

· 临床研究 ·

脊柱手术机器人在胸腰椎骨折微创手术中的应用

吴瑞, 周纪平, 杨凯, 杨永军, 李李佳, 姚树强

(威海市文登整骨医院脊柱脊髓科一, 山东 文登 264400)

【摘要】 目的: 探讨 Renaissance 机器人导航系统在胸腰椎骨折微创手术中应用的安全性和准确性。方法: 对 2016 年 7 月至 2019 年 7 月采用后路微创椎弓根钉内固定治疗的胸腰椎骨折患者进行回顾性分析, 按置钉方式的不同分为机器人组及徒手组, 机器人组采用机器人导航辅助置钉, 徒手组采用传统徒手置钉法置钉。机器人组 20 例, 男 13 例, 女 7 例; 年龄 23~69(45.05±11.81) 岁; T₁₁ 骨折 1 例, T₁₂ 骨折 2 例, L₁ 骨折 10 例, L₂ 骨折 6 例, L₃ 骨折 1 例。徒手组 20 例, 男 11 例, 女 9 例; 年龄 26~65(43.40±11.22) 岁; T₁₁ 骨折 2 例, T₁₂ 骨折 7 例, L₁ 骨折 10 例, L₃ 骨折 1 例。记录两组患者透视次数、手术时间、术中出血量。采用 Neo 法^[1]评价螺钉分级。结果: 机器人组置入螺钉 126 枚, 徒手组置入螺钉 124 枚。手术时间、透视次数、术中出血量机器人组分别为 (115.75±14.26) min、(7.95±0.89) 次、(132.50±29.36) ml, 徒手置钉组分别为 (129.50±10.50) min、(14.40±2.56) 次、(182.50±23.14) ml, 组间比较差异有统计学意义 ($P<0.05$)。根据 Neo 法评价螺钉分级: 机器人组螺钉 0 级 122 枚, 1 级 4 枚; 徒手组 0 级 108 枚, 1 级 9 枚, 2 级 7 枚; 机器人组准确性优于徒手组 ($P<0.05$)。结论: 与徒手置钉相比, Renaissance 机器人导航系统可有效提高椎弓根钉置入准确率, 减少透视次数及术中出血, 提高手术安全性。

【关键词】 脊柱骨折; 计算机辅助外科手术; 机器人

中图分类号: R683.2

DOI: 10.12200/j.issn.1003-0034.2022.02.005

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Application of spinal surgical robots in minimally invasive surgery for thoracolumbar fracture WU Rui, ZHOU Ji-ping, YANG Kai, YANG Yong-jun, LI Jia-jia, and YAO Shu-qiang. No.1 Ward of Spine, Shandong Wendeng Osteopathic Hospital, Wendeng 264400, Shandong, China

ABSTRACT Objective: To evaluate the safety and accuracy of Renaissance robot navigation system in minimally invasive surgery for thoracolumbar fracture. **Methods:** The clinical data of patients with thoracolumbar fracture who underwent posterior minimally invasive pedicle screw internal fixation from July 2016 to July 2019 was retrospectively analyzed. And the patients were divided into robot group and artificial group. Robot navigation assisted screw placement was used in robot group, and traditional unarmed screw placement was used in artificial group. There were 20 patients in robot group, including 13 males and 7 females, aged from 23 to 69 years old with an average of (45.05±11.81) years old, one case was T₁₁ fracture, 2 cases were T₁₂, 10 cases were L₁, 6 cases were L₂ and 1 case was L₃. There were 20 patients in artificial group, including 11 males and 9 females, aged from 26 to 65 years old with an average of (43.40±11.22) years old, 2 cases were T₁₁ fractures, 7 cases were T₁₂, 10 cases were L₁, and 1 case was L₃. The numbers of fluoroscopy, operation time and intraoperative blood loss were observed. The screw position was evaluated by Neo method. **Results:** A total of 126 screws were implanted in robot group and 124 screws were implanted in artificial group. The operation time, fluoroscopy times, intraoperative blood loss were (115.75±14.26) min, (7.95±0.89) times and (132.50±29.36) ml in robot group and (129.50±10.50) min, (14.40±2.56) times and (182.50±23.14) ml in artificial group, respectively, there was significant difference between the groups ($P<0.05$). According to Neo classification method, there were 122 screws at grade 0, 4 screws at grade 1 in robot group, and there were 108 screws at grade 0, 9 screws at grade 1 and 7 screws at grade 2 in artificial group. The accuracy of the robot group was better than that of artificial group ($P<0.05$). **Conclusion:** Compared with free hand screw placement, Renaissance robot navigation system can effectively improve the accuracy of pedicle screw placement, reduce the number of fluoroscopy times and intraoperative blood loss, thereby improving the safety of operation.

