

• 指南与共识 •

穿刺手术机器人辅助经皮肺穿刺诊疗技术： 临床规范化应用专家共识

崔飞^{1*} 陈延伟^{2*} 薛兴阳^{1*} 刘君¹ 邵文龙¹ 龙发³ 黎雨⁴ 顾春东⁵
张健⁶ 张弘浩¹ 李鑫¹ 李时悦² 何建行¹

【摘要】 肺癌是我国乃至全球发病率和死亡率最高的癌症，针对该疾病的精准诊断和治疗对提高患者的生存率和生活质量至关重要。计算机断层扫描（CT）引导下经皮肺穿刺术是肺部疾病诊断与治疗的重要手段，但传统方法主要依赖于医生的专业技术水平和手术经验。穿刺手术机器人整合了系列新兴技术，通过穿刺路径规划、呼吸运动监控、机器人辅助定位等，提高了经皮肺穿刺的准确性和安全性，降低了操作难度，减少了并发症的发生。该技术已在肺组织活检、肺癌消融治疗、胸腔镜手术术前定位等临床场景中被越来越多地应用和推广。为规范穿刺手术机器人辅助CT引导下经皮肺穿刺诊断、治疗 and 定位的操作流程和技术要点，由广东省胸部疾病学会组织胸外科、呼吸科、肿瘤科、介入科等领域的专家共同制订本专家共识。

【关键词】 穿刺手术机器人； 经皮肺穿刺； 诊断； 治疗； 定位

Expert consensus on the operating specifications of robot-assisted percutaneous surgery system in percutaneous lung puncture for diagnosis and treatment

Cui Fei^{1*}, Chen Yanwei^{2*}, Xue Xinyang^{1*}, Liu Jun¹, Shao Wenlong¹, Long Fa³, Li Yu⁴, Gu Chundong⁵, Zhang Jian⁶, Zhang Honghao¹, Li Xin¹, Li Shiyue², He Jianxing¹. ¹Department of Thoracic Surgery, the First Affiliated Hospital of Guangzhou Medical University, Guangzhou 510120, China; ²Respiratory Medicine Department, the First Affiliated Hospital of Guangzhou Medical University, Guangzhou 510163, China; ³Department of Pulmonary and Critical Care Medicine, Shenzhen Guangming District People's Hospital, Shenzhen 518106, China; ⁴Department of Respiratory and Critical Care Medicine, the Second Affiliated Hospital of Guangxi Medical University, Nanning 530007, China; ⁵Department of Thoracic Surgery, the First Affiliated Hospital of Dalian Medical University, Dalian 116011, China; ⁶Department of Interventional Medicine, Zhongshan City People's Hospital, Zhongshan 528403, China

*Co-first authors.

Corresponding author: Li Shiyue, Email: lishiyue@188.com; He Jianxing, Email: drjianxing.he@gmail.com

【Abstract】 Lung cancer is a malignant tumor with the highest morbidity and mortality both in China and even in the world. Accurate diagnosis and treatment of this disease are crucial to improving the survival and quality of life of patients. Computed tomography (CT)-guided percutaneous lung puncture is an important method for the diagnosis and treatment of lung diseases, but heavily relies on doctors' professional skills and surgical experience in practices. The robot-assisted percutaneous surgery system integrates a series of emerging technologies to improve the accuracy and safety of percutaneous lung puncture, reduce the difficulty of operation, and reduce the occurrence

DOI: 10.3877/cma.j.issn.2095-8773.2025.01.01

基金项目：国家重点研发计划（2022YFB4702600）；广州市临床重大技术项目（2023C-ZD01）；广州市科技计划市校（院）联合资助项目（202201020465）

作者单位：510120 广州，广州医科大学附属第一医院胸外科¹；510163 广州，广州医科大学附属第一医院呼吸内科²；518106 深圳，深圳市光明区人民医院呼吸与危重症医学科³；530007 南宁，广西医科大学第二附属医院呼吸与危重症医学科⁴；116011 大连，大连医科大学附属第一医院胸外科⁵；528403 中山，中山市人民医院介入医学科⁶

*为共同第一作者

通信作者：李时悦，Email: lishiyue@188.com；何建行，Email: drjianxing.he@gmail.com

of complications through puncture path planning, respiratory movement monitoring, robot-assisted positioning, etc. This technology has been increasingly used in clinical scenarios, such as lung biopsy, ablation, and preoperative localization for thoracoscopic surgery. In order to standardize the operating procedures of CT-guided percutaneous lung puncture for diagnosis, treatment and localization with the robot-assisted percutaneous surgery system and to summarize key points, Guangdong Association of Thoracic Diseases organized experts from various fields (thoracic surgery, respiratory medicine, oncology, interventional therapy, etc.) to develop this expert consensus.

【Key words】 Robot-assisted percutaneous surgery system; Percutaneous lung puncture; Diagnosis; Treatment; Localization

世界卫生组织 (World Health Organization, WHO) 国际癌症研究机构 (International Agency for Research on Cancer, IARC) 和国家癌症中心 (National Cancer Center, NCC) 最新发布的癌症负担数据显示, 肺癌是我国乃至全球恶性肿瘤发病和死亡的首要原因^[1-2]。肺癌的精准诊断和治疗对提高患者的生存率和生存质量至关重要, 一直是临床医生关注的重点^[3-4]。随着我国肺癌筛查计划的实施和低剂量计算机断层扫描 (low-dose computed tomography, LDCT) 检查的普及, 肺结节的检出率不断提高^[5-6]。CT 引导下经皮肺穿刺术, 即在 CT 影像引导下, 将穿刺针或导管经皮肤直接到达肺部病变部位, 以完成组织采样、标记物 (如金属或液体材料) 放置、消融治疗等操作, 其作为一种微创诊疗手段, 广泛应用于肺部肿瘤临床实践中^[7-13]。然而, 传统的临床操作方式高度依赖于医生的专业技术水平和手术经验, 同时穿刺准确性受到穿刺路径复杂程度、患者呼吸运动、术中体位移动及机械压力导致的穿刺目标位置变化等因素的影响, 常需分步进针和多次 CT 扫描以确认、调整穿刺角度和深度, 这不仅增加了操作风险, 也加重了患者的负担^[14-17]。

为了应对这些挑战, 多种辅助穿刺手术的导航和定位方法被开发出来^[18-22]。其中, 穿刺手术机器人为肺部病灶的经皮穿刺提供了较完整的解决方案。现有的临床实践^[19,23]发现, 穿刺手术机器人辅助肺部经皮穿刺可在肺组织活检、肺癌消融治疗、胸腔镜手术术前定位、放射性粒子植入等场景中保证针对不同患者体位的多角度穿刺精准度, 减少并发症的发生, 进而在一定程度上扩大 CT 引导下经皮肺穿刺术的适应证范围 (如患有肺气肿、肺纤维化、气胸等肺功能较差的患者); 同时, 可以帮助医生快速掌握经皮穿刺技术, 缩短学习曲线, 有利于形成规范化临床操作

