

机器人辅助下经皮椎体后凸成形术治疗高龄重度骨质疏松性椎体压缩骨折的临床疗效

王 珊, 林 书, 唐六一

四川省医学科学院·四川省人民医院(电子科技大学附属医院)骨科, 四川 成都 610072

【摘要】 目的 比较机器人辅助和 C 臂透视辅助经皮椎体后凸成形术(percutaneous kyphoplasty, PKP)在治疗高龄重度骨质疏松性椎体压缩骨折(osteoporotic vertebral compression fracture, OVCF)的临床效果。**方法** 2019 年 8 月至 2024 年 4 月我院收治的 103 例重度高龄 OVCF 患者,经过机器人辅助 PKP 或传统透视 PKP 手术,分为机器人组 54 例和透视组 49 例。比较两组放射剂量、透视次数、手术时间、穿刺调整次数、骨水泥渗漏情况、穿刺路径分析、骨水泥在椎体中的分布情况、疼痛视觉模拟评分(visual analogue scale, VAS)以及 Oswestry 功能障碍指数(oswestry disability index, ODI)。**结果** 103 例患者得到 7 月以上有效随访。机器人组放射剂量、透视次数、手术时间、穿刺调整次数均低于透视组($P < 0.05$)。机器人组发生骨水泥渗漏 7 例,透视组 19 例。机器人组穿刺路径准确性显著高于低于透视组($P < 0.05$)。机器人组的骨水泥在椎体穿刺侧和对侧的体积更为接近,明显优于透视组($P < 0.05$)。两组术后各时间点 VAS 评分、ODI 评分均较术前明显改善($P = 0.000$)。机器人组的 VAS 评分在 1 个月时明显优于透视组($P < 0.05$),其他各时间点两组差异无统计学意义($P > 0.05$)。机器人组的 ODI 评分术后各时间点差异无统计学意义($P > 0.05$)。**结论** 相较于传统透视,机器人辅助 PKP 治疗高龄重度 OVCF,在提高穿刺准确性、减少透视剂量、缩短手术时间以及减少骨水泥渗漏风险方面显示出明显优势。

【关键词】 机器人;经皮椎体后凸成形术;骨质疏松;椎体压缩骨折;临床疗效

【中图分类号】 R459.9

【文献标志码】 A

【文章编号】 1672-6170(2026)01-0125-06

Clinical efficacy of robot-assisted percutaneous kyphoplasty for treating severe osteoporotic vertebral compression fractures in elderly patients WANG Shan, LIN Shu, TANG Liu-yi *Department of Orthopaedics, Sichuan Academy of Medical Sciences & Sichuan Provincial People's Hospital(Affiliated Hospital of University of Electronic Science and Technology of China), Chengdu 610072, China*

【Corresponding author】 LIN Shu

【Abstract】 Objective To compare the clinical outcomes of robot-assisted and C-arm fluoroscopy-assisted percutaneous kyphoplasty (PKP) in elderly patients with severe osteoporotic vertebral compression fractures (OVCF). **Methods** From August 2019 to April 2024, a total of 103 elderly patients with severe OVCF were recruited from our hospital. The patients underwent PKP surgery assisted by robot ($n = 54$) or traditional fluoroscopy ($n = 49$). Radiation dose, number of fluor exposures, surgical time, number of puncture adjustments, bone cement leakage, distribution of bone cement in the vertebral body between two groups, visual analogue scale (VAS) pain scores, and Oswestry Disability Index (ODI) were recorded and compared between the two groups. **Results** The patients were followed up effectively for more than 7 months. The radiation dose, number of fluoroscopic exposures, operation time and number of puncture adjustments were lower in the robot group than those in the fluoroscopy group ($P < 0.05$). There were 7 cases had bone cement leakage in the robot group and 19 in the fluoroscopy group. The accuracy of the puncture path of the robot group was significantly higher than that of the fluoroscopy group ($P < 0.05$). The volume of bone cement in the robotic group is more similar between the puncture side and the opposite side of the vertebral body. The similarity was significantly better in the robot group than that in the fluoroscopy group ($P < 0.05$). VAS scores and ODI scores at each time point after surgery in both groups were significantly improved compared to those before surgery ($P = 0.000$). The VAS score in the robot group was significantly better than in the fluoroscopy group after 1 month of surgery ($P < 0.05$), but there were no significant differences at other time points ($P > 0.05$). There were no significant differences in ODI scores between the two groups at any time point after surgery ($P > 0.05$). **Conclusions** Compared with traditional fluoroscopy, robot-assisted PKP for treating OVCF in elderly patients shows significant advantages. It can improve the puncture accuracy, decrease the fluoroscopy dose, short the operation time, and reduce the risk of bone cement leakage.

