

## 第三代天玑骨科机器人辅助下经皮置钉在经肌间隙入路腰椎融合内固定术中的应用

谭黄圣<sup>1,2</sup> 赖居易<sup>1,2△</sup> 冯华龙<sup>2</sup> 蓝志明<sup>2</sup> 付远飞<sup>2</sup> 孙志涛<sup>2</sup> 王建<sup>2</sup> 何升华<sup>2△</sup>

**[摘要]** 目的:探讨第三代天玑骨科机器人辅助下经皮置钉腰椎经肌间隙入路融合内固定术的安全性及临床疗效。方法:选择2021年12月至2022年7月天玑骨科机器人辅助下经Wiltse入路融合内固定术治疗的腰椎患者48例,男28例,女20例;年龄为32~74岁。48例患者均为单侧神经压迫症状,一侧采用机器人辅助下经皮置入椎弓根螺钉,另一侧采用经Wiltse入路置钉。比较48例患者术前、末次随访视觉模拟量表(VAS)评分和腰椎日本骨科协会(JOA)评分,采用Richter分类标准及螺钉内聚角对比两侧椎弓根螺钉置入准确度,统计分析两侧置钉时间及出血量。结果:患者术后末次随访的VAS评分和JOA评分均较术前明显改善,差异有统计学意义( $P<0.05$ );术后2 d采用Richter分类标准评价置钉准确度,机器人辅助下共置钉108枚,其中Ⅰ级101枚,Ⅱ级6枚,Ⅲ级1枚。徒手置钉104枚,其中Ⅰ级80枚,Ⅱ级20枚,Ⅲ级4枚。机器人辅助下置钉准确率为93.52%,徒手置钉准确率为76.92%,机器人辅助下置钉准确率显著优于徒手置钉,差异有统计学意义( $\chi^2=7.727, P=0.005$ )。机器人辅助下置入椎弓根螺钉平均内聚角为 $25.19^\circ\pm 3.85^\circ$ ,徒手置入椎弓根螺钉平均内聚角为 $29.19^\circ\pm 4.37^\circ$ ,差异有统计学意义( $t=10.24, P=0.03$ )。机器人辅助下置钉出血量、置钉时间均优于徒手置钉( $P<0.05$ )。结论:机器人辅助经皮置钉相比徒手置钉可进一步提升手术安全性,提高临床疗效。

**[关键词]** 腰椎融合术;肌间隙入路;骨科机器人;内固定;椎弓根螺钉;安全性;并发症

**[中图分类号]** R681.5 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1005-0205(2024)02-0020-05

**DOI:** 10.20085/j.cnki.issn1005-0205.240204

## Application of the Third Generation TiRobot-Assisted Percutaneous Screw Placement in Lumbar Fusion and Internal Fixation via Wiltse Approach

TAN Huangsheng<sup>1,2</sup> LAI Juyi<sup>1,2△</sup> FENG Hualong<sup>2</sup> LAN Zhiming<sup>2</sup>

FU Yuanfei<sup>2</sup> SUN Zhitao<sup>2</sup> WANG Jian<sup>2</sup> HE Shenghua<sup>2△</sup>

<sup>1</sup>Fourth Clinical Medical College, Guangzhou University of Chinese Medicine, Shenzhen 518000, Guangdong China;

<sup>2</sup>Shenzhen Traditional Chinese Medicine Hospital, Shenzhen 518000, Guangdong China.

**Abstract Objective:** To investigate the safety and clinical efficacy of the third generation TiRobot-assisted percutaneous screw placement versus freehand placement of screws in lumbar spine fusion and internal fixation via Wiltse approach.

