

微创脊柱融合手术两种辅助置钉方法的对比研究

侯海涛¹ 申霞² 张翔¹ 邵诗泽¹ 席焱海³ 孙金星^{1△}

[摘要] **目的:**比较微创经椎间孔入路腰椎椎间融合术(MIS-TILF)中 Renaissance 脊柱手术机器人辅助与 X 线透视引导下(Fluoroscopic-Guided, FG)的并发症和翻修率。**方法:**对 98 例行 MIS-TILF 的患者进行回顾性研究,分为研究组 Renaissance 组(R 组)和对照组(FG 组)。R 组 49 例,采用 Renaissance (以色列)脊柱手术机器人辅助置钉。FG 组 49 例,在 C 臂机(Siemens, 德国)透视下经皮置钉。比较置钉准确性和围手术期相关指标,根据 Gertzbein-Robbins 量表和小关节侵犯,评价椎弓根螺钉置入的准确性。围手术期相关指标主要包括置钉总手术时间、术中 X 线辐射时间、剂量及手术/伤口并发症和术后翻修率等。**结果:**R 组术后随访时间为 12.1~21.3 个月,FG 组术后随访时间为 12.3~16.6 个月。R 组 49 例患者共置钉 196 枚,出现术中螺钉植入不当(椎弓根内侧皮质穿透)2 枚,优秀 192 枚,中等 4 枚,未出现刀口感染及螺钉松动;FG 组 49 例患者共置钉 196 枚,出现术中螺钉植入不当 8 枚,椎弓根内侧皮质穿透 2 枚,椎弓根外侧皮质穿透 6 枚,优秀 178 枚,中等 6 枚,一般 2 枚,术后刀口感染 1 枚,术后螺钉松动 2 枚。**结论:**Renaissance 辅助 MIS-TLIF 的治疗方法中,与 X 线透视引导的手术相比,置钉手术时间、翻修率及并发症并无明显差异,但置钉准确率明显提高,术中辐射暴露更少。

[关键词] 机器人;透视引导;椎弓根螺钉;微创;经椎间孔腰椎椎间融合术

[中图分类号] R687.3 **[文献标志码]** A **[文章编号]**1005-0205(2022)11-0038-06

Comparative Study between Two Methods of Assisted Pedicle Screw Fixation on Minimally Invasive Surgery Transforaminal Lumbar Interbody Fusion

HOU Haitao¹ SHEN Xia² ZHANG Xiang¹ SHAO Shize¹ XI Yanhai³ SUN Jinxing^{1△}

¹ Department of Spine and Spinal Cord, Shandong Wendeng Osteopathic Hospital, Weihai 264400, Shandong China;

² The Operating Room, Shandong Wendeng Osteopathic Hospital, Weihai 264400, Shandong China;

³ Department of Spine Surgery, Shanghai Changzheng Hospital, Shanghai 200003, China.

Abstract Objective: To compare the complication and revision rate of minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion surgery (MIS-TLIF) assisted by Renaissance spinal surgery robot or X-ray fluoroscopy. **Methods:** 98 patients who underwent MIS-TLIF surgery were retrospectively divided into study group (Renaissance spinal surgery robot assisted, R group) and control group (Fluoroscopic-Guided, FG group). 49 patients in group R were implanted with screws assisted by renaissance spinal surgery robot (Israel) percutaneously, while 49 cases in FG group were guided by C-arm fluoroscopy (Siemens, Germany). The accuracy of screw implantation and perioperative related indexes were compared. The accuracy of pedicle screw placement was evaluated according to Gertzbein-Robbins scale and facet joint invasion. The total operation time of screw placement, intraoperative radiation time and dose, complications, and postoperative revision rate were recorded as perioperative related indicators. **Results:** The average follow-up time was 12.1 to 21.3 months in group R and 12.3 to 16.6 months in group FG. Among the 49 patients (196 screws) in group R, 192 cases had excellent screw implan-

tation and 4 case was medium. The medium case was the penetration of the medial cortex of the pedicle, and there was no incision infection and screw loosening in group R. Among the 49 patients (196 screws) in FG group, 178 cases were excellent; 6 cases were medium, and 2 cases were general, including 2 case of medial pedicle cortical penetration, 6

¹ 山东省文登整骨医院脊柱脊髓科(山东 威海, 264400)

² 山东省文登整骨医院手术室

³ 上海长征医院脊柱外科

[△]通信作者 E-mail:sunvenus@126.com

cases of lateral pedicle cortical penetration, 1 case of postoperative wound infection and 2 cases of postoperative screw loosening. **Conclusion:** Compared with X-ray fluoroscopy guided surgery, there is no significant difference in screw implantation time, revision rate and complications, but the accuracy is significantly improved, and the intraoperative radiation exposure is less.

