

胸腔镜手术中肺部小结节定位方法进展

韩欣¹, 张沛刚²

1. 山西医科大学附属汾阳医院心胸外科, 山西 汾阳 032200; 2. 吕梁市人民医院院长办公室, 山西 离石 033000

【摘要】随着高分辨率、低辐射剂量计算机断层扫描(CT)的广泛应用,尤其是随着参加肺癌筛查项目或健康体检人群的增加,肺部小结节的检出越来越多。对于高度怀疑恶性结节者,电视胸腔镜下手术是当前首选的诊疗方法。但在胸腔镜手术过程中术者很难通过手指去触摸、定位肺结节,因此需要使用肺结节定位技术辅助术者在术中准确找到肺结节并切除。根据定位与手术的顺序可分为术前定位及术中定位,前者主要有CT引导下经皮穿刺辅助定位、CT引导下液体材料定位、虚拟支气管镜导航定位等;后者有电磁导航支气管镜引导定位、术中超声定位、利用射频识别系统定位等。本文就以上定位技术及近年来肺结节定位的研究进展进行综述。

【关键词】肺部小结节;电视胸腔镜;定位方法;综述

【中图分类号】R655.3

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2025)02-0250-06

Advances in the methods for localization of small pulmonary nodules in thoracoscopic surgery

HAN Xin¹, ZHANG Peigang²

1. Department of Cardiothoracic Surgery, Fenyang Hospital, Shanxi Medical University, Fenyang 032200, China; 2. Office of the President, the People's Hospital of Lüliang, Lishi 033000, China

Abstract: With the widespread use of high-resolution, low-radiation-dose computed tomography (CT) scans, especially with the increase in the number of people participating in lung cancer screening programs or health checkups, small lung nodules are increasingly being detected. Video-assisted thoracoscopic surgery is currently preferred treatment and diagnosis choice for those with a high suspicion of malignant nodules. However, during video-assisted thoracoscopic surgery, it is difficult for the operator to touch and localize the pulmonary nodules with his/her fingers, so the use of pulmonary nodule localization techniques is needed to assist the operator to accurately locate and resect the pulmonary nodules. According to the order of localization and surgery, it can be divided into preoperative localization and intraoperative localization, the former mainly includes CT-guided percutaneous puncture-assisted localization, CT-guided liquid material localization, and virtual bronchoscopic navigation localization; while the latter includes electromagnetic navigation bronchoscopy-guided localization, intraoperative ultrasound localization, and localization using radiofrequency identification system. The review elaborates on the above-mentioned localization techniques and the research advances in lung nodule localization.

Keywords: small pulmonary nodule; video-assisted thoracoscopy; localization method; review

前言

肺结节是指影像学表现为直径 ≤ 3 cm的局灶性、类圆形、密度增高的实性或亚实性肺部阴影,可为孤立性或多发性,不伴肺不张、肺门淋巴结肿大和胸腔积液^[1]。肺结节与肺癌的发生有着密切关系^[2]。随

着人们对身体健康意识增强及CT诊断水平的提高,肺部结节的检出率逐年增加,早期肺癌的发现率也随之增高^[3]。大部分肺结节为良性病灶,无需手术治疗。但是其是否为恶性肿瘤与结节的大小、增长速度、密度等密切相关。肺部结节的病理结果复杂多样,临床有关研究显示肺内小结节直径在5 mm时恶变的几率为1%,随着直径增长,疾病恶变的几率也会升高,当直径大于20 mm时恶变的几率可高达85%,因此检出的肺部结节的性质判定尤为重要^[4]。

单纯的影像学表现难以确定肺结节的良恶性,病理诊断作为肺结节诊断的金标准,纤维支气管镜下活检及CT引导下细针穿刺的阳性率均不高^[5],易

【收稿日期】2024-08-18

【基金项目】山西省卫生健康委科研课题(2019155)