KEYWORDS Spinal fractures; Computer-assisted surgery; Robotics

椎弓根螺钉置入技术是脊柱外科中最基本也是

最重要的技术之一, 在很大程度上决定了一台脊柱手术的成败。脊柱解剖结构的特殊性也决定了螺钉置入的风险性, 毗邻众多血管、神经及重要脏器组织, 且椎弓根本身存在个体差异, 椎弓根螺钉的粗

通讯作者: 吴瑞 E-mail: raydx1987@163.com

Corresponding author: WU Rui E-mail: raydx1987@163.com

细、角度、进钉点均可能发生变异,倘若椎弓根螺钉偏移过大,极易造成严重后果,轻则影响螺钉稳定性,重则引起大出血、皮肤感觉肌力异常甚至危及生命。此外,手术者的经验、疲劳程度等均可对螺钉置入准确性产生影响。胸腰椎骨折属于脊柱外科中的常见病、多发病,随着工业交通发展及人口老龄化导致的骨质疏松患者增多,胸腰椎骨折患者也在逐年增多,需要手术干预也越来越多。相对于传统切开复位螺钉内固定手术,微创手术以其创伤小、术后恢复快等,更易被患者所接受。但临床医生应清醒认识到,微创手术并不代表风险更小。相反,因操作空间的变小,视野变得狭窄,不能彻底显露解剖标志,操作难度进一步增大。且微创手术中往往需要反复多次透视,长时间、大剂量射线辐射暴露对医护人员伤害较大,也影响了微创手术的开展。我院自 2015 年引进 Mazor Renaissance 脊柱手术机器人系统,现对 2016 年 7 月至 2019 年 7 月采用后路微创椎弓根钉内固定治疗的胸腰椎骨折患者进行回顾性分析,探讨 Renaissance 机器人导航系统在胸腰椎骨折微创手术中应用的安全性和准确性。

1 资料与方法

1.1 病例选择

纳入标准:胸腰椎骨折需螺钉内固定者;不合并神经损伤;椎管内无显著梗阻;可以耐受手术,无其他严重并发症;椎弓根无变异缺失。排除标准:椎管内梗阻较重,合并神经损伤患者;合并其他基础疾病,不能耐受手术患者;拒绝接受手术患者;椎弓根存在变异缺失。

1.2 一般资料

本组 40 例,均行后路微创椎弓根钉内固定,按置钉方式的不同分为机器人组及徒手组。机器人组采用机器人导航辅助置钉,徒手组采用传统徒手置钉法置钉。其中机器人组 20 例,男 13 例,女 7 例;年龄 23~69 (45.05±11.81) 岁;T₁₁ 骨折 1 例,T₁₂ 骨折 2 例,L₁ 骨折 10 例,L₂ 骨折 6 例,L₃ 骨折 1 例。徒手组 20 例,男 11 例,女 9 例;年龄 26~65 (43.40±11.22) 岁;T₁₁ 骨折 2 例,T₁₂ 骨折 7 例,L₁ 骨折 10 例,

L₃ 骨折 1 例。两组患者术前一般资料比较差异无统计学意义,见表 1。

1.3 治疗方法

机器人组采用 Renaissance 机器人导航系统辅助置钉,徒手组采用传统徒手置钉法置钉。术前根据患者病情制定手术方案。机器人组将患者 CT 资料传至 Renaissance 系统,进行三维重建后,直接在虚拟 3D CT 片上试用不同规格的螺钉,来指导术中螺钉选择,规划最优置钉路径。然后将做好的术前计划上传至工作站。两组均为全麻手术,俯卧位。

