

## ·综述 General review·

## 影像导航辅助定位穿刺系统在微创介入治疗中的应用

章浙伟, 邵国良

**【摘要】** 影像导航辅助定位穿刺系统是近年来发展的一项具有广阔应用前景的治疗新技术, 它融合了影像与导航定位技术, 通过影像显示实时动态导引手术器械对病灶进行操作, 大大优化了微创介入治疗过程。影像导引方式主要包括超声、CT、MRI 导引等, 导航定位技术可根据不同原理分为机械定位、光学定位和电磁定位。不同影像引导方式和导航定位技术各有优劣。影像导航辅助定位穿刺系统目前已广泛应用于肿瘤穿刺活检、局部消融治疗、放射性粒子植入治疗等微创介入治疗领域, 取得了良好效果, 但仍存在一些不足。本文就该技术在微创介入治疗中的应用作一简要综述。

**【关键词】** 影像导引; 导航定位; 微创; 介入治疗

中图分类号: R445 文献标志码: A 文章编号: 1008-794X(2017)-10-0948-04

**Clinical application of image-navigation-assisted positioning and puncturing system in minimally-invasive interventional therapy** ZHANG Zhewei, SHAO Guoliang. Second Clinical College, Zhejiang University of Traditional Chinese Medicine, Hangzhou, Zhejiang Province 310053, China

Corresponding author: SHAO Guoliang, E-mail: shaogl@zjcc.org.cn

**【Abstract】** Image-navigation-assisted positioning and puncturing system is a newly-developed treatment technology in recent years, which carries broad application prospects. It combines image and navigation technology together. Guided by the dynamic real-time imaging the operator can precisely manipulate the surgical instruments to operate on the target lesion, in this way the minimally-invasive interventional therapy can be greatly optimized. The image-guided methods mainly include ultrasound, CT, MR, etc. Based on the principles of different positioning methods, the navigation and positioning technology can be classified into mechanical positioning, optical positioning and electromagnetic positioning. Each image guidance and navigation technology has its own advantages and disadvantages. At present, image-navigation-assisted positioning and puncturing system has already been widely used in various minimally-invasive interventional therapies, such as tumor biopsy, local ablation therapy, radioactive seed implantation, etc., and satisfactory clinical results have been achieved although in clinical practice they still have some shortcomings. In this paper, the application of this technique in minimally-invasive interventional therapy is briefly reviewed. (J Intervent Radiol, 2017, 26: 948-951)

**【Key words】** image guidance; navigation positioning; minimal invasion; interventional therapy

随着近年影像介入技术不断发展, 以微创、准确和有效为特点的影像导引下介入治疗, 对于肿瘤等疾病治疗发挥了更大作用, 应用范围越来越广。微创介入技术是在影像导引下实施, 利用微创的介入器械如活检针、导管、射频针等, 以最小创伤将治疗器具或药物置入至靶病变组织, 进行物理、机械

或化学治疗。微创介入治疗通常需要借助影像学方法显示患者解剖结构, 利用空间定位和导航技术导引手术器械对病灶进行治疗<sup>[1]</sup>。影像导航辅助定位穿刺系统融合了影像与导航定位技术, 使介入医师在微创介入治疗中能够通过影像显示对手术器械进行实时监控, 操作更精准, 术后并发症更少, 取得更好疗效, 同时减少治疗时 CT 扫描次数和辐射剂量, 缩短手术时间<sup>[2]</sup>。

## 1 影像导航技术相关原理

影像导航技术是在神经外科框架立体定向技

DOI: 10.3969/j.issn.1008-794X.2017.10.021

基金项目: 浙江省医药卫生科技计划 (2016DTA002)

作者单位: 310053 杭州 浙江中医药大学第二临床医学院 (章浙伟); 浙江省肿瘤医院介入治疗科 (邵国良)