【作者简介】韩欣,硕士研究生,研究方向:胸外科肺部结节, E-mail: xinhan112@163.com

【通信作者】张沛刚,硕士,主任医师,研究方向:肺部肿瘤, E-mail: zpg7412@163.com

导致恶性结节患者遗漏,延误及时治疗的时机。随着电视胸腔镜手术(Video-assisted Thoracoscopic Surgery, VATS)的发展,胸腔镜下肺楔形切除术因其微创、美观、准确性高等特点,已经广泛应用于肺结节的诊断及治疗^[6]。但由于肺部结节较小,有的肺部小结节位置较深,且术中肺萎陷后解剖位置的改变,单凭影像学上术前CT提供的肺部结节位置,靠术中术者肉眼观察及手指触诊定位,常无法准确触及肺部小结节^[7],加大了手术难度,甚至不得不中转开胸手术或者在没有肺部小结节病理结果的情况下行肺段甚至肺叶切除术^[8]。因此一种定位准确且并发症少的定位方法在胸腔镜下肺部小结节手术治疗中是很有必要的^[9]。现主流的定位方法分为术前定位及术中定位,本文就VATS中肺部小结节定位方法进行综述,希望可为肺结节定位提供新思路。

1 术前定位

1.1 CT引导下术前经皮穿刺辅助定位

1.1.1 带钩金属(hook-wire) 带钩金属丝是目前临床上应用最广泛的定位技术,1992年被首次提出^[10]。该方法是由1根穿刺针和针管内的1根记忆合金丝组成。操作时,首先经CT扫描确定肺小结节位置,选择穿刺入路,将hook-wire定位针经皮肤穿刺进入肺组织内,最终固定在结节周围,而金属丝尾端留在体外用于定位。hook-wire是目前最主流的肺结节VATS术前定位方式。由于体外留有定位针尾端,所以胸腔镜下能明确看到病灶部位,从而将结节准确切除,保证手术的有效性。气胸是其最常见的并发症,其次是肺出血,但在临床中一般只需对症治疗,不需要特殊处理。在0~7.5%病例中遇到过标志物移位导致定位失败^[11]。hook-wire的金属丝钩在肺组织内部横向展开,所以hook-wire定位肺结节还有发生空气栓塞的风险,这也是此方法可能出现的最严重并发症^[12]。

1.1.2 传统微弹簧圈 弹簧圈最早作为一种栓塞材料被用作出血血管的栓塞。Powell等^[13]首次报道胸腔镜术前应用微弹簧圈对肺结节进行定位,目前已经取得显著成效。术前在CT引导下将1根负载有弹簧圈的套管针推入目标结节后然后推出弹簧圈,另一端固定于脏层胸膜形成哑铃型固定结构。与带钩金属丝定位相比,弹簧圈进行定位后,导丝固定于脏层胸膜,可以很大程度减轻患者等待进入手术室期间的不适,同时弹簧圈较柔软,植入肺实质甚至脱落后不会对肺组织及胸膜造成明显损伤,其作为一种栓塞材料,植入体内后也不会产生明显的排斥反应。但是弹簧圈昂贵的价格导致在诊疗过程中患者及家

属的接受程度也不尽相同。弹簧圈定位肺结节的成功率略低于hook-wire,但是弹簧圈定位在控制脱位、气胸和肺出血发生率方面较hook-wire定位具有明显优势^[14-15]。

1.1.3 四钩定位针 四钩定位针是在传统钩针基础上,前端创新性采用金属四钩锚定肺结节,该定位装置由穿刺针、推送装置、锚定定位针、定位线和保护管5个部分构成^[16]。其中穿刺针由标有刻度的不锈钢制成,方便术中根据CT扫描数据确定进针的深度;锚定定位针是由镍钛记忆合金制成的带有4个钝形鱼钩样结构,形成1个十字架,术中可固定在肺实质内。在远端与之相连的是标有刻度的三色可吸收定位线,手术中术者可根据暴露于肺表面定位线的刻度识别锚定定位针进入的深度。四钩定位针源于hook-wire,有效地降低了定位后定位针脱落和移位的可能^[17],但导致患者定位后疼痛的问题仍没有改善。目前该定位针长度多在10 cm左右,因此对于肥胖、结节位置较深、穿刺路径较长的患者,会导致定位失败或定位困难^[18]。

