

肺结节定位方法的研究进展

陈长禹^{1*}, 王江帅¹, 徐保彬^{2#}

¹济宁医学院临床医学院(附属医院), 山东 济宁

²济宁医学院附属医院胸外科, 山东 济宁

收稿日期: 2025年4月29日; 录用日期: 2025年5月21日; 发布日期: 2025年5月29日

摘要

近年来, 随着计算机断层扫描(CT)在肺部疾病中筛查的广泛应用, 再加上人们对定期检查认识的提高, 从而有大量肺结节被检测出来, 其中以磨玻璃样结节(Ground-glass nodule, GGN)最具有代表性。与实性结节相比, 这些非实性结节, 发生恶性肿瘤的可能性更高, 在手术中通过触诊方法定位亚实性或磨玻璃影结节特别困难, 因此如何准确定位成为完整切除此类结节的重点。本文总结了目前国内外对肺结节定位的研究进展, 并分析其应用场景及优缺点。

关键词

肺结节, 定位, 磨玻璃样结节, 术前, 术中

Advances in Methods of Localization of Pulmonary Nodules

Changyu Chen^{1*}, Jiangshuai Wang¹, Baobin Xu^{2#}

¹School of Clinical Medicine (Affiliated Hospital), Jining Medical University, Jining Shandong

²Thoracic Surgery, Affiliated Hospital of Jining Medical University, Jining Shandong

Received: Apr. 29th, 2025; accepted: May 21st, 2025; published: May 29th, 2025

Abstract

In recent years, with the widespread application of computed tomography (CT) in the screening of lung diseases, coupled with an increased awareness of the importance of regular check-ups, a significant number of pulmonary nodules have been detected. Among these, ground-glass nodules (GGNs)

*第一作者。

#通讯作者。

are the most representative. Compared to solid nodules, these non-solid nodules have a higher likelihood of being malignant. It is particularly challenging to locate sub-solid or ground-glass opacity nodules during surgery using palpation methods, making accurate localization crucial for the complete resection of such nodules. This article summarizes the current research progress in the localization of pulmonary nodules both domestically and internationally, and analyzes their application scenarios, advantages, and disadvantages.

Keywords

Lung Nodule, Localization, Ground Glass Nodules, Preoperative, Intraoperative

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

目前公认的肺结节定义为直径 ≤ 3 cm 的局灶性、类圆形、密度增高的实性或亚实性肺部阴影[1]。目前临床中常用的手术方案多是在电视胸腔镜(Video-assisted Thoracoscopic Surgery, VATS)下根据位置先楔形切除肺结节,根据术中冰冻病理结果,再确定下一步治疗方案。因此外科手术的治疗方式远远跟不上近 3 年的肺癌表现形式的改变,很多肺结节虽然得到了及时、有效的治疗,但是广泛存在切除范围较大的不足,影响到术后患者的生活质量。因此如何准确定位该类肺结节是亟待解决的问题,目前肺结节的定位方法可以分为:术前经皮穿刺定位、术前经皮液体材料注射定位法、术前经支气管定位、术前 3D 打印辅助定位,术中经血运定位技术、术中体表解剖标志定位、术中超声定位,一站式肺结节定位。在选择肺结节定位方法时,除了关注定位成功率外,还应更全面地考虑各种因素,包括肺结节的位置和大小、与胸膜的距离、费用、患者个体情况、CT 和超声等设备情况,以及相应专业技术人员的技术问题等。

2. 术前经皮穿刺定位

术前经皮穿刺定位技术仍是目前最常用的定位技术,但是某些结节应用此类方法难以定位,例如肺尖附近、肺叶间裂、靠近膈肌或被肩胛骨遮挡的结节。因此,在 CT 引导下经皮穿刺辅助定位的基础上开发和探索替代定位技术至关重要。此方法的缺陷是经常需要多次进行 CT 扫描,患者需要接受大剂量的辐射,并且,如果肺结节存在的位置较深,一次穿刺往往不准确,经常需要多次穿刺才能找准位置,给患者造成了较大的痛苦。据报道,一种新的机器人辅助导航系统提供了一种量身定制的解决方案,以简化技术上局限性并降低辐射剂量和并发症发生率,尤其适用于技术水平较低的地区。该研究表明,与接受常规 CT 引导下经皮穿刺定位的患者相比,机器人辅助定位组气胸发生率显著降低[27.21% (163/599) vs. 43.33% (39/90)] [2]。

