

机器人辅助经皮穿刺活检诊断脊柱病变的优势

<https://doi.org/10.3969/j.issn.2095-4344.2385>

张伟, 胡 虹, 唐六一, 万 仑, 俞 阳, 林 书, 唐 智, 王 飞

2095-4344.2385

投稿日期: 2020-04-23

送审日期: 2020-04-25

采用日期: 2020-06-03

在线日期: 2020-09-10

中图分类号:

R459.9; R318; R681.5

文章编号:

2095-4344(2021)06-00844-05

文献标识码: A

文章快速阅读:

文章亮点一

△通过穿刺活检明确病变性质是治疗脊柱病变的重要依据;

△作者所在单位使用机器人辅助下手术完成脊柱病变穿刺活检, 结果满意, 尤其对于椎体特殊部位病变传统手术难以达到的位置具有明显优势。

对象纳入

纳入通过临床表现、检验及影像学检查, 初步考虑脊柱病变, 难以明确诊断, 需通过机器人辅助穿刺活检明确诊断的患者, 共38例。

观察指标

- (1) 手术时间;
- (2) 手术并发症;
- (3) 术后病理结果。

结论

机器人辅助下经皮穿刺活检具有安全、快速、微创、准确率高的特点, 是一种高效的诊断脊柱病变的活检方法。

文题释义:

骨科手术机器人: 机器人系统在20世纪90年代开始进入骨科领域, 目前国内外已有多个机构开发出了应用于骨科手术的机器人系统, 具有精准、微创等特点。此次研究使用的“天玑”骨科手术机器人系统为国内自主研发, 可应用于脊柱全节段、创伤、运动医学领域。

经皮穿刺活检: 对于脊柱病变患者, 明确病变性质是治疗的基础, 通过临床检验及影像学等检查无法明确诊断的病例, 可通过经皮穿刺活检明确诊断, 为进一步治疗提供依据。

摘要

背景: 骨科手术机器人辅助手术已经逐步在临床推广, 应用领域包括脊柱、关节、创伤及运动医学, 具有精准、微创等特点, 而目前关于机器人辅助穿刺活检在脊柱病变诊疗中的应用报道较少。

目的: 探讨骨科手术机器人辅助下经皮穿刺活检在脊柱病变诊断中的应用价值。

方法: 回顾性分析2018年11月至2020年1月四川省人民医院收治的38例脊柱病变患者的临床资料, 所有患者均在天玑骨科手术机器人辅助下行经皮穿刺活检术, 术后活检标本送病理科行组织病理学检查。

结果与结论: ①38例活检病灶组织刺中率为100%, 其中脊柱转移瘤21例, 原发恶性肿瘤4例, 中间性肿瘤5例, 脊柱良性肿瘤5例, 非特异性炎症反应3例; ②平均手术时间为(37.11±5.65)min, 所有患者未发生穿刺相关并发症; ③提示机器人辅助下经皮穿刺活检具有安全、快速、微创、准确率高的特点, 是一种高效的诊断脊柱病变的活检方法。

关键词: 骨; 脊柱; 机器人; 经皮; 穿刺; 活检

Advantages of robot assisted percutaneous biopsy in the diagnosis of spinal lesions

Zhang Wei, Hu Jiang, Tang Liuyi, Wan Lun, Yu Yang, Lin Shu, Tang Zhi, Wang Fei

Sichuan Academy of Medical Sciences & Sichuan Provincial People's Hospital, Chengdu 610072, Sichuan Province, China

Zhang Wei, MD, Associate chief physician, Sichuan Academy of Medical Sciences & Sichuan Provincial People's Hospital, Chengdu 610072, Sichuan Province, China

Corresponding author: Wang Fei, MD, Attending physician, Sichuan Academy of Medical Sciences & Sichuan Provincial People's Hospital, Chengdu 610072, Sichuan Province, China

Abstract

BACKGROUND: Robot assisted orthopedic surgery has been gradually popularized in clinical practice, and its application fields include spine, joint, trauma and sports medicine, which are precise and minimally invasive. However, there are few reports on the application of robot assisted puncture biopsy in the diagnosis and treatment of spinal lesions.

OBJECTIVE: To explore the clinical value of percutaneous biopsy assisted by orthopedic surgical robot in the diagnosis of spinal lesions.

