

· 临床研究 ·

机器人辅助经皮椎体成形术治疗上段胸椎骨质疏松性骨折

赖居易^{1,2}, 谭黄圣¹, 冯华龙², 蓝志明², 孙志涛², 王业广², 王建², 付远飞², 何升华²

(1. 广州中医药大学第四临床医学院, 广东 深圳 518000; 2. 深圳市中医院, 广东 深圳 518000)

【摘要】 目的: 探讨骨科机器人辅助经皮椎体成形术(percutaneous vertebroplasty, PVP)治疗上段胸椎骨质疏松性骨折的临床疗效。方法: 对深圳市中医院 2016 年 8 月至 2022 年 6 月住院部行 PVP 手术治疗的上段胸椎骨质疏松性骨折患者 32 例进行回顾性分析, 男 8 例, 女 24 例, 年龄 58~90(67.75±12.27)岁。15 例采用机器人辅助 PVP 手术治疗(机器人组), 其中 T₁ 骨折 0 例, T₂ 骨折 1 例, T₃ 骨折 1 例, T₄ 骨折 3 例, T₅ 骨折 3 例, T₆ 骨折 7 例; 随访时间 1.0~3.0(1.6±0.7)个月。17 例行常规 PVP 手术治疗(常规组), 其中 T₁ 骨折 1 例, T₂ 骨折 0 例, T₃ 骨折 0 例, T₄ 骨折 5 例, T₅ 骨折 2 例, T₆ 骨折 9 例; 随访时间 0.5~4.0(1.5±0.6)个月。比较两组患者的穿刺次数、透视次数、手术时间、术中出血量、骨水泥分布、骨水泥渗漏、术中辐射剂量, 观察两组患者术前及术后 3 d 的视觉模拟评分(visual analogue scale, VAS)和 Oswestry 功能障碍指数(Oswestry disability index, ODI)。结果: 机器人组穿刺次数、透视次数、手术时间、术中出血量、骨水泥分布、骨水泥渗漏、术中辐射剂量均优于常规组($P<0.05$), 机器人组术后 3 d 的 VAS 和 ODI 分别为(2.03±0.05)分和(22.16±4.03)%, 优于术前的(8.67±0.25)分和(79.40±7.72)% ($t=100.869, P<0.001; t=25.456, P<0.001$)。常规组术后 3 d 的 VAS 和 ODI 分别为(2.17±0.13)分和(23.88±6.15)%, 优于术前的(8.73±0.18)分和(80.01±7.59)% ($t=121.816, P<0.001; t=23.691, P<0.001$)。术后 VAS 和 ODI 组间比较差异无统计学意义($t=-3.917, P=0.476; t=-0.922, P=0.364$)。结论: 机器人辅助 PVP 治疗上段胸椎骨质疏松性骨折可进一步提升手术安全性, 降低骨水泥渗漏, 获得满意的临床疗效。

【关键词】 胸椎; 椎体; 机器人; 椎体成形术; 骨水泥; 并发症

中图分类号: R687

DOI: 10.12200/j.issn.1003-0034.2023.09.013

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Robot-assisted PVP for the treatment of osteoporotic fractures of the upper thoracic vertebra

LAI Ju-yi^{1,2}, TAN Huang-sheng¹, FENG Hua-long², LAN Zhi-ming², SUN Zhi-tao², WANG Ye-guang², WANG Jian², FU Yuan-fei², HE Shen-ghua² (1. The Fourth Clinical Medical College of Guangzhou University of Chinese Medicine, Shenzhen 518000, Guangdong, China; 2. Shenzhen Traditional Chinese Medicine Hospital, Shenzhen 518000, Guangdong, China)

ABSTRACT Objective To investigate the clinical effect of "Tianji" orthopedic robot-assisted percutaneous vertebroplasty (PVP) surgery in the treatment of upper thoracic osteoporotic fracture. **Methods** A retrospective analysis was performed on 32 patients with upper thoracic osteoporotic fracture who underwent PVP surgery in Shenzhen Hospital of Traditional Chinese Medicine from August 2016 to June 2022. There were 8 males and 24 females, ranging in age from 58 to 90 years old, with a mean of (67.75±12.27) years old. Fifteen patients were treated with robot-assisted PVP surgery (robot group), including 3 males and 12 females, with an average age of (68.5±10.3) years. Fracture location: 1 case of T₂ fracture, 1 case of T₃ fracture, 3 cases of T₄ fracture, 3 cases of T₅ fracture, and 7 cases of T₆ fracture. The follow-up period ranged from 1.0 to 3.0 months, with a mean of (1.6±0.7) months. Seventeen patients underwent routine PVP surgery (conventional group), including 5 males and 12 females, with an average age of (66.8±11.6) years old. Fracture location: 1 case of T₁ fracture, 5 cases of T₄ fracture, 2 cases of T₅ fracture and 9 cases of T₆ fracture. The follow-up period ranged from 0.5 to 4.0 months, with a mean of (1.5±0.6) months. Preoperative and postoperative visual analogue scale (VAS) and Oswestry disability index (ODI) scores were compared between the two groups, and the number of punctures, perspective times, operation time, intraoperative blood loss, bone cement distribution, bone cement leakage, and intraoperative radiation dose were compared between the two groups. **Results** Number of punctures times, perspective times, operation time, intraoperative blood loss, bone cement distribution, bone cement leakage and intraoperative radiation dose in the robot group were all significantly better than those in the conventional group ($P<0.05$).