Keywords: robot; perspective to guide; pedicle screw; minimally invasive; intervertebral foramen lumbar intervertebral fusion

精准置钉是微创脊柱融合手术(MIS-TLIF)中较为关键的步骤,以往置钉多通过 X 线透视完成,其弊端在于安全性不可控,手术延时及医患均承受大量辐射^[1]。近年来,Renaissance 机器人系统的应用,大幅度提升了置钉的安全准确性。近期文献报道对于该系统辅助置钉的准确率达 97%^[2],而文献关于术后并发症和翻修率的报道较少。因此,本研究通过回顾性分析 98 例手术患者,比较使用 Renaissance 系统和透视引导下(Fluoroscopic-Guided,FG)辅助置钉的随访情况,现报告如下。

1 研究对象和方法

1.1 研究对象

选取 2017 年 3 月至 2021 年 1 月在山东省文登整骨医院脊柱脊髓科行单节段微创脊柱融合的手术患者,共纳入 98 例。分为研究组(Renaissance 组,R 组)和对照组(FG 组)。R 组 49 例,采用 Renaissance(以色列)脊柱手术机器人辅助置钉。FG 组 49 例,在 C 臂机(Siemens AG, Wittelsbacherplatz 2, DE-80333 Muenchen,德国)透视下经皮置钉。术中所用椎弓根螺钉均为皮质骨双螺纹螺钉(富乐 US,北京)。方案经医院伦理委员会审核通过,患者已自愿签署知情同意书。

1.2 诊断标准

本研究通过“全国腰椎退行性疾患座谈会会议纪要(2006)”的临床诊断及影像学诊断拟定诊断标准。临床诊断标准^[3]:1)轴向负荷时诱发下腰痛(站立或行走时);2)休息后症状可缓解(坐位或卧位时)。放射学诊断标准^[4]:1)腰椎侧位片示椎体前缘可有牵张性骨赘、椎间隙狭窄、棘突序列不齐等;2)腰椎动力位片显

示椎体间位移 $>3\text{mm}$,病变椎间隙的椎间角差值 $>11^\circ$ 。符合临床诊断标准+放射学诊断标准,即可确诊退行性腰椎不稳。

1.3 纳入标准

1)年龄 >50 岁,性别不限;2)通过以上诊断确诊为单节段退变性腰椎不稳患者;3)手术方式为 MIS-TLIF,手术均由同一组手术医师完成。

1.4 排除标准

1)拟手术节段或相邻节段有手术史;2)全身或手术区部位感染或恶性肿瘤、手术区域骨骼畸形、原发性肌肉疾病(如肌肉营养不良)等;3)孕妇;4)资料不全或难以配合诊治者。

1.5 方法

1.5.1 手术方法 所有手术由同一团队医生配合完成。主刀医生具有 5 年以上独立完成 MIS-TLIF 手术经验,同时已越过机器人辅助下手术学习曲线(在经历 8~20 例的学习曲线后,术者能够达到更高水平的机器人应用能力,能够显著提高手术精度,减少手术时间)^[5]。全身麻醉成功后,患者取俯卧位,腹部悬空;常规消毒、铺巾。

1.5.1.1 R 组手术方案 手术前,通过 C 臂机获取三维扫描图像(见图 1),将其发送到机器人工作站,由术者进行椎弓根螺钉轨迹规划。机械臂被放置在骨安装平台上,并根据术者的指令,将其自身与计划的轨迹连续对齐。将手术刀穿过机器人的手臂,经皮进入软组织,直到到达椎弓根进入点。然后,钻头导向装置通过机器人的手臂插入,并安全地对接,以防止其在钻孔时移动。使用 $30\text{mm}\times 3\text{mm}$ 钻头穿过钻头导向,每个导孔内放置导丝。通过导丝置入椎弓根螺钉(见图 2)。

