

机器人支气管镜的临床应用

焦文睿, 吴宏成

doi:10.3969/j.issn.1671-0800.2025.04.002

【中图分类号】 R563 【文献标志码】 C 【文章编号】 1671-0800(2025)04-0335-05

机器人支气管镜 (robotic-assisted bronchoscopy, RAB) 技术是继纤维支气管镜、电子支气管镜后支气管镜技术的又一进展。RAB 能通过灵活导管设计、形状感知导航、电磁导航联合数字断层合成技术 (digital tomography, DT) 等突破传统支气管镜操作限制, 可深入 7 ~ 8 级甚至更深气道, 并结合径向支气管内超声 (radial endobronchial ultrasound, R-EBUS)、锥形束 CT (cone-beam computed tomography, CBCT) 及快速现场细胞学评估 (rapid on site cytologic evaluation, ROSE) 等多种技术实现精准诊断。自 2018 年首个机器人支气管镜系统 Monarch™ 获批以来, Ion™ 系统和 Galaxy System™ 相继问世。数个国产 RAB 系统已开展临床实践。本文就 RAB 系统在肺外周病变 (peripheral pulmonary lesion, PPL) 诊断、肺部疾病治疗探索中的应用及国产 RAB 系统的现状进行综述。

1 RAB 系统

1.1 Monarch™ 系统 2018 年, Auris Health 推出的 Monarch™ 系统获得美国食品药品监督管理局 (Food and Drug Administration, FDA) 认证。该机器人支气管镜系统的主要组成部分包括: (1) 支气管镜系统, 由内镜和外鞘组成, 两者都可四向转向。外鞘直径 6.0 mm, 可 130° 活动; 内镜直径 4.2 mm, 可从外鞘管中伸出并实现头端 180° 弯曲。镜身设有内置光源和 2.1 mm 内径的工作通道, 能实现可视化操作、R-

EBUS、活检、刷检及吸引等操作。(2) 载有 2 个机械臂的推车, 分别独立控制内镜和外鞘。(3) 配有内镜显示器和电磁导航显示器的塔台。(4) 控制手柄, 手柄上两个操纵杆用于驱动和连接支气管镜, 各种按钮用于控制冲洗、抽吸和控制设备状态。操作人员使用控制手柄来控制支气管镜。在手术设置和电磁导航阶段, 移除手术台上和电磁场发生器周围的大型金属物体, 包括但不限于金属麻醉管支撑系统、金属踏凳和透视系统^[1-3]。

1.2 Ion™ 系统 Ion™ 系统由美国 Intuitive Surgical (Sunnyvale, CA, USA) 公司开发, 应用光纤形状感知技术导航, 在许多临床研究中亦被称为形状感知机器人 (shape-sensing robotic-assisted bronchoscopy, ssRAB), 于 2019 年获得 FDA 上市批准, 2024 年 3 月 Ion™ 支气管导航操作控制系统获我国国家药品监督管理局批准上市。该系统包括: 3.5 mm 外径柔性机器人导管, 内含 2.0 mm 内径工作通道, 可任意方向 180° 弯曲, 导管全长配有形状感应纤维, 在操作全程显示导管与支气管树解剖学相对位置和形状; 可通过工作通道插入 1.7 mm 外径视觉探头, 用于导航过程中的直接可视化, 但在导航后必须移除视觉探头才能活检, 所以在采样期间无法进行实时成像; 一台带有 2 个显示屏的推车, 提供视觉信息, 包括虚拟和实时气道视图, 覆盖导管位置的气道树、目标信息和第三方视频源, 如 R-EBUS 和 X 光透视; 一个具有轨迹球和滚轮的控制台^[2,4]。

1.3 Galaxy System™ 系统 Galaxy System™ 于 2023 年 3 月 FDA 批准上市, 其导航系统将 DT 技术与电磁导航 (electromagnetic navigation bronchoscope, ENB) 和增强透视技术相结合^[2]。与大范围 (180°) CT 扫描相比, DT 可使用标准的 C 臂机, C 臂机旋转扫描期间拍摄一系列透视数字图像, 叠加并进行计算处理,

