

. 实验研究 .

神经外科手术机器人置入椎弓根螺钉的精准性

于贝贝 荆林凯 王 劲 王贵怀

【摘要】目的 探讨神经外科手术机器人在人体腰椎模型进行椎弓根螺钉置入的精准性。**方法** 利用 O 型臂影像系统对模型进行正侧位扫描,并三维重建,获取 3D-CT 数据,传入手术机器人系统,规划椎弓根螺钉的最佳进钉点和进钉方向。手术机器人系统利用 3D-CT 数据自动注册后,置入椎弓根螺钉。应用置钉前后的 3D 融合图像,按照 Gertzbein-Robbins 分级评估置钉的准确性。**结果** 共置入 39 枚椎弓根螺钉,其中 37 枚螺钉完全位于椎弓根内,2 枚螺钉突破椎弓根的内壁 2 mm 以内。螺钉与原规划钉道的平均偏移距离为 (1.45 ± 0.67) mm。螺钉在进钉点的滑移方向:内下方 16 枚(41.03%),外上方 6 枚(15.38%),下方 6 枚(15.38%),外下方 5 枚(12.82%),内上方 4 枚(10.26%),内方 1 枚(2.56%),上方 1 枚(2.56%)。**结论** 神经外科手术机器人置入椎弓根螺钉具有较高的精准性。

【关键词】 脊柱手术;手术机器人;椎弓根螺钉;螺钉置入术

【文章编号】 1009-153X(2021)05-0360-03 **【文献标志码】** A **【中国图书资料分类号】** R 651.1[†]

Accuracy of neurosurgical robot in pedicle screw placement

YU Bei-bei¹, JING Lin-kai², WANG Jin², WANG Gui-huai². 1. School of Clinical Medicine, Tsinghua University, 100084 Beijing, China; 2. Department of Neurosurgery, Changgung Hospital, Clinical Institute for Neuroscience, Medical Center, Tsinghua University, Beijing 102218, China

【Abstract】 Objective To explore the accuracy of pedicle screw placement by neurosurgical robot in the human lumbar spine model. **Methods** The front-side-view scan and three-dimensional reconstruction of the human lumbar spine model was performed on the O-arm image system to obtain 3D-CT data which were input into the surgical robotic system to plan the best insertion point and direction of pedicle screw placement. The surgical robotic system registered automatically using these 3D-CT data and then placed the pedicle screws. The accuracy of pedicle screw placement was evaluated according to the Gertzbein-Robbins classification by the 3D fused image before and after the placement. **Results** A number of 39 pedicle screws was placed by the surgical robotic system in this study. Of these 39 pedicle screws, 37 screws were completely located in the pedicle and 2 broke through the inner wall of the pedicle within 2 mm; 16 (41.03%) screws slid inward and downward at the entry point, 6 outward and upward, 6 downward, 5 outward and downward 4 inward and upward, 1 inward and 1 upward. The average deviation distance between the screw and the original planned path was (1.45 ± 0.67) mm. **Conclusions** The neurosurgical robot has high precision in the pedicle screw placement.

【Key words】 Spine surgery; Surgical robot; Pedicle screw placement; Precision

脊柱手术难度较大,并发症发生率高达 16.4%,出院后 30 d 内再入院率约 5.5%^[1,2]。脊柱手术机器人具有精准和微创两大特点,减少术中辐射暴露、出血的同时,显著减少术后并发症和住院时间。本研究探讨神经外科手术机器人置入椎弓根螺钉的精准性,为其临床应用提供参考。

1 材料和方法

1.1 材料 实验设备包括神经外科手术机器人系统、

O 型臂影像系统、Jackson 透视床、CT 机(上海联影医疗科技有限公司)。脊柱手术机器人系统包含光学追踪导航系统(加拿大 NDI 公司)、机器人工作站及具有 6 自由度的机械臂(图 1A)。实验器械包括电钻(钻头直径 2 mm,长度 30 mm)、经皮椎弓根螺钉系统(上海三友医疗器械股份有限公司),包括钉道导针(直径 1.5 mm)、攻丝及持钉器械、空心椎弓根螺钉(直径 5.5 mm,长度 40、45 mm)。将手术机器人系统机械臂末端的示踪器和定位标尺与聚氯乙烯材质的 1:1 大小仿真腰椎固定于同一个可透视 X 线的模型中(图 1A)。