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(编号: 82174397)

Fund program: Provided by National Natural Science Foundation of China (No. 82174397)

通讯作者: 何升华 E-mail: heshenghua99@163.com

Corresponding author: HE Sheng-hua E-mail: heshenghua99@163.com

VAS of 2.03 ± 0.05 and ODI of $(22.16 \pm 4.03)\%$ in the robot group were significantly better than those of the robot group before surgery, which were (8.67 ± 0.25) score and $(79.40 \pm 7.72)\%$ ($t=100.869, P<0.001; t=25.456, P<0.001$). VAS of 2.17 ± 0.13 and ODI of $(23.88 \pm 6.15)\%$ in the conventional group were significantly better than those before surgery, which were (8.73 ± 0.18) score and $(80.01 \pm 7.59)\%$ ($t=121.816, P<0.001; t=23.691, P<0.001$). There was no significant difference in VAS and ODI between the two groups after operation ($t=-3.917, P=0.476; t=-0.922, P=0.364$). **Conclusion** Robot-assisted PVP in the treatment of upper thoracic osteoporotic fractures can further improve surgical safety, reduce bone cement leakage, and achieve satisfactory clinical efficacy.

KEYWORDS Thoracic vertebra; Vertebral body; Robot; Vertebroplasty; Bone cement; Complications

随着我国人口老龄化的不断加重,老年骨质疏松症的发病越来越普遍。老年骨质疏松症的最严重的并发症就是骨质疏松性骨折,骨质疏松引起的骨折严重威胁老年人的身心健康,并影响老年人的生活质量,其致残率、致死率以及医疗护理费用均十分高昂^[1]。在骨质疏松骨折中,脊柱骨折、髌部骨折和桡骨远端的骨折是较为常见的类型。老年骨质疏松性脊柱骨折的主要病理因素为脊柱骨质疏松患者的骨量减少,骨的纤维结构受损,骨小梁破坏,骨骼的脆性增加,应力低于骨折的阈值,从而就导致了骨折的发生。骨折的发生与骨密度密切相关,而骨质疏松患者的骨密度是明显降低的^[2]。发生骨质疏松性脊柱骨折在没有较大的外力作用下发生,如扭转身体、持物、开窗、咳嗽或者乘车、震动等日常动作。骨质疏松性脊柱骨折发作时疼痛会突然加重,部分患者疼痛症状较轻,还有部分患者在没有任何外力的情况下发生自发性骨折。研究表明,男性骨质疏松性脊柱骨折的发生率从 65 岁开始上升,而女性则从 45 岁就开始不断地上升,女性一生中发生骨质疏松骨折的危险性在 30%~40%,而男性只有 10%~15%^[3]。骨质疏松性脊柱骨折发生的部位比较固定,好发的部位在胸椎、腰椎。近年来,对于严重的骨质疏松性脊柱骨折采取手术治疗已成为国内外骨科医师的共识,其中经皮椎体成形术(percutaneous vertebroplasty, PVP)术式是常见的治疗方法之一^[4]。对于有严重骨质疏松的患者采用 PVP 在改善脊柱伤病的局部症状、提高整体健康、止痛等方面均比传统方法具有更好的疗效,且并发症发生率都较低。但也有研究证实^[5],PVP 虽然可达到稳定骨折、恢复椎体力学强度、防止椎体进一步压缩和缓解疼痛的目的,但是骨水泥渗漏、相邻椎体再骨折、后凸畸形纠正困难等缺陷依然存在,其中骨水泥渗漏是 PVP 术中较为常见的并发症^[6]。同时上段胸椎椎弓根较细,解剖标记点位置不恒定,同时周围毗邻重要脏器,PVP 徒手穿刺可能损伤邻近脊髓、大血管等结构,会带来严重后果^[7-8]。笔者在临床实践中发现,随着脊柱外科智能化的发展,智能骨科机器人系统的应用提高了脊柱手术穿刺精确度与安全性,有效降低了手术源性损

伤的发生,减少了骨水泥渗漏的发生率,这一优势在上段胸椎的应用尤为明显。为了进一步系统对比机器人辅助与常规 PVP 手术在上段胸椎骨质疏松性骨折治疗的优势与不足,本研究回顾性对比分析深圳市中医院 2016 年 8 月至 2022 年 6 月期间常规 PVP 与机器人辅助下 PVP 治疗上段胸椎骨质疏松性骨折,报告如下。

1 资料与方法

1.1 病例选择

纳入标准:T₁-T₆椎体骨折;符合骨质疏松症诊断,脊柱骨密度检查结果 T<-2.5;MRI 检查明确单个胸椎椎体新鲜骨折;中重度腰背部疼痛患者;保守治疗无效者。排除标准:无合并骨质疏松症者;2 个椎体以上的胸椎椎体新鲜骨折者;合并明显神经症状者;无手术指征者;合并严重全身性基础疾病无法耐受手术者。