METHODS: The clinical data of 38 patients with spinal lesions treated in Sichuan Provincial People's Hospital from November 2018 to January 2020 were analyzed retrospectively. All patients underwent percutaneous biopsy assisted by TINAVI orthopedic surgery robot. The biopsies were sent to the pathology department for histopathological examination.

四川省医学科学院·四川省人民医院, 四川省成都市 610072

第一作者: 张伟, 男, 1977年生, 四川省南部县人, 汉族, 2011年第二军医大学毕业, 博士, 副主任医师, 主要从事脊柱外科方面研究。

通讯作者: 王飞, 博士, 主治医师, 四川省医学科学院·四川省人民医院, 四川省成都市 610072

<https://orcid.org/0000-0003-1886-2525> (张伟)

基金资助: 四川省科技厅科技计划项目(2019YFS0268), 项目负责人: 胡虹

引用本文: 张伟, 胡虹, 唐六一, 万仑, 俞阳, 林书, 唐智, 王飞. 机器人辅助经皮穿刺活检诊断脊柱病变的优势 [J]. 中国组织工程研究, 2021, 25(6):844-848.



RESULTS AND CONCLUSION: (1) The successful rate of biopsy was 100% in 38 samples. Of them, 21 cases affected metastases; 4 cases had primary malignant tumors; 5 cases suffered from borderline tumors; 5 cases had benign tumors; and 3 cases experienced non-specific inflammatory reaction. (2) The average operation time was (37.11±5.65) minutes, and no complications occurred in all patients. (3) Robot assisted percutaneous biopsy is a safe, rapid, minimally invasive and accurate method for the diagnosis of spinal lesions.

Key words: bone; spine; robot; percutaneous; puncture; biopsy

Funding: the Science and Technology Plan Project of Science and Technology Department of Sichuan Province, No. 2019YFS0268 (to HJ)

How to cite this article: ZHANG W, HU J, TANG LY, WAN L, YU Y, LIN S, TANG Z, WANG F. Advantages of robot assisted percutaneous biopsy in the diagnosis of spinal lesions. *Zhongguo Zuzhi Gongcheng Yanjiu.* 2021;25(6):844-848.

0 引言 Introduction

术前明确脊柱病变性质是临床诊断的重要依据,也是制定治疗方案的关键^[1]。现代影像学技术让脊柱定位诊断变得比较容易,然而,结合临床症状、查体、实验室检查及影像学检查进行定性诊断依然很困难,国内外报道正确率仅为38%–75%^[2-3]。影像引导下的经皮穿刺活检术逐渐成为术前明确脊柱病变性质的重要手段,据文献报道,X射线、CT、超声等技术引导下能有效达到病变部位,但存在分辨率低、放射性损伤、伪影等缺点,病理活检的准确率参差不齐,总准确率为61%–90%,而相关并发症的发生率则为0–10%^[4-5]。随着技术的进步,骨科手术机器人在脊柱外科领域应用的越来越广泛,精准度及可靠性得到显著提高,同时降低了术中辐射剂量^[6-9]。目前对于脊柱肿瘤,无论是原发肿瘤或转移肿瘤,机器人辅助技术都可以用于活检或椎体强化,同时较传统手术降低了手术相关并发症^[10-12]。此次研究主要回顾性分析骨科机器人辅助下脊椎穿刺活检的安全性及准确性。

1 对象和方法 Subjects and methods

1.1 设计 回顾性病例分析。

1.2 时间及地点 于2018年11月至2020年1月在四川省人民医院骨科完成。

1.3 对象 回顾性分析2018年11月至2020年1月于四川省人民医院骨科行机器人辅助下经皮穿刺活检术的脊柱病变患者38例,男22例,女16例;年龄23–73岁,平均49.79岁;其中胸椎病变18例,腰椎病变15例,骶椎病变5例,见表1。

表1 | 脊柱病变患者临床资料 (n=38)

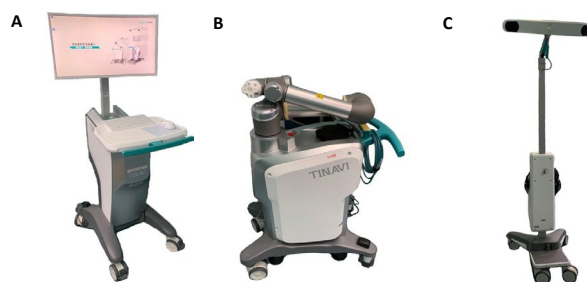
Table 1 | Clinical data of patients with spinal lesions