**Methods:** 48 patients with lumbar spine who underwent the third generation TiRobot-assisted fusion and internal fixation via Wiltse approach from December 2021 to July 2022 were selected, including 28 males and 20 females, aged 32–74 years old. All 48 patients had symptoms of unilateral nerve compression. Robot-assisted percutaneous pedicle screw placement was used on the side of the lumbar spine, and the lumbar spine on the other side was placed with screws through the Wiltse approach. The preoperative and last follow-up visual analogue scale (VAS) and lumbar Japanese orthopedic association (JOA) scores of 48 patients were compared, and the Richter classification criteria and screw cohesion angle were used to

compare the accuracy of pedicle screw placement on the both sides. The time and bleeding volume of bilateral nail placement were statistically analyzed. **Results:** The VAS score and JOA score of the patients at the last follow-up after operation were significantly improved compared with those before operation ( $P<0.05$ ). The Richter classification criteria were used to evaluate the accuracy of screw placement 2 d

基金项目:国家自然科学基金面上项目(82174397)

深圳市三名工程项目(SZZYSM202211004)

<sup>1</sup> 广州中医药大学第四临床医学院(广东 深圳, 518000)

<sup>2</sup> 深圳市中医院

△通信作者 E-mail: heshenghua99@163.com(何升华)

laijuyi@163.com(赖居易)

after surgery. There were 108 nails placed on the healthy side, and 101 were grade I, 6 of grade II and 1 of grade III. There were 104 nails placed on the affected side, including 80 of grade I, 20 of grade II, and 4 of grade III. The accuracy of robot assisted nailing was 93.52%, and that of manual nailing was 76.92%. The accuracy of robot assisted nailing was significantly better than manual nailing, and the difference was statistically significant ( $\chi^2=7.727, P=0.005$ ). The average cohesion angle of pedicle screws placed under robotic assistance was  $25.19^\circ \pm 3.85^\circ$ , and the average cohesion angle of pedicle screws placed was  $29.19^\circ \pm 4.37^\circ$ , and the difference was statistically significant ( $t=10.24, P=0.03$ ). The amount of bleeding and the time of placing nails assisted by robot are better than those of unarmed nails ( $P<0.05$ ). **Conclusion:** The results show that the robot-assisted percutaneous nail placement can further improve the safety of surgery and improve the clinical efficacy compared with manual nail placement.

**Keywords:** lumbar fusion; intermuscular approach; orthopedic robot; internal fixation; pedicle screw; safety; complications

近年来,骨科手术机器人在国内开始普及,随着手术机器人系统应用于脊柱外科手术的螺钉置入,其准确性得到了脊柱外科医师的广泛认可<sup>[1-2]</sup>。深圳市中医院引进天玑骨科机器人应用于脊柱相关疾病治疗,获得了满意的疗效。本研究回顾性分析深圳市中医院 2021 年 12 月至 2022 年 7 月天玑骨科机器人辅助下经 Wiltse 入路融合内固定术治疗的腰椎患者 48 例,现报告如下。

## 1 研究对象和方法

### 1.1 研究对象

选择深圳市中医院 2021 年 12 月至 2022 年 7 月的住院患者,在天玑骨科机器人辅助下经 Wiltse 入路融合内固定术治疗,共 48 例,男 28 例,女 20 例;年龄 32~74 岁。48 例患者一侧腰椎采用机器人辅助下经皮置入椎弓根螺钉,另一侧腰椎采用经肌间隙入路切开置入椎弓根螺钉。48 例患者均对治疗知情同意并签署知情同意书。本研究已获得深圳市中医院伦理委员会批准(项目编号为 K-2021-073)。

### 1.2 纳入标准

1)术前影像学检查明确腰椎相关疾病如腰椎不稳、腰椎间盘突出症、腰椎滑脱症;2)腰椎相关疾病且需行腰椎融合椎弓根螺钉内固定者;3)单侧症状且需行单侧减压者;4)经 3 个月规范物理治疗无明显改善者。