1.2 CT引导下液体材料定位

1.2.1 亚甲蓝溶液 亚甲蓝用于肺小结节的定位于1994年被提出^[19]。该方法是在CT引导下利用穿刺针经皮肺穿刺到肺结节所在肺组织,经针道注入适量亚甲蓝溶液,完成结节、针道和脏层胸膜的染色,术中可通过染料晕染的范围来识别病灶,然后进行手术^[20]。亚甲蓝溶液是一种临床广泛使用的医用材料,被广泛应用于肺内小结节的定位操作。与带钩金属相比,亚甲蓝定位肺结节成本更低,操作更加简单,用时更少及并发症发生率更低。亚甲蓝定位也存在诸多限制,首先是亚甲蓝溶液弥散速度较快,限定了标记定位后手术衔接的时间,大部分学者建议从定位到手术的时间不能超过3 h,以避免因亚甲蓝弥散吸收而导致术中不能准确看到染料定位的区域^[21];同时对于年龄较大、长期吸烟、多年从事采矿工作或长期接触粉尘的患者,由于肺泡内炭沫沉积,可能导致肺表面呈黑色改变,使定位后晕染边界不易被区分^[22]。以上均易导致定位失败或致使切除范围过大。

1.2.2 吲哚菁绿 吲哚菁绿是一种临床应用广泛的无辐射荧光造影剂,是一种安全、使用方便的可溶性染料,可与组织或血液中的蛋白结合产生荧光,不受肺本底颜色影响^[23]。2014年首次有学者将吲哚菁绿用于肺结节定位^[24]。目前吲哚菁绿定位肺结节的技术已经较为成熟。同样在CT引导下操作,首先将吲哚菁绿用对比剂溶解,然后根据CT图像显示的结节位置,采用“垂直、就近”的原则进行穿刺,选取合适体

位,穿刺针穿刺至结节附近后复查CT确认针尖距离结节位置小于15 mm,缓慢注射吲哚菁绿-对比剂溶液。吲哚菁绿注入肺组织后不会影响肺结节及周围正常的肺组织结构,只有在荧光下呈绿色染色,自然状态下不会影响病理科医生进行HE染色及诊断^[25]。但吲哚菁绿也存在易扩散问题,对定位后手术时间有一定程度的限制,因此有学者提出与人血白蛋白混合使用可以增加肺实质的荧光,还可以使标记持续数小时至数天,让手术方案更加灵活^[26]。不同于传统的钩针或弹簧圈定位,荧光定位需要专门的激发设备进行成像^[27]。

1.2.3 放射性核素 ^{99m}Tc -MAA是一种放射性示踪剂,其定位原理是在目标肺结节中沉积足够的放射性药物,以便伽马探针在切除过程中识别结节^[28]。注射 ^{99m}Tc -MAA不需要特定的定位,因为结节本身就是目标,与亚甲蓝等不同,术者在切除过程中不必遵循穿刺的针道,因此可以从多个角度进行肺结节切除。理论上手术可在定位后24 h之内进行^[29],但定位时间与手术间隔时间越短, ^{99m}Tc -MAA活动度越高,所以仍建议定位后尽早手术。 ^{99m}Tc -MAA注入胸腔或肺大疱中均有可能导致定位失败。该方法中放射性药物的成本和包括伽马探针在内的专用设备的需要,以及术者可能面临的辐射风险均无法被忽视。

1.2.4 生物胶 生物胶由合成氰基丙烯酸酯制成,具有无毒、生物安全性高等优点。医用生物胶遇到阴离子(包括体液、血液等)时,在室温下1 min内固化成膜并与组织紧密结合,术中将生物胶注入肺部结节互相融合后,术中可通过指腹触诊进行定位。但医用胶颜色较浅,有学者提出与亚甲蓝混合使用可以更明显地发现定位点^[30]。因其在短时间内可与周围组织固化成膜,因此使用医用胶定位肺内穿刺点出血率更低,气胸发生率也更低^[31],医用胶定位肺结节后受体位变化的影响也较小。医用胶定位时注射速度过快会引起患者的刺激性干咳,同时对于深部结节手指很难触摸到,因此对于深部结节不建议使用生物胶定位。医用胶最大的影响是与结节发生融合后,可能影响病理结果评估,从而影响后续治疗方案的制定^[32]。

1.3 虚拟支气管镜导航(Virtual Bronchoscopic Navigation, VBN)定位

VBN指的是根据三维螺旋CT产生的图像模拟真实支气管镜图像,从而产生通往病灶路径的虚拟支气管图像,并与相应的真实支气管图像同步显示,引导操作者控制支气管镜抵达目标病灶^[33]。2015年Herth等^[34]首次应用LungPoint虚拟支气管镜导航引导进行支气管镜下经肺实质结节获取孤立性肺结节组织标本。该方法为定位肺结节提供了新思路。

