形术和PKP在脊柱转移瘤中发挥了重要的作用^[8-9]。据报道, 经皮椎体成形术及PKP在治疗多发脊柱转移瘤中疼痛缓解率达到73%~100%^[10-13]。然而脊柱转移瘤往往是多节段病变, 经皮椎体成形及PKP在治疗中存在骨水泥渗漏风险较高, 辐射量大, 手术时间长等问题。相对PKP, 经皮椎体成形治疗中的骨水泥渗漏率较高, 可达2%~67%^[14-15]。

3.2 骨科机器人在PKP治疗中的临床优势 传统PKP的穿刺路径是否准确, 通常依靠术者的经验, 在反复的透视中调整入针点和穿刺角度, 容易损伤椎弓根增加骨水泥渗漏的风险。为减少骨水泥的渗漏, KLINGER等^[15]使用新型Vessel-X填充器代替传统球囊扩张治疗11例脊柱转移瘤患者, 其中9例伴有严重椎体后壁缺损, 术后随访没有观察到骨水泥渗漏。唐海等^[16]使用Vessel-X椎体成形治疗32例脊柱转移瘤患者, 仅有3例(7.9%)患者发生少量骨水泥渗漏, 且无神经症状。曾森炎等^[17]的Meta分析结果认为, 高黏度骨水泥能减少骨水泥渗漏, 与其他文献报道类似^[18-19]。林玉江等^[20]通过使用弯角椎体成形术治疗胸腰椎压缩性骨折, 发现弯角椎体成形组的骨水泥渗漏率明显低于常规椎体成形组。但由于以上新型的手术材料相对价格较高且本院尚未引进, 此次研究未予使用。

精确的穿刺可以避免反复穿刺造成的椎弓根破坏和临床经验不足时造成的穿刺位置不良, 可能对减少骨水泥渗漏有一定作用。王翔宇等^[7]通过光电导航辅助与传统透视下PKP比较发现, 导航组每处椎体穿刺次数为2.21次, 传统组为7.38次, 导航组骨水泥渗透率为2.33%(1/43), 传统



图注: 图 A, B 为术前 X 射线片; C 为术前 CT; D, E 为术前 MRI; F 为设计路径; G 示机器人辅助置入导针; H 示置入套筒; I, J, K 为术后 X 射线片; L 为术后 CT, 显示穿刺路径(箭头所示)

图 2 男性 68 岁脊柱多处转移瘤患者机器人辅助下行 T₉₋₁₀, L₂₋₄ 经皮椎体后凸成形术

Figure 2 Images of a 68-year-old male patient with multi-segmental spinal metastases undergoing robot-guided percutaneous kyphoplasty for T₉₋₁₀ and L₂₋₄

组为21.43%(9/42), 此研究认为精确的穿刺可以减少骨水泥渗漏。随着工业技术的进步, 从导航技术的基础上衍生出了骨科机器人, 精确性高, 其灵活的机械臂也使得手术操作更加方便、更加直接^[21-28]。田野等^[21]通过Renaissance机器人辅助与经皮透视两种方式治疗植钉比较, 发现机器人辅助组与透视辅助组植钉准确率分别为93.75%(150/160)和84.71%(144/170), 差异有显著性意义($\chi^2=5.820$, $P=0.008$)。YANG等^[22]也评测了Renaissance机器人辅助置钉的准确性, 机器人辅助置钉仅有6.2%突破椎弓根皮质, 而经皮透视置钉有26.2%突破椎弓根皮质。此次研究中机器人辅助组椎弓根突破率为6%, 传统透视组椎弓根突破率为21%($\chi^2=6.040$, $P=0.014$); 机器人辅助组骨水泥渗漏率为8%, 传统透视组骨水泥渗漏率为23%($\chi^2=6.869$, $P=0.009$)。此次研究由3位高年资主任医师完成手术, 可能存在传统经皮透视手术经验的不同和机器人操作熟练度不同, 可能造成研究结果的偏向。

在了为获得更好的骨水泥分布时, 临床医师需要增加内倾角, 但因此可能造成椎弓根内壁的破坏, 增加神经损伤和骨水泥渗漏风险^[20]。KIM等^[29]研究指出微创机器人在保证椎弓根完整的情况下, 可以将进针点偏外, 使得内倾角度更大, 达到理想的手术效果。此次研究中机器人辅助组与传统透视组内倾角分别为20.73°和17.74°, 椎弓根的突破率分别为6%和21%, 说明机器人在尽量保证椎弓根内壁完整的情况, 能适当增加的穿刺内倾角。