通信作者: 邵国良 E-mail: shaogl@zjcc.org.cn

术基础上发展而来,也称计算机辅助手术。它结合医学影像与物理空间定位技术,在治疗过程中通过影像实时动态观察手术器械,导引其对患者病变部位进行操作。目前临床上采用的影像导引方式主要包括超声、CT、MRI 导引等。超声导引较其它方法更为便捷、经济、实时,且无辐射,对浅表器官如甲状腺、乳腺、前列腺等显示理想,对腹部脏器如肝、肾、脾等也有较好分辨率,但作为二维图像的清晰度偏低,视野范围有死角,易受气体和骨骼的影响,与操作者技术水平有密切关系。CT 导引图像分辨率较高,可清晰显示病灶大小、位置、形态及与周围组织的关系,不受气体和骨骼影响,具有容积成像和三维成像功能,但存在 X 线辐射和非实时导引缺陷。MRI 显示软组织有着无可比拟的优势,其无电离辐射、组织分辨率高、对温度变化敏感,但价格昂贵,同时需要配备与磁兼容的治疗和辅助设备,因而临床应用受到制约。具有热场成像和功能成像的 MRI 导引技术与设备,可能是未来影像导航技术发展方向<sup>[3-5]</sup>。临床应用实践表明,超声和 CT 是目前主要的影像导引方式,CT 已成为胸部疾病活检、消融等微创诊疗的重要导引手段。

## 2 影像导航辅助定位穿刺系统及定位技术

影像导航辅助定位穿刺系统主要由空间定位系统、计算机及相应数据处理和图像处理软件构成。空间定位系统是导航系统关键,直接关系到整个系统精度和计算机辅助手术成败,其通过不同定位技术确定手术器械相对于患者的空间位置,明确体位和解剖结构,然后将信息传送至计算机进行数据和图像处理,术者结合手术器械空间位置与患者解剖结构,实现所谓“配准”并通过计算机实时动态观察手术器械,进行手术操作<sup>[6-8]</sup>。

根据不同的定位原理,影像导航辅助定位技术可分为机械定位、光学定位和电磁定位。在微创介入治疗领域,新近发展的电磁定位技术显示出较好优势<sup>[4]</sup>。机械定位是影像导航系统最初的定位方法,历经早期框架式定位至今机械臂式定位。框架式主要用于头部定位,需用头架固定患者头部,操作不方便,且不能显示手术器械具体位置,现已基本不用;机械臂式定位则比较灵活,机械臂一般有 3 个以上自由度,计算机控制其末端空间位置和形态,手术器械固定在机械臂末端,根据机械臂数学模型即可推算出手术器械空间位置和形态。机械臂式定位导航系统可实现三维定位,精度可达 2~3 mm,在骨

科、神经外科等领域应用较广泛<sup>[1]</sup>。Abdullah 等<sup>[9]</sup>报道在智能机械臂辅助 CT 下穿刺 11 例患者 17 处肝癌病灶并行射频消融治疗,结果显示该技术可有效控制针对危险部位及邻近重要器官深部病灶的穿刺方向,提高穿刺准确率和临床治疗效果,同时减少术者和患者辐射剂量,术后增强 CT 扫描证实消融效果满意。

光学定位是根据双目立体视觉原理,即用已知坐标系对应关系确定被标定的未知位置,实现对三维空间靶点的定位。术者基于立体视觉手术导航定位系统,手持标有特殊标记物的手术器械,通过立体定位获得手术器械和手术部位间空间位置关系,对手术目标实施操作<sup>[10]</sup>。光学定位系统的优点是精度高,不受电磁干扰,应用广泛,但术者在操作过程中不能阻挡光线传播路径,活动空间受到一定限制,且易受机器及手术器械阻挡,造成瞄准线无法流畅识别<sup>[11]</sup>。周静等<sup>[12]</sup>回顾性分析经多层螺旋 CT 激光定位导引同轴穿刺活检直径 0.6~3.0 cm 的孤立性肺结节 76 例,病灶靶点刺中率为 100%,穿刺活检诊断准确率为 97.3%,明显高于文献报道的常规 CT 定位穿刺,证实激光定位导引活检能够显著提高精确度。

电磁定位技术是新近发展的新型导航系统,工作原理是通过电磁场发生器在其周围空间产生一磁场,然后将电磁场定位传感器放入该磁场范围,磁场使传感器产生电信号。通过电信号,设备能计算出电磁场定位传感器在磁场中相应空间坐标,再对接耦合影像图像和电磁场定位传感器,计算出导航图像<sup>[13]</sup>。电磁定位导航系统操作更加灵活,不受术者自身影响,不必担心遮挡问题,且可任意角度穿刺并导引复杂位置病灶,对患者体位要求较低。但目前电磁定位导航技术也有不足,如穿刺针尾端导线影响操作、手术准备时间较长、可能受到磁场干扰等。Santos 等<sup>[14]</sup>报道对 19 例肺肿瘤患者行电磁辅助下 CT 导引定位肺肿瘤穿刺和消融治疗,整个过程均只需皮肤穿刺 1 次,穿刺针调整平均 1.2 次(0~2 次),平均消融手术时间 5.2 min(1~20 min),结果表明电磁辅助下 CT 导引定位技术可显著减少术中穿刺次数及穿刺针在肺内调整次数。Banovac 等<sup>[15]</sup>体外模型实验和动物实验结果表明,电磁导引技术可降低精确定位肝脏病变难度,对比操作经验较少术者和经验丰富术者间手术时间、进针精准性差异,均无统计学意义。