【Key words】 Robot assistance; Percutaneous kyphoplasty; Osteoporosis; Vertebral compression fracture; Clinical efficacy

骨质疏松症患者中,骨质疏松性椎体压缩骨折(osteoporotic vertebral compression fracture, OVCF)是最常见的并发症之一^[1-3]。OVCF 可导致慢性背痛、活动受限、神经功能受损,其相关并发症可导致患者死亡的风险增加。在 20 世纪 90 年代,De-

ramond 等学者^[4]对 OVCF 患者实施了椎体成形术(percutaneous vertebroplasty, PVP),通过向患者的伤椎中注入骨水泥,可提高伤椎密度,稳定脊柱避免患者长期卧床。随后通过技术改良,一些学者在向骨折椎体内注入骨水泥前,使用可膨胀的球囊在椎体内预成形,形成一个囊状空间,不仅可以减少骨水泥的渗漏,还可以改善患者的脊柱后凸,该技

【基金项目】四川省科技厅科技支撑项目(编号:2022YFS0019)

【通讯作者】林 书

术被称为经皮椎体后凸成形术(osteoporotic vertebral compression fracture, PKP)^[5]。然而,对于高龄重度的 OVCF(椎体压缩大于三分之二),往往难以一次穿刺成功,容易导致骨水泥填充不理想和骨水泥渗漏^[6,7]。近年来,手术机器人在骨科领域的应用显示出良好的疗效,手术机器人的使用显著提高了植入的准确性^[8,9]。现回顾分析我院自 2019 年来机器人辅助 PKP 治疗高龄重度 OVCF 患者的临床资料,结果总结如下。

1 资料与方法

1.1 一般资料 2019 年 8 月至 2024 年 4 月我院收治的 103 例重度高龄 OVCF 患者,纳入标准:年龄 \geq

70 岁,且对本研究知情同意;影像学检查显示椎体前缘或中线椎体压缩大于三分之二的新鲜骨折;骨密度 T 值 \leq -2.5;保守治疗无法缓解症状。排除标准:术前或术后证实存在感染或肿瘤性病变;合并神经症状;因身体原因不能接受麻醉的患者。经过机器人辅助 PKP 或传统透视 PKP 手术,将患者分为机器人组 54 例和透视组 49 例。两组患者年龄、性别、骨密度 T 值、体重指数、骨折节段、随访周期等一般资料比较,差异无统计学意义($P>0.05$)。见表 1。本研究经医院伦理审查委员会的批准,所有患者均知情同意。

表 1 两组患者一般资料比较

项目	机器人组($n=54$)	透视组($n=49$)	统计量	P
年龄(岁)	77.759 \pm 5.911	78.102 \pm 8.512	$t=-0.239$	0.811
性别(男/女, n)	18/36	14/35	$\chi^2=0.272$	0.602
骨密度 T 值	-3.868 \pm 0.445	-3.867 \pm 0.540	$t=-0.014$	0.989
体重指数(kg/m^2)	28.759 \pm 4.206	28.898 \pm 5.698	$t=-0.141$	0.888
骨折节段			$Z=-0.219$	0.827
T7~T10	17	16		
T11~L1	26	24		
L2~L4	11	9		
随访期(月)	9.463 \pm 2.508	8.836 \pm 3.362	$t=1.078$	0.284