2.1. 经皮 Hook-wire 穿刺定位法

Hook-wire 定位法目前在临床上最为常见。Hook-wire 由钩针与钩丝组成,Hook-wire 套管针穿刺进入肺组织内,然后再行 CT 检查以确定钩针位于病灶边缘 < 2 cm 范围内,期间避免经针套种植转移,于胸壁固定金属丝或软线。后评估患者是否存在并发症及疼痛程度,定位后应在 1~2 h 内进行 VATS 手术[3]。气胸是最常见的并发症,其次是肺出血,有时也观察到存在胸膜腔出血和血痰。有研究表明在 0~7.5% 的病例中遇到标志物移位[4],虽然在大多数既往报道的病例进行了 VATS 手术,但在两项早期研究中,

病情较重的 7.5%和 14%的病例需要转为开胸手术[5] [6]。定位钩的移位甚至脱落、肺出血及气胸仍然存在于此类定位方法中, 同时还有少量病例发现空气栓塞, 发生率为 0.07%~0.15%, 原因可能与定位时患者出现咳嗽或深大呼吸相关[7] [8]。

2.2. 经皮金属弹簧线圈穿刺定位法

金属弹簧线圈操作方法与 Hook-wire 定位方法基本相同, 区别在于其无倒钩设计。1994 年 Asamura 等人首次将微线圈置入肺内并通过 X 线透视成功定位肺结节[9]。用于定位的微线圈, 柔软且坚韧, 对肺实质损伤较小。它们不会对生理呼吸运动造成额外的伤害, 因此定位后气胸、出血概率较 Hook-wire 定位针低[10]。但操作难度较大, 定位时间久, 对操作者要求较高。弹簧圈定位法目前最常用的有两种: 一是将弹簧圈尾部固定于脏层胸膜外, 另一种则是把弹簧圈完全放置于肺内。研究表明, 两种弹簧圈定位方法的成功率及并发症发生率无明显差别[11] [12]。与进行胸膜标记的弹簧线圈定位相比, 进行的无胸膜标记的弹簧线圈定位减少了 CT 引导下定位的时间和辐射剂量, 同时保持了同等的手术成功率及较低的定位后并发症[13]。有研究报告的手术并发症发生率较低, 包括有症状的气胸(3%)、血胸(1%)、弹簧圈移位(3%)和不成功的 VATS 切除术(3%), 表明其具有良好的安全性和成功率[11]。

2.3. 经皮液体材料注射定位法

2.3.1. 造影剂

造影剂主要包括碘油和钡剂, 使用造影剂意味着需要术中透视以确认定位。虽然碘油在组织中保留时间较长, 为三个月, 但其缺乏水溶性所以需要谨慎注射, 以避免进入血管和发生栓塞事件。因此, 在碘化油注射过程中, 需要连续抽吸小于 0.5 ml 的注射量[14]。钡剂在组织中的保留时间也较长, 有利于手术计划安排, 但钡剂可能会引起肺实质轻度急性炎症和水肿, 可能影响靶结节的病理诊断。因此, 如果使用钡剂, 则需要将其注射到肺结节旁边, 避免直接注射到目标肺结节。研究表明, CT 引导下造影剂定位肺结节操作简单有效[14]。

2.3.2. 染色剂

CT 引导下经皮穿刺注射染色剂在临床实践中也得到了广泛的应用。最常用的染料是吲哚菁绿(Indocyaninegreen, ICG)和亚甲蓝。ICG 是一种三羧花青染料, 具有优异的水溶性以及近红外吸收和发射荧光的特性。ICG 进入体内后, 与血浆蛋白紧密结合, 具有组织渗透性, 手术时可在胸腔镜下观察荧光。研究表明, ICG 定位可用于肺的楔形切除术和节段性切除术[15]。定位时控制 ICG 的注射剂量很重要, 太多会导致荧光在胸腔内扩散影响定位, 而太少会导致无法明确显示。亚甲蓝定位方法为将穿刺针经皮穿刺至距离肺结节 1 cm 内, 抽出针芯后, 通过注射器注入亚甲蓝, 术后通过识别肺表面亚甲蓝形成染色的部位来识别病变部位。亚甲蓝定位的优点为价格低廉、在临床上比较容易获取且操作过程中患者疼痛较轻。但是亚甲蓝定位法在色素沉积较重的肺表面将难以识别[16], 因此对于病人的选择有一定要求。且随着时间推移, 亚甲蓝在肺表面弥散, 导致无法识别定位结节而失败, 故应在定位后尽快进行手术[17]。