1.2 临床资料

选择 2016 年 8 月至 2022 年 6 月深圳市中医院骨伤科行 PVP 手术治疗的上段胸椎骨质疏松性骨折患者 32 例,男 8 例,女 24 例,年龄 58~90(67.75±12.27)岁。15 例采用机器人辅助 PVP 手术治疗(机器人组),其中男 3 例,女 12 例;年龄(68.5±10.3)岁;T₁骨折 0 例,T₂骨折 1 例,T₃骨折 1 例,T₄骨折 3 例,T₅骨折 3 例,T₆骨折 7 例;随访时间 1.0~3.0(1.6±0.7)个月。17 例行常规 PVP 手术治疗(常规组),其中男 5 例,女 12 例;年龄(66.8±11.6)岁;T₁骨折 1 例,T₂骨折 0 例,T₃骨折 0 例,T₄骨折 5 例,T₅骨折 2 例,T₆骨折 9 例;随访时间 0.5~4.0(1.5±0.6)个月。两组患者的一般资料比较差异无统计学意义(P>0.05),有可比性。见表 1。

1.3 治疗方法

骨科手术机器人组使用中国第 3 代骨科机器人“天玑”Tirobot 系统,C 形臂 X 线透视机品牌为德国奇目,型号为 Ziehm 8000。骨水泥材料:低黏度聚甲基丙烯酸甲酯骨水泥(贺利氏医疗有限公司)。32 例均由一名手术医生。患者术前均行 X 线、CT、MRI 检查,术后复查 X 线、CT。手术使用的椎体成形手术系统均为常州鼎健医疗器械公司提供。患者辐射剂量

表 1 两组骨质疏松性骨折患者一般情况比较

Tab.1 Comparison of general conditions between two groups of patients with osteoporotic fractures

组别	例数	性别/例		年龄($\bar{x}\pm s$)/岁	骨折椎体分布/例						随访时间($\bar{x}\pm s$)/月
		男	女		T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	
机器人组	15	3	12	68.5±10.3	0	1	1	3	3	7	1.6±0.7
常规组	17	5	12	66.8±11.6	1	0	0	5	2	9	1.5±0.6
检验值		$\chi^2=0.376$		$t=0.436$	$\chi^2=3.840$						$t=0.325$
P 值		0.539		0.666	0.573						0.748

数据为 C 形臂 X 线机透视机实时提供的辐射数据。

1.3.1 机器人组 机器人辅助 PVP 手术均采用局部麻醉。患者俯卧位于机器人手术专用手术床上,术前 C 形臂 X 线机定位责任椎体。常规消毒铺巾后将机器人示踪器固定于患椎体表上方或下方 10 cm 处。三维 C 形臂 X 线采集患椎图像进行图像配准。完成后在机器人主机上进行术中责任椎体经椎弓根穿刺路径的设计规划,均采用双侧穿刺。规划完成后,通过主机启动机械臂移位,按照规划将导向器对准所需穿刺的椎弓根轴线。逐层于皮下、肌层、关节突注射 0.5%利多卡因 10 ml 行局部浸润麻醉,在导向器中插入内径为 1.6 mm 套筒,使用 1.5 mm 的导针顺套筒在透视下置入椎弓根,到达椎体前 1/3 中部。以导针进皮点为中心用尖刀纵行切开皮肤 0.3~0.5 cm,沿导针插入工作穿刺套管,超出椎体后壁,C 形臂 X 线机透视下至椎体后壁前缘约 5 mm 即可,取出导针和中空穿刺针,留下工作套管。先用骨穿刺取椎体病灶组织,然后混合骨水泥。当骨水泥处于黏丝期时可以注入椎体,注入过程在 C 形臂 X 线机透视监视下进行,发现骨水泥接近椎体或渗出椎体前壁和相邻椎间隙时,立即停止注入,骨水泥处于面团期时拔出骨水泥注射器和工作套管。手术结束后,切口消毒,无菌敷料加压包扎。

1.3.2 常规组 患者俯卧位,常规消毒铺巾。C 形臂 X 线机透视通过体表定位确定责任椎体及其双侧椎弓根体表投影点。逐层于皮下、肌层、关节突注射 0.5%利多卡因 10 ml 行局部浸润麻醉,取经椎弓根入路,双侧椎弓根体表投影点旁开 1 cm 做直切口。将穿刺针刺入至骨质,在正侧位透视证实穿刺针位于上关节突外缘。在侧位 X 线透视显示穿刺针延长线经椎弓根至椎体前 1/3 中部,用骨锤将骨穿刺逐渐击入到过椎体后侧皮侧 3 mm。再次正侧位 X 线透视证实穿刺针位于椎弓根内,拔出穿刺针芯,放入导针,在 C 形臂 X 线机监视下将导针置于距椎体前缘 3 mm 之骨质内。正位透视证实导针经椎弓根,末端位于棘突投影处。取出穿刺针外管,沿导针放入工作套管,用钻头在侧位 X 线监视下沿导针钻至距椎

体前皮质 3 mm 处。正位位于椎体中线,取出导针及钻头,放置环锯,取出骨性标本。调骨水泥,计时,将调匀的骨水泥吸入专用注射器内备用,在侧位 X 线透视下将拉丝期骨水泥缓慢注入椎体前中部,未见骨水泥向椎体外渗漏。正位透视证实骨水泥在椎体内,侧位证实骨水泥于椎体之前中部。旋转方式拔出骨水泥注射针管及工作套管,生理盐水洗净穿刺针孔。手术结束后,切口消毒,无菌敷料加压包扎。