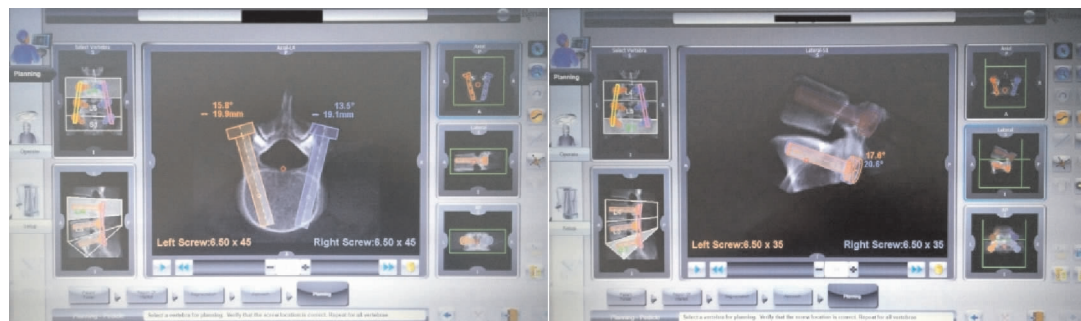


图 1 术前获取三维扫描图像,将其发送到机器人工作站,进行椎弓根螺钉轨迹规划



图2 术中通过机器人手臂置钉

1.5.1.2 FG组手术方案 标准正侧位透视确认责任节段上下椎体的椎弓根所在位置。在透视引导下徒手钻入带芯穿刺针经椎弓根直至椎体内,去掉内芯插入导丝,经导丝置入椎弓根螺钉。

两组均另做一纵向切口,经可扩张式通道进行单侧或双侧椎管和根管减压,髓核摘除并置入椎间融合器(Cage)。术中均使用C臂机透视进行X线摄影以评估螺钉及Cage位置。所有病例均进行了单节段减压并椎间融合。

1.5.2 疗效评定方法

- 1)置钉总手术时间。
- 2)置钉位置评估。评估标准:术后2~3 d行腰椎CT平扫+二维重建评估螺钉位置。由手术组随机一名医生和一名放射科医生独立评估椎弓根螺钉的准确性。如产生分歧,则由科内非手术组内的临床医生评估,包括螺钉对近端小关节的侵犯情况。根据Gertz-bein与Robbins量表^[6]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, $2\text{ mm}\leq$ 椎弓根皮质侵犯 $<4\text{ mm}$;D级, $4\text{ mm}\leq$ 椎弓根皮质侵犯 $<6\text{ mm}$;E级,椎弓根皮质侵犯 $\geq 6\text{ mm}$ 。比较两组优秀(A级)率和临床可接受(A级+B级)率。

- 3)术中X线辐射时间、辐射剂量(术者佩戴热释光探测器,GR-200A,海阳博创,北京)。
- 4)手术及伤口并发症和术后翻修率。
- 5)术前和术后即刻、术后3个月、12个月腰腿痛VAS评分、Oswestry功能指数(ODI)。

1.6 统计学方法

使用SPSS 25.0软件(IBM,美国)进行统计分析。计数资料以例数和百分数表示,组间比较采用卡方检验;计量资料以 $\bar{x}\pm s$ 形式表示,组间比较采用配对样本 t 检验; $P<0.05$ 差异有统计学意义。

2 结果

2.1 一般资料

R组共植入196枚螺钉(每个患者4枚,见图3),对照FG组共植入196枚(每个患者4枚),两组患者一般资料见表1。

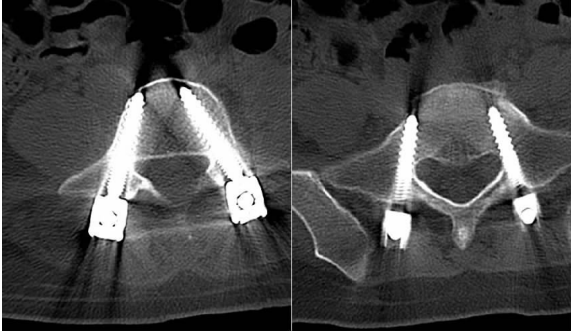


图3 术后3 d复查CT显示椎弓根螺钉位置与机器人规划轨迹一致

表1 两组患者一般资料比较

参数	Renaissance组(R组)	对照组(FG组)	P
例数/例	49	49	
女性/例	25(51.02%)	26(53.06%)	0.524
年龄/岁($\bar{x}\pm s$)	63.78 \pm 12.314	62.99 \pm 13.209	0.558
体重指数/($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$)($\bar{x}\pm s$)	25.38 \pm 3.058	25.22 \pm 3.416	0.422
基础疾病/例	10(20.41%)	9(18.36%)	0.533
吸烟/例	7(14.28%)	8(16.32%)	0.496
随访 >1 年比例	100%	100%	
平均随访时间/月($\bar{x}\pm s$)	14.18 \pm 1.765	13.98 \pm 2.213	0.684