流程, 因而在临床中得到快速应用。针对肺部病变穿刺活检的单中心、前瞻性、随机对照研究显示, 相比于传统的徒手操作方法, 穿刺手术机器人辅助穿刺的调针次数 (2.7 vs 6) 和患者接受的辐射剂量 (324 mGy vs 541.2 mGy) 均显著减少 ($P \leq 0.001$), 手术时间也明显缩短 (20.1 min vs 31.4 min, $P \leq 0.001$)^[24]。另一项针对包括肺部的多部位病变经皮诊疗的研究^[25]获得了类似的结论, 穿刺手术机器人辅助穿刺的定位偏差更小 (1.2 mm vs 2.6 mm, $P < 0.01$)。一项射频消融治疗肺转移瘤的对照研究^[26]评估了穿刺手术机器人辅助消融针穿刺定位和徒手定位的精准性和安全性。该研究采用了跨 CT 扫描层面的路径规划和进针方式, 结果显示, 机器人辅助组的定位偏差为 6 mm, 相比于徒手组其调针次数更少 (0 vs 4.5, $P < 0.001$), 肿瘤治疗不良事件发生率更低 (30% vs 75%, $P = 0.01$)。新型穿刺手术机器人临床应用的可行性和安全性也得到验证, 并呈现出较大潜力。根据一项胸腔镜手术术前定位研究^[19]报道, 穿刺手术机器人辅助首次定位成功率为 100%, 且无显著并发症发生; 另一项针对胸腹部的经皮诊疗的研究^[27]结果表明, 机器人辅助组无需调针 (0 vs 1.73, $P < 0.01$), 并发症发生率也更低 (10% vs 23.33%, $P < 0.001$)。

新型穿刺手术机器人融合了手术规划系统、光学导航系统和穿刺定位系统^[28]: 手术规划系统可根据患者术前 CT 图像自动重建肺部等三维结构 (包括肺、肺内血管和支气管、肺结节、肋骨和脊柱等), 辅助医生规划穿刺路径; 光学导航系统通过追踪目标空间位置标记, 实时监测患者的移动和呼吸运动, 帮助术者选择穿刺时机, 减少因患者移动或呼吸运动等造成的进针失准; 穿刺定位系统主要由多自由度机械臂构成, 可以实现进针点自动定位, 并在进针过程中保持穿刺角度

的稳定性,减少徒手穿刺执行术前规划的人为误差。自2022年5月第一台国产穿刺手术机器人(真易达®穿刺手术导航定位系统)获批国家药品监督管理局颁发的三类医疗器械注册证以来,多款同类产品陆续获批上市,相关产品和技術已经在国内多家医院应用并逐步推广。尽管穿刺手术机器人在CT引导下经皮肺穿刺术中展现出巨大的应用潜力,但目前尚缺乏统一的临床操作规范及指导意见。因此,专家组结合国内外相关文献和临床实践经验,认真讨论,制订此专家共识。本共识旨在规范穿刺手术机器人辅助CT引导下经皮肺穿刺活检、消融和术前定位的操作流程和技术要点,以期为临床医护人员提供临床应用参考。已获批上市的穿刺手术机器人略有不同,本共识未尽完善之处会在未来的共识中进行必要更新。

一、适应证和禁忌证

1. 适应证

穿刺手术机器人是对徒手穿刺方法的补充和增益,所以穿刺手术机器人的应用可以在一定程度上扩大CT引导下经皮肺穿刺术的适应证范围:①普通CT引导下经皮肺穿刺组织活检、消融治疗、胸腔镜手术术前定位适应证^[29-33]。②需要接受CT引导下经皮肺穿刺术但徒手操作难度和(或)风险较大的患者,可尝试使用穿刺手术机器人辅助完成;尤其是病灶直径较小($<2\text{ cm}$)和(或)临近血管、支气管、心脏、膈肌等的患者,可考虑采用穿刺机器人辅助完成CT引导下经皮肺穿刺术。

2. 禁忌证

绝对禁忌证同普通CT引导下经皮肺穿刺术^[29-33]。主管医生判断如肺血管病变或其他原因导致患者不适合穿刺或无法配合操作者。

二、设备和器械

1. 穿刺手术机器人及组件

以目前临床应用较广泛的穿刺手术机器人为例,其由主控台车、机器人台车、光学导航标记器、导向器、定位套筒和基准定位器组成,其中主控台车搭载手术规划系统和光学导航系统,机器人台车搭载穿刺定位系统^[19]。光学导航标记器

(如被动标记球)贴合在患者的皮肤上,用于手术空间和CT图像空间的配准,同时通过光学跟踪器对光信号的接收和处理,实时追踪患者的运动和呼吸状态,以位移曲线和呼吸曲线的形式呈现,呼吸位差指数提示合理穿刺区间(呼吸位差指数为患者当前呼吸时相下配准点与术前基准呼吸时相下参考点的综合偏差值)。手术规划系统可基于患者术前的CT图像,通过手术规划软件将其重建为三维模型,该模型自动与光学导航系统获得的患者位置信息配准,并为术者提供可见的肺结构以辅助规划穿刺路径。机器人台车搭载机械臂,机械臂末端安装有导向器,可装入适配不同型号穿刺针的定位套筒,从而实现穿刺针的稳定握持;机械臂具有多自由度,由主控台车控制,可根据规划好的路径自动移动到预设的位置和角度。基准定位器用于校正空间位置坐标。为保证穿刺手术机器人满足经皮肺穿刺的临床诊疗要求,其系统精度应达到亚毫米级别。

2. 穿刺手术机器人系统保护

穿刺手术机器人具有系统保护功能,可避免由于误操作或设备异常等对患者造成伤害:①穿刺手术机器人具有模拟走位功能,可以在机械臂移动前确认当前位置至目标位置的路径是否会发生与患者身体的触碰。若可能出现触碰情况,操作界面会提示风险。②机械臂在移动过程中若碰到外力或操作者按下急停按钮,机械臂会停止运动,同时软件界面出现弹窗提示。③在断电或急停状态下,操作者可从机械臂末端导向器将定位套筒释放,并驱动机械臂复位,不影响操作者手动完成后续手术。④若光学跟踪装置信号被遮挡、超出跟踪装置定位范围或缺失时,软件提示系统连接异常;调整主控台车位置或光学跟踪器的角度可解决信号遮挡、超定位范围等问题,系统恢复后,设备可自动恢复正常工作。