机器人辅助可以避免反复调整入针点和穿刺角度, 减少术中透视次数、透视剂量和手术时间。HAN等^[30]比较天玑机器人辅助下与传统开放置钉的透视情况, 发现手术医师累计吸收的透视剂量分别为21.7 μSv 和70.5 μSv ($P<0.001$), 差异有显著性意义。此次研究机器人辅助组平均透视次数为20.50次, 明显低于传统透视组58.75次;

机器人辅助组和传统透视组分别为228.80 cGy/cm²和653.70 cGy/cm²; 机器人组的平均手术时间为75 min, 明显低于传统透视组106 min, 提示机器人辅助手术在多节段脊柱转移瘤中能明显减少患者及医师的辐射伤害并缩短手术时间。

此次研究结果表明, 机器人辅助下经皮椎体后凸成形治疗多节段脊柱转移瘤可缩短手术时间, 减少透视次数, 降低透视剂量, 穿刺准确率高, 骨水泥渗漏风险低。由于研究病例数量有限, 非多中心研究, 未来期望更大样本量的多中心研究分析。

致谢: 感谢四川省人民医院放射科同事的鼎力支持, 才能顺利完成该研究。

作者贡献: 林书负责数据收集、整理、统计分析、文章撰写等; 胡虹、万仑、唐六一负责科研设计、既往研究成果收集; 王跃、俞阳、张伟负责文章整体设计与内容修改、审阅。

经费支持: 该文章接受了“四川省科技厅科技支撑项目(2019YFS0268)”的基金资助。所有作者声明, 经费支持没有影响文章观点和对研究数据客观结果的统计分析及其报道。

利益冲突: 文章的全部作者声明, 在课题研究和文章撰写过程不存在利益冲突。

机构伦理问题: 该研究方案经四川省人民医院医学伦理委员会批准[伦审(研)2019年第298号]。手术主刀医师为主任医师, 四川省人民医院为三级甲等医院, 符合骨科机器人和 PKP 手术治疗的资质要求。

知情同意问题: 参与试验的患病个体及其家属为自愿参加, 均对试验过程完全知情同意, 在充分了解治疗方案的前提下签署了“知情同意书”。

写作指南: 该研究遵守《非随机对照临床试验研究报告指南》(TREND声明)。

文章查重: 文章出版前已经过专业反剽窃文献检测系统进行3次查重。

文章外审: 文章经小同行外审专家双盲外审, 同行评议认为文章符合期刊发稿宗旨。

生物统计学声明: 文章统计学方法已经四川省人民医院生物统计

学专家审核。

文章版权: 文章出版前杂志已与全体作者授权人签署了版权相关协议。

开放获取声明: 这是一篇开放获取文章, 根据《知识共享许可协议》“署名-非商业性使用-相同方式共享4.0”条款, 在合理引用的情况下, 允许他人以非商业性目的基于原文内容编辑、调整和扩展, 同时允许任何用户阅读、下载、拷贝、传递、打印、检索、超级链接该文献, 并为之建立索引, 用作软件的输入数据或其它任何合法用途。