Chen等^[35]的试验表明在应用胸腔镜切除肺结节前,VBN引导下经支气管镜放置微线圈术前定位肺结节是一种安全、稳定且有效的技术。虚拟支气管镜图像与实际内镜图像一致性高,可引导常规支气管镜准确进入第6~7级支气管,因此对肺结节的定位更准确,为深部结节的精准亚段切除提供了基础^[36]。VBN定位准确,操作相对简单,但是它需要专门的程序实现三维支气管树重建,同时对CT性能要求较高。

1.4 虚拟肺图(Virtual Assisted Lung Mapping, VAL-MAP)定位

VAL-MAP标记肺结节,是一种使用三维虚拟成像的支气管镜多点染料标记技术,在透视辅助下利用CT重建的肺部模型,引导支气管镜对手术目标结节进行多点标记,定位后再次行胸部CT扫描将图像重建为三维图像,此时包括目标病灶和标记,这些标记通常在预期的注射部位表现为毛玻璃影(GGO)^[37]。术前2 d内,患者在局部麻醉或轻度镇静下进行支气管镜操作。常规使用柔性支气管镜经口插入,导管经支气管镜工作通道插入目标支气管,通常瞄准8~11支气管。当导管尖端楔入肺外周后,轻轻推动与导管相连的注射器的柱塞,注入染料对肺结节进行标记^[38]。VAL-MAP多点标记的优势主要体现在即使某一点标记失效,其余标记点仍可在术中对肺结节的切除进行引导,同时多点标记也可以对手术切缘提供参考,提高肺结节切除成功率。有一项对比有无VAL-MAP辅助进行楔形切除的回顾性分析发现VAL-MAP辅助组手术时间明显缩短,可切除的肿瘤更小^[39]。但由于是通过注射染色剂标记结节,对于弥漫性肺气肿患者及肺表面呈黑色改变的患者无法准确看到染色边缘而导致定位失败^[40]。

1.5 3D打印辅助肺结节定位

Zhang等^[41]将3D打印技术用于肺结节定位,并取得较高的定位成功率。具体操作如下:首先根据CT进行三维重建、导航路径设计及定位导板建模,完成三维建模;再使用3D打印机根据胸廓、肋骨等结构及病灶在肺内的相对位置确定穿刺点,完成3D打印模板;然后将3D打印模板置于胸壁贴合定位,在模板穿刺点处经皮穿刺放置hook-wire或微弹簧圈进行定位,定位结束需要再次扫描确定位置后送去VATS手术。该研究中未出现钩丝移位的情况,出现的并发症大都较轻,不需要特殊处理。但3D打印费用昂贵,且需要等待的时间较长,操作较复杂,临床应用中接受度较低,就目前来看不具有广泛应用的条件。

不论是CT引导下术前经皮穿刺辅助定位还是使用液体材料标记肺结节,都是目前手术中应用较

多的方法,操作简单,定位成本较低,但出现并发症的概率也较高。虚拟肺图以及3D打印技术的使用在一定程度上减少了定位并发症的出现,但费用高昂,操作流程复杂,很难普及于临床。

2 术中定位

2.1 电磁导航支气管镜(ENB)引导定位

ENB引导下定位肺结节于1998年由约翰霍普金斯医院放射科的Solomon等^[42]首次提出。在后续多项研究中也证实ENB引导下定位肺结节是安全、有效的,定位成功率以及并发症发生率较为可观^[43]。ENB引导下的肺结节定位需将患者安置在带有磁场定位板的固定位置上,在全麻下进行单腔插管/喉罩通气后,通过气管镜引导传感器探头按照术前规划路径到达目标结节后,退出内鞘管,置入注射导管到达指定位置后注入染色材料(吲哚菁绿/亚甲蓝)^[44]。相较于CT引导下经皮穿刺定位技术,该技术并发症发生率更低^[45]。也有学者提出直接用导航定位装置的探头作为定位装置,在按规划路线将探头推到目标位置后,退出支气管镜后嘱操作支气管镜的医生轻推探头,此时在胸腔镜下可以清楚看到肺部“帐篷”样凸起,从而指导术者进行手术^[46]。该方法的安全性及准确性都有很明显的提升,但在手术当天手术室中进行ENB引导定位时,需要一位熟悉气管镜的医师协助手术,或者术者需熟练掌握支气管镜的使用,同时该定位方法操作复杂、价格高昂、需要特殊设备,定位过程还会受到呼吸运动的影响。