1.2 方法 机器人为第三代中国骨科机器人“天玑”系统。手术 X 射线机包括德国西门子的三维 C 臂,以及其他常规实用的三维 C 臂,在显示器中均可显示辐射剂量。患者全身麻醉后,俯卧位,两组的所有手术均由 5 名高级职称医生实施,两组患者均采用单侧经椎弓根穿刺入路。

透视组使用 C 臂透视机,摆放在正位透视,确定伤椎节段,在通过专用定位显影针,通过透视,确认伤椎椎弓根位置,予以标记,常规消毒铺巾。根据个人习惯,在标记点外上,切开皮肤,使用专用穿刺针在连续透视下经椎弓根逐步穿刺,调整穿刺角度和深度,至椎体后方 1/3 拔出针芯,使用活检套筒取出骨组织进行活检,放入骨钻扩髓 2 cm 左右,取出骨钻,置入球囊进行撑开复位。通过 C 臂透视确认球囊在椎体前 2/3 的位置后,在球囊内注射可显影的造影剂,C 臂显示撑开复位满意。取出球囊,通过骨水泥推杆逐步注入骨水泥。骨水泥在胸 11~腰 4 椎一般注入 6~8 ml 左右,在胸 7~10 椎一般注入 4~6 ml 左右,骨水泥通过椎体中线。如果出现骨水泥接近椎体后壁、渗出椎体前壁或相邻椎间隙等骨水泥渗漏倾向时,需要立即停止注射,待骨水泥硬化期,取出工作通道。最后,切口进行消毒,覆盖无菌敷料并加压包扎。

机器人组预估手术大概节段,在预估节段上

端或下端预留宽度 20 cm 左右的空间(患者跟踪器固定空间),常规消毒和铺巾。随后,选择适当大小的 3M 无菌薄膜覆盖皮肤表面,宽度 30 cm,长度 40 cm 左右。将跟踪器放置于在手术节段上方或下方 10 cm 左右,并使用 3M 无菌薄膜将患者示踪器粘贴固定于皮肤表面的 3M 薄膜上,以确保其稳定性。专业技术人员连接机器人组件,包括红外线设备、工作站以及机械臂等装置。手术护士配合技术人员安装机械臂跟踪器以及无菌套。术者将机械臂跟踪器放置于患者手术节段皮肤表面,技术人员用 C 形臂 X 射线机 270°扫描伤椎,采集手术节段图像。在工作站予以图像三维处理,技术人员和术中在机器人工作站规划伤椎椎弓根穿刺的路径。确定路径后,术者取下机械臂跟踪器,更换为机械臂导向器。技术人员在工作站操作,按照规划路径启动机械臂至穿刺部位上方。在机械臂的导向器引导下,置入二级工作套筒定位皮肤穿刺点,经皮肤上穿刺点划开 0.5 cm 切口,将二级工作套筒植入筋膜下至骨面,术者使用 1.5 mm 的骨导针通过二级工作套筒钻入椎体 3 cm 左右,通过 C 臂透视穿刺角度和深度满意。顺骨导针,植入 PKP 的空心穿刺套筒,取出骨导针,使用活检套筒取出骨组织进行活检,余操作同透视组。具体方法见图 1。