4 参考文献 References

- [1] PENNINGTON Z, AHMED AK, MOLINA CA, et al. Minimally invasive versus conventional spine surgery for vertebral metastases: a systematic review of the evidence. *Ann Transl Med.*2018;6(6):103.
- [2] MANSOORINASAB M, ABDOLHOSEINPOUR H. A review and update of vertebral fractures due to metastatic tumors of various sites to the spine: Percutaneous vertebroplasty. *Interv Med Appl Sci.*2018;10(1):1-6.
- [3] GU YF, TIAN QH, LI YD, et al. Percutaneous vertebroplasty and interventional tumor removal for malignant vertebral compression fractures and/or spinal metastatic tumor with epidural involvement: a prospective pilot study. *J Pain Res.* 2017;10:211-218.
- [4] QI L, LI C, WANG N, et al. Efficacy of percutaneous vertebroplasty treatment of spinal tumors: A meta-analysis. *Medicine (Baltimore).* 2018;97(3):e9575.
- [5] 王伟军.高黏度与低黏度骨水泥椎体成形术治疗骨质疏松性椎体压缩骨折有效性的Meta分析[J].中华创伤杂志,2018,34(9):806-812.
- [6] TOKUHASHI Y, MATSUZAKI H, ODA H, et al. A revised scoring system for preoperative evaluation of metastatic spine tumor prognosis. *Spine (Phila Pa 1976).* 2005;30(19):2186-2191.
- [7] 王翔宇,谭伦,林旭,等.光电导航引导单侧穿刺椎体后凸成形术治疗胸腰椎骨质疏松性椎体压缩骨折[J].中国修复重建外科杂志, 2018,32(2):203-209.
- [8] 曾志超.经皮椎体后凸成形术治疗脊柱转移瘤的安全性及疗效[J].实用骨科杂志,2017,23(4):366-368.
- [9] LIU Y,WANG Y,ZHAO L,et al.Effectiveness and safety of percutaneous vertebroplasty in the treatment of spinal metastatic tumor. *Pak J Med Sci.*2017;33(3):675-679.
- [10] MIKAMI Y, NUMAGUCHI Y, KOBAYASHI N, et al. Therapeutic effects of percutaneous vertebroplasty for vertebral metastases. *Japan J Radiol.* 2011;29(3):202-206.
- [11] PAPANASTASSIOU ID, FILIS A, GEROCHRISTOU MA, et al. Controversial issues in kyphoplasty and vertebroplasty in osteoporotic vertebral fractures. *Med Res Int.* 2014;2014:934206.
- [12] KIRCELLI A. Percutaneous balloon kyphoplasty vertebral augmentation for compression fracture due to vertebral metastasis: a 12 month retrospective clinical study in 72 patients. *Int Med Experi Clin Res.* 2018;24: 2142-2148.
- [13] 黄霖,陈铿,蔡兆鹏,等.微创穿刺Intrabeam术中放疗联合椎体强化治疗脊柱转移瘤的近期疗效分析[J].中华骨科杂志,2016, 36(4):215-223.
- [14] HULME PA, KREBS, FERGUSON SJ, et al. Vertebroplasty and kyphoplasty: a systematic review of 69 clinical studies. *Spine.* 2006;31(17): 1983-2001.
- [15] KLINGLER JH, SIRCAR R, DEININGER MH, et al. Vesselplasty: a new minimally invasive approach to treat pathological vertebral fractures in selected tumor patients-preliminary results. *Rofo.* 2013;185(4):340-350.
- [16] 唐海,贾璞,陈浩,等.新型Vessel-X经皮椎体强化系统在脊柱微创治疗的临床应用[J].中华医学杂志.2017,97(33):2567-2572.
- [17] 曾森炎,季卫锋,董玉鹏,等.高粘度与低粘度骨水泥PVP治疗骨质疏松性椎体压缩骨折的Meta分析[J].中国骨与关节损伤杂志,2018, 33(3):240-243.
- [18] ZHANG ZF, HUANG H, CHEN S, et al. Comparison of high-and low-viscosity cement in the treatment of vertebral compression fractures: A systematic review and meta-analysis. *Medicine.* 2018;97(12):e0184.
- [19] 穆小平,易伟林,韦建勋,等.高黏度与普通黏度骨水泥椎体成形系统修复骨质疏松性椎体压缩性骨折的荟萃分析[J].中国组织工程研究,2017,21(2):322-328.
- [20] 林玉江,林茜,杨利民,等.弯角椎体成形术治疗胸腰椎骨质疏松性椎体压缩骨折的疗效分析[J].中国脊柱脊髓杂志,2017,27(5):423-428.
- [21] 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.
- [22] YANG JS,HE B,TIAN F,et al. Accuracy of robot-assisted percutaneous pedicle screw placement for treatment of lumbar spondylolisthesis: a comparative cohort study. *Med Sci Monit.*2019;25:2479-2487.
- [23] FICHTNER J, HOFMANN N, RIENMÜLLER A,et al. Revision rate of misplaced pedicle screws of the thoracolumbar spine-comparison of three-dimensional fluoroscopy navigation with freehand placement:a systematic analysis and review of the literature. *World Neurosurgery.* 2018;109: e24-e32.
- [24] LAUDATO PA, PIERZCHALA K, SCHIZAS C. Pedicle screw insertion accuracy using O-Arm, robotic guidance or freehand technique: a comparative study. *Spine.* 2018;15:E373-E378.
- [25] JOSEPH JR, SMITH BW, LIU X, et al. Current applications of robotics in spine surgery: a systematic review of the literature. *Neurosurgical Focus.*2017;42(5):E2.
- [26] SCHRÖDER ML, STAARTJES VE. Revisions for screw malposition and clinical outcomes after robot-guided lumbar fusion for spondylolisthesis. *Neurosurgical Focus.* 2017;42: E12.
- [27] 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. *Orthop Surg.* 2019;11:850-856.
- [28] 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.
- [29] KIM HJ, JUNG WI, CHANG BS, et al.A prospective, randomized, controlled trial of robot-assisted vs freehand pedicle screw fixation in spine surgery. *Int J Med Robot.* 2017;13(3):e1779.
- [30] HAN X,TIAN W,LIU Y,et al. Safety and accuracy of robot-assisted versus fluoroscopy-assisted pedicle screw insertion in thoracolumbar spinal surgery: a prospective randomized controlled trial. *J Neurosurg Spine.* 2019:1-8.