3. 影像引导设备

影像设备常用16排及以上螺旋CT,除此之外还可采用具有三维成像功能的锥形束CT(cone-beam CT, CBCT)等。

4. 相关器械和耗材

穿刺手术机器人辅助肺活检:根据病灶的大小和深度、患者的肺功能情况(如肺气肿程度)等选择不同型号的穿刺针及配套的一次性使用活

检枪。

穿刺手术机器人辅助术前定位：常用金属标记如Hookwire、弹簧圈等，常用液体材料如亚甲蓝、吲哚菁绿、碘油、医用胶等。

穿刺手术机器人辅助肺癌消融：穿刺手术机器人一般可与市面上不同类型的微波、射频、冷冻、激光等消融仪配合使用，可根据患者特征、病灶大小及与周围组织结构关系选择不同类型的消融仪和不同直径与规格的消融针。

5. 手术室配置

穿刺手术机器人可适用于不同的手术室环境，有条件的医院建议在杂交手术室完成手术。穿刺手术机器人同样可应用于CT室，但是需准备用于麻醉、镇痛、镇咳、止血、降压等的药物，配备心电图监护仪、胸腔闭式引流包、吸氧装置、抢救车。有条件的医院可以配备专职麻醉医生、呼吸机、负压吸引器、除颤仪、气管插管等。

三、术前评估与管理

1. 患者评估及影像学检查

详细询问了解患者既往病史、过敏史、用药情况（包括抗凝药物、抗血小板药物、抗血管生成药物）等，并进行术前血常规、凝血功能、血型检查、传染病筛查等，以及肝功能、肾功能、心肺功能等检查。根据近期胸部增强CT检查，明确靶病灶的位置、大小、形态及与周围组织的关系。为进一步明确是否有远处转移，需进行全身骨扫描或正电子发射断层显像（positron emission tomography, PET）/CT等其他全身性检查。

2. 患者准备

建议给予患者进行心理疏导、介绍穿刺手术机器人辅助手术的操作过程，以缓解患者焦虑紧张的情绪；呼吸训练。其他参考普通CT引导下经皮肺穿刺术患者准备^[29-33]。

四、麻醉

经皮肺穿刺诊疗手术中需要患者保持适度的意识以便配合手术和监测，可选择局部麻醉方式。经皮肺穿刺术也可以在全身麻醉下进行，尤其是对于拟行消融治疗但是配合度较差、肿瘤贴近壁层胸

膜、预计手术时间较长的患者或要求无痛手术的患者，可酌情采用清醒镇静或全身麻醉。

五、术中操作流程

1. 穿刺手术机器人的操作步骤及方法

利用穿刺手术机器人开展CT引导下经皮肺穿刺活检、消融与术前定位的辅助进针操作流程基本相同。

①设备和工具的准备：首先根据本次手术台数及类型，准备相匹配数量的光学导航标记器及无菌定位套筒；其次，根据历史影像数据判断病灶位置摆放机械臂台车（与病灶同侧，尽量避免跨越患者身体进行定位），主控台车位于对侧摆放；最后连接电源开机自检。

②手术区的准备：依据历史影像数据，综合考虑目标病灶的可及性、操作便利性和安全性以及患者舒适性，确定患者的穿刺体位（如仰卧位、俯卧位或侧卧位等）。可使用真空垫等辅助工具稳定患者体位，尤其是需要侧卧位完成手术或难以长时间维持固定姿势的患者。体位固定后，使用碘伏等消毒剂对术区及机械臂末端进行消毒，在术区皮肤表面无消毒剂液体残留后粘贴光学导航标记器。如需在消毒前粘贴光学导航标记器，应注意避免过量使用碘伏浸润光学导航标记器底部胶条或污染定位标记，前者可能导致光学导航标记器脱落或不能贴合患者皮肤，后者会影响光学信号的反射，均会降低导航定位精度。完成消毒后进行初始的CT扫描，确保扫描范围覆盖病灶、穿刺路径及所有光学导航标记器。

③穿刺路径规划：将获取的CT图像数据加载至手术规划系统，调整光学跟踪器角度，确保定位范围中出现固定在患者体表和机械臂的光学导航标记器以及基准定位器，系统自动完成三维重建和空间配准。结合胸部增强CT所见，在软件操作界面点击选取合适的体表入针点和靶点，系统据此自动生成穿刺路径。术者可在三维重建界面确认规划路径的安全性及合理性，穿刺路径应注意避开肋间动脉等血管，必要时可同时规划多条穿刺路径对比确认。对于需要跨层面穿刺的病灶，可根据需要在不同扫描平面和（或）层面选择入针点和靶点，形成跨层面穿刺路径。当设备

提示患者移动时,可点击规划路径重新执行,机械臂重新定位。如系统提示患者位置偏移过大,则需要重新进行CT扫描和穿刺路径规划。

④局部麻醉:根据已规划的穿刺路径,进行模拟走位。确认机械臂移动轨迹安全后,点击驱动机械臂自动定位至皮肤入针点上方,在机械臂末端固定无菌定位套筒。随后,使用1%~2%的利多卡因对穿刺点进行逐层浸润麻醉,或通过无菌套筒入针进行逐层浸润麻醉,直至胸膜,实现同轴麻醉。同轴麻醉可在一定程度上保证麻醉针和穿刺针通过无菌套筒以相同的入针角度和路径进针,避免由于患者皮肤滑动等造成麻醉不充分而引起的术中疼痛。

⑤定位与穿刺:穿刺手术机器人可支持操作者在患者不同呼吸状态下(平静呼吸或屏气)完成穿刺。当观察到系统监测的呼吸曲线稳定在正常范围内(呼吸位差指数 ≤ 8)时,医生参考系统提示深度,通过机械臂末端的无菌套筒将套管针或消融针送达肺部靶区。如果呼吸位差指数超过8或者起伏较大,可先安抚患者情绪,待呼吸节律稳定且呼吸位差指数 ≤ 8 时,机械臂重新走位后再根据系统提供的数值进行穿刺。如病灶比较深或者呼吸幅

度较大的患者,指数阈值可以适当放宽,但不超过12。随后进行一次CT扫描,确认针尖到达合适位置后,根据临床需要可进行进一步的取样、定位和治疗操作。临床案例如图1~7所示。

2. 取样操作

①当套管针准确到达目标位置后,根据临床需求,使用一次性活检枪进行取样。②将通过活检枪切割下来的标本立即转移至适当的固定液中,常用的固定液为10%福尔马林溶液。③行全胸部CT扫描,观察有无气胸、出血等并发症,必要时进行处理。④将标本尽快送往病理科,进行标准的石蜡包埋程序及后续的病理学检测,必要时进行免疫组织化学染色或相关分子病理检测。