2.3.3. 医用生物胶

医用生物胶的主要成分是 N-丁基-2-氰基丙烯酸酯, 以其无毒和良好的生物安全性而闻名。其与体液接触后, 将迅速聚合形成可触及的结节。CT 引导下经皮注射生物胶可在肺组织内快速形成硬节, 确保术中准确定位, 并且生物胶凝固后可以持续数周, 这意味着对手术时间间隔的要求很低。此外, 胶水固化可以封闭穿刺点, 可减少穿刺点出血、栓塞及肺气胸的发生。缺点是生物胶有刺鼻的气味, 进入支气管后有时会引起患者出现明显的刺激性咳嗽, 同时, 若结节位置较表浅, 医用胶可与非实性结节互相混合, 从而影响病理诊断, 此外, 生物胶在注射针头中导致堵塞也有发生[18]。尽管有轻微的气味和潜在的针头

堵塞,但生物胶显示出高成功率、较小的不良反应和良好的临床适用性[19]。

2.3.4. 放射性示踪剂

CT 引导下经皮肺结节定位使用的放射性元素为 ^{99m}Tc ,半衰期为 6 小时。术中需要伽马探针用于术中检测,虽然 CT 引导下 ^{99m}Tc 定位后单孔 VATS 定位肺结节是可行的,且成功率高,并发症发生率低[20]。但较短的定位后手术时间间隔以及手术期间对辐射防护的需求在一定程度上限制了其广泛的临床应用[21]。

3. 术前经支气管定位

3.1. 电磁导航支气管镜检查(Electromagnetic Navigation Bronchoscopy, ENB)

ENB 基于电磁定位技术,可提供路径规划并实现实时定位。过程为将带有导航线的护套插入支气管镜的工作通道。在匹配虚拟和实时图像后,在护套被推进到目标位置后,开始染色剂注射或线圈放置等,目前主要用于定位小的肺外周病灶[22]。目前临床中常用的方法为在 ENB 下注射吲哚菁绿[23]。电磁导航支气管镜定位准确性受呼吸动度的影响较大,尤其靶病灶位于下肺叶时。其与经皮穿刺相比,出血和气胸等并发症的发生率有显著降低[24]。

3.2. 虚拟肺图(Virtual-assisted Lung Mapping, VAL-MAP)

VAL-MAP,最早在日本提出,并得到了广泛采用,定位方法是利用先利用支气管镜定位病灶位置,并向病灶周围注射 IGG,再通过 3 维重建软件将 CT 图像重建为 3D 构图,即绘制肺图(lung mapping)[25]。在肺段切除术中,传统方式通过肺膨胀、塌陷来确认适当的切除边界,但由于胸膜粘连等原因使肺膨胀与塌陷的情况受限,经常会干扰到选择适当的切除范围。使用虚拟支气管镜导航定位技术可以显示肺段解剖边界,帮助划定手术切缘,然而,因其对技术要求较高,这个过程可能很繁琐、成本高昂,国内应用较少。

3.3. 射频识别定位法

射频识别定位方法也是由日本学者首次提出,并于 2019 年 9 月首次应用于实践[26]。射频定位方法是在支气管镜检查或 ENB 的辅助下将射频识别微芯片放置在目标支气管中。在 CT 下确认位置后,在 VATS 手术过程中使用专用探头实时检测和定位微芯片,以便进行精确切除。射频识别微芯片放置和手术之间的间隔可达 3 天[27]。但其难点包括需要将微芯片放置在直径小于 2 mm 的支气管中并需避免其移位。

4. 术前 3D 打印辅助定位

据研究表明,通过 3D 打印辅助定位方法进行肺结节定位的方法有 3 种,其中最常见的一种是利用 3D 打印导航模板辅助定位,这种定位方法的优点是简化了穿刺定位程序并有效减少了辐射剂量[28]。另一种方法是非侵入性的,使用胸部 HRCT 图像数据用于三维重建和 3D 打印,以制作量身定制的真人大小的模拟肺结节定位模型,根据模型进行术前定位,研究证明该方法是一种无创、高效、准确的定位方法,能为同时性多发肺结节的定位难题提供思路[29]。第三种方法为打印柔性 3D 材料作为术中导板,然后在手术过程中将 3D 模型放置在胸腔内进行引导,在 Tang 等报道中该方法术中结节定位成功率为 100%,中位定位时间为 19.5 分钟(范围,16~23.5 分钟),导航模板的偏差中位数为 2.1 毫米(范围,1.1~2.7 毫米),在纳入的 12 例患者中,术中定位期间未发生明显并发症,但因其病例数较少,具体准确率还需验证[30]。3D 打印技术为肺结节的定位,尤其是多发肺结节的定位提供了更直观、更准确、更高效的工具,有助于

