

• 非血管介入 Non-vascular intervention •

导航机器人辅助下 CT 引导胰腺穿刺活检的临床应用

彭 伟, 金光鑫, 许晟熙, 颜孟琦, 张学彬

【摘要】目的 探讨导航机器人辅助下 CT 引导胰腺穿刺活检的应用效果。**方法** 选取 2025 年 9 月至 2026 年 2 月在上海交通大学医学院附属仁济医院(东院)行 CT 引导下胰腺穿刺活检术的患者 80 例,采用随机抽样法将其分为机器人实验组 40 例(采用导航机器人辅助下 CT 引导胰腺穿刺活检),徒手对照组 40 例(采用传统 CT 引导下人工操作胰腺穿刺活检)。对比两组患者的穿刺效率、穿刺并发症、疼痛程度与穿刺体验。**结果** 两组手术总时间差异无统计学意义($P>0.05$),机器人实验组调针次数、CT 扫描次数均少于徒手对照组(均 $P<0.05$),穿刺时间低于徒手对照组($t=7.139, P<0.001$),首次进针成功率高于徒手对照组($\chi^2=4.588, P=0.032$),患者的受辐射剂量亦低于徒手对照组($t=37.919, P<0.001$)。徒手对照组并发症总发生率为 10.0%(4/40),机器人实验组并发症总发生率为 2.5%(1/40)差异无统计学意义($\chi^2=0.513, P=0.474$)。与徒手对照组相比,机器人实验组术后即刻、术后 1 d 的疼痛评分均显著降低($t=5.057, 2.211, P<0.001, P=0.030$);机器人实验组总满意度为 100%(40/40),高于徒手对照组 82.50%(33/40),差异有统计学意义($\chi^2=5.636, P=0.018$)。**结论** 导航机器人辅助穿刺系统能够显著提升胰腺穿刺活检的精准性,且安全性较高,极大改善患者的穿刺体验。

【关键词】 胰腺;穿刺活检;导航机器人辅助穿刺系统;并发症

中图分类号:R815 文献标志码:A 文章编号:1008-794X(2026)-009-1008-07

Clinical application of CT-guided pancreatic biopsy assisted by a navigation robot-assisted puncture system

PENG Wei, JIN Guangxin, XU Shengxi, YAN Mengqi, ZHANG Xuebin. Department of Interventional and Vascular Surgery, Anhui Provincial No. 2 People's Hospital, Hefei, Anhui Province 230041, China

Corresponding author: ZHANG Xuebin, E-mail: zhangxuebinwqy@163.com

【Abstract】Objective To investigate the application effect of CT-guided pancreatic biopsy assisted by a navigation robot-assisted puncture system. **Methods** A total of 80 patients, who underwent CT-guided pancreatic biopsy at the Affiliated Renji Hospital (East Branch) of Shanghai Jiao Tong University School of Medicine of China between September 2025 and February 2026, were enrolled in this study. Using a random sampling method, the patients were divided into a robot group ($n=40$, performing pancreatic biopsy with a navigation robot-assisted puncture system) and a manual group ($n=40$, performing pancreatic biopsy by using traditional manual CT guided puncture). The puncture efficiency, puncture-related complications, pain level, and puncture experience were compared between the two groups. **Results** There was no statistically significant difference in the total surgical time between the two groups ($P>0.05$). The number of needle adjustments and CT scans in the robot group were significantly lower than those in the manual group (both $P<0.05$), and the puncture time was significantly lower than that in the manual group ($t=7.139, P<0.001$). In the robot group, the success rate of the initial needle insertion was higher than that in the manual group ($\chi^2=4.588, P=0.032$), and

DOI:10.3969/j.issn.1008-794X.2026.09.007

基金项目:上海市科学技术委员会资助课题(25SF1908602)

作者单位:230041 安徽合肥 安徽省第二人民医院介入血管外科(彭伟);上海交通大学医学院附属仁济医院肿瘤介入科(金光鑫、许晟熙、颜孟琦、张学彬)

通信作者:张学彬 E-mail: zhangxuebinwqy@163.com

the radiation dose received by the patients was also significantly lower than that in the manual group ($t = 37.919, P < 0.001$). The total incidence of complications in the manual group was 10.0% (4/40), which was 2.5% (1/40) in the robot group, with no statistically significant difference ($\chi^2 = 0.513, P = 0.474$). The immediate pain scores after treatment and the postoperative one-day pain scores in the robot group were significantly lower than those in the manual group ($t = 5.057$ and $t = 2.211$ respectively; $P < 0.001$ and $P = 0.030$ respectively). The overall satisfaction rate in the robot group was 100% (40/40), which was significantly higher than 82.50% (33/40) in the manual group, and the difference was statistically significant ($\chi^2 = 5.636, P = 0.018$). **Conclusion** The navigation robot-assisted puncture system can not only significantly improve the precision and safety of pancreatic biopsy but also greatly improve the patient's puncture experience.