1.3.1 机器人组 安装固定平台,平台固定要牢固,否则影响操作的精准度。透视定位,图像上传至工作站,与术前规划之三维图像相匹配。安装机器人轨道装置,固定机器人,根据术前计划在机器人引导下置入螺钉。安装固定杆,仅需在平台固定处及螺钉置入处做小切口。典型病例见图 1。

1.3.2 徒手组 术前透视定位板定位,标记椎弓根投影体表位置,在投影位置稍靠外侧皮肤切口分离显露,置入套管、螺钉,安装固定杆,冲洗缝合,留置引流。

1.4 观察项目与方法

记录手术时间、透视次数、术中出血量,术后拍摄 CT 测量椎弓根螺钉位置。采用 Neo 法^[1]评估螺钉分级:0 级,椎弓根螺钉无偏差;1 级,螺钉一侧螺线纹(≤直径 50%)突破椎弓根皮质;2 级,螺钉一侧螺线纹突破皮质(>直径 50%),另一侧没有突破皮质;3 级,螺钉突破皮质。2 级以上为完全偏出。该结果由同一放射科医师进行独立评价。

1.5 统计学处理

采用 SPSS 22.0 进行统计分析,手术时间、透视次数、术中出血量等定量资料用均数±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;螺钉级别比较采用秩和检验。均以 *P*<0.05 为差异有统计学意义。

2 结果

机器人组置入螺钉 126 枚,徒手组置入螺钉 124 枚。两组手术时间、透视次数、术中出血量比较

表 1 两组胸腰椎骨折患者术前一般资料比较

Tab.1 Comparison of preoperative general data of patients with thoracolumbar fracture between two groups

组别	例数	性别*(例)		年龄*($\bar{x} \pm s$, 岁)	椎体分布▲(例)				
		男	女		T ₁₁	T ₁₂	L ₁	L ₂	L ₃
机器人组	20	13	7	45.05±11.81	1	2	10	6	1
徒手组	20	11	9	43.40±11.22	2	7	10	0	1

注:两组比较,*Fisher 精确检验,*P*=0.748;●*t*=0.453,*P*=0.909;▲Fisher 精确检验,*P*=0.074

Note: Comparison between the two groups, *Fisher exact test, *P*=0.748; ●*t*=0.453, *P*=0.909; ▲Fisher exact test, *P*=0.074

差异有统计学意义 ($P < 0.05$), 机器人组优于徒手组。根据 Neo[®] 法机器人组螺钉 0 级 122 枚, 1 级 4 枚, 徒手组 0 级 108 枚, 1 级 9 枚, 2 级 7 枚, 机器人组准确性优于徒手组 ($P < 0.05$)。见表 2。

3 讨论

3.1 机器人导航发展

美国的 Da Vinci 手术机器人是目前临床中应用

较广及成熟的手术机器人系统^[2-3], 用于普外科、泌尿外科、妇科较多, 该系统近年来也有应用于脊柱外科, 主要是参与对神经韧带等的处理, 无法处理较硬的骨组织。最早报道机器人辅助脊柱外科手术治疗的是 Sautot^[4]。此后, 脊柱外科手术机器人逐渐发展, 如以色列的 Spine Assist 脊柱手术机器人^[5], 德国 WISA RoMed 脊柱手术机器人^[6], 韩国研发的