提高手术的精度和效率，并减少辐射暴露，未来发展潜力较大。

5. 术中经血运定位技术

5.1. 荧光剂

近红外/吲哚菁绿荧光成像技术(near-infrared fluorescence imaging/indocyanine green, NIRF)的进步为术中快速高效地识别不可触及肺结节提出了新的方向。NIRF 具有很强的穿透能力，能显示组织层下 10 mm 左右的吲哚菁绿分布情况。该技术首先应用在肝脏肿瘤中，用来标记原发性肝脏肿瘤位置或肝脏转移瘤术中定位[31]。在肺结节定位中，在外周静脉注射吲哚菁绿染料后，借助近红外光可以把肺部淋巴系统、组织的解剖结构以及血管的灌注情况提供可视化的显像，为肺结节切除提供可视化信息[32]。但是，由于交叉血运的存在，使得荧光剂存在扩散定位不准确的缺点，并且其费用也较高。

5.2. 流域分析法

在肺结节手术中，鼓肺萎陷法经常被用于肺段间的平面，其原理为肺段动脉切断后相应供血区域肺组织的血流交换被阻断，因此显示的边界为肺动脉血供的流域范围[33]。术前 CT 三维重建对结节及切缘所在流域，及流域血管的判断有很大的帮助，对于优势肺段，我们可以采取动脉流域分析法参与定位，而对于非优势肺段，可以采取静脉流域分析法来进行定位。此方法也存在交叉血运影响定位结果，导致定位不准确的缺点；并由于段/亚段肺血管/支气管存在变异情况，对手术医师要求较高，但因其简便性，可以与其他方法共同参与定位工作。

6. 术中体表解剖标志定位

6.1. 解剖标志定位

肺结节的术中定位常采用术中肺解剖标志定位法，该方法适用于位于肺结节位于优势肺段(如背段、尖段等)并解剖结构明显的患者。该方法是指先通过术前肺 CT 薄层扫描图像，确定肺小结节与邻近解剖标志的位置关系。术中肺塌陷后，对于肺表面可观察到的多种解剖标志，如肺叶交点、肺尖、钝角线、奇静脉以及下肺静脉等，按比例测量并计算结节位置，随后在肺表面进行定位，并通过缝线或电刀标记后进行切除。但因其对肺塌陷要求较高，并定位准确度取决于肺结节位置，定位准确度较低[34]。

6.2. 体表经纬穿刺定位

该方法基于解剖标志法和经纬法之上，通过 CT 确定肺结节对应于体表的垂直线(经线)和水平线(纬线)，并在胸腔镜置入前进行穿刺，可明显避免肺移位，研究表明，该方法在 41 例患者共 51 枚磨玻璃结节的定位中，成功定位 49 枚结节，准确率达 96.1% [35]。该方法的优势在于术中即时定位，避免了气胸、血胸及疼痛等并发症对患者的潜在伤害。

6.3. 庞氏定位法(基于解剖标志 3D 精准定位法)

术前将薄层 CT 扫描的图像导入 3D 重建软件上；在重要的解剖标志如，椎体横突、肋骨头、肋骨、水平裂和斜裂交汇处、奇静脉等，运用软件重建、标记及测量肺部结节的相对应的胸壁壁层胸膜点位置及距离，在 VATS 手术中运用上述标志，通过蘸有亚甲蓝溶液或者其他标志物的棉球标记与肺部结节最短距离的脏层胸膜上的点，从而精准的标记肺结节的位置，后使用切割缝合器切除上述标记的肺部结节[36]。与其他无创性定位方法和有创操作相比，庞氏定位法更加经济适用，可操作性强，并且降低了 CT 辐射暴露的风险，术中即时定位不存在气胸、血胸、疼痛等对患者带来的伤害和心理压力，并且定位标

记点位于胸壁内,定位较于体表定位更加准确。该方法还可用于定位钩线定位法无法有效定位的部位。但该方法标记点只位于肺表面,对于靠近纵膈大血管附近,或是结节深度大于 3.5 cm,定位稍有困难[37]。