【Key words】 pancreas; percutaneous puncture biopsy; navigation robot-assisted puncture system; complication

由于胰腺位置深在,周围毗邻重要血管与脏器,且早期症状隐匿,多数患者确诊时已失去手术根治机会^[1]。因此,获取组织学标本以明确病理诊断,是制订个体化治疗方案的关键。CT 引导下的经皮穿刺活检因其定位准确、创伤小、操作相对简便,已成为胰腺占位性病变病理诊断的重要手段之一^[2]。然而,传统徒手穿刺方式依赖医师经验,对于初学者而言,因经验匮乏导致的路径规划偏差、调针频繁,增加了并发症的发生,尤其对于体积较小、位置较深或邻近重要器官遮挡的病灶,常需多次调整穿刺针,不仅延长操作时间,还可能增加出血、胰瘘、邻近器官损伤等并发症,严重制约其操作能力的提升与临床诊疗质量^[3-4]。随着医学影像技术与机器人技术的深度融合,机器人辅助系统整合多模态影像与智能传感技术有助于提高初学者的操作成功率^[5-6]。此外,导航机器人辅助穿刺系统在胰腺这一特殊解剖区域的应用尚处于探索阶段。本研究探讨导航机器人辅助穿刺系统在 CT 引导下胰腺穿刺活检术中的临床应用价值,分析其在提高穿刺效率、精准度与稳定性以及安全性与舒适度方面的优势,为推进胰腺疾病的诊疗提供依据。

1 资料与方法

1.1 样本量估算

通过样本量公式计算,设定 $\alpha = 0.05$ (双侧),对应 $u_{0.975} = 1.96$, $\beta = 0.20$, 对应 $u_{0.80} = 0.84$, $\delta/\sigma = 0.80$, 计算得出 $n_1 = n_2 = 24.5$, 考虑 20% 失访率并结合临床操作可行性,最终拟定总样本量为 80 例,符合样本量估算要求及统计分析需求。样本量计算公式如下:

$$n_1 = n_2 = 2 \times \left(\frac{\mu_{1-\alpha/2} + \mu_{1-\beta}}{\delta/\sigma} \right)^2$$

1.2 病例选择

选取 2025 年 9 至 2026 年 2 月在上海交通大学医学院附属仁济医院(东院)行 CT 引导下胰腺穿刺活检术的患者 80 例,采用随机抽样法将其分为机器人实验组 40 例(采用导航机器人辅助下 CT 引导胰腺穿刺活检),徒手对照组 40 例(采用传统 CT 引导下人工操作胰腺穿刺活检)。纳入标准:①临床检查发现胰腺占位性病变,为明其性质,需行病理学诊断的患者;②年龄 18~85 岁;③无严重心、肺、肝、肾功能障碍,能够耐受局部麻醉及穿刺操作;④具备良好的沟通能力和认知功能,能配合完成术中呼吸指令。排除标准:①预计生存期 < 3 个月;②明显凝血功能障碍或正在使用抗凝/抗血小板药物;③有严重心律失常、急性心肌梗死病史或其他严重基础疾病,无法耐受穿刺操作;④无法完成术前影像学评估或存在 CT 检查禁忌证。脱落标准:①手术过程中因导航系统宕机、CT 设备异常等技术故障导致无法继续实施穿刺;②中途退出研究,拒绝继续配合操作;③因呼吸不配合、剧烈疼痛或体位移动造成图像配准失败,连续 3 次无法完成有效进针。本研究经仁济医院伦理委员会批准(LY2026-080-C)。

1.3 方法

1.3.1 徒手对照组 采用常规经皮 CT 引导下的徒手穿刺活检。患者术前禁食水 6 h,并评估凝血功能、心肺状况及过敏史,完善上腹部增强 CT/MRI 和/或 PET-CT 等影像学检查。取仰卧位或俯卧位,确保术中体位稳定。在患者体表放置定位栅,并进行 CT 平扫定位,依据二维 CT 图像结合术前增强 CT/MRI 和/或 PET-CT 等影像学检查,估算最佳进针点、角度和深度,避开肠管、大血管等重要结构,初步拟定穿刺路径。局部麻醉后,采用 17 G 同轴穿刺针,通过步进法穿刺,即每推进一段距离即