### 1.3 排除标准

1)重度骨质疏松不适宜置钉者;2)腰椎先天畸形者;3)腰椎退变性侧弯;4)采用非经肌间隙入路手术者;5)合并严重基础疾病无法耐受手术者。

### 1.4 方法

**1.4.1 治疗方法** 48 例患者手术均由同一名手术医生完成。所有患者术前均行 X 线、CT、MRI 检查,术后 X 线、CT 复查。

**手术方法:**全身麻醉后,患者俯卧于机器人专用手术床上,术前 C 臂机定位,确定责任椎体。用无菌塑料外罩保护机器人手臂,摆放于患者左侧,同时确保机器人手臂移动范围能覆盖整个手术区域,红外线立体

相机摆放于患者尾侧。用克氏针于髂后上棘处固定示踪器,再使用 3D-C 臂机扫描,以获取手术节段所有影像数据。将数据传输至机器人系统主控台,在主控台屏幕上完成椎弓根螺钉植入规划,包括螺钉的长度、直径,进针点的选择以及置入角度的设定。规划完成后调整机械臂至合适位置,用止血钳夹除手术区域的手术贴膜,避免因手术操作而留置贴膜于体内。插入 1.5 mm 带齿二级套筒,至进针点骨质表面,打入克氏针。全部椎体椎弓根克氏针置入完成后再进行 C 臂机正侧位透视以确认克氏针位置良好,置入合适大小、长度空心椎弓根螺钉并再次透视确认,确认无误后冲洗切口、缝合。

以病变节段为中心正中旁开 4 cm 作纵行切口。切开皮肤,显露腰部筋膜,电刀切开筋膜,棘突旁 3 cm 处触及肌间隙,手指进行钝性分离,经多裂肌外侧与最长肌肌间隙入路,在多裂肌内侧与腰筋膜间隙进行钝性分离,显露上下位椎体上关节突,定位并置入椎弓根钉。将多裂肌牵向内侧,用电刀清除椎板及关节突上附着的软组织,椎间孔入路用椎板咬骨钳沿上关节突外侧缘向内侧缘咬除上下关节突;在减压侧切除下关节突及上关节突上部的内侧部分,去除该处腹侧关节囊,开放部分椎间孔后壁。将下位行走于根外缘处的后外侧纤维环作矩形切除,将髓核摘除并处理终板。咬除上位椎板及部分上下关节突的内侧部分作为自体骨源,预先在椎间隙内植入自体骨颗粒。切除部分椎板,显露并切除黄韧带外缘,在分离硬膜外间隙时常发生出血。显露椎间隙的外侧 1/3、硬膜囊和发出的神经根,上方神经根环绕椎弓根内下面,应注意保护。在硬膜囊外缘的纤维环开窗,摘除髓核,仔细去除椎间盘和软骨终板,直到纤维环前方,以便提供更大的融合面积。选择大小合适的 Cage,咬下骨粒部分填充于 Cage 内,其余部分用于椎间植骨。Cage 打入椎间隙后进行加压固定,使 Cage 内的松质骨粒与上下终板紧密结合,放置固定棒进行加压固定,维持腰椎生理性前凸。最后放置引流管,逐层缝合手术切口。

**1.4.2 疗效评定方法** 分别统计两侧手术以下指标：1)手术前后视觉模拟量表(VAS)评分,记录术前、术后3 d VAS评分。评分标准:0分,无痛;3分以下有轻微疼痛,能忍受;4~6分,患者疼痛并影响睡眠,尚能忍受;7~10分,患者有渐强烈的疼痛,疼痛难忍,影响食欲,影响睡眠。2)手术前后下腰痛日本骨科协会(JOA)评分,评分标准包括:主观症状0~9分,临床体征0~6分,日常活动受限度0~14分,膀胱功能6~0分,总评分最高为29分,最低0分。分数越低表明功能障碍越明显。3)置钉准确率,采用Richter分类标准<sup>[3]</sup>,依据患者术后CT影像评价椎弓根螺钉位置。Ⅰ级:螺钉位置满意,螺钉未穿透椎弓根皮质或轻微穿透(<1 mm)。Ⅱ级:1 mm<螺钉穿透皮质≤2 mm,且无须翻修,患者无周围组织损伤症状,内固定稳定性良好。Ⅲ级:螺钉穿透皮质>2 mm,患者出现周围组织损伤表现或内固定稳定性差,需翻修或取出。置钉准确率=(Ⅰ级螺钉数/置入螺钉总数)×100%。4)螺钉内聚角,即横断面CT示椎弓根螺钉中心轴线与椎体矢状轴之间的夹角,用于评价水平位螺钉位置。5)置钉时间,机器人辅助下置钉时间从克氏针置入开始计算。徒手置钉时间从完成显露手术节段相应椎板、关节突及横突等定位标志开始,至全部螺钉置入(或调整)并透视满