R组计算置钉时间包括术中图像采集、电脑辅助置钉规划和机器人辅助置钉时间,辐射暴露量为单次术中三维扫描剂量和置钉完成后验证透视剂量。FG组手术时间为在C臂机引导下常规经皮置钉完成时间,辐射暴露量为C臂透视剂量总和。两组手术总时间、置钉总时间相比差异无统计学意义($P>0.05$)。但辐射时间及剂量、术中出血量差异有统计学意义

($P<0.05$),R组优于FG组。具体临床指标比较见表2。

2.2 并发症和翻修率

分别记录术前、术后2周、术后6个月、术后12个月ODI评分及VAS评分。两组患者术后12个月腰腿痛VAS评分及Oswestry功能指数差异无统计学意义($P>0.05$),见表3。

表 2 两组患者临床指标比较(±s)

组别	例数 /例	手术总时间 /min	置钉总时间 /min	辐射时间 /s	辐射剂量 /μSv	术中出血量 /mL	住院时间 /d
R 组	49	92.88±6.451	50.15±7.213	58.12±14.423	54.66±7.577	175.69±15.432	7.43±0.712
FG 组	49	95.33±6.456	55.95±7.918	83.15±9.644	79.52±10.104	281.23±32.350	7.51±0.688
P		0.223	0.122	<0.001	<0.001	<0.001	0.287

表 3 两组患者临床随访结果比较(±s,分)

组别	ODI 评分				VAS 评分		
	术前	术后 2 周	术后 6 个月	术后 12 个月	术前	术后 2 周	术后 12 个月
R 组	41.390±2.196	14.720±0.843	14.600±0.816	14.480±0.714	7.120±0.600	1.960±0.351	1.840±0.374
FG 组	41.400±2.062	14.760±0.723	14.600±0.645	14.440±0.651	7.040±0.539	1.920±0.400	1.800±0.408
P	0.876	0.855	1.000	0.866	0.676	0.722	0.722

并发症包括术中螺钉植入不当、术后螺钉松动及刀口感染。螺钉松动的判断标准:1)螺钉移位;2)钉身周围有 1 mm 或者更大的 X 线透亮带;3)CT 显示钉身周围不显影区域。出现以上 3 项指标中 1 项及以上者均评判为螺钉松动^[7]。

R 组 49 例患者共置钉 196 枚,出现术中螺钉植入不当(椎弓根内侧皮质穿透)2 枚,192 枚优秀,4 枚中等;FG 组 49 例患者共置钉 196 枚,出现术中螺钉植入不当 8 枚,椎弓根内侧皮质穿透 2 枚,椎弓根外侧皮质穿透 6 枚,优

秀 178 枚,中等 16 枚,一般 2 枚。两组置钉准确率相比具有统计学差异,R 组置钉优秀率、临床可接受率、近端小关节侵犯率均优于 FG 组。R 组术后刀口感染 1 例,术后螺钉松动 2 例(见表 4)。所有螺钉植入不当病例均在术中予以调整(所用时间单独记录)。对照组术后 1 周有 1 例刀口感染患者,分析原因与术中置钉困难,时间超过 1 h,术野暴露时间较长有关。对其先进行分泌物细菌培养(表皮葡萄球菌)并选择敏感抗生素治疗,后进行翻修手术,取出一侧内固定,3 周后恢复正常。

表 4 两组患者椎弓根螺钉置入准确性比较

组别	螺钉/枚	置钉准确性分级					优秀率 (A)	临床可接受率 (A 和 B)	近端小关节侵犯率
		A/枚	B/枚	C/枚	D/枚	E/枚			
R 组	196	192	2	2	0	0	97.9%(192/196)	98.9%(194/196)	0.5%(1/196)
FG 组	196	178	10	6	2	0	90.8%(178/196)	95.9%(188/196)	5.1%(10/196)
P							0.012	0.009	0.004