7. 术中超声定位

术中超声引导下的肺结节定位技术,是在单肺通气条件下,借助超声波的指引来精确定位并切除肺结节。在 VATS 中,超声探头能够扫描几乎整个脏胸膜,并对纵隔结节进行检测,以助于疾病定位。尽管如此,超声成像的清晰度可能因肺部残留空气而受损,这也是为何多数研究将慢性阻塞性肺病、肺气肿及哮喘患者排除在外。研究数据显示,术中超声定位的准确率高达 90%以上,对于混合密度或实性结节的定位成功率更是高于磨玻璃结节(GGN)患者[38]。在 CT 引导下的术中定位未能成功时,术中超声定位可作为备选方案。总结来说,术中超声定位的优点是实时定位不可触及的结节,并且不会损伤肺实质,从而消除了气胸和咯血的风险。但在手术实施中,特别是针对磨玻璃影(GGO)和多发性肺气肿患者肺部的完全塌陷对于确保定位的准确性至关重要,这要求操作超声的医生必须具备丰富的经验[39]。

8. 一站式肺结节定位

在 VATS 下对不可触及的肺结节进行部分切除时,为了解决病灶定位和切除边缘评估的难题,日本学者提出了一种一站式解决方案[40]。该方案首先通过检查成像系统的 C 臂与进行“预扫描”以确保目标病灶位于成像范围内,并记录手术台的最佳位置。随后,暂时移除 C 臂,开始胸腔镜手术。在肺表面疑似病变位置放置第一个标记夹,然后暂时撤出胸腔镜并恢复双侧通气,进行“标记扫描”以确认标记夹与目标病变的相对位置。标记完成后,恢复单肺通气,并以标记为指引,在胸腔镜下实施肺楔形切除术。切除的肺标本通过注射器注入空气使其充气,随后在手术室内进行“切除肺扫描”,以快速确认标本中是否包含肿瘤,并测量肿瘤与切除边缘的距离。这种一站式流程能够在手术过程中即时判断切除范围是否充分,从而提高了手术的精准性和安全性,但其对操作者存在辐射影响,并未明显减少患者辐射剂量,但与常规方法相比,一站式定位法也存在一定进步性。

9. 总结与展望

肺结节定位是胸腔镜手术精准切除的关键环节,针对于浅表结节(距胸膜<1 cm):优先选择染色剂(亚甲蓝)或 Hook-wire 定位法,成本低且操作简便,而对于深部结节(距胸膜>2 cm):术前:弹簧线圈或生物胶(可减少移位风险);术中:荧光 ICG 或术中超声(需肺充分塌陷)。

若结节多发或在复杂位置(如位于肩胛骨下等):使用 3D 打印或 VAL-MAP 辅助规划,结合术中流域分析法可以解决问题。在资源有限的场景,可选择解剖标志法(如庞氏定位)或体表经纬穿刺,但该方法依赖术者经验,但减少了针对设备的依赖。最后,对于中央型肺结节和肺气肿患者:选择 ENB 或经支气管路径,可充分降低发生气胸的风险。

本文总结目前国内外较常用的肺结节定位方法及其优劣势,目的是尽可能勾勒出一个框架,为未来各类肺结节定位提供更鲜明的思路。未来肺结节定位发展方向将聚焦于多学科技术的深度融合。最终目标是通过多模式、个体化的定位策略,在确保肺结节根治的同时最大限度保留健康肺组织,推动肺癌微创手术向更精准、安全、高效的方向发展。

参考文献

- [1] 王璐,洪群英.肺结节诊治中国专家共识(2018年版)解读[J].中国实用内科杂志,2019,39(5):440-442.
- [2] Schaible, J., Pregler, B., Verloh, N., Einspieler, I., Bäuml, W., Zeman, F., et al. (2020) Improvement of the Primary Efficacy of Microwave Ablation of Malignant Liver Tumors by Using a Robotic Navigation System. *Radiology and*