意结束。6)置钉出血量,分别统计两侧患者置钉结束时切口出血量,采用称重法,失血量(g)=揩拭全部失血后的纱布质量(g)-干纱布质量(g),1 g=1 mL。

1.5 统计学方法

采用SPSS 26.0统计软件对所得数据进行统计处理,组内比较用配对*t*检验和卡方检验,检验水准α=0.05,*P*<0.05差异有统计学意义。

2 结果

2.1 一般资料

纳入研究的48例手术治疗的患者无脱落情况,均完成手术并纳入结果分析。本组患者男28例,女20例;年龄为32~74岁,平均为50.14岁。体重指数为20.6~26.6 kg/m<sup>2</sup>,平均为23.18 kg/m<sup>2</sup>。疾病类型:腰椎间盘突出症患者20例,腰椎管狭窄症患者15例,腰椎滑脱症患者13例。术中共置入212枚螺钉,椎弓根螺钉置入椎体分布:L<sub>1</sub>椎体8枚,L<sub>2</sub>椎体12枚,L<sub>3</sub>椎体20枚,L<sub>4</sub>椎体58枚,L<sub>5</sub>椎体62枚,S<sub>1</sub>椎体52枚。术后随访时间为3~8个月,平均随访时间为6.48个月。

2.2 VAS评分和JOA评分比较

术后末次随访VAS评分和JOA评分均明显优于术前,差异有统计学意义(*P*<0.05),见表1。

表1 术前后VAS评分和JOA评分比较(±s,分)

项目	术前VAS评分		末次随访VAS评分		术前JOA评分	末次随访JOA评分
	腰部	下肢	腰部	下肢		
评分	8.03±0.33	7.02±0.18	1.98±0.07	1.05±0.02	16.04±6.52	27.24±1.31
<i>P</i>			0.006 <sup>1)</sup>	<0.001 <sup>2)</sup>		0.003 <sup>3)</sup>

注:1)与术前相比,*P*<0.05;2)与术前相比,*P*<0.001;3)与术前相比,*P*<0.05。

2.3 置钉准确率

术后3 d复查腰椎CT采用Richter分类标准评价椎弓根螺钉位置。共置入212枚螺钉,其中机器人辅助下共置钉108枚,其中Ⅰ级101枚,Ⅱ级6枚,Ⅲ级1枚。徒手共置钉104枚,其中Ⅰ级80枚,Ⅱ级20枚,Ⅲ级4枚。机器人辅助下置钉准确率为93.52%,徒手置钉准确率为76.92%。机器人辅助下置钉显著优于徒手置钉,差异有统计学意义( $\chi^2=7.727, P=0.005$ )。

术后CT横断面扫描机器人辅助下置入椎弓根螺钉平均内聚角为25.19°±3.85°,徒手置入椎弓根螺钉平均内聚角为29.19°±4.37°,差异有统计学意义(*t*=10.24,*P*=0.03)。

2.4 手术相关指标

置钉时间:机器人辅助下平均1枚螺钉置钉时间为(8.38±3.97)min(5~13 min),徒手置钉平均1枚螺钉置钉时间为(15.17±4.11)min(10~28 min),机器人辅助下置钉时间较徒手置钉短,两者比较差异有统计学意义(*t*=10.05,*P*<0.05)。

置钉出血量:机器人辅助下平均1枚螺钉置钉出血量为(5.05±1.43)mL(3~10 mL),徒手置钉平均1枚螺钉置钉出血量为(14.58±3.22)mL(11~42 mL),机器人辅助下置钉出血量较徒手置钉少,两者比较差异有统计学意义(*t*=6.09,*P*<0.05)。