一般资料	数值
年龄($\bar{x}\pm s$, 岁)	49.79±13.15
性别(n/%)	
男	22/58
女	16/42
病变穿刺部位(n/%)	
胸椎	18/47
腰椎	15/40
骶椎	5/13

纳入标准: 通过临床表现、检验及影像学检查,初步考虑脊柱病变,难以明确诊断,需通过机器人辅助穿刺活检明确诊断患者。

排除标准: 术前已诊断骨质疏松症性压缩骨折或其他疾病,需通过机器人辅助下行经皮椎体后凸成形术/经皮椎体成形术同时活检的患者。

1.4 机器人手术设备 采用第三代天玑骨科手术机器人系统,由北京积水潭医院与北京航空航天大学及北京天智航医疗科技股份有限公司等联合研发。该系统包括主控台、机械臂主机及光学跟踪系统(图1)。数据采集使用德国西门子ARCADIS Orbic 三维C型臂X射线机完成。



图注: 图A为主控台-大脑, B为机械臂主机-手, C为光学跟踪系统-眼
图1 | 机器人设备

Figure 1 | Robot equipment

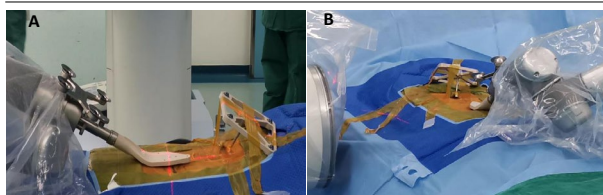
1.5 方法

1.5.1 术前准备 所有患者术前完成血常规、超敏C-反应蛋白、生化、凝血全套、输血全套、血沉、肿瘤标志物,病变部位CT平扫、核磁增强及全身骨显像检查。

1.5.2 手术操作 ①术前根据患者的CT及核磁结果初步确定穿刺入针部位及深度,在CT重建图像中模拟导针位置,对于经椎弓根无法到达病灶部位的病例采用椎弓根通道外入路;②患者平卧于机器人手术专用碳纤维手术床,C臂透视定位确认术区;③常规消毒铺巾;④使用3M薄膜紧密覆盖术区后安放示踪器,3M薄膜交叉固定示踪器,将示踪器与患者身体接触点全部固定,同时在水平和垂直两个方向再次固定,最终活动示踪器,确认在三维空间上示踪器与人体的相对位置即与操作椎体相对位置固定牢靠(图2);⑤三维C型臂X射线机180°扫描后数据导入机器人主机,结合扫描实时图像及术前方案规划导针位置,包括导针的方向和置入的深度(图3);⑥机器人辅助定位下做0.5 cm精准切口(局麻患者根据定位做局部浸润麻醉),置入二级套筒;⑦沿二级套筒电钻辅助置入定位导针至合适病变区域,C臂正侧位透视确认;⑧沿导针置入工作通道;⑨C臂透视确认工作通道位置(图4);⑩使用专用活检钳取适量病变组织送检;⑪置入针芯后拔除工作套筒;⑫消毒后无需缝合,皮肤减张包扎伤口。

1.6 主要观察指标 手术时间,手术并发症,术后病理结果。

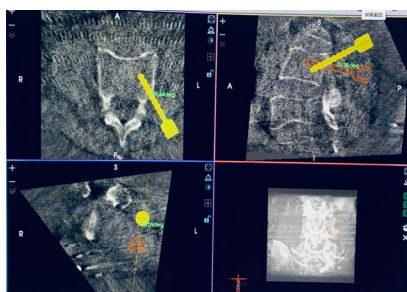
1.7 统计学分析 采用SPSS 19.0软件进行描述性及频率统计分析,计量资料以 $\bar{x}\pm s$ 表示。



图注：图 A 为正位透视，B 为侧位透视

图 2 | 示踪器的安置及标尺位置

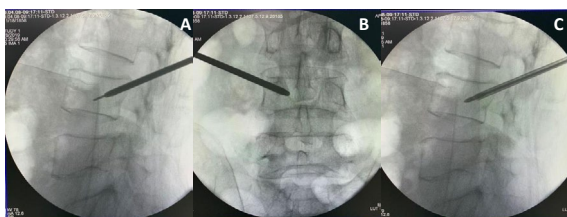
Figure 2 | Placement of tracer and position of scale