3. 定位操作

①当套管针准确到达目标位置后,需根据所选的定位方法执行后续操作。对于金属标记定位法,通过套管针释放金属标记物(如Hookwire、弹簧圈)于肺内目标位置,确保其位置固定后,回收套管针。若采用液体材料定位法,抽出针芯后使用注射器进行回抽,若无血液及空气则注入液体材料。②再次进行CT扫描以确认定位位置及是否存在气胸、出血等并发症。

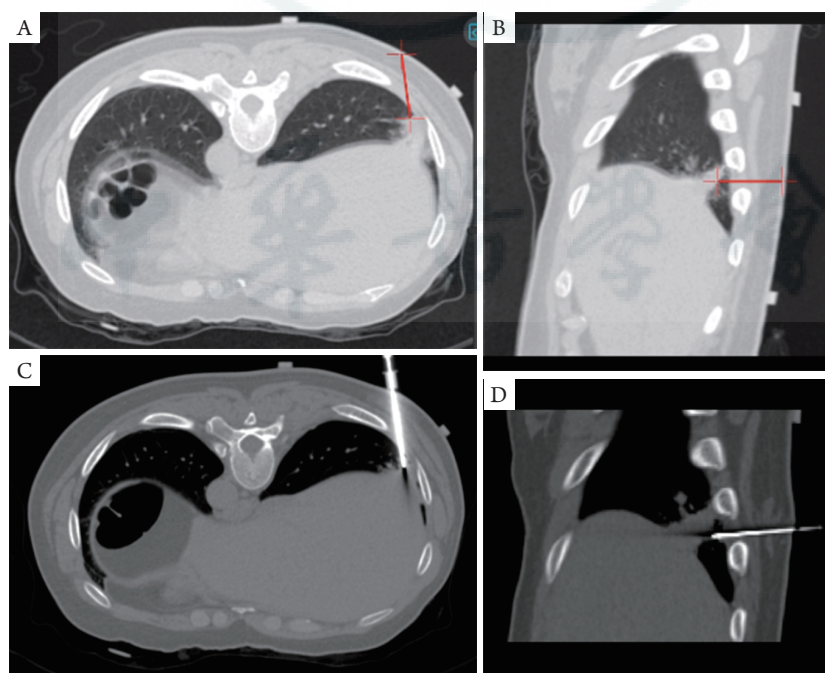


图1 穿刺手术机器人辅助肺组织单病灶活检临床案例。女性患者,47岁,病灶位于右肺下叶肺底(2.6 cm×2.1 cm):穿刺手术机器人手术规划系统界面显示跨层面规划路径(红色所示)横断位(A)和矢状位(B);完成穿刺定位后CT扫描验证横断位(C)和矢状位(D)

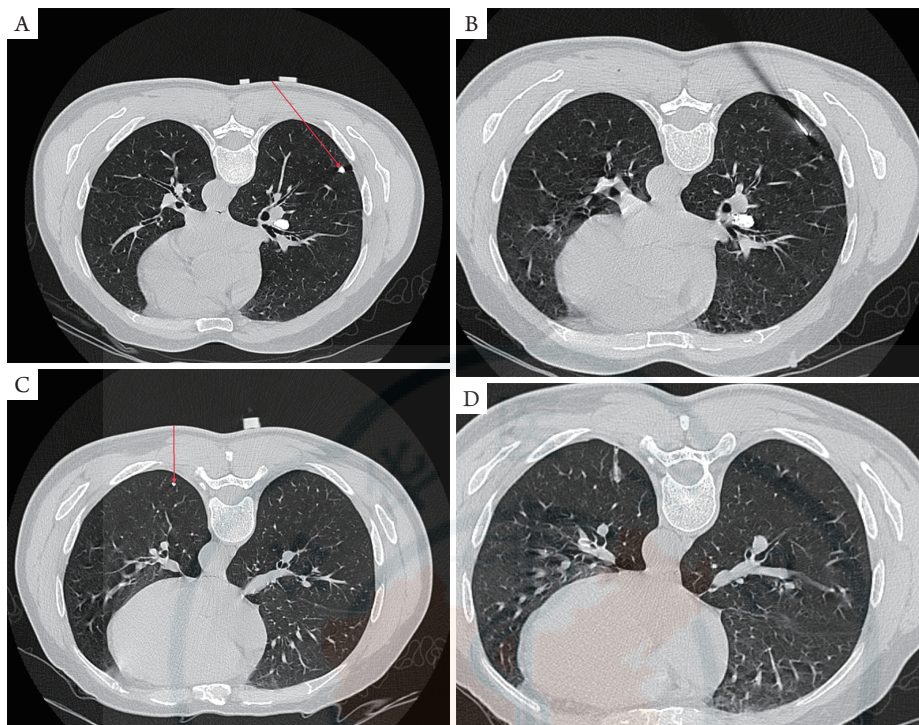


图2 穿刺手术机器人辅助肺多发结节活检临床案例。男性患者，54岁，双肺肺结节活检，病灶1位于右肺下叶（1.0 cm × 0.9 cm），病灶2位于左肺下叶（0.8 cm × 0.8 cm）；病灶1（A）和病灶2（C）穿刺手术机器人手术规划系统界面显示规划路径（红色所示）；病灶1（B）和病灶2（D）完成穿刺定位后CT扫描验证

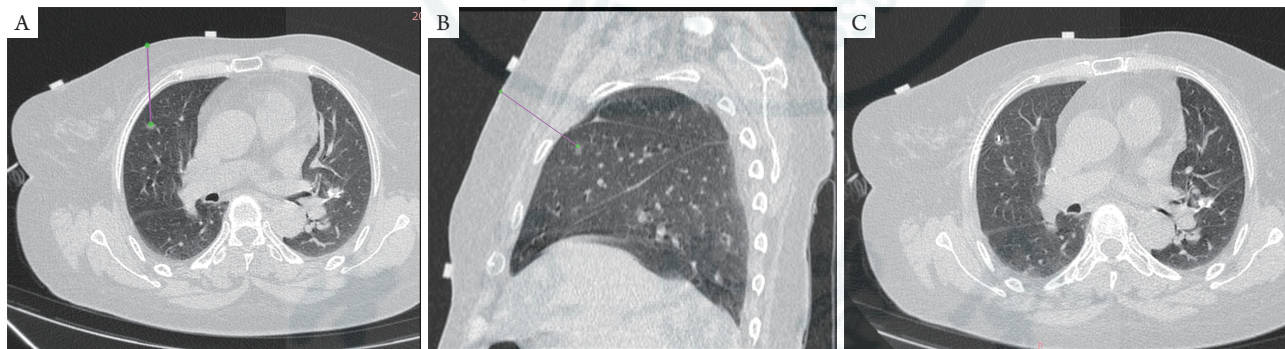


图3 穿刺手术机器人辅助肺癌射频消融临床案例。女性患者，62岁，病灶位于右肺中叶（0.5 cm × 0.3 cm）；穿刺手术机器人手术规划系统界面显示头侧向足侧跨层面规划路径（紫色所示）横断位（A）和矢状位（B）；完成穿刺定位后CT扫描验证（C）