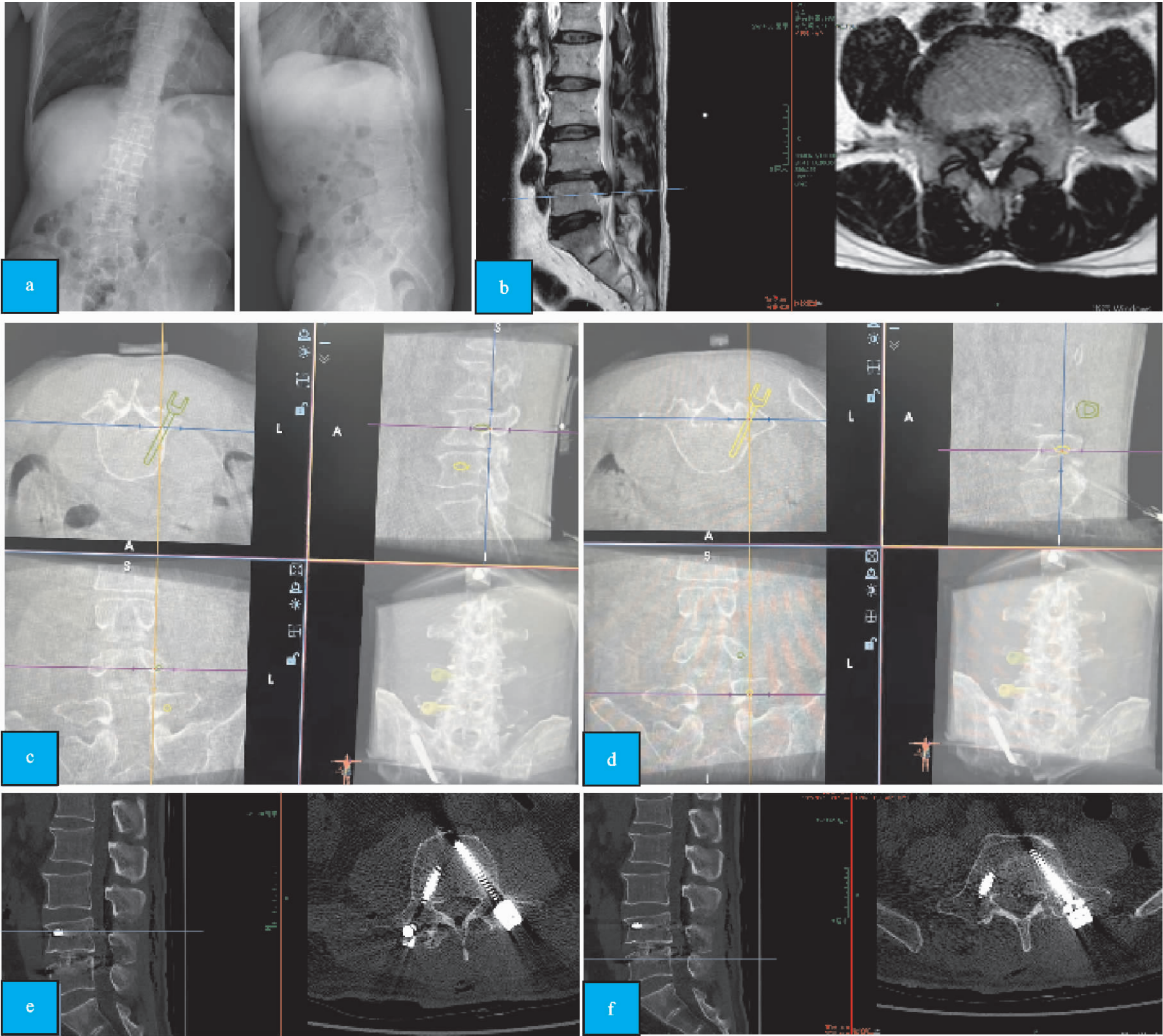
并发症:徒手置钉2例患者出现术后神经刺激症状,经取出螺钉后末次随访症状消失。

2.5 典型病例

典型病例影像资料见图1。

3 讨论

在涉及椎弓根螺钉内固定的脊柱外科手术中,人工徒手操作椎弓根螺钉置入一直是主要方法<sup>[4]</sup>。徒手置入椎弓根螺钉准确率与术者的个人经验有极其重要的关系,对术者的经验要求较高,因而常见椎弓根螺钉置入的准确度不够、稳定性差,引起术后神经刺激及损伤表现。有研究表明,徒手置入椎弓根螺钉置钉失败发生率为4.9%~37.5%<sup>[5-6]</sup>,如何提高脊柱外科手术置钉准确度一直是研究热点。