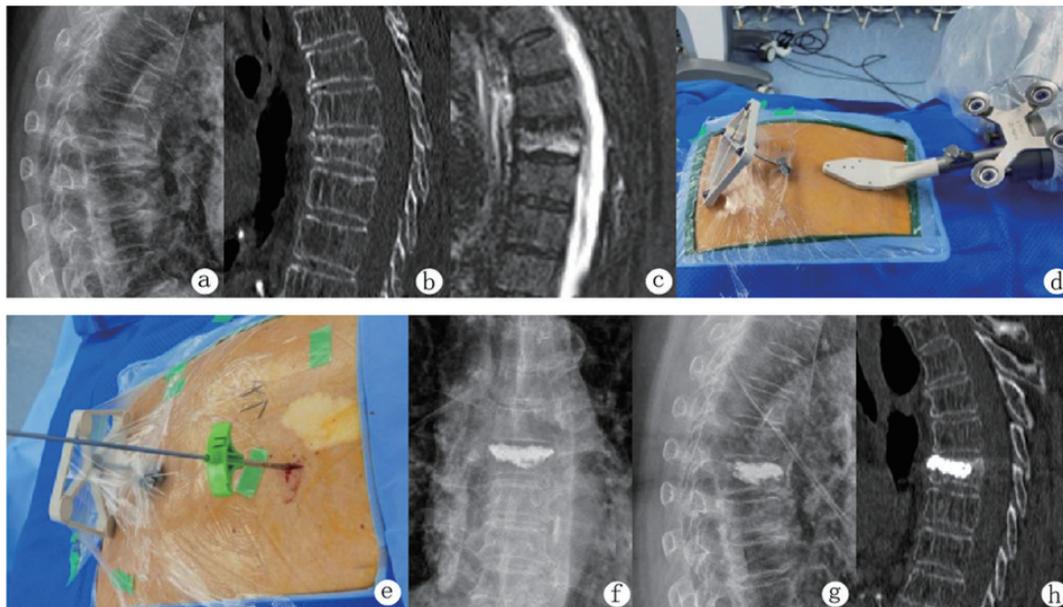


图1 机器人辅助下 PKP 手术治疗高龄重度 OVCF 的手术流程图 a:术前侧位 X 射线片;b:术前 CT;c:术前 MRI;d:术中定位收集伤椎数据;e:顺导针置入工作通道;f:术后 1 天正位 X 射线片;g:术后 1 天侧位射 X 射线片;h:术后 1 天 CT

1.3 观察指标 比较围手术期临床指标,包括手术时间、穿刺调整次数以及患者均无感染、脊髓或神经损伤、肺栓塞等严重并发症发生情况。两组术中透视情况,包括放射剂量、透视次数。两组穿刺路径。两组骨水泥渗漏情况和骨水泥在椎体中的分布情况。两组疼痛和功能情况,包括疼痛视觉模拟评分(visual analogue scale, VAS)^[8,9]和 Oswestry 功能障碍指数(oswestry disability index, ODI)^[10]。

放射剂量根据 C 臂机器显示的本次手术期间的放射剂量之和。手术时间起自切开皮肤至骨水泥植入取出穿刺通道时。本研究中,患者均采用椎弓根穿刺路径,术后根据复查的 CT 检查分析,穿刺路径分为完全通过椎弓根穿刺(椎弓根内壁完整)和不完全通过椎弓根穿刺(椎弓根内壁破损)两组,椎弓根内壁完整例数越高说明穿刺路径更佳。骨水泥在椎体中的分布情况具体分析如下:在矢状面上,将椎体平均分为穿刺侧和对侧,比较两侧的骨水泥填充情况均匀情况。术后 CT 扫描数据(层厚 ≤ 1 mm),导入 Mimics 软件进行三维重建。骨水泥-

骨界面采用精细化网格,以椎体矢状面中线为界,将椎体分为穿刺侧(骨水泥注射侧)和对侧(非穿刺侧)。计算两区域骨水泥体积(理想目标:双侧比较接近,提示均匀弥散)。VAS 标准从 0 分无到 10 分疼痛难^[8,9]。ODI 得分范围为 0~100 分,分数越高表示病情越严重,功能障碍越明显^[10]。

1.4 统计学方法 数据分析使用 SPSS 21.0 统计学软件处理。计量资料以均数 \pm 标准差表示,比较采用独立样本 *t* 检验和重复测量数据的方差分析;计数资料以例数(%)表示,比较采用 χ^2 检验。两组骨折节段比较采用非参数 mann-whitney *U* 检验。检验水准 $\alpha=0.05$ 。

2 结果

2.1 两组围手术期临床指标及术中透视情况比较 两组患者均无感染、脊髓或神经损伤、肺栓塞等严重并发症发生。机器人组手术时间、穿刺调整次数、放射剂量、透视次数均显著少于透视组($P < 0.05$)。见表 2。