图注：图中实心螺钉为经椎弓根外拟置入导针位置，空心为常规椎弓根入路仅作规划参考

图 3 | 规划导针位置

Figure 3 | Planning guide needle position



图注：图 A 示置入定位针透视确认后沿导针置入套筒，B 示确认套筒深度后取出导针，C 示取出空心针芯后放入活检钳透视确认深度

图 4 | 机器人辅助下腰椎穿刺活检

Figure 4 | Robot assisted lumbar lesion biopsy

2 结果 Results

2.1 参与者数量分析 共纳入脊柱病变患者 38 例，全部进入结果分析，无失败病例。

2.2 试验流程图 见图 5。

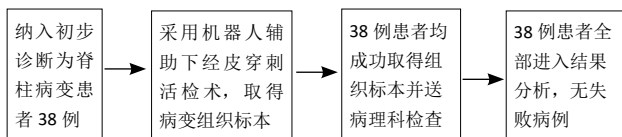


图 5 | 试验流程图

Figure 5 | Trial flow chart

2.3 一般资料 此组 38 例患者，包括胸椎 18 例，腰椎 15 例，骶椎 5 例。所有患者均一次性规划、穿刺成功，顺利置入工作套筒并取出组织标本，穿刺活检成功率为 100%。所有患者平均手术时间为 (37.11±5.65) min，在穿刺过程中均未发生血管、神经及周围脏器损伤，术后未见出血及血肿，无伤口感染。

2.4 病理结果 38 例均得到有效病理结果，印证病灶组织刺中率 100%，包括：①脊柱转移瘤 21 例，其中有 15 例提示了可能的原发灶，Tomita 外科分型：I 型 0 例，II 型 5 例，III 型 7 例，IV 型 6 例，V 型 2 例，VI 型 0 例，VII 型 1 例；②原发恶性肿瘤 4 例，其中孤立性浆细胞骨髓瘤 2 例，骨肉瘤 2 例；③中间性肿瘤 5 例，其中骨巨细胞瘤 4 例，局部侵袭性动脉瘤样骨囊肿 1 例；④良性肿瘤 5 例，其中血管瘤 2 例，骨纤维结构不良 1 例，朗格汉斯细胞组织增生症 1 例，富于细胞神经鞘瘤 1 例；⑤慢性非特异性炎症 3 例，见表 2。总体活检阳性率为 92%(35/38)。

表 2 | 患者的活检结果

(n)

Table 2 | Biopsy results of patients

活检结果	总数 (胸椎 / 腰椎 / 骶椎)
脊柱转移瘤	21(11/8/2)
原发恶性肿瘤	4(2/2/0)
中间性肿瘤	5(3/2/0)
良性肿瘤	5(2/2/1)
慢性非特异性炎症	3(0/1/2)

经皮穿刺活检后开放手术治疗 19 例，包括转移瘤 12 例、原发恶性肿瘤 2 例、中间性肿瘤 5 例。手术后大体标本病理检查结果与穿刺标本完全符合 19 例，手术与穿刺标本的病理检查结果符合率为 100%。其余 9 例脊柱转移瘤转肿瘤科继续治疗；2 例浆细胞骨髓瘤病例无神经症状及脊柱不稳，转血液科继续治疗；5 例良性肿瘤及 3 例非特异炎症反应患者无症状及椎体不稳，予以对症治疗，目前仍在随访中，暂无变化。

3 讨论 Discussion

术前明确脊柱病变性质是临床诊断的重要依据，也是制定治疗方案的关键^[1]。现代影像学技术让脊柱定位诊断变得比较容易，然而结合临床症状、查体、实验室检查及影像学检查进行定性诊断依然很困难，国内外报道正确率仅为 38%–75%^[2-3]。影像引导下的经皮穿刺活检术逐渐成为术前明确脊柱病变性质的重要手段，据文献报道，X 射线、CT、超声等技术引导下能有效达到病变部位，但存在分辨率低、放射暴露、伪影等缺点，病理活检的准确率参差不齐，总准确率为 16%–92%，而相关并发症的发生率则为 0–10%^[4-5]。随着技术的进步，骨科手术机器人在脊柱外科领域应用越来越广泛，精准度及可靠性得到显著提高，同时降低了术中辐射剂量^[6-9]。