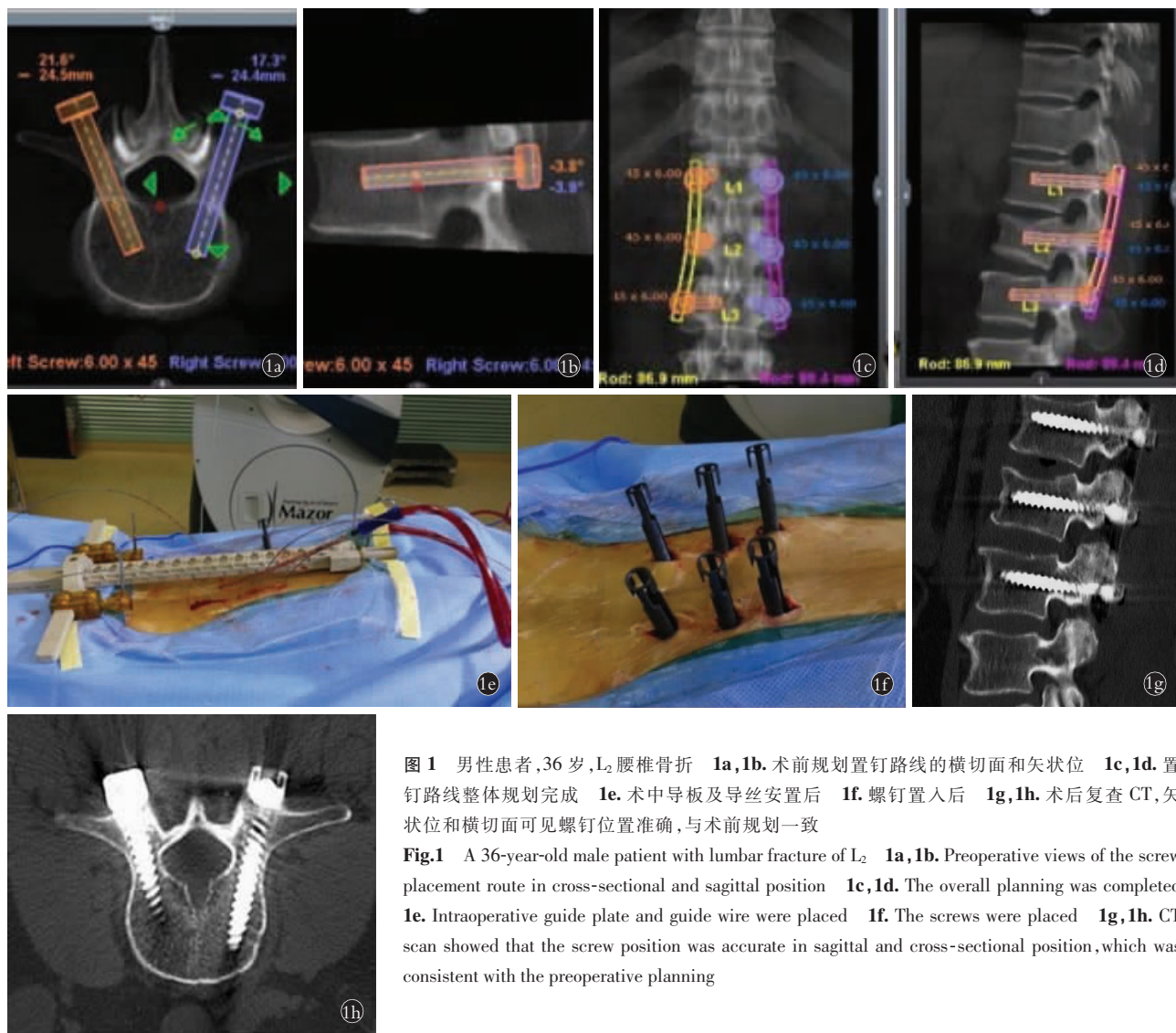


图 1 男性患者, 36 岁, L₂ 腰椎骨折 1a, 1b. 术前规划置钉路线的横切面和矢状位 1c, 1d. 置钉路线整体规划完成 1e. 术中导板及导丝安置后 1f. 螺钉置入后 1g, 1h. 术后复查 CT, 矢状位和横切面可见螺钉位置准确, 与术前规划一致

Fig.1 A 36-year-old male patient with lumbar fracture of L₂ 1a, 1b. Preoperative views of the screw placement route in cross-sectional and sagittal position 1c, 1d. The overall planning was completed 1e. Intraoperative guide plate and guide wire were placed 1f. The screws were placed 1g, 1h. CT scan showed that the screw position was accurate in sagittal and cross-sectional position, which was consistent with the preoperative planning

表 2 两组胸腰椎骨折患者手术时间、透视次数及术中出血量、螺钉级别比较

Tab.2 Comparison of operation time, intraoperative fluoroscopy times and blood loss, screw grade between two groups with thoracolumbar fracture