术后 3 个月对照组 2 例螺钉松动患者予以外固定保护支具治疗 1 个月,其中 1 例进行了翻修手术,另 1 例继续保守治疗,术后 12 个月均恢复正常。翻修适应证包括

刀口感染,假关节形成,内固定引起的腰腿痛需要移除内固定,内固定松动等^[8]。两组患者术后并发症与翻修率相比较差异无统计学意义($P>0.05$),见表 5。

表 5 两组患者术后并发症与翻修率[例(%)]

组别	例数	并发症					翻修率/%
		感染	螺钉松动	脑脊液漏	内固定相关神经症状	顽固性背痛	
R 组	49	0	0	0	0	0	0.00
FG 组	49	1(2.04%)	2(4.08%)	0	0	0	2.04
P		0.228	0.132				0.228

3 讨论

在本研究中,Renaissance 辅助 MIS-TLIF 的治疗方法 with X 线透视引导的手术相比,置钉手术时间、翻修率及并发症并无明显差异,但置钉准确率明显提高,术中辐射暴露更少。

MIS-TLIF 手术为经典的脊柱外科微创技术,该技术式主要在脊柱微创通道系统辅助下进行椎管扩大减压,髓核摘除以及椎间融合,并施行微创经皮内固定,和传统的后路开放手术相比,具有手术创伤小、恢复更快,可早期恢复日常活动,减轻病人的生活负担等优点。该技术式操作过程中较为重要的步骤是经皮置钉,快速、准确地置钉可缩短手术时间、减少并发症、提高

手术效果。如何快速、准确地置钉仍然是脊柱外科需要解决的问题,更多的临床工作者依赖于临床经验及术中透视。

脊柱外科机器人的出现为准确、快速置钉提供了一种解决方案。目前美国 FDA 批准可用于临床置入椎弓根螺钉的机器人系统有三种:Mazor 系列、ROSA 和 ExcelsiusGPS。国内机器人中最终能进行科研成果转化走上市场的产品仍很少,其中北京积水潭医院为主开发的天玑机器人是为数不多的经过了临床实践检验的产品。较多临床研究表明,机器人辅助下置钉具有更高的准确性和安全性,已在国内较多家医院开展。翟骁等^[9]运用 Renaissance 辅助椎弓根螺钉置入

矫正脊柱侧凸,共置入螺钉 148 枚,术后 CT 显示置入准确率为 95.3%。方国芳等^[10]对 Renaissance 辅助治疗胸腰椎骨折和脊柱畸形的安全性和准确性进行系统评估,结果发现 Renaissance 组螺钉置入优良率明显高于传统组。陈龙等^[11]研究认为,机器人辅助置入椎弓根螺钉虽然较徒手置钉准确率更高,术中出血量更少。侯海涛等^[12]研究认为 Renaissance 脊柱手术机器人辅助治疗中上胸椎骨折,椎弓根螺钉置入准确性高、术中风险明显降低、手术安全性高,置钉效果满意。但也有研究者得出了相反的结果,Ringel 等^[13]的随机对照研究显示,与透视引导组相比,机器人组的螺钉准确性更低。分析这可能与使用不同的机器人和术者经验技术不同等原因有关。本研究发现 Renaissance 辅助下置钉准确率明显高于 FG 组,这与国内大多数研究者的研究报告一致,考虑术者已具备熟练应用 Renaissance 脊柱手术机器人的能力。

关于置钉并发症,较为常见的包括刀口感染,出血或形成血肿,置钉过程中误伤神经和血管,术后螺钉松动、断裂,排异反应,邻椎病等。由于本研究未能对比分析不同厂家的螺钉,所以术后螺钉断裂及排异反应并未单独记录。客观来讲,由于腰椎椎弓根比较粗大,可供选择的置钉通道范围相对广泛,置钉失误率小于颈椎及腰椎,即使置钉失误导致椎弓根破裂,出现神经损伤相关并发症的概率也相对较低,因而国内对于腰椎退变性疾病后路置钉因素导致的神经损伤并发症的研究及报道并不多见,但这并不意味着不需要重视,特别是对于合并严重腰椎滑脱、旋转侧凸畸形的患者。在本研究中,排除了减压融合过程中出现神经、血管损伤的可能性,两组均未出现神经血管损伤,其并发症主要集中于透视引导组的刀口感染及螺钉松动,且总体发生例数透视引导组略高,但差异并无统计学意义。分析认为可能由于目前病例较少,导致这与国外部分研究并不完全一致。Christopher 等^[14]通过一项多中心的前瞻性研究证实机器人辅助下微创脊柱融合手术的并发症显著低于透视引导组。