### 3 影像导航辅助定位穿刺系统临床应用

目前 CT 导引下微创介入治疗中采用徒手穿刺技术仍较为多见,方法是利用定位格栅在体表确定皮肤进针点,通过 CT 扫描确定进针角度和深度,并反复扫描修正穿刺路径,直至穿刺针到达病灶靶点。此方法需根据术者经验对病灶进行盲穿刺,病灶越小、位置越深或越靠近重要血管脏器,穿刺难度越大,可能需增加穿刺针调整次数和延长穿刺时间。术中穿刺针多次调整,相应穿刺不良反应也会增加,同时增加患者和术者所受辐射剂量。此外,徒手穿刺操作准确性受术者经验及技术等因素影响较大<sup>[16]</sup>。影像导航辅助定位穿刺系统临床应用,有助于直观显示穿刺进针路径,有效提高微创介入手术过程中穿刺针到达病灶靶点的精确度,避开重要血管和脏器,减少手术并发症发生,大大缩短穿刺时间,降低患者和术者辐射剂量,提高影像设备使用效率<sup>[17]</sup>。影像导航辅助定位穿刺系统应用中主要涉及肿瘤穿刺活检、肿瘤局部消融治疗、放射性粒子植入治疗肿瘤等领域。

经皮穿刺活检,是获取肿瘤组织明确病理诊断的主要途径,活检结果准确性与穿刺取材是否具代表性密切相关。肿瘤组织较大时,其瘤体中心可发生坏死,而肿瘤边缘部分则为生长活跃区,因此取材时应选择肿瘤边缘部分;对病灶较小较深或位置靠近重要血管脏器,往往需多次扫描并调整穿刺角度,才能准确到达病灶,但操作时间较长,穿刺不良反应风险增加,患者和术者所受辐射也较多<sup>[18-19]</sup>。影像导航辅助定位穿刺系统在保证穿刺准确性和安全性的同时,可缩短操作时间,有效降低辐射剂量,避免反复穿刺引起的并发症。杨杰等<sup>[20]</sup>报道对 30 例患者行电磁导航系统辅助 CT 定位导引经皮穿刺肺活检术,结果显示穿刺时间( $10.63 \pm 2.34$ ) min,明显短于常规 CT 导引对照组穿刺时间( $14.88 \pm 3.29$ ) min。Muller 等<sup>[21]</sup>报道将 20 枚直径 5 mm 人工肿瘤分别注射至 5 头猪肝脏不同位置构建肝肿瘤模型,对每枚肿瘤分别行常规 CT 引导下肝穿刺和导航系统辅助 CT 定位导引下肝穿刺活检,结果显示导航组和常规组平均手术时间分别为( $20 \pm 8$ ) min、( $20 \pm 9$ ) min,平均 CT 扫描次数分别为( $1.2 \pm 0.4$ ) min、( $6.1 \pm 3.8$ ) min ( $P < 0.01$ ),辐射剂量长度乘积均值分别为( $78 \pm 22$ ) mGy/cm、( $212 \pm 116$ ) mGy/cm ( $P < 0.001$ ),病灶平均穿透次数分别为( $4 \pm 1$ )次、( $2 \pm 1$ )次 ( $P < 0.001$ ),导航组均优于常规组。