1.4 观察项目与方法

1.4.1 一般情况观察 (1)穿刺次数:术中进行椎体穿刺的次数。(2)手术时间:从手术开始到结束所用的时间。(3)术中透视次数:术中采用 C 形臂 X 线进行椎体透视的次数。(4)术中出血量:手术过程患者失血量。(5)骨水泥渗漏率:统计患者发生骨水泥渗漏在椎体外的发生情况。(6)术中术者辐射暴露剂量:主刀通过佩戴辐射测量器进行测量暴露剂量。(7)骨水泥在椎体分布情况:术后正侧位 X 线片在椎体以中线平分,如正位和侧位骨水泥分布均过中线为骨水泥分布良好,如正位或侧位有一项未过中线,视为骨水泥分布一般。

1.4.2 临床症状评估 记录术前、术后 3 d 的疼痛视觉模拟评分(visual analogue scale, VAS)^[9]和 Oswestry 功能障碍指数(Oswestry disability index, ODI)^[10]。

1.5 统计学处理

使用 SPSS 20.0 软件进行统计分析,正态分布定量资料以均数±标准差($\bar{x}\pm s$)表示,组间比较采用成组设计定量资料的 t 检验,组内比较采用配对设计定量资料 t 检验,定性资料比较采用 χ^2 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

机器人组手术时间低于常规组 ($t=-3.258, P=0.003$),机器人组穿刺次数少于常规组 ($t=-12.127, P<0.001$),机器人组透视次数少于常规组 ($t=-5.854, P<0.001$),机器人组术中出血量低于常规组 ($t=-6.093, P<0.001$)。机器人组发生骨水泥渗漏率 3 例,常规组 7 例,组间比较差异有统计学意义 ($\chi^2=$

4.128, $P=0.028$); 机器人组术者辐射剂量低于常规组 ($t=-10.630, P<0.001$)。机器人组骨水泥分布良好 14 例, 一般 1 例; 常规组良好 9 例, 一般 8 例; 组间比较, 差异有统计学意义 ($\chi^2=6.432, P=0.011$), 见表 2。

2.2 两组 VAS 及 ODI 比较

术前机器人组 VAS 及 ODI 与常规组比较, 差异均无统计学意义 ($t=-0.786, P=0.438; t=-0.225, P=0.823$); 机器人组术后 3 d 的 VAS 及 ODI 优于术前 ($t=100.869, P<0.001; t=25.456, P<0.001$)。常规组术后 3 d 的 VAS 及 ODI 评分优于术前 ($t=121.816, P<0.001; t=23.691, P<0.001$)。VAS 及 ODI 组间比较, 差异无统计学意义 ($t=-3.917, P=0.476; t=-0.922, P=0.364$), 见表 3。典型病例图片见图 1。

3 讨论

3.1 骨质疏松性脊柱骨折的治疗

骨质疏松性脊柱骨折患者临床表现主要腰背部疼痛症状为主, 严重者因椎体塌陷可引起明显的脊柱畸形。当前对于骨质疏松性脊柱骨折的治疗主要包括保守治疗与手术治疗^[11]。对于疼痛较轻、椎体塌陷不明显及因身体条件无法耐受手术的患者, 可考虑予以保守治疗。常见的保守治疗方式^[12]: (1) 脊柱骨折手法复位, 本研究团队采用过伸弹性压法手法复位在临床中获得一定的疗效^[13]。但是对高龄患者此方法常无法实施。(2) 卧床休息, 绝对的卧床可一定程度上缓解脊柱疼痛, 卧床休息一般采用硬板床, 腰部根据骨折的严重程度可予以垫厚度适宜的软枕

使脊柱过伸达到复位作用^[14]。卧床时间 1~3 个月, 同时在卧床期间配合 5 点支撑法进行腰背肌功能锻炼, 根据患者的具体情况逐渐增加训练的频率和幅度。卧床 6~8 周后, 患者可戴腰围或支具保护下逐步坐起及下地活动, 并避免弯腰和负重劳动^[15]。(3) 饮食及药物治疗^[16], 日常食含钙丰富的食物可改善骨质疏松的严重程度。对于胃肠道情况良好的疼痛明显患者, 可予以非甾体镇痛药止痛。降钙素的使用也能减少骨折后急性骨丢失, 并且对骨折后急性骨痛有不错的改善效果。有研究表明特立帕肽通过增加骨量用于治疗骨质疏松, 并且具有良好的促进骨折愈合作用, 在临床中获得广泛的认可^[17-18]。近年来, 地舒单抗注射液对绝经期女性重度骨质疏松的治疗也普遍开始在临床推广^[19]。(4) 中药治疗, 我国传统中医并无骨质疏松的诊断, 与传统中医文献中的“骨痹”“骨痿”“骨枯”“虚劳”等病属于同一范畴疾病。有研究发现补肾中药蛇床子、骨碎补、淫羊藿、续断、巴戟天、鹿茸可用于治疗骨质疏松。中药黄芪主补气, 也能达到治疗骨质疏松的效果^[20]。总体而言, 保守治疗具有便捷、花费较低、无较大治疗风险等优势。

脊柱骨质疏松病情严重的患者并不主张保守治疗, 长期的保守治疗将可能引发压疮、坠积性肺炎、泌尿系统感染等并发症。通过微创手术治疗可让患者早期下床, 恢复正常生活状态, 预防相关并发症的发生^[21]。PVP、经皮椎体后凸成形术(percutaneous kyphoplasty, PKP) 是当前治疗骨质疏松性脊柱骨折的最主要的微创术式。MCGRTM 等^[5]关于 PKP 和

表 2 两组骨质疏松性骨折患者手术相关指标比较

Tab.2 Comparison of surgical related indicators between two groups of patients with osteoporotic fractures