基金项目: 2024 年度浙江省省级临床重点专科建设项目 (呼吸内科)

作者单位: 315040 宁波, 宁波市医疗中心李惠利医院

通信作者: 吴宏成, 主任医师, 教授, 硕士研究生导师。宁波市医学会呼吸病学分会主任委员, 浙江省医学会呼吸病学分会常务委员, 浙江省抗癌协会呼吸系统肿瘤介入专业委员会副主任委员, 中国医药教育协会肺部肿瘤专业委员会常务委员。Email: doctorwu1967@126.com

以提供最终的三维图像,该方法比标准透视下更容易看到目标病变,同时相比于CBCT最大限度减少辐射暴露^[9]。

该系统包含机械臂控制的单个一次性使用支气管镜,支气管镜外径4 mm,工作通道2.1 mm,可实现镜身180°弯曲,支气管镜内置摄像头可保持持续可视化,能够与C臂机或CBCT无缝衔接;支气管镜在ENB引导下到目标结节2 cm以内,然后DT技术通过标准透视C臂机实现CT与身体的偏差校正、透视增强、Tool-in-lesion功能(TiLT+技术)确认病变,可实现R-EBUS、活检、刷检及吸引等操作^[5]。

2 RAB在肺外周病变诊断中的临床应用

RAB因其自动规划导航系统、更灵活稳定的操作及到达更远的支气管位置等优点,从其诞生之初,便在PPL诊断方面得到了广泛的应用。目前机器人RAB均需在全麻及气管插管下实施,术前需要胸部薄层CT扫描,以便三维虚拟气道重建。

一项研究回顾性分析了264例患者在美国三家区域医疗机构经Monarch™机器人支气管镜活检并随访12个月的结果,中位病灶大小19.3 mm,58.9%的病灶位于肺外周1/3,99.6%联合透视,93.9%联合R-EBUS,9例(3.4%)联合CBCT成像,使用穿刺针或活检钳取得样本。诊断率为79.4%,对恶性肿瘤的敏感性为79.3%,手术相关并发症发生率7.6%,气胸最为常见(15例,5.7%),2例发生呼吸衰竭,4例发生需要干预的出血,没有手术相关死亡^[6]。芝加哥大学医学中心一项回顾性研究分析了使用Monarch™机器人支气管镜诊断124例肺部病变患者的数据。所有病例均采用R-EBUS、常规透视和ROSE并进行了至少12个月随访。中位病灶大小20.5 mm,总体诊断准确率为77%(95/124)。同心、偏心和无R-EBUS视图的诊断准确率分别为85%、84%和38%。2例患者出现气胸,4例患者出现出血,无呼吸衰竭发生。使用RAB对肺部病变采样的总体诊断准确率优于现有的导航支气管镜技术。病灶大小≥20 mm、同心或偏心R-EBUS模式的准确率更高^[7]。

一项多中心、单臂前瞻性研究采用ssRAB对67个结节进行活检,中位最大径为20.0 mm。结节多位于腔外,结节外缘距胸膜中位距离4.0 mm,到目标位

置的中位支气管级数为7级,中位手术时间66 min。导管尖端至虚拟结节最近边缘的距离为7.0 mm,活检完成率为97.0%,无气胸或气道出血的报道^[4]。一项前瞻性单盲随机对照比较试验PRECISION-1,在人尸体模型中比较了超细支气管镜-R-EBUS、ENB和Ion™支气管镜手术机器人3种支气管镜导航系统对小于2 cm的植入性肺外周结节的成功定位和穿刺能力。与ENB相比,ssRAB的PPL定位和穿刺成功率更高(80% vs 45%),ENB与超细支气管镜-R-EBUS相比差异无显著性^[8]。纪念斯隆-凯特林癌症中心的一项前瞻性研究纳入了131次ssRAB手术共159个肺部病灶。中位病灶大小1.8 cm,59.1%的病灶位于肺上叶,66.7%的病灶位于第6级气道以上。导航成功率为98.7%,总体诊断率为81.7%,≥1.8 cm的病变较<1.8 cm的病变诊断敏感性有显著差异。该研究中ssRAB诊断胸部原发恶性肿瘤的敏感性和阴性预测值分别为79.8%和72.4%,总体并发症发生率为3.0%,其中气胸发生率为1.5%^[9]。