肿瘤局部消融治疗通过影像导航辅助定位系

统导引,是近几年发展的肿瘤原位灭活技术。以物理消融,如射频、微波、冷冻、激光、高能聚焦超声、纳米刀等消融治疗为主,包括化学消融,如无水乙醇消融治疗。肿瘤局部消融治疗效果与消融针到位精度密切相关。传统影像导引下微创介入手术中,术者通常基于术前影像检查结果,想象病灶与针相对位置及与周围解剖结构的关系,其精度很大程度上取决于主观经验,故实际穿刺路径可能偏离术前规划路线,导致实际消融范围与理想状况存在偏差,造成肿瘤不完全消融,影响治疗效果。应用影像导航辅助定位系统有助于提高探针定位穿刺精确度,确保肿瘤完全消融。李智等<sup>[22]</sup>报道采用电磁导航影像导引系统经皮经肝斜行穿刺 17 例患者 19 个膈顶部肝癌病灶,均成功布针并完成 32 次热消融治疗,技术成功率为 100%;术后所有患者均未出现气胸、出血等穿刺相关并发症,提示该系统具有安全准确的导航作用。Narsule 等<sup>[23]</sup>随机对比电磁导航系统辅助 CT 导引( $n=7$ )和常规 CT 导引( $n=10$ )行经皮肺肿瘤热消融术,结果显示电磁导航组热消融完成时间短(平均 7.6 min 对 19.0 min,  $P=0.022$ ),皮肤穿刺次数少(平均 1.0 次对 1.3 次,  $P=0.082$ ),针调整次数少(平均 5.6 次对 11.8 次,  $P=0.203$ ),CT 透视时间短(平均 21.3 s 对 34.3 s,  $P=0.345$ ),CT 扫描次数少(平均 7.0 次对 15.0 次,  $P=0.204$ );表明电磁导航系统辅助应用可提高治疗精准度,减少靶区肿瘤消融布针时间并降低 X 线辐射剂量。

放射性粒子植入治疗已成为肿瘤治疗的重要手段之一。<sup>125</sup>I 粒子是目前临床最常用的放射性粒子,其植入靶肿瘤后释放的低能  $\gamma$  射线连续不断地破坏肿瘤细胞 DNA 双链,使之断裂,从而失去增殖能力;同时其放射活度小,可使肿瘤外正常组织所受射线锐减,从而减少周围正常组织损伤<sup>[24]</sup>。放射性粒子植入时应遵循计算机三维放射治疗计划系统(TPS)布源原则设计粒子数量,确保粒子在三维方向上剂量分布均匀,最大限度减少周围正常组织辐射剂量。但在手术过程中时常因术前扫描体位与手术时体位有差别,尤其是体外植入有时会因避开骨骼、大血管或重要组织器官,导致穿刺针进针角度及位置不能与术前计划完全吻合(例如肺部病灶会随呼吸运动变化),影响放射治疗辐射场剂量分布,易造成放射剂量冷点。电磁定位导航系统应用,则有助于实现术中穿刺针实时位置监测,与术前二维、三维图像叠加显示,如果借助穿刺器械辅助摆位机器人,实现植入针快速定位和自动定向,将大



大提高放射性粒子植入精度,确保放射剂量适形率之要求,提升治疗效果,同时又能减少重复扫描次数,降低辐射剂量<sup>[25]</sup>。

影像导航辅助定位穿刺系统已逐步应用于临床<sup>[26]</sup>。但仍存在一些问题,首先是影像导航系统应用范围。对于深度较浅、范围较大病灶,传统徒手穿刺即可到达,导航系统虽提高精度,却可延长手术时间,也增加手术费用。其次,导航系统需与术者经验及操作相结合。导航系统可帮助缺乏经验的年轻术者更快、更好地操作,但导航中一旦出现问题且不能及时发现,易导致严重后果<sup>[1]</sup>。同时,目前国内相关导航穿刺系统的技术尚不够成熟<sup>[27]</sup>,需加大研究力度,争取自主研究开发出具有竞争力的产品。