多数研究发现,由于机器人辅助手术提高了置钉准确率,与徒手手术相比,翻修手术的概率明显降低。Keric 等^[15]报道,在徒手组中 5.0% 的病例因移位而需要修复,而在 Renaissance 组中这一比例为 0.6%。也有研究证实两组翻修率基本一致,Lieber 等^[16]分析了来自全国住院病人样本的 257 例机器人引导(类型不明)手术患者的历史数据,与徒手组基本一致。笔者的研究中,Renaissance 组的术中螺钉调整概率降低,但术后返修率两组比较差异无统计学意义。客观来讲,由于每个患者都有特定的解剖特征,Renaissance 机器人需要在手术前进行详细的 3D 规划,这增加了术者对患者解剖结

构的熟悉程度,并降低了手术中意外发生的概率。术前规划还可以优化植入物的大小和患者椎弓根解剖结构的轨迹。该机器人系统能够根据患者的具体解剖结构差异,针对患者模拟理想的螺钉轨迹并且在手术时准确可靠地再现这种模拟。此外,使用 Renaissance 螺钉可以减少近端关节突关节侵犯并且可以选择更好的钉道方向。完整规划的螺钉轨迹可能会减少在棒插入过程中对椎弓根螺钉的牵张,由此降低椎弓根的应力,并可能降低肌肉、皮肤等组织的张力。以上因素在一定程度上都大大提高了置钉准确率。由于内固定只是导致术后并发症的因素之一,且术者对翻修手术适应证的把握程度不同,这可能影响翻修手术的选择。

初步证据表明,与透视下经皮置入椎弓根螺钉相比,使用 Renaissance 通过精准定位,可以保证每枚椎弓根螺钉置入到最佳置钉区域,最大程度减轻椎弓根螺钉对近端相邻节段结构的骚扰,也减轻邻椎应力增量,改善了单节段结构的生物力学环境,最终降低了假关节及邻椎病的形成概率。

术中辐射暴露是手术室工作人员的职业危害之一。在这项研究中,与 FG 组相比,Renaissance 组在固定过程中每颗螺钉的术中辐射暴露明显减少。Hyun 等^[17]报告称每颗螺钉的放射量可明显减少,而 Solomiichuk 等^[18]报告与传统手术相比,Renaissance 的放射量更高,这可能与医生使用 Renaissance 机器人的经验有关。应该注意的是,虽然机器人引导的系统可以减少手术室内的辐射,但患者需要进行 CT 扫描以制定术前计划,是否增加了患者的辐射暴露时间需要进一步研究。

笔者的研究显示两组之间的手术时间没有明显差异,这可能与徒手经皮置钉使用熟练程度更高有关。随着机器人使用熟练程度的增加,这种时间差异可能增大。

Renaissance 机器人使用体会:1)术前务必结合 CT 扫描图像与 Renaissance 操作系统良好匹配并仔细规划,有条件尽量同时扫描 MPR 并进行三维重建,可分别由同组手术医师单独规划并优选最佳方案。规划的过程可加快年轻医生的学习曲线。2)图像匹配成功后机器人固定针一般固定在棘突上,“底座”务必固定可靠,如存在严重的棘突解剖异常如旋转、畸形等,可适当修理棘突以求平整。3)该系统对存在椎弓根解剖变异、过细,腰椎重度滑脱,严重脊柱侧弯、畸形的病例性价比更高。4)虽然机器人为主刀医生增强了信心,但操作过程仍存在导针偏离规划路径等可能,切不可盲目自信,经验、手感、透视及助手的提醒都不可或缺。5)机器人技术本身就是微创及加速康复外科理念的一种体现,要将其有机结合、灵活运用。

本研究为回顾性研究,尚存在较多局限性,例如缺少多中心的大样本病例资料,缺少更长期的随访,这将在以后的研究中不断改善。

随着现代脊柱外科的发展,脊柱疾病的复杂化对脊柱微创技术提出了更高的要求。机器人在人工智能的辅助下在一定程度上能够解除临床医生经验不足等不可控因素,完成更加精细、精准的操作。相信面对临床疾病的多样化、复杂化及各种不同适应证的需求,机器人技术的研发将更加国产化、精细化、系统化,也必将更好地服务于临床。