(a) 术前X线片，显示腰椎轻度侧凸，腰椎生理曲度变直；(b) 术前MRI片，显示L<sub>4/5</sub>椎间盘巨大突出；(c) 机器人系统中规划L<sub>4</sub>左侧椎弓根螺钉路径；(d) 机器人系统中规划L<sub>5</sub>左侧椎弓根螺钉路径；(e) 术后CT片，显示L<sub>4</sub>椎弓根螺钉位置良好；(f) 术后CT片，显示L<sub>5</sub>椎弓根螺钉位置良好

图 1 患者,男,55 岁,腰痛伴右下肢放射痛 1 年,L<sub>4/5</sub> 椎间融合椎弓根内固定术前、术后影像资料

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,减少了手术源性损伤,降低了因内固定置入导致的神经损伤发生率。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<sup>[7]</sup>。其技术先进性体现在三个方面,即定位精准、适应证广以及影像图片配准度高,其中机器人的临床精度可达到亚毫米级别,适应证基本可覆盖全节段脊柱外科手术。

本研究机器人辅助下置钉准确率为 93.52%,徒手置钉准确率为 76.92%,机器人辅助下置钉准确率显著优于徒手置钉。Devito 等<sup>[8]</sup>的研究结果显示,机器人辅助下完成椎弓根螺钉置入的准确率达 98.6%。Molliqaj 等<sup>[9]</sup>针对 169 例患者的研究发现传统徒手置入椎弓根螺钉的准确率为 88.9%,而机器人辅助下的准确率为 93.4%,显示机器人辅助下的螺钉置入安全性明显

高于徒手置入。郭凯等<sup>[10]</sup>采用框架式并联骨科手术机器人辅助椎弓根螺钉置入,机器人组置钉成功率、优良率分别为 100%和 96.7%,对照组置钉成功率、优良率分别为 98.3%和 85.0%,机器人组置钉优良率明显高于对照组,表明与术中 C 臂机透视引导徒手置钉相比,用骨科手术机器人辅助椎弓根螺钉置钉的准确率更高,可以大幅提高手术安全性。

手术机器人辅助椎弓根螺钉置入提高准确率的优势主要在以下几个方面:1)第三代天玑骨科手术机器人采用术前实时患者脊柱数据扫描,将数据直接传送到机器人电脑主机实现脊柱三维重建。重建后的脊柱图像可清晰显示脊柱结构,进行钉道规划,此步骤避免了因术前体位变化导致图像配准失真的不足,提高了置钉的准确性。2)在机器人电脑主机完成钉道规划并将固定架及套管安装后,机械臂可自行调整置钉路径,按术者规划的方向、角度调整套管,且一般不需要术者二次操作,该步骤可避免图像漂移和误差,提高一次置钉准确率。3)机器人操作简便,第三代天玑骨科手术

机器人操作过程中,需要术中参与的步骤主要是数据扫描、路径规划,其操作过程相对简便,无须手工注册、配准等步骤,降低了手术机器人操作的难度。即便是年轻的临床医师,经过培训后可以迅速掌握机器人的基本原理和操作技术,从而进行机器人辅助下置钉<sup>[11-12]</sup>。

本研究纳入的患者均为单侧下肢症状的患者,机器人辅助下采用经皮置钉,使得手术创伤最小化,进一步实现手术整体的微创化,对于保持脊柱的正常结构和稳定性有重要意义。机器人辅助下流程化、标准化的置钉,可提升手术的安全性,同时也减少了因置钉位置不佳导致的术中反复透视,降低了术中C臂机的放射性损伤<sup>[13]</sup>。尽管天玑手术机器人具有明显的优势,但也存在部分不足,例如现已上市的手术机器人手术器械中,缺乏对开口器、开路锥等手术工具的实时注册,实现进一步的精准置钉。对于采用经肌间隙入路进行腰椎手术的患者,其置钉的外展角相比传统后路置钉较大,通常制定的手术路径在暴露有限的切口范围内无法进行置钉,需要旁开另行切口。若可对开口器、开路锥等手术工具进行实时注册使用,则可避免此类情况的发生<sup>[14]</sup>。此外,在针对S<sub>1</sub>椎体进行置钉时,部分患者因髂棘较高或内聚严重,常影响置钉套管的放置而影响置钉<sup>[15]</sup>。