4. 治疗操作

①当消融针到达目标位置后，应基于不同的消融技术设备特性及病灶的具体参数（如大小、位置等），选择相应的消融模式，如单次单点消融、单次多点消融或多针单次消融等。同时，针对设备和具体病灶特征，设定消融的功率、时间、温度及循环等参数。②在消融治疗的整个过

程中，需进行密切监测，确保消融针保持在目标区域内，并根据消融进展适时调整消融针的位置。同时，需密切关注是否达到预设的消融范围，并实时评估并发症的风险。此外，在消融过程中需监测患者的心率、血压等生命体征，以及呼吸状态、疼痛程度、咳嗽反应等，一旦发生特殊情况，应立即采取适当的医疗措施进行干预。

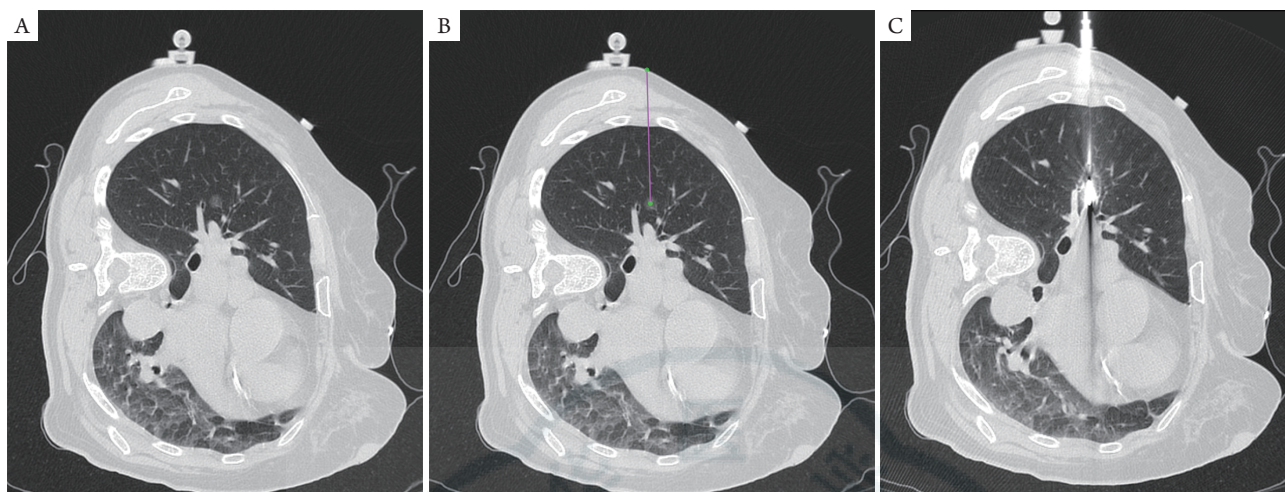


图4 穿刺手术机器人辅助肺癌微波消融临床案例。女性患者，69岁，病灶位于右肺中叶肺门区（0.6 cm × 0.5 cm）：术前CT扫描（A）；穿刺手术机器人手术规划系统界面显示规划路径（B；紫色所示）；完成穿刺定位后CT扫描验证（C）

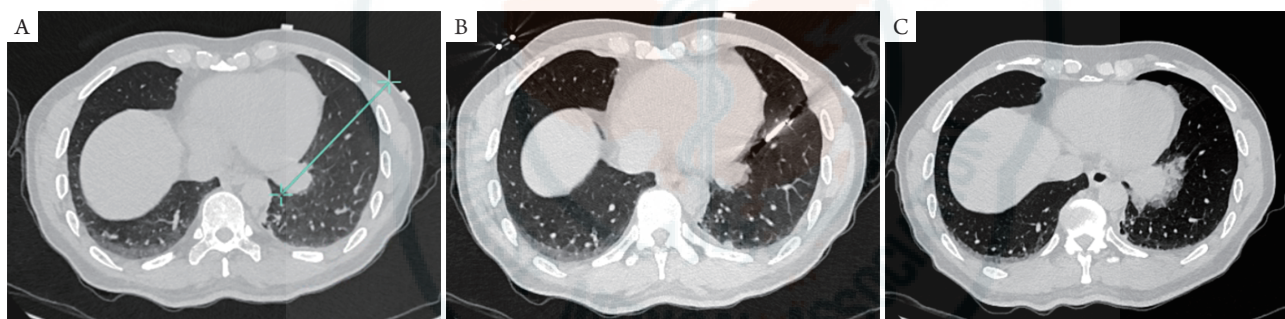


图5 穿刺手术机器人辅助肺癌冷冻消融临床案例。男性患者，57岁，病灶位于左肺下叶，左心室下方主动脉旁（3.0 cm × 3.0 cm）：穿刺手术机器人手术规划系统界面显示规划路径（A；紫色所示）；完成穿刺定位后CT扫描验证（B）；冷冻消融后CT扫描（C）

六、术后注意事项

若无需特殊处理，穿刺手术机器人辅助CT引导下经皮肺穿刺术术后应观察、询问患者情况，以判断其是否存在胸闷、呼吸困难等不适，并视情况决定复查及出院时间，具体参考普通CT引导下经皮肺穿刺术术后管理^[29-33]。

七、随访

具体参考普通CT引导下经皮肺穿刺术术后随访管理^[29-33]。

八、常见并发症及处理

经皮肺穿刺诊疗最常见并发症是疼痛、气

胸、出血和胸膜反应等，空气栓塞、支气管胸膜瘘、心包填塞、皮肤损伤等相对罕见。并发症发生的原因及处理方法具体参考普通CT引导下经皮肺穿刺术并发症及处理^[29-33]。本共识仅讨论穿刺手术机器人辅助经皮肺穿刺过程相关并发症，经皮穿刺定位技术本身可能产生的定位点移位以及消融相关并发症（如胸痛、胸膜反应、咳嗽、皮肤灼伤等）等未作具体论述。