“形状传感机器人辅助支气管镜在周围肺结节取样中的应用”中国多中心前瞻性临床研究,由上海市胸科医院牵头,全国3家中心共同参与。2024年9月发表了支气管镜机器人控制系统的中国首个临床研究数据:在近两年的研究期间,共有90例患者纳入研究,经6个月随访,总体诊断率为87.8%,恶性诊断灵敏度为87.7%。即使在≤2 cm大小肺结节亚组中,诊断率也达85.7%。在安全性方面,仅有1例无需置管的气胸发生,未出现任何需要干预的出血^[10]。

一项回顾性研究认为ssRAB可以为分子检测和程序性死亡受体配体1(PD-L1)检测提供足够的样本,该研究分析了128个肿瘤病灶,活检病理样本90%以上可成功进行分子检测和PD-L1测定,75%细胞块样本肿瘤细胞密度评价为足够(肿瘤细胞密度>20%),6%细胞块样本评价为临界(肿瘤细胞密度10%~20%)^[11]。

上述RAB系统已显著提高经支气管肺外周结节的诊断效率,然而,诊断结果仍然不完善,可能是由于结节位于气道附近或气道外。一种新型的诊断工具:1.1 mm冷冻探针,可以360°进入组织,可以取样偏心/邻近病变^[12]。2022年一项回顾性分析纳入112例患者120个周围性肺部病变,中位长径22 mm,

48%的患者存在支气管征象,病灶与胸膜中位距离6mm。采用 R-EBUS 和常规透视技术确定病变位置,通过 RAB 先后使用穿刺针、活检钳活检,最后使用 1.1 mm 冷冻探针进行 3~4 次额外的活检。总诊断率为 90%,近 18%的诊断完全来自冷冻活检样本。所有冷冻活检样本量都足够进行分子检测。6 例(5.4%)出现术后气胸,3 例(2.7%)需要放置胸管,没有大出血。与针吸和传统钳活检相比,冷冻活检获得的样本数量和质量都有所提高^[13]。一项回顾性研究纳入了 256 例患者共 324 个结节样本,应用 ssRAB 对同一结节分别进行针吸活检和冷冻活检,显示冷冻活检对恶性肿瘤的诊断率(92.0% vs 70.4%)和敏感性(96.0% vs 79.3%)均高于针吸活检^[13]。

CT 引导下的经皮肺活检(CT-guided transthoracic biopsy, CTTB)和支气管镜检查是获取肺结节病理的主要非手术诊断方法。CTTB 长期以来被认为是一种可靠的 PPL 取样方法,但可能会出现需要干预的并发症,如气胸和咯血。回顾性研究显示 ssRAB 和 CTTB 对恶性肿瘤的敏感性相似,CTTB 患者中并发症更为常见,ssRAB 可在手术中进行纵隔分期^[14-15]。但目前 RAB 与 CTTB 对肺外周病变的诊断率仍缺乏大型前瞻性比较研究。

一项基于 Monarch™ 和 Ion™ 机器人支气管镜肺结节活检的临床研究的 meta 分析显示,Monarch™ 和 Ion™ 系统的总体诊断率约 84.96%,恶性敏感性为 81.79%,并发症发生率为 4.76%,两个系统结局指标差异无统计学意义^[16]。另一项 meta 分析结果认为病变 > 30 mm、存在支气管征和 R-EBUS 同心圆征象的病灶在机器人支气管镜肺结节活检中具有较高的诊断率^[17]。与以往针对 ENB 的前瞻性、多中心队列研究 NAVIGATE^[18]结果相比,机器人支气管镜具有更高的诊断率及恶性肿瘤诊断敏感性。