表 2 两组临床指标比较

指标	机器人组($n=54$)	透视组($n=49$)	<i>t</i>	<i>P</i>
放射剂量(cGy/cm^2)	159.907 \pm 14.563	195.163 \pm 39.326	-5.918	0.000
透视次数(次)	10.259 \pm 4.180	23.714 \pm 3.181	-18.237	0.000
手术时间(分)	24.648 \pm 2.120	28.857 \pm 3.593	-7.318	0.000
穿刺调整次数(次)	1.111 \pm 0.317	2.836 \pm 1.086	-10.708	0.000

2.2 两组骨水泥渗漏及骨水泥在椎体中的分布情况比较 机器人组有 13 例骨水泥渗漏,渗漏率为 24.0%,透视组有 26 例发生骨水泥渗漏,渗漏率

53.0%。机器人组骨水泥渗漏率显著低于透视组($\chi^2=9.175, P=0.002$)。具体分析骨水泥渗漏的类型如下:在机器人组,6 例渗漏到伤椎上或

下的椎间盘中,4 例通过椎旁骨折线渗漏到椎体旁边,3 例可以看到椎体周围静脉丛出现少量骨水泥线影;在透视组,7 例渗漏到伤椎上或下的椎间盘中,14 例通过椎旁骨折线渗漏到椎体旁,4 例椎体

周围静脉丛出现骨水泥线影,1 例患者骨水泥稍渗漏至椎体后纵韧带区域。机器人组穿刺侧骨水泥体积小于透视组,对侧骨水泥体积大于透视组($P < 0.05$)。见表 3。

表 3 两组骨水泥在椎体分布情况比较 (ml)

分布情况	机器人组 ($n=54$)	透视组 ($n=49$)	t	P
穿刺侧	2115.796±603.758	2486.387±456.886	-3.485	0.001
对侧	1493.166±316.121	1108.224±498.336	4.628	0.000

2.3 两组穿刺路径分析 机器人组有 50 例患者穿刺路径完全经过椎弓根,椎弓根内壁无破损,其中 3 例患者椎弓根上壁破损,1 例椎弓根外壁破损。透视组仅有 24 例患者穿刺路径完全经过椎弓根,其中 15 例患者椎弓根上壁破损,5 例椎弓根外壁破损,2 例下壁破损,3 例内壁破损。机器人组穿刺路径准确性显著高于低于透视组($\chi^2 = 24.156, P = 0.000$)。

2.4 两组疼痛和功能术前术后恢复情况比较 机器人组和透视组术后各时间点的 VAS 评分、ODI 评分均较术前明显改善($P = 0.000$)。术后 1 个月时,机器人组 VAS 评分明显低于透视组($P = 0.000$)。术后 3 个月和末次随访两组 VAS 评分差异无统计学意义($P > 0.05$)。术前和术后各时间点,两组 ODI 评分比较差异无统计学意义($P > 0.05$)。见表 4 和表 5。

表 4 两组 VAS 评分的比较 (分)

组别	机器人组 ($n=54$)	透视组 ($n=49$)	统计量
术前	6.592±1.000	6.224±1.229	时间效应 $F = 531.906, P = 0.000$
术后 1 个月	2.964±1.243 [*]	4.081±1.366	交互效应 $F = 12.769, P = 0.000$
术后 3 个月	2.203±0.655	2.142±0.707	组别效应 $F = 1.232, P = 0.270$
末次随访	1.870±1.082	1.7475±0.848	

* 与透视组比较, $P < 0.05$

表 5 两组 ODI 评分比较 (分)

组别	机器人组 ($n=54$)	透视组 ($n=49$)	统计量
术前	72.259±5.773	72.979±6.893	时间效应 $F = 1357.519, P = 0.000$
术后 1 个月	36.370±8.653	38.224±9.154	交互效应 $F = 0.422, P = 0.682$
术后 3 个月	29.888±3.714	30.898±3.441	组别效应 $F = 1.521, P = 0.220$
末次随访	28.148±4.643	28.244±4.824	

3 讨论

高龄患者出现 OVCF 时,骨小梁骨折引起的骨折微动,椎体本体和骨膜的神经传递刺激产出腰部疼痛^[11,12]。PKP 可以恢复骨折椎体高度并稳定脊柱,从而减少因椎体不稳导致的脊神经牵引,具有创伤小、见效快、成本低的优点^[13,14]。