组别	例数	手术时间 ($\bar{x} \pm s$, min)	透视次数 ($\bar{x} \pm s$, 次)	术中出血量 ($\bar{x} \pm s$, ml)	螺钉级别(枚)			
					0 级	1 级	2 级	3 级
机器人组	20	115.75±14.26	7.95±0.89	132.50±29.36	122	4	0	0
徒手组	20	129.50±10.50	14.40±2.56	182.50±23.14	108	9	7	0
检验值		$t = -3.472$	$t = -10.636$	$t = -5.982$		$Z = -2.879$		
P 值		<0.05	<0.05	<0.05		0.04		

SPINEBOT-I 系统^[7]、Cooperative Robotic Assistant 系统^[8]、我国南开大学的脊柱手术机器人系统^[9]、第三军医大学与沈阳自动化研究所共同研发的脊柱微创机器人系统^[10]等。以色列开发的 Mazor Renaissance 脊柱手术机器人系统,是目前最为先进的脊柱机器人导航系统,是唯一通过全球 FDA 和 CFDA 认证的脊柱手术机器人引导系统。

3.2 机器人系统优势

与传统置钉相比,机器人导航置钉具有更好的准确性及安全性。传统置钉,对术者经验依赖较大,即便是很有经验的术者,也不能保证其准确性^[11-12]。椎弓根本身存在的个体差异、变异及术者经验不足,更增加了椎弓根螺钉置入失误的风险^[13]。术中调整螺钉位置后,螺钉的把持力稳定性则相应降低^[14]。即便术中 C 形臂 X 线透视椎弓根螺钉位置满意,术后复查 CT 扫描时仍会发现部分螺钉有突破现象存在。机器人导航可以显著提高螺钉置入的准确性,Hu 等^[15]报道使用该系统置入的 960 枚螺钉当中有 949 枚(98.9%)成功置入,其中 89.5% 的患者存在脊柱侧弯和(或)后凸畸形,部分患者属于二次手术。Devito 等^[16]应用该系统,评估 664 例椎弓根螺钉置入情况,运用该系统后准确性明显高于传统手术,并降低了术后并发症。陈龙等^[17]应用该系统置入椎弓根螺钉 124 枚,准确率明显高于徒手置钉组。美国 FDA 批准机器人手术系统误差需要 <4 mm, Renaissance 系统精确度,可以达到 1 mm 左右。

传统置钉往往需要反复透视定位,尤其是在微创手术中,定位、套筒植入、定位针置入、置钉、安装固定杆,整个过程需多次透视,增加了辐射量,延长了手术时间,同时医生的疲劳度增加。机器人导航可以显著减少透视次数。Kantelhardt 等^[18]通过对该系统与传统手术比较,分析了 114 例资料,结果显示机器人手术的平均射线暴露时间为 34 s,而传统手术为 77 s,机器人系统有很大优势。翟骁等^[19]在脊柱侧凸手术中应用该系统,统计置入螺钉 148 枚,平均配准次数(移动平台)为(1.7±0.9)次,透视次数为(11.2±7.7)次,配准时间(平台安装+透视配准)为(19.3±6.2) min,较传统手术方式显著减少了透视次数及时间。相对于传统手术,应用该系统操作精度高、稳定性强、不易疲劳、学习曲线短,能够帮助年轻脊柱外科医生在短时间内提高手术治疗水平。朱金文等^[20]认为 10 例手术可以完成学习曲线,此后通过机器人引导置入螺钉时间、机器人引导下进行减压时间均大大减少。

3.3 机器人系统局限性

机器人系统本身价格昂贵,使用费用较高,引进

每台系统费用约 100 万美元,每台手术中使用的耗材费用达 8 000 元左右,加之使用费等可较常规手术高出 15 000 元左右,一般患者难以承受。这些限制了机器人系统的进一步推广,但从长远看,随着螺钉准确性的提高,避免了因螺钉置入偏差所导致翻修手术的成本,尤其是对于脊柱畸形患者的置钉,机器人辅助导航符合成本效益^[17]。相信在将来随着各项报销政策的进一步完善,这方面问题一定会得到妥善解决。

综上所述,Renaissance 机器人导航系统可有效提高椎弓根钉置入准确率,减少透视次数、医患放射暴露及术中出血,提高手术安全性。在脊柱外科的应用中一定会有更广阔的前景。