总体而言,机器人辅助下的椎弓根螺钉置入相比徒手置钉准确度更高、创伤更小,但在进行机器人手术操作时,仍需注意:1)主刀医师应参与脊柱实时扫描后的置钉路径规划,对螺钉的位置、角度、大小进行合理选择<sup>[16]</sup>。2)在进行机器人辅助下的脊柱手术前,应当具有开放手术的经验,对脊柱的正常结构熟悉。3)机器人不是绝对准确,在置钉的过程中,仍需确认钉道是否有破壁的情况。4)在手术操作过程中,应避免对机器人精密套件的干扰,此外手术床的稳定性和患者体位的保持对于手术的精度也至关重要<sup>[17]</sup>。随着脊柱外科手术机器人技术的不断更新发展,其不足仍有改善的空间,具有良好的临床应用前景。本研究为回顾性小样本自身对照研究,研究结论仍需要大样本前瞻性研究进一步验证。

## 参考文献

- [1] 杜盛阳,戴俊,周震涛,等. 机器人辅助经皮置钉与徒手Wiltse入路开放置钉治疗脊柱胸腰段骨折的疗效比较[J]. 中华创伤杂志,2022,38(2):109-115.
- [2] 徐子航,龙浩,何祖波,等. 机器人辅助皮质骨轨迹螺钉内固定术治疗腰椎退行性疾病的置钉准确率及学习曲线分析[J]. 中国脊柱脊髓杂志,2022,32(4):305-312.
- [3] RICHTER M, MATTES T, CAKIR B. Computer-assisted posterior instrumentation of the cervical and cervico-tho-

- racic spine[J]. Eur Spine J, 2004, 13(1):50-59.
- [4] 李杨,杜怡斌. 机器人辅助与徒手椎弓根螺钉置入在脊柱疾病应用效果的 meta 分析[J]. 临床荟萃,2023,38(3):208-215.
- [5] TIAN N F, HUANG Q S, ZHOU P, et al. Pedicle screw insertion accuracy with different assisted methods: a systematic review and meta-analysis of comparative studies [J]. Eur Spine J, 2011, 20(6):846-859.
- [6] TIAN N F, XU H Z. Image-guided pedicle screw insertion accuracy: a meta-analysis [J]. Int Orthop, 2009, 33(4):895-903.
- [7] 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.
- [8] DEVITO D P, KAPLAN L, DIETL R, et al. Clinical acceptance and accuracy assessment of spinal implants guided with SpineAssist surgical robot: retrospective study[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2010, 35(24):2109-2115.
- [9] MOLLIQAJ G, SCHATLO B, ALAID 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] 郭凯,张家豪,黄星,等. 框架式并联骨科手术机器人辅助椎弓根螺钉置入[J]. 中国组织工程研究,2023,27(22):3492-3497.
- [11] SIDDIQUI M I, WALLACE D J, SALAZAR L M, et al. Robot-assisted pedicle screw placement: learning curve experience[J]. World Neurosurg, 2019, 130:e417-e422.
- [12] KAM J, GAN C, DIMOU S, et al. Learning curve for robot-assisted percutaneous pedicle screw placement in thoracolumbar surgery[J]. Asian Spine J, 2019, 13(6):920-927.
- [13] WANG M, LI D, SHANG X, et al. A review of computer-assisted orthopaedic surgery systems[J]. Int J Med Robot, 2020, 16(5):1-28.
- [14] 朱振中,郑国焱,张长青. 机器人辅助技术在创伤骨科的发展与临床应用[J]. 中国修复重建外科杂志,2022,36(8):915-922.
- [15] 郑山,王博,韩振川,等. “天玑”骨科手术机器人辅助经皮螺钉内固定治疗单纯腰椎峡部裂的疗效观察[J]. 解放军医学院学报,2022,43(6):617-621.
- [16] 范明星,刘亚军,段芳芳,等. 机器人辅助胸腰椎椎弓根螺钉内固定术的学习曲线和临床意义[J]. 骨科临床与研究杂志,2018,3(4):213-217.
- [17] 曹旭含,白子兴,孙承颐,等. 机器人在骨科手术中应用的可靠性与提升空间[J]. 中国组织工程研究,2020,24(9):1416-1421.

(收稿日期:2023-06-12)