2.2 术中超声定位

超声引导下术中肺结节定位是指在术中单肺通气后采用超声探查肺结节的位置,进而进行切除,不需要置入其他定位材料,并发症较低。Hou等^[47]采用术中超声定位肺结节的方法,肺结节定位成功率达97%,并且发现纯磨玻璃结节与混合密度结节定位成功率无差异。术中超声定位有安全无创、定位准确并且费用低的优点,但是国内外只有少量肺结节术中超声的研究报道,主要原因为需要手术医生有操作超声的经验,或者手术过程中需要超声科医生配合去识别、定位肺结节,同时如果肺结节患者患有慢性阻塞性肺疾病,或者双腔气管插管等原因,术中患肺不能完全塌陷,也给定位造成困难。因此超声引导下定位肺结节仍处在临床试验阶段。

2.3 图像定位体表标记法

术前根据胸部CT计算出肺结节所处肋间,然后在这个肋间测量结节与相应的体表标记线(如前正中线、后正中线、腋中线、肩胛线)的距离确定体表定位点。确定好体表标记后,后续操作需在手术麻醉

后进行。患者于手术室麻醉后,部分医院采用动静脉留置针经胸壁定位点在胸腔镜直视下垂直于胸壁刺入胸腔,退出胸腔镜,嘱麻醉师鼓肺,让患侧肺完全复张,使动静脉留置针针尖刺入肺内,然后用电刀对准留置针尾部的金属内芯电凝烧灼,使其在肺表面形成焦痂,然后改为单肺通气,再次放入胸腔镜寻找焦痂创面并缝线标记。手术具体操作为根据缝线标记,距离标记旁开2 cm以上距离行胸腔镜下肺楔形切除术^[48]。也有部分临床医生是麻醉后在胸腔镜直视下应用类似的方法,先于胸壁进行标记,之后电凝钩尖端朝下再鼓肺于肺表面留下烧灼点^[49]。该方法应用的局限性相对较小,受特殊解剖结构的影响也较小,定位成功率高,手术切除肺结节也达到了可观效果,但该方法更依赖手术医生的经验来掌握切除范围,尤其老年患者及肺功能不好的患者更需要保留更多的肺组织。

2.4 射频识别(RFID)系统

RFID系统定位人类肺结节由Sato等^[50]首次提出。在混合手术室中,患者全麻下插管单腔气管,在透视和虚拟支气管镜引导下,经支气管镜将RFID标签送到目标结节的邻近部位后将单腔气管插管改为双腔管后,将患者置于健侧卧位,棒状定位探测器引入胸腔后可接收来自RFID标签的信号。以此判断结节的具体位置及可切除范围。深部结节(距胸膜>2 cm)对胸外科医生来说一直是一个挑战,但RFID对深部结节的切除有着独有的优势,因为使用近场通信缘故,可以准确显示结节的位置。目前该技术并未有更多报道,但随着科技的进步、手术机器人的普及,RFID定位技术在肺小结节患者的疗效和益处是非常可观的。

3 总结与展望

钩线定位系统及亚甲蓝溶液定位肺部结节操作简单,对于大部分医院及患者而言更具性价比;ENB支气管镜引导定位更加安全、准确,但其对设备的要求及高昂的价格让医生及患者望而却步;图像定位体表标记法对于可以较好把控切除范围者可作为首选;RFID系统在深部结节定位方面有着得天独厚的优势。目前随着检查手段的进步,肺结节的检出率增加,同时人们对健康的期望值提高,导致肺结节患者手术率随之增加,术前或术中高效的肺结节定位显得更加重要。简单、高效、创伤小成了肺结节定位的理想指标。尽管有上述诸多办法,但没有任何一种办法可以完美地兼顾以上要求,因此找到一种定位准确、操作简单、对患者创伤小、费用低廉的定位方法是很有必要的。