行 1 次 CT 扫描,确认针尖位置是否接近目标病灶,若偏离预定路径,则立刻调整方向并重复扫描,直至穿刺针到达靶点。确认针尖到达病灶靶点后,撤出同轴针芯,使用全自动弹射式活检枪,经同轴穿刺针从不同角度获取病灶 3~5 条长度 ≥ 1 cm 的组织标本,再经同轴穿刺针注入适量 560~710 μm 明胶海绵颗粒栓塞剂,行穿刺道封堵后拔针,标本送病理科。完成取样后行 CT 扫描,观察有无气腹、出血等急性并发症。患者术后平卧监测生命体征至少 4 h,记录疼痛程度、舒适度及不良事件发生情况,术后第 2 天复查血常规、肝肾功能、血淀粉酶、电解质及炎症指标等。

1.3.2 机器人实验组 在常规经皮 CT 引导下徒手穿刺活检的基础上引入导航机器人辅助穿刺系统(加奈维,CR-NAV100),围术期操作步骤见图 1。

术前:①完善相关实验室及上腹部增强 CT/MRI 和/或 PET-CT 等检查,初步评估患者整体情况及胰腺占位大小、位置、深度、活性,邻近有无重要大血管、脏器等;②启动导航机器人辅助穿刺系统主机及机械臂控制单元,系统自检后进入主操作界面,确认光学跟踪系统、机械臂、控制终端等组件正常运行;③进行快速注册配准,首次使用时进行空间注册,即利用固定于 CT 床的参考标记物建立 CT 成像空间、CT 检查床与机器人机械臂之间的空间坐标对应关系,通过系统引导完成 3 者的空间配准,配准完成后,所有后续操作无需重复此步骤。

术中:①病灶识别:行胰腺 CT 平扫,将获得的原始 DICOM 格式图像通过网络传输至导航机器人系统工作站,在系统三维图像界面对目标病灶进行标注,并使用系统工具对肿瘤区域、周围大血管、胃肠道、肝脏、脾脏等结构进行智能分割;②穿刺路径规划:规划路径的过程中需尽量避开主要大血管、胃肠道及其他关键解剖结构,并设定穿刺角度范围,最终确认从皮肤穿刺点到靶病灶中心的最佳路径(图 2),从进针点(-1 244.8 mm)至病灶(-1 229.8 mm),跨

层深度为 127.2 mm;③实时呼吸监测:通过外部传感器或图像反馈实现患者呼吸周期的持续监测,根据系统提示在呼气末平稳期实施进针动作,减少因呼吸导致的位置偏移;④导航启动与机械臂控制:将系统规划好的穿刺路径映射至当前患者解剖位置,启动导航,导航界面显示实时穿刺方向指引(如激光指示或屏幕箭头),控制七轴机械臂自动运动至预定穿刺起始位置,调整夹持器或激光定位器对准皮肤进针点;⑤穿刺:在导航系统指引下沿推荐路径手动进针,根据系统提示掌握最佳进针时机(通常为呼气末相),进针过程中以导航界面的方向引导为参考。初次进针后,进行局部 CT 扫描,确认针尖位置是否接近靶点,若存在偏差,系统可重新计算调整路径,按新指引微调穿刺针位置,直至针尖准确到达目标区域。确认穿刺针到达靶点后,实施组织取样等操作,操作过程中根据需要进行继续借助导航系统进行监控。由图 3 可见,从进针点~病灶,进针点差 5 mm 左右,针尖基本吻合。

术后:将手术操作记录、路径规划图、影像资料等保存至系统数据库,然后退出导航程序,控制机械臂返回安全停放位置并关闭电源。对患者进行术后 CT 扫描,评估穿刺效果、有无出血或其他并发症。

1.3.3 辐射剂量检测 采用 GE Revolution CT 设备自带的辐射剂量监测系统,同时辅助使用热释光剂量片进行同步验证;热释光剂量片提前校准,置于穿刺病灶对应的腹部体表投影位置。每次 CT 扫描完成后,自动记录设备生成的 CT 剂量指数(CTDIvol)、剂量长度乘积(DLP);穿刺结束后取出热释光剂量片,经专用读数仪读取辐射剂量数值。辐射剂量数据从设备导出并录入电子数据库,双人核对确保数据无误差,同时严格遵循 CT 辐射防护规范,减少不必要的辐射暴露。