- Oncology*, **54**, 295-300. <https://doi.org/10.2478/raon-2020-0033>
- [3] 王钧. CT 引导下 Hookwire 穿刺定位在胸腔镜肺部小结节治疗中的临床价值[J]. 实用医技杂志, 2023, 30(3): 212-215.
- [4] Yoshida, Y., Inoh, S., Murakawa, T., Ota, S., Fukayama, M. and Nakajima, J. (2011) Preoperative Localization of Small Peripheral Pulmonary Nodules by Percutaneous Marking under Computed Tomography Guidance. *Interactive Cardio-Vascular and Thoracic Surgery*, **13**, 25-28. <https://doi.org/10.1510/icvts.2011.266932>
- [5] Ciriaco, P. (2004) Video-Assisted Thoracoscopic Surgery for Pulmonary Nodules: Rationale for Preoperative Computed Tomography-Guided Hookwire Localization. *European Journal of Cardio-Thoracic Surgery*, **25**, 429-433. <https://doi.org/10.1016/j.ejcts.2003.11.036>
- [6] Eichfeld, U., Dietrich, A., Ott, R. and Kloeppel, R. (2005) Video-Assisted Thoracoscopic Surgery for Pulmonary Nodules after Computed Tomography-Guided Marking with a Spiral Wire. *The Annals of Thoracic Surgery*, **79**, 313-316. <https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2003.10.122>
- [7] Suzuki, K., Shimohira, M., Hashizume, T., Ozawa, Y., Sobue, R., Mimura, M., *et al.* (2014) Usefulness of CT-Guided Hookwire Marking before Video-Assisted Thoracoscopic Surgery for Small Pulmonary Lesions. *Journal of Medical Imaging and Radiation Oncology*, **58**, 657-662. <https://doi.org/10.1111/1754-9485.12214>
- [8] Richardson, C.M., Pointon, K.S., Manhire, A.R. and Macfarlane, J.T. (2002) Percutaneous Lung Biopsies: A Survey of UK Practice Based on 5444 Biopsies. *The British Journal of Radiology*, **75**, 731-735. <https://doi.org/10.1259/bjr.75.897.750731>
- [9] Asamura, H., Kondo, H., Naruke, T., Tsuchiya, R., Wakao, F., Kaneko, M., *et al.* (1994) Computed Tomography-Guided Coil Injection and Thoracoscopic Pulmonary Resection under Roentgenographic Fluoroscopy. *The Annals of Thoracic Surgery*, **58**, 1542-1544. [https://doi.org/10.1016/0003-4975\(94\)91957-7](https://doi.org/10.1016/0003-4975(94)91957-7)
- [10] Hwang, S., Kim, T.G. and Song, Y.G. (2018) Comparison of Hook Wire versus Coil Localization for Video-Assisted Thoracoscopic Surgery. *Thoracic Cancer*, **9**, 384-389. <https://doi.org/10.1111/1759-7714.12589>
- [11] Mayo, J.R., Clifton, J.C., Powell, T.I., English, J.C., Evans, K.G., Yee, J., *et al.* (2009) Lung Nodules: CT-Guided Placement of Microcoils to Direct Video-Assisted Thoracoscopic Surgical Resection. *Radiology*, **250**, 576-585. <https://doi.org/10.1148/radiol.2502080442>