组别	例数	手术时间($\bar{x}\pm s$)/min	穿刺次数($\bar{x}\pm s$)/次	透视次数($\bar{x}\pm s$)/次	术中出血量($\bar{x}\pm s$)/ml	骨水泥渗漏/例	术者辐射剂量($\bar{x}\pm s$)/mSV	骨水泥分布/例	
								良好	一般
机器人组	15	30.19±12.53	2.03±0.27	17.40±6.92	10.14±2.87	3	0.06±0.01	14	1
常规组	17	45.72±14.22	8.51±2.05	35.67±10.18	24.10±8.44	7	0.12±0.04	9	8
检验值		$t=-3.258$	$t=-12.127$	$t=-5.854$	$t=-6.093$	$\chi^2=4.128$	$t=-10.630$	$\chi^2=6.432$	
P 值		0.003	<0.001	<0.001	<0.001	0.028	<0.001	0.011	

表 3 两组骨质疏松性骨折患者 VAS 及 ODI 评分比较($\bar{x}\pm s$)

Tab.3 Comparison of VAS and ODI scores before and after surgery between two groups of patients with osteoporotic fractures($\bar{x}\pm s$)

组别	例数	VAS/分				ODI/%			
		术前	术后 3 d	t 值	P 值	术前	术后 3 d	t 值	P 值
机器人组	15	8.67±0.25	2.03±0.05	100.869	<0.001	79.40±7.72	22.16±4.03	25.456	<0.001
常规组	17	8.73±0.18	2.17±0.13	121.816	<0.001	80.01±7.59	23.88±6.15	23.691	<0.001
t 值		-0.786	-3.917			-0.225	-0.922		
P 值		0.438	0.476			0.823	0.364		

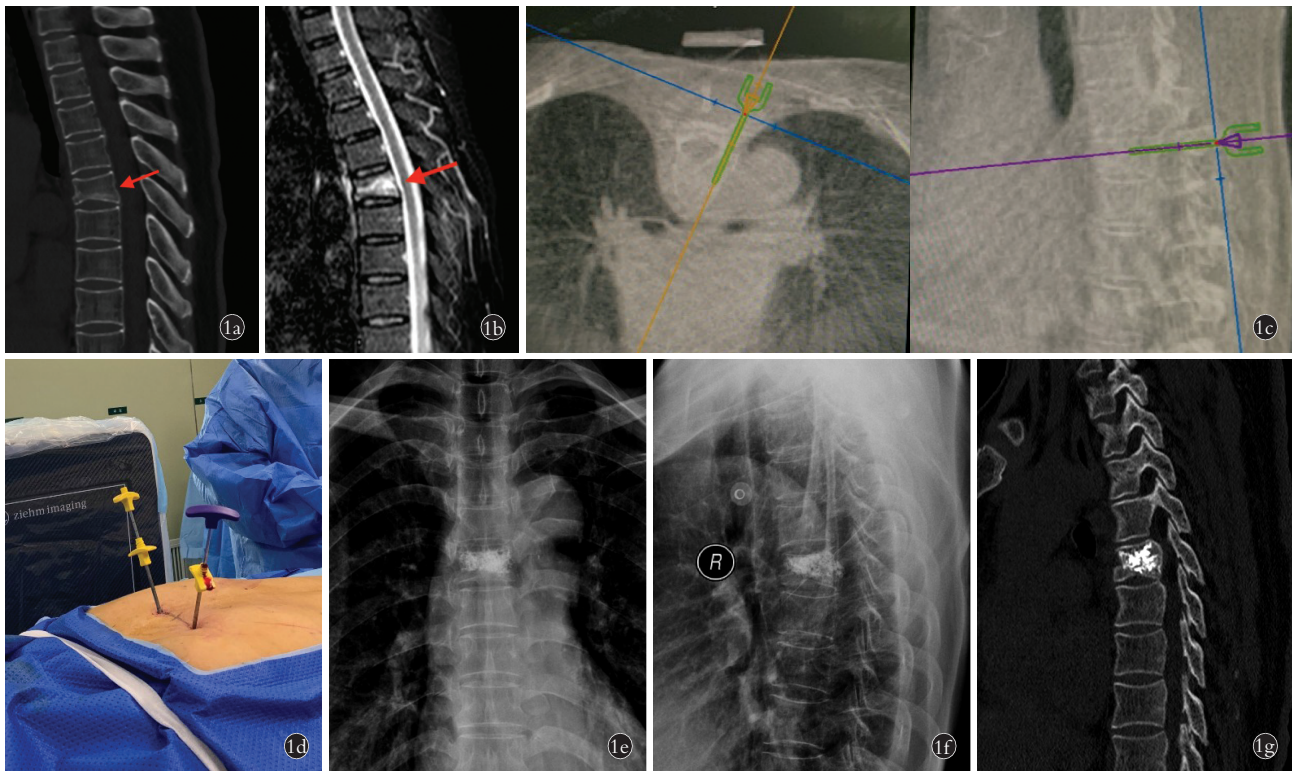


图 1 女,69 岁,外伤致背部疼痛 2 d,诊断为 T₆ 椎体骨折 **1a.** 术前 CT 显示 T₆ 椎体骨折 **1b.** 术前 MRI 显示 T₆ 椎体新鲜骨折 **1c.** 术中手术机器人入路规划 **1d.** 术中穿刺 **1e.** 术后 1 d 复查正位 X 线片显示骨水泥分布良好 **1f.** 术后 1 d 复查侧位 X 线片显示骨水泥分布良好 **1g.** 术后 1 d 复查 CT 显示骨水泥分布良好