1.3.4 观察指标

阳性率:以病理诊断明确为胰腺癌、胰腺转移瘤等恶性病变或慢性胰腺炎结节、胰岛细胞瘤、胰腺囊



图 1 穿刺导航机器人操作流程

Figure 1 Operational workflow of the puncture navigation robot

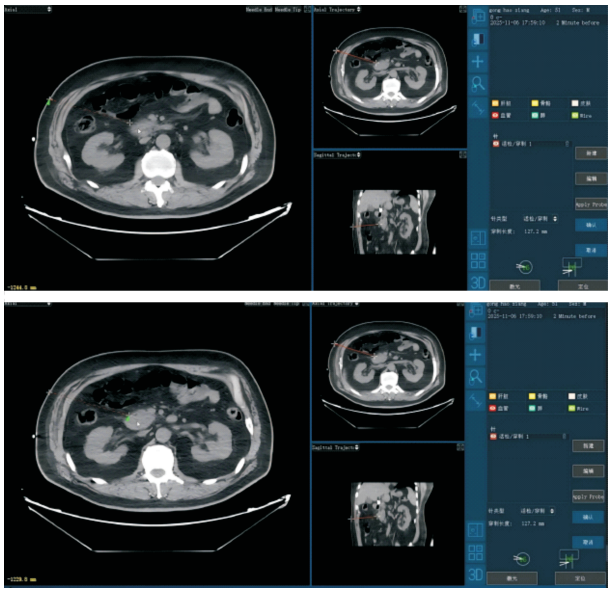


图 2 胰腺穿刺路径规划
Figure 2 Pancreatic puncture path planning

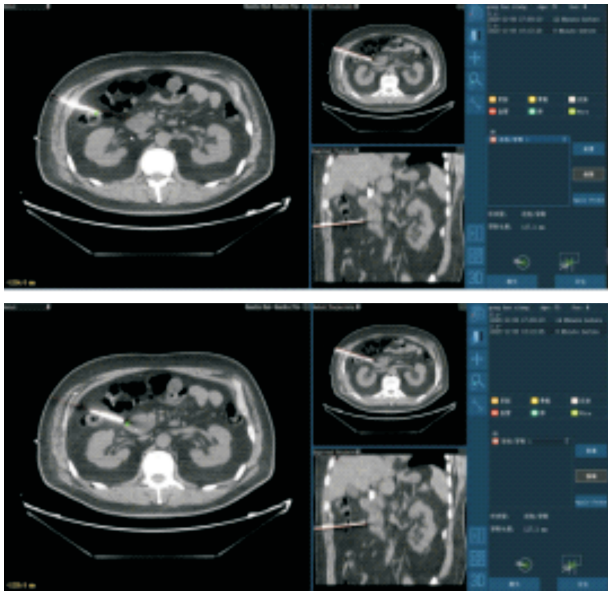


图 3 胰腺穿刺影像
Figure 3 Image of pancreatic puncture

性病变伴上皮异型增生等特异性良性病变的为阳性;病理结果仅为正常胰腺组织、炎性渗出物且无法明确诊断的为阴性。

操作效率:指调针次数、扫描次数、手术总时间、穿刺时间、首次进针成功率以及辐射剂量。调针次数是指穿刺过程中因针尖偏离目标路径而需调整方向的次数,记录每次进针后是否需要重新定位或修正路径;扫描次数是指自首次定位扫描至穿刺针拔出后最终复扫所进行的 CT 扫描总次数,包括定位扫描、步进扫描、验证扫描等;手术总时间是指从首

次定位扫描开始到穿刺针成功抵达靶病灶并完成组织取样的全过程耗时,包括路径规划、机器调试、进针、调整、确认等步骤;穿刺时间指从麻醉针进入皮肤到活检针拔出的时间(不包括路径规划、机器调试等步骤);首次进针成功率是指初次进针即准确到达预设靶点的比例,即初次进针后经 1 次 CT 扫描确认针尖位于病灶中心区域且偏差 ≤ 2 mm 则视为成功,未达病灶、仅穿刺至周边组织或脂肪间隙、取材为空白等则为进针失败;辐射剂量指从首次定位扫描至穿刺针拔出后最终复扫全过程接受的总辐射剂量,采用 CT 设备监测结合热释光剂量片验证的均值计算,单位为 μSv 。

穿刺并发症:穿刺并发症包括围术期出现任何不良事件,包括感染、出血、肠穿孔、重症胰腺炎等。

疼痛:评估术后即刻、术后第 1 天、出院时 VAS 评分^[7]。

穿刺满意度:参考国内外介入操作相关患者满意度评价工具的研究经验,自行设计满意度评价量表^[8]。量表从穿刺过程中的疼痛程度、舒适度、对操作过程的整体接受度 3 个维度进行评价,采用 100 分制评分(0 分为最不满意,100 分为最满意),分为非常满意(≥ 80 分)、满意(60~79 分)以及不满意(≤ 59 分)3 个等级。满意度 = (非常满意例数 + 满意例数) / 总例数 $\times 100\%$ 。

1.4 统计学方法

应用 SPSS 26.0 软件分析数据。正态分布的计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示,比较采用 t 检验,计数资料以例数(%)表示,比较采用 χ^2 检验, $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 两组一般资料比较

两组一般资料比较差异均无统计学意义($P > 0.05$),见表 1。

表 1 两组一般资料比较($n = 40$)

Table 1 Comparison of baseline characteristics between the two groups($n = 40$)