- [12] Su, T., Fan, Y., Jin, L., He, W. and Hu, L. (2015) CT-Guided Localization of Small Pulmonary Nodules Using Adjacent Microcoil Implantation Prior to Video-Assisted Thoracoscopic Surgical Resection. *European Radiology*, **25**, 2627-2633. <https://doi.org/10.1007/s00330-015-3676-5>
- [13] Park, C.H., Hur, J., Lee, S.M., Lee, J.W., Hwang, S.H., Seo, J.S., *et al.* (2015) Lipiodol Localization for Ground-Glass Opacity Minimal Surgery: Rationale and Design of the LOGIS Trial. *Contemporary Clinical Trials*, **43**, 194-199. <https://doi.org/10.1016/j.cct.2015.06.009>
- [14] Kawanaka, K., Nomori, H., Mori, T., Ikeda, K., Ikeda, O., Tomiguchi, S., *et al.* (2009) Marking of Small Pulmonary Nodules before Thoracoscopic Resection. Injection of Lipiodol Under CT-Fluoroscopic Guidance. *Academic Radiology*, **16**, 39-45. <https://doi.org/10.1016/j.acra.2008.07.012>
- [15] Zhang, C., Lin, H., Fu, R., Zhang, T., Nie, Q., Dong, S., *et al.* (2019) Application of Indocyanine Green Fluorescence for Precision Sublobar Resection. *Thoracic Cancer*, **10**, 624-630. <https://doi.org/10.1111/1759-7714.12972>
- [16] Tsai, T., Chiang, X., Liao, H., Tsou, K., Lin, M., Chen, K., *et al.* (2019) Computed Tomography-Guided Dye Localization for Deeply Situated Pulmonary Nodules in Thoracoscopic Surgery. *Annals of Translational Medicine*, **7**, 31-31. <https://doi.org/10.21037/atm.2019.01.29>
- [17] 陆志斌, 陆龙, 周存荣, 等. CT 辅助下穿刺亚甲蓝染色且不留置带倒钩导丝在外周肺结节手术定位中的应用[J]. 河南外科学杂志, 2025, 31(1): 1-3.
- [18] Yao, F., Yao, J., Xu, L., Wang, J., Gao, L. and Wang, J. (2018) Computed Tomography-Guided Cyanoacrylate Localization of Small Pulmonary Nodules: Feasibility and Initial Experience. *Interactive CardioVascular and Thoracic Surgery*, **28**, 387-393. <https://doi.org/10.1093/icvts/ivy277>
- [19] Imperatori, A., Fontana, F., Dominioni, L., Piacentino, F., Macchi, E., Castiglioni, M., *et al.* (2019) Video-Assisted Thoracoscopic Resection of Lung Nodules Localized with a Hydrogel Plug. *Interactive CardioVascular and Thoracic Surgery*, **29**, 137-143. <https://doi.org/10.1093/icvts/ivz030>
- [20] Aricò, D., Macrì, P., Bambaci, M., Leone, G., Romano, D., Barbagallo, F., *et al.* (2024) Non-Palpable Pulmonary Nodules and Uniportal-Vats: Radio-Guided Localization (ROLL) Experience of a Lung Multidisciplinary Team. *Anticancer Research*, **44**, 3507-3514. <https://doi.org/10.21873/anticancer.17171>
- [21] Starnes, S.L., Wolujewicz, M., Guitron, J., Williams, V., Scheler, J. and Ristagno, R. (2018) Radiotracer Localization of Nonpalpable Pulmonary Nodules: A Single-Center Experience. *The Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery*, **156**, 1986-1992. <https://doi.org/10.1016/j.jtcvs.2018.03.152>