此次研究中 38 例患者平均手术时间仅为 (37.11±5.65)min(从术前定位至包扎伤口)，主要取决于机器人系统的可靠性及学习曲线短^[13-15]，以及固定的机器人操作、护理和手术医师团队。研究者所在单位于 2017 年即已经开展该类手术，由于新技术及设备的早期应用需要手术团队内部及人机交互的磨合，为保证研究结果的时效性，此次研究未纳入该新技术开展第 1 年的病历资料。

此次研究病例穿刺活检成功率为 100%，且术后均未发

生穿刺相关并发症，是一项安全有效的活检技术。安全是机器人系统最重要的问题，因此提高机器人程序的安全性和稳定性就显得尤为重要。“天玑”骨科手术机器人机械臂的重力效应是平衡的，如果发生意外，如断电或超速，机械臂不会向下移动导致重要脏器损伤。此外，机器人可以在两种模式下进行控制，即粗位置的协作模式和精确位置的主动模式，从而最大限度地提高末端执行器的灵活性，并提高这些操作的准确性和稳定性。光学跟踪系统提供患者和机器人位置实时跟踪数据，手术计划和控制软件系统根据这些数据实时计算手术工具与规划手术路径的相对位置，并据此控制机器人运动，实现手术工具位置的定位补偿^[7,16-17]。

传统方法利用C臂或CT导航进行经皮穿刺活检时，外科医生根据二维图像在3个平面上协调轨迹，技术难度较大，需要在不同角度与方向上反复调整，增加了术中辐射剂量，对邻近关节突关节囊也造成了损伤。PARK等^[18]报道经皮穿刺或者置钉导致50%的患者近端小关节受到损伤；PATEL等^[19-20]也报道58%的近端关节突关节受到过度损伤，这些都可能引起邻近节段退变加速。机器人手臂则精准引导外科医生穿刺术前计划的轨迹，到达病灶部位，无论外科医生的熟练程度如何，机器人手臂系统都能准确地引导穿刺。

穿刺诊断的准确性与病变部位及取材质量有非常密切的关系^[21]。KORNBLUM等^[22]报道胸椎穿刺活检的准确率低于腰椎，并认为胸椎诊断率低与取材的技术性困难有关，特殊的解剖结构及神经损伤风险限制了较粗穿刺针及工作的应用。FYFE等^[23]报道，如果活检穿刺针增加2mm，那么活检的准确率将从59%增加到90%。此组患者中穿刺活检的成功率达到100%，病检结果阳性率为92.1%，这与机器人能够精准导航穿刺针达到病变部位有关，即便是紧靠椎体边缘的病灶；同时可以选择更粗的穿刺针及套管，取出更多的病灶组织，提高活检的准确率。

机器人辅助下穿刺活检除了以上特点外，对于椎体特殊部位的病变如椎体后下部，经椎弓根无法达到的位置，存在明显优势，机器人系统可以快速、精确规划出经椎弓根外的避免损伤脊髓神经的入针点及方向(图3,4)，直达病变部位，提高活检效率。

虽然机器人辅助下脊柱病变穿刺活检具有安全、精度高等优势，但目前也存在诸多局限性。首先，目前临床中应用的机器人系统价格普遍非常昂贵，限制了其推广及改进。其次，与传统手术相比，手术部位骨密度对于手术影响更大，对于重度骨质疏松患者，透视后三维重建出的图像质量欠佳，仍需要通过人工调节对比度亮度来进行有限的改善，在此次研究中，高度依赖于研究者团队中经验丰富的高年资手术室影像技师。

最后，目前临床应用的机器人系统，无论是国外进口或国内自主研发，最核心的价值仍然在于精准的定位或引导作用，最终主要的侵入性操作还是由手术医师来完成；同时也缺乏术中的实时监测，虽然在操作工具安置示踪器

可以在系统上实时看到操作器械的方向，但无法判断深度^[24-27]，在操作过程中仍然需要通过透视来确认安全性。也正是由于这些局限性，骨科手术机器人系统还存在很大的发展空间，这对国内研发具有自主知识产权的机器人系统是机遇也是挑战，目前国内已有多个机构自主研发骨科手术机器人系统，智能骨科手术体系也逐步建立和推广应用，为实现中国手术机器人系统从引进、学习到占领技术高地的跨越式发展拉开序幕^[28-30]。