指标	机器人实验组	徒手对照组	t/χ^2 值	P 值
男/女(例)	22/18	24/16	0.21	0.65
年龄(岁, $\bar{x} \pm s$)	60.4 $\pm$ 8.4	59.2 $\pm$ 9.3	0.66	0.51
BMI(kg/m^2 , $\bar{x} \pm s$)	22.88 $\pm$ 3.41	23.72 $\pm$ 2.95	0.59	0.56
病灶直径(cm, $\bar{x} \pm s$)	2.20 $\pm$ 0.63	2.11 $\pm$ 0.95	0.52	0.60
胰头/体/尾(例)	18/14/8	16/15/9	0.23	0.89

2.2 两组活检阳性率对比

机器人实验组活检阳性 38 例(95%);徒手对照

组活检阳性 32 例(80%),两组阳性率比较差异有统计学意义($\chi^2 = 4.114, P = 0.042$)。

2.3 两组操作效率比较

两组手术时间差异无统计学意义($P > 0.05$),但机器人实验组调针次数、CT 扫描次数、穿刺时间、辐射剂量均低于徒手对照组(均 $P < 0.001$),而首次进针成功率高于徒手对照组($P = 0.032$),见表 2。

表 2 两组操作效率指标比较($n = 40$)
Table 2 Comparison of operational efficiency indicators between the two groups($n = 40$)

指标	徒手对照组	机器人实验组	t/χ^2 值	P 值
调针次数($\bar{x} \pm s$, 次)	2.38 $\pm$ 0.89	0.72 $\pm$ 0.51	10.235	<0.001
CT 扫描次数($\bar{x} \pm s$, 次)	5.40 $\pm$ 0.63	3.58 $\pm$ 0.50	13.872	<0.001
手术时间($\bar{x} \pm s$, min)	21.32 $\pm$ 4.05	20.66 $\pm$ 4.72	0.671	0.504
穿刺时间($\bar{x} \pm s$, min)	15.30 $\pm$ 2.34	11.62 $\pm$ 2.27	7.139	<0.001
首次进针成功率[例(%)]	5(12.50)	13(32.50)	4.588	0.032
辐射量(μ Sv)	4 720 $\pm$ 510	1 325 $\pm$ 221	37.919	<0.001

2.4 两组穿刺并发症发生情况比较

徒手对照组并发症总发生率为 10.0%,机器人实验组并发症总发生率为 2.5%,差异无统计学意义($\chi^2 = 0.513, P = 0.474$)。见表 3。

表 3 两组穿刺并发症发生情况比较[例(%)]
Table 3 Comparison of puncture-related complication incidence between the two groups[$n(\%)$]

组别	例数	感染	出血	重症胰腺炎	胰瘘	总发生率
徒手对照组	40	1(2.5)	2(5.0)	1(2.5)	0(0)	4(10.0)
机器人实验组	40	0(0)	1(2.5)	0(0)	0(0)	1(2.5)

2.5 两组疼痛情况比较

与徒手对照组相比,机器人实验组术后即刻、术后 1 d 的疼痛评分均显著降低($t = 5.057, 2.211, P < 0.001, P = 0.030$),两组出院时 VAS 评分均无显著差异($P > 0.05$)。见表 4。

2.6 两组手术满意度比较

机器人实验组总满意度为 100.0%,显著高于徒手对照组 82.50%($\chi^2 = 5.636, P = 0.018$),见表 5。

表 4 两组疼痛情况比较(分, $\bar{x} \pm s$)
Table 4 Comparison of pain status between the two groups (points, $\bar{x} \pm s$)

组别	例数	术后即刻	术后 1 d	出院时
徒手对照组	40	3.23 $\pm$ 0.32	2.73 $\pm$ 0.45	1.58 $\pm$ 0.51
机器人实验组	40	2.89 $\pm$ 0.29	2.51 $\pm$ 0.44	1.52 $\pm$ 0.43
t 值	—	5.057	2.211	0.240
P 值	—	<0.001	0.030	0.811

表 5 两组手术满意度比较[例(%)]

Table 5 Comparison of operational satisfaction between the two groups [$n(\%)$]

组别	例数	非常满意	满意	不满意	总满意度
徒手对照组	40	12(30.0)	20(50.0)	8(20.0)	33(82.5)
机器人实验组	40	23(57.5)	17(42.5)	0(0)	40(100.0)