Fig.1 A 69-year-old woman presented with back pain from trauma for 2 days and diagnosed with T₆ vertebral fracture **1a.** Preoperative CT showed T₆ vertebral fracture **1b.** Preoperative MRI showed fresh T₆ vertebral fracture **1c.** Intraoperative robot-assisted path planning **1d.** Intraoperative puncture **1e.** One day after the operation, reexamination of anteroposterior X-ray showed satisfaction distribution of bone cement **1f.** Lateral X-ray showed satisfaction distribution of bone cement one day after surgery **1g.** CT showed satisfaction distribution of bone cement one day after surgery

PVP 治疗骨质疏松脊柱骨折的研究表明,两者在均能有效的改善疼痛,提高患者的身体状态。相比传统非手术疗法具有更好疗效,此外,两种术式的手术并发症较低。尽管如此,PVP 手术仍存在骨水泥渗漏、术后相邻椎体骨折、术后椎体塌陷高度再丢失以及医源性辐射等并发症的可能^[22],其中骨水泥渗漏是 PVP 术中较为常见的并发症^[23]。

3.2 上段胸椎解剖特点与手术风险

上段胸椎有其独特的解剖特点:胸椎椎体和椎弓根自下而上逐渐变小,椎弓根和椎体的内倾角度也逐渐变小,椎弓根下倾角逐渐变大。因此,中上胸椎椎体体积较小,椎弓根横径狭窄,其椎管内径小,椎管内脊髓饱满充盈,且又毗邻重要血管和肺组织。所以,针对上段胸椎 PVP 的穿刺操作风险较高,容易误穿至胸腔或椎管内而产生严重后果^[24]。在常规手术操作过程中,反复采用 C 形臂 X 线机透视是提高穿刺准确的主要方法,而如此便增加了辐射的暴露量,也间接增加了穿刺给椎弓根带来的二次损伤风险。在本研究中,常规组 1 例为 T₁ 椎体骨折,术中透视困难,尤其在侧位透视时椎弓根显影不佳。为了

克服因肩关节等骨骼的阻挡,笔者采用了颈椎后路手术的体位摆放方法,即在头部前屈体位的同时,使用胶带贴于双侧肩关节皮肤向尾侧进行牵引,实现侧位下透视可见椎弓根并完成手术。俞阳等^[25]研究发现,机器人辅助椎体成形骨水泥注射治疗提高了胸椎穿刺精准度,不但可以减少穿刺损伤,获得满意的骨水泥弥散和降低骨水泥渗漏,也降低了术者放射暴露,获得了满意的临床疗效。

3.3 天玑骨科手术机器人在上段胸椎 PVP 手术的优势与不足

天玑骨科手术导航定位机器人是基于影像实时导航技术与机器人技术的通用型骨科手术导航定位机器人,引领骨科手术导航定位技术跨入了影像实时导航技术与机器人技术结合的机器人智能辅助时代^[26]。其技术先进性体现在定位精准、适应证广和影像图片配准好 3 个方面,其中机器人的临床精度可达到亚毫米级别,适应证可覆盖全节段脊柱外科手术,在医学影像配准技术方面实现了对 X 线、CT、CBCT 等二维和三维影像的兼容,并通过图像配准技术实现骨科手术的临床应用,可使用术中 3D、术中

2D 等多种影像模式。在组成部件方面,天玑由主控台、机械臂、光学跟踪系统、导航定位工具包和手术计划与控制软件等 5 个部分组成。在手术过程中,主控台通过光学跟踪系统实时监控机械臂与患者示踪器的相对位置关系,实时控制机械臂完成呼吸追踪,有效补偿患者呼吸运动造成的人体位移及手术定位精度波动,确保手术安全。这一功能对于涉及上胸段脊柱手术具有重要意义^[27]。在本研究纳入的患者均为上段胸椎骨质疏松性骨折,研究结果表明,机器人组与常规手术组在治疗效果相当的情况下,机器人组的椎体穿刺次数明显少于常规组,且一次性穿刺成功的病例明显要多于常规组,术中 C 形臂 X 线机证实穿刺的精确性良好。穿刺位置较好的精确性,可使穿刺针避开椎体爆裂明显区域,实现骨水泥的精准注入,因此机器人组的骨水泥渗透率也明显低于常规组。表明机器人辅助下行上段胸椎 PVP 手术具有明显的优势,手术时间更短、穿刺更精准、骨水泥弥散更好,同时降低了术者的放射暴露和手术风险。

对于脊柱手术而言,一方面,手术规划还需由医生来完成;另一方面,机器人的三维影像扫描为手术正式开始前的数据,术中患者体位可能发生变化,导致与术前 CT 扫描结果存在一定差别,进而影响机械臂定位的精准度^[28]。对于经验欠佳的医生,在机器人辅助下,也可能无法获得精准的穿刺位置。如在术中明显发生体位变化,笔者的经验是当体位轻微变化时,可先经机器人穿刺通道将克氏针置入并抵于骨面,再行 C 形臂 X 线机透视,确定路径是否发生较大误差。如体位出现明显改变时,进行重新扫描患者数据可能是较为稳妥的选择。因此,规范化的机器人技术学习对手术效果尤为重要,使得不同级别的医院、不同级别的医生,能达到同质化的治疗效果。普通的医生能够做较高难度、较复杂的手术;有经验的医生借助机器人,能够使手术效果更加精准、更加安全、更加省力^[29]。