为提高 RAB 手术的诊断准确性,在活检操作中通常需要其他技术联合确认病变位置及活检工具在病灶中的位置。PPL 取样时,通过 X 线透视对病灶及穿刺设备进行定位,可能存在偏差。一项回顾性分析采用 ssRAB、R-EBUS 和 CBCT 对 209 个肺部病变进行 200 次活检,病灶中位最大径 19 mm。显示 ssRAB 联合高级成像技术诊断准确率为 91.4%,敏感性为 87.3%,特异性为 98.7%,阴性预测值为

81.3%,阳性预测值为 99.2%^[19]。

与其他影像学辅助技术类似,“辐射暴露”是 CBCT 联合支气管镜活检操作中重要的问题。一项单中心、前瞻性研究观察了 ssRAB 联合 CBCT 进行肺病变活检的患者。共进行了 241 次 ssRAB 手术,对 269 个肺病变进行了活检。平均进行(1.5±0.7)次 CBCT 旋转,平均总透视时间为(5.6±2.9)min,平均辐射剂量为(63.5±46.7) mGy,诊断率为 85.9%,并发症发生率低。研究者认为 ssRAB 联合 CBCT 对肺部病变进行活检是一种安全的诊断方式,辐射剂量相对较低^[20]。

与 Monarch™ 和 Ion™ 系统丰富的临床应用研究不同, Galaxy System™ 系统的公开发表研究较少。Bhadra 等^[21]发表的题为“MATCH 研究”的首个动物研究,探讨了 Galaxy System™ 系统的应用,4 名操作人员对四头猪进行导航和目标到达导航成功率为 100%,诊断率为 100%,工具入病灶率为 95%。一项单臂单中心前瞻性首次使用 Galaxy System™ 进行的人体研究 FRONTIER 纳入 19 例平均大小为 20 mm 的 PPL 样本的初步结果显示,100%结节成功到达靶区,所有病例靶区内均可见活检工具,17 个结节得到明确诊断,诊断率 89.5%(严格)~94.7%(中间)。并发症包括 1 例仅需要观察的气胸,1 例需要胸腔引流,1 例手术后出现严重肺炎^[9]。一项多中心回顾性研究纳入 304 例患者,共 344 个肺结节,平均直径 15.8 mm。肺结节主要位于胸外带 1/3(79.6%),仅 26%的肺结节报告有支气管征。平均辐射剂量 85.7 mGy,平均手术时间 46 min。使用保守定义时,总体诊断率为 88.9%~92.9%,最终诊断率取决于随访胸部影像学检查(或外科手术)^[22]。

3 RAB 的其他临床应用

鉴于机器人支气管镜的优势,有临床中心在杂交手术室内联合实施机器人支气管镜检查、标记与微创胸腔镜手术^[23],即在同一麻醉下,同期实现肺部病灶的定位及手术切除。

De Leon 等^[24]使用 Monarch™ 系统对 17 头实验猪行 CT 扫描后经机器人支气管镜进行肺外周实质微波消融试验,该临床前试验为 NEUWAVE FLEX 和 MONARCH 器械进一步行临床试验研究经机器人支气管镜微波消融治疗提供了安全性依据。

ssRAB对传统支气管镜无法到达的淋巴结取样有个别病例报道。1例患者因纵隔淋巴结肿大怀疑淋巴瘤复发,使用ssRAB导航至左上叶前段,将导管尖端定位在距纵隔胸膜1 cm,距第5组淋巴结1.5 cm处,通过CBCT确定位置,使用23G及21G穿刺针穿过纵隔胸膜进入主动脉下淋巴结(第5组淋巴结)进行针吸活检,术后未见并发症,最终病理提示套细胞淋巴瘤^[25]。该作者还对机器人支气管镜下第5组或6组淋巴结活检进行了文献综述,另有3例患者行5站淋巴结活检,4例患者行6站淋巴结活检,所有手术均采用ssRAB,其中6例成功诊断。