3 讨论

本研究中机器人实验组活检阳性率高于徒手对照组,且机器人实验组调针次数、CT 扫描次数、穿刺时间显著低于徒手对照组。其效率提升的原因:①传统徒手穿刺高度依赖术者个人经验与空间想象能力,需通过多次 CT 扫描逐步验证并调整进针路径^[9]。解剖位置深在、周围结构复杂的胰腺病灶对于初学者来说,常因经验不足而增加调针与扫描频次,延长穿刺时间。相比之下,机器人辅助系统通过高精度空间配准与实时导航,可直观显示进针路径与目标位置,降低了对术者经验的依赖,有助于实现更直接、稳定的进针过程。②本研究采用的导航系统具备快速注册与影像数据传输功能,单日仅需 1 次初始配准,支持连续多例手术,且 DICOM 影像传输迅速,显著减少了术前准备与重复校准时间^[10-11]。③系统激光或夹持模式引导下,进针轨迹更加可控,减少了术中路径偏离,大大增加了术者(特别是初学者)的穿刺信心,术者可持续进针,从而减少了重复调针与扫描的需要,缩短了穿刺时间。

两组首次进针成功率均较低,但机器人实验组的首次进针成功率仍高于徒手对照组,可能原因:①针对解剖位置复杂、周围血管丰富或被胃肠道包绕的胰腺病灶,即便在导航引导下,因呼吸动度、体表定位偏差及系统固有误差等因素影响,常难以通过单次进针完成穿刺;此时机器人系统可依据实时影像迅速规划第二步进针路径,多数情况下可在两次进针内完成操作,而徒手穿刺尤其对经验不足者常需 3 次及以上调整;②对于体积较大、周围结构简单的病灶,徒手穿刺多需两次进针,而机器人系统则可实现一次到位;③机器人系统搭载的七轴穿刺机械臂具有亚毫米级运动控制精度,理论穿刺误差不超过 ± 1 mm,其高自由度构型可在术中灵活规避关键解剖结构,无需重新定位设备,从而有效提升首次进针成功率,这与文献报道^[12-13]结论一致;④系统整合的呼吸位移感知模块可准确识别呼吸周期,辅助操作者于呼气末平稳期执行穿刺,减少因呼吸引起的靶点移位,提高了首次穿刺成功率,同时有助于

缩短整体穿刺时间。

此外,辐射安全是介入诊疗领域的关注要点,尤其对于胰腺穿刺这类需反复 CT 扫描验证的操作,电离辐射暴露对患者存在潜在健康风险。本研究中,机器人实验组患者的辐射剂量显著低于徒手对照组。这是由于机器人实验组减少了扫描次数,进而显著降低了长时间的辐射暴露。

本研究结果显示,徒手对照组和机器人实验组并发症发生率均较低,这可能与所有操作均由同一位具有一定介入经验的医师完成有关,其在徒手穿刺中也能有效控制并发症风险。但徒手对照组并发症发生率仍略高于机器人实验组,提示机器人辅助系统在降低并发症方面具有潜在优势。对于操作经验不足的初学者,徒手穿刺中因反复调针、多次穿刺尝试可能增加组织损伤、出血或邻近器官误伤的风险。机器人系统通过精准路径规划与稳定进针,有助于减少针道内不必要的组织损伤和血管误穿。虽然术中需要连接床边轨、机器人及匹配注册机器人,准备时间延长,但手术总时长与徒手穿刺无明显差异,且准备完成后,穿刺工作通道能快速、精准、一次性完成,可避免术中反复扫描,大大降低了术中患者的射线辐射量^[14]。此外,机械臂夹持模式操作还能规避人工徒手操作中易出现的手部震颤、定位偏移等人为误差,保障操作全程的精准性与稳定性^[15-16]。

本研究结果显示,与徒手对照组相比,机器人实验组术后即刻、术后 1 d 的疼痛评分均显著降低,且总满意度显著高于徒手对照组。说明导航机器人辅助穿刺系统可降低患者穿刺过程中的疼痛感,该结论与郭松等^[17]的研究结果一致。因为:①导航机器人辅助穿刺系统通过高精度定位与路径规划,显著减少了调针次数和穿刺时间。胰腺是高度神经支配的器官,其包膜及实质内分布有丰富的内脏感觉神经纤维,对机械牵拉极为敏感。减少调针次数直接降低了重复性机械刺激对神经末梢的激惹,是疼痛减轻最直接的物理基础^[18]。②缩短穿刺时间意味着患者保持特定体位(尤其是俯卧位)的时间更短,减少了因长时间固定姿势导致的肌肉紧张与不适感累积;同时,系统通过机械臂夹持模式稳定操作与呼吸同步进针,减少了因呼吸运动引起的针尖移位与组织牵拉,进一步缓解了操作相关疼痛^[19]。③反复调针和多次 CT 扫描不仅延长了操作时间,也增加了患者在操作台上的不确定感和焦虑情绪,疼痛本身就是生理与心理因素的复合产物,焦虑和紧张可降低痛阈,使患者对同等强度的刺激感知为更强烈的疼痛。机器人系统通过更流畅的操作流程,减少