1.2 椎弓根螺钉置入方法 利用 O 型臂影像系统对模型进行正侧位扫描,并三维重建,检验是否包含腰椎及定位标尺的所有标记点(图 1B)。将手术机器

doi:10.13798/j.issn.1009-153X.2021.05.013

作者单位:100084 北京,清华大学临床医学院(于贝贝);102218 北京,清华大学附属北京清华长庚医院神经外科(荆林凯、王 劲、王贵怀)

通讯作者:王贵怀,E-mail:guihuai_wang@163.com

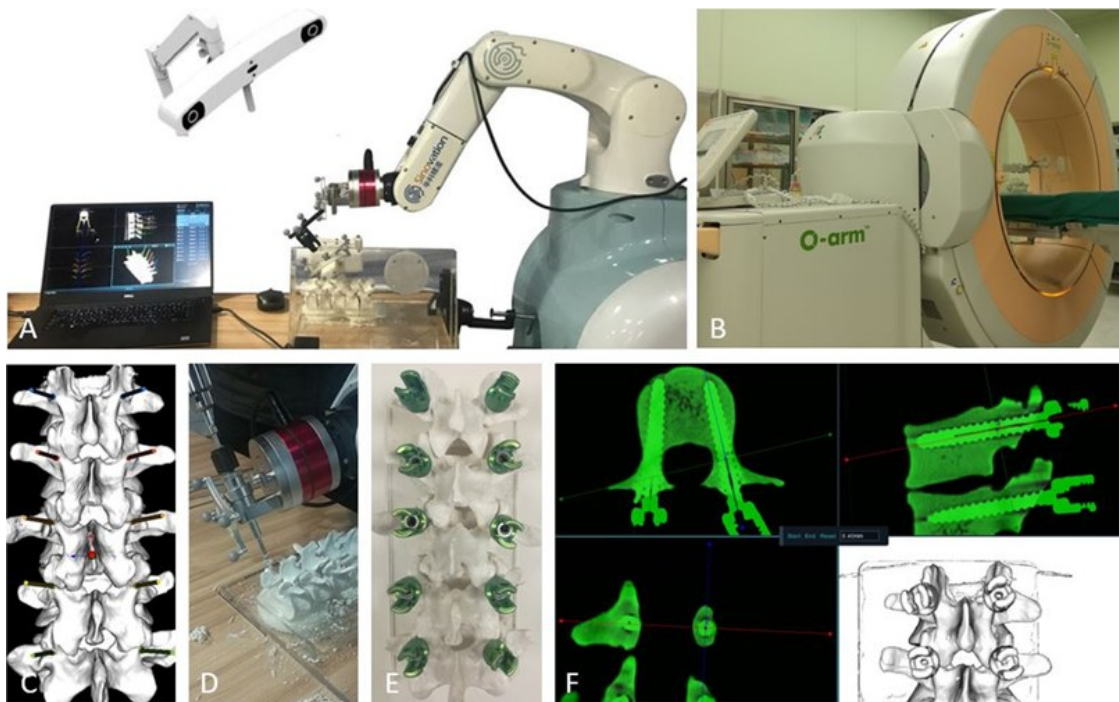


图1 神经外科手术机器人系统应用模型进行置入椎弓根螺钉操作

A. 手术机器人系统的搭建;B. O型臂3D扫描;C. 根据导入机器人系统的3D图像逐一规划螺钉进钉点及进钉方向;D. 机械臂根据术前规划,电钻准备钉道;E. 在钉道导针的引导下攻丝并放置椎弓根空心螺钉;F. 钻孔后O型臂3D图像和置钉后3D-CT图像分别与规划钉道后O型臂3D图像融合,测量规划钉道与螺钉间的偏移距离