广州医科大学第一附属医院钟长镐教授团队于2023年应用朗合医疗的Unicorn麒麟™机器人支气管镜,对1例术后复发的气管腺样囊性癌患者进行了光动力治疗,该治疗实践认为机器人支气管镜用于光动力治疗的潜在优势包括精确光照靶病灶和稳定的术中控制^[26]。

4 国产机器人支气管镜的现状

国内机器人支气管镜技术设备起步晚于美国,目前公开发表的国内临床研究数据也是基于Ion™系统,但国产机器人支气管镜亦有成熟的系统开始投入临床应用。

2022年3月30日,四川大学华西医院团队成功完成全国首例国产机器人辅助经支气管镜肺结节活检术。参与手术的支气管镜机器人,由四川大学华西医院、上海市胸科医院暨上海交通大学附属胸科医院与上海微创医疗机器人(集团)股份有限公司联合自主研发。

朗合医疗先后推出国产柔性内窥镜手术机器人Unicorn麒麟™、Polaris™北极星支气管镜导航机器人,后者于2024年利用5G网络技术在国际上首次成功实施人体支气管镜机器人的远程操作。目前该国产机器人支气管镜系统已有外周肺结节活检、冷冻肺活检及微波消融等临床应用案例,其诊疗性能仍待大型临床试验验证。

2025年精锋®支气管镜机器人CP1000获批NMPA(注册证编号:国械注准20253010298),探索性研究中精锋®CP1000完成了机器人支气管镜肺部结节活检术。

5 展望

机器人支气管镜检查较传统电子支气管镜可操作范围更远,稳定性大大提高,联合透视、CBCT、R-EBUS等技术对肺外周结节诊断准确率可媲美CT引导下经皮肺穿刺活检,同时具有并发症少、辐射暴露量少等优势。目前报道的机器人支气管镜主要为诊断性应用,治疗性临床应用报道极少。根据前期对电磁导航支气管镜应用的经验,如ENB引导术前病灶标记^[27]、ENB引导经支气管镜射频消融治疗和微波治疗^[28-29],为无法耐受手术患者提供了微创诊疗选择。往后机器人支气管镜可进一步向治疗性应用发展,如与胸外科微创手术联合,在手术室内术前辅助结节定位,支气管腔内病变冷冻、激光、光动力治疗等,不宜手术的多灶性肺癌或肺寡转移瘤进行局部消融治疗。美国一项多中心开放标签1/1b期研究(NCT05918783)正在招募,拟利用机器人辅助支气管镜和CBCT引导评估血管靶向光动力疗法(padeliporfin VTP)在周围型肺癌患者中的安全性、可行性和早期疗效。

设备技术上,机器人支气管镜亦存在局限性,机器人系统解决了人长期操控易疲劳的问题,但欠缺人手动控制支气管镜过程中的触觉反馈。定位依靠电磁导航的装置,可能会被起搏器等电磁装置以及金属物干扰;Ion™系统的视觉探头与活检、治疗工具共用同一工作通道,在活检、治疗过程中缺乏实时视觉反馈,可能导致操作时未能及时观察到局部出血情况,增加出血风险。许多临床单位受限于机器人支气管镜高昂的设备经费,难以在临床开展更广泛的探索,自主研发国产机器人支气管镜系统有利于促进市场降低成本、推广临床应用。镜头清理、触觉反馈、自动驾驶、防碰撞及紧急出血控制等方面仍需进一步医工结合迭代升级。