参考文献

- [1] Neo M, Sakamoto T, Fujibayashi S, et al. The clinical risk of vertebral artery injury from cervical pedicle screws inserted in degenerative vertebrae[J]. Spine(Phila Pa 1976), 2005, (30):2800-2805.
- [2] Porto de Melo PM, Garcia JC, de Souza Montero EF, et al. Feasibility of an endoscopic approach to the axillary nerve and the nerve to the long head of the triceps brachii with the help of the Da Vinci robot [J]. Chir Main, 2013, 32(4):206-209.
- [3] Reynisson P, Shokri E, Bendahl PO, et al. Tensile strength of surgical knots performed with the Da Vinci surgical robot[J]. J Minim Invasive Gynecolo, 2010, 17(3):365-370.
- [4] 褚晓东, 张华. 机器人系统在脊柱外科的应用[J]. 医学综述, 2014, 20(8):1448-1450.
CHU XD, ZHANG H. Application of robotic systems in spine surgery[J]. Yi Xue Zong Shu, 2014, 20(8):1448-1450. Chinese.
- [5] Sukovich W, Brink-Danan W, Hardenbrook M. Miniature robotic guidance for pedicle screw placement in posterior spinal fusion: early clinical experience with the Spine Assist[J]. Inter J Med Robot, 2006, 2(2):114-122.
- [6] Niesing B. Robots for spine surgery[J]. Fraunhofer Magazine, 2001, 2(1):46-47.
- [7] Chung GB, Kim S, Lee SG, et al. An image guided robotic surgery system for spinal fusion[J]. International Journal of Control, Automation and Systems, 2006, 4(1):30-41.
- [8] Lee J, Hwang I, Kim K, et al. Cooperative robotic assistant with drill-by-wire end-effector for spinal fusion surgery[J]. Industrial Robot, 2009, 36(1):60-72.
- [9] 鞠浩, 张建勋, 安刚, 等. 机器人辅助脊柱微创手术系统设计与实现[J]. 南开大学学报(自然科学版), 2008, 41(4):32-35.
JU H, ZHANG JX, AN G, et al. Design and implementation of robotic assistant spinal surgery system[J]. Nan Kai Da Xue Xue Bao (Zi Ran Ke Xue Ban), 2008, 41(4):32-35. Chinese.
- [10] 张鹤, 韩建达, 周跃. 脊柱微创手术机器人系统辅助打孔的实验研究[J]. 中华创伤骨科杂志, 2011, 13(12):1166-1169.
ZHANG H, HAN JD, ZHOU Y. Drilling into cattle spines assisted by a spinal minimally invasive robot system[J]. Zhonghua Chang Shang Gu Ke Za Zhi, 2011, 13(12):1166-1169. Chinese.
- [11] Silbermann J, Riese F, Allam Y, et al. Computer tomography assessment of pedicle screw placement in lumbar and sacral spine: comparison between free-hand and O-arm based navigation tech-

niques[J]. Eur Spine J, 2011, 20(6): 875-881.

[12] Kosmopoulos V, Schizas C. Pedicle screw placement accuracy: a meta-analysis[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2007, 32(3): E111.

[13] Makino T, Kaito T, Fujiwara H, et al. Morphometric analysis using multiplanar reconstructed CT of the lumbar pedicle in patients with degenerative lumbar scoliosis characterized by a Cobb angle of 30° or greater[J]. J Neurosurg Spine, 2012, 17(3): 256-262.

[14] Yuichiro G, Kosaku H, Shunichi T, et al. The pullout strength of pedicle screws following redirection after lateral wall breach and endplate breach[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2016, 41(15): 1218-1223.

[15] Hu X, Ohnmeiss DD, Lieberman IH. Robotic-assisted pedicle screw placement: lessons learned from the first 102 patients[J]. Eur Spine J, 2013, 22(3): 661-666.

[16] Devito DP, 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.

[17] 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.

CHEN L, HAI Y, GUAN L, et al. A comparative study of robot assisted insertion and traditional free-hand pedicle screw technique[J]. Zhongguo Gu Yu Guan Jie Za Zhi, 2017, 6(10): 730-736. Chinese.