总体而言,机器人辅助下 PVP 治疗上段胸椎骨质疏松性骨折可显著减少术中医生透视次数和时间,减少医生和患者的辐射剂量,提高操作器械的准确性和精确度,与传统手术相比具有明显的优势。

参考文献

[1] 张震岳,崔中豪,郝延科. 脊柱骨质疏松性压缩骨折的影像学诊断与治疗研究进展[J]. 中国中西医结合影像学杂志,2022,20(2):195-198.
ZHANG Z Y, CUI Z H, HAO Y K. Imaging diagnosis and the advances in treatment of osteoporotic vertebral compression fractures [J]. Chin Imaging J Integr Tradit West Med, 2022, 20(2): 195-198. Chinese.

[2] CRIADO A, YOKHANA S, RAHMAN T, et al. Biomechanical strength comparison of pedicle screw augmentation using poly-dical-

cium phosphate dihydrate (P-DCPD) and polymethylmethacrylate (PMMA) cements[J]. Spine Deform, 2020, 8(2): 165-170.

[3] SAYEDD, JACOBS D, SOWDERT, et al. Spinal radiofrequency ablation combined with cement augmentation for painful spinal vertebral metastasis: a single-center prospective study[J]. Pain Physician, 2019, 22(5): E441-E449.

[4] 殷飞, 戈朝辉. 骨质疏松性脊柱骨折诊疗研究进展[J]. 世界最新医学信息文摘, 2019, 19(16): 69-70.
YIN F, GE Z H. Research progress in diagnosis and treatment of osteoporotic spinal fracture[J]. World Latest Med Inf, 2019, 19(16): 69-70. Chinese.

[5] MCGIRT M J, PARKERS L, WOLINSKY J P, et al. Vertebroplasty and kyphoplasty for the treatment of vertebral compression fractures: an evidenced-based review of the literature[J]. Spine J, 2009, 9(6): 501-508.

[6] 顾文浩, 张乐乐, 赵飞. 骨质疏松性胸椎压缩骨折 PVP 术后骨水泥弥散效果对疗效的影响[J]. 中国骨与关节损伤杂志, 2022, 37(1): 53-55.
GU W H, ZHANG L L, ZHAO F. Effect of bone cement dispersion on curative effect after PVP for osteoporotic thoracic compression fracture[J]. Chin J Bone Joint Injury, 2022, 37(1): 53-55. Chinese.

[7] 韩华, 项燕, 韩佳桐, 等. 不同国家人群胸椎椎弓根解剖结构的对比研究[J]. 中国临床解剖学杂志, 2018, 36(3): 252-258.
HAN H, XIANG Y, HAN J X, et al. Comparative research of anatomical structures of human thoracic pedicle in different countries[J]. Chin J Clin Anat, 2018, 36(3): 252-258. Chinese.

[8] SHENG S R, CHEN J X, CHEN W, et al. Cortical bone trajectory screws for the middle-upper thorax: an anatomico-radiological study [J]. Medicine (Baltimore), 2016, 95(35): e4676.

[9] HUSKISSON E C. Measurement of pain[J]. Lancet, 1974, 304(7889): 1127-1131.

[10] 刘绮, 麦明泉, 肖灵君, 等. 中文版 Oswestry 功能障碍指数评定慢性腰痛患者的反应度研究[J]. 中国康复医学杂志, 2010, 25(7): 621-624.
LIU Q, MAI M Q, XIAO L J, et al. Responsiveness of Chinese version of Oswestry disability index in subjects with chronic low back pain[J]. Chin J Rehabil Med, 2010, 25(7): 621-624. Chinese.

[11] 刘忠厚. 骨质疏松学[M]. 北京: 科学出版社, 1998: 246.
LIU Z H. Osteoporosis [M]. Beijing: Science Press, 1998: 246. Chinese.

[12] 陈镜, 冯正平. 骨质疏松症治疗药物研究进展[J]. 中国骨质疏松杂志, 2021, 27(5): 776-780.
CHEN J, FENG Z P. Research progress of the therapeutic drugs for osteoporosis [J]. Chin J Osteoporos, 2021, 27(5): 776-780. Chinese.

[13] 冯华龙, 赖居易, 黄飞强. 过伸牵引弹性按压联合经皮椎弓根钉内固定治疗胸腰椎骨折的生物力学差异[J]. 中国组织工程研究, 2017, 21(23): 3676-3681.
FENG H L, LAI J Y, HUANG F Q. Biomechanical properties of hyperextension traction-elastic compression combined with percutaneous pedicle screw fixation for thoracolumbar fractures [J]. Chin J Tissue Eng Res, 2017, 21(23): 3676-3681. Chinese.