利益冲突 所有作者声明无利益冲突

参 考 文 献

- [1] MURGU S D. Robotic assisted-bronchoscopy: Technical tips and lessons learned from the initial experience with sampling peripheral lung lesions[J]. BMC Pulm Med, 2019, 19(1): 89.
- [2] FERNANDEZ-BUSSY S, CHANDRA N C, KORATALA A, et al. Robotic-assisted bronchoscopy: A narrative review of systems[J]. J Thorac Dis, 2024, 16(8): 5422-5434.
- [3] PRADO R M G, CICIENIA J, ALMEIDA F A. Robotic-assisted

- bronchoscopy: A comprehensive review of system functions and analysis of outcome data[J]. *Diagnostics (Basel)*, 2024, 14(4): 399.
- [4] SIMOFF M J, PRITCHETT M A, REISENAUER J S, et al. Shape-sensing robotic-assisted bronchoscopy for pulmonary nodules: Initial multicenter experience using the Ion™ Endoluminal System[J]. *BMC Pulm Med*, 2021, 21(1): 322.
- [5] SAGHAIE T, WILLIAMSON J P, PHILLIPS M, et al. First-in-human use of a new robotic electromagnetic navigation bronchoscopic platform with integrated Tool-in-Lesion Tomosynthesis (TILT) technology for peripheral pulmonary lesions: The FRONTIER study[J]. *Respirology*, 2024, 29(11): 969-975.
- [6] KHAN F, SEAMAN J, HUNTER T D, et al. Diagnostic outcomes of robotic-assisted bronchoscopy for pulmonary lesions in a real-world multicenter community setting[J]. *BMC Pulm Med*, 2023, 23(1): 161.
- [7] AGRAWAL A, HO E, CHADDHA U, et al. Factors associated with diagnostic accuracy of robotic bronchoscopy with 12-month follow-up[J]. *Ann Thorac Surg*, 2023, 115(6): 1361-1368.
- [8] YARMUS L, AKULIAN J, WAHIDI M, et al. A prospective randomized comparative study of three guided bronchoscopic approaches for investigating pulmonary nodules: The PRECISION-I study[J]. *Chest*, 2020, 157(3): 694-701.
- [9] KALCHIEM-DEKEL O, CONNOLLY J G, LIN I H, et al. Shape-sensing robotic-assisted bronchoscopy in the diagnosis of pulmonary parenchymal lesions[J]. *Chest*, 2022, 161(2): 572-582.
- [10] XIE F F, ZHANG Q C, MU C Y, et al. Shape-sensing robotic-assisted bronchoscopy (SS-RAB) in sampling peripheral pulmonary nodules: A prospective, multicenter clinical feasibility study in China[J]. *J Bronchology Interv Pulmonol*, 2024, 31(4): e0981.
- [11] CONNOLLY J G, KALCHIEM-DEKEL O, TAN K S, et al. Feasibility of shape-sensing robotic-assisted bronchoscopy for biomarker identification in patients with thoracic malignancies[J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2023, 166(1): 231-240, e2.
- [12] OBERG C L, LAU R P, FOLCH E E, et al. Novel robotic-assisted cryobiopsy for peripheral pulmonary lesions[J]. *Lung*, 2022, 200(6): 737-745.
- [13] ABIA-TRUJILLO D, FUNES-FERRADA R, LEE-MATEUS A Y, et al. Cryobiopsy versus fine-needle aspiration for shape-sensing robotic-assisted sampling of small lung nodules[J]. *Lung Cancer*, 2024, 196: 107967.
- [14] LEE-MATEUS A Y, REISENAUER J, GARCIA-SAUCEDO J C, et al. Robotic-assisted bronchoscopy versus CT-guided transthoracic biopsy for diagnosis of pulmonary nodules[J]. *Respirology*, 2023, 28(1): 66-73.
- [15] FERNANDEZ-BUSSY S, LEE-MATEUS A Y, REISENAUER J, et al. Shape-sensing robotic-assisted bronchoscopy versus computed tomography-guided transthoracic biopsy for the evaluation of subsolid pulmonary nodules[J]. *Respiration*, 2024, 103(5): 280-288.