#### [参 考 文 献]

- [1] 王小平,肖越勇. CT 导航技术及其临床应用研究进展[J]. 国际医学放射学杂志, 2012, 35: 66-69.
- [2] 郑加生. 中国肝癌消融治疗现状与未来[J]. 肝癌电子杂志, 2015, 2: 1-4.
- [3] 中华医学会放射学分会介入学组. 经皮肝脏肿瘤射频消融治疗操作规范专家共识[J]. 中华放射学杂志, 2012, 46: 581-585.
- [4] 任超,梁萍. 术中导航在肿瘤热消融治疗技术中的应用现状[J]. 解放军医学院学报, 2016, 37: 668-670.
- [5] 林征宇,张涛,胡建平,等. 1.5 T MR 导向下肝脏恶性肿瘤射频消融治疗技术初探[J]. 中华放射学杂志, 2010, 44: 1304-1307.
- [6] Baegert C, Villard C, Schreck P, et al. Trajectory optimization for the planning of percutaneous radiofrequency ablation of hepatic tumors[J]. Comput Aided Surg, 2007, 12: 82-90.
- [7] Banovac F, Abeledo H, Campos-Nanez E, et al. An image-guided system for optimized volumetric treatment planning and execution for radiofrequency ablation of liver tumors[J]. Int J Comput Assist Radiol Surg, 2007, 2: S146-S147.
- [8] Yaniv Z, Wilson E, Lindisch D, et al. Electromagnetic tracking in the clinical environment[J]. Med Phys, 2009, 36: 876-892.
- [9] Abdullah BJ, Yeong CH, Goh KL, et al. Robot-assisted radiofrequency ablation of primary and secondary liver tumours: early experience[J]. Eur Radiol, 2014, 24: 79-85.
- [10] 武雪梅,刘奇. 基于立体视觉的手术导航光学定位系统[J]. 中国组织工程研究与临床康复, 2011, 15: 6584-6587.
- [11] 张肖,肖越勇. 导航机器人系统在肿瘤微创治疗中的临床应用进展[J]. 中国介入影像与治疗学, 2016, 13: 111-113.
- [12] 周静,张汉良. 多层螺旋 CT 激光定位同轴穿刺活检对孤立性肺结节定性诊断的价值[J]. 肿瘤学杂志, 2013, 19: 150-153.
- [13] 王忠敏,陈志瑾,李麟荪. CT 四维电磁导航在肿瘤微创介入治疗中的应用[J]. 介入放射学杂志, 2014, 23: 93-95.
- [14] Santos RS, Gupta A, Ebright MI, et al. Electromagnetic navigation to aid radiofrequency ablation and biopsy of lung tumors[J]. Ann Thorac Surg, 2010, 89: 265-268.
- [15] Banovac F, Tang J, Xu S, et al. Precision targeting of liver lesions using a novel electromagnetic navigation device in physiologic phantom and swine[J]. Med Phys, 2005, 32: 2698-2705.
- [16] 郝伟远,陈玉堂,邵国良. IG4 电磁导航系统辅助 CT 引导下肺结节穿刺活检术的临床应用[J]. 介入放射学杂志, 2016, 25: 682-685.
- [17] 陈永成,王碧秀. 四维(4D)电磁导航系统临床应用的研究与改进[J]. 医疗装备, 2013, 26: 5-7.
- [18] Appelbaum L, Sosna J, Nissenbaum Y, et al. Electromagnetic navigation system for CT-guided biopsy of small lesions[J]. Am J Roentgenol, 2011, 196: 1194-1200.
- [19] Schullian P, Widmann G, Lang TB, et al. Accuracy and diagnostic yield of CT-guided stereotactic liver biopsy of primary and secondary liver tumors[J]. Comput Aided Surg, 2011, 16: 181-187.
- [20] 杨杰,肖越勇,张肖,等. 电磁导航系统在 CT 引导下经皮穿刺肺活检术中的应用[J]. 中国介入影像与治疗学, 2012, 9: 172-174.
- [21] Muller SA, Maier-Hein L, Tekbas A, et al. Navigated liver biopsy using a novel soft tissue navigation system versus CT-guided liver biopsy in a porcine model: a prospective randomized trial[J]. Acad Radiol, 2010, 17: 1282-1287.
- [22] 李智,倪才方,李炜,等. 基于电磁导航的影像引导系统在膈顶部肝癌消融中的应用[J]. 介入放射学杂志, 2016, 25: 969-972.
- [23] Narsule CK, Sales Dos Santos R, Gupta A, et al. The efficacy of electromagnetic navigation to assist with computed tomography-guided percutaneous thermal ablation of lung tumors[J]. Innovations (Phila), 2012, 7: 187-190.
- [24] 赵媛,王荣福,刘鹏程. 放射性 <sup>125</sup>I 粒子植入治疗恶性肿瘤现状与进展[J]. 肿瘤学杂志, 2010, 16: 427-431.
- [25] 侯朝华,霍彬,宋杨. 组织间近距离放射性粒子植入治疗肿瘤的进展[J]. 国际放射医学核医学杂志, 2015, 39: 348-351.
- [26] Banovac F, Cheng P, Campos-Nanez E, et al. Radiofrequency ablation of lung tumors in swine assisted by a navigation device with preprocedural volumetric planning[J]. J Vasc Interv Radiol, 2010, 21: 122-129.
- [27] 周著黄,吴薇薇,盛磊,等. 肿瘤热消融影像导航技术研究进展[J]. 北京生物医学工程, 2014, 33: 415-422.

(收稿日期:2017-01-30)

(本文编辑:边 皓)