【参考文献】

- [1] 孟诚, 邹芝雅, 冯继锋. 肺结节风险分层评估的研究进展[J]. 中国现代医生, 2023, 61(26): 141-144.
Meng C, Wu ZY, Feng JF. Research progress in risk stratification assessment of pulmonary nodules[J]. China Modern Doctor, 2023, 61(26): 141-144.
- [2] Hyun K, Park IK, Song JW, et al. Electromagnetic navigation bronchoscopic dye marking for localization of small subsolid nodules: Retrospective observational study[J]. Medicine (Baltimore), 2019, 98(11): e14831.
- [3] 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.
Wang L, Hong QY. Interpretation of Chinese expert consensus on the diagnosis and treatment of pulmonary nodules (2018 version)[J]. Chinese Journal of Practical Internal Medicine, 2019, 39(5): 440-442.
- [4] 黄斯阳, 兰碧洋. 肺小结节胸腔镜术前定位方法[J]. 中国现代医生, 2021, 59(15): 163-167.
Huang SY, Lan BY. Positioning method of small lung nodules before thoracoscopy[J]. China Modern Doctor, 2021, 59(15): 163-167.
- [5] Tam AL, Kim ES, Lee JJ, et al. Feasibility of image-guided transthoracic core-needle biopsy in the BATTLE lung trial[J]. J Thorac Oncol, 2013, 8(4): 436-442.
- [6] Li CD, Huang ZG, Sun HL, et al. Marking ground glass nodules with pulmonary nodules localization needle prior to video-assisted thoracoscopic surgery[J]. Eur Radiol, 2022, 32(7): 4699-4706.
- [7] Nardini M, Dunning J. Pulmonary nodules precision localization techniques[J]. Future Oncol, 2020, 16(16s): 15-19.
- [8] Li KD, Xu YY, Guo CL, et al. [Emulation pulmonary nodules localization model: a novel non-invasive localization technique in resection of pulmonary nodules][J]. National Medical Journal of China, 2021, 101(48): 3966-3972.
- [9] Long J, Petrov R, Haithecock B, et al. Electromagnetic transthoracic nodule localization for minimally invasive pulmonary resection[J]. Ann Thorac Surg, 2019, 108(5): 1528-1534.
- [10] Plunkett MB, Peterson MS, Landreneau RJ, et al. Peripheral pulmonary nodules: preoperative percutaneous needle localization with CT guidance[J]. Radiology, 1992, 185(1): 274-276.
- [11] Yoshida Y, Inoh S, Murakawa T, et al. Preoperative localization of small peripheral pulmonary nodules by percutaneous marking under computed tomography guidance[J]. Interact Cardiovasc Thorac Surg, 2011, 13(1): 25-28.
- [12] Sun SL, Yang ZJ, Sun HL, et al. Air embolism after CT-guided localization of pulmonary ground-glass nodules[J]. Br J Radiol, 2023, 96(1150): 20220583.
- [13] Powell TI, Jangra D, Clifton JC, et al. Peripheral lung nodules: fluoroscopically guided video-assisted thoracoscopic resection after computed tomography-guided localization using platinum microcoils[J]. Ann Surg, 2004, 240(3): 481-488.
- [14] 洪子强, 金大成, 白向豆, 等. CT引导下Hook-wire定位与弹簧圈定位在肺结节手术中应用的系统评价与Meta分析[J]. 中国胸心血管外科临床杂志, 2023, 30(6): 910-916.
Hong ZQ, Jin DC, Bai XD, et al. CT-guided Hook-wire versus microcoil localization in the pulmonary nodules surgery: a systematic review and Meta-analysis[J]. Chinese Journal of Clinical Thoracic and Cardiovascular Surgery, 2023, 30(6): 910-916.
- [15] Finley RJ, Mayo JR, Grant K, et al. Preoperative computed tomography-guided microcoil localization of small peripheral pulmonary nodules: a prospective randomized controlled trial[J]. J Thorac Cardiovasc Surg, 2015, 149(1): 26-32.
- [16] Li CD, Huang ZG, Sun HL, et al. CT-guided preoperative localization of ground glass nodule: comparison between the application of embolization microcoil and the locating needle designed for pulmonary nodules[J]. Br J Radiol, 2021, 94(1123): 20210193.
- [17] Fan LW, Yang HT, Yu LM, et al. Multicenter, prospective, observational study of a novel technique for preoperative pulmonary nodule localization[J]. J Thorac Cardiovasc Surg, 2020, 160(2): 532-539.e2.
- [18] 郭坚溪, 张华, 肖伟杰, 等. 肺结节定位针在肺小结节术前定位的初步临床研究[J]. 影像诊断与介入放射学, 2020, 29(5): 349-355.
Guo JX, Zhang H, Xiao WQ, et al. Preliminary study of preoperative needle localization of pulmonary nodules[J]. Diagnostic Imaging & Interventional Radiology, 2020, 29(5): 349-355.
- [19] Lenglinger FX, Schwarz CD, Artmann W. Localization of pulmonary nodules before thoracoscopic surgery: value of percutaneous staining with methylene blue[J]. AJR Am J Roentgenol, 1994, 163(2): 297-300.