人和光学跟踪相机摆放到合适的位置,模型固定于稳定的桌面上(图1A)。3D-CT数据传入手术机器人系统,并规划椎弓根螺钉的最佳进钉点和进钉方向(图1C)。手术机器人系统自动注册,并检验其准确性,随后拆除模型上示踪器和定位标尺,机器人系统按照规划好的置钉路径自动调整姿势并将机械臂移动到位,利用电钻在腰椎模型上准备钉道,插入钉道导针后,沿导针方向攻丝并置入空心椎弓根螺钉(图1D、1E)。

1.3 观察指标 以单个椎体为中心分别融合置钉前后的3D图像,评估置入的螺钉在进钉点处滑移的方向及3D空间内的进钉点、椎弓根中段和螺钉头端偏离原规划钉道的距离(图1F)。按照Gertzbein-Robbins分级的方法评估置入螺钉的准确性和是否突破椎弓根皮质及其程度^[3]:A级,螺钉未穿破骨皮质;B级,螺钉穿破骨皮质≤2 mm;C级,螺钉穿破骨皮质2~4 mm;D级,螺钉穿破骨皮质4~6 mm;E级,螺钉穿破骨皮质>6 mm;A、B级为临床可接受的置钉位置,C~E级为置钉位置不佳的螺钉。

2 结果

按照手术机器人系统规划路径置入39枚椎弓根螺钉,其中1枚因手术机器人和模型的摆放位置

的关系导致机械臂无法准确到位。

利用机器人的操作系统融合术前O型臂系统和术后CT系统的3D图像(图1F),螺钉与原规划钉道的平均偏移距离为(1.45±0.67)mm;螺钉尾端与原规划钉道的平均偏差为(1.44±0.72)mm,在椎弓根中段的平均偏差为(1.38±0.60)mm,在螺钉头端的平均偏差为(1.56±0.75)mm。39枚螺钉的Gertzbein-Robbins分级为A、B级;其中37枚螺钉完全位于椎弓根内,2枚螺钉突破椎弓根的内壁2 mm以内。螺钉在进钉点的滑移方向:内下方16枚(41.03%),外上方6枚(15.38%),下方6枚(15.38%),外下方5枚(12.82%),内上方4枚(10.26%),内方1枚(2.56%),上方1枚(2.56%)。

3 讨论

机器人拥有刚性的机器臂和手术器械套筒,能够按照规划路径稳定置钉过程中的进钉方向,在置钉准确性和安全性方面更有优势,所以,手术机器人的发展及其在医学中的各种应用为脊柱脊髓神经外科提供了一个变革的机会。研究表明,Renaissance机器人辅助置钉后轴位进钉点平均偏移距离为(0.64±0.59)mm,置钉点内30 mm处平均偏移距离为(0.63±0.57)mm^[4];而ROSA Spine机器人辅助下置入

螺钉在进钉点平均偏移(2.05 ± 1.2)mm,在椎弓根中段平均偏移(1.65 ± 1.11)mm,在螺钉尖部平均偏移(1.57 ± 1.01)mm^[5];ExcelsiusGPS 手术机器人辅助下置入螺钉在螺钉尖部平均偏移 2.1 mm,在进钉点平均偏移 3.2 mm,螺钉平均偏移角度为 2.4° ^[6]。国内“天玑”骨科手术机器人辅助椎弓根螺钉置入平均偏移距离为(1.5 ± 0.8)mm,最常见的螺钉偏移方向是外侧,而透视下置钉通常向内侧偏移^[7]。本研究虽然置入螺钉的平均偏移距离为(1.45 ± 0.67)mm,但仍低于部分已应用于临床的手术机器人系统,其原因可能为软件系统与 O 型臂 3D 图像的精确配准方面仍存在不足之处,而且本研究所用的机器人系统尚未开发螺钉进钉点处的防滑套筒,操作时发现螺钉在进钉点发生滑移,其进钉方向也随之发生偏移。