综上，骨科机器人系统辅助下经椎弓根穿刺活检具有较高的安全性与准确性，同时可避免因反复调整穿刺针位置而增加透视次数，优势明显，并且随着该技术的不断改进，具有良好的发展前景。由于该技术应用时间较短，此次研究纳入样本量相对较少且为回顾性分析，研究结果仍需要大样本的前瞻性研究进一步验证。

作者贡献：张伟负责研究设计与实施、数据整理与分析、论文撰写；胡虹、唐六一、万仑、俞阳、林书、唐智负责研究设计与实施，王飞负责研究设计、论文修改及审核。

经费支持：该文章接受了“四川省科技厅科技计划项目(2019YFS0268)”的基金资助。所有作者声明，经费支持没有影响文章观点和对研究数据客观结果的统计分析及其报道。

利益冲突：文章的全部作者声明，在课题研究和文章撰写过程，不存在利益冲突。

机构伦理问题：该临床研究为回顾性研究，研究方案经四川省医学科学院、四川省人民医院医学伦理委员会审批[伦审(研)2019年第298号]。手术主刀医师为副主任医师，四川省人民医院为三级甲等医院，符合机器人辅助脊柱手术治疗的资质要求。

知情同意问题：参与试验的患病个体及其家属为自愿参加，均对试验过程完全知情同意，在充分了解治疗方案的前提下签署了“知情同意书”。

写作指南：该研究遵守《观察性临床研究报告指南》(STROBE指南)。

文章查重：文章出版前已经过专业反剽窃文献检测系统进行3次查重。

文章外审：文章经小同行外审专家双盲外审，同行评议认为文章符合期刊发稿宗旨。

生物统计学声明：文章统计学方法已经四川省人民医院专家审核。

文章版权：文章出版前杂志已与全体作者授权人签署了版权相关协议。

开放获取声明：这是一篇开放获取文章，根据《知识共享许可协议》“署名-非商业性使用-相同方式共享4.0”条款，在合理引用的情况下，允许他人以非商业性目的基于原文内容编辑、调整和扩展，同时允许任何用户阅读、下载、拷贝、传递、打印、检索、超级链接该文献，并为之建立索引，用作软件的输入数据或其它任何合法用途。

4 参考文献 References

- [1] CIFTDEMIR M, KAYA M, SELCUK E. Tumors of the spine. *World J Orthop.* 2016;7(2):109-116.
- [2] LEE SA, CHIU CK, CHAN CYW, et al. Comparison of Clinical Utility of Fluoroscopic vs. CT Guided Percutaneous Transpedicular Core Needle Biopsy for Spinal Infections and Tumours. *A Randomized Trial. Spine J.* 2020;20(7):1114-1124.
- [3] LIANG Y, LIU P, JIANG LB, et al. Value of CT-guided Core Needle Biopsy in Diagnosing Spinal Lesions: A Comparison Study. *Orthop Surg.* 2019;11:60-65.
- [4] WELKER JA, HENSHAW RM, JELINEK J, et al. The percutaneous needle biopsy is safe and recommended in the diagnosis of musculoskeletal masses. *Cancer.* 2000;89:2677-2686.