机器人辅助脊柱手术具有提高内固定植入准确性的优点。目前,国外研究较多的脊柱手术机器人主要包括 Renaissance 机器人和 ROSA 机器人等,国外机器人在骨科领域的研究热点主要是机器人提高内固定植入的准确性方面^[15,16]。在国内, TiRobot 骨科机器人在 2016 年获得中国 FDA 批准,一些研究初步尝试使用机器人辅助 PKP 治疗 OVCF,但在轻中度的 OVCF 中,但具有不少争议^[8,9]。一些学者认为骨科机器人的准备过程复杂、时间较长,骨科机器人的使用是否有必要,仍具有讨论的意义。

在本次回顾性研究中,我们围绕重度 OVCF 中的 PKP 手术,发现机器人在一些方面具有较大的优

势。对于高龄重度 OVCF,骨折节段压缩超过三分之二,同时脊柱本身常伴有轻度后凸或侧弯畸形。为了获得满意的穿刺路径,传统 PKP 手术需要反复透视调整穿刺点,调整穿刺针头倾角和内倾角,可能穿伤椎弓根侧壁或者造成椎弓根周围骨质的劈裂,在推注时骨水泥可能导致骨水泥顺着破裂的骨质外漏。在目前椎体成形术中骨水泥外漏率为 23%~41%,在高龄重度 OVCF 患者中,骨水泥渗漏率较轻中度 OVCF 可能更高^[17,18]。在我们的研究中,透视组有 26 例发生骨水泥渗漏,其中椎旁渗漏所占最高,这可能穿刺针导致椎体侧壁损伤有关。此外,高龄重度的 OVCF 受伤椎体空间比普通 OVCF 的椎体空间窄,因此在注入骨水泥时遇到的压力更大。这些原因共同增加了骨椎旁渗漏的可能性。

对于椎体成形手术穿刺路径的选择,通常而言通过椎弓根穿刺一般较为安全,若是穿刺偏内或者偏下容易损伤脊髓神经,穿刺偏上或偏外对于椎旁血管造成损伤可能造成局部积血的情况。本研究

中,机器人组的穿刺路径明显优于透视组,透视组有 15 例患者椎弓根上壁破损,5 例椎弓根外壁破损,2 例下壁破损,破损率较高,虽然本研究中未出现脊髓损伤和大血管损伤的情况,但仍有较高风险出现相关不良反应。

目前双侧和单侧 PKP 治疗 OVCF 患者在临床上均被广泛使用,一项 Meta 分析显示,在影像学检查的测量数据结果方面,单侧 PKP 和双侧 PKP 没有明显差异^[19]。然而,双侧 PKP 的骨水泥泄漏率较高,手术时间也更长^[19]。在本研究中,我们选择单侧穿刺,然而对于术者,精准掌握准确的穿刺角度,并将球囊放在理想的位置并不容易,机器人辅助引导无疑增加了操作者的信心。本研究使用有限元法分析了椎体两侧的水泥分布,在机器人组中,骨水泥更快地到达非穿刺侧且分布更加均匀。在透视组中,骨水泥主要集中在穿刺侧,这可能导致椎体压力失衡。骨水泥在椎体中分布情况而言,机器人组要优于对照组。

治疗 OVCF 患者的手术的主要目的是缓解腰背痛并获得满意的活动度,VAS 和 ODI 评分常被作主要的疼痛和功能评分。本组研究中发现,术中机器人组的穿刺调整次数为 1.111 次,显著优于透视组的 2.836 次,穿刺次数过多可能造成椎弓根或椎弓根周围骨质劈裂。术后 1 个月机器人组的 VAS 评分显著优于透视组,可能与透视组术中反复穿刺造成椎弓根部位局部骨破损相关。术后 3 个月和末次随访两组之间 VAS 评分无明显差异,可能与骨折逐渐愈合后疼痛缓解有关。在本研究中,尚未发现两组术后各时间点的 ODI 评分的差异,ODI 指数是一种用于评估腰背痛患者功能障碍程度的量表,综合了多个方面的评分,患者主观描述偏差较大,今后可能需要更大样本量的研究。