- [20] Zhang H, Kong J, Guo JX. Computed tomography-guided techniques for localizing pulmonary nodules by localization needle versus methylene blue[J]. Curr Med Imaging, 2023, 19(7): 770-779.
- [21] Vandoni RE, Cuttat JF, Wicky S, et al. CT-guided methylene-blue labelling before thoracoscopic resection of pulmonary nodules[J]. Eur J Cardiothorac Surg, 1998, 14(3): 265-270.
- [22] Lin CY, Chang CC, Huang LT, et al. Computed tomography-guided methylene blue localization: single vs. multiple lung nodules[J]. Front Med (Lausanne), 2021, 8: 661956.
- [23] Iizuka S, Kuroda H, Yoshimura K, et al. Predictors of indocyanine green visualization during fluorescence imaging for segmental plane formation in thoracoscopic anatomical segmentectomy[J]. J Thorac Dis, 2016, 8(5): 985-991.
- [24] Okusanya OT, Holt D, Heitjan D, et al. Intraoperative near-infrared imaging can identify pulmonary nodules[J]. Ann Thorac Surg, 2014, 98(4): 1223-1230.
- [25] Anayama T, Qiu J, Chan H, et al. Localization of pulmonary nodules using navigation bronchoscope and a near-infrared fluorescence thoracoscope[J]. Ann Thorac Surg, 2015, 99(1): 224-230.
- [26] Voulaz E, Giudici VM, Lanza E, et al. Percutaneous computed tomography (CT)-guided localization with indocyanine green for the thoracoscopic resection of small pulmonary nodules[J]. J Clin Med, 2023, 12(19): 6149.
- [27] Misaki N, Chang SS, Igai H, et al. New clinically applicable method for visualizing adjacent lung segments using an infrared thoracoscopy system[J]. J Thorac Cardiovasc Surg, 2010, 140(4): 752-756.
- [28] McDermott S, Fintelmann FJ, Bierhals AJ, et al. Image-guided preoperative localization of pulmonary nodules for video-assisted and robotically assisted surgery[J]. Radiographics, 2019, 39(5): 1264-1279.
- [29] Bellomi M, Veronesi G, Trifirò G, et al. Computed tomography-guided preoperative radiotracer localization of nonpalpable lung nodules[J]. Ann Thorac Surg, 2010, 90(6): 1759-1764.
- [30] Kong J, Guo JX, Zhang H, et al. CT-guided localization techniques of small pulmonary nodules: a prospective non-randomized controlled study on pulmonary nodule localization needle and methylene blue staining with surgical glue[J]. J Thorac Dis, 2020, 12(11): 6826-6835.
- [31] 王挺, 赵振华, 王彬, 等. 肺小结节胸腔镜术前医用胶定位的应用价值[J]. 介入放射学杂志, 2017, 26(4): 334-338.
Wang T, Zhao ZH, Wang B, et al. The application value of preoperative medical adhesive locating in performing thoracoscopy for small pulmonary nodules[J]. Journal of Interventional Radiology, 2017, 26(4): 334-338.
- [32] Huang YN, Zhao ZH, Wang T, et al. A comparison between prethoracoscopy localization of small pulmonary nodules by means of medical adhesive versus hookwire[J]. J Vasc Interv Radiol, 2018, 29(11): 1547-1552.
- [33] Edell E, Krier-Morrow D. Navigational bronchoscopy: overview of technology and practical considerations--new current procedural terminology codes effective 2010[J]. Chest, 2010, 137(2): 450-454.
- [34] Herth FJ, Eberhardt R, Sterman D, et al. Bronchoscopic transparenchymal nodule access (BTPNA): first in human trial of a novel procedure for sampling solitary pulmonary nodules[J]. Thorax, 2015, 70(4): 326-332.
- [35] Chen JX, Pan XF, Gu CJ, et al. The feasibility of navigation bronchoscopy-guided pulmonary microcoil localization of small pulmonary nodules prior to thoracoscopic surgery[J]. Transl Lung Cancer Res, 2020, 9(6): 2380-2390.
- [36] 何良文, 龙发, 付鹏, 等. 虚拟支气管镜导航结合支气管内超声引导下经支气管肺活检对孤立性肺结节的实用性[J]. 临床肺科杂志, 2021, 26(4): 526-530.
He LW, Long F, Fu P, et al. Usefulness of virtual bronchoscopic navigation combined with endobronchial ultrasound guided transbronchial lung biopsy for solitary pulmonary nodules[J]. Journal of Clinical Pulmonary Medicine, 2021, 26(4): 526-530.
- [37] Yanagiya M, Sato M, Kuwano H, et al. Management of lung nodules newly found by virtual-assisted lung mapping: a case report[J]. Surg Case Rep, 2017, 3(1): 49.
- [38] Sato M, Yamada T, Menju T, et al. Virtual-assisted lung mapping: outcome of 100 consecutive cases in a single institute[J]. Eur J