- [22] Mariolo, A.V., Vieira, T., Stern, J., Perrot, L., Caliandro, R., Escande, R., *et al.* (2021) Electromagnetic Navigation Bronchoscopy Localization of Lung Nodules for Thoracoscopic Resection. *Journal of Thoracic Disease*, **13**, 4371-4377. <https://doi.org/10.21037/jtd-21-223>
- [23] Zhang, J., He, J., Chen, J., Zhong, Y., He, J. and Li, S. (2021) Application of Indocyanine Green Injection Guided by Electromagnetic Navigation Bronchoscopy in Localization of Pulmonary Nodules. *Translational Lung Cancer Research*, **10**, 4414-4422. <https://doi.org/10.21037/tlcr-21-699>
- [24] Yanagiya, M., Kawahara, T., Ueda, K., Yoshida, D., Yamaguchi, H. and Sato, M. (2020) A Meta-Analysis of Preoperative Bronchoscopic Marking for Pulmonary Nodules. *European Journal of Cardio-Thoracic Surgery*, **58**, 40-50. <https://doi.org/10.1093/ejcts/ezaa050>
- [25] Sato, M., Kobayashi, M., Sakamoto, J., Fukai, R., Takizawa, H., Shinohara, S., *et al.* (2022) The Role of Virtual-Assisted Lung Mapping 2.0 Combining Microcoils and Dye Marks in Deep Lung Resection. *The Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery*, **164**, 243-251.E5. <https://doi.org/10.1016/j.jtcvs.2021.09.016>
- [26] Sato, T., Yutaka, Y., Nakamura, T. and Date, H. (2020) First Clinical Application of Radiofrequency Identification (RFID) Marking System—Precise Localization of a Small Lung Nodule. *JTCVS Techniques*, **4**, 301-304. <https://doi.org/10.1016/j.jtc.2020.09.018>
- [27] Miyahara, S., Waseda, R., Ueda, Y., Yutaka, Y., Date, H., Suzuki, J., *et al.* (2023) Evaluation of the Radiofrequency Identification Lung Marking System: A Multicenter Study in Japan. *Surgical Endoscopy*, **37**, 3619-3626. <https://doi.org/10.1007/s00464-022-09858-8>
- [28] Zhang, L., Wang, L., Kadeer, X., Zeyao, L., Sun, X., Sun, W., *et al.* (2019) Accuracy of a 3-Dimensionally Printed Navigational Template for Localizing Small Pulmonary Nodules. *JAMA Surgery*, **154**, 295-303. <https://doi.org/10.1001/jamasurg.2018.4872>
- [29] 李凯迪, 徐昱扬, 郭成林, 等. 仿真肺结节定位模型: 一种肺结节切除的无创定位新方法[J]. 中华医学杂志, 2021, 101(48): 3966-3972.
- [30] Tang, H., Yue, P., Wei, N., Zhang, L., Hu, W., Sun, W., *et al.* (2022) Three-Dimensional Printing Template for Intraoperative Localization of Pulmonary Nodules in the Pleural Cavity. *JTCVS Techniques*, **16**, 139-148. <https://doi.org/10.1016/j.jtc.2022.10.003>
- [31] 郑璐, 汤铜, 王帅, 等. 近红外/吲哚菁绿荧光成像技术联合纳米炭在甲状腺癌全切术中识别甲状旁腺中的应用[J]. 现代肿瘤医学, 2024(15): 2752-2759.
- [32] Papayan, G. and Akopov, A. (2018) Potential of Indocyanine Green Near-Infrared Fluorescence Imaging in Experimental and Clinical Practice. *Photodiagnosis and Photodynamic Therapy*, **24**, 292-299. <https://doi.org/10.1016/j.pdpdt.2018.10.011>
- [33] Chu, X., Chen, Z., Lin, S., Zhang, J., Qiu, Z., Tang, W., *et al.* (2021) Watershed Analysis of the Target Pulmonary Artery for Real-Time Localization of Non-Palpable Pulmonary Nodules. *Translational Lung Cancer Research*, **10**, 1711-1719. <https://doi.org/10.21037/tlcr-20-1281>
- [34] Zhang, B., Zhang, Y., Le, H., Li, W., Chen, C., Fang, R., *et al.* (2021) Intraoperative Localization in Minimally Invasive Surgery for Small Pulmonary Nodules: A Retrospective Study. *Translational Cancer Research*, **10**, 3470-3478. <https://doi.org/10.21037/tcr-21-1059>
- [35] Lv, K., Meng, Y., Zhang, T., *et al.* (2020) Preliminary Application of Body Surface Theodolitic Puncture Localization Method in Thoracoscopic Surgery of Pulmonary Ground-Glass Nodules. *Chinese Journal of Lung Cancer*, **23**, 662-666.
- [36] Pang, D., Shao, G., Zhang, J., Li, J., Wang, H., Liuru, T., *et al.* (2022) 3D Localization Based on Anatomical Landmarks in the Treatment of Pulmonary Nodules. *Journal of Thoracic Disease*, **14**, 3133-3144. <https://doi.org/10.21037/jtd-22-203>
- [37] 杨哲智. 叶间裂区域定位法结合 CT 体表定位在胸腔镜肺结节手术的临床应用价值[D]. 延吉: 延边大学, 2021.
- [38] Imperatori, A., Nardecchia, E., Cattoni, M., Mohamed, S., Di Natale, D., Righi, I., *et al.* (2021) Perioperative Identifications of Non-Palpable Pulmonary Nodules: A Narrative Review. *Journal of Thoracic Disease*, **13**, 2524-2531. <https://doi.org/10.21037/jtd-20-1712>
- [39] Khereba, M., Ferraro, P., Duranceau, A., Martin, J., Goudie, E., Thiffault, V., *et al.* (2012) Thoracoscopic Localization of Intraparenchymal Pulmonary Nodules Using Direct Intracavitary Thoracoscopic Ultrasonography Prevents Conversion of VATS Procedures to Thoracotomy in Selected Patients. *The Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery*, **144**, 1160-1166. <https://doi.org/10.1016/j.jtcvs.2012.08.034>
- [40] Fujiwara-Kuroda, A., Aragaki, M., Hida, Y., Ujiie, H., Ohtaka, K., Shiiya, H., *et al.* (2024) A Simple and Safe Surgical Technique for Nonpalpable Lung Tumors: One-Stop Solution for a Nonpalpable Lung Tumor, Marking, Resection, and Confirmation of the Surgical Margin in a Hybrid Operating Room (OS-MRCH). *Translational Lung Cancer Research*, **13**, 603-611. <https://doi.org/10.21037/tlcr-24-25>