1. 疼痛

穿刺手术机器人辅助下可实施同轴麻醉，故能降低麻醉药物注射点选择错误等造成的目标区域麻醉不充分而导致的术中疼痛风险。由热消融治疗热传导刺激胸膜神经导致的术中疼痛，如果疼痛剧烈，可以给予止痛药物及适量镇静剂，具体可借鉴普通CT引导下经皮肺消融术并发症处理方式^[31-32]。

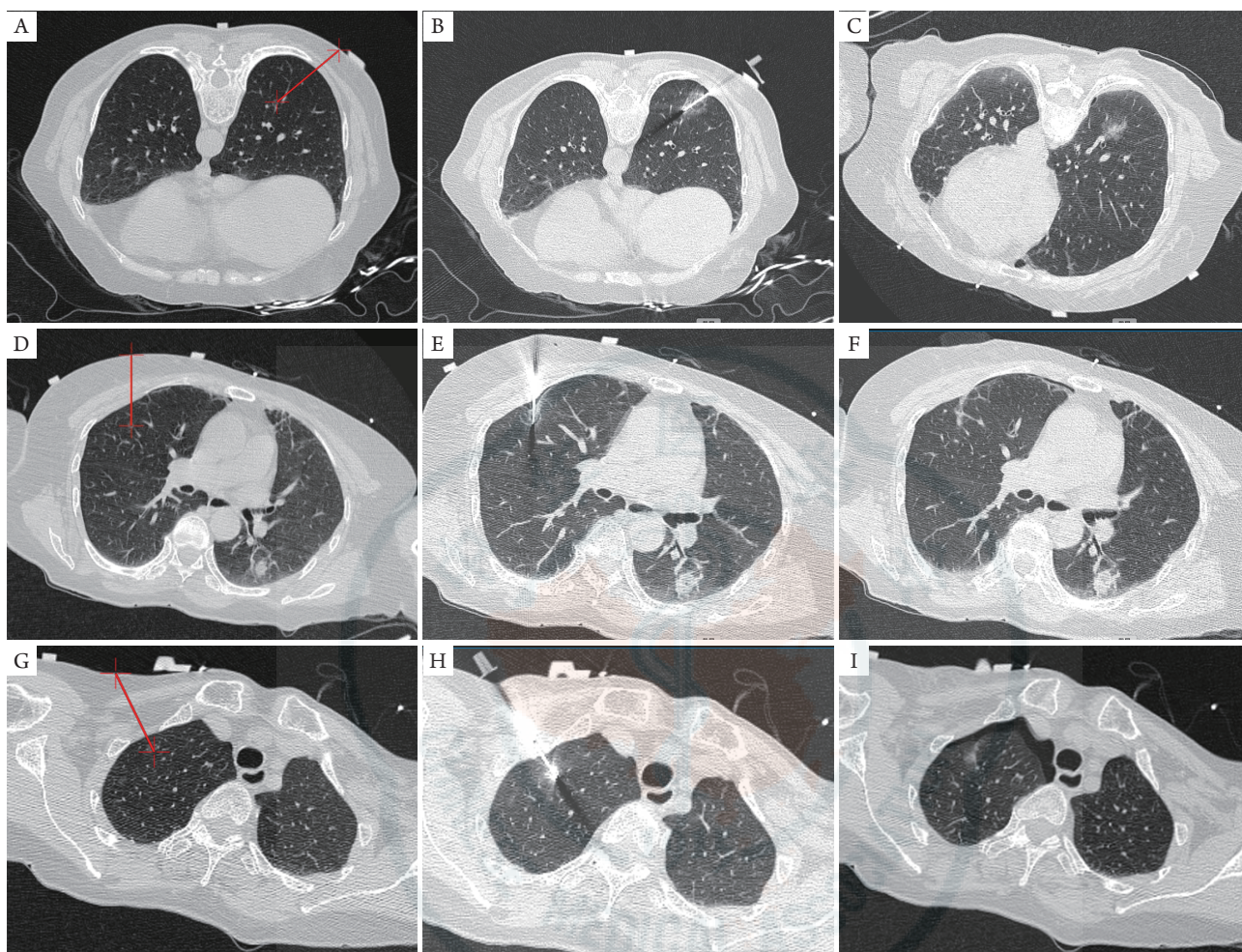


图6 穿刺手术机器人辅助肺癌激光消融临床案例。女性患者，66岁，多病灶消融，病灶1位于右肺下叶（ $0.7\text{ cm} \times 0.5\text{ cm}$ ），病灶2位于右肺上叶（ $0.7\text{ cm} \times 0.5\text{ cm}$ ），病灶3位于右肺上叶（ $0.9\text{ cm} \times 0.7\text{ cm}$ ）：病灶1（A）、病灶2（D）和病灶3（G）穿刺手术机器人手术规划系统界面显示规划路径（红色所示）；病灶1（B）、病灶2（E）和病灶3（H）完成穿刺定位后CT扫描验证；病灶1（C）、病灶2（F）和病灶3（I）激光消融后CT扫描

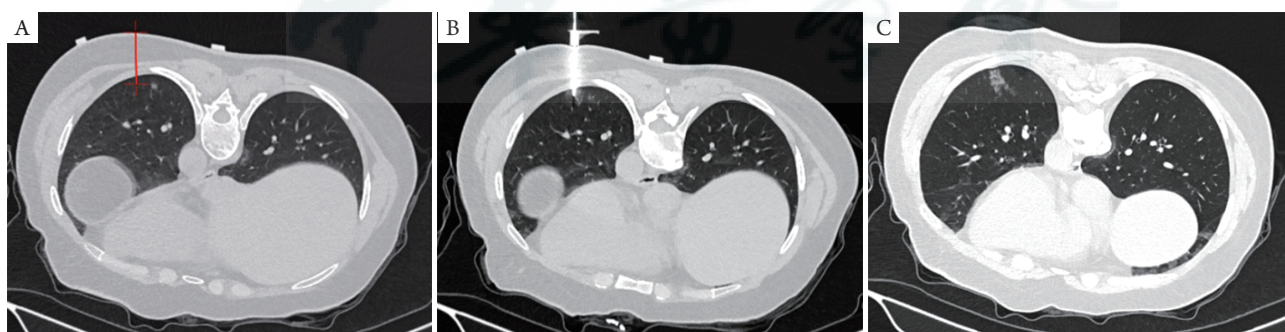


图7 穿刺手术机器人辅助肺结节胸腔镜手术术前定位临床案例。女性患者，52岁，病灶位于左肺下叶（ $0.7\text{ cm} \times 0.5\text{ cm}$ ）：穿刺手术机器人手术规划系统界面显示规划路径（A；红色所示）；完成穿刺定位后CT扫描验证（B）；完成定位后CT扫描（C）