研究表明,机器人辅助置钉规划进钉点时,往往比较偏外,所以置入螺钉往往内聚角较大,也更容易导致螺钉突破椎弓根外侧皮质骨^[8,9]。Renaissance 机器人在软件升级和硬件改进方面有很大提高,但仍然不能完全解决螺钉滑移的问题。Urakov 等^[10]分析 Renaissance 手术机器人辅助下置钉位置不佳的原因时发现,腰椎椎弓根螺钉更容易向外滑移,原因可能与施加压力后可移动的机械臂和腰椎关节突关节的解剖特点有关。根据 Gertzbein-Robbins 分级,本研究 39 枚螺钉置入准确性达 100%,其中 37 枚(94.87%)螺钉完全位于椎弓根内,2 枚(5.13%)螺钉向内滑移突破椎弓根内壁 2 mm 以内。所以,我们认为下一步改进之处是开发进钉点防滑移器械,进一步提高机器人辅助置钉的精准性。

本研究手术机器人系统的硬件和软件等在模型试验过程中仍存在诸多不足之处。光学追踪系统的系统误差也不容忽视,大多在 0.1~0.3 mm。定位标尺的尺寸也会影响置钉的准确性,体积过大会导致标记点采集不全,而体积过小也会影响准确性,因此需要在保证定位精度的前提下开发比目前版本更扁平、更窄的定位标尺。本文运行的软件系统尚处于开发阶段,运行过程中存在不稳定现象,仍需要进一步优化,如开发自动识别椎体及椎弓根的虚拟螺钉规划系统,一键自动寻找最佳置钉位置并匹配最佳螺钉。此外,下一步的动物或尸体实验进一步评估机器人的精准性与安全性也是十分必要的。虽然本文手术机器人辅助下腰椎模型椎弓根螺钉置入的实验尚存在诸多不足之处,但是也较准确地检验了开发的脊柱手术机器人置入椎弓根螺钉的精准性与安全性。

【参考文献】

- [1] Nasser R, Yadla S, Maltenfort MG, *et al.* Complications in spine surgery [J]. J Neurosurg Spine, 2010, 13(2): 144-157.
- [2] Akins PT, Harris J, Alvarez JL, *et al.* Risk factors associated with 30-day readmissions after instrumented spine surgery in 14,939 patients: 30-day readmissions after instrumented spine surgery [J]. Spine (Phila Pa 1976), 2015, 40(13): 1022-1032.
- [3] Gertzbein SD, Robbins SE. Accuracy of pedicular screw placement in vivo [J]. Spine (Phila Pa 1976), 1990, 15(1): 11-14.
- [4] Fujishiro T, Nakaya Y, Fukumoto S, *et al.* Accuracy of pedicle screw placement with robotic guidance system: a cadaveric study [J]. Spine (Phila Pa 1976), 2015, 40(24): 1882-1889.
- [5] Lefranc M, Peltier J. Accuracy of thoracolumbar transpedicular and vertebral body percutaneous screw placement: coupling the Rosa(R) Spine robot with intraoperative flat-panel CT guidance--a cadaver study [J]. J Robot Surg, 2015, 9(4): 331-338.
- [6] Jiang B, Karim Ahmed A, Zygourakis CC, *et al.* Pedicle screw accuracy assessment in ExcelsiusGPS? robotic spine surgery: evaluation of deviation from pre-planned trajectory [J]. Chin Neurosurg J, 2018, 4(1):1-6.
- [7] Han X, Tian W, Liu Y, *et al.* Safety and accuracy of robot-assisted versus fluoroscopy-assisted pedicle screw insertion in thoracolumbar spinal surgery: a prospective randomized controlled trial [J]. J Neurosurg Spine, 2019, 30(5): 615-622.
- [8] Kim HJ, Jung WI, Chang BS, *et al.* A prospective, randomized, controlled trial of robot-assisted vs freehand pedicle screw fixation in spine surgery [J]. Int J Med Robot, 2017, 13(3): e1779.
- [9] 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): e496-501.
- [10] Urakov TM, Chang KH, Burks SS, *et al.* Initial academic experience and learning curve with robotic spine instrumentation [J]. Neurosurg Focus, 2017, 42(5): e4.

(2020-08-02 收稿, 2020-11-04 修回)