参考文献

- [1] TAHER F, HUGHES A P, SAMA A A, et al. 2013 young investigator award winner: how safe is lateral lumbar interbody fusion for the surgeon? A prospective in vivo radiation exposure study[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2013, 38(16): 1386-1392.
- [2] KIM H J, JUNG W I, CHANG B S, et al. A prospective, randomized, controlled trial of robot-assisted vs freehand pedicle screw fixation in spine surgery[J]. Int J Med Robot Comp Assisted Surg, 2017, 13(13): e1779.
- [3] 杨惠林, 马宏庆, 王根林, 等. 全国腰椎退行性疾患座谈会会议纪要[J]. 中华骨科杂志, 2006, 26(10): 711-716.
- [4] 孙天胜, 赵广民. 腰椎滑脱和腰椎不稳的诊断和治疗[J]. 中国骨伤, 2010, 23(4): 239-241.
- [5] 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.
- [6] GERTZBEIN S D, ROBBINS S E. Accuracy of pedicular screw placement in vivo[J]. Spine (Phila Pa 1976), 1990, 15(1): 11-14.
- [7] GAZZERI R, ROPERTO R, FIORE C. Surgical treatment of degenerative and traumatic spinal diseases with expandable screws in patients with osteoporosis: 2 years follow up clinical study[J]. J Neurosurg Spine, 2016, 25(5): 610-619.
- [8] DI LORENZO N, CONTI R, ROMOLI S. Retrieval of broken pedicle screws by “friction” technique. Technical

note[J]. J Neurosurg, 2000, 92(1 Suppl): 114-116.

- [9] 翟骁, 陈自强, 杨明园, 等. 国内首次机器人辅助椎弓根螺钉置入脊柱侧凸矫形手术(附 14 例报告)[J]. 第二军医大学学报, 2015, 36(11): 1161-1166.
- [10] 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.
- [11] 陈龙, 海涌, 关立, 等. 机器人辅助置入与徒手置入椎弓根螺钉的对比研究[J]. 中国骨与关节杂志, 2017, 6(10): 730-736.
- [12] 侯海涛, 邵诗泽, 王亚楠, 等. Renaissance 脊柱手术机器人在中上胸椎骨折中的应用[J]. 中华骨科杂志, 2021, 41(12): 763-769.
- [13] RINGEL F, STUER C, REINKE A, et al. Accuracy of robot-assisted placement of lumbar and sacral pedicle screws: a prospective randomized comparison to conventional freehand screw implantation[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2012, 37(8): E496-E501.
- [14] CHRISTOPHER R, GOOD M D, LINDSAY OROSZ, et al. Complications and revision rates in minimally invasive robotic-guided versus fluoroscopic guided spinal fusion[J]. Spine, 2021, 46(23): 1661-1668.
- [15] KERIC N, DOENITZ C, HAJ A, et al. Evaluation of robot-guided minimally invasive implantation of 2 067 pedicle screws[J]. Neurosurg Focus, 2017, 42(5): E11.
- [16] 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, 2018, 19(2): 212-217.
- [17] HYUN S J, KIM K J, JAHNG T A, et al. Minimally invasive robotic versus open fluoroscopic-guided spinal instrumented fusions: a randomized controlled trial[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2017, 42(6): 353-358.
- [18] SOLOMIICHUK V, FLEISCHHAMMER J, MOLLIQAJ G, et al. Robotic versus fluoroscopy-guided pedicle screw insertion for metastatic spinal disease: a matched-cohort comparison[J]. Neurosurg Focus, 2017, 42(5): E13.

(收稿日期: 2022-05-06)

(上接第 37 页)

- [9] 张成, 孙茂庚, 李延涛, 等. 第五掌骨颈骨折治疗研究进展[J]. 创伤外科杂志, 2021, 23(10): 794-797.
- [10] 陈路, 张建光, 邓长弓, 等. 锁定螺钉辅助髌臼杯不同固定方式的有限元分析[J]. 中国组织工程研究, 2021, 25(3): 356-361.

- [11] 吴磊, 田茂生, 钱宇斐. 不同方式治疗第 5 掌骨颈骨折的疗效比较[J]. 实用手外科杂志, 2021, 35(6): 185-187.
- [12] 许争光. 第五掌骨颈骨折外固定进展[J]. 中国社区医师, 2018, 34(32): 6-7.

(收稿日期: 2022-04-10)