- Cardiothorac Surg, 2015, 47(4): e131-e139.
- [39] Kuwata T, Shinohara S, Matsumiya H, et al. Virtual-assisted lung mapping (VAL-MAP) shortened surgical time of wedge resection[J]. J Thorac Dis, 2018, 10(3): 1842-1849.
- [40] Yang SM, Lin CK, Chen LW, et al. Combined virtual-assisted lung mapping (VAL-MAP) with CT-guided localization in thoracoscopic pulmonary segmentectomy[J]. Asian J Surg, 2019, 42(3): 488-494.
- [41] Zhang L, Li M, Li ZY, 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.
- [42] Solomon SB, White PJ, Acker DE, et al. Real-time bronchoscope tip localization enables three-dimensional CT image guidance for transbronchial needle aspiration in swine[J]. Chest, 1998, 114(5): 1405-1410.
- [43] Bowling MR, Folch EE, Khandhar SJ, et al. Pleural dye marking of lung nodules by electromagnetic navigation bronchoscopy[J]. Clin Respir J, 2019, 13(11): 700-707.
- [44] Awais O, Reidy MR, Mehta K, et al. Electromagnetic navigation bronchoscopy-guided dye marking for thoracoscopic resection of pulmonary nodules[J]. Ann Thorac Surg, 2016, 102(1): 223-229.
- [45] Tay JH, Wallbridge PD, Larobina M, et al. Electromagnetic navigation bronchoscopy-directed pleural tattoo to aid surgical resection of peripheral pulmonary lesions[J]. J Bronchology Interv Pulmonol, 2016, 23(3): 245-250.
- [46] 宋桂松, 邱桐, 玄云鹏, 等. 电磁导航支气管镜矢量定位法在肺小结节手术中的应用[J]. 中国肺癌杂志, 2019, 22(11): 709-713.
Song GS, Qiu T, Xuan YP, et al. Clinical application of vectorial localization of peripheral pulmonary nodules guided by electromagnetic navigation bronchoscopy in thoracic surgery[J]. Chinese Journal of Lung Cancer, 2019, 22(11): 709-713.
- [47] Hou YL, Wang YD, Guo HQ, et al. Ultrasound location of pulmonary nodules in video-assisted thoracoscopic surgery for precise sublobectomy[J]. Thorac Cancer, 2020, 11(5): 1354-1360.
- [48] 陈世雄, 陈胜家, 邹晶晶, 等. 动静脉留置针在肺结节手术定位中的应用[J]. 中国微创外科杂志, 2022, 22(11): 923-925.
Chen SX, Chen SJ, Zou JJ, et al. Application of arteriovenous indwelling needle in surgical localization of pulmonary nodule[J]. Chinese Journal of Minimally Invasive Surgery, 2022, 22(11): 923-925.
- [49] 方仁秀, 张永奎, 陈城, 等. 术中胸腔内胸壁定位法在肺结节术中的应用体会[J]. 中国癌症杂志, 2021, 31(10): 932-935.
Fang RX, Zhang YK, Chen C, et al. Application of intraoperative chest wall localization in pulmonary nodule surgery[J]. China Oncology, 2021, 31(10): 932-935.
- [50] Sato T, Yutaka Y, Nakamura T, et al. First clinical application of radiofrequency identification (RFID) marking system-precise localization of a small lung nodule[J]. JTCVS Tech, 2020, 4: 301-304.
- (编辑:黄开颜)