2. 气胸

穿刺手术机器人辅助下可减少进针调整针道次数,避免穿刺路径跨肺间裂或肺大疱,同时针对位置较深和(或)直径较小的病灶可以显著缩短手术时间,进而降低气胸发生风险。少量气胸、无症状和稳定性气胸无需特殊治疗。中量至大量气胸或气胸范围持续增大,应置管抽吸或行胸腔闭式引流等^[29-33]。另外,消融术后要注意迟发性气胸的发生。

3. 出血和咯血

穿刺手术机器人辅助下可减少反复穿刺或调整针道造成的组织损伤,降低出血和咯血发生风险。少量咯血、肺实质内出血、针道出血以及少量血胸等不需特殊处理,可以自行吸收。严重者应及时予以干预,具体参考普通CT引导下经皮肺穿刺术并发症及处理^[29-33]。

4. 胸膜反应

穿刺手术机器人辅助下可减少进针次数,且可实施同轴麻醉,故能降低多次胸膜穿刺和麻醉不充分等导致的胸膜反应发生的风险。如患者症状轻微,可自行缓解,则无需处理;严重者应立即停止操作,并给予对症处理^[29-33]。

九、结语

穿刺手术机器人满足经皮肺穿刺组织活检、消融治疗、胸腔镜手术术前定位的临床应用要求。其具备手术规划系统、光学导航系统和穿刺定位系统,能够辅助医生完成穿刺路径规划、患者呼吸运动监测并引导穿刺针到达目标位置,可以提高穿刺精准度,减少由于麻醉不充分、反复穿刺或调整针道等导致的疼痛、气胸、出血和胸膜反应等并发症的发生;尤其是针对徒手操作难度较高和风险较大的病例,穿刺手术机器人辅助可以提升手术成功率。同时,穿刺手术机器人可以帮助缺乏CT引导下经皮肺穿刺经验的医生快速掌握经皮穿刺技术,服务更多患者。

共识专家组成员(按姓氏汉语拼音排序):

白旭明(苏州大学附属第二医院)、曹庆东(中山大学附属第五医院)、常刚(山东省立第三医院)、常金(山东第一医科大学第二附属医

院)、陈晓霞(中国人民解放军总医院第三医学中心)、陈延伟(广州医科大学附属第一医院)、程超(中山大学附属第一医院)、崔飞(广州医科大学附属第一医院)、杜佳辉(河南省胸科医院)、段星光(北京理工大学)、高峰(北大荒集团总医院)、顾春东(大连医科大学附属第一医院)、郝哲学(广州医科大学附属第一医院)、何建行(广州医科大学附属第一医院)、侯鹏(广州医科大学附属第一医院)、黄俊(广州医科大学附属第一医院)、黄逸生(茂名市人民医院)、金龙玉(中南大学湘雅三医院)、黎雨(广西医科大学第二附属医院)、李发久(江汉大学附属医院)、李满祥(西安交通大学第一附属医院)、李时悦(广州医科大学附属第一医院)、李月考(河北医科大学第四医院)、林心情(广州医科大学附属第一医院)、刘君(广州医科大学附属第一医院)、龙发(深圳市光明区人民医院)、陆霓虹(昆明市第三人民医院)、马宇超(中南大学湘雅三医院)、齐博(新乡医学院第一附属医院)、邱昌城(高密市人民医院)、邵文龙(广州医科大学附属第一医院)、汪天虎(重庆医科大学附属第三医院)、王峰(首都医科大学附属北京朝阳医院)、王昊飞(南方医科大学南方医院)、王继勇(广州中医药大学第一附属医院)、王仁峰(复旦大学附属中山医院厦门医院)、王涛(深圳市光明区人民医院)、王炜(广州医科大学附属第一医院)、王欣璐(广州医科大学附属第一医院)、王玉梅(南方科技大学医院)、王子鸣(江汉大学附属医院)、魏立(河南省人民医院)、翁育清(珠海市人民医院)、熊刚(南方医科大学南方医院)、徐静峰(贵阳市肺科医院)、薛兴阳(广州医科大学附属第一医院)、薛宗锡(广州市胸科医院)、游佩涛(广州市胸科医院)、张健(中山市人民医院)、张敏(深圳大学第一附属医院)、张树亮(福建医科大学附属协和医院)、张同梅(首都医科大学附属北京胸科医院)、赵俊刚(中国医科大学附属盛京医院)、郑斌(福建医科大学附属协和医院)、钟宏城(中山大学附属第五医院)、钟凯翔(广州医科大学附属第一医院)、周承志(广州医科