脊柱机器人手术的手术时间因手术节段、手术方式以及术者所处的学习曲线阶段不同而差异较大。一些研究中,普遍认为骨科机器人的准备时间约为 20 分钟左右,机器人手术时间会普遍长于传统手术^[8,9]。而在本研究中却得到了不同的结果,机器人组手术时间显著低于透视组,这可能与多种因素相关。本研究中都是高龄重度 OVCF,伤椎压缩严重,患者可能伴有脊柱后凸或侧弯畸形,其穿刺难度本身难度较大,会比较中度 OVCF 患者手术时间更长。此外,虽然机器人辅助手术需要额外的准备时间,但准备过程中未进行皮肤切开,未计算进入整个手术时间,这也可能与机器人组手术时间短有关。

辐射暴露对人类健康的危害是显而易见的^[20]。在传统的透视 PKP 中,需要多次的反复透视以确保

穿刺针通过椎弓根到达椎体,这增加了医生和患者的透视辐射暴露风险,特别在这种高龄 OVCF 中,穿刺难度较大。在这项研究中,机器人组在图像采集、配准和规划手术路径的过程中,外科医生可以避免暴露于辐射。规划路径,定位针只需插入一次,然后进行透视验证,放置穿刺工作套管以注入骨水泥,也减少了患者的透视次数。研究结果表明,机器人组放射剂量显著低于透视组,减少了外科医生的辐射损伤的可能性。

虽然骨科机器人在本研究中优势较为明显,但骨科机器人仍存在许多不足以及手术中仍有需要特别注意的地方。骨科机器人相对而言价格较高,患者治疗成本也相应会增加。机器人辅助手术需要额外的准备时间,在这个手术间,还需专门配备操作骨科机器人的技师,不可避免增加了人力成本^[20]。

综上,机器人辅助 PKP 治疗高龄重度的 OVCF 中,在提高穿刺准确性、减少透视剂量、缩短手术时间以及减少骨水泥渗漏风险方面更能显示出其明显的优势。

【参考文献】

- [1] Bao J, Zhou L, Liu G, et al. Current state of care for the elderly in China in the context of an aging population [J]. *Biosci Trends*, 2022, 16: 107-118.
- [2] Li L, Du T, Hu Y. The Effect of Population aging on healthcare expenditure from a healthcare demand perspective among different age groups: evidence from Beijing city in the people's republic of China [J]. *Risk Manag Healthc Policy*, 2020, 13: 1403-1412.
- [3] Taylor RS, Fritzell P, Taylor RJ. Balloon kyphoplasty in the management of vertebral compression fractures: an updated systematic review and meta-analysis [J]. *Eur Spine J*, 2007, 16: 1085-1100.
- [4] Deramond H, Depriester C, Galibert P, et al. Percutaneous vertebroplasty with polymethylacrylate. Technique, indications, and results [J]. *Radiol Clin North Am*, 1998, 36: 533-546.
- [5] Nie B, Wang Q, Li B, et al. Exploration of percutaneous vertebroplasty in the treatment of osteoporotic vertebral compression fracture as day surgery: a retrospective study [J]. *Eur Spine J*, 2021, 30: 2718-2725.
- [6] Elnoamany H. Percutaneous selective vertebroplasty: state of the art management in well-confined metastatic vertebral lesions [J]. *Asian Spine J*, 2016, 10(5): 869-876.
- [7] Zhang HT, Sun ZY, Zhu XY, et al. Kyphoplasty for the treatment of very severe osteoporotic vertebral compression fracture [J]. *J Int Med Res*, 2012, 40: 2394-2400.
- [8] 李佳鸿,林书,唐六一,等.骨科机器人辅助下经皮固定小切口减压术治疗晚期胸腰椎转移瘤[J].中国修复重建外科杂志,2023, 37(9): 1113-1118.
- [9] 尹之玮,唐六一,胡珏,等.机器人辅助经皮固定联合局限性椎板切除术治疗单节段老年腰椎结核的疗效观察[J].实用医院临床杂志,2024, 21(3): 34-38.