[14] 郭阿雷, 郝申申, 孟赛克, 等. 手法复位 PVP 与单纯 PKP 手术治疗骨质疏松性胸腰段脊柱压缩骨折的疗效比较[J]. 中国骨与关节损伤杂志, 2020, 35(1): 44-46.
GUO A L, HAO S S, MENG S K, et al. Comparison of therapeutic

- effects between PVP and PKP in the treatment of osteoporotic thoracolumbar spinal compression fracture[J]. *Chin J Bone Joint Injury*, 2020, 35(1):44-46. Chinese.
- [15] SOFFIN E M, VAISHNAV A S, WETMORE D S, et al. Design and implementation of an enhanced recovery after surgery (ERAS) program for minimally invasive lumbar decompression spine surgery: initial experience[J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2019, 44(9):E561-E570.
- [16] REID I R, BILLINGTON E O. Drug therapy for osteoporosis in older adults[J]. *Lancet*, 2022, 399(10329):1080-1092.
- [17] LI M, ZHANG Z L, XUE Q Y, et al. Efficacy of generic teriparatide and alendronate in Chinese postmenopausal women with osteoporosis: a prospective study[J]. *Arch Osteoporos*, 2022, 17(1):103.
- [18] 蒋晓成, 石璐, 王胤斌, 等. 特立帕肽治疗骨质疏松合并腰椎退行性变经椎间融合后骨融合率的系统评价[J]. *中国组织工程研究*, 2023, 27(9):1427-1433.
- JIANG X C, SHI L, WANG Y B, et al. Systematical evaluation of bone fusion rate after interbody fusion in patients with osteoporosis and lumbar degenerative disease treated with teriparatide[J]. *Chin J Tissue Eng Res*, 2023, 27(9):1427-1433. Chinese.
- [19] 魏祺, 郑苗, 翁程伟, 等. 地舒单抗治疗绝经后骨质疏松症的早期疼痛评分和功能障碍指数[J]. *中华骨科杂志*, 2022, 42(12):768-775.
- WEI Q, ZHENG M, WENG C W, et al. Early numerical rating scale and Oswestry disability index in post menopausal osteoporosis treated with denosumab[J]. *Chin J Orthop*, 2022, 42(12):768-775. Chinese.
- [20] 范凯翔, 陈新鑫, 何贤樱, 等. 三种富含胶原蛋白的中药复方治疗骨质疏松症的 Meta 分析[J]. *中国骨质疏松杂志*, 2021, 27(12):1745-1751.
- FAN K X, CHEN X X, HE X Y, et al. Meta analysis of three kinds of collagen-rich traditional Chinese medicine compound in the treatment of osteoporosis[J]. *Chin J Osteoporos*, 2021, 27(12):1745-1751. Chinese.
- [21] WOOD K B, LI W S, LEBL D R, et al. Management of thoracolumbar spine fractures[J]. *Spine J*, 2014, 14(1):145-164.
- [22] 王明远, 高云, 张帅, 等. 骨质疏松性椎体压缩骨折 PVP、PKP 并发症防治的进展[J]. *颈腰痛杂志*, 2022, 43(3):434-436.
- WANG M Y, GAO Y, ZHANG S, et al. Progress in prevention and treatment of PVP and PKP complications of osteoporotic vertebral compression fracture[J]. *J Cervicodynia Lumbodynia*, 2022, 43(3):434-436. Chinese.
- [23] FILIPPIADIS D K, MARCIA S, MASALA S, et al. Percutaneous vertebroplasty and kyphoplasty: current status, new developments and old controversies[J]. *Cardiovasc Intervent Radiol*, 2017, 40(12):1815-1823.
- [24] 尹思, 刘伟, 杜恒, 等. 经皮椎体后凸成形术治疗中上胸椎骨质疏松性椎体压缩骨折[J]. *临床骨科杂志*, 2020, 23(2):157-160.
- YIN S, LIU W, DU H, et al. Percutaneous kyphoplasty for the treatment of middle and upper thoracic osteoporotic vertebral compression fracture[J]. *J Clin Orthop*, 2020, 23(2):157-160. Chinese.
- [25] 俞阳, 唐六一, 胡虹, 等. 机器人辅助椎体成形骨水泥注射治疗胸腰椎多椎体病理性骨折[J]. *中国组织工程研究*, 2022, 26(16):2467-2472.
- YU Y, TANG L Y, HU J, et al. Robot-assisted percutaneous vertebroplasty in the treatment of pathological fractures of thoracolumbar multivertebra[J]. *Chin J Tissue Eng Res*, 2022, 26(16):2467-2472. Chinese.
- [26] 杨倩倩, 郭大为, 王爽, 等. “天玑”骨科手术机器人工作原理与质量控制检测[J]. *中国医学装备*, 2021, 18(5):198-202.
- YANG Q Q, GUO D W, WANG S, et al. Working principle and QC test of TIANVI orthopedically surgical robot[J]. *China Med Equip*, 2021, 18(5):198-202. Chinese.
- [27] 郑博隆, 郝定均, 林斌, 等. “天玑”骨科手术机器人辅助与徒手穿刺椎体成形术治疗上胸椎骨质疏松性椎体压缩骨折的疗效比较[J]. *中华创伤骨科杂志*, 2021, 23(1):20-26.
- ZHENG B L, HAO D J, LIN B, et al. Puncture assisted by a "TIANVI" orthopaedic robot versus free hand puncture in vertebroplasty for osteoporotic vertebral compression fracture of the upper thoracic vertebra[J]. *Chin J Orthop Trauma*, 2021, 23(1):20-26. Chinese.
- [28] LIY X, HUANG J S, LIU T, et al. Application progress of spinal surgical robot[J]. *Chin J Robotic Surg*, 2021, 2(2):143-150.
- [29] LIEBER A M, KIRCHNER G J, KERBEL Y E, et al. Robotic-assisted pedicle screw placement fails to reduce overall postoperative complications in fusion surgery[J]. *Spine J*, 2019, 19(2):212-217.

(收稿日期:2022-12-12 本文编辑:王宏)