大学附属第一医院)。

执笔: 崔飞、陈延伟、薛兴阳、刘君、邵文龙、龙发、黎雨、顾春东、张健、张弘浩、李鑫。

参 考 文 献

- 1 Bray F, Laversanne M, Sung H, et al. Global cancer statistics 2022: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries[J]. *CA Cancer J Clin*, 2024, 74 (3): 229-263.
- 2 郑荣寿, 陈茹, 韩冰峰, 等. 2022年中国恶性肿瘤流行情况分析[J]. *中华肿瘤杂志*, 2024, 46 (3): 221-231.
- 3 Bach PB, Mirkin JN, Oliver TK, et al. Benefits and harms of CT screening for lung cancer: a systematic review[J]. *JAMA*, 2012, 307 (22): 2418-2429.
- 4 Duma N, Santana-Davila R, Molina JR. Non-Small Cell Lung Cancer: Epidemiology, Screening, Diagnosis, and Treatment[J]. *Mayo Clin Proc*, 2019, 94 (8): 1623-1640.
- 5 Yang W, Qian F, Teng J, et al. Community-based lung cancer screening with low-dose CT in China: Results of the baseline screening[J]. *Lung Cancer*, 2018, 117: 20-26.
- 6 Fan L, Wang Y, Zhou Y, et al. Lung Cancer Screening with Low-Dose CT: Baseline Screening Results in Shanghai[J]. *Acad Radiol*, 2019, 26 (10): 1283-1291.
- 7 Manhire A, Charig M, Clelland C, et al. Guidelines for radiologically guided lung biopsy[J]. *Thorax*, 2003, 58 (11): 920-936.
- 8 Takeshita J, Masago K, Kato R, et al. CT-guided fine-needle aspiration and core needle biopsies of pulmonary lesions: a single-center experience with 750 biopsies in Japan[J]. *AJR Am J Roentgenol*, 2015, 204 (1): 29-34.
- 9 Wang L, Sun D, Gao M, et al. Computed tomography-guided localization of pulmonary nodules prior to thoracoscopic surgery[J]. *Thorac Cancer*, 2023, 14 (2): 119-126.
- 10 Ciriaco P, Negri G, Puglisi A, et al. Video-assisted thoracoscopic surgery for pulmonary nodules: rationale for preoperative computed tomography-guided hookwire localization[J]. *Eur J Cardiothorac Surg*, 2004, 25 (3): 429-433.
- 11 Yan G, Cheng X, Wu S, et al. Clinical value and application of preoperative CT-guided hookwire localization of solitary pulmonary nodules for video-assisted thoracic surgery[J]. *Technol Health Care*, 2022, 30 (S1): 459-467.
- 12 Dupuy DE. Image-guided thermal ablation of lung malignancies[J]. *Radiology*, 2011, 260 (3): 633-655.
- 13 Vogl TJ, Naguib NN, Lehnert T, et al. Radiofrequency, microwave and laser ablation of pulmonary neoplasms: clinical studies and technical considerations--review article[J]. *Eur J Radiol*, 2011, 77 (2): 346-357.
- 14 Park R, Lee SM, Kim S, et al. Learning Curve for CT-Guided Percutaneous Transthoracic Needle Biopsy: Retrospective Evaluation Among 17 Thoracic Imaging Fellows at a Tertiary Referral Hospital[J]. *AJR Am J Roentgenol*, 2022, 218 (1): 112-123.
- 15 Nakatani M, Kariya S, Ono Y, et al. Radiation Exposure and Protection in Computed Tomography Fluoroscopy[J]. *Interv Radiol (Higashimatsuyama)*, 2022, 7 (2): 49-53.
- 16 Seki Y, Miyazaki M, Fukushima Y, et al. Radiation Exposure of Interventional Radiologists during Computed Tomography Fluoroscopy-Guided Percutaneous Cryoablation[J]. *Interv Radiol (Higashimatsuyama)*, 2020, 5 (2): 67-73.
- 17 Ben-David E, Shochat M, Roth I, et al. Evaluation of a CT-Guided Robotic System for Precise Percutaneous Needle Insertion[J]. *J Vasc Interv Radiol*, 2018, 29 (10): 1440-1446.
- 18 Folch EE, Pritchett MA, Nead MA, et al. Electromagnetic Navigation Bronchoscopy for Peripheral Pulmonary Lesions: One-Year Results of the Prospective, Multicenter NAVIGATE Study[J]. *J Thorac Oncol*, 2019, 14 (3): 445-458.
- 19 Liu J, Jiang Y, He R, et al. Robotic-assisted navigation system for preoperative lung nodule localization: a pilot study[J]. *Transl Lung Cancer Res*, 2023, 12 (11): 2283-2293.
- 20 Zhang L, Li M, Li Z, et al. Three-dimensional printing of navigational template in localization of pulmonary nodule: A pilot study[J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2017, 154 (6): 2113-2119.e7.
- 21 Hiraki T, Matsuno T, Kamegawa T, et al. Robotic Insertion of Various Ablation Needles Under Computed Tomography Guidance: Accuracy in Animal Experiments[J]. *Eur J Radiol*, 2018, 105: 162-167.
- 22 Matsui Y, Kamegawa T, Tomita K, et al. Robotic systems in interventional oncology: a narrative review of the current status[J]. *Int J Clin Oncol*, 2024, 29 (2): 81-88.
- 23 Jing Y, Zhang J, Jin Y, et al. Evaluation of robotic-assisted navigation system for CT-guided thoracic and abdominal lesion puncture: A prospective clinical study[J]. *J Cancer Res Ther*, 2024, 20 (4): 1350-1356.
- 24 Anzidei M, Argirò R, Porfiri A, et al. Preliminary clinical experience with a dedicated interventional robotic system for CT-guided biopsies of lung lesions: a comparison with the conventional manual technique[J]. *Eur Radiol*, 2015, 25 (5):

- 1310-1316.
- 25 Smakic A, Rathmann N, Kostrzewa M, et al. Performance of a Robotic Assistance Device in Computed Tomography-Guided Percutaneous Diagnostic and Therapeutic Procedures[J]. Cardiovasc Intervent Radiol, 2018, 41 (4) : 639-644.
- 26 Johnston EW, Basso J, Silva F, et al. Robotic versus freehand CT-guided radiofrequency ablation of pulmonary metastases: a comparative cohort study[J]. Int J Comput Assist Radiol Surg, 2023, 18 (10) : 1819-1828.
- 27 Jing Y, Zhang J, Jin Y, et al. Evaluation of robotic-assisted navigation system for CT-guided thoracic and abdominal lesion puncture: A prospective clinical study[J]. J Cancer Res Ther, 2024, 20 (4) : 1350-1356.
- 28 Duan X, He R, Jiang Y, et al. Robot-assisted navigation for percutaneous localization of peripheral pulmonary nodule: an in vivo swine study[J]. Quant Imaging Med Surg, 2023, 13 (12) : 8020-8030.
- 29 中国抗癌协会肿瘤介入专业委员会, 中国抗癌协会肿瘤介入学专业委员会胸部肿瘤诊疗专家委员会. 胸部肿瘤经皮穿刺活检中国专家共识 (2020版) [J]. 中华介入放射学电子杂志, 2021, 9 (2) : 117-126.
- 30 肺小结节术前辅助定位技术专家共识 (2019 版) 专家组. 肺小结节术前辅助定位技术专家共识 (2019版) [J]. 中国胸心血管外科临床杂志, 2019, 26 (2) : 109-113.
- 31 中国临床肿瘤学会 (CSCO) 肿瘤消融治疗专家委员会, 中国医师协会肿瘤消融治疗技术专家组, 中国抗癌协会肿瘤消融治疗专业委员会, 等. 影像引导下热消融治疗原发性和转移性肺部肿瘤临床实践指南 (2021年版) [J]. 中华内科杂志, 2021, 60 (12) : 1088-1105.
- 32 叶欣, 范卫君, 王忠敏, 等. 热消融治疗肺部亚实性结节专家共识 (2021年版) [J]. 中国肺癌杂志, 2021, 24 (5) : 305-322.
- 33 张肖, 肖越勇, 李成利. 影像学引导下肺结节冷冻消融专家共识 (2022版) [J]. 中国介入影像与治疗学, 2022, 19 (1) : 2-6.
- (收稿: 2024-12-19; 修回: 2025-01-15; 接受: 2025-02-07)
- (本文编辑: 丁玮)

崔飞, 陈延伟, 薛兴阳, 等. 穿刺手术机器人辅助经皮肺穿刺诊疗技术: 临床规范化应用专家共识[J/OL]. 中华胸部外科电子杂志, 2025, 12 (1) : 1-11.