了患者的心理应激反应,间接降低了疼痛的主观感受。④术后即刻疼痛评分的降低反映操作本身创伤程度的减轻;术后 1 d 疼痛评分的持续降低则提示术中组织损伤的减少可转化为术后炎症反应的减轻。

本研究尚存在一定局限性:①样本量相对有限,可能影响结果的稳定性和外推性;②为单中心设计,纳入人群具有一定同质性,结论在其他医疗中心的适用性仍需进一步验证;③当前版本的机器人辅助系统有待进一步优化:如术前空间配准耗时较长、机械臂对极复杂解剖场景的适配性不足,对于已具备丰富穿刺经验的医师而言,系统难以进一步压缩其操作时间或突破经验瓶颈,帮助有限;④在实际操作中,部分患者因呼吸不均、体型肥胖或特殊体位等因素,以及设备自身的系统误差,可能导致实际穿刺路径与规划路径之间存在偏差,且当穿刺点位于腋中线等位置时,机械臂的伸展范围可能限制激光头与体表之间的距离,进而影响进针路径与操作便利性;⑤研究排除了正在使用抗凝/抗血小板药物的患者,这在一定程度上限制了在高出血风险人群中的适用性;⑥所用满意度评价量表为自行设计,虽参考了国内外相关研究经验,但尚未经过严格的信效度检验(如重测信度、内部一致性信度及结构效度等),条目设置亦较为笼统,未能细化至具体操作环节的满意度评价,可能引入一定的主观评价偏倚。针对上述局限,未来可从以下几方面进行改进:①开展大样本、多中心前瞻性研究,以增强结论的普适性与可靠性;②未来可围绕人机交互效率、复杂解剖场景的智能路径规划等方向进行迭代优化,以便纳入更多不同年资、不同经验水平的术者,全面评估该导航系统在不同操作经验背景下的辅助效能;③持续优化导航系统的软硬件设计,提升其抗干扰能力与定位精度,特别是在呼吸补偿、体型适应与机械臂操作范围等方面进行技术改进;④探索引入自动路径规划功能,进一步降低人为规划的主观性与时间成本,提高手术效率与安全性。对于机器人辅助导航定位系统在高出血风险人群中的适用性问题,未来需设计亚组研究,以探讨导航机器人辅助系统在抗凝患者中应用的安全性及最佳围术期管理方案,进一步扩大其临床适用范围。对于满意度评价量表,未来研究应采用经过验证的标准化患者报告结局测量工具,或对本量表进行系统的信效度检验,以增强满意度评价结果的可靠性与可比性。

综上所述,机器人辅助系统能显著减少调针次数与 CT 扫描次数,缩短穿刺时间,提高首次进针成功率,并降低辐射剂量,并在不增加并发症的前提

下,有效降低患者术后疼痛,提升整体满意度。该系统通过精准定位、呼吸补偿与机械臂稳定操作,为胰腺穿刺活检初学者提供了一种更高效、更安全、创伤更小的技术选择,具有良好的临床推广应用价值。