[18] Kantelhardt SR, Martinez R, Baerwinkel S, et al. Perioperative course and accuracy of screw positioning in conventional, open robotic-guided and percutaneous robotic-guided, pedicle screw placement[J]. Eur Spine J, 2011, 20(6): 860-868.

[19] 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畸形手术[J]. 第二军医大学学报, 2015, 36(11): 1161-1166.

ZHAI X, CHEN ZQ, YANG MY, et al. Robot-assisted pedicle screw insertion for scoliosis: first 14 cases in China[J]. Di Er Jun Yi Da Xue Xue Bao, 2015, 36(11): 1161-1166. Chinese.

[20] 朱金文, 田建宁, 王晓东, 等. 脊柱外科手术机器人引导治疗胸腰椎骨折的疗效[J]. 临床骨科杂志, 2018, 21(4): 404-408.

ZHU JW, TIAN JN, WANG XD, et al. The efficacy of spine robot-assisted surgery for treatment of thoracolumbar fracture[J]. Lin Chuang Gu Ke Za Zhi, 2018, 21(4): 404-408. Chinese.

(收稿日期: 2021-03-18 本文编辑: 王宏)

椎间孔镜术后引流管的临床应用初步研究

李涛, 李俊杰, 张同会, 罗琳, 曹珊花, 谢维, 吴从俊, 李莹, 刘缪, 唐谨
(湖北六七二中西医结合骨科医院, 湖北 武汉 430079)

【摘要】 目的: 探究经皮椎间孔镜腰椎间盘切除(percutaneous endoscopic lumbar discectomy, PELD)术后放置引流管的临床意义及相关因素。方法: 回顾性分析 2019 年 1 月至 2019 年 9 月接受 PELD 手术治疗的 151 例腰椎间盘突出症患者的临床资料, 依据术后是否放置引流管, 分为放置引流管组与未放置引流管组, 分别于术前、出院时、术后 1 个月、末次随访观察患者腰腿痛视觉模拟评分(visual analogue scale, VAS)及日本骨科协会(Japanese Orthopaedic Association, JOA)评分, 且记录术后引流管放置时间、总引流量; 将放置引流管患者年龄、性别、体质指数、突出节段、吸烟史、合并基础疾病、服用抗凝药物等特征, 通过单因素及多因素与 PELD 术后放置引流管进行分析。结果: 共有 32 例患者 PELD 术后放置引流管, 两组患者术后腰腿痛 VAS、JOA 评分与术前比较差异有统计学意义($P < 0.05$), 两组患者在出院时腰腿痛 VAS 及 JOA 评分差异有统计学意义($P < 0.05$), 其余时间点评分差异无统计学意义($P > 0.05$)。单因素分析显示年龄、合并基础疾病及服用抗凝药物与术后放置引流管有关, 而性别、体质指数、突出节段、吸烟史与放置引流管无显著相关性。多因素分析显示高龄, 合并高血压、糖尿病及服用抗凝药物与术后放置引流管相关。结论: 椎间孔镜术后放置引流管可以早期改善患者腰腿痛症状, 对于高龄, 合并高血压、糖尿病及服用抗凝药物的患者椎间孔镜术后可以考虑放置引流管。

【关键词】 内窥镜外科手术; 椎间盘移位; 引流术
中图分类号: R681.5+7

DOI: 10.12200/j.issn.1003-0034.2022.02.006

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Research on the clinical application of drainage tube after the operation of percutaneous endoscopic lumbar discectomy Li Tao, Li Jun-jie, ZHANG Tong-hui, LUO Lin, CAO Shan-hua, XIE Wei, WU Cong-jun, LI Ying, LIU Liu, and TANG

基金项目: 湖北陈孝平科技发展基金会资助项目(编号: CXPJH12000005-07-10); 武汉市卫健委科研项目(编号: WX20D19); 武汉市卫健委科研项目(编号: WZ20D08)

Fund program: Hubei Chen Xiaoping Science and Technology Development Foundation (No.CXPJH12000005-07-10)

通讯作者: 李俊杰 E-mail: 670570572@qq.com

Corresponding author: LI Jun-jie E-mail: 670570572@qq.com