- [5] 刘晓光, 刘忠军, 党耕町, 等. CT 引导下穿刺活检在寰枢椎病变诊断中的应用 [J]. 中华骨科杂志, 2000, 20(4): 30-33.
- [6] TOGAWA D, KAYANJA MM, REINHARDT MK, et al. Bone-mounted miniature robotic guidance for pedicle screw and translaminar facet screw placement: part 2--Evaluation of system accuracy. *Neurosurgery*. 2007; 60:ONS129-39; discussion ONS139.
- [7] 田伟, 范明星, 韩晓光, 等. 机器人辅助与传统透视辅助脊柱椎弓根螺钉内固定的临床对比研究 [J]. 骨科临床与研究杂志, 2016, 1(1): 4-10.
- [8] VAN DIJK JD, VAN DEN ENDE RP, STRAMIGIOLI S, et al. Clinical pedicle screw accuracy and deviation from planning in robot-guided spine surgery: robot-guided pedicle screw accuracy. *Spine (Phila Pa 1976)* 2015; 40:E986-991.
- [9] WU JY, YUAN Q, LIU YJ, et al. Robot-assisted percutaneous transfacet screw fixation supplementing oblique lateral interbody fusion procedure: accuracy and safety evaluation of this novel minimally invasive technique. *Orthop Surg*. 2019; 11(1): 25-33.
- [10] HU X, SCHARSCHMIDT TJ, OHNMEISS DD, et al. Robotic assisted surgeries for the treatment of spine tumors. *Int J Spine Surg*. 2015; 9: 1.
- [11] GHASEM A, SHARMA A, GREIF DN, et al. The Arrival of Robotics in Spine Surgery: A Review of the Literature. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2018; 43(23): 1670-1677.
- [12] KERIC N, EUM DJ, AFGHANYAR F, et al. Evaluation of surgical strategy of conventional vs. percutaneous robot-assisted spinal trans-pedicular instrumentation in spondylodiscitis. *J Robot Surg*. 2017; 11(1): 17-25.
- [13] 袁伟, 孟小童, 刘欣春, 等. 骨科机器人辅助椎体后凸成形术治疗骨质疏松性椎体压缩性骨折的学习曲线 [J]. 中华创伤骨科杂志, 2019, 21(8): 670-675.
- [14] SIDDIQUI MI, WALLACE DJ, SALAZAR LM, et al. Robot-Assisted Pedicle Screw Placement: Learning Curve Experience. *World Neurosurg*. 2019; 130:e417-e422.
- [15] KAM JKT, GAN C, DIMOU S, et al. Learning curve for robot-assisted percutaneous pedicle screw placement in thoracolumbar surgery. *Asian Spine J*. 2019; 13(6): 920-927.
- [16] Erratum: Robotic-Assisted Spine Surgery: History, Efficacy, Cost, And Future Trends [Corrigendum]. *Robot Surg*. 2019; 6: 25.
- [17] SAYARI AJ, PARDO C, BASQUES BA. Review of robotic-assisted surgery: what the future looks like through a spine oncology lens. *Ann Transl Med*. 2019; 7: 224.
- [18] PARK Y, HA JW, LEE YT. Cranial facet joint violations by percutaneously placed pedicle screws adjacent to a minimally invasive lumbar spinal fusion. *Spine J*. 2011; 11: 295-302.
- [19] PATEL RD, GRAZIANO GP, VANDERHAVE KL, et al. Facet violation with the placement of percutaneous pedicle screws. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2011; 36:E1749-1752.
- [20] KIM HJ, CHUN HJ, KANG KT, et al. The biomechanical effect of pedicle screws' insertion angle and position on the superior adjacent segment in 1 segment lumbar fusion. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2012; 37: 1637-1644.
- [21] CHAUDHARY RK, ACHARYA S, CHAHAL RS. Fluoroscopy guided percutaneous transpedicular biopsy of vertebral body lesion. *J Nepal Health Res Counc*. 2019; 17: 163-167.
- [22] KORNBUM MB, WESOLOWSKI DP, FISCHGRUND JS. Computed tomography-guided biopsy of the spine. A review of 103 patients. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1998; 23: 81-85.
- [23] FYFE IS, HENRY AP. Closed vertebral biopsy. *J Bone Joint Surg Br* 1983; 65: 140-143.
- [24] D'SOUZA M, GENDREAU J, FENG A, et al. Robotic-Assisted Spine Surgery: History, Efficacy, Cost, And Future Trends. *Robot Surg*. 2019; 6: 9-23.
- [25] JOSEPH JR, SMITH BW, LIU X, et al. Current applications of robotics in spine surgery: a systematic review of the literature. *Neurosurg Focus*. 2017; 42(5): E2.
- [26] TIAN W, LIU YJ, LIU B, et al. Technical committee on medical robot engineering of chinese society of biomedical engineering; technical consulting committee of national robotic orthopaedic surgery application center. guideline for thoracolumbar pedicle screw placement assisted by orthopaedic surgical robot. *Orthop Surg*. 2019; 11(2): 153-159.
- [27] STAUB BN, SADRAMELI SS. The use of robotics in minimally invasive spine surgery. *J Spine Surg*. 2019; 5(Suppl 1): S31-S40.
- [28] 田伟. 我国医用机器人的研究现状及展望 [J]. 骨科临床与研究杂志, 2018, 3(4): 193-194.
- [29] 田伟. 我国智能骨科手术体系的建立及应用 [J]. 骨科临床与研究杂志, 2020, 5(3): 129-130.
- [30] ZHANG Q, HAN XG, XU YF, et al. Robotic navigation during spine surgery. *Expert Rev Med Devices*. 2020; 17(1): 27-32.