【参 考 文 献】

- [1] 杨金收,许瑞源,王程程,等.胰腺癌的早期筛查与诊断策略[J].癌症,2023,42:453-472.
Yang JS, Xu RY, Wang CC, et al. Early screening and diagnostic strategies for pancreatic cancer[J]. Chin J Cancer, 2023, 42: 453-472.
- [2] 冯道春,何 闯,李良山,等. CT 引导下经皮胰腺占位病变穿刺活检的诊断准确性[J]. 川北医学院学报, 2023, 38: 944-948.
Feng DC, He C, Li LS, et al. Diagnostic accuracy of CT-guided percutaneous puncture biopsy of pancreatic space-occupying lesions[J]. J North Sichuan Med Coll, 2023, 38: 944-948.
- [3] 张叶青. Q300 微型机器人导航系统辅助 CT 导向应用于经皮穿刺活检术中的价值分析[J]. 中国医疗器械信息, 2025, 31: 53-55.
Zhang YQ. Value analysis of CT guidance assisted by Q300 microrobot navigation system in percutaneous puncture biopsy[J]. China Med Device Inf, 2025, 31: 53-55.
- [4] Liu J, Sun W, Zhao Y, et al. Ultrasound probe and hand-eye calibrations for robot-assisted needle biopsy [J]. Sensors (Basel), 2022, 22: 9465.
- [5] 吕小慧,董 健,李子怡,等. 机器人腹腔镜子宫内膜癌前哨淋巴结活检术的临床应用[J]. 空军军医大学学报, 2025, 46: 1158-1162.
Lyu XH, Dong J, Li ZY, et al. Clinical application of robotic laparoscopic sentinel lymph node biopsy for endometrial cancer[J]. J Air Force Med Univ, 2025, 46: 1158-1162.
- [6] Wang Z, Fan M, Tao Q, et al. Feasibility and safety study of advanced prostate biopsy robot system based on MR-TRUS image flexible fusion technology in animal experiments[J]. SLAS Technol, 2024, 29: 100184.
- [7] 严广斌. 视觉模拟评分法[J]. 中华关节外科杂志(电子版), 2014, 8: 273.
Yan GB. Visual analog scale[J]. Chin J Joint Surg (Electron Ed), 2014, 8: 273.
- [8] 张 华,郭坚溪,孔 健. 肺小结节胸腔镜切除术前定位方法的应用进展[J]. 介入放射学杂志, 2022, 31: 1216-1221.
Zhang H, Guo JX, Kong J. Advances in preoperative localization methods for pulmonary small nodules undergoing thoracoscopic resection [J]. J Interv Radiol, 2022, 31: 1216-1221.
- [9] Dhar J, Samanta J, Nabi Z, et al. Endoscopic ultrasound-guided pancreatic tissue sampling: lesion assessment, needles, and techniques[J]. Medicina (Kaunas), 2024, 60: 2021.
- [10] 王双豹,赵伟然,赵建凯,等. 机器人辅助立体定向穿刺引流术治疗原发性脑干出血的临床疗效分析[J]. 临床神经外科杂志, 2025, 22: 617-622.
- Wang SB, Zhao WR, Zhao JK, et al. Clinical efficacy analysis of robot-assisted stereotactic percutaneous drainage in the treatment of primary brainstem hemorrhage [J]. J Clin Neurosurg, 2025, 22: 617-622.
- [11] Matsumoto Y, Kho SS, Furuse H. Improving diagnostic strategies in bronchoscopy for peripheral pulmonary lesions [J]. Expert Rev Respir Med, 2024, 18: 581-595.
- [12] 刘 丽,范春辉,温明毅,等. 分析肺内小结节诊断期间行双针法 CT 引导下经皮肺穿刺活检的价值[J]. 中国医疗器械信息, 2023, 29: 25-27.
Liu L, Fan CH, Wen MY, et al. Analysis of the value of double-needle technique CT-guided percutaneous lung biopsy in the diagnosis of small pulmonary nodules[J]. China Med Device Inf, 2023, 29: 25-27.
- [13] 张海存,吴沧陆,沈泽宇,等. 骨科机器人导航下精准穿刺骨水泥有限注射椎体成形术治疗老年性骨质疏松压缩性骨折[J]. 临床医药文献电子杂志, 2019, 6: 44.
Zhang HC, Wu CL, Shen ZY, et al. Precise puncture and limited bone cement injection vertebroplasty under orthopedic robot navigation for senile osteoporotic compression fractures [J]. Electron J Clin Med Lit, 2019, 6: 44.
- [14] Xie F, Wagh A, Wu R, et al. Robotic-assisted bronchoscopy in the diagnosis of peripheral pulmonary lesions[J]. Chin Med J Pulm Crit Care Med, 2023, 1: 30-35.
- [15] Zhou Z, Yang Z, Jiang S, et al. Surgical navigation system for hypertensive intracerebral hemorrhage based on mixed reality [J]. J Digit Imaging, 2022, 35: 1530-1543.
- [16] Xie Q, Zhang X, Ding Y, et al. Assessing the clinical efficacy of stereotactic puncture in combination with postoperative rehabilitation training for hypertensive cerebral hemorrhage [J]. Altern Ther Health Med, 2024, 30: 122-127.
- [17] 郭 松,付 强,杭栋华,等. Mazor 脊柱机器人辅助改良经椎体成形术治疗腰椎骨质疏松性骨折的疗效分析[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2021, 31: 818-824.
Guo S, Fu Q, Hang DH, et al. Efficacy analysis of Mazor spinal robot-assisted modified percutaneous vertebroplasty for lumbar osteoporotic fractures[J]. Chin J Spine Spinal Cord, 2021, 31: 818-824.
- [18] 赖文涛,赵志军,张春阳. 机器人辅助治疗少量高血压脑出血的疗效分析[J]. 立体定向和功能神经外科杂志, 2023, 36: 299-303.
Lai WT, Zhao ZJ, Zhang CY. Efficacy analysis of robot-assisted treatment for mild hypertensive intracerebral hemorrhage[J]. Chin J Stereotact Funct Neurosurg, 2023, 36: 299-303.
- [19] 张 峥,郁晓路,李 飞,等. 新型机器人辅助穿刺系统在 CT 引导下肺穿刺活检术的应用研究及护理配合[J]. 介入放射学杂志, 2024, 33: 549-553.
Zhang Z, Yu XL, Li F, et al. Application study and nursing coordination of a novel robot-assisted puncture system in CT-guided percutaneous lung biopsy[J]. J Interv Radiol, 2024, 33: 549-553.

(收稿日期:2026-04-20)

(本文编辑:新 宇)