- [16] 郭超, 张家齐, 李杭, 等. 机器人支气管镜在肺结节活检中有效性与安全性的系统评价与 Meta 分析[J]. *中国胸心血管外科临床杂志*, 2023, 30(2): 226-232.
- [17] ZHANG C X, XIE F F, LI R C, et al. Robotic-assisted bronchoscopy for the diagnosis of peripheral pulmonary lesions: A systematic review and meta-analysis[J]. *Thorac Cancer*, 2024, 15(7): 505-512.
- [18] FOLCH E E, BOWLING M R, PRITCHETT M A, et al. NAVIGATE 24-month results: Electromagnetic navigation bronchoscopy for pulmonary lesions at 37 centers in Europe and the United States[J]. *J Thorac Oncol*, 2022, 17(4): 519-531.
- [19] STYRVOKY K, SCHWALK A, PHAM D, et al. Shape-sensing robotic-assisted bronchoscopy with concurrent use of radial endobronchial ultrasound and cone beam computed tomography in the evaluation of pulmonary lesions[J]. *Lung*, 2022, 200(6): 755-761.
- [20] STYRVOKY K, SCHWALK A, PHAM D, et al. Radiation dose of cone beam CT combined with shape sensing robotic assisted bronchoscopy for the evaluation of pulmonary lesions: An observational single center study[J]. *J Thorac Dis*, 2023, 15(9): 4836-4848.
- [21] BHADRA K, RICKMAN O B, MAHAJAN A K, et al. "Tool-in-lesion" accuracy of galaxy system-a robotic electromagnetic navigation Bronchoscopy with integrated tool-in-lesion-tomosynthesis technology: The MATCH study[J]. *J Bronchology Interv Pulmonol*, 2024, 31(1): 23-29.
- [22] CICIENIA J C, DUONG D K, HOGARTH D K K, et al. Initial experience with a novel robot-assisted navigational bronchoscopy platform with integrated digital tomography and augmented fluoroscopy[J]. *Chest*, 2024, 166(4): A5272-A5273.
- [23] CHAN J W Y, CHANG A T C, YU P S Y, et al. Robotic assisted bronchoscopy with cone-beam CT ICG dye marking for lung nodule localization: Experience beyond USA[J]. *Front Surg*, 2022, 9: 943531.
- [24] DE LEON H, ROYALTY K, MINGIONE L, et al. Device safety assessment of bronchoscopic microwave ablation of normal swine peripheral lung using robotic-assisted bronchoscopy[J]. *Int J Hyperther*, 2023, 40(1): 2187743.
- [25] VACA-CARTAGENA B F, VALDES-CAMACHO S, IBRAHIM M I, et al. Staging aortopulmonary lymph nodes with robotic-assisted bronchoscopy: A case report and literature review[J]. *Respirol Case Rep*, 2025, 13(2): e70109.
- [26] ZHONG C H, LI H J, HUANG J F, et al. The novel application of robotic-assisted bronchoscopy combined with photodynamic therapy for adenoid cystic carcinoma of the Trachea[J]. *Respiration*, 2023, 102(11): 961-968.
- [27] YANG W H, XU T Q, ZHANG Y, et al. Application of Electromagnetic Navigation Bronchoscopy in the early diagnosis and treatment of lung cancer: A narrative review[J]. *Transl Cancer Res*, 2021, 10(3): 1583-1593.
- [28] BAO F C, YU F H, WANG R, et al. Electromagnetic bronchoscopy guided microwave ablation for early stage lung cancer presenting as ground glass nodule[J]. *Transl Lung Cancer Res*, 2021, 10(9): 3759-3770.
- [29] XIE F F, CHEN J X, JIANG Y F, et al. Microwave ablation via a flexible catheter for the treatment of nonsurgical peripheral lung cancer: A pilot study[J]. *Thorac Cancer*, 2022, 13(7): 1014-1020.

收稿日期: 2025-03-19

(本文编辑: 吴迪汉)